

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİÜRETAN YÜZLÜ VE MDF ÇEKİRDEKLİ
KİRİŞLERİN YAPISAL ANALİZ VE TESTLERİ**

Sanjar SAEEDI

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ŞUBAT 2020
ANTALYA**

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİÜRETAN YÜZLÜ VE MDF ÇEKİRDEKLİ
KİRİŞLERİN YAPISAL ANALİZ VE TESTLERİ**

Sanjar SAEEDI

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ŞUBAT 2020
ANTALYA**

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİÜRETAN YÜZLÜ VE MDF ÇEKİRDEKLİ
KİRİŞLERİN YAPISAL ANALİZ VE TESTLERİ**

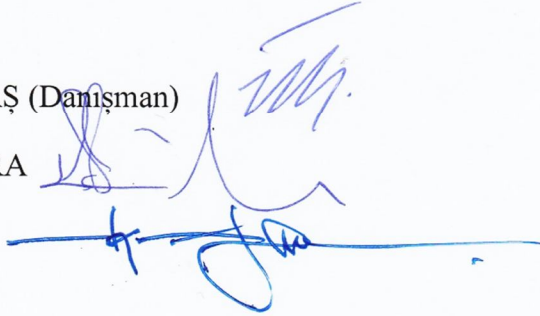
Sanjar SAEEDI
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 07/02/2020 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ (Danışman)

Prof.Dr. Mehmet Emin KARA

Doç. Dr. OKAN ÖZCAN



ÖZET

CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİÜRETAN YÜZLÜ VE MDF ÇEKİRDEKLİ KİRİŞLERİN YAPISAL ANALİZ VE TESTLERİ

Sanjar SAEEDI

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

Şubat 2020; 25 sayfa

Bu çalışmada cam elyaf takviyeli poliüretan dış yüzlü ve MDF çekirdekli sandviç kiriş eğilme rijitliğinin konsol kiriş titreşim ve üç nokta eğilme testleri ile belirlenmesi konusu üzerinde durulmuştur. Öncelikle MDF çekirdek mekanik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra imal edilen sandviç kiriş numuneleri üzerinde yapılan konsol kiriş titreşim deneylerinden elde edilmiş eğilme rijitliği değerleri birinci dereceden kayma deformasyonlu kiriş teorisine dayanan analitik çözümler ile ve 3 nokta eğilme deneyi ile elde edilmiş olan değerler ile mukayeseli olarak sunulmuştur. Elde edilen neticeler, 3 nokta eğilme deneyinin mesnetlerin tam ankastre yapılmasındaki zorluk sebebiyle konsol kiriş titreşim testine kıyasla daha iyi netice verdiğini göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Kompozit, sandviç kiriş, poliüretan, titreşim testi, MDF

JÜRİ: Prof.Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

Prof.Dr. Mehmet Emin KARA

Doç.Dr. Okan ÖZCAN

ABSTRACT

STRUCTURAL ANALYSIS AND TESTING OF SANDWICH COMPOSITE BEAMS HAVING GLASS FIBER REINFORCED POLYURETHANE FACES

Sanjar SAEEDI

MSc Thesis in Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

February 2020; 25 pages

This study is related with the determination of the mechanical properties of composite sandwich beams having glass fiber reinforced polyurethane outer faces and an MDF core. First, mechanical properties of the MDF core are determined. Then, cantilever beam vibration and 3 point bending tests are conducted on the produced specimens and the bending rigidities obtained are presented in comparison with the results obtained using a simple analytical model, and 3 point bending tests. The results obtained show that the 3 point bending test yields more reliable results than the cantilever beam vibration test due to the difficulty in clamping one of the beam ends.

KEYWORDS: Composite, sandwich beam, polyurethane, vibration test, MDF

COMMITTEE: Prof. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

Prof.Dr. Mehmet Emin KARA

Assoc.Prof.Dr. Okan ÖZCAN

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca her konuda yardımcı olup yol gösteren, deneyimlerini benimle paylaşan tezimin tamamlamasında emeğini esirgemeyen ve lisans eğitimimden beri akademik hayatımda geldiğim noktaya kadar desteğini her zaman gördüğüm hocam Prof.Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımda en büyük şansım ve bugünlere geldiğime sebep olan ve her dayıma yanımda oldukları için canım annem ve babama ve abilerime çok teşekkür ederim.

Tez yazım sürecinde bana yardımcı olan kardeşim Sharukh SAEEDI ve yakın arkadaşlarımdan teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans eğitimim esnasında özellikle tez aşamasında bana motivasyon ve destek veren sevgili eşime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
3. MATERYAL VE METOT.....	5
3.1. Materyal	5
3.1.1. MDF kiriş geometrik özellikleri	5
3.1.2. Poliüretan reçine özellikleri.....	5
3.1.3. Cam elyaf özellikleri	6
3.2. Metot.....	7
3.2.1. Konsol kiriş titreşim testleri	7
3.2.1.1. Konsol kiriş titreşim problemi.....	8
3.2.1.2. Timoshenko teorisine göre hesap	9
3.2.2. Konsol kiriş statik eğilme testleri	9
3.2.3. Basit kiriş 3 nokta eğilme testleri.....	10
3.2.4. Newton yöntemi.....	11
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	13
4.1. MDF Kirişler	13
4.1.1. Konsol kiriş titreşim deneyleri.....	13
4.1.2. MDF Konsol kiriş statik eğilme deney neticeleri	14
4.1.3. MDF basit kiriş 3 nokta eğilme testleri.....	15
4.2. Kompozit Kirişler	16
4.2.1. Kompozit Numune imalatı	16
4.2.2. Kompozit numuneler üzerinde yapılan titreşim testleri	18
4.2.3. Kompozit konsol kiriş eğilme deneyleri	19
4.2.4. Kompozit kiriş 3 nokta eğilme testleri	21

5. SONUÇLAR.....	23
6.KAYNAKLAR.....	24
ÖZGEÇMİŞ	



AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Cam Elyaf Takviyeli Poliüretan Yüzlü ve MDF Çekirdekli 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.

07.02.2020

Sanjar SAEEDI



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
f_n	: Doğal frekans

Kısaltmalar

SEA	: Sonlu Elemanlar Analizi
MPa	: Mega Pascal (N/mm ²)
PU	: Poliüretan
UV	: Ultraviyole
3PB	: 3 Nokta Eğilme
°C	: Santigrat Derece
MDF	: Orta Yoğunluklu Lifli Levha

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Kullanılan poliüretan tutkal ve sertleştirici komponenti.....	5
Şekil 3.2. Numunelerimizde kullanılan cam elyafa ait üretici şirket tarafından verilmiş bilgiler.....	6
Şekil 3.3. MDF konsol kiriş titreşim testi.....	7
Şekil 3.4. Konsol kiriş statik eğilme deney düzeneği.....	10
Şekil 3.5. 3 nokta eğilme deney düzeneği.....	11
Şekil 4.1. MDF numuneler için deneyden elde edilen yük-deplasman grafiği, $L=600$ mm	14
Şekil 4.2. MDF numuneler için deneyden elde edilen yük-deplasman grafiği, $L=800$ mm	15
Şekil 4.3. 3 nokta eğilme deneyi sırasında göçmüş bir kiriş numunesi.....	15
Şekil 4.4. MDF1, MDF4 ve MDF6 kodlu numuneler için yük-deplasman eğrileri.....	16
Şekil 4.5. Liflerin kılavuzlar vasıtasıyla yerleştirilmesi.	17
Şekil 4.6. Numune üzerine poliüretan sürülmesi.	17
Şekil 4.7. Kompozit sandviç kirişin titreşim cevabı (a) zaman, ve (b) frekans tanım alanlarında (KOMP 3, $L=600$ mm)	19
Şekil 4.8. Kompozit kiriş numuneler için deneyden elde edilen yük-deplasman grafiği, $L=600$ mm.....	20
Şekil 4.9. Kompozit kiriş numuneler için deneyden elde edilen yük-deplasman grafiği, $L=800$ mm.....	20
Şekil 4.10. kompozit kiriş 3 nokta eğilme deneyi	21
Şekil 4.11. kompozit kiriş 3 nokta eğilme deneyi altında çekirdeğin kesilmesi.....	21
Şekil 4.12. Kompozit numuneler için deneyden elde edilen yük-deplasman grafiği, $L=800$ mm.....	22

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Kullanılan tutkal malzemesinin teknik özellikleri.....	6
Çizelge 4.1. MDF numunelerden elde edilen sonuçlar.....	14
Çizelge 4.2. Kompozit numune özellikleri.....	18
Çizelge 4.3. Kompozit numuneler için titreşim test neticeleri.....	18
Çizelge 4.4. Kompozit kiriş rijitlik değerleri (Birimler N-mm).....	22



1. GİRİŞ

İnsanın ihtiyaçlarının artışı ve konforlu yaşam isteğine paralel olarak teknolojinin gelişmesi ile bina yapımı, gemi yapımı ve uçak yapımı evlerimizde kullandığımız aletlerin üretiminden kullanılan malzemelere kadar birçok alanda kompozit malzemeler hayatımızda yer almaktadır. Yüzyıllar önceden yaptığı bilinen kompozit malzemeler, son yıllarda yaygın kullanım alanı bulmuş. kompozit malzemeler kendi arasında ve üretim yöntemleri açısından oldukça çeşitlidir. Bu yöntemler içerisinde çalışmamıza konu olan malzeme ise cam elyaf takviyeli MDF kompozit kırıdır.

“MDF, medium density fiberboard kelimesinin kısaltması olan yani orta yoğunluklu lifli levha anlamındaki mühendislik ürünü ahşap kompozit bir malzemedir. MDF, sert ve yumuşak odun liflerinin kurutularak yüksek basınç ve sıcaklık altında preslenmesi sonucu reçine (tutkal) bağlayıcılarıyla birleştirilmesiyle oluşur. MDF üretimi aşağıdaki aşamalardan oluşur”; (Duran 2019).

- Kabuk Soyma
- Yongalama
- Yonga yıkama
- Liflendirme
- Tutkallama
- Serme
- Presleme

Dünyada MDF üretimi sürekli yükseliş trendindedir. Daha önce yonga levhaya alternatif olarak üretilen MDF hızlı gelişmesiyle yonga levhayı geçmiştir. “MDF’nin hızla yükselmesine neden olan en önemli etkenler; hammadde isteğinin yonga levhadan daha geniş sınırlar içinde olması, masif ağaç malzeme gibi işlenebilmesinden dolayı başta mobilya endüstrisi olmak üzere birçok kullanım alanında yonga levha ve kontrplak yerine fazla tercih edilmesi, fiziksel özelliklerinin ve mekanik direnç değerlerinin daha iyi olmasıdır” (Duran, 2019). MDF sağladığı avantajlar ile bugün mobilya sektöründe, özellikle panel mobilya üretimde aktif bir şekilde kullanılır.

MDF levha birçok farklı sektörde kullanıldığı için ihtiyaç duyulan boyutları da farklı olmaktadır. Mesela inşaat sektöründe büyük ebatlarda tek parça kullanılırken, mobilya sektöründe daha küçük boyutlar tercih edilmektedir. Bu sebeple MDF levha üreticileri, sektöre göre ihtiyaç duyulacak farklı boyutlarda MDF üretimi yapmaktadır. MDF’nin olumlu özellikleri aşağıda listelenmiştir;

- MDF’nin ısıya ve neme karşı dayanımı yüksektir.
- MDF tabla yüzeyi düz ve pürüzsüzdür.
- MDF yüzeyinin pürüzsüzlüğü boyama için oldukça elverişlidir.
- Ayrıca kaplama yapmak için de yüzeyi uygundur.
- MDF kolay şekil alır. Yüzeyi kadar kenarları da düzgündür ve istenilen dekoratif modeller oluşturulabilir.
- MDF, doğal ahşap ürünler ve diğer mühendislik ürünü olan kontrplak levhaya göre daha ucuzdur.

Bu çalışmada MDF kirişlerin cam elyafı takviyesi ile mukavemet ve rijitliklerinin artırılması amaçlanmıştır. Kompozit MDF kirişlerin üretiminde farklı üretim metotları uygulanabilir. Bu çalışmada takviye malzemesi olarak eksen doğrultusunda E-cam elyafı fitil, matris malzeme olarak ise poliüretan (PU) döküm reçinesi seçilmiştir. Seçilen poliüretan reçine, polyester, vinil ester ve epoksi reçinelere göre daha ekonomik, insan sağlığına çok daha az zararlı ve UV radyasyon gibi çevresel faktörlere daha dayanıklıdır. Bir diğer pozitif özellik olarak poliüretanın uygun katkıları ile polyester ve epoksiye göre yangına karşı dayanımının daha yüksek olmasıdır.

Bu çalışmada kompozit kiriş testleri öncesinde çekirdek malzeme olan MDF'nin ilgili elastisite modülü ve kayma modülü değerlerini konsol kiriş titreşim, konsol kiriş statik eğilme, ve 3 nokta eğilme testleri yapılarak ve analitik çözümler kullanarak istenen özellikler bulunmuştur. MDF elastisite ve kayma modülü değerlerini elde edebilmek için konsol kiriş titreşim testleri iki farklı uzunluk için yapılmıştır. Bu maksatla, elde edilen doğal frekans değerleri, analitik çözüm kullanılarak oluşturulmuş ve Newton Yöntemini temel alan bir programda girdi olarak kullanılmıştır. Daha sonra basit kiriş statik eğilme testi yapılarak elde edilmiş olan deneysel neticeler, deneysel olarak elde edilmiş mekanik özellikler kullanılarak elde edilmiş olan analitik netice ile mukayese edilmiştir.

İkinci aşamada imal edilen kompozit kirişlerin rijitliklerini belirlemek için konsol kiriş titreşim ve 3 nokta eğilme testleri yapılmıştır. Yapılan deneyler, analitik çözüm ve elde edilen değerler detaylı olarak tez içerisinde yer verilmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

Bu çalışmada yapılan çalışmalar ile ilgili literatür özeti aşağıda sıralanmıştır.

Literatürde cam elyafı takviyeli MDF ile ilgili bazı çalışmalar bulunmaktadır. Cai (2006) cam elyaf keçe takviyeli MDF levhaları incelemiştir. Kaplamalı orta yoğunlukta sunta ve yonga levha elde etmek için sıcak basım yapılmış ve cam elyaf ile güçlendirilerek mekanik ve yüzey kalitesi geliştirilmiş ve su geçirmez panellerin imal edilebileceği gösterilmiştir.

Benzer bir çalışmada Mohebbi vd. (2011) MDF üzerinde metal ve dokuma sentetik filenin takviyenin etkisini incelemişlerdir. Levha üretimi alışılmış şekilde yapılmıştır ancak takviye malzemeleri levhanın 1/4 kalınlığında yerleştirilmiştir ve bağlayıcı olarak üre formaldehit reçinesi kullanılmıştır. Ancak metal file takviye için bir epoksi reçine kullanılmıştır. Eğilme ve çekme dayanımı ASTM D 1037-99e göre ve darbe direnci ASTM D 256-64 ve ASTM D 6815-02 ye göre belirlenmiştir. Sonuç olarak takviye malzemesi sayesinde eğilme dayanımı ve darbe yük direncinde ciddi artış gözlenmiştir.

Bal (2014) tarafından yapılmış bir çalışmada fenol formaldehit yapıştırıcı kullanarak üretilmiş cam elyafı takviyeli lamine kavak kereste ele alınmıştır. Takviye malzemesinin etkisini belirlemek için çeşitli deneyler yapılmıştır. Sonuç olarak; cam elyaf takviyenin yoğunluk, darbe, eğilme ve kesme dayanımını artırdığı belirlenmiştir.

Abdellah vd. (2017) cam elyafı takviyeli MDF numuneler üzerinde çekme ve eğilme testleri yapmışlardır. Bu testler MDF' nin daha güçlü yapılması için yapılmış bunun yanında kompakt germe ve merkez çentik örneği testleri de MDF ana maddesinde kırılma tokluğu ve yapılan değişikliği elde etmek için yapılmıştır. Sonuç olarak çekme ve eğilme mukavemeti artmıştır ayrıca sonuçlar katmanlı malzeme ile orta yoğunlukta lif levha plaka arasındaki uyumluluğu ve yapışmayı göstermektedir.

Fiorelli ve Dias (2003) cam ya da karbon fiberleri ile güçlendirilmiş ahşap kirişler (pinus caribea var hondarensis) ile ilgili deneysel bir çalışma yapmışlardır. Teorik model kirişin eğilme dayanımı ve kerestenin nihai çekme dayanımı göz önünde bulundurarak hesaplanmıştır. Güçlendirilmiş ahşap kirişlerin mukavemeti ve rijitliği deneysel olarak doğrulanmıştır.

Corradi ve Borri (2007) ahşap kirişlerin pultrüzyon tekniği ile üretilmiş cam elyaf takviyeli plastik (CTP) elemanlar ile takviyeleri konusunda çalışmışlardır. Sunulmuş olan deneysel neticeler, CTP takviyenin kapasite ve eğilme rijitliğinde ciddi artışa sebep olduğunu göstermektedir.

Garcia (2013) tarafından yapılan deneysel çalışmada olup kompozit malzeme ile güçlendirilmiş ahşap kirişler üzerinde eğilme testleri yapılmıştır. Tek yönlü ve çift yönlü dokumalar mukayese edilmiş ve çift yönlü karbon dokumanın en iyi neticeyi verdiği gösterilmiştir.

Plevris ve Triantafillou (1992) çekme bölgesinde epoksi reçine ile yapıştırılmış elyaf takviyeli plastik şeritler ile güçlendirilmiş ahşap kiriş davranışını analitik ve deneysel olarak incelemişlerdir. 3 nokta eğilme ve dışmerkez basma testleri yapılmış ve düşük takviye oranları için bile kapasite ve rijitliğin ciddi nispette arttığı bildirilmiştir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Deneyisel çalışmada kullanılan kompozit MDF kiriş imalatında kullanılan, MDF, cam elyaf ve poliüretan yapıştırıcı (PU) teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

3.1.1. MDF kiriş geometrik özellikleri

Deneyde kullanılan MDF paneller 30 mm kalınlıkta ve 50 mm eninde kesilerek 1000 mm uzunlukta kiriş haline getirilmiş bu numuneden 6 adet üretilmiştir. 3 adet takviyesiz MDF ve 3 adet cam elyaf takviyeli poliüretan dış yüzü MDF çekirdekli kirişler üzerinde çeşitli deneyler yapılmıştır.

3.1.2. Poliüretan reçine özellikleri

Cam elyaf lifleri çekirdek MDF üzerine yapıştırmada 2 komponentli poliüretan reçine kullanılmıştır; bkz. Şekil 3.1 ve Çizelge 3.2. Bu malzemenin seçilmesinin en önemli nedenleri; polyester reçine gibi sağlığa zararlı olmayışı, UV radyasyonu ve iklim şartları gibi dış etmenlere karşı dayanıklı oluşu, uygulanırken hava kabarcığı oluşturmaması ve dolayısıyla yapışma özelliğini kaybetmemesidir. 2 bileşenden oluşan malzeme 1/1 oranı ile karıştırılmaktadır. 1 birim poliüretan tutkala 1 birim sertleştirici katkısı eklenerek uygulamaya hazır hale getirilmektedir. Hazırlanan karışımın uygulanabilirlik süresi maksimum 3 dakikadır.



Şekil 3.1. Kullanılan poliüretan tutkal ve sertleştirici komponenti

Üretici firma tarafından sunulmuş reçine sistemi özellikleri şöyledir;

- Uygulama için uygun pot life (Döküm Süresi)
- Yüksek mukavemet değerleri (Kırılmaya karşı yüksek direnç)
- Vida tutma özelliği (Mobilya parçalarında montaj için)
- Düşük reaksiyon sıcaklığı (Kalıp silikonunda daha yüksek kullanım süresi)
- Kokusuz, El dökümü ve PU enjeksiyon makinasına uygun
- Yüksek boyutsal kararlılık (Düşük çekme miktarı)

Çizelge 3.1. Kullanılan tutkal malzemesinin teknik özellikleri

Malzeme Yapısı	Çift bileşenli
Bağlayıcı Madde	Poliüretan reçine
Karışım Oranı	1/1 kg ağırlıkça
Yoğunluk 25 °C (g/cm ³)	Ana malzeme 1.07 gr/cm ³ sertleştirici 1.15 gr/cm ³
Kremleşme Zamanı	120-150sn
İplikleşme (jel) Zamanı	150 sn – 170 sn
Dokunma (Ele Yapışmama) Zamanı	190 sn – 200 sn
Çevreye uyum	Çevreye olumsuz etkisi yok
Sağlığa uygunluk	Sağlığa zararlı değildir
Depolama Ömrü	6 ay

3.1.3. Cam elyaf özellikleri

Kullanılan cam elyaf fitil özellikleri Şekil 3.2’de gösterilmektedir.

KCR2(E):

KCR2(E) multi end roving 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)
Roving Tex Count	:	2400
CE Sizing Code	:	02
Filament Diameter	:	13
Split Tex	:	60

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		

Şekil 3.2. Numunelerimizde kullanılan cam elyafa ait üretici şirket tarafından verilmiş bilgiler

3.2. Metot

Materyal kısmında teknik özellikleri verilen malzemeler kullanılarak kompozit MDF kirişlerin imal edilmesi öncesinde çekirdek malzeme olan MDF elastisite modülü ve kayma modülü değerleri belirlemek için yapılan ilgili deneyler ve kompozit MDF kiriş imalatı ve deneyleri bu bölümde sunulmuştur.

3.2.1. Konsol kiriş titreşim testleri

Takviyeli ve takviyesiz MDF kiriş numuneleri Şekil 3.3’de gösterdiği gibi 2 farklı açıklıkta $L=60$ cm ve $L=80$ cm uzunluğunda konsol olacak şekilde mesnetlenmiş ve uçlarına ADXL345 marka bir ivme ölçer yerleştirerek titreşim frekansları ölçülmüştür. Ölçülen frekans değerleri kullanılarak MDF için düzlem içi elastisite modülü ve düzlem dışı kayma modülü değerleri ve kompozit kirişler için eğilme ve kayma rijitlikleri belirlenmiştir. Deneyler sırasında konsol kiriş, serbest ucuna metal bir çekiç ile vurularak tahrik edilmiş ve örnekleme frekansı 912 Hz olacak şekilde toplam 250 ivme-zaman verisi kaydedilmiştir. Elde edilen ham verilerin FFT analizleri Welch Yöntemi kullanılarak yapılmıştır (Welch 1967).



Şekil 3.3. MDF konsol kiriş titreşim testi

Konsol kiriş statik eğilme testlerinden sünme sebebiyle iyi netice elde edilememesi üzerine malzeme özelliklerini belirlemek için tahribatsız bir yöntem olan konsol kiriş titreşim testi yapılmasına karar verilmiştir. Aşağıdaki alt bölümlerde titreşim deney verilerinin değerlendirilmesi konusu izah edilmiştir.

3.2.1.1. Konsol kiriş titreşim problemi

Öncelikle klasik kiriş teorisine (Bernoulli-Euler) göre 1. titreşim mod şekline karşı gelen sönümsüz titreşim frekansının analitik olarak belirlenmesi üzerinde durulacaktır. Formülasyonda dönel ataletin ihmal edildiğini not ediniz. Seçilen Deplasman fonksiyonu,

$$w(x) = w_0 \left(1 - \cos \frac{\pi x}{2L} \right) \text{ ve } w(x, t) = w(x) * \cos \omega_n t$$

olsun, burada w_0 genliktir. Seçim bu fonksiyon aşağıda gösterildiği üzere sınır şartlarını kısmen sağlar.

$$\frac{dw}{dx} = w_0 \left(\frac{\pi}{2L} \right) \sin \frac{\pi x}{2L} \rightarrow \frac{dw}{dx} \Big|_{x=0} = 0$$

$$\frac{d^2 w}{dx^2} = w_0 \left(\frac{\pi^2}{4L^2} \right) \cos \frac{\pi x}{2L} \rightarrow m(L) = EI \frac{d^2 w}{dx^2} \Big|_{x=L} = 0$$

$$\frac{d^3 w}{dx^3} = w_0 \left(\frac{\pi^3}{8L^3} \right) \sin \frac{\pi x}{2L} \rightarrow VL = EI \frac{d^3 w}{dx^3} \Big|_{x=L} \neq 0$$

Buna rağmen, seçilen fonksiyon yaklaşık çözüm bulmak için kullanılabilir. Toplam potansiyel, Π ve toplam kinetik enerji, T , aşağıda tanımlanmıştır;

$$\Pi = \frac{EI}{2} \int_0^L \left(\frac{d^2 w}{dx^2} \right)^2 dx$$

$$T = \frac{1}{2} \delta \omega_n^2 \int_0^L w^2 dx$$

w yerine koyulursa ve Π ve T birbirine eşitlenirse;

$$\Pi = \frac{1}{64} \pi^4 \left(\frac{EI}{L^3} \right) w_0^2 \text{ ve } T = \frac{1}{4} \delta \omega_n^2 w_0^2 L \left(3 - \frac{8}{\pi} \right),$$

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} * \frac{3.664}{L^2}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m_{eff}}} \quad m_{eff} = 0.2235 \rho L$$

olarak elde edilir.

3.2.1.2. Timoshenko teorisine göre hesap

Deplasman fonksiyonu;

$$w(x) = \frac{P}{EI} \left(-\frac{x^3}{6} + \frac{x^2 L}{e} \right) + \frac{P}{\alpha GA} * x$$

olarak seçilmiştir. Bu fonksiyon sınır şartlarını aşağıda gösterildiği şekilde sağlar.

$$w(0) = 0 ; w(L) = \frac{PL^3}{3EI} + \frac{PL}{\alpha GA}$$

$$\left. \frac{dw}{dx} \right|_{x=0} = \frac{P}{\alpha GA} ; \left. \frac{d^2 w}{dx^2} \right|_{x=L} = 0 \rightarrow m(L) = 0$$

Bölüm 3.2.1.1.'de izah edilen işlemler tekrarlanırsa;

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_{eff}}{(m_{eff} + m')}} \quad (3.1)$$

$$k_{eff} = \frac{1}{\frac{L^3}{3EI} + \frac{L}{\alpha GA}}$$

$$m_{eff} = \frac{\rho L}{\left(\frac{L^2}{3EI} + \frac{1}{\alpha GA} \right)^2} * \left(\frac{11L^5}{420EI^2} + \frac{11L^3}{60EI\alpha GA} + \frac{L}{36\alpha^2 GA^2} \right)$$

olarak elde edilir. Eşitlik 3.1'de m' ivmeölçer kütlelerini gösterir.

3.2.2. Konsol kiriş statik eğilme testleri

Şekil 3.4' de gösterdiği üzere 800 mm ve 600 mm iki farklı açıklıklı konsol kirişlerin serbest uçlarına düşey statik yük uygulanmıştır. Böylece takviyeli ve takviyesiz kirişler için titreşim testleri ile elde edilmiş olan mekanik özelliklerin kontrol edilmesi amaçlanmıştır.

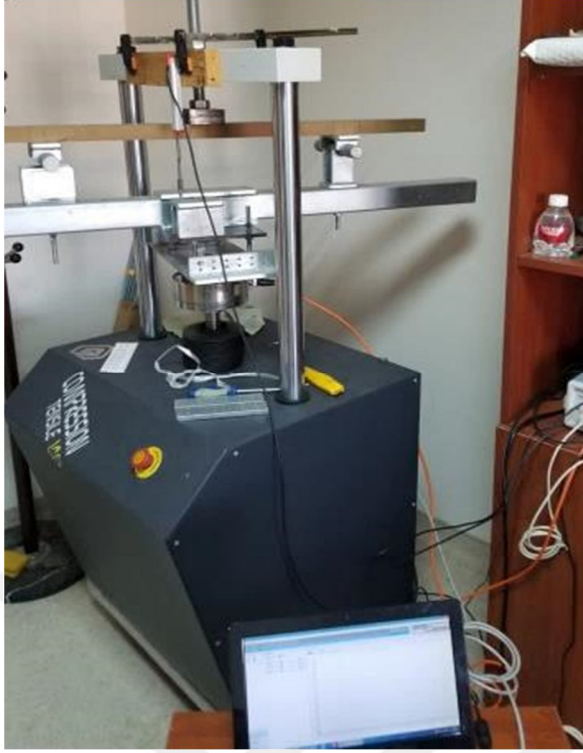


Şekil 3.4. Konsol kiriş statik eğilme deney düzeneği

3.2.3. Basit kiriş 3 nokta eğilme testleri

Uzunlukları 600 mm olan MDF kiriş numuneleri 3 nokta eğilme testine tabi tutulmuştur. Deney düzeneği içine yerleştirilmiş numune ise Şekil 3.5.'de gösterilmektedir. Rijit bir kiriş eğilme düzeneği, deplasman kontrollü bir basma-çekme deney cihazı (model: Rantek-100) içine Şekil 5'te gösterildiği şekilde yerleştirilmiştir. 100 kN kapasiteli bir yük hücresi (model: Puls Elektronik HT1-W) ve 0.01 mm hassasiyetli bir potansiyometrik cetvel (model: Opkon-100) veri toplama sistemine (model: TESTART-Testbox 1001) bağlanmış ve numuneler ASTM C393 standardı göz önünde bulundurularak 3.6 mm/dk hızla yüklenmiştir.

Ayrıca, batma hasarını engellemek için kiriş ortasına 70 mm boyunda çelik bir plaka yerleştirilmiştir.



Şekil 3.5. 3 nokta eğilme deney düzeneği

3 nokta yükleme deneyi neticelerinin karşılaştırılacağı analitik çözüm Timoshenko tarafından sunulmuştur.

$$\delta_{maks} = \frac{PL^3}{48EI} + \frac{PL}{4(5/6)GA} \quad (3.2)$$

3.2.4. Newton yöntemi

Bu alt bölümde, mekanik özellikleri belirlemek için kullanılacak olan Newton Yöntemi kısaca izah edilmiştir. Aşağıda gösterilen 2 değişkenli nonlineer 2 denklemden oluşan bir denklem sistemi Newton Yöntemi ile şöyle çözülür.

$$f(x, y) = 0, \quad g(x, y) = 0$$

olsun (x_0, y_0) başlangıç noktası olmak üzere, bir sonraki iterasyondaki değerler $x_1 = x_0 + \Delta_x$ ve $y_1 = y_0 + \Delta_y$ olsun. f ve g fonksiyonlarının Taylor seri açılımlarında Δ_x^2 ve Δ_y^2 ve sonraki terimleri ihmal edilir.

$$f(x_0 + \Delta_x, y_0 + \Delta_y) = f(x_0, y_0) + \frac{\partial f}{\partial x}(x_0, y_0)\Delta_x + \frac{\partial f}{\partial y}(x_0, y_0)\Delta_y + \dots$$

$$g(x_0 + \Delta_x, y_0 + \Delta_y) = g(x_0, y_0) + \frac{\partial g}{\partial x}(x_0, y_0)\Delta_x + \frac{\partial g}{\partial y}(x_0, y_0)\Delta_y + \dots$$

burada $\frac{\partial f}{\partial x}(x_0, y_0)$ f in x 'e göre kısmi türevinin x_0, y_0 noktasındaki değeridir. O halde,

$$f(x_0, y_0) + \frac{\partial f}{\partial x}(x_0, y_0)\Delta_x + \frac{\partial f}{\partial y}(x_0, y_0)\Delta_y \approx 0$$

$$g(x_0, y_0) + \frac{\partial g}{\partial x}(x_0, y_0)\Delta_x + \frac{\partial g}{\partial y}(x_0, y_0)\Delta_y \approx 0$$

Bu iki denklem matris formunda yazılırsa;

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial f}{\partial x}(x_0, y_0) & \frac{\partial f}{\partial y}(x_0, y_0) \\ \frac{\partial g}{\partial x}(x_0, y_0) & \frac{\partial g}{\partial y}(x_0, y_0) \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} f(x_0, y_0) \\ g(x_0, y_0) \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Burada $[J]$ = Jakobi matrisidir. Böylece Δx ve Δy belirlenir ve bunlar kullanılarak x_1 ve y_1 hesaplanır. Her adımda $[J]$ hesaplanarak devam edilir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Aşağıdaki alt bölümlerde takviyesiz ve takviyeli kirişler için elde edilmiş deneysel ve analitik neticeler sunulmuştur.

4.1. MDF Kirişler

4.1.1. Konsol kiriş titreşim deneyleri

MDF numuneler için elde edilmiş olan konsol kiriş titreşim deney neticeleri Çizelge 4.1’de özetlenmiştir. Çizelge 4.1’de F_n^A Eşitlik 3.1 kullanılarak elde edilmiş olan analitik frekans değerleridir. 1. numune için elde edilmiş deney neticeleri ölçümde hata yapıldığı için sunulmamıştır. 4. Numune için elde edilen neticeler ise standart sapmaları yüksek olduğu için ortalama değer hesabında göz önünde bulundurulmamıştır.

Çizelge 4.1’de sunulmuş olan MDF için E ve G değerleri Newton Yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. $L_1 = 60cm$, $L_2 = 80cm$ alınmış ve 1. Titreşim mod şekline karşı gelen frekanslar $f_{n,1}$ ve $f_{n,2}$ Eşitlik 3.3’te yerine koyulmuştur.

$$F_1(E, G) = \left(\frac{1}{2\pi} \right) \sqrt{\frac{k_{eff,1}}{m_{eff,1} + m'}} - f_{n,1} = 0$$

$$F_2(E, G) = \left(\frac{1}{2\pi} \right) \sqrt{\frac{k_{eff,2}}{m_{eff,2} + m'}} - f_{n,2} = 0$$

Böylece, bilinmeyenler olan E ve G değişkenlerini içeren 2 nonlinear denklem elde edilmiştir. Çözüm için Jakobi matrisi;

$$[J] = \begin{pmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial E} & \frac{\partial F_1}{\partial G} \\ \frac{\partial F_2}{\partial E} & \frac{\partial F_2}{\partial G} \end{pmatrix}$$

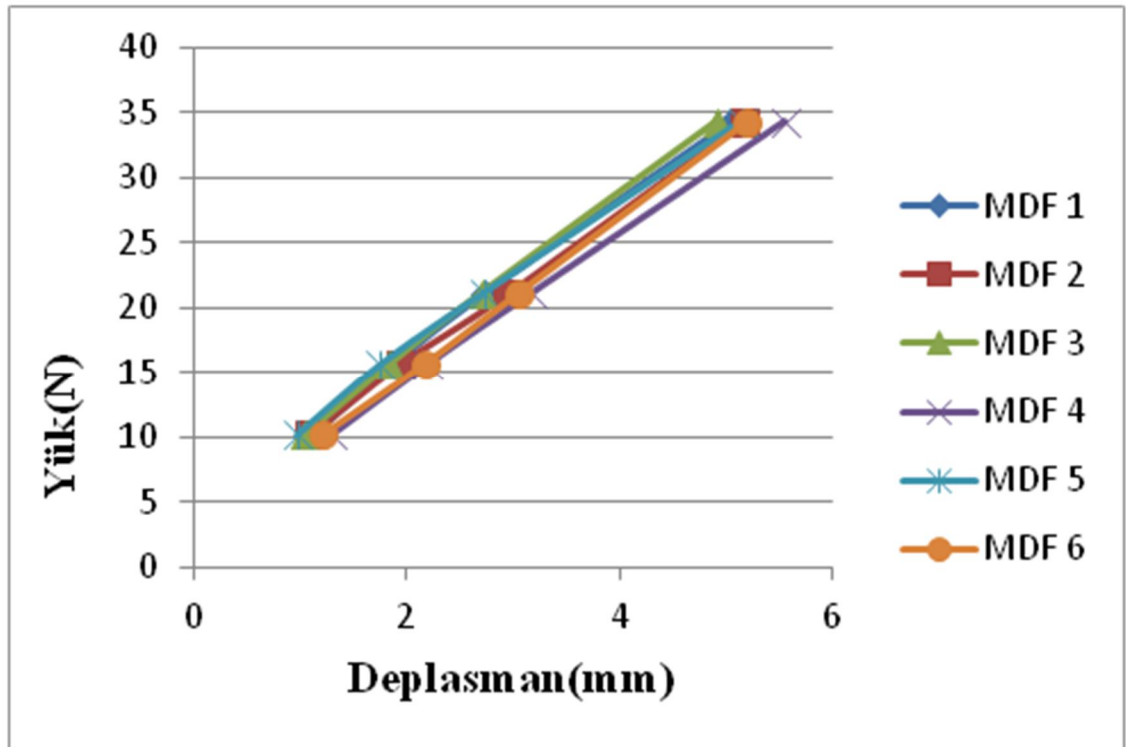
olur. Başlangıç E_0 ve G_0 değerleri seçilmiş ve iterasyonlar neticesinde E ve G değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. MDF numunelerden elde edilen sonuçlar

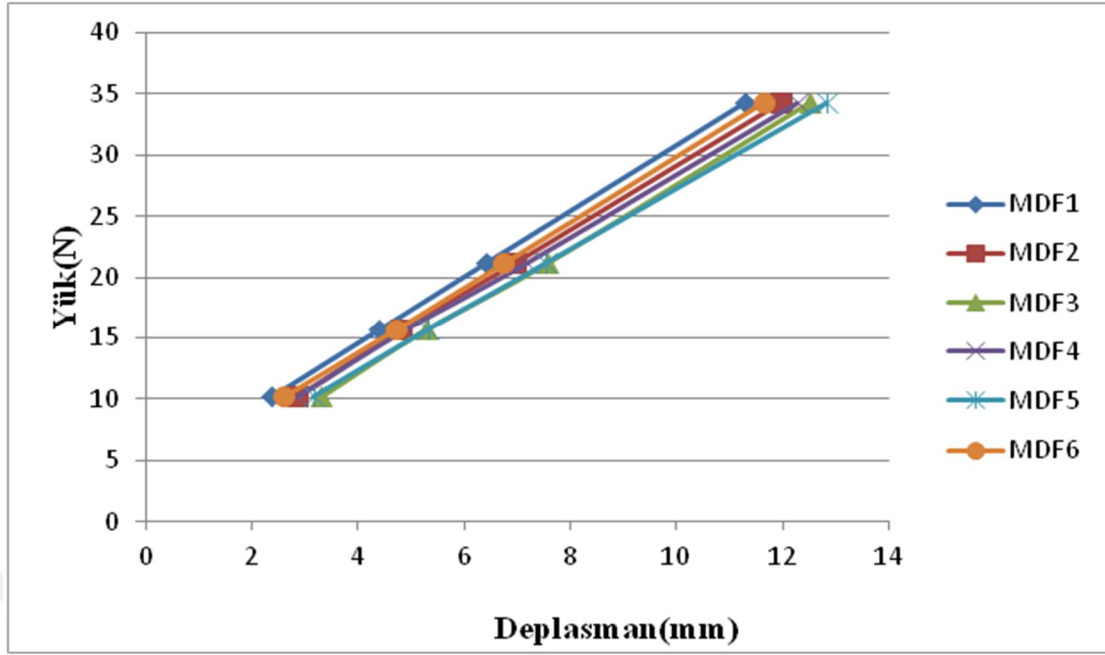
Numune:	MDF2	MDF3	MDF4	MDF5	MDF6	Ortalama
Ağırlık (gr/m)	1139	1134	1139	1142	1141	
E (MPa)	3427.6	3638.8	3512.2	3479.6	3764.8	3564.6
G (MPa)	28.8	17.0	19.7	28.3	27.6	24.3
f_n (Hz) (600mm) Test	27.508	27.426	27.240	27.639	28.617	-
f_n (Hz) (800mm) Test	15.813	15.993	15.801	15.898	16.495	-

4.1.2. MDF Konsol kiriş statik eğilme deney neticeleri

Konsol kiriş statik eğilme deney neticeleri Şekiller 4.1. ve 4.2. de sunulmuştur. Başlangıçtaki nonlineer kısımlar grafiklerde gösterilmemiştir.



Şekil 4.1. MDF numuneler için deneyden elde edilen yük-deplasman grafiği, $L=600$ mm

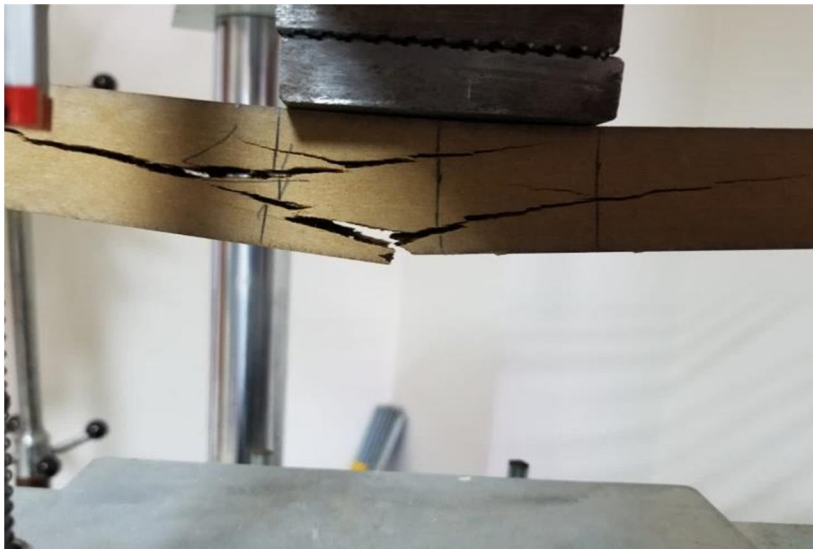


Şekil 4.2. MDF numuneler için deneyden elde edilen yük-deplasman grafiği, $L=800$ mm

Sünme etkisi sebebiyle bu deney neticeleri kullanılarak MDF elastisite ve kayma modülü değerlerinin bulunması mümkün olamamıştır.

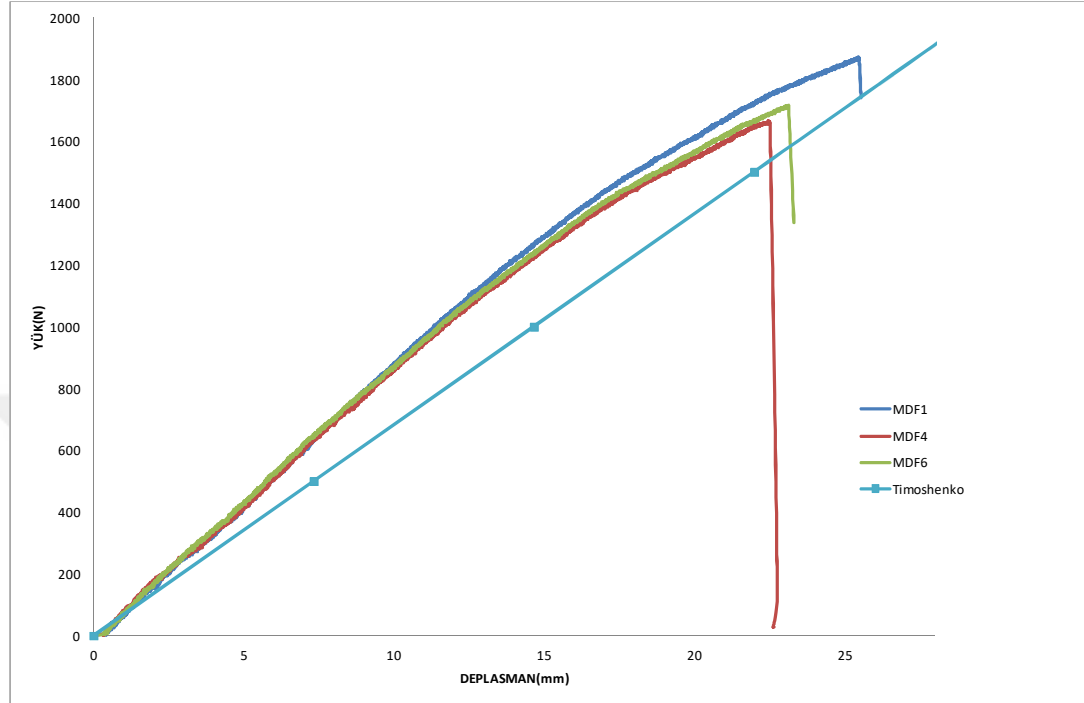
4.1.3. MDF basit kiriş 3 nokta eğilme testleri

Uzunlukları 600 mm olan MDF kiriş numuneleri 3 nokta eğilme testine tabi tutulmuştur. Yapılan basit kiriş 3 nokta eğilme deneyleri sonucunda kirişlerin göçme yükleri ve orta nokta deplasman değerleri elde edilmiştir. Deney düzeneği içine yerleştirilmiş bir numune Şekil 4.3.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. 3 nokta eğilme deneyi sırasında göçmüş bir kiriş numunesi

MDF kirişler bu deney sonucunda ani bir şekilde orta alt yüzde oluşan bir eğilme çatlağının ilerlemesi ile göçmüşlerdir. Basit kiriş 3 nokta eğilme testinden elde edilmiş olan deneysel neticeler, Çizelge 4.1’de sunulmuş olan mekanik özellikler kullanılarak elde edilmiş olan analitik netice ile mukayeseli olarak Şekil 4.4’de sunulmuştur.



Şekil 4.4. MDF1, MDF4 ve MDF6 kodlu numuneler için yük-deplasman eğrileri

Şekil 4.4’ten açıkça görülebileceği şekilde, analitik deplasman değeri deneysel deplasman değerlerinden daha yüksektir. Bunun sebeplerinin ihmal edilmiş olan kaymaya bağlı kesit çarpılması (Timoshenko 1956) ve titreşim testleri ile elde edilmiş kayma modülünün hata içermesi olduğu düşünülmektedir.

4.2. Kompozit Kirişler

4.2.1. Kompozit Numune imalatı

3 adet kompozit kiriş, MDF kirişler dış yüzlerine cam elyafı takviyeli poliüretan katmanlar yapıştırılarak imal edilmiştir, bkz. Şekil 4.5. ve 4.6.



şekil 4.5. Liflerin kılavuzlar vasıtasıyla yerleştirilmesi

Kompozit dış yüz içindeki cam elyafı miktarını sabit tutmak için her bir yüze toplam 10 sıra cam elyafı fitil yerleştirilmiştir. Daha sonra döküm reçinesi dökülmüş ve numunelerin kr alması için bir süre bekletilmiştir. İmal edilen numunelerin özelikleri izelge 4.2’de verilmiştir.



şekil 4.6. Numune zerine poliüretan sürülmesi

Çizelge 4.2. Kompozit numune özellikleri

Numune kodu	Ağırlık (gr)	Uzunluk L (mm)	Kalınlık t_f (mm)
KOMP2	1422	1000	3.1
KOMP3	1441	1000	3.6
KOMP5	1435	1000	3.3

4.2.2. Kompozit numuneler üzerinde yapılan titreşim testleri

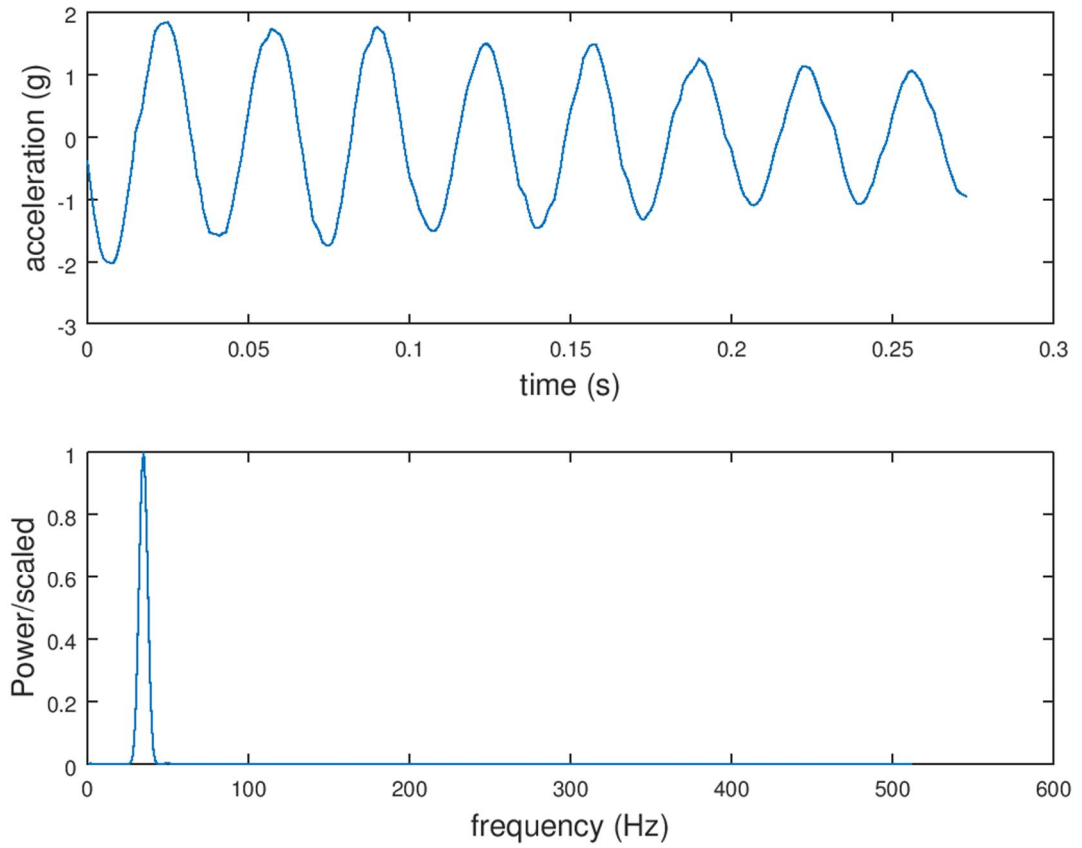
MDF numuneler için yapıldığı şekilde kompozit sandviç kiriş numuneleri için de titreşim testleri iki farklı numune uzunluğu için yapılmıştır. $L=600$ mm ve $L=800$ mm uzunlukta numuneler için elde edilmiş neticeler aşağıda Çizelge 4.3. de analitik olarak elde edilmiş olan neticeler ile mukayeseli olarak sunulmuştur. Kompozit numuneler için hesap Eşitlik 3.1 kullanılarak yapılmıştır ve eğilme rijitliği EI , ve kayma rijitliği GA değerleri (PU katkısını ihmal ederek) şöyle hesaplanmıştır;

$$EI \approx \frac{E_{MDF} b t_{MDF}^3}{12} + 2E_f \left[b t_f \left(\frac{h}{2} \right)^2 \right], \quad GA \approx b h_c G_{12}^{MDF}. \quad (4.1)$$

Örnek bir FFT analiz neticesi Şekil 4.7’da gösterilmektedir. Şekil 4.7’da gösterilen ivme-zaman verileri kullanılarak FFT tekniği ile temel titreşim frekansı değerleri elde edilmiştir. Çizelge 4.3’ten görülebileceği üzere, deneysel ve analitik neticeler genel olarak uyumludur. KOMP3 kodlu numune için hatanın KOMP2 ve KOMP5 kodlu kompozit kiriş numunelerine kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin numunedeki kusurlar olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, analitik neticeleri elde etmekte kullanılmış ve Çizelge 4.1’de sunulmuş olan MDF elastisite ve kayma modülü değerlerinde kesit çarpılmasının ihmal edilmiş olması sebebiyle hata olması da hatanın sebeplerinden biridir; bkz. (Dufort vd.2001).

Çizelge 4.3. Kompozit numuneler için titreşim test neticeleri

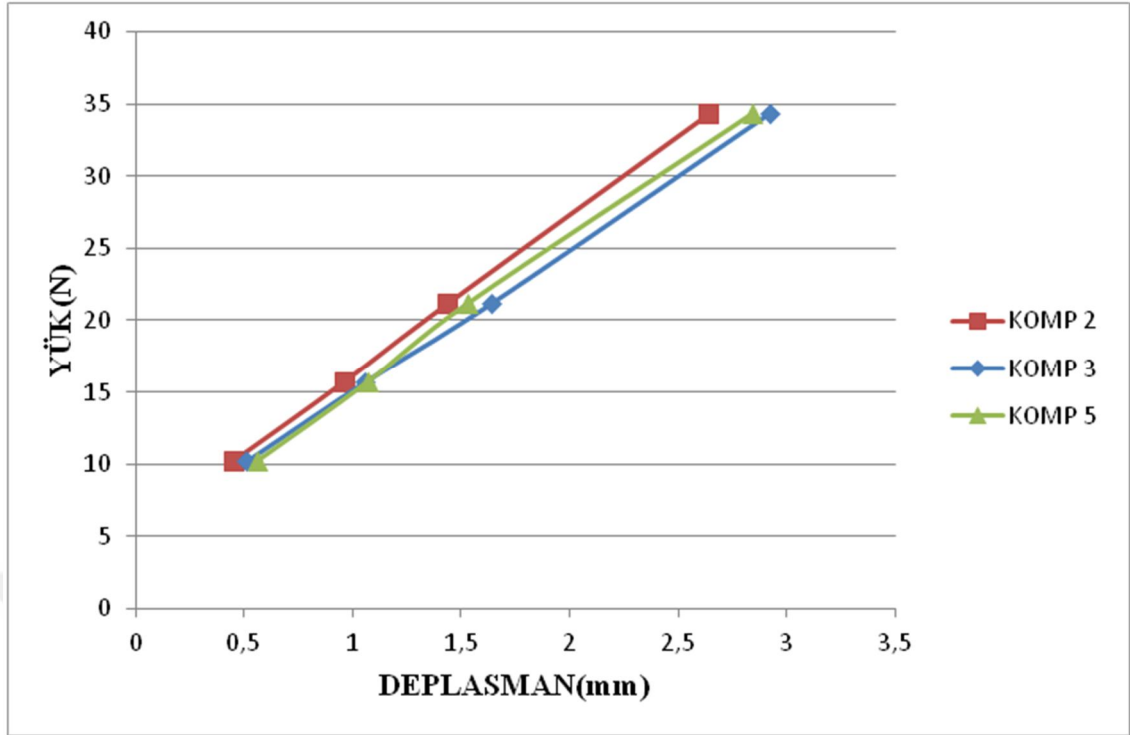
Numune:	KOMP2	KOMP3	KOMP5
f_n (Hz) (600mm) Test	33.089	31.300	33.089
f_n (Hz) (800mm) Test	19.674	21.463	19.674
f_n (Hz) (600mm) Analitik	31.393	31.187	31.252
f_n (Hz) (800mm) Analitik	18.872	18.777	18.816



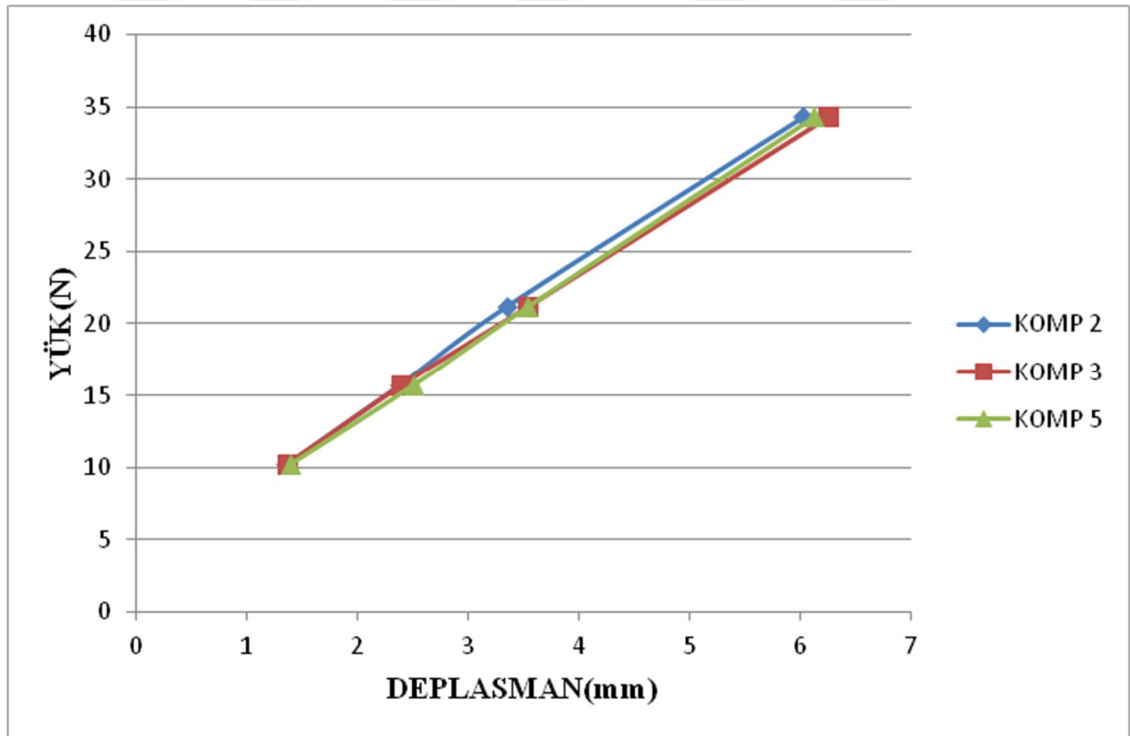
Şekil 4.7. Kompozit sandviç kirişin titreşim cevabı (a) zaman, ve (b) frekans tanım alanlarında (KOMP 3, $L=600$ mm)

4.2.3. Kompozit konsol kiriş eğilme deneyleri

MDF numuneleri için yapıldığı şekilde kompozit kiriş numuneleri için de konsol kiriş eğilme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen neticeler $L=600$ mm için Şekil 4.8’de ve $L=800$ mm için Şekil 4.9’de sunulmuştur. Başlangıçtaki nonlinear kısımlar grafikte gösterilmemiştir. Bu deneylerde sünme deformasyonlarının MDF numunelere kıyasla azaldığı gözlemlenmiştir. Elde edilen neticelerde sünme etkisinin görülmesi sebebiyle analitik model ile herhangi bir mukayese yapılamamıştır. Ancak, takviyesiz MDF kirişlere nispeten rijitliğin yaklaşık %90 kadar arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.8. Kompozit kiriş numuneleri için deneyden elde edilen yük-deplasman grafiği, $L=600$ mm



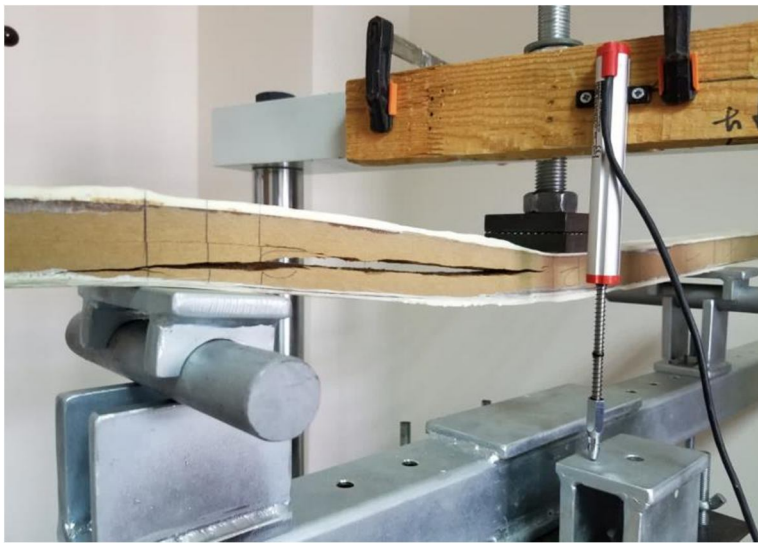
Şekil 4.9. Kompozit kiriş numuneleri için deneyden elde edilen yük-deplasman grafiği, $L=800$ mm

4.2.4. Kompozit kiriş 3 nokta eğilme testleri

MDF numuneler için yapıldığı şekilde sandviç kompozit kiriş numuneleri için de 3 nokta eğilme testleri yapılmıştır; bkz. Şekil 4.10. Kompozit kiriş numunelerin üçü de Şekil 4.11’da gösterildiği üzere çekirdeğin kesilmesi ile göçmüşlerdir. Basınç altındaki dış yüzde buruşma, mikro-burkulma gibi hasarlar gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.10. kompozit kiriş 3 nokta eğilme deneyi

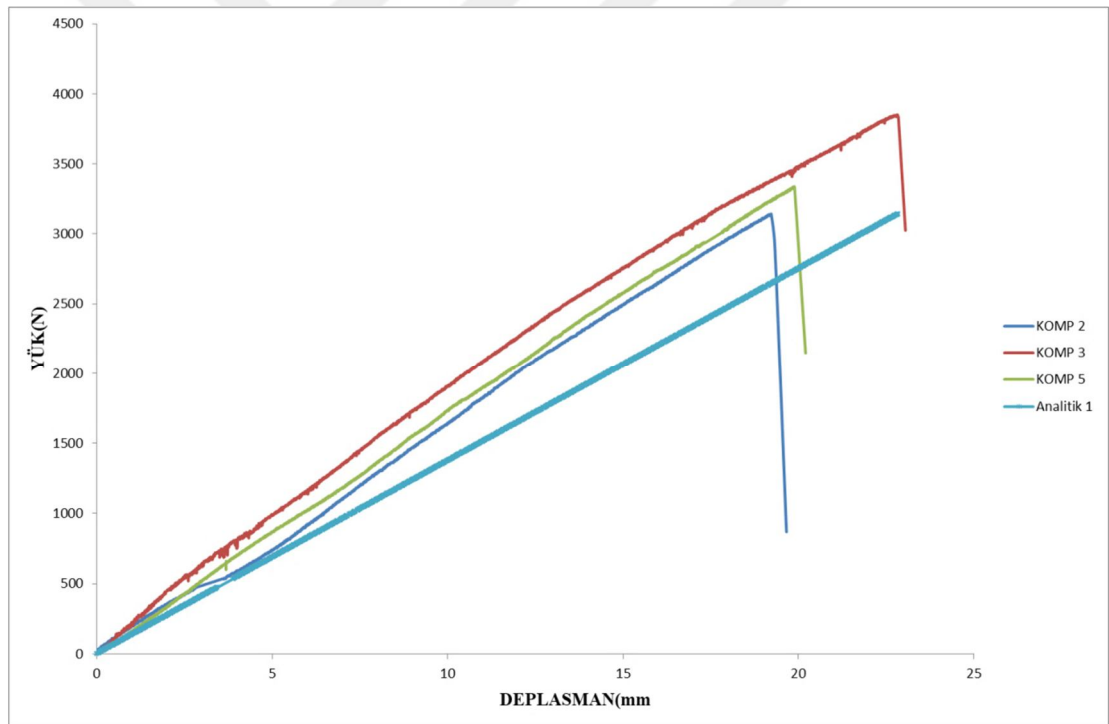


Şekil 4.11. kompozit kiriş 3 nokta eğilme deneyi altında çekirdeğin kesilmesi

Elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil 4.12’de sunulmuştur. Ayrıca, Çizelge 4.3’de sunulmuş olan titreşim test neticelerini kullanarak Bölüm 4.1.1’de izah edilmiş Newton Yöntemi ile sayısal olarak Çizelge 4.4’de sunulmuş olan eğilme ve kayma rijitliği değerleri de elde edilmiştir. KOMP3 kodlu numune için kusurlar ve mesnetleme hataları sebebiyle netice elde edilememiştir. Mukayese için analitik deplasmanlar Eşitlik 3.2 ile hesaplanmış ve hesapta Eşitlik 4.1’de verilmiş olan eğilme ve kayma rijitlikleri kullanılmıştır.

Çizelge 4.4. Kompozit kiriş rijitlik değerleri (Birimler N-mm)

Numune	KOMP2	KOMP3	KOMP5	Ortalama	Analitik (Eşitlik 4.1)
EI	8.2503×10^8	-	8.3255×10^8	8.2879×10^8	7.4981×10^8
αGA	3.0295×10^4	-	3.0565×10^4	3.0430×10^4	2.2500×10^4



Şekil 4.12. Kompozit numuneler için deneyden elde edilen yük-deplasman grafiği, $L=800$ mm

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada MDF çekirdekli ve cam elyafı takviyeli sandviç kirişlerin yapısal analiz ve testleri üzerinde durulmuştur.

Bu çalışma neticesinde aşağıda maddeler halinde özetlenmiş neticeler elde edilmiştir.

- i. Takviyesiz MDF kirişler için titreşim deneyi neticelerini kullanarak elastisite ve kayma modülü değerlerini elde etmek mümkün olamamıştır. Bunun sebeplerinden birinin MDF kirişlerin tam ankastre olarak mesnetlenememesi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, seçilen konsol kiriş uzunlukları olan $L=600$ ve 800 mm değerlerinin birbirine nispeten yakın olması da Newton Yöntemine dayanan sayısal çözümün başarısını etkilemiştir.
- ii. Konsol kiriş statik eğilme deneylerinden elde edilen neticeler ani sünme deformasyonları sebebiyle mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılamamıştır. Ancak, takviyesiz ve takviyeli MDF kirişler için konsol kiriş statik eğilme deney neticelerinin mukayesi takviyenin eğilme rijitliğini yaklaşık %90 artırdığını göstermektedir.
- iii. Takviyesiz ve takviyeli kirişler için 3 nokta eğilme deney sonuçlarının mukayesesi de benzer şekilde eğilme rijitliğinde % 90 kadar bir artış olduğunu göstermektedir. Ancak, eğilme rijitliğinde aynı nispete artış MDF kiriş derinliğini 7 mm kadar artırarak sağlanabileceğinden sadece eğilme rijitliğini artırmak için takviye yapmanın pek anlamlı olmadığı görülmüştür.
- iv. Elde edilen neticeler takviye ile kirişin nihai yük taşıma kapasitesinin ciddi nispete artırılabilceğini göstermektedir. Ancak, kullanılan MDF çekirdek malzemenin kayma dayanımının literatürde bulunan değerlerden, beklenmedik şekilde çok düşük olması sebebiyle 3 nokta eğilme deney numuneleri çekirdeğin kesilmesi ile göçmüşlerdir. Daha önce test edilen takviyesiz MDF kirişlerin eğilmeden göçmeleri sebebiyle bu durumun farkına varılamadığından numune boyu için $L=600$ mm'den daha büyük bir değer seçilmemiştir. İleride yapılacak çalışmalarda bu duruma dikkat edilmesi tavsiye edilir.
- v. Kompozit dış yüzü kiriş numunelerinin el yatırma tekniği ile üretilmelerinde kortel veya benzeri benzeri bir yüzey düzleştirici malzemenin kullanılmamış olması sebebiyle dış yüzlerde poliüretan katman kalınlığının değişken olduğu gözlemlenmiştir.
- vi. Bu çalışmada kullanılan poliüretan reçinenin kür alma süresinin çok kısa olması sebebiyle el yatırma tekniği için uygun olmadığı düşünülmektedir.

6.KAYNAKLAR

- Abdellah, M. Y., Fahmy, H. S., Abdel-Jaber, G. T., & Hashem, A. M. (2017). Characteristic properties of glass fiber reinforced sugarcane bagasse medium density fiber board. *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, 29(3), 97-105.
- Bal, B. C. (2014). Some physical and mechanical properties of reinforced laminated veneer lumber. *Construction and Building Materials*, 68, 120-126.
- Cai, Z. (2006). Selected properties of MDF and flakeboard overlaid with fiberglass mats. *Forest products journal*. Vol. 56, nos. 11/12 142-146.
- Corradi, M., & Borri, A. (2007). Fir and chestnut timber beams reinforced with GFRP pultruded elements. *Composites Part B: Engineering*, 38(2), 172-181.
- De la Rosa García, P. Escamilla, A. C., & García, M. N. G. (2013). Bending reinforcement of timber beams with composite carbon fiber and basalt fiber materials. *Composites Part B: Engineering*, 55, 528-536.
- Dufort, L., Grédiac, M., & Surrel, Y. (2001). Experimental evidence of the cross-section warping in short composite beams under three point bending. *Composite Structures*, 51(1), 37-47.
- Duran, S. 2019. Orta Yoğunlukta Lif Leva (MDF) Üretim Parametrelerinin Optimizasyon, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 1 s.
- Fiorelli, J., & Dias, A. A. (2003). Analysis of the strength and stiffness of timber beams reinforced with carbon fiber and glass fiber. *Materials Research*, 6(2), 193-202.
- Gentile, C., Svecova, D., & Rizkalla, S. H. (2002). Timber beams strengthened with GFRP bars: development and applications. *Journal of Composites for Construction*, 6(1), 11-20.
- Guan, C., Zhang, H., Hunt, J. F., & Yan, H. (2016). Determining shear modulus of thin wood composite materials using a cantilever beam vibration method. *Construction and Building Materials*, 121, 285-289.
- Hassan, M. K. (2017). Characterization of Face Sheet/Core Debonding Strength in Sandwiched Medium Density Fiberboard. *Materials Sciences and Applications*, 8(09), 673.
- Hyer, M. W., Anderson, W. J., & Scott, R. A. Non-linear vibrations of three-layer beams with viscoelastic cores, II: Experiment. *Journal of Sound and Vibration*, 61(1), 25-30, (1978).
- Kaya, N. (2018). Investigation of mechanical and physical properties of glass fiber reinforced fiber plates (MDF) produced from agricultural wastes. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(3), 905-916.
- Mohebbi, B., Tavassoli, F., & Kazemi-Najafi, S. (2011). Mechanical properties of

- medium density fiberboard reinforced with metal and woven synthetic nets. *European Journal of Wood and Wood Products*, 69(2), 199-206.
- Plevris, N., & Triantafillou, T. C. (1992). FRP-reinforced wood as structural material. *Journal of materials in Civil Engineering*, 4(3), 300-317.
- P. Welch, "The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short, modified periodograms," *IEEE Transactions on audio and electroacoustics*, vol. 15(2), pp. 70-73, 1967.
- Song, W., Xu, Z., & Zhang, S. (2018). Using surface modified E-glass fiber cloths to enhance poplar laminated veneer lumber composites: Effects of modification conditions, gluing processes, hot-pressing parameters, and assembly patterns on physical-mechanical and interfacial properties. *BioResources*, 13(1), 597-631.
- Timoshenko, S. (1956). Strength of materials.(part I and part II). Van Nos.
- Varanis, M., Silva, A. L., Brunetto, P. H. A., Gregolin, R. F. (2016). Instrumentation for mechanical vibrations analysis in the time domain and frequency domain using the Arduino platform. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 38(1).
- Varanis, M., Silva, A. L., & Mereles, A. G. (2018.). On mechanical vibration analysis of a multi degree of freedom system based on arduino and MEMS accelerometers. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40(1),
- Yoshihara, H. (2012). Influence of the specimen depth to length ratio and lamination construction on Young's modulus and in-plane shear modulus of plywood measured by flexural vibration. *BioResources*, 7(1), 1337-1351.1
- Yoshihara, H. (2011). Measurement of the Young's modulus and shear modulus of in plane quasi-isotropic medium-density fiberboard by flexural vibration. *BioResources*, 6(4), 4871-4885.

ÖZGEÇMİŞ

SANJAR SAEEDI

sanjarsaeedi@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2017-2020	Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2011-2015	Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

İnşaat Mühendisi	TB Construction Company
2015-2017	Kabil