

# BİNALARDA VAKUM İZOLASYON PANELLERİ KULLANILMASININ SOĞUTMA YÜKÜNE OLAN ETKİSİ

**Dilek KUMLUTAŞ**

*Doç Dr., Dokuz Eylül Üniv. Mak. Müh. Böl. Enerji Ana Bilim Dalı*

**Umut YILMAZ**

*Mak. Yüks. Müh., VESTEL Beyaz Eşya Teknoloji Geliştirme Departmanı*

## GİRİŞ

Günümüzde enerji kaynaklarının giderek tükenmesi; enerji tüketimi ile ilgili olarak birçok ülkede yasal yönetmeliklerin zorunlu hale gelmesine, az enerji tüketen yapılara olan yaklaşımın daha çok benimsenmesine ve buna bağlı olarak da daha düşük ısı iletim katsayısına sahip yeni yalıtım malzemelerinin bulunması arayışına yönelmiştir. 2001 yılı itibarıyla Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency), yüksek performanslı ısı yalıtım malzemeleri konusunda bir araştırma geliştirme çalışmasının başlatılması konusunda karar almıştır. Bu nedenle, öncelikle binalarda vakum izolasyon panellerin kullanımı ile ilgili Ar-Ge ve uygulama çalışmalarının yapılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada; günümüz teknolojisiyle üretilebilen ısı yalıtım malzemelerinden biri olan vakum izolasyon paneller (VIP) in gelişimine ve bu panellerin spor salonu, hastane, konut, vb. yapılarda kullanıma yönelik yapılan araştırmalara yer verilmiştir. Ayrıca, bir hacimde VIP uygulamasının soğutma yüküne olan etkileri de incelenmiştir.

## VAKUM İZOLASYON PANELLERİNE GENEL BAKIŞ

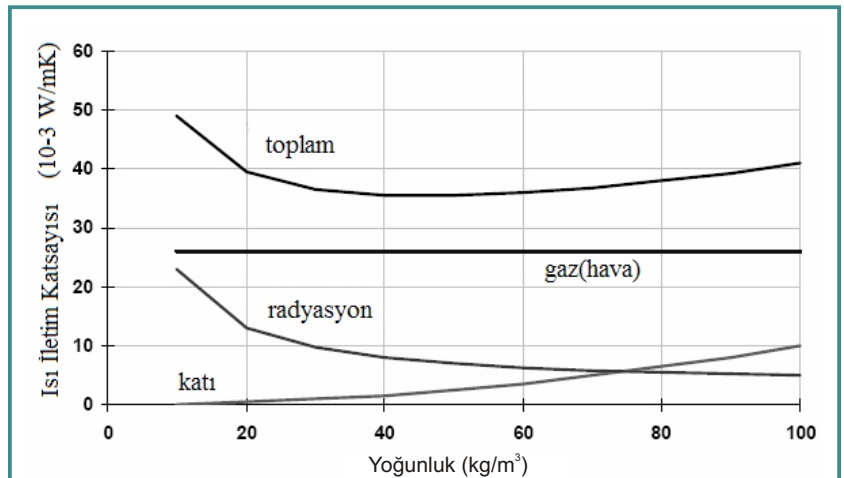
### Isı Yalıtım Sistemleri

Isı yalıtım sistemleri, ısı transferi mekanizmalarını mümkün olabilecek en

üst seviyede engelleyecek şekilde geliştirilmektedir. Lifli, toz ve parçacık tip yalıtımlarda, katı malzeme hava içerisinde homojen olarak dağıtılmıştır. Katı malzeme ile içindeki hava katı bir matris oluşturur. Havanın bu şekilde hücrelere hapsedilmesi, hücreyel yalıtım olarak bilinir. Bu sistemlerin efektif ısı iletim katsayısı; boşluk veya havanın hacimsel oranı ve geometrisi ile havanın ısı iletkenliğine ve katı malzemenin yüzey yansım özellikleri ile ısı iletim katsayısına bağlıdır [5]. Günümüz teknolojisi ile üretilen fiber ve köpük bazlı ısı yalıtım malzemelerindeki ısı transferi mekanizması incelendiğinde; ısı geçişinin katı malzeme içerisinden iletim yoluyla, boşluklardaki hava içerisinden iletim veya taşınım yoluyla, katı matris yüzeyleri arasındaki yansım yoluyla gerçekleştiği ve toplam ısı

transferinin daha çok gaz ortamda meydana gelen ısı geçişinden etkilendiği görülmektedir (Şekil 1). Burada en büyük sorun, genelde (açık veya kapalı) hücreli yapıya sahip olan bu ısı yalıtım malzemelerinde hücreler arasında bulunan ve durağan olarak kabul edilen havanın ısı geçirgenliğidir.

Görüldüğü gibi ısı yalıtım malzemelerinde özellikle taşınım ile ısı transferi konusunda büyük bir iyileştirme potansiyeli bulunmaktadır. Kapalı hücreli ısı yalıtım malzemelerinde taşınım ile ısı transferini tamamen engellemenin teorik olarak tek bir yolu vardır, o da bu hücrelerdeki havayı vakumla tamamen boşaltmak ve bu bölgelerde mutlak boşluk yaratmaktır. İşte, vakum izolasyon panellerin (VIP) çıkış noktasını da bu düşünce oluşturmaktadır.



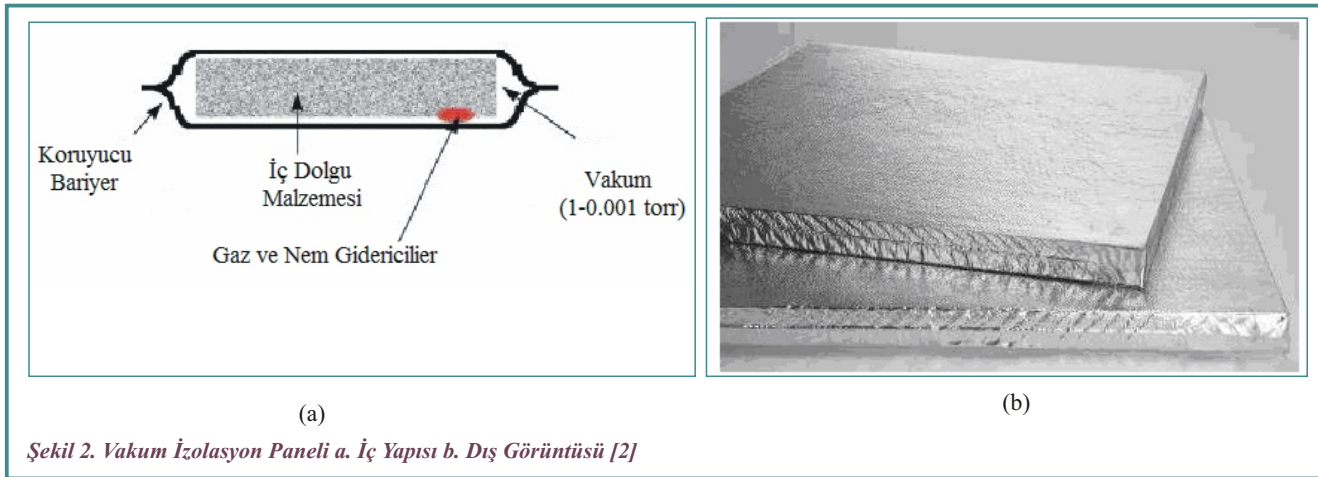
Şekil 1. Fiber ve Köpük Bazlı Konvansiyonel Isı Yalıtım Malzemelerinde Isı Transferi Mekanizması [2]

### Vakum İzolasyon Panellerin Yapısı

Vakum izolasyon panelleri; gözenekli yapıdaki bir iç dolgu malzemesinin (core), dolgu malzemesi karakterine bağlı gaz giderici malzeme (deiccant ya da getter) kullanılarak ya da tek başına bir koruyucu bariyer (barrier film) içine konulup vakumlanması ve sızdırmazlığın sağlanarak atmosfere kapatılması ile oluşturulur (Şekil 2).

yapılmış urethan (ruf), açık hücreli ekstrude edilmiş polystren, fiberglas ve toz malzemelerin kullanıldığı bilinmektedir. VIP'yle ilgili olarak literatürde rastlanan çalışmaların tamamına yakını silis tozu, polimer esaslı, hidrojel ve aerojellerden ( $\text{SiO}_2$ ) meydana gelen iç malzemeleri ve bunların farklı zarf malzemeleriyle bileşimleri üzerine yapılmış olup, bu bileşimlerin ısı iletim katsayıları araştırılmıştır. Şekil 3'te farklı

malzemenin dışını tamamen saracak şekilde yapıyı dış ortandan ayıran lamineli yapıya sahip metalize filmlerdir. Genel olarak, AL (alüminyum), PET (polyester), PS (polystren), PP (polypropylene) vb. tabakalardan meydana gelen lamineli yapıya sahiptirler. Bu filmlerin özelliği, gaz ve nem geçirgenliklerinin çok düşük olmasıdır. Bu sayede, iç dolgu malzemesine uygulanan vakum işlemi



Şekil 2. Vakum İzolasyon Paneli a. İç Yapısı b. Dış Görüntüsü [2]

### İç Dolgu Malzemesi

Genellikle açık hücreli olan ve iletim yoluyla gerçekleşen ısı transferini en az seviyeye indirecek özelliğe sahip bir ısı yalıtım malzemesidir. Bu özelliğinin dışında, temel bir diğer görevi de yapıya destek ve dayanıklılık sağlamaktır.

Literatürde, vakum izolasyon panellerinde iç dolgu malzemesi olarak; aerogel, açık hücreli polyurethane, geri dönüşümü

iç dolgu malzemeleri ile yapılan VIP'in, değişik vakum seviyelerindeki toplam ısı transfer katsayıları karşılaştırılmıştır. Ancak, bu değerlerin VIP'in orta kısmında yer alan bölge için geçerli değerler olduğunu ve termal köprü etkisinin dikkate alınmadığını belirtmek gereklidir.

### Koruyucu Bariyer

Koruyucu bariyerler, vakumlanmış iç

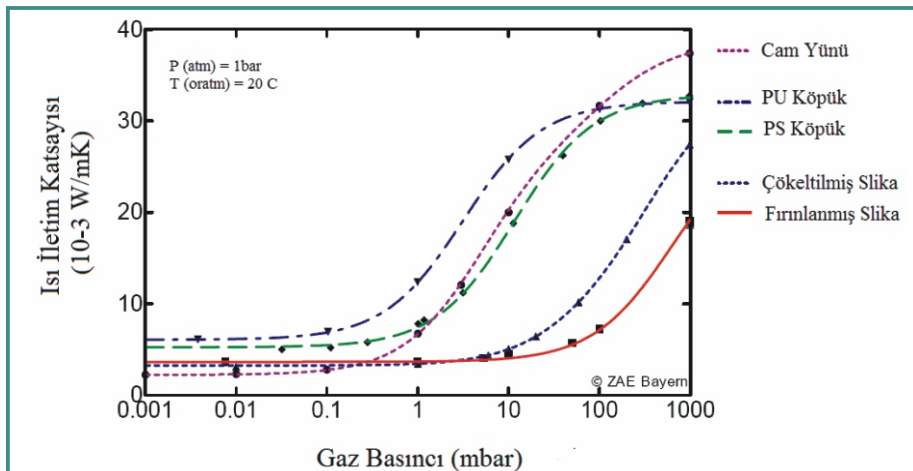
sonucunda ulaşılan düşük basınç değerleri uzun süre korunabilmektedir [2].

### Gaz Giderici

Düşük vakum seviyelerinde iç dolgu malzemesindeki hücrelerin arasına, dış ortandan gaz ve nem girişi çok daha kolay gerçekleşmektedir. Desiccant ve getter olarak bilinen malzemeler olası gaz ve nem sızmaları durumunda VIP'in performansının düşmemesi ve bu kaçakları direkt kendi üzerlerine almaları amacıyla yapıya eklenmektedir [2].

### Vakum İzolasyon Panellerinde Isı Transferi

Yüksek basınçta gaz moleküllerinin ortalama hareket yörüngeleri (mean free path), içerisinde hareket ettikleri gözeneklerin boyutlarından daha küçük hale geldiğinden, gaz molekülleri arasındaki çarpışmalar ısı transfer mekanizmasının çok daha etkin çalışmasını sağlar. Birim hacimdeki gaz taneciklerinin sayısının artması sonucunda oluşan yüksek basınç ortamı, gaz moleküllerinin ortalama hareket yörüngelerini düşürür ve gaz ile oluşan ısı taşınım mekanizması daha etkin hale gelir.



Şekil 3. Farklı İç Dolgu Malzemesine Sahip Vakum İzolasyon Panellerin Isı İletim Katsayıları [2]

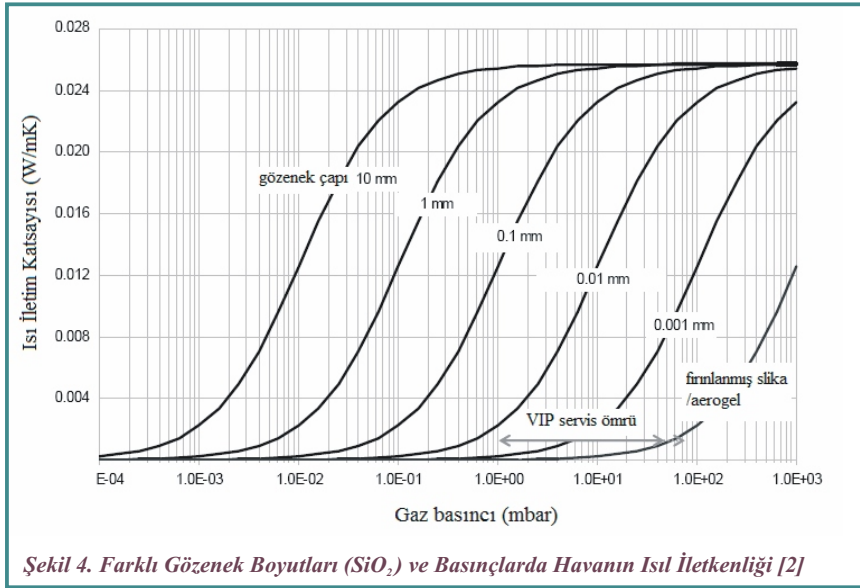
VIP 'de yapılan ise vakum etkisi sayesinde ortamda bulunan gaz molekülü sayısını düşürmek ve gazın basıncını azaltmaktır. Bu sayede gazın ortalama hareket yörüngesinde bir artış olmaktadır. Birim hacimde serbest olarak hareket eden gazların çarpışma mekanizması etkinliğini yitirmektedir. Gazın hareket ettiği boşluğun hacmi azaldıkça bu mekanizma daha da iyi çalışmaktadır. Bu nedenle VIP içerisinde kullanılan iç dolgu malzemesinde boşlukların bulunduğu gözeneklerin mümkün olan en küçük boyutlarda

binalarda iyi bir ısı yalıtımı için yeterli görülmüştür. Fakat enerji uzmanlarının yaptığı çalışmalarda iklim koşullarının etkilerine de bağlı olarak bu malzemelerle gerçekleştirilebilecek en ekonomik ısı yalıtım kalınlığı 30-50 cm arası olarak hesaplanmıştır. Günümüzde binalarda ısı yalıtımı ile ilgili olarak Avrupa'daki birçok yönetmelik ve standartlarda, yalıtım malzemesinden beklenen ısı transfer değeri  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$  olup, bu da yaklaşık olarak 20 cm kalınlığındaki bir yalıtım katmanına karşılık gelmektedir [4]. Bu değer, ülkemizde kullanılan TSE 825,

gerçekleşmiştir. Yine aynı çalışma kapsamında, binalarda tüketilen enerjinin kullanım alanına göre yüzdesel dağılımı Tablo 1'de görüldüğü gibidir [4].

Buna göre, Avrupa Birliği ülkelerindeki enerji tüketiminin yaklaşık olarak %25'lik bölümüne ortam iklimlendirmesi sırasında meydana gelen ısı kayıp ve kazançları neden olmaktadır ki bu da doğrudan binanın ısı yalıtımına bağlı olarak gerçekleşmektedir.

Bu araştırmaların ve rakamların ortaya koyduğu gerçekler ışığında, özellikle İsviçre ve Almanya'nın katkısıyla binalarda ısı yalıtımını üst seviyelere çekmesi beklenen vakum izolasyon panellerin bir proje kapsamında ele alınmasına karar verilmiştir. Bu amaçla, 2000 yılında Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) çatısı altındaki uluslararası network ağı "Energy Conservation in Buildings Community Sytem (ECBCS) aracılığı ile "Annex 39- High Performance Thermal Insulation" adı altında bir proje başlatıldı [5]. Bu proje kapsamındaki çalışmalar, iki alt ana başlık altında toplanmış olup, birinci kısımda vakum izolasyon paneller ve malzemeleri ile ilgili teorik ve deneysel çalışmalara yer verilmiş, ikinci kısımda ise vakum izolasyon panellerin binalarda uygulamaları ele alınmıştır. Bu proje, vakum izolasyon panel teknolojisinin gelişmesine ve uygulama alanlarının artmasına neden olmuştur.



Şekil 4. Farklı Gözenek Boyutları (SiO<sub>2</sub>) ve Basınçlarda Havanın Isıl İletkenliği [2]

olması ısı transfer mekanizmasının etkinliğini düşürecektir. Düşük basınç ve küçük gözenekler gazın ısı taşınım mekanizmasını mümkün olan en düşük seviyelere getirmektedir (Şekil 4).

## BİNALARDA VAKUM İZOLASYON PANEL KULLANIMI

### Binalarda Kullanılan Isı Yalıtım Malzemelerinin Gelişimi

Birçok yalıtım malzemesi 1950'den önce bulunmuş olmasına rağmen ancak 1973 yılında yaşanan petrol krizinden sonra binalarda ısı kaybını engellemek ve enerji verimliliğini arttırmak amacıyla etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Uzun bir süre, 10 cm kalınlığındaki expanded polystrene, extruded polystrene, polyurethan köpük ve fiberglass

"Binalarda ısı yalıtım kuralları standardı" na göre  $0.4-0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$  arasında (bölgelere göre) değişmektedir [8].

### Binalarda Enerji Tüketimi

Avrupa Birliği'nin resmi verilerine göre 1997 yılında birlik ülkelerinin toplam enerji tüketimi 930 milyon ton eşdeğer petrol olarak gerçekleşmiştir. Toplam tüketimin %40,7 'lik bölümüne denk gelen kısmı konutlarda ve ticari binalarda

### Vakum İzolasyon Panellerin Günümüzdeki Durumu

Vakum izolasyon panellerin kullanımının giderek yaygınlaşmaya başladığı alan soğutuculardır. Şu anda bu pazarın %50 ye yakın bölümü Japonya'nın elindedir ve üretilen vakum izolasyon panel sayıları

Tablo 1. Avrupa'daki Binalarda Enerji Tüketimi [4]

Konut	%	Ticari Binalar	%
İklimlendirme (Isıtma)	57	İklimlendirme (Isıtma)	52
Su Isıtma	25	Su Isıtma	9
Elektrik Tüketimi	11	Aydınlatma	14
Pişirme	7	Ofis Cihazları	16
		Pişirme	5
		İklimlendirme(Soğutma)	4

milyonlarla (yıllık) ifade edilmektedir. İç dolgu malzemesi olarak ise silika, açık hücreli polyüretan köpük ve fiberler kullanılmaktadır [4].

Binalarda vakum izolasyon panel kullanımı ise, artık temel taşları yerine oturmuş olmasına rağmen hâlâ Ar-Ge aşamasındadır. Yapılan uygulamaların birçoğu henüz deneme çalışmalarıdır. Daha çok Avrupa'da devam etmekte olan bu çalışmalarda, yalnızca Almanya ve İsviçre 'de yeni bir pazar oluşmaktadır. En çok kullanılan iç dolgu malzemesi, fırınlanmış silikadır.

### Binalarda Vakum İzolasyon Panel Uygulama Örnekleri

Yalıtım malzemesi olarak vakum izolasyon panellerin kullanıldığı örnek uygulamalar;

- tavan, taban ve yan duvarlar uygulamaları,
  - dış cephe uygulamaları,
  - çatı ve tavan arası uygulamaları,
  - teras zemini uygulamaları,
  - pencere yalıtımı uygulamaları,
  - hazır prefabrik beton panel uygulamaları
  - hazır kompozit panel uygulamaları
- şeklinde gerçekleştirilmiştir [3].

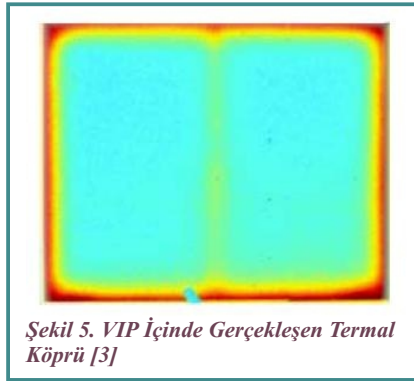
### Vakum İzolasyon Paneli Uygulamalarındaki Yapı Detayları

Vakum izolasyon panel uygulamalarında, panelin yapı içinde konumlandırılması büyük önem taşımaktadır. Yapı elemanlarının diziliş sırası ve şekli, izolasyonun toplam ısı transfer katsayısını ve vakum izolasyon panellerin kullanım süresini doğrudan etkilemektedir.

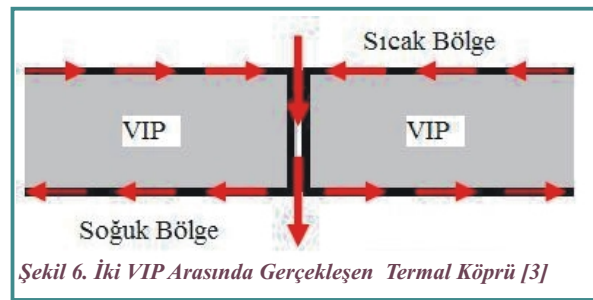
### Termal Köprü Etkisi (Edge Effect)

Yapı elemanları içerisinde vakum izolasyon panelin konumlandırılma şekli çok önemlidir. Bunun nedeni ise, vakum izolasyon panellerin en önemli problemlerinden biri olan termal köprü (edge effect) etkisidir. Özellikle slika bazlı iç dolgu malzemelerin kullanıldığı vakum izolasyon panellerin iç kısmında ulaşılan ısı değerler, katı ortamdaki ısı iletimi için 0.002-0.003 W/mK ve termal radyasyon için de 0.001 mW/mK olmak

üzere, toplamda yaklaşık olarak 0.004 W/mK olarak bilirse de, gerçekte bu değer vakum izolasyon panelin her noktasında sağlanması mümkün değildir [6]. Çünkü, bu iç dolgu malzemesinin dışını saran alüminize ya da metalize koruyucu bariyer filmlerin ısı iletim katsayıları çok yüksektir. (20-250 W/mK) Özellikle, vakum izolasyon panelin yan duvarlarında ve bariyer filmin katlanma detaylarında bu etki, ısı iletimi üzerinde kendini net bir şekilde göstermektedir (Şekil 5).



Yapı içerisindeki vakum izolasyon panelinin birbirine temas etmesi durumunda ise etki daha da artmaktadır (Şekil 6). Isıl ölçümlere ve nümerik hesaplamalara göre; metalize bariyer filmin köşelerinden geçen ısı, iç dolgu malzemesinin tamamından geçen ısıdan daha fazla olabilmektedir [9].



Tablo 2. Vakum İzolasyon Panellerinde Bariyer Filmlerin Isı İletim Katsayısına Etkisi [4]

Vakum izolasyon panelinde kullanılan bariyer film	$\lambda$ (W/mK)
Al folyo film	0.006
Metalize polymer film (50x50x2 cm <sup>3</sup> )	0.008
Metalize polymer film (100x100x2 cm <sup>3</sup> )	0.007

Wakilli ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalar sonucunda; termal köprü olayının vakum izolasyon panelindeki ısı iletimine etkisi incelenmiş ve efektif ısı iletim katsayısı için aşağıdaki denklem geliştirilmiştir [9]:

$$\lambda_{\text{eff}} = \lambda_{\text{cop}} + \Delta_{\text{edge}} = \lambda_{\text{cop}} + \Psi_{\text{vip}}(d) \times d \times p / A \quad (1)$$

$\Delta_{\text{edge}}$  : Termal köprü etkisi (edge effect) (W/mK)

$\lambda_{\text{cop}}$  : Vakum izolasyon panelin merkezindeki ısı iletim katsayısı (W/mK)

$\Psi_{\text{vip}}$  : Vakum izolasyon panelin ölçülen ya da hesaplanan ısı iletim katsayısı (W/mK)

$d$  : Vakum izolasyon panelin kalınlığı (m)

$A$  : Vakum izolasyon panelin yüzey alanı (m<sup>2</sup>)

$d$  : Vakum izolasyon panelin çevre uzunluğu (m) olarak verilmiştir.

Ayrıca literatürde yapılan çalışmalarda, vakum izolasyon panellerinde kullanılan bariyer filmlerin ısı iletim katsayısına etkisi incelenmiştir. Tablo 2 'de, 0.004 W/mK ısı iletim katsayısı için dizayn edilen bir vakum izolasyon panelin ısı iletim katsayısının, kullanılan bariyer filme bağlı olarak 0.006-0.008 W/mK arasında değiştiği görülmektedir [1], [4].

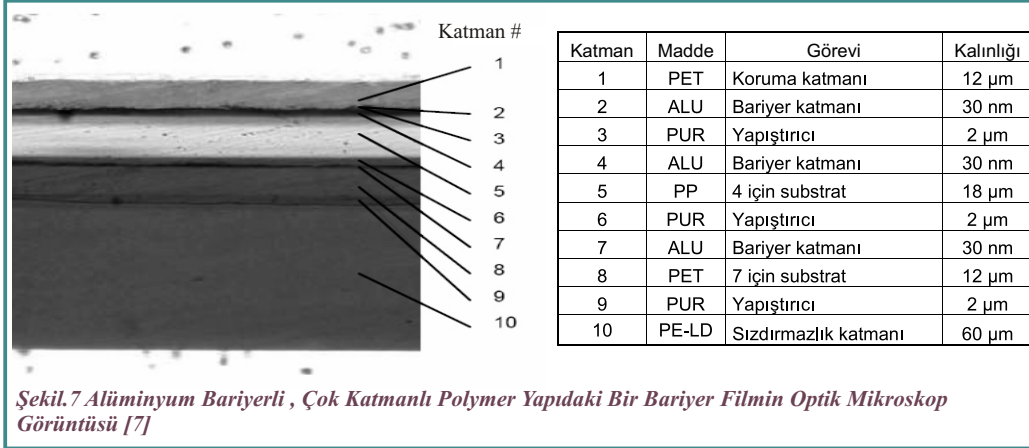
### Gaz ve Nem Geçirgenliği

Atmosfer ortamı ile vakum izolasyon panelin iç ortamı arasındaki basınç farkı nedeniyle, vakum izolasyon paneli içerisine sürekli bir gaz ve nem girişi vardır. Bu durum, hem panelin ömrünü hem de ısı yalıtım özelliklerini olumsuz

### Vakum İzolasyon Panellerin Servis Ömürleri

Vakum izolasyon panellerin ömürleri üzerinde doğrudan belirleyici olan termal köprü etkisi ve yaşlanma olayı bina uygulamaları için en kritik özelliklerdir. Günümüzde vakum izolasyon panellerle

kapsamlı çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Pazarda hali hazırda üretilmekte olan laminize edilmiş polymer yapılı koruyucu bariyer filmlere ait bazı bilgiler Şekil 7'de görüldüğü gibidir [7].



Benzer yapıdaki bir bariyer film için, gaz ve nem geçirgenlik değerleri aşağıda Tablo 3'de verildiği gibidir.

Artık günümüzde üretilen farklı vakum izolasyon panellerde ortalama servis ömürleri, 10 ile 50 yıl arasında değişmektedir. Bu değer; iç dolgu malzemesi, bariyer film özelliği, ortam şartları ve yapı detayı içerisindeki yerleşime bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

şekilde etkiler. Konu ile ilgili Simmler'in yaptığı çalışmalara göre; vakum izolasyon panelin içinde gerçekleşen 3 mbar/yıl düzeyindeki basınç artışı, vakum izolasyon panelin ısı iletim katsayısında yaklaşık olarak 0.001 (W/mK)/10 yıl düzeyinde bir artışa neden olmaktadır. Ya da %50 bağıl nem koşullarındaki hava ile denge halinde %4 oranında gerçekleşecek kütleli nem artışı, vakum izolasyon panelin ısı iletim katsayısında yaklaşık olarak 0.002 W/mK değerinde bir artışa neden olmaktadır [6].

Tablo 3. Çok Katmanlı Polymer Yapılı Bariyer Filmlerin 23 °C ve %50 RH Koşullarında Gaz ve Nem Geçirgenlik Değerleri [7]

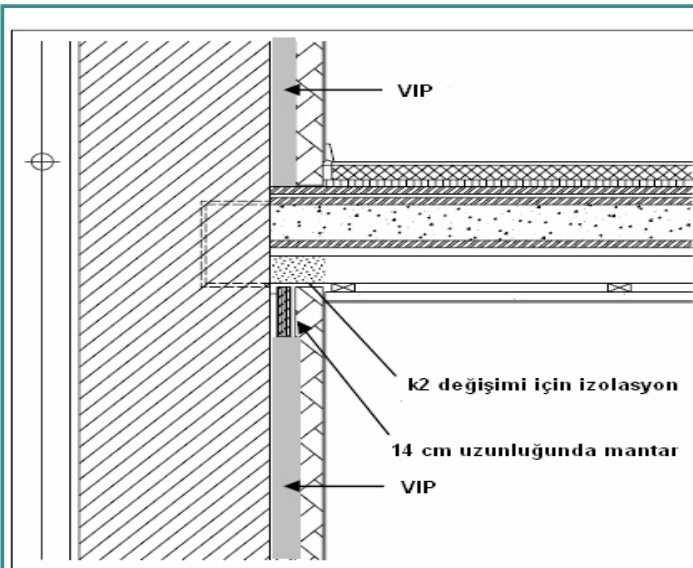
Katman malzemeleri ve kalınlıkları	OTR (c <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)	WVTR (g/m <sup>2</sup> d)
12µm PET/ 18µm PP/ 12µm PET/ 60µm PE-LD	< 0.05	<0.025
12µm PET/ 12µm PET/ 12µm PET/ 50 µm PE-HDD	0.0005	0.0025

(OTR :Oksijen geçirgenliği, WVTR: Su buharı geçirgenliği, PE-LD: Düşük Yoğunluklu Polyethylene, PE-HDD: Yüksek Yoğunluklu Polyethylene).

ilgili olarak yapılan araştırmaların birçoğu da doğal olarak bu iki konuyla ilgili çalışmaları kapsamaktadır. Bu da koruyucu bariyer filmlerle ilgili çok daha

### Duvar Uygulaması

Şekil 8 'de görülen yapı detayı tarihi bir binanın restorasyonu sırasında yapılan bir uygulamaya aittir. Bu uygulamada; iyi



Duvar	d (mm)	λ (W/m.K)
Sıva	20	0,87
İşlenmiş Doğal Yapı Taşı	420	1,80
Sıva	15	0,7
VIP	30	0,008
Alçı Panel	60	0,4
Sıva	5	0,7
<b>Zemin</b>		
Parke döşeme	10	0,14
Döşeme	40	1,50
Ses yalıtımı	20	0,04
Karo	10	0,06
Ahşap	20	0,17
Dolgu maddesi	100	0,7
Ahşap	20	0,17
Boşluk	100	
Alçıtaşı	25	0,21
Sıva	0,5	0,7

Tablo 4. Yapı Detayına Ait Isı İletim Katsayısı ve Toplam Isı Transferi Katsayısı Değerleri [9]

VIP kalınlık	U duvar (W/m <sup>2</sup> K)	Ψ <sub>k0</sub> (W/m.K)	Ψ <sub>k1</sub> (W/m.K)	Ψ <sub>k2</sub> (W/m.K)
30 mm	0,25 <sup>(1)</sup>	0,37	0,32	0,21
20 mm	0,35 <sup>(2)</sup>	0,36	0,3	0,21

(1): Boyutları 1.3x0.6x0.03 m<sup>3</sup> olan VIP için uygulanır.  
(2): Boyutları 1.3x0.6x0.02 m<sup>3</sup> olan VIP için uygulanır.  
k<sub>0</sub>: Şekil 8'de görülen bağlantıdaki mantar ile  
k<sub>1</sub>: Bağlantıda mantar yok. Çatı kirişinin altındaki VIP. Çatı kirişleri arasında izolasyon yok.  
k<sub>2</sub>: Bağlantıda mantar yok. Çatı kirişleri arasında ek izolasyon bulunuyor.

bir ısı yalıtımının yanında istenen bir diğer özellik de restorasyon işlemi sonrasında mümkün olan en az hacim kaybını sağlamaktır [9].

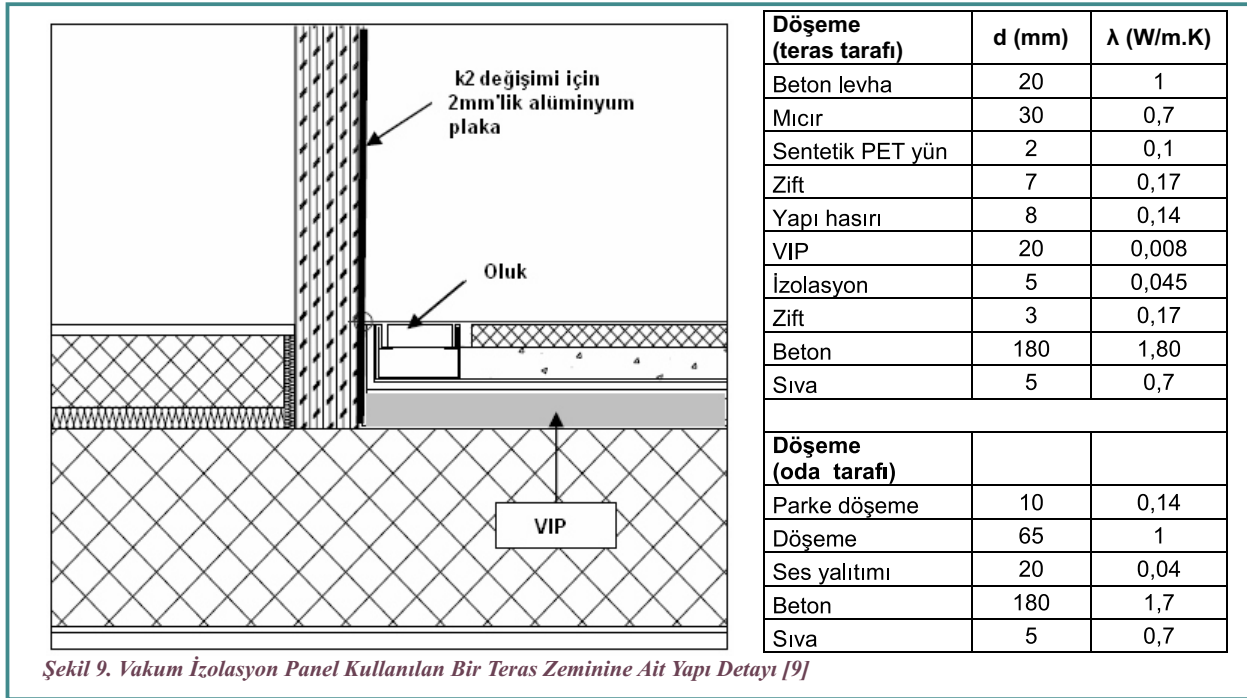
Bu yapı detayına ait 3 boyutlu termal analiz sonuçları, Tablo 4 'te verilmiştir. Burada kullanılan vakum izolasyon panelin ısı iletim katsayısı 0.008 W/mK olarak alınmıştır. U değeri, duvar için toplam ısı transfer katsayısını vermekte

olup termal köprü ve diğer kayıpları içerecek şekilde analize dahil edilmiştir. Ψ olarak verilen değerler ise, üç farklı yapı detayına göre düzenlenmiş ve termal köprü etkisi de gözönüne alınarak hesaplanmış efektif ısı iletim katsayılarıdır.

#### Zemin Uygulaması (Teras zemini)

Şekil 9 'da yapı detayı verilen terasa ait üç boyutlu termal analiz sonuçları Tablo

5'te verilmiştir. Burada kullanılan vakum izolasyon panelin ısı iletim katsayısı 0.008 W/mK olarak alınmıştır. U değeri, duvar için toplam ısı transfer katsayısını vermektedir. Ψ olarak verilen değerler ise, üç farklı yapı detayına göre düzenlenmiş ve termal köprü etkisi de gözönüne alınarak hesaplanmış efektif ısı iletim katsayılarıdır.



Tablo 5. Şekil 3'deki Yapı Detayına Ait Isı İletim Katsayısı ve Toplam Isı Transferi Katsayısı Değerleri [9]

VIP kalınlık	U zemin (W/m <sup>2</sup> K)	U çerçeve (W/m <sup>2</sup> K)	Ψ <sub>k0</sub> (W/m.K)	Ψ <sub>k1</sub> (W/m.K)	Ψ <sub>k2</sub> (W/m.K)
30 mm	0,25 <sup>(1)</sup>	1,77	0,12	0,11	0,57
20 mm	0,33 <sup>(2)</sup>	1,77	0,13	0,12	0,57

(1): Boyutları 1.3x0.6x0.03 m olan VIP için uygulanır.  
(2): Boyutları 1.3x0.6x0.02 m olan VIP için uygulanır.  
k<sub>0</sub>: Oluklu  
k<sub>1</sub>: Oluksuz  
k<sub>2</sub>: Kapı çıkıntısındaki ek dikey alüminyum levha

Tablo 6. VIP ve Konvansiyonel Yalıtım Malzemelerinin Soğutma Yüküne Etkisi

Yalıtım Malzemesi	$\lambda_{ym}$ (W/mK)	$U_{duvar}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$Q_{dd}$ (W)	% $Q_{kazanc}$
Vakum izolasyon Panel -(VIP)	0.008	0.2125	122,018	-----
PU Sandvic Panel -(PU)	0,023	0.4424	252,126	51,6
Glasswool (80kg/m <sup>3</sup> )-(GW)	0,032	0.5281	300,121	59,3
Extruded Polystyrene (33kg/m <sup>3</sup> )-(EPS)	0,032	0.5281	300,121	59,3
Mineral Wool (100kg/m <sup>3</sup> )-(MW)	0.034	0.5440	308,962	60,5
Expanded Polystyrene (30kg/m <sup>3</sup> )-(XPS)	0,035	0.5515	313,179	61,0

$\lambda_{ym}$  : Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı  
 $U_{duvar}$  : Duvarın toplam ısı transfer katsayısı  
 $Q_{dd}$  : Dış duvardan olan ısı kazancı  
%  $Q_{kazanc}$  : Adı geçen yalıtım malzemesi yerineVIP kullanımını durumunda dış duvar soğutma yükünde gerçekleşen iyileşme  
**Not** :Çalışmada VIP için termal köprü etkisi ihmal edilmiştir.

## VAKUM İZOLASYON PANEL KULLANIMININ SOĞUTMA YÜKÜNE ETKİSİ

Bu çalışma kapsamında; Şekil 8'de yapı detayı verilen dış duvarın kullanıldığı bir ofis için soğutma yükü hesabı yapılmış, vakum izolasyon panel yerine diğer yalıtım malzemelerinin kullanılmasının soğutma yüküne olan etkisi incelenmiştir.

Ele alınan ofis bir ara kat olup güney bakan dış duvarı 10x3 m, doğuya bakan dış duvarı 20x3 m boyutlarındadır. Dış tasarım sıcaklığı 38 °C, iç ortam konfor sıcaklığı 24 °C olarak alınmıştır. Tablo 6'da, Şekil 8 'deki yapı detayına uygun olarak farklı duvar kombinasyonları için hesaplanan toplam ısı transfer katsayılarının yanısıra, 21 Temmuz saat 9:00 için hesaplanmış olan dış duvarlara ait toplam soğutma yükleri karşılaştırılmıştır.

## SONUÇLAR VE YORUMLAR

Gelinen son noktada vakum izolasyon panel teknolojisi ile ilgili birçok konuda büyük gelişmeler sağlanmıştır. Termal özellikler ve servis süresi ile ilgili birçok sorun giderilmiştir. Farklı iklim koşullarında kullanılacak vakum izolasyon panelleri geliştirilmiştir. Vakum izolasyon paneller, bina uygulamalarında şu an için problem çözücü olarak kullanılmaktadır. Yüksek bir ısı yalıtımının yanı sıra hacim

kayıplarının en alt seviyede tutulması istenen uygulamalarda vakum izolasyon panelleri bir çözüm sunmaktadır. Günümüzde kullanılan yalıtım malzemeleri arasında 20 cm'nin altında bir yapı detayı ile 0.14 W/m<sup>2</sup>K değeri sağlanabilen çok az sayıdaki yalıtım seçeneğinden biridir.

Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalarda, cephe yalıtımında konvansiyonel yalıtım malzemelerinin yerine vakum izolasyon panel kullanımının, %50'yi aşan ısı kazançları sağladığı tespit edilmiştir.

Ancak, vakum izolasyon panellerin binalarda uygulanması hâlâ deneme aşamasındadır. Uygulamada bazı problemler mevcuttur. Bu problemler; vakum izolasyon panel fiyatlarının göreceli olarak çok yüksek oluşu, panellerin taşınması ve uygulama sırasında malzemenin çok çabuk zarar görebilmesi olmak üzere iki ana başlıkta sıralanabilir. Özellikle, slika bazlı iç dolgu malzemelerin üretim maliyetinin yüksek olması, bu konuda çalışan firma sayısının az oluşu ve vakum izolasyon panel üreten firma sayısının henüz yeterli olmaması, vakum izolasyon panel fiyatlarının diğer yalıtım malzemeleri ile rekabet edebilir düzeye gelmesine şu an için olanak vermemektedir. Binalarda yalıtım malzemesi olarak vakum izolasyon panel kullanımının, tüm bu sorunların çözümü ile birlikte, gelecek on yılda büyük bir ivme kazanacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKÇA

1. Binz, A., Steinke, G. (2005). Applications of Vacuum Insulation in the Building Sector, 7th International Vacuum Insulation Symposium.
2. Comitte of IEA/ECBCS (2005). High Performance Thermal Insulation, Anex 39 Report - Subtask A.
3. Comitte of IEA/ECBCS (2005). High Performance Thermal Insulation, Anex 39 Report - Subtask B.
4. Erb, M., Eicher, Pauli, A.G. (2005). IEA/ECBCS High Performance Thermal Insulation, 7th International Vacuum Insulation Symposium.
5. Incropera, F.P., DeWitt, D.P. (2001). Fundamentals of Heat and Mass Transfer, John Wiley and Sons.
6. Simmler, H., Bruner, S. (2005). Vacuum Insulation Panels For Building Application: Basic Properties Aging Mechanism and Service Life, Elsevier.
7. Simmler, H., Bruner, S. (2005). Agging and Service Life of VIP in Buildings, 7th International Vacuum Insulation Symposium.
8. TSE 825 (1998). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları.
9. Wakilli, G., Nussbaumer, T., Bundi, R. (2005). Thermal performance of VIP Assemblies in Buildings Constructions, 7th International Vacuum Insulation Symposium.