

## Yeni Nesil Isı Yalıtım Malzemesi: Vakum Yalıtım Paneli

Hilmi Cenk BAYRAKÇI<sup>1\*</sup>, Metin DAVRAZ<sup>2</sup>, Ebru BAŞPINAR<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Süleyman Demirel Üniv., Senirkent MYO, Teknik Programlar Bölümü, 32600, Senirkent/Isparta.

<sup>3</sup>Süleyman Demirel Üniv., Pomza AUM, Batı Kampüsü 32060, Isparta.

**Özet:** Vakum yalıtım panelleri ısı yalıtım özellikleri açısından bilinen yalıtım malzemelerine göre çok daha yüksek performanslı yalıtım malzemeleridir. Geleneksel yalıtım malzemelerine göre on kata ulaşan ısı yalıtımı vakum yalıtım panelleri ile sağlanabilmektedir. Hali hazırda vakum yalıtım panellerinin yaygınlaşmasında en önemli engel yüksek üretim maliyetleridir. Bu durum analiz edildiğinde maliyeti etkileyen en önemli öğenin çekirdek materyalleri olduğu bilinmektedir. Ülkemizde yalıtım malzemesi olarak VYP kullanımı yaygın değildir. Bu durumun başlıca nedenleri, VYP'lerinin yeterince tanınmaması, çekirdeğin yurtiçinde üretilmemesi ve ithalatının da yaygın endüstriyel kullanımlar için ekonomik olmamasıdır. Ayrıca VYP konusunda yürütülmüş bilimsel araştırmalar ve ar-ge çalışmaları çok kısıtlıdır. Ülkemizde ekonomik çekirdek üretiminin gerçekleştirilmesiyle pek çok endüstriyel alanda kullanımını yaygınlaştıracaktır. Uygulamanın yaygınlaşması enerji verimliliği ve tasarrufunu beraberinde getirirken ülke ekonomisine ciddi bir katma değer yaratacak, ayrıca sağlanacak enerji tasarrufunun çevreye çok olumlu katkıları olacaktır. Bu yazıda, ülkemizde bu alanda yürütülecek bilimsel ve endüstriyel araştırmalara katkı sağlamak amacıyla, VYP'lerinin fiziksel, yapısal, performans özellikleri ve üretim metodları konularında bugüne kadar yürütülen bilimsel araştırmaların bulguları özetle sunulmuştur. Geleneksel ısı yalıtım malzemeleri ile VYP'lerinin performansları ve maliyetleri karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Vakum yalıtım paneli, yüksek ısı yalıtım performansı, iç dolgu malzemesi, ekonomiklik.

## New Generation Of Thermal Insulation Material: Vacuum Insulation Panel

**Abstract:** Vacuum insulation panels have higher efficient materials than the insulation materials which have known their heat insulation properties. Heat insulation could be provided by vacuum insulation panels ten times according to conventional insulation materials. The most important difficulty of growing up for vacuum insulation panels is high production costs at present. When this situation was analyzed, it is known that core materials are most important elements which affect to cost. Production of core material at more economical conditions will reduce vacuum insulation panels' production costs significantly, and then VIP's usage will be growing up increasingly. Expansion of applications brings about energy efficiency and economy and will create significant added value to Turkey's economy, in addition this it will be more positive contribution to the environment. VIP is not widely used as insulating material in our country. The main reasons for this situation, VIP's are unknown, its core can't produced domestically, and its imports is not economical for using in industrial. In addition, scientific researches and studies have been limited about VYP. Using of the VIP will become widespread in our country with the production of economic core. Widespreading of the application will provide energy efficiency and conservation. In addition the country's economy will create significant added value, energy conservation will also be a very positive contribution to the environment. In this paper, scientific research findings about VYP's physical, structural, performance characteristics and production methods of VYP have been presented in summary so far in order to contribute to the scientific and industrial research. VYP's performance and costs have been compared with conventional thermal insulation materials

**Key Words:** Vacuum insulation panel, high thermal insulation performance, filling materials, economical.

## 1. Giriş

Isı bir enerji türüdür ve yüksek sıcaklıklı ortamdan düşük sıcaklıklı ortama transfer olur. Akışın kolay sağlanacağı, direncin en az olduğu yol boyunca ısı akışı en fazla olur. Sıcaklığın fazla olduğu bölgenin yanından, sıcaklığın düşük olduğu bölgeye bir sıcaklık gradyeni oluşur. Isı yalıtımı, sıcaklık gradyeni içinden olan ısı akışını düşürerek, sıcaklık gradyenini korur. Kısacası iki farklı ortam arasında ısı alış-verişinin engellenmesine ısı yalıtımı denir. Genellikle yalıtım, çevreye olan ısı kaybını engellemeye yarar. Nadiren ise, çevreden gelen ısıya karşı koruma sağlar. Isıtma ya da soğutma gerektiren ekipmanların, araçların ve yapıların (fırın, soğutucular, dondurucular, su ısıtıcılar, binalar gibi) birçoğunda ısı yalıtımı vardır. Isı yalıtımı binaların; çatılarına, dış cephelerine, garaj, depo gibi kullanılmayan bölümlere bakan duvarlarına, toprak veya içerisinde yaşanmayan mahaller ile daireleri ayıran döşemelerine, tesisat borularını ile havalandırma kanallarına yapılır. Ayrıca özel kaplamalı yalıtım camı üniteleri ve yalıtımlı doğramalar kullanılarak kışın pencerelerden oluşan ısı kayıpları azaltılır, yazın binaya güneş ısı girişi sınırlanır. Böylece ısıtma ve soğutma için harcanan enerjiden tasarruf sağlanır. Isı yalıtımı, binanın temelinden çatısına kadar dışa veya kullanılmayan kısımlara bakan yüzeylerine, ısı geçişini azaltan özel yalıtım malzemelerinin uygulanması ile yapılır.

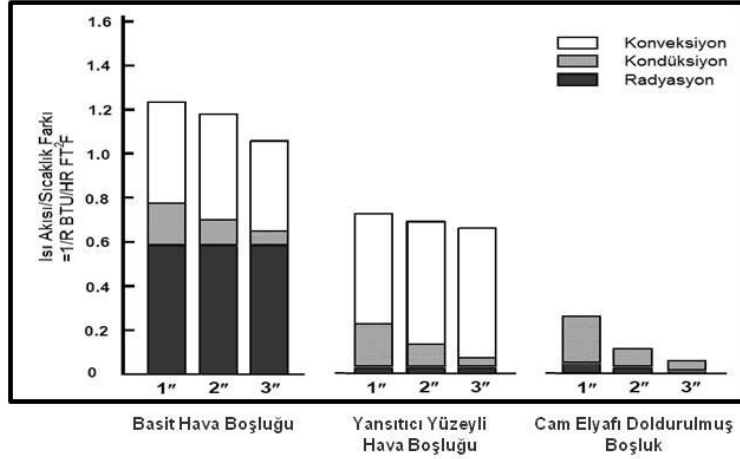
Günümüzde (özellikle fosil) enerji kaynaklarının giderek tükenmesine karşılık, enerji ihtiyacı katlanarak artmakta ve enerji birim fiyatları hızla yükselmektedir. Bu durum kaynakları kısıtlı pek çok ülkede enerjinin verimli kullanılmasına yönelik yeni arayışlara yol açmaktadır. Avrupa Birliği üyesi ülkelerin neredeyse tamamı ısı yalıtımı ile ilgili yasal mevzuatlarını giderek daha sıkı hale getirmiş, “Düşük Enerji Tüketen Yapılar (Low Energy Building)” için yoğun araştırma faaliyetleri başlatılmıştır. Bu da beraberinde konvansiyonel yalıtım malzemelerinden çok daha etkin yeni kuşak yalıtım malzemeleri arayışını beraberinde getirmektedir. Son zamanlarda enerji kaynakları kısıtlı olan ülkemizde de enerji tasarrufu için etkin önlemlerin uygulanmaya alınması yolunda önemli adımlar atılmıştır. Özellikle 2008 yılı içerisinde ilgili yasal mevzuatlarda değişikliklere gidilmiş, yürürlükte olan “Isı Yalıtım Yönetmeliği” revize edilmiş, “Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin

Kullanımında Verimliliğin Artırılması”na yönelik yeni yönetmelikler yürürlüğe alınmıştır. İnşaat sektörüne benzer düzenlemeler beyaz eşya sektöründe de uygulamaya alınmaktadır. 2011 yılı içerisinde Türkiye ve Avrupa Birliği ‘ne üye ülkeleri kapsayacak şekilde enerji tüketimi deklarasyon sınıflarında değişiklik yapılmış ve buna bağlı olarak buzdolapları başta olmak üzere diğer ürünlerde de enerji tüketimini azaltmaya yönelik zorunluluklar ortaya çıkmıştır. Örneğin 2010 yılında en düşük enerji seviyesindeki buzdolabı A++ olarak deklare edilebilirken, aynı buzdolabının yeni tanımlanan A+++ enerji seviyesine getirilebilmesi için enerji tüketim değerinde %26 oranında iyileştirme yapılması gereklidir.

Ülkemizde henüz endüstriyel bir üretimi olmayan VYP’leri, beyaz eşya sektöründe yeni düzenlemelerin devreye girmesi ile birlikte ilgili gündeme alınmaya başlamıştır. Kullanım miktarının artırılması için en önemli engeller bilgi eksikliği, malzeme ve üretim maliyetlerinin yüksek oluşudur. Maliyeti etkileyen en önemli öğenin iç dolgu malzemeleridir. Çekirdeğin daha ekonomik koşullarda üretimi VYP’nin üretim maliyetini de önemli derecede azaltacak, dolayısıyla kullanımı giderek yaygınlaşacaktır. Uygulamanın genişlemesi enerji verimliliği ve tasarrufunu beraberinde getirirken ülke ekonomisine ciddi bir katma değer yaratacak, beraberinde sağlanacak enerji tasarrufunun çevreye çok olumlu katkıları olacaktır.

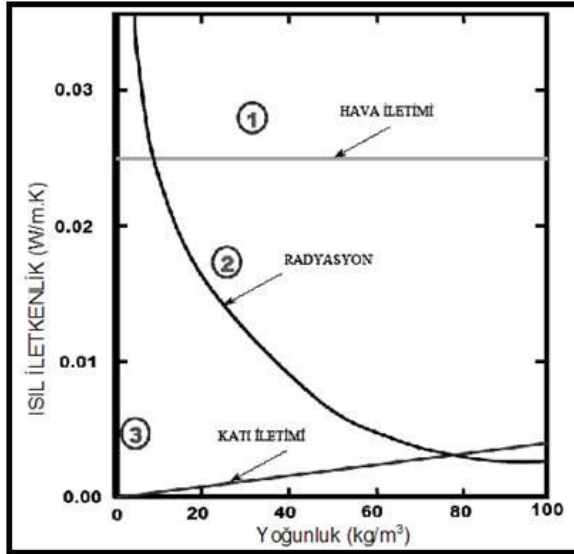
## 2. Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtım Malzemeleri

Günümüzde yapılar ve endüstriyel uygulamalara yönelik olarak yüksek performanslı ısı yalıtım malzemeleri ve sistemlerinin gelişimi için büyük çaba sarf edilmektedir. ABD, Kanada, Japonya, Almanya gibi gelişmiş ülkeler araştırmalarını enerjinin verimli kullanımı ve ısı yalıtımı konularında yoğunlaştırmışlardır. Bu konuda sağlanacak gelişmeler, hava boşlukları boyunca ısı transfer mekanizmasının iyi anlaşılmasına bağlıdır. Hava boşlukları boyunca olan ısı akışı da konveksiyon ve radyasyondan kaynaklanmaktadır (Şekil 1) (Shirtliffe, 1972).



Şekil 1. Radyasyon, iletim ve taşınımın hava boşluğundaki ısı transferine etkisi (Shirtliffe, 1972).

Bununla birlikte, hava boşluğunda bir yansıtıcı yüzey, giriş ısı akışı (radyasyon) bileşeni minimum seviyeye azaltabilir. Ayrıca, bazı lifli maddelerin eklenmesi (cam elyafı vd.) boşluk içerisindeki hava akışını sınırlayarak, ısı akışını neredeyse tamamen ortadan kaldırabilir.



Şekil 2. Geleneksel (elyaf ve köpük) yalıtımda ısı transfer mekanizmaları (Kistler, 1935).

Herhangi bir geleneksel yalıtım malzemesinde ısı akışının; hava iletimi, radyasyon ve katı iletimi olarak üç temel bileşeni vardır (Şekil 2). Katı iletim ve radyasyon yalıtım malzemesinin yoğunluğuyla ilişkilidir. Isı iletimi (örneğin, hava iletimi) ısı iletkenliği havanınkinden düşük bir gazın havayla yer değiştirmesiyle azaltılabilir. Ayrıca, yalıtım malzemesinin içindeki hava basıncı azalır ise ısı yalıtımı artar. Bu durum yeni bir araştırma alanı olmasına rağmen uzun zamandır araştırmacılar tarafından bilinmektedir (Verschoor vd., 1952). Hava basıncının azalmasıyla yalıtımın arttığı bilinen bir

olgudur ve ısı yalıtım malzemelerinin gözenek büyüklüklerinin etkisinin bir fonksiyonudur (Kistler, 1935). Gözenek boyutunun etkisinin azalmasıyla birlikte havanın ısı iletkenliği azalır.

Kullanılan iç dolgu malzemelerinin ısı iletim katsayıları, atmosfer basıncında klasik yalıtım malzemelerine eşdeğer veya daha yüksek olmakla beraber, vakumlu ortamlarda klasik yalıtım malzemelerine göre çok daha düşüktür. Yapılan araştırmalar, gözenekli bir malzeme içindeki gaz basıncının azalmasıyla ısı yalıtım potansiyelinin arttığını göstermektedir.

## 2.1. Geleneksel Isı Yalıtım Malzemeleri

Son yıllarda gelişen teknolojiyle birlikte ısı yalıtım malzemeleri çeşitlilik kazanmıştır. Isı yalıtım ürünlerinde temel amaç, yapı elemanlarının ısı iletim direncini artırmaktır. Bu ürünlerin yalıtım özelliğini ısı iletim katsayıları belirler. Isı iletim katsayısı ne kadar düşükse bir ürünün yalıtım özelliği o kadar yüksektir. Yüksek ısıl dirence sahip olan ısı yalıtım malzemeleri, ısı kaybı ve kazançlarının azaltılmasında kullanılırlar.

Isı iletim katsayıları 0.06 – 0.10 W/mK'nin altında olan malzemeler, Avrupa standartlarına göre ısı yalıtım malzemeleri olarak tanımlanır. Isı yalıtımı amacı ile kullanılan ürünler, açık gözenekli ve kapalı gözenekli olarak sınıflandırılabilir. Açık gözenekli veya elyafli malzemelere; cam yünü, taş yünü (mineral yünler), ahşap yünü, seramik yünü, cüruf yünü; kapalı gözenekli malzemelere ise EPS genleştirilmiş polistiren, XPS ekstrüde polistiren, elastomerik kauçuk, polietilen köpüğü, cam köpüğü örnek verilebilir.

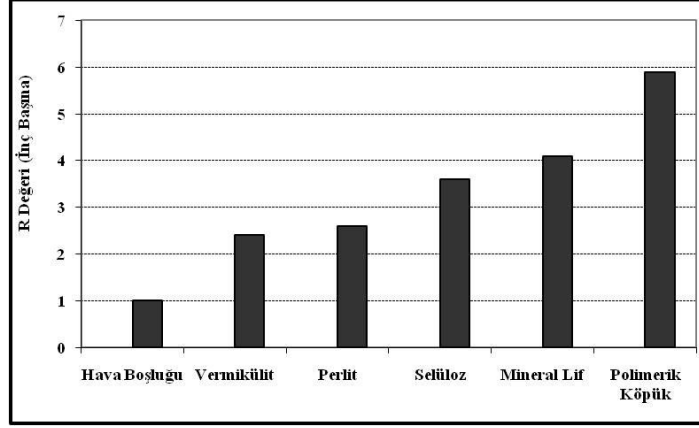
Yalıtım malzemelerinin; ses sönümlenme değerleri, yangın karşısındaki performansları, su emme değerleri, donma çözülme dayanımı, yük altındaki uygulamalar için basınç dayanımları malzeme

seçiminde önemli rol oynar. Kullanım kolaylığı ve ekonomik olması da ısı yalıtım ürünlerinde aranan diğer özelliklerdir.

## 2.2. Yüksek Performanslı Isı Yalıtımı

Avrupa'da ısı yalıtımı ile ilgili uygulamaların ve standartlar tekrar gözden geçirilip güncelleştirilen ısı enerjisi miktarının sınır değerleri aşağıya çekilmiştir.

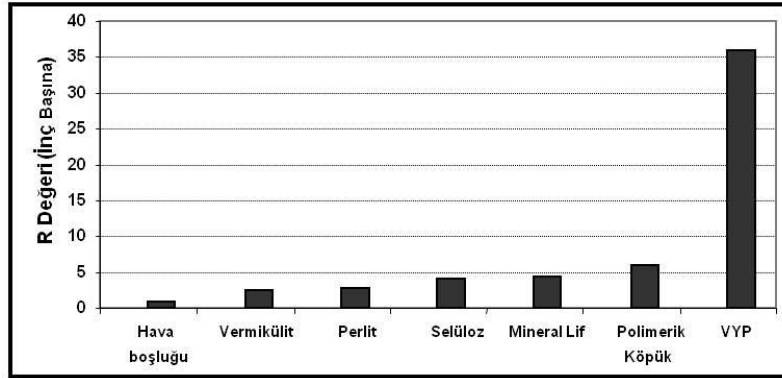
Böylelikle az enerji tüketen yapılar yaklaşımının giderek daha popüler olması, araştırmacıları ve üreticileri, daha düşük ısı iletimi katsayısına sahip yalıtım malzemeleri araştırmaya ve üretmeye yöneltmiştir. Yaygın olan yalıtım malzemeleriyle istenilen yalıtım özelliklerini sağlamak ya çok pahalı ya da uygulamalarında alan kısıtlılığı nedeniyle imkânsızdır.



Şekil 3. Halen kullanmakta olan yalıtım malzemelerinin R değeri (Mukhopadhyaya, 2006)

Isı yalıtımı en basit haliyle, yapıdaki iki tabaka arasında hava boşluğu oluşturularak yapıların inşasında kullanılmıştır. Isı transferinin iyi anlaşılmasıyla birlikte, ısı yalıtımında R-değerinin önemi de anlaşılmıştır.

Fakat yeni teknolojilerin üretimi nispeten yavaştır. Şekil 3'de belirtilen her ısı yalıtımı, bir sonraki daha yüksek R-değerine sahip yalıtım geliştirilinceye kadar yüksek performanslı ısı yalıtımı olarak kabul edilmiştir (Mukhopadhyaya, 2006).



Şekil 4. Halen kullanılan yalıtım malzemeleri ile VYP ısı direncinin karşılaştırılması (Mukhopadhyaya, 2006)

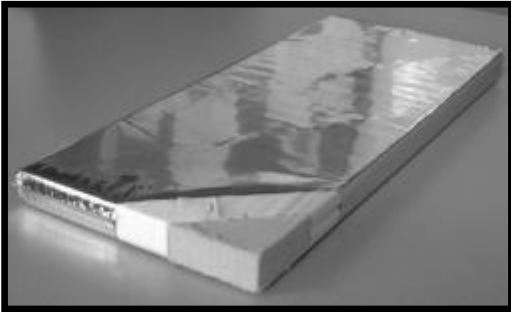
Yalıtım malzemelerinin yalıtım özelliklerinin ve uygulama alanlarının geliştirilmesi konuları birçok araştırmacının çalışmalarını yoğunlaştırdığı bir alan haline gelmiştir. Özellikle Vakum Yalıtım Panelleri (VYP) konusunda yapılan çalışmalar sayesinde ısı yalıtımı teknolojisinde büyük ilerlemeler sağlanmıştır. Son yıllarda çalışmalar, özellikle mikro-gözenekli yapıdaki ısı işleminden geçirilmiş silika ve silika aerojel ürünler üzerinde yoğunlaşmıştır.

Bu malzemelerin ısı iletim katsayıları 10-22 mW/mK arasında değişmekte olup alışlagelmiş yalıtım malzemelerine göre daha düşüktür. Gerek mikro-gözenekli yapıda gerekse alışlagelmiş yalıtım malzemelerinin vakumlanması suretiyle 4 mW/mK gibi düşük değerlere ulaşılabilmesi de mümkün olmaktadır. Uygulamalar geliştirilen yeni ürünlerin iyi bir performansa sahip olduğunu kanıtlamış ancak endüstriyel uygulamalar açısından gelişmeye açık olduklarını da göstermiştir (Şekil 4).

### 2.3. Vakum Yalıtım Panelleri (VYP)

#### 2.3.1. VYP'lerinin Tanıtımı

Vakum yalıtım panelleri (VYP), ısı yalıtım özellikleri açısından bilinen ısı yalıtım malzemelerine göre çok daha yüksek performanslı yalıtım malzemeleridir. Geleneksel yalıtım malzemelerine ( $\lambda_{maks} : 0.04 \text{ W/mK}$ ) göre 10 kata ulaşan ısı yalıtımı VYP'ler ( $\lambda_{maks} : 0.004 \text{ W/mK}$ ) ile sağlanabilmektedir. VYP'ler, gözenekli yapıdaki bir iç dolgu malzemesinin (çekirdek) karakterine bağlı olarak, gaz giderici malzeme kullanılarak ya da tek başına bir dış zarfın içine konularak vakumlanması ve sızdırmazlığı sağlanarak atmosfere kapatılması ile oluşturulur (Şekil 5) (Deniz ve Binark, 2008).



Şekil 5. Vakum yalıtım panelinde çekirdek, iç zarf ve dış zarfın görünümü

#### 2.3.2. VYP Kullanım Alanları

VYP'leri, son zamanlarda gelişmekte olan yüksek performanslı yalıtım ürünleridir. Fırınlar, soğutucular, dondurucular, su ısıtıcıları vb. endüstriyel ekipman ve araçların birçoğunda ısı yalıtımı yer alır. Özellikle VYP'lerin kullanımının giderek yaygınlaşmaya başladığı alan ise soğutuculardır. Bununla birlikte, çevredeki yapılar için yüksek performanslı ısı yalıtım malzemeleri ve sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Hastane, okul, resmi binalar, depolar, spor salonları, alışveriş merkezleri, iş merkezleri, terminaller, fabrikalar, soğuk hava depoları gibi geniş hacimli yapılarda kullanılan malzemelerin yalıtım performansı büyük önem kazanmaktadır. Binalardaki enerji tasarrufu, binaları kaplamak için kullanılan yapı yalıtım malzemelerinin performansına bağlıdır. Geliştirilen vakum yalıtım panelleri yüksek ısı yalıtım özellikleri sunar ve enerji tüketimini önemli ölçüde azaltır. Bununla birlikte VYP sistemleri fazla bilinmemekte veya bina yalıtımında nadiren kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe yaygınlaşabilmesi için nispeten düşük maliyetli çekirdek malzemeye sahip daha ekonomik VYP'lerinin üretilmesi gerekmektedir. Bu paneller, özellikle enerji ihtiyacı ve enerji maliyeti yüksek olan yerlerde daha kullanışlıdır.

Yalıtım malzemesi olarak VYP'lerinin kullanıldığı örnek uygulamalar;

- Tavan, taban ve yan duvar uygulamaları,
- Dış cephe uygulamaları,
- Çatı ve tavan arası uygulamaları,
- Pencere yalıtımı uygulamaları,
- Hazır prefabrik beton panel uygulamaları şeklindedir (Comitte of IEA/ECBCS, 2005)

#### 2.3.3. VYP Performansı

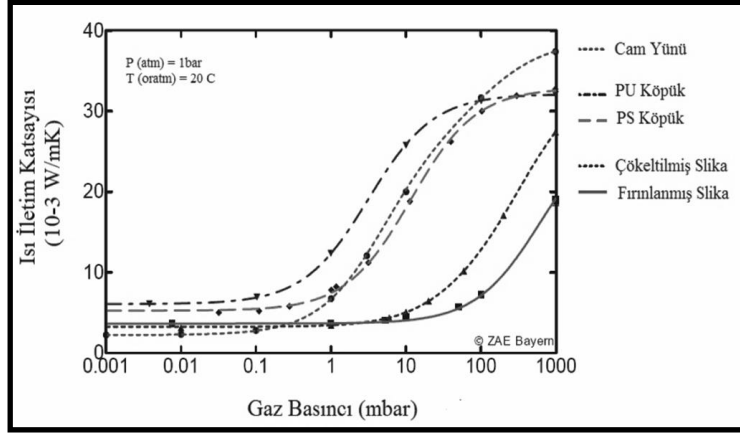
VYP'lerinin üzerinde doğrudan belirleyici olan termal köprü etkisi ve yaşlanma olayı bina uygulamaları için en kritik özelliklerdir (Simmler vd., 2005).

Günümüzde üretilen farklı VYP'lerinin ortalama servis ömürleri, 10-50 yıl arasında değişmektedir. VYP'lerinin ömrü öncelikle gaz bariyerine (dış zarf) ve çekirdek malzemesine bağlıdır. Ayrıca yapı detayı içerisindeki yerleşime de bağlı olarak değişiklik göstermektedir. VYP'leri, vakumlu oldukları sürece görevlerini yerine getirirler. VYP'lerindeki vakum seviyesi artışı; dış zarf ve kaynak noktaları boyunca gerçekleşen gaz ve su buharı geçirgenliği, iç dolgu malzemesinden ve zarf malzemesinden kaynaklanan gaz yayılımı gibi sebeplerden kaynaklanmaktadır. Vakum seviye artışının önlenmesi için, VYP'lerine gaz giderici yerleştirilmektedir. Yerleştirilecek gaz giderici miktarı tamamen planlanan VYP ömrü ile ilişkilidir. Gaz gidericiler kimyasal elemanlardır ve panel içindeki atık gazları ve su buharını tutmaktadırlar. VYP'lerinin ömrü belirlendikten sonra gaz ve su buharı geçirgenlikleri ile gaz yayılımı değerleri dikkate alınarak, panel içine yerleştirilen gaz giderici malzemenin ömrü bittiği anda panel de ömrünü tamamlamaktadır (Deniz vd., 2008).

#### 2.3.4. VYP Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Önemi

VYP'lerinin ısı yalıtım performansları, vakumlanabilirlik ve atmosfer basıncına karşı destek görevi gören çekirdek malzeme özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Çekirdek, genellikle açık hücreli ve iletim yoluyla gerçekleşen ısı transferini en az seviyeye indirecek özellikte bir ısı yalıtım malzemesidir. Bu özelliğinin dışında, temel bir diğer görevi de yapıya esneklik ve dayanıklılık sağlamaktır.

Yapılan çalışmalarda, VYP'lerinin iç dolgu malzemesi olarak, arojel, açık hücreli poliüretan, geri dönüşümü yapılmış üretan (ruf), açık hücreli ekstrude edilmiş polistren, fiberglas ve toz malzemelerin kullanıldığı bilinmektedir. VYP'leriyle yapılan çalışmaların tamamına yakını silis tozu, polimer esaslı, hidrojel ve arojellerden ( $\text{SiO}_2$ ) meydana gelen iç dolgu malzemeleri ve bunların farklı zarf malzemeleriyle bileşimleri üzerine yapılmış olup, bu bileşimlerin ısı iletim katsayıları araştırılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Farklı iç çekirdek malzemesine sahip VYP'lerinin ısı iletim katsayıları (Comitte of IEA/ECBCS, 2005)

Çekirdek, alüminyum geçirilmiş polietilen (PE) ya da polietilen tereftalat (PET) içeren birkaç tabakadan oluşan yüksek bir bariyer tabakası ile kapatılır ve içerisindeki basınç 1 mbar seviyesinin altına kadar boşaltılır. Bariyer tabakalar özellikle bina uygulamaları için ihtiyaç duyulan uzun bir servis ömrü için ve nem ile havanın çok düşük oranlardaki sızıntılarına karşı en uygun hale getirilir. Gaz bariyeri havaya ve neme karşı yalıtım sağlanmasına yardımcı olurken çekirdek malzemesi de ısı yalıtım kapasitesini artırır. İçi boşaltılmış çekirdek, oda sıcaklığında hemen hemen 0.004 W/mK ısı iletkenliğe sahip olur. 2 cm kalınlıkta U değeri 0.2 W/m<sup>2</sup>K'dır. Bu incelik büyük ölçüde dış cephe yalıtım yapısında önemli avantajlar sağlar (Caps vd., 2001).

Çekirdek malzemede açık hücreli dolgu malzemesinin yüksek gözenek basıncında daha düşük ısı iletim katsayısına sahip olması, malzemenin gözenek yapısı ile ilgilidir. Daha küçük gözenekli çekirdek malzemeleri, daha yüksek gözenek basınçlarında daha düşük ısı iletim katsayısına sahip olabilmektedir (Tye, 1969). İdeal bir çekirdek malzeme açık hücre yapısına ve çok küçük gözenek çapına sahip olmalı, atmosfer basıncına karşı dayanıklı olmalı ve radyasyon ışımasına direnç göstermelidir (Mukhopadhyaya, 2008).

### 2.3.5. VYP Avantaj ve Dezavantajları

VYP'lerinin ısı yalıtım kapasitesi geleneksel yalıtım malzemelerinden birkaç (maksimum 10) kez daha yüksektir. Bu durum uygulama kalınlığı açısından da büyük bir avantaj sağlarken, kullanım alanını da oldukça genişletmektedir. Paneller özellikle enerji talebinin ve maliyetinin yüksek olduğu yerlerde yararlıdır.

VYP'lerinin artan yalıtım değerleri, bina zarf malzemelerinin kalınlığının azalmasını sağlamaktadır. Yapıyı oluşturan elemanların boyutlarının yapısal mukavemetinden çok yalıtım malzemesi taşıyabilme yeteneğine sahip olduğu durumlarda, yalıtım kesitleri

azaltılabilir. Bu sayede kullanılan malzemeden tasarruf edilebilir, kullanılabilir bina alanı artırılabilir ve binanın ömrü tamamlandığında ortaya çıkacak olan atık malzemeler azaltılabilir (Deniz vd., 2008). Hali hazırda mevcut VYP'lerinin yaygınlaşmasında en önemli engel yüksek üretim maliyetleridir. Vakumlama ve ambalajlama pahalı bir yöntem olmayıp günümüzde pek çok endüstriyel alanda yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. VYP'lerinde maliyeti etkileyen en önemli öğenin çekirdek materyalleri olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte bu konuda çalışan üretici firmaların sayısının az olması ve VYP'leri üreten firma sayısının henüz yeterli olmaması, VYP fiyatlarının diğer yalıtım malzemeleri ile rekabet edebilir düzeye gelmesine şu an olanak vermemektedir. Çekirdek materyalinin daha ekonomik koşullarda üretimi VYP'lerinin üretim maliyetini de önemli derecede azaltacak, dolayısıyla kullanımı giderek yaygınlaşacaktır.

### 2.3.6. VYP Çekirdek Hammaddeleri

VYP'leri dolgu malzemesi türüne bağlı olarak birkaç ana bölüme ayrılabilir. Bu bölümler gözenekli yapıya sahip "çekirdek", dolgu maddesi olarak toz malzeme kullanılan çekirdekler için geçirimsiz "iç zarf" ve vakum sonrası çekirdek malzemesini atmosfere kapatmak suretiyle gaz geçirimsizliği sağlayan sızdırmaz "dış zarf (bariyer)" ve çekirdek içerisindeki gazları-nemi absorbe edebilecek "gaz giderici/kurutucular"dır.

Toz malzeme kullanılarak elde edilen çekirdekler, kağıt yada elyaf tela kullanılarak hazırlanan iç zarf malzemesi içerisine yerleştirildikten sonra vakumlanabilmektedir. İç zarf olarak kullanılan telanın vakumlanabilirliği, birim ağırlığı ve gözenek boyutu önemlidir. Toz malzeme kullanılan çekirdeklerde tela, vakum esnasında toz malzemeyi tutabilmeli, vakuma engel olmamalı ve birim ağırlığı nispeten düşük (ince) seçilmelidir. Açık hücreli poliüretan ya da polistren, fiberglas gibi toz olmayan malzemelerde iç zarf kullanımına gerek yoktur.

Bariyer film VYP'nin dış yüzeyini oluşturan malzemedir. Bu malzemenin en önemli işlevi atmosferik gazlara ve neme karşı etkin bir geçirimsiz katman oluşturarak vakumun sürekliliğini sağlamaktır. Ayrıca alüminyum folyo ya da metalize katman içeren filmlerin yüzeyleri parlaktır. Bariyerlerin yüzey yansıtma kabiliyeti, VYP'nin ışınlama (radyasyon) ısı iletiminin azaltılması açısından büyük önem taşır. Bazı filmler her bir yüzeyi katmanlı plastik filmle (polietilen-PE yada polietilen tereftalat –PET) güçlendirilmiş çok ince metal filmlerden (özellikle alüminyum) oluşmaktadır. Düşük erime sıcaklığına sahip bazı özel tabakalar, kaynak yerine ısı yapıştırma yapılarak sızdırmazlığı sağlayacak şekilde film katmanına ilave edilmiştir. Bu filmler mükemmel bir geçirimsizlik özelliğine sahipken kenarlarda ısı iletimi (termal köprü) yine de mevcuttur. Bu termal etkiyi (edge effect) azaltmaya yönelik olarak, metal filmleri daha da ince hale getirmek için püskürtmeyle kaplamanın (ince film biriktirme tekniği) kullanıldığı bazı filmler geliştirilmiştir. Metalize filmler, filmin üzerine metal biriktirilerek gerçekleşir. Burada filmin üstünde yoğunlaşan çok ince alüminyum katmanı, filme, ışık su buharı, oksijen ve diğer gazlara karşı mükemmel bir geçirimsizlik özelliği kazandırır. Bu filmlerin kalınlığı ve katman sayısı, her biri gazlara karşı iyi bir bariyer özelliğine sahip dokuz kata varan plastik/polimer/metal katmanlardan oluşabilir. Şekil 7 ve Çizelge 1'de VYP üretiminde kullanılan 7 katlı metalize filmin özellikleri örnek olarak verilmiştir.

LLDPE	AL	PET	AL	PET	AL	PET
LLDPE : Lineer düşük yoğunluklu polietilen kaplı tabaka						
PET : 12 mikron polyster						
AL : Vakumda alüminyum kaplanmış tabaka						
HDPE : Yüksek yoğunluklu polietilen kaplanmış tabaka						

Şekil 7. VYP üretiminde kullanılan örnek bir dış bariyer (metalize film) katmanları

Çizelge 1. VYP'lerinde kullanılan örnek bir bariyer malzemesinin bazı teknik özellikleri

Bariyer Teknik Özellikleri	Değer	İlgili Standart
Kalınlık (µm)	97	-
Birim ağırlık (m <sup>2</sup> /kg)	9.25	-
Çekme dayanımı (MPa)	82	ASTM D-882
Isıl yapıştırma dayanımı (N/mm)	> 4.4	165°C, 4 kg/cm <sup>2</sup> , 4 s
Sünme (%)	53	ASTM D-882
Tabakalanma dayanımı	> 0.39	ASTM D-882
Delinme direnci (N)	86	FTMS 101C
O <sub>2</sub> geçirimsizliği (cc/m <sup>2</sup> gün)	< 32.10 <sup>-6</sup>	ASTM D 3985, 23°C, RH %50
Rutubet geçirimsizliği (gr/m <sup>2</sup> gün)	0.01	ASTM F1249-90, 38°C, RH %100

VYP üretiminde plastik-metalize katmanlardan oluşan filmler bariyer olarak etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Buna karşılık muhtelif sayıda ve

türde katmanlardan oluşan bu filmlerin katman sayısı, katmanlarda kullanılan malzeme türleri ve üretim teknolojilerine bağlı olarak %100 geçirimsizlik sağladığını söylemek mümkün değildir. Zamanla VYP içerisine gaz-rutubet girişine;

- Filmlerin üretimi esnasında katmanları oluşturan tabakalarda kalan hava kabarcıkları ve delikler (üretim hataları),

- VYP'lerinin hazırlanması esnasındaki oluşabilecek kırışıklık kaynaklı çatlaklar ve ısı yapıştırma kaynaklı hataları (uygulama hataları),

neden olur. Gaz-rutubet girişi VYP içerisindeki iç basıncı zamanla artırır. İç basıncıdaki artış konveksiyonel ısı iletimini artırır. Günümüzde vakum sonrası maksimum 2 mbar/yıl düzeyinde iç basınç artışına izin veren filmler, VYP üretimi için uygun bariyerler olarak kabul edilmekte olup, bu özellikteki VYP'lerinin servis ömrünün de 50 yıla kadar ulaşabildiği belirtilmektedir (Kumlutaş vd.).

VYP'lerinde dolgu olarak mineral kökenli toz malzemelerin kullanılması durumunda, zamanla bariyerden içeriye nüfuz eden gaz ve nem absorbe edilir. Ayrıca bu tozların sıkıştırılmasıyla elde edilen çekirdekteki gözenek boyutları genelde 10 mikron ile 50 nm arasında bir dağılım sergiler. Bu mikro-gözenek yapısı VYP içerisine nüfuz eden gazların ısı iletkenliğini de azaltır. Dolgu maddesi olarak kullanılan toz malzemelerin aynı zamanda gaz giderici/kurutucu etkisi de söz konusudur. Dolayısıyla dolgu maddesi olarak mineral kökenli malzemelerin kullanıldığı VYP'lerinde ilave olarak gaz giderici/kurutucu kullanımına ihtiyaç duyulmaz.

VYP'lerinin üretimini basit olarak açık gözenek yapısındaki bir destek (çekirdek) malzemesinin vakumlanarak hava almayacak biçimde ambalajlanmasına dayandırmak mümkündür. VYP'lerin ısı yalıtım performansları, vakumlanabilirlik ve atmosfer basıncına karşı destek görevi gören çekirdek malzeme özellikleri ile direkt ilişkilidir. Vakumlanmış bir panelin üzerine yaklaşık 15 psi (~1.055 kg/cm<sup>2</sup>) değerinde atmosferik basınç etki etmektedir. Bunun anlamı şudur; 1 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip bir vakum panele yaklaşık 10 tonluk bir kuvvet etki etmektedir. Böyle bir basıncı karşılamak için uygun bir iç destek malzemesi gerekmektedir. Bu malzeme (çekirdek);

- Çökmeden bu basıncı karşılayacak yeterli sağlamlıkta,

- Vakumlanabilir mikro gözenekler içeren,

- Bununla birlikte ısıyı iletmeyecek bir yapıda olmalıdır.

VYP'lerde çekirdek genelde arojel, fumed silika, çöktürülmüş silika ya da açık gözenekli poliüretan (ya da polistren) gibi materyallerden yapılmaktadır.

Bugüne kadar yapılan araştırmalar, bu materyaller içerisinde en yüksek yalıtım performansının arojel kullanılarak üretilen çekirdekler ile sağlandığını göstermiştir.

Ancak aerojel günümüz koşullarında yüksek teknoloji ile üretilen ve oldukça pahalı bir malzemedir. Dolayısıyla çekirdek, VYP maliyetlerini etkileyen en önemli unsurdur.

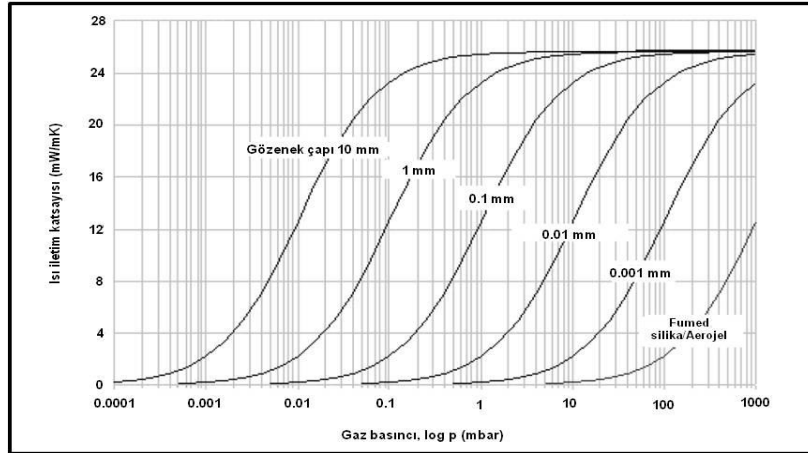
Lifler, toz malzemelerin kullanıldığı çekirdeklerin hem mekanik özelliklerini iyileştirmek hem de kondüksiyonel ısı iletimini azaltmak için kullanılır. Toz malzemelerle belirli oranlarda karıştırılarak kullanılan liflerin narinlik oranı (yada denyesi), çekme mukavemeti, özgül kütlesi, ısı iletkenliği gibi fiziksel özellikleri kompozitin (çekirdeğin) fiziko-mekanik özelliklerini etkiler. Ancak burada en önemli unsur mineral toz - lif karışımının homojenliğidir. Çekirdek üretiminde organik lif, cam elyafı ve selülozik lif olmak üzere 3 farklı lif kullanılabilir.

Gözenekli bir malzeme içindeki gaz basıncının azalmasıyla ısı yalıtım potansiyeli artar. Buna göre bir VYP açık (birbiriyle bağlantılı) gözenekli çekirdek malzemelerden yapılmalıdır. Dolgu maddesi gaz/hava moleküllerinin serbest akışını engelleyerek VYP'lerine mekanik dayanıklılık ve yüksek ısı yalıtım

kapasitesi kazandırır. Böylece VYP içerisinde gaz moleküllerinin konveksiyon yoluyla ısı transferi yeteneği azalır. İdeal bir çekirdek malzemesi;

- Yüksek poroziteye,
- Açık bir hücre yapısına,
- Çok küçük gözenek çapına,
- Yeterli sıkıştırma direncine sahip olmalıdır.

Dolgu maddesinin açık hücreli gözenek yapısına sahip olması çekirdeğin vakumlama başarısı açısından büyük önem taşır. Kapalı gözeneklerin içerdiği gaz/su buharı vakumlanamaz. Dolayısıyla VYP'nin ısı iletim katsayısı yükselir. Çekirdek malzemenin ortalama gözenek çapı da VYP'nin ısı iletim katsayısı açısından çok önemli diğer bir parametredir. Gözenek çapı küçüldükçe, vakum sonrası kalıntı gaz/su buharı moleküllerinin yoğunluğu, yani gözenek basıncı azalır. Bu durum beraberinde konveksiyonel ısı transferini de azaltır. VYP'lerinin ısı iletim katsayıları ile gözenek basıncı ve gözenek çapı arasındaki ilişki Şekil 8'de gösterilmiştir (Simmler vd., 2005).



Şekil 8. Gözenek çapı ve gaz basıncının bir fonksiyonu olarak havanın ısı iletkenliği değerindeki değişim (Simmler vd., 2005)

Şekil 8'de açıkça görüldüğü üzere, aynı gözenek çapında gaz basıncı arttıkça ısı iletim katsayısı değeri katlanarak artar. Benzer olarak sabit bir gaz basıncı değerinde gözenek çapı arttıkça ısı iletim katsayısı üstel bir biçimde artmaktadır. Ancak buradaki istisna farklı gözenek çapları için farklı gaz basıncı eşik sınır değerlerinin olmasıdır. Örneğin 10 mikron gözenek çapı için eşik sınır değer yaklaşık 0.1 mbar iken 1 mikron için 1 mbar'dır. Şekil 8 yorumlandığında, çekirdek malzemenin ortalama gözenek boyutuna göre VYP'lerinde minimum ısı iletim katsayısını (<1 mW/mK) sağlayacak vakum seviyesi (gaz basıncı eşik sınır değeri) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir:

$$P_e = 1/\phi_g$$

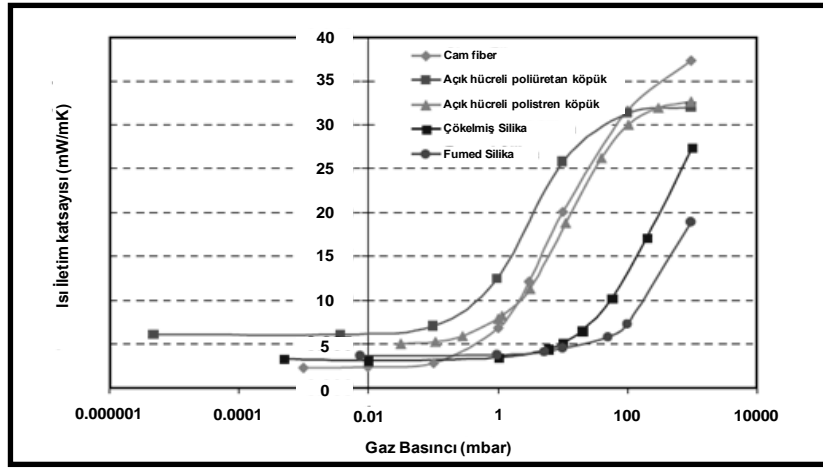
Burada;

$P_e$  : Çekirdek malzemedeki <1 mW/mK değerini sağlayan vakum seviyesi, mbar

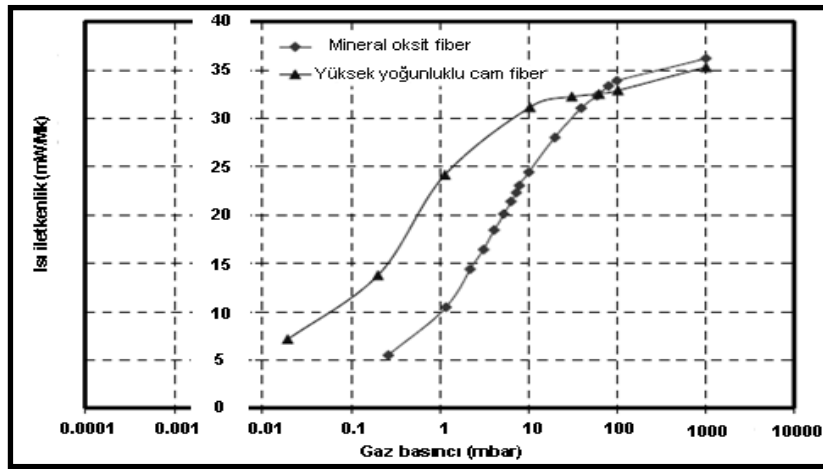
$\phi_g$ : Dolgu malzemesinin ortalama gözenek çapı, mikrometredir.

Açık-mikro gözenekli çekirdek malzemeleri göreceli olarak yüksek gözenek basıncı seviyelerinde, düşük ısı iletimi özelliklerini koruma yeteneğine sahiptir. Bu nedenle açık hücreli poliüretan -polistren köpükleri, cam ve mineral liflerin aksine, mikro ve hatta nano gözeneklere sahip nanojel, aerojel ve fumed silika gibi malzemeler çok düşük ısı iletim özelliklerini 10 mbar civarındaki basınç seviyelerinde korurlar (Şekil 9 ve 10).





Şekil 9. Çekirdek malzemenin boşluk basıncı-ısı iletkenlik değişimi. (Heinemann vd., 1999).



Şekil 10. Sadece fiber dolgudan oluşan VYP'lerinin gaz basıncına göre ısı iletim katsayıları (Glacier, 2006)

Çekirdek malzemenin toplam ısı iletimi açısından, ışınımsal (radyatif) ısı iletiminin minimize edilmesi de büyük önem taşır. Bu amaçla dolgu maddesi olarak toz malzemelerin kullanıldığı çekirdeklerde, karışıma karbon siyahı, silisyum karbür, titanyum dioksit vd. gibi opaklaştırıcı katkı maddeleri (opacifiers) ilave edilir. Böylece çekirdeğe kadar ulaşan ultraviyole ışınlar opaklaştırıcı maddeler tarafından absorbe edilerek ya da yansıtılarak radyasyonla ısı iletimi en aza indirilir.

### 2.3.7. VYP'de Aranılan Mekanik ve Fiziksel Özellikler

VYP çekirdeklerinin birim hacim kütle, ısı iletkenlik, boyutsal kararlılık gibi fiziksel; basınç dayanımı, çekme gerilmesi ve deformasyon gibi mekanik özellikleri önemlidir. Bu özellikler büyük ölçüde çekirdek paneli ile ilişkilidir. VYP'lerinin sağlaması gereken fiziksel ve mekanik özellikler ile ilgili yayınlanmış olan Alman ulusal standartları, Alman Bina Teknolojisi Enstitüsü (Deutsches Institut für Bautechnik) ve Avrupa Birliği Teknik Komitesi

tarafından Haziran 2010'dan itibaren geçerli olmak üzere onaylanarak kabul edilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. VYP'nde aranılan mekanik ve fiziksel özellikler

Değerlendirme kriteri	Sınır Değer ve Standardı	Açıklama
Birim Hacim Kütle ( $\text{kg/m}^3$ )	$\leq 210$ (DIN EN 1602)	-
Boyutsal Kararlılık	% 1 (DIN EN 16041)	70°C ve %90 nem ortamında
Isı İletkenlik ( $\lambda_{10}$ ) (W/mK)	$\leq 0.0053$ (DIN EN 12667)	Oda sıcaklığında, % 10 nem ortamında
Basınç Dayanımı ( $\sigma_{\%10}$ ) (kPa)	$\geq 150$ (DIN EN 826)	% 10 sıkışmada
Deformasyon (Kalınlık)	% 2 (DIN EN 1605)	40 kPa ve 70 °C
Çekme Gerilmesi (kPa)	40 (DIN EN 1607)	Panelin boyu yönünde

### 2.3.8. VYP Çekirdeklerinin Genel Üretim Yöntemi

VYP çekirdeklerinin üretimi bağlayıcı ve bağlayıcısız maddelerin kullanılmasıyla sağlanır. Bağlayıcı bir madde kullanılmadan üretilen çekirdeklerde temel dolgu maddesi toz malzemelerdir. Araştırılan toz grubu malzemelerin partikül çapları 100 µm civarından başlayıp 12 nm boyutuna kadar inebilmektedir. Mikronize edilmiş pomza, diyatomit, amorf silika ve filtre perliti gibi tozların ortalama partikül çapı 7-26 µm arasında değişirken, mikro silikanın 1-10 µm, çökelmiş silikanın 250-500 nm, fumed silikanın ise 7-12 nm civarındadır.

Toz grubu malzemeler ile VYP çekirdek üretim prosesi ana hatlarıyla aşağıda belirtilmiştir:

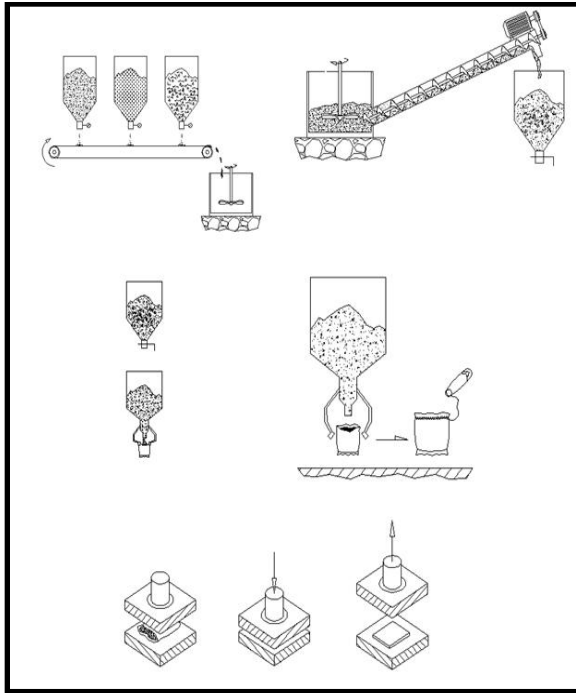
I. Dolgu malzemelerinin tartımı: Hazırlanan reçetede belirtilen miktarlarda toz, lif ve opaklaştırıcı tartılır.

II. Dolgu malzemelerinin karıştırılması: Tartılan malzemeler kapalı ve sızdırmaz bir mikser içerisinde sabit bir devir ve sürede karıştırılır.

III. Karışımın panel haline getirilmesi: Kalıba dökülen karışım, (rijit bir panel oluşturan) belirli bir basınca kadar sıkıştırılır ve sabit bir süre boyunca basınç altında bekletilir.

IV. Zarflanması: Kalıptan çıkarılan panel uygun bir iç zarf malzemesi ile kaplanır.

V. Çekirdeğin kurutulması: Kompozit panel içerdiği lif türüne bağlı olarak belirli bir sıcaklıkta değişmez ağırlığa (%100 kuru duruma) gelinceye kadar kurutulur ve desikatörde ortam sıcaklığına kadar soğutulur. Üretim yöntemi şematik olarak Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. VYP çekirdek üretim yöntemi (şematik)

### 2.3.9. VYP'nin Üretimi

Amaca uygun boyuttaki (yaygın olarak 300 x 300 x 25 mm) çekirdek üç tarafı sızdırmaz biçimde kapatılmış dış zarf (alu-pet) içerisine konularak vakum cihazına yerleştirilir. Silika tozu ile üretilen çekirdek materyaline sahip VYP'lerde iç basınç 1 mbar düzeyine, açık hücreli polistren çekirdek materyalli olanlarda ise daha düşük (~0.1 Mbar) iç basınca ulaşıncaya kadar vakumlama yapılır ve dış bariyerin ağzı otomatik olarak mühürlenir. Mineral tozlar ile üretilen çekirdeklerde, kullanılan çekirdek hammaddeleri ve dış bariyer özellikleri de dikkate alınarak, 60-90 °C' arası sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra vakumlama yapıldığında, vakum başarısı artmaktadır.

### 2.3.10. VYP Isı Yalıtım Performansı Ve Birim Maliyetinin Geleneksel Yalıtım Malzemeleri İle Karşılaştırılması

Geleneksel yalıtım malzemeleri ve VYP'nin ısı yalıtım performansları ısı iletim katsayıları ( $\lambda$ ) ya da eşdeğer dirençleri ( $R_{es}$ ) karşılaştırılarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte yalıtım malzemelerinin performans-maliyet değerlendirmelerinin birlikte yapılabilmesi için  $R_{es}$  değeri daha sağlıklı bir karşılaştırmaya olanak vermektedir.

Çizelge 3'te geleneksel yalıtım malzemelerinden XPS, taşyünü ve yalıtım perliti ile iki farklı çekirdek ile üretilmiş VYP'lerinin  $R_{es}$  değerleri ile birim fiyatları karşılaştırılarak Avro bazında  $m^2$  başına maliyetler hesaplanmıştır. Çizelge 4 incelendiğinde,  $R_{es}$  ( $5 m^2K/W$ ) değeri için en ekonomik ısı yalıtım malzemesi olarak XPS ( $15.40 \text{ €} / m^2$ ) göze çarpmaktadır. Ancak  $R_{es}$  ( $5 m^2K/W$ ) değeri için XPS'in uygulama kalınlığı 175 mm'dir. Aynı şekilde taş yünü levhanın uygulama kalınlığı 200 mm ve perlitin ise 225 mm'dir. Bir başka deyişle, soğutma ekipmanları gibi kesit kısıtlaması olan ve enerji verimliliği aranan uygulamalarda  $R_{es} = 5 m^2K/W$  için bu yalıtım malzemeleri uygun değildir.

Özellikle soğutma-ısıtma ekipmanları gibi kesit kalınlığı kısıtlaması olan ve enerji verimliliği aranan pek çok uygulama için, Çizelge 3'de incelenen ürünler arasında geriye VYP<sub>ref</sub> ve VYP<sub>AJ</sub> kalmaktadır. Bu ürünlerden VYP<sub>AJ</sub> en pahalı olanıdır. VYP<sub>AJ</sub> ile karşılaştırıldığında, 25 mm'lik kesit kalınlığına karşılık %56 daha ucuzdur. İncelenen yalıtım malzemeleri içerisinde, 200 mm kesit kalınlığındaki taşyününün birim fiyatına yakın bir maliyet gösteren VYP<sub>FS</sub>, kesit kısıtlaması olan ısı yalıtımı uygulamaları için halen nispeten ekonomik ve uygulanabilir tek ısı yalıtım ürünüdür.

Çizelge 3. Isı yalıtım malzemelerinin eşdeğer ısıl geçirgenlik direncini ( $R_{eş}$ ) sağlayan kesit kalınlıklarına (d) göre maliyetleri (Davraz vd., 2010)

Yalıtım Malzemesi	$\lambda$ (mW/m.K)	d (mm)	$R_{eş}$ ( $m^2K/mW$ )	Birim Fiyat <sup>[1]</sup> (€/m <sup>2</sup> )	Maliyet <sup>[2]</sup> (€/m <sup>2</sup> )
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
[1]	25 mm kalınlığındaki panel maliyeti				
[2]	Eşdeğer R değerini sağlayan d kalınlığındaki panel maliyeti				
VYP <sub>FS</sub>	DIN EN 12667 standartlarını sağlayan fumed silika çekirdekli				
VYP <sub>AJ</sub>	Aerojel ile üretilen VYP				
XPS	30-32 kg/m <sup>3</sup> yoğunluklu kapalı gözenekli polistren köpük levha				
Taşyünü	150 kg/m <sup>3</sup> yoğunluklu sıkıştırılmış mantolama levhası				
Perlit	130 kg/m <sup>3</sup> yoğunluklu 2-1 mm arası perlit agregası				
$R_{eş}$	Eşdeğer ısıl geçirgenlik direnci ( $R = d/\lambda$ )				

### 3. Sonuç

VYP'lerin ısı yalıtım performansları, vakumlanabilirlik ve atmosfer basıncına karşı destek görevi gören çekirdek malzeme özellikleri ile direkt ilişkilidir. Çekirdek, çokmeden bu basıncı karşılayacak yeterli sağlamlıkta, vakumlanabilir mikro gözenekler içeren, bununla birlikte ısıyı iletmeyecek bir yapıda olmalıdır.

VYP çekirdeklerinin birim hacim kütle, ısı iletkenlik, boyutsal kararlılık gibi fiziksel; basınç dayanımı, çekme gerilmesi ve deformasyon gibi mekanik özellikleri önemlidir. Toz malzemelerle belirli oranlarda karıştırılarak kullanılan liflerin narinlik oranı (yada denyesi), çekme mukavemeti, özgül kütlesi, ısı iletkenliği gibi fiziksel özellikleri çekirdeğin fiziko-mekanik özelliklerini etkiler. Ancak burada en önemli unsur mineral toz-lif karışımının homojenliğidir. İdeal bir çekirdek malzemesi, yüksek poroziteye, açık bir hücre yapısına, çok küçük gözenek çapına, yeterli sıkıştırma direncine sahip olmalıdır. Çekirdek malzemenin toplam ısı iletimi açısından, ışınımsal ısı iletiminin minimize edilmesi de büyük önem taşır. Bariyerlerin (dış zarfın) yüzey yansıtma kabiliyeti ve iç dolguda kullanılan opaklaştırıcı tür ve oranı, VYP'nin ışınımla ısı iletimini etkiler.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan ısı yalıtım malzemeleri maliyet ve performans açısından incelendiğinde, fumed silika çekirdekli VYP'nin, kesit kısıtlaması olan ısı yalıtımı uygulamaları için nispeten ekonomik ve uygulanabilir yegane ısı yalıtım malzemesi olduğu görülmektedir.

25 mm kesit kalınlığındaki VYP, 200 mm kesit kalınlığına sahip taşyünü ile eşdeğer bir yalıtım performansına sahipken, aynı zamanda yakın bir birim maliyet göstermektedir.

Ülkemizde VYP konusunda yapılmış bilimsel araştırma sayısı hayli kısıtlıdır. Bu konuda yürütülen ar-ge çalışması da yok denecek kadar azdır. Oysa başta soğutma-ısıtma ekipmanları gibi yalıtımda kesit kısıtlaması olan ve enerji verimliliğinin ön plana çıktığı pek çok endüstriyel alanda VYP kullanımı giderek bir zorunluluk haline dönüşmektedir. Günümüzde ekonomik VYP'lerinin üretimi ve yalıtım performanslarının geliştirilmesi konularında ilgili sanayi kuruluşlarımız ve üniversitelerimiz hızlı bir şekilde harekete geçmek durumundadır. VYP üretim prosesleri ve ısıl performansları gibi konularda yürütülmüş bilimsel çalışmalardan elde edilen tüm bilgi ve bulgular değerlendirilerek; iç dolgu maddesi olarak kullanılacak farklı türde mineral toz, opaklaştırıcı, lif türleri ve karışıma dahil edilme oranları, çekirdek üretimi sırasında uygulanan sıkıştırma basıncının ısı iletim katsayısına ve malzeme fiziko-mekanik özelliklerine etkileri, çekirdek türüne göre uygulanması gereken vakum seviyeleri, çekirdek üretiminde alternatif metotlar gibi konularda araştırmalar yoğunlaştırılabilir. Bunun için ilgili endüstriyel kuruluşlar üniversite işbirliklerine önem verilmelidir.

#### 4. Kaynaklar

- [1] Caps, R., Heinemann, U., Ehrmantraut, M., Fricke, J., 2001. Evacuated Insulation Panels Filled with Pyrogenic Silica Powders: Properties and Application”, High Temperatures - High Pressures, Vol. 22. pp. 151-156.
- [2] Comitte of IEA/ECBCS, High Performance Thermal Insulation, Anex 39 Report-Subtask A, 2005.
- [3] Comitte of IEA/ECBCS, High Performance Thermal Insulation, Anex 39 Report- SubtaskB, 2005.
- [4] Davraz, M., Bayrakçı H.C., Başpınar E., 2010. TÜBİTAK 109 M 407 No’lu 1002 Destek projesi, Sonuç Raporu (Yayınlanmamış), Isparta.
- Deniz, E., Binark, A., Vakumlu Yalıtım Panelleri, 2008.VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu UTES’2008, İstanbul, 17-19 Aralık.
- [5] DIN EN 1602:199701: Thermal insulating products for building applications Determination of the apparent density; German version EN 1602:1996.
- [6] DIN EN 1604:200706: Thermal insulating products for building applications Determination of dimensional stability under specified temperature and humidity conditions; German version EN 1604:1996 + A1:2006.
- [7] DIN 526121:197909: Testing of thermal insulating materials; Determination of thermal conductivity by the guarded hot plate apparatus; Test procedure and evaluation.
- [8] DIN EN 12667:200105: Thermal performance of building materials and products Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods Products of high and medium thermal resistance; German version EN 12667:2001.
- [9] DIN EN 826:199605: Thermal insulating products for building applications Determination of compression behavior; German version EN 826:1996.
- [10] DIN EN 1605:200706: Thermal insulating products for building applications Determination of deformation under specified compressive load and temperature conditions; German version EN 1605:1996 + A1:2006.
- [11] DIN EN 1607:199701: Thermal insulating products for building applications Determination of tensile strength perpendicular to faces; German version EN 1607:1996.
- [12] Heinemann, U. R., Caps and Fricke, J., 1999.Characterization and Optimization of Filler Materials for Vacuum Super Insulations, Vuotoscienza e tecnologia, 28(1-2): 43-46, ISSN 0391-3155.
- [13] Kistler, S.S., 1935.The Relationship between Heat Conductivity and Structure in Silica Aerogel, Journal of Physical Chemistry 39: 79.
- [14] Kumlutaş, D., Yılmaz, U., 2008.Binalarda Vakum İzolasyon Panellerinin Kullanılmasının Soğutma Yüküne Olan Etkisi, Mühendis ve Makine, Cilt 49, Sayı 583.
- [15] Mukhopadhyaya, P., 2006, High Performance Vacuum Insulation Panel Research Update Canada, Global Insulation Magazine, Oct., pp. 9-15.
- [16] Mukhopadhyaya, P., Kumaran, M.K., Normandin, N., Vanreenen, D., Lackey J.C., 2008.High Performance Vacuum Insulation Panel: Development of Alternative Core Materials, Journal of Cold Regions Engineering, Canada, v. 22. no. 4, pp. 103-123.
- [17] Shirliffe, C.J., 1972. Thermal Resistance of Building Insulation, CBD-149, Institute for Research in Construction, National Research Council, Ottawa Canada.
- [18] Simmler, H., Bruner, S., 2005. Aging and Service Life of VIP in Buldings, 7th International Vacuum Insulation Symposium,.
- [19] Tye, R. P., 1969. Thermal Conductivity I., London and New York: Academic Press., pp. 2-68.
- [20] Verschoor, J. D, P., Greebler, H. J., Manville, 1952. Heat Transfer by Gas Conduction and Radiation in Fibrous Insulation, Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, 74: pp.961-968.