

Poliüretan Köpük Esaslı Kavak Kompozit Panellerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Gülyaz AL^{1,*}, Deniz AYDEMİR², Kıvanç BAKIR³

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Çanakkale, Türkiye

²Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye

³Bartın Üniversitesi, Bartın Meslek Yüksekokulu, Bartın, Türkiye

Makale Tarihi

Gönderim: 10.09.2023

Kabul: 03.01.2024

Yayın: 23.04.2024

Araştırma Makalesi



Öz –Sandviç paneller günümüzde otomotiv, inşaat, uçak gibi pek çok sektörde tercih edilen bir malzemedir. Bunun yanı sıra izolasyon malzemesi olarak pek çok alanda kullanılmaktadır. Çalışmamızda özellikle izolasyon alanında kullanılmak amacıyla ısı iletimi düşük olan poliüretan ve yüksek direnç özelliklerine sahip ahşap materyalden hem hafif hem de kullanım alanında istenen sağlamlığa sahip levhalar üretmektir. Çalışmamızda kaplama malzemesi olarak kavak paneller, köpük olarak poliüretan köpük kullanılmıştır. 1 cm, 3 cm ve 5 cm kalınlıkta poliüretan köpüğe 5 mm kavak panel kaplama kullanılarak sandviç paneller hazırlanmıştır. Bu panellerin bazı mekanik özellikleri (eğilme direnci ve basınç direnci), ısı iletkenlikleri ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Fiziksel özelliklerden su alma ve kalınlığına şişme özelliğine bakılmıştır. Test sonuçlarına göre 5 cm kalınlıkta poliüretan köpükle hazırlanan sandviç panellerin su alma ve kalınlığına şişme oranlarının daha düşük olduğu yani suya dayanımlarının daha iyi olduğu görülmüştür. Isı iletim katsayısı en yüksek sandviç panel 5 cm kalınlıkta poliüretan köpükle hazırlanan olup en düşük ısı iletim katsayısına sahip panel ise 3 cm kalınlıkta poliüretan köpükle hazırlanan panellerdir. Buna göre yalıtkanlığı en iyi olan sandviç paneller 3 cm kalınlıkta poliüretan köpükle hazırlanmış panellerdir. Mekanik test sonuçlarına bakıldığında ise mekanik olarak en iyi değerlerin genellikle 1 cm kalınlıkta poliüretan köpükle hazırlanmış panellerde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler – Sandviç panel, poliüretan köpük, kavak kaplama, ısı iletkenliği, mekanik özellikler

Physical and Mechanical Properties of Polyurethane Foam Based Poplar Composite Panels

¹Canakkale Onsekiz Mart University, Vocational School of Technical Sciences, Çanakkale, Türkiye

²Bartın University, Faculty of Forestry, Department of Forest Industrial Engineering, Bartın, Türkiye

³Bartın University, Vocational School of Bartın, Bartın, Türkiye

Article History

Received: 10.09.2023


Accepted: 03.01.2024


Published: 23.04.2024


Research Article

Abstract – Sandwich panels are preferred in many sectors, such as automotive, construction, and aircraft. In addition, it is used in many areas as an isolation material. We aim to produce boards that are both lightweight and have the desired durability in their field of use, made from polyurethane, which has low heat conduction, and wood material with high resistance properties, especially for use in isolation. In our study, poplar panels were used as coating materials and polyurethane foam was used as foam. Sandwich panels were prepared using 1 cm, 3 cm, and 5 cm thick polyurethane foam and 5 mm poplar panels. These panels' mechanical properties (bending and compressive strength), thermal conductivity, and physical properties were examined. Its ability to absorb water and swell to its thickness was investigated among its physical properties. The test results showed that the sandwich panels prepared with 5 cm thick polyurethane foam had lower water absorption and swelling rates, so their water resistance was better. The sandwich panel with the highest thermal conductivity coefficient is prepared with 5 cm thick polyurethane foam. The panel with the lowest heat conduction coefficient is prepared with 3 cm thick polyurethane foam. Accordingly, 3 cm thick polyurethane foam panels have the best insulation. It was concluded panels prepared with 1 cm thick polyurethane foam had the best mechanical values.

Keywords – Sandwich panels, polyurethane foam, poplar panel veneer, thermal conductivity, mechanical properties

¹  gulyaz@comu.edu.tr

²  denizaydemir@bartin.edu.tr

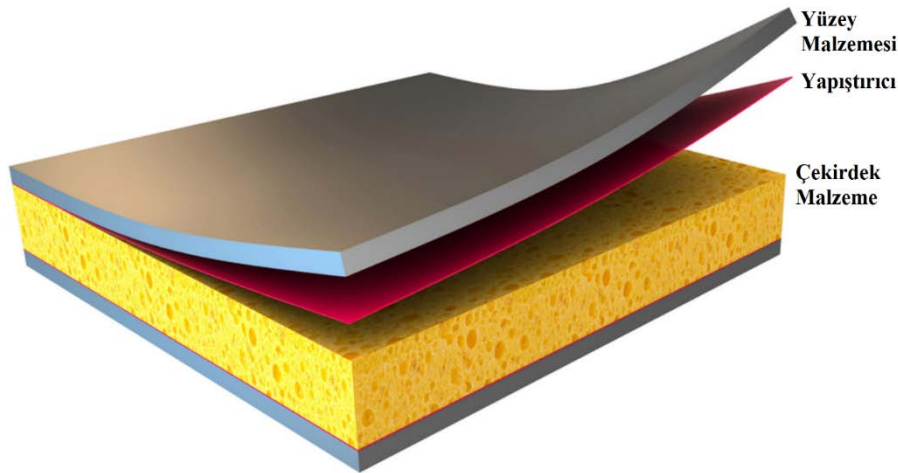
³  kivanc@bartin.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Tarihi olarak en eski çağlardan günümüze her türlü malzemenin yapımında kullanılmış olan odunun günümüzde, yeni teknolojilerin gelişmesiyle ve yeni materyallerin ortaya çıkmasıyla ahşap materyalin kullanımı azalmış olmasına karşın ahşap hala birçok sektör tarafından farklı amaçlar için kullanılan bir hammaddedir. Ahşap materyal biyolojik olarak devamlılığı olan bir materyal olup odun rutubetinde meydana gelen değişim, anizotropik şişme ve daralmayla birlikte meydana gelen higroskopik değişimler odunun kullanımında sıkıntılara neden olmaktadır (Aydemir ve Gündüz, 2009; Santos vd., 2021). Karmaşık bir yapıya sahip olan ahşabın bu özelliği ahşabın mekanik davranışları üzerinde etkili olmaktadır. Bunun yanı sıra hücre yapısı, bulundurduğu bileşenler ve miktarları da ağaç malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde birtakım değişikliklere neden olabilmektedir (Şirin ve Aydemir, 2016; Pareta vd., 2020). Hammadde olarak kullanılan ahşabın yukarıda bahsedilen bazı teknik dezavantajlarının yanı sıra ahşap materyale istenilen miktarlarda ulaşılabilmesinin de sınırlı olması bilim insanlarını ahşap ile birlikte kombine edilebilen yeni kompozit malzeme arayışlarına götürmektedir. Özellikle ısı ve ses izolasyonu amacıyla poliüretan köpük kullanılarak oluşturulan ahşap sandviç paneller yani köpüklü kompozit levhalar da bu alternatiflerden birisidir. Köpüklü kompozit levha; poliüretan (PUR) levhanın belirli kalınlıklardaki kontrplak tabakalarının arasında çeşitli birleştirme materyalleriyle soğuk preslenmesi sonucu bütün bir yapıya getirilmesiyle oluşmaktadır. Fiziksel durumları itibari ile sandviç malzeme ismi ile nitelendirilmekte ve bu yöntemle imal edilmektedirler (Somarathna vd., 2018; Güler ve Ulay, 2010). Poliüretan köpüğün kimyasal yapısı, temel üretan reaksiyonu bir izosiyanat grubu ve aktif bir hidrojene sahip olan bir bileşik arasında oluşmakta ve oluşan yapı bir köpük levha halini almaktadır (Pareta vd., 2020; Aydın ve Ekmekçi, 2002).

Sandviç paneller şekil 1’de görüldüğü gibi genellikle daha kalın bir çekirdeğe bağlanan iki ince yüzeyden meydana gelmektedir. Yüzeylerde kullanılan kaplamalar yüksek mukavemetli ve sağlam malzemelerdir. Çekirdek ise genellikle düşük ve orta derecede mukavemete ve sertliğe sahip sert bir köpükten meydana gelmektedir (Correia vd., 2012; Tuwair vd., 2015; Somarathna vd., 2018).



Şekil 1. Sandviç levha bileşenleri (Khan vd., 2020).

Gün geçtikçe ahşap levha ürünlerinde ürün çeşitliliği artmaktadır. Köpük yapıli kompozit (sandviç) malzemeler denizcilik, yat dizaynı, mobilya, iç dekorasyon ve diğer endüstri kollarında tercih edilmeye başlamıştır. Köpüklü ve petekli kompozitlerin diğer kompozit levhalara göre % 40-70 oranında daha hafif olup ihtiyaçlara göre özellikleri uygun hale getirilebilmektedir. Bunun yanı sıra rutubete karşı dirençli, kolay taşınabilir, geri dönüşümlü, ekolojik olmaları ve yüksek eğilme mukavemetine sahip olmaları avantajları arasında yer almaktadır (Ayrılmış vd., 2015; Güler ve Ulay, 2010; Ulay ve Güler, 2010).

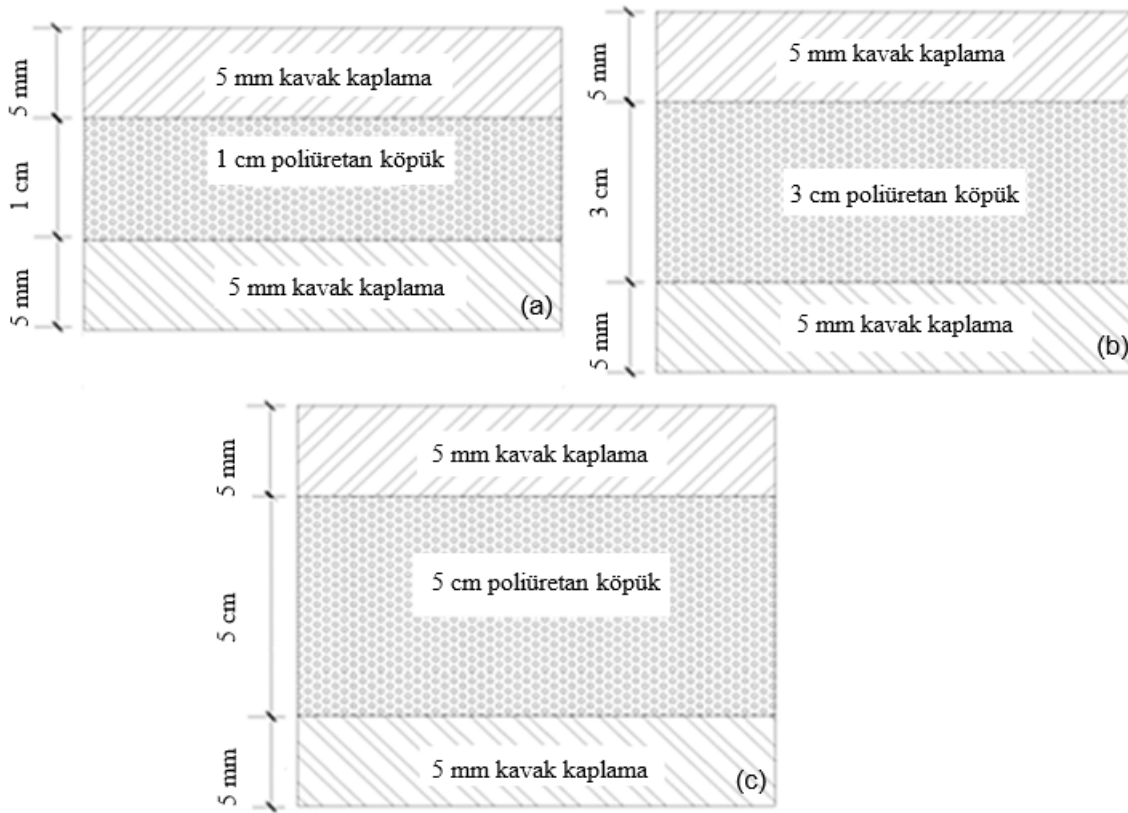
Correia vd., 2012 çalışmalarında PU (poliüretan) köpük ve PP (polipropilen) honeycomb üzerine GFRP (cam elyaf takviyeli polimer) kaplamalar kullanarak yapısal malzemeler alanında kullanılmak üzere hazırlamış

oldukları sandviç panellerin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Tuwair vd., 2015 çalışmalarında üç farklı kompozisyona sahip PU köpük üzerine GFRP kaplamalar kullanarak üretmiş oldukları sandviç panellerin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Güler ve Ulay, 2010 çalışmalarında PU köpük üzerine okume ve kavak kontrplakları yapıştırarak sandviç paneller üretmiş ve bu panellerin mekaniksel özelliklerine ve yoğunluklarına bakmışlardır. Ulay ve Güler, 2010 çalışmalarında PU köpük ve PP honeycomb üzerine 3 tabakalı kontrol plak yapıştırarak sandviç paneller üretmiş, bu panellerin mekanik özelliklerini, su alma ve kalınlığına şişme özelliklerini incelemiştir.

Bu çalışma literatürden farklı olarak 3 farklı kalınlıkta poliüretan köpük levaların (1 cm, 3 cm ve 5 cm kalınlıkta) alt ve üst tabakalarına 5 mm kalınlığında kavak kaplamalar yapıştırılarak oluşturulan 3 katlı lamine ahşap sandviç paneller, poliüretan esaslı tutkal yardımıyla birbirlerine bağlanmıştır. Elde edilen levhaların bazı fiziksel özellikleri ve ısıl iletkenlikleri yanında mekanik dayanımları da araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmamızda ahşap malzeme olarak 5 mm kalınlıkta kavak kaplama (hava kurusu yoğunluk değeri 0.49 g/cm^3) ve poliüretan köpük ($0,1-0,2 \text{ g/cm}^3$) olarak da 3 farklı kalınlıkta (1 cm, 3 cm ve 5 cm kalınlıkta) poliüretan levhalar kullanılmıştır. Poliüretan köpük ve ahşap kaplamaları birleştirmek için piyasadan satın alınan Tekno markalı poliüretan esaslı tutkal kullanılmıştır. Tutkal oda sıcaklığında sıvı olan ve güçlü bağlanma sağlama kapasitesine sahiptir ve yüzeylere bir rulo yardımıyla uygulanmıştır. Piyasadan temin edilen bu materyaller aşağıda Şekil 2’de görüldüğü gibi sandviç panellerin üretiminde kullanılmıştır. Üretim sonrasında paneller 20°C ve %65 bağıl nemde bulunan bir iklimlendirme kabini içinde 1 ay bekletilmiş ve örneklerin olabildiğince %12 rutubet oranlarına ulaşması sağlanmış ve %12’ye ulaşan numuneler üzerinde testler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. 5 mm kavak kaplamalar + 1 cm (a) / 3 cm (b) / 5 cm (c) poliüretan köpük panel yapıları.

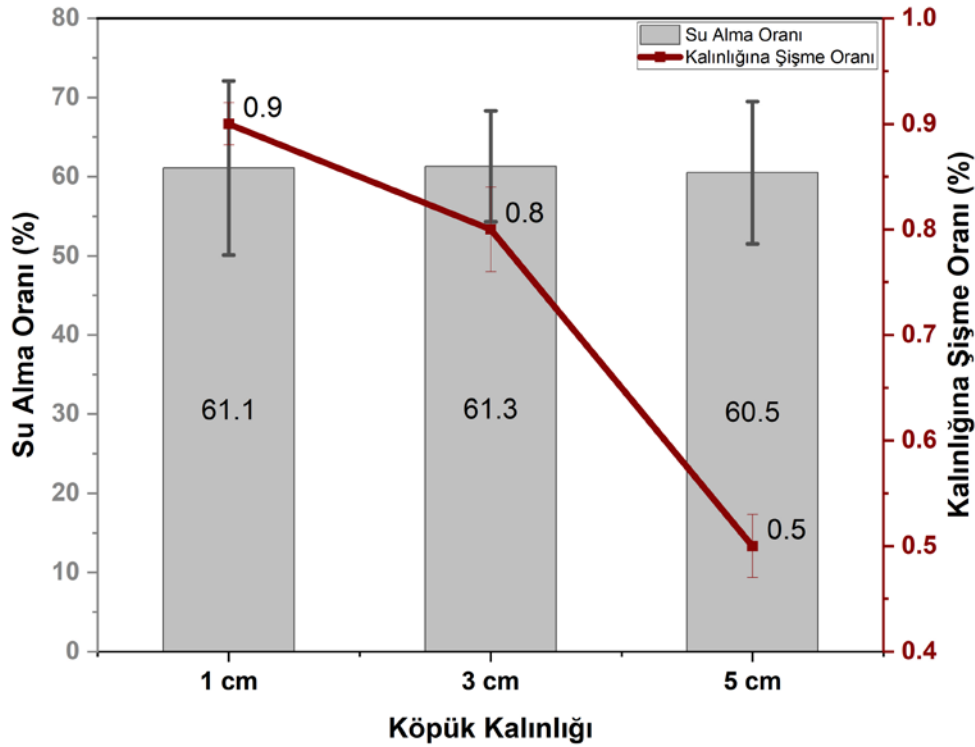
Oluşturulan bu sandviç panellerin dış ortamda kullanılmasında önemli bir özellik olan su alma ve kalınlığına şişme testleri yapılmıştır. Su alma ve kalınlığına şişme testleri ASTM D 1037 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Isıl iletkenlik testleri ise TS EN 12667 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Eğilme

ve eğilmede elastikiyet modülü testleri TS EN 310 standardına göre, basınç direnci ise ISO 13061-17 (2017) standardına göre yapılmıştır. Yapılan su alma-kalınlığına şişme testleri, ısı iletimi ve mekanik özellikler her bir levha grubu için 6 numune olacak şekilde yapılmıştır. Yapılan her test için istatistik analiz olarak tek yönlü ANOVA yapılmış ve gruplar arasındaki değişimlerin saptanmasında Duncan testi gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Su Alma ve Kalınlığına Şişme Oranı

Lamine ve sandviç gibi panel tiplerinde su alma ve kalınlığına şişme oranları birbirlerine yapışmış olan tabakaların arasındaki yapışmada meydana gelen bozulmayla ayrılmasına sebep olabilir ve bu durum bu tip panellerin tüm özellikleri üzerine büyük etkisi vardır. Özellikle ahşap malzemenin hidrofilik yapısı bu su alma ve kalınlığına şişmenin her hâlükârda olmasına sebep olacaktır fakat panellerin bütünlüğünün bozulmaması için belirli oranlarda kalması istenmektedir. Bu çalışmada da panellerin su alma ve kalınlığına şişme testleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 3’te sunulmuştur. Su alma ve kalınlığına şişme değerlerindeki değişimin anlamlı olup olmadığı tek yönlü varyans analiziyle test edilmiştir ve p değeri 0.946 olarak belirlendiğinden (güvenirlilik değeri: $p \leq 0.05$) gruplar arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. Bu sebeple hangi gruplar arasında fark olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi gerçekleştirilmemiştir. Buna sonuçlara rağmen 5 cm kalınlıkta poliüretan köpükle hazırlanan sandviç panellerin su alma ve genişleme oranlarının diğer panellerden daha düşük olduğu yani suya dayanımlarının daha iyi olduğu görülmüştür. En düşük dayanıma sahip malzeme ise 1 cm kalınlıkta poliüretan köpükle hazırlanan sandviç paneller olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3. Kompozitlerin su alma ve kalınlığına şişme oranları.

Mirski vd. (2019) ve (2022) yılında testere talaşı ve kabuk atıklarıyla yaptığı panelleri endüstriyel kontrplaklarla lamine ederek sandviç paneller üretmiştir. Panellerin hazırlanmasında melamin üre formaldehit tutkalı kullanılmış ve elde edilen sonuçlara göre saf masif göre sandviç panellerin su alma değerleri/kalınlık artışı araştırılmış ve su alma/kalınlık artışı oranlarının önemli oranda azaldığı saptanmıştır. Ayrıca Dukarska ve Mirski (2023) tarafından yapılan derleme çalışmada yapılarda sandviç panellerin performansı incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda sandviç panellerin masif panellere göre çok yüksek boyutsal kararlılığa sahip olduğu görülmüştür. Su alma oranlarının azaldığı bu durumda kalınlığına şişme değerlerini azaltacağı da görülmüştür. Sonuç olarak çalışmamızda da köpük kalınlığı arttıkça ahşap miktarı % olarak oranı azaldığı için

daha düşük su alma göstermiştir. Bu durum ne kadar istatistiksel olarak anlamsız olsa da ahşap oranının artmasının su alma ve kalınlığına şişme oranlarını artırabileceği söylenebilir.

3.2. Isıl İletkenlik Değeri

Sandviç panellerin su alma davranışları yanın da ısıl iletimi katsayıları da büyük önem taşımaktadır. Metot da belirtilen standarta göre yapılan ısı iletimi test sonuçları Şekil 4' de verilmiştir. Isı iletimi değerleri üzerinde yapılan ANOVA analizinde ise gruplar arasında istatistiki olarak anlamlı sonuçlar bulunmuştur (Tablo 1). Yapılan Duncan test sonuçları da hangi gruplar arasında fark olduğunu göstermiştir (Tablo 2).

Tablo 1

Panellere ait tek yönlü varyans analizi.

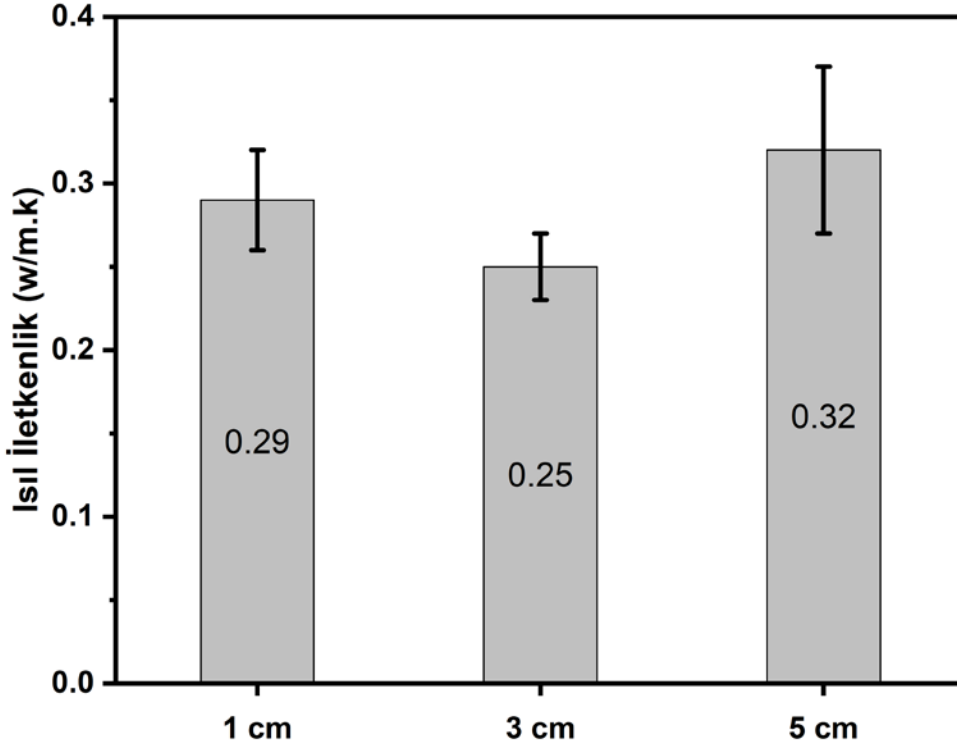
p < 0,95	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Önem Katsayısı
Gruplar Arasında	0,008	2	,004	10,704	,010
Grup İçinde	0,002	6	,000		
Toplam	0,010	8			

Tablo 2

Panellerin Duncan Test Sonuçları.

Duncan Testi	n	A	AB	C
5	5			0,32
1	5		0,29	
3	5	0,25		
Önem katsayısı				

Şekil 4'e bakıldığında, 5 mm kalınlığında köpük içeren paneller diğer panellere göre daha yüksek ısı iletimi göstermiştir. Buna karşın 1 mm ve 3 mm köpük kalınlığına sahip sandviç panellerin ısıl iletkenlik değerleri arasındaki fark çok fazla değildir. İstatistiki olarak da bakıldığında 1 ve 3 mm köpük kalınlığı olan panellerin ısı iletim katsayısı benzer işken 5 mm köpük içeren panellerin ısı iletim katsayıları farklı olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, ısı iletim katsayısı en yüksek sandviç panel 5 cm kalınlıkta poliüretan köpükle hazırlanan sandviç panel olup en düşük ısı iletim katsayısına sahip panel ise 3 cm kalınlıkta poliüretan köpükle hazırlanan sandviç panellerdir. Buna göre yalıtkanlığı en iyi olan sandviç paneller 3 cm kalınlıkta poliüretan köpükle hazırlanmış paneller olarak bulunmuştur. Buradan elde edilen verilere göre ısı iletim katsayısındaki bu değişikliklerin köpük morfolojisinin etkisinden kaynaklanabileceği söylenebilir. 1 mm kalınlıklı köpüklerin köpük yoğunluğunun ve hücre boyunun küçük olması ve 5 mm kalınlıklı köpüklerin hücre yoğunluğunun az olmasına karşın hücre boyutunun fazla olmasının da bu duruma sebep olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4. Kompozitlerin ısı iletimleri.

Literatüre bakıldığında benzer çalışmalara çok fazla rastlanmamasına rağmen bazı panellerin çeşitli termoset köpüklerle yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalardan birinde Yamsaengsung ve Sombatsompop (2008) yaptığı çalışmada köpük oranının artmasıyla genellikle ısı iletiminin azaldığını saptanmıştır. Ayrıca köpük hücre çaplarının ve morfolojisinin de ses iletimi üzerine etkisinin bulunduğu saptanmıştır. Bunun yanı sıra Shenton vd. (2002) ve Dweib vd. (2004)'nin yaptıkları çalışmada panellerin termal kararlılığı üzerinde köpüksü yapıların etkilerinin olduğunu saptanmıştır. Bu durum mekanik özellikleri düşürmektedir. Buna karşın izolasyon malzemeleri için çok yüksek mekanik performans istenmemektedir. Bu nedenle malzemelerde bunun olumlu bir durum olduğu belirlenmiştir. Ekici vd. (2012) yılında yaptığı çalışmada poliüretan köpüklerin çay yaprağıyla desteklenmesinin köpüklerin akustik özelliklerini iyileştirdiğini bulmuştur. Ayrıca yapılan başka bir çalışmada köpük hücre yoğunluğu ve hücre boyutu yanında hücrenin açık ya da kapalı olmasının da ses iletimini etkilediği sonucuna ulaşılmıştır (Carricho vd. 2017, Zhang vd. 2017, Soloveva vd. 2022). Bu bakımdan kullanılacak malzeme ve üretim yönteminin de ısı iletiminde önemli bir faktör olabileceğini sonucu ortaya çıkmaktadır. Elde edilen verilere göre, en düşük ısı iletiminin 3 mm kalınlığında köpük içeren panellerde olduğu söylenebilir.

3.3. Mekanik Özellikler

Köpük içeren sandviç panellerin su alma ve ısı iletimi yanında mekanik özellikleri de önemli bir rol almaktadır. Bu bağlamda köpük içeren panellerde metotta verilen ilgili standarda göre mekanik testler gerçekleştirilmiştir ve elde edilen veriler Tablo 4'te verilmiştir. Mekanik test sonuçlarına yapılan ANOVA test sonuçları panellerdeki değişimin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermiştir ve farklılıkların hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek için Duncan testi yapılmıştır. Analiz sonuçları ise her bir grubun değişimlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermiştir (Tablo 2, 3, 4 ve 5).

Tablo 3

Basınç Direnci için panellerin tek yönlü varyans analizi.

p < 0,95	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Önem Katsayısı
Gruplar Arasında	1056,1	2	528,1	63,7	0,00
Grup İçinde	99,5	12	8,3		
Toplam	1155,7	14			

Tablo 4

Eğilme Direnci için panellerin tek yönlü varyans analizi.

p < 0,95	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Önem Katsayısı
Gruplar Arasında	156,837	2	78,419	904,831	,000
Grup İçinde	1,040	12	,087		
Toplam	157,877	14			

Tablo 5' teki mekanik test sonuçlarına bakıldığında eğilme direncinin 1,2 ile 8,6 N/mm² arasında değiştiği görülmektedir. En düşük eğilme direnci 5 cm köpük içeren panellerde belirlenirken en yüksek eğilme direnci ise 1 cm kalınlıkta köpük içeren panellerde bulunmuştur. Yapılan çalışmalarda ve literatürde bulunan sonuçlar ışığında bu durumun köpüğün hücre yapısından ve yoğunluğundan kaynaklandığı belirlenmiştir. Eğilmede elastikiyet modülünde de en yüksek (190.9 N/mm²) elastiklik modülü 1 cm köpük içeren panellerde en düşük (27.8 N/mm²) ise 3 cm köpük içeren panellerde olduğu bulunmuştur. Panellerin basınç direnci değerleri ise 21 ile 41,5 N/mm² arasında değiştiği görülmekle birlikte bu değişim trendinin elastikiyet modülüne benzer olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre en iyi mekanik özelliklere sahip sandviç paneller genellikle 1 cm kalınlıkta poliüretan köpük hazırlanmış sandviç panellerdir. Panellerde köpük kalınlığı arttıkça mekanik özellikler düşmüş ve uzama oranları azalmıştır. Bu durum panellerin köpük kalınlığının artmasıyla mekanik yük taşıma kapasitesinin düştüğünü göstermektedir. Bu sonuçlardan yola çıkarak 1 mm kalınlıkta köpük içeren panellerin mekanik olarak daha dirençli olduğu söylenebilir. Özellikle elastikiyet modülleri dikkate alındığında 1 mm kalınlıklı köpük içeren panellerin özellikle askıda kaldığı durumlarda daha yüksek elastikiyet gösterebileceği ve bu durumun bu tip panellerin kullanım süresinin daha uzun olabileceğini göstermektedir.

Tablo 5

Kompozitlerin mekanik özellikleri.

Köpük Kalınlığı (cm)	Eğilme Direnci (N/mm ²)	Fmax (N)	Deformasyon (mm)	E-Modül (N/mm ²)	Basınç Direnci (N/mm ²)
1 cm	8,6 (±0,3) C	528,8	43,8	190,9 (±14.2) C	41,5 (±3.1) C
3 cm	2,3 (±0,1) B	678,4	43,3	27,8 (±4.2) A	21 (±0,8) A
5 cm	1,2 (±0,1) A	875,6	31,9	47,6 (±8.4) B	30,6 (±1,2) B
p value	p ≤ 0.00			p ≤ 0.00	p ≤ 0.00

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle sandviç panellerin gerek yoğunluktaki azalma gerekse yapışma hattında meydana gelebilen hatalardan mekanik özelliklerinin düştüğü saptanmıştır. Somarathna vd. (2018) ve Mirski vd. (2019) yaptıkları çalışmada sandviç panellerin mekanik özelliklerinin düşük olmasına karşın genellikle istenen miktarlarda mekanik performans sergileyebildiklerini belirtmiştir. Ayrıca Nazerian vd. (2021) yaptığı çalışmada yüzeyde sert liflevha tabakası ve iç kısımda köpük malzemeyle yaptığı sandviç panellerin mekanik özelliklerini araştırmış ve elde edilen sonuçlar çok kriterli karar verme yöntemlerinden yüzey metodolojisi (RSM) ve yapay sinir ağı (ANN) ile panellerin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar köpük materyali genellikle mekanik özellikleri düşürdüğü ve bu materyallerin dekorasyon

amaçlı kullanımının daha uygun olacağı ifade edilmiştir. Samali vd. (2019) yaptığı çalışmada da köpük içeren panellerin yapısal özellikleri üzerinde çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında farklı köpük tiplerinin veya köpük yapısının değişmesinin panellerin yapısal özelliklerini olumlu olarak etkileyebileceği görülmüştür.

4. Sonuçlar

Sandviç panellerin üretiminde farklı paneller (alt ve üst yüzey) ve köpükler (orta tabaka) kullanılabilenekte olup bu malzemeler ihtiyaçlara uygun olarak hazırlanabilmektedir. Sandviç paneller düşük hafif, yüksek hasar toleransına sahip malzemelerdir ayrıca yüksek bir termal yalıtıma sahiptirler. Bu çalışmada farklı kalınlıkta poliüretan köpükler ahşap plakalarla lamine edilerek izolasyon amaçlı levhalar üretilmiştir. Levha üretiminde 5 mm kavak plakalar ve 1 cm, 3 cm ve 5 cm kalınlıkta poliüretan köpük materyaller kullanılmıştır. Panellerin eğilme direnci ve basınç direnci gibi bazı mekanik özellikleri, ısı iletkenlikleri ve yoğunluk ve su alma-kalınlığına şişme gibi fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen fiziksel özelliklere göre 5 cm kalınlıkta köpük içeren panellerin su alma ve kalınlığına şişme oranlarının daha düşük olduğu buna karşın ısı iletim katsayısının yüksek olduğu görülmüştür. En düşük ısı iletim katsayısı ise 3 cm kalınlıkta köpük içeren panellerde belirlenmiştir. Bu durumun köpük materyalin gerek hücre tipi gerekse hücre boyutlarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Panellerin mekanik test sonuçlarına göre en yüksek değerlerin genellikle 1 cm kalınlıkta köpük içeren olduğu sonucuna varılmıştır. Buradan masif ahşap kaplamalarla hazırlanan panellerin yük taşıma kabiliyetinin yeterli olmadığı buna karşın ısı izolasyon ya da dekoratif kullanım için alternatif bir materyal olabileceği belirlenmiştir. Sandviç paneller günümüzde otomotiv sanayinde, inşaat sektöründe, uçak ve uzay araçlarında, spor ekipmanlarında, savunma ve askeri uygulamalar gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bu malzemeler hafif olup mukavemetleri yüksek malzemelerdir bu nedenle kullanım alanları sürekli genişlemektedir. Yıllar içerisinde ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilen sandviç panellerin teknolojik gelişmelerle birlikte kullanım alanlarının artacağı düşünülmektedir.

Yazar Katkıları

Gülyaz AL: Veri toplamış ve makaleyi yazmıştır

Deniz AYDEMİR: Analizi planlamış ve tasarlamıştır.

Kıvanç BAKIR: Analizlerin yapılmasına ve makale yazımına yardım etmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Aydemir, D., Gündüz, G. (2009). Ahşabın fiziksel, kimyasal, mekaniksel ve biyolojik özellikleri üzerine ısıyla muamelenin etkisi. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 11(15), 61-70.
- Aydın, H., Ekmekçi, İ. (2002). Isı yalıtım malzemesi olarak poliüretan köpüğün fiziksel ve kimyasal özellikleri, üretimi ve incelenmesi. *Sakarya University Journal of Science*, 6(1), 45-50. <https://doi.org/10.16984/SAUFBED.04643>
- Ayrılmış, N., Ulay, G., Fatih Bağlı, E., Özkan, İ. (2015). Ahşap sandviç kompozit levhaların yapısı ve mobilya endüstrisinde kullanımı. *Journal of Forestry Faculty*, 15(1), 37-48.
- Carriço, C. S., Fraga, T., Carvalho, V. E., Pasa, V. M. (2017). Polyurethane foams for thermal insulation uses produced from castor oil and crude glycerol biopolyols. *Molecules*, 22(7), 1091.
- Correia, J. R., Garrido, M., Gonilha, J. A., Branco, F. A., Reis, L. G. (2012). GFRP Sandwich panels with PU foam and PP honeycomb cores for civil engineering structural applications. *International Journal of Structural Integrity*, 3(2), 127-147. <https://doi.org/10.1108/17579861211235165>
- Dukarska, D., Mirski, R. (2023). Wood-based materials in building. *Materials*, 16(8), 2987. <https://doi.org/10.3390/MA16082987>
- Dweib, M. A., Hu, B., O'Donnell, A., Shenton, H. W., Wool, R. P. (2004). All natural composite sandwich beams for structural applications. *Composite Structures*, 63(2), 147-157. [https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(03\)00143-0](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(03)00143-0)
- Ekici, B., Kentli, A., Küçük, H. (2012). Improving sound absorption property of polyurethane foams by adding tea-leaf fibers. *Archives of Acoustics*, 37(4), 515-520. <https://doi.org/10.2478/v10168-012-0052-1>

- Güler, C., Ulay, G. (2010). Köpüklü kompozit (sandviç) levhaların bazı teknolojik özellikleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri: A (2)*, 88-96.
- ISO 13061-17. (2017). Physical and Mechanical Properties of Wood—Test Methods for Small Clear Wood Specimens—Part 17: Determination of Ultimate Stress in Compression Parallel to Grain. International Organization for Standardization ISO Central Secretariat Chemin de Blandonnet 8 CP 401 - 1214 Vernier, Geneva, Switzerland.
- Khan, T., Acar, V., Aydın, M. R., Hülagü, B., Akbulut, H., Seydibeyoğlu, M. Ö. (2020). A review on recent advances in sandwich structures based on polyurethane foam cores. *Polymer Composites*, 41(6), 2355-2400. <https://doi.org/10.1002/PC.25543>
- Mirski, R., Derkowski, A., Dziurka, D., Dukarska, D., Czarnecki, R. (2019). Effects of a chipboard structure on its physical and mechanical properties. *Materials 2019*, Vol. 12, Page 3777, 12(22), 3777. <https://doi.org/10.3390/MA12223777>
- Mirski, R., Derkowski, A., Kawalerczyk, J., Dziurka, D., Walkiewicz, J. (2022). The Possibility of Using Pine Bark Particles in the Chipboard Manufacturing Process. *Materials 2022*, Vol. 15, Page 5731, 15(16), 5731. <https://doi.org/10.3390/MA15165731>
- Nazerian, M., Naderi, F., Partovinia, A., Papadopoulos, A. N., Younesi-Kordkheili, H. (2021). Modeling the bending strength of mdf faced, polyurethane foam-cored sandwich panels using response surface methodology (RSM) and artificial neural network (ANN). *Forests 2021*, Vol. 12, Page 1514, 12(11), 1514. <https://doi.org/10.3390/F12111514>
- Pareta, A. S., Gupta, R., Panda, S. K. (2020). Experimental investigation on fly ash particulate reinforcement for property enhancement of PU foam core FRP sandwich composites. *Composites Science and Technology*, 195, 108207. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSCITECH.2020.108207>
- Samali, B., Nemati, S., Sharafi, P., Tahmoorian, F., Sanati, F. (2019). Structural performance of polyurethane foam-filled building composite panels: A State of the Art. *Journal of Composites Science 2019*, Vol. 3, Page 40, 3(2), 40. <https://doi.org/10.3390/JCS3020040>
- Santos, P., Correia, J. R., Godinho, L., Dias, A. M. P. G., Dias, A. (2021). Life cycle analysis of cross-insulated timber panels. *Structures*, 31, 1311-1324. <https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2020.12.008>
- Shenton, H. W., Wool, R. P., Hu, B., O'Donnell, A., Bonnaillie, L., Can, E., Chapas, R., Hong, C. (2002). An all-natural composite material roof system for residential construction. *Advances in Building Technology*, 255-262. <https://doi.org/10.1016/B978-008044100-9/50032-2>
- Soloveva, O. V., Solovev, S. A., Vankov, Y. V., Shakurova, R. Z. (2022). Experimental studies of the effective thermal conductivity of polyurethane foams with different morphologies. *Processes*, 10(11), 2257.
- Somarathna, H. M. C. C., Raman, S. N., Mohotti, D., Mutalib, A. A., Badri, K. H. (2018). The use of polyurethane for structural and infrastructural engineering applications: A state-of-the-art review. *Construction and Building Materials*, 190, 995-1014. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.09.166>
- Şirin, G., Aydemir, D. (2016). Sonlu elemanlar metodunun ahşap malzemelerde kullanımına ilişkin bir araştırma. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 18(2), 205-212. <https://doi.org/10.24011/BAROFD.272971>
- Tuwair, H., Hopkins, M., Volz, J., ElGawady, M. A., Mohamed, M., Chandrashekhara, K., Birman, V. (2015). Evaluation of sandwich panels with various polyurethane foam-cores and ribs. *Composites Part B: Engineering*, 79, 262-276. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.04.023>
- Ulay, G., Güler, C. (2010). Köpüklü (poliüretan) ve petekli (honeycomb) kompozit lamine malzemelerin bazı teknolojik özelliklerinin incelenmesi. *MYO-ÖS 2010- Ulusal Meslek Yüksekokulları Öğrenci Sempozyumu*, 1-9. Düzce.
- Yamsaengsung, W., Sombatsompop, N. (2008). Foam characteristics, peel strength, and thermal conductivity for wood/NR and expanded EPDM laminates for roofing applications. *Journal of Macromolecular Science, Part B*, 47(5), 967-985. <https://doi.org/10.1080/00222340802219206>
- Zhang, H., Fang, W. Z., Li, Y. M., Tao, W. Q. (2017). Experimental study of the thermal conductivity of polyurethane foams. *Applied Thermal Engineering*, 115, 528-538.