

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAL PETEĞİ ÇEKİRDEKLİ SANDVIÇ YAPILARIN ÖZELLİKLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU**

MEHMET EMİN SÖNMEZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. MİHRİGÜL ALTAN**

İSTANBUL, 2017

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAL PETEĞİ ÇEKİRDEKLİ SANDVIÇ YAPILARIN ÖZELLİKLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU

Mehmet Emin SÖNMEZ tarafından hazırlanan tez çalışması 14.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Mihriğül ALTAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Mihriğül ALTAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa KURT

Marmara Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmamın planlanması, araştırılması, deneysel çalışmalarımın yapılması ve bu çalışmanın meydana gelmesinde engin bilgi ve tecrübelerini benden hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Mihrigül Altan'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca beni yalnız bırakmayan ve desteğini esirgemeyen aileme de teşekkür ederim.

Mayıs, 2017

Mehmet Emin SÖNMEZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	2
1.2 Tezin Amacı.....	4
1.3 Hipotez	5
BÖLÜM 2	
SANDVIÇ YAPILAR	6
2.1 Sandviç Yapı Malzemeleri.....	6
2.1.1 Yüzey Levhaları	7
2.1.2 Çekirdek Malzemeleri	7
2.1.3 Yapıştırıcı Malzemeleri	9
2.2 Bal peteği Sandviç Yapıların Kullanım Alanları.....	12
2.2.1 Havacılık, Savunma ve Uzay Sanayi Sektörü	13
2.2.2 Otomotiv Sanayi	19
2.2.3 Denizcilik Sanayi	21
2.2.4 Diğer Sanayi Dalları	22

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMA	24
3.1 Malzeme.....	24
3.2 Yüzey Hazırlama.....	26
3.3 Numunelerin Hazırlanması.....	26
3.4 Mekanik Testler.....	28
3.4.1 3 Nokta Eğme Deneyi	28
3.4.2 Çekme Deneyi	30

BÖLÜM 4

DENEY SONUÇLARI	31
4.1 3 Nokta Eğme Deneyi Sonuçları.....	31
4.2 Çekme Deneyi Sonuçları.....	39

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	53

SİMGE LİSTESİ

Al	Alüminyum
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
B	Bor
C	Karbon
Cu	Bakır
Ga	Galyum
L	Parça uzunluğu
Mg	Magnezyum
Pb	Kurşun
SiC	Silisyum karbür
T	Parça kalınlığı
TiO ₂	Titanyum dioksit
W	Parça genişliği

KISALTMA LİSTESİ

AFS	Sandviç Köpük Panel
ISO	Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu
Ra	Ortalama Pürüzlülük Değeri

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1	Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	2
Şekil 2. 1	Sandviç yapı kısımları	7
Şekil 2. 2	Farklı çekirdek malzemeleri	8
Şekil 2. 3	Farklı çekirdek malzemelere sahip sandviç yapılar	8
Şekil 2. 4	Altıgen hücreli bal peteği yapısı	9
Şekil 2. 5	Yapıştırma bağlantılarında adhezyon ve kohezyon	11
Şekil 2. 6	Sandviç yapının I-kirşi şeklinde modellenmesi.....	11
Şekil 2. 7	Ticari bir uçakta sandviç yapı kullanılan bölümler	14
Şekil 2. 8	Jet motorunda sandviç yapı kullanılan bölümler	15
Şekil 2. 9	Uçak motoru rotor kanat yapısı	15
Şekil 2. 10	1944 yapımı Vultee BT-15 uçak	16
Şekil 2. 11	Petek yapılı uçak kanadı.....	17
Şekil 2. 12	Sandviç köpük panelden (AFS) yapılmış Ariane5 roket konisi	19
Şekil 2. 13	Alüminyum hafif-ağırlıklı sandviç panel örneği.....	19
Şekil 2. 14	Çarpışma kutusu örnekleri	20
Şekil 2. 15	Viyadük altında ses emen petek sandviç yapı	20
Şekil 2. 16	Tekne yan gövde	21
Şekil 2. 17	Tekne yapımında kullanılan sandviç yapı bölgeleri.....	21
Şekil 2. 18	Hızlı bir feribotta sandviç yapının kullanıldığı bölümler	22
Şekil 2. 19	Tren yapımında sandviç panellerin kullanılması	23
Şekil 2. 20	Tren vagonunda sandviç yapı kullanılan bölgeler	23
Şekil 2. 21	Asansör yan ve taban sandviç panelleri.....	23
Şekil 3. 1	DeneySEL çalışmada kullanılan bal peteği şematik resmi.....	25
Şekil 3. 2	DeneySEL çalışmada kullanılan düz dokuma tipi cam elyaf kumaş	25
Şekil 3. 3	Üç nokta eğme deneyi için hazırlanan sandviç yapı şematik resmi.....	27
Şekil 3. 4	Çekme deneyin için hazırlanan sandviç yapı şematik resmi	28
Şekil 3. 5	Hazırlanmış olan bal peteği çekirdekli sandviç yapının eğme testi	28
Şekil 3. 6	Hazırlanmış olan bal peteği çekirdekli sandviç yapının çekme testi.....	30
Şekil 4. 1	Farklı yapıştırıcılar kullanılarak oluşturulan sandviç yapıların kuvvet-uzama grafiği	31
Şekil 4. 2	Üç nokta eğme testi sonucu sandviç yapıların fotoğrafları	32
Şekil 4. 3	Minitab’de yapılan analiz sonuçları	32

Şekil 4. 4	Yapıştırıcı tipi aynı, yüzey pürüzlülük değeri ve levha kalınlıkları farklı olan sandviç yapıların eğme dayanımları grafiği.....	34
Şekil 4. 5	Yapıştırıcı tipi saf epoksi olan sandviç yapıların 3 nokta eğme deneyi sonucu mikroskopik görüntüleri.....	35
Şekil 4. 6	Yapıştırıcı tipi aynı, yüzey pürüzlülük değeri ve levha kalınlıkları farklı olan sandviç yapıların eğme dayanımları grafiği.....	36
Şekil 4. 7	Yapıştırıcı tipi TiO_2 ilave edilmiş epoksi olan sandviç yapıların 3 nokta eğme deneyi sonucu mikroskopik görüntüleri.....	37
Şekil 4. 8	Yapıştırıcı tipi aynı, yüzey pürüzlülük değeri ve levha kalınlıkları farklı olan sandviç yapıların eğme dayanımları grafiği	37
Şekil 4. 9	Yapıştırıcı tipi cam fiber kumaş takviyeli epoksi olan sandviç yapıların 3 nokta eğme deneyi sonucu mikroskopik görüntüleri	38
Şekil 4. 10	Yüzey pürüzlülüğü değerlerine bağlı olarak sandviç yapıların eğme davranışları	39
Şekil 4. 11	Yüzey pürüzlülüğü değeri (R_a): $0.6\ \mu m$ olan farklı tip yapıştırıcılarla oluşturulmuş sandviç yapıların çekme dayanımlarının karşılaştırılması	40
Şekil 4. 12	Saf epoksi ile oluşturulan sandviç yapının çekme testi sonucunda ayrılma yüzeyinde meydana gelen deformasyonlar.....	41
Şekil 4. 13	Cam fiber kumaş takviyeli epoksi ile oluşturulan sandviç yapının çekme testi sonucunda ayrılma yüzeyinde meydana gelen deformasyonlar	41
Şekil 4. 14	TiO_2 ilave edilmiş epoksi ile oluşturulan sandviç yapının çekme testi sonucunda ayrılma yüzeyinde meydana gelen deformasyonlar	42
Şekil 4. 15	Yüzey pürüzlülüğü değeri (R_a): $2.2\ \mu m$ olan farklı tip yapıştırıcılarla oluşturulmuş sandviç yapıların çekme dayanımlarının karşılaştırılması	42
Şekil 4. 16	Yüzey pürüzlülüğü değeri (R_a): $3.9\ \mu m$ olan farklı tip yapıştırıcılarla oluşturulmuş sandviç yapıların çekme dayanımlarının karşılaştırılması	43
Şekil 4. 17	Farklı yüzey pürüzlülüğü değerlerine sahip sandviç yapının çekme dayanımlarının karşılaştırılması	44
Şekil 4. 18	Yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak ıslanabilirlik	45
Şekil 4. 19	Yapıştırıcı miktarı artırılarak oluşturulmuş sandviç yapıların çekme dayanımlarının karşılaştırılması	45

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2. 1	Bal peteği sandviç yapının avantajları	12
Çizelge 2. 2	Bazı endüstrilerde kullanılan kompozitler	18
Çizelge 3. 1	Kontrol faktörleri ve seviyeleri	29
Çizelge 3. 2	Deneyisel çalışmada kullanılan Taguchi'nin L9 ortogonal dizisi.....	29

**BAL PETEĞİ ÇEKİRDEKLİ SANDVIÇ YAPILARIN ÖZELLİKLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU**

Mehmet Emin SÖNMEZ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mihrişül ALTAN

Teknolojide yaşanan gelişmelerle birlikte mühendislik malzemelerine duyulan ihtiyaç, her geçen gün artmaktadır. Artan ihtiyaçları karşılamak için kullanılacak en uygun mühendislik malzemelerinden birisi de sandviç yapılardır.

Bal peteği çekirdekli sandviç yapılar, yüksek mukavemet ve hafifliklerinden dolayı birçok alanda tercih edilmektedirler. Yüzey plakalarının ve çekirdek yapıların kalınlığı, tabakaların yapıştırılmadan önceki yüzey hazırlıkları, sandviç yapının mukavemetini artırmak için önemli kriterlerdir. Bu çalışmada, polipropilen bal peteği çekirdeği ve alüminyum yüzey plakaları kullanılarak sandviç yapı hazırlanmıştır. Ayrıca sandviç yapının mukavemetini ve tabakalar arası adhezyon kuvvetini artırmak için 3 farklı yapıştırma metodu uygulanmıştır. İlk olarak epoksi yapıştırıcı, ikinci olarak titanyum dioksit partikül ilave edilmiş epoksi, ve son olarak epoksi emdirilmiş cam elyaf dokuma kumaş sandviç yapıların katmanlar arasında kullanılmıştır. Sandviç yapıların eğme dayanımları 3 nokta eğme testi ile elde edilmiştir.

Tabakalar arası adhezyon kuvvetini tespit etmek için ise sandviç yapılara çekme testi uygulanmıştır. Sonuçlar, titanyum dioksit partikül katkılı epoksi ve epoksi emdirilmiş cam elyaf kumaşlı sandviç yapıların eğme ve çekme dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bal peteği, polipropilen, sandviç yapı, mekanik özellik

**IMPROVING BENDING BEHAVIOR OF SANDWICH STRUCTURES WITH
POLYPROPYLENE HONEYCOMB CORES**

Mehmet Emin SÖNMEZ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Mihrigül ALTAN

The need of engineering materials with improvements in technology is increasing day by day. Sandwich structures are one of the most suitable engineering materials that can be used to meet the growing needs.

Sandwich structures with honeycomb cores are preferred in many fields due to their high strength and lightness. The thickness of the skin layers and core layers, the surface preparation before adhesive joining of the layers are important criteria to increase the strength of the sandwich structure. In this study, sandwich structures were prepared with polypropylene honeycomb cores with aluminum skin layers. In order to improve strength of the strength of the sandwich structures and the interfacial adhesion between layers, three different methods were performed for application of the adhesive. Firstly epoxy, secondly titan dioxide added epoxy and thirdly, epoxy impregnated glass fiber fabric were used between the layers of the sandwich structures. Flexural strengths of the sandwich structures were obtained by 3-point bending test.

In order to determine the adhesion strength between the layers, tensile test was applied to sandwich structures. The results showed that sandwich structures with titan dioxide added epoxy and epoksi impregnated glass fiber fabric added gave higher flexural and tensile strength.

Keywords: Honeycomb, polypropylene, sandwich structure, mechanical property

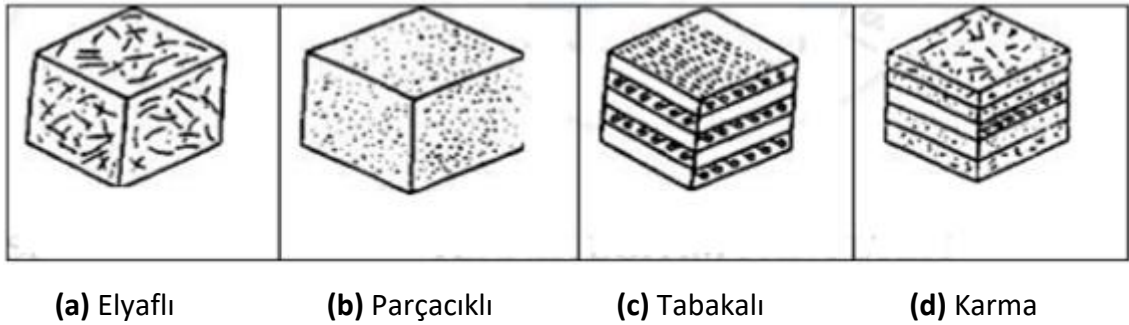
GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte; kullanılmakta olan mevcut malzemelerin, ihtiyaçları karşılamakta yetersiz kaldığı görülmektedir. Meydana gelen bu problem, doğada var olan maddelerin fiziksel olarak birleştirilmesiyle çözüme kavuşabilmektedir. Kompozit malzemeler, bu birleşimlerin sonucu ortaya çıkan malzemelerdir. Taşıdıkları karakteristik özellikleri ile diğer malzemelere göre birçok avantajları bulunan kompozit malzemeler; uzun ömürleri, hafiflikleri, yüksek mekanik dayanımları gibi özelliklerinden dolayı tercih edilirler.

Kompozit malzemelerin üretilmesiyle geliştirilmek istenen özellikler aşağıda belirtildiği şekildedir;

- Mekanik dayanım, basınç, eğme, çekme, çarpma dayanımı
- Mekanik dayanım, basınç, eğme, çekme, çarpma dayanımı
- Yorulma dayanımı, aşınma direnci
- Kırılma tokluğu,
- Korozyon direnci,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık,
- Isı iletkenliği ya da ısı direnç,
- Elektrik iletkenliği ya da elektriksel direnç,
- Akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu,
- Rijitlik, hafiflik, görünüm [1].

Kompozit malzemeleri oluşumlarına göre şu şekilde sınıflandırmak mümkündür;



Şekil 1. 1 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Tabakalı kompozit yapıların en yaygın kullanım şekli de sandviç yapılardır. Sandviç yapılar, iki ince ve rijit plaka arasına kalın ama oldukça hafif çekirdek malzemenin yerleştirilmesiyle elde edilir. Bu yapıların en önemli özellikleri yüksek eğilme dayanımı/ağırlık oranına sahip olmalarıdır. Sandviç yapılar bu özellikleri sayesinde havacılık, uzay sanayisi, denizcilik, otomotiv ve yapı endüstrisinde çok geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Sandviç yapılar üç ana malzemeden oluşmaktadır. En dış kısımlarında alt ve üst plakalar, orta kısmında çekirdek malzeme ve çekirdek malzeme ile plakaları birbirine tutunmalarını sağlayan yapıştırıcı bulunmaktadır.

1.1 Literatür Özeti

Bal peteği çekirdekli sandviç yapılarda, çekirdek malzemesi olarak polimer, metal veya kâğıt kullanılmaktadır. Araştırmacılar, farklı çekirdek ve yüzey malzemeleri kullanarak sandviç yapıların özelliklerini geliştirmeye çalışmaktadırlar.

Dear vd. 2005, farklı ağırlıklardaki sandviç panellerin ve kompozit malzemelerin çarpma dayanımları incelemiştir. Farklı çarpmalara maruz kalındığında bu yapıların dayanımları temas yüzeylerine, malzeme kalınlığına ve arka yüzeylerindeki hasar derecelerine göre değişkenlik göstermiştir. Deneylerinde numune olarak cam elyaf takviyeli termoplastik, farklı plaka ve çekirdeklerden oluşturulan sandviç yapılar kullanılmıştır.

Cabrera, Alcock ve Peijs 2008, polipropilen bazlı bal peteği çekirdeği veya köpük çekirdek ile kombine edilmiş polipropilen sandviç yapılar üzerine çalışmalar yapmıştır. Yüzey plakaları ve çekirdek yapısı polipropilen olan sandviç yapılar, yüzeyleri cam fiber takviyeli

polipropilen ve çekirdek yapısı polipropilen olan sandviç yapılarla karşılaştırılmış ve bu farklı malzemelerin mekanik özellikleri ve tasarım gereksinimleri tartışılmıştır.

Mujika, Pujana vd. 2011, polipropilen bal peteği çekirdekli sandviç yapının çekirdek kısmının düzlem dışı kayma modülünü ve kalınlık yönündeki Young modülünü; deneysel yöntemler, analitik bir yaklaşım ve sonlu elemanlar yöntemiyle incelemiştir. Deneysel yöntemler içerisinde sandviç yapının kayma özelliklerini elde etmek amacıyla 3 nokta eğme deneyi uygulanmıştır.

Riccio, Raimondo vd. 2016, genellikle havacılık uygulamaları için kabul edilen polipropilen çekirdekli birkaç sandviç yapının mekanik özelliklerini iyileştirmek için nümerik analiz yapmıştır. Havacılık uygulamaları için kullanılan mevcut sandviç yapıların mekanik sınırları değerlendirilmiş ve iyileştirmek için teknik çözümler araştırılmıştır.

Nagasankar vd. 2015, farklı kalınlıklarda yüzey plakaları ve farklı kalınlıklarda polipropilen bal peteği çekirdeği kullanılarak oluşturulan sandviç yapıların darbe sönümlemesi üzerindeki etkileri incelemiştir.

Crupi, Epasto ve Guglielmino 2012, farklı hücre boyutlarına sahip alüminyum bal peteği çekirdekli sandviç yapıların statik ve düşük hızlı darbe tepkisinin analizini yapmıştır.

Shi, Sun vd. 2014, karbon-fiber ve alüminyum bal peteği çekirdekli sandviç yapıların ara yüzey yapıştırma performansını eğilme ve basma testleriyle ölçmüştür. Ayrıca yüzey plakaları ve bal peteği çekirdeği arasına ilave edilen kısa Kevlar fiberlerin etkinliğini incelemiştir.

Shi, Sun vd. 2014, yüksek sertlikteki karbon-fiber ve düşük sertlikteki alüminyum bal peteği arasındaki uyumsuzlukları gidermeye çalışmıştır. Yumuşak bal peteğinin sertliğini artırmak amacıyla sandviç yapının içine bir ortogrid yapı ilave edilmiş ve aradaki farklar incelenmiştir.

Akatay, Bora vd. 2015, uçakların iç mekânlarında kullanılan tek yönlü cam fiber takviyeli epoksi kompozit yüzey plakaları ve alüminyum bal peteği içeren sandviç yapılara tekrar tekrar nüfuz eden düşük hızdaki darbeler sonucu sandviç yapıların davranışlarını incelemiştir.

Yahaya ve Ruan vd. 2015, alüminyum bal peteği çekirdekli sandviç yapıları, iki yüzey plaka arasında çekirdek bulunmayan hava sandviç yapıları ve monolitik plakaların darbeye karşı direncini incelemiştir. Bal peteği çekirdekli sandviç panellerin ve monolitik plakaların deformasyonu ve elastik geri yaylanmaları karşılaştırılmıştır.

Gilioli, Sbarufatti vd. 2014, alüminyum yüzey plakaları, Nomex bal peteği çekirdekli sandviç yapıların düşük hızlardaki darbeler sonucunda yapısal bütünlüklerini incelemiştir. Sandviç yapının darbeden sonra mekanik performansının azaldığını nicel olarak göstermek için sıkıştırma testi uygulanmıştır.

Şekercioğlu, Özenç 2012, metallerin yapıştırılmasında yüzey hazırlama yöntemlerini incelemiştir. Yapıştırılacak yüzeyler için uygun yüzey hazırlama yöntemlerinin seçilmesi, yapıştırma bağlantılarının dayanıklılığını etkileyen önemli bir faktördür. Bu sebeple metallerin bağlantısının maksimum mukavemet göstereceği yüzey hazırlama çeşitleri analiz edilmiştir.

Sakly, Laksimi vd. 2015, düşük hızlı darbelere maruz kalan tren yapılarındaki sandviç panellerin hasar direncini analiz etmiştir.

Wang 2009, kâğıt sandviç yapıların enerji absorbe ve darbe davranışları incelenmiştir. Dinamik tamponlama testleri serbest düşme ve şok absorpsiyon prensibi ile gerçekleştirilmiştir. Kâğıt petek yapılı faktörlerin darbe davranışı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında, literatürde uygulaması oldukça az polipropilen bal peteği çekirdekli sandviç yapıların özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Bal peteği çekirdekli sandviç yapılar, günümüzde çok farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadırlar. Yaygın bir şekilde kullanılmalarının başlıca sebebi yüksek dayanım/düşük ağırlık prensibine sahip olmalarıdır. Bu sebeple; kullanıldıkları alan açısından istenilen özelliklere en iyi derecede sahip olan sandviç yapıların oluşturulması gerekmektedir. Polimer çekirdek kullanımı hafiflik, darbe sönümleme ve yalıtım özelliği kazandırmaktadır. Ancak polimer çekirdek ve alüminyum plakanın adhezyon yüzeyi, elde edilen yapının mekanik dayanımı yönünden önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında

da, literatürde uygulaması oldukça az olan polipropilen bal peteği çekirdekli sandviç yapıların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

1.3 Hipotez

Sandviç yapıların mekanik özelliklerini iyileştirmek için farklı yöntemler uygulanabilmektedir. Sandviç yapıyı oluşturan yüzey plakaları ve çekirdek kısımlarındaki değişimler mekanik özelliklerde olumlu sonuçlar doğurmaktadır. Bu tez çalışmasında da mekanik özelliklerde iyileştirme sağlaması amacıyla; yüzey plakalarının kalınlıkları, adhezyon yüzeyinin pürüzlülük değerleri, yapıştırıcı çeşidi değiştirilerek çalışmalar yapılmıştır.

SANDVIÇ YAPILAR

Sandviç yapılar, iki plaka arasına kalın ve hafif olan bir çekirdek malzemenin yerleştirilmesiyle elde edilen yapılardır. Sandviç yapılar, diğer malzeme çeşitlerine göre sahip oldukları yüksek “eğilme dayanımı/ağırlık oranı sayesinde denizcilik, otomotiv, havacılık, uzay sanayisi ve yapı endüstrisine kadar birçok sektörde kullanılmaktadır.

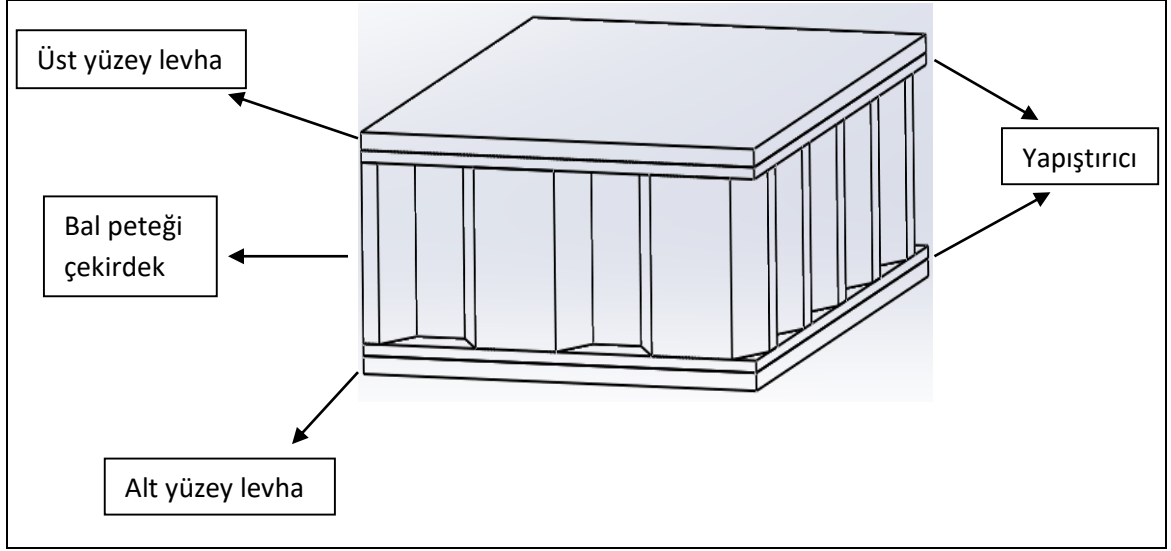
Sandviç yapıların iki yüzeyinin düşük yoğunluklu bir çekirdek tarafından ayrılması atalet momentini artırır ve bundan dolayı sandviç yapının eğme dayanımı iyileştirilmiş olur. Sandviç panellerin yüksek sertliği ve düşük yoğunluğuna ek olarak ekstra bir avantajı ise tasarımcının, panelin geometrik parametrelerini (çekirdek ve plakaların kalınlığını) kullanılan malzemeden bağımsız olarak ayarlayabilmesidir [1].

2.1 Sandviç Yapı Malzemeleri

Sandviç yapıyı meydana getiren üç temel eleman vardır;

- Yüzey levhaları
- Çekirdek malzeme
- Yapıştırıcı (Şekil 2.1).

Yüzey levhaları ile çekirdek malzeme yapıştırıcı vasıtasıyla birbirlerine yapıştırılırlar. Oluşan bu yapı hem yüksek mukavemete sahip hem de hafiftir.



Şekil 2. 1 Sandviç yapı kısımları

2.1.1 Yüzey Levhaları

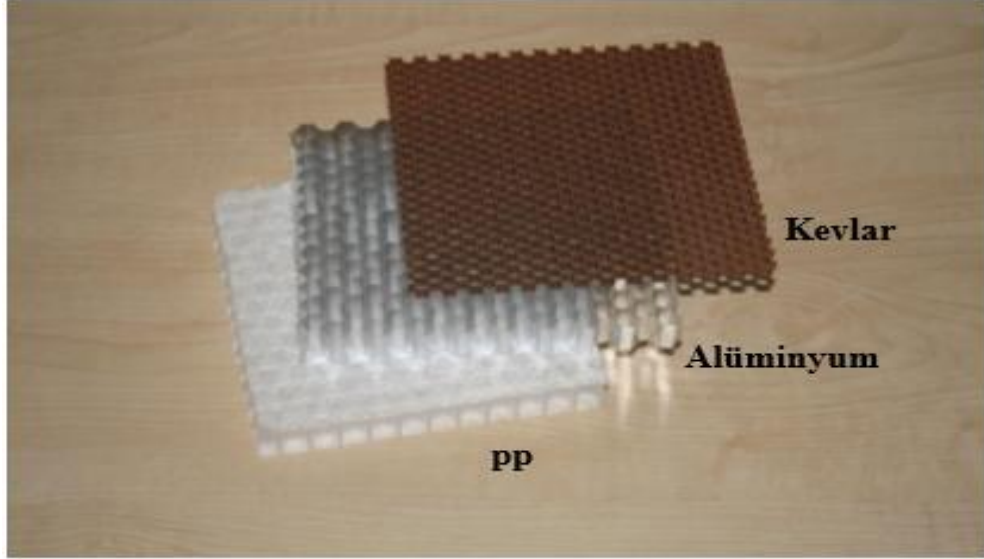
Sandviç yapılarda kullanılan dış yüzey levhaları ince fakat mukavim bir yapıya sahip malzemelerdir. Yüzey levhalarının asıl işlevi ihtiyaç olan eğilme gerilmesini ve düzlem içi kayma gerilmelerini karşılayabilmesidir. Yüzey levhaları olarak çeşitli malzemeler kullanılabilir. Bunlar;

- Alüminyum
- Paslanmaz çelik
- Fiberglas
- Karbon/epoksi
- Ahşap

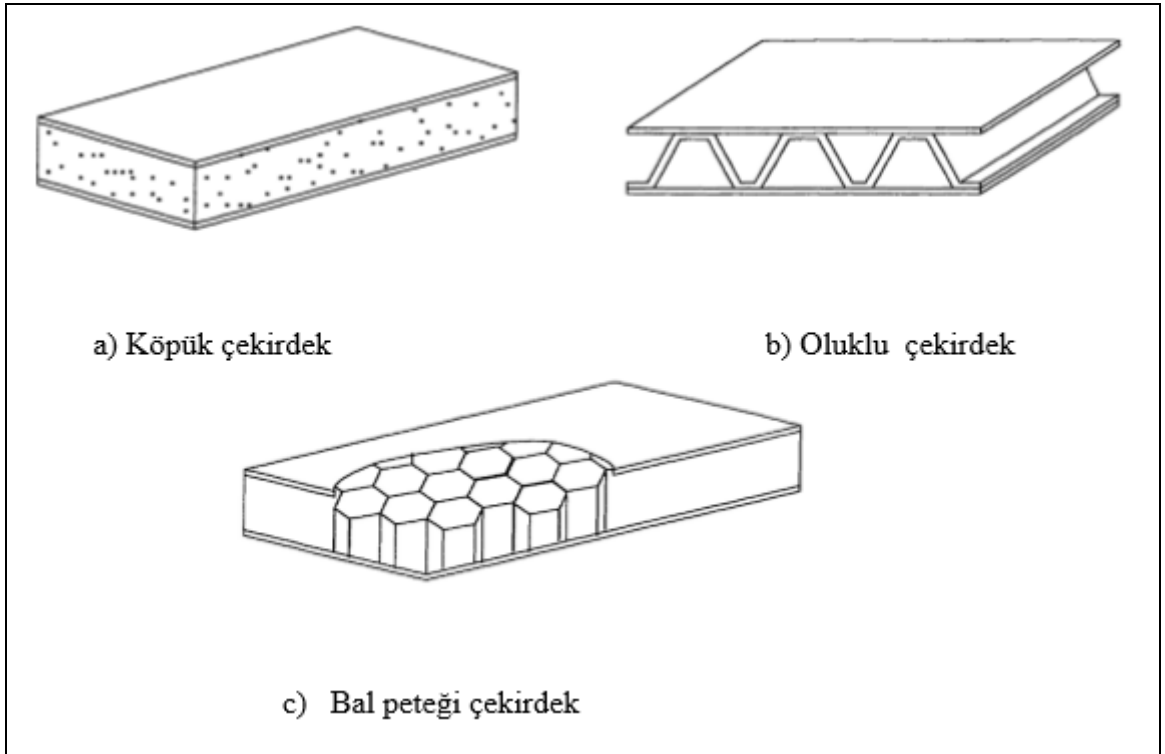
2.1.2 Çekirdek Malzemeleri

Yüzey levhaları arasına yerleştirilen çekirdek malzemenin ise mukavemeti daha düşük ve hafiftir. Çekirdek malzemenin esas görevi dış yüzey plakaları arasındaki mesafeyi korumaktır; çünkü bu mesafe sandviç yapının kesit alanındaki atalet momentinin ve bükülme dayanımının yüksek olmasını sağlamaktadır [2]. Çekirdek malzemeler de genellikle bal peteği, hücresel, oluklu olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Yaygın olarak kullanılan çekirdek malzemeleri ise;

- Polipropilen
- Alüminyum
- Kevlar (Şekil 2.2).



Şekil 2. 2 Farklı çekirdek malzemeleri [2]



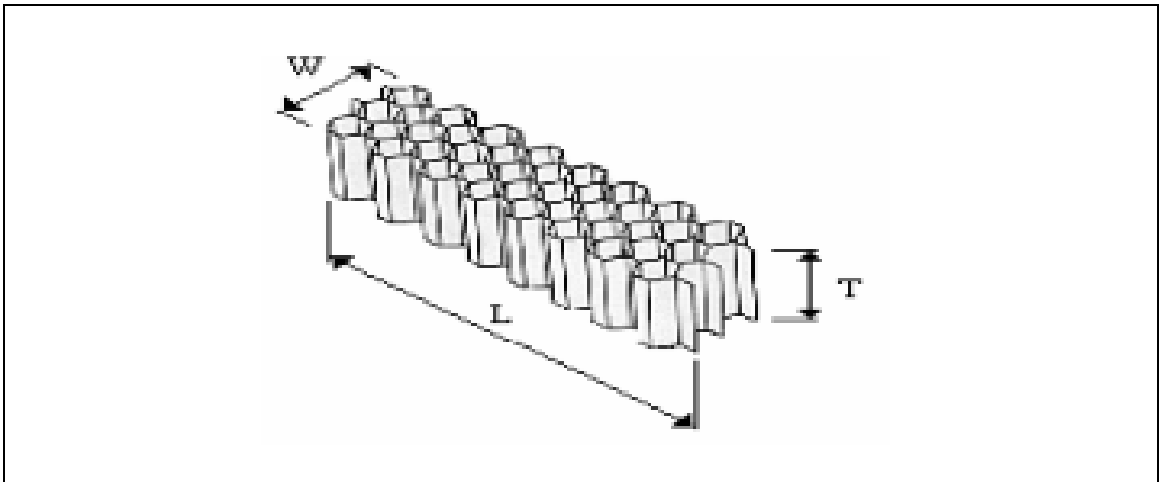
Şekil 2. 3 Farklı çekirdek malzemelere sahip sandviç yapılar [2]

Bal petekli çekirdekli sandviç yapıların hücre yapısı yalnızca altıgen formunda değil, istenen fiziksel özelliklere cevap verecek kapasitede dikdörtgen, kare, uzatılmış altıgen, flex vb. formlarda oluşturulabilir (Şekil 2.2).

Bal peteği çekirdekli sandviç yapılar, çarpma neticesinde ortaya çıkan enerjinin absorbe edildiği yüksek mekanik dayanım gerektiren tasarımlarda kullanılır [3].

Ondüle edilmiş plakaların birleştirilmesi sonucu elde edilen petek yapıli hücreler, sandviç yapıların iç (dolgu) malzemesini oluşturur [4].

Bal peteği formunun açıklıkları ve eksenleri sürekli yatay düzlemedir. Yüzeyin altıgenlerden oluşması sayesinde en küçük birim yüzey alanda en geniş biçimde yer kaplanır. Yani bal peteğinin, yüzey malzemelerle birleştiği noktada yüzey plakalara temas yüzeylerinin az olmasına karşılık kapladığı alan geniştir. Altıgen form sayesinde, önceden belirlenen ölçülerdeki kafes yapımı için minimum malzeme kullanılmış olur (Şekil 2.4) [3].



Şekil 2. 4 Altıgen hücreli bal peteği yapısı

2.1.3 Yapıştırıcı Malzemeleri

Mühendisliğin bütün dallarındaki ortak amacı insanlığın ihtiyaçlarını karşılayacak araç gereçleri tasarlamak, üretmek ve geliştirmektir. Bu ürünlerin ortaya çıkması için birçok parçanın bir araya getirilmesi ve birleştirilmesi gerekmektedir. Makine mühendisliği alanında parçaların birleştirilmesi için genellikle mekanik bağlantı elemanları kullanılır. Bunlar kaynak, lehim, cıvata, perçin, vida gibi elemanlar olup geleneksel birleştirme yöntemleri olarak bilinmektedir. Bu yöntemlerin yanı sıra gelişen malzeme teknolojisi ve

farklı malzemelerin üretilmesiyle; bu malzemelerin birleştirilmesi için değişik yöntemlere ihtiyaç duyulmuştur. Farklı malzemelerin üretilmesiyle meydana gelen bu hızlı gelişim, yapısal elemanların birleştirilmesi için etkili ve güvenilir metotların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bunun sonucunda da mekanik birleştirme tekniklerinden farklı birleştirme tekniklerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu birleştirme tekniklerinin en önemlisi ise yapıştırma teknolojisidir [5].

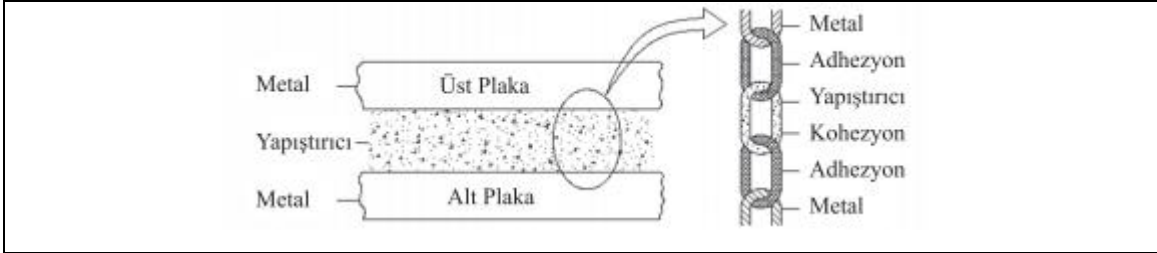
Yapıştırıcı, malzemelerin bir arada tutulmasını sağlayan madde olarak tanımlanabilir. Yapışma ise iki yüzeyin, moleküller, iyonlar ve atomlar arası etkileşimlerinin neticesinde oluşan çekim kuvvetleriyle birleştirilmesi olarak tanımlanabilir. Yapıştırıcılar sıvı, katı, bant gibi birçok fiziksel halde olabilir. Birleştirme işlemlerinin; yapısal yapıştırma ve yapısal olmayan yapıştırma olmak üzere iki çeşidi vardır. Yapısal yapıştırma işlemi, yapının sürekliliğini kaybetmeden yük taşıyabilen yapıştırıcı ile tasarım sınırları içerisinde kalacak şekilde birleştirme işlemidir. Yapısal birleştirmede yapısal yapıştırıcılar kullanılır, bu yapıştırıcılar yük taşıyabilen yapıştırıcılardır. Yapısal yapıştırıcılar uzay sanayii, havacılık, otomotiv endüstrisi, gemicilik vb. birçok alanda kullanılmaktadır [5]. Kullanım alanları dikkate alındığında endüstriyel yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır;

- Yapıştırma bağlantılarının, yapıştırıcı ve yüzeyler arasında tam temas halinde olmalıdır.
- Başarılı bir yapıştırma için yüzey hazırlama yöntemlerinden en uygun olanı belirlenmeli ve uygun yapıştırıcı seçilmelidir.
- Birleştirilecek olan yüzey plakaları ile çekirdek malzemenin yüzeyleri arasını tam olarak dolduracak biçimde akıcı olmalı, birleştirilen yüzeyleri tamamen ıslatmalı.
- İstenilen yükleri taşıyacak kapasitede yapıştırma bağı oluşturmalı [5].

Yapıştırıcılar kimyasal özelliklerine göre organik ve inorganik olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Bu iki grupta yer alan yapıştırıcıların kullanım yerlerine göre kendi içlerinde farklı çeşitleri bulunmaktadır. Endüstriyel yapıştırıcıların en çok kullanılan çeşitleri; anaerobikler, syanoakrilikler, epoksiler, poliüretan vb. yapıştırıcılardır.

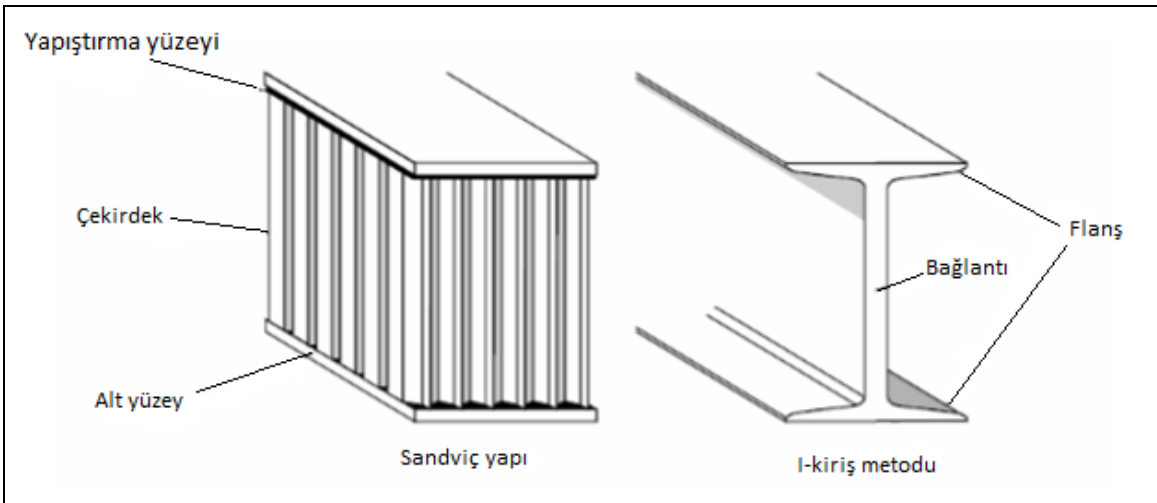
Yapışma kuvveti, yapıştırılacak yüzeyler ile yapıştırıcı arasındaki adhezyon kuvveti tarafından belirlenir. Adhezyon; yapıştırıcı ile yapıştırılacak yüzey arasında, kohezyon ise

yapıştırıcının kendi içerisinde meydana gelen bir olaydır. Yapıştırma bağlantılarında doğru bir yüzey hazırlığı yapılamadığı takdirde adhezyon bölgesinde hasarlar meydana gelecektir. Doğru yöntemler uygulanarak yapılan yapıştırma bağlantılarında ise hasarlar kohezyon bağlantılarında oluşur. Yapıştırıcının mukavemetinden faydalanabilmek için, iyi bir yapıştırma bağlantısında her zaman kohezyon hasarı meydana gelmesi istenir [13].



Şekil 2. 5 Yapıştırma bağlantılarında adhezyon ve kohezyon [13]

Sandviç yapıların sağladığı en önemli avantajlardan biri konstrüksiyon rijitliğidir. Bu konuyu daha detaylı açıklamak için sandviç yapıyı Şekil 2.6'daki gibi I-kiriş şeklinde modellemek gerekir [2].

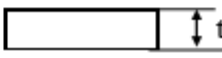
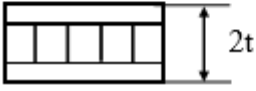
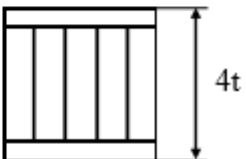


Şekil 2. 6 Sandviç yapının I-kirişi şeklinde modellenmesi [2]

Şekil 2.6'da görüldüğü üzere sandviç panelin yüzey plakaları kirişin flanş kısımlarına karşılık gelirken, çekirdek malzeme ise kirişin bağlantı bölümünü oluşturmaktadır. Yüke maruz bırakıldığında sandviç panelin yüzeyleri bükülmeye zorlanır, yüzeylerden biri bası etkisinde olduğunda diğeri çekiye zorlanacaktır. Çekirdek malzeme sandviç yapıya etkiyen kayma gerilmelerine karşı dayanım gösterirken, aynı zamanda yüzey plakaları arasındaki mesafeyi muhafaza ederek yapının rijitliğini artırır. Dolayısıyla sandviç

yapının yüzeylerine verdiği sürekli destek ile rijit bir sandviç panel oluşturur. Yüzey plakaları, çekirdek ve yapıştırma bağlantısı üniform bir tasarım oluşturarak tek bir yapı gibi davranırlar ve böylece sandviç yapı yüksek eğilme ve burulma mukavemetine sahip olur [2].

Çizelge 2. 1 Bal peteği sandviç yapının avantajları [6]

	Katı malzeme (Tek parça) 	Petek kalınlığı t 	Petek kalınlığı 3t 
Eğilme Rijitliği	1	7	37
Dayanım	1	3,5	9,2
Ağırlık	1	1,03	1,06

Çizelge 2.1’de sandviç yapılarda çekirdek yapının kalınlığı arttıkça sandviç yapının mekanik dayanımında artış meydana geldiği görülmektedir.

2.2 Bal peteği Sandviç Yapıların Kullanım Alanları

Sandviç malzemeler sahip oldukları hafiflik, yüksek “dayanım/ağırlık” oranı, yüksek rijitlik gibi özellikleri sayesinde günümüzde endüstride kullanılan geleneksel malzemelerin yerini almaktadır. Bal peteği çekirdekli sandviç yapılar havacılık, savunma sanayi, uzay sanayi, denizcilik, otomotiv sektörü, , inşaat, spor malzeme üretimi, sağlık malzemeleri, enerji üretim teçhizatı imalatı vb. sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüzey plakaları ve çekirdek yapı farklı malzeme çeşitlerinden ve geometrilerden seçilerek en uygun özelliklere sahip sandviç malzeme konstrüksiyonları elde edilebilmektedir. Bu sayede ihtiyaçları karşılayabilecek özellikte malzemeler üretilmektedir. Bu özelliklerinin dışında sandviç yapıların önemli olan diğer özellikleri ise;

- Yüksek bükülme dayanımı,
- Hafif malzemelerden oluşma,
- Uygun malzeme seçimi sayesinde maliyet düşüklüğü,

- Ses yalıtım özelliği,
- Termal yalıtım özelliği,
- Uygun aerodinamik yüzeyler oluşturabilmesi,
- Radar dalgalarına yakalanmama,
- Yüksek hızlara dayanıklı olmalarıdır [3].

Sandviç yapılar özellikle havacılık ve uzay sanayisinde geniş kullanım alanına sahiptir. Uçakların taban kaplamaları, kuyruk kısmı ve kanatları, helikopter pervaneleri sandviç yapılardan üretilmektedir. Otomobillerde ise direk, tavan ve gövde kısımlarında, yarış bisikletlerinin gövde bölümlerinde ve rüzgâr türbini gibi pek çok farklı alanlarda sandviç malzemeler kullanılmaktadır.

2.2.1 Havacılık, Savunma ve Uzay Sanayi Sektörü

Uçak endüstrisinde üzerinde en fazla durulan konu; doğru malzeme seçimi ve bu malzemenin bütün bir yapı içerisinde değerlendirilmesidir. Uçak yapımında kullanılan malzemeler metal esaslı ve kompozit malzemeler olmak üzere iki grupta incelenebilmektedir. Alüminyum alaşımları, paslanmaz çelikler, nikel alaşımları ve titanyum alaşımları sıklıkla kullanılan metal esaslı malzemelerdir. Kompozit malzemeler ise metalik, organik ve inorganik yapı bileşenlerinin karışımından oluşur. Matris, fiberler, pullar, partiküller, tabakalar başlıca yapı malzemeleridir. Fiberler, partiküller, pullar, tabakalar kompozitin içyapısını oluştururlar. Kullanılan matris malzemesine göre kompozitlerin yüksek rijitlik ve mukavemete sahip olmaları, bazı uygulamalarındaki ileri derecedeki yorulma ömürleri, yüksek korozyon dirençleri sebebiyle endüstrinin birçok alanında yoğun olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda reçine ve fiber teknolojisinde sağlanan büyük gelişmelerle birlikte kompozit malzemelerde, konvansiyonel malzemelerin elastisite modüllerine erişilmiştir. Bu nedenle kompozit malzemeler; takviye parçalarının kontrol yüzeyleri, kaplamalar ve flaplarda kendilerine kullanım yeri bulmuşlardır [7].

Kompozit malzemelerin imalat edilebilme uygunluğu, ii mekanik özelliklere sahip olması, bakım maliyetlerinin düşük olması uçak konstrüksiyonunda önemli avantaj sağlar. Uçakların yapı elemanlarında kullanılacak olan kompozit malzemelerin maliyeti hesaplanırken, yalnızca malzeme maliyeti olarak düşünülmemelidir. Kompozit

malzemelerin maliyet hesabı içerisinde direkt işletme giderleri ve bu yatırımın geri dönüşü gibi iki faktör de dahil edilmelidir.

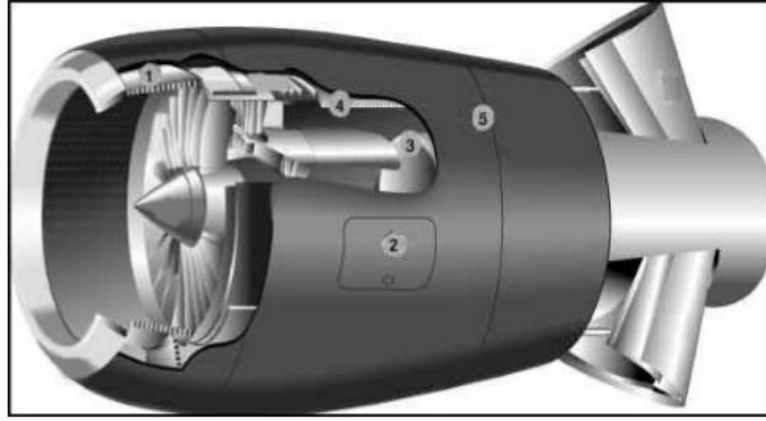


Şekil 2. 7 Ticari bir uçakta sandviç yapı kullanılan bölümler [8]

Şekil 2.7’de görüldüğü üzere ticari bir uçağın ön ve arka kanat, burun, gövde, motor ve bölmelerini birbirinden ayırırken çoğunlukla sandviç yapılı malzemeler kullanıldığı görülmektedir.

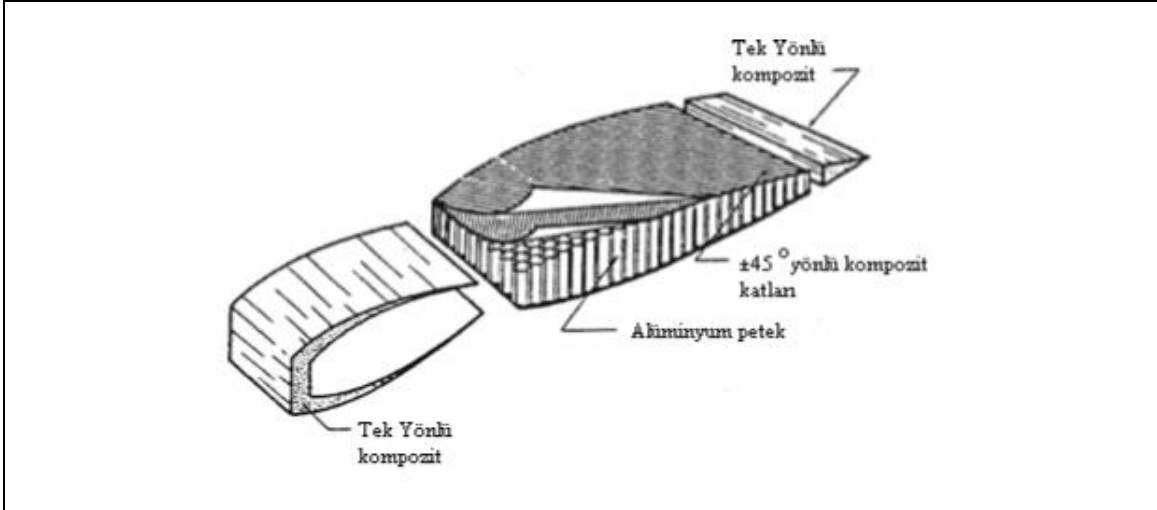
Kompozit malzemelerin uçak sanayisindeki kullanım yerlerine bakıldığında; F-16 savaş uçaklarında, yatay ve dikey stabilize, kontrol yüzeyleri karbon-epoksi’dir. Boeing 757 ve 767 modellerinde ise; kontrol yüzeyleri karbon-epoksiden imal edilmiş, motor kaportaları karbon/aramid-epoksiden yapılmıştır. Airbus A320 uçaklarında ise uçağın kuyruk takımları ve silindirik motor kılıflarının imalinde karbon takviyeli kompozitler kullanılmıştır [7].

F/A-18 savaş uçağının yüzey alanının %35’inde sandviç yapı kullanılmıştır. Sandviç yapıların kullanılmasıyla birlikte uçağın ağırlığında %25’lik bir kazanç olmuştur. Sandviç yapılar günümüzde yalnızca savaş uçaklarında değil, sivil yolcu uçaklarında da yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2. 8 Jet motorunda sandviç yapı kullanılan bölümler [8]

Uçak motoru üretiminde, kapılar genellikle alüminyumdan imal edilir ve bu sayede motor ağırlığından %25'lik bir kazanç sağlanır (Şekil 2.8). Uygulamada ise alüminyum petek çekirdekli sandviç yapılar kullanıldığı görülmektedir. Alüminyum petek yapı, motorun çelik desteklerine alevin etki etmesini önlemektedir (Şekil 2.9). Maksimum dayanıklılık ve düşük maliyet ile yüksek özgül modüllere ulaşabilmek amacıyla, kaplamalarda karbon fiber kullanılmaktadır[9].



Şekil 2. 9 Uçak motoru rotor kanat yapısı

Havacılık sektöründe özellikle son yıllarda metal malzemelerin yerine kompozit malzeme kullanımında artış görülmektedir. Bu artış içerisinde en fazla öneme sahip malzeme uçak yapısında kullanılan elyaf takviyeli kompozitlerdir. Epoksi matris içerisine elyaflar ilave edilir.

Uçak tasarımında kullanılan ilk kompozit cam elyafıdır [7]. 1940'lı yıllarda ağaç çekirdeklerinin yüzeylerine cam elyaf reçineli kompozit plakaların yapıştırılarak sandviç yapı şeklinde kullanıldığı yapılan araştırmalarda görülmüştür (Şekil 2.10) [7]. Uçak konstrüksiyonlarında kompozit yapıların yoğun olarak kullanımı 1960 larda başlamıştır.



Şekil 2. 10 1944 yapımı Vultee BT-15 uçak

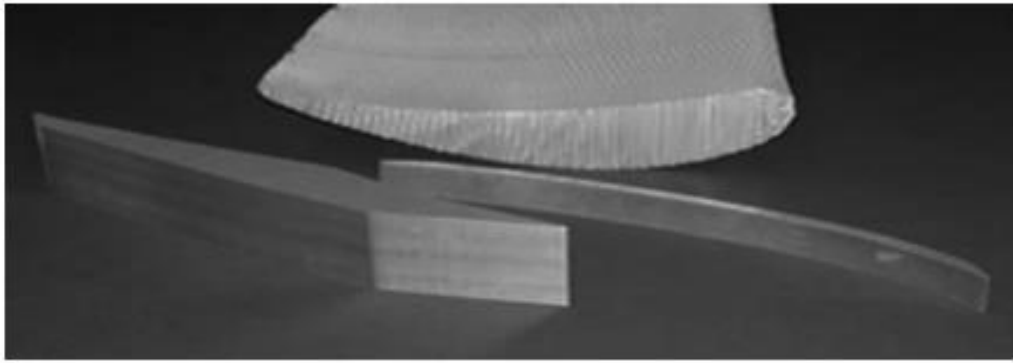
Uçak yapılarında kullanılan kompozit malzemeler alüminyuma oranla düşük ağırlığa ve yüksek mukavemet özelliğine sahiptirler. Uçak yapısında malzeme seçimi için, mekanik özelliğin yoğunluğa oranı önemli bir kriterdir. Bu özellik değerleri kıyaslandığında karbon/epoksi ve bor/epoksi kompozit gibi malzemelerin uçak yapısında kullanılan geleneksel malzemelerden çok daha üstün oldukları görülmektedir[7].

Uçaklar yapılarında kullanılan malzemeler içerisinde en gelişmiş malzeme tipi titanyumdur. Çelik ile aynı mukavemet değerine sahip ve %44 daha hafiftir, ısıya karşı direnci çok yüksek ve korozyona karşı dayanımı mükemmeldir. Ancak işlenebilme, ve şekil vermenin zor olması ve de maliyetinin yüksek olması sebebiyle özellikle uçakların kritik yük taşıyan bölümlerinde, motorların etrafında ısıyı kesmesi için ve jet motorlarının yüksek ısıya maruz kalan bölümlerinde ve türbin panellerinde kullanılırlar.

Sivil yolcu uçaklarındaki grafit/epoksi kompozitler ilk olarak Boeing 727'lerin gövde kaplamasında kullanılmış ve %14 oranında bir ağırlık kazancı sağlamıştır[10]. Boeing 737'lerin ise aerodinamik frenleri grafit/epoksi kompozitten üretilmiştir ve bu uçaklarda

kompozit kullanımıyla birlikte %15'lik bir ağırlık kazancı sağlanmıştır [10]. Boeing uçaklarındaki ana iniş takım kapakları karbon fiber kompozitten, burun iniş takımları ise hibrid kompozitlerden imal edilmiştir.

Uçaklar yapılarında spoiler kısımları iç malzeme olarak nomex petek yapılardan üretilmiştir. Üst kısımlarında ise kevlar epoksi kullanılmıştır. İstikamet dümeni karbon/epoksilerden meydana getirilmiştir. Dikey dengeleyici ise hibrid kompozitlerden ve cam fiber kompozitlerden üretilmiştir. Kanatçıklarda, flaplarda ve hava frenlerinde ise genellikle nomex petek yapılar kullanılmıştır (Şekil 2.11) [7].



Şekil 2. 11 Petek yapılı uçak kanadı

Çizelge 2. 2 Bazı endüstrilerde kullanılan kompozitler

Endüstri	Uygulama Alanları	Kullanılan Kompozit Malzemeler
Uçak	Uçak kanatları gövdesi, helikopter pervaneleri, iniş ve çıkış kapıları, payandalar döşeme kirişleri, türbin kanatları	B/Al, SiC/Al, Ga/Al, Cam epoksi, C/epoksi, B/epoksi, süper alaşımlar, kevlar/epoksi
Helikopter	Transmisyon kutusu, kiriş destek yapıları, itici çubuklar, iniş takımları, rotor kanat arkası	Al ₂ O ₃ /Mg, Ga/Al, Ga/Mg, Al ₂ O ₃ /Al, B/Al, SiC/Al
Uzay	Uzay yapıtları antenleri, robot kolları	B/Al, B/Mg, Ga/Mg
Otomotiv	Gövde parçaları, tampon ve çamurluklar, ön ve arka paneller, aks mili, itme çubukları ve piston kolları	Kevlar/epoksi, SiC/Al, B/Al
Gemi	Gemi teknesi, gemi güvertesi	Kevlar/epoksi, cam/epoksi
Kimya	Borular, basınçlı kaplar ve tanklar	Cam epoksi, karbon epoksi
Spor	Oltalar, yüzme havuzları, tenis raketleri, bisiklet ve motosiklet gövdesi	B/epoksi, C/epoksi, B/Al, Ga/Al, SiC/Al
Elektrik	Motor fırçaları, kablo ve akü plakaları	Ga/Cu, Gr/Pb, Al ₂ O ₃ /Pb
Tekstil	Mekikler	B/Al, C/Al, SiC/Al
Tıp	Röntgen masaları, protezler ve tekerlekli sandalye	SiC/Al, B/Al
Uçak-uzay	Uçak frenleri, türbin pervaneleri, roket çıkış sistemleri	Karbon/karbon kompozit
Diğer alanlar	Makine yatakları	CPb, Al ₂ O ₃ /Pb

Çizelge 2.2’de kompozit malzemelerin kullanıldığı endüstriler verilmiştir. Havacılık ve uzay sanayisi köpük metal sandviç yapıları düşük maliyetli ve yüksek performanslı olmaları sebebiyle tercih etmektedir. Hava-uzay ve otomotiv sanayisinde köpük metal sandviç yapıların kullanımı birbirine çok benzemektedir. Ayrıca günümüzde roket sistemlerinde sandviç panellerin kullanımının arttığı görülmektedir (Şekil 2.12).



Şekil 2. 12 Sandviç köpük panelden (AFS) yapılmış Ariane5 roket konisi

2.2.2 Otomotiv sanayi

Günümüzde otomobillerin, spor araçların ve iş makinelerinin meydana gelebilecek çarpmalara karşı dayanım kazandırma, kapasitesini artırma ve iş gücünü artırmak amacıyla birçok noktada bal peteği çekirdekli sandviç yapı kullanılmaktadır. Özellikle yarış araçlarının burun ve gövde kısımlarını güçlendirmek için, vinçlerde yük taşıyıcı gövdesinin taşıma kapasitesini arttırmak amacıyla bal peteği çekirdekli sandviç yapılar kullanılmaktadır (Şekil 2.13).



Şekil 2. 13 Alüminyum hafif-ağırlıklı sandviç panel örneği

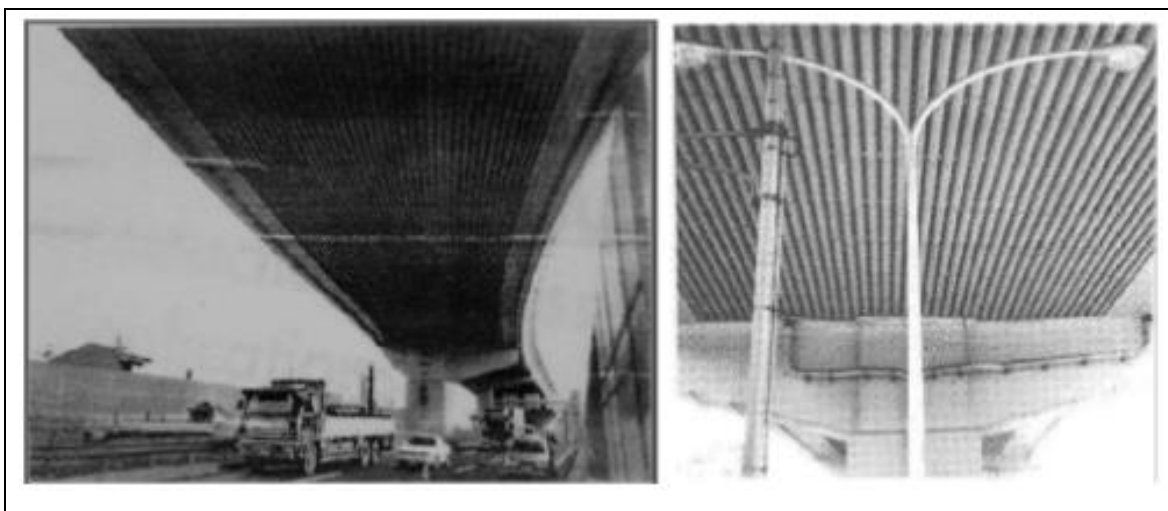
Alüminyum petek yapılarının otomotiv sanayisindeki kullanımlarına bir başka örnek de çarpışma emicileridir. Çoğu firma yolcuları koruma amacıyla ve de arabada meydana

gelebilecek hasarı azaltıp, doğacak olan tamir masraflarını minimuma indirmek için çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmaların sonucunda çarpışma kutuları icat edilmiştir. Bu çarpışma kutuları darbe tamponuyla ön korkuluk arasında yer alan bölümde bulunmaktadır (Şekil 2.14).



Şekil 2. 14 Çarpışma kutusu örnekleri

Bu kutular 15 km/s hızdaki bir çarpışmada meydana gelebilecek bütün enerjiyi absorbe ederek deforme olurlar ve bu sayede arabanın dış yüzeyinde meydana gelebilecek maddi hasarı önlemiş olurlar. Bunun yanında ses emilimi ve yalıtım da otomotiv sanayisi için çok önemli bir husustur. Alüminyum petek yapılar oldukça iyi ses yalıtım özelliğine sahip olduklarından dolayı otomotiv endüstrisinde tercih edilmektedir. (Şekil 2.15) [9].



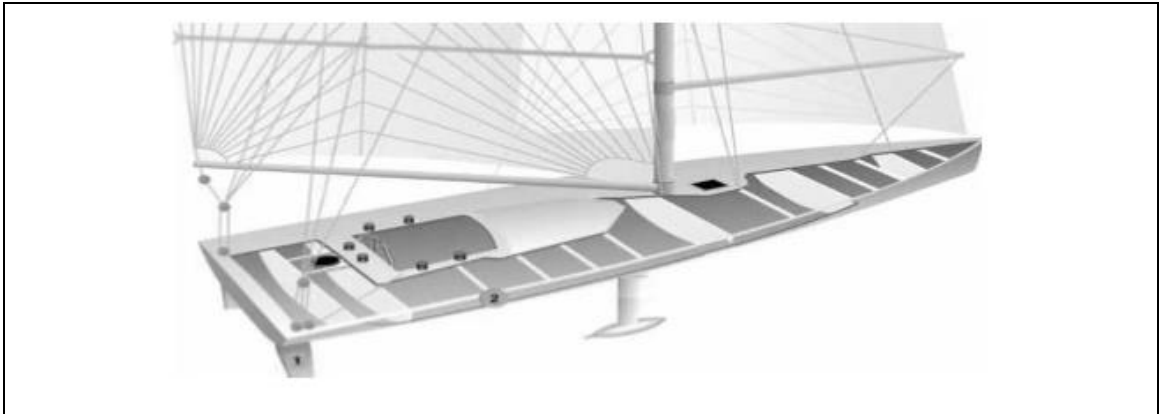
Şekil 2. 15 Viyadük altında ses emen petek sandviç yapı

2.2.3 Denizcilik Sanayi

Gemi inşaa sektöründe kullanılan hafif ağırlıklı yapılar önemli bir yere sahiptir. Günümüzde yolcu gemileri tamamıyla alüminyum levha ve alüminyum bal peteği çekirdekli sandviç yapılarından oluşmaktadır (Şekil 2.16, 2.18). Özellikle alüminyum sandviç paneller gemi inşaa sektöründe istenilen özelliklere en uygun şekilde cevap verebilecek malzemelerdir. Gemi konstrüksiyonlarında kullanılmak üzere alüminyum sandviç paneller imal edilirken yapıştırıcı olarak poliüretan kullanılması; mekanik dayanımın ve sönümleme kabiliyetinin yüksek, ayrıca hafif bir malzeme olmasını sağlar. Eğer yüzey tabakaları çekirdek malzemesiyle oldukça elastik olan poliüretan yapıştırıcılarıyla bağlanırsa, mükemmel sönüm davranışlı hafif ve sağlam bir yapı elde edilir. Sandviç yapılar gemi bölmeleri, ambar platformları, anten platformları gibi alanlarda kullanılmaktadır (Şekil 2.17)[9].



Şekil 2. 16 Tekne yan gövde



Şekil 2. 17 Tekne yapımında kullanılan sandviç yapı bölgeleri [8]



Şekil 2. 18 Hızlı bir feribotta sandviç yapının kullanıldığı bölümler

(2 ve 6 Gövde dış kısmı, 4. Asma tavanlar, 7. Kamara bölümleri, 9. Hava kalkanı: Petek yapılı kompozit) [3]

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte yapı sektöründe sandviç malzemeler de kendilerine geniş bir kullanım alanı bulmuşlardır. Ana taşıyıcı sistemi hafifletmesi, ısıya karşı dayanıklı olması, dış etkilere dirençli olması, farklı renklere boyanabilmesi ve istenilen formun verilebilme kolaylığı gibi özellikler sayesinde çoğu yapı malzemesinden avantajlı haldedir.

2.2.4 Diğer sanayi dalları

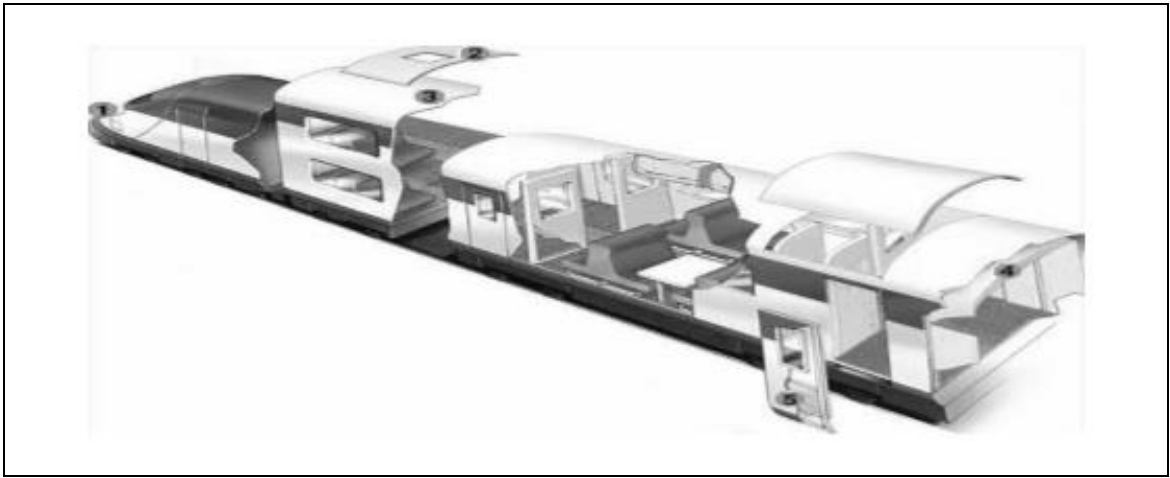
Sandviç yapının sahip olduğu hafiflik özelliği sebebiyle günümüzde spor malzemeleri yapımında, sıkça kullanılan bir yapıdır.

Spor teçhizatları bu sektör için yüksek maliyete sahip olmasına rağmen, önemli ölçüde uygulama alanı bulmuştur. Spor malzemelerinde futbolcuların ayak sağlığını korumak amacıyla kaval kemiğini koruyucu (tekmelik) yapımında enerji absorbesi iyi olduğundan dolayı alüminyum köpük kullanılmaktadır. Bisiklet gövdelerinde, yürüme bantlarında, tenis raketlerinde sandviç yapıların kullanıldığını görmek mümkündür.

Hafif olmalarının yanı sıra iyi mukavemet özelliğine sahip olmaları sebebiyle sandviç yapılar tren yapımında da karşımıza çıkmaktadır. Özellikle trenlerin burun kısmında, yan gövde de sandviç yapılar kullanılmaktadır (Şekil 2.19, 2.20).

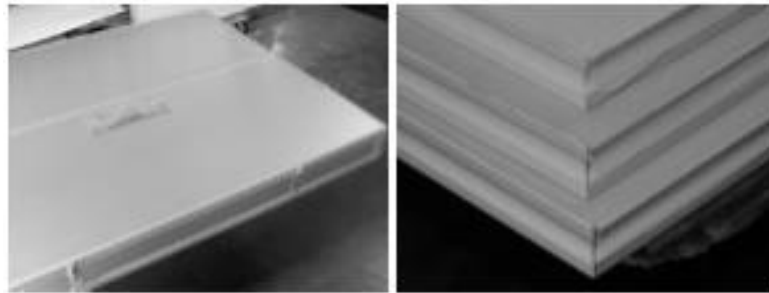


Şekil 2. 19 Tren yapımında sandviç panellerin kullanılması



Şekil 2. 20 Tren vagonunda sandviç yapı kullanılan bölgeler [10]

Günümüzde asansör üretimlerinde alüminyum çekirdekli sandviç yapılar da kullanılmaktadır. Özellikle asansörlerin enerji tüketimlerini azaltmak için önemli derecede faydası olmaktadır. Asansörlerde hafif ağırlıklı inşaa çok önemlidir. Asansörlerin yan duvar ve taban kısımları sandviç yapılarla inşa edilmektedir (Şekil 2.21).



Şekil 2. 21 Asansör yan ve taban sandviç panelleri

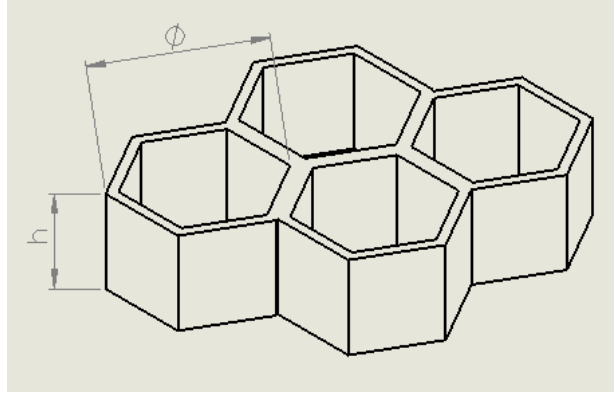
BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Malzeme

Deneyisel çalışmada polipropilen bal peteği çekirdeği ve alüminyum alt-üst plakalar kullanılmıştır. Polipropilen bal peteği sandviç panellerin yapımı için ideal bir malzemedir. Polipropilen; düşük maliyetli, çevreye duyarlılığı, işlem kolaylığı ve nispeten geri dönüştürülmesi kolay olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır [13-15]. Şekil 3.1’de verilen polipropilen bal peteği yapının hücre çapı 8 mm, yüksekliği ise 10 mm’dir. Çekirdek yapı boyutları 150 mm x 150 mm olacak şekilde kesilmiştir.

Sandviç yapıyı meydana getiren elemanlardan olan alt ve üst plaka için 1000 serisi alüminyum plakalar kullanılmıştır. Deneyisel çalışmada kullanılan alüminyum plakaların kalınlıkları 0.75 mm, 1 mm ve 1.5 mm’dir. Farklı kalınlıklarda alüminyum plakalar kullanılmasının temel sebebi birbirinden farklı özelliklere sahip sandviç yapılar elde etmektir. 3 nokta eğme deneyi için alüminyum plakalar boyutları 150 mm x 150 mm, çekme deneyi için 150 mm x 200 mm olacak şekilde kesilmiştir. Sandviç yapının toplam kalınlığı; plaka kalınlığına göre değişmektedir ancak polipropilen çekirdek kalınlığı sabittir.

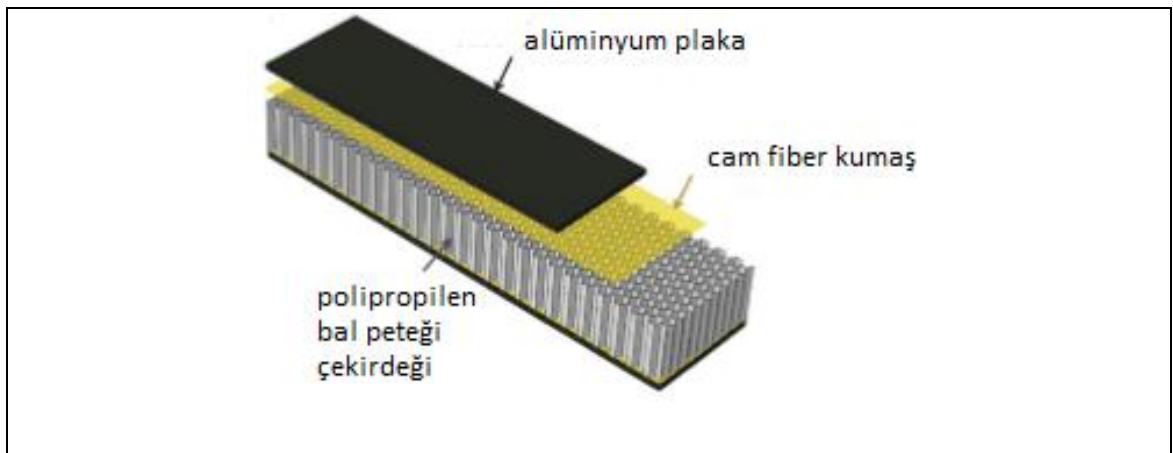


Şekil 3. 1 Deneysel çalışmada kullanılan bal peteği şematik resmi ($h=10$ mm, $\varnothing=8$ mm)

Deneysel çalışmada bal peteği çekirdeğini ve plakaları birbirine yapıştırmak için ise ECO 300 epoksi reçine kullanılmıştır. Bal peteği çekirdekli sandviç yapılarda, tabakalar arası epoksinin uygulanmasında 3 farklı metot denenmiştir:

Yalın epoksi yapıştırıcı: Epoksi yapıştırıcı katalizörü ile birlikte 5:1 oranında kullanılmıştır.

Epoksi yapıştırıcı + cam fiber kumaş: Sandviç yapılarda dayanımı artırmak amacıyla yüzey plakaları ile çekirdek yapı arasına takviye elemanları ilave edilmektedir. Kevlar, cam elyaf kumaş gibi ürünler sandviç yapılarda dayanımı artırıcı takviye elemanları olarak kullanılmaktadır [25]. Cam fiberleri nispeten düşük maliyet ve yüksek mekanik performanslarından dolayı polipropilen için popüler takviye elemanlarıdır [12]. Bu sebeple yapışma yüzeyleri arasına 0.12 mm kalınlığında düz dokuma tipi cam fiber kumaş yerleştirilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3. 2 Deneysel çalışmada kullanılan düz dokuma tipi cam elyaf kumaş

Epoksi yapıştırıcı + TiO₂: Sandviç yapılarda tabakalar arası adhezyon kuvvetinin yüksek olması sandviç yapının dayanımını artırıcı yönde etki etmektedir [26]. Epoksi yapıştırıcı içerisine Kronos Ltd. tarafından üretilmiş olan mikron boyutlarda titan dioksit (TiO₂<100 nm) %5 ağırlığı oranında ilave edilip karıştırılarak hazırlanmıştır.

3.2 Yüzey Hazırlama

Bal peteği çekirdekli sandviç yapılar bal peteği formundaki çekirdek malzemenin iki plaka arasına yapıştırılmasıyla elde edilmektedir. Yapıştırma işlemi gerçekleştirilmeden önce daha mukavim bir bağlantı elde etmek amacıyla yüzey plakalarının yapıştırılacak olan kısımları pürüzlendirilmiştir. Yapıştırma bağlantılarının dayanımında yüzey pürüzlülüğünün önemli derecede etkisi vardır. Bu etki malzemenin yüzey alanını artırarak sağlanır. Dolayısıyla malzeme ve yapıştırıcı arasındaki kimyasal bağlar artar [13]. Zımparalama geniş yüzeyleri temizlemek için iyi bir yöntemdir. Çok kalın zımpara kullanmamak kaydıyla, bu yöntemle istenen yüzey pürüzlülüğü elde edilir. Bu yöntemde yüzey pürüzlülüğünü iyi seçmek önemlidir. Çünkü bağlantı dayanımı yüzey pürüzlülüğü derecesine bağlıdır [13].

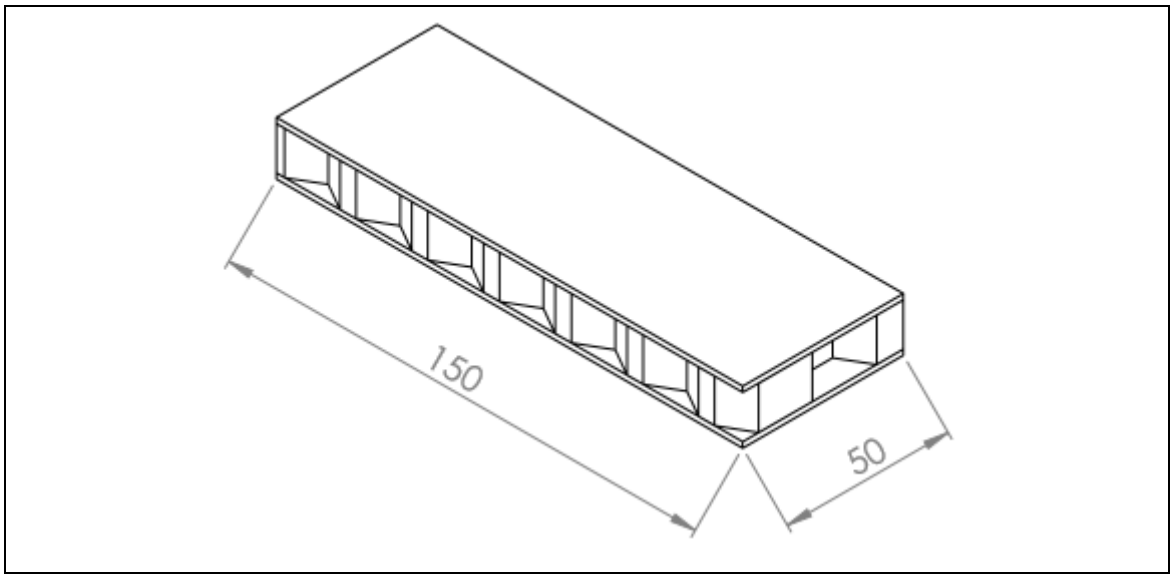
Sandviç yapı oluşturulmadan önce çekirdek malzemenin yapıştırılacağı plakaların yüzeyleri ISO 17212 uluslararası standartlarına göre hazırlanmıştır. Bu standartlar çerçevesinde ilk olarak daha iyi bir yapışma yüzeyi eldesi için plakaların yüzeyleri $\pm 45^\circ$ 'lık açılarla zımparalanmıştır. Plakaların yüzeylerinde farklı pürüzlülük değerleri elde etmek için 36 ve 60 numaralı zımpara çeşitleri kullanılmıştır. Zımparalama işleminin ardından yüzeyde kalan metal talaşları alkalin sabunla yıkama ile giderilmiştir. Ardından son işlem olarak yüzeylerin üzerinde herhangi bir yağ kalmaması için asetonla temizlenmiş tekrar saf su ile yıkanıp, durulanmış ve kurutulmuştur. Plakaların ortalama yüzey pürüzlülükleri (Ra) Time TR 220 yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür.

3.3 Numunelerin Hazırlanması

Sandviç yapıyı oluşturmak için bal peteği çekirdeğini iki alüminyum plaka arasına yapıştırmak gerekmektedir. Polipropilen bal peteği çekirdeğini plakalara yapıştırmak için kullanılacak olan epoksi yapıştırıcı, sertleştiricisi ile 5:1 oranında karıştırılarak hazır hale getirilmiştir. Yapıştırma işlemini gerçekleştirmek için alüminyum plakanın

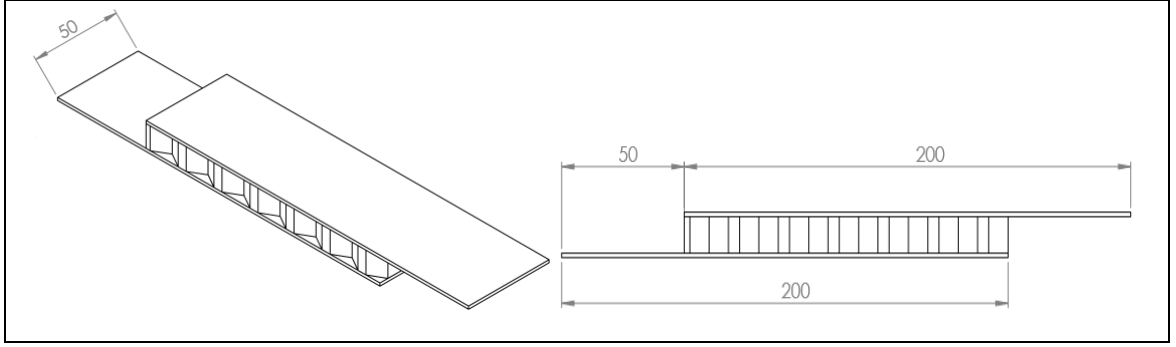
pürüzlendirilmiş yüzeyine 15 gr epoksi yapıştırıcı sürülmüştür. Polipropilen bal peteği çekirdeği, epoksi yapıştırıcı sürülen yüzeyin üzerine yerleştirilmiştir. Son olarak diğer alüminyum plakanın pürüzlendirilmiş yüzeyine yine 15 gr epoksi yapıştırıcı sürülüp çekirdeğin diğer yüzeyine yapıştırılmıştır. Oluşan bal peteği çekirdekli sandviç yapılar oda sıcaklığında belirli bir basınç altında 24 saat boyunca bekletilmiştir ve böylelikle yapıştırıcının tamamıyla nüfuz etmesi ve kuruması sağlanmıştır.

Şekil 3.3'te görüldüğü üzere 3 nokta eğme deneyinde kullanılacak olan numuneler, boyutları 50 mm x 150 mm olacak şekilde su jeti yardımıyla kesilmiş ve hazırlanmıştır.



Şekil 3. 3 Üç nokta eğme deneyi için hazırlanan sandviç yapı şematik resmi

Yapışma bölgesinin mekanik dayanımını ölçmek amacıyla sandviç yapıya çekme deneyi uygulanmıştır. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi çekme deneyi için hazırlanan sandviç yapılar ölçüleri 50 mm x 250 mm olacak şekilde su jeti yöntemi ile kesilmiştir. Sandviç yapıların deney cihazındaki tutucu çenelere yerleştirilmesi amacıyla alüminyum plakalar, çekirdek yapıdan 50 mm daha uzun tutulmuştur.



Şekil 3. 4 Çekme deneyin için hazırlanan sandviç yapı şematik resmi

3.4 Mekanik Testler

3.4.1 3 Nokta Eğme Deneyi

3 nokta eğme deneyi Universal eğme cihazında (Instron, 8872) C696 standardına göre gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5). Test cihazının kapasitesi 100 kN, ilerleme hızı 10 mm/dak'dır. Deney numunelerin boyutları genişliği 50 mm, uzunluğu ise 150 mm'dir.



Şekil 3. 5 Hazırlanmış olan bal peteği çekirdekli sandviç yapının eğme testi

Numunelerdeki yüzey plakalarının kalınlığı sabit olmadığından dolayı (0.75 mm, 1 mm, 1.5 mm) sandviç yapının toplam kalınlığı değişmektedir. 3'lü tekrarlı testler yapılarak deney sonuçları için ortalama değerler alınmıştır. Numuneler Çizelge 3.1'de verildiği gibi farklı plaka kalınlıklarında, yüzey pürüzlülüklerinde ve yapıştırıcı tiplerinde

hazırlanmıştır. Farklı yapıştırıcı uygulamalarını ve yüzey pürüzlülüklerinin etkisini incelerken, deneysel tasarım metodu Taguchi uygulanmıştır. Çizelge 3.1’de verilen numune hazırlama planı, Çizelge 3.2’de verilen Taguchi’nin L9 ortogonal dizisine göre deneyler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3. 1 Kontrol faktörleri ve seviyeleri

Kontrol Faktörleri	Sembol	Seviyeler		
		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Yapıştırıcı tipi	A	Epoksi	Epoksi+ TiO ₂	Epoksi+ Cam fiber kumaş
Pürüzlülük	B	0.6 µm	2.2 µm	3.9 µm
Plaka kalınlığı	C	0.75 mm	1 mm	1.5 mm

Taguchi’nin L9 ortogonal dizisine göre yapılan Sinyal/Gürültü oranı analizinde, incelenen çıktı eğme dayanımı olduğu için “en büyük değer en iyi” esas alınmıştır. Bunun için kullanılan ilişki Denklem 1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 2 Deneysel çalışmada kullanılan Taguchi’nin L9 ortogonal dizisi

No	Yapıştırıcı tipi	Pürüzlülük (µm)	Plaka kalınlığı (mm)
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

3.4.2 Çekme Deneyi

Sandviç yapılara uygulanan çekme deneyi 10 mm/dak hızla Universal çekme cihazında (Instron, 5982) gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6). Üçlü tekrarlı testler yapılarak sonuçların ortalaması alınmıştır.



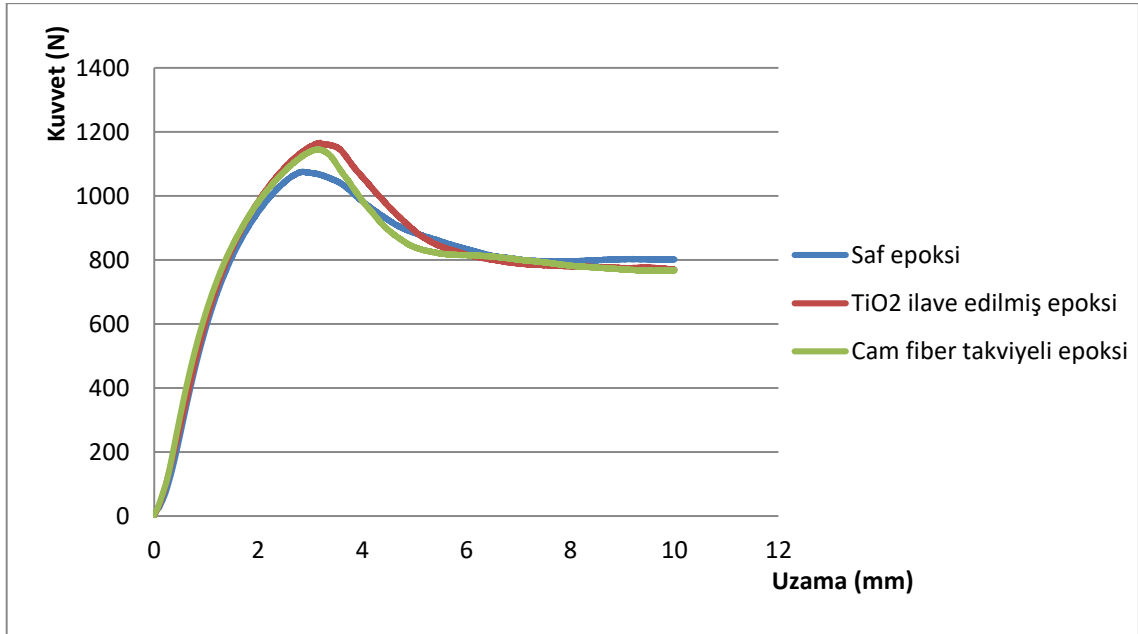
Şekil 3. 6 Hazırlanmış olan bal peteği çekirdekli sandviç yapının çekme testi

BÖLÜM 4

DENEY SONUÇLARI

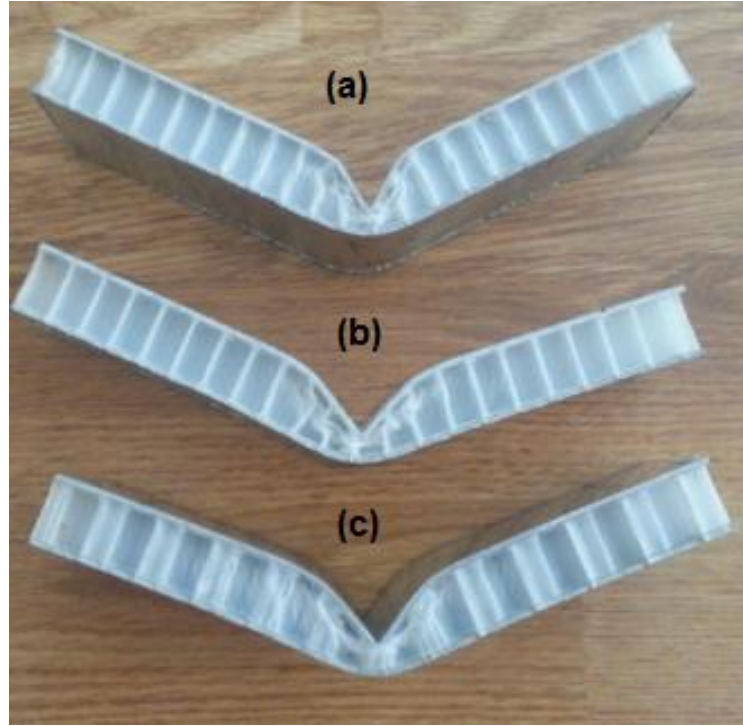
4.1 3 Nokta Eğme Deneyi Sonuçları

Farklı özelliklere sahip sandviç yapıların test edilmesi ve sonuçların karşılaştırılması neticesinde Şekil 4.1’de görülen grafiksel veri elde edilmiştir. Yapılan deneylerde alt ve üst plakası, çekirdek malzemesi aynı olan, yalnızca yapıştırıcı özellikleri farklı sandviç yapıların eğilme davranışları incelenmiştir.



Şekil 4. 1 Farklı yapıştırıcılar kullanılarak oluşturulan sandviç yapıların kuvvet – uzama grafiği

Şekil 4.1'deki grafikte 3 farklı sandviç yapının 3 nokta eğme deneyi sonucunda kuvvet – uzama diyagramları karşılaştırılmıştır. Deneyde kullanılan sandviç yapıların yüzey plakalarının kalınlığı 1.5 mm'dir. Plakaların yüzey pürüzlülüğü değeri ise $Ra=2.2\ \mu m$ 'dir.



Şekil 4. 2 Üç nokta eğme testi sonucu sandviç yapıların fotoğrafları **a)** Saf epoksi

b) TiO_2 ilave edilmiş epoksi **c)** Cam fiber kumaş takviyeli epoksi

Şekil 4.2'de görüldüğü üzere (a) ile ifade edilen yapının yapıştırıcısı saf epoksidir. (b) ile ifade edilen yapının yapıştırıcısı saf epoksi içerisine %5 oranında TiO_2 ilave edilmesi sonucu elde edilen yapıştırıcıdır. (c) ile ifade edilen yapının yapıştırıcısı ise saf epoksidir ancak plakalar ile çekirdek malzeme arasına cam fiber kumaş takviye edilmiştir.

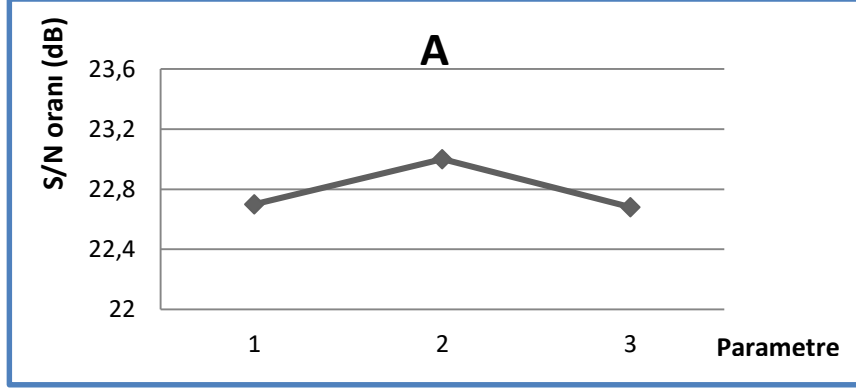
Şekil 4.1'deki grafikte görüldüğü üzere test edilen sandviç yapılar arasında en fazla dayanım gösteren; TiO_2 ilaveli epoksi yapıştırıcı kullanılmış olan sandviç yapıdır. TiO_2 ilave edilmiş epoksi yapıştırıcı kullanılan sandviç yapının maksimum eğme dayanımı 1166.2 N'dur. İkinci olarak en fazla dayanımı gösteren yapı; cam fiber kumaş takviyeli epoksi yapıştırıcı kullanılan sandviç yapı olmuştur. Bu sandviç yapının maksimum eğme dayanımı ise 1145.5 N'dur. Saf epoksi kullanılmış sandviç yapının maksimum eğme dayanımı ise 1075.9 N'dur. Bu değerler neticesinde saf epoksi yapıştırıcı içerisine %5 oranında TiO_2 ilave edilmesi sonucu sandviç yapının eğme dayanımı %8.4 oranında artış

göstermiştir. Yüzey plakaları ile çekirdek yapı arasına cam fiber kumaş takviye edilen sandviç yapının dayanımı yalın haldeki sandviç yapıya göre % 6.5'lik bir artış göstermiştir.

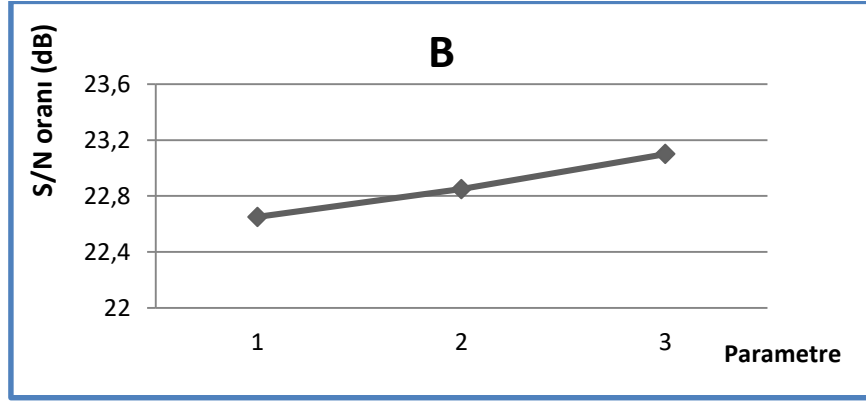
Şekil 4.1'deki grafikte sandviç yapıların maksimum eğilme gerilmesi altındaki eğilme uzaması da görülmektedir. Saf epoksi ile yapılmış sandviç yapının maksimum eğilme gerilmesi altındaki eğilme uzaması 2.86 mm, cam fiber takviye edilmiş sandviç yapının eğilme uzaması 3.15 mm, epoksi içerisine TiO_2 ilave edilerek yapılan sandviç yapının eğilme uzaması ise 3.20 mm'dir. TiO_2 ilavesi sandviç yapının katmanları arasındaki adhezyon kuvvetini artırarak yapının daha fazla bütünlük göstermesini sağlamış ve bu sebeple eğme dayanımını ve eğme uzamasını artırmıştır.

Yapılan diğer bir deneyde ise, sandviç yapıyı meydana getiren elemanlardan olan alt ve üst plakada, yapıştırıcıda farklılıklar yapılarak sandviç yapıların dayanımları karşılaştırılmıştır. Ayrıca üç nokta eğme deneyi sonucu bu farklı özelliklere sahip sandviç yapılarda meydana gelen tahribatlar optik mikroskopta incelenmiştir.

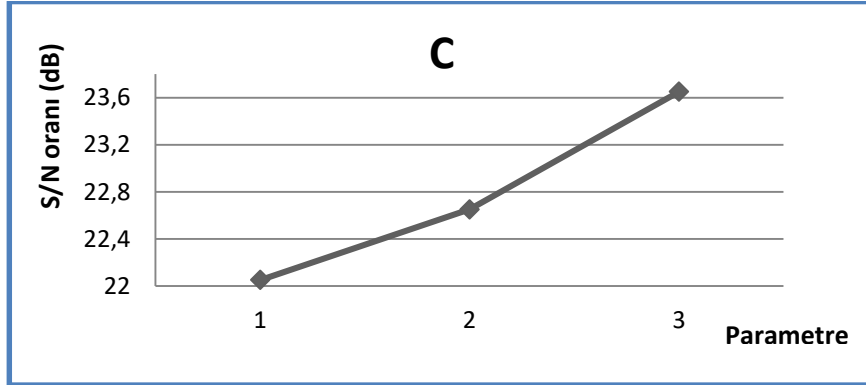
Minitab R16'da yapılan analiz sonucu elde edilen SN oranları grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir. Şekil 4.3 incelendiğinde A2B3C3' ün en yüksek eğme dayanımı vereceği görülmüştür. Yapılan doğrulama testi ile A2B3C3 için eğme dayanımı 15.571 MPa değerini vermiştir. Elde edilen sonuçlara göre en etkili parametrenin plaka kalınlığı olduğu, daha sonrasında da yüzey pürüzlülüğü değeri olduğu görülmüştür.



(a) Yapıştırıcı tipine bağlı SN oranı değişimi (1: Epoksi, 2: Epoksi+TiO₂, 3: Epoksi+cam fiber kumaş)

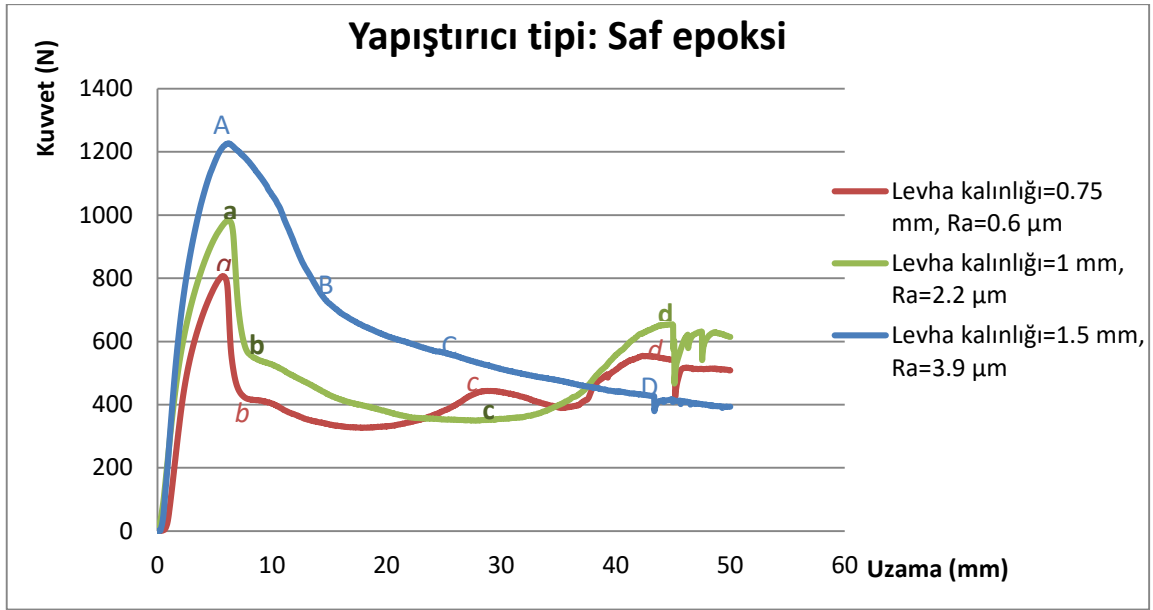


(b) Yüzey pürüzlülüğüne bağlı SN oranı değişimi (1: 0.6 μ m, 2: 2.2 μ m 3: 3.9 μ m)



(c) Plaka kalınlığına bağlı SN oranı değişimi (1: 0.75 mm, 2: 1mm, 3: 1.5 mm)

Şekil 4. 3 Deney planındaki değişkenlere bağlı SN oranları



Şekil 4. 4 Yapıştırıcı tipi aynı, yüzey pürüzlülük değeri ve levha kalınlıkları farklı olan sandviç yapıların eğme dayanımları grafiği

Şekil 4.4'teki grafik incelendiğinde saf epoksi yapıştırıcı kullanılarak oluşturulan sandviç yapıların eğme dayanımları karşılaştırılmıştır. Sandviç yapılar arasındaki farklılıklar ise levha kalınlıkları ve levhaların yüzey pürüzlülük değerleridir. Yüzey levhalarının kalınlığı 1.5 mm olan sandviç yapının eğme dayanımı 1225.6 N'dur. Levha kalınlığı 1 mm olan sandviç yapının eğme dayanımı ise 982.7 N'dur. 0.75 mm levha kalınlığına sahip sandviç yapının eğme dayanımı ise 806.6 N olarak ölçülmüştür. Levha kalınlığı arttıkça sandviç yapıların eğme dayanımlarında da artış görülmüştür [27]. Sandviç yapılara uygulanan kuvvet sonucu, yapılarda meydana gelen deformasyonları tam anlamıyla açıklayabilmek için grafik üzerinde dört bölge ayrı ayrı irdelenmiştir. A noktasına gelene kadar sandviç yapılarda elastik deformasyon oluşmuştur. B noktasına gelindiğinde ise sandviç yapının dayanımı azalmış ve B noktası kritik yük olmuştur. B ve C noktaları arasında yük taşıma kapasitesi zayıflamış olan malzemede plastik deformasyon meydana gelmiştir. Grafik detaylı olarak incelendiğinde levha kalınlıkları 1.5 mm ve 3.9 mikron pürüzlülüğe sahip olan plakalarda, B bölgesinden C bölgesine geçişte ve D bölgesinde ani bir düşüş gözlemlenirken, yüzey pürüzlülüğü daha az olan diğer numunelerde daha stabil bir düşüş elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü fazla olan numunelere, pürüzlülük girintilerine daha çok yapıştırıcı nüfuz etmektedir. Fakat bu durumda da yapışma bölgesi (kohezyon bölgesi, Şekil 2.5) azalmaktadır. Yapışma bölgesi azaldığında da, sandviç yapının yük

taşıma kapasitesi azalmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü daha düşük olan diğer numunelerde ise tersi bir durum gözlemlenmiş, hatta D bölgesinde, yükte küçük artışlar görülmektedir. Bunun sebebi ise, tabakalar arası adhezyon kuvvetinin yük taşıma kapasitesinin daha yüksek olmasından kaynaklanmıştır [13].



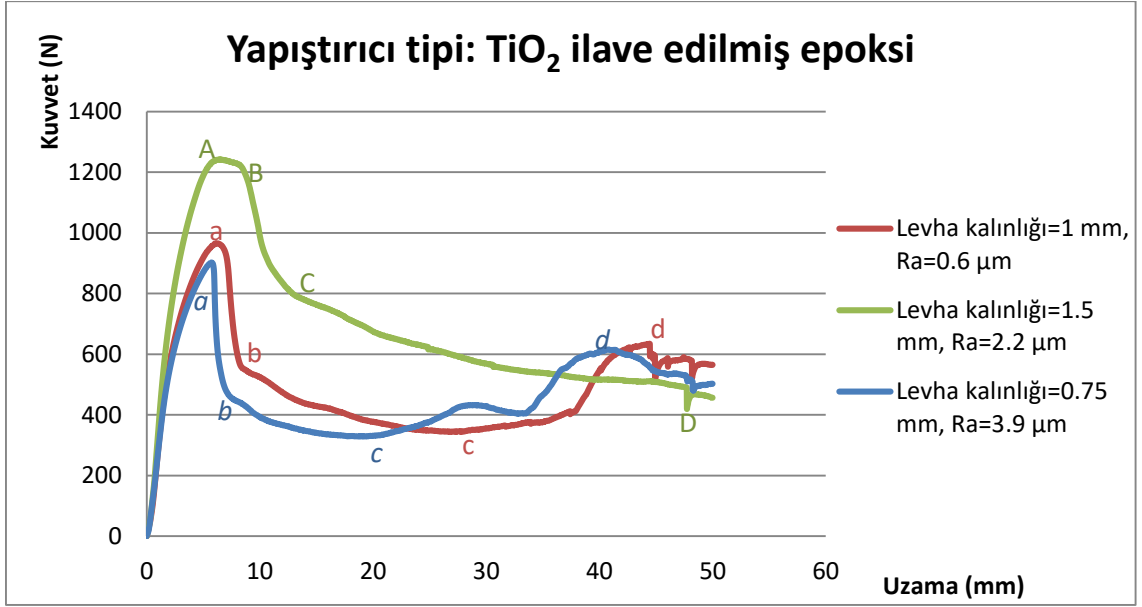
(a)

(b)

(c)

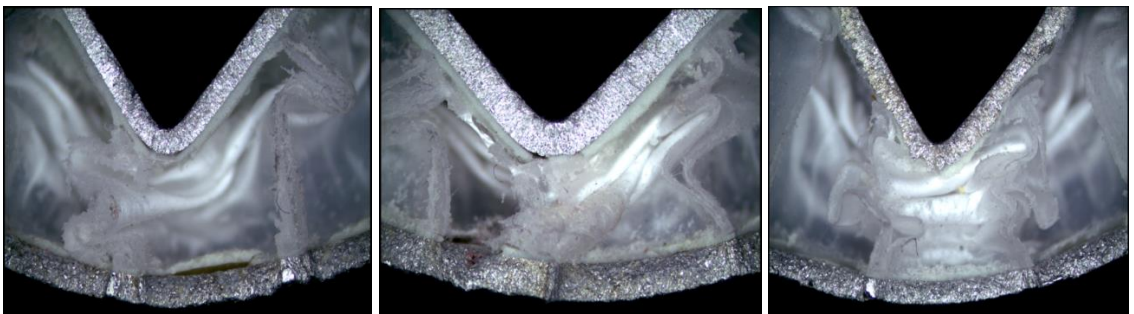
Şekil 4. 5 Yapıştırıcı tipi saf epoksi olan sandviç yapıların 3 nokta eğme deneyi sonucu mikroskopik görüntüleri **a)** Levha kalınlığı=0.75 mm, **b)** Levha kalınlığı=1mm, **c)** Levha kalınlığı=1.5 mm

Şekil 4.5'te eğme deneyi sonucunda sandviç yapılarda meydana gelen tahribatların optik mikroskop görüntüleri bulunmaktadır. Görüntülerde (a) ve (b) olarak ifade edilen sandviç yapıların bal peteği çekirdek kısımlarında yırtılmalar meydana geldiği görülmektedir. (c) ile ifade edilen görüntüde ise çekirdek yapıda yırtılma meydana gelmemiştir. Bu sandviç yapının yüzey levhasının daha kalın olması eğme deneyinde uygulanan kuvvetin çekirdek yapıya nüfuz etmesini engellemiştir. Dolayısıyla çekirdek malzeme daha az tahribata uğramıştır.



Şekil 4. 6 Yapıştırıcı tipi aynı, yüzey pürüzlülük değeri ve levha kalınlıkları farklı olan sandviç yapıların eğme dayanımları grafiği

Diğer bir yapıştırıcı çeşidi olan TiO₂ ilave edilmiş epoksi kullanılarak oluşturulan sandviç yapılara ait eğme dayanımları Şekil 4.6'daki grafikte gösterilmiştir. Yüzey levhalarının kalınlığı 1.5 mm olan sandviç yapının eğme dayanımı 1242.1 N'dur. 1 mm levha kalınlıklarına sahip olan sandviç yapının eğme dayanımı ise 965.9 N olarak ölçülmüştür. Levha kalınlıkları 0.75 mm olan sandviç yapının eğme dayanımı ise 902.1 N'dur (Şekil 4.6).



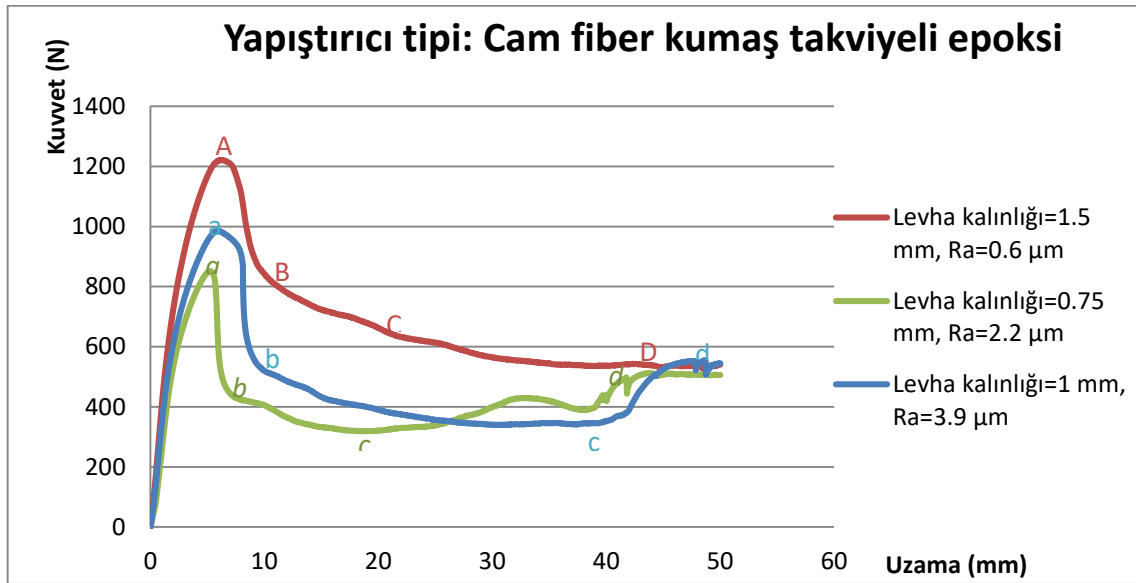
(a)

(b)

(c)

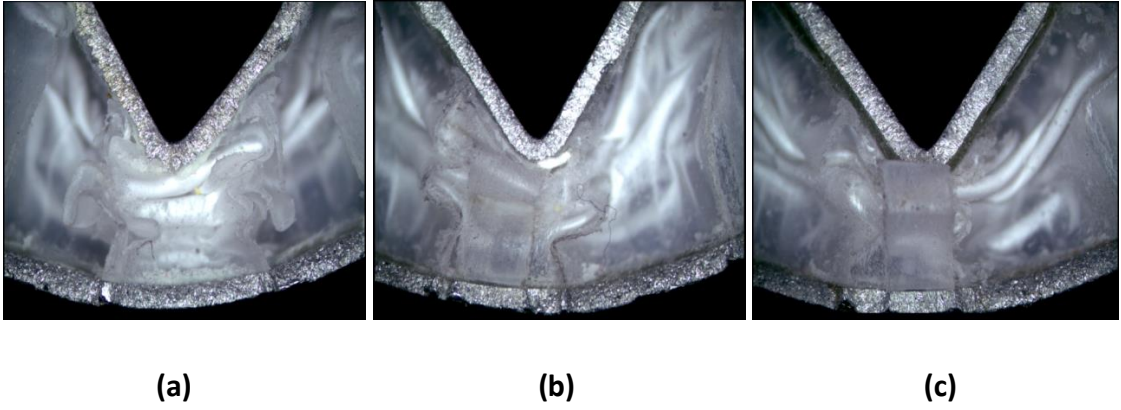
Şekil 4. 7 Yapıştırıcı tipi TiO₂ ilave edilmiş epoksi olan sandviç yapıların 3 nokta eğme deneyi sonucu mikroskobik görüntüleri **a)** Levha kalınlığı=1 mm, **b)** Levha kalınlığı=1.5 mm, **c)** Levha kalınlığı=0.75 mm

Saf epoksi içerisine TiO_2 ilave edilmiş yapıştırıcının kullanılmasıyla meydana getirilen sandviç yapıların eğme deneyi sonucu görüntüleri Şekil 4.6'da incelenmiştir. Saf epoksi içerisine ağırlıkça %5 oranında TiO_2 ilavesi sandviç yapının dayanımında artış meydana getirmiş ve çekirdek yapıların daha az deforme olmasını sağladığı görülmüştür. TiO_2 'in saf epoksi içerisine ilavesi sonucu epoksi yapıştırıcının mekanik özelliklerinde iyileşme meydana gelmiş, tabakalar arası adhezyon kuvvetini artırmış ve bu sayede sandviç yapı tek bir parça gibi davranmıştır. Şekil 4.7'deki sandviç yapılar incelendiğinde çekirdek yapılarda herhangi bir yırtılma meydana gelmediği görülmektedir.



Şekil 4. 8 Yapıştırıcı tipi aynı, yüzey pürüzlülük değeri ve levha kalınlıkları farklı olan sandviç yapıların eğme dayanımları grafiği

Yüzey levhaları ile çekirdek yapı arasına cam fiber kumaş eklenerek birbirlerine yapıştırılmasıyla meydana getirilen sandviç yapıların eğme dayanımları Şekil 4.8'de görülmektedir. Levha kalınlıkları 1.5 mm olan sandviç yapının eğme dayanımı 1221.3 N'dur. 1 mm levha kalınlıklarına sahip sandviç yapının eğme dayanımı ise 985.4 N'dur. Levha kalınlıkları 0.75 mm olan sandviç yapının eğme dayanımı ise 851.9 N olarak ölçülmüştür.

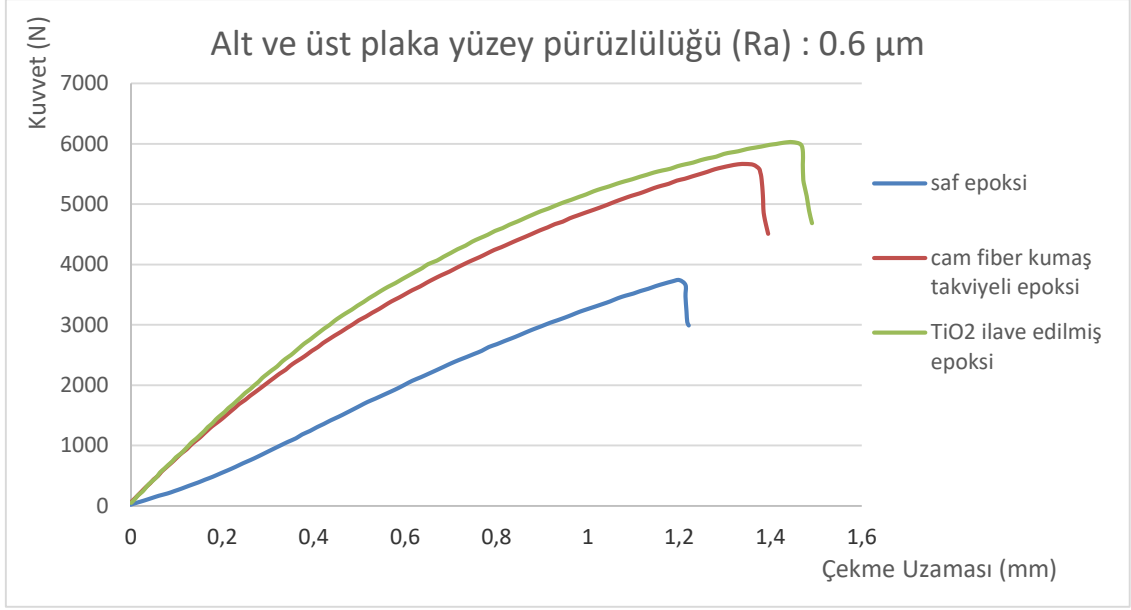


Şekil 4. 9 Yapıştırıcı tipi cam fiber kumaş takviyeli epoksi olan sandviç yapıların 3 nokta eğme deneyi sonucu mikroskobik görüntüleri **a)** Levha kalınlığı=1.5 mm, **b)** Levha kalınlığı=0.75 mm, **c)** Levha kalınlığı=1 mm

Cam fiber kumaş takviye edilerek oluşturulan sandviç yapıların eğme deneyi sonucu meydana gelen görüntüleri Şekil 4.9'da görülmektedir. Bu sandviç yapılarda da eğme deneyi sonucunda çekirdek yapılarında daha az deformasyon olduğu görülmektedir. Cam fiberlerin yüksek mukavemeti plaka ve çekirdeğin ara yüzeyinin sertleşip güçlenmesini sağlamıştır [30].

4.2 Çekme Deneyi Sonuçları

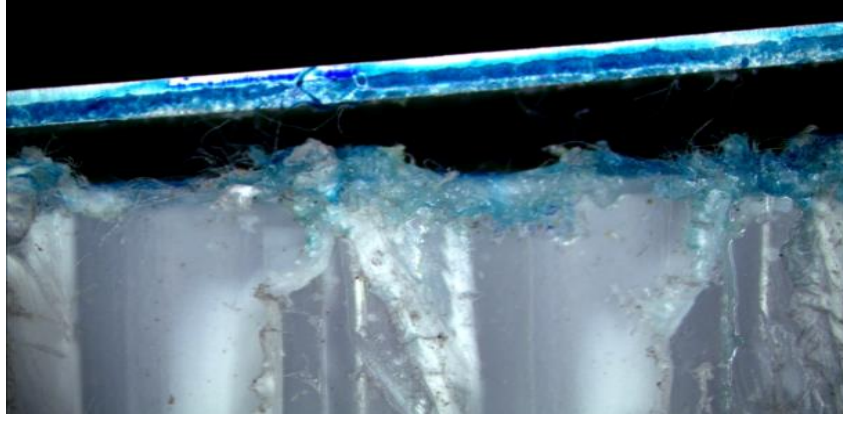
Çekme deneyinde özellikle sandviç yapıyı meydana getiren katmanlar arasında adhezyonu sağlayan yapıştırıcıların farklılıkları, alt ve üst plakadaki pürüzlülük değerlerinin sandviç yapının dayanımına olan etkileri test edilmiştir.



Şekil 4. 10 Yüzey pürüzlülüğü değeri (Ra): 0.6 μ m olan farklı tip yapıştırıcılarla oluşturulmuş sandviç yapıların çekme dayanımlarının karşılaştırılması

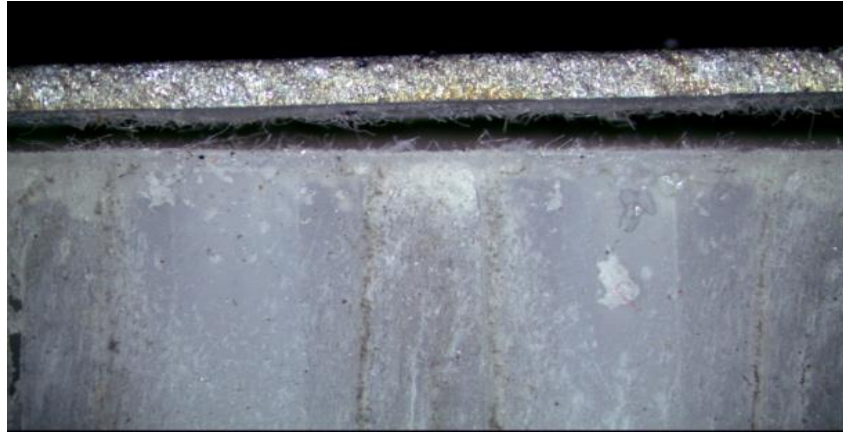
Şekil 4.10'da görüldüğü üzere, yapıştırıcı tipi saf epoksi olan sandviç yapının maksimum çekme dayanımı 3740.45 N, buna karşılık gelen çekme uzaması 1.22 mm'dir. Cam fiber kumaş takviye edilmiş epoksi kullanılarak yapılan sandviç yapının maksimum çekme dayanımı 5664.68 N, çekme uzaması 1.40 mm'dir. TiO₂ ilave edilmiş epoksi kullanılarak oluşturulan sandviç yapının maksimum çekme dayanımı 6025.96 N, çekme uzaması ise 1.49 mm'dir.

Sandviç yapıya uygulanan çekme kuvveti sonucunda alüminyum plakalar ile çekirdek yapı arasında birbirinden ayrılmalar meydana gelmiştir. Optik mikroskop altında ayrılma yüzeyleri incelendiğinde çekme kuvvetinin yüzeylere ve yapıştırıcıya verdiği deformasyon görülmektedir. Çekme deneyi sonucunda polipropilen çekirdek malzemenin lifler halinde plakalara yapışmış olarak kaldığı gözlemlenmiştir.



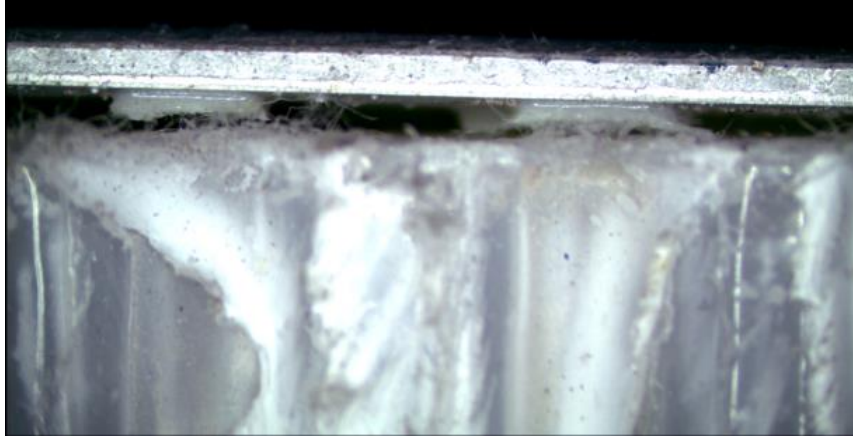
Şekil 4. 11 Saf epoksi ile oluşturulan sandviç yapının çekme testi sonucunda ayrılma yüzeyinde meydana gelen deformasyonlar

Saf epoksi yapıştırıcı kullanılarak oluşturulmuş sandviç yapı diğerlerine göre çekme dayanımı en düşük malzemedir. Dolayısıyla çekme testi sonucunda polipropilen çekirdek malzemeden plakalara yapışmış olan lifler oldukça azdır (Şekil 4.11).



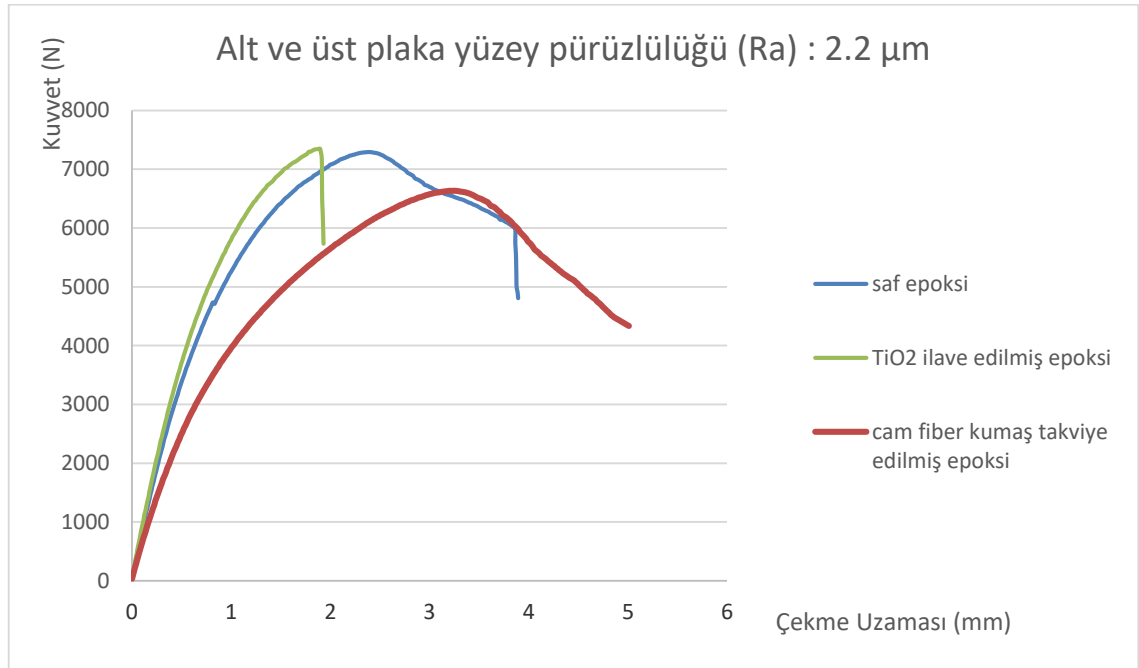
Şekil 4. 12 Cam fiber kumaş takviyeli epoksi ile oluşturulan sandviç yapının çekme testi sonucunda ayrılma yüzeyinde meydana gelen deformasyonlar

Epoksi yapıştırıcıya ilave olarak eklenen cam fiber kumaş sandviç yapının çekme dayanımını artırmıştır. Dolayısıyla polipropilen çekirdek yapının plakalardan ayrılması sonucunda plaka yüzeyinde kalan lif miktarında önemli bir artış gözlemlenmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4. 13 TiO_2 ilave edilmiş epoksi ile oluşturulan sandviç yapının çekme testi sonucunda ayrılma yüzeyinde meydana gelen deformasyonlar

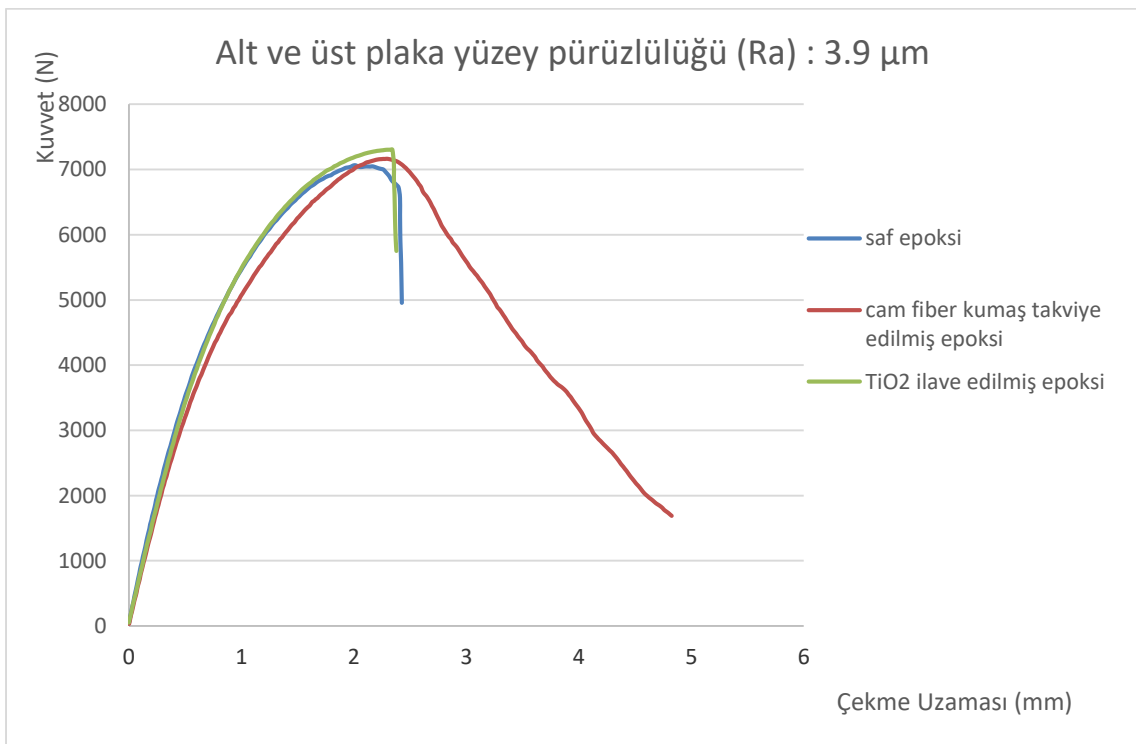
Epoksi yapıştırıcı içerisine %5 oranında TiO_2 ilave edilmesi sonucu oluşturulan sandviç yapı, en fazla çekme dayanımını göstermiştir. Deney sonucunda plaka yüzeylerinde polipropilen liflerinin kalmasının yanı sıra ara ara yapıştırıcı tabakalarının oluştuğu ve bu tabakalardan kopmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 4. 14 Yüzey pürüzlülüğü değeri (R_a): 2.2 μm olan farklı tip yapıştırıcılarla oluşturulmuş sandviç yapıların çekme dayanımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.14'teki grafikte görüldüğü üzere yüzey pürüzlülüğü değeri artırılan sandviç yapıların çekme dayanımları artmıştır. Deney sonucunda en fazla dayanıma sahip olduğu

gözlemlenen TiO_2 ilave edilmiş epoksi yapıştırıcılı sandviç yapının maksimum çekme kuvveti 7346.36 N, çekme uzaması 1.93 mm'dir. Plakaların yüzey pürüzlülüğü arttırıldığında saf epoksi yapıştırıcı kullanılarak oluşturulan sandviç yapının çekme dayanımında ciddi bir artış meydana gelmiştir. Saf epoksi yapıştırıcılı sandviç yapının maksimum çekme kuvveti 7290.06 N, çekme uzaması 3.90 mm'dir. Cam fiber kumaş takviyeli epoksi yapıştırıcı kullanılarak oluşturulan sandviç yapının maksimum çekme kuvveti ise 6635.45 N değerine yükselmiştir. Buna karşılık gelen çekme uzaması ise 8.13 mm olarak tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değeri arttıkça yalnızca çekme dayanımı artmamış, çekme uzaması miktarında da artış gözlenmiştir.



Şekil 4. 15 Yüzey pürüzlülüğü değeri (Ra): 3.9 µm olan farklı tip yapıştırıcılarla oluşturulmuş sandviç yapıların çekme dayanımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.15'teki grafikteki değerlere bakıldığında TiO_2 ilave edilmiş epoksi yapıştırıcılı sandviç yapının maksimum çekme kuvveti 7305.27 N, çekme uzaması ise 2.38 mm olduğu görülmektedir. 2. olarak en fazla dayanıma sahip olduğu gözlemlenen cam fiber kumaş takviye edilmiş epoksi yapıştırıcılı sandviç yapının maksimum çekme kuvveti 7166.25 N, çekme uzaması 4.83 mm'dir. Saf epoksi yapıştırıcılı sandviç yapının maksimum dayanımı ise 7064.58 N, çekme uzaması 2.43 mm'dir. Plakaların yüzey

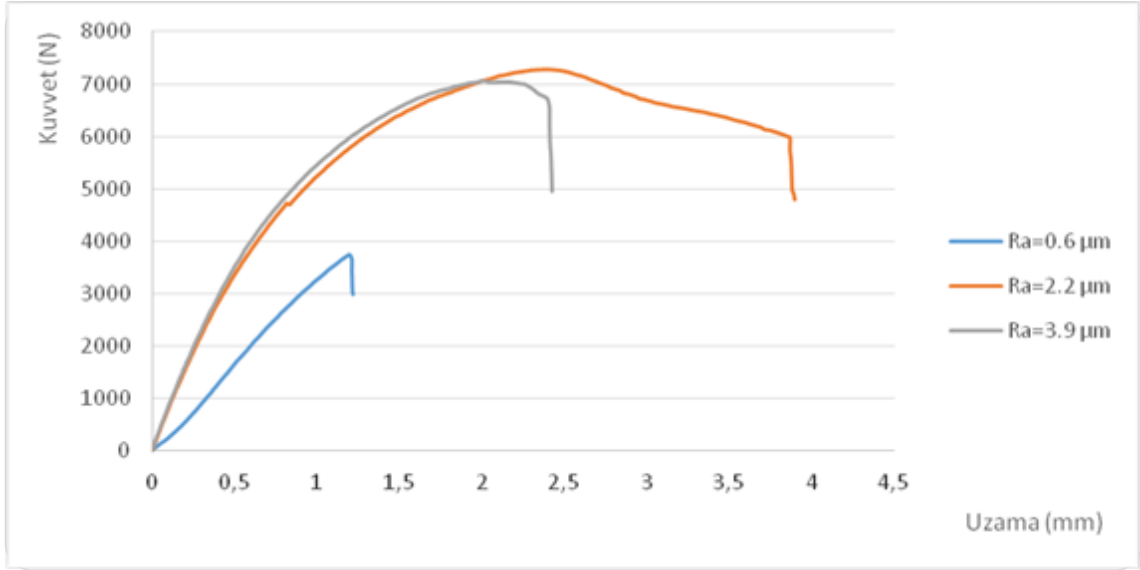
pürüzlülüğü belli bir değeri aştığında çekme dayanımına olan olumlu etkisi azalmaktadır. Nitekim yüzey pürüzlülüğü değeri 2.2 μm 'den 3.9 μm 'ye çıkarıldığında sandviç yapıların çekme dayanımlarındaki artış durmuştur. Bunun sebebi, artan pürüzlülük değerlerinin fazlası miktarda yapıştırıcı ile dolmasına bağlı olarak, asıl yük taşıyan kohezyon tabakasını inceltmesinden kaynaklanmaktadır.

Şekil 4.14 ve 4.15'teki grafikler incelendiğinde saf epoksi ve TiO_2 ilave edilmiş epoksi ile yapılan sandviç yapılar çekme kuvveti sonucu pik noktasına kadar uzamış ve bu noktada sonlanmıştır. Ancak cam fiber kumaş takviyeli epoksi yapıştırıcı ile yapılan sandviç yapı ise diğer sandviç yapılara göre daha fazla uzamıştır. Yüzey pürüzlülüğü değeri 0.6 μm 'den 2.2 μm 'ye çıkarıldığında cam fiber kumaş takviyeli epoksi yapıştırıcı ile yapılmış sandviç yapının çekme uzaması %580 oranında artış göstererek 1.40 mm'den 8.13 mm'ye çıkmıştır. Her pürüzlülük değerindeki sonuçlar dikkate alındığında, epoksi yapıştırıcı, cam fiber dokuma kumaş ile birlikte kullanıldığında, sandviç yapının uzamasında ciddi oran artışlar görülmüştür. Bunun sebebi, TiO_2 içeren epoksi yapıştırıcının, titan dioksitten ötürü çok daha gevrek bir yapı gösterirken, dokuma kumaşa emdirilmiş epoksinin uzama kabiliyetinin çok daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

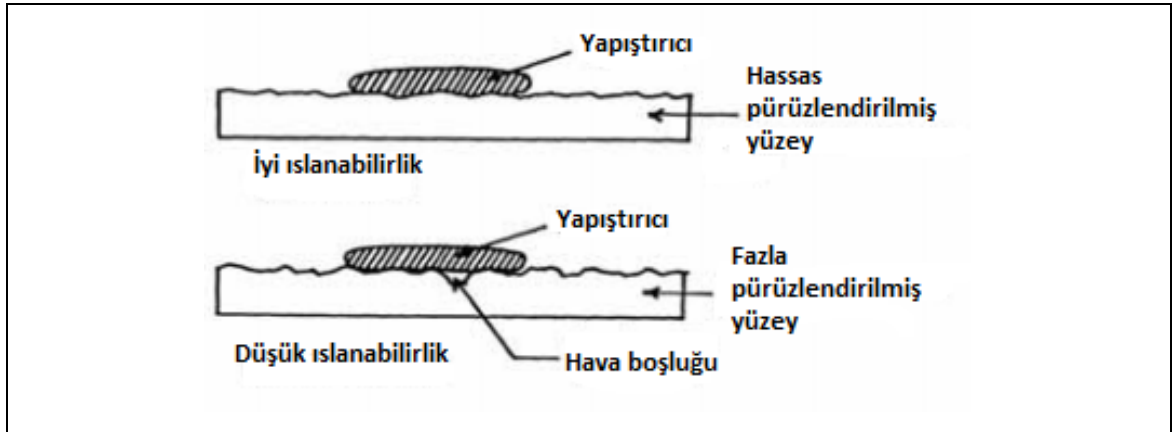
Yüzey pürüzlülüğü değeri 0.6 μm 'den 2.2 μm 'ye çıkarıldığında çekme dayanımı 3740 N'dan 7290 N'a yükselmiştir. Pürüzlülük değerinin artırılması olumlu etki etmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün az olduğu (parlak) yüzeylerde, yapıştırıcının tutunma kapasitesi azaldığı için mukavemet değeri düşmektedir [13]. Pürüzlülük değeri 0.6 μm 'den 2.2 μm 'ye çıkarıldığında yapıştırıcının tutunma kapasitesi ve yüzey yapışma alanı arttığından dolayı çekme dayanımı artış göstermiştir.

Aynı yapıştırıcı (saf epoksi) kullanılıp, sadece pürüzlülük değerleri değiştiğinde, elde edilen çekme testi eğrileri Şekil 4.16' da verilmiştir. Alüminyum plakalardaki pürüzlülük değeri 2.2 μm ' nin üzerinde olduğunda, sandviç yapının çekme dayanımında azalma görülmüştür. Ancak, pürüzlülük değeri 3.9 μm olduğunda, bu azalma oldukça belirginleşmiş olup, yapının çekme dayanımı 7064 N'a düşmüştür (Şekil 4.16). Fazla olan pürüzlülük değerleri yapışma bölgesini iki farklı yönden zayıflatır. Birincisi, daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, pürüzlülük arttıkça, bu bölgelere daha çok yapıştırıcı yerleşebilecek ve yapışma bölgesini (kohezyon) inceltecektir. İkinci bir etki ise,

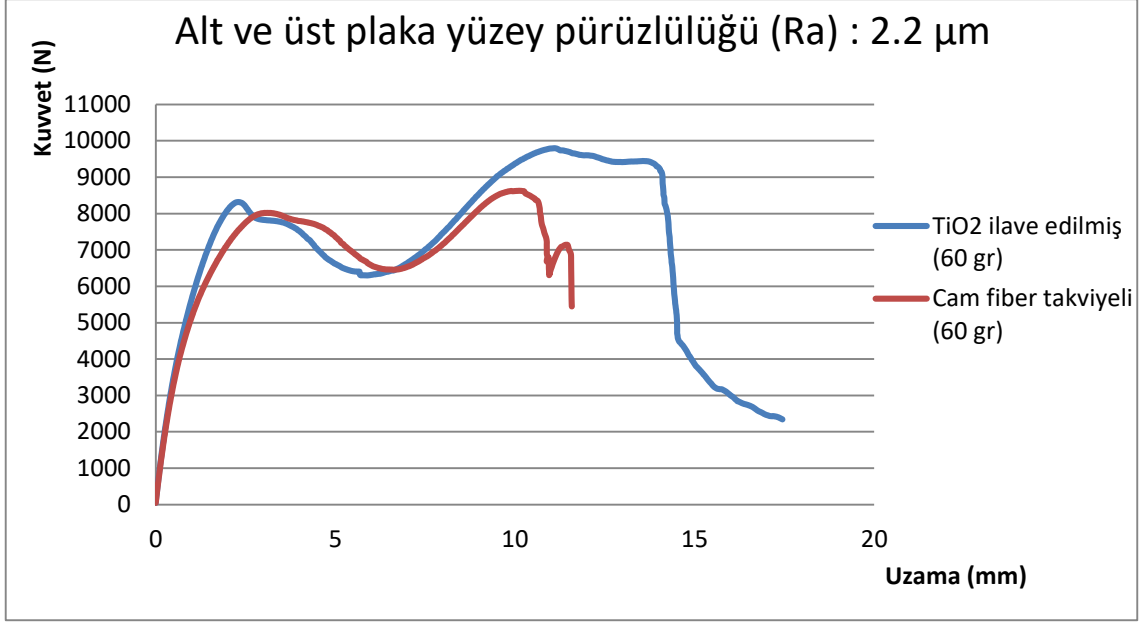
pürüzlülük değeri yüksek olan yüzeyler, bağlantıda boşluklar oluşturacağından dayanımı olumsuz yönde etkiler. Ayrıca bu durum sonucunda ıslanabilirlik (yapıştırıcının yüzeyi kaplama kabiliyeti) iyi olmayabilir ve girintilerde sıkışan hava kürleşen yapıştırıcı içinde kalabilir (Şekil 4.17) [13].



Şekil 4. 16 Farklı yüzey pürüzlülüğü değerlerine sahip, saf epoksi yapıştırıcı ile hazırlanmış sandviç yapıların çekme dayanımları karşılaştırılması



Şekil 4. 17 Yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak ıslanabilirlik [13]



Şekil 4. 18 Yapıştırıcı miktarı artırılarak oluşturulmuş sandviç yapıların çekme dayanımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.18’de yüzeylere sürülen yapıştırıcı miktarının 30 gr’dan 60 gr’a çıkarılmasıyla oluşturulan sandviç yapıların çekme dayanımları karşılaştırılmıştır. TiO₂ ilave edilmiş sandviç yapının çekme kuvveti 9796.07 N, çekme uzaması ise 17.44 mm’dir. Yapıştırıcı ağırlığının artırılmasıyla Şekil 4.15’teki teste göre TiO₂ ilaveli sandviç yapının çekme dayanımında %33.3’lük bir artış meydana gelmiştir. Cam fiber takviyeli sandviç yapının çekme kuvveti 8624.95 N, çekme uzaması ise 11.58 mm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.14’teki teste göre cam fiber takviyeli sandviç yapının çekme dayanımında %18.3’lük bir artış görülmektedir. Kullanılan yapıştırıcı miktarının artırılması; tabakalar arası adhezyon kuvvetini artırmış, ara yüzeyi daha mukavim hale getirmiş ve böylece sandviç yapının mekanik dayanımını artırmıştır. Ancak, bu artış sağlanırken, sandviç yapının ağırlığının da artacağı göz önüne alınması gerekmektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Polimer çekirdekli sandviç yapılar, hem hafiflik hem de yük taşıma kabiliyetlerinden ötürü birçok farklı uygulama alanlarında kullanılabilir. Bu çalışmada, uygulaması literatürde daha az görülmüş olan polipropilen bal peteği çekirdekli yapıların özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Elde edilen sandviç yapılarda dış yüzey plakalarının kalınlığı arttıkça, yapıların mukavemeti de artış göstermektedir. Eğme deneyindeki grafikler incelendiğinde levha kalınlığı 0.75 mm'den 1.5 mm'ye çıkarıldığında eğme dayanımı 806 N'dan 1225 N'a kadar artmıştır. Bu da sandviç yapılar oluşturulurken kullanılan yüzey plakaların kalınlıklarının önemini ortaya koymaktadır. Deneyde kullanılan yüzey plakalarının ölçüleri göz önüne alındığında yüzey plakaların kalınlığı 0.75 mm'den 1.5 mm'ye çıkarıldığında sandviç yapının ağırlığında 303.75 gr'lık bir artış meydana gelmiştir. Ağırlık/dayanım oranı düşünüldüğünde yüzey plakaların belli bir orana kadar artırılmasının uygun olduğu görülmektedir. Dolayısıyla sandviç yapının kullanılacağı uygulama alanına göre, önceden belirlenmiş maksimum ağırlık sınırı içerisinde kalacak kalınlıkta yüzey plaka kullanılmalıdır.

Aynı yüzey levhalar ve aynı çekirdek yapı kullanılarak oluşturulan sandviç yapıların birbirinden farklı dayanımlara sahip olması mümkündür. Yapılan deneylerin sonucunda elde edilen grafikler incelendiğinde yüzey levhaları ile çekirdek yapıyı birbirine bağlayan yapıştırıcı çok büyük önem arz etmektedir. Sandviç yapıların büyük bir bölümünde

yapıştırıcı olarak epoksi kullanılmaktadır. Saf haldeki epoksi içerisinde mikro boyutta TiO_2 partikül ilave edilmesi sonucu hem eğme hem de çekme dayanımında önemli bir artış sağlanmıştır. Mekanik dayanımı iyileştirmenin diğer bir yöntemi ise yüzey levhaları ile çekirdek yapı arasına cam fiber kumaş yerleştirilerek yapıştırılmasıdır. Saf epoksinin dayanımı 3740 N, cam fiber kumaş takviyeli epoksinin dayanımı 5664 N ve TiO_2 ilave edilmiş epoksi yapıştırıcının dayanımı 6025 N olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar neticesinde epoksi yapıştırıcı içerisinde TiO_2 ilave edilmesi sonucu dayanım %61 ve cam fiber kumaş takviyesi sonucu ise %51 oranında artırmıştır. Ancak TiO_2 'nin ısı iletkenliğinin iyi olmaması sebebiyle, özellikle ısının iletilmesi gereken yerlerde yapıştırıcı içerisinde başka güçlendirici malzemeler kullanılabilir.

Sandviç plakayı meydana getiren unsurlardan olan yüzey plakaların kalınlıkları kadar önemli diğer bir faktör ise yapıştırıcının uygulandığı yüzeyin pürüzlülük değeridir. Yüzey pürüzlülüğü ($Ra:0.6 \mu m$) olan plakalarla yapılmış sandviç yapının çekme dayanımı 3740 N olarak tespit edilmiştir. Pürüzlülük değeri bir kademe arttırıldığında ($Ra:2.2 \mu m$) çekme dayanımında %95'lik bir artış meydana gelerek 7290 N ölçülmüştür. Bu da adhezyon kuvvetini artırarak sandviç yapıyı çekmeye karşı daha dayanıklı bir hale getirmiştir. Son olarak yüzey pürüzlülüğü ($Ra:3.9 \mu m$) olan plakalarla meydana getirilen sandviç yapı çekmeye maruz bırakıldığında dayanımı yüzey pürüzlülüğü ($Ra:2.2 \mu m$) olan sandviç yapıya göre %3 oranında düşerek 7064 N olmuştur. Yüzey pürüzlülüğü değerinin ideal olarak $2.2 \mu m$ olduğu görülmüştür ve bu da literatürdeki sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Gelecek çalışmalara öneri olarak, farklı bileşenlerdeki yapıştırıcılar kullanılabilir, sandviç yapının kullanılacağı uygulama alanına göre yapıştırıcı için farklı takviyeler kullanılabilir. Örneğin, ısı iletimini arttırmak amacıyla, epoksiye takviye olarak demir tozu veya yüksek ısı iletiminin yanı sıra yüksek mekanik dayanım da verebilecek olan karbon esaslı takviyeler (karbon nano tüp, grafen vb.) kullanılabilir. Sandviç yapının yük taşıma kabiliyetini ve tabakalar arası adhezyonu arttırmak için, farklı dokuma tiplerinde cam veya karbon dokuma kumaşlar tercih edilebilir. Literatürdeki deneysel çalışmalarda, çekirdek malzeme olarak, polipropilen bal peteğinden daha yüksek mekanik dayanıma sahip kevların çok fazla kullanıldığı görülmüştür. Ancak bu malzemenin maliyetli olması, kullanımını daraltsa da, uçak ve benzer hava araçlarında kullanılması uygun olacaktır.

Polipropilen bal peteği yapı ise, daha düşük yük taşıma kapasitesine karşın, daha ekonomik olmasından ötürü tercih edilebilir. Polipropilen çekirdek ile elde edilen yapılan mekanik özellikleri ise, bu tez çalışmasında olduğu gibi, farklı uygulama şekilleri ile arttırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Tarakçılar, A.R., Topçu, M. ve Taşgetiren, S. (1995). "Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri", Mühendis ve Makine, Cilt 36:422.
- [2] Bitzer, T.N., (1997). Honeycomb Technology, Materials, Design, Manufacturing, Applications and Testing, Chapman&Hall.
- [3] Yiğit, A., (2010), Petek Yapılı Sandviç Yapıların Dinamik Özelliklerinin İncelenmesi.
- [4] Ekmekçi, Ö., Temel, B. ve Geyik, B., (2010). www.oubs.iu.edu.tr/doc/419.ppt.
- [5] Marancı, Ş., (2009). Metal Plastik Birleştirmelerde Ara Yüzey İncelemeleri, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [6] Sönmez, B., (2007). "Uçak Yapılarında Kompozit Malzeme Kullanımı", Mühendis ve Makine, Cilt 39:465.
- [7] Aydınçak, I., (2007). "Investigation of Design and Analysis Principles of Honeycomb Structures", Yüksek Lisans Tezi, METU, Ankara.
- [8] Yavuz, İ., (2010), Metalik Köpük Malzemeler ve Uygulamaları, www.teknolojikarastirmalar.com.
- [9] Cabrera, N.O., Alcock, B. ve Peijs, T., (2008). "Design and manufacture of all-PP sandwich panels based on co-extruded polypropylene tapes", Composites, 1183-1195.
- [10] Tiganis, B.E., Shanks, R.A. ve Long, Y., (1996). "Effects of processing on the microstructure melting behaviour and melting temperature of polypropylene", J Appl Polym Sci, 59: 663-671.
- [11] Gonzalez-Gonzalez, V.A., Neira-Velazquez, G. ve Angulo-Sanchez, J.L., (1998). "Polypropylene chain scission and molecular weight changes in multiple extrusion", Polym Degrad Stabil, 60: 33-42.
- [12] Brydson, J., (1999). Plastics materials, Butterworth.

- [13] Şekercioğlu, T. ve Özenç, M., (2012). "Metallerin yapıştırılmasında yüzey hazırlama yöntemlerinin incelenmesi", TMMOB MMO Mühendis ve Makine Dergisi, 53(627): 43-50.
- [14] Carothers, W.H. ve Hill, J.W., (1932). "Studies of polymerization and ring formation. XV. Artificial fibres from synthetic linear condensation superpolymers", J Am Chem Soc, 54: 1579-1587.
- [15] Takayanagi, M., Imada, K. ve Kajiyama, T., (1966). "Mechanical properties of fine structures and drawn polymers", J Polym Sci, part C, 15(C): 263-281.
- [16] Aharoni, S.M., Sibilis, J.P., (1979). "Crystalline transitions and the solid state extrusion of polymers". J Appl Polym Sci, 23: 133-140.
- [17] Aharoni, S.M., Sibilis J.P., (1979). "On the conformational behavior and solid-state extrudability of crystalline polymers", Polym Eng Sci, 19(6): 450-455.
- [18] Wills, A.J., Capaccio, G. ve Ward, I.M., (1980). "Plastics deformation of polypropylene: effect of molecular weight on drawing behavior and structural characteristics of ultra-high modulus product", J Polym Sci Polym Phys Ed, 18: 493-509.
- [19] Yamada, K., Kamezawa, M. ve Takayanagi, M., (1981). "Relationship between orientation of amorphous chains and modulus in highly oriented polypropylene", J Appl Polym Sci, 26: 49-60.
- [20] Takayanagi, M. ve Yamada, K., (1982). "Analysis of zone-drawing process in preoriented polypropylene", J Appl Polym Sci, 27: 2091.
- [21] Burke, P.E., Weatherley, G.C. ve Woodhams, R.T., (1987). "Uniaxial roll-drawing of isotactic polypropylene sheet", Polym Eng Sci, 27(7): 518-523.
- [22] Yang, J., Chaffey, C.E. ve Vancso, G.J., (1994). "Structure transitions and mechanical properties of polypropylene oriented by roll-drawing", Plast Rub Compos Process Appl, 21(4): 201-210.
- [23] Loos, J., Schimanski, T., Hofman, J., Peijs, T. ve Lemstra, P.J., (2001). "Morphological investigation of polypropylene single-fibre reinforced polypropylene model composites", Polymer, 42: 3827-3834.
- [24] Bartczak, Z., Morawiec, J. ve Galeski, A., (2002). "Structure and properties of isotactic polypropylene oriented by rolling with side constraints", J Appl Polym Sci, 86: 1453-1525.
- [25] Yahaya, M.A., Ruan, D., Lu, G. ve Dargusch, M.S., (2015). "Response of aluminium honeycomb sandwich panels subjected to foam projectile impact", International journal of Impact Engineering, 75: 100-109.
- [26] Shi, S., Sun, Z., Hu, X. ve Chen, H., (2014). "Flexural Strength And Energy Absorption of Carbon-fiber Aluminum Honeycomb Composite Sandwich Reinforced by Aluminum Grid", Thin Walled Structures, 84: 416-422.
- [27] Gilioli, A., Sbarufatti, C., Manes, A. ve Giglio, M., (2014). "Compression after impact test (CAI) on Nomex honeycomb sandwich panels with thin aluminium skins", International journal of Impact Engineering, 67: 313-325.

- [28] Shi, S., Sun, Z., Hu, X.Z. ve Chen, H.R., (2014). "Carbon-fiber and aluminium-honeycomb sandwich composites with and without Kevlar-fiber interfacial toughening", International journal of Impact Engineering, 67: 102-110.
- [29] Mujika, F., Pujana, J. ve Olave M., (2011). "On the determination of out-of-plane elastic properties of honeycomb sandwich panels", International journal of Impact Engineering, 30: 222-228.
- [30] Du, Y., Yan, N. ve Kortschot, M.T., (2013). "An experimental study of creep behaviour of lightweight natural fiber-reinforced polymer composite/honeycomb core sandwich panels", International journal of Impact Engineering, 106: 160-166.
- [31] Akatay, A., Bora, M.Ö., Çoban, O., Fidan, S. ve Tuna, V., (2015). "The influence of low velocity repeated impacts on residual compressive properties of honeycomb sandwich structures", International journal of Impact Engineering, 125: 425-433.
- [32] Crupi, V., Epasto, G. ve Guglielmino, E., (2012). "Collapse modes in aluminium honeycomb sandwich panels under bending and impact loading", International journal of Impact Engineering, 43: 6-15.
- [33] Balcı, O., Çoban, O., Bora, M.Ö., Akagündüz, E. ve Yalçın, E.B., (2017), "Experimental investigation of single and repeated impacts for repaired honeycomb sandwich structures", International journal of Impact Engineering, 682: 23-30.
- [34] Kim, K.J., Kim, D., Choi, S.H., Chung, K., Shin, K.S., Barlat, F., Oh K.H. ve Youn, J.R., (2003). "Formability of AA5182/polypropylene/AA5182 sandwich sheets", Journal of materials processing technology, 139: 1-7.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet Emin SÖNMEZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.06.1990 – İzmit
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : m.e.sonmez@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2013
Lise	Fen	İzmit Anadolu Lisesi	2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013 -	Tevfik Kopuz Makine İmalatı	Makine Mühendisi

YAYINLARI

Makale

1. Sönmez, M.E. ve Altan M., (2016). "Improving Bending Behavior of Sandwich Structures with Polypropylene Honeycomb Structures", Journal of Thermal Engineering, 259-261.