



Makale / Research Paper

Kompozit Panellerde CTP Levha Ve Çekirdek Kalınlığının Mekanik Özelliklere Etkisi

Serkan SUBAŞI¹, Volkan ÇETİN², Ayhan ŞAMANDAR³

¹Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 81000 Düzce/TÜRKİYE,

²Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Bölümü, 54100 Sakarya/TÜRKİYE

³Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 81000 Düzce/TÜRKİYE

serkansubasi@duzce.edu.tr; volkancetin11@gmail.com; ayhansamandar@duzce.edu.tr

Received/Geliş: 13.02.2017

Revised/Düzeltilme: 06.04.2017

Accepted/Kabul: 06.04.2017

Özet: Günümüzde inşaattan lojistiğe kadar her sektörde yakıt tüketimini azaltmak, yapıların ağırlığını azaltmak gibi amaçlarla ağırlık azaltma ile ilgili pek çok çalışma yapılmaktadır. Bal peteği kompozitler düşük ağırlıkları ve ağırlıklarına oranla sahip oldukları yüksek mekanik dayanımları sebebi ile ağırlık azaltma çalışmalarında ilk akla gelen malzemelerden birisidir. Bu çalışmada yük taşımacılığında kullanılan taşıtlarda zemin uygulamalarında sıkça kullanılan alüminyum damla desenli saç ve hazır cam takviyeli polyester(CTP) levha kullanılarak üretilmiş bal peteği sandviç levhaların CTP levha kalınlığı ve çekirdek kalınlığı değişimi ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışma kapsamında 2,5 mm alüminyum damla desenli saç sabit tutularak 15 ve 20 mm kalınlığında hücre çapı 9 mm olan ve kalınlığı 70 mikron olan alüminyum bal peteği yapısı ile 2 mm ve 9 mm kalınlığında CTP levhalar kullanılarak üretilmiş bal peteklerinin üç nokta eğme testleri yapılmış, CTP levha kalınlığı ve bal peteği kalınlığı değişimlerinin dayanıma olan etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak CTP levha kalınlığındaki artışın dayanımı arttırdığı ancak bal peteği kalınlığının CTP Levha kalınlığından dolayı oluşan artışa oranla mukavemeti çok daha fazla arttırdığı gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Bal peteği, CTP levha, alüminyum

The Effect of GFRP Plate and Core Thickness on Mechanical Properties in Composite Panels

Abstract: Honeycomb composites are one of the materials that comes to mind first for the studies about reducing weight because of their low weight and high mechanical resistance in proportion to their weight. In this study the relation between variation of plate thickness and nucleus thickness of CTP plates and bending resistance of the honeycomb sandwich plates that is produced by using aluminium drop patterned plate and readymade glass reinforced polyester(CTP) plate, has been investigated. As part of this study three spot bending tests has been done for the honeycombs that has been produced by using 2 mm and 9 mm CTP plates and 70 microns aluminium honeycomb structure with 15 and 20 mm thickness and 9 mm cell diameter, by holding steady the 2,5 mm aluminium drop patterned plate and the effect of the variation of CTP plate thickness and honeycomb thickness to the resistance has been investigated. As a result of this study it has been observed that increment of the CTP plate thickness increases the resistance but honeycomb thickness increases the durability much more according to the variation of the weight.

Keywords: Honeycomb, GFRP sheet, aluminium

Bu makaleye atıf yapmak için

Subaşı S., Çetin V., Şamandar A., "Kompozit Panellerde CTP Levha Kalınlığının Mekanik Özelliklere Etkisi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 135-145.

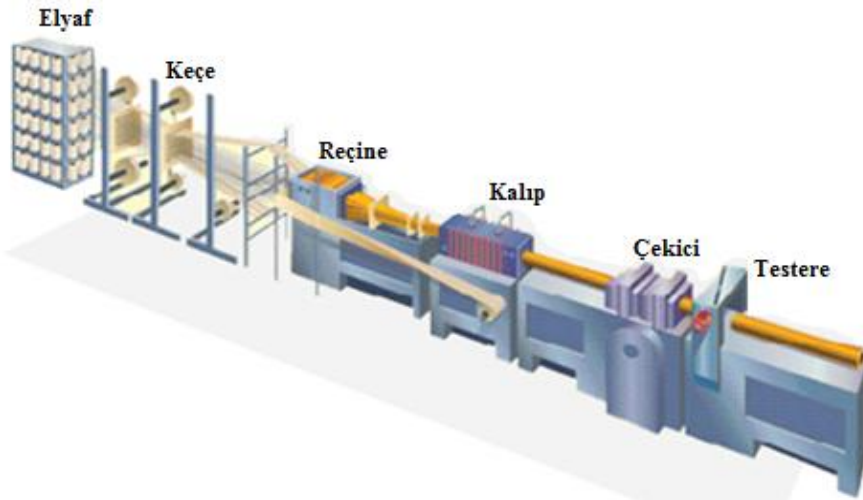
How to cite this article

Subaşı S., Çetin V., Şamandar A., "The Effect Of GFRP Plate And Core Thickness On Mechanical Properties In Composite Panels" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 135-145.

1. Giriş

Kompozit malzeme, birbirinden biçimleri ve kimyasal bileşimleri ile ayrılmış ve temel olarak birbiri içinde çözünmeyen, iki ya da daha çok mikro ya da makro bileşenin karışımı ya da bileşimiyle oluşan malzemedir [1]. Gelişen teknoloji ile birlikte insanoğlunun farklı özellikleri aynı anda barındıran malzemelere olan ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle kompozit malzemeler üzerine sürekli yeni çalışmalar yapılmakta ve kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. Kompozitlere en tipik örnek, artık günümüzde gelenekselleşmeye başlayan ve "fiberglas" olarak bilinen polyester esaslı reçinelerin cam elyaf ile takviyesiyle üretilen malzemelerdir. Cam elyafı silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi cam üretim maddelerinden üretilmektedir. Cam elyafı, elyaf takviyeli kompozitler arasında en çok bilinen ve kullanılanıdır. Bu elyafların polyester olarak isimlendirilen bir termoset reçine ile birleştirilmesiyle cam elyaf takviyeli polyester (CTP) adı verilen bir kompozit malzeme ortaya çıkmaktadır. CTP malzemeler, mekanik özellikleri, yüksek kimyasal dayanımları ve düşük maliyetleri sebebi ile günümüzde en sık kullanılan kompozit malzemelerden birisidir. CTP, rüzgâr türbinlerinden otobüslere, düş teknelerinden uçaklara kadar çok geniş bir alanda kullanılmaktadır.

CTP levha üretiminde hammadde olarak cam elyaf takviyesi, reçine, jelkot ve çeşitli katkı malzemeleri kullanılmaktadır. CTP levhalar genel olarak üç metotla üretilmektedirler. El yatırma yönteminde bir kalıbın üzerine genellikle jelkot kalıba sürülür. Bu işlemin ardından cam fiber kumaş kalıba yatırılır ve polyester ile ıslatılarak levha üretimi gerçekleştirilir. Bu metotta levha ebatları kalıbın ebadı ile sınırlıdır. Ayrıca proseste emek yoğun olduğu için ürünler arasında ciddi mekanik ve görsel farklılıklar oluşabilmektedir. Pultrüzyon yönteminde ise cam fiber ve polyester ısıtılmış bir kalıptan çekilerek polyesterin kürleşmesi sağlanır. Bu metotta kalınlık, mukavemet ve görsel olarak çok daha stabil ürünler çıkmaktadır. Ayrıca bu metotta istenilen uzunlukta ürünler elde edilebilmektedir. Ürün istenilen uzunluğa geldiğinde hattın sonundaki testere yardımıyla kesilir.

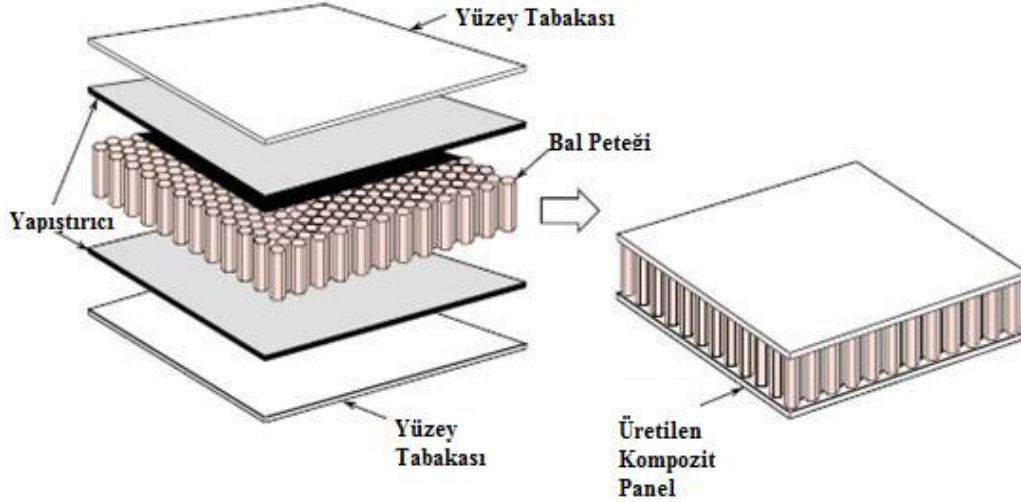


Şekil 1. Pultrüzyon tezgâhı ve parçaları [2]

Petek yapılı sandviç yapılar, petek hücrelerin alt ve üst kısmının bir yüzey örtüsü ile örtülmesiyle elde edilirler [3]. Bal peteği kavramının ilk örnekleri yaklaşık 2000 yıl önce Çin'de kullanılan kâğıttan petek yapıda gözlemlenmiştir [4]. Günümüzdeki anlamıyla bal peteği kompozit teknolojisi ise ilk kez 1845 yılında yumurta taşıma kutularında kullanılmıştır. Daha sonra 1919 yılında havacılıkta kullanılmaya başlayan bu malzemeler her geçen gün daha geniş bir kullanım alanına kavuşmaktadır [5]. Örneğin bal peteği kompozit paneller, sahip oldukları yüksek darbe sönümleme özellikleri nedeniyle yüksek hızlı trenlerin ön panellerinde ve otomobillerin şasislerinde kullanılmaktadır. Böylece çarpışma anında yüksek miktarda enerjiyi absorbe ederek yaşam hücresi oluşturmakta ve önemli bir pasif güvenlik unsuru olmaktadır [6].

Ayrıca kompozit paneller geleneksel yapı malzemeleri ile kombinlenebilmekte veya şekillendirilerek standart bir sandviç yapının taşımayacağı yükleri taşıması sağlanabilmektedir [7]. Sandviç yapılarda bal peteği kısmı; kayma gerilimlerini taşıırken, yüzey kısımları çekme ve basma kuvvetlerini taşımaktadır [8].

Bal peteği kullanılarak üretilen kompozit levhalara ait tabakalar Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Bal peteği kompozit panel tabakaları [9]

2. Malzeme ve Metot

2.1. Yüzey Malzemesi

Kompozit panellerde kullanılan matris malzemeler, panelin kullanım alanına göre belirlenir. Bu çalışmada üretilen kompozit panelin bir yüzeyinde taşımacılık sektöründe zemin uygulamalarında çokça tercih edilen alüminyum damla desenli sac, diğer yüzeyinde ise kapalı alanlarda oluşacak terlemenin önüne geçmek için alüminyum yerine CTP levha kullanılmıştır.

Bu çalışma esnasında kullanılan 5086 serisi alaşımlı alüminyum damla desenli sac kimyasal analizi Tablo 1’de verilmiştir. Alüminyum damla desenli sac için üreticiden temin edilen dayanım bilgileri ise Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 1. Alüminyum damla desenli sacın kimyasal özellikleri [10]

Ağırlıkça %	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Diğerleri
Min.	0,00	0,00	0,00	0,20	3,50	0,05	0,00	0,00	0,00
Max.	0,40	0,50	0,10	0,70	4,50	0,25	0,25	0,15	0,15

Tablo 2. Alüminyum damla desenli sacın mekanik özellikleri [10]

Haddeme Yönüne Göre	Rp0,2 (MPa)	Rm(MPa)	A50mm (%)	Sertlik (HBS)
Min.	220	300	6	88
Max.		360		

İlk grup numune üretimi için 2 mm kalınlığında, %20-22 arasında cam içeren ve 2800 g/m² ağırlığında olan CTP levha kullanılmıştır. Üreticiden temin edilen dayanım bilgileri Tablo 3'teki gibidir.

Tablo 3. 2 mm kalınlığındaki CTP levhanın mekanik özellikleri [11]

Özellik	Test Sonucu	Test Metodu
Gerilme Direnci	55 MPa	DIN EN ISO 527-4/2/2
E-Modülü	6050 MPa	DIN EN ISO 527-4/2/2
Eğilme Dayanımı	90 MPa	DIN EN ISO 14125/WKII

İkinci grup numune üretimi için 3 mm kalınlığında, %20-22 arasında cam içeren ve 4200 g/m² ağırlığında olan CTP levha kullanılmıştır. Üreticiden temin edilen dayanım bilgileri aşağıdaki gibidir:

Tablo 4. 3 mm kalınlığındaki CTP levhanın mekanik özellikleri [12]

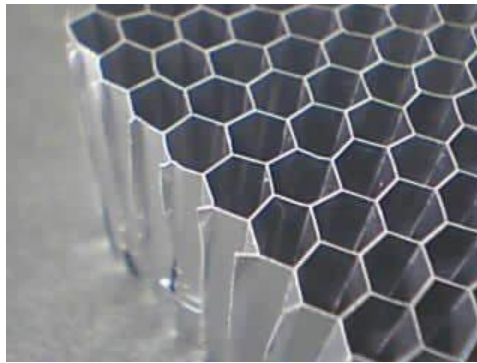
Özellik	Test Sonucu	Test Metodu
Gerilme Direnci	85 MPa	DIN EN ISO 527-4/2/2
E-Modülü	6375 MPa	DIN EN ISO 527-4/2/2
Eğilme Dayanımı	150 MPa	DIN EN ISO 14125/WKII

2.2. Çekirdek Malzemesi

Kompozit malzemelerde takviye malzemesi seçimi, kompozit malzemenin özelliklerini direk olarak etkilemektedir. Bu çalışmamızda hafifliği ve dayanımıyla ön plana çıkan alüminyum bal peteği kullanılmıştır (Şekil 3). Bal peteği malzemeler özleri itibariyle malzeme olarak sınıflandırılmayan, kompozit malzemelerin kullanıldığı yapı [13] ya da yapısal kompozit malzemeler olarak tanımlanmaktadır [4]. Alüminyum bal peteğinin tedarikçiden temin edilen özellikleri aşağıdaki gibidir (Tablo 5).

Tablo 5. Bal peteği takviye malzemesinin özellikleri [14]

Kalınlık	Hücre Çapı	Çeper Kalınlığı	Yoğunluk	Basma Mukavemeti
15 mm	9 mm	70 µm	6,7 kg/m ²	0,075 MPa
20 mm	9 mm	70 µm	7 kg/m ²	0,1389 MPa



Şekil 3. Kompozit panel üretiminde kullanılan bal peteği görünümü

2.3. Yapıştırıcı

Bal Peteği kompozit Panellerin üretiminde iki komponentli ve poliüretan bazlı termoset yapıştırıcı kullanılmıştır. İki komponentli termoset yapıştırıcıların mukavemetleri, ısıl dayanımları, sürtünme dayanımları ve çözünme dayanımları yüksektir [15]. Üretimde kullanılacak olan yüzey tabakalarının bal peteği yapışacak yüzeylerine rulo fırça yardımıyla yapıştırıcı sürülerek kompozit

panel tabakaları yapıştırılmıştır. Kullanılan poliüretan bazlı yapıştırıcıya ait teknik özellikler Tablo 6'da verilmiştir.

Üretimde kullanılacak olan malzemelerin uygun ebatlara getirilmesinin ardından, matris malzemelerinin, takviye malzemesine yapışacak yüzeylerine rulo fırça yardımıyla yapıştırıcı sürülmüş ve malzemeler birbirinin üzerine koyulmak suretiyle yapıştırılmıştır.

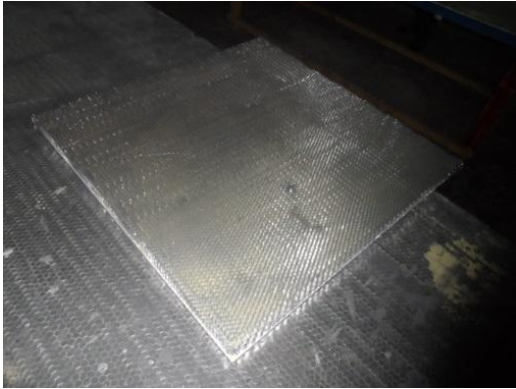
Tablo 6. Kullanılan poliüretan bazlı yapıştırıcıya ait teknik özellikler [16]

Özellik	A Komponenti	B Komponenti	A+B Karışımı:
Ana Bileşen	polyol	MDI	Polyurethane
Faz	sıvı	sıvı	sıvı
Viskozite	32.000 ± 4.000 mPa.s	150 mPa.s	4.0 ± 1 mPa.s
Özgül Ağırlığı	1.67 g/cm ³	1.20 g/cm ³	1.57 g/cm ³
Renk	Bej	Kahverengi	Bej
Çekme Dayanımı (ASTM C 297)	-	-	> 12 MPa
Kesme Dayanımı (ASTM D 1002)	-	-	10 MPa
Çalışma Sıcaklığı	-	-	-30°C to +90°C

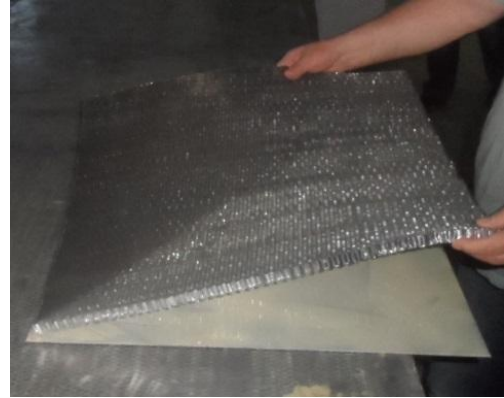
3. Numune Üretimi

Üretimde kullanılan bal peteği, lojistik maliyetlerini düşürmek amacıyla üreticilerden preslenmiş çok büyük tabakalar halinde sevk edilmektedir. Numune üretimi sırasında giyotin makas benzeri bir makine ile istenilen ebatlarda kesilen bal peteği, gene bir makine yardımıyla açılarak normal kullanım ebatlarına gelmesi sağlanmıştır.

Matris malzemesi olarak kullanılan CTP levha ve alüminyum damla desenli saç istenilen ebatlarda önceden kesilerek üretime hazır hale getirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Numune ebadında kesilmiş bal peteği



Şekil 5. Numune üretiminden bir görünüm

Üretimde kullanılacak olan malzemelerin uygun ebatlara getirilmesinin ardından, matris malzemelerinin, takviye malzemesine yapışacak yüzeylerine rulo fırça yardımıyla yapıştırıcı sürülmüş ve malzemeler birbirinin üzerine koyulmak suretiyle yapıştırılmıştır (Şekil 5).

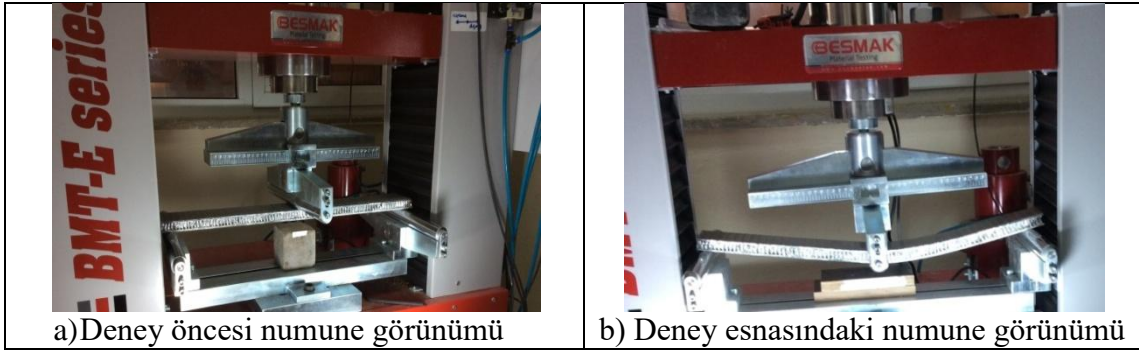
Malzemelerin el yardımıyla yapıştırılmasından sonra, numuneler oda sıcaklığında, hidrolik bir pres yardımıyla 8 saat preslenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Numuneler prese verilmeden önce bir görünüm

4. Deney Metodu

Bu çalışmada alüminyum damla desenli saç ve CTP levha ile takviyelendirilmiş bal peteği levhaların eğilme dayanımları ASTM D7249/D7249M [17] standardında üç nokta testi yapılarak bulunmuştur (Şekil 7). Test sırasında üç nokta cihazı standarda uygun hızda yük uygulayarak numunelerdeki eğilme miktarları bir kamera yardımıyla kayıt altına alınmıştır.



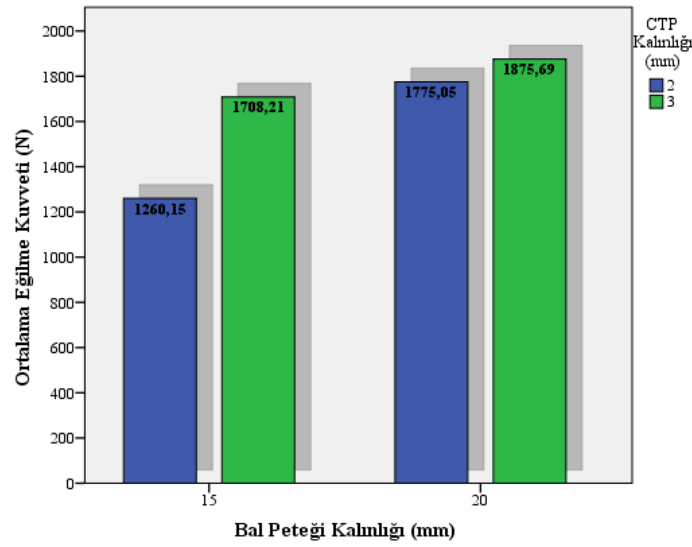
Şekil 7. Eğilme deneyine tabi tutulan nüme görünümü

5. Bulgular ve Tartışma

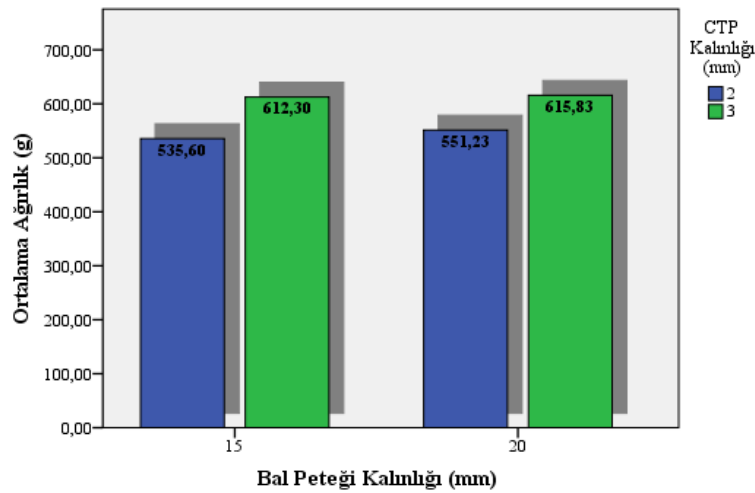
Farklı kalınlıklarda CTP ve bal peteği kullanılarak üretilen kompozit paneller üzerinde gerçekleştirilen üç nokta eğilme deneyi ve ağırlık ölçümleri neticesinde elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler Tablo 7’de verilmiştir. Eğilme kuvveti değerleri incelendiğinde CTP ve bal peteği kalınlıkları arttıkça eğilme kuvveti değerlerinde de bir artışın olduğu görülmektedir. Benzer durum ağırlık değerleri için de söylenebilir. Elde edilen ortalama eğilme kuvveti ve ağırlık değerlerine ait bar grafik Şekil 8 ve 9’da görülmektedir.

Tablo 7. Üretilen numunelerin ağırlık ve dayanım tablosu

Özellik	Bal Peteği Kalınlığı (mm)	CTP Kalınlığı (mm)	Ortalama	Std. Sapma	%95 Güven aralığında ortalamasının		Minimum	Maksimum	Range
					Alt Sınırı	Üst Sınırı			
Eğilme	15	2	1260,15	125,18	949,17	1571,12	1138,25	1388,38	250,13
		3	1708,20	60,17	1558,72	1857,69	1671,33	1777,65	106,33
(N)	20	2	1775,05	113,16	1493,94	2056,15	1660,95	1887,25	226,30
		3	1875,69	45,20	1763,38	1987,99	1827,28	1916,80	89,52
Ağırlık (g)	15	2	535,60	4,32	524,85	546,34	532,00	540,40	8,40
		3	612,30	5,25	599,24	625,35	606,90	617,40	10,50
	20	2	551,23	2,77	544,32	558,13	549,20	554,40	5,20
		3	615,83	1,00	613,34	618,32	614,70	616,60	1,90



Şekil 8. Ortalama eğilme kuvveti değerlerine ait grafik



Şekil 9. Ortalama ağırlık değerlerine ait grafik

Eğilme deneyine tabi tutulan kompozit panellerin deney sonrası oluşan hasarlı görünümleri Şekil 10'da görülmektedir. Test sonrası numunelerde Zhou'nun çalışmasında bahsedildiği gibi genelde yapışma noktalarında ayrılma şeklinde meydana geldiği gözlemlenmiştir [18].



Şekil 10. Eğilme deneyi sonrasında numunelerde oluşan hasar durumu

Elde edilen üç nokta eğilme deneyi verileri üzerinde CTP kalınlığı ve bal peteği kalınlığı faktörleri göz önünde bulundurularak iki yönlü varyans analizi gerçekleştirilmiştir (Tablo 8). Varyans analizi sonuçlarına göre CTP ve bal peteği kalınlığı faktörlerinin eğilme kuvveti değerleri üzerinde ayrı ayrı etkisinin olduğu ve bu etkilerin istatistiki olarak önemli olduğu görülmüştür.

Ayrıca varyans analizi sonucunda CTP bal peteği kalınlığı interaksyonunun da istatistik anlamda önemli olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında deneysel çalışmalarla elde edilen eğilme kuvveti sonuçlarının CTP ve Bal peteği kalınlıklarındaki değişime bağlı olarak önemli miktarda değiştiği söylenebilir.

Tablo 8. İki yönlü varyans analizi sonucu

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Testi	Anlamlılık Düzeyi ($p \leq 0,05$)
Doğrulanmış Model	665562,783 ^a	3	221854,261	25,992	0,000
Intercept	3,286.10 ⁷	1	3,286.10 ⁷	3849,809	0,000
CTP Kalınlık	225803,768	1	225803,768	26,455	0,001
Çekirdek	349235,260	1	349235,260	40,916	0,000
CTP Kalınlık * Çekirdek İnteraksyonu	90523,755	1	90523,755	10,606	0,012
Hata	68282,577	8	8535,322		
Toplam	3,359.10 ⁷	12			
Doğrulanmış Toplam	733845,360	11			

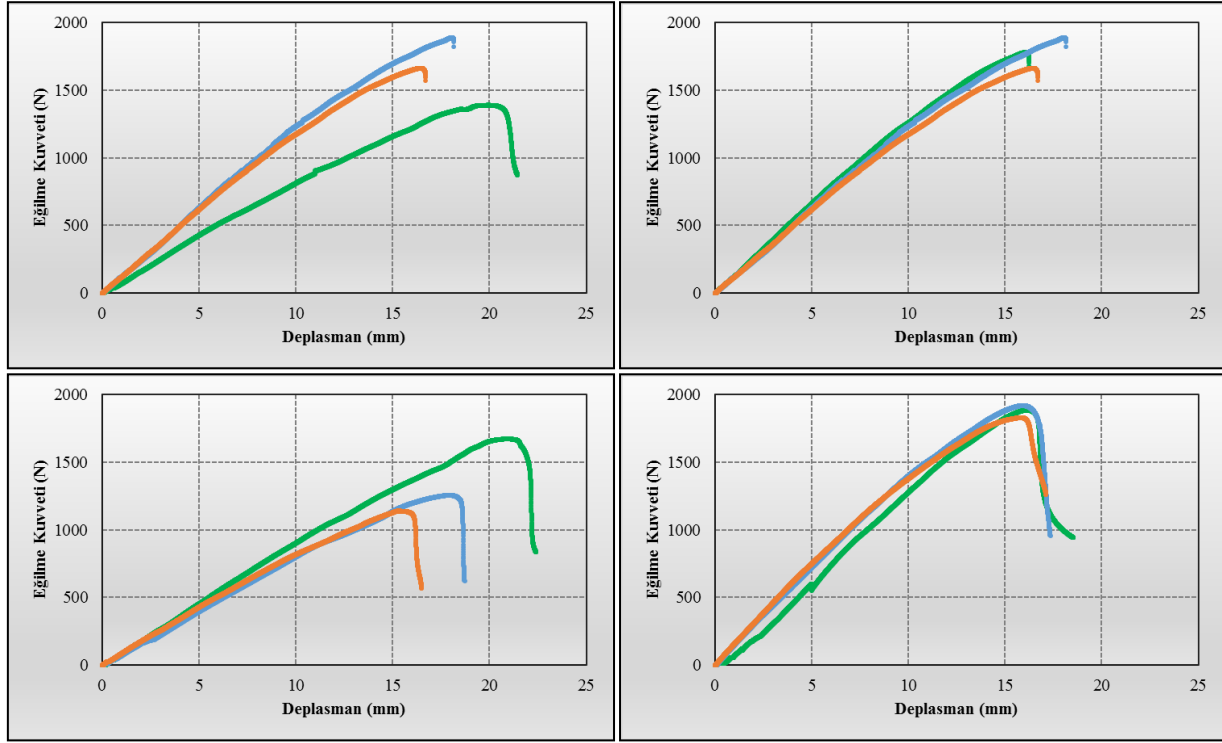
Eğilme kuvveti değerleri incelendiğinde, bal peteği kalınlığına bağlı olarak 2 mm kalınlığındaki CTP levhalı kompozit panellerde eğilme kuvvetinin %30 oranında arttığı, 3 mm CTP kalınlığına sahip panellerde ise %9 oranında eğilme kuvvetinin arttığı tespit edilmiştir.

Aynı çekirdek kalınlığına sahip kompozit panellerde ise 15 mm'lik bal peteği kalınlığındaki panellerde CTP kalınlığındaki artışa paralel olarak %12 oranında eğilme kuvvetinin arttığı, 20

mm'lik bal peteği kalınlığındaki panellerde CTP kalınlığındaki artışa paralel olarak %10 oranında eğilme kuvvetinin arttığı tespit edilmiştir.

Bu değerlendirmeler ışığında eğilme kuvvetinde meydana gelen artış üzerinde çekirdekte kullanılan bal peteği kalınlığının CTP kalınlığına göre daha fazla etkiye sahip olduğu söylenebilir.

Üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen kuvvet ve deformasyon değerleri kullanılarak çizilen Eğilme Kuvveti-Deformasyon grafikleri Şekil 11'de görülmektedir.



Şekil 11. Test edilen numunelere ait kuvvet-deformasyon grafikleri

Ayrıca farklı CTP kalınlıklarında üretilen kompozit panellerde bal peteği kalınlığı ile eğilme kuvveti arasındaki ilişkiyi modelleyebilmek için korelasyon ve regrasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen korelasyon ve regrasyon analizi sonuçları Tablo 9'da verilmiştir.

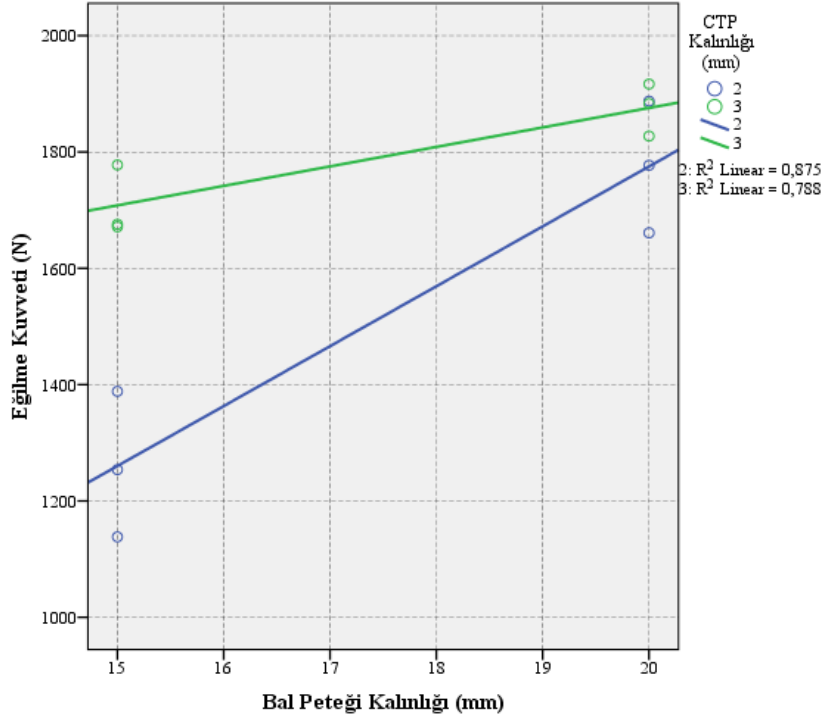
Korelasyon analizi sonucunda eğilme kuvveti ile bal peteği kalınlığı arasında pozitif yönlü güçlü bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. 2 mm CTP kullanılan kompozit paneller için Pearson korelasyon katsayısı $R=0,935$, 3mm'lik CTP için ise $R=0,888$ olarak bulunmuştur. Regrasyon analizi sonucunda bal peteği kalınlığı ile eğilme kuvveti değerleri arasında $Y=a+Bx$ model denklemi ile açıklanabilen lineer bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 9. Eğilme kuvveti ile bal peteği kalınlığı arasındaki korelasyon ve regrasyon analizi sonuçları

CTP Kalınlığı (mm)	Korelasyon Katsayısı (R)	Regrasyon Katsayısı	Model Denklem
2	0,935	0,875	$Y= -284,55+102,98.X$
3	0,888	0,788	$Y= 1205,758+33,497.X$

Regrasyon analizi sonucunda bal peteği kalınlığı ile eğilme kuvveti değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren serpmme grafik Şekil 11'de görülmektedir. Grafik incelendiğinde 2 mm CTP kalınlığına

sahip kompozit panellerde bal peteği kalınlığındaki artışın eğilme kuvvetine olan etkisinin 3 mm'lik olan panellere göre daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 11. Bal peteği kalınlığı ile eğilme kuvveti değerleri arasındaki ilişki grafiği

6. Sonuçlar

Çalışma kapsamında farklı kalınlıklardaki CTP levha ve bal peteği kalınlıklarında üretilen kompozit paneller üzerinde üç nokta eğilme deneyi gerçekleştirilmiş ve CTP levha kalınlığı ve bal peteği kalınlığı değişimlerinin dayanıma olan etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiki analizlere göre değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır;

- ✓ Varyans analizi sonuçlarına göre CTP ve bal peteği kalınlığı faktörlerinin eğilme kuvveti değerleri üzerinde ayrı ayrı etkisinin olduğu ve bu etkilerin istatistiki olarak önemli olduğu görülmüştür.
- ✓ Eğilme kuvveti değerlerine göre bal peteği kalınlığına bağlı olarak 2 mm kalınlığındaki CTP levhali kompozit panellerde eğilme kuvvetinin %30 oranında arttığı, 3 mm CTP kalınlığına sahip panellerde ise %9 oranında eğilme kuvvetinin arttığı tespit edilmiştir.
- ✓ Aynı çekirdek kalınlığına sahip kompozit panellerde 15 mm'lik bal peteği kalınlığındaki panellerde CTP kalınlığındaki artışa paralel olarak %12 oranında eğilme kuvvetinin arttığı, 20 mm'lik bal peteği kalınlığındaki panellerde CTP kalınlığındaki artışa paralel olarak %10 oranında eğilme kuvvetinin arttığı tespit edilmiştir.
- ✓ Korelasyon analizi sonucunda eğilme kuvveti ile bal peteği kalınlığı arasında pozitif yönlü güçlü bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir.
- ✓ Regrasyon analizi sonucunda bal peteği kalınlığı ile eğilme kuvveti değerleri arasındaki ilişkinin $Y=a+Bx$ model denklemi ile açıklanabilen lineer bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, çekirdek kalınlığı artışının ve CTP kalınlığı artışının eğilme kuvvetini arttırdığı, ancak bal peteği kalınlık artışının eğilme kuvveti üzerinde çok daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Yüksek mukavemetli hafif kompozit panel üretilebilmesine yönelik çalışmaların havacılık, enerji vb. birçok sektör açısından büyük öneme sahip olduğu düşünüldüğünde, farklı bal peteği ve CTP türlerinde özellikle yorulma performansına yönelik daha kapsamlı çalışmaların yapılması yeni nesil kompozit panellerin geliştirilmesini sağlamada faydalı olacaktır.

Kaynaklar

- [1] Erol M. , "Karma Malzemeler (Kompozit Malzemeler)", Dokuz Eylül Üniversitesi Fizik Eğitimi A.B.D. KYM 345 Ders Notları, İzmir, 3. Bölüm, (2007).
- [2] Fiberpull, <http://www.fiberpull.com/uretimteknolojileri.html>, (2016).
- [3] Solmaz M.Y., Şanlıtürk İ.H., Özben,T., "Petek yapıli sandviç yapılar da köpük dolgunun kritik burkulma yüküne etkisinin sayısal olarak tespiti", 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz kongresi, Balıkesir, 523-530, (2010).
- [4] Shackelford J.F., "Introduction To Material Science For Engineers", "Chapter 3", Prentice Hall, New Jersey, (2000).
- [5] Guler C., Ulay G., "Petekli kompozit levhalar", Mobilya Dekorasyon Dergisi, 90, 78-90, (2009).
- [6] Asadi M., Shirvani H., Sanaei E., Ashmead M., "A Simplified model to simulate crash behavior of honeycomb", Proceedings of the international conference on advanced design and manufacture, Harbin, 119-123, (2006).
- [7] Manalo A.C., Aravinthan T., Karunasena W., "Flexural behaviour of glue laminated fibre composite sandwich beams", Composite Structure, 92, 2703-2711, (2010).
- [8] Özdemirli E., "Anlık basınç yükü etkisindeki kompozit sandviç plağın dinamik davranışının deneysel ve sayısal incelenmesi", (Yüksek Lisans), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2006).
- [9] Panelium, <http://www.panelium.com.tr> , (2016).
- [10] Elval Grain, Technical datasheet, (2012).
- [11] Lamilux, Lamilux 4000 technical datasheet, (2008).
- [12] Lamilux, Lamilux 4000 technical datasheet, (2011).
- [13] Raymer D.P., "Aircraft design: a conceptual approach", AIAA Education Series, (1999).
- [14] Dost Kimya, <http://www.dostkimya.com/tr/urun-gozat/aluminyum-honeycomb-panel/48>, (2016).
- [15] Karlsson, K.F. , & Astrom, B.T.. Manufacturing and applications of structural sandwich components, (1997).
- [16] Bostik, Maracol 18576A technical datasheet, (2012).
- [17] ASTM D7249/D7249M, "Standard test method for facing properties of sandwich constructions by long beam flexure", (2014).
- [18] Zhou G., Hill, M.D., "Impact damage and energy absorbing characteristics and residual in-plane compressive strength of honeycomb sandwich panels", Journal of Sandwich Structures and Materials, 11. , 329-356. (2011).