

## SANDVIÇ PANEL İÇ DOLGU MALZEMELERİ

Poliüretan, PIR, Polistren, Fenolik Köpük ve Taş Yünü gibi malzemeler sandviç panel uygulamalarında en çok tercih edilen iç dolgu çekirdek malzemeleridir. Poliüretan, PIR, Polistren, Fenolik gibi tüm malzemeler Plastik Köpük, Taş Yünü ise İnorganik lifli malzeme olarak iki ayrı grupta nitelendirilmektedir. Aralarındaki farklılık veya sundukları performans avantajları sıkça sorulan ve merak edilen konulardan biridir. Geniş kullanım alanına sahip sandviç panellerin teknik özellikleri bakımından ciddi yanlış anlaşılmanın yanısıra eksik bilgi akışının varlığını kabul etmek gerekir. Yapı fiziğine uygun mekanik dayanım, yalıtım, yangın performansı ve üretim prosesleri dikkate alınarak doğru kompozit sandviç panel tercihinde çekirdek malzeme tipi çok önemli rol oynamaktadır. Bu açıdan bakıldığında, malzemelerden beklenen tüm performansların doğru belirlenip doğru karşılaştırılması ayrıca önem kazanmaktadır.

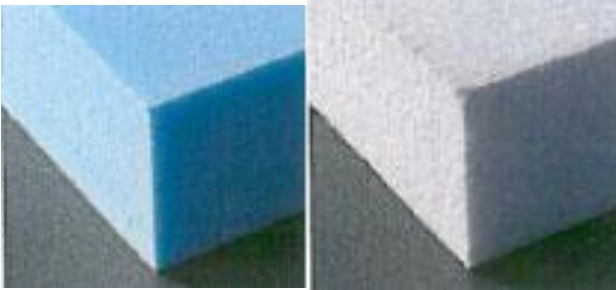
**PUR / PIR (Poliüretan)** : Poliüretan (PUR) ve Polisoziyanat (PIR) sandviç panel üretiminde en çok kullanılan plastik köpüklerdir. Genellikle laminasyonu hatlarda tercih edilen bu tip plastik köpüklerin

Köpürme aşamasında yapışma özelliğinin olması çok ciddi avantajlar sunmaktadır. Son yıllarda kimyasal özellikleri daha da geliştirilerek yangın performansları artırılmıştır. Üretiminde çevreye dost n-pentane şişirici gaz tercih edilmektedir. Sandviç panel üretiminde yaklaşık 50 yıldır kullanılan poliüretan en güvenilir yalıtım malzemesi olarak bilinmektedir.



PUR / PIR (Poliüretan)

**XPS / EPS (Polistren)** : Extrude (XPS) ve Expanded (EPS) olmak üzere iki formda polistren köpük bulunmaktadır. Sandviç panel uygulamalarında ilave yapıştırıcı kullanılarak metal yüzeylere yapıştırılırlar. Termoplastik olarak nitelendirilen polistren köpükler düşük sıcaklıklarda erimektedirler.



EPS (Expanded Polistren)

XPS (Extrude Polistren)

**Fenolik (PF)** : Fenolik köpük diğer plastik köpüklere nazaran daha yeni bir malzemedir. Sandviç panelde çok az tercih edilmektedir. Plastik köpükler içerisinde en iyi yangın performansını sunmaktadır.



Fenolik

**Taş yünü** : Bazalt, diyabaz, dolomit gibi kayaların ergitilerek püskürtüldükten ve bakalit ile karıştırılıp daha sonra özel işlemlerden geçirilmesi sonucu elde edilen mineral yün çeşididir. Yangın dayanımı ve ses yalıtımında mükemmel sonuçlar veren taş yünü, ısı yalıtımında plastik köpüklere nazaran daha düşük yalıtım değerlerine sahiptir.



Taş yünü

Aşağıda verilen teknik bilgiler özel bir üreticiye özgü olmayıp, fikir verme amaçlı genel karşılaştırma verileridir:

## 1. Mekanik Dayanım

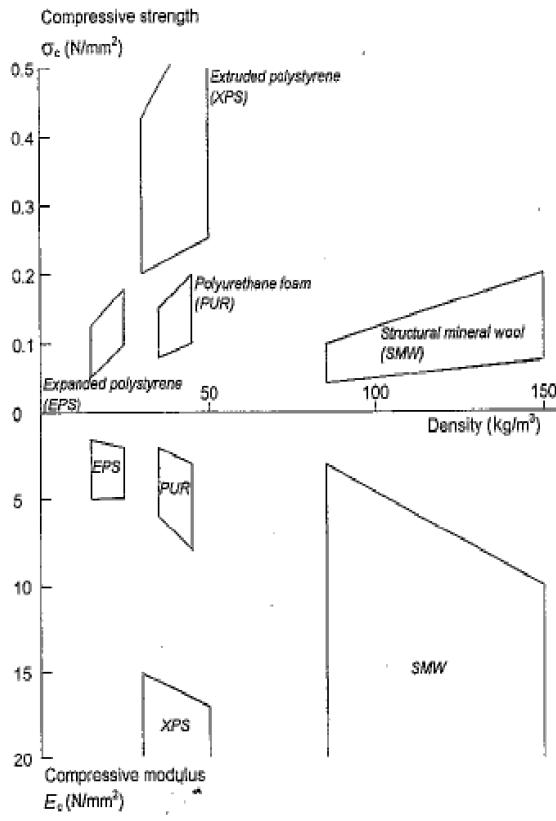
Basma dayanımı, çekme dayanımı, kayma dayanımı ve kayma modülü gibi parametreler kompozit malzeme mekanik dayanım performanslarını belirleyen en önemli değerlerdir. Ayrıca, kompozit malzemelerde mukavemet, bileşenlerinin aralarındaki davranışla birebir ilgilidir. Polistren köpük ve taşyünü gibi malzemeler metal yüzeylere ilave poliüretan bazlı yapıştırıcılarla, Poliüretan, PIR, Fenolik köpükler ise sıvı karışım halinden genişleyerek metal yüzeylere kendinden yapışmaktadır. EPS ve XPS, ucuz üretim prosesiyle iyi yalıtım malzemesi olmasına rağmen ilave yapıştırıcı ihtiyacı sandviç panel uygulamalarında az tercih edilmesine neden olmaktadır. Genellikle, metal yüzeylerdeki yapıştırıcının çekme dayanımı polistren iç dolgu malzemelerinin çekme dayanımından fazla olmasına rağmen analizler bu değerlerin 0,10 N/mm<sup>2</sup>' in altına düşmemesi istenir. Ters durumlarda olası gerilmeler yüzeyde burulmalara neden olmaktadır.

Bu tip polimer içerikli malzemelerin özellikleri ortamın sıcaklığı ve nemden etkilenme ihtimalinin yanısıra uzun süreli yüklemeler sonrası köpük malzemelerin visko elastik davranışı yani

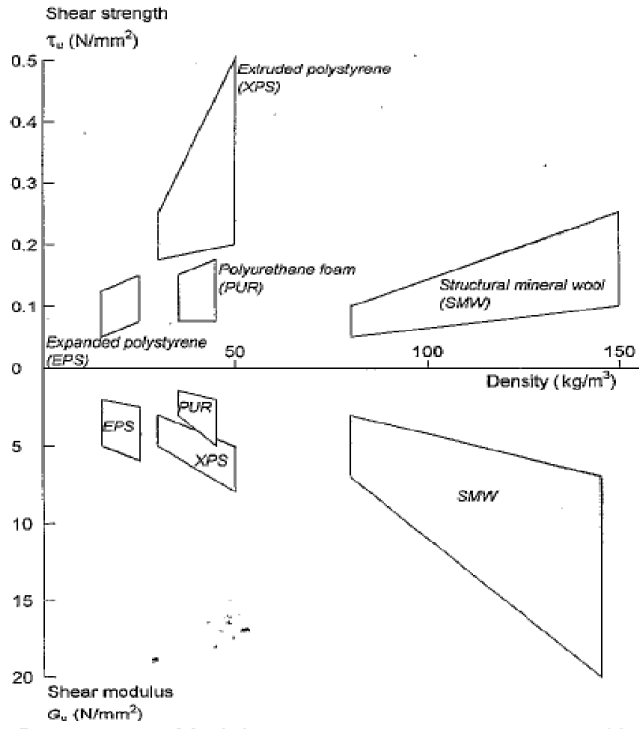
sünmeye neden olabilmesi sandviç panel tasarım aşamalarında dikkatlice değerlendirilmelidir. Sandviç panel Plastik köpüklerinin mekanik özellikleri yoğunlukla birebir ilgili olup, Taş yünü gibi malzemelerde ise birinci etken olmayıp lifli yapının özelliği gibi üretim prosesleriyle değişebilmektedir.

PIR köpüklerin PUR poliüretan köpüklerden farkı sadece üretiminde kullanılan bileşen oranlarındaki farklılıktır. Dolayısıyla her ikisinde köpürme prosesinin yanısıra mekanik ve fiziksel özellikleri çok benzerdir.

1970' li yıllardan itibaren poliüretanın yangın performansını daha da artırmak için geliştirilen Fenolik köpüklerin mekanik dayanımı ile ilgili son zamanlarda problemler tespit edilmiştir. Özellikle, önemli miktarda yürüme trafiğinin olduğu çatı uygulamalarında tercih edilen Fenolik içerikli sandviç paneller, zamanla Fenolik yapısından kaynaklandığı düşünülen erken panel ayrışmaları gözlenmiştir. Tekrarlı yükleme oluşan yapılarda sandviç panel iç dolgu malzemesinin özellikleri çok iyi bilinmelidir.

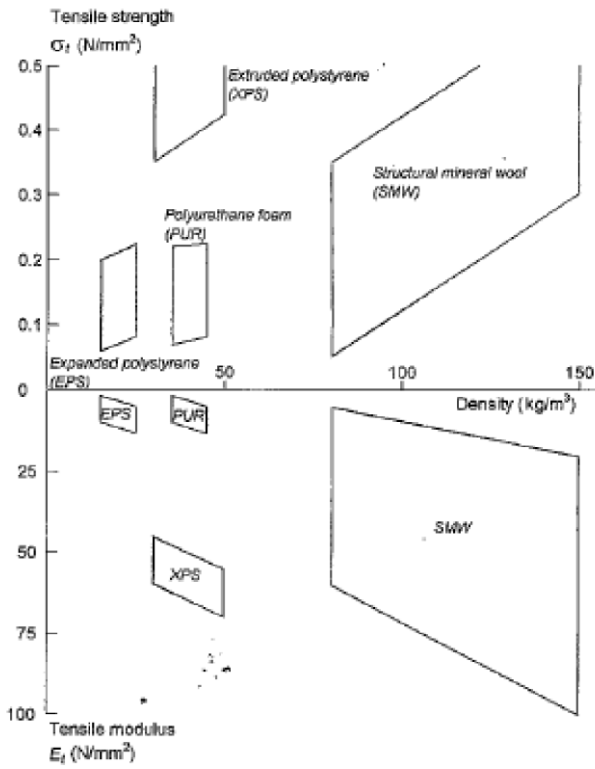


(b) Compression strength and modulus



Basma Dayanımı ve Modülü

Kayma Dayanımı ve Modülü



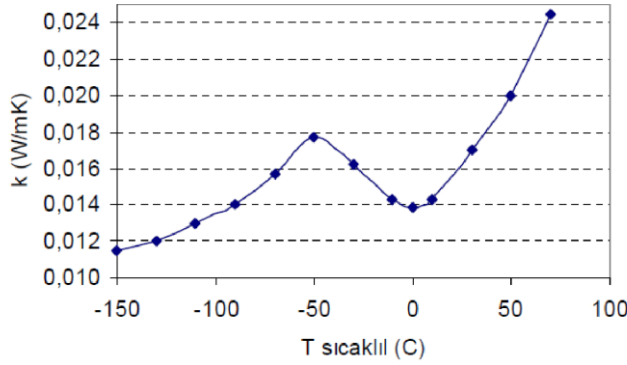
Çekme Dayanımı ve Modülü

	PUR/PIR	EPS	XPS	FENOLİK	TAŞYÜNÜ
Kayma Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	0,08-0,15	0,09-0,16	0,18-0,5	0,05-0,15	0,03-0,2
Kayma Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	1,2-5,0	3,0-7,2	3,2-8,4	2,0-4,0	2,0-15,0
Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	0,07-0,22	0,08-0,17	0,34-0,52	0,03-0,1	0,03-0,6
Çekme Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	1,0-10,0	1,0-10,0	45,0-70,0	1,0-3,0	5,0-40,0
Basma Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	0,10-0,16	0,10-0,18	0,20-0,70	0,08-0,2	0,10-0,15
Basma Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	2,3-6,0	1,2-3,5	15,0-20,0	2,0-8,0	6,0-15,0

## 2. Isı Yalıtımı

Isı iletkenlik değeri ( $\lambda$ ) her malzemeye özel sabit değerdir. 1 m<sup>2</sup> yüzeye sahip 1 m kalınlıkta malzemeden iç ve dış yüzeylerde sıcaklık farkının 1 Kelvin olduğu durumda oluşan ısı akışının Watt (W) cinsinden ifadesidir. Aşağıdaki tabloda yer alan tipik yalıtım malzemesine ait ısı iletkenlik değerleridir. Düşük ısı iletkenlik değeri yüksek ısı yalıtım performansı demektir ki düşük yalıtım malzeme kalınlığı ile istenen performans rahatlıkla karşılanabilmektedir.

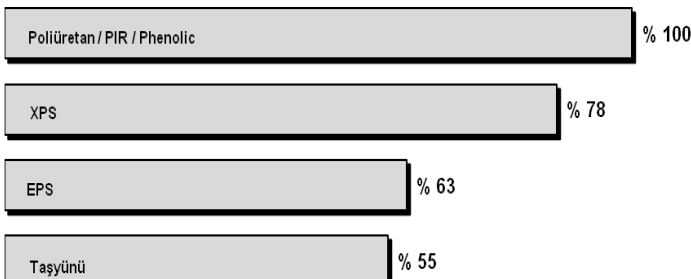
Tüm yalıtım malzemelerinde ısı iletkenlik değeri sıcaklık derecesine göre değişmektedir. Ancak, bu ilişki genellikle lineerdir. Hesaplamalarda malzeme kalınlığı belirlenirken normal uygulamalardaki 10 °C sıcaklık esas alınır ve bu sıcaklığa göre ısı iletkenlik dizayn değerleri belirlenir.



Sıcaklığın PUR ısı iletkenliği üzerindeki etkisi

Optimum ısı yalıtım malzemesinin tercihinde başlangıç ısı geçirgenlik değeri çok önemli parametre olmakla beraber özellikle plastik köpüklerde zamanla ısı yalıtım kapasitesinin azalması yaşlanmış malzemede yalıtım değerlerini de dikkate alınması gerektirmektedir. Düşük yalıtım değerleri karşılaştırıldığında çok yönlü kullanım ve uzun dönemli performansları da dikkate alarak PUR/PIR köpükleri en optimum çözümü sunabilmektedir.

Plastik köpüklerin kapalı hücre yapısı su karşısında daha dayanıklı olmasına karşın Taş yünü gibi inorganik malzemelerin suyla teması ısı performansında %75 gibi oranda ciddi azalmalara neden olabilmektedir.



Çekirdek malzemeler Yalıtım Etkinliği

	PUR/PIR	EPS	XPS	FENOLİK	TAŞYÜNÜ
Isı İletkenlik (W/m.K)	0,022-0,028	0,034-0,037	0,025-0,028	0,022-0,028	0,034-0,040

### 3. Su Emme Kapasitesi

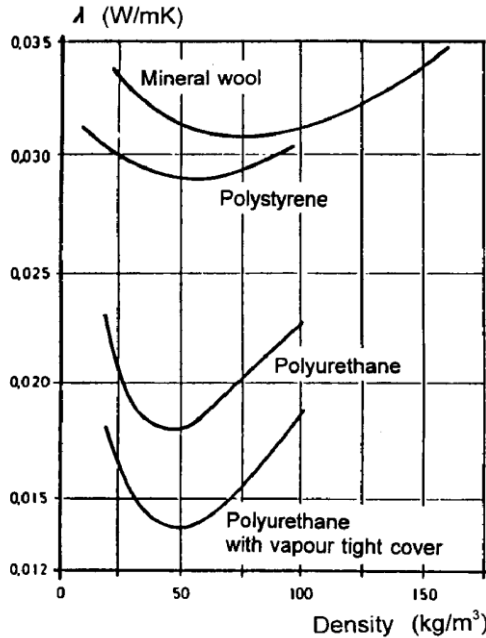
Yalıtım malzemesinden istenen sudan direkt etkilenmemesidir. Ayrıca, kapilarite yoluyla dolaylı olarak ıslanıp ısı geçirgenlik değeri yükselmemelidir. Taşyününde bulunan lifler aslında ıslanmaz ancak lifler arasında bulunan hava boşlukları suyla temas halinde dolaylı olarak ıslanan taşyünü yalıtım görevini yapamaz hale gelir.

	PUR/PIR	EPS	XPS	FENOLİK	TAŞYÜNÜ
Hacimce Su Emme (%)	2-5	0-5	0-0,5		2,5-10

### 4. Yoğunluk

Üretim maliyetleri göz önünde tutularak olabildiğince düşük yoğunlukla en iyi performans hedeflenerek ancak sarfedilen malzeme miktarı azaltılabilir. Özellikle plastik köpüklerde yoğunluk, mekanik dayanımı direkt etkilemektedir. Diğer taraftan, yüksek yoğunluklarda taş yünü ile üretimi gerçekleştirilen sandviç panellerin ağırlıkları nedeniyle yapılarda hem montaj zorlukları hemde taşıyıcı konstrüksiyona ilave yükler getirmektedir.

Isı iletkenlik katsayısı zamana bağlı olmayan çok değişik faktörlere bağlıdır. Bu faktörlere örnek olarak kapalı hücre yüzdesi, numunenin kalınlığı, daha uzun yayılma zamanı, daha yavaş ısı iletkenlik katsayısı değişimi, hücre boyutu, köpürtme malzemesinin tipi ve diğer faktörler gösterilebilir. Aşağıdaki grafikte yoğunluğun ısı iletkenlik katsayısı üzerindeki etkilerini göstermektedir.



Yoğunluğun Isı iletkenlik değeri üzerindeki etkisi

	PUR/PIR	EPS	XPS	FENOLİK	TAŞYÜNÜ
Yoğunluk (kg/m3)	36-50	10-25	30-50	35-55	70-150

## 5. Sıcaklık Dayanımı

Her ısı yalıtım malzemesinin özelliklerini kaybetmeye başlayıp deforme olmaya başladığı bir sıcaklık noktasıdır. Bu nedenle malzemenin uygulandığı yerde maruz kalacağı sıcaklık önceden belirlenmeli ve bu sıcaklığa uygun malzeme seçilmelidir.

	PUR/PIR	EPS	XPS	FENOLİK	TAŞYÜNÜ
Max. Sıcaklık Dayanımı (°C)	110	80	80	120	850

## 6. Su Buharı Geçirgenliği

Su buharı geçirgenliği yapılarda konfor açısından çok önemlidir. Su buharı difüzyon dayanımı ( $\mu$ ) ve difüzyona tabi kalınlık ( $S_0$ ) iki önemli karakteristik değerlerdir. Su buharı difüzyon dayanımı ( $\mu$ ) değeri malzemeye özel olup, 1 kabul edilen havanın dayanımıyla karşılaştırılarak belirlenir. Sandviç panel sistemlerde su buharı geçirgenliği de malzemenin yoğunluğuna, birleşim detaylarına, üretim prosesine ve metal yüzeyin tipine bağlıdır. Buhar difüzyon direnci yükseldikçe malzemenin içinden geçebilecek buhar miktarı azalır. Isı yalıtım malzemesinden istenen buhar difüzyon direnç katsayısının yüksek olmasıdır.

	PUR/PIR	EPS	XPS	FENOLİK	TAŞYÜNÜ
Su Buharı Difüzyon Direnç Katsayı( $\mu$ )	30-100	20-100	90-100	10-50	1

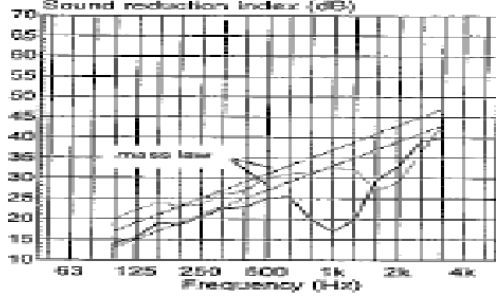
## 8. Ses Yalıtımı

Çatı ve cephe kaplamaların ses yalıtımı için istenen parametreler ve hesaplama yöntemleri dizayn aşamasında belirlenebilmektedir. Bir yüzeye çarpan ses dalgasının bir kısmı yansır, bir kısmı emilir geriye kalan kısmı da iletilir. Yansıma, emilme ve iletilme oranları yüzeyin şekline, malzemenin ses yutuculuğuna ve sesin frekansına bağlıdır. Kapalı gözenekli plastik köpük malzemeler esas itibarıyla ısı yalıtım malzemeleridir.

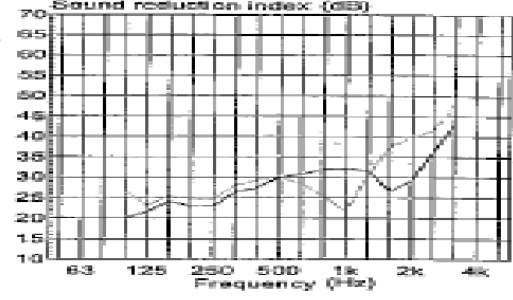
Hava kaynaklı seslerin yalıtımı için açık gözenekli (cam yünü, taşıyünü, akustik sünger, gibi) malzemeler kullanılır. Ses yutucu malzemeler, gözenekli veya lifli malzemeler olup yapılarındaki boşluklara giren havanın sürtünme kayıplarına yol açarak akustik enerjinin bir kısmının ısı enerjisine dönüşmesi yoluyla etkili olurlar. Taşıyünü dolgu sandviç paneller ses yalıtımına katkı sağlama özelliği diğer panellere nazaran çok daha iyidir.

	PUR/PIR	EPS	TAŞYÜNÜ
Sandviç panel sistem ses yalıtımı(dB)	$\geq 25$	$\geq 24$	$\geq 34$

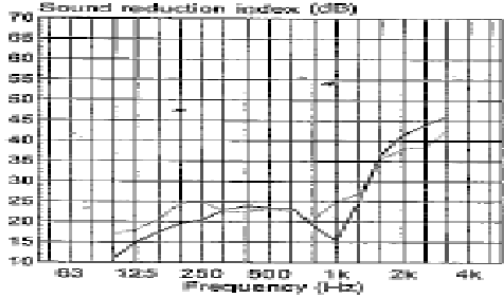




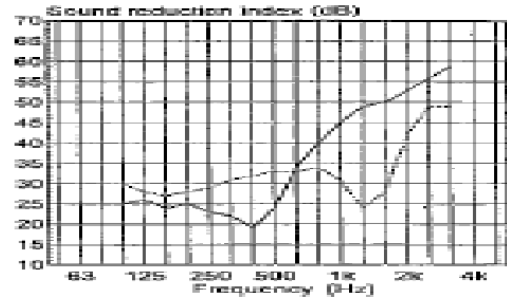
(a) - - - Sandwich panel with mineral wool core thickness 80 mm and weight 18 kg/m<sup>3</sup>,  $R_w = 31$  dB  
 — Sandwich panel with PUR foam core thickness 80 mm and weight 12 kg/m<sup>3</sup>,  $R_w = 23$  dB



— Sandwich panel with mineral wool core thickness 80 mm,  $R_w = 31$  dB  
 - - - Sandwich panel with mineral wool core thickness 150 mm,  $R_w = 31$  dB



(b) - - - Profiled sandwich panel with a PUR foam core with thickness 65 mm and weight 14 kg/m<sup>3</sup>,  $R_w = 27$  dB  
 — Sandwich panel with a PUR foam core thickness 80 mm and weight 14 kg/m<sup>3</sup>,  $R_w = 25$  dB



— Sandwich panel with a mineral wool core density 45 kg/m<sup>3</sup>,  $R_w = 33$  dB  
 - - - Sandwich panel with a mineral wool core density 150 kg/m<sup>3</sup>,  $R_w = 31$  dB

PUR ve Taşyünü Dolgulu Sandviç Paneller Ses Yalıtımı

## 9. Boyutsal Kararlılık

Tüm plastik köpüklerin hacimleri sıcaklık değişimlerinden etkilenmektedir. Köpükte sıcaklık artışı ile hücrelerin içerisindeki gazların basıncı artarak genişlemeye neden olmaktadır. Ani soğumalarda ise tersi durum söz konusudur. Negatif basınç nedeniyle köpük yapısının zarar görme ihtimali vardır. Özellikle PUR köpüklerin üretimi sonrasındaki soğutma prosesinde dikkat edilmesi gerekmektedir.

	PUR/PIR	XPS	EPS	FENOLİK	TAŞYÜNÜ
Boyutsal Değişim (80 °C 48 saat)	%2	%5	%1,5	%1	%1

## 10. Kimyasal Dayanım

Korozyon etkisiyle malzemeler, görselliğinin yanısıra mekanik dayanım gibi tüm işlevlerini kaybedebilmektedir. Her zaman, yapıya ait tüm malzemelerin ya korozyona dayanıklı olması ya da korozyondan korunacak ilave tedbirlerin alınması istenmektedir. Bu açıdan bakıldığında sandviç panel metal yüzeyleri gibi iç dolgu malzemelerinin de korozyona dayanıklı olması gerekmektedir. Fenolik köpüklerin üretiminde katalizör olarak kullanılan aromatic sulfonic asidin, suyla temasında çözünebilmektedir. Yüksek miktarda suyun emilmesi ile fenolik



köpük içerisinde çözülen ve metal yüzeylere sızan sülfirik asidin metalde korozyona neden olabilmektedir.

XPS ve EPS polistren köpüklerin kimyasal dayanımları PUR köpüklere nazaran zayıftır dolayısıyla sandviç panel metal yüzeylere yapıştırılırken hassaslığı nedeniyle poliüretan bazlı çözücü olmayan yapıştırıcılar tercih edilmektedir.

Taşyünün kimyasal dayanımı iyi olduğu gibi korozyona neden olmamaktadır.

	PUR/PIR	XPS/EPS	FENOLİK	TAŞYÜNÜ
Kimyasal Dayanım	İyi	Orta	Orta	İyi

## 11. Yangın Performansı

Taşyünü, inorganik malzeme gurubunda yer alarak yanmaz olarak sınıflandırılmaktadır. Yangına dayanıklı cephe, çatı veya iç bölme duvar uygulamalarında en iyi performansı taş yünü dolgulu sandviç paneller sunmaktadır. Ayrıca, 100 mm kalınlığında taş yünü dolgulu sandviç panelin yangın dayanımı ele alındığında taşyünü tipi ve birleşim detaylarına bağlı olarak 30 ila 120 dakika arasında değişebilmektedir. Diğer taraftan, sandviç panel sistemde taşyünü ile metal yüzeylere yapışmayı sağlayan poliüretan bazlı yapıştırıcılar yangının ilk aşamalarında PUR dolgulu panellerle eşdeğer davranışı sergilemektedir.

Tüm plastik köpükler ise organiktir dolayısıyla tümü yanıcıdır. Yangın karşısındaki davranışları, uygun hammadde tercihine, köpüklenme prosesine, yangın geciktirici katkılarına ve içeriğindeki inorganik bileşenlere bağlı olarak çok değişkenlik göstermektedir. Plastik köpük genel karakteristik özellikleri aşağıdaki gibidir;

**PUR/PIR:** Doğru kimyasal formülasyon plastik köpüklerde yangın performansı açısından avantajlar sunabilmektedir. Yüksek izosiyanat oranları ve yangın geciktirici katkı poliüretanların performanslarında belirleyici olmaktadır. Pur malzeme 150-200 °C 'de dağılmaya, 300 °C üzerinde yanmaya ve duman çıkışına neden olmaktadır. Örnek olarak 60 mm kalınlığında poliüretan köpük, yapılan testlerde kritik yangın dayanım süresi 30 dakikayı yakalayabilmektedir.

**XPS/EPS:** Hem expanded polistren (EPS) hemde Extruded polistren (XPS) yangın dayanımı en düşük plastik köpüklerdir. 100°C sıcaklıkta erimeye ve yangın damlacıkları oluşmaya başlamaktadır.

**FENOLİK:** Fenolik polimerik yapısıyla yangın karşısında PUR/PIR köpüklere nazaran iyi performans sunmaktadır. Ayrıca, PUR/PIR ile eşdeğer düşük duman çıkışı oluşmaktadır. Diğer taraftan Plastik köpüklerin yangın dayanımını artırmak amacıyla geliştirilen fenolik aynı zamanda farklı dezavantajları da sözkonusudur. Başta üretim prosesindeki asit olmak üzere düşük mekanik dayanımı, kırılabilirlik ve nispi olarak düşük ısı yalıtım performansına sahip olmasının yanısıra yanma anında yaşamı tehdit eden ciddi toksit ve tahriş edici gaz çıkışı oluşmaktadır.

	PUR	PIR	EPS/XPS	FENOLİK	TAŞYÜNÜ
Boyutsal Kararlılığını yitirdiği sıcaklık (°C)	~200	~200	~90-100	>250	
Tutuşma Sıcaklığı (°C)	285-310	415	245-345	490	
Yangın Performansı	Orta	Orta	Zayıf	İyi	Çok İyi

## İç Dolgu Malzemeleri Performans Karşılaştırma Çizelgesi:

	PUR/PIR	EPS/XPS	FENOLİK	TAŞYÜNÜ
Mekanik Dayanım	*****	****	****	****
Isı Yalıtımı	*****	***	****	***
Su Dayanım	*****	*****	**	**
Sıcaklık Dayanım	****	**	****	*****
Yangın Performansı	***	**	****	*****
Boyutsal Kararlılık	****	****	****	****
Ses Yalıtımı	***	***	***	****
Kimyasal Dayanım	****	**	**	*****

Çok iyi \*\*\*\*\* - İyi \*\*\*\* - Orta \*\*\* - Zayıf \*\* - Yetersiz \*

YapıDetay, bilgi amaçlı verilen bu dosyada değişiklik yapma hakkını saklı tutmaktadır.

**Kaynakça:** 1. YapıDetay Çalışmaları 2. TSE EN 14509 /08.01.2009 3. Lightweight Sandwich Construction, J.M. Davies 4. Sandwich Panel Construction, Rolf Koschade 5. Practical Guide to EN 14509, Klaus Berner 6. Durability Assessment of Sandwich Panel Construction, Dr. Lars Pfeiffer 7. TSE EN 13501-1 / Aralık 2003 8. Ode Teknik Yayınlar – 1999 9. TSE 825 / Nisan 1999 10. Heat loss: John Bradley, School of the Built Environment, Leeds Metropolitan University 11.STO Yayınları "Building with conscience" 12. Eleventh International IBPSA Conference -2009, Uncertainty in The Thermal Conductivity of Insulation Materials 13. The European XPS Associations, Exiba Yayınları 14.Knauf Insulation Yayınları 15.EPS Product Solutions, Plasti-Fab Yayınları 15. J-RAK Consulting for The Alliance for Fire and Smoke Containment-2004, Technical Buyer's Guide 16.Isopa, Fire Performance of Polyurethane Steel Deck Roofing 17.CPS, Composite Panel Services Ltd Yayınları 18. Alternatives to Glass Mineral Wool, 2004, Mott MacDonald