

**T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**ISI YALITIMI AÇISINDAN KONVANSİYONEL MALZEMELERLE  
NANOTEKNOLOJİK MALZEMELERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Fırat ÇÖL**

**Mimarlık Anabilim Dalı  
Mimarlık Programı**

**Temmuz, 2020**



**T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**ISI YALITIMI AÇISINDAN KONVANSİYONEL MALZEMELERLE  
NANOTEKNOLOJİK MALZEMELERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Fırat ÇÖL  
(Y1913.050043)**

**Mimarlık Anabilim Dalı  
Mimarlık Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ufuk Fatih KÜÇÜKALİ**

**Temmuz, 2020**



## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Isı Yalıtımı Açısından Konvansiyonel Malzemelerle Nanoteknolojik Malzemelerin Karşılaştırılması” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya ’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim (...../.....2020).

**Fırat ÇÖL**



## **ÖNSÖZ**

Tez konusu hakkında, çalışma süresince bana her zaman yardımcı olan, fikirleriyle ve engin tecrübesiyle bana her zaman yol gösterici olan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Ufuk Fatih KÜÇÜKALİ'YE teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda, aynı zamanda hayatım boyunca her yönden yanımda olan anne ve babama teşekkürlerimi sunarım.

**Temmuz, 2020**

**Fırat ÇÖL**







## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                                 |      |
|---------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                                                      | vii  |
| İÇİNDEKİLER .....                                                               | ix   |
| KISALTMALAR .....                                                               | xi   |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                            | xiii |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                              | xv   |
| ÖZET.....                                                                       | xvii |
| ABSTRACT .....                                                                  | xix  |
| 1. GİRİŞ .....                                                                  | 1    |
| 1.1 Tezin Konusu .....                                                          | 2    |
| 1.2 Tezin Amacı .....                                                           | 3    |
| 1.3 Tezin Kapsamı.....                                                          | 4    |
| 2. ISI YALITIMI KAVRAMLARI .....                                                | 5    |
| 2.1 Isı İletkenlik Değeri.....                                                  | 6    |
| 2.2 Isı Kapasitesi .....                                                        | 7    |
| 2.3 Yüzeysel Isı İletim Direnci .....                                           | 7    |
| 2.4 Isı Geçirgenlik Direnci (R).....                                            | 8    |
| 2.5 Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı (U) .....                                 | 8    |
| 2.6 Yoğuşma.....                                                                | 9    |
| 2.7 Isıl Konfor .....                                                           | 10   |
| 2.8 Isı Yalıtımının Amaçları.....                                               | 10   |
| 2.9 Isı Yalıtımının Önemi ve Faydaları.....                                     | 11   |
| 2.10 Isı Yalıtımının Kullanıldığı Alanlar .....                                 | 12   |
| 2.11 Binalarda Isı Yalıtımı Seçimi .....                                        | 13   |
| 2.12 Tezin Yöntemi .....                                                        | 15   |
| 3. ISI YALITIMINDA KULLANILAN KONVANSİYONEL MALZEMELER.....                     | 17   |
| 3.1 Isı Yalıtım Malzemelerinde Aranan Genel Özellikler .....                    | 17   |
| 3.2 Isı Yalıtım Özelliğinde Etkili Olan Yapısal Özellikler .....                | 18   |
| 3.3 Doğada Bulunan ve Üretilen Isı Yalıtım Malzemelerinin Sınıflandırılması.... | 18   |
| 3.3.1 Ahşap talaşı .....                                                        | 19   |
| 3.3.2 Cam yünü .....                                                            | 19   |
| 3.3.3 Genleştirilmiş mantar .....                                               | 20   |
| 3.3.4 Taş yünü .....                                                            | 21   |
| 3.3.5 Cam köpüğü .....                                                          | 24   |
| 3.3.6 Seramik yünü .....                                                        | 24   |
| 3.4 Doğada Var Olmayan Sentetik Olarak Üretilen Isı Yalıtım Malzemeleri .....   | 25   |
| 3.4.1 Ekstrude polistiren köpük .....                                           | 25   |
| 3.4.2 Ekspande polistiren köpük .....                                           | 28   |
| 3.4.3 Poliüretan köpük .....                                                    | 33   |
| 3.4.4 Polietilen köpük .....                                                    | 34   |
| 3.5 Isı Yalıtım Malzemelerinin Malzeme Özellikleri .....                        | 35   |

|                                                                                 |            |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4. ISI YALITIMINDA KULLANILAN NANOTEKNOLOJİK MALZEMELER</b>                  | <b>39</b>  |
| 4.1 Nanoteknoloji Nedir .....                                                   | 39         |
| 4.2 Nanoteknolojik Malzeme Çeşitleri.....                                       | 39         |
| 4.2.1 Tek boyutlu nano malzemeler .....                                         | 39         |
| 4.2.1.1 Nano parçacıklar .....                                                  | 40         |
| 4.2.1.2 Quantum noktaları.....                                                  | 41         |
| 4.2.2 İki boyutlu nano malzemeler.....                                          | 42         |
| 4.2.2.1 Grafen.....                                                             | 42         |
| 4.2.3 Üç boyutlu nano malzemeler.....                                           | 43         |
| 4.2.3.1 Fullerenler: .....                                                      | 43         |
| 4.2.3.2 Karbon nanotüpler.....                                                  | 45         |
| 4.2.3.3 Aerojeller.....                                                         | 47         |
| 4.3 Nanoteknolojik Malzemelerin Özellikleri.....                                | 51         |
| 4.3.1 Yangın korunumu.....                                                      | 52         |
| 4.3.2 Uv koruması: .....                                                        | 53         |
| 4.3.3 Güneş koruması.....                                                       | 54         |
| 4.3.4 Isı izolasyonu: vakum yalıtım panelleri .....                             | 54         |
| 4.3.5 Isı izolasyonu: aerojel.....                                              | 56         |
| 4.3.6 Isı düzenlemesi: faz değiştiren malzemeler .....                          | 56         |
| <b>5. KONVANSİYONEL VE NANOTEKNOLOJİK MALZEMELERİN</b>                          |            |
| <b>YALITIM PERFORMANS ANALİZLERİ.....</b>                                       | <b>59</b>  |
| 5.1 Malzeme Özellikleri Açısından.....                                          | 59         |
| 5.1.1 Sudan ve nemden etkilenme oranları açısından .....                        | 59         |
| 5.1.2 Farklı kalınlıklardaki numunelerin sayısal olarak karşılaştırılması ..... | 63         |
| 5.2 Enerji Korunumu Açısından.....                                              | 71         |
| 5.3 Üretim Açısından.....                                                       | 79         |
| 5.4 Maliyetleri Açısından .....                                                 | 85         |
| 5.5 Performans Gereksinimleri Açısından .....                                   | 94         |
| 5.6 Hava kirliliği, Isıl Konfor, İnsan Sağlığına Etkileri Açısından .....       | 99         |
| 5.7 Binalara Kazandırdıkları Özellikleri Açısından Değerlendirmesi .....        | 102        |
| <b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>                                               | <b>107</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                           | <b>111</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                                               | <b>115</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                            | <b>119</b> |

## KISALTMALAR

|                       |                             |
|-----------------------|-----------------------------|
| <b>CdSe</b>           | : Kadmiyum Selenyum         |
| <b>InAs</b>           | : İndiyum Arsenik           |
| <b>CdS</b>            | : Kadmiyum Kükürt           |
| <b>EPS</b>            | : Expanded Polistren        |
| <b>XPS</b>            | : Extruded Polistren        |
| <b>CO<sub>2</sub></b> | : Karbondioksit             |
| <b>GaN</b>            | : Galyum Azot               |
| <b>InGeAs</b>         | : İndiyum Germanyum Arsenik |
| <b>PbS</b>            | : Paladyum Kükürt           |
| <b>PbSe</b>           | : Paladyum Selenyum         |
| <b>ZnS</b>            | : Çinko Kükürt              |
| <b>DOT</b>            | : Kuantum Noktaları         |
| <b>SiOH</b>           | : Silisyum Hidroksit        |
| <b>SO<sub>2</sub></b> | : Kükürt Dioksit            |
| <b>HCFC</b>           | : Hidrokloroflorokarbon     |
| <b>HFC</b>            | : Hidroflorokarbon          |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 2.1: Bazı ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değerleri [2].....                                                                | 6   |
| Çizelge 2.2: Isı yalıtımının binalarda kullanıldığı bölümler.....                                                                             | 12  |
| Çizelge 2.3 : Isı yalıtım malzemelerinin yapıda kullanım alanları [30] .....                                                                  | 14  |
| Çizelge 3.1: Isı Yalıtım Malzemeleri Ürün Standartları [49] .....                                                                             | 17  |
| Çizelge 3.2: Ahşap talaşı teknik özellikleri [31] .....                                                                                       | 19  |
| Çizelge 3.3: Cam yünü teknik özellikleri [31].....                                                                                            | 20  |
| Çizelge 3.4: Taş yünü ısı yalıtım malzemesinin özellikleri.....                                                                               | 23  |
| Çizelge 3.5 : XPS malzemesi teknik özellikleri [31].....                                                                                      | 26  |
| Çizelge 3.6 : EPS ısı yalıtım malzemesinin DIN 4102'e göre ısı iletkenliklerinin yoğunluk artışı ile EPS değerleri .....                      | 29  |
| Çizelge 3.7: EPS ısı yalıtım malzemesine ait bazı malzeme değerleri.....                                                                      | 30  |
| Çizelge 3.8 : Poliüretan köpüğün özellikleri [19].....                                                                                        | 34  |
| Çizelge 3.9 : Isı yalıtım malzemeleri ve malzeme özellikleri [1].....                                                                         | 36  |
| Çizelge 4.1: Nano parçacıkların güncel ve gelişmekte olan uygulamaları.....                                                                   | 40  |
| Çizelge 4.2: Yapı Malzemelerinin TS EN 13501+A1'e göre yanıcılık sınıfları .....                                                              | 53  |
| Çizelge 5.1: Isı yalıtım malzemelerine ait özellikler .....                                                                                   | 60  |
| Çizelge 5.2: Çift duvar arası yalıtım uygulamalarındaki değerler [6] .....                                                                    | 65  |
| Çizelge 5.3: Dışarıdan yalıtım uygulamalarındaki değerler [6] .....                                                                           | 65  |
| Çizelge 5.4: İçeriden yalıtım uygulamalarındaki değerler [6].....                                                                             | 66  |
| Çizelge 5.5: Isı yalıtım malzemelerinin bazı teknik özellikleri [13] .....                                                                    | 67  |
| Çizelge 5.6: Binaların enerji performansına göre aldığı dereceler [32] .....                                                                  | 74  |
| Çizelge 5.7: Sarıyer bölgesinde taş yünü ısı yalıtım malzemesi uygulanmış binanın özellikleri [30].....                                       | 75  |
| Çizelge 5.8 : Duvardaki katmanlaşma ile yapılan ısı geçirgenlik hesabı [30] .....                                                             | 75  |
| Çizelge 5.9: Yapı elemanları ısı kaybı değerleri .....                                                                                        | 77  |
| Çizelge 5.10: Türkiye'deki enerji yakıtlarının karşılaştırılması [6] .....                                                                    | 87  |
| Çizelge 5.11 : Taş yünü, EPS, XPS, cam yünü yalıtım malzemeleri kullanılarak elde edilen hesaplar [6].....                                    | 87  |
| Çizelge 5.12: Farklı ısı yalıtım malzemeleri ile farklı yakıt çeşitlerinin eşdeğer kömür fiyatına ( $F_{ek}$ ) oranları [6] .....             | 88  |
| Çizelge 5.13: birim yüzey için yalıtımlı yıllık toplam maliyet sonuçları .....                                                                | 91  |
| Çizelge 5.14: EPS ve taş yünü ısı yalıtım malzemeleri .....                                                                                   | 91  |
| Çizelge 5.15: Maliyet analizinde ki veriler [47].....                                                                                         | 92  |
| Çizelge 5.16: ısı yalıtım malzemelerinin, kalınlık ve birim fiyat değerleri [9] .....                                                         | 94  |
| Çizelge 6.1: Konvansiyonel ısı yalıtım malzemeleri ve nanoteknolojik ısı yalıtım malzemelerinin farklı özellikler açısından kıyaslanması..... | 109 |
| Çizelge 6.2: Konvansiyonel ve nanoteknolojik ısı yalıtım malzemelerinin kıyaslanması.....                                                     | 110 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1: Binalarda ısı kayıpları [21].....                                                                         | 5  |
| Şekil 2.2: Duvar bileşenlerinde doymuş su buharı ve su buharı kısmi basınçlarının kesişmemesi ve kesişmesi [6] ..... | 9  |
| Şekil 2.3: Isı yalıtım malzemelerinin kullanıldığı yerler [21] .....                                                 | 13 |
| Şekil 3.1: Ahşap talaşı levhalar [31].....                                                                           | 19 |
| Şekil 3.2: Cam yünü [30].....                                                                                        | 20 |
| Şekil 3.3: Genleştirilmiş mantar [1].....                                                                            | 21 |
| Şekil 3.4: Yarı esnek formda üretilmiş taş yünü malzemesi [30].....                                                  | 22 |
| Şekil 3.5: Taş yünü malzemesi [6] .....                                                                              | 23 |
| Şekil 3.6 : Cam köpüğü [35].....                                                                                     | 24 |
| Şekil 3.7: Belirli formlarda üretilen seramik yünü [52] .....                                                        | 25 |
| Şekil 3.8: XPS ısı yalıtım malzemesinin yoğunluk artışı ile basma mukavemeti arasındaki ilişki [19].....             | 27 |
| Şekil 3.9: Ekstrude polistiren köpük [8] .....                                                                       | 27 |
| Şekil 3.10: EPS köpük [19] .....                                                                                     | 28 |
| Şekil 3.11: EPS'nin ısı iletkenliğinin yoğunlukla değişimi [19] .....                                                | 29 |
| Şekil 3.12: Yoğunluk artışı ile basınç gerilimi artışı [19] .....                                                    | 30 |
| Şekil 3.13: Ekspande polistiren köpüğün dış duvar ısı yalıtılması [6] .....                                          | 31 |
| Şekil 3.14: Apartmanda duvarda kullanılmış olan malzemelerin kalınlık değerleri [32] .....                           | 32 |
| Şekil 3.15: Poliüretan köpük [1] .....                                                                               | 33 |
| Şekil 3.16: Polietilen köpük [1] .....                                                                               | 35 |
| Şekil 4.1: Kuantum noktalarında renk ve boyut değişimi [8].....                                                      | 41 |
| Şekil 4.2: Grafenin altıgen yapısı [12].....                                                                         | 43 |
| Şekil 4.3: En çok kullanılan fullerenler [12] .....                                                                  | 44 |
| Şekil 4.4: Fullerenlerin 3 boyutlu görüntüsü [12] .....                                                              | 45 |
| Şekil 4.5: Karbon nanotüpün çeşitleri [12].....                                                                      | 45 |
| Şekil 4.6: Karbon nanotüp ve dizilişleri [8] .....                                                                   | 46 |
| Şekil 4.7: Nanotüp ekseni [12] .....                                                                                 | 47 |
| Şekil 4.8: Silika aerjel [12] .....                                                                                  | 48 |
| Şekil 4.9: Aerojelin üretilmesi [22] .....                                                                           | 49 |
| Şekil 4.10: Silika aerjellerden üretilen örnek toplama tepsileri [12] .....                                          | 50 |
| Şekil 4.11: Grafen aerjel bilinen en hafif katı malzeme [40] .....                                                   | 51 |
| Şekil 4.12: Sağ tarafta güneş korumalı olan camın ışık geçirgenliği gösterilmiştir [12] .....                        | 54 |
| Şekil 4.13: Vakum yalıtım paneli katmanları [12] .....                                                               | 55 |
| Şekil 4.14: Seitzstrasse Karışık Kullanımlı Bina, Münih [12] .....                                                   | 56 |
| Şekil 4.15: Aerojel malzemesi [12] .....                                                                             | 56 |
| Şekil 4.16: 3 KG mikro kapsüllü ısı yalıtım malzemesi [12] .....                                                     | 57 |
| Şekil 5.1: Isı uygulaması yapılmış alan çalışması [30].....                                                          | 61 |

|                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 5.2:</b> Sıcaklık karşısında farklı yoğunluktaki taş yünün gösterdiği ısı iletkenlik katsayısı değeri [48] ..... | 64  |
| <b>Şekil 5.3:</b> Doğal taşınım deney sistemi [13] .....                                                                  | 67  |
| <b>Şekil 5.4:</b> 1 cm'lik numunelerin farklı güçlerdeki değişimleri [13] .....                                           | 68  |
| <b>Şekil 5.5:</b> 2 cm'lik numunede farklı güçlerde malzemelerin gösterdiği değişim [13] .....                            | 68  |
| <b>Şekil 5.6:</b> 3 cm'lik numunede farklı güç değerlerindeki malzemelerin değişimleri [13] .....                         | 69  |
| <b>Şekil 5.7:</b> Aerojel ısı yalıtım malzemesinin sıcaklık değerleri [13] .....                                          | 70  |
| <b>Şekil 5.8:</b> Taş yünü ısı yalıtım malzemesinin sıcaklık değerleri [13].....                                          | 70  |
| <b>Şekil 5.9:</b> Isı yalıtımı yapıldığında ve yapılmadığındaki ısı kaybı [21].....                                       | 72  |
| <b>Şekil 5.10:</b> Sarıyer bölgesinde yapılan bina uygulamasının pencere kenarlarında tam olarak yapılmaması [30]. .....  | 76  |
| <b>Şekil 5.11:</b> XPS ısı yalıtımı uygulanmış binanın dış cephe görünüşü [32]. .....                                     | 77  |
| <b>Şekil 5.12:</b> Souchais Spor Kompleksi, Fransa [49] .....                                                             | 79  |
| <b>Şekil 5.13:</b> Polikondasyon aşaması [51] .....                                                                       | 80  |
| <b>Şekil 5.14:</b> Taş yünü malzemesinin uygun formatlarda kesilmesi [51].....                                            | 80  |
| <b>Şekil 5.15:</b> Sol-jel işleminin basamakları [17].....                                                                | 83  |
| <b>Şekil 5.16:</b> Farklı malzemelerin elde edilmesi [17] .....                                                           | 84  |
| <b>Şekil 5.17:</b> Vakum yalıtım paneli çekirdek üretim yöntemi [9] .....                                                 | 85  |
| <b>Şekil 5.18:</b> EPS'nin kalınlık ile ısıtma maliyetlerine etkisi [6] .....                                             | 89  |
| <b>Şekil 5.19:</b> Taş yününün yalıtım kalınlığının yıllık ısıtma maliyeti üzerine etkisi [6] .....                       | 90  |
| <b>Şekil 5.20:</b> XPS'in kalınlık ile ısıtma maliyetlerine etkisi [6] .....                                              | 90  |
| <b>Şekil 5.21:</b> Aerojel malzemesinin maliyet dağılımı [39] .....                                                       | 92  |
| <b>Şekil 5.22:</b> Yalıtımsız boru, yalıtımlı boru ve bunlardan elde edilen tasarruf [24] ...                             | 93  |
| <b>Şekil 5.23:</b> Yalıtımsız boru, yalıtımlı boru ve elde edilen tasarrufun maliyeti [24] ..                             | 93  |
| <b>Şekil 5.24:</b> Deforme olan taş yünü yalıtım malzemesi [30] .....                                                     | 95  |
| <b>Şekil 5.25:</b> Taş yünü ısı yalıtım malzemesi ve spreyci poliüretan köpüğün sıcaklık karşısındaki dirençleri [8]..... | 96  |
| <b>Şekil 5.26:</b> Süpermarket, Augusta, Maine, ABD [14] .....                                                            | 98  |
| <b>Şekil 5.27:</b> Aerojel ısı yalıtım battaniyeleri [24] .....                                                           | 105 |



## ISI YALITIMI AÇISINDAN KONVANSİYONEL MALZEMELERLE NANOTEKNOLOJİK MALZEMELERİN KARŞILAŞTIRILMASI

### ÖZET

Gittikçe artan yapılaşma ile binalarda oluşan sorunlara karşı inşaat sahiplerini ek çözümler aramaya itmiştir. Üretim ve tüketimin hızla arttığı şu dönemde binalardan beklenen performanslar da üst seviyededir. Binalar sadece barınma amaçlı olmayıp, kullanıcıların konforunu sağlayacak, ısıtma ve soğutma için harcanan enerjinin en az olduğu, çevreye karşı zararı daha az olan malzemelere ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Bunları da sağlayacak olan malzemeler ısı yalıtım malzemeleridir. Günümüzde kullanılan ısı yalıtım malzemeleri birçok alanda kullanılabilir. Konvansiyonel olarak dış duvarda en çok kullanılan ısı yalıtım malzemeleri XPS, EPS, taş yünü, cam yünü, poliüretan köpüktür. Sentetik olarak üretilen XPS, EPS ısı yalıtım malzemelerine piyasalarda daha çok rastlanmasının sebebi; ekonomik açıdan uygun olması, istenilen performansları karşılayabilmesi açısından kullanımları daha fazladır. Bu malzemelerin yanında gelişmekte olan nano ölçeklere kadar inmiş ısı yalıtım malzemeleri de vardır. Aerojel, termal duvar boyaları, vakum yalıtım panelleri ısı yalıtımında en çok kullanılan nanoteknolojik malzemelerdir. Isı yalıtım uygulamalarında gösterdikleri performans geleneksel malzemelere göre on kat daha iyidir. Üretim aşamasında farklı uygulamalar ile ısı iletkenlik değerleri, su emme oranları gibi özellikleri düşürülebilmektedir. Nanoteknolojiye ayrılan bütçenin yetersizliğinden dolayı bu alanda yapılmış ısı yalıtım uygulamaları azdır. Bu yüzden konvansiyonel malzemelere göre ısı yalıtım uygulamalarındaki maliyetleri oldukça fazladır. Fakat geri ödeme süreleri oldukça kısadır.

Bu tez çalışmasında birinci bölümde teze giriş kısmı bulunmaktadır. Burada genel olarak tezin kapsamı, amacı, yöntemi ve konusu açıklanmıştır. Dünya'daki yakıt tüketimlerinden ve ısı yalıtımının öneminden bahsedilmiştir. İkinci bölümde ısı yalıtım açısından önemli olan kavramlar hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde ısı yalıtımın malzemeleri seçerken hangi özelliklere bakılması gerektiği hakkında ve malzemeler hakkında bilgiler verilmiştir. Tezin dördüncü bölümünde nanoteknolojik malzeme yapısı, kullanılan türler, sağladıkları yararlar ve uygulamaları hakkında araştırma yapılmıştır. Makaleler, uygulama yapılmış yapılar, tez çalışmaları incelenmiştir. Beşinci kısım da konvansiyonel ısı yalıtım malzemeleri ile nanoteknolojik malzemelerin ısı yalıtımında kullanıldıklarında hangi özellikler açısından farklılıkların olduğu ve performansları incelenmiştir. Çevreye, kullanıcılara, işletmelere sundukları avantaj ve dezavantajlara bakılmıştır. Yapılan deneyler incelenmiştir.

Sonuç kısmında ısı yalıtım malzemeleri binalarda ısı köprülerinin oluşmasını, nem ve rutubet oluşumunu, bakterilerin oluşmasını engellemek; maliyet oranlarını, meydana gelen enerji kayıplarını azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Konvansiyonel ve nanoteknolojik uygulamalar ile aralarındaki en önemli fark, nanoteknolojik uygulamaların maliyetinin yüksek olmasıdır. Isı iletkenlik katsayıları oldukça düşüktür, hidrofobik yapıdadırlar, nano ölçekte gözenekli yapıya sahiptirler ve

hücreleri homojen dağılmıştır. Geri dönüştürülebilir ve ekolojik malzemeler olmaları nedeniyle LEED sertifikalarına aday olan yapılarda uygulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** *Isı Yalıtımı, Isı Yalıtım Malzemeleri, Nanoteknoloji, Nano Yalıtım Malzemeleri*



## **COMPARISON OF CONVENTIONAL MATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES IN TERMS OF THERMAL INSULATION**

### **ABSTRACT**

With increasing construction, it has pushed construction owners to look for additional solutions to problems in buildings. During the period in which production and consumption were rapidly increasing, the performance expected from the buildings is also high. The buildings are not only for housing purposes, but also for materials that are less harmful to the environment, which will provide the comfort of the users, which is the least energy used for heating and cooling. The materials that will provide them are heat insulation materials. Heat insulation materials used today can be used in many areas. The most commonly used heat insulation materials on the exterior wall are XPS, EPS, stone wool, glass wool, polyurethane foam. Synthetic XPS, EPS thermal insulation materials are more common in the markets because they are economically viable and can meet desired performance. In addition to these materials, there are also heat insulation materials that have descended to the developing nano scale. Aerojel, thermal wall paints, vacuum insulation panels are the most widely used nanotechnological materials in heat insulation. Thermal insulation applications show that the performance is ten times better than traditional materials. In the production phase, properties such as heat conductivity values and water absorption rates can be reduced with different applications. Due to the lack of budget allocated to nanotechnology, thermal insulation applications in this area are low. For this reason, compared to conventional materials, the costs of heat insulation applications are quite high. But the repayment period is very short.

The first part of this thesis study is the introduction to the thesis. In general, the scope, purpose, method and subject of the thesis is explained here. Fuel consumption in the world and the importance of heat insulation was mentioned. The second section provides information about the concepts that are important in terms of thermal insulation. The third section provides information about the properties of thermal insulation when choosing materials and about the materials. In the fourth part of the thesis, research was carried out on nanotechnological material structure, the species used, their benefits and applications. Articles, applied structures, thesis studies were studied. The fifth part examined the differences between conventional heat insulation materials and nanotechnological materials in terms of their properties and their performance. The environment, users, and businesses have been exposed to the advantages and disadvantages they offer. Experiments have been studied.

Heat insulation materials are used to prevent the formation of heat bridges in buildings, formation of humidity and humidity, formation of bacteria and to reduce the cost rates and energy losses that occur. The most important difference between conventional and nanotechnology applications is the high cost of nanotechnology applications. Heat conductivity coefficients are very low, they are hydrophobic, they have a porous structure on a nano scale and their cells are homogeneously dispersed.

Since they are recyclable and ecological materials, they have been applied in structures that are candidates for LEED certificates.

**Keywords :** *Heat Insulation, Heat Insulation Materials, Nanotechnology, Nano Insulation Materials*



## 1. GİRİŞ

Dünya genelinde enerji konusu hep gündemde olmuştur. Bu konu içerisinde enerjinin üretimi ve tüketimi açısından değerlendirmeleri yapılmaktadır. Yıllardır enerji tüketimini minimuma indirme adına gelişen teknolojiyle çalışmalar yapılmaktadır. Enerji sarfiyatına bakıldığında büyük bir bölümünün konutlarda ısıtma adına kullanıldığı görülmektedir. Enerji sarfiyatı doğal kaynakları bitirmekte ve aynı zamanda ülke ekonomisine, çevre ve insan sağlığına zarar vermektedir. Gereksiz enerji sarfiyatını önleme adına ısı yalıtımlarının kullanılması olumlu açıdan fark yaratmıştır. Gelişen teknoloji ile de ısı yalıtımında kullanılan malzemelerde çeşitlilik sağlanmıştır. Geri dönüşümün ön planda olduğu, sürdürülebilirlik, diğer fiziksel özellikleri vb. geliştirilerek daha iyi şartlarda malzemeler üretilmektedir.

Enerji tüketim alanları incelendiğinde, toplam enerji tüketiminin yaklaşık %41'inin binalarda gerçekleştiği görülmektedir. Ülkemize bakıldığında son on beş yılda artan inşaat faaliyetleri ile binalarda tüketilen enerji miktarı da artmaktadır [30]. Enerji verimliliği açısından, yeni veya mevcut yapılardaki ısı yalıtımın, proje aşamasındayken doğru ısı yalıtım malzemelerine karar verilmesi ve uygulanması ile tasarruf sağlanabilir. Bina bir bütün olarak düşünülmeli ve binanın birleşim noktalarından itibaren tüm yapıyı kapsayacak şekilde ısı yalıtımın uygulanması gerekir. Bu aşamalara geçmeden önce malzeme seçme sürecinde tüm ince ayrıntılara bakılması gerekir. Özellikle yeni sertifika almış yapılarda sürdürülebilirlik, doğada serbest halde bulunma, geri dönüşüm olanağı, malzemelerinin ömrü, üretim enerjisinin düşük olması, maliyetinin düşük olması, bakım giderinin düşük olması, kullanılan malzemelerin miktarlarını azaltma, çevre kirliliğini en aza indirme, ozon tabakasına zarar vermeme, küresel ısınmaya sebep olmama gibi özellikleri içinde barındırmalı. Aynı zamanda ülkenin kalkınması yönüyle, gelişen teknoloji kullanımının artması ile artış sağlanabilir.

Ülkemizde gelişen teknolojinin ısı yalıtımında da yaygın hale getirilmesi enerji, maliyet, çevre gibi alanlarda farklılıklar meydana getirir. Nanoteknolojik malzemeler, ısı yalıtım uygulamalarında bilinen yalıtım malzemelerine karşı istenilen ısıl konforu,

dayanıklılığı, neme karşı direnci vb. etkin bir şekilde sağlayabilir. Nanoteknolojik malzemelerin gösterdikleri performanslar yönüyle geleneksel ısı yalıtım malzemelerinden daha etkin oldukları, standart verilerin revizyon ve güncellemesi ile daha rahat görülmektedir.

### **1.1 Tezin Konusu**

Isı yalıtımı insanoğlu var olduğu süre zarfında hep ihtiyaç halinde olmuştur. Özellikle 19. yüzyılda sanayi devrimiyle beraber buhar kazanlarının sıcaklarından korunmak amacıyla yapılmaya başlanılmıştır. 20. yüzyıldan itibaren Almanya’da seri üretim halinde ısı yalıtım malzemeleri üretilmeye başlanmıştır. Fakat ısı yalıtım malzemelerinin gösterdikleri performansları açısından yeni arayışlara geçilmiştir. Böylelikle bir çok malzeme ortaya çıkmış ve bu malzemelerin özellikleri geliştirilmiştir. Isı yalıtım malzemelerinin ses izolasyonunda, tesisatta, döşemelerde, duvarlarda ve bir çok alanda kullanılabilir hale gelmiştir.

20. yüzyıldan itibaren duvarların bina yapı ve yapım sistemlerinin sağlamış oldukları yararlarının yanı sıra, konfor ve yapı fiziği açısından pek uygun olmadığı görülmüştür. Bunun üzerine yapılan çalışmalarda dış duvarın, taşıyıcı sisteme az yük verecek şekilde ince ve hafif olması hedeflenmiştir. Böylelikle kalın duvarlar yerine katmanlı duvarların yapımı düşünülmüştür. Bunun sonucunda da nem birikimi, yoğuşma gibi sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu durum kullanılan malzemelerin korozyona uğrama ihtimalini artırıp, beklenen performansları göstermeyen yapılar ortaya çıkmıştır. Bu nedenle tasarım sürecinin yanında malzeme seçiminin de önemli olduğu görülmektedir.

Gelişen teknolojiyle yeni malzemeler üretilmeye başlanmıştır. İnsan memnuniyetini maximuma taşımayı, insanoğlunun hırsları, sürekli yeni şeyler üretmek ve tüketimi amaç haline getirdikleri bu süreçte çevre kirliliği, ekonomi, doğal enerji gibi konular düşünülmemeye başlanmıştır. Bu kıyaslar ile son on

beş yılda ülkemizde artan inşaatlarla tüketilen enerji miktarı da artmaktadır. Binalarda özellikle ısıtma, soğutma gibi gereksinimler enerji tüketimine neden olmaktadır. Binalar insanlar için konfor sağlaması amaç halindeyken aynı zamanda enerji verimliliğini ve gösterdikleri performansları da kriter olarak belirlemeliyiz. Bunun için yapılan ısı yalıtım uygulamalarında enerji verimliliklerine, nem, yoğuşma, ısıl konfor gibi özelliklerini baz olarak alınmaktadır. Böylelikle ısı yalıtım malzemelerine olan ilginin artması malzemelere yeni özelliklerin eklenmesi veya yeni malzeme arayışlarının içerisine girilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Isı yalıtım malzemelerini incelendiğinde doğal kaynakların verimli olarak kullanılması, çevre kirliliğini minimuma indirmesi, yapı konfor koşullarını iyileştirmesi, ekonomik, maliyet, yangına dayanım, geri dönüşüm, yenilenebilir enerji gibi konulara bakılarak seçilmesi ölçüt olarak belirlenmelidir. Çünkü teknolojinin gelişmesiyle beraber malzemeyi nano boyutlarda inceleme yani nanoteknoloji ortaya çıkmıştır. Malzemede ve üretim tekniklerinde yeni ürünler ortaya çıkmaktadır. Yeni malzemeler ile doğalı tüketmeyen, maliyeti düşüren, nem, ısı, yoğuşma gibi konulara daha hızlı cevap verebilen malzemeler geliştirilmiştir.

## **1.2 Tezin Amacı**

Isı yalıtımının uygulanması uygulanan malzemenin kalınlığı, yoğuşma, ısı direnci, sıcaklığın etkisi, maliyet, enerji vb. gibi özellikleriyle uygulanan yerlerde büyük farklar yaratmasıyla beraber, kullanılan malzeme cinsi ile de bu değerler değişmektedir. Binalarda uygulanan ısı yalıtımının dünya genelinde baktığımızda gelişen teknoloji ile farklı malzemelerle bu yalıtım sistemleri uygulanmaya başlanmıştır. Enerji kaynaklarının tükendiği ve yeni arayışlara girildiği bu dönemlerde yalıtım malzemeleri geliştirilmiştir. Bu tezin amacında ise; her yerde karşımıza çıkan ve doğada bulunan malzeme kullanımının mı daha doğru olduğu yoksa gelişen teknolojiye ayak uyduran, doğalı bitirmeyen bir malzemenin mi ısı yalıtımına daha uygun olduğunun karşılaştırılmasıdır. Doğru çözümlerle hangisinin gerçekten kullanılması gerektiği ve uygulayıcılara da yardımcı olunması hedeflenmiştir.

### 1.3 Tezin Kapsamı

Çalışmanın kapsamında, ilk olarak ısı yalıtım kavramı üzerinde durulmuştur. Bu tez çalışmasında ısı yalıtım malzemeleri karşılaştırırken, malzemelerin özellikleri temel alınarak kıyaslamalar yapılmıştır. Isı yalıtımının gerçekten ne amaçla yapıldığı, önemi, insanlara sağladığı konfor, deneysel çalışmalar incelenmiştir. Son yıllarda enerji kaynakları ve doğal kaynakların git gide azaldığını görülmektedir. Bu durum insanoğlunu gelişen teknolojiyle doğal kullanmaktan daha çok geri dönüşümlü, doğaya zarar vermeyen özelliklerin yanı sıra maddelerin yapı taşlarına inerek farklı malzemeler üretmeye başlamışlardır. Böylelikle çağa ayak uyduran yeni malzemeler ortaya çıkmıştır. Geleneksel malzemelerin hala kullanılmakta olduğu ve özelliklerini geliştirerek kullanılmaya başlandığı, yeni çıkan malzemelerle kıyaslandığında yeterli mi yetersiz mi olduğu irdelenmiştir. Standart kullanılan malzemelerin yeni çıkan malzemelerden ne gibi farklılıklarının olduğu bunların avantaj ve dezavantajlarına bakılarak kıyaslamalar yapılmıştır.



## 2. ISI YALITIMI KAVRAMLARI

Isı denilen kavram bir enerji türüdür. Termodinamiğin 2. Yasası gereği ısı; yüksek sıcaklıklı ortamdan düşük sıcaklıklı ortama transfer olur [31]. Isı bir ortamdan diğer ortama geçtiği sırada mekanlarda bulunan malzemelerin ısı iletkenlikleri ve kalınlıklarına bağlı olarak bir dirençle karşılaşır. Isı yalıtım uygulamaları ve bina bileşenleri değerleri bu ısı geçişlerini azaltır.

Yapılarda ve tesisatlar da ısı kayıp ve kazançlarının sınırlandırılması için yapılan işleme “Isı Yalıtımı” denir [21]. Teknik açıdan ısı yalıtımı; farklı sıcaklıklarda ki iki ortam arasında ısı geçişini en aza indirmek amacıyla kullanılır. Isı yalıtım uygulamalarında verim alınabilmesi için hem yapı bileşenleri hem de yalıtım malzemesinin bazı özelliklere sahip olması gerekir. Isı yalıtım uygulamaları dış etkenlerden korur, malzemenin ömrünü uzatır, işletme maliyetlerinde tasarruf sağlar, enerji korunumu sağlaması açısından önemlidir.

Yapılardaki toplam ısı kayıplarının; %10’u döşemelerde, %10-15’i pencerelerde, %25’i tavanlarda, %15-25’i duvarlarda, %20-50’si ısı köprülerinde oluşmaktadır. Şekil 2.1’de oluşumları gösterilmektedir [21].



Şekil 2.1 : Binalarda ısı kayıpları [21]

## 2.1 Isı İletkenlik Değeri

Bir yapı malzemesinin net yoğunluğuna ve oluşturduğu bağ kuvvetine bağlıdır; ancak malzemenin sıcaklık ve nem oranından da etkilenir.  $W/(mK)$  birimi [4]. Herhangi bir malzemeden birim uzunluktaki ısı enerjisinin, sıcaklık farkının ne kadar olduğunun bir göstergesidir. Isı yalıtım konusunda baz alınan değer ısı iletkenlik değeridir ve malzeme özelliğidir.

Bir yapı malzemesinin ısı iletkenliği ne kadar küçük olursa ısı yalıtım etkisi o kadar iyi olur [4]. Örneğin;

- Çelik gibi yoğunluğu yüksek malzemelerin ısı iletkenliği iyidir.
- Havanın ısı iletkenlik katsayısı yüksektir.
- Malzemenin hücre yapısına bakıldığında gözeneklerinin büyüklüğü ve heterojen biçimde dağılmış olması ısı iletkenlik açısından iyi değildir.

Isı yalıtım malzemeleri değerlendirilirken diğer özelliklerinin yanında ısı iletkenlik değeri en önemli kriterdir. Bazı ısı yalıtım malzemelerin ısı iletkenlik değeri çizelge 2.1’de gösterildiği gibidir. Malzemenin hücre yapısının gözeneklerinin küçük ve homojen dağılmış olması ısı iletkenlik değerini düşürür.

**Çizelge 2.1:** Bazı ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değerleri [2].

| W/(mK)      | Yapı malzemesi                   |
|-------------|----------------------------------|
| 0,030       | Poliüretan yalıtım               |
| 0,035-0,040 | EPS, XPS, mineral yün            |
| 0,045       | Ahşap yün yalıtımı               |
| 0,16        | Gaz beton yoğunluk 500           |
| 0,23        | W sınıfı tuğla yoğunluk 600      |
| 0,33        | Yatay delikli tuğla yoğunluk 600 |
| 2,5         | Donatılı beton                   |

Isı iletkenlik değerinde bir ısı akışı söz konusudur. Isı iletkenliği malzemelerin yoğunluğunu, ana maddesine, doğal ve ince yapısına, nem içeriği ve sıcaklığına, aynı zamanda hücresel gazlar belirleyici faktör olarak sıralanabilir [30]. Isı yalıtım malzemelerinden lifli yapıda olanların liflerin sağlamlığı ve yönlendirilebilir olması önemlidir. Köpük olarak kullanılan yalıtım malzemelerinde ise hücresel boşlukların boyutları, konumu, barındırdığı gazlar önemlidir. Çünkü hücresel boşlukların küçük olması ve bu boşlukların homojen olarak dağılmış olması gerekir.

## 2.2 Isı Kapasitesi

Isı yalıtım malzemesinin yalıtım amacıyla kullanılabilmesi için en başında bakılan faktörlerden biri ısı kapasite değeri ve ısı iletkenlik katsayısıdır. Bu özellikler malzemenin atomlarının bağ kuvveti, yapısındaki boşluk miktarı ve iç yapısı, içinde barındırdığı nem miktarı gibi parametrelere bağlıdır [30]. Isı kapasitesi ısı sığası olarak da bilinmektedir. Isı kapasitesi bir malzemenin emdiği ısıнын sıcaklık farklılığına oranıdır. Isı yalıtım malzemelerinin sıcaklık karşısında gösterecekleri ısı kapasiteleri de farklıdır. Birim hacim yoğunluk değerleri, boyut aralıkları, kalınlıkları, ısı geçirimsizlikleri, ısı iletkenlik değeri ısı kapasite değerlerini değiştirmektedir. Isısal geçirimsizlik malzemenin bulunduğu yere göre 3 farklı şekilde olmaktadır; kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon olarak gerçekleşmektedir. Yapı elemanlarında da genellikle kondüksiyon yolu ile bu ısı geçirimsizliği söz konusudur. Kondüksiyon bir maddenin enerjisinin az olan moleküllerden çok olan moleküllere, yani moleküller arasındaki etkileşimdir. Konveksiyonun bir diğer adı taşınımıdır. Katı bir yüzeyle onun temas ettiği akışkan bir ortam arasında gerçekleşen ısı transferine taşınım denir. Konveksiyonla yapılan ısı geçişlerinde değişken olduğu ısı sınır tabaka içinde gerçekleşir. Işınım ile olan ısı geçişleri maddenin atom veya moleküllerinin elektron düzeninde olan değişimler sonucunda yayılan elektromanyetik dalgalardır. Bu ısı transferlerini engellemek adına kabuk katmanlarını oluşturan malzemelerinin ısı dirençleri, neme karşı gösterdikleri dirençleri göz önüne almak gerekir [15].

## 2.3 Yüzeysel Isı İletim Direnci

Bir yapıdaki kullanılan elemanların iç ortamdan dış ortama geçerken ki ısı transferleri ile dış ortamdan iç ortama geçerken ki ısı transferleridir. Katı ve gaz halinde iki durumda da ısı aktarımı taşınım ve ışınım ile sağlanır, bu sırada da bir ısı iletim direnci oluşur [2]. TS 825'e göre hesaplanmış, iç yüzey  $R_i$ , dış yüzey  $R_e$  olarak yapı bileşen tiplerine göre değerler belirlenmiştir. Toprak temaslı dış duvar, merdiven duvarı, bitişik bölme duvarlar, tavan veya çatı, aşağıdan yukarıya ısı akışı olması halinde, bodrum tavanları gibi alanların yüzeysel ısı iletim dirençleri hesaplanmıştır. Yukarıdan aşağı ısı akışında, bodrum tavanında, bir yaşama mekanının dış hava ile sınırını oluşturan çıkma

tabanları ve altında bodrum olmayan bir yaşama mekanının zemine oturan tabanının iç yüzey ısı iletim dirençleri 0,17 m<sup>2</sup>K/W olarak hesaplanmıştır. Geriye kalan alanlar için iç yüzey ısı iletim dirençleri ise 0,13 m<sup>2</sup>K/W'tur. Dış yüzey hesaplamalarında toprak temaslı dış duvar ve altında bodrum olmayan bir yaşama mekanının zemine oturan tabanı 0 m<sup>2</sup>K/W; tavan ve tavan arası duvarlar için 0,08 m<sup>2</sup>K/W; dış duvar, çatı ve mekanın dış hava ile sınırını oluşturan çıkma tabanları 0,04 m<sup>2</sup>K/W olarak hesaplanmıştır [28].

## 2.4 Isı Geçirgenlik Direnci (R)

Isı geçirgenlik direnci, ısının ne kadar iletildiği ve aktarıldığının toplam hesabıdır. Bir yapı elemanının termal özelliklerinin yanında hangi konumda olduğunun da bir ölçüsüdür. Yapı bileşeninin kalınlık değerinin, ısı iletkenlik değerine bölünmesi ile hesaplanır. Çok tabakalı yapı bileşenlerinin hesaplanmasında ise tek tek yapı eleman kalınlıkları ve ısı iletkenlik değerleri kullanılarak hesaplanır [28] (2.1).

$$R=d/\lambda \quad (2.1)$$

R : Isıl geçirgenlik direnci

d : Yapı bileşeninin kalınlığı

$\lambda$  : Isıl iletkenlik hesap değeri

## 2.5 Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı (U)

U değeri, bir yapı elemanının ısı yalıtımı değerlendirilmesi için kullanılır. Yapı elemanlarındaki katmanlaşma ve kalınlıkları belirleyicidir. 1 m<sup>2</sup> yapı parçasında iç ve dış sıcaklık farkının ısı enerjisinin kaybıdır [2]. Duvarlar, çatı pencereler vb. gibi elemanların u değeriyle, ısı geçiren bina cephesinin ısı kayıpları, iç ve dış mekanların u değerleri hesaplanır. Bir yapı parçasının U değerinin düşük olması o yapının ısı kaybının da o kadar az olacağının göstergesidir (2.2). TS 825 yönetmeliğine göre yapı bileşenleri tasarımı belirtilen U değerlerini karşılaması ısı kaybını azaltır. Binalarda Enerji Performansı yönetmeliğine göre ısı kaybı olan yüzeylerde %60 ve üzeri olduğunda TS 825'te belirtilen

değerlerden %25 daha az toplam ısıl geçirgenlik değeri karşılanmalıdır [30]. U değerinin formülü;

$$1/U = R_i + R + R_e \quad (2.2)$$

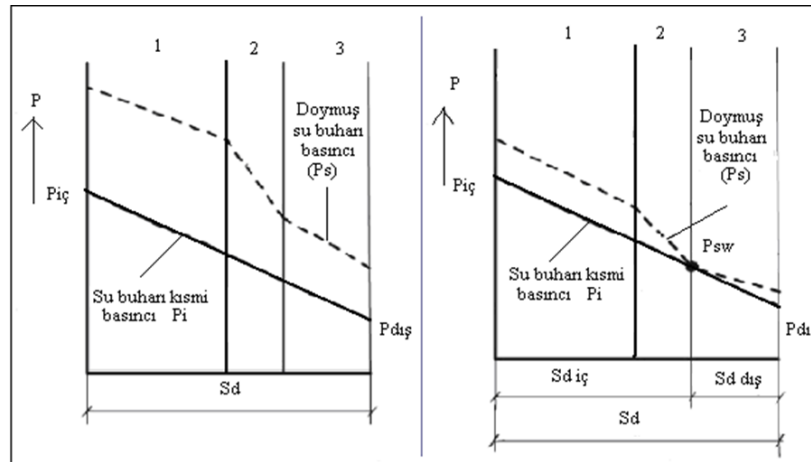
$R_i$  : İç yüzeyin yüzeysel ısı iletim direnci

$R_e$  : Dış yüzeyin yüzeysel ısı iletim direnci

$R$  : Isı geçirgenlik direnci

## 2.6 Yoğuşma

Yapılarda kullanılan elemanların iki yüzündeki sıcaklıkları farklıdır ve oluşan basınçlarda farklı olmaktadır. Isıtmanın önemli olduğu kış mevsimlerinde, genellikle iç mekan da yüksek buhar basıncı meydana gelir ve iç ortamdaki gaz buharı da dış ortama çıkmaya çalışır [19]. Gaz olarak dış ortama çıkan su buharı gerek kullanım ömrü açısından gerekse ısıl performansı açısından bir problem oluşturmaz. Burada önemli olan konu kullanılan malzemelerin su buharına gösterdiği dirence ve sıraya bakılarak malzemelerin gösterdiği performansa göre su buharının gaz halinden sıvı hale geçmesi, yani yoğuşma ihtimali mevcuttur. Mantar oluşumu, küf, koku, boya bozulmaları meydana gelir. Alınabilecek önlemler olarak yapı bileşeninin su buharının hareketine karşı yalıtımla direnci artırılabilir (2.2). Su buharının yoğuşacağı yer belirlenip ona göre ısı yalıtımın iç veya dış yüzeye yapılması gerekir [6].



**Şekil 2.2:** Duvar bileşenlerinde doymuş su buharı ve su buharı kısmi basınçlarının kesişmemesi ve kesişmesi [6]

## 2.7 Isıl Konfor

Bina ne kadar iyi yalıtıma sahipse, dış cephe elemanlarının iç yüzey sıcaklıkları o kadar yüksek olur. Oda sıcaklıklarından elde edilen aritmetik ortalamaya göre hissedilen sıcaklık odalarda 20-22 °C civarında olmalıdır. Küf oluşumu olmaması için iç yüzey sıcaklığı da ne kadar düşük olursa o kadar iyidir ve TS 825 Standardı Ek F'de kabul edilen sıcaklıktan en fazla 3°C daha az olacak şekilde ısı yalıtım yapılmalıdır. Hava akımının az olması kullanıcıların vücutlarında hissettikleri sıcaklık farkları da o kadar düşük olur [4]. Binaların dış cephe elemanlarından en düşük sıcaklığa sahip bölge pencerelerdir. Çift cam, yalıtımlı cam kullanılarak bu durumun önüne geçilir. Sıcaklık farkının büyük olması durumunda içeride bir hava hareketi oluşur, bu hareket ile birlikte oda içerisinde gözle görülmeyen toz parçacıkları da hareket eder. Bu durum insan sağlığını olumsuz yönde etkiler. Duvar iç yüzey sıcaklığının ortam sıcaklığına yakın tutmanın tek yolu ise ısı yalıtımıdır. Bina yalıtımlarında en önemli konu bölge, coğrafya, iklim, arsa bilgileri, kullanıcıların konfor beklentileri gibi özelliklerdir. Örneğin; binanın konumunun cadde üzerinde olması yapıya ses yalıtımının da yapılması gerekir.

Isı yalıtım malzemelerini seçerken ısı konforu sağlamak adına ısı geçirgenlik, ısı iletkenlik değeri, su ve neme dayanması gibi özelliklerine bakılarak seçilmelidir. öylelikle iç ortamlarda oluşabilecek rutubete ve ısı köprülerine karşı önlem alınmış olur.

## 2.8 Isı Yalıtımının Amaçları

- Yaz aylarında aşırı sıcaktan ve kışın soğuktan rahatsız olmamak aynı zamanda daha az yakıt tüketimi ile daha az yakıt harcaması yapmak [21],
- Yaşam şartlarını yükselterek kullanıcılara konforlu yaşam sunmak,
- Isıtma ve soğutma amacı ile kullanılan enerjinin boşa harcanmaması, verimli kullanılması ve işletme giderlerinde tasarruf sağlamak,
- Isı yalıtımı ile binadaki ısı kaybı azalır ve daha küçük ısıtma-soğutma cihazları kullanılması,
- Hava ve çevre kirliliğini engellemek,
- Dış duvarlarda sıcak ve soğuktan oluşan ısıl gerilmelerini ile çatlakları önlemek,

- Doğal kaynakların tüketimini azaltarak gelecek nesillere de fayda sağlayabilmek,
- Bina içinde ve duvarlarda soğuk noktaları önler; rutubet, yoğuşma ve nem oluşumunu engeller, rutubete bağlı rahatsızlıkları engellemek.
- İdeal bir sıcaklık ortamı oluşturmak,
- Binaların dış kabuğunu ve yapı elemanlarını büyük ısısal gerilimlerin ve rutubetin oluşturacağı korozyondan korumak, boya bakım giderlerinden tasarruf sağlayarak bina ömrünü uzatabilmek [21],
  - Ahşap yüzeylerde oluşan mantarlaşmayı önlemek,
- Ülke ekonomisine karşı destek oluşturmak,
- Enerji tasarrufu açısından iyi olan binalar tasarlamak,
- Doğru ısı yalıtım uygulamaları ile harcanılan enerji miktarını azaltmak ve ısıtma soğutma giderlerinde tasarruf sağlamak,
- Enerji tüketiminden dolayı ortaya çıkan SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> gazları ve diğer bileşenler hava kirliliğine sebep olurlar. Isı yalıtımı ile salınan CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> gazlarının miktarını azaltmak,

Isı yalıtım malzemelerinin kullanılması ve üretiminin artması için sıralanan maddeler önem taşır.

## 2.9 Isı Yalıtımının Önemi ve Faydaları

Isı yalıtımına olan talepler her geçen gün artmaktadır. Mevcut ve yeni yapılan binalarda enerji tasarrufu önemli faktördür. Yapılan mantolama sistemleri binanın oda sıcaklığını dengeler. Böylelikle ısıtma-soğutma sistemleri kullanılan mekanlarda daha az enerji sarfıyatı yapılır.

Yapılan ısı yalıtımıyla beraber yapıda kullanılan yapı malzemelerinin korozyona uğramasını önleyerek binanın ömrünü uzatır. Aynı zamanda kış aylarında oluşabilecek rutubeti önler. Böylelikle kullanıcılara sağlıklı, rahat, konforlu mekanlar sunar. Kullanıcıların cebine hitap ederek tasarruflu binalar oluşturulur. Isı yalıtımı ile birlikte yapılan yatırım giderlerinde de azalma görülmektedir. Yakıta ödenen büyük kısımların ithalat yolu ile yurt dışına gittiği düşünülürse yalıtımla birlikte aynı zamanda dövizde de tasarruf sağlanmış olunur [15].

Binaların ısıtılması amacıyla fosil yakıtlar kullanılır. Fosil yakıtların kullanılması sonucu çıkan zararlı gazlar, hava kirliliğine ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Isı yalıtımıyla beraber sağlıklı ve yaşanabilir bir çevre oluşturulur [21].

## 2.10 Isı Yalıtımının Kullanıldığı Alanlar

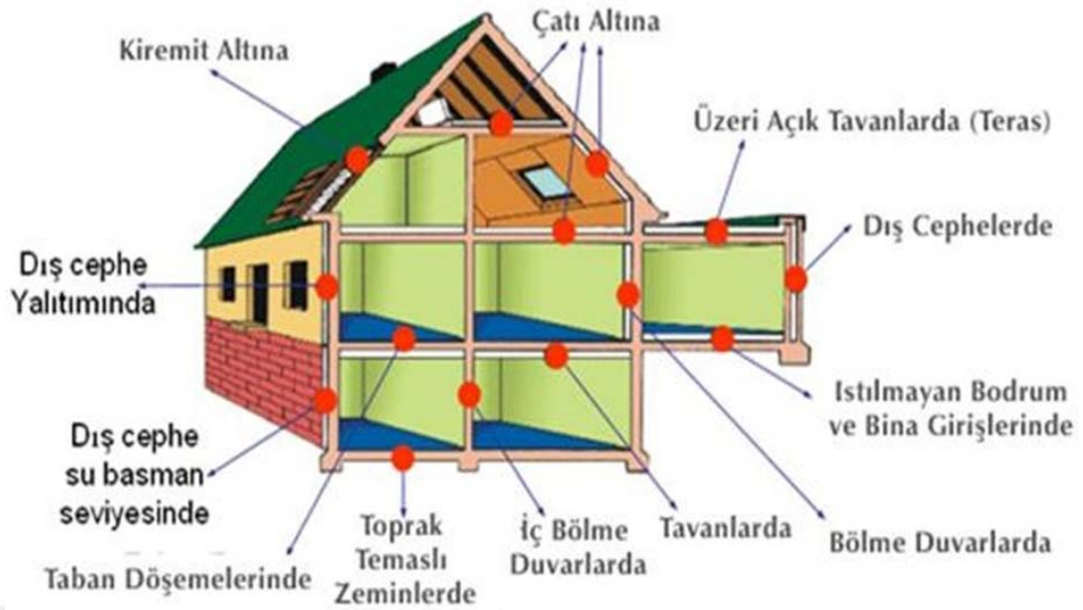
Isı yalıtımı uygulamalarında, en çok nerden kayıplarının verildiğine bakılması gerekir. Yapılara baktığımızda ısı kayıplarının olduğu, ısı yalıtımın yapılması gereken alanlar çizelge 2.2’de gösterilmiştir [33]. Sıcaklık farkının olduğu yerlerde ihtiyaç haline gelen ısı yalıtım uygulamaları yapılarda etkin hale gelmiştir. Duvar yalıtımlarına baktığımızda iç duvarlarda, bölme duvarlarda, dış cephelerde mantolama olarak, dış cephe su basma seviyesinde yapılmaktadır. Çatı kısımlarında çatı altına, kiremit altına yapılmaktadır. Zemin ve tavana baktığımızda seyir terası olarak kullanılacağımız alanlarda, ısıtılmayan bodrum ve bina girişlerinde, tavanlarda, taban döşemelerinde kullanılabilir [6].

**Çizelge 2.2:** Isı yalıtımının binalarda kullanıldığı bölümler

| DUVARLAR            | ÇATI                               | DÖŞEME                               |
|---------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Dış duvar pürüzlü   | Çıkmalar pürüzsüz                  | Zemine oturan döşemeler              |
| Dış duvar oluklu    | Düz ters çatılar                   | Döşemeden ısıtılmalı döşemeler       |
| Dış yüzey mantolama | Eğimli çatılar                     | Isıtılmayan ortama bitişik döşemeler |
| İç yüzeyden         | Mertek üzerinden                   |                                      |
| Sandviç pürüzsüz    | Mertek altından                    |                                      |
|                     | Mertek arasından                   |                                      |
|                     | Mertek altından döşemeler pürüzsüz |                                      |

Bu kısımlar binalardaki ısı yalıtımının kullanıldığı alanlardır (2.3). İnşaat temellerinde, çeşitli ısı tesisatlarında havalandırmalarda, kat bölmelerinde, cam, kapı aralıklarında kullanılır.





**Şekil 2.3:** Isı yalıtım malzemelerinin kullanıldığı yerler [21]

## 2.11 Binalarda Isı Yalıtımı Seçimi

Çatı, döşeme ve duvar yapının birleşim noktalarında ısı kayıpları meydana gelmektedir. Bu ısı kayıplarını minimuma indirmek için ısı yalıtım uygulamaları yapılmalıdır. Yapılarda ki ısı yalıtım uygulamalarında çatıların eğimli olup olmaması, mertek altından, arasından, üstünden, yapılması gibi birçok alana yayılmaktadır.

Bir yerin ısı yalıtımı yapılırken sadece akustik, ısı yalıtımı sağlaması yanında belli mekanik özelliklerini de taşıması gerekir. Malzemelerin mekanik açıdan değerlendirilmesi basınç dayanımı, yoğunluk gibi özelliklerine bakılarak değerlendirilip, test edilmelidir.

Fiziksel ve kimyasal özellikler açısından ısı yalıtım malzemeleri uygulanacağı alanlarda belli performansları göstermeleri gerekmektedir. Bunun için seçilecek olan malzeme tasarım aşamasındayken karar verilmelidir. Tasarlanacak olan yapıda bir araya gelen malzemelerin etkileşimleri, birleşim, katmanlaşma sıraları ve bağlantıları düşünülmelidir. Isı yalıtım malzemesi seçerken binalardaki ısı yalıtım yönetmeliğine dikkat edilip ona göre seçim yapılmalıdır. Tam bir proje için kullanılacak olan malzemenin performans değerlerine bakılıp, uygulama sırasında gerçekten o değerleri gösterip göstermediği test edilmelidir. Böylelikle istenilen şartlara uygun bir proje ortaya konmuş olur.

Çizelge 2.3'te yapılarda kullanılabilecek ısı yalıtım malzemelerin çatı, duvar ve temel de hangisinin kullanışlı olduğu görülmektedir.

**Çizelge 2.3 : Isı yalıtım malzemelerinin yapıda kullanım alanları [30]**

|       |                                                                                     |                                                                                    | İSİ YALITIM MALZEMELERİ |          |     |     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------|-----|-----|
|       | ŞEMATİK GÖSTERİM                                                                    | AÇIKLAMA                                                                           | CAM YÜNÜ                | TAŞ YÜNÜ | EPS | XPS |
| ÇATI  |    | EĞİMLİ SICAK ÇATIDA DIŞ HAVA ŞARTLARINDAN KORUNMUŞ ÇATI KAPLAMASI ALTI DIŞ YALITIM | ●                       | ●        | ●   | ●   |
|       |    | DÜZ ÇATIDA DIŞ HAVA ŞARTLARINDAN KORUNMUŞ SU YALITIM ALTI DIŞ YALITIM              | ●                       | ●        | ●   | ●   |
|       |   | TERS ÇATIDA DIŞ HAVA ŞARTLARINDAN KORUNMAMIŞ SU YALITIM ÜSTÜ DIŞ YALITIM           |                         |          |     | ●   |
| DUVAR |  | ASMA CEPHE ARKASI DUVAR DIŞ YALITIM                                                | ●                       | ●        | ●   | ●   |
|       |  | SU YALITIM ARKASI DUVAR DIŞ YALITIM                                                |                         |          | ●   | ●   |
|       |  | SIVA ALTI DUVAR DIŞ YALITIM                                                        | ●                       | ●        | ●   | ●   |
|       |  | SANDVIÇ DUVAR BOŞLUK YALITIM                                                       | ●                       | ●        | ●   | ●   |
|       |  | AHŞAP ÇERÇEVE VE PANEL SİSTEM YALITIMI                                             | ●                       | ●        |     |     |
|       |  | DUVAR İÇ YALITIM                                                                   | ●                       | ●        | ●   |     |
| TEMEL |  | TOPRAK İLE ETKİLEŞİMLİ, SU YALITIMININ ÜSTÜNDE DIŞ YALITIM                         |                         |          |     | ●   |
|       |  | TOPRAK İLE ETKİLEŞİMLİ, SU YALITIMININ ALTINDA DIŞ YALITIM                         |                         |          |     | ●   |

## 2.12 Tezin Yöntemi

Bu tez çalışmasında yöntem olarak literatür taraması yapılmıştır. İlk olarak çalışmanın konusu ve kapsamı belirlenip, kaynaklar araştırılmıştır. Isı yalıtımının ne olduğu, hangi amaçla yapıldığı, hangi malzemelerin kullanıldığı ve sağladıkları katkıları hakkında; çeşitli makalelerden, kitaplardan, yayınlanan tezlerden, üretici firmaların oluşturduğu katalogların genel bilgilerden, web kaynaklarından yararlanılmıştır. Uygulamalara örnekler gösterilmiş, konvansiyonel ve nanoteknolojik uygulamalar kıyaslamaları araştırmalarda bulunan örneklerle kıyaslanmıştır. Aynı zamanda ısı yalıtım uygulamaları açısından kesin sonuçlara ulaşabilmek için Binalarda Isı Yalıtım Kuralları ve TS 825 standartları incelenmiştir.



### 3. ISI YALITIMINDA KULLANILAN KONVANSİYONEL MALZEMELER

İki farklı ortamdaki ısı geçişini azaltmak amacıyla ısı yalıtım malzemelerine ihtiyaç duyulur. Doğru seçim yapabilmek için ısı yalıtım malzemelerinin özelliklerini, gösterdikleri performanslarını ve malzemeyi her yönü ile tanımak gerekir.

ISO ve CEN Standartlarına göre yapılan sınıflandırmada  $\lambda$  yani ısı iletkenlik katsayısı 0,065'ten küçük olmalıdır. Isı yalıtım malzemelerini çeşitli yönlerinden sınıflandırmak mümkündür. Yapısal, köken, form çeşitliliği gibi farklı yönlerde sınıflandırılabilir [28]. Konvansiyonel kullanılan ısı yalıtım malzemeleri TS standartlarının belirlediği standartlarda kullanılması gerekir. Bu ürün standartları çizelge 3.1' de gösterildiği gibi sınıflandırılmıştır.

**Çizelge 3.1 : Isı Yalıtım Malzemeleri Ürün Standartları [49]**

|                             |                   |
|-----------------------------|-------------------|
| Cam Yünü                    | TS 901 EN 13162   |
| Taş Yünü                    | TS 901 EN 1 3162  |
| Ekspande Polistren (EPS)    | TS 7316 EN 13163  |
| Ekstrude Polistren (XPS)    | TS 11989 EN 13164 |
| Poliüretan                  | TS EN 13165       |
| Fenol Köpüğü                | TS EN 13166       |
| Cam Köpüğü                  | TS EN 13167       |
| Ahşap Lifli Levhalar        | TS EN 13168       |
| Genleştirilmiş Perlit (EPB) | TS EN 13169       |
| Genleştirilmiş Mantar (ICB) | TS EN 13170       |
| Ahşap Yünü Levhalar         | TS EN 13171       |

#### 3.1 Isı Yalıtım Malzemelerinde Aranılan Genel Özellikler

Isı yalıtım malzemesi seçilirken tek bir özelliğe bağlı kalarak uygulandığında istenilen sonuçlara ulaşmak imkansızdır. Isı iletkenlik değeri, nem, yoğuşma gibi faktörlere sahip olması yanında başka özellikleri de içinde barındırmalıdır. Isı yalıtım malzemesi seçiminde; ısı iletkenlik değeri, su emme, difüzyon, su buharı geçirgenliği, kimyasallara karşı dayanımı, maliyeti, enerji korunumu,

yangın dayanımı gibi özelliklere bakılması gerekir. Bunların yanında yapının kullanım amacına, taşıyıcı sistemlerine, yalıtımın uygulanacağı yere, iklime, malzemenin kalınlığına, üretimine, çevresel etkisi gibi tüm özellikleri incelenerek, malzeme seçilmelidir [3].

Uygulanacak alanlarda ne için yalıtım uygulanacağı önemlidir. Örneğin; yangın tehlikesi taşıyan bir yapıda, önce yanmazlık özelliğine ve hangi yangın sınıfında olduğuna bakılmalıdır. Eğer ısı yalıtım malzemesinin özellikleri yeterli değil ise ilave malzemelerle iyileştirilme yapılır. Örneğin; buhar kesici kullanılması, yalıtım malzemesinde kalınlığı artırma gibi yollara başvurulabilir. Isı yalıtım malzemelerinde aranan genel özellikler; düşük ısı iletkenlik katsayısı, basınç ve çekme dayanımı, yoğunluk, yüksek ısı tutuculuk, kimyasallara karşı dayanıklı olması, yanmazlık, boyutsal kararlılık, düşük birim ağırlığa sahip olması, kolay temin edilmesi, maliyetinin ucuz olması, ekosisteme uygun olması, üretimde ve uygulamada kolaylık sağlaması, buhar difüzyon direnci, sudan ve nemden etkilenmeme, minimum enerji tüketimine sahip olması olarak sayılabilir.

### **3.2 Isı Yalıtım Özelliğinde Etkili Olan Yapısal Özellikler**

Isı yalıtım malzemeleri yapısal özellikleri bakımından lifsel ve hücresel olarak ayrılırlar. Isı yalıtım özelliğini malzemenin yapısındaki boşluklar verir. Bu boşluklar, havayı ve ısı iletkenlik değerini düşük olan gazları hapsederek taşınım ile ısı akımına direnç oluştururlar. Lifsel malzemeler, organik kökenli olup ısı iletkenliği düşük ve esnek olan liflerin boşluklu yapı oluşturarak bir bağlayıcı matris içinde dağılması ve bağlanmasıyla ısı yalıtım malzemeleri elde edilir. Hücresel yapıda olanlar ise mineral veya plastik kökenli olup, bu maddeler şişirilerek hücre çeperlerinin içinde ısı iletkenliği düşük gazların hapsedilip ve bu hücrelerin birbirine bağlanmasıyla istenilen ısı yalıtım malzemesi elde edilir [33].

### **3.3 Doğada Bulunan ve Üretilen Isı Yalıtım Malzemelerinin Sınıflandırılması**

Bitkisel ve hayvansal kökenli ısı tutucu malzeme ile mineral kökenli ısı tutucu malzeme olarak iki türde sınıflandırabiliriz [1].

### 3.3.1 Ahşap talaşı

Ahşap talaşının uzun lifler halinde manyezit bağlayıcı ile birlikte yüksek sıcaklıklarda preslenmesi yoluyla elde edilen organik esaslı bir ısı yalıtım malzemesidir. Piyasa adı ise Heraklit'tir [1]. Ahşap talaşına ait bazı teknik özellikler çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2 :** Ahşap talaşı teknik özellikleri [31]

| Malzeme Özellikleri                   | Değerler  |
|---------------------------------------|-----------|
| Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)       | 0,09-0,15 |
| Kullanım sıcaklığı °C                 | 110       |
| Yoğunluk kg/m <sup>3</sup>            | 360-570   |
| Yanma sınıfı                          | Class 1   |
| Buhar difüzyon direnç katsayısı (kPa) | 2-5       |
| Mekanik dayanım                       | 20        |

Genel özellikleri bakımından ahşap talaşı levhalar deforme olmaz, çevre dostudur, nefes alma özelliği vardır, ses yutucu özelliği vardır, anti bakteriyeldir, beton ve mineral sıvalar için uygun yüzeylidir (3.1). UV ışınlarından etkilenmezler ama organik kökenli malzeme olduğu için çeşitli böcek ve organizmalardan zarar görebilirler [23].



**Şekil 3.1:** Ahşap talaşı levhalar [31]

### 3.3.2 Cam yünü

Yerli olarak üretilen, İnorganik bir hammadde olan silis kumunun basınç altında 1200– 1250°C sıcaklıkta ergitilerek, elyaf haline getirilmesi ile oluşur. Açık gözeneklidir [1]. Cam yünleri kullanılacak yere göre farklı kalınlık, boyut ve yoğunlukta üretilmektedir. Şilte, levha, boru ve dökme şeklinde üretilebilir

(3.2). Isı iletkenlik değeri 0,04 W/mK, difüzyon 1'dir. -50 /+250°C ise kullanım sıcaklığıdır. Bağlayıcısız cam yünleri 500°C ye kadar kullanılabilir. -200/+450°C aralığında da özel cam yünleri üretmek mümkündür. Buharı kolay geçirir. Çürümez, korozyona uğramaz, yanmaz bir malzemedir. Maliyeti düşüktür [30]. Cam yününe ait bazı değerleri çizelge 3.3'te gösterildiği gibidir.

**Çizelge 3.3:** Cam yünü teknik özellikleri [31]

| Malzeme Özellikleri                  | Değerler          |
|--------------------------------------|-------------------|
| Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)      | 0,04              |
| Kullanım sıcaklığı °C                | 250               |
| Yoğunluk kg/m <sup>3</sup>           | 14-100            |
| Yanma sınıfı                         | A sınıfı (yanmaz) |
| Buhar difüzyon direnç katsayısı(kPa) | 1,1               |
| Mekanik dayanım                      | 1,5-6,5           |

Cam yünü uygulama sırasında sıkıntı çıkaran bir malzemedir. Bunun için iş güvenliği önlemleri alınmalıdır. Solunum yolları, göz ve derinin tahrişi gibi sorunlar çıkarabilir [33].



**Şekil 3.2 :** Cam yünü [30]

### 3.3.3 Genleştirilmiş mantar

Kuzey Afrika kıyıları ile Akdeniz adalarında yetişen bir tür ağacın kabuklarından elde edilir. Taneli bir yapıdadır. Yalıtımda kullanılan mantar türü meşe mantarı olup gözenekli bir yapıdadır. Doğadan toplanıp, işlemden geçirilerek granül haline getirilir. Granüller yüksek sıcaklıklardaki buharda



preslenir ve genleşen mantarın şekillendirilmesiyle mantar plaklar elde edilir [1] (3.3).

Difüzyon katsayısı düşük olduğundan nemi kolay geçirir. Güneş ışınlarından etkilenmezler, doğaldır, haşarat barındırmazlar. Isı iletkenlik değeri 0,0445-0,055 W/mK'dır. -180 / +100°C aralığından kullanılabilir. Soğuk hava depo inşaatlarında döneminde çok kullanılmıştır. Şimdilerde ise teknoloji ile yeni malzemelerin çıkması ve mantar ağacının azalmasından dolayı nadiren kullanılır hale gelmiştir [33].



**Şekil 3.3:** Genleştirilmiş mantar [1]

#### **3.3.4 Taş yünü**

Bazalt, dolomit, kireçtaşı, diabez gibi taşların 1350 °C – 1400 °C'de eleklerden geçirilip elyaf haline getirilir, organik bağlayıcılar ile yüksek basınç altında levha haline getirilir [2]. Açık gözenekli ses ve ısı yalıtım malzemesidir. Taş yününün yoğunlukları 30-200 kg/m<sup>3</sup> arasında değişebilmektedir. Farklı boyut ve yoğunlukta değişik kaplama malzemeleri ile kullanım yerine göre rijit veya yarı esnek levha, şilte, boru ve dökme şeklinde üretilebilir. Basınç, kopma mukavemeti özellikleri, yoğunluklarına göre değişir. Taş yünündeki bu mukavemetler genellikle düşük yoğunluklarda az, yüksek yoğunlukta ise fazladır [27]. Noktasal yüklere karşı genellikle dayanıksızdır ve bu tür yüklere maruz kalmamalıdır.

Taş yünü ses yalıtımı, ısı yalıtımı, akustik düzenleme ve yangın yalıtımı olarak kullanılmaktadır. Genelde uygulaması şekil 3.4'te gösterildiği gibidir.



**Şekil 3.4:** Yarı esnek formda üretilmiş taş yünü malzemesi [30]

A1 ve A2 yangın sınıfında bir malzemedir. Buhar difüzyon direnci çok düşüktür. Buhar direnç katsayısı 1'dir. Bu yüzden uygulamalarda buhar difüzyon riski olan yerlerde taş yünün sıcak tarafına alüminyum folyo tarzı buhar geçirmeyen malzeme getirilmelidir. -50/+750 °C sıcaklık aralığında uygulanabilir. Isı iletkenlik değeri 0,035-0,050 W/mK arasındadır. Su emme değerleri %2,5-%10 aralığında değişmektedir [23]. Isı yalıtım özelliğini gösterebilmesi için ıslanmaması gerekir. Zamanla bozulmaz, ısıya ve rutubete maruz kalsa bile boyutları değişmez. Haşereye karşı dirençli değildir onların yaşayabileceği ortam oluşturur. Bu yüzden çatılarda uygulandığı zaman ek önlemler alınmalıdır. Küf tutmaz, çürümez, korozyona uğramaz. Maliyet açısından düşüktür. Güçlü Asitlere karşı dirençleri düşüktür. Kolay kesilir ve her parçası kullanılabilir.

Yüksek yoğunlukta rijit levha olarak üretildiklerinde, basınç dayanımı gerektiren demiryollarının altında, titreşimi engellemek için ses bariyerlerinde, yol yapımında taş yünü malzemesi kullanılmaktadır. Avrupa'da en çok tercih edilen ısı yalıtım malzemesidir.

Taş yünü malzemesinin yapılardaki uygulama alanları [23]:

- Çatılarda; farklı eğimlerdeki ve her çeşit metal ve ahşap çatılarda, yürünen veya yürünmeyen teras çatılarda levha olarak kullanılır.

- Döşemelerde; yapının temeline oturan döşemelerde, iki kat arası döşemelerde, açık geçit üzeri döşemelerde, titreşim kaynağı olan her yerde kullanılabilir
- Ara bölme levhası olarak; hafif ara bölme duvarlarında, dış duvarın içten yalıtımında, merdiven ve asansör boşluklarında çıplak taş yünü levha olarak kullanılır.
- Dış cephe levhası olarak; giydirme cephe sistemlerinde granit, mermer, alüminyum, cam vb. cephe kaplamalarında, havalandırılmalı cephelerde cam tülü ya da alüminyum folyo kaplı olarak taş yünü levhalar kullanılabilir.
- Mantolama levhası olarak; dış duvarlarda sıva altından ısı, ses, yangın güvenliği maksadıyla kullanılabilir



**Şekil 3.5:** Taş yünü malzemesi [6]

Taş yünü malzemesi gri veya kahverengi rengindedir (3.5). Kullanış şekillerine göre kalınlık değerleri; taş yünü levhaları 2,5-10 cm, taş yünü şilteleri 3-12 cm, boru olarak kullanıldığında ise 2,1-3,56 cm aralığında değişmektedir. Karakteristik özellikleri ise çizelge 3.4'te gösterilmiştir [6].

**Çizelge 3.4:** Taş yünü ısı yalıtım malzemesinin özellikleri

| Karakteristik Özellikler               | Değer                 |
|----------------------------------------|-----------------------|
| Beyan Edilen Isıl Direnç               | $R_D \geq m^2K/W$     |
| Boyutsal Kararlılık                    | $\leq 1\%$            |
| Gönyeden Sapma Toleransı               | $\leq 5 \text{ mm/m}$ |
| Düzlük Toleransı                       | $< 6 \text{ mm}$      |
| Uzunluk Toleransı                      | $\pm 2\%$             |
| Genişlik Toleransı                     | $\pm 1,5\%$           |
| Kalınlık Toleransı                     | $\pm 3/-1 \text{ mm}$ |
| Uzun Süreli Kısmi Daldırma ile Su Emme | $< 3 \text{ kg/m}^2$  |
| Basma Dayanımı                         | $\geq 10 \text{ kPa}$ |

### 3.3.5 Cam köpüğü

Cam yüksek sıcaklıkta eritilerek soğumaya bırakılır. İnce toz haline getirilerek içine karbon ilavesiyle 1000 °C sıcaklıkta fırınlardan geçirilir. En son tavlama fırınlarında levha, boru şeklinde şekillendirilir [23].

Basınca dayanıklı, çok sert, sürtünmeye dayanıksız, kolay kırılabilen, buharı hiç geçirmeyen, yüzeyi sürtünme ile kolay tozlaşabilen bir yalıtım malzemesidir. Güneş ışınlarını geçirmez. Yangına dayanıklıdır. Üretiminde bağlayıcı madde ve içinde zehirli gazlar barındırmaması cam köpüğü ekolojik bir malzeme olarak sınıflandırılabilir. Geri dönüştürülebilir.

Gözenekleri kapalıdır bu yüzden su almaz, sadece yüzeyinde olan girintilere su dolabilir. Eğer devamlı olarak suya maruz kalan yerdeyse malzemeyi az miktarda korozyona uğratabilir.

Gözenek yapısı %93-94 civarındadır. Cam köpüğü levha olarak küçük boyutlarda olabileceği gibi büyük panolar şeklinde de olabilir. Alüminyum folyo, alçı levha, cam gibi çeşitli malzemelerle kaplanabilir [35] (3.6).



Şekil 3.6 : Cam köpüğü [35]

### 3.3.6 Seramik yünü

Seramik yünü 650 °C – 1450 °C arası uygulamalar için döndürülüp bükülerek üretilen lifli bir malzemedir. Daha çoğunlukla taş yününün kullanılmadığı yüksek sıcaklıklarda kullanılır. Rulo, dökme, levha halinde bulunur (3.7). Basınca dayanıklı değildir ve esneyebilir. Yurt dışından ithal edilmektedir. Fosforik asit ve hidroflorik asitler dışında asitlerden etkilenmez [23].



**Şekil 3.7:** Belirli formlarda üretilen seramik yünü [52]

### **3.4 Doğada Var Olmayan Sentetik Olarak Üretilen Isı Yalıtım Malzemeleri**

Kompozit olarak, taneli yapıda, köpük ya da süngerli yapıda, lifsel yapıda, bünye yapısına göre olarak sınıflandırmak mümkündür. Gelişen teknoloji ile üretilen bu malzemelerin türevleri gittikçe artmaktadır [1]. Başlıca ısı yalıtım malzemeleri XPS, EPS, poliüretan köpük, polietilen köpük olarak bu bölümde incelenecektir.

#### **3.4.1 Ekstrude polistiren köpük**

Polistiren malzemesinin ekstrüzyon ile çekilmesiyle üretilir. Ortak çeperli ve kapalı gözenekli hücre yapısındadır. Bu yüzden bünyesine su almamaktadır ve emiciliği yoktur. Buhar difüzyon direnç katsayı değeri ise yoğuşmaya imkan vermeyen fakat levhanın nefes almasına izin veren optimum değerdedir [1]. Bu değer 80-250 kPa arasında değişmektedir. Ek olarak buhar kesicilere gerek yoktur. Kullanım sıcaklığı -50/+75 °C arasındadır. Plastik kökenli olduğu için kimyasal maddelere karşı duyarlıdır [31]. Basınç mukavemeti, basma dayanımı oldukça yüksektir.

%100 kapalı gözenek yapısına sahip olduğundan bünyesine su almaz. Su buharı difüzyon direnci ise yoğuşmayı önleyen ve nefes almaya izin veren optimum değerdedir. Su emme değerleri %0,1 gibi çok düşük değerdedir. TS 11989'a göre tam daldırma işlemi ile uzun süre sonra su emme durumu açısından WI 1 sınıfı malzemelerdir [37]. XPS malzemesine ait özellikler çizelge 3.5'te gösterilmiştir.

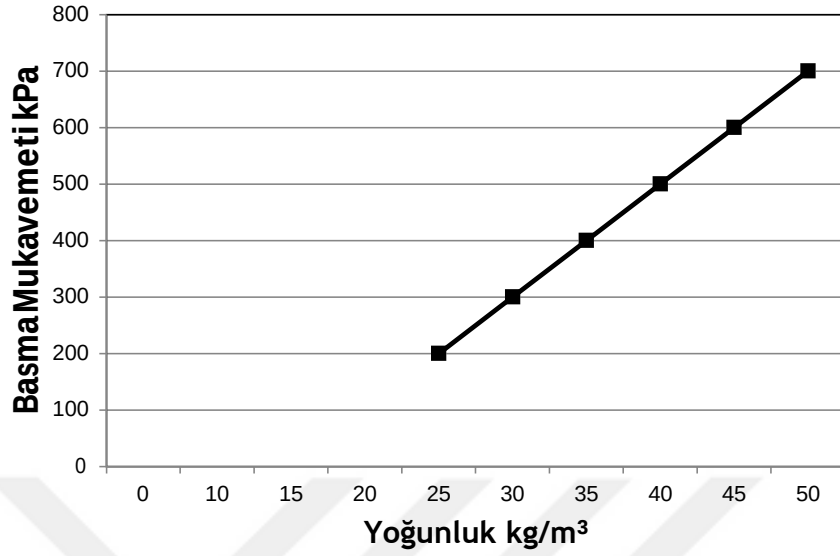
**Çizelge 3.5 : XPS malzemesi teknik özellikleri [31]**

| Malzeme Özellikleri             | Değerler |
|---------------------------------|----------|
| Isı iletkenlik katsayısı (W/MK) | 0,028    |
| Kullanım sıcaklığı °C           | -50/+80  |
| Yoğunluk (KG/M <sup>3</sup> )   | Min. 20  |
| Yanma sınıfı                    | B1       |
| Buhar difüzyon direnç katsayısı | 80-250   |
| Mekanik dayanım (KPA)           | 10-50    |
| Hacimce su emme                 | %0-0,5   |

EPS ürünüyle benzer özellik göstermektedir. Farklılıkları olarak XPS'in üretimi sırasında ekstrüzyon yöntemi kullanılır. Ayrıca, polistren taneciklerinin genişletilmesi sırasında HCFC (Hidrokloroflorokarbon), HFC (Hidroflorokarbon), CO<sub>2</sub> gazları kullanılmaktadır [6]. Isı iletkenliği kullanılan gazlara göre değişmektedir. En düşük ısı iletkenlik değerine CFC gazı ile ulaşır. Fakat bu gazın kullanımı günümüzde kullanılması yasaktır. HCFC'lerle şişirilmiş XPS ürünlerinde ısı iletkenliklerinde zamanla yaşlanma görülür. CO<sub>2</sub> kullanılan XPS ürünlerinde bu yaşlanma olayı görülmez fakat ısı iletkenliği diğer gazlara göre daha yüksektir [55].

Yoğunluk ve hücre sayısı XPS ürünlerinin performansını etkiler. Daha çok hücrenin olması malzemenin yoğun olmasını sağlar. Daha yoğun malzeme; hücrelerin küçülmesi, hücre sayısının artması ve kullanılan gazın küçük hücreler içinde hapsolarak ısı iletkenlik değerini küçültür ve uzun süreli koruma sağlar. Yoğunluk arttıkça basma mukavemet değeri de artar (3.8). En ideal yoğunluk değeri 28-48 kg/m<sup>3</sup> aralığındadır. Isıl iletkenlik değeri en iyi bu değerler arasında gösterir. 25 kg/m<sup>3</sup>'ün altına düşen yoğunlukta radyasyonla ısıl iletim artacağından ısı iletkenlik değeri artar. Kapalı gözenekli hücre yapısı bozularak açık gözenekli yapılar oluşmaya başlar. Bu durum sonucunda ısıl iletkenlik

değeri artar, su emme değerlerinde değişme gözlenir, basma dayanımları kötüleşir [31].



**Şekil 3.8:** XPS ısı yalıtım malzemesinin yoğunluk artışı ile basma mukavemeti arasındaki ilişki [19]

Üç tip levha olarak üretimi yapılmaktadır. Pürüzsüz XPS levhalar, döşemelerde ve çatılarda kullanılır. Pürüzlü XPS levhalar duvar, kolon, kirişlerin dışarıdan ısı yalıtımı uygulamasında kullanılır. Pürüzlü-oluklu XPS levhalar ise duvarların içten ısı yalıtımında kullanılır (3.9).



**Şekil 3.9:** Ekstrude polistiren köpük [8]

### 3.4.2 Ekspande polistiren köpük

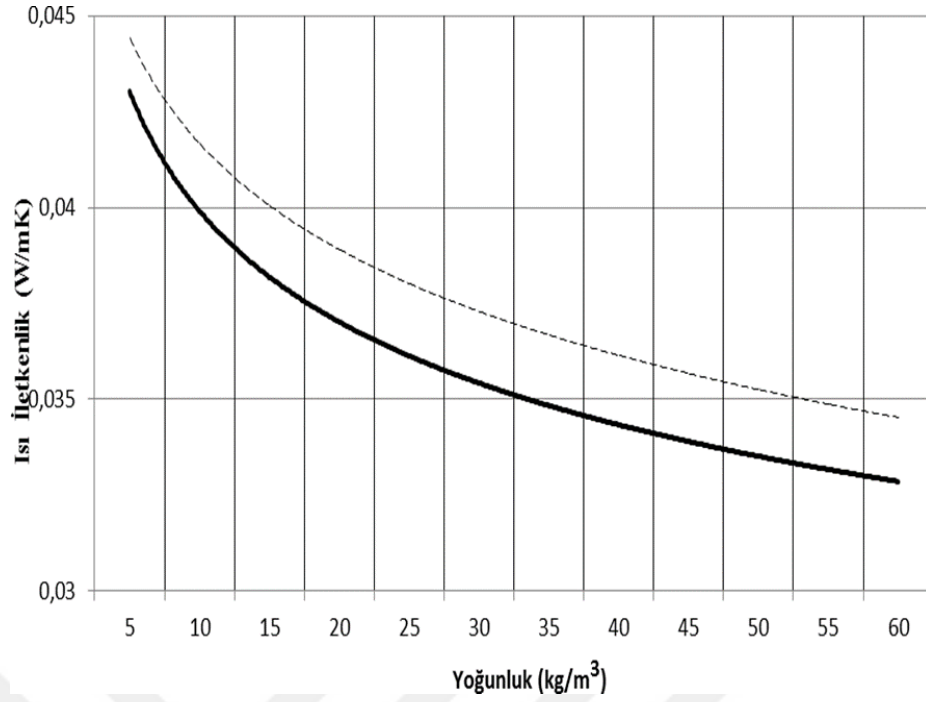


**Şekil 3.10:** EPS köpük [19]

Genleştirilmiş polistiren sert köpük petrol türevli olup polistiren maddesinin pentan gazı ile şişirilmesi sonucu elde edilir (3.10). Kapalı gözenekli bir ısı yalıtım malzemesidir. EPS'nin yoğunluğunun artmasıyla basınç mukavemeti, fiyatı, buhar geçirimsizliği artar. Güneş ışınlarına karşı direnci düşüktür. Çeşitli boyutlarda üretilebilir. Uygulaması kolaydır [23].

Polistiren hammaddeleri, iri kum boyutlarındadır ve ince danelere benzer. Bu daneler genleştiriciye konarak pentan veya bütanla beraber buharlı ısıtılma işlemine tabi tutulur [30]. Pentan gazı, tanecikler içinde çok küçük gözeneklerin oluşmasını sağlar. EPS üretimi yapıldığı sırada ve sonrasında pentan gazı hava ile yer değiştirir. Böylelikle durgun hava, kapalı gözenekli hücreler arasında kaybolur. Bu yolla, %98 hareketsiz ve kuru havadan, %2 polistrolle oluşur ve ısı iletkenliği, su emme oranı, buhar geçirimsizliği azalır [6]. Minimum yoğunluğu TS 825'e göre  $15 \text{ kg/m}^3$  olmakla beraber istenilen yoğunlukta da üretilebilir [31] (3.11).





**Şekil 3.11:** EPS'nin ısı iletkenliğinin yoğunlukla değişimi [19]

Alman Normu DIN 4102'ye göre B1 sınıfı zor alev alan ve B2 sınıfı normal alev alan malzemeler sınıfında ekspande polistren üretilebilir [19].

Isı iletkenlikleri laboratuvar ve hesap değerleri ilgili standartlar aracılığıyla çizelge 3.6'da belirtilen değerler hesaplanmıştır [6].

**Çizelge 3.6 :** EPS ısı yalıtım malzemesinin DIN 4102'e göre ısı iletkenliklerinin yoğunluk artışı ile EPS değerleri

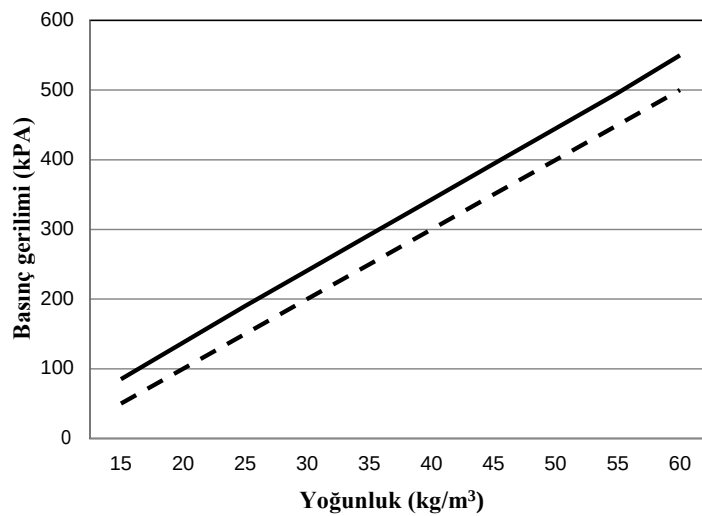
| Isı iletkenlik | İlgili standart | 15 kg/m³ EPS | 20 kg/m³ EPS | 30 kg/m³ EPS |
|----------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| Lab. değeri    | DIN 52612       | 0,036-0,038  | 0,034-0,036  | 0,031-0,033  |
| Hes. değeri    | DIN 4108        | 0,040        | 0,040        | 0,035-0,040  |

Üretiminde enerjinin yoğun olarak kullanılmaması, aynı zamanda üstün teknik özellik göstermesi ve ekonomik olması kullanılmasının önemli sebeplerindendir. Kalınlığında bir değişiklik olmaz, ısı iletkenliği artmaz ve özellikleri değişmez. Kullanım yeri ve amacına göre farklı boyut ve şekillerde üretilir. Kapiler emiciliği yoktur. UV ışınlarına karşı, bazı kimyasallara karşı hassastır.

**Çizelge 3.7:** EPS ısı yalıtım malzemesine ait bazı malzeme değerleri

| Malzeme Özellikleri             | Değerler |
|---------------------------------|----------|
| Isı iletkenlik katsayısı (W/mK) | 0,04     |
| Kullanım sıcaklığı °C           | -180/+75 |
| Yoğunluk                        | 15       |
| Yanma sınıfı                    | B1       |
| Buhar difüzyon direnç katsayısı | 20-250   |
| Mekanik dayanım                 | 5-15     |
| Hacimce su emme                 | %1,1-2,5 |

EPS kullanımının tercih sebepleri; yoğunluk arttıkça ısı iletkenliğinin azalması, özellikleri yoğunluğa bağlı olarak istenilen yönde değiştirilebilmesi, maliyenin düşük olması, EPS ısı yalıtım malzemesi kullanıldığı sürece bozulmadan kalması, çevre dostu ve sürdürülebilir olması olarak sayılabilir. Basınca karşı dayanıklıdır. Yoğunluk artışı ile basınç dayanımı artar, aşağıdaki şekil 3.12’de gösterilmiştir. Buhar geçirimsizliği istenilen değerlerde ayarlanabilir. Bina ömrü boyunca performansını kaybetmez [37].



**Şekil 3.12:** Yoğunluk artışı ile basınç gerilimi artışı [19]

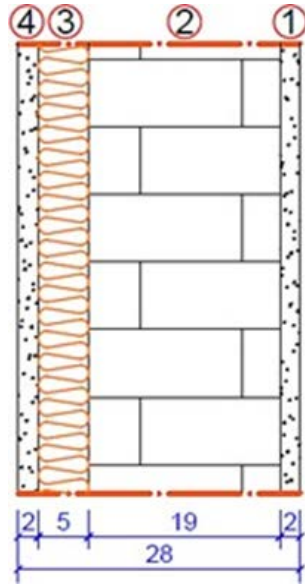
Ülkemizdeki adıyla strafor olarak bilinmektedir ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Geri dönüşümü yapılabilen malzemedir. Çürümez. Çok hafiftir, kolay taşınabilir, uygulaması kolaydır. Haşarat barındırmaz. Düşük miktarda da olsa nefes alabilen bir malzemedir bu yüzden sağlık açısından iyi bir yalıtım malzemesidir.

Yalıtım amaçlı kullanıldığı alanlar; binalarda duvarların ısı yalıtımında (3.13), döşemelerde, tavanlarda, hava sesi yalıtımında, soğuk hava depoların ısı yalıtımında, borular gibi birçok alanda kullanılmaktadır [37]



**Şekil 3.13:** Ekspande polistiren köpüğün dış duvar ısı yalıtılması [6]

Isı yalıtım yapılmış bir binada 0,05 m kalınlığında, ısı iletkenlik katsayısı 0,035 W/mK olan EPS kullanılmıştır. Apartman bitişik nizam olmakla beraber duvar kalınlığı 28 cm'dir. 2 cm iç sıva, 19 cm tuğla duvar, 5 cm EPS ısı yalıtım malzemesi, 2 cm dış sıva uygulanmıştır (3.14). Apartmanın toplam alanı  $A_{(top)}$  560 m<sup>2</sup>'dir [32].



**Şekil 3.14:** Apartmanda duvarda kullanılmış olan malzemelerin kalınlık değerleri [32]

TS 825 'e göre yapılan toplam ısı kaybını bulmak için öncelikle ısı iletim direnci ;

$$R=d/ \lambda \quad (2.1)$$

Isı geçirgenlik kat sayısı(U) bulmak için;

$$U=1/R \quad (2.3)$$

Toplam ısı kaybını(Q) hesaplamak için yapı elemanı, taban döşemesi, tavan için ayrı formüller uygulanır. Taban döşemesi için;

$$Q= U \times 0,5 \times A \quad (2.4)$$

A : Toplam alan

Yapı elemanı duvar için;

$$Q= U \times 1 \times A \quad (2.5)$$

Tavan için;

$$Q=U \times 0,8 \times A \quad (2.6)$$

formülleri kullanılır [32].

Yapılan hesaplamalar sonucunda ısı yalıtımlı binanın döşemesinde 171,36 W/K, pencere ve kapılarda 465,92 W/K, tavadan 207,08 W/K, duvardan 380,16 W/K enerji kaybı yaşanmaktadır. Isı yalıtımsız haliyle ise bu değerler; döşemeden

511 W/K, pencere ve kapılardan 465,92 W/K, tavandan 1 791,1 W/K, duvardan 1 260,10 W/K enerji kaybı yaşanır. Buradan da görüleceği üzere ısı yalıtımı yapılan binalarda enerji kayıpları düşük seviyelere indiriliyor [32].

### 3.4.3 Poliüretan köpük

Poliüretan köpüğü Alman bilim adamı Otto Bayer tarafından bulunmuştur. Poliöl ve izosiyanat adlı iki kimyasal maddenin reaksiyona girmesi sırasında havanın yardımıyla köpürüp sertleşmesiyle poliüretan köpük oluşur. Plastiğin alt grubudur. Geniş bir uygulama alanı vardır, ısı köprüsü oluşturmaması ve zor detayları rahatça çözmesi yönüyle uygulama yelpazesi geniştir. Isı yalıtım plakalarında, belirli bir hacmin içine sıvı halde enjekte edilir ve yüksek basınç altında genişterek içine konduğu kabın şeklini almasıyla üretilir [23]. %95'i kapalı gözeneklidir (3.15). poliüretan köpüğün malzeme özellikleri çizelge 3.8'de gösterildiği gibidir.



**Şekil 3.15:** Poliüretan köpük [1]

**Çizelge 3.8 : Poliüretan köpüğün özellikleri [19]**

| Malzeme Özellikleri                  | Değerler  |
|--------------------------------------|-----------|
| Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)      | 0,035     |
| Kullanım sıcaklığı °C                | -200/+110 |
| Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )        | 30-200    |
| Yanma sınıfı                         | B1,B2,B3  |
| Buhar difüzyon direnç katsayısı(kPa) | 30-100    |
| Mekanik dayanım                      | 10-40     |
| Hacimce su emme                      | %3-5      |

Güneş ışınlarına karşı dirençlidir. Benzin, mazot, asitlere ve kimyasallara karşı dayanıklıdır. Bu yüzden birçok yerde kullanılabilir. Boyutsal bir değişiklik göstermez. Basınç, çekme ve kopma mukavemeti yüksektir. İyi bir ısı yalıtım malzemesi olabilir, çatı uygulamalarında tercih edilebilir ve ömrü uzundur. Fakat ekolojik değildir. Geri dönüştürülemez ve yeniden kullanılamaz.

#### **3.4.4 Polietilen köpük**

Polimerlerden imal edilen, gözenekli ve plastiğin alt grubunda yer alan bir malzemedir. Polietilen köpük kapalı hücreli ve çapraz bağlı hücre yapısına sahiptir. Ekstrüzyon ile üretilir [1]. Kalıptan ekstrüzyon yöntemiyle çekilerek boru ve levha olarak üretilir [37]. Dayanıklı, ekonomik, kullanımı kolaydır. Isı, akustik, nem açısından gösterdiği performans iyidir. Çeşitli şekillerde üretilebilir ve kullanım alanı geniştir (3.16). Isı iletkenlik değeri 0,040'dır. Esnektir, alev almaz, kullanım sıcaklığı -45/+80 °C'dir.



**Şekil 3.16 :** Polietilen köpük [1]

### **3.5 Isı Yalıtım Malzemelerinin Malzeme Özellikleri**

Isı yalıtım malzemelerinin belli özelliklere karşı gösterdikleri sayısal değerler farklıdır. Her malzemenin yapısal özelliği farklı olması, üretim şeklinin farklılığı gibi nedenlerden malzemeler aynı standartlarda özellik göstermezler.

Isı iletkenlik değerleri, buhar difüzyon direnç katsayısı, yoğunluk, basınç karşısındaki gerilmeleri, hacimce su emme değerleri gibi özelliklere göre ısı yalıtım malzemeleri farklı değerlere sahiptirler. Bu değerler çizelge 3.9’da gösterilmiştir.

**Çizelge 3.9 : Isı yalıtım malzemeleri ve malzeme özellikleri [1]**

| MALZEME<br>/ÖZELLİK                               | Ahşap<br>talaşı | Genleştiril<br>miş<br>mantar | Taşıyın<br>ü    | Cam<br>yün<br>ü | Cam<br>köpüğ<br>ü | Serami<br>k<br>yünü | XPS                 | EPS                 | Poliüreta<br>n<br>köpük | Polietile<br>n<br>köpük |
|---------------------------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| Isı iletkenliği<br>(W/mk)                         | 0,08 - 0,15     | 0,04 -<br>0,055              | 0,035 -<br>0,05 | 0,032 -<br>0,04 | 0,035 -<br>0,05   | 0,037               | 0,02<br>6 -<br>0,04 | 0,03<br>3 -<br>0,04 | 0,023 - 0,04            | 0,033 -<br>0,045        |
| Buhar difüzyon<br>direnc katsayısı (μ)            | 2 - 5           | 10 - 35                      | 1,0 - 1,4       | 1,0 - 1,2       | ∞                 | -                   | 80 -<br>250         | 20 -<br>100         | 30 - 100                | -                       |
| Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )                     | 200 - 600       | 80 - 500                     | 30 - 200        | 10 - 80         | 100 -<br>200      | 60 - 200            | 25 -<br>45          | 15 -<br>30          | 30 - 200                | 30 - 40                 |
| %10<br>deformasyonda<br>basınç Gerilmesi<br>(kpa) | 200             | 100                          | 0,5 - 500       | 0,5 -<br>500    | 8800              | -                   | 100 -<br>500        | 90 -<br>220         | 100 - 400               | 200 - 400               |
| Mekanik dayanımı<br>(ton/m <sup>2</sup> )         | 20,3            | 10,2                         | 1,5 - 6,5       | 1,5 - 6,5       | 897               | -                   | 10 -<br>50          | 9 -<br>22           | 10 - 40                 | 20 - 40                 |
| Yangın sınıfı                                     | B, C veya D     | C, D<br>veya E               | A1 veya<br>A2   | A1 veya<br>A2   | A1                | A1 veya A2          | D<br>veya<br>E      | D<br>veya<br>E      | D veya E                | C veya D                |
| Çalışma sıcaklığı bandı<br>°C                     | 0 / +110        | -180 /<br>+100               | 0 / +800        | -50 /<br>+250   | -260 /<br>+430    | 0 / +1250           | -60 /<br>+75        | -100<br>/ +80       | -180 / +110             | -50 / +105              |
| Hacimce su emme<br>değeri (%)                     | 10              | 8                            | 2,5 - 10        | 3 - 10          | 0                 | -                   | 0 -<br>0,5          | 0 - 5               | 3 - 5                   | 0,4                     |
| Su buhar geçişi<br>(μgr/Nh)                       | 180             | 20 - 40                      | 542             | 542             | 0                 | 542                 | 0,07<br>5 -<br>0,15 | 25                  | 20                      | 0,5                     |
| Yalıtım kalınlığı<br>(mm)                         | 25 - 125        | 13 - 305                     | 20 - 150        | 20 - 150        | 40 - 160          | 6 - 50              | 12 -<br>150         | 10 -<br>150         | 15 - 150                | 5 - 30                  |



**Çizelge 3.9: (devam)Isı yalıtım malzemeleri ve malzeme özellikleri [1]**

| MALZEME /ÖZELLİK                          | Ahşap talaşı                               | Genleştirilmiş mantar         | Taşıyünü                               | Camyünü                       | Cam köpüğü                    | Seramik yünü                           | XPS                           | EPS                           | Poliüretan köpük              | Polietilen köpük              |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Kullanım ömrü</b>                      | Uzun                                       | Uzun                          | Uzun                                   | Uzun                          | Uzun                          | Uzun                                   | Uzun                          | Uzun                          | Uzun                          | Uzun                          |
| <b>Ses yalıtımına etkisi</b>              | Orta - iyi                                 | Yüksek                        | Orta - iyi                             | Orta - iyi                    | Yüksek                        | Orta - iyi                             | Düşük                         | Düşük                         | Düşük                         | Düşük                         |
| <b>Boyutsal kararlılık</b>                | Orta                                       | Yüksek                        | Orta                                   | Orta                          | Yüksek                        | Orta                                   | Yüksek                        | Yüksek                        | Orta                          | Yüksek                        |
| <b>Ekolojik uyumluluk</b>                 | Yüksek                                     | Yüksek                        | Yüksek                                 | Orta - yüksek                 | Yüksek                        | Orta - yüksek                          | Düşük                         | Düşük                         | Düşük                         | Orta - düşük                  |
| <b>Kimyasal etkenlere dayanıklılık</b>    | Düşük                                      | Orta                          | Düşük                                  | Yüksek                        | Yüksek                        | Yüksek                                 | Düşük                         | Düşük                         | Orta                          | Orta                          |
| <b>Parazit barındırma ve çürümemezlik</b> | Haşere yaşamı için elverişli, çürüyebilir. | Haşere yuvalanmaz ve çürümez. | Haşere yaşamı için elverişli, çürümez. | Haşere yuvalanmaz ve çürümez. | Haşere yuvalanmaz ve çürümez. | Haşere yaşamı için elverişli, çürümez. | Haşere yuvalanmaz ve çürümez. | Haşere yuvalanmaz ve çürümez. | Haşere yuvalanmaz ve çürümez. | Haşere yuvalanmaz ve çürümez. |
| <b>UV dayanımı</b>                        | Orta                                       | Yüksek                        | Yüksek - orta                          | Yüksek - orta                 | Yüksek                        | Yüksek - orta                          | Düşük                         | Düşük                         | Düşük                         | Orta                          |
| <b>İşlenebilirlik</b>                     | Yüksek - orta                              | Yüksek                        | Yüksek                                 | Yüksek                        | Yüksek                        | Yüksek                                 | Yüksek                        | Yüksek                        | Yüksek                        | Yüksek                        |
| <b>Ekonomiklik (maliyet)</b>              | Düşük                                      | Düşük                         | Düşük                                  | Orta - düşük                  | Yüksek                        | Orta - yüksek                          | Orta - düşük                  | Orta - yüksek                 | Orta - yüksek                 | Orta - düşük                  |



## **4. ISI YALITIMINDA KULLANILAN NANOTEKNOLOJİK MALZEMELER**

### **4.1 Nanoteknoloji Nedir**

“Nano” terimi, herhangi bir şeyin bir milyarda biri anlamına gelir. Nano öneki olan terimler, “nanometre” teriminden gelir. Nanometre bir ölçüm skalasıdır ve 5 ila 10 atomun ardı sıra dizilmesinden oluşur [20].

Nanoteknoloji 1nm–100 nm ölçeğindeki moleküller seviyesinde çalışarak, geliştirilmiş ya da yeni kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklere sahip yapıların oluşturulmasıdır. Çoğunlukla malzemelerin kendine özgü özellikleri ve cihazların çalışma yöntemleri geleneksel modelleme ve teorileri baz alır. Bu teori ve yöntemler 100 nm’nin altına indiğinde ise gelenekselin yetersiz kaldığı görülmektedir. Nanoteknoloji üretilecek olan ürünlerin yeni yollarıyla ilgilenilir. İşlevi daha çok olan, enerji tasarrufu sağlayan, ham maddenin az kullanılması, küçük, ucuz, hafif ve daha hızlı üretilmesini sağlar. Bu özellikleri açısından nanoteknoloji, içerisinde teknolojiyi, bilimi, mühendisliği, tekniği gibi özellikleri hepsini içinde barındırır [20].

### **4.2 Nanoteknolojik Malzeme Çeşitleri**

Nanoteknolojik malzeme, laboratuvar ortamında şekillendirilerek üretilir ve nano boyutlara indirilmiş malzemeler olarak da tanımlanabilir.

Aerojel, karbon nanotüp gibi malzemeler laboratuvar da üretilebilirken, demir, altın gibi yarı moleküller nano ölçeğe indirilip fiziksel özellikleri değiştirilebilir. Nano ölçeğe inen malzemelerin elektrik, optik gibi özellikleri de değişmektedir [20].

#### **4.2.1 Tek boyutlu nano malzemeler**

Tek boyutlu nano malzemeler 100 nm ’nin altında olanlardır.

#### 4.2.1.1 Nano parçacıklar

Çapları 100 nm altında olan atomlardan ya da molekülünden oluşan, çeşitli boyutları ve biçimleri olan parçacıklardır. Bunlar doğada yaygın olarak bulunur. Örneğin; bitkiler tarafından üretilen, volkanik faaliyetler sonucu ortaya çıkan gazlar, yanma sonucu ortaya çıkan yan ürünler, otomobil ekzosundan çıkan gazlar olabilir [36].

Nano parçacıklardan bazıları günümüzde ticari yönden kuru toz ya da sıvı dispersiyon olarak bulunmaktadır. Süspansiyon ya da macun şeklinde oluşturulacaksa nano parçacıkları sulu veya organik bir sıvıyla birleştirilmeli. Bazılarına ise kimyasal katkı malzemeleri eklenir, bunlarda genelde kararlı parçacık dispersiyonları oluşturmak içindir.

Nano parçacıklar geniş kullanım alanlarına sahiptir. Kozmetiklerde, ilaçlarda, güneş kremlerinde, boyalarda vs. kullanılmaktadır. Nano parçacık grubuna giren alüminyum silikat aşınmaya dayanıklıdır ve anti bakteriyel özelliğe sahip olan gümüş en çok dikkat çekenlerdir. Nano parçacıklarla ilgili uygulamalar çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

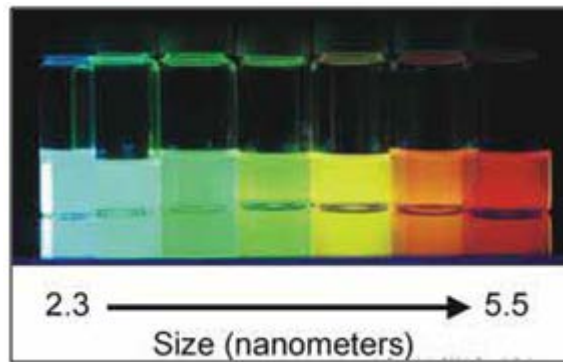
**Çizelge 4.1:** Nano parçacıkların güncel ve gelişmekte olan uygulamaları

| Yüzey Özellikleri                                                                                 | Uygulama Örnekleri                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mekanik özellikler (örneğin triboloji, sertlik, çizilmeye dayanıklılık)                           | Mekanizmaların ve ekipmanların yıpranmadan korunması, yumuşak malzemelerin (polimerler, ahşap, dokumalar vs.) mekanik korunması                    |
| Islanma özellikleri (örneğin anti yapışkan, hidrofobik, hidrofilik)                               | Üzerine yazılamaz, buruşmaz, Lotus-etkisi (kir tutmama), tekstil ve seramikler için kendi kendini temizleyen yüzeyler vs.                          |
| Termal ve kimyasal özellikler (örneğin ısı dayanıklılığı ve yalıtkanlık, paslanmaya dayanıklılık) | Mekanizmalar ve ekipmanlar için paslanma koruması, türbinler ve motorlar için ısı dayanıklılığı, termal yalıtım ekipmanı ve inşaat malzemeleri vs. |
| Biyolojik özellikler (biyo uyumluluk, anti-infektif)                                              | Biyo uyumlu implantlar, abakteriyel tıbbi gereçler ve yara pansuman malzemeleri                                                                    |
| Elektronik ve manyetik özellikler (örneğin manyeto-dayanıklılık, dielektrik)                      | Transistorlar, manyetizmaya dayanıklı sensörler ve veri hafızası için olağanüstü ince yalıtkan maddeler                                            |
| Optik özellikler (örneğin anti-yansımaya, foto ve elektro kromatik)                               | Foto- ve elektronik camlar, anti-yansıtıcı ekranlar ve güneş pilleri vs.                                                                           |

#### 4.2.1.2 Quantum noktaları

Birkaç yüz atomla birkaç bin atom büyüklüğünde (10 nm'den az) aynı zamanda nano boyutta olan yarı iletken kristal parçacıklarıdır. Teorik olarak 1970'li yıllarda gelişti ve uygulamaya 1980'li yıllarda başlandı. Küçük olduklarından dolayı kuantum tesirleri burada ön plandadır. Kuantum noktaları yapay atom olarak da bilinmektedir. Farklı renklerde görülmelerindeki sebep, ışığı farklı dalga boylarında emmeleri ya da yansıtmaıdır.

Yarı iletkenlerden üretilen kuantum noktaları; kompozitlerde, elektrikte, optikte, enerji üretiminde kullanılırlar. Kuantum noktalarının en önemli özelliği ise malzemelerin genellikle 100 nanometrenin altında kuantum mekaniğinin özelliğini göstermeye başlamasıdır. Periyodik cetvelde II-VI, III-V grubu bileşiklerinden elde edilir. Çoğunlukla bütün yarı iletken – metal bileşiklerinden kuantum noktalarını elde edebiliriz. Optik ve elektriksel özelliklerinden kaynaklı üretilen bazı kuantum noktaları; CdSe, InAs, CdS, GaN, InGeAs, PbS, PbSe, ZnS'dir [8]. Boyutlarının değişmesiyle bant boşlukları değişir ve bu yüzden yapay atom adını alırlar. Boyutun kontrol edilebilir olması özelliği ile 'kuantum sınırlaması' (quantum confinement) etkisi birleşince optik ve elektriksel özelliklerinde kuantum noktaları sıra dışı özellikte oluyor [8]. Çünkü birleşmeyle beraber yaptıkları ışımanın da rengi değişir. En küçük noktalar mavi ışıma yaparken en büyük noktalar kırmızı ışıma yapar. Buda kuantum noktalarının görülebilir tüm frekanslarda ve kızılötesinde bile ışıma yaptırmak kontrol edilebilir bir özelliktir (4.1).



**Şekil 4.1:** Kuantum noktalarında renk ve boyut değişimi [8]

#### 4.2.2 İki boyutlu nano malzemeler

Kalınlığı nano boyutta olup aynı zamanda yüzey halinde üretilen malzemelerdir. Bunlar ince filmler ve geliştirilmiş nano yüzeylerdir. Platin, rodyum, paladyum, altın nano boyutta katalizör olarak kullanılmaktadır. Yarı iletken nano teller silisyum, galyum nitrat, indiyum fosfattan yapılır ve bu malzemeler optik, manyetik, elektronik özelliklere sahiptir. Bunların üretimin de ise ileri teknolojiler rol oynar. Nano boyutta olan kuantum noktaları, bir sürü atom ve 10 nm'den az kristal parçacıklardır. Genellikle yarı iletkenlerdir ve 1980'lerde yapılmaya başlandı. Aynı zamanda yapay atom olarak bilinmektedirler. Işığı farklı dalga boylarıyla yansıtır ya da emerler. Bu yüzden farklı renklerde görülürler [12]. Grafen bu malzemelerin başında gelir.

##### 4.2.2.1 Grafen

Grafen karbonun bal peteği örgülü yapısındadır ve grafit, fulleren  $sp^2$ , karbon nano tüpün melezleşmesinden oluşur. Grafenler altıgen hücrelerden oluşur; beşgen veya yedigen olursa arasında bunlar yüzey üzerinde hatalar olarak düşünülür. İzole edilirlse beşgen hücreler konik şeklini alır. Yedigen hücreler ise semer şekilli bir yapıya dönüşür.

Karbonun allotropudur ve aynı zamanda iki boyutlu planar yapıların ender örneklerindendir. Grafenin yer yüzünde en sağlam malzeme olarak bilinmesi yapısındaki güçlü karbon bağları sayesinde. Bağ yapma sırasında karbon atomlarının dört elektronu vardır. Grafen ise üç bağ yapar ve dördüncü elektron kristalde serbest dolaşır. Bu özelliğinden dolayı Grafen iyi iletkenidir. Grafen, grafitin tek katmanlı halidir ve 2004 yılında sentezlenmiştir. Kostya Novoselov, Andre Geim ve projede yer alan kişilerle beraber selobantı grafit üzerine üst üste yapııştırıp kaldırarak grafen katmanını ayırmışlardır [12].

Elektronik yapısını incelemeyi ilk 1946'larda P. R. Wallace yapmıştır. Grafenin enerji-bant yapısını incelemiştir. Kendine özgü olan özelliği oda sıcaklığında hiçbir çarpışma olmadan elektronların uzun mesafeleri kat edebiliyor olmasıdır.

Grafen, katkı malzemesi olarak kullanılabilir ve düşük yüklerde polimer kompozitlerinin fiziksel, elektriksel gibi özellikleri yükseltilebilir. Grafen taşıdığı özelliklerinden dolayı üst seviye bir malzemedir ve kompozit, kaplama, mikro elektronik üreten üreticiler için kullanışlıdır.

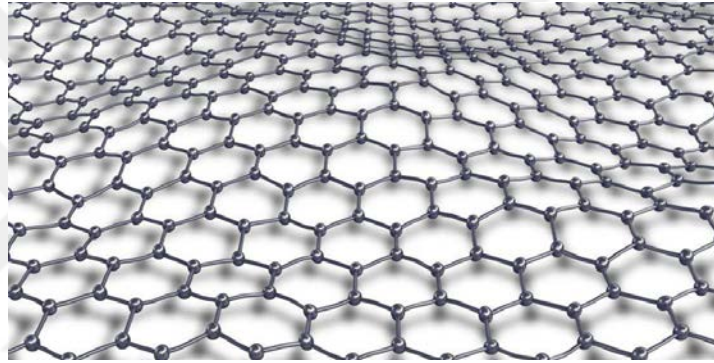
Grafen 4 farklı yolla elde edilir [12];

1. Kaydırma yöntemi: grafit yüzey üzerine kaydırılarak grafen katmanlarına ayrışır. Aynı zamanda 2004 yılında yapılan selobantla ayrıştırmada bu yöntem ile değerlendirilir.

2.Epitaksiyel büyütme: grafenin bir yüzey üzerinde büyütülmesidir.

3.Silisyum-karbon yöntemi: 1100 °C'ye kadar silisyum-karbon ısıtılır ve silisyum atomları buharlaşarak karbon atomları kendi içlerinde birleşerek grafeni oluştururlar.

4.Kimyasal ayrıştırma yöntemi: sitrik asit tarzı kimyasalların grafit katmanlarına katılması ile grafen tabakalarının ayrıştırılmasıdır (4.2).



Şekil 4.2: Grafenin altıgen yapısı [12]

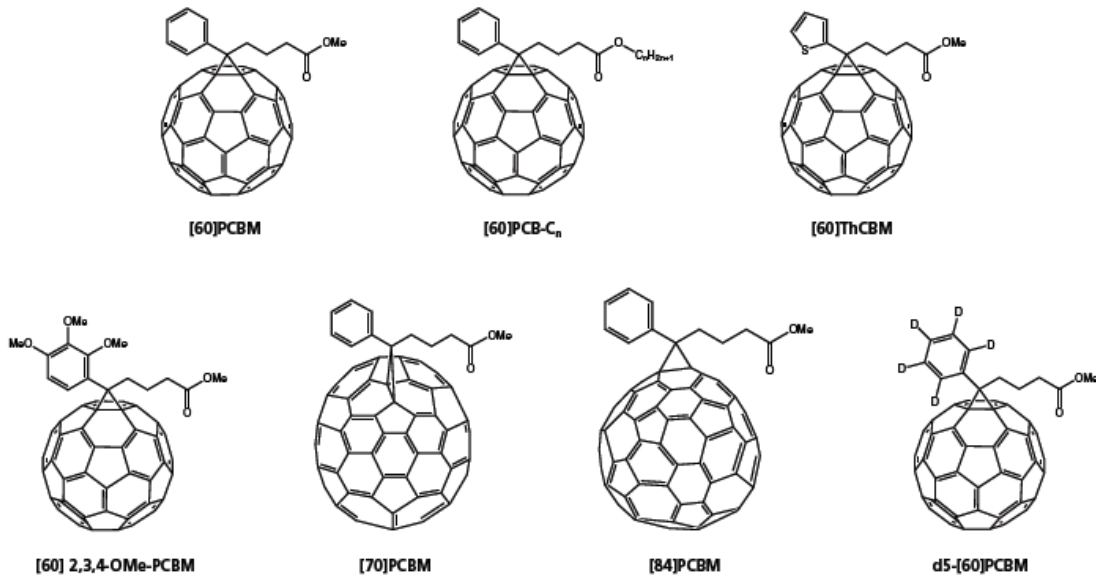
#### 4.2.3 Üç boyutlu nano malzemeler

Üç boyutta yer kaplayan çapları ise nano ölçekte olan malzemelerdir.

##### 4.2.3.1 Fullerenler:

1985 yılında keşfedilen fullerenler 60 adet karbon atomundan (C60) oluşmaktadır. Bu molekül futbol topunu andırdığı için, mimar Buckminster Fuller'in geodezik kubbesine benzemesi yönüyle de bu adı almıştır. Doğada az bulunur. Yapısı itibariyle büyük karbon kafesler olarak adlandırılabilir. En çok bilinen formları C60, C70, C84'tür (4.3). Karbonun buharlaşması ile elde edilir. Karbonda bulunmayan özellikleri içinde barındırır. Aynı zamanda antioksidan özelliği bulunmaktadır. Medikal alanda, güneş pillerinde, yakıt depolarında kullanımına rastlamaktayız. Fullerenler birçok çözücüde çözünebilir ve bu özelliği ile oda sıcaklığındaki çözücüde çözünebilen tek karbon allotropudur. 80 adet bor (B80) atomu içinde barındıran nano kütle 2007 yılında bulundu.

Sonrasında Laboratuvar ortamında karbon nano tüpler üretildi. Karbon nano tüpler fullerenler grubuna girer ve tek sıra halinde dizilen nano tüplerin tüp şeklinde sıralanmış görüntüsüdür. Tek cidarlı nano tüpün çapı 1-2 nanometredir. Çekme mukavemeti bir çelikten daha yüksektir ve oldukça hafif, esnektir. Elektrik ve ısı iletkenleri oldukça yüksektir. Bu özellikleri ise nano teknolojiye önemli yere sahiptir. 1,4 nm çapındaki karbon nano tüp 6 mikro amper akım iletmektedir. Bu nedenden dolayı elektronik aletler ne kadar küçülürse o kadar çok sıcak ortamdan uzaklaştırmak gerekir [12].



**Şekil 4.3:** En çok kullanılan fullerenler [12]

Nano tüplerin kullanımına engel olan faktör ise düşük maliyette, uygun ölçülerde ve sıralanmış biçimlerin üretimine geçilmemiş olmasıdır. Az miktarda fullerenler, karbon nano tüpler üretilmiştir. Fullerenleri elde etme yolları, başlangıç malzemeleri olan grafit ve hidrokarbonların kullanıldığı yöntemlere göre çeşitlilik gösterir (4.4). Hem saf olarak hem de katkılanmış biçimde fullerenler elde edilir. Bunlar; laser sputtering yöntemi, elektrik ark yöntemi, gaz ortamında fullerenlerin katkılanması, iyon aşılama ile fullerenlerin katkılanması olarak sayılabilir.

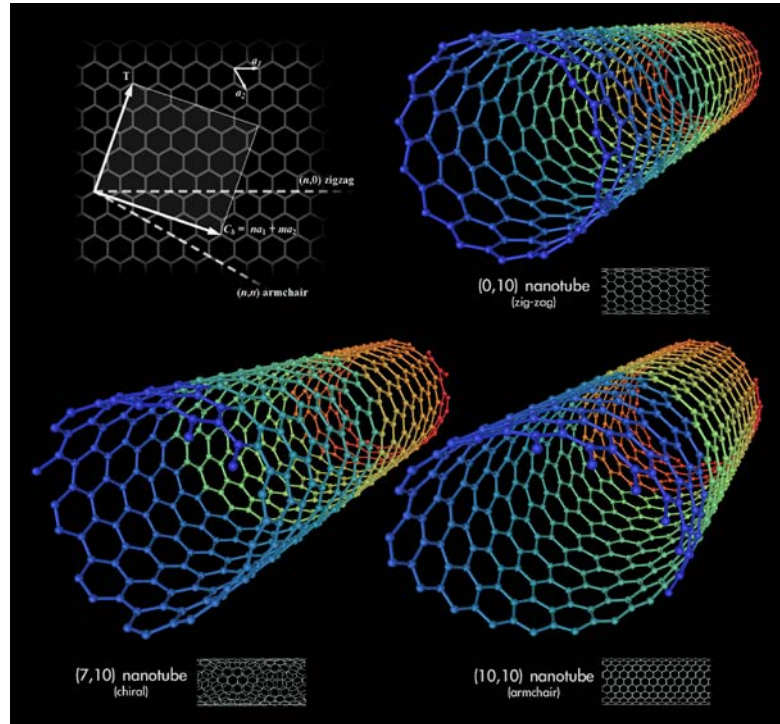




Şekil 4.4: Fullerenlerin 3 boyutlu görüntüsü [12]

#### 4.2.3.2 Karbon nanotüpler

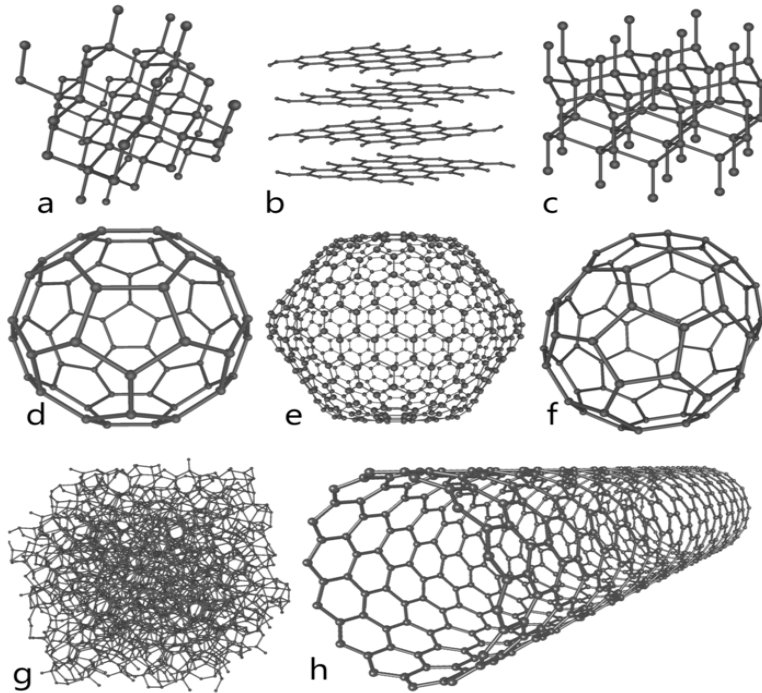
Lijima adında japon bilim adamı 1991’de yaptığı çalışmalar sonucu karbonun tüp şeklinde yapılar oluşturduğunu gözlemledi. Bunu da fullerenlerin ark buharlaştırma sentezinde katotta biriken malzemeyi araştırırken bulmuştur. Daha sonra yapılan çalışmalarda büyük miktarlarda nanotüp üretilbileceği görülmüştür. 1993’te tek katmanlı nanotüpler elde edilmiştir. Buda karbon nanotüplerin geliştirilmesinde önemli bir aşama olmuştur. Karbon nano tüpler kristal grafitlerden oluşan silindirik yapılardır. “Armchair”, “zigzag”, “chiral” olmak üzere üç tip nanotüp vardır (4.5) [12].



Şekil 4.5: Karbon nanotüpün çeşitleri [12]

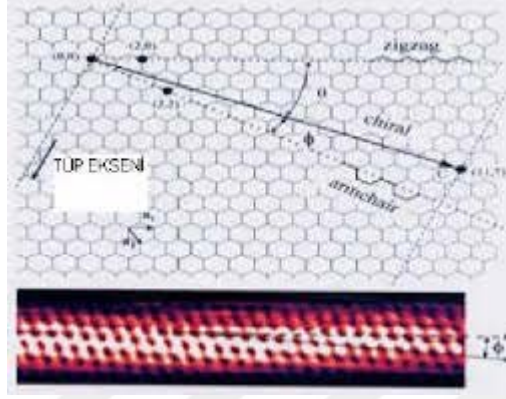
Nanotüpler yapıyı belirleyen en küçük atomlardır. Bunların çaplarının ve giriş açılarının ölçümü tünelleme taramalı mikroskop ve geçirmeli elektron mikroskobu ile yapılır. Sürekli ısısal bir hareketlilik söz konusudur. Bu yüzden mikroskoptan gönderilen elektron demeti nano tüplere hasar verebilir.

Karbon nano tüpleri üretmek için hala yeni yöntemler geliştirilmektedir. İlk tüp şekli 1991’de fullerenerin ark-buharlaştırma sentezinde katotta bir malzemenin biriktiğini fark edip araştırılması sonucu bulunmuştur. Thomas ebbeson ve Pulickel Ajayan nanotüpü daha büyük miktarlarda üretmiştir. Ark-buharlaştırma sentezi ile çok katmanlı tüpler üretilebilir [8]. 1993’te grafitte kobalt gibi metaller eklenerek tek katmanlı tüpler üretilmiştir. 1996 yılında ise Rice üniversitesi tarafından daha etkin bir yöntem geliştirilerek karbon nanotüp deneylerinin önünü açmıştır. Tesadüfen keşfedilen bu malzeme daha çok merak uyandırmış ve araştırılmıştır. Araştırmalar ile fiziksel, kimyasal, optik, elektriksel gibi birçok alanda özelliklerini bulmuşlardır (4.6). Genel olarak üretiminde bir karbon kaynağı, bazı katalizörler ve enerjiye ihtiyaç duyulur. Günümüzde en verimli olan yöntem ise, küçük katalizör ile demir ya da demir/molibdenim ve sıcak karbon içeren bir gaz ortamında kimyasal buhar biriktirme ile elde edilir.



**Şekil 4.6:** Karbon nanotüp ve dizilişleri [8]

Şekil ve boyutlarına göre metalik ya da yarı iletken olabilir. Armchair dediğimiz nanotüplerin hepsi metalik özellik gösterirken zigzag olanlar ise 1/3'ü metaliktir. Birbirine benzemeyen iki karbon nanotüp birleşirse diyot olarak işlev görür. Diyotlar, alternatif akımı doğru akımı çevirmek için kullanılır. Nanotüpün elektriksel özelliği nanotüpün çapına ve kirişine bağlıdır (4.7).

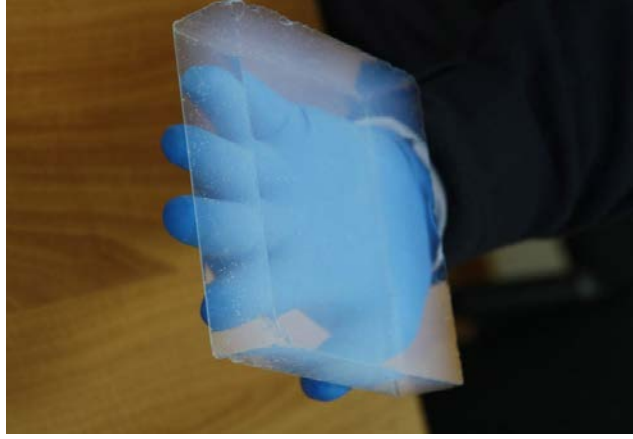


**Şekil 4.7:** Nanotüp eksenini [12]

C-C kovalent bağları ve hegzagonal ağ yapıları yönüyle esnektirler. Kırılmadan her şekle sokulabilir. Üzerine uygulanan etki geçtikten sonra eski haline geri döndüğü gözlemlenmiştir. Karbon fiberler kolayca kırılabilirken, karbon nanotüpler ise kırılmadan eski haline geri dönebilir. Oldukça güçlü olmaları yönüyle de atomik kuvvet mikroskop ucu üretmek amacıyla da karbon nanotüpler kullanılmaktadır. Uygulama alanları açısından da başka maddelere katılarak çeşitli alanlarda etkilerini görmek mümkündür. Güneş pilleri, elektrostatik spreylere, çiplere, kompozitlere gibi birçok alanda karşımıza çıkmaktadırlar [12].

#### 4.2.3.3 Aerojeller

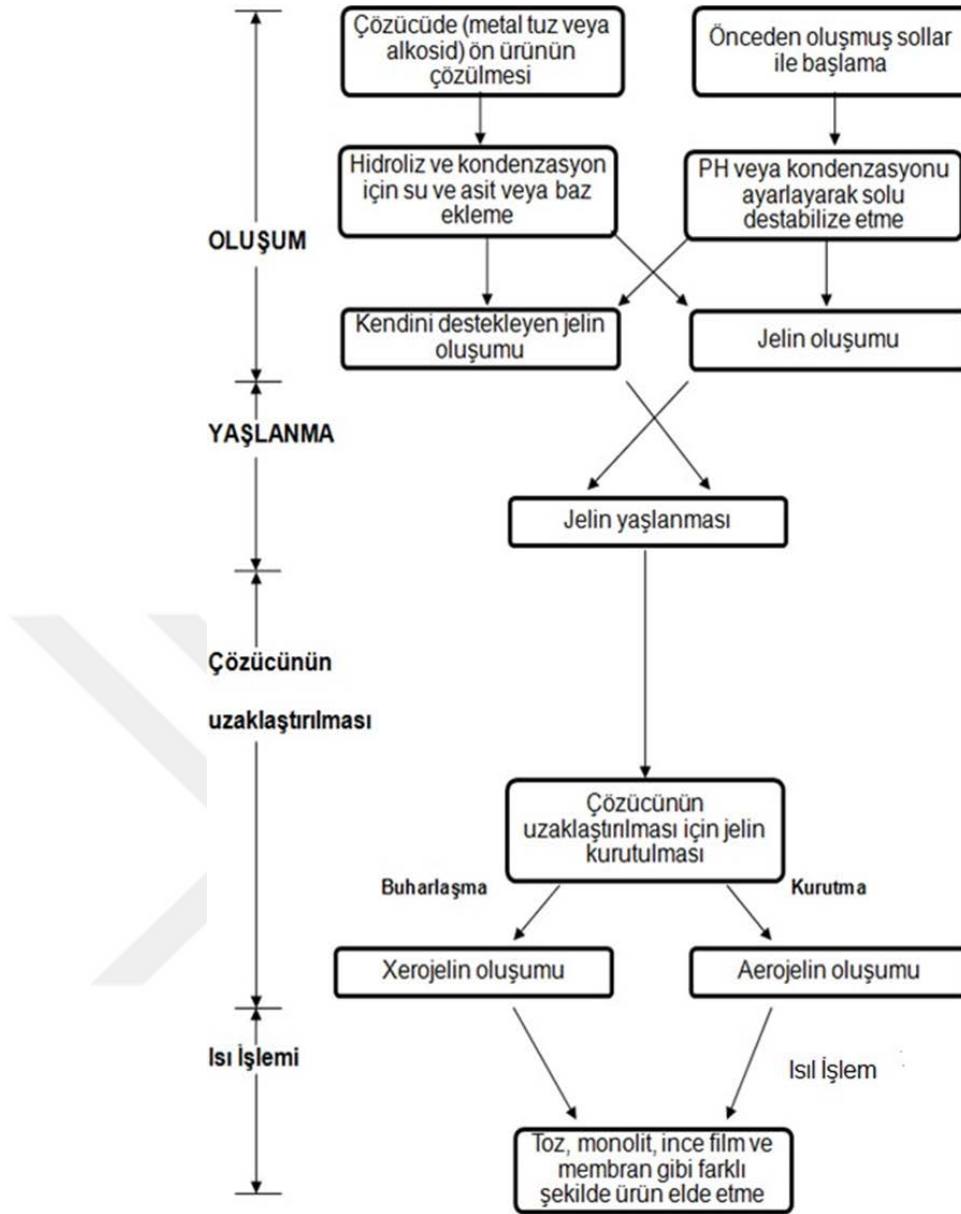
Aerojel ilk defa Stefan Kistler ile Charles Learned ile girdikleri iddia sonucu ortaya çıkmıştır. İlk oluşan silika jeldir. Aerojellerin içindeki sıvı ile havanın değiştirilmesi meydana gelen silikon tabanlı maddelerdir. Aerojellerin temeli jel yani silika jeldir. Silika ve etanol tarzı sıvı çözücülerden oluşur. Alkojel adını alan bu jel, silikon alkoksitin çözücü içerisinde suyla etkileşmesinden oluşur (4.8). Alkojeller kurutulur ve katı olan silikanın içinden sıvının ayrıştırılması ile aerojeller elde edilir. 1990 yılına gelindiğinde karbon aerojeller elde edilmiştir [45].



**Şekil 4.8:** Silika aerogel [12]

-180/+1100 °C kullanım sıcaklığı sunar [41]. Aerojellerin ısı yalıtkanları oldukça iyidir. Taşınım, iletim ve ışımanın etkilerini sıfıra indirgeyebiliyor. İçinde bulunan hava, kristal örgü içerisinde bir dolaşım olmadığı için taşınım etkisini göstermez. Silika maddesi zayıf bir ısı iletkenidir ve bu yüzden aerojeller ısı transferinde etkili olamaz. İçerisine karbon bulunan aerogel ışımaya karşı iyi yalıtkanlık gösterir. Çünkü karbon kızıl ötesi ışımayı soğurabilme gibi özelliği vardır. Böylelikle en iyi yalıtkan karbon eklenmiş aerojeldir. Çeşitli aerojeller üretilmektedir. Karbon Aerojeller, alüminyum Aerojeller, özellikle içinde silika barındıranlardır. En çok araştırma yapılan ise silika aerojeldir, silika jelden etkilenecek oluşturulmuştur. Düşük yoğunluğa sahip olan Aerojeller, 1 mg/cm<sup>3</sup> yoğunluğu ile dünyada bilinen en düşük olan silika aerojeldir. Silika Aerojeller oldukça fazla deliklerden oluşması yönüyle süngerini andırır ve %99,8'e kadar hava alan bir malzemedir. Kızılötesi ışımayı soğurma özelliğine sahiptir.

Üretimi sol-jel tekniğiyle yapılır. İlk önce jelin oluşumu sağlanır ve sonra yaşlandırma sürecine girilir. Kurutma işlemine gelindiğinde çözücünün uzaklaştırılması sağlanır ve en son ısıl işlem uygulanır. Burada jelin yaşlanmasından kasıt jelin oluşumu ile çözücünün uzaklaştırılması arasındaki zamandır (4.9) [22].



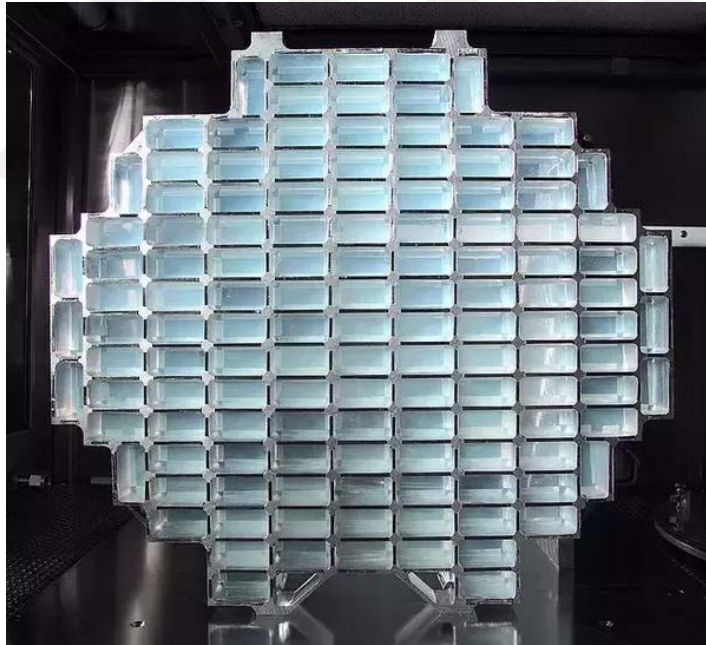
**Şekil 4.9:** Aerojelin üretilmesi [22]

Karbon aerogeller 100 nm'den daha küçük çaplı oldukça fazla gözeneğe sahiptir. Elektrik iletir. Kızılötesi spektrumda renkleri siyah olur yani 250 nm ile 14,3 nm aralığındaki ışımaların sadece %0,3'ünü yansıtırlar. Bu yönüyle güneş kolektörlerinin yapımında en önemli malzeme olmaktadır.

Alüminyum aerogeller yüksek sıcaklıklarda mukavemeti yüksektir. Yüksek sıcaklıklarda silika aerogellere göre daha iyi ısı yalıtım malzemesidir. Isı depolama sistemlerinde, katalizörler vb. alanlarda aranan özelliklere sahiptir. Saf alümina aerogeller ve kompozit olanlar için çalışmalar yapılmış ve yayınlanmıştır. Fakat

alüminyum arojelilerin sentezi hakkında yapılan çalışmalar daha azdır. Çünkü çatlamaya karşı yatkın olması, jelleşmeye yol açması ya da kurutulan arojelin higroskopik doğasından dolayı azdır. NASA alüminyum arojelleri çok hızlı parçacıkları yakalama konusunda çalışmalar yapmaktadır.

Metal veya maddelerden yapılan çok sayıda arojel bulunmaktadır. Yapılan araştırmalarda barındırdığı milyonlarca gözenek itibariyle sudaki kirliliği emmeye yarayacak adeta bir sünger olarak kullanılabileceği düşünülüyor. Suda bulunan cıva ve kurşun kalıntılarını yok edecek arojeller üretilmiş ve test edilme aşamasındadır. Aynı zamanda petrol atıkları için yapılan Arojellerin çalışmaları hala sürmektedir. Aslen mavi renkte olan arojeller, saydam bir görüntüleri vardır (4.10). Araştırmalara bakılırsa mavi rengin nedeni Rayleigh saçılımıdır ve buna müdahale edilirse pencere camı olarak da kullanılabilir. Bunun olabilmesi içinde arojelin gözenekli yapısının gözeneklerinin boyutları küçültülerek sağlanabilir.



**Şekil 4.10:** Silika arojellerden üretilen örnek toplama tepsileri [12]

Grafen arojel Profesör Gao Chao'nun olduğu Zhejiang Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. Üretimi kolay olan bu maddenin petrolü emme özelliği vardır. Kütlesi oldukça azdır. Çevre kirliliği, enerji depolama yalıtımı, ses dalgalarını emmesi yönüyle bilinir. Elastik, dayanıklı ve hafif bir malzemedir. Grafen arojelin diğer arojellere göre 90 kat daha fazla petrolü çeker [40].



Aerogeller, cam ile kıyaslanırsa 1000 kat daha az delikli yapıya ve yoğunluğa sahiptir. Aerogel de bulunan delikler milimetrenin milyarda biri kadardır ve etrafı ise başka bir malzeme ile çevrilidir. Kırılgan yapıya sahip olan aerogeller, son çalışmalarla bu özelliğini minimuma indirmişlerdir. Yalıtkanlık konusunda iyidir. Bilinen en iyi yalıtım malzemesi olan fiberglastan bile 39 kat daha fazla yalıtım imkanı sunar. Sol-jel yöntemi ile sentezlenir. %100 geri dönüşüm olanağı vardır, doğal bir kum halini alır. Çevre ve doğa dostu bir malzemedir [12].

Dünyanın bilinen en hafif katı maddesi olması NASA tarafından sonradan kabul edilmiştir. Aerogeller hafif katı malzeme olması yönüyle Guinness Rekorlar Kitabına girmiştir (4.11).



**Şekil 4.11:** Grafen aerogel bilinen en hafif katı malzeme [40]

#### **4.3 Nanoteknolojik Malzemelerin Özellikleri**

Nanoteknolojik malzeme üretilmesinde malzemeye eklenen nano ölçekteki partiküller ile fiziksel ve kimyasal özelliklerinde değişikliğe uğrar. Malzemede değişimin amacı özelliklerinin iyileştirilmesidir. Malzemeye UV ışıklarına karşı korunumunda, kendi kendini temizleyebilme özelliği, anti bakteriyel, yanmaz, ekolojik açıdan çevreye ve sürdürülebilirliğe uygun, hafif, çizilmez, esnek, yangına dayanıklı, üzerine herhangi bir yazının yazılamaması ya da parmak izi

oluşturmaması gibi özellikler kazandırılabilir. Örneğin; kendi kendine temizleyebilme özelliği ile üzerinde herhangi su barındırmaz ve su kiri de alarak yuvarlanarak akıp gider. Kendi kendini temizleme özelliğın kazandırılabilmesi için titanyum dioksit eklenir.

#### **4.3.1 Yangın korunumu**

Yangın güvenliğı yapılarđa aranan en önemli özelliktir. Yanma dediğımız olay kimyasal bir reaksiyondur. Maddelerin oksijen ile tepkimeye girmesi sonucu yanma dediğımız olay gerçekleşir. Yangının olduğı yerde sıcaklığın zamanla değışimi ilk beş dakikada 555 °C, 10. Dakikada 720 °C, 30. Dakikada 820 C olarak gider. Yapı malzemesi olarak kullanılan malzemelerin yanmaya karşı gösterdikleri direnç azdır. Ahşap vb. ürünlerin tutuşma sıcaklığına 260 °C'dir. Bu malzemelerin yirmi dakika yangına dayandıkları ve sonunda da göçmelerin meydana geldiğı görölmüşür. Yapı taşıyıcı sistemleri yanmaz özellikte olmalarına karşı çeliğın ısı ile deforme olduğı görülür ve taşıyıcılığı zayıflar. Betonarme yapılarđa en çok 1093 °C'ye kadar yangına dayandıkları görölmektedir.

Yangın kullanıcılarđa, çevreye, yapılarđa zarar verebilmektedir. Yapılarđa uygulandığında malzemelerin yangına karşı gösterdikleri dirençleri tasarım aşamasındayken araştırılmalıdır. Yangın yönetmeliklerine uyulmalıdır ve cephelerde seçilen malzeme A2 sınıfında bir malzeme olmalıdır. Yapıda zemin kotundan ilk 1,5 m A1 sınıfı hiç yanmaz malzeme ile kaplanmalıdır. Pencere kenarlarına yangın bariyeri olarak üstlerden 30 cm, yanlardan 15 cm A1 sınıfı kaplı malzeme ile kaplanmalıdır. Buna göre yanıcılık özellikleri çizelge 4.2'de verilmiştir [30].



**Çizelge 4.2 : Yapı Malzemelerinin TS EN 13501+A1'e göre yanıcılık sınıfları**

| Yanıcılık Özelliği | Sınıf    |
|--------------------|----------|
| Hıç Yanmaz         | A1       |
| Zor Yanıcı         | A2       |
| Zor Alevlenici     | A2, B, C |
| Normal Alevlenici  | D, E     |
| Kolay Alevlenici   | F        |

#### **4.3.2 Uv koruması:**

Uv koruması mimari alanda aranan özellikler arasındadır. Çünkü yapıda kullanılan malzemeler güneş ışığı etkisiyle yüzeyleri tahrip edip, renk değişimlerine neden olmaktadır. Hem rengin hem de malzemenin kararlılığını değiştirmeden UV ışınlarından koruyacak malzeme olmalıdır. Bunun için kullanılan nano malzemeler hem uzun süre dayanıklılık hem de yüzeyde koruma sağlar. Bu ışınlarla karşı koruyan nano malzemeler, iki çeşittir ve her ikisi de organik bileşendir. Fakat bu organik bileşenler katkı maddeleri içerir. UV ışınlarından korunmada UV emiciler ile zararlı ışınlar malzemeyle bağ kurmaz ve dışarıya yansıtılarak filtreler. Böylelikle doku, renk vs. korunmuş olur. Diğer yöntemde ise sonraki titanyum dioksit, çinko oksit kullanılarak aşamalarda gerçekleşir ve malzemede bozulma oluyorsa onun devam etmemesini sağlar. Fakat bu her iki yöntem organik bileşiklerle sağlandığı için tam olarak istenilen verim elde edilemez. İçerisine titanyum dioksit, çinko oksit gibi maddeler katılarak geniş spektrumda ki alanı korur. Bu kaplamalar malzemenin renginde bir değişiklik yapmaz, saydamdır.

### 4.3.3 Güneş koruması

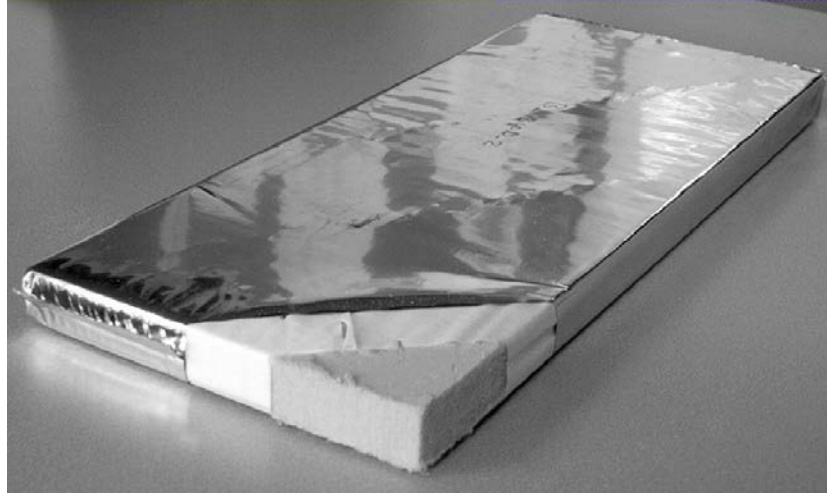
Güneş koruması özelliği nano teknolojik malzemelerde cama uygulanır. Bunun için ekstra bir güneşliliğe ihtiyaç yoktur. Çünkü cam kendiliğinden kararır ve bunun için bir elektrik akımına gerek yoktur. Değişim halinin otomatik olmasının sebebi hafıza etkisidir. Elektro kromatik camlar tek bir şalterle ışık geçirgenliğini değiştirebilir (4.12). Burada enerji renk değişimi olması için gereklidir. Foto kromatik camlarda ise şaltere gerek yoktur. Güneş ışığı ile birlikte kendiliğinden kararmaktadır. Fakat bunun üretimi şimdilik standart boyutlardadır.



**Şekil 4.12:** Sağ tarafta güneş korumalı olan camın ışık geçirgenliği gösterilmiştir [12]

### 4.3.4 Isı izolasyonu: vakum yalıtım panelleri

Isı yalıtım malzemeleri açısından bilinenlere göre çok daha yüksek performans gösteren ısı yalıtım malzemeleridir. Üretimi genelde üç katman halindedir; çekirdek kabı, dolgu malzemesi, çok katmanlı zarf film tabakası şeklindedir (4.13). Çekirdek malzeme ısı yalıtım performansı açısından önem taşımaktadır. Açık hücreli olan çekirdek hem esneklik hem de dayanıklılık sağlamaktadır. İç dolgu malzemeleri olarak da arojel, poliüretan, üretan, polistren, fiberglas ve silis tozu kullanılmaktadır. Dolgu malzemesi mekanik mukavemeti artırır ve gaz bariyeri oluşturur.



**Şekil 4.13:** Vakum yalıtım paneli katmanları [12]

Geleneksel malzemelerin yalıtım katsayıları  $0,025 \text{ W/mK}$ 'dır. Buda içerisinde hava olup olmamasına bağlı olarak değişir ve eğer boşaltılırsa ısı yalıtım değeri yükselir. Vakumlu ısı yalıtım panelleri silis aerogeller ile birlikte bu oran  $0,004 \text{ W/mK}$  'ya düşürülebilir [12]. Geleneksel malzemelerle yapılanların belli bir ömürleri vardır. Hava ile olan etkileşimleri ile ömürleri daha da kısalmaktadır. Fakat nano teknoloji ile geliştiren dolgu malzemeleri kullanılırsa bu oran artar ve bina ile yalıtım malzemesinin de ömrü uzamış olur. Kullanım alanları boru hatlarında, dış cephe kaplamalarında, duvar, tavan ve zemin kaplamalarında; pencere yalıtımlarında, tavan ve çatı arası vb. alanlarda uygulanmaktadır.

Malzemenin ince yapıda olması da mekanlarda alan tasarrufu sağlamaktadır. Örneğin; Almanya'da bulunan Seitzstrasse Karışık Kullanımlı Bina vakumlu yalıtım panelleri ile cephesi kaplanmıştır ve bu yönüyle Almanya'da yapılmış ilk binadır (4.14). Klasik malzemelere göre 8-10 kat daha yüksek performanslı yalıtıma sahiptir ve iç mekanda %10 kadar alan kazanımı sağlanmıştır [12]. Sadece enerji açısından değil aynı zamanda ekonomik açıdan da kazanç sağlamaktadır.



**Şekil 4.14:** Seitzstrasse Karışık Kullanımlı Bina, Münih [12]

#### **4.3.5 Isı izolasyonu: aerojel**

1931 yıllarında bulunan malzeme dünyada bilinen en hafif malzemedir. Aerojelin %99,8'i havadan oluşur. 1300 °C ısıya dayanabilmektedirler. Aerojel 20 nm boyutlarındaki nano hücrelerinde havayı hapseder ve bu yönüyle iyi yalıtım gösterir. Enerji tasarrufu sağlar. Yangına ve mekanik etkilere dayanıklıdır. İnsan sağlığını tehdit etmez ve çevreye zararı yoktur. Saydam bir yapıda olduğu için güneş ışığını geçirme özelliği vardır [45]. Binaların dış cephe kaplamalarında, akrilik panel yapımında, cam panel yapımında, ses izolatörü olarak da kullanılabilir (4.15).



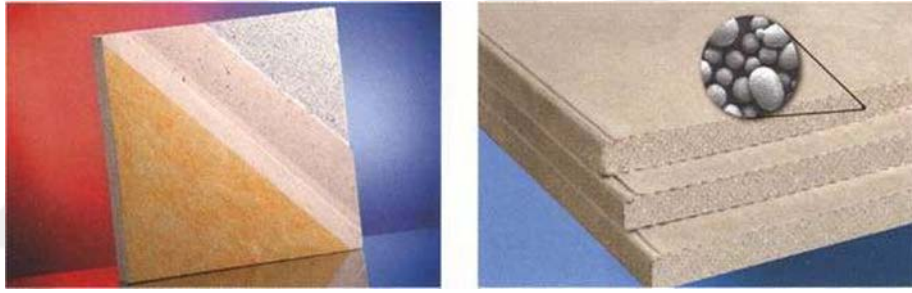
**Şekil 4.15:** Aerojel malzemesi [12]

#### **4.3.6 Isı düzenlemesi: faz değiştiren malzemeler**

Bir maddenin hal değişimi sırasında ortamdan aldığı ya da ortama saldırdığı enerji ısı enerjisi. Bu hal değişimlerinde sabit sıcaklıkta iç enerji artışı olacağından ısı enerjisi depolanmış olur. Bu malzemeler faz değiştiren malzemelerdir.

Faz değiştiren malzemeler organik, inorganik ve her ikisini barındıranlar olarak sınıflandırılabilir. Nano boyutlarda çalışmalar yapılacağı zaman parafin ve tuz

hidratlardan yararlanılır. 2-20 nanometre boyutlarındaki parafin kürecikleri mühürlenmiş şekilde bulunan plastik kaplamalarının içine konmuştur ve yapı malzemelerine aktarılabilir. Kapsülleme ya da kaplamalar ile verim artırılır ve depolama daha çok artar. Malzeme seçiminde de erime sıcaklığına, kabuk olarak kullanılacak malzemenin cinsine, uygulama alanına, partiküllerin boyutlarına göre değişmektedir (4.16). Faz değiştiren malzemeler depoladıkları ısı ile gece ve gündüz meydana gelen ısı değişikliklerini azaltır ve binaların dış cephelerinde kullanılır. Aynı zamanda geleneksel malzemelere katılarak da uygulanabilir ve özellikleri iyileştirilmiş olur. 100 °C'den eksilere kadar inen sıcaklıklarda, faz değiştiren malzemeler sıcaklık değişimi yapabilir. Hacimde değişiklik meydana geleceği için bileşenin hacmi bu değişime göre ayarlanmalıdır. Bileşenin malzemesi ısıyı hızlı ileten malzemeden yapılırsa ortamın ısısında da daha hızlı değişiklik meydana gelir.



**Şekil 4.16:** 3 KG mikro kapsüllü ısı yalıtım malzemesi [12]

Tuz hidrat, parafine göre daha yavaş hal değişime uğrar. Dışarıdan enerji alınıp katının sıvıya ve sonra gaza dönüştüğünde iç mekan ısısı düşer. Gazdan sıvıya ve sonra katıya dönüşmesiyle enerji açığa çıkacağından iç mekan ısısı yükselir. Çok sıcak zamanlarda ısıyı tuz hidrat mikro, parafinde nano hücrelerine hapseder, soğuklarda ise tam tersi olarak ısıyı dışarı verir. Buda pasif olarak hem mekanın ısınını yükseltebilir hem de düşürebilir. Bileşen saydam yapıdadır. Fakat hal değişimleri sırasında formları değişeceği için özellikleri değişmektedir. Örneğin sıcak zamanlarda berrak saydam iken soğuk havalarda buzludur. Faz değiştiren malzemelerde 5°C'lik ısı farkında 1 mm'lik malzemelerle sağlanabilir. Mesela beton ile sağlanırsa bu ısı farkı 10-40 mm'lik malzeme kullanılır. Isıtma ve soğutma masraflarını düşürür. İç mekan için önerilen ısı 25 °C ve altıdır [12].

Ekolojik açıdan uygun olması, geri dönüşümlü olması, biyolojik olarak da parçalanabilmesi, korozyona neden olmamaları faz değiştiren malzemelerin özellikleri olarak sıralanabilir.



## **5. KONVANSİYONEL VE NANOTEKNOLOJİK MALZEMELERİN YALITIM PERFORMANS ANALİZLERİ**

### **5.1 Malzeme Özellikleri Açısından**

Isı yalıtım malzemelerinin iyi performans gösterebilmeleri ve istenilen özellikleri sağlayabilmesi için tasarım aşamasındayken karar verilmelidir. Isıl performans açısından düşük ısı iletkenlik katsayına sahip olmaları gerekir. Günümüz şartlarında her özelliği karşılayacak şekilde bir yalıtım malzemesi olmasa bile belli ölçüler baz alınarak iyi performans göstermeleri sağlanabilir.

Geleneksel ısı yalıtım malzemeleri uygulandıkları alanlar yönüyle ayrılmaktadırlar. XPS, EPS, poliüretan köpük, taş yünü, cam yünü, ahşap talaşı, mantar levha bina kabuğunda kullanılan ısı yalıtım malzemeleridir. Cam köpüğü ve seramik yünü genellikle endüstriyel alanlarda tercih edilir.

Nanoteknoloji ile üretilen yalıtım uygulamaları ise nanoköpük olarak aerojel, yalıtım boyaları, vakumlu izolasyon panelleridir [14]. Konvansiyonel ve nanoteknolojik ısı yalıtım malzemelerini karşılaştırırken sudan, nemden, yangından etkilenme gibi özellikleri bilinmelidir. Aynı zamanda enerji, üretim, maliyet gibi etkenler karşılaştırılmalıdır.

#### **5.1.1 Sudan ve nemden etkilenme oranları açısından**

Isı yalıtım malzemelerinin su ve nem emmesi istenmez; çünkü suyun ısıyı iletmesi havadan on kat daha fazla olduğu görülmüştür. Su emen bir yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik değeri artar. Uygulamanın dikkatli yapılması gerekir. Su buharının hareket yönü sıcaktan soğuğa doğrudur. Eğer soğuk dış duvar katmanı ile birleşirse bölgesel olarak yoğunlaşmalar meydana gelir. Sürekli olarak devam ederse malzeme suya doyar. Özellikle ters çatılarda ve hidrostatik su basıncının olduğu bölgelerde daha dikkatli uygulanmalıdır. Bu bölgeler sürekli neme maruz kalan bölgelerdir. Hacimce su emme oranları taş yününün %3, EPS'nin %1-5, XPS'in %0,1-0,3 aralığında değişmektedir [30]. İçinde lif olan yalıtım malzemeleri neme maruz kalma oranları diğer malzemelere göre daha

yüksektir. Bu yüzden cam yünü, taş yünü gibi mineral yünler uygulaması sırasında dikkatli kullanılmalıdır. Bir malzeme bünyesine su almaya başlarsa boyutsal oranda, ısı performansında yani fiziksel ve kimyasal özelliklerinde değişimler meydana gelir. Bunların önlenmesi için gerekli uygulamalara yer verilmesi gerekir. Kullanılacak olan yalıtım malzemesinin özellikleri iyi bilinmelidir. Gerekirse daldırma testlerinden geçmelidir. Eğer suya ve neme karşı dayanıklı değilse ek önlemlere başvurulmalıdır.

Konvansiyonel ısı yalıtım malzemelerinin bazı özellikleri aşağıdaki çizelge 5.1’de ki gibidir [31].

**Çizelge 5.1:** Isı yalıtım malzemelerine ait özellikler

| Malzeme          | Isı iletkenlik değeri<br>W/mK | Buhar difüzyon<br>direnci $\mu$ | Kullanım sıcaklığı<br>°C |
|------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Taş yünü         | 0,033-0,040                   | 1,1                             | -50/+750                 |
| Cam yünü         | 0,040                         | 1,1                             | -50 /+250                |
| Mantar levha     | 0,040                         | 10-35                           | -180/+100                |
| Odun talaşı      | 0,09-0,15                     | 2-5                             | 110                      |
| XPS              | 0,028-0,036                   | 80-250                          | -50/+75                  |
| EPS              | 0,031-0,037                   | 80-250                          | -180/+75                 |
| Poliüretan levha | 0,017                         | 30-100                          | -200/+110                |

XPS ısı yalıtım malzemesi ısı iletkenlik değeri üretim sırasındaki kullanılan gazlara göre değişmektedir. En düşük iletkenliği verdiği gaz CFC’lerle sağlanmaktadır. Fakat ozona zarar vermesi yönüyle yasaklanmıştır. Bunun yerine kullanılan gazlarla ısı iletkenliğinde artış olmuş ve sera etkisi görülmüştür . XPS’in buhar geçirme katsayısı çoğunlukla yüksek olduğundan dışarıdan uygulanacak ısı yalıtımlarında kullanılmaması daha uygundur [55]. EPS ısı yalıtım malzemesi ayarlanabilir buhar direncine sahip olduğundan malzeme israfına sebep olmadan uygulanabilir. Su geçirme özelliklerinin az olması aranan bir diğer özelliktir. Çünkü su etkisi ile



malzeme rutubete, böceklere, neme maruz kalır. Bunlara sebebiyet vermemek adına üretim esnasında bazı tekniklere başvurulur. Örneğin; taş yünü oluşumu sırasında bazalt taşından elyaf haline getirilir. Elyaf halinde olması taş yününün su iticiliğini ön plana çıkarır. Fakat bu malzemenin direk buhar yoğuşması ya da direk su ile temasından kaçınılmalıdır. Yoksa ısı iletkenlik değeri artarsa ve bakalit çözünürse malzeme bozulmaya başlar. Günümüzde özellikleri değiştirildiğinde taş yünleri herhangi bir yağmura, suya maruz kaldığında ıslak gibi görünebilir. Fakat emmez. Aynı zamanda taş yününe yapılan emprenye işlemi ile su yüzeyde değil, her yerinde bulunmaktadır. Her yerinde su bulunsa bile iç ortamlara ilerlemesine izin vermez. Böylelikle kullanım ömrü uzatılabilir.

İstanbul Ataşehir İlçesinde bulunan kamu ve özel mülkiyete ait bir konutta ısı yalıtım uygulaması yapılmıştır [30]. Sürekli suya maruz kalan bir yerde taş yünü uygulaması yapılmış bir yapıda duvarla zemin arasında koruyucu önlem alınması gerekir. Aşağıdaki şekil 5.1’de koruyucu önlem alınmamıştır. Bu durum taş yününün direk suyla maruz kalmasına sebep olmuştur. Su karşısında daha güçlü ısı yalıtım malzemesi kullanılması göstereceği performans açısından daha etkin olur. Çünkü taş yünü ısı yalıtım malzemesi lifli yapıda olması yönüyle suya akışı direnci çok yüksek değildir.



**Şekil 5.1:** Isı uygulaması yapılmış alan çalışması [30]

EPS, XPS gibi sentetik kökenli ısı yalıtım malzemeleri suyu geçirmeme özellikleri bakımından iyidir. XPS, dış duvarda oluşan rutubeti içeri almaz.

Hacimce su emme değeri %0-0,5 aralığındadır. Diğer malzemelere göre neredeyse hiç su emmez. Taş yünündeki bu değer %2,5-10 olması yönüyle daha yüksek bir değerdedir. Fakat yapılan çalışmalar sonucunda üreticiler içerisine silikon katarak su iticilik özelliği kazandırmışlardır [47]. Poliüretan köpüğün hacimce su emme değeri %3-5 arasında değişmektedir. Çatı uygulamalarında kullanılabilir. gözenek yapıları su ve nemden etkilenme oranlarını etkilemektedir. Köpüklerin genelde kapalı gözenekli olması sudan etkilenme oranını düşürür. Çok küçük gözeneklere sahip olması ve homojen dağılmış olmaları önemli bir özelliktir. Poliüretan levhanın kapalı gözenekli olmasının yanında, açık hücreli şekilde de meydana gelmektedir. Buda boşlukların homojen dağılmadığının bir göstergesidir. Poliüretan levha ve EPS levhaları üretim sırasında zaman zaman boşluklu yapıların olduğu XPS'in ise küçük ve kapalı hücrelerden meydana geldiğini söylemek mümkündür. Tam daldırma usulüyle uygulanan çalışmalarda hacimce su emme oranının en az XPS ısı yalıtım malzemesi olduğu görülür.

Isı yalıtım malzemeleri buhar difüzyonuna karşı dayanıklı olmalarının sebepleri arasında yapı fiziği gereğince binaların nefes alması gerekir. Eğer yalıtım malzemesi buhara karşı dirençli değilse önlemler alınmalıdır. Çünkü binada nem miktarının artması istenmeyen bir özelliktir. Nem miktarının artışı rutubete, mikroorganizmalara, haşerelere sebebiyet olur. Bunun önlenmesi için buhar difüzyonuna dayanıklı bir ısı yalıtım malzemesi kullanılmalı ya da yalıtım malzemesi kullanılırken buhar kesici ile mekanik havalandırmaya ihtiyaç duyulur. Buhar difüzyonundan etkilenmemesi için bünyesinde kapiler boşlukların bulunmaması gerekir. Örneğin; çatı uygulamalarında mineral esaslı bir yalıtım malzemesi uygulandığında yoğunlaşma ihtimali olmaması adına buhar kesicilerin kullanılması gerekir ya da başka bir ısı yalıtım malzemesi seçilmelidir.

Nanoteknolojik malzeme olan aerogel gözenekli ve açık hücreli bir yapıdadır. Fakat gözenekleri nano boyutlardadır. Isı iletkenlik değeri oldukça düşüktür. 0,018 W/mK'dır [49]. Yüksek sıcaklıklarda boyutsal bir değişime uğramaz ve ısı kararlılık sağlar. Hidrofobik olması en önemli özelliğidir ve su ile nemden etkilenmez. Bu özelliği silika aerojellerin sentezlenmesine bağlı olarak değişmektedir. Aerogelin içinde bulunan silanol (Si-OH) polar grubu hidrofilik

özellik gösterir. Bu polar yapıdaki grup suyu absorbe eder. Üretim yollarından biri olan kurutma işlemi yüksek sıcaklıkta olursa hidrofobik, karbondioksit ile beraber düşük sıcaklıkta yapılırsa hidrofilik olur. Eğer hidrofobikliği artırmak istenirse; kurutma sırasında bir ajan eklenir ya da sol jel işlemi sırasında eklenebilir. Bu su iticilik özelliği aerogelin gözenekli yapısı kapatılarak sağlanmıştır. Vakum yalıtım panellerinin de iç dolgu malzemesine su ve nemden etkilenme oranları azaltılır. Aynı zamanda normal koşullarda sudan etkilenme oranları neredeyse sıfıra yakındır. Buda üretim aşaması sırasında dolgu malzemesinden sonra dış bariyer kısmının otomatik olarak mühürlenmesi üstün performans göstermesini sağlar. Fakat boyutsal kararlılığı %90 nem oranında bozulmaya uğrayabilir [9].

Hidrofobik olması suyu hiçbir türlü geçirmez ve üzerine düşen damla akar gider. Yapılarda uygulandığında herhangi bir neme ya da rutubete maruz kalınmayacağının bir göstergesidir. Bu yönleriyle nanoteknolojik çalışmalar umut vaat edici çalışmalardır. Türkiye’de daha yeni kullanılmaya başlansa da kullanımı artacak olan ürünlerdir.

#### **5.1.2 Farklı kalınlıklardaki numunelerin sayısal olarak karşılaştırılması**

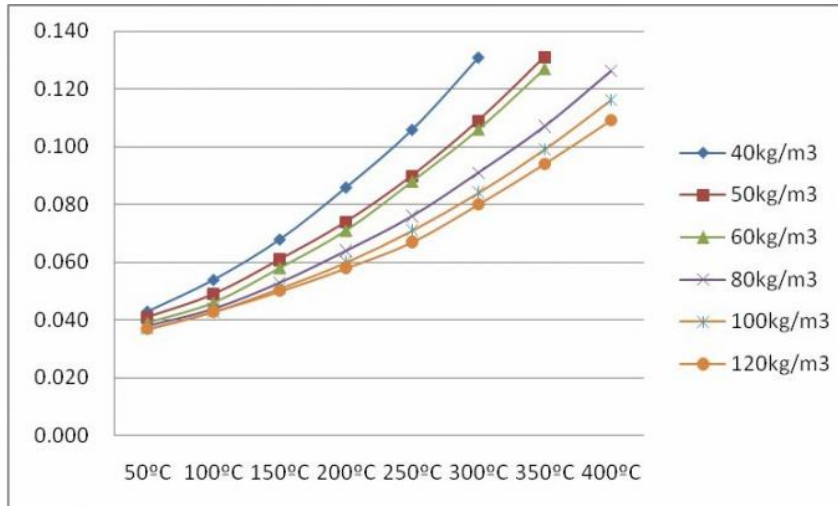
Isı yalıtım malzemeleri seçilirken, uygulanma evresi ve yalıtım kalınlığı en başta belirlenmelidir. Çünkü malzemelerin gösterdikleri performanslar uygulanacak alana göre en iyi şekilde olmalıdır. Böylelikle verimlilik de artmış olur. Uygun kalınlıkların seçimi ile hem enerji tasarrufu elde edilir hem de kullanıcı konforu sağlanmış olur. Yalıtım malzemesi kalınlığının artması, ısı iletimini azaltır fakat maliyeti yükseltir. Bu yüzden optimum bir kalınlık seçilmelidir. Çeşitli hesaplar yapılarak bu optimum kalınlık belirlenebilir. Örneğin; derece-gün yöntemi, ömür maliyet analizi gibi sayılabilir [15].

En uygun yalıtım kalınlığı belirlenirken; dış ortam sıcaklığı, iklim, nem, maliyet, ısıtma sistemi verimi ve periyodu, çalışma süresi ve en önemlisi seçilen ısı yalıtım malzemesidir. Binalara yapılan ısı yalıtım malzemeleri bilinçli uygulanmalı, yetersiz kalınlıkta yapılmamalı, doğru bir şekilde uygulanmalıdır. Çünkü enerji tasarrufu ve verim açısından önemlidir. Yapı inşası sırasında optimum yalıtım kalınlığı belirlenmelidir. Bu kalınlık belirlenirken yalıtım malzemesinin maliyet, yakıt maliyeti, malzemenin ve uygulanacak yerin

kimyasal ve fiziksel özellikleri, iklim gibi parametreler rol oynamaktadır. Özellikle bölgelere göre yapılan yalıtım uygulamalarında standartlara göre kalınlıklar uygulanırsa hem maliyet açısından hem de enerji tasarrufu açısından etkin rol oynar. Soğuk iklime sahip yerlerde uygulanan ısı yalıtım malzemelerinde ki kalınlık artışı maliyeti arttırır. Fakat kullanılacak yakıt açısından tasarruf sağlar. Optimum kalınlık ısı yalıtım malzemelerinin göstereceği performans için idealdir.

Kalınlık hesaplamalarında olumsuz hava koşulları için yalıtım analizleri yapılmaktadır. TS 825 en kötü hava koşulları için 4. Bölge olarak tanımlar ve ısı iletkenlik değerini de  $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$  olarak önerir [6]. En iyi yalıtım kalınlığı ısı akış yoğunluğuna belirlenmelidir. Duvarın bir yüzeyinden diğer yüzeyine geçme oranı ısı akış yoğunluğudur. Doğru yalıtım kalınlığına karar verebilmek için çift duvar, dışarıdan ve içeriden ısı yalıtım uygulamalarındaki ısı akış oranlarına bakmak gereklidir.

Taş yünün yoğunluğunda meydana gelen değişme kalınlığına da bağlı olarak değişir. Kalınlığı arttıkça ısı iletkenlik değeri artar. Yapılarda kalınlık değerleri bölgelere göre değişmektedir. Bir firmaya ait taş yünü ısı yalıtım malzemelerinin farklı kalınlık ve yoğunluktaki malzemenin sıcaklık ile ısı iletkenlik değeri artmaktadır. Fakat yoğunluğu artan malzemenin diğerlerine oranla daha düşük ısı iletkenlik değerine sahip olduğu görülmektedir (5.2) [48].



**Şekil 5.2:** Sıcaklık karşısında farklı yoğunluktaki taş yünün gösterdiği ısı iletkenlik katsayısı değeri [48]

Yapılmış bir çalışmada TSE 825 2008 standartlarına göre alınan havanın sıcaklık değeri +19, kış mevsiminde -5,4, yaz mevsiminde ise +21,4 olarak verilmiştir. Buna göre ısı akış yoğunlukları çift duvar, dışarıdan ve içeriden yalıtım uygulamaları hesaplanmıştır [6]. Bu değerler çizelge 5.2, 5.3, 5.4'te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.2:** Çift duvar arası yalıtım uygulamalarındaki değerler [6]

| Yalıtım<br>Malzemesi | Yalıtım<br>Malzemesi<br>Kalınlığı | Isıl<br>Hesap Değeri | İletkenlik<br>Değeri | Isı Geçirgenlik<br>Katsayısı | Isı<br>Yoğunluğu<br>kış | Akış<br>yaz |
|----------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|-------------|
| Yalıtımsız           | -                                 | -                    |                      | 1,45                         | 35,4                    | 0           |
| EPS                  | 0,073                             | 0,035                |                      | 0,36                         | 8,78                    | 0           |
| XPS                  | 0,04                              | 0,03                 |                      | 0,51                         | 12,4                    | 0           |
| Taş Yünü             | 0,052                             | 0,04                 |                      | 0,50                         | 12,2                    | 0           |
| Cam Yünü             | 0,062                             | 0,04                 |                      | 0,44                         | 10,7                    | 0           |

**Çizelge 5.3:** Dışarıdan yalıtım uygulamalarındaki değerler [6]

| Yalıtım<br>Malzemesi | Yalıtım<br>Malzemesi<br>Kalınlığı | Isıl<br>Hesap Değeri | İletkenlik<br>Değeri | Isı Geçirgenlik<br>Katsayısı | Isı<br>Yoğunluğu<br>kış | Akış<br>yaz |
|----------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|-------------|
| Yalıtımsız           | -                                 | -                    |                      | 1,57                         | 38,3                    | 0           |
| EPS                  | 0,076                             | 0,035                |                      | 0,36                         | 8,78                    | 0           |
| XPS                  | 0,041                             | 0,031                |                      | 0,51                         | 12,4                    | 0           |
| Taş Yünü             | 0,054                             | 0,04                 |                      | 0,50                         | 12,2                    | 0           |

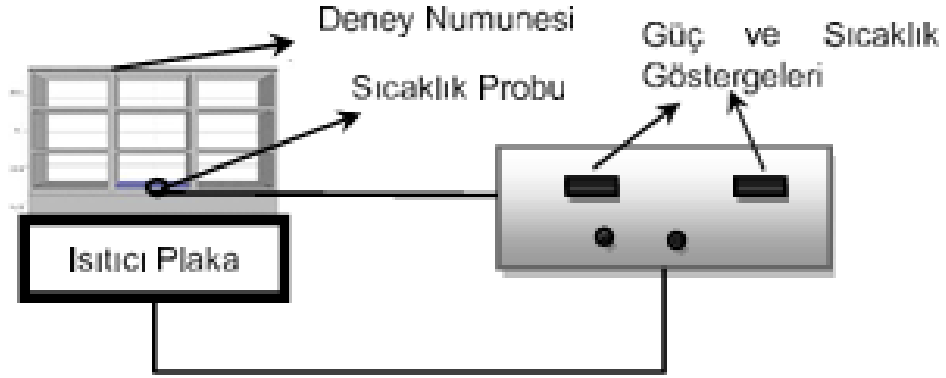
**Çizelge 5.4:** İçeriden yalıtım uygulamalarındaki değerler [6]

| Yalıtım<br>Malzemesi | Yalıtım<br>Malzemesi<br>Kalınlığı | Isıl<br>Hesap Değeri | İletkenlik<br>Katsayısı | Isı Geçirgenlik<br>Katsayısı | Isı<br>Yoğunluğu<br>kış<br>yaz | Akış |
|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------------------|------|
| Yalıtımsız           | -                                 | -                    |                         | 1,345                        | 32,8                           | 0    |
| EPS                  | 0,06                              | 0,035                |                         | 0,36                         | 8,78                           | 0    |
| XPS                  | 0,055                             | 0,03                 |                         | 0,51                         | 12,4                           | 0    |
| Taş Yünü             | 0,07                              | 0,04                 |                         | 0,50                         | 12,2                           | 0    |
| Cam Yünü             | 0,07                              | 0,04                 |                         | 0,44                         | 10,7                           | 0    |

Bu analizler sonucunda malzemenin kalınlığı arttıkça ısı akış yoğunluğunun azaldığı görülmüştür. Isı akışının en fazla olduğu zaman kış aylarıdır. Yalıtımla beraber 3 kata kadar varan oranla bu değer azaltılabilir. Çift duvar arası yapılan uygulamalarda ısı yalıtım malzemelerinin kalınlıkları daha az olduğu görülmüştür. Isı akış yoğunluğunun yalıtımla beraber dışarıdan ve içeriden yapıldığında değişmediği ortaya çıkar. XPS, ısı yalıtım malzemesinin kalınlığı diğer malzemelere oranla daha düşüktür. Isı geçirgenlik katsayısı ve ısı akış yoğunluğunu artırmıştır. Taş yünü, EPS'ye oranla daha kalın olarak kullanılmasına karşın ısı geçirgenliği yüksektir. Buna istinaden kullanılan malzemelerin kalınlıklarıyla, ısı geçirme oranları arasında ters orantı vardır. Kalınlıkla beraber sıcak bölge ile soğuk bölge arasında ısı geçişi daha az olur.

Yapılan başka bir deneysel çalışmada hem malzeme özelliklerine göre hem de malzeme kalınlıklarına göre deneysel çalışma yapılmıştır. Uygulamanın yapıldığı alanın katmanları ise; tuğla üzerine yapıştırma harcı, yapıştırma harcı ile sıvama harcı su ile karıştırılıp macun kıvamına gelince ısı yalıtım levhası üzerine 2 mm kalınlığında alçı malası ile üzerine sürülmüştür, yapıştırma harcının üzerine yalıtım malzemesi konmuş, yalıtım malzemesi üzerine mantolama filesi ve fileden sonra sıvama harcı sürülüp bir gün boyunca bekletilmiştir. Uygulama işlemi bittikten sonra farklı güçler uygulanarak

deneyler yapılmıştır. 150 dakika boyunca 10 W güç uygulanıp, 30 dakikalık aralıklarla ölçümler alınmıştır (5.3) [13].



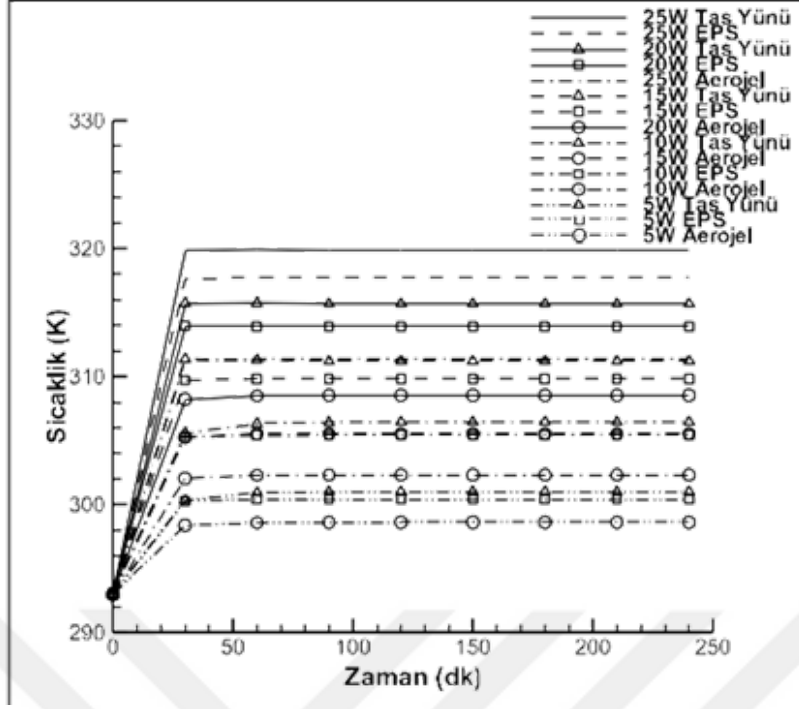
**Şekil 5.3:** Doğal taşınım deney sistemi [13]

Alınan ölçümler deney numunesi termal çiftin olduğu yerden ve ısıtıcı plakaların yüzeyinden alınmıştır. Deneyde kullanılan malzemelerin yoğunlukları, ısı kapasiteleri, ısı iletim katsayıları standart değerlerde baz alınmıştır.

**Çizelge 5.5:** Isı yalıtım malzemelerinin bazı teknik özellikleri [13]

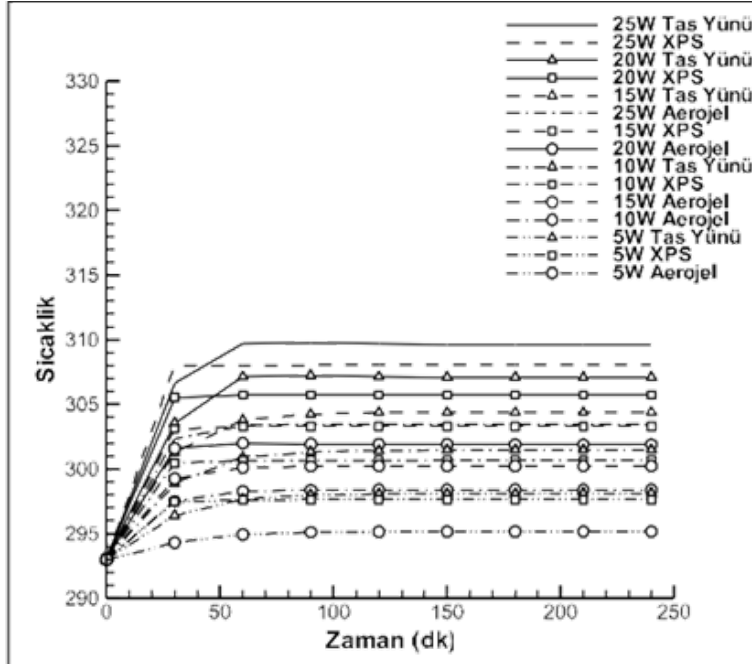
| ÖZELLİK                       | TUĞLA | TAŞ<br>YÜNÜ | XPS   | AEROJEL |
|-------------------------------|-------|-------------|-------|---------|
| Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | 1000  | 200         | 30    | 150     |
| Isı kapasitesi (J/kgK)        | 900   | 2000        | 1500  | 1000    |
| Isı İletim Katsayısı (W/mK)   | 0.45  | 0.040       | 0,034 | 0.020   |

Konvansiyonel malzeme olan taş yünü ve XPS ile arojelin özellikleri açısından bakıldığında arojelin bu şartlarda daha iyi performans gösterdiğini anlaşılmaktadır. Farklı kalınlıklarda uygulandığındaki değerlerde kalınlığa bağlı artışta referans alınan bölgenin ısı da eşit uygulanan güç değerlerinde azalma olur. 1, 2, 3 cm'lik numunelerle yapılan ölçümlerde uygulanan güçlerdeki sıcaklık değişimleri de farklı olmaktadır (5.4).



**Şekil 5.4:** 1 cm'lik numunelerin farklı güçlerdeki değişimleri [13]

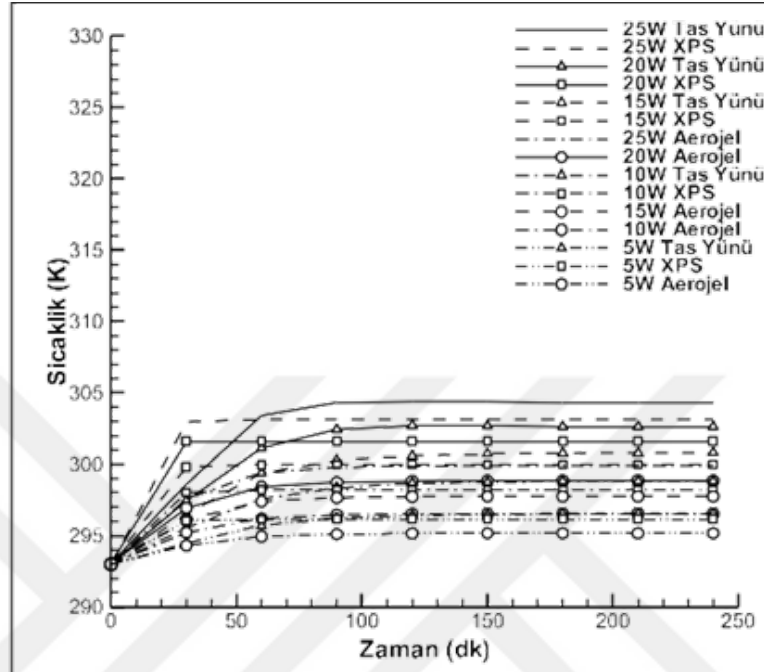
1 cm'lik numunelerde 25 W'lık güç uygulandığında taş yünü 319 K, XPS 317.7 K iken aerogel ise 311 K'lık sıcaklık değerlerine sahip olduğunu görülmektedir. Bu değer yüksek güçte bile aerogelin düşük sıcaklığa sahip olduğunu göstergesidir. Numune kalınlığı artışıyla sıcaklık değerleri de düşmektedir. Aşağıdaki şekil 5.5 ve 5.6'da bu durum görülmektedir.



**Şekil 5.5:** 2 cm'lik numunede farklı güçlerde malzemelerin gösterdiği değişim [13]

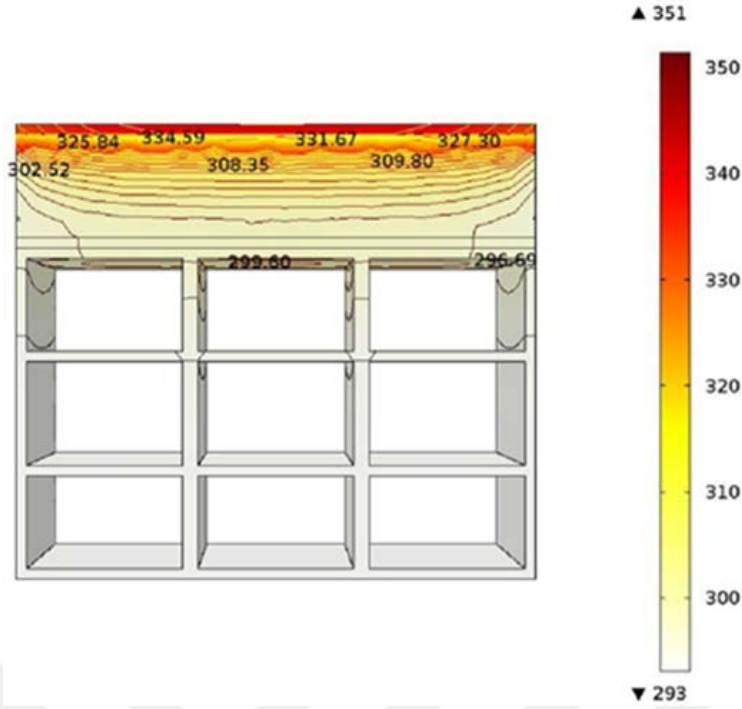


Malzeme kalınlığı arttıkça zamana bağılı olarak aynı güç değerlerinde bile referans alınan sıcaklıkta bir azalma olduğu görülmektedir. Aerojel malzemesinde 3 cm'e çıksa bile kalınlık sıcaklıkta 11,5 K'lık bir düşüş görülmüştür.



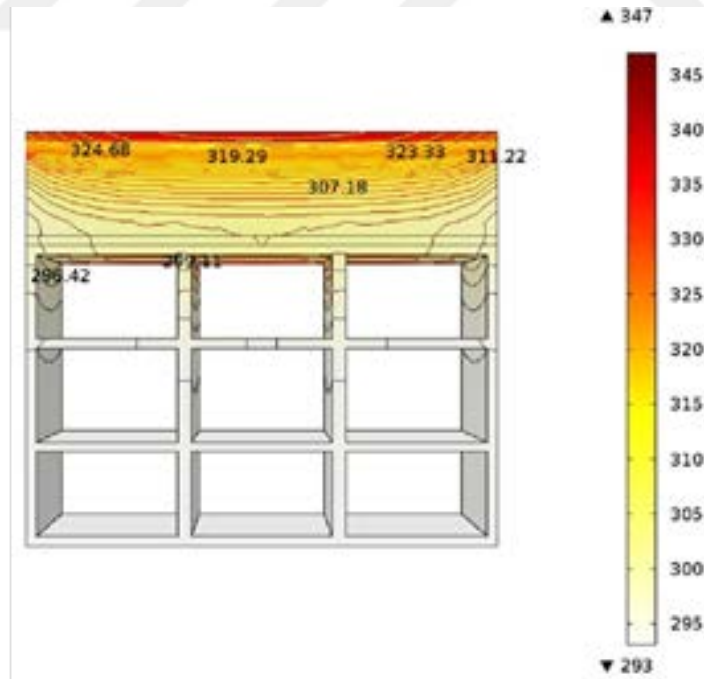
**Şekil 5.6:** 3 cm'lik numunede farklı güç değerlerindeki malzemelerin değişimleri [13]

Aerojel ısı yalıtım malzemesi yüksek güçlerde bile iyi performans gösterdiği görülmektedir. Şekil 5.6'da gösterdiği performans görülmektedir. Aynı zamanda XPS, taş yünü malzemelerinin düşük güçlerde bile aerjelin yüksek güçte gösterdiği performansı gösteremediği görülmektedir. 2 cm'lik aerojel malzemesine 240 dk 25 W'lık güç uygulandığında aerjelin tuğla yüzeyine ısı iletimi daha az olduğu görülmüştür (5.7). 351 K'de bile ısı geçişi oldukça azdır ve ısı transferi en az olan malzeme aerjeldir.



**Şekil 5.7:** Aerojel ısı yalıtım malzemesinin sıcaklık değerleri [13]

2 cm'lik taş yünü ısı yalıtım malzemesine 240 dk boyunca 25 W'lık güç uygulandığında ısıyı aerojеле göre daha iyi iletir.



**Şekil 5.8:** Taş yünü ısı yalıtım malzemesinin sıcaklık değerleri [13]

Aerojel malzemesi ısı iletim katsayısı 0.020 olması ile bu düzenekte de ısıyı taş yünü ve XPS'e göre daha az geçirdiği görülmektedir. Taş yününün tuğlaya ısıyı

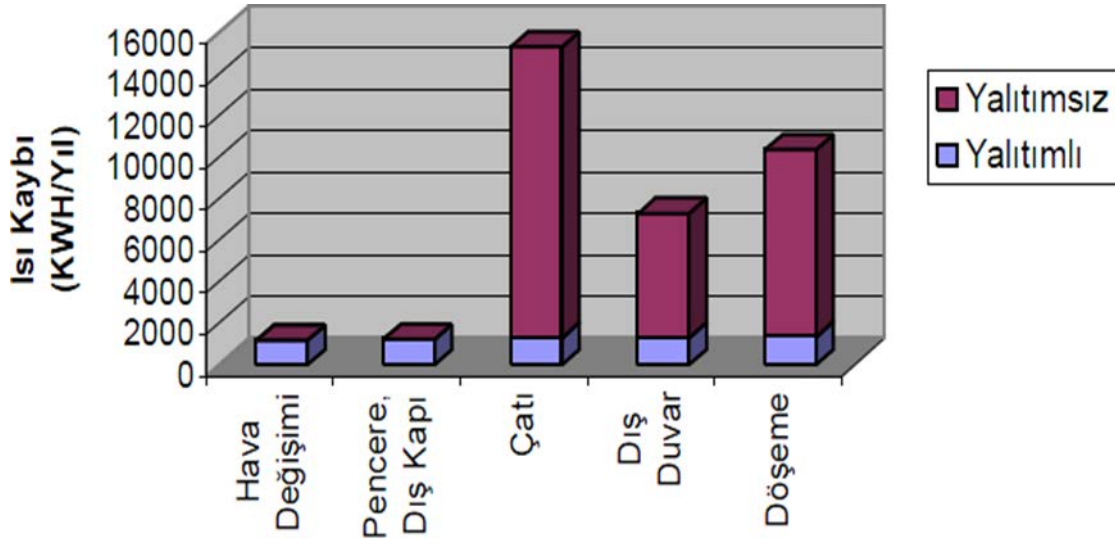
daha iyi iletmesi bir avantaj değil dezavantajdır. Konutlarda ısı yalıtım uygulamalarında istenmeyen bir durumdur. Aerojel ısı yalıtım malzemesi malzeme özellikleri incelendiğinde kalınlık artışı ile gösterdiği performans da iyidir.

Vakum yalıtım panelleri düşük ısı iletkenlik değerine sahiptir. Düşük kalınlıkta ısı geçirgenlik direnci konvansiyonel malzemelere göre az olur. İçerisine silika aerojel katılmasıyla bu değer daha da indirgenebilir. Aerojel kullanımı ile ısı performansları ne kadar iyi olduğu yapılan çalışmalarda değinilmiştir. Nanoteknoloji ile gelişen ısı yalıtım malzemeleri düşük kalınlıkta konvansiyonel malzemelere göre daha iyi şartlar oluşturur. Düşük kalınlıktaki ısı yalıtım malzemesi bir yapıda kullanılması alan tasarrufu sağlar, yapıya gereksiz yük bindirmez.

## **5.2 Enerji Korunumu Açısından**

Isının yöneldiği yön termodinamiğin ikinci yasasına göre sıcak ortamdan soğuk ortama doğrudur. Isı akışı ise ısınan bir iç ortamdan dış ortama olacak şekildedir. Binalarda bu yönden konfor sağlanabilmesi için bir ısıtma sistemi ile kaybolan ısı kazanılmalıdır. Kaybolan ısıyı en aza indirebilmek adına yalıtım malzemelerine başvurulur.

Binalara yapılan ısı yalıtım uygulamalarında en iyi yalıtım kalınlığı ve malzemesi seçilerek harcanan enerji oranı azaltılır. Yalıtım malzemesi ile enerji kayıplarını ve hava kirliliğini azaltabilir. Yalıtımsız binaların yıllık enerji kayıpları da 7 Milyar dolar olduğu İzoder 'in yaptığı hesaplamalarda ortaya çıkmıştır [29]. Yalıtımlı bina ile yalıtımsız bina arasındaki ısı kayıpları şekil 5.9' da gösterilmiştir. Isı kayıpları en çok çatı, döşeme ve dış duvarlarda meydana gelmektedir. Isı yalıtım uygulamaları ile bu değerler ortalama 8 kat oranda düşürülür.



**Şekil 5.9:** Isı yalıtımı yapıldığında ve yapılmadığındaki ısı kaybı [21].

Yapı, en önemli gereksinimlerden biri olan ısı konforunu sağlayabilmesi gerekir. Isı konforu iklime, bölgeye, zamana göre değişebilir. Bu yüzden ek olarak ısıtma ya da soğutma sistemlerine başvurulur. Fakat bir yapıyı tasarlarırken enerjiyi, maliyeti, yapı formunu baza alarak ihtiyaç duyulan malzemelere karar verilmesi gerekir. Yapı formu; yapının yüksekliğine, binanın biçimine, çatısına göre değişmektedir [33]. Yapının ısı geçirme katsayısının ısı ve enerji korunumu belirlenmiş olan optimum değerler yapının dış cephe alanına göre değişim göstermektedir. Enerjiyi etkin kılmak adına her ülkenin kendi oluşturduğu bazı yönetmelikler vardır. Türkiye’de ki standartlar ve yönetmelikler ısıtma enerjisi korunumu hakkında bazı kuralları [34];

- Bayındırlık ve İskân Bakanlığının ısı korunumu yönetmeliği
- TS 825 binalarda ısı etkilerinden korunma kuralları

Bu yönetmelik ve standartlar birkaç kez değişime uğramış ve enerji korunumu açısından farkındalığa gidilmesine katkı sağlamıştır. Amaç enerjiyi etkin kılmaktır. Sonuçta yenilenebilir enerji kaynaklarının azalması, ekonomik yaşam, artan nüfus ve buna bağlı olarak barınma isteği, yapılaşmanın artması, çevre kirliliği, geri dönüşüm gibi parametreleri düşünürsek daha bilinçli tasarımlar yapılabilir.

Bina enerji performansı olarak yürürlüğe giren ve Avrupa birliğinin öncülüğünde olan bu yönetmelik harcanan enerjilerin toplamına değinilmiştir.

Bu yönetmelik her bina adına enerji kimlik belgesi (Ek\_B1) hazırlanmasını zorunlu tutmuştur. Bu belgeye ilişkin maddeler [1];

- Yapının ihtiyacı olan enerji için net enerji miktarı hesaplaması
- Aynı zamanda kayıpların ve verimliliği göz önünde tutarak toplam enerji tüketiminin ne kadar olacağının belirtilmesi
- Havalandırma
- Güneş ışığı da hesaba katılarak aydınlatma enerji ihtiyacının hesaplanması

Enerjinin ön planda tutulduğu binalarda ısıtma ve soğutma enerjileri düşünülerek ihtiyaçların belirtilmesi gerekir. Minimum düzeyde salınım yapan bina tasarlanmalıdır. Isı farkları fazla olmayan yapılar ile gereksiz enerji kayıplarına neden olunmaz.

Enerjiyi etkin kılmak adına; yerleşimine, coğrafi özelliklerine, iklime, atmosfere, binada kullanılacak malzemelere, ısı yalıtım malzemelerinin özelliklerine, havalandırma vb. faktörlere bakılması gerekir [29]. En önemlisi yenilenebilir enerji kaynaklarından en üst düzeyde fayda sağlayacak pasif sistem şeklinde tasarlanmış, yapma sistemler ile oluşturulan pasif sistemler etkin çalışması ve enerji verimliliği konusunda önemlidir . Kullanıcılara sağlanacak olan ısısal konforun en üst düzeyde olması ve harcanacak olan enerjinin de minimum olması istenmektedir.

Enerjiyi tasarruflu kullanmak, kullanıcı konforunu sağlamak, üretimden ödün vermeden hizmet sağlayabilmek, iklim, sürdürülebilir olması gibi ifadeler enerji verimliliğini ifade eder. Enerjinin kullanıldığı alanlardan biri olan binaların toplam tüketilen enerjideki payı %24'tür. Enerjiyi etkin kılmak adına enerji performansı uygulamaları yapılabilir [29];

- m<sup>2</sup> başına binalarda yıllık enerji kullanımı hesaplanması (5.1),

$$E_{p,EP} = 100(EP_a / EP_r)$$

(5.1)

$E_{p,EP}$ , binanın yıllık tüketim miktarını

$EP_a$ , asıl binanın enerji performansı

$EP_r$ , referans alınan binanın enerji performansını ifade eder.

- $m^2$  başına düşen enerji kullanımının ne kadar karbondioksit salınımı yaptığıının belirlenmesi (4.2),

$$E_{p,SEG} = 100(SEG_a / SEG_r) \quad (5.2)$$

$E_{p,SEG}$ , karbondioksit salınım miktarı

$SEG_r$ , referans alınan bina

$SEG_a$ , asıl binayı ifade eder.

- Referans alınan bir bina ile kıyaslama yapılması,
- Enerji tüketimine göre enerji sınıflandırılması yapmak (5.6).

**Çizelge 5.6:** Binaların enerji performansına göre aldığı dereceler [32]

| ENERJİ SINIFI | BİNANIN ENERJİ PERFORMANSI |
|---------------|----------------------------|
| A             | 0-39                       |
| B             | 40-79                      |
| C             | 80-99                      |
| D             | 100-119                    |
| E             | 120-139                    |
| F             | 140-174                    |
| G             | 175-...                    |

Enerjinin korunması ısı yalıtım açısından önemli bir konudur. Isı yalıtım malzemeleri de seçerken bina için en iyi şartları sağlayacak düzeyde malzeme seçilmelidir. Bir yapıda taş yünü ısı yalıtım malzemesi uygulanmış ve mantolama hatasından dolayı enerji açısından performansı tam gösterememektedir. Çünkü pencerelerin iç kısmına uygulanmayan yalıtım malzemesi ısı köprüsü oluşturur. Bu nedenle ısı iletkenliği ne kadar iyi olsa da ısı yalıtım malzemesi performansını tam olarak gösteremez. Taş yünü ısı yalıtım

malzemesi ile uygulama yapılmış bir binadaki kullanılan malzemenin özellikleri çizelge 5.7’de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.7:** Sarıyer bölgesinde taş yünü ısı yalıtım malzemesi uygulanmış binanın özellikleri [30]

| Malzeme                         | Taş Yünü         |
|---------------------------------|------------------|
| Isı İletkenlik Katsayısı        | 0,035            |
| Isıl Direnç                     | 1,4              |
| Kalınlık(mm)                    | 5                |
| Boyut                           | 600*1200         |
| Üretim Standartı                | TS EN 13162      |
| Marka                           | Knauf            |
| Model                           | Mineral Plus FCB |
| Su Buharı Geçirgenlik Katsayısı | 1                |
| Yangın Sınıfı                   | A1               |

Binanın yapım aşamasında kullanılan malzemelerin duvardaki katmanlaşmaları çizelge 5.8’de yer verilmiştir. Kullanılmış olan malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarına ve ısı dirençlerine bakarak toplam duvardaki(U) ısı iletkenlik katsayısı hesabı yapılmıştır.

**Çizelge 5.8 :** Duvardaki katmanlaşma ile yapılan ısı geçirgenlik hesabı [30]

| Katman            | Kalınlık | ISI İLETKENLİK KATSAYISI | ISIL DİRENÇ(R) |
|-------------------|----------|--------------------------|----------------|
| Dış yüzey direnci | -        | -                        | 0,04           |
| Taş yünü          | 0,05     | 0,032                    | 1,56           |
| Çimento sıva      | 0,02     | 1,6                      | 0,01           |
| Delikli tuğla     | 0,19     | 0,36                     | 0,53           |
| Çimento sıva      | 0,02     | 1,6                      | 0,01           |
| Alçı sıva         | 0,015    | 0,51                     | 0,03           |

|                  |   |   |      |
|------------------|---|---|------|
| İç yüzey direnci | - | - | 0,13 |
|------------------|---|---|------|

Toplam ısıl direnç 2,31 olduğu görülmüştür. U değeri buradan 0,43 çıkar. 0,60'tan küçük olduğu için ısıl geçirgenlik açısından iyidir. Fakat enerji açısından tam yüzey uygulaması yapılmadığı için oranlarda düşme fazla yaşanmamaktadır. Çünkü pencere kenarlarında tam olarak yalıtım malzemesi uygulanmamış olmasıyla meydana gelen ısı köprüleri enerji verimliliği açısından tam performans gösteremez. Şekil 5.10'da pencere kenarlarında tam olarak yapılmaması gösterilmiştir. Yalıtım uygulamasının yapılmış olması bile binanın enerji tasarrufu açısından baktığımızda yalıtımsız haline göre oldukça yüksektir. Bu nedenle yalıtım uygulamaları yapılarak istenilen verim, enerji ve ısı korunumu sağlanmış olur.



**Şekil 5.10:** Sarıyer bölgesinde yapılan bina uygulamasının pencere kenarlarında tam olarak yapılmaması [30].

Bölgelere göre ısı kayıpları hesaplandığında TS 825 Standardına göre 1-4 bölge arasında ayırmalar yapılmış ve bu bölgelere göre kullanılacak ısı yalıtım malzemesi kalınlıkları belirlenmiştir. Bu kalınlıkların belirlenmesi fazla malzeme kullanılmaması ve maliyet açısından da yarar sağlar. bölgelere göre yapılmış standartlarda ısı yalıtımla beraber ısı kaybı azalır. Doğru yapılmış uygulamalarda da ısı köprüleri oluşmayarak daha az ısı kayıpları meydana gelir.



XPS ısı yalıtım malzemesi uygulanmış bir yapıda toplam alan 2633,76 m<sup>2</sup> ve XPS ısı yalıtım malzemesi 6 cm kalınlığında uygulanmıştır (5.11) [32]. Isı yalıtımlı ve ısı yalıtımsız olarak enerji kayıpları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda pencere ve kapılarda ısı geçişinin olmadığı, döşeme, tavan ve duvarlarda en çok ısı kayıplarının gerçekleştiği yerler olduğu görülmektedir. Çizelge 5.9’ da ısı yalıtımlı ve ısı yalıtımsız halleriyle enerji kayıpları gösterilmiştir. Döşemelere uygulanan ısı yalıtım uygulamaları ile enerji kayıplarında on kata varan tasarruf sağlanmıştır.



**Şekil 5.11:** XPS ısı yalıtımı uygulanmış binanın dış cephe görünüşü [32].

**Çizelge 5.9:** Yapı elemanları ısı kaybı değerleri

| YAPI ELEMANLARI | ISI YALITIMLI<br>KAYBI DEĞERİ | ISI YALITIMSIZ<br>KAYBI DEĞERİ |
|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|
| DUVAR           | 650,37 W/K                    | 1 621 W/K                      |
| TAVAN           | 164,4 W/K                     | 858,12 W/K                     |
| PENCERE VE KAPI | 218,34 W/K                    | 218,34 W/K                     |
| DÖŞEME          | 163,62 W/K                    | 1 235 W/K                      |

Isı yalıtım uygulamaları yapılarda büyük oranda enerji tasarrufu sağlar. XPS, EPS, poliüretan gibi sentetik kökenli olan konvansiyonel ısı yalıtım malzemeleri ısı kayıplarını minimuma indirme açısından iyidir. Yandıkları zaman CO<sub>2</sub> salınımlarının fazla olması yönüyle ekolojik değildirler. Mineral içerikli olan taş yünü, cam yünü gibi olan ısı yalıtım malzemeleri sentetik kökenli olanlara göre geri dönüştürülebilen malzemelerdir. Fakat cam yünü özellikle üretim aşamasında tehlikeli olduğu için gerekli önlemlerin alınması gerekir. Yapılan uygulamalardaki hatalardan dolayı tam olarak verim elde edilmediği görülmüştür.

Nano özelliklere sahip ısı yalıtım malzemeleri yapılarda uygulanmaya daha yeni başlansa da genelde endüstri alanlarında tercih edilmektedir. Nanoteknoloji uygulamaları ile kalite, performans, enerji tasarrufu, daha az karbondioksit salınımı, kaynakların korunması gibi özellikleri getirir. İnsanlara daha konforlu bir yaşam ve kalite sunarken, ekonomiye de destek olur. Fakat nanoteknoloji uygulamalarına daha çok destek verilirse eğer, yalıtım uygulamalarında da daha sık karşımıza çıkar. Sürdürülebilir mimarlık açısından önemli bir yer tutan bu nano malzemeler ekolojiyi tam olarak destekler. Aerojel yalıtım malzemesi olarak kullanılmasıyla daha yeni gündeme gelen bir ısı yalıtım malzemesidir. Isı iletkenlik değerinin düşük olması, yoğunluğunun az olması, ısı geçirgenlik direncinin iyi olması, ekolojik açıdan uygun olması, çevreye zarar vermemesi gibi birçok yönüyle ideal bir malzemedir. Enerji korunumu açısından yüksek performans göstermektedir.

Murail Architectures tarafından Fransa'da yapılan spor kompleksi aerojel dolgulu polikarbonat panellerden yapılmış ve bu uygulama ile ek yapay aydınlatmaya gerek kalmamıştır (5.12). Aynı zamanda ısı yalıtım etkisiyle de kullanılan yapay enerji ihtiyacı da aza inmiştir. Kalınlığı 25 mm olan bu panellerin U değeri 0,89 W/m<sup>2</sup>K'dir. Panellerin ölçüleri ise 1,05\*6.00 m'dir. Enerji tasarrufu yılda 38,800 £ olması oldukça iyi değerdir. Aynı zamanda aydınlatma ihtiyacı da gündüz saatlerinde gerek duyulmamasıyla aydınlatma maliyetini de en aza indirmiştir. Karbon salınımı da oldukça aza indirmesiyle yılda 151,000 kg tasarruf sağlanmıştır. Çevreye karşı olan zararı önlemesi yönüyle ekolojik bir yapı yapılmıştır. Toplam yatırımın 2,9 milyon £ olması göz korkutsa da yılda elde edilen enerji tasarrufu ile kazanç sağlamaktadır [49].

Aynı zamanda iç mekan da gölgeler ve gözde kamaşma oluşmamasıyla görsel açıdan konfor sağlamaktadır. Oldukça ince bir panel kullanılması yönüyle de deprem yükünü azaltmaktadır. Enerji korunumu üst düzeyde olması aerojel gibi yeni teknolojiler uygulanırsa yapılarda enerji verimliliği ve yüksek performansı yakalanabilir.



**Şekil 5.12:** Souchais Spor Kompleksi, Fransa [49]

### 5.3 Üretim Açısından

Isı yalıtım sektörlerine bakıldığında Türkiye’de ısı yalıtım malzemesi üreten birçok işletme bulunmaktadır. Bu işletmeler taş yünü, cam yünü, EPS, XPS ve poliüretanı hammadde olarak kullanılmaktadırlar. Isı yalıtımda fazla bilinçli olunmaması bu malzemelerin üretilmesi adına fazla talep olmamıştır. Yeni yönetmelikler ile ancak bu malzemelerin kullanımları zorunlu kılınmıştır. Binalarda bu malzemelerin kullanımı zorunlu hale getirilmesiyle ithalat azalıp, kendi pazarında artış görülmüştür. Üreticilerin taş yünü gibi ısı yalıtım malzemelerinin özelliklerini üretim aşamasında değiştirerek daha iyi şartlarda performans sağlayacak malzemeler üretilmesini sağlamışlardır.

Taş yünü ısı yalıtım malzemesinde kullanılacak hammaddeler; diyabaz, dolomit, bazalt, briketlerdir. Diyabaz, dolomit ve bazalt taşları volkanik kökenli taşlardır.

Üretim aşamaları [51];

- Dolomit, diyabaz, bazalt, briketler bu homojen malzemelere kimyasal bileşikler, silikon, alüminyum, kalsiyum, magnezyum, demir oksit eklenerek

1400 °C'lik fırınlarda eritilerek füzyon işlemi tamamlanır. Kok denilen madde eritme işleminde enerji olarak kullanılır.

- Elde edilen kütle, santrifüj tekerlerine girerek lifli hallere getirilir.
- Lifler bir toplama haznesinde toplanır ve yün çökeltme sistemine ulaştırılır. Sarkaç sistemiyle yapılması homojen bir şekilde dağılmasını sağlar.
- Polikondasyon odasında, elde edilen ürüne bağlayıcılar eklenerek 270 °C sıcaklıklarda su buharlaştırma ve kütle çözülme işlemi yapılır. Burada istenilen yoğunluklarda sıkıştırılır ve sertleştirilir (5.13).



**Şekil 5.13:** Polikondasyon aşaması [51]

- Oluşan malzeme gerekli boyutlarda kesilir ve paketlenmeye geçilir (5.14)



**Şekil 5.14:** Taş yünü malzemesinin uygun formatlarda kesilmesi [51]

Ambalajlama hacmini azaltmak adına sıkıştırma yöntemlerine başvurulur. Daha ucuz ve kolay bir şekilde taşınma imkanı sunar. Bu şekilde milyonlarca taş yünü üretilir. Yeni geliştirilen sistemlerle geri dönüşümlü olarak, daha az zararlı gaz salınımı ile çevreye duyarlı bir şekilde üretim gerçekleşir. 4 farklı tip olarak üretilmektedir; taş yünü şilte, levha, boru, dökme tip olarak üretilir. Şilte halinde üretilmesi genellikle çatılarda, depolarda, tanklarda, sanayi borularında kullanılmaktadır. Levha halinde üretilimi çatılarda, duvarlarda, cephe sistemlerinde, döşemelerde, titreşim kaynağı olan her yerde kullanılabilir. Boru şeklinde üretildiğinde yangın yalıtımı, ses, titreşim yalıtımlarında kullanılmaktadır. Dökme tip dediğimiz uygulamada ise şiltenin ya da levhanın uygulanamadığı hallerde bağlayıcısız ve bir forma sahip olmadan uygulanan yalıtım malzemesidir [27].

EPS ısı yalıtım malzemesinin üretim aşamaları ise [56];

- Ön genişletme işleminde polistren tanecikleri 80-100 C aralığındaki sıcaklıkta buhar etkisi ile pentan ile serbest şekilde şişerler.
- Şartlandırma da şişen polistren tanecikleri soğumaya bırakılır. Gözenekli yapıda oldukları için pentan gazı ile hava yer değiştirir.
- Kalıplama aşamasında köpük şeklini korumak ve genişlemeyi devam ettirmek adına buhar kullanımına devam edilir. Aynı zamanda taneciklerin birbirine kaynaması adına buhar işlemine devam edilir.
- Şekillendirme ise kısa süre soğumaya bırakılan EPS bloğu kesme vb. yöntemlerle şekil verilir. Şekillendirme işlemi kızgın tel gibi araçlarla yapılır.
- Son aşama ise üretim bittikten sonraki paketlenme, folyolanma kısmını içerir.

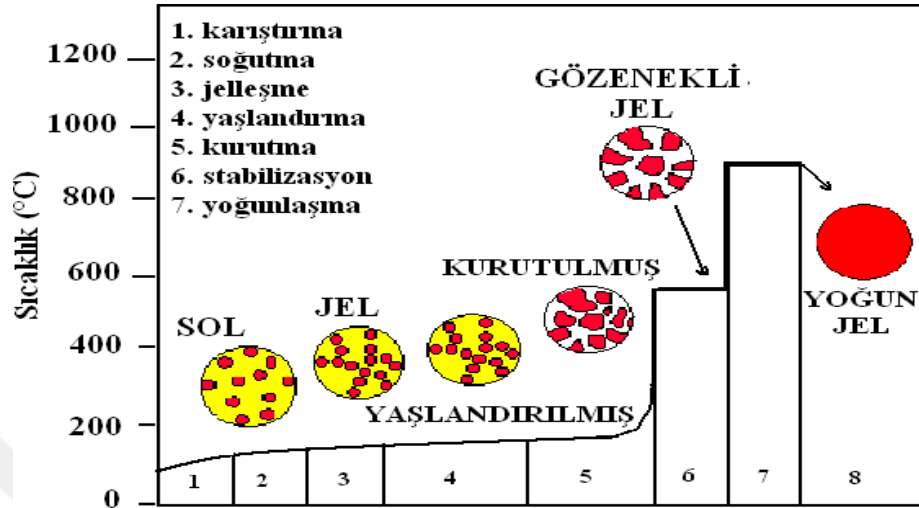
EPS'nin üretim aşamasındaki pentan gazının hava ile yer değiştirmesi oldukça hızlıdır. XPS yalıtım malzemesinde bu olay aylarca sürebilmektedir ve bundan dolayı ısı iletkenliğinde artış olur. En iyi üretim yöntemi ekstrüzyon ile üretimdir. Bir polistrenin şişirme için kullanılan ajan ile sabit basınç altında ekstrüzyon ile üretilmesidir. Bu işlem ile hat boyunca istenilen kalınlıklarda çekilir. Kararlı bir hücre yapısı oluşturmak ve homojen bal peteği şeklinde hücreler elde edilir. Hava hücrelerin içine hapsolür [55]. EPS ısı yalıtım malzemesine göre üretimi daha maliyetlidir. İstenilen yoğunlukta XPS ısı

yalıtım malzemesi üretilemez. Belirli bir yoğunluk aralığı vardır. Taş yünü, XPS'e göre EPS'nin üretimi daha az maliyetlidir.

Nanoteknoloji ile üretim konvansiyonel üretim metotlarından farklıdır. Çeşitli alanlarda uygulanabilirliği yönüyle nanoteknolojik malzeme üretiminde belirli sınıflandırmalar yapılmıştır. İki ana yaklaşım aşağıdan yukarıya ve yukardan aşağıya diye ayrılır. Yukardan-aşağıya üretim yönteminin temelinde, kütsel bir malzeme vardır ve bu malzeme küçük parçalara bölünür [8]. Özel işlemlere tabi tutularak aynı zamanda kimyasal aşındırma ile kusursuz bir şekilde boyutları nano ölçeğe dönüştürülür. Aşağıdan-yukarıya üretimde ise, atomların boyutları büyütülmesi olayıdır. Küçükten büyüğe giden bu yaklaşımda kontrolü bir şekilde bir araya toplanır. Aerojellerin üretimi de bu aşağıdan-yukarıya metoduyla yapılır. Sol-jel denilen üretim yoluyla silika aerojeller üretilebilir. Üç aşamalı olarak ilerler. İlk aşama jelin hazırlanması, ikinci aşama, yaşlandırma etkisi ile dayanıklılık ve katı madde olması sağlanması ve son aşama olan kurutma işlemidir.

Sol-jel olarak sentezlenme işleminde nano ölçekte olan sıvı bir faz içindeki katı parçacık olan sol, inorganik tuz ya da metal alkoksit gibi hidrolizi ve kısmi kondenzasyonla jel oluşturulur. Sol partikülleri ile iki farklı jel üretilir. Su çözücü olursa aquagel, alkol olursa alkojel adını alırlar. Bu jeller buharlı kurutma veya süper kritik kurutma ile katı ürünler olan xerojel ve aerojel elde edilir. Genelde alkoksitler bir sol oluşturmak için tercih edilen maddedir.  $M(OR)_n$  ile gösterilir. Buradaki OR elektro negatif olmasıyla metal alkoksitler reaksiyona katılımı artar. OR kısmını değiştirerek farklılıklar sağlanabilir. Jelin üretilmesi kısmında en önemli parametreler hidroliz ve kondenzasyondur. Bunlar ürünü belirlemekte olup, hızlarının da aynı oranda olması gerekir. Asidik koşullar altında bu işlemler yapılırsa jelde dallanma oranı düşük olur. Fakat alkali koşullarda yapılması ile çapraz bağlar içermesiyle kurutulduğu zaman değişik yüzey özellikleri ve gözenek yapıları oluşur. Jelin yaşlanma olayı olan ikinci aşama ise jelin oluşturulması ile çözünün uzaklaştırılması arasındaki süredir. Kondenzasyon tepkimesi jel oluştuktan sonrada devam eder. Aslında bu çapraz bağların fazla olmasını sağlar ve istenilen bir durumdur. Fakat bu dönüşüme uğraması ile jel sabit kalmaz. Üçüncü aşama olan kurutma jelin oluşturduğu iskeleti korumak adına çözücüü uzaklaştırmadır (5.15) Süper

kritik kurutma karbondioksit ile çözücü yer değiştirmesidir. Diğer bir kurutma olan çevresel basınçta kurutma işlemi maliyet ve güvenlik açısından daha idealdir. Aynı zamanda hacim büzülmesini de an aza indirilmesinde de etkili olmuştur [17].

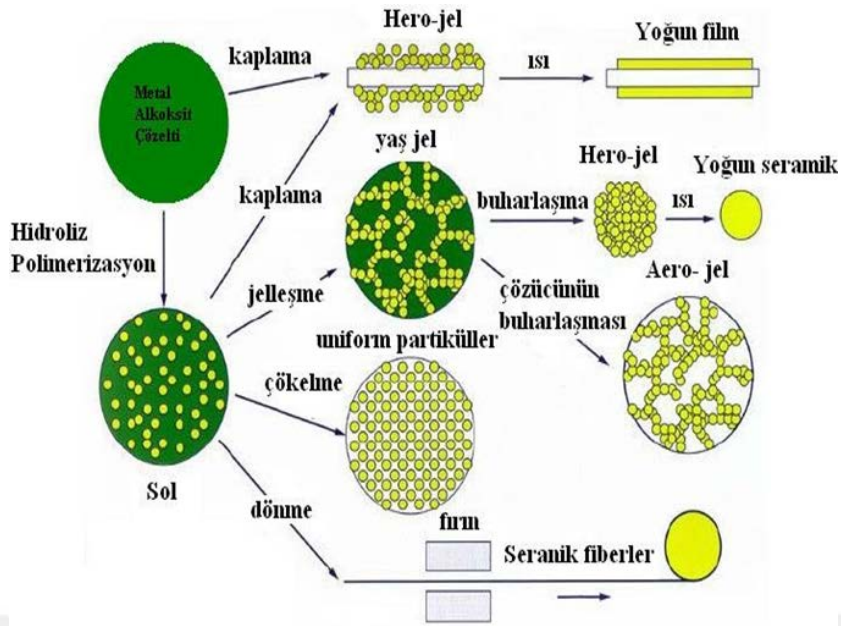


Şekil 5.15: Sol-jel işleminin basamakları [17]

Aerogelin üretimi sol-jel tekniğine dayalı olarak yapılmaktadır. Avantajlarına bakılırsa eğer;

- Başlangıç malzemenin saf olması ürününde aynı saflığa yakın üretilmesi,
- Düşük sıcaklıklarda işlemlerin uygulanması,
- Uygulama için basit kaplar ve atmosferik ortam yeterlidir,
- Organik çözücüler kullanılabilir ve farklı çözücüler kullanılarak malzemenin fiziksel özelliği değiştirilebilir,





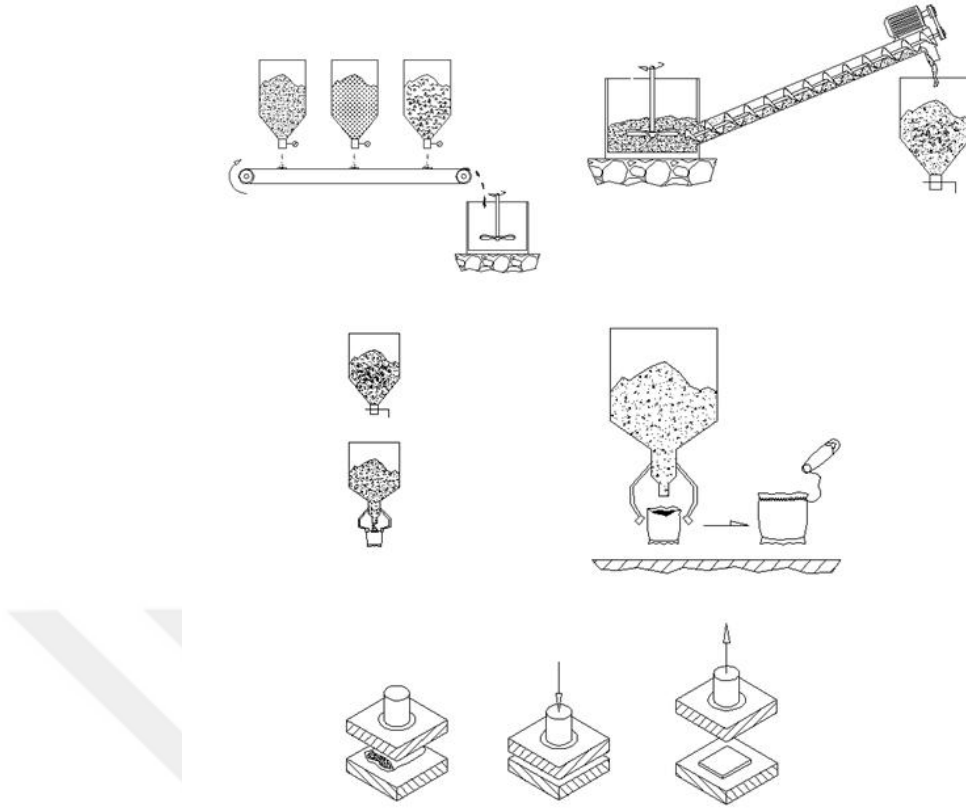
**Şekil 5.16:** Farklı malzemelerin elde edilmesi [17]

- Gözeneklerin homojen dağılmış olması ve dayanıklı olması, metaller kullanılmasıyla ısı açısından kararlılık sağlamasını sağlar.

Sol-jel tekniği ile seramik katkılı boyaların üretimi de mümkündür. Aerojelin üretimi sırasında titiz davranılması gerekmektedir. Çapraz bağlanma sırasında oldukça gözenegin olması eğer kontrol edilemezse istenmeyen durumlar ortaya çıkabilir, kurutulma işlem sırasında büzülmenin meydana gelme olasılığı ve organik kalıntıların ayrılmasında zorluk yaşanabilir. İşlemin zahmetli olmasının yanında maliyet açısından pahalı bir sistemdir ve çıkış maddeleri maliyetlidir. Elde edilen ürün ise çıkış maddelerinden daha azdır. Bu yüzden yatırımın daha yüksek olduğu görülmektedir. Gerekli finansal destek karşılanabilirse özelliklerinden dolayı ileriye katkısı daha çok olabilir. Yavaş yavaş nanoteknolojik ürünlere yer verilmesiyle üretimin artması da olasıdır. Geleneksel malzemelere göre az fonksiyona hitap etmemesi de üretim açısından fabrikasyona dönüştürülebilir.

Vakum yalıtım panelleri üretimi uygun boyutta seçilen çekirdek her tarafı sızdırmaz biçimde kapatılmış dış zarf (alu-pet) içerisine konularak vakum cihazına konur. Kullanılan maddeler ile uygulanan basınç değişmektedir. Silika tozu ile üretilirse 1 mbar düzeyine, polistren kullanılırsa daha düşük iç basınca ulaşana kadar vakumlama yapılır. Vakumlamadan sonra otomatik olarak dış bariyer mühürlenir [9].





**Şekil 5.17:** Vakum yalıtım paneli çekirdek üretim yöntemi [9]

Isı yalıtım malzemelerinin üretim yöntemlerine baktığımızda geleneksel ısı yalıtım malzemelerinin üretimi gelişmiş teknolojilere dayanan nano boyutlardaki ısı yalıtım malzemelerinden maliyet açısından daha uygundur. Kullanılan sistemler, yatırımın maliyetli olmasından dolayı nanoteknolojik ısı yalıtım malzemelerinin üretim tesisleri kurmak, geleneksellere göre daha zordur. Fakat nanoteknolojik uygulamalar istenilen özellikteki maddelerin üretimine imkan sağlar.

#### 5.4 Maliyetleri Açısından

Isı yalıtım malzemesi seçilirken ekonomik analiz yöntemleri yapılmalıdır. Ekonomik olması yönüyle bakıldığında bir yalıtım malzemesi çok uygun fiyatlara sahip olabilir. Fakat dayanma ömrü çok kısaysa ya da malzeme kendi performansını gösteremiyorsa zararlı bir yatırım olur. Yatırımın ekonomik olduğunu anlamak üzere yapılan yatırımın ömrü boyunca yatırımla ilgili parametrelerinin hepsi belirlenmelidir. Faiz oranı, yatırım tutarı gibi etmenler sayılabilir. Bunları tam anlamıyla yapabilmek için ekonomik analiz

yöntemlerine başvurulur. Yatırımın ekonomikliğini belirleyen esas tüm gelirler ve giderlerin belirlenen faiz oranı üzerinden toplamıdır (5.4) [21].

$$r = \frac{i - g}{1 + g} \quad (5.4)$$

Toplam ısıtma maliyeti yatırımların değerlendirilmesinde kullanılır. Isı yalıtım malzemesinin  $N$  yıllık ömrü için yıllık oluşan ısıtma maliyetleri toplam ısıtma maliyetleridir.  $N$  yıl boyunca enerji maliyet toplamı denklem (5.5) gösterilmiştir [21].

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r} \times (1+r)^N \quad (5.5)$$

Yıllık enerji maliyetlerinin yanında ömür maliyet analizi de yapılmalıdır. Bu metot gelecekteki enflasyon bilgisini de içerir ve enerji dağıtım sistemi ile şu anki para değeriyle hesaplamalar yapılır. Ortalama yıllık harcama ile hem şu anı hem de gelecekteki maliyetleri gösteren bir hesaplamadır. Bir binada uygulanacak olan ısı yalıtım malzemesinin fiyatı, yapıştırıcı, verilen file, işçilik maliyeti, harcanan yakıt maliyetleri gibi parametreleri içerir [29].

Isı yalıtım malzemesi uygulanırken optimum kalınlık da hesaba katılarak minimum maliyetle yalıtım uygulaması yapılmalıdır. Bu kalınlık derecesiyle ısıtma yükü de dikkate alınmalıdır. Aynı zamanda enerji maliyetinden uygulanan ısı yalıtım maliyeti çıkarılarak ne kadar tasarruf sağlandığı hesaplanmaktadır. En sonda geri ödeme süresi ile kullanılacak net para girişi ile yatırımın tutarı tam olarak karşılaması için geçen süredir. Bu hesaplamalarla bölgeler adına kullanılacak ısı yalıtım malzemesi kalınlığı ve hem uygulama için hem de tüketeceği miktar açısından ısıtma soğutma sistemlerinin maliyet analizleri yapılmaktadır.

Yalıtımsız bir daire de hesaplanan yıllık yakıt miktarı 22.555,17 m<sup>3</sup> ve bununda 20.268,07 TL gibi bir maliyete sahip olması istenilen bir durum değildir. Yalıtım uygulanmasıyla beraber neredeyse %85 'e varan bir tasarruf söz konusudur [18]. Taş yünü malzemesine göre bu analizler yapılırsa, 2008 yılında alınmış verilerle yapılan değerlendirmede ortalama faiz oranı %18,48, enflasyon

oranı da %10.06, ekonomik ömür on yıl olarak hesaba alınmıştır. Yıllık faiz oranı(r) bu değerlere göre %7,65 çıkmış ve enerji maliyet toplamı (PWF)'da 6,81 olarak bulunmuştur. Türkiye'de kullanılan yakıt malzemeleri çizelge 5.10'da görüldüğü gibi birim fiyat ve verimleri verilmiştir [6].

**Çizelge 5.10:** Türkiye'deki enerji yakıtlarının karşılaştırılması [6]

| Yakıt Cinsi | Isıl değer ( $H_u$ )         | Birim fiyat ( $M_{ykt}$ ) | Verim ( $\eta$ ) |
|-------------|------------------------------|---------------------------|------------------|
| Linyit      | 23027400 (J/kg)              | 0,203                     | 0,60             |
| Doğalgaz    | 34541100 (J/m <sup>3</sup> ) | 0,917                     | 0,90             |
| Fuel-oil    | 40611960 (J/kg)              | 1,385                     | 0,80             |
| Elektrik    | 3600648(J/KWh)               | 0,195                     | 0,99             |

Taş yünü malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı 0,040 W/mK olarak alınıp birim fiyatı ise 180,00 TL /m<sup>3</sup>; Cam yünü ısı iletkenlik değeri 0,040 W/mK, birim fiyatı 143,00 TL/m<sup>3</sup>; EPS ısı yalıtım malzemesi ısı iletkenlik değeri 0,035 W/mK, birim fiyatı 104,40 TL/m<sup>3</sup>; XPS ısı yalıtım malzemesi ısı iletkenlik değeri 0,031 W/mK, birim fiyatı 237,60 TL/m<sup>3</sup>'tür. Çalışmada uygu görülen yakıt kömür kullanılmıştır. En ucuz olan yakıt türü ve yalıtımsız yıllık ısıtma maliyetleri hesapladığında da en uygun olan bu yakıt türüdür. Optimum yalıtım kalınlığı hesabıyla duvarlardaki kalınlık değerleri hesaplanmış ve bu hesap verileri çizelge 5.11 'de yer almaktadır.

**Çizelge 5.11 :** Taş yünü, EPS, XPS, cam yünü yalıtım malzemeleri kullanılarak elde edilen hesaplar [6]

| Yalıtım Malzemesi | Dışarıdan Yalıtımlı Duvar      |                            |         | İçeriden Duvar                 |                            |         | Yalıtımlı Çift Duvar Arası Yalıtımlı Duvar |                            |         |
|-------------------|--------------------------------|----------------------------|---------|--------------------------------|----------------------------|---------|--------------------------------------------|----------------------------|---------|
|                   | $M_{T,y}$<br>TL/m <sup>2</sup> | $M_F$<br>TL/m <sup>2</sup> | GÖ<br>S | $M_{T,y}$<br>TL/m <sup>2</sup> | $M_F$<br>TL/m <sup>2</sup> | GÖ<br>S | $M_{T,y}$<br>TL/m <sup>2</sup>             | $M_F$<br>TL/m <sup>2</sup> | GÖ<br>S |
| EPS               | 18,15                          | 26,85                      | 1,6     | 17,78                          | 20,80                      | 1,85    | 17,97                                      | 23,63                      | 1,76    |
| XPS               | 24,39                          | 20,61                      | 2,2     | 23,63                          | 14,95                      | 2,6     | 23,99                                      | 17,61                      | 2,36    |
| Taş Yünü          | 24,14                          | 20,86                      | 2,15    | 23,38                          | 15,2                       | 2,5     | 23,77                                      | 17,83                      | 2,33    |
| Cam Yünü          | -                              | -                          | -       | 21,36                          | 17,22                      | 2,2     | 21,67                                      | 19,93                      | 2,08    |

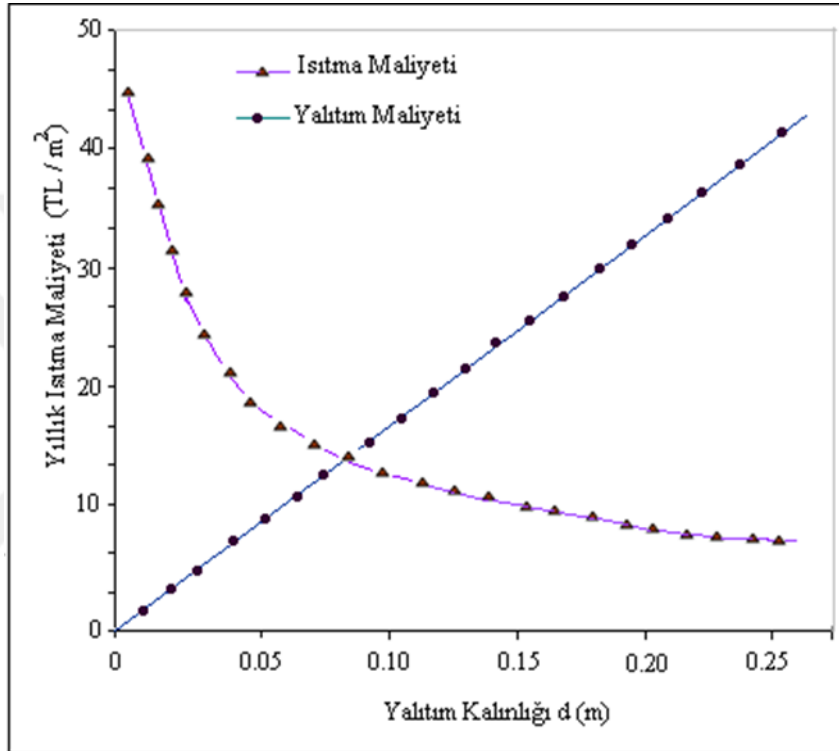
Uygulamadan önce ve sonra yapılan maliyet analizleri ile geri ödeme süreleri hesaplamaları ile elde edilen değerler çizelge 5.11’de gösterilmektedir. Buradaki  $M_{T,y}$  yalıtım yapıldıktan sonraki değerdir.  $M_F$  yıllık enerji hesaplamasıdır. GÖS ise geri ödeme hesabıdır [7]. Optimizasyon hesapları ile, farklı yakıt türleri ve ısı yalıtım malzemeleri ile en ekonomik ısı yalıtım uygulaması yapılması sağlanabilir. Yalıtım maliyetinin artışı olmaması için optimum yalıtım kalınlığı belirlenmelidir ve uygulanacak ısı yalıtım malzemesinin maliyet analizleri yapılmalıdır.

Yapılan hesaplar ile Fuel oil ile dışardan yalıtım ile yıllık ısıtma maliyeti 130,58 TL/m<sup>2</sup>, içeriden olduğunda 111,95 TL/m<sup>2</sup>, çift duvar ile 120,72 TL/m<sup>2</sup>; doğalgaz yakıt türü kullanıldığında dışarıdan uygulanan ısı yalıtma ile yıllık ısıtma maliyeti 90,36 TL/m<sup>2</sup>, içeriden olduğunda 77,47 TL/m<sup>2</sup>, çift duvar arası 83,54 TL/m<sup>2</sup>; enerji türü olarak elektrik kullanıldığında ise dışarıdan yalıtımla yıllık ısıtma maliyeti 167,57 TL/m<sup>2</sup>, içeriden 143,66 TL/m<sup>2</sup>, çift duvar arası 154,92 TL/m<sup>2</sup>, olarak bulunmuştur [6]. İçeriden yapılan yalıtım uygulamaları ile yıllık ısıtma maliyetleri daha azdır.

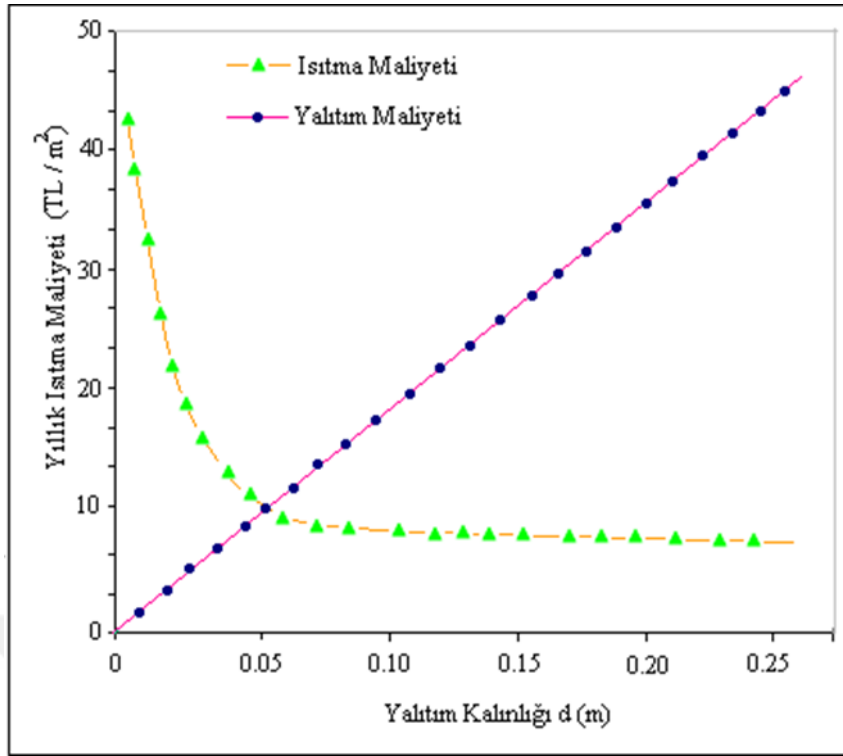
**Çizelge 5.12:** Farklı ısı yalıtım malzemeleri ile farklı yakıt çeşitlerinin eşdeğer kömür fiyatına ( $F_{ek}$ ) oranları [6]

| Yalıtım Çeşitleri                |    | Doğalgaz |       |          | Elektrik |       |          | Fuel Oil |       |          |
|----------------------------------|----|----------|-------|----------|----------|-------|----------|----------|-------|----------|
|                                  |    | d        | $M_F$ | $F_{ek}$ | d        | $M_F$ | $F_{ek}$ | d        | $M_F$ | $F_{ek}$ |
| Dışarıdan Yalıtımlı Duvar        | EP | 11,      | 75,   | 0,36     | 16,      | 147,0 | 0,18     | 14,      | 112,6 | 0,24     |
|                                  | S  | 0        | 1     | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ |
|                                  | XP | 6,7      | 69,   | 0,29     | 9,8      | 139,4 | 0,15     | 8,4      | 105,7 | 0,19     |
|                                  | S  | 0        | 7     | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ |
|                                  | TY | 8,7      | 69,   | 0,29     | 13,      | 140,0 | 0,15     | 10,      | 104,1 | 0,20     |
| İçeriden Yalıtımlı Duvar         |    | 0        | 8     | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ |
|                                  | EP | 11,      | 62,   | 0,33     | 16,      | 123,6 | 0,17     | 14,      | 94,42 | 0,22     |
|                                  | S  | 0        | 6     | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ |
|                                  | XP | 6,3      | 56,   | 0,26     | 9,5      | 115,6 | 0,13     | 7,6      | 85,88 | 0,17     |
|                                  | S  | 0        | 7     | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ |
| Çift Duvar Arası Yalıtımlı Duvar | TY | 8,3      | 57,   | 0,26     | 12,      | 115,1 | 0,13     | 10,      | 86,28 | 0,17     |
|                                  |    | 0        | 0     | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ |
|                                  | CY | 9,7      | 59,   | 0,29     | 14,      | 118,5 | 0,14     | 12,      | 89,73 | 0,19     |
|                                  |    | 0        | 3     | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ |
|                                  | EP | 11,      | 68,   | 0,34     | 16,      | 134,6 | 0,17     | 14,      | 102,9 | 0,23     |
|                                  | S  | 0        | 5     | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ |
|                                  | XP | 6,5      | 62,   | 0,28     | 9,6      | 126,7 | 0,14     | 7,8      | 94,65 | 0,18     |
|                                  | S  | 0        | 8     | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ |
|                                  | TY | 8,5      | 63,   | 0,28     | 12,      | 126,0 | 0,14     | 10,      | 94,65 | 0,19     |
|                                  |    | 0        | 0     | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ |
|                                  | CY | 9,9      | 65,   | 0,30     | 14,      | 129,4 | 0,15     | 12,      | 98,17 | 0,20     |
|                                  |    | 0        | 3     | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ | 0        |       | $F_{ek}$ |

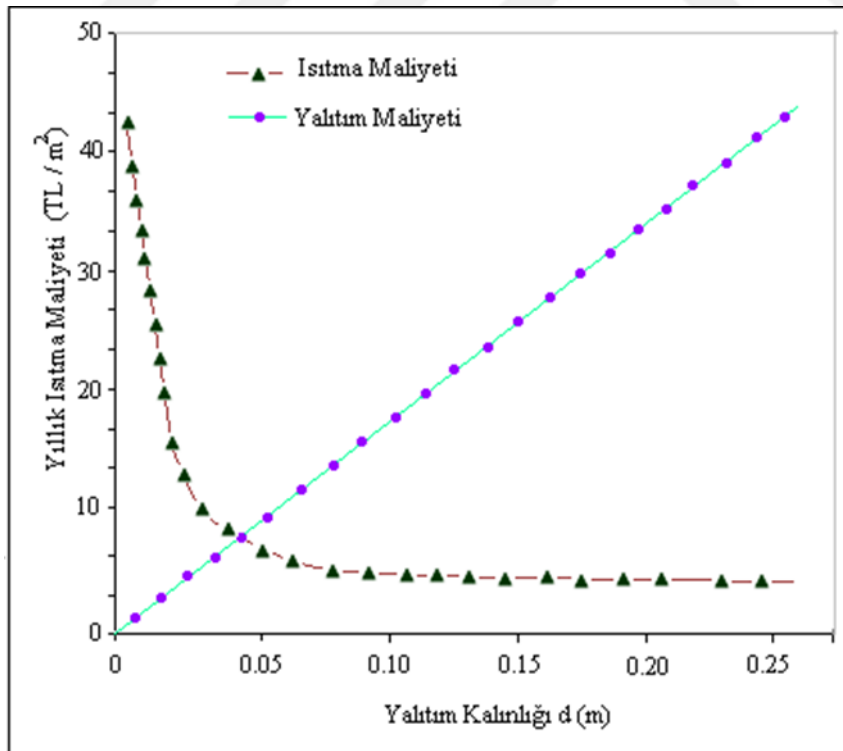
Çizelge 5.12'deki değerlere bakıldığında bina kendi masraflarını nasıl karşılayabileceği hesaplanmıştır. Aynı zamanda yapıştırıcı, işçilik gibi faktörler eklenerek toplam değerler hesaplanır. Yalıtım kalınlığı artmasıyla beraber maliyetlerde artacağından iklime, malzemenin özellikleri gibi etmenler baza alınarak kalınlık belirlenmelidir. Kalınlık ile yıllık ısıtma maliyetlerini hesaplamak önemlidir Konvansiyonel ısı yalıtım malzemelerinin kalınlık artışı ile yıllık ısıtma maliyetlerinde düşüşü şekil 5.18, 5.19 ve 5.20'de gösterilmiştir.



**Şekil 5.18:** EPS'nin kalınlık ile ısıtma maliyetlerine etkisi [6]



Şekil 5.19: Taş yününün yalıtım kalınlığının yıllık ısıtma maliyeti üzerine etkisi [6]



Şekil 5.20: XPS'in kalınlık ile ısıtma maliyetlerine etkisi [6]

Kullanılacak olan ısıtma türü de yalıtım kalınlığını etkilemektedir. Enerji tasarrufu sağlayabilmek için doğru şekilde optimum kalınlık belirlenirse maliyetlerde de azalma olur (5.19). Bu değerlere göre yapılan hesaplarda %43 oranında enerji tasarrufu sağlamıştır. Yalıtımlı ve yalıtımsız olarak hesaplanan maliyet analizleri sonucunda kullanılan yakıt türlerine göre maliyet oranları hesaplanabilir. Yalıtımlı bir binada yakıt türü olarak elektrik kullanıldığında maksimum değer elde edilirken doğalgaz ile minimum değer gösterdiği saptanmıştır. Hesaplamalar doğrultusunda yakıt türleri ile ısı yalıtım malzemeleri karşılaştırılmasında EPS'nin daha ucuz olduğu görülmüştür.

**Çizelge 5.13:** birim yüzey için yalıtımlı yıllık toplam maliyet sonuçları

| Yakıt Türü | Dışarıdan Yalıtımlı |         |        | İçeriden yalıtımlı |         |      |        | Çift Duvar Arası Yalıtımlı |         |       |        |
|------------|---------------------|---------|--------|--------------------|---------|------|--------|----------------------------|---------|-------|--------|
|            | EP<br>S             | XP<br>S | T<br>Y | EP<br>S            | XP<br>S | TY   | C<br>Y | EP<br>S                    | XP<br>S | TY    | C<br>Y |
| Kömür      | 18,1                | 24,4    | 24,1   | 17,8               | 23,6    | 23,4 | 21,4   | 17,9                       | 23,9    | 23,7  | 21,6   |
| Doğalgaz   | 15,3                | 20,6    | 20,5   | 14,8               | 20,8    | 20,5 | 18,2   | 15,0                       | 20,7    | 20,5  | 18,2   |
| Fuel-Oil   | 17,9                | 24,9    | 26,5   | 17,5               | 26,1    | 25,7 | 22,2   | 17,7                       | 26,1    | 26,01 | 22,5   |
| Elektrik   | 20,5                | 28,2    | 27,5   | 20,1               | 28,1    | 28,5 | 25,2   | 20,3                       | 28,2    | 28,9  | 25,5   |

Maliyet analizleri ile daha uygun olan, geri ödeme süreleri çabuk olan, ısı yalıtım uygulaması ile elde edilen tasarruf ile kullanıcı ve ülke ekonomisine kazanç olur.

Geri ödeme süresi hesabı ile kaç yıl içerisinde yapılan yatırımı karşılayacağını ifade eder. Yatırımın geri ödeme süresi tahmininde 2,5-3 yıl olur. Geri ödeme süresinin uzun vadede tutulmaması, faiz oranlarının değişkenliğinden dolayı yapılan yatırımı riske sokmaz [21].

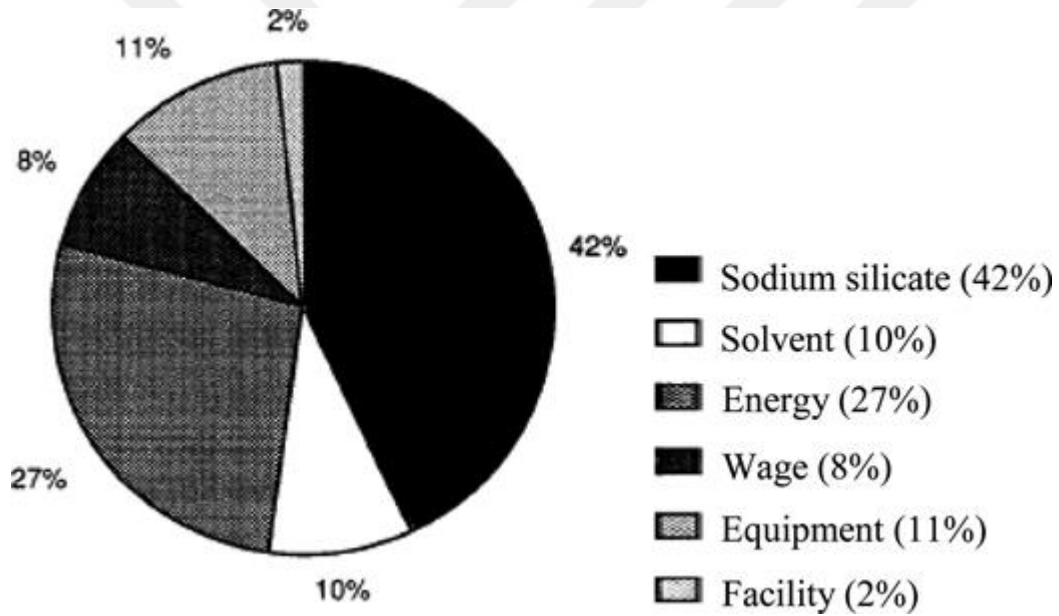
Taş yünü malzemesinin günümüzdeki diğer kullanılan EPS yalıtım malzemesiyle oluşturulmuş 1 mm kalınlığındaki malzemelerin fiyat aralığı aşağıdaki çizelge 5.14 'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.14:** EPS ve taş yünü ısı yalıtım malzemeleri

| EPS                                                       | TAŞ YÜNÜ                                                     |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Eps'nin 1 m <sup>2</sup> başına fiyatı 8,33 £             | Taş yününün 1 m <sup>2</sup> başına fiyatı 14,58£            |
| Eps'nin 1 m <sup>2</sup> başına yapıştırıcı fiyatı 3,13 £ | Taş yününün 1 m <sup>2</sup> başına yapıştırıcı fiyatı 3,63£ |

Konvansiyonel ısı yalıtım malzemeleri nanoteknolojik ısı yalıtım malzemelerine bakıldığında daha çok üretimi yapılmaktadır. Çünkü ayrılmış olan bütçeye ve

maliyetlerine oranla yeni çıkan malzemelere göre daha uygundur. Aerojel ısı yalıtım malzemesi de günümüzde gitgide uygulamalarda artan bir malzemedir. Avrupa’da nanoteknoloji adına yatırımlar oldukça fazladır (Ek\_A1). Aerojeller geniş uygulama alanlarına sahiptir. Yüksek maliyet, pazar rekabeti nedeniyle sınırlı kalmıştır (5.21). Küçük ölçekli olsa da ısı yalıtım malzemeleri üretilmeye başlanmıştır. Süper kritik kurutma yapılması üretim maliyetini yükseltmektedir. Ortam basıncına göre kurutma işlemi süper kritik kurutmaya nazaran daha ekonomiktir. Isı yalıtım malzemesi olarak kullanılan aerojel battaniyesinin 1 cm’lik birim fiyatı 35 £ olarak hesaplanmıştır [25]. Kore hükümetinin desteklediği bir proje ile de aerojel yalıtım ürünü tek aşamalı olarak basitleştirilmiş şekilde üretme olanağı bulunmuştur ve maliyetini biraz da olsa azaltmıştır [20].



**Şekil 5.21:** Aerojel malzemesinin maliyet dağılımı [39]

Bir endüstride yapılmış olan aerojel yalıtım uygulamasında ısı iletim katsayısı 0.013 W/Mk olarak alınmıştır. Isı taşınım katsayısı 20 W/m<sup>2</sup>K olarak alınmıştır. Ortam sıcaklığı ise deney sırasında 31 °C olarak ölçülmüştür.

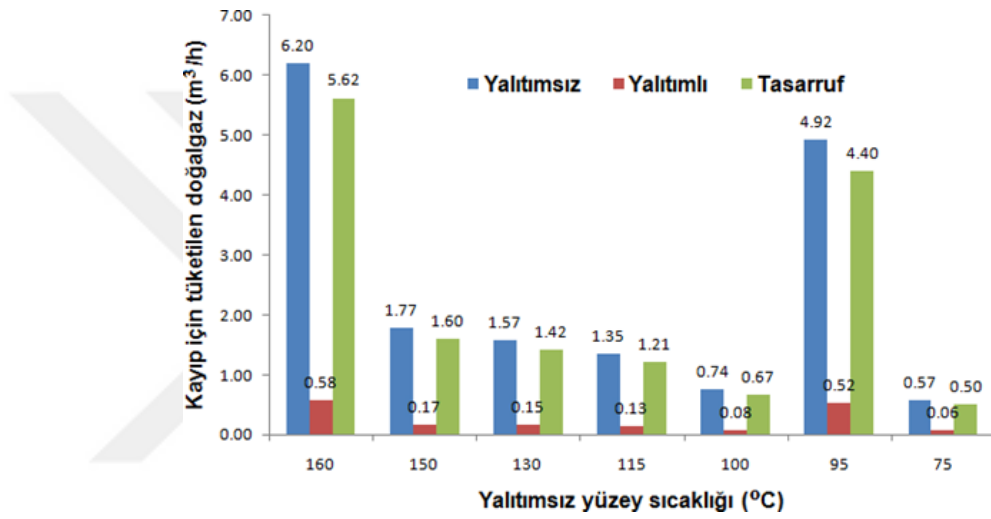
**Çizelge 5.15:** Maliyet analizinde ki veriler [47]

|                              |                            |
|------------------------------|----------------------------|
| Toplam çalışma süresi        | 300 iş günü/yıl 7200 h/yıl |
| Doğalgazın ısıl enerjisi     | 8250 kcal/h-m <sup>3</sup> |
| Yakma verimi                 | %90                        |
| Doğalgazın net ısıl enerjisi | 8.64 kW/m <sup>3</sup>     |
| Doğalgazın fiyatı            | 0.74 TL/m <sup>3</sup>     |



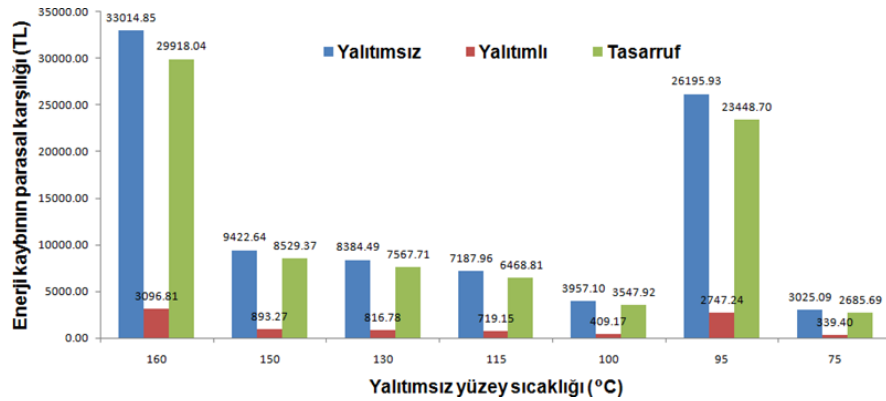
Yalıtım uygulanmamış tesisat boruları (Ek\_B2) farklı sıcaklıklarda olup yalıtımlı ve yalıtımsız halleri karşılaştırılmıştır. 10 mm kalınlığında aerojel ısı yalıtım malzemesi ile oluşan ısı kaybı %90'a kadar azalmıştır (5.22). Yalıtım yapılması durumunda harcanan doğalgaz masrafı %10'a kadar azalmıştır [24].

Isı yalıtımının olmadığı zaman toplam enerji kaydı 91.188,06 TL/yıl iken aerojel ısı yalıtımının yapılmasıyla bu miktar 82.166,24 TL/yıl olmuştur. Toplam yalıtım maliyeti 35.272,68 TL iken geri ödeme miktarı da 0.43 olmuştur. Özellikle yüksek sıcaklıkta kullanılanlara yalıtım yapılmasıyla kazanç daha da artmıştır [43].



Şekil 5.22: Yalıtımsız boru, yalıtımlı boru ve bunlardan elde edilen tasarruf [24]

Yüzey ısıları farklı olan tesisat elemanlarının maliyet açısından sağladığı tasarruf oldukça fazladır. Şekil 5.23'te enerji kaybının parasal karşılığı ile yüzey sıcaklıkları karşılaştırılmıştır. Isı yalıtımı uygulanmış borular hem enerji hem de maddi açıdan tasarruf sağlar.



Şekil 5.23: Yalıtımsız boru, yalıtımlı boru ve elde edilen tasarrufun maliyeti [24]

Aerojel ısı yalıtım malzemelerinin pahalı olması vakum yalıtım panellerini de etkilemektedir. Bu panellerin içerisine silika konduğu zaman yüksek performans göstermesinin yanında maliyetleri de oldukça fazladır. Kullanılan konvansiyonel ısı yalıtım malzemeleri gelişmiş ısı yalıtım malzemelerine oranla daha ekonomiktirler. Aşağıdaki çizelge de ısı yalıtım malzemeleri ile maliyet oranları belirtilmiştir.

**Çizelge 5.16:** ısı yalıtım malzemelerinin, kalınlık ve birim fiyat değerleri [9]

| Yalıtım Malzemesi | (mW/m.K) | d (mm) | Reş (m2K/mW) | Birim Fiyat[1] (€/m2) | Maliyet [2] (€/m2) |
|-------------------|----------|--------|--------------|-----------------------|--------------------|
| VYP <sub>FS</sub> | 5        | 25.00  | 5.000        | 50                    | 60.00              |
| VYP <sub>AJ</sub> | 4.5      | 22.50  | 5.000        | 150                   | 135.00             |
| XPS               | 35       | 175.00 | 5.000        | 2.2                   | 15.40              |
| Taşyünü           | 40       | 200.00 | 5.000        | 6.7                   | 53.60              |
| Perlit            | 67       | 225.00 | 5.000        | 1.6                   | 21.44              |

Vakum yalıtım panellerinin içerisine silika aerogeller konulduğunda maliyetin yükseldiği görülmektedir. 2 cm kalınlığında olan taş yünü birim fiyatına yakın gösteren VYP<sub>FS</sub>, kesit kısıtlaması olan uygulamalarda nispeten daha ekonomiktir. Geleneksel malzemelere bakıldığında taş yünü ısı yalıtım malzemesi XPS'e göre daha pahalı olduğu görülmektedir.

## 5.5 Performans Gereksinimleri Açısından

Isı yalıtım malzemeleri performans açısından değerlendirilmesi aslında gerçekte istenilen standartların oluşturulmasıdır. Isı yalıtımın sağlanması yangına dayanıklılık, enerji ve maliyet açısından tasarruflu olması, montajının sorunsuz bir şekilde ve hızlı olması, akustik açıdan ses yalıtımının yapılabilmesi, malzemenin fiziksel özellikleri gibi bir sürü etken sayılabilir. Ses yalıtımı malzemesi olarak kullanılacağı zaman içerisine köpük ilave edilerek taş yünü keçeler yapılır ve oldukça yüksek performans gösterir. Sesi içerisinde absorbe ederek çok az sesi yansıtır. Bir yalıtım malzemesinden tam olarak verim alınabilmesi için uygulamaların tam olarak, eksiksiz bir şekilde yapılması önemlidir.

Malzemenin ısı performansını arttırma adına yapının güneşe karşı konumu ısı kazanç sağlama adına önemlidir. Uygulanacak olan ısı yalıtım malzemesinin ısı köprüsü oluşturmaması gerekir. Çünkü ısı köprüleri ile tüketilen enerji artar, iç ortam şartlarını da olumsuz etkiler. Bunun gibi etkilerinin olmaması için, ısı

yalıtım sistemi iyi uygulanmış olması, binanın her yerini sarması, yeterli kalınlıkta olması gerekir. sıcaklık değişimleri ihtimali karşı da önlemler alınmalıdır. Bölgeledeki sıcaklık farklarından dolayı her malzeme aynı standartlarda uygulanmaz. Malzemelerin sıcaklık ile genleşme ve büzülme oranları birbirinden farklıdır. Bu gibi etkilerden dolayı yapının dışında uygulanan ısı yalıtımlarında sıva ve boyalarda çatlamalar meydana gelir. Çatlamaların önlenmesi adına uygulanan sıva fileleri oluşabilecek gerilmeleri azaltır.

Konvansiyonel malzeme olan taş yünü ısı yalıtım malzemesi uygulanmış bir yapıda çevresel etkilere maruz kalmasıyla deforme olmuştur (5.24). Taş yünü her ne kadar neme karşı dayanıklı olsa da direk suya maruz kaldığında lifli yapısı zarar görür. Eğer yapılarda işleme ara verilecekse önlemler alınması şarttır. Yoksa istenilen performansları sağlayamaz ve deforme olduğu için enerji ve ısı korunumu yönüyle verim almak çok azdır [30].

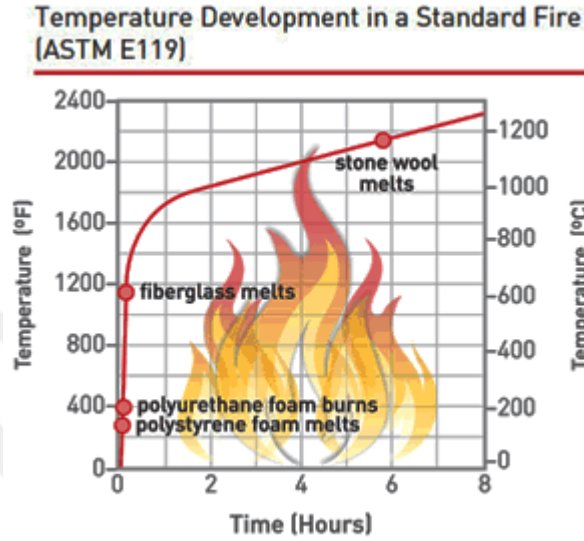


**Şekil 5.24:** Deforme olan taş yünü yalıtım malzemesi [30]

XPS, EPS ısı yalıtım malzemeleri ısı iletkenlik katsayıları yönüyle taş yününe göre daha düşüktür. EPS, neme ve rutubete dayanıklıdır ve kullanıldıkları süre boyunca ilk günkü gibi performans gösterirler. XPS'e göre daha ekonomiktir. XPS ısı yalıtım malzemesinin basma mukavemetinin yüksek olması dayanıklılığını artırır. EPS, XPS uygulama yönüyle de oldukça basittir.

Taş yünü ısı yalıtım malzemesi diğer geleneksel malzemelere göre değerlendirildiğinde özellikle yangın yalıtımında etkili performans

göstermektedir. Yanmaz bir malzeme olması önemli bir etken olmasına karşın kaplama malzemeleriyle birleştğinde sıcaklık dayanımı düşmektedir. Uygun malzemelerle kullanılmasıyla yüksek sıcaklıklara dayanabilmektedir. Örneğin yapılan köpük yalıtımlarda yangın dayanımına fazla dayanıklı değildirler ve hızla yayılıp bir bariyer oluşturmazlar (5.25) [8].



**Şekil 5.25:** Taş yünü ısı yalıtım malzemesi ve spreli poliüretan köpüğün sıcaklık karşısındaki dirençleri [8]

Malzeme özellikleri olan boyutsal kararlılık, neme ve rutubete dayanıklı olmaları, ısı iletkenlik katsayısı, kimyasal maddelere karşı dayanımı, kullanılabilir alan genişliği, gözenek yapısı, yoğunluk gibi özelliklerine bakılarak değerlendirme yapmak gerekir. Bu konuda en iyi örneği aerojel de görmemiz mümkündür. Isı yalıtım konusunda oldukça yüksek performans gösterir. Düşük yoğunlukta olması, nano ölçekte gözeneklere sahip olması, düşük ısı iletkenlik katsayısı, içinde nem barındırmama, yüksek sıcaklıklara dayanıklı olması, basma mukavemetinin yüksek olması, içinde rutubete ve mikroorganizmalara yer vermemesi, son derece kullanışlı ve ekolojik bir malzeme olması gibi bir sürü özellik sayılabilir. Özellikleri günden güne değişmekte olan aerojel, farklı bileşiklerle sentezlenmesi sonucunda hem fiziksel özellikleri hem de kimyasal özellikleri değiştirilebilir. Örneğin; karbon aerojelle grafen eklenerek elektrokimyasal özelliklerinin gösterdiği performans artırılabilir. Kullanım alanının geniş olması aerojelden beklenen verimde o derece yüksektir. Örneğin; cam kullanılan bir yapıda yarı saydam aerojel malzemesinden yapılmış membranlar kullanılırsa daha hafif ve taşıyıcıya da o

derece daha az yük binmiş olur. Karbondioksit salınımının az olması, parçalansa bile sadece ortaya kumun çıkması, çevreye bir atık bırakmaması, geri dönüşümlü olması, enerji tasarrufu sağlaması gibi doğaya ve çevreye gösterdiği performansta oldukça iyidir. ısı yalıtımında tercih edildiğinde güneşin zararlı ışınlarına karşı koruması ve elektrik enerjisi üretmesi enerji tasarrufu yapmaktadır.

Vakum yalıtım panelleri ısı performansları açısından oldukça iyidir. Daha az kalınlıkta düşük ısı iletkenlik değeri ile istenilen performansı gösterirler. Maliyet açısından pahalı olması yönüyle vakum yalıtım panelleri ve aerogeller fazla kullanılmamaktadır.

Vakum yalıtım panelleri vakumlu oldukları süre boyunca işlevlerini yerine getirirler . Enerji tüketiminin fazla olduğu yerlerde kullanılır [9]. Çekirdek kısmında silika ve silika aerogellerin kullanılması ısı iletkenliğini daha da düşürür. Daha yüksek R değerleri ile nanoteknolojik ürünlerin kullanılması ısı yalıtımında yüksek performans sağlar.

Dış çevre koşullarına dayanıklı, yıpranmaya karşı dayanıklı üretilen aerogel malzemesinden yapılmış bir yapıda hem performans açısından iyi olup hem de sürdürülebilirlik konusunda bakım, onarım gibi masraflarının da içinde olduğu yaşam dönemi maliyetinde bir düşüş olur [14]. Uygulandığı yerlerde performans ölçme ve test etme sonrasında LEED sertifikasını verirler. Örneğin bu belgenin alındığı bir ABD’de Augusta da bulunan bir süpermarket aydınlatma da aerogel malzemesini kullanmış ve Wasco Lumira aerogel termal paneller geliştirilmiştir (5.26).



**Şekil 5.26:** Süpermarket, Augusta, Maine, ABD [14]

Ses yalıtımında %70'e varan, ısı kaybında da %61-71 arasında düşüş olduğu görülmüştür. Suya dayanıklı olması yönü artı bir avantaj sağlamıştır. Güneş ışığı kazanımı sağlamak adına çatı penceresi olarak yapılmıştır. Aynı zamanda ürünlerin tazeliğini koruması ve farklı renkler oluşturmaması açısından son derece verimli bir tasarlamışlardır [14].

Malzemenin sıcaklık dayanımı da oldukça yüksektir. Örneğin aerogel malzemesi uzay araçlarında kullanılmaktadır. Yani hem uzay aracı ateşlemesine hem de uzay ortamına dayanan bir maddedir. Bu da yüksek sıcaklıklara dayandığının bir göstergesidir. Isı iletkenlik değerini ölçmek için vakum yalıtım iletkenlik test cihazlar geliştirmişlerdir. Isı iletkenliğini en aza indirmek için üç çeşit mevcuttur. Bunlar; katı bileşenini en aza indirme, gaz bileşenini en aza indirme, radyal bileşenini en aza indirme şeklinde sıralanabilir. Silika Aerojellerin katı yapısının ısı iletkenliğini azaltmak için yapılacak çok şey yoktur. Daha düşük yoğunlukta aerojellerinin katı miktarını azaltabiliriz fakat mekanik özelliklerinde zayıflamaya neden olabilir. İçerisindeki katı miktarı azaldıkça ortalama gözenek çapında artış gözükür buda ısı yalıtım uygulamaları için uygun olmadığının göstergesidir. Gaz bileşeninin en aza indirme en çok kullanılandır. Aerojelin gözenek çapı, sabit sıcaklık ve basınçta azot moleküllerinin büyüklüğüne benzerdir. Aerojelin gözenek yapısı daha büyük olsaydı direk gazda bulunan ısı iletkenlik değeri aerojele aktarılabilirdi. Gözenek yapısı, hava molekülünün gözenek çapını azaltarak, hava basıncın

içindeki basıncı azaltarak, havadan daha düşük bir kütleye sahip bir gazla doldurarak değiştirilebilir. Aerojel daha düşük bir kütleye sahip bir gazla doldurarak değiştirilebilir. Aerojel hazırlanırken iki aşamalı olarak hazırlanır. Gaz basıncını azaltarak aerojeller de gözenek çapına ve gazın serbest yolunu arttıracak şekilde vakumlanmalıdır [46].

Radyal bileşenini en aza indirme kullanılacak radyatif bileşeninin özellikleri önemlidir. Aerojelin üretimi sırasında kurutma sırasında seçilen malzeme eklenir ve özelliği değiştirilebilir. Aynı zamanda uygulama sırasında Kızılötesi radyasyonuna maruz kalındığı için bu malzeme kızılötesini ya absorbe etmeli ya da yansıtmalıdır. Karbon bu yönden umut vaat eden malzemedir. Karbon eklenmiş aerojel uygun basınç ortamında ısı iletkenlik katsayısı da düşmektedir [46].

Kullanımı son on yılda oldukça artan aerojel malzemesi, gerekli yatırımlar doğrultusunda maliyetinin düşmesiyle daha sık karşımıza çıkacağı gözüküyor. Kaynak korunumu sağlama, anti bakteriyel olması, hidrofobik olması, kolay uygulanabilme, malzemenin nefes alması, kullanımı doğrultusundan alandan tasarruf sağlaması gibi daha çok özellikleri sıralanabilir. Taş yünü malzemesi ise istenilen parametrelere belli oranda yanıt verse de aerojel kadar fonksiyonel ve verim açısından yüksek değildir.

## **5.6 Hava kirliliği, Isıl Konfor, İnsan Sağlığına Etkileri Açısından**

Dünyada en önemli konular arasına giren sürdürülebilir ve ekolojik ürünlerdir. Bu malzemeler geri dönüştürülebilen, karbondioksit salınımı az yapan, yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan, çevreye vereceği zararı çok az olan ürünlerdir. Fosil yakıtların kullanılması ile büyük oranda karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) ve kükürt dioksit ( $\text{SO}_2$ ) gazları ortaya çıkar ve bunlar hava kirliliğine sebep olur. Sera etkisi yaratarak dünyada meydana gelen sıcaklık artışına sebep olmaktadır. Asit yağmurlarındaki meydana gelen artışta bu gazlardan dolayı olmaktadır. Hava kirliliği puslu bir görüntü yaratması ve salınan gazlardan dolayı insanlara etki etmesi psikolojik olarak rahatsızlıklara yol açmaktadır. Sağlık konularında da gündeme gelen hava kirliliği her şekilde insanları kötü olarak etkilemektedir. Bronşit, kalp-damar hastalıkları, göğüs hastalıkları gibi birçok hastalığın çıkmasındaki etmen özellikle kentlerde görülen hava

kirliliğidir. Binalarda tüketilen enerji ile hava kirliliğini %21 oranında etkilemektedir. Bunun yanında gürültü de insanda istenmeyen durumlar yaratabiliyor. Bunun için yapılarda ses seviyesini sabit tutma adına kullanışlı mekanlar yaratmak mümkündür. Katlar arası ve bitişik nizamlarda uygulanacak ses yalıtımlarıyla kullanıcı konforu sağlanmış olur. Nem, rutubet gibi diğer konularda ısı yalıtımı uygulanarak insan sağlığını tehdit eden faktörler ortadan kalkmış olur. Binalarda önemli olan ısı konfor iç ortamlarda 20 °C'nin altına düşmemelidir. İç mekan duvar yüzeyini ortam sıcaklığına yakın tutmak ısı yalıtım malzemeleri kullanılarak sağlanabilir. Günümüzde en çok dikkat edilen konulardan olan ekolojik malzeme ve yüksek performans göstermesi bu açılardan da önemlidir [21]. Kullanıcılara ısı konfor sunulduğu takdirde çalışma verimliliği sağlanır.

Isı yalıtım malzemelerini kullanırken geri dönüşümünü, küresel ısınmaya olan katkısı gibi faktörlere bakılması gerekir. Yalıtım malzemesi üretirken kullanılan su miktarı, bileşikler, doğal kaynak kullanımı, asit miktarı, ötrofikasyon oranı, yakıt kullanımı gibi istenmeyen durumlar söz konusudur. Örneğin; taş yünü ısı yalıtım malzemesi içerisinde cüruf denilen madde belli oranda geri dönüştürülebiliyor. Fonksiyonlarını daha iyi hale getirebilmek için ısı yalıtım malzemelerinin içerisine başka maddeler katılmasıyla üretimleri sırasında doğaya zarar verebilmektedirler. Bor oksit gibi maddelerin özellikle yanmazlık açısından kullanılan malzeme olmasına karşın çevreye vereceği zararı da düşünerek üretim yapmak gerekir [11]. Kullanılan ürünlerin tüm yaşam döngüleri boyunca verdiği hizmet ve süreçlerin değerlendirilmesini performans açısından değerlendirilir. Aynı zamanda geri dönüşüm, sürdürülebilirlik, ekolojik olup olmaması yaşam döngüsünü irdelerken önemlidir. Örneğin; yapılmış bir inceleme doğrultusunda poliüretan panel ile taş yünü panelleri kıyaslanmıştır. Burada çevresel performansını incelerken geri dönüşüm, karbondioksit salınımına, küresel ısınma gibi konulara değinilmiştir. Taş yünü malzemenin üretim aşamasındaki karbondioksit salınım miktarına bakılarak 37,60 kg iken bertaraf ise 0,7 kg karbondioksit olarak hesaplanmış ve -17,6 kg karbondioksit geri dönüşüm sırasında hesaplanmıştır. Bu değer çevre ve küresel ısınma açısından iyi bir değerdir. Aynı hesaplamalar poliüretan için yapılmış ve geri dönüşüm miktarı -13,7 kg çıkmıştır. Fakat üretim aşamasında elde edilen



geri dönüşüm değerleri ise taş yünün -128 MJ, poliüretanın ise -185 MJ olduğu görülmektedir [8]. Bu verilere istinaden kaynak tüketimi açısından taş yünü malzemesi çevre dostu değildir. Fotokimyasal oksidasyonu, ötrofikasyon potansiyeli, küresel ısınma, kaynak tüketimi vb. parametrelerini çevresel etkileri mevcuttur. Bir malzemeyi değerlendirirken barındırdığı tüm içeriklerine bakılmalıdır.

Son yıllarda teşvik amacıyla belli yasalar ortaya çıkmıştır. Doğal malzeme kullanılarak üretim yapılması ve atıklarında tekrardan geri dönüştürülen birer ürün haline getirilmesi amaçlanmıştır. Giderek azalan fosil yakıtların azalması ile kullanılan enerjinin de daha az sarfiyatı gerekir. Eğer ekolojik açıdan yalıtım malzemesi seçmek istiyorsak hiyerarşik yapıyı, amacı, kriter ve alternatifleri göz önüne alarak seçim yapılmalıdır. Seçilen malzemenin özelliklerini de hesaba katılmalıdır. İlk olarak ısı yalıtım malzemesi olarak seçilen malzeme tam olarak işlevini görmelidir. Kalınlığı az olan malzeme kullanımı ile binaya yük bindirmeyip, yüksek ısıl dirençle üretildiğinde de daha az kalınlıkta ürün çıkışı olacaktır. Böylelikle kullanılan malzeme oranında azalma olur [11]. Taş yününün %96'lık kısmı doğal taşlardan üretimi olması ile herhangi bir yaşlanma ya da bozulmaya uğramaz. Üretimi esnasında %4 oranında organik bağlayıcılar eklenmesi geriye kalan malzemenin doğal taştan oluşması ekolojik bir malzeme olduğunun kanıtıdır. İç mekan ısını optimum düzeyde tutar.

Aerojel malzemesi üretildikten sonra parçalara ayrılrsa bile sadece kumun ortaya çıkması çevreye bir zararı olmadığını göstergesidir. Yapılarda ısı kazancı sağlaması yanında, nem, rutubet, küf gibi oluşumlara izin verme. Güneş enerjisinden faydalanarak elektrik enerjisinden tasarruf edilebilir, yaşlanmaya ve darbelere karşı dayanıklıdır. Akustik açıdan uygulamalar da oldukça iyi sonuç vermektedir. Vakumlu yalıtım panellerinin üretiminde daha az enerji harcanması ve kullanılan malzemelerin geri dönüşebilen malzemeler olması ekolojik açıdan önemlidir. Isıl konfor konusunda seramik katkılı boyalar, vakumlu yalıtım panelleri, aerogeller oldukça iyidir. Düşük ısı iletkenlik değerleri vardır. İnsan sağlığını tehdit edecek herhangi bir gaz salınımı yapmazlar. Çevre dostu malzemelerdir.

Cam yünü ısı yalıtım malzemesi üretimi sırasında toz ve partiküllerin etrafa saçılmasından dolayı deri, gırtlak hastalıkları gibi rahatsızlıkları gösterdiği görülmüştür. Alman ve Kanada hükümeti tarafından yapılan açıklamalar kanserojen etkisi olmadığı belirtilse de çalışan 30 yıllık işçilerde %25'inde akciğer kanserine yakalanmışlardır. Üretim tesislerinde önlemler alınması şarttır. Asit yağmuruna sebep olabilirler, toprak kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir, geri dönüşüme uygun malzeme değildir. XPS ısı yalıtım malzemesinde kullanılan HFC gazları küresel ısınmaya sebep olurlar. EPS'nin üretimi sırasında enerji kullanımı fazladır. Plastik üretiminde yağ kullanımı olduğu için bu rezervlerin sadece 40 yıl daha kullanılabileceği gibi araştırmalar yapılmıştır. Aynı zamanda fotokimyasal aşındırıcıların oluşmasına neden olurlar. Yangın halinde de çıkan karbon monoksit ve karbondioksit gazları sağlık açısından tehdiye neden olurlar [37]. EPS, XPS gibi ısı yalıtım malzemeleri ısı konfor sağlasalar da hava kirliliği ve insan sağlığına etkileri yönünden ekolojik yalıtım malzemeleri değildir.

Geliştirilen nanoteknolojik uygulamalar ile havayı temizleyebilme, kendi kendini temizleyebilme gibi farklı bileşikler katılmasıyla bu özellikler kazandırılabilir. İç mekan sıcaklığını optimum değerde tutar ve havaya gaz salınımı da azaltır. Aerojel gibi yüksek performanslı ısı yalıtım malzemeleri kullanıcılara rahat konforlu mekanlar sunar.

## **5.7 Binalara Kazandırdıkları Özellikleri Açısından Değerlendirmesi**

Yapıların insanlar açısından temel gereksinimleri karşılayabilmesi temel amacı iken artık daha iyi şartlarda olan kullanıcı konforunu maximuma çeken yapılar karşımıza çıkmaktadır. Günden güne gelişen teknolojilerle yapılan yapılar ilgi odağı olmaya başlamıştır. En çok önemsenen konular arasında da ısı konfor, iç hava kalitesi başta gelmektedir. Yapıların inşasından yıkımına kadar geçen süreçte enerji tüketimi oldukça fazladır. Bu enerji tüketimini de en aza indirmek için ısı yalıtım malzemeleri kullanılması gerekir. Olmadığı takdirde farklı alternatiflerle sağlanan pasif sistem ısıtıcı ve soğutucular enerji kaybına ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu yüzden ısı yalıtım malzemeleri kullanılarak hem verim hem de tasarruf elde edilir.

Binaların bulunduğu iklimlere göre yapılan ısı yalıtım uygulamalarında ısı geçirgenlik katsayısına ısı iletkenlik katsayısına, mantolama kalınlığına bakılarak uygulamalar yapılmalıdır. Gereksiz yere fazla kalınlıkta yapılan mantolama uygulanırsa hammadde tüketimi gerçekleşir ve gereksiz maliyetlere sebep olur. TS 825 Standardına göre yapılması belli konuları içerir [35];

- Yeterli ısı geçirgenlik katsayısına(U) sahip değilse ısı yalıtım malzemesi uygulanmalıdır. Isı iletkenlik katsayısı 0,065 W/m<sup>2</sup>K değerinden büyük malzeme kullanılamaz.
- Binaların inşası sırasında bina kabuğunda hareketsiz hava boşlukları yapılmalıdır. Bu da duvar katmanlaşması ile sağlanabilir.

Basınç etkisine, neme, rutubete dayanıklı malzemeler kullanılmalıdır. Dış duvarlar, doğramalar, pencereler ısı kaybına uğramayacak şekilde yapılmalıdır. Bina uygulamalarında dört farklı şekilde uygulama yapılmaktadır. Mantolama, sandviç duvar, giydirme cephe ve duvarların iç kısmına yapılan yalıtım uygulamaları olarak sıralanabilir. Mantolama sistemi en avantajlı olan ve yapı fiziğine en uygun olan sistemdir. Mantolama ısı köprüsü oluşmasına izin vermez, sıcaklık ile meydana gelebilecek çatlaklara karşı dayanıklıdır, hava alan malzeme olmaları ile yapıda kullanılan bileşenlerin kuru kalmasını sağlar. Maliyeti diğer uygulamalara göre fazla olsa da uzun ömürlü olması özelliği ile daha avantajlıdır [26]. İçeriden yapılan uygulamalarda yoğuşma ve ısı köprüsü oluşumu olasılığı yüksektir. Bu yüzden buhar kesici malzeme kullanılarak yoğuşma riski azaltılabilir. Bu uygulama özellikle mevcut olan yapılar için uygundur ve dıştan uygulama yapılamayan yerlerde uygulanır. Sandviç duvar ısı yalıtımında genellikle betonarme yüzeylerde uygulanmaktadır. Önlemler alınmadığı takdirde yağmur suyu kullanılan malzemelere zarar verir ve yoğuşma riski oluşur. Giydirme cephe de ise hava boşluğu bulunan sistemlerdir [10]. Böylelikle yoğuşma meydana gelmez. Isı kaybı değeri bu cephe sistemlerinde oldukça fazladır bu yüzden fazla tercih edilmektedir.

Isı yalıtım uygulamaları binaların uzun ömürlü ve dayanıklı olmalarını sağlar. Yoğuşma, nem, rutubet oluşturmeyen malzemeler kullanılarak yapı bileşenlerinde meydana gelebilecek paslanmalara izin vermez. Akustik ve yangın konusunda çözüm sağlarlar. Daha az enerji kullanımı ile hem çevreye

vereceği karbondioksit miktarında azalma olur hem de kullanıcılara konforlu yaşam sunarlar.

Son zamanlarda çok sık adı geçen nanoteknolojik uygulamalar 90'lı yıllarda yapılarda uygulanmaya başlandı [14]. Bu kompozit uygulamaları ile mekanik açıdan performansı yüksek, dayanıklılık, ısı iletkenliklerinin düşük olması, kendi kendini temizleyebilme, güneş ışığını elektrik enerjisine çevirme gibi farklı davranışlar gösterebilmektedirler. Bakım ve onarım gerektirmeyen, uzun ömürlü, bina yükünü azaltan, çevreye zararı olmayan, ekolojik anlamda yüksek malzemeler üretilmektedir. Geleneksel malzemelerin kullanımının yanında bu teknolojilere sahip malzemeler kullanılması ile istenilen yüksek performanslı binalar elde edilir.

Konvansiyonel malzeme olan taş yünü ısı yalıtım malzemesinin kullanıldığı ısı yalıtım uygulamaları oldukça fazladır. Yeni çıkan malzemelere karşıda özellikleri değiştirilmiş taş yünleri mevcuttur. %96'sının doğal malzemelerden üretilmiş olması karbondioksit salınımının ve ozon tabakasına vereceği zararında çok az olduğu görülmektedir. Isı iletkenlik katsayısı 0,040 W/mK olması yönüyle TS 825 Standartlarında uygun malzemedir. Direkt suya maruz kalmadığı takdirde rutubet oluşumuna izin ve boyutsal kararlılık oluşturur. Taş yünü en iyi ısı iletim performansını 100-120 kg/m<sup>3</sup> yoğunlukta gösterir. Yangın ve ses yalıtımı malzemesi olarak da kullanılabilir. atı uygulamalarında, yüzey döşeme uygulamaların, cephe mantolama levhası olarak, ara bölme levhası olarak kullanılmaktadır [10]. Uygulama yapılacak taş yünü ısı yalıtım malzemesinin bina da ne amaçla kullanılacağı belirlenmelidir. İklim şartını da ele alarak kalınlığı ona göre belirlenmelidir. Taş yününün kalınlığının artması ile yüksek performans gösterir. İyi şartlarda yapıldıysa herhangi bir etkiye maruz kalmazsa onarım maliyeti düşük olur. Enerji kullanımı azaltır ve karbondioksit salınımını da azaltır. Bunlar aslında yapım ve kullanım aşamasındaki ömür analizleri olarak bilinmektedir. Yeni sistem geliştirilen taş yünü ısı yalıtım malzemeleri istenilen performansları göstermektedir. Etkin performansları göstermesi için belli kalınlıklarda olması gerekirken aerjel gibi yeni gelişen ısı yalıtım malzemeleri ise daha ince kaplamalarla üstün performans gösterir.

XPS ısı yalıtım malzemesi özellikle iç mekanlarda kullanılması daha uygundur. EPS'ye benzese de basınç mukavemetleri daha yüksektir [5]. Bu yönüyle döşeme ve çatılarda kullanılır. Su almayan yalıtım malzemesi olması su yalıtımlarından kullanılmasını uygun kılar. Çürümemesi yönüyle binanın ömrü boyunca dayanıklıdır. Dış duvarda oluşan rutubeti içeri taşımaz. Enerji tasarrufu sağlar. Uygulama için her türlü hava koşullarında XPS ısı yalıtım malzemesi kullanılabilir. Isı iletkenlik katsayısı 0.028 W/mK olarak diğer ısı yalıtım malzemelerine göre daha düşüktür. EPS ısı yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik değeri XPS'e yakın değerdedir fakat nemden etkilenir. XPS'te kullanılan HCFC gibi gazlar kullanılmaz. Bu yönüyle küresel ısınmayı etkilemez. Bina ömrü boyunca performansı hep yüksek olur.

Isı yalıtım uygulamaları ile binalarda enerji tasarrufu, ısı konfor, rutubet oluşumunu engelleme gibi özellikleriyle kullanımı artmıştır. Konvansiyonel ısı yalıtım malzemeleri arasında ısı iletkenliği en düşük olan malzeme XPS'tir. Düşük yoğunlukta da etkisini gösterir.

Aerojel maddesinin yapısındaki gözenek sayısının fazla olması, homojen dağılmış olması ve nano ölçekte olması en düşük ısı iletkenliğini bu özellikleriyle sergiler. Yarı saydam olması yönüyle her alanda kullanılabilir. Çatı membranı, pencere, boşluk yalıtımı, endüstriyel ürünlerin yalıtımı, kaplama sistemleri gibi bir çok yapı alanında görmek mümkündür. Özellikle bina yalıtımları aerojel battaniyelerini piyasalarda ortaya çıkarmıştır.



**Şekil 5.27:** Aerojel ısı yalıtım battaniyeleri [24]

Isı transferinin minimum olması oluşabilecek ısı köprülerine de engel olur. Güneş ışığını iletmesi sonucu UV ışınlardan korunmayı sağlar, zamanla solmaz, renk değişimi gözlenmez, enerji üretimi sağlar. Üretimi esnasında kullanılan bileşikler değiştirilerek farklı özellikler katılabilir ve yoğun kurutma işlemleri ile karbondioksit salınımına izin vermez. Parçalandığında bile sadece kumun ortaya çıkmasıyla, geri dönüştürülebilir bir malzeme olmasını ve ekolojik malzeme olduğunun kanıtıdır. İnsana sağlığına karşı herhangi bir zararı olmaması ve yapılarda nem gibi faktörlere izin vermemesi ile kullanılan için konforlu bir yaşam sunar. Akustik performanslarının üstün olması, iç hava temizleme absorpsiyonu yapması, yangın yalıtımlarında, mutfaklarda yangın emniyeti ve parmak izin tutmama özelliği gibi birçok alanda kendisini gösterir. Bu yönleriyle geleneksel yalıtım malzemelerine oranla binalara kazandırdığı avantaj oldukça fazladır. Yapının üretiminde harcanan masraf geri ödeme sürecinde iklime bağlı olarak 1,4-2,7 olarak görülmüştür [24]. Geri ödeme süresinin hızlı olması ve hızlı verim alınması yönüyle yatırım ne kadar yüksek olsa da sonrası için avantajlıdır. Vakumlu izolasyon panelleri ile de yalıtım uygulamalarında konvansiyonel malzemelere oranla on kat daha iyi yalıtım gösterir. Özellikle enerji talebinin ve maliyetin yüksek olduğu bölgelerde kullanılması daha uygundur. İnce malzemeler oldukları için bina alanında tasarruf sağlar ve fazla malzeme kullanılmasına engel olurlar [9]. Atık malzemeler daha azdır. Kullanılan seramik katkılı boyalarda ısı yalıtımında büyük umutlar taşır. Çevreyi kirletmez, ince tabaka olduğu için bina alanını azaltır. Çevre dostudur. Üretim maliyetleri düşürülürse geleneksel malzemelere oranla daha etkin malzemelerdir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji tüketimi son yıllarda artmış olmakla beraber en çok enerji kaybı konutlarda yaşanmaktadır. Enerji kayıplarını minimize etmek adına ısı yalıtım uygulamaları yapılmaktadır. Yalıtımlı ve yalıtımsız oranlara bakıldığında 8 kata kadar enerji tasarrufu sağlandığı görülmüştür. Konutlarda en çok kullanılan ısı yalıtım malzemeleri taş yünü, cam yünü, XPS, EPS ve poliüretandır. Isı yalıtımları uygulamaları ile ısı akışlarında 3 kata kadar azalma meydana gelir. Yapı elemanlarında hesaplanmış ısı yalıtımsız duvarın ısı kaybı değeri 1 621 W/K iken ısı yalıtımı ile 650,37 W/K'e düşmüştür. Ulaşılan ısı kaybı değerleri ısı yalıtımı uygulaması yapılması enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Isı yalıtım malzemelerinin özelliklerinin bilinmesi ve bunların doğru şekilde uygulanması her şeyden önce en önemli olan konudur. Bina hattı boyunca doğru ve eksiksiz şekilde uygulandığında kullanılan malzeme performansını gösterir. Bu tarz hataların yapıldığı yapılarda enerji kayıplarının yaşanmasına, ısı köprülerinin oluşmasına sebep olur. Bu gibi durumların yaşanmaması için önlemler ve tedbirler alınarak, doğru yalıtım uygulamaları ile sağlanır.

Nanoteknolojinin gelişmesiyle beraber ısı yalıtım uygulamalarında da yeni bir dönem başlanmıştır. Aerojel, vakum yalıtım panelleri konvansiyonel malzemelere oranla on kata kadar daha iyi performans gösterirler. Üretimi sol-gel ile olan malzemeler, oluşan ürünlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirip, iyileştirirler. Daha uzun ömürlü, enerji tüketimi az olan ve geri ödeme süresi kısa malzemeler üretilmiş olur. Örneğin; kurutma işlemi yapılan malzemeler yüksek sıcaklık uygulanmasıyla hidrofobik özellik kazanır ve suyu geçirmezler.

Kalınlık, yoğunluk, ısı iletkenlik katsayıları ısı yalıtım malzemelerinin gösterdiği performansı etkilemektedir. Kalınlık ve yoğunluk artışı ile gösterdikleri ısı performanslarında artış meydana gelir. Yapıya bindirecekleri yük açısından TS 825 standartlarına göre kalınlık değerleri belirtilmiştir. Bu kalınlık değerleri ile bölgenin bulunduğu iklime, çevre koşullarına göre ısı yalıtım

uygulanması yapılır ve gereksiz malzeme kullanımından kaçınılmış olur. EPS,XPS ısı yalıtım malzemeleri taş yününe göre daha düşük kalınlık değerlerinde uygulama yapılır. Aerojel, vakum yalıtım panelleri konvansiyonel ürünlere göre daha az yoğunlukta ve kalınlıkta uygulanmaktadır. Gösterdikleri performanslar konvansiyonel ürünlere kıyasla daha iyidir. Birim maliyetlerinin yüksek olması bu ürünlerin uygulanmasına engel olmaktadır. Yapılan uygulamalarda özellikle yüksek sıcaklıklarda geri ödeme maliyetlerinde ve enerji açısından %90'a varan tasarruf sağlamıştır. Konvansiyonel ısı yalıtım malzemelerinden olan XPS, EPS, taş yünü ve cam yünü ile çalışmada sadece %43 oranında tasarruf sağladığı görülmüştür. Nano boyutlardaki çalışmalar da konvansiyoneller ısı yalıtım malzemelerine göre enerji ve geri ödeme de daha iyi performans göstermektedir. Vakum yalıtım panelleri içerisine katılan silika aerojeller ile ısı yalıtım uygulamalarında konvansiyonellere göre on kata varan daha etkin ısı yalıtım uygulamaları olduğu görülmüştür.

Isı yalıtım malzemelerinin sudan ve nemden etkilenme oranları malzemenin yapısına göre değişmektedir. Taş yünü ısı yalıtım malzemesi direk suya maruz bırakıldığında ısı yalıtım özelliğini kaybeder. Aerojel, XPS, EPS gibi ısı yalıtım malzemelerinin sudan ve nemden etkilenme oranları oldukça azdır. Isı yalıtım malzemelerinin kalınlıklarının artması ısı korunumunda daha etkindir. Yoğunluk artışı ile malzemenin ısı iletkenlik değeri artar ve daha az ısı kaybı meydana gelir. Isı yalıtım malzemeleri kullanılması ile beraber enerji kayıpları da azalır. Yalıtımlı ve yalıtımsız yapılan araştırmalarda yalıtımlı binalar enerji kullanımı açısından daha tasarrufludur. Konvansiyonel ısı yalıtım malzemesi olan taş yünü, XPS, EPS gibi malzemelerinin maliyetleri, nanoteknolojik malzemelere oranla daha uygundur. Konvansiyonel ısı yalıtım malzemelerinin daha çok tercih edilmesinin öncelik payı daha az maliyetli ve üretimlerinin daha kolay olmasıdır. Aşağıdaki çizelge 6.1'de konvansiyonel ve nanoteknolojik malzemelerin kıyaslamalarına yer verilmiştir.



**Çizelge 6.1:** Konvansiyonel ısı yalıtım malzemeleri ve nanoteknolojik ısı yalıtım malzemelerinin farklı özellikler açısından kıyaslanması

|                                                 | KONVANSİYONEL ISI YALITIM MALZEMELERİ |     |     | NANOTEKNOLOJİK ISI YALITIM MALZEMELERİ |                         |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------|-----|-----|----------------------------------------|-------------------------|
|                                                 | TAŞYÜNÜ                               | XPS | EPS | AEROJEL                                | VAKUM YALITIM PANELLERİ |
| Su ve nemden etkilenme                          | ✓                                     |     |     |                                        |                         |
| Kalınlık artışı ile gösterdiği performans artar | ✓                                     | ✓   | ✓   | ✓                                      | ✓                       |
| Üretim kolaylığı                                | ✓                                     | ✓   | ✓   | ✓                                      | ✓                       |
| Enerji korunumu açısından                       |                                       |     |     |                                        |                         |
| Düşük maliyetli                                 | ✓                                     | ✓   | ✓   | ✓                                      | ✓                       |
| Performans özellikleri açısından                | ✓                                     | ✓   | ✓   | ✓                                      | ✓                       |
| Ekolojik açıdan                                 | ✓                                     |     |     | ✓                                      | ✓                       |
| Yapılara uygulanma yönleriyle                   | ✓                                     | ✓   | ✓   | ✓                                      | ✓                       |

Ekonomik fizibilite çalışmaları yapıldığında arojel ısı yalıtım malzemesi yıllık enerji kullanımını oldukça azaltmaktadır. Endüstriyel tesiste ısı yalıtım uygulaması 10 mm kalınlığındaki borulara uygulanmıştır. Tesisteki borularda ısı yalıtım uygulamaları ile ısı kaybında %90 azalma görülmüştür. Nanoteknoloji Dünya’da gelişmekte ve yatırımlarla büyümekte olan bir alandır. Yatırımların artmasıyla daha uygun maliyetlerde ürünler üretilmeye başlandığı taktirde arojel ısı yalıtım malzemesi daha

çok taleple büyük bir sektörel dilimin içinde yer alabilir. Bu alandaki ilginin azlığı nanoteknoloji hakkında bilgi sahibi olmadıklarından kaynaklanmaktadır. Ekolojik, sürdürülebilir, tam performans gösteren, maliyet analizinde geri dönüşümü oldukça hızlı olan ve kalkınmaya paralel nanoteknolojik malzemeler tercih edilen konvansiyonel malzemelere göre daha idealdir. Çizelge 6.2’de konvansiyonel ve nanoteknolojik ısı yalıtım malzemelerinin genel kıyaslaması yapılmıştır. Bu tür analizler ile inşaata başlangıç sırasında hangi malzemenin kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılabilir. İnşaat sahipleri, mühendisler nanoteknoloji hakkında yeterli bilgi sahibi olmaları ile yeni malzemelerin kullanılmasına teşvik oluşturabilirler.

**Çizelge 6.2:** Konvansiyonel ve nanoteknolojik ısı yalıtım malzemelerinin kıyaslanması

|                               | KONVANSİYONEL  | NANOTEKNOLOJİK |
|-------------------------------|----------------|----------------|
| <b>Maliyet</b>                | ucuz           | pahalı         |
| <b>Geri Ödeme Süresi</b>      | orta           | kısa           |
| <b>Üretim</b>                 | kolay          | zor            |
| <b>Enerji Korunumu</b>        | sağlar         | sağlar         |
| <b>Performans Özellikleri</b> | iyi            | çok iyi        |
| <b>Uygulama Kolaylığı</b>     | kolay          | kolay          |
| <b>Numune Kalınlığı</b>       | etkili         | etkili         |
| <b>Ekolojik</b>               | ekolojik değil | ekolojik       |
| <b>Binaları İzole Etmesi</b>  | eder           | eder           |
| <b>Sudan Etkilenme</b>        | etkilenir      | etkilenmez     |

## KAYNAKLAR

- [1] **Akelçi. B.**, (2016), Kentsel Dönüşüm Kapsamında Dıştan Isı Yalıtım Uygulamalarının İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [2] **Akıncı. H.**, (2007). Günümüzde Uygulanan Isı Yalıtım Malzemeleri, Özellikleri, Uygulama Teknikleri ve Fiyat Analizleri, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya
- [3] **Akyol. T.**, (2006). Binaların Isı Yalıtımında Enerji ve Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir
- [4] **Anonim.**, (2017). Mantolamanın Kitabı, Knauf, 5-25
- [5] **Aktaş. M. ve Arslan. M.**, (2018). İnşaat Sektöründe Kullanılan Yalıtım Malzemelerinin Isı ve Ses Yalıtımı Açısından Değerlendirilmesi, *Politeknik Dergisi*, 21(2), 299-320
- [6] **Aksöz. H.**, (2009), Betonarme Binalar Uygulanan Isı Yalıtım Amaçlı Duvar Elemanlarının Isıl ve Ekonomik Yönden Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ
- [7] **Arslan H. ve Yılmaz E.**, (2018) Poliüretan ve Taşyünü Dolgulu Kompozit Panellerin Çevresel Performanslarının İrdelenmesi, *9. Ulusal Çatı ve Cephe Konferansı*, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul
- [8] **Bahçeci. E. ve Ateş. H.**, (2015). Nano Malzemeler İçin Üretim Yöntemleri, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 483-499
- [9] **Başpınar. E., Davraz. M. Ve Bayrakçı. C. H.**, (2011). Yeni Nesil Isı Yalıtım Malzemesi: Vakum Yalıtım Paneli, *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 2(1), 1-12
- [10] **Bektaş. V., Çerçevik. A. E. Ve Kandemir. S. Y.**, (2017). Binalarda Isı Yalıtımının Önemi ve Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığının Yalıtıma Etkisi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 36-42
- [11] **Botancıoğlu. E.**, (2011) Mevcut Binalarda Yapılan Ekolojik İyileştirme Enerji Kazancı , İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, 15-24
- [12] **Cengiz. G.**, (2016). Mimarlıkta Sürdürülebilir Nanoteknolojik Malzeme Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- [13] **Demir. N., Kaya. M. F. ve Yıldırım. E.**, (2016), Silika Aerojel ve Diğer Isı Yalıtım Malzemelerinin Isı Transferi Özelliklerinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, *International Conference On Material Science and Technology İn Cappadocia*, 06.04.2016
- [14] **Demirdöven. J. B. ve Arditi. D.**, (2012), Yapılarda ve Yapım Yönetiminde Nanoteknoloji Uygulamaları, *2. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi*, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir
- [15] **Fırat. İ.**, (2013). Erzincan İlindeki Binalarda Isı Yalıtım Uygulamaları ve Isı

- Yalıtımının Enerji Tasarrufuna Etkisinin Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum
- [16] **Gao. T. And Sandberg. L. L.**, (2014). Nano Insulation Materials: Synthesis and Life Cycle Assessment, *21 St CIRP Conference On Life Cycle Engineering*, Norway
- [17] **Güler. D.**, (2012) Silis Kumu, Feldspat ve Tetraetilortosilikattan Sol-Jel Yöntemi İle Silika Aerojel Sentezi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [18] **İzoder.**, (2014). Bina ve Tesisatlar da Isı Yalıtım Teknik Şartnamesi, İzoder Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği, İstanbul
- [19] **Karayiğit. S.**, (2015). Enerji Yönetmeliğine Göre Konutların Farklı Isı Yalıtım Malzemeleri İle Yalıtılmasının Ekonomik Analizi Üzerine Bir Araştırma: Kahramanmaraş Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş
- [20] **Kırca. M. B. ve Menceloğlu. Y. Z.**, (2008). Uluslararası Rekabet Stratejileri: Nanoteknoloji ve Türkiye, Tüsiad Rekabet Stratejileri Dizisi 11
- [21] **Kocagül. M.**, (2013). Isı Yalıtımında İdeal Yalıtım Malzemesi Kullanılmasının Deneysel Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ
- [22] **Öz. C.D., Öz. B. ve Kaya. N.**, (2017). Alümina Aerojellerin Fiziksel Özellikleri Üzerine Yaşlandırma ve Kurutma Süresinin Etkisi, *Baun Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(9), 1-13
- [23] **Özer. M.**, (1974). Yapılarda Isı – Su Yalıtımları, Özer Yayıncılık, 30-31
- [24] **Özçelik. M. Y. ve Soylu. S. K.**, (2017), Endüstriyel Bir Tesiste Aerojel İle Yalıtımın Teknik ve Ekonomik Analizi, *13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 2189-2199
- [25] **Riffat. S. B. ve Qiu. G.**, (2013). Binalarda Son Teknoloji Uygulamalarının Gözden Geçirilmesi, *Uluslararası Düşük Karbon Teknolojileri Dergisi*, 8(1), 1-6
- [26] **Sezer. F. Ş.**, (2005). Türkiye’de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Dergisi*, 10 (2), 79-85.
- [27] **Tezcan. T.** (2014). Katı Yalıtım Malzemeleri Taş Yünü, Celal Bayar Üniversitesi Turgutlu Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümü
- [28] **TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları.**, (2013). Türk Standartları Enstitüsü, 18 Aralık 2013.
- [29] **Tuncer. T.**, (2012), Konutlarda Enerji Verimliliği ve Derece Gün Bölgelerine Göre Farklı Malzemelerde Optimum Yalıtım Kalınlığının Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- [30] **Türkmen. M.**, (2016). Bina Kabuğunda Isı Yalıtımı Uygulamalarının Yapısal Performansı ve Etkinliğinin İstanbul’da Bir Alan Çalışması ile İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [31] **Ünal. S.**, (2002). Bina Duvar Isı Yalıtım Sistemleri ve Ekstrude Polistiren İle TS825’e Uygun Bina Yalıtım Çözümleri Üzerine Bir İnceleme,

Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

- [32] **Yılmaz. A.**, (2012). Apartmanların Dış Kabuğuna Uygulanan Isı Yalıtımının Bina Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- [33] **Yılmaz. G.**, (2016). İnorganik Esaslı Kompozit Isı İzolasyon Panel Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon
- [34] **Yılmaz. Z. ve Oral. G. K.**, (2012) Yapı Kabuğu Isı Yalıtım Değerinin Yapı Formuna Bağlı Olarak Belirlenmesi İçin Bir Yöntem Önerisi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi*,
- [35] **Yüksek. İ. ve Karadayı. T. T.**, (2016). Yapılarda Isı Yalıtım Malzemeleri Seçimi Üzerine Bir Araştırma, *Tesisat Dergisi*, 90-102
- [36] **Url-1**<[http://nanoteknolojinedir.com/upload/files/201303190540-Nanoteknoloji\\_ve\\_uygulamalari.pdf](http://nanoteknolojinedir.com/upload/files/201303190540-Nanoteknoloji_ve_uygulamalari.pdf)>
- [37] **Url-2**<<http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/10781.pdf>>
- [38] **Url-3** < <http://www.izocam.com.tr/f2-tasyunu.html>>
- [39] **Url-4** <<https://www.gnyapi.com.tr/isi-yalitimi-nedir>>
- [40] **Url-5** < <https://www.muhendisbeyinler.net/aerojel-nedir/>>
- [41] **Url-6** <<http://www.yalteksan.com.tr/aerojel.html>>
- [42] **Url-7** < <http://www.arce7.com/detay.asp?id=752>>
- [43] **Url-8**<<https://www.guneyyapiizolasyon.com.tr/sayfalar.3900.bina-isi-yalitim-malzemesi.html>>
- [44] **Url-9** < [https://www.koniks.com/topic.asp?TOPIC\\_ID=49608](https://www.koniks.com/topic.asp?TOPIC_ID=49608)>
- [45] **Url-10**<<https://malzemebilimi.net/enerji-verimliliği-ve-yeni-nesil-yüksek-performanslı-isi-yalitim-malzemesi-silika-aerojel.html>>
- [46] **Url-11**< <https://pamelanorris.wordpress.com/resources/thermal-properties/>>
- [47] **Url-12**< <https://balkotrade.com/mantolama-levhasi-4cm-150-kg-m3.html>>
- [48] **Url-13**<<http://www.rock-wool-insulation.com/sale-1524337-thermal-rockwool-insulation-blanket-flexible-faced-with-aluminum-foil.html>>
- [49] **Url-14**<[http://www.yalitim.net/yayin/483/surdurulebilir-yapılarda-aerojel-kullanimi\\_14291.html#.W2tTnNizZPY](http://www.yalitim.net/yayin/483/surdurulebilir-yapılarda-aerojel-kullanimi_14291.html#.W2tTnNizZPY)>
- [50] **Url-15**<<http://www.knaufinsulation.gr/en/what-stone-wool-and-how-it-obtained>>
- [51] **Url-16**<<https://continuingeducation.bnpmedia.com/courses/roxul-the-better-insulation/stone-wool-insulation--improving-building-performance/2/>>
- [52] **Url-17**< <https://www.gnyapi.com.tr/seramik-yunu/>>
- [53] **Url-18**<<http://mantolama.pro/odun-talasi-levhalar/>>
- [54] **Url-19**< <https://www.isonem.com.tr/ozel-boyalar/isonem-thermal-paint>>
- [55] **Url-20**< [http://seripol.com.tr/?page\\_id=182](http://seripol.com.tr/?page_id=182)>
- [56] **Url-21**<[http://www.teksistemsigorta.com.tr/dosya/yalitim\\_ve\\_straforun\\_one\\_mi.pdf](http://www.teksistemsigorta.com.tr/dosya/yalitim_ve_straforun_one_mi.pdf)>
- [57] **Url-22**<<https://www.gnyapi.com.tr/yangin-yalitimi/>>



## EKLER

### EK\_A1

**Çizelge Ek\_A1:** ABD nano teknoloji alanındaki girişimleri

|                                                                | 2001<br>Gerçek | 2002<br>Hesaplanan | 2003<br>İleri<br>sürülen | Değişim:<br>2002–<br>2003 | Değişim<br>Oranı<br>2002– 2003 |
|----------------------------------------------------------------|----------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| <b>Ulusal<br/>Bilim Vakfı</b>                                  | <b>150</b>     | <b>199</b>         | <b>221</b>               | <b>22</b>                 | <b>%11</b>                     |
| <b>Savunma</b>                                                 | <b>125</b>     | <b>180</b>         | <b>201</b>               | <b>21</b>                 | <b>%12</b>                     |
| <b>Enerji</b>                                                  | <b>88</b>      | <b>91</b>          | <b>139</b>               | <b>48</b>                 | <b>%53</b>                     |
| <b>Ticaret</b>                                                 | <b>33</b>      | <b>38</b>          | <b>44</b>                | <b>6</b>                  | <b>%16</b>                     |
| <b>Ulusal<br/>Sağlık<br/>Enstitüleri</b>                       | <b>40</b>      | <b>41</b>          | <b>43</b>                | <b>2</b>                  | <b>%6</b>                      |
| <b>Uluslar<br/>arası<br/>Havacılık<br/>ve Uzay<br/>İdaresi</b> | <b>22</b>      | <b>22</b>          | <b>22</b>                | <b>0</b>                  | <b>%0</b>                      |
| <b>Çevre<br/>Koruma<br/>Kurumu</b>                             | <b>5</b>       | <b>5</b>           | <b>5</b>                 | <b>0</b>                  | <b>%0</b>                      |
| <b>Ulaşım<br/>Bakanlığı</b>                                    | <b>0</b>       | <b>2</b>           |                          | <b>2</b>                  | <b>0</b> <b>%0</b>             |
| <b>Adalet<br/>Bakanlığı</b>                                    | <b>1</b>       | <b>1</b>           | <b>1</b>                 | <b>0</b>                  | <b>%0</b>                      |
| <b>Toplam</b>                                                  | <b>464</b>     | <b>579</b>         | <b>679</b>               | <b>100</b>                | <b>%17</b>                     |


**ENERJİ KİMLİK BELGESİ**

**Bina Genel Bilgileri**

Bina Tipi :  
İnşaat Yılı :  
Kapsül Kullanma Alanı :  
Ada, Parseli :  
Adresi :  
Bina Sahibinin  
Adı Soyadı :  
Adresi :  
Müşterek Tesisatların Sahibi (gerekliyse)  
Adı Soyadı :  
Adresi :

**Bina Resmi**

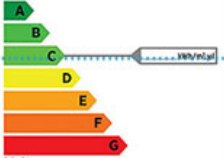


**Bina Resmi veya Modeli**

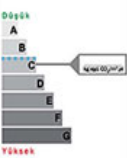
**Enerji Tüketim Sınıfı**

**CO<sub>2</sub> Salımı Sınıfı**

**Enerji Performansı**



**SEG Etkileşimi**



**Yenilenebilir Enerji Kullanım Oranı**



**Yenilenebilir Enerji Oranı**

**Sıhhi Sıcak Su Enerjisi Tüketim Sınıfı**

**Havalandırma Enerjisi Tüketim Sınıfı**

| Enerji Kullanım Alanı | Kullanılan Sistem | Yıllık Enerji Tüketimleri |                   |                                                  | Sınıfı  |
|-----------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|--------------------------------------------------|---------|
|                       |                   | Nispet (kWh/yıl)          | Kararlı (kWh/yıl) | Kullanılan Alanı Başına (kWh/m <sup>2</sup> yıl) |         |
| TOPLAM                |                   |                           |                   |                                                  | ABCDEFG |
| SITMA                 |                   |                           |                   |                                                  | ABCDEFG |
| SİHİ SICAK SU         |                   |                           |                   |                                                  | ABCDEFG |
| SOĞUTMA               |                   |                           |                   |                                                  | ABCDEFG |
| HAVALANDIRMA          |                   |                           |                   |                                                  | ABCDEFG |
| KYDILATMA             |                   |                           |                   |                                                  | ABCDEFG |

**Isıtma Enerjisi Tüketim Sınıfı**

**Soğutma Enerjisi Tüketim Sınıfı**

**Aydınlatma Enerjisi Tüketim Sınıfı**

**Açıklamalar**

**Belgeyi Düzenleyen**

Adı Soyadı :  
Fonksiyonu :  
Oda Sicil No :  
İmza

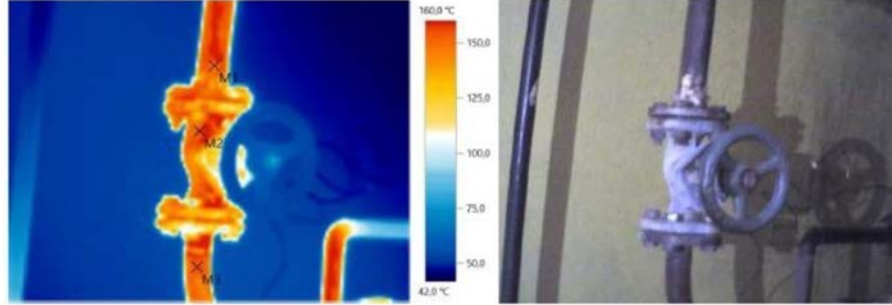
**EKB ve EKB Uzmanı ile İlgili Bilgiler**

Belgeyi  
Numarası :  
Yatırım Tutarı :  
Son Geçerlilik Tarihi :

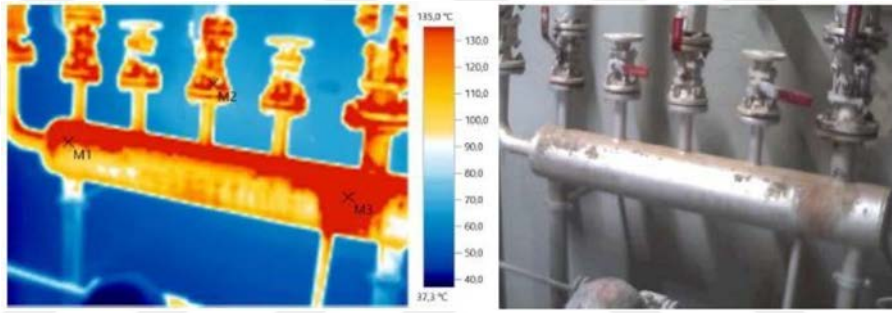


## EK\_ B2

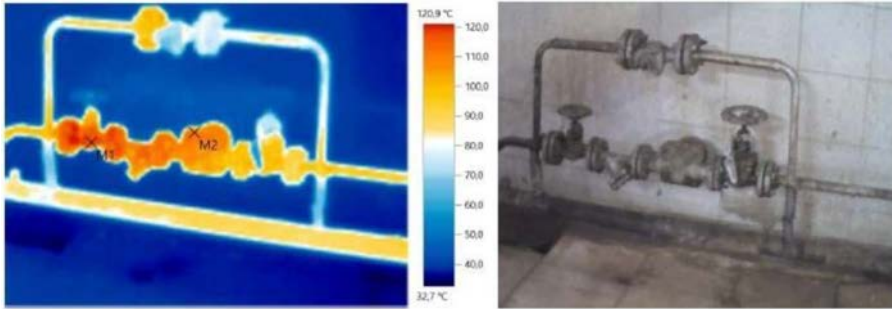
Şekil Ek\_B2.1 : 160 °C yüzey sıcaklığına sahip tesisat örnekleri



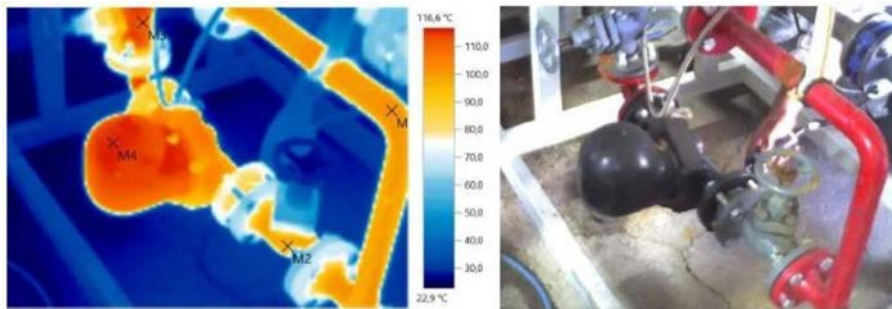
Şekil Ek\_B2.2 : 150 °C yüzey sıcaklığına sahip tesisat örnekleri



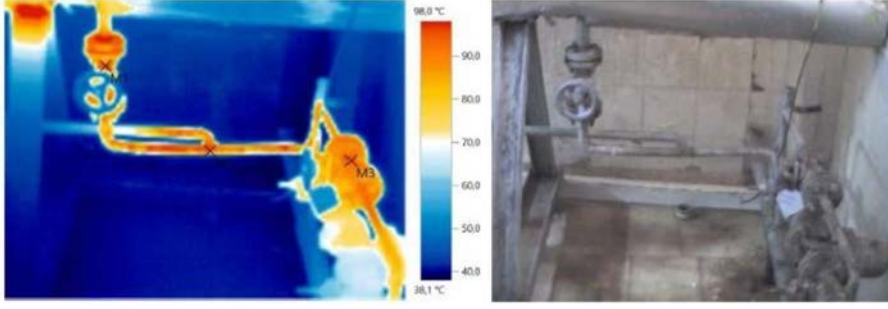
Şekil Ek\_B2.3 : 130 °C yüzey sıcaklığına sahip tesisat örnekleri



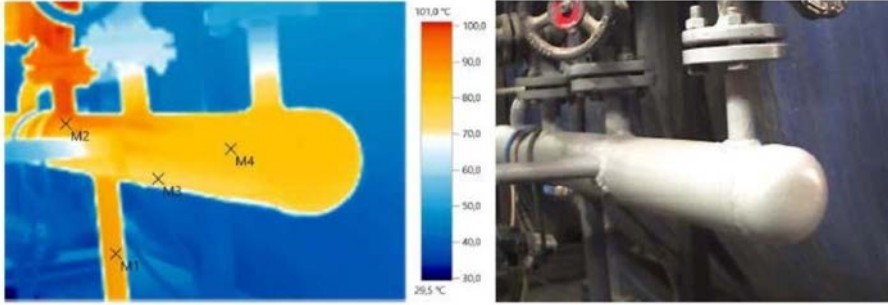
Şekil Ek\_B2.4 : 130 °C yüzey sıcaklığına sahip tesisat örnekleri



**Şekil Ek\_B2.5 : 100 °C yüzey sıcaklığına sahip tesisat örnekleri**



**Şekil Ek\_B2.6 : 95 °C yüzey sıcaklığına sahip tesisat örnekleri**



**Şekil Ek\_B2.7 : 85 °C yüzey sıcaklığına sahip tesisat örnekleri**

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : FIRAT ÇÖL  
**Uyruğu** : T.C  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : BAKIRKÖY/ 01.09.1990  
**Telefon** : 0532 484 78 45  
**e-mail** : firatcol52@gmail.com

### EĞİTİM

**Derece** **Eğitim Birimi**  
Beykent Üniversitesi : Mühendislik-Mimarlık Fakültesi / İç Mimarlık  
İstanbul Aydın Üniversitesi : Fen Bilimleri Enstitüsü / Mimarlık Yüksek Lisans

### İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl       | Tür  | Kurum                                                             | Pozisyon          |
|-----------|------|-------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 2011-2011 | Staj | Tuna İnşaat Mimarlık Taahhütlük<br>Ticaret Şirketi                | İç Mimar          |
| 2012-2012 | Staj | Malatyalıoğlu İnşaat-Mimarlık<br>Mühendislik Müteahhitlik LTD.ŞTİ | İç Mimar          |
| 2015-2016 | Full | Ara Danışmanlık İnşaat Emlak LTD.ŞTİ.                             | Yönetici-İç Mimar |
| 2017-     | Full | Azur Grup                                                         | İnce İşler Şefi   |

### BİLGİSAYAR BİLGİLERİ

| KONU                                       | SEVİYE   | DENEYİM |
|--------------------------------------------|----------|---------|
| AUTOCAD                                    | Çok İyi  | 7 Yıl   |
| 3DSMAX                                     | Kötü     | 5 Yıl   |
| MİCROSOF OFFİCE<br>(Word, Excel, Power P.) | İyi      | 7 Yıl   |
| SKETCH UP                                  | Çok Kötü | 1 Yıl   |

### YABANCI DİL BİLGİSİ

| DİL       | SEVİYE |
|-----------|--------|
| İngilizce | Orta   |

## **SEMİNER KURS**

| <b>TÜR</b> | <b>KONU</b>                                  | <b>KURUM</b>               | <b>AÇIKLAMA</b>                                                         |
|------------|----------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Seminer    | 21. yy. Türkiye Sanat Yapıları               | Akbank                     | Belge Olarak Mimarlık, Geçirgen ve Geçişken, Mimarlığın Görünmeyen Yüzü |
| Seminer    | Kerpiç'15 Built Environment On Silk Road     | UNESCO, Aydın Üniversitesi | International Conference                                                |
| Seminer    | 3. Uluslararası Mimarlık ve Tasarım Kongresi |                            | Uluslararası Mimarlık ve Tasarım Sempozyumu                             |