

Nano Gözenekli Vakum Yalıtım Panelleri

Kamil DELİKANLI

*Süleyman Demirel Üniv., Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batı
Kampüsü 32060, Isparta.*

Özet: Enerjinin çok değerli olduğu günümüzde enerjinin etkin kullanımı önem arz etmektedir. Binalarda, yapı elemanlarında, soğutucularda, enerji kayıplarının en fazla olduğu yerlerde kullanılan malzemelerin ısı iletim özelliklerinin iyileştirilmesi ile enerji verimliliği artırılabilir. Ülkemizde enerji verimliliğini destekleyecek yenilikçi yalıtım malzemesi olarak vakum yalıtım panelleri üzerine araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Havası boşaltılmış nano gözenekli çekirdeğe sahip vakum yalıtım panellerinin ısı iletim özelliği geleneksel yalıtım malzemelerinden çok daha yüksek olduğundan, çok iyi enerji verimliliği değerlerine ulaşılabilir. Bu makalede, endüstriyel ve bilimsel araştırmalara katkı sağlamak amacıyla, vakum yalıtım panellerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri, yalıtım özellikleri, üretim yöntemleri konularında literatür araştırması yapılmış ve araştırmaların bulguları özetle sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Vakum yalıtım panelleri, Nano gözenek, Isı yalıtım

Nano Porous Vacuum Insulation Panels

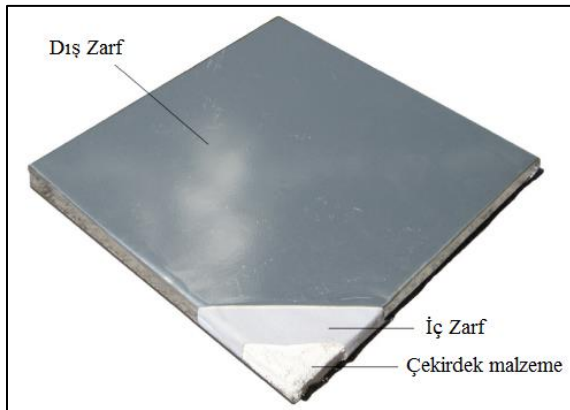
Abstract: In today's world energy is invaluable, thus, effective use of energy is too significant. Energy efficiency can be increased by enhancing the thermal transmission properties of the materials which are used in buildings, building elements, refrigerators and in areas where energy loss is too much. In our country, some studies on vacuum insulation panels as innovative insulation material which will support energy efficiency have been started. Since the thermal insulation property of vacuum insulation panels which have a deflated nanoporous core is too much higher than the conventional insulating materials, excellent values can be reached in energy efficiency. In this article, with the purpose of contributing to the industrial and scientific research, literature search on physical and mechanical properties of vacuum insulation panels, insulation properties, and production methods was reviewed and research findings were presented in brief.

Keywords: Vacuum insulation panels, Nano-pores, Thermal insulation

1. Giriş

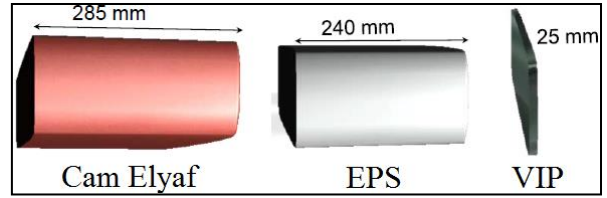
Farklı sıcaklıktaki iki ortam arasında ısı geçişini azaltmak ve enerji tasarrufuna katkı sağlamak için yalıtım uygulanır. Konutlarda ve tesisatlarda etkin bir ısı yalıtımının yapılmasıyla enerji kayıpları azaltılabilir ve ülke ekonomisine çok ciddi katkılar sağlanabilir. Etkin bir ısı yalıtımı yapılmayan binalarda, enerji tüketimi çok fazladır. İyi bir ısı yalıtımı ile yapılarda ortalama yüzde 50 enerji tasarrufu sağlanabilir (İzoder, 2014). Son yıllarda enerji yönetiminin çok önemli hale gelmesiyle, ABD ve Avrupa’da binalar enerji sınıfına göre sertifikalandırılmaktadır. Son yıllarda etkin ısı yalıtımı sağlamak amacıyla geleneksel ısı yalıtım malzemelerinin yanı sıra yeni nesil ısı yalıtım malzemeleri üzerine araştırmalar artmıştır. Yeni nesil ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayılarının daha düşük olmasından dolayı ısı geçişine karşı yüksek direnç göstermekte, daha hafif ve daha ince kesitlerde olabilmektedir. Ülkemizde henüz endüstriyel alanlarda uygulamasının olmamasına rağmen yeni nesil yalıtım malzemesi olarak vakum yalıtım panelleri (VYP) ile ilgili çalışmalar yapılmaya başlamıştır.

VYP’lerin ısı iletim katsayılarının düşük olmasından dolayı ısı geçişine karşı yüksek direnç gösterirler. VYP’ler temel olarak dört kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; çekirdek kısmı, iç zarf kısmı, dış zarf kısmı ve vakumdur (Şekil 1).



Şekil 1: VYP’ nin kısımları

VYP’lerin ısı iletim katsayılarının düşük olması çekirdek malzemeyi oluşturan bileşenlere, çekirdek malzemeye destek sağlayan ve sızdırmazlığı sağlayan bariyer zarfa ve vakum başarısı gibi parametrelere bağlıdır (Davraz vd, 2013). Vakum denilince, bir gazın basıncının normal atmosferik basınçtan düşük olması ya da bir gazın birim hacimde bulunan molekül sayısının atmosferde bulunan miktardan daha az olması anlamına gelir (Rateknik, 2014). VYP içerisindeki hava boşaltılarak havanın gaz ısı iletkenliği önlenmeye çalışılır.



Şekil 2. Cam elyaf, EPS ve VYP’lerin eşdeğer ısı geçirgenlik direncine göre kalınlıklarının karşılaştırılması

Şekil 2’de geleneksel yalıtım malzemelerinden cam elyaf ve EPS’ nin (genişletilmiş polistren) VYP’leri ile eşdeğer ısı geçirgenlik direncine göre kalınlıklarının karşılaştırılması gösterilmiştir. 25 mm kesit kalınlığındaki VYP, 285 mm cam elyaf ya da 240 mm kesit kalınlığına sahip EPS ile eşdeğer bir yalıtım performansı sağlamaktadır. Bu da bize kesit kısıtlaması olan uygulama VYP’lerin daha uygulanabilir olduğunu göstermektedir. VYP’lerin kullanım alanları da Tablo 1’de belirtilmiştir.

Tablo 1. Vakum yalıtım panelinin kullanım alanları (Özkan, 2001)

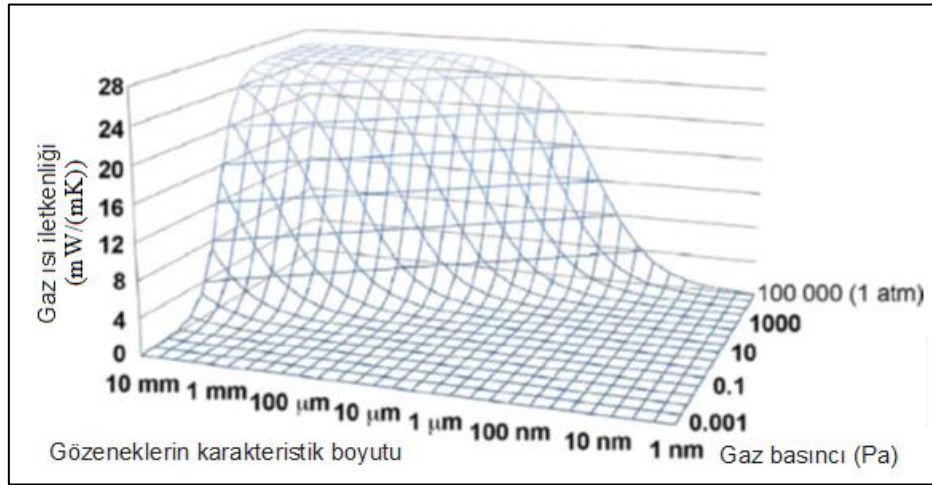
| Lojistik | Binalar | Ev Aletleri |
|-------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Konteynerler | Cephe Kaplama | Soğutucular |
| Tank-Konteynerler | Çatı ve Döşeme Yalıtımı | Dondurucular |
| | Binaların İçten Yalıtımı | Fırınlarda Mikrodalga Fırınlarda |

2. Vakum Yalıtım Panellerinde Kullanılan Materyaller

2.1. Vakum yalıtım panellerinin çekirdek malzemesi ve üretim prosesi

VYP' lerde çekirdek genellikle fumed silika, çöktürülmüş silika ya da açık gözenekli poliüretan (ya da polistren) gibi malzemelerden yapılmaktadır. Çekirdek malzemeyi oluşturan bu malzemeler aynı zamanda atmosfer basıncına karşı da destek görevi görür. VYP' lerin çekirdek kısmı ısı iletim yoluyla gerçekleşen ısı transferini en aza indirileceği kısımdır. Gözenekli malzemelerin ısı iletkenliğine, katı fazın kimyasal yapısı, birim ağırlığı, dağıntık fazı oluşturan boşlukların miktarı, boyutu ve dağılımı etki etmektedir. Isı iletkenliğinde bunlardan başka malzemenin sıcaklığı ve nem oranı, yüzey özellikleri ve rengi de etkili olmaktadır. Gözenekli malzemelerin birim hacim ağırlığı (kg/dm^3), malzemelerin

mekanik dayanımlarında, su ve buhar geçirirliğinde ve ısı iletkenliğinde önemli bir göstergedir. Bu fiziksel büyüklük, boşluk miktarı ve sürekli fazın kimyasal yapısı ile ilgilidir. Boşluk oranı porozite (p , %) arttıkça iletkenlik azalır, dolayısı ile birim hacim ağırlığı azalan malzemenin yalıtkanlık değeri artar, çünkü hareketsiz hava $\lambda_h = 0.023$ W/mK değeri ile çok iyi bir yalıtıcıdır (Aköz vd., 2001). Gaz ısı iletkenliği ile gözeneklerin karakteristik boyutu arasındaki ilişki Şekil 3' de gösterilmiştir. Etkin ısı iletkenliği tahmini için pek çok bağıntı geliştirilmiştir. Bu bağıntıların çoğu malzemeyi oluşturan maddelerin ısı iletkenliği ile hacim oranlarını (gözenekliliği) kullanmaktadır. Bazı modeller ise ilave olarak yapıdaki bileşenlerin veya gözeneklerin şekil, boyut, düzen, sıcaklık, temas etkisi veya faktörü gibi ilave parametrelerden bazılarını da dikkate almaktadır (Yüksel vd., 2009).



Şekil 3. 300 K sıcaklıktaki gaz basıncı ve malzemelerin karakteristik gözenek büyüklüğünün fonksiyonu olarak havanın (mW/(m K)) gaz halinde ısı iletkenliği (Baetens vd., 2010)

Küçük gözenek boyutuna sahip mikro veya nano malzemelerin VYP' lerde çekirdek olarak kullanılması durumunda, vakumla düşük ısı iletkenliğine ulaşılabilir. Farklı çekirdek malzemesine sahip VYP' lerin ısı iletim katsayılarındaki değişim Şekil 4' de gösterilmiştir. Havanın gaz ısı iletkenliği ve gözenek çapı arasındaki ilişki nedeniyle,

çekirdek malzemesi vakum için uygun olmalı ve vakum sonrasında kendinden beklenen koşulları yerine getirmesi gerekir. Bu koşullar (Baetens vd., 2010);

I. Çekirdek malzemede ki gazların boşaltılabilmesi için malzemenin % 100 açık hücreli bir yapıya sahip olması gerekir.

II. Çekirdekte kullanılan malzemelerin gözenek çapının çok küçük olması gerekir. Çünkü büyük gözenek boyutları olan yalıtım malzemelerinin gaz iletkenliğini azaltmak için çok düşük basınç gerekir. Bu durumda çekirdek malzemeyi organik malzemelerden yapılmış zarflar ile korumak zordur. Bu yüzden, nano-yapılı çekirdek malzemesi iyi bir vakumla birlikte VYP'lerde tercih edilir.

Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği (The International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC, 1991) gözeneklerin tanımlanması için özel gözenek boyutu (δ) önerisi oluşturmuştur (Tablo 2).

Tablo 2. Gözenek boyutunun bir fonksiyonu olarak önerilen gözenek adları (IUPAC)

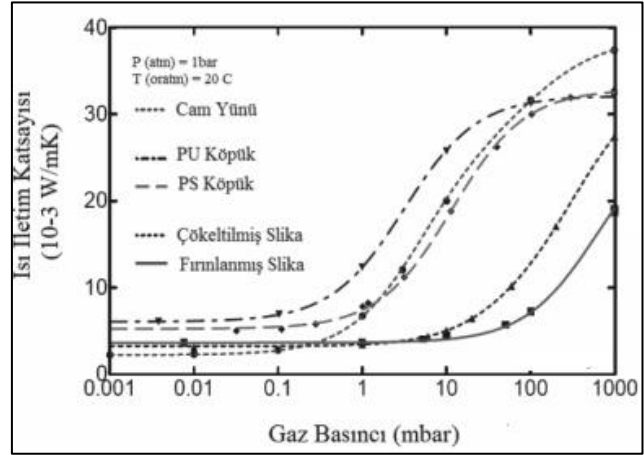
| Gözenek boyutu [nm] | Gözenek adı |
|-------------------------|---------------|
| $\delta < 2$ | Mikro gözenek |
| $2 \leq \delta \leq 50$ | Mezo gözenek |
| $\delta > 50$ | Makro gözenek |

III. Çekirdek malzeme sıkıştırmaya karşı dirençli olmalıdır. VIP'lerin 0.2-3 mbar aralığında bir iç basıncı vardır. Paneldeki basınç yükü ise yaklaşık 1 bar veya 100 kN/m²'dir. Bu yüzden, çekirdek malzemesi yeterince kararlı olmalı ve panellerin içindeki hava boşaltıldığı zaman gözenekler çökmemelidir.

IV. Malzeme radyasyon transferi için mümkün olduğu kadar su geçirmez olması gerekir. Panelin içindeki nemin alınması için nem tutucu kullanılabilir. Panelin çok düşük iletkenlik değerine ulaşması için malzeme içindeki radyasyon transferini de azaltmak gerekir. Radyasyon transferini azaltmak için çekirdek malzemeye opaklaştırıcı maddeler ilave edilir.

İçi boşaltılmış çekirdek, oda sıcaklığında hemen hemen 0.004 W/mK ısı iletkenliğe sahip olur. 2 cm kalınlıkta U değeri 0.2 W/m²K'dir (Caps vd., 2001). 10 nm ya da daha küçük gözenek boyutu VYP'ler için ideal olacaktır. Fumed silika tozundan yapılarak çekirdek malzemesi olarak kullanılan

sıkıştırılmış toz panellerden çok başarılı malzeme kalitesi elde edilir (Şekil 4).



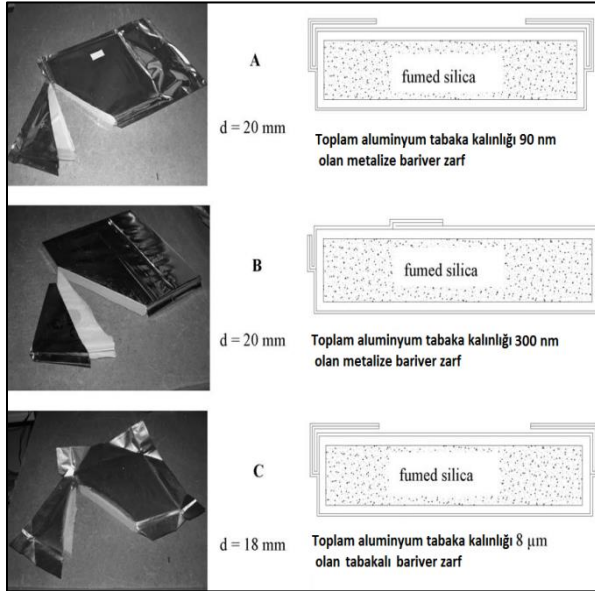
Şekil 4. Farklı iç çekirdek malzemesine sahip VYP'lerin ısı iletim katsayıları (Comitte of IEA/ECBCS, 2005)

VYP'lerin üretim prosesi aşağıda detaylı olarak belirtilmiştir (Bayrakçı vd., 2011).

- Çekirdek numune gruplarının, % nano toz miktarı, % lif miktarı, % opaklaştırıcı maddenin ağırlıkça karışım oranları belirlenerek uygun sıkıştırma kuvvetleri belirlenir.
- Hazırlanan reçetede belirtilen miktarlarda toz, lif ve opaklaştırıcı madde tartılır.
- Tartılan malzemeler kapalı ve sızdırmaz bir mikser içerisinde sabit bir devir ve sürede karıştırılır.
- Kalıba dökülen karışım, belirli bir kuvvetle sıkıştırılıp, sabit bir süre boyunca bekletilir.
- Kalıptan çıkarılan panel uygun bir tela ile kaplanır.
- Kompozit panel içerdiği lif türüne bağlı olarak belirli bir sıcaklıkta değişmez ağırlığa (%100 kuru duruma) gelinceye kadar kurutulup, desikatörde ortam sıcaklığına kadar soğutulur.
- Üretilen tüm çekirdek prototipleri uygun bir vakumlama ve ambalajlama makinesinde havası boşaltılarak ambalajlanır. Ambalaj için çok katmanlı (PE-ALU-PE) malzemeler tercih edilebilir.

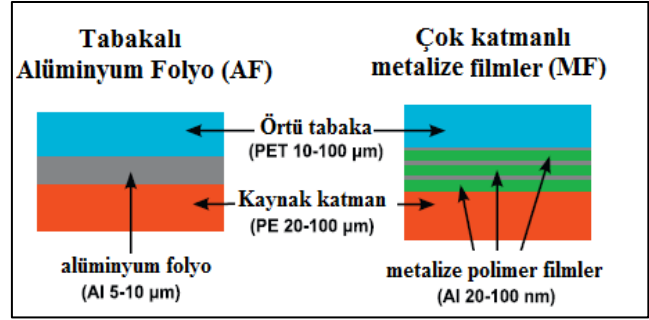
2.2. Vakum yalıtım panellerinde kullanılan bariyerler

VYP' lerinin çekirdek malzemesi en az 90 nm kalınlığında çok katmanlı alüminyum bariyer filmi ile kaplanarak 0.01 ile 1 mbar arasında vakumlanarak atmosfere kapatılır (Şekil 5). Sızdırmazlığı sağlamak amacı ile çeşitli bariyer zarflarda kullanılabilir. VYP' leride bariyer olarak kullanılan filmler alüminyum filmler olabildiği gibi metalize polimer filmlerde kullanılabilir. (Şekil 6). Bazı zarflar her bir yüzeyi katmanlı plastik filmle (polietilen-PE ya da polietilen tereftalat-PET) güçlendirilmiş çok ince metal filmlerden (özellikle alüminyum) oluşabilir.



Şekil 5. Farklı VYP türlerinin köşelerinden kesit gösterimi (Nussbaumer vd., 2005).

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' lerin servis ömürleri de 50 yıla kadar ulaşabilir (Sımmiler vd., 2005; Kumlutaş vd., 2008). Gaz bariyeri havaya ve neme karşı yalıtım sağlanmasına yardımcı olurken çekirdek malzemesinin de ısı yalıtım kapasitesini artırır.



Şekil 6. Ultra gaz bariyer zarfların yapısı: AF ve MF tasarımı (Bouquerel vd., 2012)

2.3. Vakum yalıtım panellerinde kurutucu ve opaklaştırıcı maddeler

VIP' lerde radyasyonla olan ısı transferini düşük bir seviyeye çekmek için çekirdek malzeme içerisine opaklaştırıcı maddeler ilave edilir. Fumed silika kullanılan çekirdeklerde opaklaştırıcı olarak silisyum karbür tozunun kullanımı yaygındır. Opaklaştırıcı madde olarak kullanılan diğer maddelere örnek olarak da karbon siyahı, titanyum dioksit (TiO_2) ve demir oksit (Fe_3O_4) verilebilir (Alam vd., 2011).

VYP' lerinde zamanla bariyerden içeriye giren gaz ve nemi absorbe etmek ve vakum seviye artışının engellenebilmesi için vakum yapılmadan önce çekirdek içerisinde kurutucu kullanılır. Vakum seviyesindeki artış iç basıncın artmasına neden olur. Artan iç basınç hem ısı iletkenlik katsayısını yükselmesine hem de panelin servis ömrünün kılmasına neden olur. VIP' lerin servis ömrü aşağıdaki faktörlere göre belirlenebilir.

1. Panelin başlangıçtaki vakum seviyesine.
2. Membran filmin geçirim hızına.
3. Çekirdek malzemesi ve zar filmin gaz çıkışına (varsa).
4. Zarın sızdırmazlık kenarının geçirgenlik hızına
5. Kurutucu ve gaz giderici etkinliğine ve miktarına
6. Belirli bir çekirdek malzemesi üzerindeki artan basıncın etkisine bağlı olmaktadır.

3. Vakum yalıtım panellerinin fiziksel ve mekanik özellikleri

VYP çekirdeklerinin birim hacim kütle, ısı iletkenlik, boyutsal kararlılık gibi fiziksel; basınç dayanımı, çekme gerilmesi ve deformasyon gibi mekanik özellikleri önemlidir ve toz malzemelerle belirli oranlarda karıştırılarak kullanılan liflerin narinlik oranı (ya da denyesi), çekme mukavemeti, özgül kütlesi, ısı iletkenliği gibi fiziksel özellikleri çekirdeğin fiziko-mekanik özelliklerini etkilerler. Ancak burada ki en önemli unsur mineral toz-lif karışımının homojenliğidir. (Bayrakçı vd., 2011).

VYP' lerinin sağlanması 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 (Tablo 3).

Tablo 3. VYP' lerinde aranan mekanik ve fiziksel özellikler (Bayrakçı vd., 2011)

| Degerlendirme kriteri | Sınır Deger ve Standardı | Açıklama |
|---|---------------------------------|-------------------------------------|
| Birim Hacim Kütle (kg/m^3) | ≤ 210 (DIN EN 1602) | - |
| Boyutsal Kararlılık | % 1 (DIN EN 16041) | 70°C ve %90 nem ortamında |
| Isı İletkenlik (λ_{10}) (W/mK) | ≤ 0.0053 (DIN EN 12667) | Oda sıcaklığında, %10 nem ortamında |
| Basınç Dayanımı ($\sigma_{\%10}$) (kPa) | ≥ 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 |

4. Sonuç

Vakum yalıtım panellerinde toz türü, lif türü, opaklaştırıcı madde türü, sıkıştırma kuvveti, vakum basıncı, sızdırmazlığı sağlayan dış zarf gibi parametreler ısı yalıtım performansı açısından önemlidir. Isı yalıtım performanslarına etki eden bu parametreler üretimden önce uygun bir şekilde belirlenmeli ve sonrasında da yeterli mekanik özellikleri sağlamalıdır.

VYP' lerinin yalıtım performanslarının çok yüksek olması, uzun hizmet ömürlerinin olması ve yüksek enerji verimliliği değerlerine ulaşılabilirdiğinden dolayı binalar, buzdolapları ve dondurucular gibi yalıtımın gerekli olduğu yerlerde uygulanabilir. VYP' lerin üretim sürelerinin zaman alıcı, imalatlarının pahalı olmasından dolayı ülkemizde kullanımı yaygın değildir. Ancak VYP' lerin çekirdek materyalinin daha ekonomik koşullarda üretimi sağlandığında panellerin maliyeti de önemli ölçüde düşeceğinden VYP' lerin üretimi ve kullanımı giderek yaygınlaşabilecektir.

5. Kaynaklar

- Alam M., Singh H., Limbachiya M.C. (2011). Vacuum Insulation Panels (VIPs) for building construction industry - A review of the contemporary developments and future directions. *Applied Energy* 88, 3592–3602.
- Aköz F., Üstün B. (Ç.), Çakır Ö. (2001). Binalarda Isı Yalıtımının Enerji Tasarrufuna ve Çevre Kirliliğine Etkileri. TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yalıtım Kongresi, Eskişehir-Türkiye.
- Baetens R., Jelle B. P., Thue J. V., Tenpierik M. J., Grynning S., Uvsløkk S., Gustavsen A. (2009). Vacuum insulation panels for building applications: A review and beyond, *Norveç*, 147–172
- Bayrakçı, H.C., Davraz, M., Başpınar E. (2011). Yeni Nesil Isı Yalıtım Malzemesi: Vakum Yalıtım Paneli. Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, Cilt:1, Sayı:2, s.1-12.
- Bouquerel M., Duforestel T., Baillis D., Rusaouen G. (2012). Mass transfer modeling in gas barrier envelopes for vacuum insulation panels: A review, *Energy and Buildings*, 55, 903–920.
- Caps R., Heinemann. U., Ehrmanntraut M., Fricke J. (2001). Evacuated Insulation Panels Filled with Pyrogenic Silica Powders: Properties and Application”, *High Temperatures - High Pressures*, , Vol. 22. pp. 151-156.
- Comitte of IEA/ECBCS. (2005). High Performance Thermal Insulation, Annex 39 Report-Subtask A.
- Davraz M., Bayrakçı H.C. (2013). The future of insulation: Vacuum insulation panels, 2nd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, Epoka University, 552-567, Tirana, Albania.
- Haber J., (1991). Manual on Catalyst Characterization Pure and Appl. Chem., IUPAC, 63,1227-1246.
- http://www.izoder.org.tr/isiyalitimi/Isiyalitimi_1_giris.pdf (2014.09.12)
- <http://www.rateknik.com.tr/urun.php?u=1308> (2014.06.15)
- Kumlutaş, D., Yılmaz M., (2008). Binalarda Vakum İzolasyon Panellerinin Kullanılmasının Soğutma Yüküne Olan Etkisi, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Cilt 49, Sayı 583.
- Nussbaumer, T., Bundi R., Tanner Ch., Muehlebach H. (2005). Thermal analysis of a wooden door system with integrated vacuum insulation panels. *Energy and Buildings* 37, 1107–1113.
- Sımmiler H., Bruner S. (2005). Vacuum insulation panels for building application Basic properties, aging mechanisms and service life, *Energy and Buildings* 37, 1122-1131
- Özkan K.S.L. (2001). Yüksek performanslı ısı yalıtım malzemeleri, mühendis ve makine, cilt: 42 sayı: 501
- Yüksel N., Avcı A. Gözenekli Malzemelerin Etkin Isıl İletkenlikleri Üzerine Mevcut Çalışmalar. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 25, No 2, 331-346.*