

**ELAZIĞ İLİNDE KULLANILAN FARKLI DUVAR  
TİPLERİ İÇİN OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ  
BELİRLENMESİ VE EKONOMİ ANALİZİ**

**Arif Hakan YALÇIN**

**Yüksek Lisans Tezi  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı  
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Aydın DİKİCİ  
HAZİRAN-2012**

**T.C  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELAZIĞ İLİNDE KULLANILAN FARKLI DUVAR  
TİPLERİ İÇİN OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ  
BELİRLENMESİ VE EKONOMİ ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Arif Hakan YALÇIN**

**101119101**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Haziran 2012  
Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Haziran 2012**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Aydın DİKİCİ (F.Ü)  
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Celal SARSILMAZ (F.Ü)  
Prof. Dr. Erdiñç ARICI (F.Ü)**

**HAZİRAN-2012**

## ÖNSÖZ

İnsan nüfusu tüm dünyada giderek artmakta ve enerji tüketimi de hızla çoğalmaktadır, buna paralel olarak enerji ihtiyacı da artmaktadır. Enerji tüketiminin artışı ile kentsel hava kirliliği artmakta, doğal enerji kaynakları azalmakta ve enerji fiyatları pahalalanmaktadır.

Enerjinin en çok tüketildiği alanlardan biri de yaşadığımız binalardır. Yaşadığımız binalarda kullanılan enerji genellikle ısıtma ve soğutmada harcanmaktadır. Günümüzde enerji tüketiminin artması beraberinde birçok problemi de getirmektedir. Bu problemlerden en önemlileri hava kirliliğinin artması, doğal enerji kaynaklarının azalması ve enerji fiyatlarının pahalalanmasıdır. Bu problemlerin aşılması konusunda yapılan en önemli çalışmalardan bir tanesi de ısı kayıplarının en aza indirilip enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasıdır. Enerjinin verimli bir şekilde kullanılması ile yakıt tasarrufunun sağlanması yaşamış olduğumuz bina dış duvarlarının yalıtılması ile gerçekleştirilebilir. Ülkemizde ısı izolasyonu çoğu kişilerce yalnız soğuğa karşı bir önlem olarak bilinmekte ve sıcak iklimli yerlerde ısı yalıtımı ya gereksiz görülmekte ya da yeterince önem verilmemektedir. Oysa gerçekte durum tam tersidir. Yaz aylarında bunaltan sıcakların çaresinin daha güç olduğu, soğutmanın ısıtmaktan daha pahalı olduğu, sağlık konusunun ise önde geldiği unutulmamalıdır. Bina dış duvarlarında ısı yalıtımı yapılırken amaç doğaya zarar vermemek ve insanların yaşam alanlarında konforu arttırmaktır. Fakat bu amaç doğrultusunda yalıtım yapılırken insanın kendi bütçesine de zarar vermemesi gerekir. İnsanın kendi bütçesine zarar vermemesi ise ancak ve ancak yaşama ait parametrelerin (enerji fiyatları, bina dış duvarlarının türü, yalıtım malzemelerinin fiyatları vb.) bir bütün olarak ele alınması ve optimum kalınlıktaki yalıtım malzemelerinin kullanılması ile olur.

Binalarda yapı fiziğine uygun olarak ısı yalıtımı yapılmamaktadır. Isı yalıtımı kullanımı ülkemizde ileri ülkelere kıyasla ya miktar olarak oldukça azdır ya da yoktur. Isı yalıtımında amaç yapının en sıcak devrede en az ısı kazanırken, en soğuk devrede de en az ısıyı kaybetmesidir.

**Arif Hakan YALÇIN**

**ELAZIĞ – 2012**

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| ÖNSÖZ.....                                                                     | II                     |
| ÖZET .....                                                                     | VI                     |
| SUMMARY .....                                                                  | VII                    |
| ŞEKİLLER LİSTESİ.....                                                          | VIII                   |
| TABLolar LİSTESİ .....                                                         | IX                     |
| SEMBOLLER LİSTESİ.....                                                         | X                      |
| 1. GİRİŞ .....                                                                 | 1                      |
| 1.1.    Literatür Taraması.....                                                | 4                      |
| 1.2.    Enerji ve Türkiye’de Enerji Durumu .....                               | 11                     |
| 1.2.1.    Enerjinin Tanımı .....                                               | 11                     |
| 1.2.2.    Enerjinin Önemi .....                                                | 11                     |
| 1.2.3.    Enerji Verimliliği .....                                             | 12                     |
| 1.2.3.1.    Neden Enerji Verimliliği .....                                     | 13                     |
| 1.2.3.2.    Binalarda Enerji Verimliliği Sağlamayı Zorunlu Kılan Nedenler..... | 14                     |
| 1.2.4.    Enerji Kaynakları .....                                              | 15                     |
| 1.2.4.1.    Yeraltı ve Yerüstü Olup Olmayışlarına Göre .....                   | 15                     |
| 1.2.4.2.    Kullanışlarının Yeni ve Eski Oluşlarına Göre.....                  | 15                     |
| 1.2.5.    Türkiye’de Enerji Durumu .....                                       | 16                     |
| 1.2.5.1.    Türkiye’nin Enerji Üretim ve Tüketimi .....                        | 21                     |
| 1.2.5.2.    Türkiye’nin Enerji Kaynakları ve Enerji Dış Alımı .....            | 23                     |
| 1.2.5.3.    Türkiye’de Konutsal Enerji Tüketimi .....                          | 24                     |
| 2. MATERYAL ve METOD.....                                                      | 26                     |
| 2.1.    Yalıtım Nedir .....                                                    | 26                     |
| 2.2.    Yalıtımın Faydaları .....                                              | 27                     |
| 2.2.1.    Yalıtımın Enerji Tasarrufuna Etkisi .....                            | 30                     |
| 2.2.2.    Yalıtımın Hava Kirliliğine Etkisi .....                              | 31                     |
| 2.2.3.    Yalıtımın Isıl Konfora Etkisi.....                                   | 32                     |
| 2.3.    Yalıtım Türleri .....                                                  | 32                     |
| 2.3.1.    Isı Yalıtımı.....                                                    | 33                     |
| 2.3.2.    Isı Yalıtımının Amacı.....                                           | 35                     |

|          |                                                                          |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.3.   | Isı Yalıtımının Türkiye’deki Gelişimi ve Uygulamaları .....              | 35 |
| 2.3.4.   | Isı Yalıtım Malzemeleri .....                                            | 38 |
| 2.3.4.1. | Cam Yünü.....                                                            | 38 |
| 2.3.4.2. | Taş Yünü .....                                                           | 38 |
| 2.3.4.3. | Ekstrude Polistren Köpük (XPS).....                                      | 38 |
| 2.3.4.4. | Ekspande Polistren Köpük (EPS).....                                      | 39 |
| 2.3.4.5. | Poliüretan.....                                                          | 39 |
| 2.3.4.6. | Odun Talaşı Levhalar .....                                               | 39 |
| 2.3.4.7. | Cam Köpüğü.....                                                          | 39 |
| 2.4.     | Isı Yalıtım Uygulamaları .....                                           | 39 |
| 2.4.1.   | Dıştan Yalıtım .....                                                     | 40 |
| 2.4.2.   | İçten Yalıtım.....                                                       | 41 |
| 2.4.3.   | Ortadan Yalıtım (Sandviç Duvar) .....                                    | 42 |
| 2.5.     | Dolgu Duvar Malzemeleri .....                                            | 43 |
| 2.5.1.   | Gazbeton.....                                                            | 43 |
| 2.5.2.   | Tuğla.....                                                               | 46 |
| 2.6.     | Elazığ İli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Tespiti Yöntemi.....        | 49 |
| 2.6.1.   | Yıllık Isı Enerjisi .....                                                | 49 |
| 2.6.2.   | Ekonomik Analiz Yöntemi .....                                            | 51 |
| 2.6.3.   | En İyi Yalıtım Kalınlığının Tespiti .....                                | 52 |
| 2.6.4.   | Geri Ödeme Süresinin Tespiti .....                                       | 54 |
| 2.7.     | Elazığ İli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Tespiti Hesaplamaları ..... | 55 |
| 2.7.1.   | Duvar Tipi, Yalıtım Malzemesi ve Yakıt Türlerinin Seçimi .....           | 55 |
| 2.7.1.1. | Duvar Tiplerinin Seçimi .....                                            | 56 |
| 2.7.1.2. | Yalıtım Malzemelerinin Seçimi .....                                      | 59 |
| 2.7.1.3. | Yakıt Türlerinin Seçimi .....                                            | 60 |
| 2.7.2.   | Hesaplamalar.....                                                        | 60 |
| 2.7.2.1. | Duvarın Isı Geçirgenlik Katsayısının Hesaplanması.....                   | 60 |
| 2.7.2.2. | Şimdiki Değer Faktörünün Hesaplanması .....                              | 61 |
| 2.7.2.3. | En İyi Yalıtım Kalınlığının Hesabı.....                                  | 62 |
| 2.7.2.4. | Yatırım Maliyeti Hesabı .....                                            | 62 |
| 2.7.2.5. | Yıllık Toplam Isıtma Maliyeti Kazancı Hesabı.....                        | 62 |
| 2.7.2.6. | Geri Ödeme Süresi Hesabı .....                                           | 62 |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 3. BULGULAR.....              | 63 |
| 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA ..... | 83 |
| 5. ÖNERİLER.....              | 85 |
| KAYNAKLAR.....                | 86 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                 | 92 |

## ÖZET

Yalıtımın bina dış duvarlarına uygulanması hususunda maliyetleri arttıracak yönünde bir düşünce söz konusudur. Fakat yapılan hesaplamalar bunun doğru olmadığını göstermektedir. Bina dış duvarlarında ısı kaybını azaltmak için yapılan yalıtımın kalınlığı ile yakıt tüketimi, dolayısıyla işletme giderleri azalmaktadır. Buna karşılık yatırım maliyet giderleri artmaktadır. Bir binada kullanılan yalıtım malzemesi miktarının arttırılmasıyla birlikte yalıtım masrafları artar ancak bununla birlikte ısıtma ve soğutmada harcanan enerji maliyeti de azalır. TS 825'e göre Türkiye'de toplam 4 farklı Derece-Gün (DD) bölgesi mevcuttur ve bu bölgelerdeki binalarda ısınma için gerekli olan ısı yükleri farklılıklar göstermektedir. Farklı Derece-Gün (DD) bölgeleri arasında, maliyetlere dayalı optimum yalıtım kalınlıklarını tespit etmeye yarayan bir yöntem ihtiyacı duyulmaktadır. Bu yöntem ömür maliyet analiz yöntemidir (LCCA). Bu çalışmada, üç farklı yalıtım malzemesi, üç farklı enerji kaynağı ve üç farklı duvar tipi kullanılarak Elazığ ili için optimum izolasyon kalınlığı, tasarrufun mali karşılığı, yalıtım yatırım tutarı ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu, maliyet analizi.

## **SUMMARY**

### **Determination Of Optimum Insulation Thickness For Different Wall Types Are Used In Elazig, And Cost Analysis**

Application of insulation to the outer walls of the building leads to a thought to increase costs. However, calculations show that this is not true. Fuel consumption and operating expenses decrease with the thickness of insulation to reduce heat loss through exterior walls of building. On the other hand increasing the investment cost expenses. Increases costs by increasing the amount of insulation material used in building insulation, but it also decreases the cost of heating and cooling energy consumption. According to TS 825 there are 4 different degree-days (DD) in Turkey and heat loads in these regions show differences that are required for heating buildings. Degree-days between the different regions, based on the costs of a method is needed that can help find the optimum insulation thickness. This method is a method of life cycle cost analysis (LCCA). In this study, three different insulating materials, three different type of energy source and three type of wall used, and then optimum insulation thickness, the cost of energy saving, insulation cost and payback periods were calculated for the province of Elazig.

**Key Words:** Optimum insulation thickness, energy saving, cost analysis.

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Türkiye’de enerji tüketim oranları [39].....                                      | 25 |
| Şekil 2.1. Yapılarda yalıtım [42]. ....                                                      | 27 |
| Şekil 2.2. Binalarda ısı kayıpları [47].....                                                 | 29 |
| Şekil 2.3. Yalıtımlı ve yalıtımsız haldeki ısı kayıpları [36].....                           | 30 |
| Şekil 2.4. Yalıtımlı ve yalıtımsız haldeki emisyon miktarları [36]. ....                     | 31 |
| Şekil 2.5. Dıştan yalıtılmış bir duvarın yalıtım detaylarının perspektif görünümü [42]. .... | 41 |
| Şekil 2.6. İçten yalıtılmış bir dış duvarın yalıtımına ait perspektif [42].....              | 42 |
| Şekil 2.7. Gazbeton duvar bloğu .....                                                        | 43 |
| Şekil 2.8. Yatay delikli tuğla .....                                                         | 48 |
| Şekil 2.9. Dıştan yalıtımlı tuğla duvar (D-1).....                                           | 56 |
| Şekil 2.10. Ortadan yalıtımlı sandviç duvar (D-2) .....                                      | 57 |
| Şekil 2.11. Dıştan yalıtımlı gazbeton duvar (D-3).....                                       | 58 |
| Şekil 3.1. D-1 duvar tipi için en iyi yalıtım kalınlığı.....                                 | 69 |
| Şekil 3.2. D-2 duvar tipi için en iyi yalıtım kalınlığı.....                                 | 70 |
| Şekil 3.3. D-3 duvar tipi için en iyi yalıtım kalınlığı.....                                 | 70 |
| Şekil 3.4. D-1 duvar tipi için yalıtım maliyeti.....                                         | 71 |
| Şekil 3.5. D-2 duvar tipi için yalıtım maliyeti.....                                         | 72 |
| Şekil 3.6. D-3 duvar tipi için yalıtım maliyeti.....                                         | 72 |
| Şekil 3.7. D-1 duvar tipi için yıllık kazanç.....                                            | 73 |
| Şekil 3.8. D-2 duvar tipi için yıllık kazanç.....                                            | 74 |
| Şekil 3.9. D-3 duvar tipi için yıllık kazanç.....                                            | 74 |
| Şekil 3.10. D-1 duvar tipi için yıllık net mali kazanç.....                                  | 75 |
| Şekil 3.11. D-2 duvar tipi için yıllık net mali kazanç.....                                  | 76 |
| Şekil 3.12. D-3 duvar tipi için yıllık net mali kazanç.....                                  | 76 |
| Şekil 3.13. D-1 duvar tipi için enerji tasarrufu .....                                       | 77 |
| Şekil 3.14. D-2 duvar tipi için enerji tasarrufu .....                                       | 78 |
| Şekil 3.15. D-3 duvar tipi için enerji tasarrufu .....                                       | 78 |
| Şekil 3.16. D-1 duvar tipi için geri ödeme süresi .....                                      | 79 |
| Şekil 3.17. D-2 duvar tipi için geri ödeme süresi .....                                      | 80 |
| Şekil 3.18. D-3 duvar tipi için geri ödeme süresi .....                                      | 80 |

## TABLÖLAR LİSTESİ

### **Sayfa No**

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 1.1. Farklı bölgelerdeki ülkelerin enerji tüketim değerleri [37].                     | 20 |
| Tablo 1.2. Türkiye yerli birincil enerji üretim hedefleri [38].                             | 21 |
| Tablo 2.1. Isı yalıtım malzemesi tüketimi değerleri [37].                                   | 37 |
| Tablo 2.2. Gazbetonun mekanik özellikleri [55].                                             | 44 |
| Tablo 2.3. Gazbetonun birim hacim ağırlığı ve ısı iletkenlik değeri arasındaki ilişki [58]. | 46 |
| Tablo 2.4. Dış duvar malzemelerinin fiziksel özellikleri [65].                              | 59 |
| Tablo 2.5. Yalıtım malzemelerinin özellikleri                                               | 59 |
| Tablo 2.6. Yakıt türlerine ait özellikler                                                   | 60 |
| Tablo 3.1. D-1 ve Elektrik için hesaplanan değerler                                         | 63 |
| Tablo 3.2. D-2 ve Elektrik için hesaplanan değerler                                         | 64 |
| Tablo 3.3. D-3 ve Elektrik için hesaplanan değerler                                         | 64 |
| Tablo 3.4. D-1 ve Kömür için hesaplanan değerler                                            | 65 |
| Tablo 3.5. D-2 ve Kömür için hesaplanan değerler                                            | 66 |
| Tablo 3.6. D-3 ve Kömür için hesaplanan değerler                                            | 66 |
| Tablo 3.7. D-1 ve Doğalgaz için hesaplanan değerler                                         | 67 |
| Tablo 3.8. D-2 ve Doğalgaz için hesaplanan değerler                                         | 68 |
| Tablo 3.9. D-3 ve Doğalgaz için hesaplanan değerler                                         | 68 |

## SEMBOLLER LİSTESİ

|           |                                               |
|-----------|-----------------------------------------------|
| $C_A$     | : Yıllık enerji maliyeti (yalıtımsız)         |
| $C_{Ain}$ | : Yıllık enerji maliyeti (yalıtlımlı)         |
| $C_{At}$  | : Yıllık toplam enerji maliyet kazancı        |
| $C_f$     | : Yakıt maliyeti                              |
| $C_i$     | : Yalıtım malzemesi maliyeti                  |
| $C_{in}$  | : Yalıtım maliyeti                            |
| $C_T$     | : Toplam ısıtma maliyeti (yalıtımsız)         |
| $C_{Tin}$ | : Toplam ısıtma maliyeti (yalıtlımlı)         |
| $DD$      | : Derece gün sayısı                           |
| $E_A$     | : Yıllık ısıtma maliyeti                      |
| $g$       | : Enflasyon oranı                             |
| $Hu$      | : Yakıtın alt ısı değeri                      |
| $i$       | : Faiz oranı                                  |
| $k$       | : Isı iletim katsayısı                        |
| $N$       | : Çalışma ömrü                                |
| $PP$      | : Geri ödeme süresi                           |
| $PWF$     | : Peşin değer faktörü                         |
| $q$       | : Birim alandan olan ısı kaybı                |
| $q_A$     | : Yıllık ısı kaybı                            |
| $r$       | : Reel faiz oranı                             |
| $R$       | : Isı iletkenlik direnci                      |
| $R_i$     | : İç yüzey iletim direnci                     |
| $R_{in}$  | : Yalıtım malzemesi iletim direnci            |
| $R_o$     | : Dış yüzey iletim direnci                    |
| $R_w$     | : Duvar iletim direnci                        |
| $R_{wt}$  | : Toplam duvar iletim direnci (yalıtım hariç) |
| $S_{Ain}$ | : Yıllık enerji tasarrufu                     |
| $TEP$     | : Ton eşdeğer petrol                          |
| $U$       | : Isı taşınım katsayısı                       |
| $x$       | : Yalıtım kalınlığı                           |
| $x_{opt}$ | : Optimum yalıtım kalınlığı                   |

$\eta$  : Isıtma sistemi verimi  
 $\mu$  : Buhar difüzyon direnç faktörü

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde giderek artan sanayileşme ve bireylerin daha iyi yaşam istekleri günümüzde enerji tüketimini önemli ölçüde arttırmaktadır. Bu artan enerji ihtiyacının karşılanmasında fosil yakıtlar öncelikli olarak kullanılmaktadır. Ancak bu yakıtların kullanılması sırasında karşımıza iki büyük sorun çıkmaktadır; bunlardan biri, bu yakıtların yakın bir gelecekte tükenme olasılığıdır, ikinci sorun ise, sanayiinin belirli yörelerde yoğunlaşması sonucunda büyük oranda fosil yakıtların kullanımının çevre kirliliğini arttırmasıdır. Enerji konusundaki bu önemli sorunların aşılabilmesi için yapılması gerekenler; yeni enerji kaynaklarının araştırılması, mevcut kaynakların yeni kullanım alanlarının geliştirilmesi ve mevcut kaynakları verimli bir şekilde kullanılması şeklindedir.

Enerji giderlerinin önemli bir bölümünün bina sektöründe gerçekleştirildiği ülkemizde, enerji verimliliği çözüm geliştirilmesi gereken en önemli konulardan biridir. Avrupa Birliğine katılmayı hedefleyen ülkemiz, teknolojik ve sosyo-ekonomik açıdan gelişmiş ülkelerin seviyesine ulaşmak için yoğun bir çaba harcamakta, bu çabada en önemli engellerden biri de enerji tüketimindeki açık olmaktadır. Ülkemizde nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme gibi olgular enerji tüketimini geçmişe göre hızla arttırmaktadır. Ancak, ülkemizde verimlilik kavramına yeterince önem verilmediğinden, enerjinin verimli kullanılmaması bir yandan enerji israfına ve ithalata yol açmakta diğer taraftan da çevre kirliliğine neden olmaktadır.

Enerji tasarrufu yapılmadığı ve enerji kullanımında verimlilik konusunda yeterli uygulamalar geliştirilmediği takdirde ülkemizde ekonomi ve çevre sorunlarının yoğun olarak yaşanacağı açıktır.

Mevcut binalarımızda ısıtma ve soğutmada kullanılan enerji tüketimi oldukça yüksektir. Burada harcanan enerjinin, bina dizaynına pasif ısıtma ve soğutma elemanlarının entegre edilerek minimum seviyeye çekilebileceği gibi bina duvarlarının en uygun yalıtım malzemesi kullanılarak yalıtılması da başka bir tasarruf yöntemi olup enerji verimliliği konusunda yapılması gereken hususlardan bir tanesidir.

Yapılara uygulanan ısı yalıtımı; ısıtma için kullanılan yakıt tüketimin azaltılması, yazın soğutma giderlerinin azalması, ısı konforun sağlanması, yapıların ömrünün uzaması, çevre kirliliğinin azalması ve en önemlisi sağlıklı yaşam alanları yaratması, gibi avantajlar sağlamaktadır.

Bir binanın ana görevi, içerisinde yaşayanların sağlıklı bir hayat sürdürebilmeleri için gerekli olan iç ortam şartlarını sağlamaktır. Bu şartlardan en önemlisi ısı konfordur. Binalarda ısı konforun sağlanmasında ısıtma ve soğutma amacıyla kullanılan enerjinin çoğu kömür, petrol, doğalgaz, LPG gibi geri dönüşümü olmayan maddelerin tüketilmesiyle elde edilmektedir. Mevcut fosil yakıtların gün geçtikçe azalması ve aşırı kullanılması sonucu doğal dengenin bozulması ve oluşan çevre kirliliği dünyanın karşı karşıya kaldığı en büyük problemlerdendir [1]. Bu problemlerin çözümü için ısıtma enerjisi harcamalarının minimum düzeye indirilmesi, ısı kayıplarının azaltılması ve dolayısıyla ısı yalıtımı kullanımı gerekli olmaktadır [2].

Ülkelerin en önemli sorunlarından biri enerji tüketimidir. Enerji tüketimine karşın enerji üretiminin az olması ve aynı zamanda enerji tüketiminin neden olduğu çevre kirliliği, enerjinin korunumunu zorunlu hale getirmiştir. Enerjinin korunumu, birçok yolla sağlanabileceği gibi binalarda enerji tüketimini azaltarak ta sağlanabilir. Bunu sağlamanın yollarından biri de dış duvarlara optimum yalıtım kalınlığını uygulamaktır. Türkiye gibi enerji üretim ve tüketim oranları arasında büyük fark olan ülkeler için enerjinin etkili bir biçimde kullanılması çok önemlidir [3].

Dünyada enerji tüketimi son 25 yılda kişi başına sadece % 5 kadar artmış olup, Türkiye’de son 25 yıldaki artış oranı % 100 rakamının üzerindedir. Türkiye’de enerji üretimi resmi rakamlara göre 1990 yılında toplam ihtiyacının % 50 kadarını karşılarken; günümüzde sadece % 30’unu karşılayabilmektedir. Ülkemizde enerji tüketiminin ortalama % 41’i konutlarda, % 33’ü sanayide, % 20’si ulaşımda, % 5’i tarımda ve % 1’i de diğer alanlarda kullanılmaktadır. Tüketilen tüm bu enerjinin yaklaşık % 85’i ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Görülüyor ki enerji kullanımının en yoğun olduğu yerler konutlardır. Bu nedenle ısıtmanın gerekli olduğu dönemlerde ısı kayıplarının minimize edilmesi konutlarda ısı yalıtımının kullanılarak enerji tasarrufunun gerçekleştirilmesi ile mümkündür [4].

Türkiye için tüketim miktarlarımız, Avrupa ve Amerika ile karşılaştırıldığında bu konuda oldukça geride olduğumuz ve bu sorumluluğu ulus olarak sahiplenmemiz gerektiği ortaya çıkmaktadır. Örneğin aynı metrekareye sahip Türkiye'deki bir konut, daha kuzey enlemlerde yer alan Almanya'daki ya da Amerika'daki bir konut ile karşılaştırıldığında 2.5–3 kat daha fazla enerji tüketiminin olduğu görülmektedir. Almanya'da 100 m<sup>2</sup>'lik bir konutun kışlık yakıt tüketimi 280 m<sup>3</sup> doğalgaz iken, ülkemizde 1800 m<sup>3</sup> doğalgazdır. Bu karşılaştırmalardan da görebileceğimiz gibi, konutlarımızda çok daha az enerji tüketerek konfor şartlarını sağlamamız mümkün iken, bize gerekli enerji miktarının yaklaşık 5 katını israf etmekteyiz. Aynı şey yazın soğutma giderlerimizi de kontrol edemememize yol açmakta ve çok fazla elektrik tüketimine neden olmaktadır [5].

Binaların uzun yıllar boyunca değerini koruması ancak, yapıların iyi tasarlanıp ve iç ve dış etkenlerden doğru biçimde korunmasıyla gerçekleşebilir. Yapıların iç ve dış etkenlerden doğru biçimde korunması; yalıtım ile sağlanabilir. Yalıtım sistemlerinin esas amacı; yapı bileşenleri ve taşıyıcı sistemi dış etkenlerden koruyarak; kullanım amacına uygun sağlık ve konfor şartlarının yapı içerisinde hüküm sürmesini sağlamaktır. Bina içerisinde konforlu yaşam koşullarının oluşturulması insan sağlığı için ne kadar önemli ise yapının dış etkenlere karşı korunması da; içerisinde yaşadığımız, sağlam ve uzun ömürlü olmasını beklediğimiz yapılar için aynı öneme sahiptir.

Isı yalıtımı yaparak binaların ömrünü uzatmak, kullanıcılara sağlıklı, konforlu mekânlar sunmak ve bina kullanım aşamasında ısıtma ve soğutma giderlerinde büyük kazanım sağlamak mümkündür. Binaların ısıtılması amacıyla büyük oranda fosil yakıtlar kullanılır. Fosil yakıtların yakılması sonucu yanma ürünü olarak açığa çıkan gazlar, hava kirliliğine ve küresel ısınmaya neden olur. Isı yalıtımı uygulamaları ile konfor koşullarının oluşturulmasında kullanılan enerji miktarının azalması, küresel ısınma ve hava kirliliğinin artmasını önler. Yapılarda kurallara uygun şekilde gerçekleştirilen ısı yalıtımının bireyler ve ülkeler açısından pek çok yararı vardır. Bunların en önemlisi ısı yalıtımının enerji tasarrufuna olan katkısıdır [6].

Binalarımızda ısı kayıpları her yönden olmaktadır. Dört katlı bir binayı incelediğimizde ısı kayıplarının yaklaşık % 25'i çatıdan, % 60'ı duvarlardan, % 15'i de döşemeden kaçmaktadır. Binalarda kat yüksekliğinin artması, duvar yüzey alanını büyüteceğinden, duvardan kayıpları oran olarak arttırmaktadır.

TS825'in yeni projelerde uygulanmaya başlanması, faydalarının yalıtımsız binalarda yaşayan kişilerin sıkıntı çektikleri konulara çözüm olduğunun görülmesi, ısı yalıtımının da kendisini 3 ila 4 sene içinde amorti edeceğinin bilinmesi yaşanan konutlardaki yalıtım taleplerini her geçen gün arttırmaktadır [7].

### 1.1. Literatür Taraması

Bina duvarlarındaki ısı kayıplarının temel konularından olan, optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesiyle ilgili literatürde ulusal ve uluslararası birçok yayın bulunmaktadır. Aralarında Elazığ'ın da bulunduğu ülkemizde birçok il için optimum yalıtım kalınlığıyla ilgili çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmaların çoğunda derece gün yöntemi ve ömür maliyet analizi başta olmak üzere sayısal yöntemler kullanılmıştır. Binalardaki ısı kayıplarının tespiti ve bu kayıpların minimum seviyeye indirgenmesi için yapılan optimum yalıtım kalınlığına ait ömür maliyet analizi yöntemi kullanılarak çalışmalarımız bu yönde gelişecektir.

Aytaç ve Aksoy [3] beş farklı türden yakıt için (kömür, doğalgaz, fuel-oil, LPG, elektrik) ve iki farklı türden yalıtım malzemesi için (genleştirilmiş polistren, taş yünü) Elazığ iline ait optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamışlardır. Bu hesaplamalar dıştan yalıtımlı duvar ve sandviç duvar olmak üzere iki farklı türden duvar modeli üzerinde yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda en iyi sonucun, yakıt olarak kömür ve yalıtım malzemesi olarak genleştirilmiş polistren kullanıldığında elde edildiğini tespit etmişlerdir. Dıştan yalıtımlı bir binada, geri dönüşüm süresini 4.6 yıl ve enerji tasarrufunu yılda 16.359 \$/m<sup>2</sup> olarak elde ederlerken sandviç duvarda ise bu değerleri, 4.2 yıl ve 20.188 \$/m<sup>2</sup> elde etmişlerdir.

Ekici vd. [8] Türkiye'de dört farklı iklim bölgesinde yer alan Antalya, İstanbul, Elazığ ve Kayseri illerine ait optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamak için, bina dış duvarlarında üç farklı türden yapı malzemesine sahip duvar tipi (taş, yatay delikli tuğla ve gazbeton) kullanmışlardır. Beş farklı yakıtın (kömür, doğalgaz, fuel-oil, LPG ve elektrik) kullanıldığı hesaplamalarda, yalıtım malzemesi olarak Fiberglas, EPS, XPS ve Poliüretan köpük kullanmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda optimum yalıtım kalınlıklarının 0.2 cm ve 18.6 cm arasında olduğunu göstermişlerdir. Bu aralıktaki yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak seçilen yalıtım malzemelerine ait enerji tasarrufu 0.038 \$/m<sup>2</sup> ve 250.415 \$/m<sup>2</sup> aralığındayken geri ödeme süreleri ise 0.714 ve 9.104 yıl aralığında değişim gösterdiğini elde etmişlerdir.

Çomaklı ve Yüksel [9] Türkiye'nin en soğuk iklim bölgesinde yer alan şehirlerinden Erzurum, Kars ve Erzincan için optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamışlardır. Yakıt türü olarak kömür ve yalıtım malzemesi olarak strafor kullanılmış 10 yıllık ömür süresi için optimum yalıtım kalınlıklarını Erzurum, Kars ve Erzincan için sırasıyla 0.1049 m, 0.1074 m ve 0.0851 m elde etmişlerdir. Benzer şekilde yıllık tasarruf ise sırasıyla 12.14 \$/m<sup>2</sup>, 12.72 \$/m<sup>2</sup> ve 7.99 \$/m<sup>2</sup> ve geri ödeme sürelerini 1.46 yıl, 1.45 yıl ve 1.58 yıl olarak hesaplamışlardır.

Bolattürk [10] Türkiye'de 4 farklı iklim bölgesinden 16 şehir için optimum yalıtım kalınlığını ömür maliyet analizi kullanarak hesaplamıştır. Kömür, doğalgaz, fuel-oil, LPG ve elektrik olmak üzere 5 farklı yakıt türüne bağlı olarak, farklı şehirler için polistren yalıtım malzemesi kullanarak; optimum yalıtım kalınlığının 2 cm ve 17 cm arasında, enerji tasarrufunun % 22 ve % 79 arasında ve geri ödeme sürelerinin 1.3 yıl ve 4.5 yıl arasında değiştiğini göstermiştir.

Dombaycı vd. [11] Denizli ili için optimum yalıtım kalınlığını ömür maliyet analizi (LCCA) kullanarak, sandviç duvar tipi üzerinde yalıtım malzemesi olarak EPS ve Taş Yünü seçerek kömür, doğalgaz, fue-loil, LPG ve elektrik olmak üzere 5 farklı türden enerji kaynağına bağlı olarak hesaplamışlardır. Yakıt olarak kömür ve yalıtım malzemesi olarak ta EPS seçerek hesapladıkları optimum yalıtım kalınlığı için yıllık kazanç ve geri ödeme süresini sırasıyla 14.09 \$/m<sup>2</sup> ve 1.43 yıl olarak göstermişlerdir.

Bolattürk [12] yaptığı çalışmada Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinden seçtiği yedi şehirde (Adana, Antalya, Aydın, Hatay, İskenderun, İzmir ve Mersin) ısıtma ve soğutma yükleri için oluşan optimum yalıtım kalınlıklarını, enerji tasarruflarını ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Dış duvarda yalıtım malzemesi olarak polistiren seçmiştir. Yakıt olarak ısıtma için doğalgaz, soğutma için ise elektrik kullanmıştır. Çalışmanın ekonomik boyutunu ( $P_1 - P_2$ ) yöntemini kullanarak analiz etmiştir. Sonuçlar yalıtım malzemesine bağlı olarak soğutma yükü cinsinden optimum yalıtım kalınlıklarının 0.032 ve 0.38 m arasında, enerji tasarruflarının 8.47 ve 12.19 \$/m<sup>2</sup> arasında ve geri ödeme sürelerinin ise 3.39 ve 3.81 yıl arasında değiştiğini göstermiştir. Öte yandan, ısıtma yüküne bağlı olarak yalıtım kalınlığını 0.016 ve 0.027 m arasında, enerji tasarrufu 2.2 ve 6.6 \$/m<sup>2</sup> arasında ve geri ödeme sürelerinin de 4.15 ve 5.47 yıl arasında değiştiğini göstermiştir.

Özel ve Pıhtılı [13] farklı konumlarda duvarlara uygulanan yalıtım malzemesinin ısı kazanç ve kayıplarına etkisini sonlu farklar yöntemi ile çözümlemişlerdir. Kalınlığı 6 cm olan yalıtım malzemesini duvara 5 farklı şekilde konumlandırarak yaz ve kış şartlarında, hem ısı kazancı hem de ısı kaybı açısından en iyi konumlandırma durumunun üç parça yalıtımın konumlandırma durumu olduğunu tespit etmişlerdir. Üç parça yalıtımın konumlandırma durumu; birbirine eşit üç parça yalıtımın içte, ortada ve dışta olması durumudur. İkinci olarak da iyi bir durumun, iki parça yalıtımın konumlandırma durumu olan birbirine eşit iki parça yalıtımın yarısı dış yüzeyde diğer yarısı ise ortada yerleştirilmesi halinde elde edildiğini göstermişlerdir. En kötü durumların ise yalıtımın bir bütün olarak, ortada ve iç yüzeyde yerleştirilmesi durumunda elde edildiğini göstermişlerdir. Ayrıca, yalıtımı bir bütün olarak dış yüzeyde yerleştirme durumunun ortada ve iç yüzeyde yerleştirme durumuna göre daha iyi olduğunu da göstermişlerdir.

Özel ve Pıhtılı [14] duvar yönünün yalıtım kalınlığına etkisini inceleyip özellikle dıştan yalıtımlı duvarlardaki bina yönünün yalıtım kalınlıklarına olan etkisini ısı kazanç ve kaybı açısından üç il için detaylı olarak araştırmışlardır. Güneşin simetrik hareketinden dolayı ısı akısı grafiklerinde aynı değişimi gösteren duvarların ısı kazanç ve kayıpları, güneşe bakan duvarlarından fazla olduğu için bu yöndeki duvarlara (doğu ve batı) daha kalın yalıtım malzemesi yerleştirmek gerektiği ve bu durumun özellikle doğu ve batı cephelerinin geniş olduğu binalarda oldukça kazanç getireceği sonucuna varmışlardır.

Özel [15] bina duvarlarında EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında Elazığ ili için optimum yalıtım kalınlığını, enerji tasarrufunu ve geri ödeme süresini üç farklı türden yakıt için dinamik yaklaşım metodu (implicit sonlu farklar metodunu) ile hesaplamıştır. Sonuç olarak doğal gaz, ithal kömür ve fuel-oil için optimum yalıtım kalınlıklarını sırasıyla 0.04 m, 0.045 m ve 0.075 m olarak elde etmiştir. Yıllık tasarrufu ise sırasıyla 21.98 YTL/m<sup>2</sup>, 24.91 YTL/m<sup>2</sup> ve 71.15 YTL/m<sup>2</sup> olarak elde etmiştir. Geri ödeme sürelerini ise sırasıyla 1.89 yıl, 1.83 yıl ve 1.47 yıl olarak hesaplamıştır.

Özel ve Duranay [16] bilgisayar programı kullanarak, farklı yönlere bakan bina duvarlarında duvar kalınlığı ile yalıtım kalınlığı arasındaki ilişkiyi ısı yük seviyesi açısından matematiksel olarak incelemişlerdir.

Farklı yönlerde bakan tuğla duvarın dış yüzeyinden, iç yüzeyinden ve ortasından itibaren artan yalıtım oranlarına göre ısı yük seviye parametrelerinin değişimlerini sırasıyla inceleyerek, oldukça düşük yalıtım oranlarında ısı yük seviye parametresi üzerinde, yalıtım malzemelerinin ısı depolama kapasiteleri değil, sadece ısı iletkenlik katsayılarının etkin olduğu göstermişlerdir. Yani oldukça düşük yalıtım oranlarında minimum ısı yük seviye parametresi için minimum ısı iletkenlik katsayısı gereklidir. Yalıtım oranı arttıkça ısı iletkenliğinin yanı sıra ısı depolamanın da etkili olduğu, dolayısıyla yalıtım malzemelerinin ısı yayılım katsayılarının etkili olduğunu göstermişlerdir. Özellikle ısı iletim katsayısı ve ısı depolama kapasitesi düşük olan yalıtım malzemelerinin düşük yalıtım oranlarında kullanılması halinde daha iyi bir performans gösterdikleri, yalıtım oranları arttıkça durumun kötüleştiğini göstermişlerdir. Isı iletim katsayısı düşük, ısı depolama kapasitesi yüksek olan yalıtım malzemelerinin ise yalıtım oranları arttıkça yük seviyesi açısından daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca yalıtımın dış yüzeyde olması iç yüzeyde ve ortada olmasından maksimum ısı yük seviyesi açısından daha iyi olduğunu da göstermişlerdir.

Gölcü vd. [17] ısıtmada iki farklı türden enerji kaynağı (İthal kömür ve fuel-oil) ve yalıtım malzemesi olarak da taş yünü kullanılarak Denizli iline ait bina dış duvarlarında optimum yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır. Hesaplamalarda ömür maliyet analizi (LCCA) kullanmışlardır. İthal kömür ve fuel-oil kullanıldığında 10 yıllık ömür süresi için optimum yalıtım kalınlıklarını sırasıyla 0.048 m ve 0.082 m elde etmişlerdir. Benzer şekilde yıllık tasarruf ise sırasıyla 12 YTL/m<sup>2</sup> ve 38.91 YTL/m<sup>2</sup> ve geri ödeme sürelerini 2.4 yıl ve 1.6 yıl olarak hesaplamışlardır.

Kaynaklı [18] ömür maliyet analizi kullanarak farklı yalıtım malzemeleri için (camyünü, polistren, taş yünü) Bursa iline ait optimum yalıtım kalınlığını hesaplamıştır. Sonuç olarak Bursa ili için optimum yalıtım kalınlığının farklı yakıt türlerine (LPG, elektrik, fuel-oil, kömür, doğalgaz) bağlı olarak 5.3 cm ve 12.4 cm arasında değiştiğini belirlemiştir.

Ağra vd. [19] İstanbul iline ait optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi için yaptıkları çalışmada ömür maliyet analizi yöntemi kullanarak dıştan yalıtımlı bir duvar modelinde altı farklı yakıt türü (Soma kömür, doğalgaz, ithal kömür, LPG, fuel-oil, motorin) ve iki farklı yalıtım malzemesi (ekstrüdepolistren ve taş yünü) kullanarak optimum yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır.

İstanbul ilinin büyük bir kısmında kullanılan doğalgaz yakıtı için geri ödeme süresini ekstrüdepolistren yalıtım malzemesi için 1.62 yıl, taş yünü için 1.60 yıl olarak tespit etmişlerdir. Optimum yalıtım kalınlığı doğalgaz kullanılması durumunda ekstrüdepolistren yalıtım malzemesi için 6 cm, taş yünü için 8 cm olarak tespit etmişlerdir. İthal kömür için de bu süreleri ekstrüdepolistren için 1.53 yıl ve taş yünü için 1.51 yıl olarak bulmuşlardır. Optimum yalıtım kalınlığını ithal kömür kullanılması durumunda ekstrüdepolistren yalıtım malzemesi için 7 cm, taş yünü için 9 cm olarak tespit etmişlerdir.

Uçar ve Balo [20] farklı iklim bölgelerinde bulunan 4 şehre (Ağrı, Aydın, Elazığ, Kocaeli) ait optimum yalıtım kalınlığını 5 farklı türden yakıt ve 4 farklı türden yalıtım malzemesi için hesaplamışlardır. Sonuç olarak optimum yalıtım kalınlığının 1.06 cm ve 7.64 cm arasında, enerji tasarrufunun 19 \$/m<sup>2</sup> ve 47 \$/m<sup>2</sup> arasında ve geri ödeme sürelerinin ise 1.8 yıl ve 3.7 yıl arasında değiştiğini elde etmişlerdir. En yüksek enerji tasarrufu değerine Ağrı ilinde LPG yakıt türü için, en düşük değere ise Aydın ilinde doğalgaz yakıt türü için ulaşıldığını elde etmişlerdir.

Aksoy ve Bektaş [21] Elazığ iline ait gerçek iklimsel verilerle Fortran programlama dilinde yazılmış olan bir bilgisayar programı kullanarak yalıtımsız, 2.5, 5, 10 ve 15 cm ısı yalıtımlı ve farklı yönlere bakan bina kabuğu alternatiflerinin ısı kayıp miktarlarını hesaplamışlardır. Sonuç olarak 2.5, 5, 10 ve 15 cm kalınlıklarında yalıtım uygulaması yapıldığında, yalıtımsız bir duvara göre tüm yönler için ortalama olarak sırasıyla % 21, % 48, % 69 ve % 78 tasarruf sağlandığını tespit etmişlerdir. Yalıtım kalınlığının artırılması ile sağlanabilecek maksimum faydanın 5-10 cm aralığında olduğunu, bu kalınlığa kadar artan tasarruf miktarının bu aralıktan sonra düşüşe geçtiğini elde etmişler.

Çay [22] Düzce iline ait optimum yalıtım kalınlığını hesaplamak için bina dış duvarlarında iki yapı malzemesi (yatay delikli tuğla ve gazbeton) kullanmıştır. Beş farklı yakıtın (kömür, doğalgaz, fuel-oil, LPG ve elektrik) kullanıldığı hesaplamalarda, yalıtım malzemesi olarak XPS (ekstrüdepolistren) kullanmıştır. Çalışmanın sonucunda, yapı malzemesi olarak yatay delikli tuğla kullanıldığında, en düşük optimum yalıtım kalınlığının 0.06 m olduğu belirlemiştir. Bu durumda enerji tasarrufunu % 52 olarak belirlerken geri ödeme süresini 1.91 yıl olarak bulmuştur. Yapı malzemesi olarak gazbeton kullanıldığında bu değerleri sırasıyla 0.05m, % 30 ve 3.39 yıl olarak hesaplamıştır.

Öztuna ve Dereli [23] çalışmalarında ömür maliyet analizi yöntemini kullanarak Edirne ilinde 6 farklı yakıt (yerli ve ithal kömür, doğalgaz, LPG, elektrik, fuel-oil) türü için bina dış duvarına genleştirilmiş polistren (EPS) ve taş yünü yalıtım malzemesi ile sandviç duvar da EPS yalıtım malzemesinin uygulanması durumlarında yapılması gereken optimum yalıtım kalınlığını derece gün sayısını esas alarak hesaplamışlardır. Bu hesaplamalarla 5 farklı duvar modelinde, 2 farklı yalıtım maddesi uygulamaları ve her bir yakıt için hesaplanan optimum yalıtım kalınlıklarının geri ödeme süreleri ile yıllık yakıt ve enerji tasarrufları belirlemişlerdir. En iyi sonuç olarak yerli kömürün yakıt, EPS yalıtım maddesinin uygulanmasında optimum yalıtım kalınlığını 0.028 ile 0.039 m aralığında, geri ödeme sürelerini 2.1 ile 4.2 yıl aralığında ve enerji tasarrufunu ise % 24 ile % 47 aralığında elde etmişlerdir.

Aslan ve Yüksel [24] çalışmalarında Gönen jeotermal bölge ısıtma sistemi ile ısıtılan ve farklı dış duvar yapısına sahip 4 ayrı bina seçerek, dış duvarlarının ısı transfer katsayılarını ve optimum yalıtım kalınlıklarını araştırmışlardır. Isı transfer katsayılarını ölçüm ve hesaplama yaparak elde etmişlerdir. Ölçülen değerler ile hesaplanan değerleri karşılaştırmışlar ve birbiriyle uygun olduğunu görmüşlerdir. Optimum yalıtım kalınlıklarını, ömür maliyet analizi yöntemine göre, jeotermal enerji ile kömür yakıtı ve yalıtım malzemesi olarak XPS ile EPS için hesaplamış, enerji tasarrufları ile geri ödeme süreleri belirlemişlerdir. Sonuç olarak, optimum yalıtım kalınlıklarının 0.026 ile 0.122 m arasında değiştiğini, maksimum yıllık tasarrufun 21.37 \$/m<sup>2</sup> ve en kısa geri ödeme süresini ise 1.67 yıl olarak elde etmişlerdir.

Gürel ve Cingiz [25] yaptıkları çalışmada yatay delikli tuğla duvar ve gazbeton duvar kullanmışlardır. Kullandıkları duvar modellerindeki yalıtım şekilleri ise dıştan yalıtım ve sandviç yalıtım olmak üzeredir. Çalışmada söz konusu duvarlardan gerçekleşen ısı kaybını mevcut hesaplamalar yoluyla belirlemiş ve ömür maliyet analizine göre (LCCA) optimum ısı yalıtım kalınlıklarının 0.033 ile 0.132 m aralığında, geri ödeme sürelerinin 1.31 ile 4.5 yıl aralığında ve enerji tasarruflarının ise 6.41 ile 189.7 TL/m<sup>2</sup> aralığında değişim gösterdiklerini hesaplamışlardır.

Balo ve Uçar [26] dört farklı il (Mersin, Kocaeli, Elazığ ve Ağrı), beş farklı yakıt türü (kömür, doğalgaz, fue-loil, LPG, elektrik) ve iki farklı yalıtım malzemesi (genleştirilmiş polistren ve poliüretan) için optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamışlardır.

Bu hesaplamaları dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar olmak üzere iki farklı duvar ve iki farklı yalıtılmış çatı modeli üzerinde yapmışlardır. Dıştan yalıtımlı bir binada, geri ödeme süresinin 1.85 ile 2.59 yıl ve enerji tasarrufunun 5.14 ile 10.22 TL/m<sup>2</sup> arasında, sandviç duvarda ise bu değerlerin, 1.75 ile 2.6 yıl ve 5.08 ile 9.01 TL/m<sup>2</sup> arasında değiştiğini bulmuşlardır. Yürünmeyen yalıtımlı bir teras çatıda 1.06 ile 2.05 yıl geri dönüşüm süresi ve yılda 8.4 ile 26.62 TL/m<sup>2</sup> arasında, yürünen yalıtımlı teras çatıda ise bu değerlerin 1.15 ile 2.24 yıl ve 8.34 ile 26.45 TL/m<sup>2</sup> tasarruf elde edildiğini hesaplamışlardır.

Balo ve Uçar [27] Sivas iline ait binalarda yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve değişik enerji kaynakları (kömür, fuel-oil, doğalgaz) kullanarak, dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlıklarını, enerji sürelerini ve geri ödeme sürelerini hesaplamışlardır. İthal kömür, fuel-oil ve doğalgaz kullanıldığında; 10 yıllık ömür süresi için optimum yalıtım kalınlıklarını sırasıyla 0.028 m, 0.026 m ve 0.048 m olarak elde etmişlerdir. Bu üç yakıt türü için yıllık tasarrufunun ise 28.5 ve 35.5 TL/m<sup>2</sup> arasında ve 10 yıllık ömür süresi için geri ödeme sürelerinin yakıt türüne bağlı olarak, 2.58 ile 2.22 yıl arasında değiştiğini hesaplamışlardır.

Özel ve Pıhtılı [28] çalışmalarında dış duvarlara uygulanan yalıtımın optimum kalınlığını ısıtma ve soğutma derece gün değerlerini birlikte ele alarak belirlemişlerdir. Hesaplamaları Adana, Elazığ, Erzurum, İstanbul ve İzmir illeri için yapmışlardır. Bu durumda dış duvarlara ekstrüdepolistren yalıtımı uygulanarak, artan yalıtım kalınlıklarına göre optimum yalıtım kalınlığını, enerji tasarrufunu ve geri ödeme süresini hesaplamışlardır. Sonuç olarak, incelenen illere göre optimum yalıtım kalınlığının 0.04 ile 0.084 m arasında değiştiğini, yıllık tasarrufun 21.94 ile 97.12 YTL/m<sup>2</sup> arasında değiştiğini ve geri ödeme süresinin ise 1.45 ile 2.05 yıl arasında değiştiğini göstermişlerdir.

Gürel ve Daşdemir [29] çalışmalarında Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinden seçilen dört şehirde (Aydın, Edirne, Malatya ve Sivas) ısıtma ve soğutma yükleri için oluşan optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tasarrufları hesaplamışlardır. Dış duvarda yalıtım malzemesi olarak XPS (sıkıştırılmış polistiren) ve EPS (genleştirilmiş polistiren) seçmişlerdir. Yakıt olarak ısıtma için doğalgaz, soğutma için ise elektrik kullanmışlardır. Çalışmanın ekonomik boyutunu ( $P_1$ -  $P_2$ ) yöntemini kullanarak analiz etmişlerdir. Sonuç olarak yalıtım malzemesi ve seçilen ile bağlı olarak optimum yalıtım kalınlıklarının 0.036 ve 0.1 m arasında, enerji tasarruflarının 12.08 ve 58.28 TL/m<sup>2</sup> arasında ve geri ödeme sürelerinin ise 1.5 ve 2.52 yıl arasında değiştiğini göstermişlerdir.

## **1.2. Enerji ve Türkiye’de Enerji Durumu**

Her canlının normal yaşamını devam ettirebilmesi için, yeterli bir iç enerjisine ihtiyacı vardır. Ülkelerde böyledir. Enerjisi az olan ülkenin dinamizmi ve gücü yoktur. Bu nedenle enerji insan yaşamının vazgeçilmezi olup geçmişte olduğu gibi günümüzde de Dünya ve Türkiye gündeminde tartışılan konuların başında gelmektedir.

### **1.2.1. Enerjin Tanımı**

Madde ve maddeler sisteminin iş yapabilme yeteneğidir. Enerji hareket sağlayan güç anlamındadır. Geçmişten günümüze bütün üretim faaliyetlerinde belli bir enerji kaynağının kullanılması zorunluluğu vardır. Bu enerji insan emeği olabileceği gibi, başka kaynaklarda olabilir [30].

Asırlar boyunca insan emeği en fazla önem taşıyan güç kaynağı olmuştur. Günümüzde mal üretiminde insan gücünden ziyade diğer enerji türlerinin önem kazandığı, insan gücünün fikir ve hizmet üretiminde daha çok kullanıldığı, önem arz ettiği bir gerçektir [31]. Toplamda 8 ana enerji çeşidi vardır. Bunlar potansiyel, kinetik, ısı, ışık, elektrik, kimyasal, nükleer ve ses enerjisidir. Unutmamamız gereken ise hiçbir enerjinin kaybolmadığıdır, başka bir enerji türüne dönüştüğüdür.

### **1.2.2. Enerjinin Önemi**

Gelişen sanayinin ihtiyacı olan makinelerin gerek imalatında gerekse kullanımında insan gücünün üstünde bir enerjiye ihtiyaç vardır [32]. Modern sanayi faaliyetleri çok miktarda hammadde ve enerji tüketmektedir. Enerjinin olmadığı bir enerji faaliyeti düşünmek mümkün değildir. Enerji sadece sanayi sektöründe değil, tarım, ulaştırma ve konut olmak üzere diğer sektörlerde de vazgeçilemez bir kaynaktır [33]. Bir milletin varlığını devam ettirebilmesi, güçlenmesi, gelişmesi ve kalkınabilmesi için sanayie, sanayinin ise enerjiye ihtiyacı vardır.

1973-1974 yıllarındaki petrol krizine kadar ülkeler enerjinin, bir ulusun kalkınması için gerekli bir faktör olduğunu göz ardı etmişlerdir. Ne var ki petrol kriziyle petrol fiyatlarının ani artışı, enerji kaynaklarının tükenebileceği ve ucuz bir kaynak olmadığının anlaşılmasını sağlamıştır. Böylece enerjiye verilen önem daha da artmıştır [34].

Sanayileşme ve toplumsal kalkınmanın insan yaşamının vazgeçilmez bir parçası haline gelmesi enerjinin önemini açıkça ortaya koymaktadır.

Enerjinin, sanayileşmenin temel faktörlerinden birisi olması, ihtiyaç duyulan enerjinin zamanında, bol ve yeterli miktarda teminini gerekli kılmaktadır.

Günümüzde ülkelerin gelişmişlik seviyesi kişi başına düşen enerji miktarı ile belirlenmektedir [35].

Modern dünyada birçok mal ve hizmetin yeni teknolojilerle üretiliyor olması daha fazla enerji tüketimine neden olmaktadır. Bu durum ülkelerin enerji konusunda daha titiz davranmalarını ve enerji sorununa acil çözümler getirmelerini gerektirmektedir.

### **1.2.3. Enerji Verimliliği**

Enerji verimliliği, binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan, birim hizmet veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Kısacası Enerji verimliliği, tüketilen enerji miktarının, üretimdeki miktar ve kaliteyi düşürmeden, ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden en aza indirilmesidir.

Isıtma, aydınlatma ve ulaşım ihtiyaçlarımızı karşılarken, elektrikli ev eşyalarımızı kullanırken, kısacası günlük yaşantımızın her safhasında enerjiyi verimli kullanmak suretiyle, ihtiyaçlarımızdan kısıtlama yapmadan aile bütçesine, ülke ekonomisine ve çevremizin korunmasına katkı sağlamamız mümkündür.

Daha geniş bir biçimde enerji verimliliği; gaz, buhar, ısı, hava ve elektrikteki enerji kayıplarını önlemek, çeşitli atıkların geri kazanımı ve değerlendirilmesi veya ileri teknoloji ile üretimi düşürmeden enerji talebini azaltması, daha verimli enerji kaynakları, gelişmiş endüstriyel süreçler, enerji geri kazanımları gibi etkinliği artırıcı önlemlerin bütünüdür.

Enerji verimliliğinde en önemli faktör enerji tasarrufudur, genellikle enerjinin az kullanılması, iki ampulden birinin söndürülmesi şeklinde algılanmakta olan enerji tasarrufu, aslında enerji atıklarının değerlendirilmesi ve mevcut enerji kayıplarının önlenmesi yoluyla tüketilen enerji miktarının, kalite ve performansı düşürmeden en aza indirilmesidir. Enerji tasarrufu iki biçimde gerçekleştirilmektedir. Birincisi, doğrudan enerji tasarruf eden ev, araba ve diğer son teknolojileri kullanmak; alışkanlıkları ve günlük davranışları enerjiyi daha verimli kullanacak biçimde düzenlemek gibi somut önlemlerden oluşmaktadır.

İkincisi ise, dolaylı enerji tasarrufu olup mevcut malların daha uzun süre kullanılmasını sağlayarak yeni malların üretimini azaltmak; enerji tüketimini minimize edecek biçimde yerleşim yerlerini düzenlemek, enerjiyi daha az tüketen teknolojiler kullanmak, ekonomide doğrudan materyal tüketiminin olmadığı etkinliklere geçiş yapmak gibi önlemlerdir.

#### **1.2.3.1. Neden Enerji Verimliliği**

- En önemli enerji kaynağı olan petrol ve kömür gibi fosil yakıtlar hızla tükeniyor.
- Enerji üretim ve tüketim süreçlerinde ortaya çıkan sera gazı emisyonları küresel ısınma ve iklim değişikliğinin en önemli nedenleri arasındadır.
- Kullandığımız enerjinin % 70'ini yurtdışından döviz ödeyerek satın alıyoruz.
- Evimizde ve ulaşımda tükettiğimiz enerjinin faturası aile bütçemizin en önemli kalemlerindendir.

Enerji faturalarımızı düşürmek ve aile ekonomisine katkıda bulunmak, ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltmak ve gelecek nesillere yaşanılabilir bir çevre bırakmak için enerjiyi verimli kullanalım. Binalarımızda alacağımız bazı önlemler ve enerji tüketim alışkanlıklarımızdaki küçük değişiklikler bizlere çok şeyler kazandıracaktır.

Enerji, hayatımızın her yönünü etkilemektedir. Enerjiyi bize ışık, ısı, ulaşım ve diğer araçlar için yakıt sağlar. Ancak bugün, enerji tedarikimizin güvenliği ve fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin, çevre üzerindeki etkisi konularını her zaman olduğundan daha fazla düşünmemiz gereken bir dönemdeyiz.

Artık hepimiz enerjinin üretim ve tüketim şeklini değiştirmeye başlamadığımız takdirde geri dönüşü olmayan bir çevre kriziyle karşı karşıya olduğumuzu anlamış bulunmaktayız bunun anlamı, gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarını çok daha fazla kullanmamız ve enerji verimliliğine daha fazla odaklanmamız gerektiğidir.

Ancak, enerjinin akıllıca kullanılması konusunda mesajın yayılması için daha işin başındayız ve yapacak çok işimiz var. Hem tüketicilerin hem de sosyal alanda söz sahibi olan kişilerin, sürdürülebilir enerji üretimi ve kullanımı konusunda ikna edilmeleri gerekmektedir.

Hedeflerimize varmak için birey, toplum, sanayi temsilcileri veya yetkili kamu kuruluşları olarak hepimizin bu çabaya katılması gerekmektedir. Enerjinin kapsamını değiştirme yolunda yapılacak olan en küçük katkı dahi önemsiz olmayacaktır.

#### **1.2.3.2. Binalarda Enerji Verimliliği Sağlamayı Zorunlu Kılan Nedenler**

Enerjinin etkin kullanımı, genel olarak, istenilen performans düzeyi, kalite ve konfor koşullarından ödün verilmeksizin, bir hizmet elde etmek için gerekli olan enerji miktarının azaltılması olarak tanımlanabilir. Enerjinin verimli kullanımı ile sağlanacak enerji tasarrufu daha ucuza elde edilebilen bir enerji kaynağıdır. Bina sektörü enerji tüketiminin önemli bir payını oluşturduğundan, bina sektöründe enerjinin verimli kullanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanmasının sağlanması, diğer sektörlerle de bir kazanç olarak yansıyacaktır. Kısa dönemde sonuçların kolaylıkla alınabileceği bir alan olan enerjinin verimli kullanımı ülkece üzerinde çözüm üretilmesi gereken bir konudur. Ayrıca bu konu enerji politikasının benimsemesi geren öncelikli bir ilke olmalıdır.

Binaların en önemli işlevlerinden biri iç çevrede ısı (termal) konfor koşullarının sağlanmasıdır. Günümüzdeki enerji sorunu göz önünde bulundurulduğunda, bina kabuğunun ısı konforu minimum enerji kullanarak sağlaması büyük bir önem taşımaktadır. Isıl konfor koşullarını sağlamak için, ısıtma gereksiniminde görülen artışa karşın; ısıtmada kullanılan enerji kaynakları (kömür, petrol vs.) azalmakta, maliyetleri artmakta, ısıtma süreci sonunda, dış havaya atılan kirleticiler insan sağlığına zarar vermektedir. Bu problemlerin çözümü için ısıtma enerjisi harcamalarının minimum düzeye indirilmesi, ısı kayıplarının azaltılması ve dolayısıyla ısı yalıtımı kullanımı gerekli olmaktadır.

Kullanıcı sağlığı düşünüldüğünde, binalarda ısı yalıtımı kullanımı ile ısı kayıplarını azaltmanın en önemli nedenlerinden birisi de enerji kökenli hava kirliliğidir. Türkiye’de enerji tüketiminden kaynaklanan SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> parçacıkları ve diğer emisyonlar bölgesel ölçekte önemli sorunlara yol açmaktadır. Özellikle kış aylarında yaşanan, insanları, ürünleri ve doğal yaşamı tehdit edici boyutlara ulaşan hava kirliliğine en büyük katkı enerji tüketiminden kaynaklanmaktadır. Avrupa’daki CO<sub>2</sub> emisyonlarının % 40’nın yapılardaki enerji tüketiminden dolayı olduğu bilinmektedir. Ülkemizde küresel ısınma ve iklim değişikliği, binaların çevre için taşıdıkları önem ya da binalarda yalıtım konusunda bilinçlenme yeterli seviyede değildir.

Ayrıca kişilerin, binalarda yalıtımı geliştirme konusunda gösterecekleri kişisel çabaların hava kirliliğini azaltmak açısından taşıyacağı önemin farkında olmadıkları da açıkça ortadadır. Bu nedenle binalarda yalıtım standartlarının yükseltilmesi için yoğun bir çaba gösterilmesi gerekmektedir.

#### **1.2.4. Enerji Kaynakları**

Enerji kaynaklarını yeraltı ve yerüstü olup olmayışlarına göre ve kullanışlarının yeni ve eski oluşlarına göre sınıflandırmamız mümkündür.

##### **1.2.4.1. Yeraltı ve Yerüstü Olup Olmayışlarına Göre**

Yeraltı enerji kaynakları; Yeraltı enerji kaynakları fosil yakıtlar olarak da adlandırılmaktadır. Fosil yakıtlar; petrol, doğalgaz, kömür ve şistler olarak sayılabilir. Ayrıca fosil yakıt olmayan yeraltı enerji kaynakları da vardır. Bunlar da uranyum toryum ve jeotermal kaynaklardır.

Yerüstü enerji kaynakları; Odun, hayvan ve bitki artıkları yerüstü enerji kaynakları olarak ifade edilmektedir.

##### **1.2.4.2. Kullanışlarının Yeni ve Eski Oluşlarına Göre**

Konvansiyonel kaynaklar: Konvansiyonel enerji kaynakları birincil enerji kaynakları, primer enerji kaynakları ya da yenilenemez enerji kaynakları olarak ta adlandırılırlar. Adından da anlaşıldığı üzere bu kaynaklar bir kez kullanılmakta ve yenilenememektedir. Birincil enerji kaynakları fosil kaynaklar olarak adlandırdığımız petrol, kömürler, doğalgaz, bitümlü şistler ve nükleer kaynaklardan (uranyum, toryum) oluşmaktadır.

Yenilenebilir kaynaklar: Beyaz kömür diye adlandırılan su gücü yani hidrolik kaynaklar, jeotermal kaynaklar, güneş, rüzgar ve dalga enerjisi, biyomas enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu durumda enerji kaynakları şu şekilde ifade edilebilir:

- Birincil enerji kaynakları

Petrol

Taşkömürü

Linyit kömürü

Elektrik

Kok-Briket

Havagazı (Şehir gazı)  
Doğalgaz  
Odun  
Tezek  
Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)

- İkincil (Sekonder) Enerji Kaynakları

Hidrojen Enerjisi  
Nükleer Enerji  
Jeotermal Enerji  
Güneş Enerjisi  
Rüzgar Enerjisi  
Biyogaz  
Denizden Elde Edilen Enerji (Gel-Git)

#### **1.2.5. Türkiye’de Enerji Durumu**

Türkiye’de kullanılan birçok enerji kaynağı vardır fakat kullanım açısından enerji kaynaklarımız farklılık gösterse de başlıca enerji kaynaklarımız şu şekildedir;

- Kömür
  1. Taşkömürü
  2. Linyit
  3. Asfaltit
  4. Bitümlü şistler
- Petrol
- Doğalgaz
- Nükleer Enerji
- Hidrolik Enerji
- Jeotermal Enerji
- Güneş Enerjisi
- Rüzgar Enerjisi

Birincil enerji kaynaklarının üretimi konusundaki gelişmelere bakıldığında; 1970’li yıllarda başlayan enerji darboğazı (1974 petrol krizi) ekonomilerin enerjiye mutlak şekilde bağlı olduğunu göstermiştir.

Bu durumdan da en çok, gerek mevcut sanayilerini çalıştırmak, gerek yeni sermaye yatırımlarını gerçekleştirmek için bol ve ucuz enerjiye gereksinim duyan sanayileşme yolundaki ülkeler ile birlikte Türkiye de etkilenmiştir. Söz konusu enerji darboğazı, gelişmiş ülkelerde yaşanan ekonomik durgunluk dönemi ile birlikte, 1984 yılına kadar sürmüştür.

1980'li yılların sonuna doğru özellikle gelişmiş ülkelerdeki sanayileşme hamleleri ile birlikte enerji talebi tüm dünyada hızla artmıştır. Buna paralel olarak yeni enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır.

Ülkemizin birincil enerji kaynakları, dünya rezervleri ile kıyaslandığında miktar ve kalite itibarıyla düşük seviyelerdedir. Buna karşın, hidrolik enerji ve linyit kömürleri, ülkemizde mevcut kaynaklar içinde büyük bir potansiyele sahiptir. Türkiye'de mevcut enerji kaynakları içinde hidrolik enerji potansiyelinin % 28'ine karşılık gelen bir kısmı kullanılırken, toplam linyit potansiyelinin ise % 34'lük kısmı kullanılmaktadır. Görüldüğü gibi ülkemiz birincil enerji kaynakları potansiyelinin yarısından oldukça az bir miktarını kullanmaktadır.

Enerji güvenilirliği açısından, dışa bağımlılığı kabul edilebilir düzeylerde tutmak amacıyla, yerli kaynaklarımız olan kömür ve hidrolik enerjiye gereken önem verilerek, elektrik üretiminin bu kaynaklardan sağlanmasına özen gösterilmeli ve verimli kullanılmalıdır. Bu durum ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını kabul edilebilir düzeylerde tutabilmek açısından olduğu kadar, sağlayabileceği istihdam olanakları açısından da önemlidir. Türkiye, AB ülkeleri ve gelişmiş ülkelere göre önemli elektrik enerjisi kayıpları problemi ile karşı karşıyadır. Ayrıca Türkiye, genel olarak enerji üretim kapasitesinin enerji talebini karşılayamaması nedeniyle enerji ithal eden bir ülke konumundadır.

Kalkınma ve nüfus artışına paralel olarak toplam enerji tüketimimizin hızla artmasına rağmen, enerji üretimimiz aynı oranda artış göstermemiştir. Bunun sonucunda da üretim ile tüketim arasındaki fark hızla büyümüştür. Türkiye'nin enerji açığının giderilmesi ve ihracat hedeflerine ulaşması için enerji politikalarının bugünden itibaren büyük bir hızla, ihtiyaçlara cevap verecek bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

Bu yüzden Türkiye’de belirlenen enerji politikası; ülke enerji ihtiyacının amaçlanan ekonomik büyümeyi gerçekleştirecek, sosyal kalkınmayı destekleyecek ve yönlendirecek şekilde, zamanında, yeterli, güvenilir, ekonomik koşullarda ve çevresel etki de göz önüne alınarak enerjinin sağlanmasıdır. Bu doğrultuda yerli kaynaklarımızın mümkün olabildiğince hızlı bir şekilde devreye girebilmesi için devlet ve özel sektör ile yabancı sermayenin enerji alanında yatırımlarının arttırılmasına dönük yoğun bir çaba harcanmaktadır. Enerji sektörüne kalkınmayı, destekleyici bir yapı ve işleyiş kazandırmak amacıyla, uygulanmakta olan politikalar önceliklerine göre beş ana başlık altında toplanabilir [36].

- Sektörün serbestleştirilmesi, enerji piyasasında rekabet ortamı yaratılarak sektör verimliliğinin arttırılması ve şeffaflığın sağlanması.
- Doğunun zengin enerji kaynaklarının batı piyasalarına taşınmasında Türkiye’nin enerji köprüsü işlevini üstlenmesi.
- Enerji talebinin karşılanmasında dışa bağımlılık oranı giderek artan ülkemizde enerji güvenliği için gerekli faaliyetlere öncelik tanınması.
- Enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ve tüketilmesinde çevre ile etkileşimin dikkate alınarak sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde faaliyet gösterilmesi.
- Çağdaş ülkeler arasında yerimizi alabilmek için enerji teknolojileri çalışmalarının yoğunlaştırılması.

Ekonomik kalkınma ile birlikte dış dengenin de sağlanması için ihracat potansiyelimizin büyük bir hızla ve üretim, yatırım, ihracat zinciri içinde artırılması hedefi ancak önemli bir girdi kaynağı olan elektrik enerjisi üretiminin zamanında ve yeterli miktarlarda temini ile mümkün olabilir. Zamanında ve yeterli miktarda elektrik enerjisinin Türkiye ekonomisine kazandırılabilmesi için; enerji temini konusundaki uzun vadeli planların, programların, milli hasıla, üretim, ihracat gibi ekonominin temel taşları olan bazı kalemlerin tahminleri ışığında belirlenebilmesi gerekmektedir. Enerji projeleri büyük finansman ve uzun yatırım süreleri gerektiren projelerdir. Doğalgaz santralleri ortalama 2-3 yıl, kömür santralleri 5-6, hidroelektrik santralleri ise 7-8 yılda tamamlanmaktadır.

Nükleer santrallerde ise bu süre 8-10 yıla kadar çıkmaktadır. Dolayısıyla bugün alınacak tedbirlerle ancak önümüzdeki 3-5 yıl sonrasının problemlerine çözüm getirebilme şansı vardır. Bugün ortaya çıkan sıkıntıların temel nedeni ise geçen 5-8 yıllık süre zarfında bu sektörde yatırımların yeterli derecede olmamasından kaynaklanmaktadır.

Özet olarak; Türkiye, birincil enerji kaynakları açısından büyük bir potansiyele sahip olmasına rağmen bu potansiyeli kullanma olanakları sınırlı bir ülkedir. Birincil enerji kaynaklarının istenilen kalitede olmaması ve bu kaynakların elde edilmesinin büyük maliyetler taşıması, söz konusu kaynakların etkin bir şekilde kullanımını mümkün kılmamaktadır. Bu nedenle Türkiye tükettiği birincil enerji kaynaklarının yarıdan fazlasını ithal eder duruma gelmiştir. Türkiye’de kişi başına birincil enerji kaynaklarının tüketimi gelişmiş ülkelerin oldukça altında bulunmaktadır [36]. Türkiye’deki enerji tüketimleri ile diğer ülkelerdeki enerji tüketimleri Tablo 1.1’de verilmiştir.

**Tablo 1.1.** Farklı bölgelerdeki ülkelerin enerji tüketim değerleri [37].

| <b>Bölge</b>            | <b>Ülke</b>  | <b>Enerji Tüketimi (TEP/Kişi)</b> |
|-------------------------|--------------|-----------------------------------|
| <b>Kuzey Avrupa</b>     | Finlandiya   | 3.985                             |
|                         | İsveç        | 3.503                             |
|                         | Danimarka    | 3.742                             |
|                         | Norveç       | 4.748                             |
| <b>Kuzey Amerika</b>    | Kanada       | 6.941                             |
|                         | ABD          | 6.679                             |
| <b>Orta Avrupa</b>      | Almanya      | 3.936                             |
|                         | İsviçre      | 2.656                             |
|                         | Fransa       | 2.604                             |
|                         | Avusturya    | 2.813                             |
|                         | Hollanda     | 5.084                             |
|                         | Belçika      | 3.892                             |
|                         | İngiltere    | 3.575                             |
| <b>Akdeniz Ülkeleri</b> | İtalya       | 2.499                             |
|                         | İspanya      | 1.474                             |
|                         | Yunanistan   | 1.716                             |
|                         | Türkiye      | 0.809                             |
| <b>Tropik Bölgeler</b>  | Avustralya   | 4.792                             |
|                         | Kuveyt       | 6.434                             |
|                         | Arjantin     | 1.338                             |
|                         | Güney Afrika | 1.971                             |
|                         | Brezilya     | 0.537                             |

Türkiye henüz tarım toplumu olmaktan kurtulamamış, endüstrileşmesini tamamlayamamış, gelişme sürecindeki bir ülke konumundadır ve kalkınması için daha çok enerji gereksinimi vardır. Türkiye'nin gelişmişlik çizgisini yakalayabilmesi, endüstrileşmiş ülkelerle aynı konuma gelebilmesi için, kişi başına birincil enerji ve elektrik tüketimini bugünkü düzeye göre artırmalı ve enerji verimliliğine yönelik çalışmalar geliştirmelidir.

### 1.2.5.1. Türkiye'nin Enerji Üretim ve Tüketimi

Türkiye’de enerji üretim ve tüketim gelişim eğilimlerinin farklı oluşu nedeniyle, 1970 yılında % 76.9 olan üretimin tüketimi karşılama oranı 2003 yılında % 28.4’e düşmüştür. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan geleceğe yönelik öngörülerde, birincil enerji üretim hedefleri Tablo 1.2’de verildiği gibidir. Bu verilere göre üretimin tüketimi karşılama oranı her yıl azalmaktadır.

**Tablo 1.2.** Türkiye yerli birincil enerji üretim hedefleri [38].

| <b>ENERJİ TÜRÜ/YIL</b> | <b>2005</b> | <b>2010</b> | <b>2015</b> | <b>2020</b> | <b>2025</b> |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Kömür                  | 19066       | 28226       | 28580       | 36601       | 40752       |
| Petrol-Doğalgaz        | 2127        | 1314        | 877         | 628         | 330         |
| Hidrolik               | 5422        | 7344        | 8526        | 8919        | 9301        |
| Nükleer                | 0           | 3657        | 9143        | 18286       | 29200       |
| Jeotermal              | 1380        | 3760        | 4860        | 4860        | 5400        |
| Güneş                  | 716         | 1458        | 2514        | 3882        | 5564        |
| Rüzgar                 | 260         | 629         | 995         | 1519        | 2167        |
| Deniz Dalga            | 0           | 10          | 25          | 125         | 175         |
| Biyomas                | 7057        | 7158        | 7268        | 7381        | 7479        |
| TOPLAM                 | 36028       | 53556       | 62788       | 82201       | 100368      |
| Enerji İhtiyacı        | 124748      | 175074      | 233296      | 317353      | 407106      |
| Enerji Açığı           | 88720       | 121518      | 170508      | 235152      | 306738      |

Tablo 1.2’de verilen değerler dikkate alındığında, 2025 yılında talebin yerli üretim ile karşılanma oranının % 26’ya gerileyeceği, ithal enerjinin % 74 gibi büyük bir orana çıkacağı tahmin edilmiştir. Bu oranlara göre, gelişmiş ülkelerde hassasiyetle uygulanan enerji tasarruf kurallarının, Türkiye’de de eksiksiz olarak uygulanması kaçınılmaz duruma gelmiştir. Türkiye’nin 2003 yılında enerji üretimi 23.812.000 TEP dür.

Bu üretimin 2.011.000 tonu taşkömürü, 46.168.000 tonu linyit, 2.375.000 tonu petrol, 561.000.000 m<sup>3</sup>'ü doğalgaz, 35.330 GWh'i hidrolik, 784.000 TEP'i jeotermal, 61 GWh'i rüzgar, 350.000 TEP'i güneş, 14.991.000 tonu odun, 5.439.000 tonu hayvan ve bitki atığı olarak gerçekleşmiştir. Buna karşılık toplam tüketimimizin petrol eşdeğeri ise 83.804.000 TEP'dür. Buna göre ülkemiz ihtiyacı olan birincil enerji kaynaklarının % 71.58'ini ithal etmek zorunda kalmaktadır; başka bir deyişle de üretimimizin tüketimimize oranı yalnızca % 28.42'dir. Bugünkü yıllık üretim miktarlarının artmayacağı varsayımı altında, tespit edilmiş olan rezervlerimizden; taşkömürünün 200 yıl, linyitin 100 yıl, ham petrolün 13 yıl ve doğalgazın 12 yıl kadar üretilebileceği tahmin edilmektedir. Türkiye'nin hidrolik potansiyelinin devreye sokup enerji sorununu bu yolla halletmesi gerektiği savunulmaktadır. Türkiye'nin kullanılabilir hidrolik potansiyeli yaklaşık 35.000 MW kadar bir kurulu bir güce denktir. Bunun halen 9.935 MW kadarı kurulu ve üretim yapar durumdadır. Geri kalan 25.000 MW kadar bölüm 2020 senesine kadar hizmete girse bile, bunun ülkenin enerji ihtiyacı için kömüre de, doğalgaza da, nükleer enerjiye de alternatif olması mümkün değildir. İyimser değerlendirmelerle 2020 yılında Türkiye'nin ihtiyacını karşılamak üzere kurulu elektrik üretim gücünün 109.218 MW ve buna hidrolik potansiyelin katkısının da 29.984 MW olacağı tahmin edilmektedir. Tükenebilir yerli fosil kaynaklarımızın rezervlerini tam olarak tüketmek, yenilebilir kaynaklarımızı teknolojik olanaklar ölçüsünde ekonomik potansiyelleri ile kullanmak koşulu ile sağlanabilecek yerli üretimi, 2000-2050 periyodundaki birinci enerji minimum tüketiminin % 20'sini karşılayabilecektir. Geriye kalan % 80'i ithal edilerek sağlanabilecektir. Genel enerji sektörü içerisinde elektrik sektörünün durumu önemlidir. Genel enerjinin elektriğe dönüştürülerek kullanılma oranı bir gelişmişlik ölçüsüdür. Türkiye'de birincil enerji tüketiminin % 12'si elektrik üretimine gitmektedir. Ancak, kayıp ve kaçaklardan ötürü bunun % 78.2'si net elektrik tüketimi biçiminde gerçekleşmektedir. Türkiye'nin elektrik gücü 1996 yılında 21.164 MW iken, bu güçle 94.9 GWh üretim yapılmış ve kayıp-kaçaklardan arta kalan 74.2 GWh net tüketim gerçekleşmiştir. 1993 yılından sonra sektörde yapılan üretim yatırımlarının olması gerekenin dörtte biri düzeylerinde gerçekleşmesinden ötürü, 1997-2000 dönemi üretim kapasitesinin brüt talebi karşılamada zorlandığı bir dönemdir [36].

#### **1.2.5.2. Türkiye'nin Enerji Kaynakları ve Enerji Dış Alımı**

Türkiye’de taşkömürü, linyit, asfaltin, bitümlü şistler, ham petrol, doğalgaz, uranyum ve toryum gibi fosil kaynak rezervleri ile hidrolik enerji, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, deniz dalga enerjisi, biomas enerjisi gibi tükenmez kaynak potansiyelleri bulunmaktadır. Kısacası, Türkiye’de jeolojik ve doğal yapıya bağlı biçimde hemen her çeşit enerji kaynağı bulunmakla birlikte, bugün kullanımda ön sıralarda yer alan önemli fosil kaynakların, linyit dışında yeterli rezervleri yoktur ve üretimleri düşüktür. Taşkömürü üretimi sanayi tüketimini bile karşılamaya yeterli değildir. Oysa taşkömürü sanayideki direkt kullanımının dışında ikincil kömür üreten kok fabrikalarının hammaddesi olduğu gibi, elektrik üretiminde, konut ve hizmet sektöründe ve ulaştırma sektöründe kullanılmaktadır. 1997 yılı verileri ile yerli taşkömürü üretim sanayi tüketiminin % 57.3’ü kadardır. Taşkömürü ithalatı demir-çelik sektörü ve diğer sanayi sektörleri talebinin yanında hava kirliliğinin yoğun olduğu kentlerin yakacak ihtiyacı için yapılmaktadır. İthal taşkömürüne dayalı termik elektrik santrallerinin kurulması gündemdedir. 1997 yılında enerji üretiminin 4.4 katı taşkömürü ithal olmuştur. Ayrıca, koklaştırılmış biçimde ikincil kömür olarak da ithalatı yapılmaktadır. 1997 yılı taşkömürü ve ikincil kömür ithalatı toplam 6.258.000 TEP olmuştur.

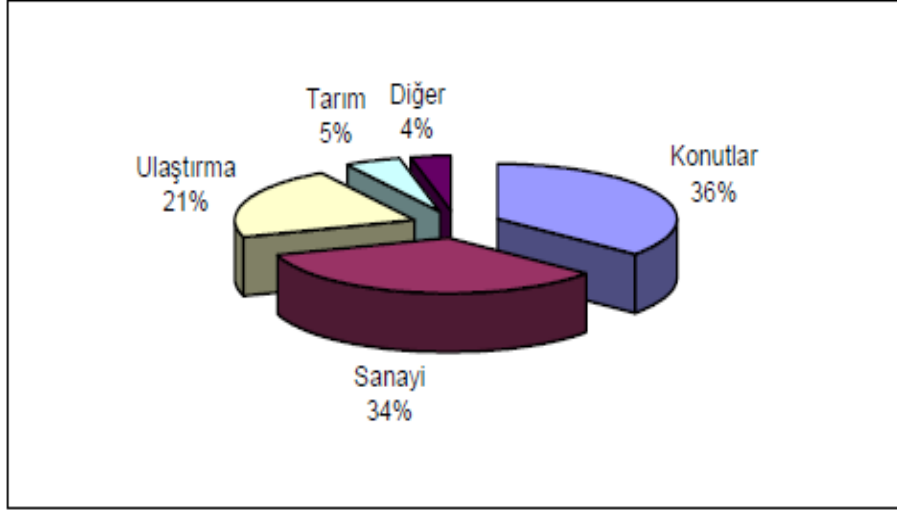
Yerli kaynaklarımız içinde önemli bir yere sahip olan linyit rezervlerimiz incelendiğinde % 68’inin düşük ısı değere sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, yüksek kükürt içeriği de çevre kirliliği açısından linyit kalitesini düşürmektedir. Linyit üretimi toplam fosil yakıt üretiminin % 69.3’ünü karşılamaktadır. Toplam linyit üretiminin % 13’ü Afşin-Elbistan santraline % 56’sı diğer santrallere, kalanı da ısıtmaya gitmektedir. Ülkemizde çok sınırlı biçimde bulunan asfaltin son yıllarda enerji bütçesinden çıkmış durumdadır. Henüz kullanılmayan bitümlü şistler, ısı değeri düşük yakıt olarak değerlendirilebileceği gibi, sentetik petrol üretiminde de kullanılabilir.

Kullanılmayan kaynaklar arasında sınırlı uranyum rezervi ve zengin toryum rezervi bulunmaktadır. Türkiye, tükenbilir konvansiyonel fosil yakıt rezervlerinin aksine, tükenmez doğal kaynakların potansiyeli bakımından şanslı bir ülkedir. Kullanıma uygun ekonomik hidrolik potansiyelin % 29’u işletmede, % 10’u inşa halinde, % 14’ünün kesin projesi hazır, % 19’u planlama aşamasında, geri kalan % 28’i master plan ve ön inceleme aşamasında bulunmaktadır.

Kısaca, tüm ekonomik potansiyel değerlendirilmek üzere ele alınmıştır. Türkiye'nin jeotermal kaynaklar bakımından zengin olduğu bilinmekle beraber, gerek ısıtma uygulamaları ve gerekse elektrik üretimi amacıyla ortaya konulmuş rezerv sınırlıdır. Ancak, bu sınırlı rezerv bile büyük ölçüde kullanılır duruma sokulamamıştır. Benzer biçimde güneş ve rüzgar enerjileri açısından önemli potansiyelleri bulunmakla birlikte, değerlendirme açısından başlangıç aşaması aşılamamıştır. Türkiye'nin sınırlı enerji planlamalarında yeni ve yenilebilir enerji kaynaklarına gereken yer verilmemekte, bu kaynakların kullanımı teşvik edilmemektedir. Türkiye konvansiyonel fosil yakıt üretimi ile karşılayamadığı enerji talebini, fosil yakıt dışalımını ile karşılamaya çalışmaktadır. 1970 yılında 4.640.000 TEP olan birincil enerji ithalatı, 1997 yılında 43.680.000 TEP'e yükselmiştir. 1970-1997 döneminde yerli üretim 3,3 kat artış gösterirken, birincil enerji ithalatı 9.8 kat artış göstermiştir. 1990 yılında 30.936.000 TEP enerji ithalatı ve 2.102.000 TEP enerji ihracatı yapılmıştır. 1997 yılında enerji ithalatı 45.629.000 TEP'e yükselirken, enerji ihracatı 1.630.000 TEP'e düşmüştür. Enerji ithalatı için yapılan toplam ödeme 5.9 milyar \$ düzeyinde olup, toplam ithalat içinde % 12.1 pay kapsamaktadır. Enerji ithalat değeri GSMH'nın % 3'üne karşılık düşmektedir. 2000 yılı için planlanan enerji ithalatı ise 59.940.000 TEP düzeyindedir.

#### **1.2.5.3. Türkiye'de Konutsal Enerji Tüketimi**

Şehirleşme oranının yükselmesi, hızla artan nüfus ve gelir seviyesinin artması konutlarda tüketilen enerjiyi de artırmıştır. Türkiye'de üretilen enerjinin tüketim oranları Şekil 1.1'de verilmiştir.



**Şekil 1.1.** Türkiye’de enerji tüketim oranları [39].

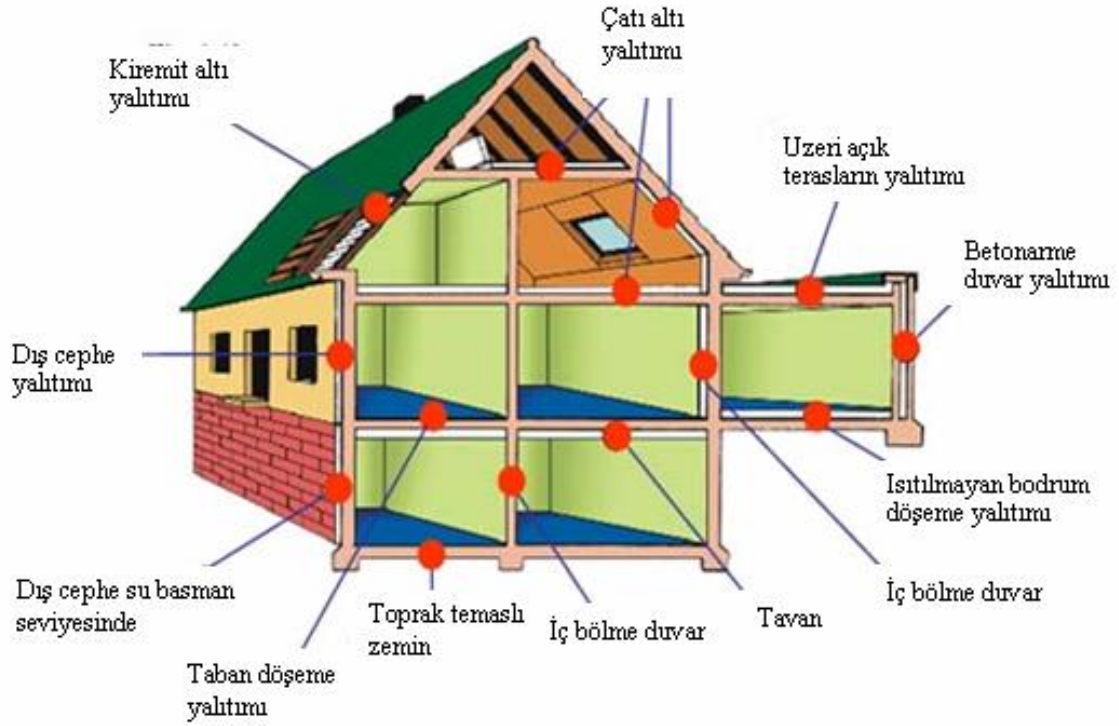
Ülkemizde tüketilen enerjinin % 36’sı konutlara, % 34’ü sanayiye, % 21’i ulaştırmaya, % 5’i tarıma aittir. Bu değerler arasında % 36 ile konutlarda tüketilen enerji ilk sırayı almaktadır. Konut sektörü enerji tüketiminde, 1970 yılında 8.6 milyon TEP olan toplam enerji tüketimi 1993 yılında 17.5 milyon TEP’e ulaşmıştır. Bu rakamın, 2010 yılında 33.2 milyon TEP’e ulaşacağı tahmin edilmektedir. Konutlarda tüketilen enerji miktarı, tüketim oranlarında en yüksek paya sahiptir. Bu durumda konutlarda enerji tüketiminin de tasarruf çalışmalarının önemi ön plana çıkmıştır.

## **2. MATERYAL ve METOD**

### **2.1. Yalıtım Nedir**

Yalıtım, Arapça kökenli tecrit ve Fransızca kökenli izolasyon kelimelerinin karşılığı olarak, yakın zamanlarda Türkçeye giren, yeni sayılabilecek bir sözcük. Hemen herkeste, bu tanıma yakın çağrışımlar yaratan yalıtım sözcüğü, yapı sektörü söz konusu olduğunda ise teknik bir kavram olarak karşımıza çıkıyor [40].

Yapı fiziği bağlamında yalıtım, arzu edilmeyen fiziksel etkilerin ya da olayların bir taraftan diğer tarafa geçmesini engelleyen işlem ve sistemlere verilen addır. Örneğin suyun binaya girmesinin engellenmesi, ısı enerjisinin içeri veya dışarı kaçmasının engellenmesi, gürültü kapsamındaki seslerin engellenmesi, elektrik akımından korunmak üzere elektrik akımının yalıtılması gibi işlemler bu kapsamda ele alınabilir. Ancak bu yalıtımın gerçekleştirilebilmesi için yalıtkan denen özel maddelere gereksinim vardır. Bu özel malzemeler su yalıtımında bitüm emdirilmiş ve/veya plastik kökenli malzemeler olabileceği gibi, ısı yalıtımını sağlamak için gözenekli hafif malzemeler, ortam sesi yalıtımı içinde birim–hacim ağırlığı yüksek malzemeler olmalıdır. Yapıda uygulanan yalıtımlar, Şekil 2.1.'de uygulama bölgeleri ile genel olarak gösterilmiştir [41].



Şekil 2.1. Yapılarda yalıtım [42].

Yalıtım kavramının ana teması doğal kaynak ve koşulları göz önüne alınarak yapılar tasarlamak ve sağlıklı olma özelliklerine sahip yalıtım malzemelerinin de destek ve katkısı ile çevre kirliliği gibi olumsuzlukları en alt düzeye indirerek enerjide savurganlığı önlemek şeklinde özetlenebilir [43].

## 2.2. Yalıtımın Faydaları

Bir yapının, yapılış amacına uygun olarak, kullanıcılarına hizmet vermesi ve değerini yıllarca koruyabilmesi, ancak iç ve dış olumsuz etkenlere karşı iyi korunmuş olmasına bağlıdır. Yapıların iç ve dış faktörlerden korunabilmesi de yalıtım yapıp yapılmamış olmasıyla ilgilidir. Yalıtım; binayı, taşıyıcı sistemi ve yapı bileşenleri ile birlikte, tüm bu iç ve dış faktörlerden korumayı, sağlıklı ve konforlu mekânlar oluşturmayı hedefler. Yalıtım, hem yapıyı hem de kullanıcıları korumaya yönelik önlemleri içerir. Yalıtımın amacı yapıların ömrünü uzatmak, bakım masraflarını azaltmak ve kullanıcı için sağlıklı, huzurlu, rahat kullanabileceği mekânlar oluşturmaktır [44].

Yalıtım, başta da belirttiğimiz gibi, yapıların iç ve dış etkenlerden doğru biçimde korunmasıdır. Bu nedenle, yalıtımın ilk yararı bina üzerinedir. Yalıtım, dış etkenlerin bina üzerindeki zararlı etkilerini önleyerek, binanın sağlam (durabil) ve güvenli kalmasını sağlar, binanın ömrünü uzatır. Binanın sağlamlığı, bu binaları kullanan insanların can güvenliği açısından büyük önem taşır. Bunun yanında yalıtım, kullanıcıların konforu ve sağlığı için de gerekli bir uygulamadır. İnsanları dış etkenlerin zararlarından korumak da ancak yalıtımla mümkündür. Bunların yanı sıra yalıtım, ekonomik avantajlar sunar. Binaya zarar veren etmenlerin etkileri başta da belirttiğimiz gibi uzun dönemde görülür. Ancak, yalıtımın tasarruf etkisini kısa dönemde açıkça görmek mümkündür. Yalıtımın tasarruf sağlayan türü, ısı yalıtımıdır. Bu nedenle de ısı yalıtımı yalıtım türleri arasında öne çıkar. Diğer yalıtım türleri de ekonomik avantajlar sunar. Binanın kullanım ömrünün uzatılması, kaynak israfını önleyecek ve ekonomik avantajlar sağlayacaktır.

Yapıların uzun yıllar boyunca değerini koruması ancak, yapı iyi tasarlanmışsa, iç ve dış etkenlerden doğru biçimde korunmuşsa gerçekleşebilir. Yapıların iç ve dış etkenlerden doğru biçimde korunması, yalıtım ile sağlanabilir. Yalıtım sistemlerinin esas amacı; yapı bileşenleri ve taşıyıcı sistemi dış etkenlerden koruyarak, kullanım amacına uygun sağlık ve konfor şartlarının yapı içerisinde hüküm sürmesini sağlamaktır. Bina içerisinde konforlu yaşam koşullarının oluşturulması insan sağlığı için ne kadar önemli ise yapının dış etkenlere karşı korunması da içerisinde yaşadığımız, sağlam ve uzun ömürlü olmasını beklediğimiz yapılar için aynı öneme sahiptir [45].

Yapılarda ısı yalıtımı enerjiden tasarruf sağlayarak gaz, kurum ve toz emisyonunu azaltıp çevre kirliliğini önler. Duvar, ısı köprüleri, zemin ve tavan yüzey sıcaklıklarının iç konfora olduğu kadar yapı kabuğu üzerinde de önemli etkileri vardır. Yeterli yalıtım, yaşam kalitesine katkıda bulunur ve bina dokusunun korunmasına yardımcı olur. Sağlıklı ve rahat yaşam, sadece uygun ısı ve nem şartlarına sahip olan mekanlarda mümkündür [46].

İnsanların oturduğu veya çalıştığı binalarda ısı etkilerinden korunma; insan sağlığı, onarım giderleri, yakıt ekonomisi ve ilk yapım giderleri açısından önemlidir. Isı etkilerinden yeterli olarak korunma sağlığa uygun, huzur verici hacimlerin elde edilmesinin ilk şartıdır. Hacimlerin ısı ihtiyacı ve bunu sağlamak için yapılan ısıtma giderleri, hacmi çevreleyen bileşenlerin ısıyı yalıtma özelliklerine bağlıdır.

Isı etkilerinden yeterli bir korunma, hacmi çevreleyen yapı bileşenlerinin yüzey ve içlerinde terleme olayını, tesisat borularının donmasını ve bunlara bağlı olarak meydana gelen zararları önleyerek, yapının bakım ve onarım giderlerini azaltır. Bilindiği gibi binalar; dış duvarlar, tavanlar, merdivenler, pencereler, ısıtılmayan hacimler üzerindeki döşemeler, zemine oturan döşemeler ve açık geçitler üzerindeki döşemelerden ısı kaybetmekte ve bu yüzden binaların yakıt tüketimi yükselmektedir. Yapılardaki toplam ısı kayıplarının; % 10'u döşemelerde (temeller), % 10-15'i pencerelerde, % 25'i tavanlarda, % 15-25'i dolgu duvarlarda, % 20-50'si ısı köprülerinde oluşmaktadır. Şekil 2.2.'de yapıdaki ısı kayıpları gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Binalarda ısı kayıpları [47].

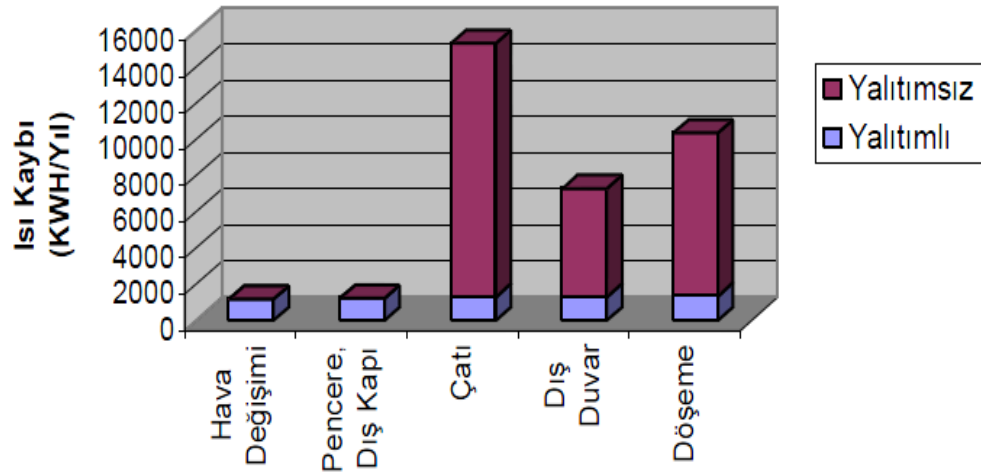
Isı yalıtımı ile ısı kayıplarının önüne geçildiği gibi yapıları nem, rutubet ve korozyona karşı da korunur. Böylece binada ısı yalıtımı, binanın ömrüne olumlu yönde etki ederek bina ömrünü arttırır. Isı yalıtımı ile binalarda taşıma ve destek görevi gören elemanların iç ve dış yüzeylerinde meydana gelebilecek ısı farklılıklarına bağlı olan termal gerilmelerin önüne geçilir. Bu sayede bu elemanlarda termal gerilmeye bağlı oluşabilecek olası çatlakların oluşması önlenir. Bu durum; ülkemizin deprem kuşağında olması gerçeği göz önüne alınması durumunda dikkat ve hassasiyet gösterilmesi gereken bir konu olarak da karşımıza çıkmaktadır.

Bunların yanı sıra ısı yalıtımı, ekonomik avantajlar sunar. Binaya zarar veren etmenlerin etkileri uzun dönemde de olsa görülür. Ancak, ısı yalıtımının tasarruf etkisini kısa dönemde açıkça görmek mümkündür. Isı yalıtımı için harcanan maliyetler, az yakıt kullanımı sayesinde yapılan tasarruf ile kendini 3-4 sene gibi zaman içerisinde amorti eder.

Sağladığı bu faydalardan dolayı gelişmiş ülkelerde ısı yalıtımı devlet tarafından teşvik edilmekte ve bağlayıcı yönetmeliklerle uygulama sağlanmaktadır [48].

### 2.2.1. Yalıtımın Enerji Tasarrufuna Etkisi

Termodinamiğin ikinci yasasına göre ısı yüksek sıcaklıklı ortamdan düşük sıcaklıklı ortama doğru gitmektedir. Yani ısınan iç ortamdan dış ortama doğru bir ısı akısı söz konusudur. İçeride yeterli konfor ortamının sağlanabilmesi için kaybolan ısının, bir ısıtma sistemi ile karşılanması gerekmektedir. Kaçan ısı en aza indirebilmek için çeşitli yollarla yalıtım yapılması gerekmektedir. Binalarda en uygun yalıtım kalınlığını belirleyerek yalıtım yapılması ısınma için harcanan enerjiyi büyük oranda azaltır. Yalıtım malzemesi kalınlığı, bölgedeki ortalama hava sıcaklığı, nem oranı, yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı ve fiyatı dikkate alınarak belirlenir. Yalıtım malzemesi kalınlığı artırılarak, enerji kayıpları ve hava kirliliği azaltılabilir. Yalıtımsız binanın yalıtımlı hale getirilmesi ile ısı kayıpları değişimi Şekil 2.3.'de verilmiştir.



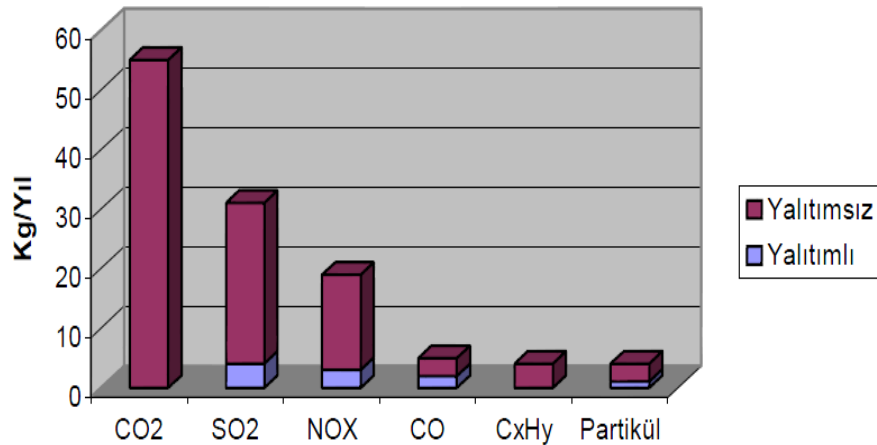
Şekil 2.3. Yalıtımlı ve yalıtımsız haldeki ısı kayıpları [36].

### 2.2.2. Yalıtımın Hava Kirliliğine Etkisi

Kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtların yanması sonucu karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) ve kükürt dioksit ( $\text{SO}_2$ ) gibi büyük miktarlarda atık gaz hava kirliliğine neden olmaktadır. Bu atık gaz (özellikle  $\text{CO}_2$ ) dünyanın geri yansıttığı güneş ısınlarını da tutarak (sera etkisi) dünya sıcaklığının artmasına yol açmaktadır. Bunun uzantısında gelecek yıllarda iklim değişiklikleri beklenmektedir.

Kükürt esaslı baca gazı atıkları havadaki su ile birleşerek sülfürik asit yağmurlarına neden olmaktadır. Asit yağmurları da bitki örtüsü ve yapıları tahrip etmektedir. Çevre Bakanlığı'ndan sağlanan bilgilere göre 1981 yılından itibaren 9 yılda  $\text{CO}_2$ 'den kaynaklanan emisyonlarda % 52'lik bir artış meydana gelmiştir. 1988 yılından itibaren 2 yıllık  $\text{SO}_2$  emisyonu artışı % 20 civarında olmuştur. 1989 yılında ısınmadan kaynaklanan  $\text{SO}_2$  emisyonları İstanbul'da 200.000 ton Ankara'da ise 100.000 ton civarındadır.

Dünya geleceğini tehdit eden zararlı emisyonları azaltmak amacıyla bu konuda çeşitli kararlar alınmaktadır. Ülkemizde bu emisyonları azaltıcı önemli bir önlem, ısı yalıtım yönetmeliğinin uygulanmasıdır. Gerekli yalıtım tedbirlerinin alınması binanın ısı ihtiyacını azaltarak, dışarıya atılan baca gazı miktarını azaltacak dolayısıyla hava kirliliğini azaltacaktır. Yalıtımsız binanın yalıtımlı hale getirilmesi ile ısı kayıpları değişimi Şekil 2.4.'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Yalıtımlı ve yalıtımsız haldeki emisyon miktarları [36].

### **2.2.3. Yalıtımın Isıl Konfora Etkisi**

Çalışma ortamının ısı şartları, insanların bedensel ve zihinsel üretim hızını etkilemektedir. Isıl konfor ve iç hava kalitesi, bireyin bir ortamdaki ısı şartları içinde kendisini rahat hissetmesi ve bu şartlardan doğan sağlık sorunları ile karşılaşmayacağı bir ortamın özellikleridir. Ortam sıcaklığı ile duvar iç yüzey sıcaklığı arasındaki fark konfor hissini yakından ilgilendirmektedir. Duvar iç yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki fark ne kadar fazla ise konforsuzluk o kadar fazla olur.

Duvar iç yüzey sıcaklığının ortam sıcaklığından uzaklaşmasının en önemli etkeni de duvarın yalıtımsız oluşudur. Konforlu bir mekanda duvar iç yüzey sıcaklığı, ortam sıcaklığından en çok 3 °C'yi aşması halinde konforsuzluk (sağlıksızlık) da artar. Pencere ve kapıların yeterince hava sızdırmaz olmamasından ve duvarın yalıtımsızlığından hava hızı oluşur. Soğuk bir kış günü yalıtımsız dış duvara yaklaşan bir kişi orada bir esinti olduğunu kolayca fark eder. Konfor sıcaklığını sağlayacak ısı geçirgenlik direnci değerleri verilmiş duvar kalınlığında konforlu bir ısınmanın yanı sıra yoğuşmaya da engel olabilmektedir. Ayrıca mekanın her noktasında homojen bir sıcaklık elde edilir.

### **2.3. Yalıtım Türleri**

Yalıtım önlemleri genel olarak iki başlık altında ele alınır. Bunlardan ilki, yapıyı koruyan önlemler ve diğeri de kullanıcıyı koruyan önlemlerdir. Her bina, belirli bir çevrede yer alır ve bu çevreden gelen olumsuz etkilerle karşı karşıyadır. Yalıtım önlemleri de bu dış etkenleri denetlemeye yöneliktir. Binayı dıştan etkileyen ve binaya zarar verebilecek başlıca etkenler şu şekilde sıralanabilir. Güneş, kar, rüzgar, yağmur, sızıntı suyu, kılcal su, zemin suyu ve aşırı sıcak ya da soğuktur. Binaya zarar verebilecek bu etkenlerin yanında, kullanıcıya doğrudan zarar verebilecek ses ve gürültü etkileri ya da yangın tehlikesi gibi etkenler de söz konusudur. Bu etkenlerden hareketle yalıtım dört ana başlık altında ele alınır; ısı yalıtımı, su yalıtımı, ses yalıtımı ve yangın yalıtımıdır. Yalıtım, binanın yapılacağı arsanın seçiminden başlayan, binanın tasarımını, yapımını ve kullanım aşamasını da içeren bir süreç içerisinde gerçekleştirilir. Binanın karşı karşıya kalacağı dış etkenler; coğrafyaya, iklim koşullarına, bina yapılacak arsanın konumuna, imar bilgilerine, yapılacak binanın işlevine, kullanıcıların istek ve beklentilerine bağlı olarak değişir. Yapıların yalıtım gereklilikleri, bu etkenlere göre belirlenir. Örneğin, otoyol yakınındaki bir arsada yapılacak binada ses yalıtımına özellikle önem vermek gerekecektir.

Yağışların bol olduğu veya basınçlı yer altı sularının bulunduğu bir bölgede ise, binayı hem su hem de neme karşı koruyacak yalıtım uygulamaları ön plana çıkacaktır.

### **2.3.1. Isı Yalıtımı**

Binalarda, ısı yalıtımı; kışın binayı ısıtmak için üretilen sıcak havanın dışarıya kaçmasını önleyerek ısı ekonomisi, yazında dışarıdaki sıcak havanın içeriye girmesini önleyerek termik konfor sağlamak amacıyla yapılır. Ayrıca soğuk hava deposu, fırın vb. kapalı hacimlerde ısı yalıtımı uygulanmaktadır. Bina yapımındaki gelişmeler ile birlikte, yapılar kalın boyutlu ve ağır malzemelerden ince boyutlu hafif malzemelere geçmiştir. Bu durum, sağladığı birçok yarar yanında yapı fiziği ve ısı yalıtımı konularında daha dikkatli davranmak gereğini ortaya getirmiştir. Binanın ısı yalıtımı; yapının gerek kışın, gerekse yazın karşılaşılabilecek dış şartları güvenle karşılayabilecek şekilde düşünülmelidir. Binanın ısı etkilerine karşı yalıtılmasında amaç, yapının zararlı boyutlarda ısı hareketleri ve buhar yoğunlaşması sonucu zaman içinde yapı hasarlarının (don hasarı, nem hasarı, küflenme, bozulma, demir aksamının çürümesi-korozyonu vs.) ortaya çıkmasını önlemektir. Dolayısıyla yapının bakım masraflarını sınırlı düzeyde tutmak, yaşanan iç ortamın konfor şartlarına uygun, kışın ısıtma, yazın soğutma enerjisinden tasarruf sağlayarak aile ve ulusal ekonomimize katkıda bulunmaktır.

Isı yalıtımı, kapalı mekânların iç sıcaklıklarını istenilen düzeyde tutabilmek için, dış iklim koşullarına karşı yapılan ısıtma-soğutma işlemlerinde kullanılan enerji tasarrufu sağlamak, çevre sorunlarını çözmek ve hava kirliliğini azaltmak için yapılarda alınan her türlü önlemler bütünüdür. Yalıtım aynı zamanda yapıyı dış etkilere koruyarak ömrünü uzatmakta ve yapı fiziği şartlarını yerine getirildiği için de işletme maliyetlerini düşürmektedir [50].

Binalarda enerjinin etkin kullanımı ve korunumu açısından, yapı kabuğunun ve yapı kabuğunda en fazla alana sahip olan duvarların üstlendiği görev; sürekli değişen dış atmosfer koşullarından olumsuz etkilendiği ve gün içinde farklılaşan dış sıcaklığa bağlı olarak farklı ısı geçişleri ile karşılaştığı için oldukça önemlidir. Bu bağlamda kullanıcının ısı konforunu sağlamak için yapı kabuğuna yapılacak ısı yalıtımı yatırımı öne çıkarak, optimum ısı yalıtım kalınlıkları önemli hale gelmektedir [51].

Yalıtım sayesinde, ısı kayıp ve kazançları azaltılarak enerji tasarrufunun sağlanması, çevrenin korunması, ısı konfor ve gürültü denetiminin sağlanması, yapı elemanlarında ve yüzeylerinde yoğuşmanın önlenmesi ve yapı elemanlarının dış etkilere korunması mümkün olabilmektedir. Bina içinde konfor koşullarının oluşturulması insan sağlığı için önem taşırken yapının dış etkenlere karşı korunması da yapıların kutuplardaki buzulların erimesine ve iklim değişikliklerine yol açmakta buna bağlı olarak doğal hayat giderek yok olmaktadır. Isı yalıtımı, binaların daha az yakıtla ısıtılmasını sağlayacağından atmosfere yayılan karbondioksit, kükürt dioksit ve diğer zararlı gazları azaltacak böylece atmosferde oluşan sera etkisi, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi sorunlar ile mücadeleye katkıda bulunacaktır. Binalarda ısı yalıtım kalınlığının optimum şekilde seçilmesi, ısı konforun sağlanmasında en önemli etkenlerden biridir. Ancak ısı yalıtım uygulamalarında, sistemin yerine getirmesi gereken ana görevler de mevcuttur. Bu amaçla yalıtım sistemi seçilirken dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Yeterli yalıtım düzeyinin sağlanıp sağlanmadığına, yapı elemanında katman sırasının doğru seçilip seçilmediğine, bütün ısı köprülerinin yalıtılıp yalıtılmadığına, yoğuşma sorununun oluşup oluşmayacağına, seçilen yalıtım malzemesi ve yalıtım tipinin kullanıldığı yapı elemanında meydana gelebilecek mekanik gerilmelere dayanabilecek özellikte olup olmadığına ve yangın açısından gerekli tedbirlerin alınıp alınmadığına dair dikkat edilmelidir [52].

Isı yalıtım malzemelerinin seçiminde göz önünde alınması gereken başlıca özellikler şunlardır [53].

- Isı geçişine karşı yüksek direnç ( Düşük ısı iletkenlik katsayısı).
- Yeterli basınç mukavemetine sahip olması, zamanla çökme yapmaması.
- Yeterli çekme mukavemetine sahip olması.
- Kullanılan sıcaklıkta bozulmaması.
- Özelliklerini zaman içinde kaybetmemesi ve çürümemesi.
- Birlikte kullanılan malzemelerle reaksiyona girmemesi ve bozulmaması. (Kimyasal kararlılık ve dayanıklılık).
- Yanmazlık ve alev geçirmezlik.
- Suya ve neme karşı yüksek dayanım.
- Uygulama ve işçilik kolaylığı.
- Boyutsal kararlılık.
- Kokusuz olması.

- İnsan sağlığına ve çevreye zarar vermemesi, kaşıntı ve alerji yapmaması.
- Detay bazında ekonomik olması.
- Hafiflik.

### **2.3.2. Isı Yalıtımının Amacı**

- Yazın aşırı sıcaktan ve kışın soğuktan rahatsız olmamak, daha az yakıt tüketimi ile daha az yakıt harcaması yapmak.
- Konforlu yaşam şartlarında yaşamak.
- Gerek ısıtma gerekse soğutma amacı ile kullanılan enerjinin boşa harcanmaması, verimli kullanılması ve bunun sonucunda işletme giderlerinden tasarruf sağlamak.
- Isı yalıtımı ile binadaki ısı kaybı azalacağından, daha küçük ısıtma-soğutma cihazları ve armatürleri kullanarak ilk yatırım maliyetlerini azaltmak.
- Hava kirliliğini ve ozon tabakasının tahribatını önlemek, doğal kaynakların tüketimini azaltarak gelecek nesillere de fayda sağlayabilmek.
- Bina içinde ve duvar yüzeyinde soğuk noktaları önleyebilmek, dolayısıyla rutubet ve yoğuşmayı önlemek, homojen bir sıcaklık ve konfor elde etmek, bina içi yoğuşma ve rutubetin neden olduğu romatizmal hastalıklara tedbir oluşturmak.
- Binaların dış kabuğunu ve yapı elemanlarını büyük ısısal gerilimlerin ve rutubetin tahribatından korumak, boya bakım giderlerinden tasarruf sağlamak böylelikle bina ömrünü uzatabilmek.
- Zararlı madde emisyonunu azaltarak, sağlıklı evre oluşturulmasına imkan vermek.
- Ahşap yüzeylerde mantarlaşmayı önlemektir.

### **2.3.3. Isı Yalıtımının Türkiye’deki Gelişimi ve Uygulamaları**

Türkiye’de yalıtım uygulamaları ile ilgili yönetmelikler incelendiğinde; ilk olarak 1970 yılında TSE tarafından TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kurallarının hazırlanmış olduğu görölmektedir. Ancak o dönemde bu yönetmeliğin uygulanması konusunda bir zorunluluk getirilmemiştir. 1977 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca çıkarılan “Isıtma ve Buhar Tesislerinin Yakıt Tüketiminde Ekonomi Sağlanması ve Hava Kirliliğinin Azaltılması Yönetmeliği” ile bu konuda önemli bir adım atılmıştır.

30.10.1981 tarihinde “Isı Yalıtım Yönetmeliği” yürürlüğe konmuş ve 16.01.1985 tarihinde üzerinde çeşitli değişiklikler yapılmıştır. 1995 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nca “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” revize çalışmalarına başlanmış, 29.04.1998 yılında TS Teknik Kurulu’nca onaylanarak yürürlüğe girmiştir. TS 825 standardı 14.06.1999 gün ve 23725 sayılı resmi gazetede yayınlanmış, 14.06.2000 tarihinden itibaren de zorunlu standart olarak, yeni yapılacak binalarda uygulanmaya başlanmıştır. Bu tarihten itibaren mevcut binalarda herhangi bir yasal uygulamaya gidilmemiş, ancak uygulanan tüm yapıların ısı yalıtım proje hesaplarında bu standarttaki kurallara uyulması zorunlu hale getirilmiştir. AB sürecini yaşadığımız şu günlerde bunun önemli bir gelişme olduğunu söylemek mümkündür. TS 825 binaların alan ve hacim oranlarına göre ısıtma harcamalarına yeni sınırlar getirmiştir. Konutlar, bürolar, tiyatrolar, kongre ve konser salonları, kültür merkezleri, eğitim yapıları, spor tesisleri, hastaneler, yurtlar, konaklama tesisleri, bankalar ve oteller gibi ısı konforu ihtiyacı duyarak yaşadığımız her türlü mekân TS 825’in uygulama alanları içinde yer almaktadır.

Günümüzde binalardaki enerji tasarrufunun en önemli bölümünü ısı enerjisi tasarrufu oluşturmaktadır. Yapıların ısıtılmasında kullanılan yakıt miktarının azaltılmasını da amaçlayan ısı enerjisi tasarrufu, ancak doğru uygulanmış bir ısı yalıtımı ile sağlanabilmektedir. Yapılarda ısı yalıtımı duvar, döşeme, çatı, pencere ve ısı köprüleri gibi elemanlardan ısı geçişlerini yavaşlatmak ve yapının sağlığını korumak amacıyla yapılmaktadır.

Dünya genelinde enerji tüketimi son 25 yılda kişi başına sadece % 5 kadar artmış olmakla beraber, Türkiye’de son 25 yıldaki artış oranı % 100 rakamının üzerindedir. Türkiye’nin enerji üretimi resmi rakamlara göre 1990 yılında toplam ihtiyacının % 50 kadarını karşılarken günümüzde sadece % 30’unu karşılayabilmektedir. Ülkemizde enerji tüketiminin ortalama % 41’i konutlarda, % 33’ü sanayide, % 20’si ulaşımda, % 5’i tarımda ve % 1’i diğer alanlarda kullanılmaktadır. Tüketilen tüm bu enerjinin yaklaşık % 85’i ısıtma amaçlı kullanılmaktadır [49].

Türkiye’de 1990’lı yılların başında kendini iyice göstermeye başlayan enerji tasarrufu bilincinin yapı sektöründeki ilk aşamalarının, konutların doğramalarındaki tek cam ünitelerinin çift cama dönüştürülmesi ile başladığını söylemek mümkündür. Bu süreçle birlikte, çeşitli ısı yalıtım malzemelerinin ithali ve ülkemizde üretilmeye başlanması, diğer yalıtım uygulamalarını da beraberinde getirmiştir.

1995 yılı itibariyle Türkiye’de tüketilen ısı yalıtım malzemeleri miktarı yaklaşık 1.500.000 m<sup>3</sup> ’tür. Buna karşılık aynı yılda Almanya’da 30.200.000 m<sup>3</sup>, Fransa’da ise 20.100.000 m<sup>3</sup> ısı yalıtım malzemesi tüketilmiştir. Tablo 2.1.’de Türkiye’de ve bazı ülkelerde kişi başına düşen ısı yalıtım malzemelerinin tüketim oranları verilmiştir. Bu sıralamada Türkiye en az yalıtım kalınlığı uygulayan ülkeler arasında yer almaktadır.

**Tablo 2.1.** Isı yalıtım malzemesi tüketimi değerleri [37].

| Bölge                   | Ülke         | Isı Yalıtım Malzemesi Tüketimi (m <sup>3</sup> /Kişi) |
|-------------------------|--------------|-------------------------------------------------------|
| <b>Kuzey Avrupa</b>     | Finlandiya   | 0.66                                                  |
|                         | İsveç        | 0.35                                                  |
|                         | Danimarka    | 0.63                                                  |
|                         | Norveç       | 0.84                                                  |
| <b>Kuzey Amerika</b>    | Kanada       | 0.78                                                  |
|                         | ABD          | 0.49                                                  |
| <b>Orta Avrupa</b>      | Almanya      | 0.4                                                   |
|                         | İsviçre      | 0.31                                                  |
|                         | Fransa       | 0.29                                                  |
|                         | Avusturya    | 0.37                                                  |
|                         | Hollanda     | 0.24                                                  |
|                         | Belçika      | 0.24                                                  |
|                         | İngiltere    | 0.18                                                  |
| <b>Akdeniz Ülkeleri</b> | İtalya       | 0.06                                                  |
|                         | İspanya      | 0.06                                                  |
|                         | Yunanistan   | 0.05                                                  |
|                         | Türkiye      | 0.04                                                  |
| <b>Tropik Bölgeler</b>  | Avustralya   | 0.17                                                  |
|                         | Kuveyt       | 0.12                                                  |
|                         | Arjantin     | 0.02                                                  |
|                         | Güney Afrika | 0.016                                                 |
|                         | Brezilya     | 0.008                                                 |

Isı yalıtım malzemesi tüketimi değerlerine göre, 0.04 m<sup>3</sup>/kişi ısı malzemesi tüketimi ile Türkiye benzer iklim özelliklerini paylaştığı Akdeniz ve Orta Avrupa ülkelerinin gerisinde kalmıştır. Bu durum, ısı yalıtımına daha çok önem vermemizin gerekliliğini sergilemektedir.

#### **2.3.4. Isı Yalıtım Malzemeleri**

Isı yalıtım malzemeleri; ısı geçişine karşı koyarak mevcut ısıнын uzun süre korunmasını sağlayan düşük ısı iletkenliğine sahip ürünlerdir. Ayrıca ısı yalıtım ürünleri genellikle heterojen yapıli malzemelerin bir karışımı olarak ele alınabilir ve çoğunlukla hava dolu hücreleri saran, katı bir çerperden oluşan bir iskelet şeklindedir. Bu bünye yapısının doğal sonucu olarak ısı yalıtım malzemeleri hafiftir.

##### **2.3.4.1.Cam Yünü**

Silis kumunun yüksek sıcaklıklarda ergitilerek elyaf haline getirilmesi ile elde edilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Şilte ve levha halinde kullanılabilir. Isı iletkenlik hesap değeri 0.04 W/mK, kullanım sıcaklığı maksimum 250 °C, yoğunluk 14–100 kg/m<sup>3</sup>, yanma sınıfı DIN 4102'ye göre A sınıfı yanmaz, buhar difüzyon direnç katsayısı 1, su emme hacimce % 3-10, mekanik dayanım 1.5-6.5 ton/m<sup>2</sup> basma dayanımı.

##### **2.3.4.2. Taş Yünü**

Bazalt veya diabaz taşının yüksek sıcaklıklarda ergitilerek elyaf haline getirilmesi ile elde edilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Isı iletkenlik hesap değeri 0.04 W/mK. Kullanım sıcaklığı maksimum 750 °C. Yoğunluk 30-200 kg/m<sup>3</sup>. Yanma Sınıfı DIN4102'e göre A sınıfı yanmaz. Buhar difüzyon direnç katsayısı 1. Su emme hacimce % 2.5–10. Mekanik dayanım 1.5 – 6.5 ton/m<sup>2</sup> basma dayanımı.

##### **2.3.4.3. Ekstrude Polistren Köpük (XPS)**

XPS levha, polistiren hammaddesinin ekstrüzyonla levha halinde çekilmesiyle üretilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Üretim tekniğı nedeniyle kapalı gözenekli ve bünyesine su almayan bir ısı yalıtım malzemesidir. Isı iletkenlik hesap değeri yüzeyi pürüzsüz iken 0.028 yüzeyi pürüzlü iken 0.031 W/mK. Kullanım sıcaklığı –50 / +75, +80 °C. Yanma sınıfı B1 sınıfı zor alev alan. Yoğunluk 25-45 kg/m<sup>3</sup>. Buhar difüzyon direnç katsayısı 80-250. Su emme hacimce maksimum % 0–0.5. Mekanik dayanım 100-500 kPa (10-50 ton/m<sup>2</sup>) maksimum basma dayanımı.

#### **2.3.4.4. Ekspande Polistren Köpük (EPS)**

EPS, polistren hammaddesinin genişletilerek blok halinde ve kesilme suretiyle levha haline getirilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Ayrıca levha şeklinde kalıp içinde genişletilerek de üretilebilir. Isı iletkenlik hesap değeri ortalama 0.04 W/mK. Kullanım sıcaklığı  $-180 / +75$  °C. Yanma sınıfı DIN 4102'e göre B1 sınıfı zor alev alan, B2 sınıfı normal alev alan. Yoğunluk 15-30 kg/m<sup>3</sup>. Buhar difüzyon direnç katsayısı 20-80. Su emme hacimce % 0-5. Mekanik dayanım 50-150 kPa (5-15 ton/m<sup>2</sup>) maksimum basma dayanımı.

#### **2.3.4.5. Poliüretan**

Poliüretan, iki ayrı kimyasal bileşenin bir araya getirilmesi ile üretilir. Levha, sandviç panel ve püskürtme yöntemiyle kullanılan bir ısı yalıtım malzemesidir. Isı iletkenlik hesap değeri 0.035 W/mK. Kullanım sıcaklığı  $-200 / +110$  °C. Yanma sınıfı B1-B2-B3 sınıfı zor, normal ve kolay alev alan. Yoğunluk 30-40 kg/m<sup>3</sup>. Buhar difüzyon direnç katsayısı 30-100. Su emme hacimce % 3-5. Mekanik dayanım 100-400 kPa (10-40 ton/m<sup>2</sup>).

#### **2.3.4.6. Odun Talaşı Levhalar**

Ahşap talaşının bir bağlayıcı ile sıkıştırılarak levha halinde üretilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Isı iletkenlik hesap değeri 0.09-0.15 W/mK. Kullanım sıcaklığı maksimum  $+110$  °C. Yanma sınıfı BS476 standardına göre Class1. Yoğunluk 360-570 kg/m<sup>3</sup>. Buhar difüzyon direnç katsayısı 2-5. Su emme hacimce % 10. Basma dayanımı 200 kPa (20 ton/m<sup>2</sup>) basma dayanımı.

#### **2.3.4.7. Cam Köpüğü**

Isı iletkenlik hesap değeri 0.052 W/mK. Kullanım sıcaklığı  $-260 / +430$  °C. Yoğunluk 100-200 kg/m<sup>3</sup>. Yanma sınıfı BS476 standardına göre Class0. Buhar difüzyon direnç katsayısı 10.000. Su emmez. Mekanik dayanım 430-8800 kPa (48-880 ton/m<sup>2</sup>) basma dayanımı.

### **2.4. Isı Yalıtım Uygulamaları**

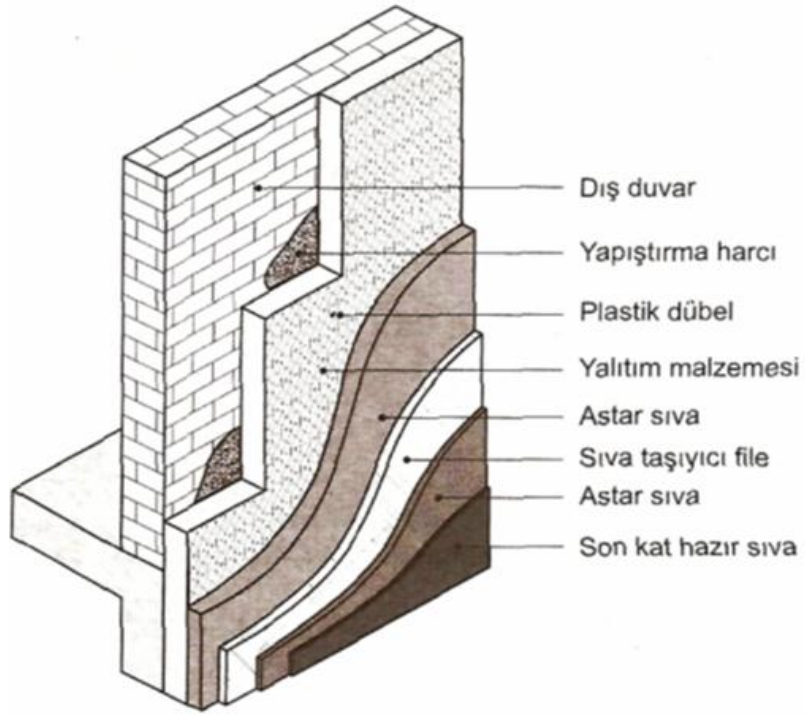
Binalarda dış duvarlardan olan ısı kaybı binanın yüksekliğine göre artar. Diğer bir ifadeyle dış yüzey ne kadar büyürse, ısı kayıpları da o ölçüde artmaktadır. Çok katlı binalarda toplam ısıнын yaklaşık % 40'ı dış duvarlar yoluyla kaybolur. Tek katlı binalarda dış yüzeyin küçülmesi nedeniyle, ısı kayıpları % 25'e düşer. Bu rakam, Türkiye'nin toplam enerji talebinin % 14'üne karşı gelmektedir. Binaların dış duvarları doğrudan atmosferik şartlara maruzdur.

Özellikle dört iklimin yaşandığı ülkemizde, yapı bileşenlerinde oluşan genleşme ve büzülme gibi fiziksel değişimler, binaların güvenilir ve uzun ömürlü olmasına negatif yönde etki eder. Fiziksel değişimleri önlemek ve daha güvenilir mekânlara kavuşmak için, binalar standart ve yönetmeliklere uygun yalıtım malzemeleriyle yalıtılmalıdır.

#### **2.4.1. Dıştan Yalıtım**

Dış duvarların yalıtımında duvar yüzeyleriyle birlikte kolon, kiriş, lento, hatıl ve perde duvar gibi yapı elemanlarını da yalıtımak gerekir. Bu elemanların yalıtılmasıyla, ısı köprüleri ortadan kalkar ve yapı elemanları atmosferik şartlara karşı korunur.

Yalıtım levhaları, yüzeye yapıştırıcı sürüldükten sonra aralarında boşluk kalmayacak şekilde duvara tespit edilir. Yapıştırma harcı genel olarak yaklaşık 24 saatte kurur. Harç kuruduktan sonra yalıtım levhalarını sağlamlaştırmak için özel yalıtımlı dübellerle m<sup>2</sup>'ye 6 adet gelecek şekilde levhalar dübellendir. Yalıtım levhası üzerine çok ince astar sıva yapılır. Astar sıva üzerine cam kumaşı esaslı 145-160 gr/ m<sup>2</sup> olan file, kenarları 10 cm birbirinin üzerine girebilecek şekilde yerleştirilir. File üzerine yine astar bir sıva atılır. Bu katmanlar kuruduktan sonra son kat sıva yapılarak yalıtım uygulaması tamamlanır.

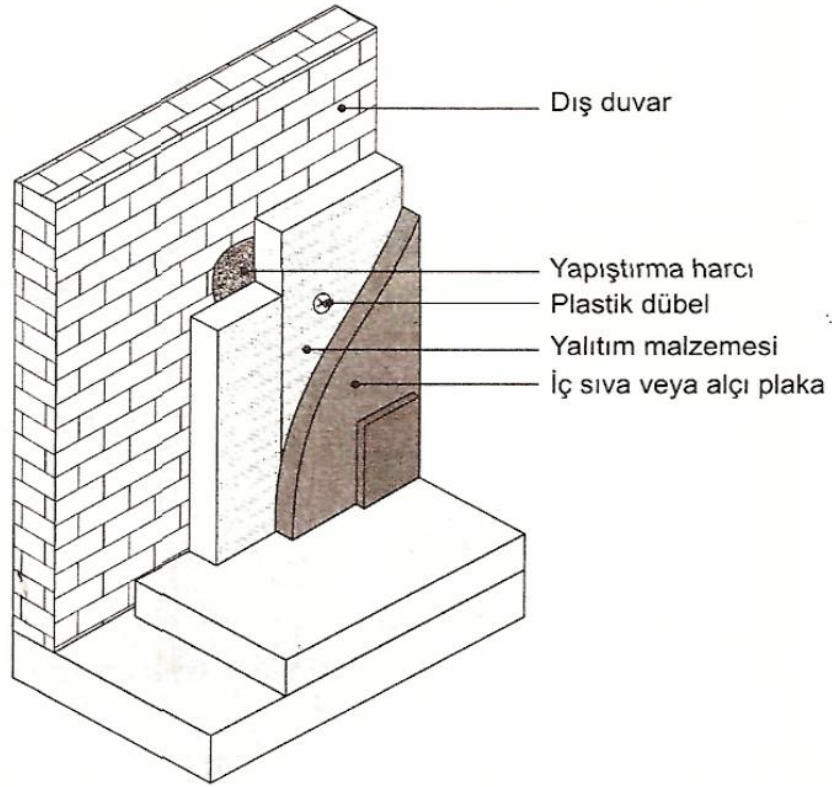


Şekil 2.5. Dıştan yalıtılmış bir duvarın yalıtım detaylarının perspektif görünümü [42].

#### 2.4.2. İçten Yalıtım

Dış duvarların içten yalıtımı, ancak dış taraftan ısı yalıtımı tercih edilemeyen durumlar için uygulanabilir. Dış duvarlara bağlı olan kolon, kiriş ve perde gibi yapı elemanları, ısı köprüsü oluşmaması için yalıtılmalıdır.

Dış duvarların dıştan veya içten yalıtılmasının avantaj ve dezavantajları vardır. Dıştan yalıtım yapı elemanların atmosferik şartlara karşı korur. Sıcaklık farkı nedeniyle, yapı elemanlarında meydana gelen genleşme ve büzülme gibi fiziksel değişimleri minimum seviyede tutar veya tamamen önler. Bu durum binaların daha uzun ömürle olmasını sağlar. İçten yalıtımda yapı eleman atmosferik şartlara karşı korunamaz. Bu nedenle, binaların ömrü ve güvenilirliği daha az olur. Fakat içten yalıtım dıştan yalıtıma göre daha kolay ve işçiliği daha azdır.



Şekil 2.6. İçten yalıtılmış bir dış duvarın yalıtımına ait perspektif [42].

#### 2.4.3. Ortadan Yalıtım (Sandviç Duvar)

Sandviç duvarlarda duvar malzemesi arasında yalıtım malzemesi koymak üzere boşluk bulunur. Bu boşluğa yalıtım malzemesi levha halinde koyulabileceği gibi, sıvı halde de atılabilir. Sıvı halde atıldığı zaman iki tarafta bulunan duvar malzemesi yalıtım malzemesiyle birlikte rijit hale gelir.

Ortadan ısı yalıtımlı dış duvarlarda camyünü, taş yünü, ahşap yünü, koyunyünü, mineral lifli plak ısı yalıtım malzemeleri, EPS ve XPS sert köpük, poliüretan sert köpük, genleştirilmiş üre formaldehit köpük vb. plak üreten ısı yalıtım malzemeleri, cam köpüğü ya da genleştirilmiş perlit veya verniküit, bims vb. taneli yalıtkan dolgu malzemeleri ısı yalıtım malzemeleri olarak kullanılmaktadır. Ancak, taneli dolgu malzemeleri daha çok havalandırmasız dış duvarlar için uygun olan ısı yalıtım malzemesidir.

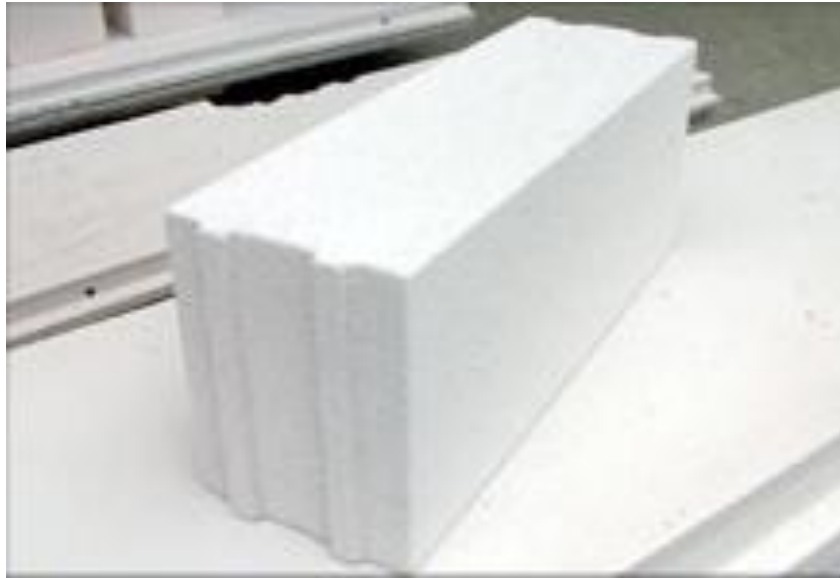
## 2.5. Dolgu Duvar Malzemeleri

TS 825 Binalarda Isı yalıtım Kurallarına uygun yapı üretiminde dış duvar sistemini oluşturan malzemelerin seçimi önemli bir unsurdur. Dış duvar sistemini oluşturan iki ana öge ise dolgu duvar malzemesi ve ısı yalıtım malzemesidir.

### 2.5.1. Gazbeton

Gazbeton ince öğütülmüş silisli bir agregası ve inorganik bir bağlayıcı madde ile hazırlanan karışımın gözenek oluşturunca bir madde ilavesi ile hafifletilmesi ve buhar kuru ile sertleştirilmesiyle elde edilen gözenekli hafif betondur [54].

Gazbetondaki gözenek oluşumu metodu, mikro yapısına tesir eder ve bu da gazbetonun özelliklerini etkiler. Gazbetonun içsel yapısı; katı mikro gözenek matrisi ve makro gözenekler olarak tanımlanabilir. Makro gözenekler maddenin içinde sürüklenen hava kabarcıklarından etkilenen kütsel genişmeden meydana gelmektedir ve mikro gözenekler ise bu makro gözenekler arasındaki duvarlarda oluşturmaktadırlar. Makro gözenekler çapları 60 µm'den daha büyük boşluklar olarak tanımlanabilir. Bu boşluklar ve boşlukların boyutları ve dağılımı betonun dayanım, geçirgenlik ve rötre gibi fiziksel özelliklerinde belirleyicidir [55].



Şekil 2.7. Gazbeton duvar bloğu

Hava boşluklarının gözenek yapısı, gözenek kabuklarının mekanik durumu basınç dayanımını doğrudan etkiler. Genellikle basınç dayanımı yoğunluk artışıyla lineer olarak artar. Bunun sebebi, gözeneklerin azalması sonucu yoğunluğun artmasıdır. Gazbetonun mekanik dayanım değerleri 15-40 kg/cm<sup>2</sup> arasındadır [56]. Gazbetonun mekanik özellikleri tablo 2.2.'deki gibidir.

**Tablo 2.2.** Gazbetonun mekanik özellikleri [55].

| <b>Kuru Yoğunluk<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Basınç Dayanımı<br/>(MPa)</b> | <b>Elastisite Modülü<br/>(kN/mm<sup>2</sup>)</b> | <b>Termik Geçirgenlik<br/>(W/m°C)</b> |
|---------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 400                                         | 1.3 – 2.8                        | 0.18 – 1.17                                      | 0.07 – 0.11                           |
| 500                                         | 2.0 – 4.4                        | 1.24 – 1.84                                      | 0.08 – 0.13                           |
| 600                                         | 2.8 – 6.3                        | 1.76 – 2.64                                      | 0.11 – 0.17                           |
| 700                                         | 3.9 – 8.5                        | 2.42 – 3.58                                      | 0.13 – 0.21                           |

Pratikte gazbetonun yangına dayanıklılığı sıradan betonlardan daha iyidir ya da en az sıradan betonlar kadardır ve yangına maruz kaldığında alevler gazbetonu kuşatamaz. Bu davranışın önemli bir sebebi bu malzemenin sıradan betona göre daha homojen olmasıdır, bu sebeple sıradan betondaki kaba agreganın farklı oranlarda genleşme, çatlama ve parçalanmalara öncülük etmesidir. Radyasyon, içinden geçen sıcaklık transferi, hava-katı yüzeylerin sayısının ters bir fonksiyonu olduğu için gazbetonun yangına dayanıklılık özelliği, kapalı gözenekli yapısının büyük boşluklarının olduğu kısımlarda gerçekleşir. Bununla birlikte gazbetonun düşük termik geçirgenliği ve yayması gazbetonun yangına daha iyi dayanıklılık özelliklerine sahip olmasını sağlar. Gazbeton inorganik olmasından dolayı yanmaz. Erime noktası 1600 °C'dir ki bu değer tipik bir şekilde yanan bir binanın içindeki sıcaklık olan 650 °C'nin iki katından daha fazladır.

Gazbeton, kuvarsit veya kum ile çimento, kireç ve suyun karışımından elde edilmektedir. Bu malzemelerden elde edilmesi nedeniyle tamamen çevre dostu bir malzemedir. Yapısındaki milyonlarca gözenek sayesinde yapının nefes almasını sağlayarak, rutubetlenmeyi önleyici yönü vardır.

Gazbetonda pH derecesi 10-11 arasında olduğundan alkali miktarı betondan biraz daha düşüktür. Bununla birlikte insan sağlığı açısından her hangi bir zararı söz konusu değildir. Çevresel ve sağlık açısından bir yapı malzemesindeki ağır metallerin içeriğini bilmek gerekir. Gazbeton ağır metaller bakımından zararsızdır ve standartların koşullarını sağlamaktadır. Gazbetonun çevre için diğer bir avantajı da, 1 m<sup>3</sup> hammadde ile yaklaşık 4 m<sup>3</sup> lük mamul elde edilmesidir. Çünkü gazbetonun yaklaşık olarak % 80'i hava boşluğudur. Böylece üretimde daha az hammadde tüketilmektedir. Bu malzemenin üretiminde çevresel bakımdan diğer bir üstünlük de hammaddelerin önemli bölümünün silisli kum ve kireç olmasından dolayı tarımsal alanlardaki toprağın harcanmasının önlenmesidir [57].

Gazbeton yangın sırasında hiçbir zehirli gaz çıkarmaz. Bundan dolayı da ısı yalıtımı ve yangın faktörleri bir arada değerlendirildiğinde yapının dış kabuğundaki duvarların gazbeton ile yapılması önemle tavsiye edilmektedir. Böylece yangınlarda, yayılan gazların neden olduğu zehirlenmeden kaynaklanan ölümlerin önüne geçebilmek mümkün olmaktadır. Gazbeton malzemelerin yüksek gözenekli bir yapıya sahip olmasından ve bu gözeneklerde ses enerjisinin kolaylıkla ısı enerjisine dönüşebilmesinden dolayı, birim alan ağırlıklarına göre ortalama ses yalıtım değerlerinin, gazbeton malzemelerde diğer bazı yapı malzemelerine göre 2 dB daha yüksektir. Gazbeton gözenekli yüzeyi ve yüksek porozitesi nedeniyle ses yutma özelliği bakımından iyi bir malzemedir. Frekansın 125-4000 Hz arasındaki değişiminde, gazbeton 0.10-0.27 arasında bir ses yutma kapasitesine sahiptir.

Gazbetonun % 80'ini oluşturan mikro ve makro gözenekler, malzemeye düşük bir ısı iletkenlik değeri sağlamaktadır. Isı iletkenlik katsayısı, malzemenin kuru hacim ağırlığı ve nem içeriğine bağlı olarak değişim göstermektedir. Tablo 2.3.'de gazbetonun kuru birim hacim ağırlığı ve ısı iletkenlik değeri arasındaki ilişki gösterilmektedir.

**Tablo 2.3.** Gazbetonun birim hacim ağırlığı ve ısı iletkenlik değeri arasındaki ilişki [58].

| <b>Kuru Birim Hacim Ağırlığı<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Isı İletkenlik Değeri<br/>(W/mK)</b> |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 300                                                     | 0.08                                    |
| 400                                                     | 0.09                                    |
| 500                                                     | 0.12                                    |
| 600                                                     | 0.14                                    |
| 700                                                     | 0.16                                    |
| 800                                                     | 0.19                                    |

Gazbeton kagir elemanlarının birim hacim ağırlığı 300-1000 kg/m<sup>3</sup> arasındadır. Gazbeton gözenekli yapısı sayesinde düşük bir buhar geçirgenlik direncine ( $\mu$ : 5-7) sahiptir. Bu özellik malzemenin yapıda kolaylıkla nefes almasını sağlamaktadır. Ancak özellikle don bölgelerinde gazbeton duvar çıplak bırakıldığı durumlarda bu özelliğin malzemenin bünyesine büyük zarar verdiği gözlemlenmiştir. Gazbeton üretiminde açığa çıkan suyun az olması, üretme sırasında kurutma ve pişirme işlemi olmayıp, tersine yoğun su buharında kimyasal sertleştirme işlemi olmasından ileri gelmektedir. Bunun sonucunda zayıf bir kılcal yapı oluşmakta ve suyun hareketi gözenekler dolayısıyla engellenmektedir. Gazbetonun kapiler etkiyle su emme katsayısı 10-1 / 10-2'dir.

### **2.5.2. Tuğla**

TS 705'e göre pişmiş toprak tuğla (fabrika tuğlası), kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı veya harman edilip, gerektiğinde su, kum, öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu, kül ve benzerleri karıştırılarak makinelerle şekillendirildikten ve kurutulduktan sonra fırınlarda pişirilmesi ile elde edilen ve duvar yapımında kullanılan bir malzemedir [58].

Tuğla üretimi genel olarak hammaddenin hazırlanması, şekillendirme, kurutma ve pişirme aşamalarından oluşmaktadır. Hammaddenin hazırlanması aşamasında, tuğla üretiminde kullanılan killerin gerek boyut gerekse bileşim olarak uygun özelliklere sahip olması için bir dizi ön hazırlık aşamasıdır. Bu aşamada, hammaddenin işlenebilirlik özelliği kazanabilmesi, homojen bir malzeme olması, plastiklik ve kohezyon özelliklerinin gerçekleştirilmesi için iri taşlar ve çöpler ayıklandıktan sonra istenilen tane çapına kadar öğütülmesi gerekir.

Öğütme işleminin ardından harmanlama (tebeşir, kireç, kum, kömür külü gibi) ve su ilave edilerek istenilen kıvama kadar yoğurma yapılır. Yoğrulan hammadde dinlendirilerek, çamurun bir miktar direnç kazanması sağlanır. Dinlendirme, malzemenin kalitesini etkileyen önemli bir unsur olduğu için hammadde hazırlama aşamalarının en önemlisidir. Ancak günümüzde dinlendirme sadece kaplama tuğlaları için yapılmaktadır [59].

Tuğla, dünya tarihinde imalatı yapılan ilk yapı malzemesidir. Konut ve diğer binaların yapımında kullanılan tuğla on beş bin yıllık bir geçmişe sahiptir [60].

Tuğlalar “Seramik” olarak tanımlanan bir malzeme türüdür. Bunlar inorganik, yüksek ısılarda işlem görmüş silikatlar ve metal oksitlerdir. Oksitlenmiş bir malzeme olmaları kimyasal bakımdan denge noktasında olan ve yeni bir kimyasal işleme girmeyen bir malzeme olmaları demektir. Fiziki olarak sert, gevrek ve ısıya dayanıklıdır. Tuğla malzemenin içindeki kuartz kaolinit ve mika ısı etkisi ile kuartz kristobalit, mullit ve bunları bağlayan bir camsı malzeme oluştururlar, inşaatlarda kullanılan tuğlaların pişirme ısıları 950-1200 °C civarındadır [61].

Tuğlanın özellikleri tuğla toprağının karışım oranına (kum-kil), üretim tekniğine, pişirilme şekline ve pişirildiği sıcaklık derecesine göre değişir. Ülkemizde tuğla üretimi el ile harman tuğlası veya fabrika tuğlası olarak üretilmektedir. Genel olarak harman tuğlası düşük dayanımları sebebiyle az katlı yapılarda bölme duvarların yapımında, fabrika tuğlası ise hem bölme hem de taşıyıcı duvarlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Fabrika tuğlaları da üretim aşamalarındaki farklı ham madde ve karışım oranı, farklı pişirme sıcaklığı ve farklı tip fırınlama teknikleri sebebiyle çok değişik dayanımlar gösterir.



**Şekil 2.8.** Yatay delikli tuğla

Basınç dayanımı tuğlanın en önemli özelliğidir. Delikli tuğla ise deliklerin miktarı, yeri, kenarlarının biçimi, yükleme yönü, vb. basınç dayanımı üzerinde etkili olan faktörlerdir. Tuğlanın yapıldığı toprağın cinsinin de tuğla basınç dayanımı üzerinde etkisi vardır. Bugün bazı ülkelerde 500-600 kg/cm<sup>2</sup> basınç dayanımı olan tuğlalar üretilmektedir. Türkiye’de üretilen tuğlaların basınç dayanımları genellikle düşüktür. Üretilen tuğlaların üzerinde sistemli bir basınç dayanımı saptama deneyleri yapılmamaktadır, özellikle harman tuğlalarında basınç dayanımları genellikle düşük olduğu gibi aynı ocaktan gelen tuğlalarda çok büyük basınç dayanımı farklılıkları görülebilmektedir. Daha kontrollü olarak üretilen fabrika tuğlalarında bile basınç dayanımlarında % 50’nin üzerinde farklılıkları olabilmektedir. Tuğlanın mekanik dayanım değerleri 5-25 kg/cm<sup>2</sup> arasındadır.

Tuğla üretim safhasındaki pişirme esnasında yaklaşık olarak 1000 °C’de pişmektedir, ayrıca yangına dayanıklı bir malzeme olması ile birlikte oluşabilecek yangın esnasında doğal bir malzeme olması sayesinde çevreye zehirli gaz vermemektedir. Bu sebepten yangın esnasında uzun bir süre problemsiz bir dayanım sergilemektedir. Açık hava şartlarına bırakılan bir tuğla kapilarite yoluyla açık gözeneklerine % 2 ile % 8 arasında suyu emebilir. Tuğlanın farklılığı ise nefes alabilen bir malzeme olarak, bu emdiği suyu geriye verebilmesidir. Tuğla doğal bir malzeme olması nedeniyle yangın sırasında herhangi bir zehirli gaz ortaya çıkarmaz. Yapılan deneylere göre yatay delikli 19x13.5x19 cm boyutlarında yatay delikli fabrika tuğlası (TS 4563) ile yapılan duvarın ses yalıtımı açısından Avrupa Birliği ülkelerince minimum değer olarak kabul edilen 48 dB hava sesi direncini sağlamaktadır.

Bir yapıda kullanıcı konforu açısından, özellikle duvarlarda kullanılan malzemelerin ısı iletkenlik katsayısının mümkün olduğunca düşük olması istenir. Bu nedenle üreticiler, tuğlaların porozitesini arttırarak (birim hacim ağırlığını küçülterek), içine bazı katkı maddeleri katarak ve delikleri şaşırtmalı yaparak, ısı iletkenlik katsayısını olabildiğince düşük düzeylere getirmeye çalışmaktadır. Örneğin dolu tuğlada 0.87 W/mK olan bu katsayı, birim ağırlığı daha düşük olan az delikli tuğlada 0.37 W/mK'e kadar inebilmektedir.

Tuğlalarda ısı yalıtımı, yapının hafifliği, taşıma ve duvar örme işlerinin kolaylığı bakımından mümkün olduğu kadar küçük birim hacim ağırlık aranır. Hafifliği artırmak için delikli tuğlalar ve boşluklu blok tuğlalar geliştirilmiştir. Kuru birim hacim kütlenin artması durumunda mekanik dayanım artarken, genel bir olgu olarak blok elemanlarının ısı geçirgenlik değeri düşecektir. Bu iki özellik arasında en iyi bir optimum değerin bulunması en ideal olanıdır. Tuğlanın kuru birim hacim ağırlığı 1000-2400 kg/m<sup>3</sup> değerleri arasındadır. 19x19x13.5 cm boyutlarındaki düşey delikli fabrika tuğlasının buhar difüzyon direnç faktörü ( $\mu$ ) 5-10'dur. Tuğlanın normal koşullar altında belli bir miktar su emmesi bilinen bir gerçektir. Emilen su miktarına göre, tuğlada çeşitli hasarlar oluşabilmektedir. Bunun yanında, özellikle ısı yalıtım işlevine sahip olan tuğlalarda porozitenin yüksek olması ve dolayısıyla su emmenin de fazla olması istenmektedir. Eğer malzeme bünyesine suyun girişi engellenemiyorsa malzemenin suya karşı dayanıklılığı artırılmalıdır. Tuğlanın kapiler etkiyle su emme miktarı 10<sup>-2</sup>-10<sup>-4</sup> cm<sup>2</sup>/sn.

## **2.6. Elazığ İli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Tespiti Yöntemi**

Ülkemizdeki binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarını sınırlamak, dolayısıyla enerji tasarrufunu artırmak ve enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap metodunu belirlemek için öncelikle mevcut binaların ısıtma enerji tüketimlerini belirlemek gerekir.

### **2.6.1. Yıllık Isı Enerjisi**

Dış duvarın birim yüzeyinde meydana gelen ısı kaybı,

$$q=U \times \Delta t \quad (2.1)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada,  $U$  ısı geçiş katsayısını ifade etmektedir. Birim yüzeyde meydana gelen yıllık ısı kaybı ise  $U$  ve Derece gün sayısı ( $DD$ ) kullanılarak hesaplanabilir [63]:

$$q = U \times 86400 \times DD \quad (2.2)$$

Yıllık enerji ihtiyacı ise, yıllık birim ısı kaybının sistem verimine bölünmesiyle elde edilir [63]. Bir binaya ait ısıtmadaki yıllık enerji ihtiyacı  $E_A$ , derece gün değeri  $DD$ , duvarın toplam ısı taşınım katsayısı  $U$  ( $W/m^2K$ ) ve ısıtma sisteminin verimi  $\eta$  olmak üzere denklem (2.3) ile bulunur.

$$E_A = \frac{86400 \times DD \times U}{\eta} \quad (2.3)$$

Duvarın toplam ısı taşınım katsayısı  $U$ , duvarı oluşturan katmanların dirençleri dikkate alınarak Denklem (2.4) ile hesaplanır [9].

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_{in} + R_o} \quad (2.4)$$

Denklem (2.4)'de  $R_i$  iç yüzey ısıl direncini,  $R_o$  dış yüzey ısıl direncini,  $R_w$  bileşim duvarın iletim ısıl direncini,  $R_{in}$  yalıtım tabakasının iletim ısıl direncini ifade etmektedir.

Yalıtım tabakasının iletim ısıl direnci  $R_{in}$ ,  $x/k$  ifadesi ile de verilebilir. Yalıtım malzemesinin ısı iletkenliği  $k$  ( $W/mK$ ), yalıtım kalınlığı  $x$  (m) olup, toplam ısı taşınım katsayısı  $U$  ( $W/m^2K$ ) olmak üzere Denklem (2.4)'ü Denklem (2.5)'i gibi yazabiliriz.

$$U = \frac{1}{R_{wt} + \frac{x}{k}} \quad (2.5)$$

Denklem (2.5) ile verilen eşitlikte  $R_{wt}$  yalıtım tabakası iletim ısı direnci hariç diğer ısı iletim dirençlerinin toplamını göstermektedir. Buna göre ısıtma için gerekli olan yıllık ısı enerjisi Denklem (2.6)'daki gibi hesaplanır.

$$E_A = \frac{86400 \times DD}{\left(R_{wt} + \frac{x}{k}\right) \times \eta} \quad (2.6)$$

### 2.6.2. Ekonomik Analiz Yöntemi

Yatırımların değerlendirilmesinde temel amaç, yatırımın ekonomik olup olmadığını belirlemektir. Değerlendirmede öncelikle, yatırımın ekonomik ömrü boyunca yatırımla ilgili tüm parametrelerin belirlenmesi gerekir. Bu parametreler; yatırım tutarı, faiz oranı, devrelik gelirler, devrelik giderler, ekonomik ömür ve hurda değerdir. Yatırımların değerlendirmesinde kullanılacak birçok ekonomik analiz yöntemi vardır. En iyi yalıtım kalınlığının hesaplaması için de, ekonomik analiz yöntemlerinden biri olan bugünkü değer yöntemi kullanılmıştır. Bugünkü değer yöntemi, bir yatırımın ekonomik olup olmadığını belirleyen bir yöntemdir. Yatırımın ekonomik ömrü boyunca, tüm gelirler ile giderlerin belirli bir faiz oranı üzerinden peşin değerleri toplamının belirlenerek mukayese yapılması esasına dayanır. Yatırımla ilgili tüm parametreler belirlendikten sonra, yatırıma ilişkin nakit akışları oluşturulur. Daha sonra yatırımın ekonomikliği belirlenir. Yöntemin sakıncalı yönü ise, başlangıçta belirlenen faiz oranının, projenin ekonomik ömrü boyunca sabit olarak dikkate alınmasıdır. Belirlenen bu faiz oranının izlenen yıllardaki değişimi, en uygun yatırım seçimini etkiler [36].

Gelecekteki yıllık faiz oranı, sadece geçmiş yıllardaki faiz oranlarından faydalanarak tahmin edilemez. Faiz oranı, ülke ve dünya ekonomisinin içinde bulunduğu şartlarla yakından ilgilidir. İç ve dış borç miktarı, ihracat-ithalat dengesi, kamu açıkları gibi pek çok faktör enflasyonu dolayısıyla faiz oranını dolaylı ya da direkt olarak etkiler.

Gelecekteki faiz oranlarının değişken kabul edilmesi halinde, bir yatırımı değerlendirirken, bir nakit akışının peşin (gelecek) değeri, o yılın faiz oranı dikkate alınarak hesaplanır [62].

Bugünkü değer faktörü hesaplanırken, enflasyon etkisi giderilmiş yıllık faiz oranı (reel faiz oranı)  $r$  kullanılır.

$$r = \frac{i-g}{1+g} \quad (2.7)$$

Toplam ısıtma maliyeti; yalıtım malzemesinin  $N$  yıllık ekonomik ömrü için yıllık ısıtma maliyetlerinin peşin değerleri toplamıdır. Bu değer, yatırımların değerlendirilmesinde kullanılan Bugünkü Değer yöntemiyle hesaplanabilir.

$N$  yıl boyunca yıllık enerji maliyetlerinin toplamı Denklem (2.8) ile bulunur. Denklem (2.8)'deki ifade Şimdiki Değer Faktörü olup  $PWF$  ile gösterilir [62].

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r \times (1+r)^N} \quad (2.8)$$

### 2.6.3. En İyi Yalıtım Kalınlığının Tespiti

En iyi yalıtım kalınlığını; dış ortam sıcaklığı, ısıtma periyodunun uzunluğu, çalışma süresi, ısıtma sistemi verimi, yalıtım malzemesi özellikleri (ısı iletim katsayısı, fiyat, ömür) etkileyen parametrelerdir. Yalıtımlı bir binada birim alanı ısıtmak için kullanılan yıllık enerji (yakıt) maliyeti  $C_{Ain}$  Denklem (2.9) kullanılarak elde edilir. Bu denklemde  $C_f$  yakıtın birim fiyatını,  $H_u$  yakıtın ısı değerini ifade eder [63].

$$C_{Ain} = \frac{86400 \times DD \times C_f}{\left(R_{wt} + \frac{x}{k}\right) \times H_u \times \eta} \quad (2.9)$$

$$C_{in} = C_i \times x \quad (2.10)$$

$C_{in}$  TL/m<sup>2</sup> cinsinden, yalıtım (yatırım) maliyeti olup formüldeki  $x$  yalıtım malzemesinin kalınlığını (m) ve  $C_i$  ise TL/m<sup>3</sup> cinsinden yalıtım malzemesinin maliyetini gösterir.

Böylece yalıtımlı bir binada  $N$  yıllık toplam ısıtma maliyeti Denklem (2.10)'da olduğu gibidir.

$$C_{Tin} = C_{Ain} \times PWF + C_i \times x \quad (2.11)$$

Denklem (2.9)'dan  $C_{Ain}$  alınıp Denklem (2.11)'de yerine yazılırsa, Denklem (2.12) elde edilir.

$$C_{Tin} = \frac{86400 \times DD \times Cf \times PWF}{\left(R_{wt} + \frac{x}{k}\right) \times H_u \times \eta} + C_i \times x \quad (2.12)$$

Yalıtım malzemesi kullanımının ekonomik olup olmadığı, yalıtım malzemesi kullanıldığında sağlanan enerji tasarrufu ile yalıtım yatırım maliyetlerinin mukayesesi ile belirlenebilir.

$$S_{Ain} = C_T - C_{Tin} \quad (2.13)$$

$$C_T = \frac{86400 \times DD \times Cf \times PWF}{R_{wt} \times H_u \times \eta} \quad (2.14)$$

Denklem (2.14) yalıtım malzemesinin kullanılmadığı durumda ki ısıtmada kullanılan yakıt maliyetini ifade etmektedir. Denklem (2.12) ve Denklem (2.14) alınıp Denklem (2.13)'de yerine yazılırsa  $N$  yıllık toplam yakıt maliyet kazancı Denklem (2.15)'de olduğu gibi hesaplanır.

$$S_{Ain} = \frac{86400 \times DD \times Cf \times PWF}{R_{wt} \times H_u \times \eta} - \frac{86400 \times DD \times Cf \times PWF}{\left(R_{wt} + \frac{x}{k}\right) \times H_u \times \eta} - C_i \times x \quad (2.15)$$

Denklem (2.15)'deki ilk terim yalıtım malzemesi kullanılmadığı durumda ( $x = 0$ ), ikinci terim ise yalıtım malzemesi kullanıldığında ( $x \neq 0$ ) ortaya çıkan toplam yakıt maliyetini ifade etmektedir.

Belirtilen iki maliyet arasındaki fark sağlanan enerji tasarrufunu verir. Son terim, yalıtım (yatırım) maliyeti olup; enerji tasarrufu ile yalıtım maliyetinin farkı kazancı ifade eder. Dolayısıyla  $S_A(x)$  konkav bir fonksiyon olup,

$$\frac{dS_{Ain}}{dx} = 0$$

koşulunu sağlayan  $x$  (m), toplam kazancı en büyük yapan izolasyon malzemesi kalınlığını verir.

$$x_{opt} = 293.94 \times \left[ \frac{DD \times Cf \times PWF \times k}{H_u \times C_i \times \eta} \right]^{1/2} - k \times R_{wt} \quad (2.16)$$

#### 2.6.4. Geri Ödeme Süresinin Tespiti

Faiz oranlarının değişkenlik gösterdiği durumlarda, uzun süreli faiz oranı tahmini mümkün olmadığı için geri ödeme süresi ile değerlendirme önem kazanır. Faiz oranları en fazla 2-3 yıl için duyarlı tahmin edilebilir. Dolayısıyla, yatırımın geri ödeme süresinin de 2.5-3 yıl olması gerekir. Daha uzun olması halinde, faiz oranlarının tahminindeki riski nedeniyle, yatırım riske girer. Geri Ödeme Süresi (PP) yöntemi, yatırımın ekonomikliğini

ölçen bir yöntem olmayıp, kaç yıl içerisinde gelirlerin giderleri karşılayacağını hesaplayan bir yöntemdir. Bu yöntem ile yatırımın nakit girişlerinin kaç devre içinde nakit çıkışlarının karşılayacağı Denklem (2.17) kullanılarak hesaplanır. Yapılan yatırımlar içinde, en kısa sürede geri dönen yatırım tercih edilir.

$$PP = \frac{C_{in}}{C_{At}} \quad (2.17)$$

$C_{At}$  yıllık toplam ısıtma maliyeti kazancı olup ( $C_A - C_{Ain}$ ) şeklinde hesaplanır.  $C_A$ , yalıtım malzemesi kullanılmadığında bir binada birim alanı ısıtmak için kullanılan yıllık enerji (yakıt) maliyetidir.

## **2.7. Elazığ İli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Tespiti Hesaplamaları**

Bir binada toplam ısı kayıpları dış duvarlardan, pencerelerden, tavan, zemin, kolon, giriş ve havalandırmadan kaynaklanan ısı kayıpları dikkate alınarak tespit edilir. Bu çalışma da düzlemsel duvarlarda ısı kayıpları incelenmiş olup diğer ısı kayıpları göz ardı edilmiştir. Bu yüzden çalışma gerçek yapıda sadece bir kesite aittir.

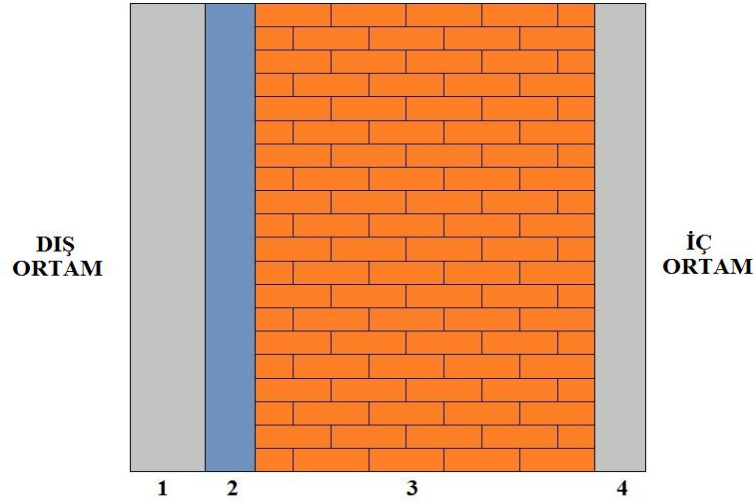
Duvarların yalıtımı da ısı kaybı hesabı sonucunu değiştiren önemli faktörlerden birisidir. Çünkü yapının % 20-30'u dış duvarlardan oluşmaktadır. Bu amaçla dış duvarların ısı iletim katsayısı ile ısı direnci için standartlar geliştirilmiş olup duvarların yalıtımı içten, dıştan ve ortadan olabilir.

### **2.7.1. Duvar Tipi, Yalıtım Malzemesi ve Yakıt Türlerinin Seçimi**

Prencip olarak yapı fiziğine uygun çok katmanlı yapı elemanlarında sıcak taraftan soğuk tarafa doğru, her malzemenin ısı iletkenlik değeri gittikçe azalacak bir sistem oluşturulmalıdır. Bu kurala uyulmadığı zaman söz konusu düzlem ve bölgede su yoğunlaşma riski artar. Bu sebepten dolayı yapılan çalışmada yalıtım uygulaması seçmiş olduğumuz duvar tiplerine ait olarak dıştan ve ortadan yapılmıştır.

### 2.7.1.1. Duvar Tiplerinin Seçimi

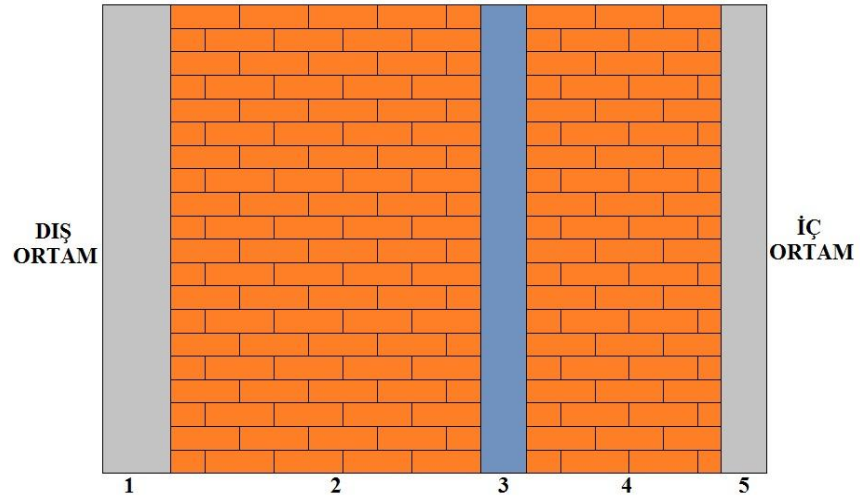
Elazığ ilinde genellikle kullanılan duvar tipleri Yatay Delikli Tuğla Duvar, Sandviç Duvar ve Gazbeton olmak üzeredir. Şekil 2.9., Şekil 2.10. ve Şekil 2.11. de, yapacağımız çalışmada kullanacağımız duvar tipleri görülmektedir.



Şekil 2.9. Dıştan yalıtımlı tuğla duvar (D-1)

Şekil 2.9.'da görüldüğü gibi Dıştan Yalıtımlı Tuğla Duvarı oluşturan bileşenler dıştan içe doğru aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

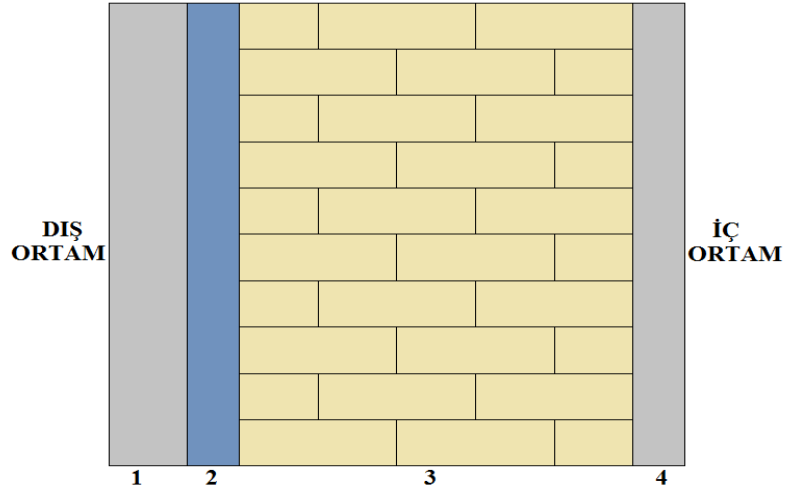
1. Dış Sıva (çimento esaslı) 0.03 m
2. Yalıtım Malzemesi
3. Duvar Yapı Malzemesi (yatay delikli tuğla) 0.135 m
4. İç Sıva (kireç esaslı) 0.02 m



**Şekil 2.10.** Ortadan yalıtımlı sandviç duvar (D-2)

Şekil 2.10.'da görüldüğü gibi Ortadan Yalıtımlı Sandviç Duvarı oluşturan bileşenler dıştan içe doğru aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

1. Dış Sıva (çimento esaslı) 0.03 m
2. Duvar Yapı Malzemesi (yatay delikli tuğla) 0.135 m
3. Yalıtım Malzemesi
4. Duvar Yapı Malzemesi (yatay delikli tuğla) 0.085 m
5. İç sıva (kireç esaslı) 0.02 m



**Şekil 2.11.** Dıştan yalıtımlı gazbeton duvar (D-3)

Şekil 2.11.'de görüldüğü gibi Dıştan Yalıtımlı Gazbeton Duvarı oluşturan bileşenler dıştan içe doğru aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

1. Dış Sıva (çimento esaslı) 0.03 m
2. Yalıtım Malzemesi
3. Duvar Yapı Malzemesi (gazbeton) 0.150 m
4. İç Sıva (kireç esaslı) 0.02 m

Hesaplamalarda kullanacağımız, seçmiş olduğumuz duvar tiplerine ait fiziksel özellikler Tablo 2.4.'de verilmiştir.

**Tablo 2.4.** Dış duvar malzemelerinin fiziksel özellikleri [65].

| Malzemeler                                  | Kalınlık (m) | k (W/mK) | R (m <sup>2</sup> K/W) |
|---------------------------------------------|--------------|----------|------------------------|
| Dış Sıva (çimento esaslı)                   | 0.030        | 1.40     | 0.021                  |
| Yatay Delikli Tuğla                         | 0.135        | 0.45     | 0.300                  |
| Yatay Delikli Tuğla                         | 0.085        | 0.45     | 0.188                  |
| Gazbeton                                    | 0.150        | 0.24     | 0.625                  |
| İç Sıva (kireç esaslı)                      | 0.020        | 0.87     | 0.022                  |
| Taş Yünü                                    |              | 0.040    |                        |
| XPS                                         |              | 0.030    |                        |
| EPS                                         |              | 0.035    |                        |
| <b>R<sub>i</sub></b>                        |              |          | <b>0.13</b>            |
| <b>R<sub>o</sub></b>                        |              |          | <b>0.04</b>            |
| <b>Yalıtım malzemesi hariç toplam (D-1)</b> |              |          | <b>0.51</b>            |
| <b>Yalıtım malzemesi hariç toplam (D-2)</b> |              |          | <b>0.70</b>            |
| <b>Yalıtım malzemesi hariç toplam (D-3)</b> |              |          | <b>0.83</b>            |

#### 2.7.1.2. Yalıtım Malzemesi Seçimi

Seçmiş olduğumuz Duvar Tiplerinde kullanacağımız Yalıtım Malzemesi türleri ise; Ekspande Polistiren Köpük – EPS, Eksrüde Polistiren Köpük - XPS ve Taş yünü olmak üzere dört türden yalıtım malzemesidir. Hesaplamalarda kullanacağımız, seçmiş olduğumuz yalıtım malzemelerine ait bilgiler Tablo 2.5.’te verilmiştir.

**Tablo 2.5.** Yalıtım malzemelerinin özellikleri

|                                   | Taş Yünü | XPS   | EPS   |
|-----------------------------------|----------|-------|-------|
| Isı İletkenliği (W/mK)            | 0.040    | 0.030 | 0.035 |
| Birim Fiyatı (TL/m <sup>3</sup> ) | 568      | 414   | 344   |

### 2.7.1.3. Yakıt Türlerinin Seçimi

Seçmiş olduğumuz duvar tipleri ve yalıtım malzemeleriyle birlikte kullanacağımız bir diğer parametre ise yakıt türüdür. Yapacağımız çalışmada Elazığ ilinde en çok kullanılan yakıt türleri Kömür, Doğalgaz ve Elektrik'tir. Bu nedenle çalışmamızda kullanacağımız yakıt türleri Kömür, Doğalgaz ve Elektrik'tir. Seçmiş olduğumuz yakıt türlerine ait bilgiler Tablo 2.6.'da verilmiştir.

**Tablo 2.6.** Yakıt türlerine ait özellikler

| YAKIT    | FİYAT                   | Hu                                 | $\eta$ (%) |
|----------|-------------------------|------------------------------------|------------|
| Kömür    | 0.749 TL/kg             | $29.295 \times 10^6 \text{ J/kg}$  | 0.65       |
| Doğalgaz | 0.835 TL/m <sup>3</sup> | $34.526 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ | 0.93       |
| Elektrik | 0.374 TL/kWh            | $3.599 \times 10^6 \text{ J/kWh}$  | 0.99       |

### 2.7.2. Hesaplamalar

Isı geçiş hesaplarında duvarın toplam ısı taşınım katsayısı  $U$  değerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun için öncelikle duvarı oluşturan katmanların dirençleri belirlenir. Daha sonra denklem (2) kullanılarak yapı bileşeninin toplam ısı geçiş katsayısı hesaplanır.

#### 2.7.2.1. Duvarın Isı Geçirgenlik Katsayısının Hesaplanması

Yapı bileşenin iletimle toplam ısı geçiş direnci  $R_w$ ;

I. Tip Duvar (D-1) için  $R_w$ ;

$$R_w = 0.03/1.4 + 0.135/0.45 + 0.02/0.87 = 0.344 \text{ m}^2\text{K/W}$$

II. Tip Duvar (D-2) için  $R_w$ ;

$$R_w = 0.03/1.4 + 0.135/0.45 + 0.085/0.45 + 0.02/0.87 = 0.533 \text{ m}^2\text{K/W}$$

III. Tip Duvar (D-3) için  $R_w$ ;

$$R_w = 0.03/1.4 + 0.150/0.24 + 0.02/0.87 = 0.669 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Yapı bileşeninin toplam ısı geçiş direnci,  $R_{wt}$ ;

I. Tip Duvar (D-1) için  $R_{wt}$ ;

$$R_{wt} = 0.13 + 0.344 + 0.04 = 0.51 \text{ m}^2\text{K/W}$$

II. Tip Duvar (D-2) için  $R_{wt}$ ;

$$R_{wt} = 0.13 + 0.533 + 0.04 = 0.70 \text{ m}^2\text{K/W}$$

III. Tip Duvar (D-3) için  $R_{wt}$ ;

$$R_{wt} = 0.13 + 0.669 + 0.04 = 0.83 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Yapı bileşeninin toplam ısı taşınım katsayısı,  $U$ ;

I. Tip Duvar (D-1) için  $U$ ;

$$U = 1/0.51 = 1.96 \text{ W/m}^2\text{K}$$

II. Tip Duvar (D-2) için  $U$ ;

$$U = 1/0.70 = 1.43 \text{ W/m}^2\text{K}$$

III. Tip Duvar (D-3) için  $U$ ;

$$U = 1/0.83 = 1.19 \text{ W/m}^2\text{K}$$

#### 2.7.2.2. Şimdiki Değer Faktörünün Hesaplanması

Gelecekteki faiz oranlarına ait değerlerin durumu değişken olabileceği için, yatırım bugünkü değer yöntemi ile değerlendirirken, hesaplamalarda 2011 yılının ortalama faiz oranı % 11.07 ve enflasyon oranı % 6.45 (TÜFE) değerleri kullanılmıştır. Yatırımın ekonomik ömrü ise 10 yıl alınmıştır [65]. Reel faiz oranı;

$$r = (0.1107 - 0.0645)/(1 + 0.0645) = 0.0434$$

$$r = \% 4.34 \text{ olup,}$$

$$PWF = \frac{(1 + 0.0434)^{10} - 1}{0.0434(1 + 0.0434)^{10}}$$

Bugünkü Değer Faktörü  $PWF = 7.98$  bulunur.

### 2.7.2.3. En İyi Yalıtım Kalınlığının Hesabı

Elazığ ili için en iyi yalıtım kalınlığını hesaplamak için üç farklı duvar tipi ve üç farklı yalıtım malzemesi türü seçmiştik. Her duvar tipi ve her yalıtım malzemesi için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmış olup bütün parametrelere ait optimum yalıtım kalınlıkları tespit edilmiştir.

Aşağıdaki çözümleme, duvar tipi olarak D-1, Yakıt olarak Kömür ve Yalıtım Malzemesi olarak da Taş Yünü'ne ait örnek bir çözümdür.

$$X_{opt} = 293.94 \sqrt{\frac{2653 \times 0.749 \times 0.04 \times 7.98}{29295000 \times 568 \times 0.65}} - (0.04 \times 0.51)$$

$X_{opt} = 0.05$  m olarak hesaplanır.

### 2.7.2.4. Yatırım Maliyeti Hesabı

Yalıtım yatırım maliyeti denklem (9) kullanılarak

$$C_{in} = 568 \text{ TL/m}^3 \times 0.05 \text{ m}$$

$$C_{in} = 28.4 \text{ TL/m}^2$$

### 2.7.2.5. Yıllık Toplam Isıtma Maliyeti Kazancı Hesabı

$$C_{At} = \frac{86400 \times 2653 \times 0.749}{0.51 \times 29295000 \times 0.65} - \frac{86400 \times 2653 \times 0.749}{\left(0.51 + \frac{0.05}{0.04}\right) \times 29295000 \times 0.65}$$

$$C_{At} = 12.55 \text{ TL/m}^2\text{yıl}$$

### 2.7.2.6. Geri Ödeme Süresi Hesabı

$$PP = 28.4/12.55 = 2.28 \text{ yıldır.}$$

### 3. BULGULAR

Yalıtım malzemesi olarak taş yünü, yakıt olarak kömür ve duvar tipi olarak D-1 kullanılması durumunda Elazığ ili için yapmış olduğumuz örnek hesaplamalar sonucunda optimum yalıtım kalınlığı  $X_{opt}=0.05$  m, yalıtım yatırım maliyeti  $C_{in}=28.4$  TL/m<sup>2</sup> ve geri ödeme süresi  $PP=2.28$  yıl olarak hesaplanmış olup diğer yalıtım malzemelerinin, duvar tiplerinin ve yakıt türlerinin kullanılması sonucunda hesaplanan değerler aşağıdaki tablolarda ve grafiklerde verilmiştir.

**Tablo 3.1.** D-1 ve Elektrik için hesaplanan değerler

| ELAĞIĞ<br>DD:2653        | BİRİM                 | DUVAR TİPİ: D-1      |        |        |
|--------------------------|-----------------------|----------------------|--------|--------|
|                          |                       | YAKIT TÜRÜ: ELEKTRİK |        |        |
|                          |                       | TAŞ YÜNÜ             | XPS    | EPS    |
| En iyi yalıtım kalınlığı | m                     | 0.0959               | 0.1027 | 0.1141 |
| Yalıtım maliyeti         | TL/m <sup>2</sup>     | 54.45                | 42.47  | 39.26  |
| Yıllık kazanç            | TL/m <sup>2</sup>     | 256.07               | 285.29 | 292.81 |
| Yıllık net mali kazanç   | TL/m <sup>2</sup> yıl | 38.91                | 41.07  | 41.61  |
| Geri ödeme süresi        | yıl                   | 1.39                 | 1.03   | 0.94   |
| Enerji tasarrufu         | %                     | 68.00                | 75.75  | 77.75  |

Yakıt olarak Elektrik kullanılması halinde D-1 duvar tipine uygulanan yalıtım malzemelerine ait en iyi yalıtım kalınlıkları 0.0959 m, 0.1027 m ve 0.1141 m olarak hesaplanmış olup bu yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak hesaplanan yalıtım maliyeti, yıllık kazanç, yıllık net mali kazanç, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

**Tablo 3.2.** D-2 ve Elektrik için hesaplanan değerler

| <b>ELAZIĞ</b><br><b>DD:2653</b> | <b>BİRİM</b>          | <b>DUVAR TİPİ: D-2</b>      |            |            |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------|------------|
|                                 |                       | <b>YAKIT TÜRÜ: ELEKTRİK</b> |            |            |
|                                 |                       | <b>TAŞ YÜNÜ</b>             | <b>XPS</b> | <b>EPS</b> |
| En iyi yalıtım kalınlığı        | m                     | 0.0887                      | 0.0973     | 0.1087     |
| Yalıtım maliyeti                | TL/m <sup>2</sup>     | 50.37                       | 40.26      | 37.40      |
| Yıllık kazanç                   | TL/m <sup>2</sup>     | 161.93                      | 189.28     | 196.34     |
| Yıllık net mali kazanç          | TL/m <sup>2</sup> yıl | 26.61                       | 28.76      | 29.30      |
| Geri ödeme süresi               | yıl                   | 1.89                        | 1.39       | 1.27       |
| Enerji tasarrufu                | %                     | 58.17                       | 68.01      | 70.56      |

Yakıt olarak Elektriğin kullanılması halinde D-2 duvar tipine uygulanan yalıtım malzemelerine ait en iyi yalıtım kalınlıkları 0.0887 m, 0.0973 m ve 0.1087 m olarak hesaplanmış olup bu yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak hesaplanan yalıtım maliyeti, yıllık kazanç, yıllık net mali kazanç, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri Tablo 3.2.'de verilmiştir.

**Tablo 3.3.** D-3 ve Elektrik için hesaplanan değerler

| <b>ELAZIĞ</b><br><b>DD:2653</b> | <b>BİRİM</b>          | <b>DUVAR TİPİ: D-3</b>      |            |            |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------|------------|
|                                 |                       | <b>YAKIT TÜRÜ: ELEKTRİK</b> |            |            |
|                                 |                       | <b>TAŞ YÜNÜ</b>             | <b>XPS</b> | <b>EPS</b> |
| En iyi yalıtım kalınlığı        | m                     | 0.0831                      | 0.0931     | 0.1045     |
| Yalıtım maliyeti                | TL/m <sup>2</sup>     | 47.19                       | 38.51      | 35.95      |
| Yıllık kazanç                   | TL/m <sup>2</sup>     | 118.16                      | 144.06     | 150.92     |
| Yıllık net mali kazanç          | TL/m <sup>2</sup> yıl | 20.72                       | 22.88      | 23.41      |
| Geri ödeme süresi               | yıl                   | 2.27                        | 1.68       | 1.53       |
| Enerji tasarrufu                | %                     | 51.06                       | 62.25      | 65.22      |

Yakıt olarak Elektriğin kullanılması halinde D-3 duvar tipine uygulanan yalıtım malzemelerine ait en iyi yalıtım kalınlıkları 0.0831 m, 0.0931 m ve 0.1045 m olarak hesaplanmış olup bu yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak hesaplanan yalıtım maliyeti, yıllık kazanç, yıllık net mali kazanç, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri Tablo 3.3.'de verilmiştir.

**Tablo 3.4.** D-1 ve Kömür için hesaplanan değerler

| <b>ELAZIĞ<br/>DD:2653</b> | <b>BİRİM</b>          | <b>DUVAR TİPİ: D-1</b>   |            |            |
|---------------------------|-----------------------|--------------------------|------------|------------|
|                           |                       | <b>YAKIT TÜRÜ: KÖMÜR</b> |            |            |
|                           |                       | <b>TAŞ YÜNÜ</b>          | <b>XPS</b> | <b>EPS</b> |
| En iyi yalıtım kalınlığı  | m                     | 0.0508                   | 0,0569     | 0,0639     |
| Yalıtım maliyeti          | TL/m <sup>2</sup>     | 28.87                    | 23.57      | 22.01      |
| Yıllık kazanç             | TL/m <sup>2</sup>     | 71.96                    | 87.81      | 92.01      |
| Yıllık net mali kazanç    | TL/m <sup>2</sup> yıl | 12.63                    | 13.95      | 14.28      |
| Geri ödeme süresi         | yıl                   | 2.28                     | 1.68       | 1.54       |
| Enerji tasarrufu          | %                     | 50.93                    | 62.15      | 65.12      |

Yakıt olarak Kömürün kullanıldığı D-1 duvar tipine uygulanan yalıtım malzemelerine ait en iyi yalıtım kalınlıkları Taş Yünü için 0.0508 m, XPS için 0.0569 m ve EPS için 0.0639 m olarak hesaplanmış olup bu yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak hesaplanan yalıtım maliyeti, yıllık kazanç, yıllık net mali kazanç, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri Tablo 3.4.'de verilmiştir.

**Tablo 3.5.** D-2 ve Kömür için hesaplanan değerler

| <b>ELAZIĞ</b><br><b>DD:2653</b> | <b>BİRİM</b>          | <b>DUVAR TİPİ: D-2</b>   |            |            |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|------------|------------|
|                                 |                       | <b>YAKIT TÜRÜ: KÖMÜR</b> |            |            |
|                                 |                       | <b>TAŞ YÜNÜ</b>          | <b>XPS</b> | <b>EPS</b> |
| En iyi yalıtım kalınlığı        | m                     | 0.0436                   | 0.0515     | 0.0585     |
| Yalıtım maliyeti                | TL/m <sup>2</sup>     | 24.78                    | 21.34      | 20.14      |
| Yıllık kazanç                   | TL/m <sup>2</sup>     | 39.19                    | 53.19      | 57.01      |
| Yıllık net mali kazanç          | TL/m <sup>2</sup> yıl | 8.01                     | 9.34       | 9.67       |
| Geri ödeme süresi               | yıl                   | 3.09                     | 2.28       | 2.08       |
| Enerji tasarrufu                | %                     | 37.53                    | 50.93      | 54.59      |

Yakıt olarak Kömürün kullanıldığı D-2 duvar tipine uygulanan yalıtım malzemelerine ait en iyi yalıtım kalınlıkları Taş Yünü için 0.0436 m, XPS için 0.0515 m ve EPS için 0.0585 m olarak hesaplanmış olup bu yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak hesaplanan yalıtım maliyeti, yıllık kazanç, yıllık net mali kazanç, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri Tablo 3.5.'de verilmiştir.

**Tablo 3.6.** D-3 ve Kömür için hesaplanan değerler

| <b>ELAZIĞ</b><br><b>DD:2653</b> | <b>BİRİM</b>          | <b>DUVAR TİPİ: D-3</b>   |            |            |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|------------|------------|
|                                 |                       | <b>YAKIT TÜRÜ: KÖMÜR</b> |            |            |
|                                 |                       | <b>TAŞ YÜNÜ</b>          | <b>XPS</b> | <b>EPS</b> |
| En iyi yalıtım kalınlığı        | m                     | 0.0381                   | 0.0473     | 0.0543     |
| Yalıtım maliyeti                | TL/m <sup>2</sup>     | 21.60                    | 19.60      | 18.70      |
| Yıllık kazanç                   | TL/m <sup>2</sup>     | 24.76                    | 37.31      | 40.84      |
| Yıllık net mali kazanç          | TL/m <sup>2</sup> yıl | 5.81                     | 7.13       | 7.46       |
| Geri ödeme süresi               | yıl                   | 3.71                     | 2.74       | 2.50       |
| Enerji tasarrufu                | %                     | 28.51                    | 42.97      | 47.04      |

Yakıt olarak Kömürün kullanıldığı D-3 duvar tipine uygulanan yalıtım malzemelerine ait en iyi yalıtım kalınlıkları Taş Yünü için 0.0381 m, XPS için 0.0473 m ve EPS için 0.0543 m olarak hesaplanmış olup bu yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak hesaplanan yalıtım maliyeti, yıllık kazanç, yıllık net mali kazanç, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri Tablo 3.6.'da verilmiştir.

**Tablo 3.7.** D-1 ve Doğalgaz için hesaplanan değerler

| <b>ELAZIĞ<br/>DD:2653</b> | <b>BİRİM</b>          | <b>DUVAR TİPİ: D-1</b>      |            |            |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------|------------|
|                           |                       | <b>YAKIT TÜRÜ: DOĞALGAZ</b> |            |            |
|                           |                       | <b>TAŞ YÜNÜ</b>             | <b>XPS</b> | <b>EPS</b> |
| En iyi yalıtım kalınlığı  | m                     | 0.0374                      | 0.0434     | 0.0490     |
| Yalıtım maliyeti          | TL/m <sup>2</sup>     | 21.27                       | 17.96      | 16.89      |
| Yıllık kazanç             | TL/m <sup>2</sup>     | 39.09                       | 50.98      | 54.02      |
| Yıllık net mali kazanç    | TL/m <sup>2</sup> yıl | 7.56                        | 8.64       | 8.88       |
| Geri ödeme süresi         | yıl                   | 2.81                        | 2.07       | 1.90       |
| Enerji tasarrufu          | %                     | 41.93                       | 54.68      | 57.93      |

Yakıt olarak Doğalgazın kullanıldığı D-1 duvar tipine uygulanan yalıtım malzemelerine ait en iyi yalıtım kalınlıkları Taş Yünü için 0.0374 m, XPS için 0.0434 m ve EPS için 0.0490 m olarak hesaplanmış olup bu yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak hesaplanan yalıtım maliyeti, yıllık kazanç, yıllık net mali kazanç, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri Tablo 3.7.'de verilmiştir.

**Tablo 3.8.** D-2 ve Doğalgaz için hesaplanan değerler

| <b>ELAZIĞ</b><br><b>DD:2653</b> | <b>BİRİM</b>          | <b>DUVAR TİPİ: D-2</b>      |            |            |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------|------------|
|                                 |                       | <b>YAKIT TÜRÜ: DOĞALGAZ</b> |            |            |
|                                 |                       | <b>TAŞ YÜNÜ</b>             | <b>XPS</b> | <b>EPS</b> |
| En iyi yalıtım kalınlığı        | m                     | 0.0302                      | 0.0380     | 0.0436     |
| Yalıtım maliyeti                | TL/m <sup>2</sup>     | 17.19                       | 15.72      | 15.03      |
| Yıllık kazanç                   | TL/m <sup>2</sup>     | 18.86                       | 28.89      | 31.72      |
| Yıllık net mali kazanç          | TL/m <sup>2</sup> yıl | 4.51                        | 5.59       | 5.85       |
| Geri ödeme süresi               | yıl                   | 3.80                        | 2.81       | 2.56       |
| Enerji tasarrufu                | %                     | 27.36                       | 41.93      | 46.04      |

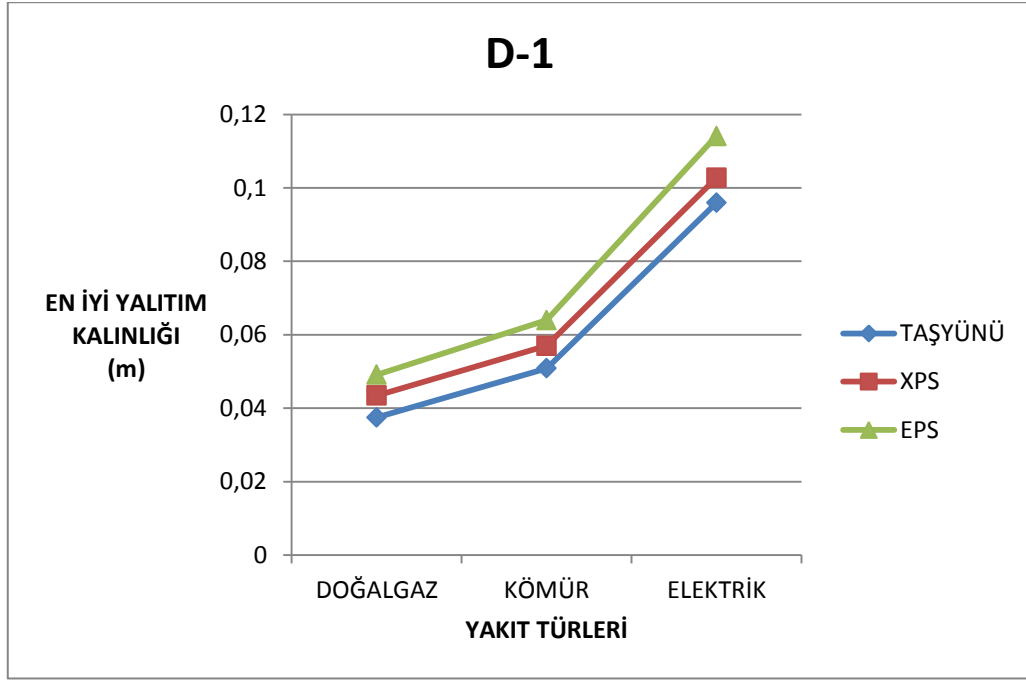
Yakıt olarak Doğalgazın kullanıldığı D-2 duvar tipine uygulanan yalıtım malzemelerine ait en iyi yalıtım kalınlıkları Taş Yünü için 0.0302 m, XPS için 0.0380 m ve EPS için 0.0436 m olarak hesaplanmış olup bu yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak hesaplanan yalıtım maliyeti, yıllık kazanç, yıllık net mali kazanç, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri Tablo 3.8.'de verilmiştir.

**Tablo 3.9.** D-3 ve Doğalgaz için hesaplanan değerler

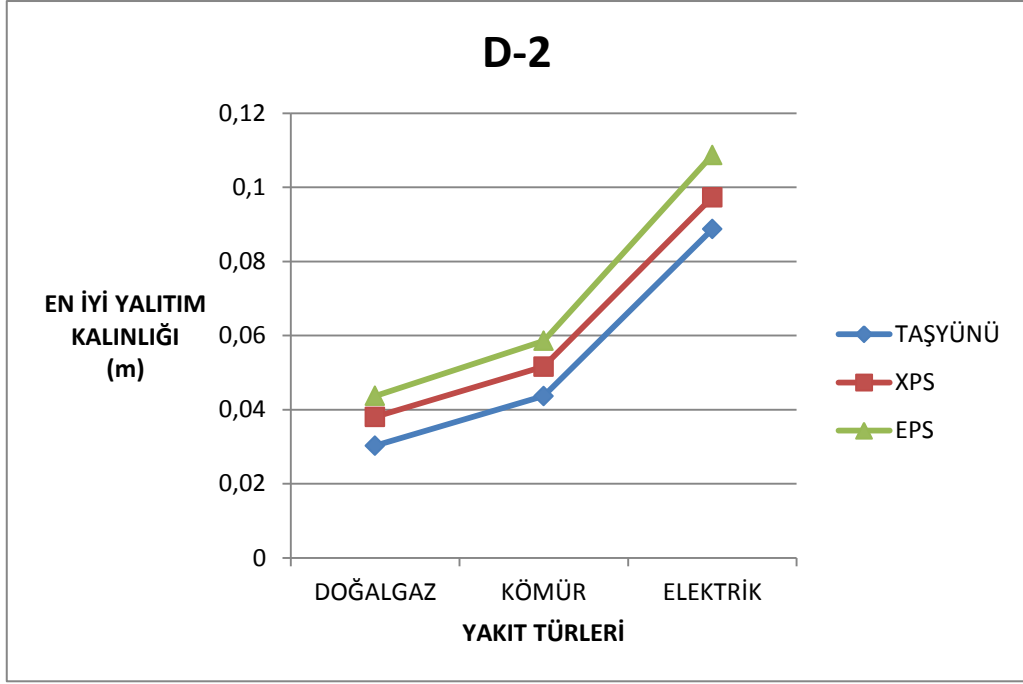
| <b>ELAZIĞ</b><br><b>DD:2653</b> | <b>BİRİM</b>          | <b>DUVAR TİPİ: D-3</b>      |            |            |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------|------------|
|                                 |                       | <b>YAKIT TÜRÜ: DOĞALGAZ</b> |            |            |
|                                 |                       | <b>TAŞ YÜNÜ</b>             | <b>XPS</b> | <b>EPS</b> |
| En iyi yalıtım kalınlığı        | m                     | 0.0246                      | 0.0338     | 0.0394     |
| Yalıtım maliyeti                | TL/m <sup>2</sup>     | 14.01                       | 13.99      | 13.58      |
| Yıllık kazanç                   | TL/m <sup>2</sup>     | 10.41                       | 19.00      | 21.55      |
| Yıllık net mali kazanç          | TL/m <sup>2</sup> yıl | 3.06                        | 4.13       | 4.40       |
| Geri ödeme süresi               | yıl                   | 4.57                        | 3.38       | 3.08       |
| Enerji tasarrufu                | %                     | 18.18                       | 33.17      | 37.61      |

Yakıt olarak Doğalgazın kullanıldığı D-3 duvar tipine uygulanan yalıtım malzemelerine ait en iyi yalıtım kalınlıkları Taş Yünü için 0.0246 m, XPS için 0.0338 m ve EPS için 0.0394 m olarak hesaplanmış olup bu yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak hesaplanan yalıtım maliyeti, yıllık kazanç, yıllık net mali kazanç, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri Tablo 3.9.'da verilmiştir.

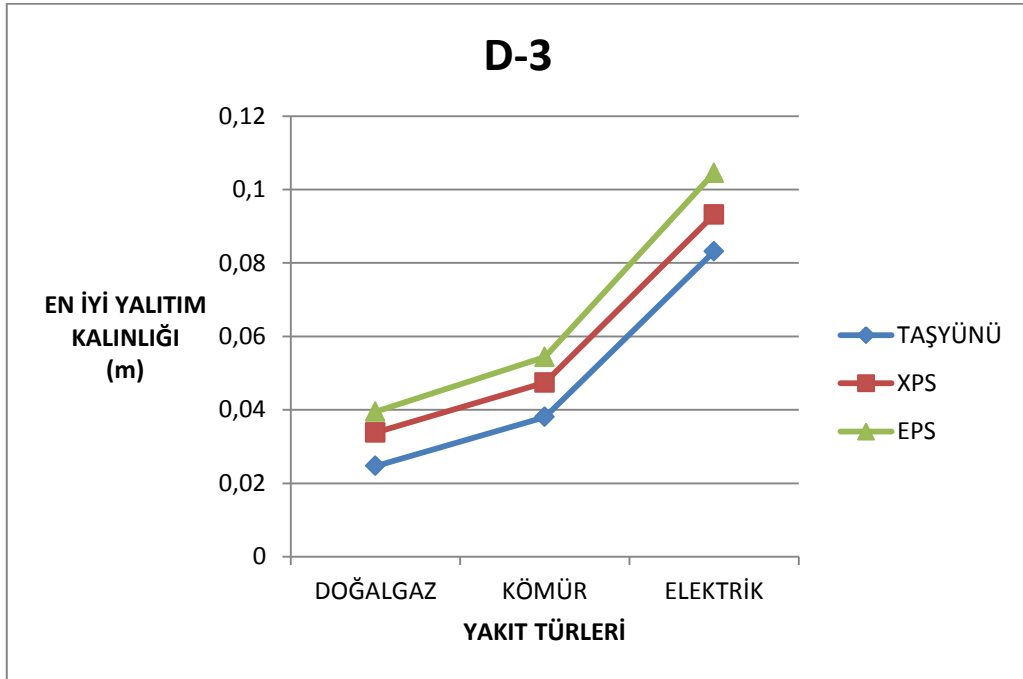
Yakıt olarak Doğalgaz, Kömür ve Elektrik kullanıldığı D-1, D-2 ve D-3 duvar tiplerine uygulanan yalıtım malzemelerine ait en iyi yalıtım kalınlıkları; Taş Yünü, XPS ve EPS için ayrı ayrı hesaplanmış olup Şekil 3.1.'de, Şekil 3.2.'de ve Şekil 3.3.'deki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 3.1. D-1 duvar tipi için en iyi yalıtım kalınlığı

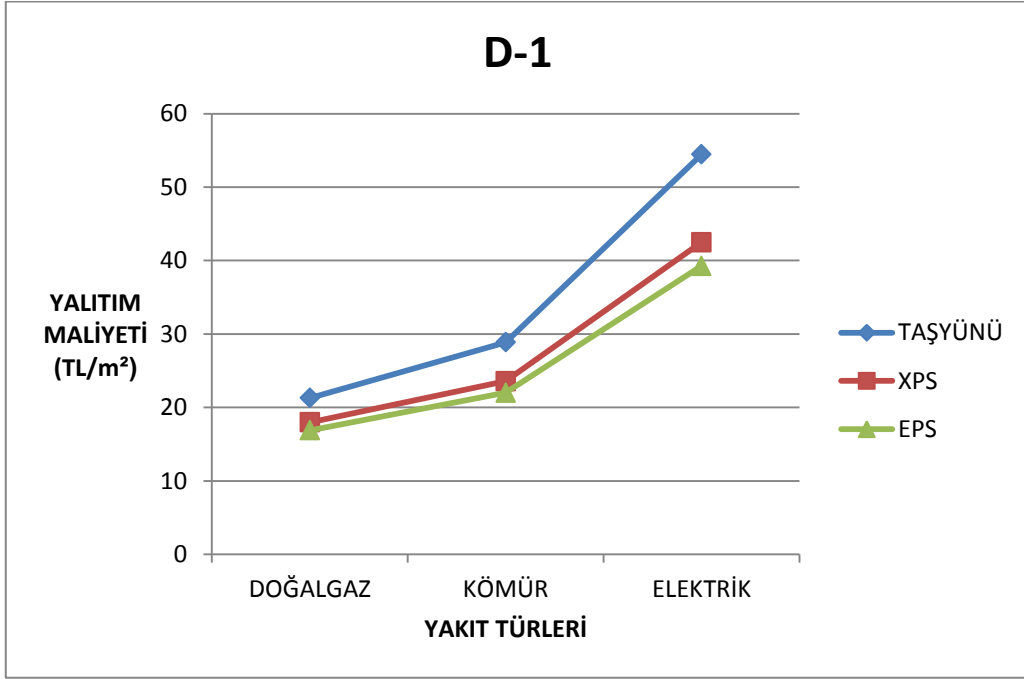


Şekil 3.2. D-2 duvar tipi için en iyi yalıtım kalınlığı

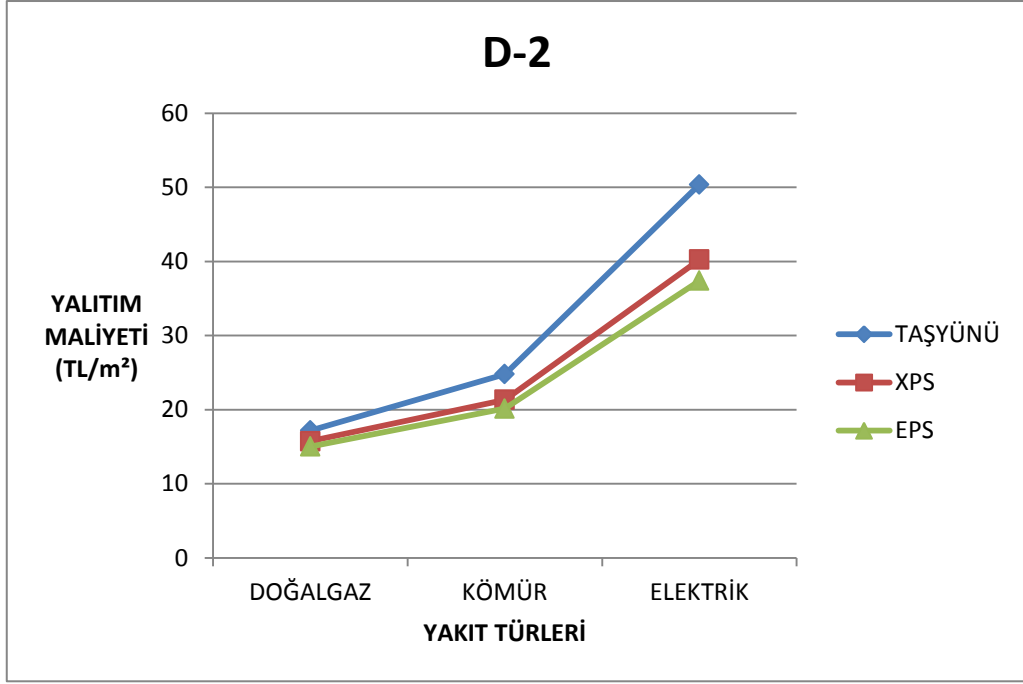


Şekil 3.3. D-3 duvar tipi için en iyi yalıtım kalınlığı

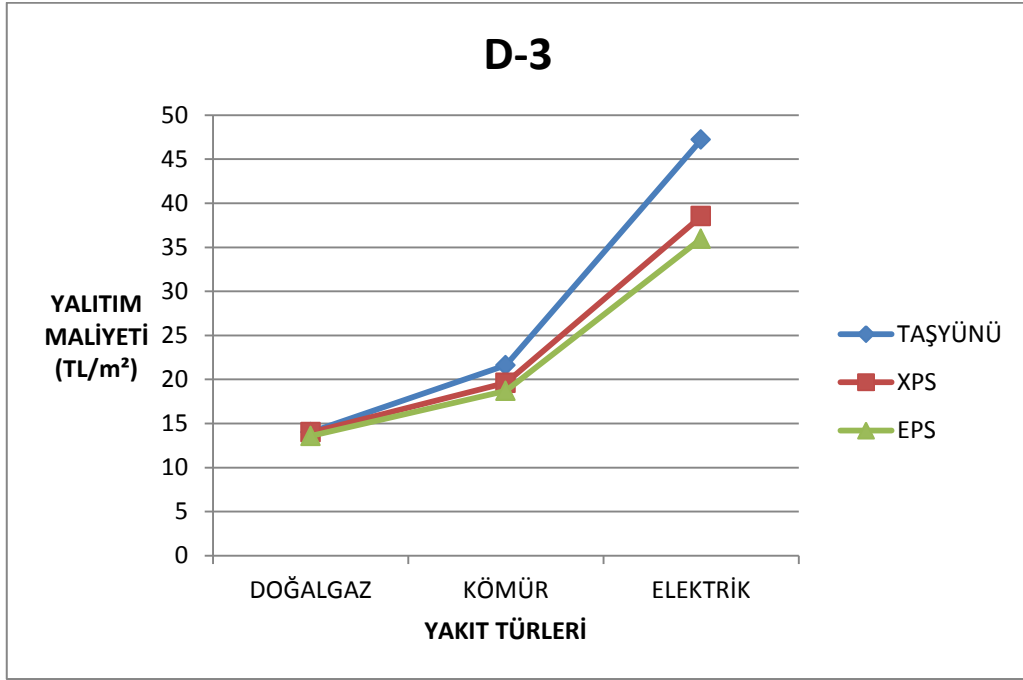
Yakıt olarak Doğalgaz, Kömür ve Elektriğin kullanıldığı D-1, D-2 ve D-3 duvar tiplerine uygulanan yalıtım malzemelerine ait en iyi yalıtım kalınlıkları tespit edilmiş olup, tespit edilen kalınlıklara bağlı olarak yalıtım yatırım maliyetleri ise; Taş Yünü, XPS ve EPS için ayrı ayrı hesaplanmış olup, yalıtım yatırım maliyeti değerleri Şekil 3.4.'de, Şekil 3.5.'de ve Şekil 3.6.'da verilmiştir.



Şekil 3.4. D-1 duvar tipi için yalıtım maliyeti

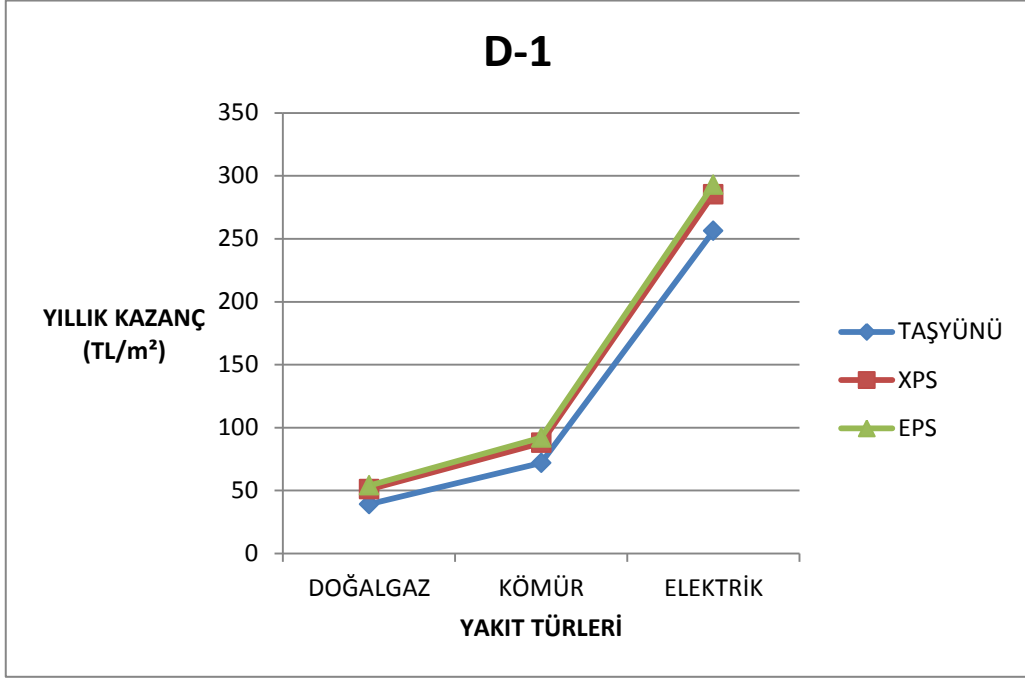


Şekil 3.5. D-2 duvar tipi için yalıtım maliyeti

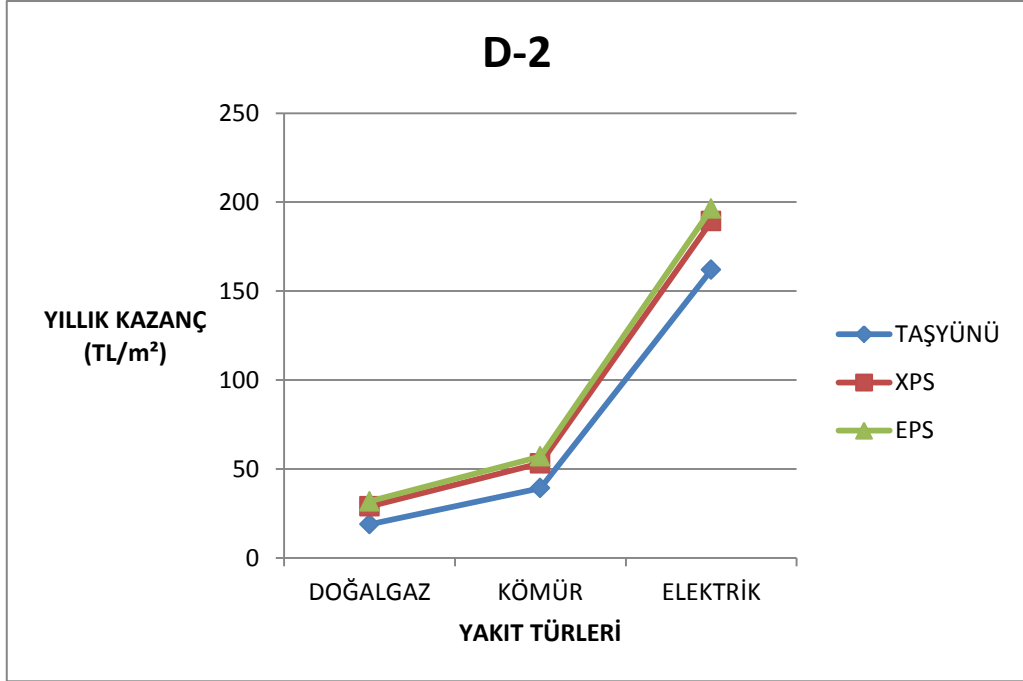


Şekil 3.6. D-3 duvar tipi için yalıtım maliyeti

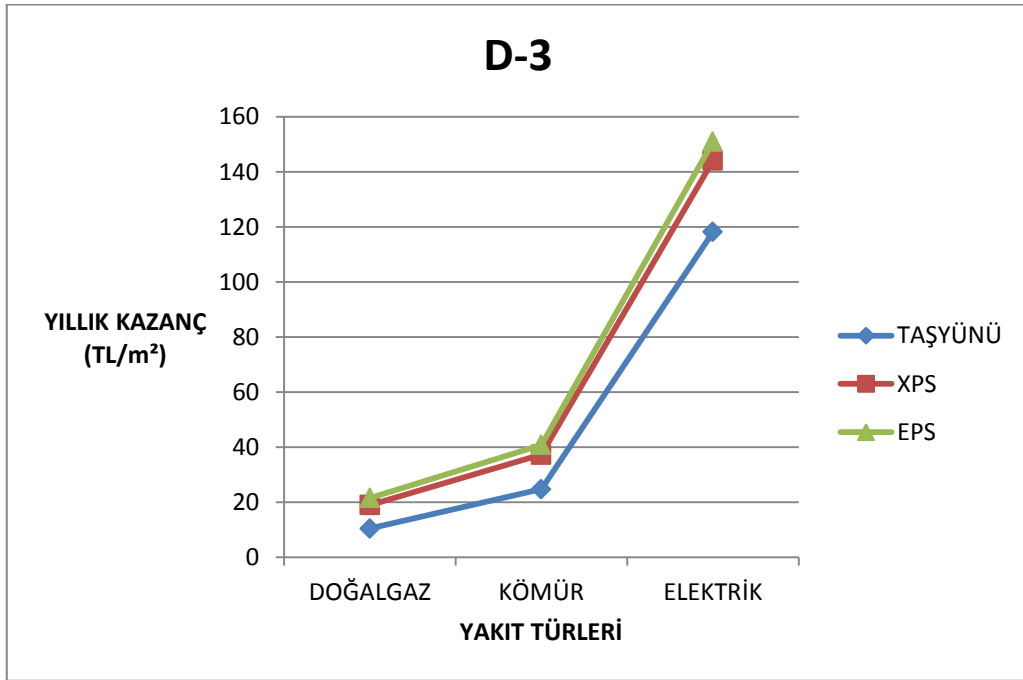
Yakıt olarak Doğalgaz, Kömür ve Elektrik kullanıldığı D-1, D-2 ve D-3 duvar tiplerine uygulanan yalıtım malzemelerine ait yıllık kazanç; Taş Yünü, XPS ve EPS için ayrı ayrı hesaplanmış olup, hesaplanan en iyi yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak bulunan yıllık kazanç değerleri Şekil 3.7.'de, Şekil 3.8.'de ve Şekil 3.9.'da verilmiştir.



Şekil 3.7. D-1 duvar tipi için yıllık kazanç

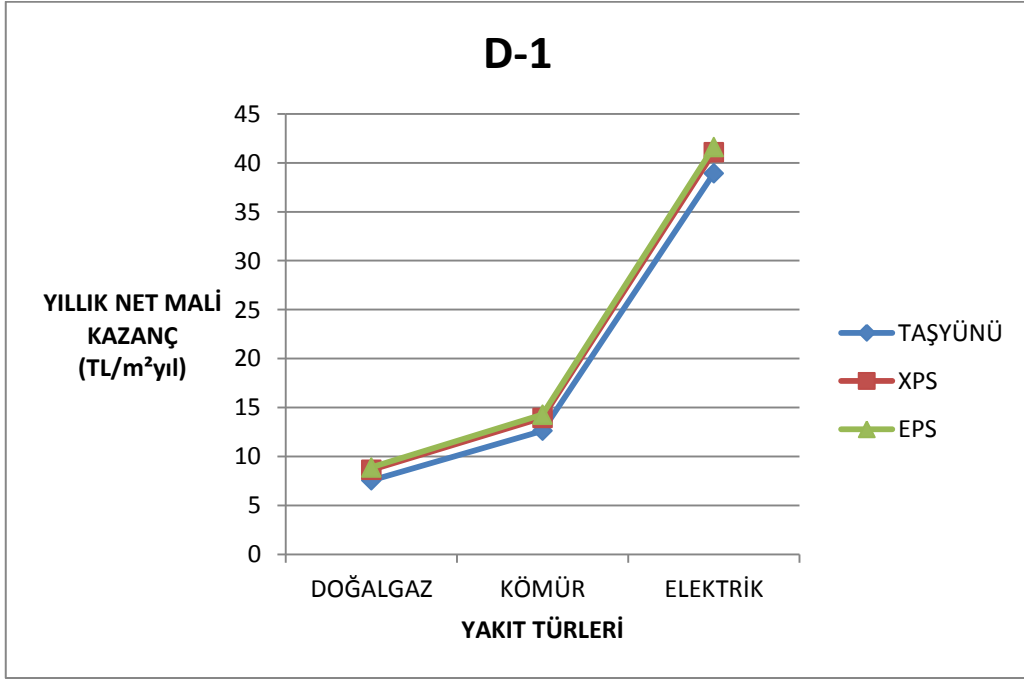


Şekil 3.8. D-2 duvar tipi için yıllık kazanç

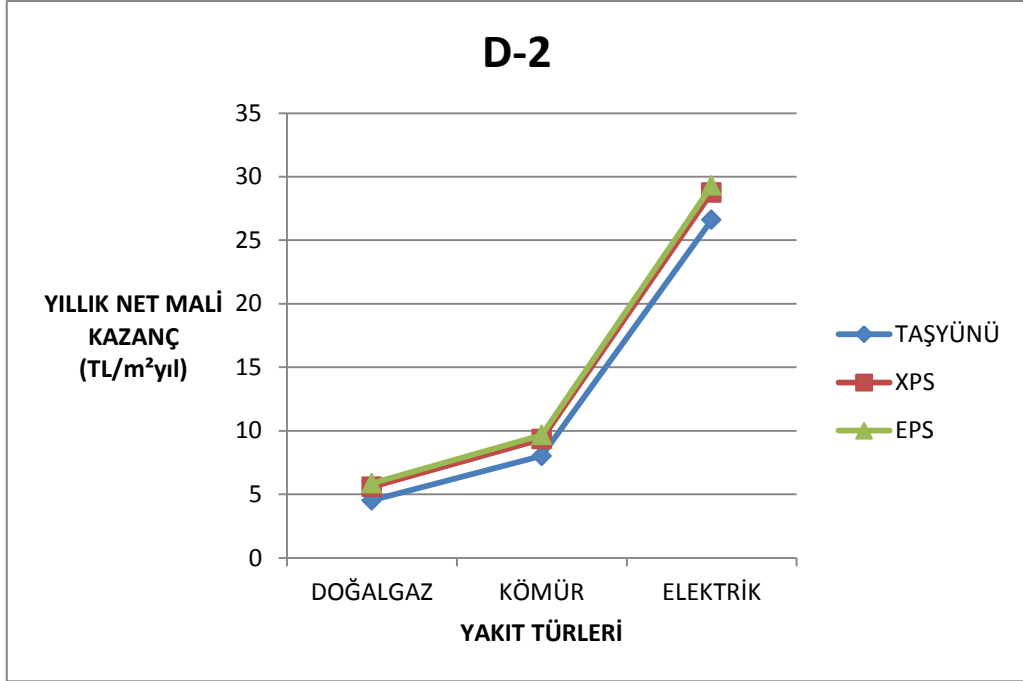


Şekil 3.9. D-3 duvar tipi için yıllık kazanç

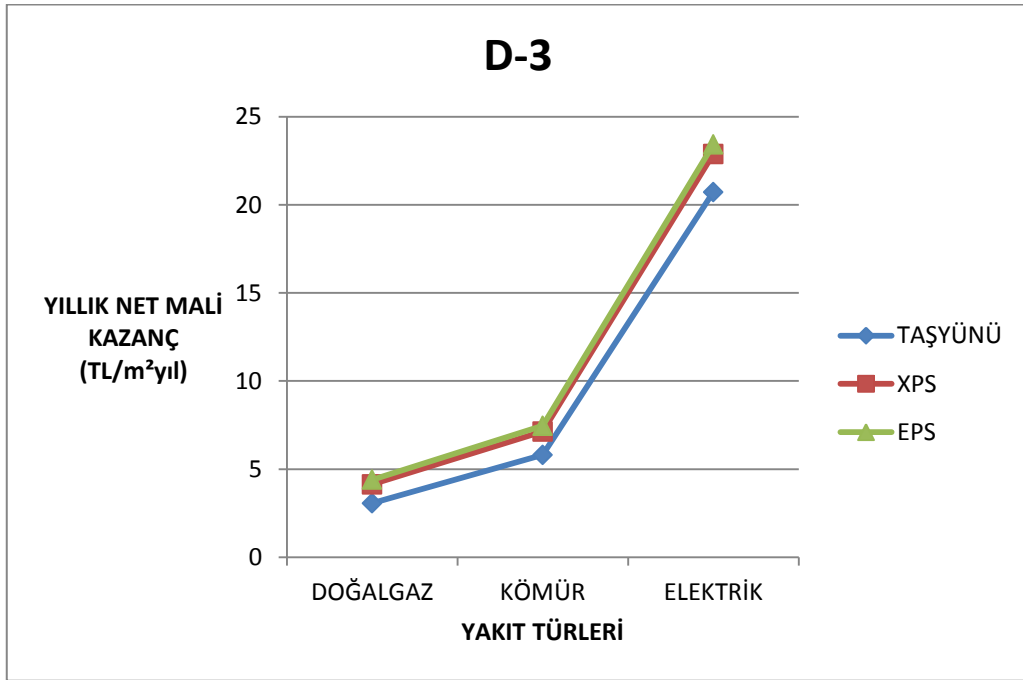
Yakıt olarak Doğalgaz, Kömür ve Elektriğin kullanıldığı D-1, D-2 ve D-3 duvar tiplerine uygulanan yalıtım malzemelerine ait yıllık net mali kazanç; Taş Yünü, XPS ve EPS için ayrı ayrı hesaplanmış olup, hesaplanan en iyi yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak bulunan yıllık net mali kazanç değerleri Şekil 3.10.'da, Şekil 3.11.'de ve Şekil 3.12.'de verilmiştir.



Şekil 3.10. D-1 duvar tipi için yıllık net mali kazanç

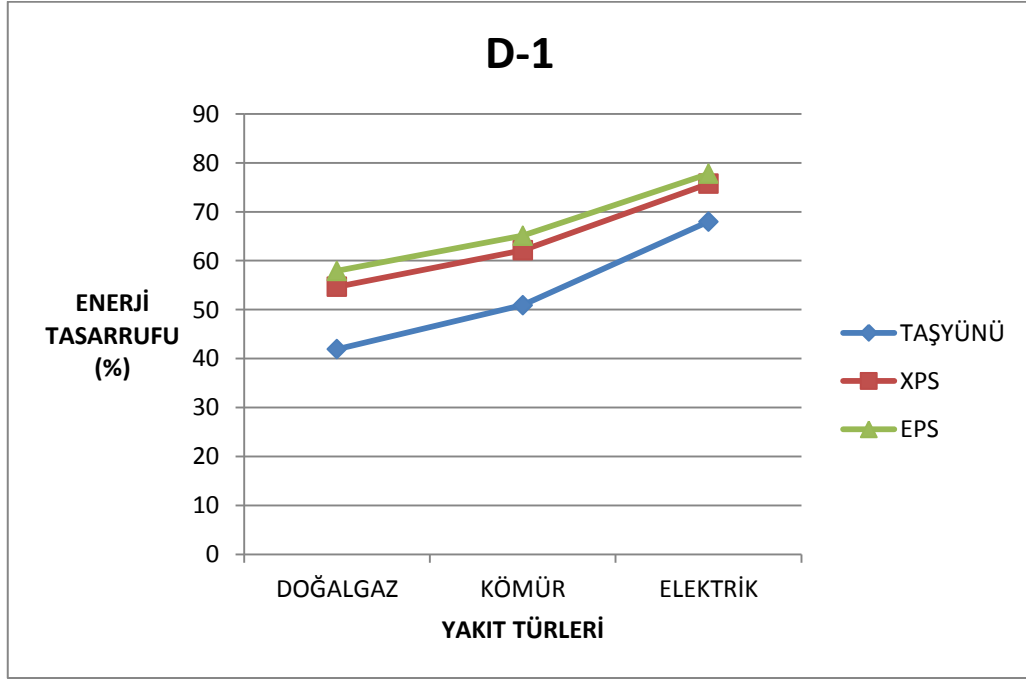


Şekil 3.11. D-2 duvar tipi için yıllık net mali kazanç

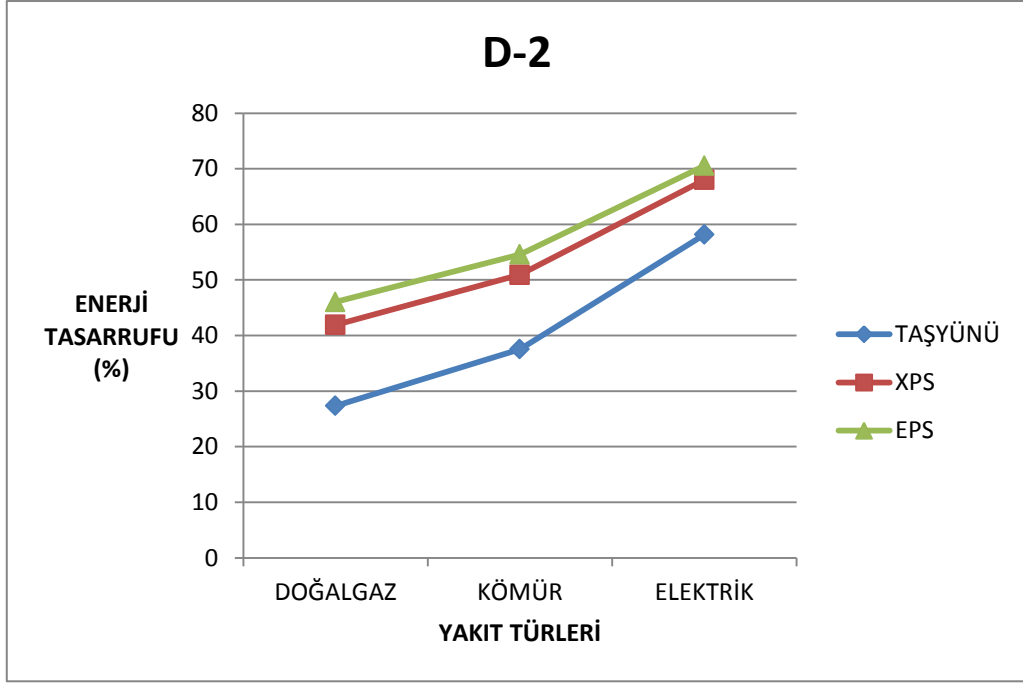


Şekil 3.12. D-3 duvar tipi için yıllık net mali kazanç

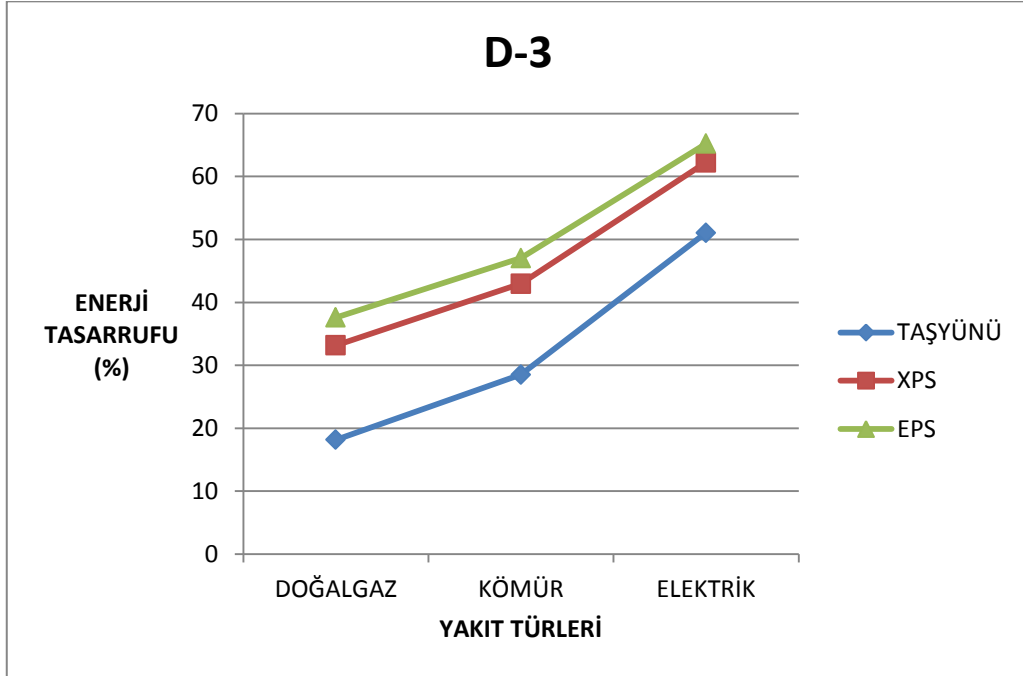
Yakıt olarak Doğalgaz, Kömür ve Elektrik'in kullanıldığı D-1, D-2 ve D-3 duvar tiplerine uygulanan yalıtım malzemelerine ait en iyi yalıtım kalınlıkları Taş Yünü, XPS ve EPS için ayrı ayrı hesaplanmış olup, hesaplanan en iyi yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak bulunan enerji tasarrufu değerleri Şekil 3.13.'de, Şekil 3.14.'de ve Şekil 3.15.'de verilmiştir.



Şekil 3.13. D-1 duvar tipi için enerji tasarrufu

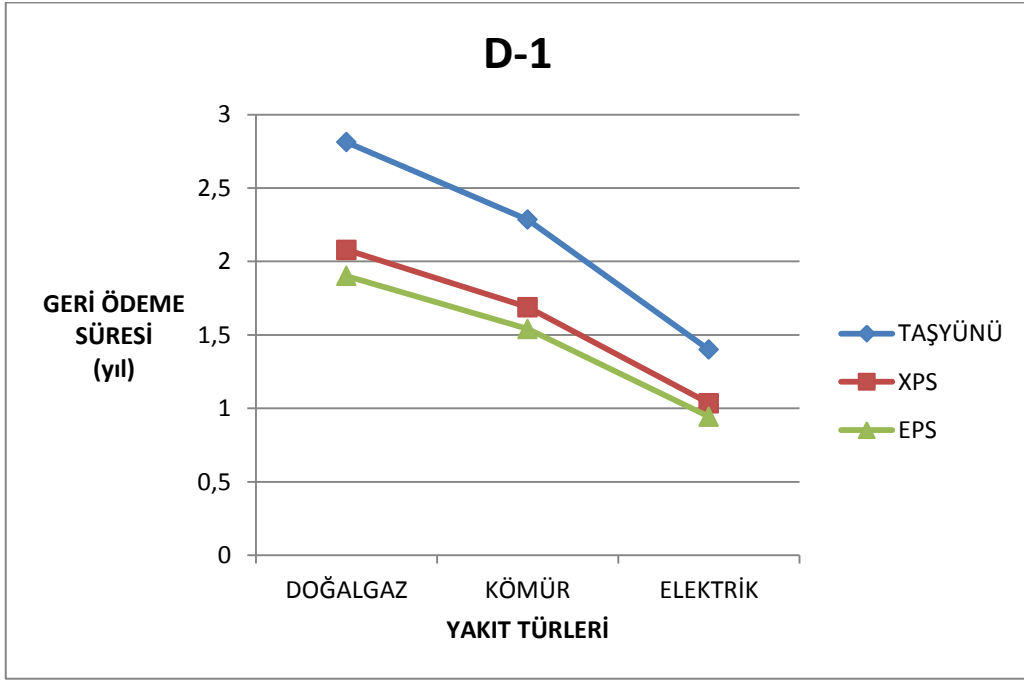


Şekil 3.14. D-2 duvar tipi için enerji tasarrufu

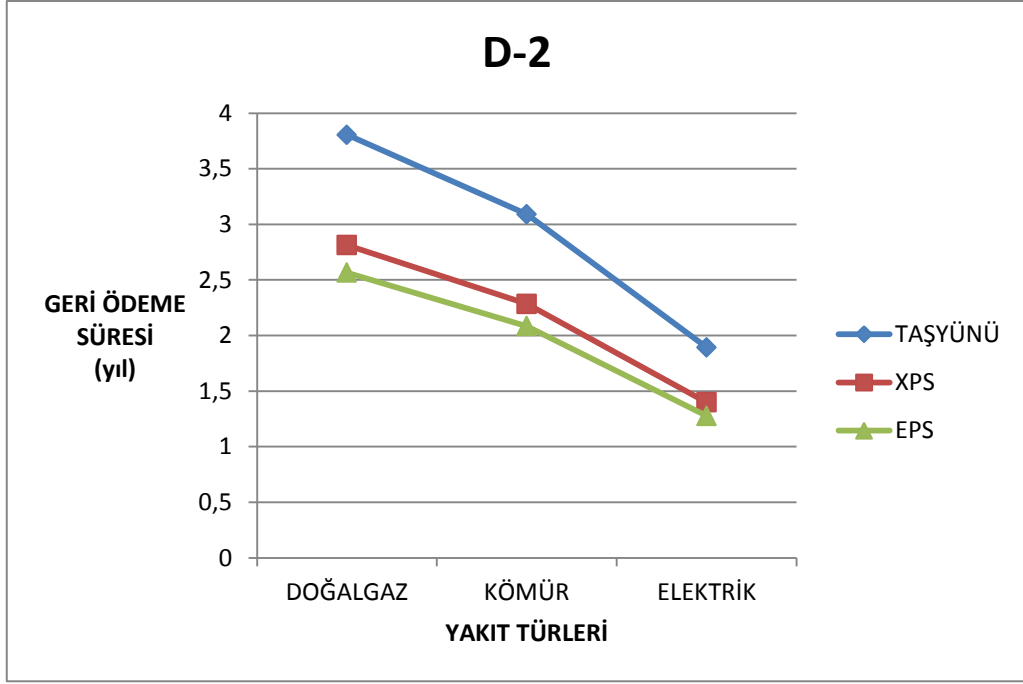


Şekil 3.15. D-3 duvar tipi için enerji tasarrufu

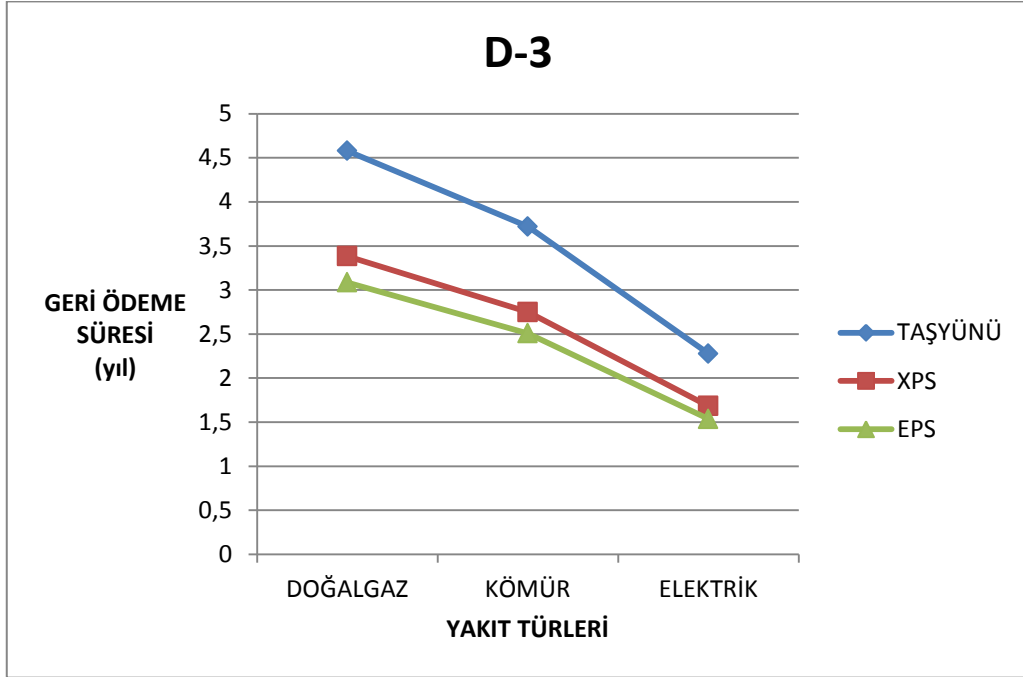
Yakıt olarak Doğalgaz, Kömür ve Elektrik'in kullanıldığı D-1, D-2 ve D-3 duvar tiplerine uygulanan yalıtım malzemelerine ait en iyi yalıtım kalınlıkları Taş Yünü, XPS ve EPS için ayrı ayrı hesaplanmış olup, hesaplanan en iyi yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak bulunan geri ödeme süreleri ise Şekil 3.16.'da, Şekil 3.17.'de ve Şekil 3.18.'de verilmiştir.



Şekil 3.16. D-1 duvar tipi için geri ödeme süresi



Şekil 3.17. D-2 duvar tipi için geri ödeme süresi



Şekil 3.18. D-3 duvar tipi için geri ödeme süresi

Yapılan çalışmada Elazığ iline ait üç farklı duvar tipi için bina ısıtmasında; kömür, doğalgaz ve elektrik den oluşan üç farklı yakıt türü kullanılarak, duvarlarda dıştan yalıtımda Taş Yünü XPS ve EPS uygulanması durumunda gerekli optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan optimum yalıtım kalınlığına ait diğer bulgular ise aşağıdaki gibidir.

Yatay delikli tuğla duvara Taş Yünü dıştan yalıtım olarak uygulandığında Doğalgaz için 0.0374 m olan optimum yalıtım kalınlığı Kömür kullanıldığında 0.0508 m ve Elektrik kullanıldığında 0.0959 m ye ulaşmaktadır, enerji tasarrufları ise Doğalgaz için % 41.93 Kömür için % 50.93 Elektrik için % 68.00 şeklindedir. Geri ödeme süreleri ise optimum yalıtım kalınlıkları ile ters yönde bir değişim izleyerek Doğalgaz için 2.81 yıl, Kömür için 2.28 yıl ve Elektrik için ise 1.39 yıldır. Yatay delikli tuğla duvara XPS dıştan yalıtım olarak uygulandığında Doğalgaz için 0.0434 m olan optimum yalıtım kalınlığı Kömür kullanıldığında 0.0569 m ve Elektrik kullanıldığında 0.1027 m ye ulaşmaktadır, enerji tasarrufları ise Doğalgaz için % 54.68 Kömür için % 62.15 Elektrik için % 75.75 şeklindedir. Geri ödeme süreleri ise optimum yalıtım kalınlıkları ile ters yönde bir değişim izleyerek Doğalgaz için 2.07 yıl, Kömür için 1.68 yıl ve Elektrik için ise 1.03 yıldır. Yatay delikli tuğla duvara EPS dıştan yalıtım olarak uygulandığında Doğalgaz için 0.0490 m olan optimum yalıtım kalınlığı Kömür kullanıldığında 0.0639 m ve Elektrik kullanıldığında 0.1141 m ye ulaşmaktadır, enerji tasarrufları ise Doğalgaz için % 57.93 Kömür için % 65.12 Elektrik için % 77.75 şeklindedir. Geri ödeme süreleri ise optimum yalıtım kalınlıkları ile ters yönde bir değişim izleyerek Doğalgaz için 1.90 yıl, Kömür için 1.54 yıl ve Elektrik için ise 0.94 yıldır.

Sandviç duvara Taş Yünü dıştan yalıtım olarak uygulandığında Doğalgaz için 0.0302 m olan optimum yalıtım kalınlığı Kömür kullanıldığında 0.0436 m ve Elektrik kullanıldığında 0.0887 m ye ulaşmaktadır, enerji tasarrufları ise Doğalgaz için % 27.36 Kömür için % 37.53 Elektrik için % 58.17 şeklindedir. Geri ödeme süreleri ise optimum yalıtım kalınlıkları ile ters yönde bir değişim izleyerek Doğalgaz için 3.80 yıl, Kömür için 3.09 yıl ve Elektrik için ise 1.89 yıldır. Sandviç duvara XPS dıştan yalıtım olarak uygulandığında Doğalgaz için 0.0380 m olan optimum yalıtım kalınlığı Kömür kullanıldığında 0.0515 m ve Elektrik kullanıldığında 0.0973 m ye ulaşmaktadır, enerji tasarrufları ise Doğalgaz için % 41.93 Kömür için % 50.93 Elektrik için % 68.00 şeklindedir.

Geri ödeme süreleri ise optimum yalıtım kalınlıkları ile ters yönde bir değişim izleyerek Doğalgaz için 2.81 yıl, Kömür için 2.28 yıl ve Elektrik için ise 1.39 yıldır. Sandviç duvara EPS dıştan yalıtım olarak uygulandığında Doğalgaz için 0.0436 m olan optimum yalıtım kalınlığı Kömür kullanıldığında 0.0585 m ve Elektrik kullanıldığında 0.1087 m ye ulaşmaktadır, enerji tasarrufları ise Doğalgaz için % 46.04 Kömür için % 54.59 Elektrik için % 70.56 şeklindedir. Geri ödeme süreleri ise optimum yalıtım kalınlıkları ile ters yönde bir değişim izleyerek Doğalgaz için 2.56 yıl, Kömür için 2.08 yıl ve Elektrik için ise 1.27 yıldır.

Gazbeton duvara Taş Yünü dıştan yalıtım olarak uygulandığında Doğalgaz için 0.0246 m olan optimum yalıtım kalınlığı Kömür kullanıldığında 0.0380 m ve Elektrik kullanıldığında 0.0831 m ye ulaşmaktadır, enerji tasarrufları ise Doğalgaz için % 18.18 Kömür için % 28.51 Elektrik için % 51.06 şeklindedir. Geri ödeme süreleri ise optimum yalıtım kalınlıkları ile ters yönde bir değişim izleyerek Doğalgaz için 4.57 yıl, Kömür için 3.71 yıl ve Elektrik için ise 2.27 yıldır. Gazbeton duvara XPS dıştan yalıtım olarak uygulandığında Doğalgaz için 0.0338 m olan optimum yalıtım kalınlığı Kömür kullanıldığında 0.0473 m ve Elektrik kullanıldığında 0.0931 m ye ulaşmaktadır, enerji tasarrufları ise Doğalgaz için % 33.17 Kömür için % 42.97 Elektrik için % 62.25 şeklindedir. Geri ödeme süreleri ise optimum yalıtım kalınlıkları ile ters yönde bir değişim izleyerek Doğalgaz için 3.38 yıl, Kömür için 2.74 yıl ve Elektrik için ise 1.68 yıldır. Gazbeton duvara EPS dıştan yalıtım olarak uygulandığında Doğalgaz için 0.0394 m olan optimum yalıtım kalınlığı Kömür kullanıldığında 0.0543 m ve Elektrik kullanıldığında 0.1045 m ye ulaşmaktadır, enerji tasarrufları ise Doğalgaz için % 37.61 Kömür için % 47.04 Elektrik için % 65.22 şeklindedir. Geri ödeme süreleri ise optimum yalıtım kalınlıkları ile ters yönde bir değişim izleyerek Doğalgaz için 3.08 yıl, Kömür için 2.50 yıl ve Elektrik için ise 1.53 yıldır.

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yalıtım uygulanmış bir bina için toplam ısıtma maliyetini etkileyen iki parametre vardır. Bunlar yalıtım maliyeti ve yakıt maliyetidir. Bina dış duvarlarına uygulanan yalıtım malzemesinin kalınlığının artmasına bağlı olarak ısı kaybı azalır. Bu yüzden birim alanı ısıtmak için gerekli enerji ihtiyacı azalır ve toplam maliyet düşer. Ancak yalıtım kalınlığının gereğinden fazla artırılması yalıtım maliyetini artırır. Bu durumda yüksek yalıtım maliyeti nedeniyle belli bir noktadan sonra toplam maliyet artmaya başlar. Toplam maliyetin minimum olduğu bu nokta optimum yalıtım kalınlığı değeri olarak ifade edilmektedir. Günümüzde, özellikle yakıt maliyetinin yüksek olduğu yerlerde enerji tasarrufu oldukça önem kazanmıştır. Bu çalışmada ve yapılan diğer araştırmalarda da olduğu gibi en iyi enerji tasarrufu, dış duvarlara optimum yalıtım kalınlığı uygulandığında ve en uygun yakıt kullanıldığında sağlanmaktadır.

Bu çalışmada Elazığ ili için bina ısıtmasında; kömür, doğalgaz ve elektrik den oluşan üç farklı yakıt türü kullanılarak üç farklı duvar modelinde (yatay delikli tuğla duvar, sandviç duvar ve gazbeton) dıştan yalıtımda Taş Yünü, XPS ve EPS uygulanmasında dış duvarlarda gerekli optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlıkları açısından bakıldığında sırasıyla; doğalgaz, kömür ve elektrik yakıtları için artan değerlerde değiştiği görülmektedir.

Yapılan çalışmada yatay delikli tuğla duvara yalıtım malzemesi olarak Taş Yünü, XPS ve EPS uygulanması ve yakıt olarak da Doğalgaz, Kömür ve Elektrik kullanılması halinde optimum yalıtım kalınlıkları 0.0374 m ile 0.1141m arasında, yalıtım maliyeti 16.89-54.46 TL/m<sup>2</sup> arasında, yıllık enerji kazancı 39.09-292.81 TL/m<sup>2</sup> arasında, enerji tasarrufu % 77.75-41.93 arasında, geri ödeme süresi 0.94-2.81 yıl arasında değişmektedir. Yapılan çalışmada Sandviç duvara yalıtım malzemesi olarak Taş Yünü, XPS ve EPS uygulanması ve yakıt olarak da Doğalgaz, Kömür ve Elektrik kullanılması halinde optimum yalıtım kalınlıkları 0.0302 m ile 0.1081m arasında, yalıtım maliyeti 15.03-50.37 TL/m<sup>2</sup> arasında, yıllık enerji kazancı 18.86-196.34 TL/m<sup>2</sup> arasında, enerji tasarrufu % 27.36-70.56 arasında, geri ödeme süresi 1.27-3.80 yıl arasında değişmektedir.

Yapılan çalışmada Gazbeton duvara yalıtım malzemesi olarak Taş Yünü, XPS ve EPS uygulanması ve yakıt olarak da Doğalgaz, Kömür ve Elektrik kullanılması halinde optimum yalıtım kalınlıkları 0.0246 m ile 0.1045m arasında, yalıtım maliyeti 13.58-47.19 TL/m<sup>2</sup> arasında, yıllık enerji kazancı 10.41-150.92 TL/m<sup>2</sup> arasında, enerji tasarrufu % 18.18-65.22 arasında, geri ödeme süresi 1.53-4.57 yıl arasında değişmektedir.

Bütün duvar tipleri için optimum yalıtım kalınlıkları incelendiğinde en kalın yalıtımın D-1 modeli için sağlandığı görülmektedir, en düşük yalıtım kalınlığının ise D-3 duvar modelinde sağlanmaktadır. Yalıtım malzemelerine ait optimum kalınlıkların duvar tiplerine göre değişim göstermesinin nedeni ise duvarı oluşturan yapı malzemelerinden kaynaklanan ısı iletkenliklerinin farklılık göstermesidir. Isıl iletkenliği diğer duvar tiplerine göre fazla olan duvar yapı bileşeninde enerji kaybı diğer duvar tiplerine göre daha fazla olacağı için daha fazla yalıtım kalınlığına ihtiyaç duyulmaktadır. Yalıtım kalınlığı arttıkça yatırım maliyeti de artacaktır. Bu nedenle genel olarak yalıtım yatırım maliyeti en düşük olan yalıtım malzemesi; hesaplanan optimum yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak hesaplanmış olup, bina dış duvarlarına uygulanması gereken en hesaplı yalıtım türüdür.

Doğalgaz kullanımı bütün duvar tiplerinde en düşük optimum yalıtım kalınlığını, en fazla geri ödeme sürelerini ve en düşük yalıtım yatırım maliyetlerini vermektedir. En uygun yakıt türü Elazığ için Doğalgaz olup hem minimum yalıtım maliyeti hem de hava kirliliğine olan minimum etkisiyle diğer yakıt türlerine göre en idealidir. Doğalgazı takiben yakıt olarak kömür değerlendirilebilir, Elazığ'da kullanılan Kömür Doğalgaza nazaran ucuz olduğu için tercih edilmesi ile birlikte hava kirliliği oranlarını da oldukça yükseltmektedir. Ancak ısı yalıtımı uygulaması ile yakıt tüketimi azalacağından; kömür için gerekli tedbirler alınarak ve yakma sistemleri iyileştirilerek kullanılmalıdır. Yakıt maliyeti kazançlarının artması hem optimum yalıtım kalınlığının, hem de enerji tasarrufunun artmasına neden olur. Yalıtımla elde edilen tasarruf kullanıcılara ve dolayısıyla ülke ekonomisine olumlu katkı sağlar.

## 5. ÖNERİLER

Mevcut enerji kaynaklarımızın tükenmekle karşı karşıya kaldığı bir gerçektir. Bu gerçekler karşısında bizlere düşen önemli görevlerden bir tanesi enerji kaynaklarımızın kullanılması hususunda duyarlı davranılarak tasarrufa gidilmesidir. Enerji kaynaklarımızın tasarruflu kullanılması, az kullanılması şeklinde değil verimli bir şekilde kullanılması anlamına gelmektedir. Bu husus üzerinde yapılan birçok çalışma vardır ve bu çalışmalardan bir tanesi de bina dış duvarlarına yalıtım uygulanması ile yapılan enerji tasarrufudur. Yapmış olduğumuz bu çalışma, bina duvarlarına uygulanacak en uygun yalıtım malzemesine ait kalınlığının hesaplanarak yalıtım uygulanması ile harcanan enerjiden tasarruf yapılması yönündedir. Çünkü uygun kalınlıkta uygulanmayan yalıtımın mali yönden etkisi çok etkilidir. Hesaplamalarımız sonucunda ulaşılmış olduğumuz değerlere dayanarak; bina dış duvarlarının yalıtılması ile çevreye olan hava kirliliği zararları azaltılıp mali yönden ısıtma ve soğutmada harcanan miktarlarda büyük kazanç sağlanır.

## KAYNAKLAR

- [1] **Bektaş, B., Aksoy, U.T.**, 2005. *Soğuk İklimlerdeki Binalarda Pencere Sistemlerinin Enerji Performansı*. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17 (3): 499 508s.
- [2] **Koçlar, O.G., Akşit, Ş.F.**, 2001. *TS 825 Isı Yalıtım Yönetmeliği'nin Konutlarda Isı Korunumu Açısından Değerlendirilmesi*. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 14-18s.
- [3] **Aytaç, A., Aksoy, U.T.**, 2006. *Enerji Tasarrufu için Dış Duvarlarda Optimum Yalıtım Kalınlığı ve Isıtma Maliyeti İlişkisi*, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 21, No 4, 753–758.
- [4] **Sezer, F. Ş.**, 2005. *Türkiye’de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri*, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 10, Sayı 2.
- [5] **Aşkadar, M.A.**, 2006. *Isı Yalıtımı ve Konutlarda Enerji Verimliliği*, İzolasyon Dünyası, 55. sayı, 54–58.
- [6] **İzoder**, 2011. *Bina ve Tesisatta Isı Yalıtımı*, Isı Yalıtımı Genel Teknik Şartnamesi, [www.izoder.org.tr](http://www.izoder.org.tr).
- [7] **Rubacı, E.**, 2006. *Konutlarda Enerji Tasarrufu*, İzolasyon Dünyası, Sayı 58, 54–55.
- [8] **Ekici B.B., Gulten A.A., Aksoy U.T.**, 2012. *A study on the optimum insulation thicknesses of varioustypes of external walls with respectto different materials, fuels and climate zones in Turkey*, Applied Energy volume 92, 211–217.
- [9] **Çomaklı, K., Yüksel, B.**, 2003. *Optimum Insulation Thickness of External Wallsfor Energy Saving*, Applied Thermal Engineering, volume 23, 473–479.
- [10] **Bolattürk, A.**, 2006. *Determination of Optimum Insulation Thicknessfor Building Wallswith Respectto Various Fuelsand Climate Zones in Turkey*, Applied Thermal Engineering, volume 26, 1301–1309.

- [11] **Dombaycı, Ö.A., Gölcü, M., Pancar Y.,** 2006. *Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources*, Applied Energy volume 83, 921–928.
- [12] **Bolattürk, A.,** 2008. *Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey*, Building and Environment, volume 43, 1055–1064.
- [13] **Özel, M., Pıhtılı, K.,** 2005. *Bina Duvarlarına Uygulanan Yalıtımın Farklı Konumlarının Isı Kazanç Ve Kayıplarına Olan Etkisinin Araştırılması*, DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:7, Sayı:1, 87–97.
- [14] **Özel, M., Pıhtılı, K.,** 2007. *Duvar Yönünün Yalıtım Kalınlığına Etkisi*, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 22, No 1, 95–101.
- [15] **Özel, M.,** 2008. *Bina Dış Duvarlarının Optimum Yalıtım Kalınlıkları İçin Dinamik Yaklaşım Ve Maliyet Analizi*, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 23, No 4, 879–884.
- [16] **Özel, M., Duranay, M.,** 2005. *Farklı Yönlere Bakan Bina Duvarlarında Duvar Kalınlığı ile Yalıtım Kalınlığı Arasındaki İlişkinin Isıl Yük Seviyesi Açısından İncelenmesi*, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17 (1), 181–189.
- [17] **Gölcü, M., Dombaycı, Ö. A., Abalı, S.,** 2006. *Denizli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi ve Sonuçları*, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 21, No 4, 639–644.
- [18] **Kaynaklı, Ö.,** (2008). *A Study on Residential Heating Energy Requirement and Optimum Insulation Thickness*, Renewable Energy, volume 33, 1164–1172.
- [19] **Ağra, Ö., Emanet, Ö., Kürekci, N. A.,** 2009. *İstanbul'daki Konutlar İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi*, TMMOB Tesisat Mühendisliği Dergisi, Ocak 2009, sayı 109, 21–27.

- [20] **Uçar, A., Balo, F.**, 2009. *Effect of FuelType on The Optimum Thickness of Selected Insulation Materials for The Four Different Climatic Regions of Turkey*, Applied Energy, volume 86, 730–736.
- [21] **Aksoy, U.T., Bektaş, B.**, 2006. *Dış Duvarlarda Isı Yalıtımı ve Enerji Tasarrufu*, İzolasyon Dünyası Dergisi, Sayı 58, 63–66.
- [22] **Çay, Y.**, 2011. *Farklı Yapı Malzemeleri Kullanımında Isı Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkileri*, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 8, No: 1, 47–56.
- [23] **Öztuna S., Dereli E.**, 2009. *Edirne İlinde Optimum Duvar Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi*, Trakya Univ J Sci, 10(2):139-147.
- [24] **Aslan A., Yüksel B.**, 2010. *Gönen Jeotermal Bölge Isıtma Sistemiyle Isıtılan Farklı Tip Binaların Dış Duvarlarının Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi*, BAÜ FBE Dergisi, Cilt:12, Sayı:1, 100-111.
- [25] **Gürel, A.E., Cingiz, Z.**, 2011. *Farklı Dış Duvar Yapıları İçin Optimum Isı Yalıtım Kalınlığı Tespitinin Ekonomik Analizi*, SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi, 15. Cilt, 1. Sayı, s.75-81.
- [26] **Balo, F., Uçar, A.**, 2009. *Konutların Dış Duvar ve Çatısında Kullanılan Yalıtım Malzemelerin Optimum Kalınlığının Tespiti*, 17. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 24–27 Haziran 2009, Sivas.
- [27] **Balo, F., Uçar, A.**, 2009. *Sivas İli için Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması*, 17. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 24–27 Haziran 2009, Sivas.
- [28] **Özel, M., Pıhtılı, K.**, 2008. *Isıtma ve Soğutma Derece-Gün Değerlerini Kullanarak Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi*, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 26, Sayı 3, 191-197.
- [29] **Gürel, A.E., Daşdemir, A.**, 2011. *Türkiye'nin Dört Farklı İklim Bölgesinde Isıtma ve Soğutma Yükleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 27(4): 346-352.

- [30] **Başol, K.**, 1991. *Doğal Kaynaklar Ekonomisi, Doğal Kaynaklar, Enerji ve Çevre Sorunları*, Genişletilmiş 2. Baskı, s. 110, Akli Selim Ofset Tesisleri, İzmir.
- [31] **Doğanay, H.**, 1991. *Enerji Kaynakları, Konvansiyonel Kaynaklar, Yeni ve Yenilenebilen Kaynaklar, Türkiye Enerji Kaynakları*, Atatürk Üniv. Yayınları, No. 707, Kazım Karabekir Eğitim Fak. Yayın No. 18, Ders Kitapları Sersisi No. 13, s. 2, Erzurum.
- [32] **Tümertekin, E.**, 1972. *İktisadi Coğrafya*, İstanbul Üniv. Yayın No. 1703, Coğraya Enstitüsü Yayın No. 67, s. 143-144, Çaplayan Basımevi, İstanbul.
- [33] **Doğanay, H.**, 1994. *Türkiye Ekonomi Coğrafyası*, Atatürk Üniversitesi, Yayın No. 767, Kazım Karabekir Eğitim Fak. Yayın No. 39, Ders Kitapları Serisi No. 33 s. 387 Erzurum.
- [34] **Demirbaş, L.**, 2002. *Türkiye’de Enerji Sektörü, Sektörün Problemleri, Avrupa Birliği ve Türkiye’de Enerji Politikaları*, Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- [35] **Apaydın, C.O.**, 1997. *Enerji Sektöründe Organizasyon ve Mevzuat Sorunları, Enerji Politikaları ve Planlama*, Dünya Enerji Konseyi, Türk Milli Komitesi, Türkiye 7. Enerji Kongresi, Cilt: I, s. 119.
- [36] **Şişman, N.**, 2005. *Derece Gün Bölgeleri İçin Bina Dış Duvarlarında Farklı Yalıtım Malzemesi ve Duvar Yapı Bileşenleri Kullanılması Halinde Ekonomik Analiz Yöntemi İle En İyi Yalıtım Kalınlığının Tespiti*, Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- [37] **Onaylı, S.**, 2002. *Binalarda Isı Yalıtımı ve Son Teknolojik Gelişmeler*, Isparta.
- [38] *Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Enerji Raporu*. 1998.
- [39] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, *Sanayide Enerji Yönetimi Esasları*, Cilt 3, Ankara. 1997.
- [40] <http://www.izoder.org.tr>
- [41] *Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme*, İstanbul, 2006.

- [42] **Karaca, H.**, 2007. *Yapılarda Duvar Yalıtımında Isı Kayıplarının Ölçme ve Değerlendirme Yöntemleri*, Sakarya Üniversitesi Yapı Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- [43] **Arıkan, S.**, 2003. *Binalarda Yakıt Tasarrufu Deprem Emniyeti Yangın Emniyeti ve Yakın İlişkileri*, Ankara.
- [44] **Özyaman, C.**, 1986. *Katı yakıtlı yakma sistemlerinin neden olduğu çevre kirliliğinin akışkan yakıt ile kontrolü*, Çevre 86 Sempozyumu, İzmir.
- [45] [http://www.izoder.org.tr/docs/isi\\_giris.pdf](http://www.izoder.org.tr/docs/isi_giris.pdf)
- [46] <http://www.dow.com/styrofoam/europe/tr/index.htm>
- [47] **Emin, C.**, 2003. *Yalıtım Teknikleri*, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- [48] **Akıncı, H.**, 2006. *Isı yalıtım Malzemeleri ve Yapılarda Isı Yalıtımı Uygulamaları*, SAÜ Yüksek Lisans Tezi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [49] **Şenkal S.F.**, 2005. *Türkiye’de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri*, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 10, Sayı 2.
- [50] **Koçu, N.**, 2000. *Yapılarda Isı Yalıtımının Enerji Tasarrufuna ve Hava Kirliliğine Etkisi*, İpek Yolu, K.T.O. Yıl.13. Sayı.145, Mart, Konya, 25-29s.
- [51] **Ünalın, H., Gökaltın, E., Uğurlubilek, R.**, 2006. *Yapı Kabuğunda Isı Kayıplarının Azaltılması ve Bir İyileştirme Projesi Örneği*. VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 401-410s.
- [52] **Sezer, Ş.F.**, 2005. *Türkiye’de Isı Yalıtımının Gelişimi Ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri*. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 10-2, 79-85s.
- [53] **Candan, N.**, 2007. *Isı Yalıtım Sistemleri Ve Özelliklerinin Karşılaştırılması*. Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 133s, Sakarya.
- [54] **Anonim.** 2005. *TS 453 Ön Yapımlı Donatılı Gazbeton Yapı Elemanları*. Türk Standartları Enstitüsü, 22s. Ankara.

- [55] **Ünverdi, A.**, 2006. *Yüksek Sıcaklık Altında Gazbeton Kırıklılı Betonların Dayanımlarının İncelenmesi*. Osmangazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 49, Eskişehir.
- [56] **Gündüz, L.**, 2005. *İnşaat Sektöründe Bimsblok*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, 928s, Isparta.
- [57] **Topçu, İ.B., Demir, A., Karakurt, C.**, 2005. *Gazbeton Kırıklarının Betonda Agregası Olarak Kullanılması*. Deprem Sempozyumu, 857-863s.
- [58] **Çiçek, Y.**, 2002. *Pişmiş Toprak Tuğla, Bimsbeton, Gazbeton ve Perlitli Yapı Malzemelerinin, Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 112s, İstanbul.
- [59] **Dönmez, S.**, 1993. *Yapı Bilgisi 3*. (Çeviri) Yüksek Öğretim Kurulu Yayını, Ankara, 149 173s.
- [60] **Görçiz, G.**, 2000. *Ülkemizde Tuğla ve Kiremit Endüstrisi*, TUKDER yay. Yıl: 3, Sayı:9, Sayfa: 26-32s, Manisa.
- [61] **Aydın, O.**, 2007. *Termik Santral Atığı Küllerin Yapı Tuğlası Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması*. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 89s, Afyon.
- [62] **Kahya, E.**, 1999. *Mühendislik Ekonomisi*, TEKAM No:TS99-003-EK, Eskişehir.
- [63] **Hasan, A.**, 1999. *Optimizing Insulation Thickness For Buildings Using Life-Cycle Cost*, Applied Energy, 115-24.
- [64] TS 825, *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*, Resmi Gazete 27019 sayı, 2008.
- [65] T.C.M.B. Web sitesi; [www.tcmb.gov.tr](http://www.tcmb.gov.tr). Ocak 2012.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Arif Hakan YALÇIN 08.02.1979 tarihinde Muş ilinde doğdu. İlköğrenimini, 1990 yılında Konya'nın Ereğli ilçesinin Sümer İlkokulunda tamamladı. Ortaokulu, Elazığ Ortaokulunda 1993 yılında bitirdi. Lise öğrenimini, Diyarbakır Yunus Emre Lisesinde 1996 yılında tamamladı. Fırat Üniversitesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümünü 2010 yılında tamamladı ve halen Fırat Üniversitesi'nde Lisansüstü eğitimine devam etmekte.