

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİÜRETAN YÜZLÜ KOMPOZİT SANDVIÇ
KİRİŞLERİN YAPISAL ANALİZ VE TESTLERİ**

Özerk YILDIRIM

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KASIM 2018

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİÜRETAN YÜZLÜ KOMPOZİT SANDVIÇ
KİRİŞLERİN YAPISAL ANALİZ VE TESTLERİ**

Özerk YILDIRIM

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KASIM 2018

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİÜRETAN YÜZLÜ KOMPOZİT SANDVIÇ
KİRİŞLERİN YAPISAL ANALİZ VE TESTLERİ**

Özerk YILDIRIM

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Bu tez, Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri (BAP) tarafından
FYL-2016-1424 nolu proje ile desteklenmiştir.**

KASIM 2018

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİÜRETAN YÜZLÜ KOMPOZİT SANDVIÇ
KİRİŞLERİN YAPISAL ANALİZ VE TESTLERİ

Özerk YILDIRIM

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

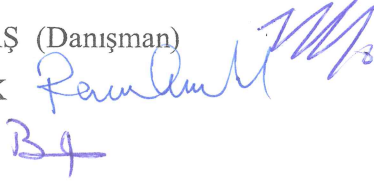
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 23/11/2018 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ (Danışman)

Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Dr. Öğr. Üyesi Bayram ER

The image shows three handwritten signatures in blue ink. The first signature is a large, stylized 'M' with a horizontal line above it. The second signature is a cursive signature that appears to be 'Ramazan Ozcelik'. The third signature is a cursive signature that appears to be 'Bayram ER'.

ÖZET

CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİÜRETAN KOMPOZİT YÜZLÜ SANDVIÇ KİRİŞLERİN YAPISAL ANALİZ VE TESTLERİ

Özerk YILDIRIM

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

Kasım 2018; 29 sayfa

Bu tez çalışmasında, cam elyaf takviyeli poliüretan kompozit yüzeylere sahip kompozit sandviç kirişler üretilerek, 3 nokta eğilme testleri yapılmıştır. Ayrıca, çekirdek malzeme kayma parametrelerinin belirlenmesi için deneysel çalışmalar yapılmış ve basit analitik formüllerle malzemenin yapısal özelliklerinin ve sandviç kirişlerin göçme yüklerinin belirlenmesi konusu da incelenmiştir. Elde edilen neticeler poliüretan reçinenin matris malzemesi olarak kullanımının, sağlık, uzun ömürlülük, ekonomiklik ve uygulanabilirlik yönünden uygun olduğu yönündedir. Çekirdeği cam elyaf takviyeli üretilen kompozit sandviç kirişler, çekirdek köpük olarak üretilen kirişlere göre gözle görülür bir dayanım artışı sağlamıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Cam Elyaf, Galvaniz, Güçlendirilmiş, Kiriş, Kompozit, Poliüretan Tutkal, Sandviç.

JÜRİ: Doç. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Dr. Öğr. Üy. Bayram ER

ABSTRACT

GLASS FIBER REINFORCED POLYURETHANE COMPOSITE SURFACE SANDWICH BEAMS STRUCTURAL ANALYSIS AND TESTS

Özerk YILDIRIM

MSc Thesis in Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

November 2018; 29 pages

In this thesis, composite sandwich beams with glass fiber reinforced polyurethane composite surfaces are produced and 3 point bending tests were performed. In addition, an experimental study was carried out to determine the core material shear parameters and the determination of the structural properties of the material and the shear stresses of the sandwich beams with simple analytical formulas was also investigated. The results obtained indicate that the use of polyurethane resin as a matrix material is appropriate for health, longevity, economy and applicability. Composite sandwich beams made of glass fiber reinforced core provide a visible increase in strength compared to beams produced as core foam.

KEYWORDS: Beam, Composite, Galvanized, Glass Fiber, Polyurethane Adhesive, Reinforced, Sandwich.

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

Assoc. Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Assist. Prof. Dr. Bayram ER

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tezimi yöneten ve çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, yol gösteren, Lisans eğitimimden başlayarak Akademik hayatımda geldiğim noktaya kadar desteğini her zaman gördüğüm, Danışmanım Doç. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ'a,

Bugünlerimi borçlu olduğum, beni her zaman destekleyen ve güç veren, benim için her zaman orada olduklarını bildiğim, canım annem Nurten ve babam Kemalettin YILDIRIM'a,

Tezimi yazdığım zorlu süreçte, her zaman desteğini yanımda hissettiğim sevgili eşime, Rüya'ma,

Projemize gösterdikleri tüm desteklerden dolayı Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine,

Yüksek Lisans eğitimim sırasında, çalışmalarımı yapabilmemde gerekli zamanı yaratmamı sağlamada yardımcı olan, desteklerini esirgemeyen, İnşaat Mühendisleri Odası Antalya Şubesi Yönetim Kurulu'na ve değerli mesai arkadaşlarıma,

Ve

Tezimi sonlandırdığım bu güzel günlerde, varlığının müjdesini henüz haber aldığım, Yüksek Mühendis ünvanımın yanında, edinebileceğim en harika unvan olan "BABA" olacağımı müjdeleyen ve beni dünyanın en mutlu insanı yapan, Çocuğuma,

Teşekkür ederim...

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	9
2. KAYNAK TARAMASI	10
3. MATERYAL VE METOT	12
3.1. Materyal.....	13
3.1.1. Köpük malzemenin özellikleri.....	13
3.1.2. Galvaniz sac özellikleri.....	14
3.1.3. Poliüretan yapıştırıcı özellikleri.....	15
3.1.4. Cam elyaf özellikleri.....	16
3.2. Metot	17
3.2.1. Numune imalatı	17
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	19
4.1. Bulgular	19
4.1.1. Kompozit kiriş eğilme deneyi.....	19
4.1.2. Kompozit kiriş titreşim deneyleri	19
4.1.3. Sandviç kiriş indentasyon (batma) deneyleri.....	20
4.1.4. Kompozit malzeme 3 nokta eğilme deneyleri	22
4.1.5. Sayısal modelin hazırlanması	25
4.2. Tartışma.....	26
4.2.1. Sayısal modelden elde edilen neticeler.....	26
5. SONUÇLAR	27
6. KAYNAKLAR	28
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Cam Elyaf Takviyeli Poliüretan Yüzlü Kompozit Sandviç Kirişlerin Yapısal Analiz ve Testleri” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.



23.11.2018
Özerk YILDIRIM

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

N	: Newton
E	: Elastisite Modülü
L	: Numune Uzunluğu
M	: Moment
mm	: Milimetre
t_f	: Katman kalınlığı
ρ	: Yoğunluk
X	: Basınç Dayanımı
G	: Kayma Modülü
S	: Kayma Dayanımı

Kisaltmalar

FMA	: Fiber Model Analizi
FEA	: Sonlu Elemanlar Analizi
MPa	: Mega Pascal (N/mm ²)
PU	: Poliüretan
UV	: Ultraviyole
3PB	: 3 Nokta Eğilme
PVC	: Polivinilklorit
°C	: Santigrat Derece

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kompozit sandviç plaka	9
Şekil 3.1. Polistren köpük basma testlerinden elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri	12
Şekil 3.2. Modifiye edilmiş 3 ray kayma testi düzeneği	12
Şekil 3.3. Kullanılan Poliüretan tutkal ve sertleştirici komponenti	15
Şekil 3.4. Numunelerimizde kullanılan cam elyafa ait üretici şirket tarafından verilmiş bilgiler.	15
Şekil 3.5. Sıcak tel kesici	16
Şekil 3.6. Liflerin kılavuzlar vasıtasıyla yerleştirilmesi	17
Şekil 3.7. Numune üzerine poliüretan sürülmesi	17
Şekil 4.1. Kiriş eğilme testi	19
Şekil 4.2. Titreşim testi deney düzeneği	20
Şekil 4.3. $L=450, 500,$ and 550 mm için hata oranları.....	20
Şekil 4.4. Örnek bir batma deneyi	21
Şekil 4.5. Örnek kompozit sandviç numunenin batma testi yük–deplasman grafiği.....	22
Şekil 4.6. 3 nokta eğilme testi düzeneği şematik gösterimi.....	22
Şekil 4.7. 3 nokta eğilme deneyi.....	23
Şekil 4.8. 1. numune için deneyden elde edilen yük-deplasman eğrisi	23
Şekil 4.9. Dış yüz buruşması sebebiyle göçmüş numune	24
Şekil 4.10. 3 nokta eğilme testinden gelen yük ve deplasman grafiği,,.....	25
Şekil 4.11. SAP2000 modeli.....	25
Şekil 4.12. SAP2000 yükleme durumu.....	26
Şekil 4.13. Sayısal modelden elde edilen deforme olmuş geometri.....	26

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Polistren köpük malzemesinin mekanik özellikleri.....	13
Çizelge 3.2. Kullanılan tutkal malzemesinin teknik özellikleri.....	14
Çizelge 3.3. Numune özellikleri	18
Çizelge 4.1. L=600 mm kompozit yüzölçümü için 3 nokta eğilme testi sonuçları....	24

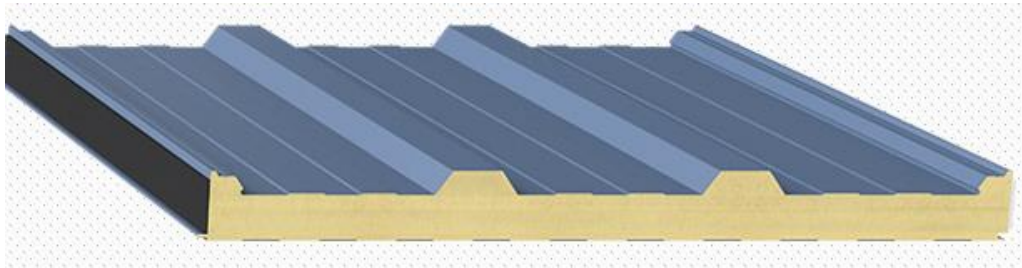
1. GİRİŞ

Bu çalışmada, kompozit sandviç kiriş üretimi için temel kalıp malzeme olarak poliüretan (PU) ile yapıştırılmış cam elyaf kompozit yüzeylere sahip sandviç kirişler ve sert bir köpük çekirdeği üretilmiş ve PU'nin uygulanabilirliğini belirlemek için yarı statik indentasyon, titreşim ve 3 nokta eğilme (3PB) testleri yapılmıştır. Aynı zamanda basit analitik formüllerle malzemenin yapısal özelliklerinin ve sandviç kirişlerin göçme yüklerinin belirlenip kontrol edilmesi de planlanmıştır.

Kompozit sandviç kirişlerin üretiminde farklı üretim metotları kullanılabilir. Kiriş üretiminde geometrik tasarım faktörleri; kiriş boyutları, dış cidar malzemesinin şekli ve ek kenar elemanlarıdır. Dış cidar malzemesinin sac levha olması, cam elyaf gibi takviyeli olup olmaması ve iç dolgu malzemesinin önceden oluşturulmuş ya da köpük olması da üretimde ekonomik prosedürü etkileyen faktörlerdendir.

Seçilen malzemeler ise, güçlendirmede takviye malzemesi olarak 0 derece örgüsüz standard cam elyaf fitil ve yapıştırıcı malzeme olarak da Poliüretan yapıştırıcı seçilmiştir. Poliüretan yapıştırıcı malzeme diğer reçine esaslı yapıştırıcılara göre daha ekonomik ve daha az zararlı ve de UV radyasyonu gibi çevresel faktörlere daha dayanıklıdır. Ara yapıştırıcı malzeme olarak Poliüretan malzemenin seçilmesinin bir diğer nedeni ise viskozitesi düşük, uygulanabilirlik ve kür alma süresinin de buna bağlı olarak düşük olmasıdır. Bir diğer artı özellik de polyester ve epoxye göre yangına karşı dayanımı daha yüksektir.

Literatürde, poliüretan yapıştırıcının kullanıldığı çok az sayıda çalışma mevcuttur. Poliüretan yapıştırıcı malzemenin seçilmemesinin temel neden, kür alma sırasında oluşan küçük gaz kabarcıklarının yüzeyde boşluklara sebep olması ve kompozit malzemenin istenen özelliklerinin planlandığı gibi elde edilememesidir. Buna rağmen, seri üretim tekniklerinin gelişmesiyle bu sorun çözülebilir ve poliüretan yapıştırıcı malzeme, reçine sistemlerin yerine rahatlıkla kullanılabilir. Ayrıca, çok daha uzun kür alma süresine sahip yeni bir yapıştırıcı malzeme sistemi BASF şirketi tarafından geliştirilmiş ve bu ürünün vakumlu üretim için daha uygun olduğu bildirilmiştir.



Şekil 1.1. Kompozit sandviç plaka

2. KAYNAK TARAMASI

Bu çalışmada yapılan çalışmalar ile ilgili literatür özeti aşağıda sıralanmıştır.

Tutkal-lamine lifli kompozit sandviç kirişlerin eğilme davranışları üzerine deneysel bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada Manalo, birbirine tutkal ile tutturulmuş kompozit sandviç panelli kompozit sandviç kirişleri, mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla çeşitli eğilme testlerine tabi tutmuştur (Manalo vd. 2010).

Yapılan kompozit malzeme çalışmasında, cam elyaf takviyeli polimer yüzeyler ve modifiye çekirdek malzemeden oluşan yeni nesil kompozit sandviç kirişlerin eğilme davranışı incelenmiştir. Kompozit sandviç kirişlere 4 nokta statik eğilme testi yapılmış ve orta açıklıkta ve mesnetlere yakın olarak kenarlarda malzeme dayanım değerleri belirlenmiştir (Manalo vd. 2010).

Birbirine tutturulmuş kompozit sandviç kirişlerin eğilme altındaki davranışlarını ve bu malzemenin yapısal ve inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılabilirliği durumun belirlenmesi amacıyla sonuçları incelemiştir. Bu incelemede, temel anlamda beton için kullanılan Fiber Model Analizi (FMA) hazırlanan sandviç kompozit kiriş için de kullanılmıştır. Çalışma sonucunda FMA, basınç altındaki çekirdeğin doğrusal olmayan davranışını, çekirdeğin göçmesini ve fiber kompozit kaplamanın doğrusal elastik davranışını açıkladı (Manalo ve Aravinthan 2012).

Bu çalışmada, binaların kaplanması için önerilen yeni bir sandviç panelin eğilme davranışı incelenmiştir. İncelenen panel numune, iki cam elyaf takviyeli polimer yüzeyin, prefabrik bir poliüretan köpük çekirdeğe tutturulmasıyla üretilmiştir. Üretilen numuneler 3 nokta ve 4 nokta eğilme testi ile test edilmiştir (Sharaf vd. 2010).

Sandviç kompozit elemanların avantaj ve dezavantajlarının incelendiği bu çalışmada, sandviç kompozit elemanların az olan kesme dayanımlarının iyileştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Sandviç yapının hafif olması yüksek sertlik için iyi bilinen avantajlar sunarken, sandviç yapının kesme yüküne dayanacak şekilde tasarlanamama problem hala önemli bir sorun olmaya devam etmektedir. Bu problem, yüksek kesme yükü altında daha düşük sertlikli köpük çekirdekleri ile daha belirgindir, çünkü çekirdek, tipik olarak yapının en zayıf bileşenidir ve yüzey ile köpük çekirdek arasında mükemmel temas varsayımı altında kesme testinde göçen ilk bileşendir. Sonlu eleman analizi (FEA) ile kesme dayanımı ve göçme modunun tahmin edilebildiğini, ancak sağlıklı tahminlerin köpük çekirdeğinin doğrusal olmayan davranışının incelenmesiyle belirlenebileceğini anlatmıştır (Mostafa vd. 2013).

Bu çalışmada, mühendislik uygulamalarında cam elyaf lifi takviyeli polimer yüzeyler ve sert poliüretan köpük çekirdek içeren sandviç panellerin sürtünme davranışı hakkında deneysel ve analitik araştırmalar yapılmıştır (Garrido vd. 2013).

Hafif sandviç elemanların oluşturulmasını, malzeme özelliklerinin belirlenmesini, termal ve su geçirmezlik özelliklerini, akustik ve yangına karşı davranış özelliklerini, durabilitesinin çalışıldığı, yükleme testlerini anlatmıştır (Davies 2001).

Cam esaslı malzemelerin kullanıldığı yüzey kaplamaları ve PVC köpük çekirdekten oluşturdukları sandviç kompozit kirişleri üç nokta eğilme testi ile test ederek hazırlanan malzemenin deplasmanını ve mukavemetini belirlemeye çalışmışlardır. Malzemenin göçmesinin genel olarak 3 etmene bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Bunlar; yüzeyde oluşan çok küçük boyuttaki burkulmalar, çekirdeğin kesmeye karşı koyamayıp yenilmesi ve indentasyon (batma). Çalışma sonunda, göçme yükleri için basit formüller ortaya koymuşlardır (Tagarielli vd. 2004).

Yayınladıkları bu makalede, kompozit sandviç kirişler ile temel anlamda basitçe güçlendirilmiş yüzeye sahip kompozit kirişlerin, üç nokta eğilme deneyleri ile malzemelerin mekanik özelliklerini indentasyon (batma)yı da dikkate alarak belirlemeye çalışmışlardır. Ortaya çıkardıkları sonuç ise analitik çözümlerden gelen sonuçların, malzemenin göçmesinde görülen pik değeri verme konusunda oldukça başarılı olmasıdır (Steeves ve Fleck 2004).

Yayınladıkları makalede, poliüretan yapıştırıcının eğilme etkisi altında çekme gerilmesi dayanımlarını incelemişlerdir (Rozman vd. 2001).

Kompozit sandviç kirişlerin çekirdeğini oluşturan köpük malzemenin kayma modülünün bulunması amacıyla üç ray kayma testi uygulaması çalışılmıştır (Çağdaş ve Sargın 2018).

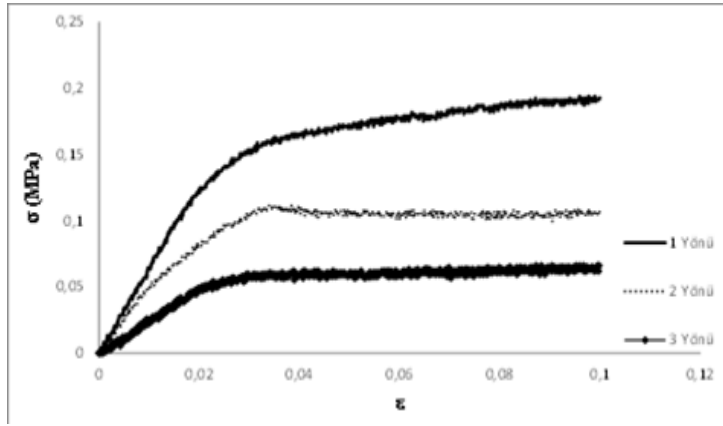
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

DeneySEL çalışmada kullanılan kompozit sandviç kiriş imalatında kullanılan, rijit köpük, galvanizli sac, poliüretan yapıştırıcı (PU) ve cam elyaf teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

3.1.1. Köpük malzemenin zellikleri

PK malzemesinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için basma ve geliştirilmiş  ray kayma testleri yapılmıştır. Basma testi ile elde edilen σ - ϵ eğrileri Şekil 3.1'de, 3 ray kayma testi düzeneği Şekil 3.2'de ve malzeme mekanik özellikleri izelge 3.1'de verilmiştir (Aliyev vd. 2018).



Şekil 3.1. Polistren köpük basma testlerinden elde edilen gerilme-birim Şekil deđiřirme eğrileri (Aliyev vd. 2018)



Şekil 3.2. Modifiye edilmiş 3 ray kayma testi düzeneği (Sargın 2018)

Çizelge 3.1. Polistren köpük malzemesinin mekanik özellikleri (Aliyev vd. 2018)

Mekanik Özellik	Tanım	Değer
ρ (kg/m ³)	Yoğunluk	23.40
E_1^{XPS} (MPa)	1 (köpük yükselme) yönündeki elastisite modülü	6.33
E_2^{XPS} (MPa)	2 yönündeki elastisite modülü	4.41
E_3^{XPS} (MPa)	3 yönündeki elastisite modülü	2.40
$X_{C,1}^{XPS}$ (MPa)	1 yönündeki basınç dayanımı	0.19
$X_{C,2}^{XPS}$ (MPa)	2 yönündeki basınç dayanımı	0.11
$X_{C,3}^{XPS}$ (MPa)	3 yönündeki basınç dayanımı	0.07
G_{12}^{XPS} (MPa)	1-2 düzlemi için kayma modülü	4.32
G_{23}^{XPS} (MPa)	2-3 düzlemi için kayma modülü	3.31
S_{12}^{XPS}	1-2 düzlemi için kayma dayanımı	0.16
S_{23}^{XPS}	2-3 düzlemi için kayma dayanımı	0.10

3.1.2. Galvaniz sac özellikleri

Galvanizli sac için aşağıda verilen yaklaşık değerler alınmıştır;

$$E_{\zeta} = 2 \times 10^5 \text{ MPa}, \sigma_{\zeta}^a = 120 \text{ MPa}, \nu_{\zeta}^{\text{çelik}} = \nu_{\zeta} = 0.3$$

burada E_{ζ} ve σ_{ζ}^a kullanılan galvanizli sacın sırasıyla Elastisite Modülü ve çekmede akma gerilmesi değerleridir. σ_{ζ}^a değeri üretici firma olan Erdemir A.Ş.'nin ürünler kataloğundan alınmıştır. Ayrıca, galvanizli sac için çekme deneyi yapılmış fakat sacın çekme test cihazının çenelerinden sıyrılması sebebiyle sağlıklı bir netice elde edilememiştir.

3.1.3. Poliüretan yapıştırıcı özellikleri

Galvaniz sac levhaları ve cam elyaf lifleri çekirdek köpük üzerine yapıştırmada 2 komponentli poliüretan tutkal kullanılmıştır. Bu malzemenin seçilmesinin en önemli nedenleri; polyester reçine gibi sağlığa zararlı olmayışı, kür alma süresinin yeterli uzunlukta olması ve uygulanabilirlik kolaylığı, UV radyasyonu ve iklim şartları gibi dış etmenlere karşı dayanıklı oluşu, uygulanırken hava kabarcığı oluşturmayışı ve dolayısıyla yapışma özelliğini kaybetmemesidir.

2 komponentten oluşan malzeme 1/6 oranı ile karıştırılmaktadır. 6 birim poliüretan tutkala 1 birim sertleştirici katkısı eklenerek uygulamaya hazır hale getirilmektedir. Hazırlanan karışımın uygulanabilirlik süresi 30 dakikadır.

Çizelge 3.2. Kullanılan tutkal malzemesinin teknik özellikleri

Sertlik	75-80
Malzeme Yapısı	Çift bileşenli poliüretan reçine ve sertleştirici
Bağlayıcı Madde	Poliüretan reçine
Yoğunluk	Ana malzeme 1.60 gr/cm ³ / sertleştirici 1.22 gr/cm ³
Karışım Oranı	6/1 kg ağırlıkça
Uygulama Süresi (23 °C) de	30 Dakika
Katılma Başlangıcı	25 °C /+40 °C ısısında 45. dakika
Isı dayanıklılığı	-40 °C/+280 °C
Kürünü Tamamlama (20 °C)	5-7 saat
Çevreye uyum	Çevreye olumsuz etkisi yok
Sağlığa uygunluk	Sağlığa zararlı değildir
UV Işınlara	UV dayanıklıdır



Şekil 3.3. Kullanılan poliüretan tutkal ve sertleştirici komponenti


3.1.4. Cam elyaf özellikleri

Hazırlanan numunelerin takviyelendirilmek istenen yüzeylerine poliüretan tutkal ile uygulanmıştır. Örgü olarak değil, 0 derece tek fitil sarma olarak yüzeye uygulanmıştır.

KCR2(E):

KCR2(E) multi end rovning is from E-Glass with,

- Good unwinding,
- Good choppability and uniform dispersion,
- None of static electricity,
- Fast wetting-out,
- Low resin consumption,
- Easy application on vertical surfaces properties for spray-up systems in high quality mouldings. The silane based sizing is compatible with, general purposed polyester resins, vinyl ester ve poliurethane resins.



Code for ordering	KCR2(E)- 2400 (+Packaging Code)		
Identification	KCR2(E)-2400 (02)-13-(60) (+Packaging Code)		
Product Name	KCR2(E)	Filament Diameter	13
Roving Tex Count	2400	Split Tex	60
CE Sizing Code	02		

PRODUCT SPECIFICATION:

Glass Type	E	Sizing Content (%)	0,90 ± 0,15
Roving Tex (g/1000m)	2400 ± %5	Sizing Type	Silane
Split Tex (g/1000m)	Nom. 60	Resin Compatibility	Polyester, Vinylester, Poliurethane
Filament Diameter (µ)	Nom. 13	Wet-out	Very fast
Moisture Content (%)	max. 0,1		

BOBBIN MEASUREMENTS AND PACKAGING:

Inner Diameter (mm)	External Diameter (mm)	Weight (kg)	Height (mm)
100	300	Nom. 23	260

Packaging	Number of bobbins per pallet	Number of layers per pallet	Pallet Dimensions (cm)	Pallet Height (cm)	Pallet Net Weight (kg)	Number of ends	Number of bobbins per layer
Bulk Packaging (Z)	48	4	96 x 128 (E)	125	1100	0-1-2-3-4	12

Şekil 3.4. Numunelerimizde kullanılan cam elyafa ait üretici şirket tarafından verilmiş bilgiler

3.2. Metot

Materyal kısmında teknik özellikleri verilen malzemeler kullanılarak kompozit sandviç kirişlerin imal edilmesi ve yapılan deneyler ile ilgili bilgiler bu bölümde verilmiştir.

3.2.1. Numune imalatı

Test edilen sandviç kiriş numuneleri laboratuvarımızda üretilmiştir. İlk önce XPS malzeme Şekil 3.5'te gösterilen sıcak tel kesici ile 50mm×50mm×700mm boyutlarında kesilmiştir.



Şekil 3.5. Sıcak tel kesici

Şekiller 3.6 ve 3.7'de görüleceği üzere daha sonra kompozit sandviç kiriş kompozit yüzleri el yatırma tekniği ile imal edilmiştir. Katman içindeki cam elyafı miktarını sabit tutmak için her bir yüze toplam 10 sıra cam elyafı fitil yerleştirilmiştir. İmal edilen numunelerin özellikleri aşağıda Çizelge 3.3'te verilmiştir. Burada numune uzunluğu L ve katman kalınlığı t_f dir.



Şekil 3.6. Liflerin kılavuzlar vasıtasıyla yerleştirilmesi



Şekil 3.7. Numune üzerine poliüretan sürülmesi

Çizelge 3.3. Numune özellikleri

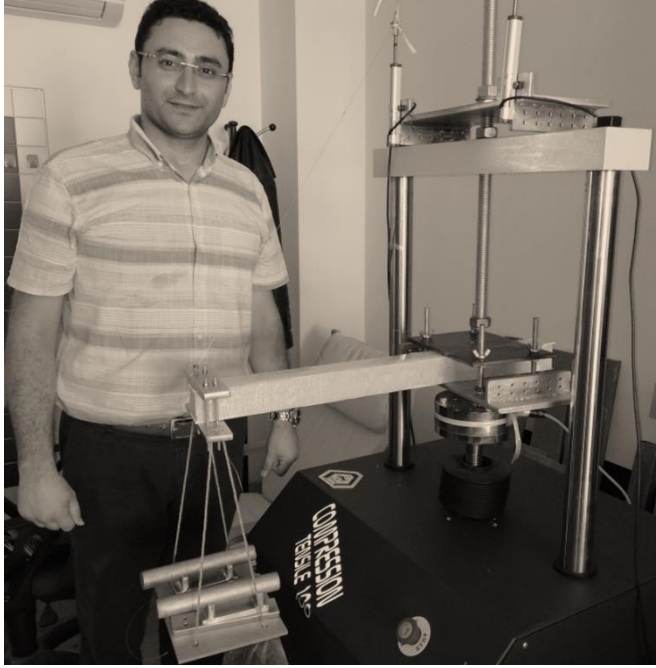
Numune	Ağırlık (gr)	Uzunluk <i>L</i> (mm)	Kalınlık <i>t_f</i> (mm)
1	323	700	2.22
2	321	700	2.20
3	301	700	2.02

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Çalışılan Deneyler

4.1.1. Kompozit kiriş eğilme deneyi

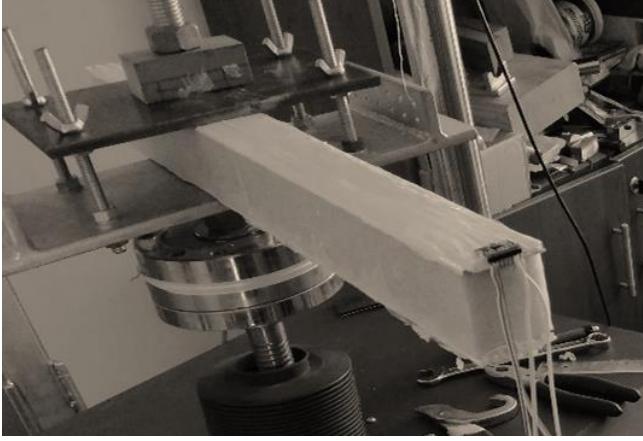
Şekil 4.1’de gösterildiği üzere, bir ucu ankastre diğer ucu serbest bir sandviç kirişin serbest ucuna düşey yük uygulayarak kiriş eğilme rijitliğinin belirlenmesine çalışılmıştır. Ancak, sünme etkisi sebebiyle bu deneylerden netice elde edilememiştir. Bunun üzerine, eğilme ve kayma rijitliklerinin yaklaşık olarak belirlenmesi için titreşim testi yapılmasına karar verilmiştir.



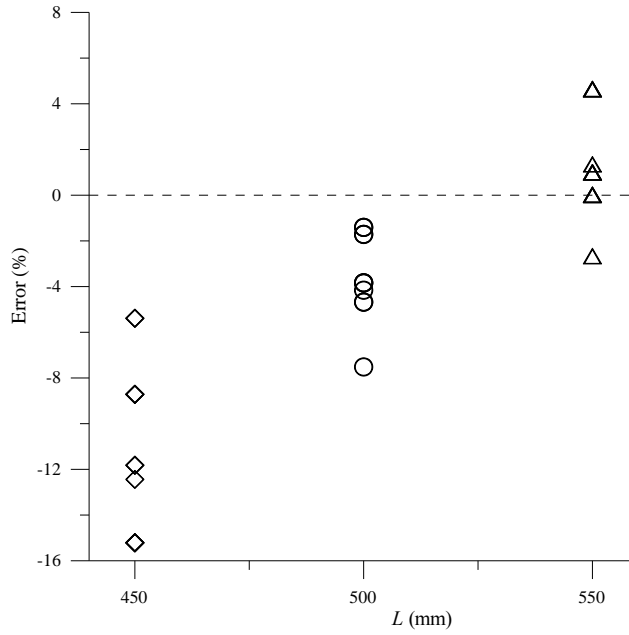
Şekil 4.1. Kiriş eğilme testi

4.1.2. Kompozit kiriş titreşim deneyleri

İmal edilen kompozit sandviç kiriş numuneler, ilgili BAP projesi kapsamında, deney düzeneğine $L=45$, 50 , ve 55 cm uzunluğunda konsol olacak şekilde mesnetlenmiş ve uçlarına ADXL345 marka bir ivme ölçer yerleştirilerek titreşim frekansları ölçülmüştür, bkz. Şekil 4.2 Ölçülen frekans değerleri kirişin rijitliğini belirlemede kullanılmıştır. Elde edilmiş sayısal neticeler Şekil 4.3’te özetlenmiştir. Bu şekilden görülebileceği üzere, sonlu elemanlar modeli ile titreşim deneyi neticeleri arasında, özellikle $L=550$ mm için %5’in altında fark vardır.



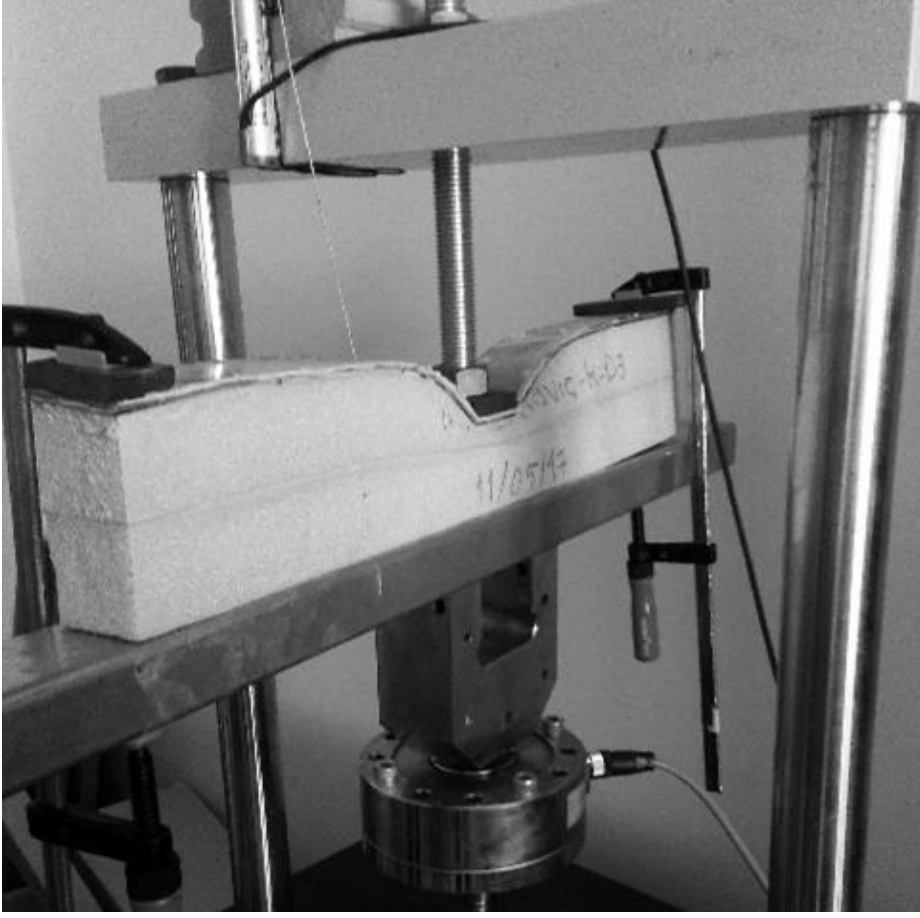
Şekil 4.2. Titreşim testi deney düzeneği



Şekil 4.3. $L=450$, 500 , ve 550 mm için hata oranları (Aliyev 2018)

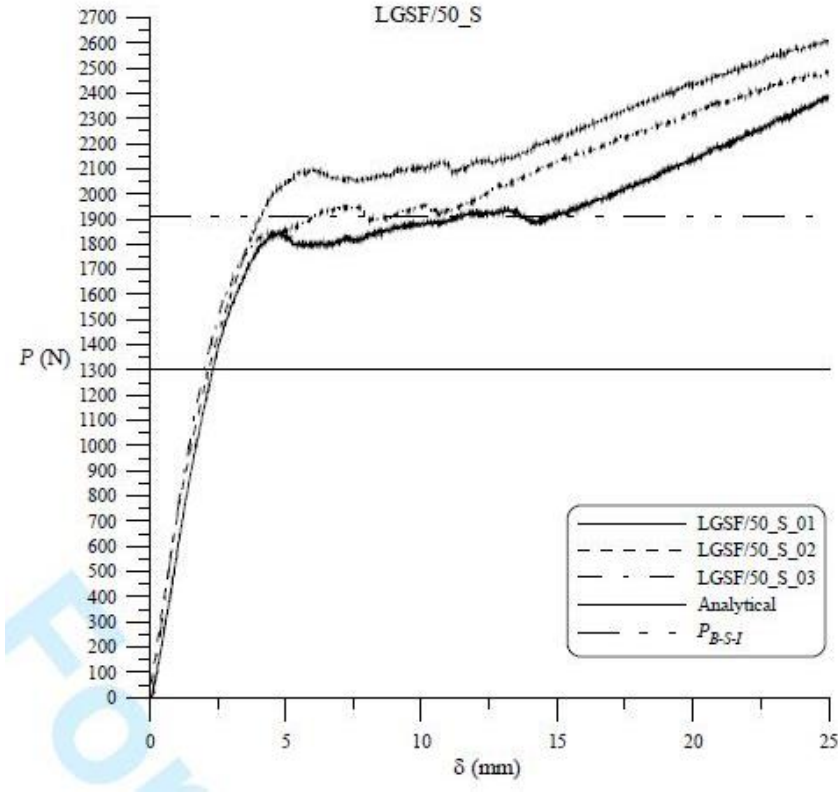
4.1.3. Sandviç kiriş indentasyon (batma) deneyleri

Şekil 4.4'te görüleceği üzere öncelikle, ilgili BAP projesi kapsamında yapılmış, Çağdaş ve Taşkın (2018); Hekim (2018); Yılmaz (2018) tarafından sunulmuş olan bazı sandviç kiriş batma deneyleri yapılmıştır. Örnek bir batma testi yük-deplasman grafiği Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Örnek bir batma deneyi

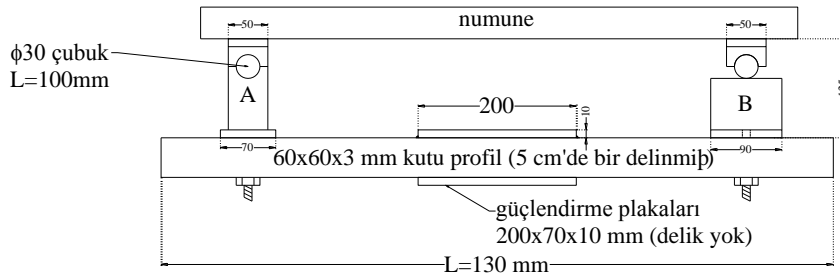
Yapılan bu çalışmalar göstermiştir ki, batma yükü çekirdek malzeme basınç dayanımına, dış yüzün eğilme rijitliğine, ve plastik moment kapasitesine bağlıdır. Ancak, imal edilen kompozit dış yüzlerin eğilme rijitlikleri çok düşüktür ve bu yüzden bu çalışmada, kompozit yüzü sandviç kirişlerin batma yüklerini belirlemek için batma deneyi yapılmamıştır. Bunun yerine batma yükünün yükleme plakası altındaki çekirdeğin ezilme yüküne eşit olduğu varsayılmıştır.



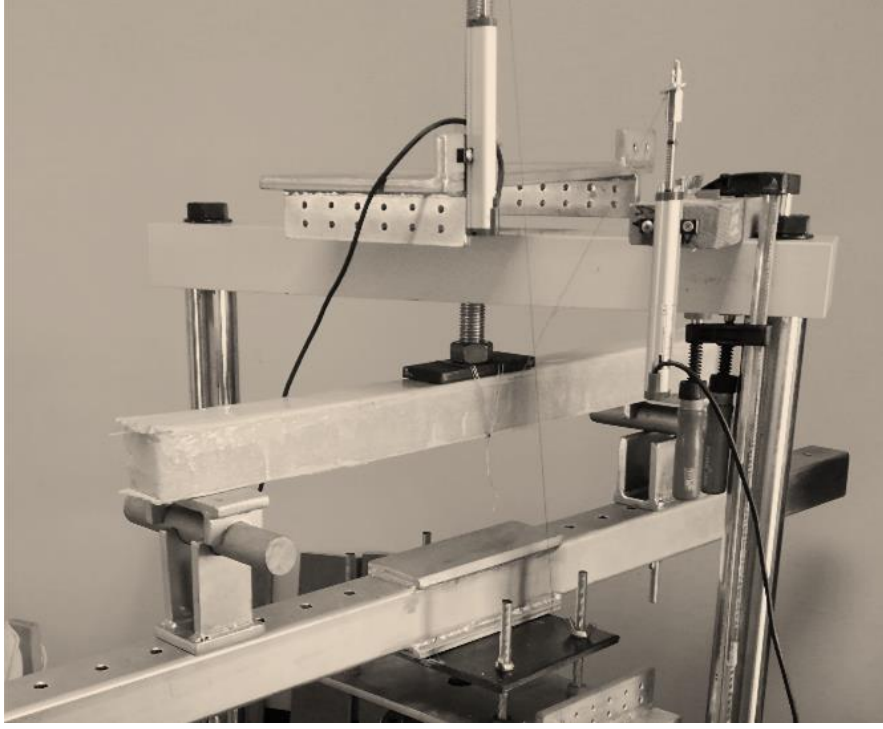
Şekil 4.5. Örnek kompozit sandviç numunenin batma testi yük–deplasman grafiği (Çağdaş ve Taşkın 2018)

4.1.4. Kompozit malzeme 3 nokta eğilme deneyleri

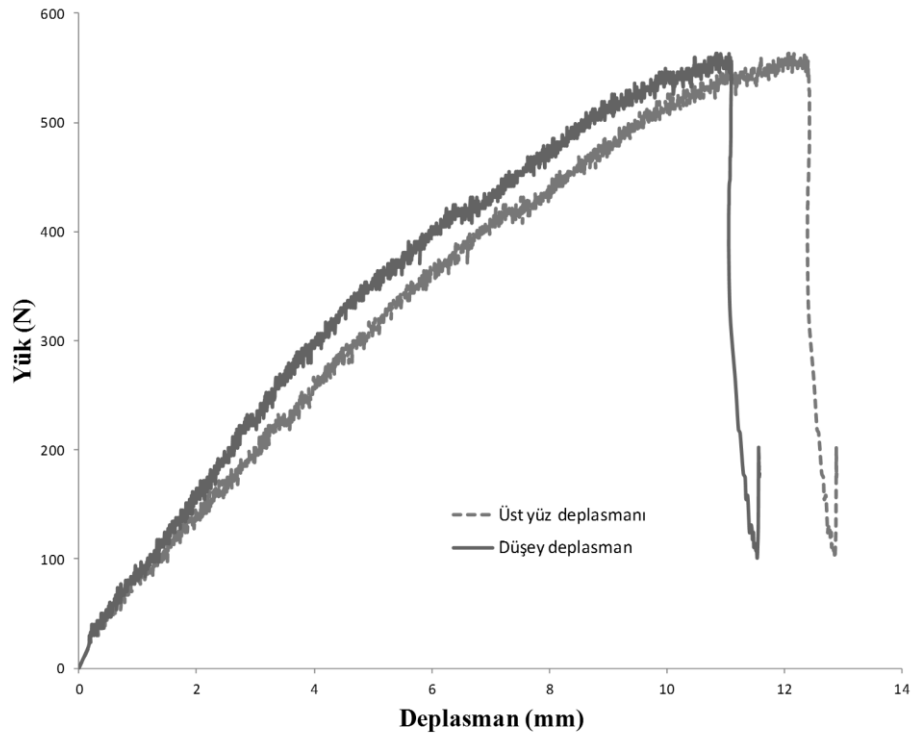
Hazırlanan üç adet kompozit sandviç kiriş numuneleri 3 nokta eğilme testine tabi tutulmuştur. Şekil 4.6’da 3 nokta eğilme testi düzeneği şematik olarak gösterilmektedir. Deney düzeneği içine yerleştirilmiş numune ise Şekil 4.7’de gösterilmektedir. Yapılan deneyler sonucunda malzemelerin göçme yükleri ve maksimum orta nokta deplasman değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.6. 3 nokta eğilme testi düzeneği şematik gösterimi

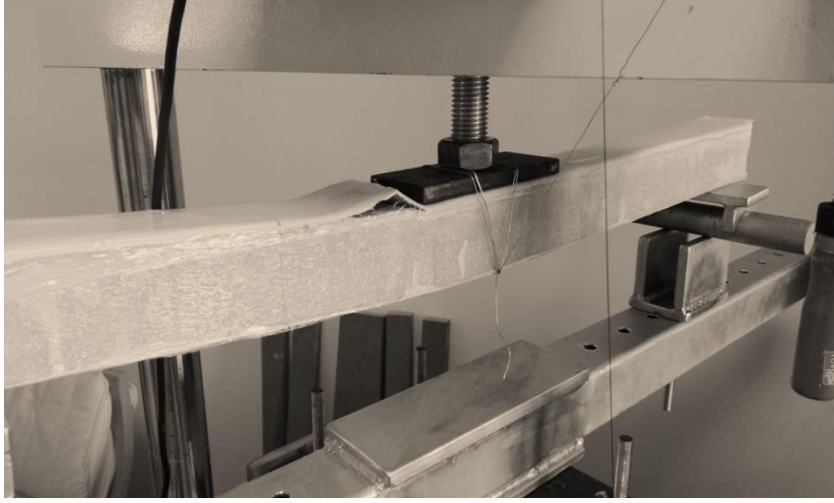


Şekil 4.7. 3 nokta eğilme deneyi



Şekil 4.8. 1. numune için deneyden elde edilen yük-deplasman eğrisi

Şekil 4.8’de “düşey deplasman” kiriş alt yüzü maksimum deplasmanını anlamına gelmektedir. Doğrusal bölgede 100 N düşey yük için maksimum düşey deplasman 1,370 mm olarak elde edilmiştir. Ayrıca, Şekil 4.9’da deney düzeneği görülen, 562.566 N kadar bir yüke ulaşıldığında dış yüzün buruşması ile göçme meydana gelmiştir. Diğer neticeler Çizelge 4.1’de özetlenmiştir. Deneylerden elde edilen yük-deplasman eğrileri ise Şekil 4.10’da sunulmuştur.



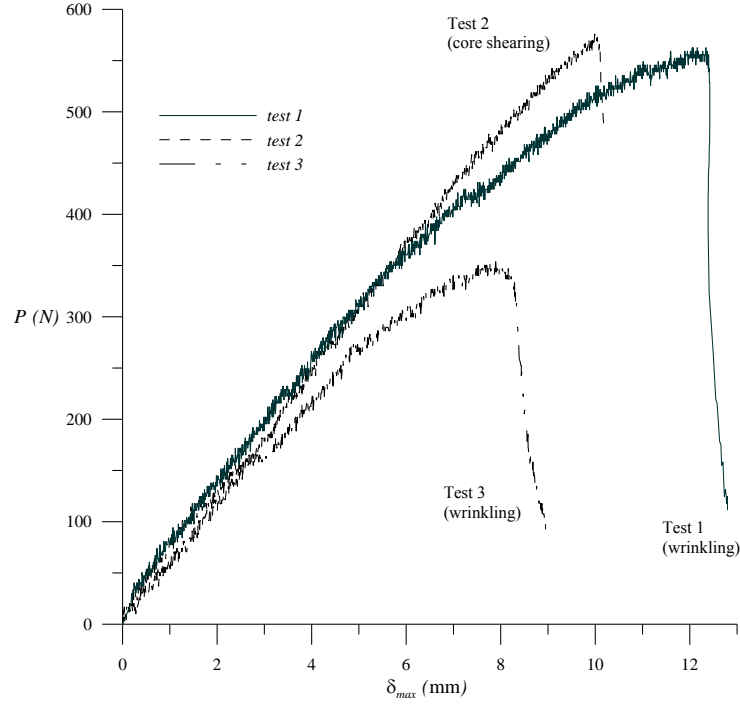
Şekil 4.9. Dış yüz buruşması sebebiyle göçmüş numune

Çizelge 4.1. L=600 mm kompozit yüzü numuneler için 3 nokta eğilme testi sonuçları

Numune	Göçme Nedeni	Eğilme Rijitliği	Göçme Yüğü (N)	Göçme Yüğü Fark (%)
		Fark (%)		
1	Buruşma	4.577	562.566	-15.909
2	Kesme	11.417	572.672	-14.399 (-)
3	Buruşma	-9.580	353.709	-47.129

1 ve 2 numaralı numuneler beklenenden sırasıyla 4.577% ve 11.417% daha yüksek eğilme rijitliği dayanımı göstermiştir. 3 numaralı numune ise erken olarak beklenenin neredeyse yarı yükünde buruşmadan göçmüş ve hesaplanan ve beklenenden 9.580% daha düşük eğilme rijitliği değeri almıştır. Ayrıca, 2 numaralı numune beklenmedik şekilde kesme nedeniyle göçmüştür. Eğilme rijitliği değeri 1 ve 2 numaralı numuneler için gerilme-şekil değiştirme eğrisinde $P_0=100$ N, ve $P_{son}=300$ N değerleri ile 3 numaralı numunede ise $P_0=100$ N, $P_{son}=150$ N değerleri ile bulunmuştur.

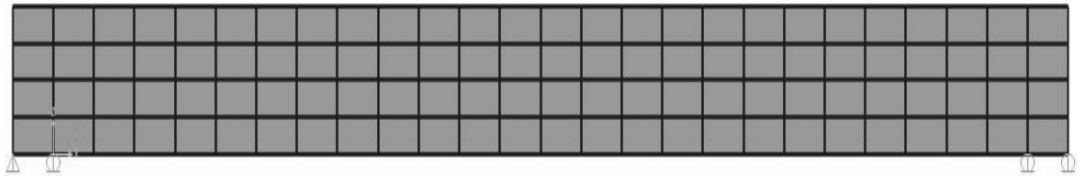
Çizelge 4.1’de açıkça görülebileceği üzere, kompozit alt ve üst yüzeye sahip sandviç kirişlerin eğilme rijitliği değerlerinin beklenenden daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum dış yüz ve çekirdek köpük kusurların kaynaklanmaktadır. Bu soruna mantıklı bir çözüm, çekirdek elemanını güçlendirmek olabilir.



Şekil 4.10. 3 nokta eğilme testlerinden elde edilen yük ve deplasman grafiği

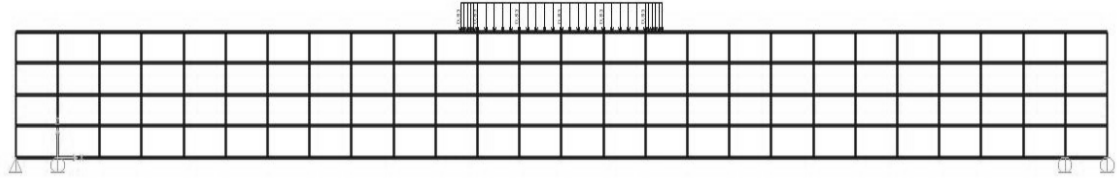
4.1.5. Sayısal modelin hazırlanması

Sonlu elemanlar metodu ile değerleri bulabilmek için SAP2000 paket programı kullanıldı. Deney düzeneğimizi ve malzemelerimizi modelleyerek deneyde uygulanan yükler programda modele etkilmiştir.



Şekil 4.11. SAP2000 modeli

Şekil 4.12’de modele yükün uygulanışı ve sınır şartları gösterilmektedir.

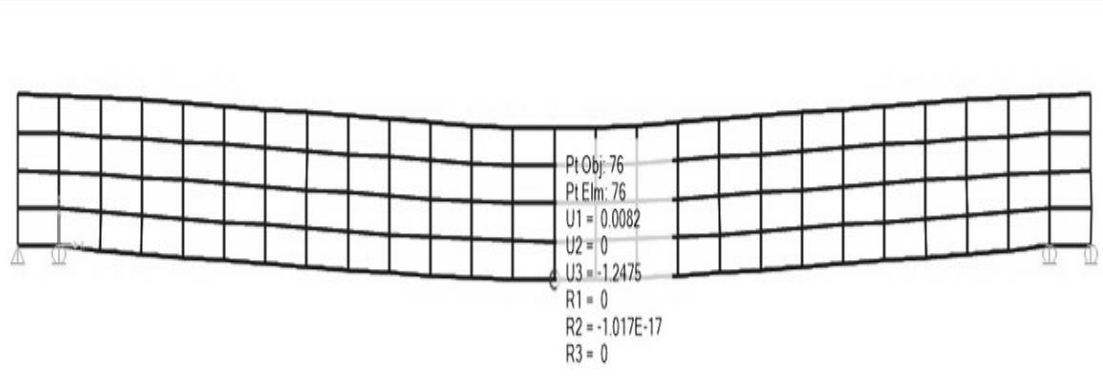


Şekil 4.12. SAP2000 yükleme durumu

4.2. Tartışma

4.2.1. Sayısal modelden elde edilen neticeler

Bulunan değerler, sonlu elemanlar metodu SAP2000 paket programı ile yapılmış olan sayısal modelden elde edilen neticeler ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.13'te SAP2000 modeli ile elde edilmiş olan deforme olmuş geometri gösterilmektedir. Birinci numune için sayısal modelden maksimum düşey deplasman değeri 1,2475 mm olarak elde edilmiştir. Sayısal değer in deney ile elde edilen değerden farkı ortalama olarak yaklaşık %9 dur.



Şekil 4.13. Sayısal modelden elde edilen deforme olmuş geometri

5. SONUÇLAR

Bu çalışma neticesinde aşağıda maddeler halinde özetlenmiş neticeler elde edilmiştir.

- i.* Kiriş eğilme testi ile sandviç kiriş eğilme rijitliğinin belirlenmesinin sünme etkisi sebebiyle mümkün olmadığı görülmüştür.
- ii.* Sonlu elemanlar modeli ile titreşim deneyi neticeleri arasında, özellikle $L=550$ mm için %5'in altında fark vardır.
- iii.* Batma yükünün çekirdek malzeme basınç dayanımına, dış yüzün eğilme rijitliğine, ve plastik moment kapasitesine bağlı olduğu görülmüştür. Ancak, imal edilen kompozit dış yüzlerin eğilme rijitlikleri çok düşük olduğundan kompozit yüzü sandviç kirişlerin batma yüklerini belirlemek için batma deneyi yapılmamıştır.
- iv.* SAP2000 programı ile yapılmış sayısal model ile deneyden elde edilmiş olan orta nokta deplasmanları arasındaki farkın ortalama %9 gibi düşük bir değer almış olması rijitliği sağlayan esas kompozit bileşeni olan cam elyafının tasarlandığı şekilde rijitliğe katkıda bulunduğu belirlenmiştir.
- v.* 1 ve 2 numaralı numuneler beklenenden sırasıyla 4.577% ve 11.417% daha yüksek eğilme rijitliği dayanımı göstermiştir. 3 numaralı numune ise erken olarak beklenenin neredeyse yarı yükünde buruşmadan göçmüş ve hesaplanan ve beklenenden 9.580% daha düşük eğilme rijitliği değeri almıştır.
- vi.* 3 nokta eğilme testinde göçme modunun kusurlu bir numune dışında dış yüz buruşması olduğu belirlenmiştir.
- vii.* Kompozit alt ve üst yüzeye sahip sandviç kirişlerin eğilme rijitliği değerlerinin beklenenden daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum dış yüz ve çekirdek köpükteki kusurlardan kaynaklanmaktadır.
- viii.* Elde edilen bu neticeler ışığında, poliüretan reçinenin lifli kompozit kiriş üretiminde matris malzemesi olarak kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.
- ix.* Poliüretanın insan sağlığına zararının çok düşük düzeyde olması ve aynı zamanda ekonomik olması sebeplerinden dolayı alternatif bir matris malzemesi olarak tercih edilebileceği düşünülmektedir.
- x.* İleride yapılacak çalışmalarda dış yüz buruşmasına bağlı göçme yükünün artırılması için dış yüz eğilme rijitliğinin artırılması yoluna gidilmesi düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Aliyev R, Cagdas IU, Sargin T, Taskin M. 2018, 'A modified three rail shear test procedure for rigid foamed materials', *Journal of Cellular Plastics*, sunuldu,
- Cagdas, I.U., Taskin M. 2018, A modified analytical expression to determine the quasi-static pre-indentation loads of metal faced sandwich beams. *Journal of Sandwich Structures and Materials*, basım aşamasında.
- Davies, J.M. 2001. *Lightweight Sandwich Construction*, Blackwell Science: Ders Kitabı, İngiltere, 383 p.
- Garrido, M., Correira, J.R., Branco, F.A., Keller, T. 2013, Creep behaviour of sandwich panels with rigid polyurethane foam core and glass-fibre reinforced polymer faces: Experimental tests and analytical modelling. *Composite Materials*, 0(0): 1-13.
- Hekim, U. 2018, Tek Katmanlı Metal Yüzlü Sandviç Kirişlerde Batma Yüklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 55 s.
- Manalo, A.C, Aravinthan, T., Karunasena, W. 2010. Flexural behaviour of glue-laminated fibre composite sandwich beams. *Composite Structures*, 92: 2703-2711.
- Manalo, A.C, Aravinthan, T., Karunasena, W., İslam, M.M. 2010. Flexural behaviour of structural fibre composite sandwich beams in flatwise and edgewise positions. *Composite Structures*, 92: 984-995.
- Manalo, A.C, Aravinthan, T. 2012. Behaviour of glued fibre composite sandwich structure in flexure: Experiment and Fibre Model Analysis. *Materials and Design*, 39: 458-468.
- Mostafa, A., Shankar, K., Morozov, E.V. 2013, Insight into the shear behaviour of composite sandwich panels with foam core. *Materials and Design*, 50: 92-101.
- Rozman, H.D., Tay, G.S., Abubakar, A., Kumar, R.N. 2001, Tensile properties of oil palm empty fruit bunch-polyurethane composites. *European Polymer Journal* 37: 1759-1765.
- Sargin, T. 2018. Üç Ray Kayma Deneyi ile Rijit Köpüklerin Kayma Parametrelerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 46 s.
- Sharaf, T., Shawkat, W., Fam, A. 2010. Structural Performance of Sandwich Wall Panels with Different Foam Core Densities in One-way Bending. *Composite Materials*, Vol:44 No:19.
- Steeves, C.A., Fleck, N.A. 2004, Collapse mechanisms of sandwich beams with composite faces and a foam core, loaded in three-point bending. Part II: experimental investigation and numerical modelling. *International Journal of Mechanical Sciences*, 46: 585-608.
- Tagarielli, V.L., Fleck, N.A., Deshpande, V.S. 2004. Collapse of clamped and simply supported composite sandwich beams in three-point bending. *Composites: Part B* 523-534.

Yılmaz, İ.S. 2018. Katmanlı Metal Yüzlü Sandviç Kirişlerde İndentasyon Yüklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 47 s.

ÖZGEÇMİŞ

ÖZERK YILDIRIM

ozerkyildirim@hotmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2015-....	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2010-2013	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

İnşaat Mühendisi 2016-Devam Ediyor	İnşaat Mühendisleri Odası Antalya Şubesi İnşaat Mühendisi, Antalya