

## Vakum Yalıtım Paneli Çekirdeğinin Fiziko-Mekanik Özellikleri

Metin DAVRAZ<sup>1</sup>, Hilmi Cenk BAYRAKÇI<sup>2</sup>, Kamil DELİKANLI<sup>3</sup>, Ali Ekrem AKDAĞ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniv., Doğal ve Endüstriyel Yapı Malzemeleri Araş. Merk., Isparta  
<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniv., Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Isparta  
<sup>3</sup>Süleyman Demirel Üniv., Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta  
<sup>4</sup>Süleyman Demirel Üniv., Doğal ve Endüstriyel Yapı Malzemeleri Araş. Merk., Isparta

**Özet:** Bu çalışmanın amacı, yüksek yalıtım performansına sahip nano toz dolgulu çekirdek numunelerinin fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesidir. Çalışmada çekirdek numunelerinin basınç dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü gibi mekanik özellikler ile yoğunluk ve porozite gibi fiziksel özellikleri araştırılmıştır. 4 farklı fiber oranında ve 3 farklı sıkıştırma kuvveti seviyesinde toplam 12 adet opaklaştırıcısız çekirdek numunesi üretilmiştir. Bu numunelerin üretiminde 2 kN, 2.5 kN ve 3.0 kN sıkıştırma kuvvetleri uygulanmıştır. Bu durumda numunelerin sıkıştırılmasında oluşan en yüksek gerilme değerleri ( $\sigma_{maks}$ ) ve bu gerilme değerleri esas alınarak çekirdek panel üretiminde uygulanacak sıkıştırma kuvvetleri ( $F_p$ ) hesaplanmıştır. Sonuç olarak çekirdek numunesi içerisinde fiber içeriği arttıkça genel olarak %10 deformasyonda basınç dayanımı azaldığı görülmüştür. Çekme dayanımları açısından en uygun fiber oranı ise %15 olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** VYP, çekirdek, basınç dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü

### Physico-Mechanical Properties of Vacuum Insulation Panels Core

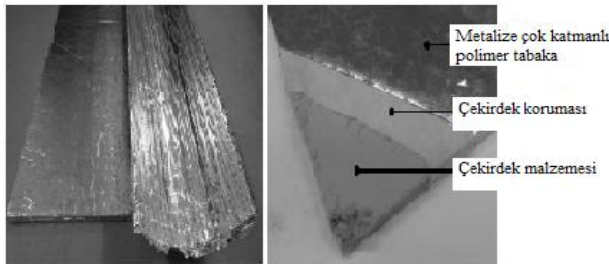
**Abstract:** The aim of this study is to determine physico-mechanical properties of nano-powder filled core samples which have high insulation performance. Mechanical properties like compressive strength, tensile strength, elasticity module and physical properties like density and porosity were investigated in the study. In study, totally 12 core samples without opacifiers were produced at 4 different fiber ratios and 3 different levels of compression force. In the production of these samples were applied 2 kN, 2.5 kN and 3.0 kN compressive force. In this situation, the highest stress values ( $\sigma_{max}$ ) which were occurred at the compression of samples and compression forces ( $F_p$ ) which were applicable for core panel production according to stress values were calculated. As a consequence, with the increasing fiber content in core sample, it was observed that generally compressive strength was decreased at 10% deformation. The most suitable fiber ratio was determined as 15 % according to tensile strengths.

**Keywords:** VIP, core, compressive strength, tensile strength, elasticity module

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde enerjinin önemli bir bölümü ısıtma ve sıcak su üretimi için kullanılmaktadır. Gerekli enerji miktarı büyük ölçüde ısı yalıtımına bağlı olmaktadır. İyi bir ısı yalıtımı elde etmek için geleneksel malzemelerin yalıtım kalınlığı artırılabilir ancak yalıtım kalınlığının artırılmasının çeşitli dezavantajları vardır. Örneğin maliyetin artması ve daha az kullanılabilir alanın oluşmasıdır. Eğer yalıtım kalınlığı etkin bir şekilde azaltılabilirse, enerji tasarruflu cihazlar ve binalar için kolay bir uygulama sağlanarak, detaylar için daha fazla kullanım alanı oluşturulabilir. Bu nedenle yüksek performanslı yalıtım sistemleri önem arz etmektedir.

Vakum yalıtım panelleri (VYP) 10-100 nm civarında küçük gözenekler içeren bir çekirdek malzemesine, düşük gaz geçirgenliğine sahip ince bir lamine film tabakası ile kaplanmış (zarf) yalıtım malzemeleridir. Çekirdek malzemesi 0.2-3 mbar seviyesine kadar vakumla boşaltılır ve çekirdek malzemesinin çeşidine göre 2-4 mW/mK ısı iletkenliğe sahip olur. (Simmler vd. 2005). Şekil 1’de günümüzde yaygın olarak kullanılan VYP gösterilmiştir. VYP’leri ihtiyaca göre düz panel olarak ya da farklı şekillerde üretilebilir.



Şekil 1. Çekirdek malzemesi, koruma tabakası ve ısı geçirmez metalize çok katmanlı polimer tabakaya sahip düz ya da katlanabilir VYP (Berge ve Johansson, 2012).

VYP’lerin ısı iletkenliği çok düşük olduğundan soğuk hava depolarında, buzdolaplarında, dondurucularda, soğutuculu kamyonlarda, soğutuculu konteynirlerde

yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir. Bu malzemelerin kalınlıkları geleneksel malzemelerden çok daha ince olması ve ısı iletkenliklerinin çok daha düşük olmasından dolayı kesit kısıtlaması olan, yalıtım performansının yüksek olması istenen yerlerde çoğunlukla soğutma sektöründe kullanılmakta ve enerji tasarrufuna da büyük etkisi olmaktadır.

VYP kullanımını özellikle Avrupa, Amerika ve Japonya’da giderek yaygınlaşmaktadır. Avrupa’da soğuk bölge kabul edilen Nordik-Baltık ülkelerinde, Almanya’da daha yoğun kullanımı görülmektedir (Johansson, 2012).

VYP’leriyle yapılan çalışmaların önemli bir kısmı silika tozu, polimer esaslı, hidrojel ve aerojellerden ( $\text{SiO}_2$ ) meydana gelen iç dolgu malzemeleri ve bunların farklı zarf malzemeleriyle bileşimleri üzerine yapılmıştır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, özellikle, ısıl prosesten geçirilmiş silika (fumed silika) ve mikro gözenekli yapıdaki silika aerjel ürünler üzerinedir.

Küçük gözenek boyutuna sahip mikro veya nano malzemelerin çekirdek olarak kullanılması durumunda, vakumla düşük ısı iletkenliğine ulaşılabilir. 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 (Baetens vd., 2010). 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’dir (Caps vd., 2001). Çekirdek, genellikle açık hücreli ve iletim yoluyla gerçekleşen ısı transferini en az seviyeye indirecek özellikte bir ısı yalıtım malzemesidir. Isı yalıtım performanslarına etki eden bu parametreler üretimden önce uygun bir şekilde belirlenmeli ve sonrasında da yeterli mekanik özellikleri sağlamalıdır.

Vakum yalıtım panellerinin (VYP) 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 (Çizelge 1).

Bu çalışmada ilgili standartlara göre, nano toz dolgulu çekirdek numunelerinin fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Çizelge 1. VYP' lerinde aranan mekanik ve fiziksel özellikler (Davraz vd., 2013)

Değerlendirme kriteri	Sınır Değer ve Standardı	Açıklama
Birim Hacim Kütle (kg/m <sup>3</sup> )	≤ 210 (DIN EN 1602)	-
Boyutsal Kararlılık	% 1 (DIN EN 16041)	70 °C ve % 90 nem ortamında
Isı İletkenlik (λ <sub>10</sub> ) (W/mK)	≤ 0.0053 (DIN EN 12667)	Oda sıcaklığında, %10 nem ortamında
Basınç Dayanımı (σ <sub>%10</sub> ) (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

## 2. MATERYAL VE METOT

✓ Çalışmada EN 826'ya göre ölçüm yapılacak numuneler 23±2 °C'de ve %50±5 bağıl nem koşullarında tutulmuştur. Hazırlanan numuneler test presinin içine yerleştirilerek, 250±10 Pa'lık ön yüklemeye tabi tutulmuş, daha sonra numune dakikada 0.1 x kalınlık (d) yer değişme olacak şekilde sıkıştırılmıştır. Test %10 sıkıştırma değerine ulaşıldığında sona erdirilmiştir. Deney bulgularına göre kuvvet (F) yer değiştirme (X) eğrileri çizilmiştir.

EN 826'ya göre numune basınç dayanımları Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmıştır:

$$\sigma_m = 10^3 \frac{F_m}{A_0} \quad (1)$$

Burada,  
F<sub>m</sub> En büyük kuvvet, N.

A<sub>0</sub> Test numunesinin başlangıç kesit alanıdır, mm<sup>2</sup>.

Test yapılırken her bir gruptan belli sayıda numunenin basınç dayanımı test edilerek aritmetik ortalamaları alınmıştır.

VYP numune yoğunlukları DIN EN 1602 standardına göre belirlenmiştir. DIN EN 1602'ye göre, etüvde değişmez kütleyle kadar kurutulan standart boyuttaki VYP çekirdek örneklerinin boyutları 1/100 mm hassasiyetli elektronik kumpas ile ölçülerek hacimleri hesaplanmıştır.

Daha sonra 0.5 g hassasiyetli elektronik terazide tartılan örneklerin kütleleri belirlenerek;

$$D = W_N / V_N \quad (2)$$

eşitliğinden yoğunlukları (birim hacim kütleleri) hesaplanmıştır. Burada;

W<sub>N</sub> : Numune kütlesi, g.

V<sub>N</sub> : Numune hacmi, cm<sup>3</sup>.

D : Numune yoğunluğu, g/cm<sup>3</sup>, kg/m<sup>3</sup>'dür.

✓ DIN EN 1602 standardı, belirli sıcaklık ve nem değerleri altındaki üretilecek olan VYP numunelerinin doğrusal yer değiştirmelerini ölçmek üzere olan işlemleri de tanımlamaktadır. Bu standartta hazırlanacak numuneler için, numune kalınlığı olarak üretilen orijinal numune kalınlığına eşit kalınlık alınması öngörülmektedir. Aynı standarda dayanarak, numuneler 23±2 °C'de ve %50±5 bağıl nem koşullarında tutulmuştur.

Numunelerin son uzunluk, genişlik ve kalınlıkları (l<sub>t</sub>, b<sub>t</sub> ve d<sub>t</sub>) belirlenmiştir. Daha sonra boyut değişimleri Eşitlik 3, 4 ve 5' e göre hesaplanmıştır:

$$\Delta \varepsilon_l = 100x \frac{l_t - l_0}{l_0} \quad (3)$$

$$\Delta\varepsilon_b = 100x \frac{b_t - b_0}{b_0} \quad (4)$$

$$\Delta\varepsilon_d = 100x \frac{d_t - d_0}{d_0} \quad (5)$$

✓ DIN EN 1605 standardı, belirli sıkıştırma yükünün bir numuneye uygulanması durumunda, farklı sıcaklık ve zaman durumlarında bağıl deformasyonun ölçülmesine yöneliktir. Bu ölçüm için kullanılacak numuneler standarda göre kare şeklinde 50x50 mm'den 300x300 mm aralığına kadar değişmektedir. Deney cihazı Şekil 2' de gösterilmiştir.



Şekil 2. Basınç dayanımı test cihazı

Deformasyon oranı  $\varepsilon_m$  yüzde olarak;

$$\varepsilon_m = \frac{x_m}{d_0} 100 \quad (6)$$

Eşitliği ile hesaplanmıştır.

Burada;

$x_m$  : En büyük kuvvete ulaşıldığı andaki (eksenel) şekil değiştirme, mm.

$d_0$  : Numunenin başlangıçtaki kalınlığıdır, mm.

✓ VYP çekirdek örneklerinin (numunenin boyu yönünde) çekme dayanımları DIN EN 1607 standardına göre belirlenmiştir. Hazırlanan numuneler, rijit iki yüze sahip test cihazıyla belli bir hızla çekilmiştir. Daha sonra en büyük kuvvet kaydedilerek, numunenin çekme dayanımı değerleri hesaplanmıştır.

Standarda göre çekme cihazına numunenin bağlanması ve çekme cihazının örnek görünümü Şekil 3'de gösterilmiştir.

Çekme dayanımı kPa cinsinden Eşitlik 7 yardımıyla hesaplanmıştır:

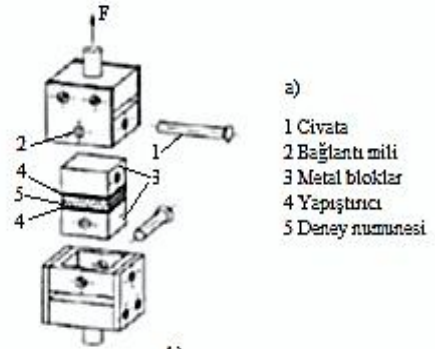
$$\sigma_m = \frac{F_m}{A} = \frac{F_m}{l \times b} \quad (7)$$

Bu eşitlikte;

$F_m$  : Kaydedilen en büyük çekme kuvveti, N

$A$  : Numunenin kesit alanı, mm<sup>2</sup>

$l, b$  : Sırasıyla numunenin uzunluğu ve genişliğidir, mm.

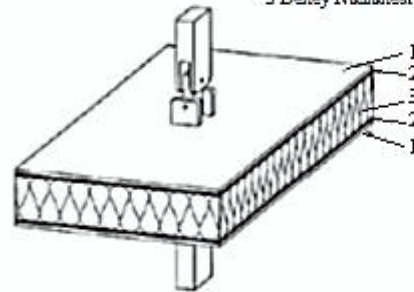


b)

1 Rijit Plaka

2 Yapıştırıcı

3 Deney Numunesi



Şekil 3. Çekme deney cihazı

### 3. BULGULAR

Çekirdek tasarımında opaklaştırıcı madde (OM) kullanılmadan 4 farklı fiber oranında ve 3 farklı sıkıştırma kuvveti seviyesinde toplam 12 adet plaka numunesi üretilerek, fiziko-mekanik deneyler ve hesaplamaları yapılmıştır.

#### 3.1. Çekirdek örneklerinin fiziko-mekanik özellikleri

VYP çekirdek numunelerinin kütlece karışım oranları ve üretimde uygulanan sıkıştırma kuvvetleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Çekirdek numune gruplarının kütlece karışım oranları ve üretimde kullanılan sıkıştırma kuvveti değerleri

Panel No	Kütlece Oranlar (%)				F (kN)
	Nano Toz	Fiber	Lif Türü	OM	
1	95	5	Cam Fiber	Yok	2
2	90	10			
3	85	15			
4	80	20			
5	95	5			2.5
6	90	10			
7	85	15			
8	80	20			
9	95	5			3
10	90	10			
11	85	15			
12	80	20			

Fiziko-mekanik analizler, Çizelge 1’de belirtilen 12 numune grubu üzerinde yürütülmüştür.

#### 3.1.1. Fiziksel özellikleri

##### 3.1.1.1. Yoğunluk deney sonuçları

VYP çekirdek numunelerinin yoğunlukları belirlenmiş, deney sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Çekirdek numunelerinin boyutları, hacimleri, kütleleri ve yoğunlukları

I	F (kN)	a (mm)	b (mm)	d <sub>0</sub> (mm)	V (cm <sup>3</sup> )	W (g)	D (kg/m <sup>3</sup> )
1-1	2	53.37	54.25	32.77	94.880	16.150	170.216
1-2		53.04	53.60	31.57	89.752	15.775	175.763
1-3		53.91	53.37	29.81	85.769	15.964	186.129

1-Ort							177.369
2-1	2	53.23	53.96	29.61	85.049	16.505	194.066
2-2		52.74	53.39	32.09	90.359	16.220	179.507
2-3		53.12	54.13	27.80	79.936	15.802	197.684
2-Ort							190.419
3-1	2	52.95	53.55	28.26	80.130	16.540	206.413
3-2		53.73	53.02	28.32	80.677	16.677	206.713
3-3		53.31	53.72	30.99	88.750	16.605	187.099
3-Ort							200.075
4-1	2	53.04	53.49	28.13	79.808	16.314	204.416
4-2		53.22	53.43	27.30	77.629	16.425	211.584
4-3		52.93	53.35	28.99	81.862	16.382	200.116
4-Ort							205.372
5-1	2.5	53.30	54.14	28.60	82.530	16.595	201.079
5-2		53.57	54.12	27.96	81.062	16.672	205.670
5-3		54.01	53.61	27.68	80.147	16.104	200.931
5-Ort							202.560
6-1	2.5	53.15	53.48	26.48	75.268	16.227	215.588
6-2		52.71	53.44	28.21	79.463	16.285	204.939
6-3		53.39	52.84	25.83	72.870	16.165	221.834
6-Ort							214.121
7-1	2.5	53.45	53.06	25.59	72.575	15.459	213.008
7-2		54.18	52.85	25.86	74.048	16.558	223.612
7-3		52.88	53.67	26.03	73.875	16.535	223.824
7-Ort							220.148
8-1	2.5	53.32	52.81	24.16	68.030	16.500	242.539
8-2		52.99	53.61	24.88	70.679	16.445	232.672
8-3		53.39	52.90	25.44	71.851	16.467	229.183
8-Ort							234.798
9-1	3	53.32	54.26	25.50	73.775	16.539	224.181
9-2		54.17	53.77	26.85	78.207	16.763	214.343
9-3		53.94	53.23	25.67	73.704	15.626	212.009
9-Ort							216.844
10-1	3	54.08	53.36	25.32	73.066	16.347	223.729
10-2		53.20	54.11	26.05	74.989	16.188	215.872
10-3		53.10	53.97	24.31	69.668	15.901	228.240
10-Ort							222.614
11-1	3	53.92	52.73	24.43	69.459	16.684	240.198
11-2		54.43	53.44	26.17	76.122	17.204	226.006
11-3		53.62	53.46	25.49	73.068	16.441	225.010
11-Ort							230.405
12-1	3	53.02	53.72	23.80	67.788	16.759	247.227
12-2		53.83	53.18	23.17	66.328	16.528	249.185
12-3		53.36	52.85	23.85	67.259	16.519	245.604
12-Ort							247.338

##### 3.1.1.2. Kompozite ve porozite sonuçları

VYP çekirdek numunelerinin doluluk (kompozite) ve boşluk (porozite) oranları hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Numunelerin katı ve boşluk hacim oranları

Numune	Katı Hacmi (%)	Boşluk Hacmi (%)
1	8.09	91.91

2	8.63	91.37
3	9.00	91.00
4	9.20	90.80
5	9.25	90.75
6	9.71	90.29
7	9.93	90.07
8	10.52	89.48
9	9.90	90.10
10	10.10	89.90
11	10.38	89.62
12	11.05	88.95

### 3.1.2. Mekanik özellikleri

#### 3.1.2.1. Çekirdek örneklerinin basınç dayanımı, eksenel birim şekil değiştirme miktarı ( $\epsilon$ ), %10 deformasyonda basma gerilmesi ( $\sigma$ ) ve elastisite modülü ( $E$ )

VYP çekirdek numunelerinin basınç dayanımı testleri 20 tonluk elektronik preste yürütülmüştür. Numunelerin eksenel yer değiştirme miktarları ( $X_m$ ) ise hareketli alt tabla üzerine bağlı 1/100 mm hassasiyetli komparatör ile ölçülmüştür. Presin yükleme hızı 0.04 mm/dak olarak ayarlanmıştır. Numunelerin yükleme kuvvetine bağlı  $X_m$  ölçülmüştür.

- En büyük kuvvet ( $F_m$ ) (elastiklik üst sınırında),
  - En büyük gerilme ( $\sigma_m$ ),
  - En büyük kuvvete karşılık gelen yer değiştirme miktarı ( $X_m$ ),
  - En büyük strain ( $\epsilon_m$ ),
  - %10 deformasyon miktarına karşılık gelen yük ( $F_{10}$ ),
  - %10 deformasyonda en büyük gerilme ( $\sigma_{10}$ ),
  - Elastik davranış eğrisinde başlangıçtan çizilen teğetin kestiği kuvvet ( $F_e$ ),
  - Elastisite modülü ( $E$ ),
  - " $F_e$ " kuvvetine karşılık gelen yer değiştirme ( $X_e$ ),
  - " $F_e$ " kuvvetinden kaynaklanan gerilme ( $\sigma_e$ ),
- değerleri hesaplanmıştır.

Numune 1 den 12 ye kadar tüm numunelerden üçer adet üretilerek, uygulanan kuvvet, kuvvete karşılık ölçülen yer değiştirme miktarları ve bu değerlere bağlı hesaplanan parametreler belirlenmiştir. Çekirdeğin vakum basıncına direnç

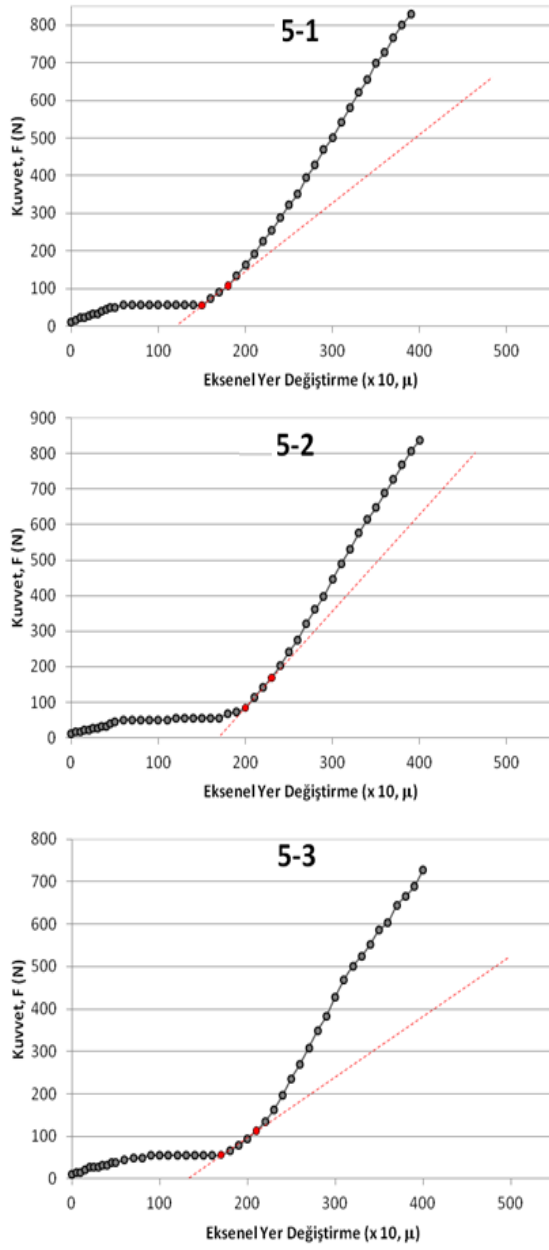
gösterebilmesi için %10 deformasyonda basma gerilmesinin ( $\sigma_{10}$ ) 150 kPa olması gerekmektedir. Numune grupları içerisinde 5 nolu numunenin %10 deformasyonda basma gerilmesi bu değere yakın olduğundan, sadece 5 numaralı numuneye ait bulgular Çizelge 5'de, kuvvet-yerdeğiştirme grafikleri de Şekil 5'de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 5 nolu numunelere uygulanan kuvvet, kuvvete karşılık ölçülen yer değiştirme miktarları ve bu değerlere bağlı hesaplanan parametreler

L5-1		L5-2		L5-3	
F (N)	X ( $\mu \times 10$ )	F (N)	X ( $\mu \times 10$ )	F (N)	X ( $\mu \times 10$ )
45	50	45	39	45	39
50	50	50	45	50	39
60	56	60	50	60	45
70	56	70	50	70	50
80	56	80	50	80	50
90	56	90	50	90	56
100	56	100	50	100	56
110	56	110	50	110	56
120	56	120	56	120	56
130	56	130	56	130	56
140	56	140	56	140	56
150	56	150	56	150	56
160	73	160	56	160	56
170	90	170	56	170	56
180	107	180	67	180	67
190	135	190	73	190	79
200	163	200	84	200	96
210	192	210	113	210	113
220	226	220	141	220	135
230	254	230	169	230	163
240	288	240	203	240	197
250	322	250	242	250	237
260	351	260	276	260	271
270	395	270	322	270	310
280	429	280	361	280	350
290	469	290	399	290	384
300	502	300	446	300	429
310	542	310	491	310	469
320	582	320	531	320	502
330	621	330	576	330	525
340	655	340	615	340	553
350	700	350	649	350	587
360	728	360	689	360	604
370	768	370	728	370	644
380	802	380	768	380	666
390	830	390	808	390	689
400		400	839	400	728

Parametre	5-1	5-2	5-3	Ort.
$A_0$ (mm <sup>2</sup> )	2886	2899	2895	
$F_m$ (N)	830	839	728	
$\sigma_m$ (kPa)	288	289	251	<b>276.1</b>
$X_m$ (mm)	3.90	4.00	4.00	<b>3.97</b>
$d_0$ (mm)	28.60	27.96	27.68	
$\epsilon_m$ (%)	1.36	1.43	1.45	<b>1.4</b>
$d_0^* \% 10$ (mm)	2.86	2.80	2.77	
$F_{10}$ (kPa)	453	361	338	
$\sigma_{10}$ (kPa)	157	125	117	<b>132.7</b>

$X_e$ (mm)	1.90	2.30	2.10	
$F_e$ (N)	135	169	113	
$\sigma_e$ (kPa)	47	58	39	<b>48.0</b>
$E$ (kPa)	704	709	514	<b>642.4</b>



Şekil 4. 5 nolu numunelere ait kuvvet-yerdeğiştirme grafikleri

### 3.1.2.2. Çekme dayanımı deney sonuçları

VYP çekirdek numunelerinin çekme dayanımları 20 tonluk elektronik pres/çekme cihazı ile belirlenmiştir (Şekil 5). Numuneler çekme aparatları arasına yüzeyi bozmayan kuvvetli bir yapıştırıcı ile yapıştırılmış ve 10 N/s hızla numuneye çekme kuvveti etki

ettirilmiştir. Her numune için elde edilen en büyük çekme kuvveti başlangıç yüzey alanına (aparat alanı, 2500 mm<sup>2</sup>) bölünmek suretiyle çekme gerilmeleri hesaplanmıştır. Her bir numune grubu için 5 numune aritmetik ortalaması, o numune grubunun çekme gerilmesi ortalaması olarak bulunmuştur. Bulgular Çizelge 6'de verilmiştir.



Şekil 5. Çekme dayanımı testi

Çizelge 6. Çekirdek numuneleri çekme dayanımları

N. No	A (mm <sup>2</sup> )	F (N)	$\sigma_c$ (Pa)
1-1	2500	60	24.0
1-2	2500	48	19.2
1-3	2500	65	26.0
1-4	2500	53	21.2
1-5	2500	63	25.2
<b>1-ort</b>			<b>23.1</b>
2-1	2500	82	32.8
2-2	2500	68	27.2
2-3	2500	78	31.2
2-4	2500	82	32.8
2-5	2500	70	28.0
<b>2-ort</b>			<b>30.4</b>
3-1	2500	88	35.2
3-2	2500	115	46.0
3-3	2500	94	37.6
3-4	2500	80	32.0
3-5	2500	104	41.6
<b>3-ort</b>			<b>38.5</b>
4-1	2500	77	30.8
4-2	2500	101	40.4

4-3	2500	87	34.8
4-4	2500	85	34.0
4-5	2500	91	36.4
<b>4-ort</b>			<b>35.3</b>
5-1	2500	61	24.4
5-2	2500	78	31.2
5-3	2500	68	27.2
5-4	2500	74	29.6
5-5	2500	64	25.6
<b>5-ort</b>			<b>27.6</b>
6-1	2500	71	28.4
6-2	2500	85	34.0
6-3	2500	86	34.4
6-4	2500	82	32.8
6-5	2500	80	32.0
<b>6-ort</b>			<b>32.3</b>
7-1	2500	73	29.2
7-2	2500	88	35.2
7-3	2500	83	33.2
7-4	2500	88	35.2
7-5	2500	92	36.8
<b>7-ort</b>			<b>33.9</b>
8-1	2500	99	39.6
8-2	2500	84	33.6
8-3	2500	83	33.2
8-4	2500	95	38.0
8-5	2500	83	33.2
<b>8-ort</b>			<b>35.5</b>
9-5	2500	65	26.0
9-2	2500	74	29.6
9-3	2500	55	22.0
9-4	2500	57	22.8
9-5	2500	71	28.4
<b>9-ort</b>			<b>25.8</b>
10-1	2500	84	33.6
10-2	2500	77	30.8
10-3	2500	78	31.2
10-4	2500	74	29.6
10-5	2500	68	27.2
<b>10-ort</b>			<b>30.5</b>
11-1	2500	105	42.0
11-2	2500	89	35.6
11-3	2500	81	32.4
11-4	2500	94	37.6
11-5	2500	108	43.2
<b>11-ort</b>			<b>38.2</b>
12-1	2500	94	37.6
12-2	2500	70	28.0
12-3	2500	77	30.8
12-4	2500	70	28.0
12-5	2500	69	27.6
<b>12-ort</b>			<b>30.4</b>
N. No: Numune No                      A: Alan			
F: Kuvvet, N $\sigma_c$ : Çekme Gerilmesi			

### 3.2. Fiziko-Mekanik Deney Bulgularının Değerlendirilmesi

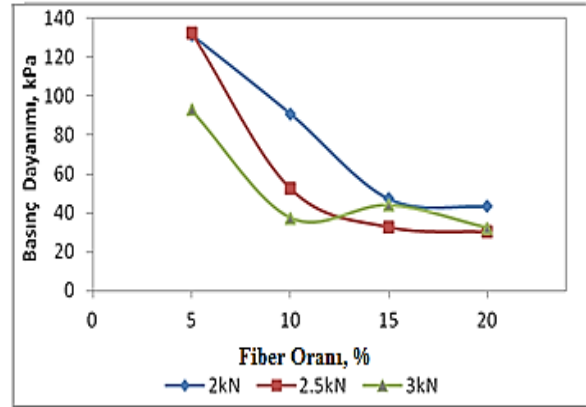
Bulgular değerlendirildiğinde üretilen 12 farklı numune ilgili standartlarda belirtilen kriterleri tam olarak sağlayamamıştır. Buna karşılık 3 numaralı numune grubu üç kriteri yerine getirirken, 1 ve 5 nolu numuneler

kriterleri sağlayamamakla birlikte yakın değerler sergilemiştir (Çizelge 7).

Çizelge 7. Numunelerin EN standartlarında belirtilen kriterlere göre uygunluk değerlendirmesi

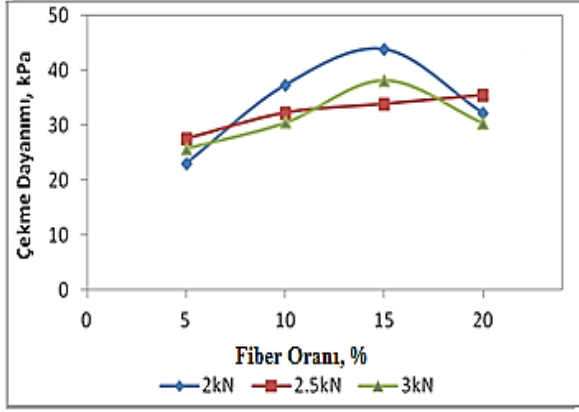
Numune	D (kg/m <sup>3</sup> )	$\sigma_{%10}$ (kPa)	$\epsilon$ (%)	$\sigma_m$ (kPa)
<b>Standart</b>	<b><math>\leq 210</math></b>	<b>150</b>	<b><math>\leq 2</math></b>	<b><math>\geq 40</math></b>
1	177	131.3	1.3	23.1
2	190	91.0	1.3	37.4
3	200	47.3	1.4	43.9
4	205	43.2	1.4	32.2
5	203	132.7	1.4	27.6
6	214	52.8	1.5	32.3
7	220	32.9	1.5	33.9
8	235	30.4	1.6	35.5
9	217	92.9	1.5	25.8
10	223	37.4	1.6	30.5
11	230	43.9	1.6	38.2
12	247	32.2	1.7	30.4

Çekirdek numunesi içerisinde fiber içeriği arttıkça genel olarak % 10 deformasyonda basınç dayanımının azaldığı görülmektedir (Şekil 6). Bazı fiber oranlarında standarda uymasa da, çekme dayanımları %15 fiber oranına kadar artış gösterirken %20 oranında azalmıştır (Şekil 7). Numune yoğunlukları ise hem fiber oranı hem de sıkıştırma kuvvetindeki artışa bağlı olarak yükselmiştir (Şekil 8).

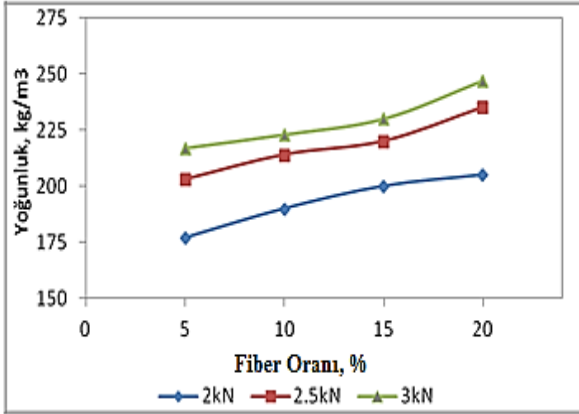


Şekil 6. Fiber oranı ve sıkıştırma kuvvetinin numune basınç dayanımına etkisi





Şekil 7. Fiber oranı ve sıkıştırma kuvvetinin numune çekme dayanımına etkisi



Şekil 8. Fiber oranı ve sıkıştırma kuvvetinin numune yoğunluğuna etkisi

Basınç dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü gibi mekanik özellikler ile yoğunluk ve porozite gibi fiziksel özellikler birlikte değerlendirildiğinde, çekirdek paneli üretiminde fiber kullanmak uygun olmaktadır.

Mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan numune boyutları yaklaşık 50x50x25 mm dir. Bu numunelerin üretiminde 2 kN, 2.5 kN ve 3.0 kN sıkıştırma kuvvetleri uygulanmıştır. Bu durumda numunelerin sıkıştırılmasında oluşan en yüksek gerilme değerleri ( $\sigma_{maks}$ ) ve bu gerilme değerleri esas alınarak çekirdek panel üretiminde uygulanacak sıkıştırma kuvvetleri ( $F_P$ ) Çizelge 8' de hesaplanmıştır.

Çizelge 8. Panel üretiminde kullanılacak sıkıştırma kuvveti

N. No	F kN	a (mm)	b (mm)	h (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{maks}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_P$ (kN)	$F_{P-ort}$ (kN)
1-1	2	53.37	54.25	32.77	2895	0.691	63	63
1-2		53.04	53.60	31.57	2843	0.703	63	
1-3		53.91	53.37	29.81	2877	0.695	63	
<b>1-Ort</b>					<b>0.696</b>	<b>63</b>		
2-1	2	53.23	53.96	29.61	2872	0.696	64	
2-2		52.74	53.39	32.09	2816	0.710	63	
2-3		53.12	54.13	27.80	2875	0.696	63	
<b>2-Ort</b>					<b>0.701</b>	<b>63</b>		
3-1	2	52.95	53.55	28.26	2835	0.705	63	
3-2		53.73	53.02	28.32	2849	0.702	63	
3-3		53.31	53.72	30.99	2864	0.698	63	
<b>3-Ort</b>					<b>0.702</b>	<b>63</b>		
4-1	2.5	53.04	53.49	28.13	2837	0.705	63	
4-2		53.22	53.43	27.30	2844	0.703	64	
4-3		52.93	53.35	28.99	2824	0.708	63	
<b>4-Ort</b>					<b>0.706</b>	<b>64</b>		
5-1	2.5	53.30	54.14	28.60	2886	0.866	78	79
5-2		53.57	54.12	27.96	2899	0.862	78	
5-3		54.01	53.61	27.68	2895	0.863	78	
<b>5-Ort</b>					<b>0.864</b>	<b>78</b>		
6-1	2.5	53.15	53.48	26.48	2842	0.880	80	
6-2		52.71	53.44	28.21	2817	0.888	80	
6-3		53.39	52.84	25.83	2821	0.886	80	
<b>6-Ort</b>					<b>0.884</b>	<b>80</b>		
7-1	2.5	53.45	53.06	25.59	2836	0.882	79	
7-2		54.18	52.85	25.86	2863	0.873	79	
7-3		52.88	53.67	26.03	2838	0.881	79	
<b>7-Ort</b>					<b>0.878</b>	<b>79</b>		
8-1	2.5	53.32	52.81	24.16	2816	0.888	79	
8-2		52.99	53.61	24.88	2841	0.880	80	
8-3		53.39	52.90	25.44	2824	0.885	80	
<b>8-Ort</b>					<b>0.884</b>	<b>79</b>		
9-1	3	53.32	54.26	25.50	2893	1.037	93	94
9-2		54.17	53.77	26.85	2913	1.030	94	
9-3		53.94	53.23	25.67	2871	1.045	93	
<b>9-Ort</b>					<b>1.037</b>	<b>93</b>		
10-1	3	54.08	53.36	25.32	2886	1.040	94	
10-2		53.20	54.11	26.05	2879	1.042	94	
10-3		53.10	53.97	24.31	2866	1.047	94	
<b>10-Ort</b>					<b>1.043</b>	<b>94</b>		
11-1	3	53.92	52.73	24.43	2843	1.055	93	
11-2		54.43	53.44	26.17	2909	1.031	94	
11-3		53.62	53.46	25.49	2867	1.047	94	
<b>11-Ort</b>					<b>1.044</b>	<b>94</b>		
12-1	3	53.02	53.72	23.80	2848	1.053	94	
12-2		53.83	53.18	23.17	2863	1.048	96	
12-3		53.36	52.85	23.85	2820	1.064	95	
<b>12-Ort</b>					<b>1.055</b>	<b>95</b>		

Çizelge 8'deki verilerden faydalanılarak ve plaka boyutları (300 x 300 mm) dikkate

alınarak, (opaklaştırıcısız) çekirdek plaka üretiminde 60 kN, 75 kN ve 90 kN sıkışma kuvvetleri uygulanmış ve ısı iletkenlik katsayılarını belirlemek üzere 12 adet panel üretilmiştir (Şekil 9). Üretilen çekirdek panel numunelerin fiziksel özellikleri Çizelge 9’de verilmiştir.



Şekil 9. Opaklaştırıcısız çekirdek plaka numuneleri

Çizelge 9.. Çekirdek panel numunelerinin boyut, kütle ve yoğunlukları

N. No	F kN	Fib. (%)	Boyutlar (Ort.)			W (g)	D (kg/m <sup>3</sup> )
			a (mm)	b (mm)	h (mm)		
1	60	5	301	301	22.7	408	197
2	60	10	301	301	24.2	442	201
3	60	15	301	301	24.2	469	213
4	60	20	301	301	23.4	469	222
5	75	5	301	301	24.2	459	209
6	75	10	301	301	29.6	557	207
7	75	15	301	301	22.5	492	241
8	75	20	301	301	23.7	541	251
9	90	5	301	301	23.2	510	242
10	90	10	301	301	23.3	515	244
11	90	15	301	301	23.8	533	246
12	90	20	301	301	24.3	574	261

N.No : Numune No, %: Fiber oranı  
F: Sıkıştırma Kuvveti, W: Kütle, D: Yoğunluk

#### 4. SONUÇLAR

Toz dolgu maddelerinin sıkıştırılarak panel haline getirilebilmesi fiber kullanımı ile mümkün olabilmektedir. Çekirdek numunesi içerisinde fiber içeriği arttıkça genel olarak %10 deformasyonda basınç dayanımı azalmıştır. Bazı fiber oranlarında standarda uygun olmasa da, çekme dayanımları %15 fiber oranına kadar artış gösterirken %20 oranında azalmıştır. Numunelerin yoğunlukları hem fiber oranı hem de

sıkıştırma kuvvetindeki artışa bağlı olarak yükselmiştir.

Üretilen 12 farklı numune standartlarda belirtilen bazı kriterleri tam olarak sağlayamasa da bazı numunelerin değerleri standartlardaki değerlere yakın çıkmıştır. Örneğin 3 numaralı numune grubu standartlardaki üç kriteri yerine getirmiştir. Bu numunenin yoğunluğu 200 kg/m<sup>3</sup>, %10 deformasyonda basma gerilmesi ( $\sigma_{10}$ ) 47.3 kPa, en büyük deformasyon oranı ( $\epsilon_m$ ) % 1.4 ve en büyük basma gerilmesi 43.9 kPa olarak elde edilmiştir. Bu numune sadece %10 deformasyonda basma gerilmesi değerini sağlayamamıştır. 5 numaralı numune grubu ise standartlardaki iki kriteri yerine getirmiştir. 3 numaralı numuneden farklı olarak bu numunenin %10 deformasyonda basma gerilmesi ( $\sigma_{10}$ ) 150 kPa değerine yakın çıkarak 132.7 kPa olarak belirlenmiştir. Bu değer çekirdeğin vakumlandıktan sonra vakum basıncına karşı direnç gösterebilmesi için önem arz etmektedir. Ayrıca diğer mekanik özellikleri de incelenerek, elastisite modülü (E) 642.4 kPa, en büyük deformasyon oranı ( $\epsilon_m$ ) % 1.4, en büyük kuvvete karşılık gelen yer değiştirme miktarı ( $X_m$ ) 3.97 mm, “F<sub>e</sub>” kuvvetinden kaynaklanan basma gerilmesi ( $\sigma_e$ ) 48 kPa olarak belirlenmiştir.

#### KAYNAKLAR

Binz, A., Moosmann, A., Steinke, G., Schonhardt, U., Fregnan, F., Simmler, H., Brunner, S., Ghazi, K., Bundi, R., Heinemann, U., Schwab, H., Cauberg, J. J., M., Tenpieri, M. J., Jóhannesson, G. A., Thorsell, T. I., Erb, M., and Nussbaumer, B. 2005. Vacuum Insulation in the Building Sector. Systems and Applications (Subtask B): IEA/ECBCS Annex 39 High Performance Thermal Insulation (HiPTI).

Haavi, T., Jelle, B., Gustavsen, A., Uvsløkk, S., and Baetens, R. 2010. Vacuum Insulation Panels in Wood Frame Wall Constructions - Hot Box Measurements and Numerical Simulations. Proceedings of the 2nd Biennial

International Conference on Building Enclosure Science and Technology, April 12-14, Portland, USA.

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.

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.

DIN EN 826:199605, Thermal Insulating Products For Building Applications Determination of Compression Behavior, German version EN 826:1996.

DIN EN 1602:199701, Thermal Insulating Products For Building Applications Determination of The Apparent Density, German version EN 1602:1996.

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.

DIN EN 1607:199701, Thermal Insulating Products For Building Applications Determination of Tensile Strength Perpendicular to Faces, German version EN 1607:1996.

DIN EN 12664 : Thermal performance of building materials and products determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and flow meter methods.

Johansson, P. Vacuum Insulation Panels in Buildings Literature review. Report in Building Physics, Report 2012:1, Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.

Simmler, H., Brunner, S., Heinemann, U., Schwab, H., Kumaran, K., Mukhopadhyaya, P., Quénard, D., Sallée, H., Noller, K., Küçükpinar- Niarchos, E., Stramm, C., Tenpierik, M. J., Cauberg, J. J. M., and Erb, M. 2005. Vacuum Insulation Panels. Study on VIP-components and Panels for Service Life Prediction of VIP in Building Applications (Subtask A): IEA/ECBCS Annex 39 High Performance Thermal Insulation (HiPTI).