

**BIOMİMETİK TASARIM OLARAK BAMBU BİTKİ GÖVDESİNİN
İNCELENMESİ: KOMPOZİT KİRİŞ TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cevdet ŞENEL

DANIŞMAN

Prof. Dr. Muhammet YÜRÜSOY

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

KASIM, 2016

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS

BİOMİMETİK TASARIM OLARAK BAMBU BİTKİ GÖVDESİNİN
İNCELENMESİ: KOMPOZİT KİRİŞ TASARIMI

Cevdet ŞENEL

DANIŞMAN

Prof. Dr. Muhammet YÜRÜSOY

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

KASIM, 2016

TEZ ONAY SAYFASI

Cevdet Şenel tarafından hazırlanan “Biomimetik Tasarım Olarak Bambu Bitki Gövdesinin İncelenmesi: Kompozit Kiriş Tasarımı” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 25/11/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Muhammet YÜRÜSOY

Başkan : Prof. Dr. Muhammet YÜRÜSOY
AKÜ, Teknoloji Fakültesi,

Üye : Doç. Dr. Fatih AKSOY
AKÜ, Teknoloji Fakültesi,

Üye : Yrd. Doç. Dr. Özgür SOLMAZ
MCBÜ, H.F.T. Teknoloji Fakültesi,

İmza
İmza
İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

25/11/2016

Cevdet ŞENEL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi BİOMİMETİK TASARIM OLARAK BAMBU BİTKİ GÖVDESİNİN İNCELENMESİ: KOMPOZİT KİRİŞ TASARIMI

Cevdet ŞENEL

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Muhammet YÜRÜSOY

İnsanoğlunun ihtiyaçları gün geçtikçe değişmektedir. Bu yüzden ihtiyaçlara göre en uygun özellikteki malzeme arayışları ve tasarımlar geliştirilmiştir. Dünyada birçok malzeme türü vardır. Ancak bu malzemelerin özelliklerine göre kullanım alanları farklıdır. Bu çalışmada bambu gövde kesit yapısı ele alınarak bu kesitteki fiber yapısına sahip yeni tip kompozit kiriş üretimi gerçekleştirilmiştir. Doğal bambu lifleri yapısı nedeniyle en çok ilgi çeken malzemelerdendir. Yüksek performans, kolay elde edilmesi, düşük temel maliyeti, biyomalzeme olması gibi özellikleri sayesinde kompozitlerde, endüstriyel tekstillerde ve inşaat sektörlerinde kullanılmaktadır. Yapılan çalışmayı temelde üç bölüme ayırmak mümkündür. Bunlardan birincisi bambu gövde yapısı üzerinden yapılan çeşitli deneyler, ikincisi bambu kesit yapısına benzer kompozit kiriş üretimi ve sonuncu bölüm ise üretilen kompozit kirişin farklı tasarım parametreleri için eğilme rijitliğinin tespiti şeklindedir. Bambu üzerinden yapılacak mekanik deneyler ile bambu gövdesinin eğilme rijitliği, gerek mekanik deneyler Sonlu Elemanlar Metodu ile incelenmiştir. Fiber yapısı üzerinde optimizasyon yapılmış yeni tasarım, üretilecek olan kompozit kirişe aktarılmıştır. Kompozit kiriş üretimi için silikon kalıp tasarımı ve üretimi yapılmıştır. Bu kalıpta çift kalıplama metodu kullanılıp, reçine transfer metodu ile üretim gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozit kiriş, karbon çubuklardan ve reçineden oluşmaktadır. Üretilen kiriş alınan test kuponları üzerinden üç nokta eğme testleri yapılarak yapının eğilme rijitliği farklı yönler için elde edilecektir. Sonuç olarak standart tek doğrultulu fiberden elde edilmiş aynı kalınlığa sahip kompozit kiriş ile bambu kesit yapısına sahip kompozit kiriş arasında eğilme rijitliği / yoğunluk parametresi dikkate alınarak karşılaştırma yapılmıştır.

2016, ix + 54 sayfa

Anahtar Kelimeler: Bambu kesiti, Tek doğrultulu kompozit, Eğilme rijitliği,

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF BIOMIMETIC DESIGN BASED ON BAMBOO CLUM:
COMPOSITE BEAM DESIGN

Cevdet ŞENEL

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Muhammet YÜRÜSOY

Humankind's needs change day by day. So, according to the needs searches and designings developed for the most suitable materials. There are a lot of material type in the World. But using areas are different according characteristics of these materials. In this study production of new type composite beam occurred by taking bamboo body section. Natural bamboo is the most interesting material due to the structure of fibers. It is used in composites, industrial textile and construction industry thanks to the features like high performance, easy finding and low cost. The study can be divided in three main sections. First section is about the tests with bamboo body section. The second section is the production of composite beam like bamboo section structure. And the last section is the determination of the composite beam's flexural stiffness in different designing parameters. Mecanic tests about bamboo and bamboo body section's flexural stiffness are examined by Finite Element Method. The designing is transferred to the composite plate by being made optimisation of fiber structure. For the production of composite beam silicon mold is designed and produced. rosin is transferred to this mold by using double molding. The beam consists of carbon rods and rosin. Through received test coupons bending stiffness of the structure will be obtained for different directions by experimenting simple bending tests, impact tests with produced beams. As a result obtained from standard unidirectional fiber composite beams having the same thickness are compared with the composite beam having bamboo section considering flexural stiffness / density parameter.

2016 ix + 54 pages

Keywords: Bamboo Section, Unidirectional Composite, Flexural Stiffness

TEŞEKKÜR

Beni bu konuda çalışmam için yönlendirerek, kâinatta olan her canlıya bakış açımı değiştiren bambaşka yönlerden bakmamı sağlayan, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren tez danışmanım ve değerli hocam Prof. Dr. Muhammet YÜRÜSOY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Üniversite hayatım boyunca ve yüksek lisans döneminde maddi ve manevi destek veren, her zamanengin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım ve her konuda yardımını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ'a teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans müddetince oda arkadaşım ve her konuda fikirleri ile destek olan Mustafa PERÇİN'e de teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana destek olan aileme ve çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli eşime en içten teşekkürlerimi sunarım.

Cevdet ŞENEL

AFYONKARAHİSAR, 2016

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Doğadan Esinlenerek Tasarım	3
2.2 Bambu Gövde Kesiti İle İlgili Yapılan Çalışmalar	4
3. MATERYAL ve METOT	12
3.1 Bambu Bitkisinin Mekanik Olarak İncelenmesi	12
3.1.1 Üç Nokta Eğme Testi ve Sonuçları.....	17
3.2 Bambu Bitkisinden Esinlenilerek Yeni Bir Kompozit Kiriş Tasarımı.....	23
3.2.1 Kompozit Malzemenin Tarihçesi.....	23
3.2.2 Kompozit Malzeme Özellikleri	23
3.3 Kompozit Kiriş İçin Kalıp Tasarımı ve Üretimi	24
3.3.1 Kalıp Silikon Malzeme Özellikleri	25
3.3.2 Kompozit Karbon Çubuk Malzeme Özellikleri.....	26
3.3.3 Kalıp Silikon Kalıbının Hazırlanması.....	29
3.4 Kiriş Plakalarının Tasarımı ve Kompozit Kirişin Üretimi	32
3.5 Üç Nokta Eğme Testi	43
3.6 Sonlu Elemanlar Metodu (SEM).....	44
3.6.1 Sonlu Elemanlar Metodu ile Yapılan Analizler.....	45
4. BULGULAR	46
4.1 Sonlu Elemanlar Metodu İle ilgili Analiz Sonuçları	46
5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER	49
6. KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	54

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

cm	Santimetre
mm	Milimetre
mm ²	Milimetre kare
N	Newton
α	Eğim [°]
w	Genişlik [mm]
t	Kalınlık [mm]
L	Uzunluk [mm]
s	İki destek arası mesafe [mm] İki destek arası mesafe [mm]
E	Elastisite modülü [GPa]
σ	Gerilme [MPa]
N	Kuvvet [F]
MPa	Megapascal
GPa	Gigapascal
ε	% Uzama [mm]
V	Hız [mm/dak]
α	Eğim [°]
w	Genişlik [mm]

Kısaltmalar

SEM	Sonlu Elemanlar Metodu
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
GRP	Cam Takviyeli Plastik
RW	Dokumalı Cam Fital
CSM	Cam Elyaf
Bkz.	Bakınız
NDT	Ultrasonik Muayene Yöntemi
CFRP	Fiber Takviyeli Kompozit Silindir
VARTM	Vakum Destekli Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi
FDM	Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzeme
RTV	Oda Sıcaklığında Sertleşme
VD.	Ve Diğerleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Fonksiyonel aşamalı bambu yapısının fiber hacim oranlarının kesit görünümü (Tan vd. 2011).	5
Şekil 2.2 Bambunun iç ve dış yüzeylerindeki fiber hacim oranının yüzdelik dağılımları (Sutnaun vd. 2011).	6
Şekil 2.3 Bambu gövdesine üç nokta eğilme testinin yapılması (Chung ve Yu 2002).	7
Şekil 2.4 Bambu dayalı biyoteknik silindirik kabuk tasarımı (Ma vd. 2008).	9
Şekil 2.5 Boğumlu yapıdaki bambu gövdesinin dört nokta eğme testi sonrası elde edilen (Bao vd. 2010).	10
Şekil 3.1 Bambu çekme numunesinin zımparalanmış ve zımparalanmamış durumu	12
Şekil 3.2 Bambunun ilk çekme numuneleri	13
Şekil 3.3 Kesit alanları küçültülmüş çekme numuneleri	14
Şekil 3.4 Çekme numunesi üç boyutlu gösterimi.	15
Şekil 3.5 Çekme deneyinin gerçekleştirilmesi.	15
Şekil 3.6 Bir nolu çekme numunesinin gerilme-uzama grafiği	16
Şekil 3.7 İki noktası belirlenmiş çekme numunesi.	17
Şekil 3.8 Üç nokta eğme katı model tasarımı	18
Şekil 3.9 Üç nokta eğme test numuneleri.	19
Şekil 3.10 Üç nokta eğme test yöntemleri	19
Şekil 3.11 Üç nokta eğme numunesinin cihaza bağlanmış hali	20
Şekil 3.12 Dış eğme (B1) numunelerinin kuvvet-uzama grafiği	20
Şekil 3.13 İç eğme (B2) numunelerinin kuvvet-uzama grafiği	21

Şekil 3.14 Yan eğme (B3) numunelerinin kuvvet-uzama grafiği	21
Şekil 3.15 Kompozit malzeme bileşenleri.....	24
Şekil 3.16 Kalıp silikonu ve katalizör (sertleştirici) malzeme	25
Şekil 3.17 Kompozit karbon çubuk.....	26
Şekil 3.18 Kompozit karbon çubuk malzemenin mikro yapısının incelenmesi.....	26
Şekil 3.19 Karbon çubuğun mikro yapı görüntüsü.	27
Şekil 3.20 Kiriş malzeme için hazırlanmış mermerler	30
Şekil 3.21 Kalıp malzemesi için kullanılacak borcam malzemesi	30
Şekil 3.22 Kalıba silikon malzemenin dökülme aşaması	31
Şekil 3.23 Kalıp hazırlandıktan sonra bekleme aşaması	31
Şekil 3.24 Kalıbın üretilmiş hali ve mermerlerden çıkarılmış durumu.....	32
Şekil 3.25 Bambunun mikro yapısının incelenmesi.....	33
Şekil 3.26 Bambu yapısının solidworks programına aktarılarak fiber oranın belirlenmesi	34
Şekil 3.27 Bambu yapısı.....	36
Şekil 3.28 Hegzagonal yapı.....	37
Şekil 3.29 Homojen yapı	37
Şekil 3.30 Boyutlu yazıcı ile plakaların üretilmesi	39
Şekil 3.31 Boyutlu yazıcı ile üretilmiş numuneler	39
Şekil 3.32 Karbon çubukları kesilmesi için kullanılan dramel makinesi	40
Şekil 3.33 Üretilen plakalara karbon çubukların montaj aşaması	40
Şekil 3.34 Sertleştirici malzeme ve reçine	41

Şekil 3.35 Üretilen kirişin silikon kalıptan çıkarılmış hali.....	41
Şekil 3.36 Bambu, hegzagonal ve homojen yapıdaki kirişler	42
Şekil 3.37 Üretilen kirişlerin kesit görünümü.	42
Şekil 3.38 Bambunun hegzagonal ve homojen yapıdaki kirişlere 3 nokta eğme testi uygulanması.	43
Şekil 3.39 Hegzagonal kiriş, homojen ve bambu kirişin eğilme dayanımlarının kıyaslanması.....	44
Şekil 3.40 Sonlu elemanlar metodu ile üç nokta eğme testi.....	45
Şekil 4.1 Üretimi yapılan kirişlerin yük dayanımları	46
Şekil 4.2 Üretimi yapılan kirişlerin gerilme konturları	47
Şekil 4.3 Sonlu elemanlar metodu ile tasarlanan bambu, homojen ve hegzagonal yapıdaki kesitlerin eğilme rijitliklerinin kıyaslanması	48
Şekil 4.4 Bambunun mekanik sonucu ile sonlu elemanlar metodu testinin grafiği	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3. 1 Çekme numune ebatları.....	14
Çizelge 3. 2 Eğme test numune ebatları.	18
Çizelge 3. 3 Üç nokta eğme test sonuçları.	22
Çizelge 3. 4 Karbon çubuk malzemenin özellikleri.	29
Çizelge 3. 5 Bambu yapısı, homojen yapı ve hegzagonal yapının analiz verileri.....	44

1. GİRİŞ

İnsanlar gözle görünen nesnelere bilimsel olarak tecrübe ve yaratıcılığını kullanarak doğal kaynaklardan insanlara faydalı ürünler ortaya koymasına tasarım denir. Günümüze kadar tasarımcılar yaptıkları çalışmalarda var olan bilimsel ve matematiksel bilgiyi yeni tasarımlarla ürünlere dönüştürerek insanların kullanımı için yeni ürünler ortaya koymuştur.

Bu ürünlerin tasarım sürecinde oluşma aşamaları sistem, parça veya sürecin planlanması ve bu planlamalarda karşılayacak olan gerekli bilgi ve doğru teknolojiye sahip olacak olan ürüne en doğru kararı alma aşamasıdır. Karar aşamasındaki en önemli faktör tasarımcının geliştirdiği ürünleri günümüz teknolojileri ile birleştirerek en iyi çözüme ulaştırması ve maliyeti minimum seviyeye çekerek ürünü oluşturmaktır.

Günümüzde insanoğlunun ihtiyaçları gün geçtikçe değişim göstermektedir. Bu değişimin hızına yetişmek için yeni tasarımların ortaya çıkmasına ihtiyaç duyulmuştur. Günümüz teknolojisini ilerletecek yeni tasarımların ortaya çıkması adına kâinattaki canlılar ilham kaynağı olarak ilk sırada yer almaktadır. Bu canlılarda yer alan özellikler tasarımcıya da esin kaynağı olmuştur. Günümüzde yer alan problemlere önlem noktasında kâinattaki canlılar en iyi çözümü her zaman insanoğlunun yardımına sunmuştur. Kâinattaki canlılar, özellikleri ve mükemmel tasarımlarıyla en iyi performansı göstermeyi doğa şartlarında her zaman başarmışlardır. Bundan dolayı biomimetik tasarım, kâinattaki canlılardan esinlenerek insanların problemlerine çözüm getirmeyi amaçlayan ve maddelerin, aletlerin, mekanizma ve sistemlere aktarılması ile yeni ürünler ortaya çıkarmasıyla insanoğlunun yaşamını kolaylaştırmıştır.

Bu tez çalışmasında insanoğlunun ihtiyaçlarına göre en uygun özellikteki malzeme arayışları ve tasarımları için kâinattaki canlılardan araştırma yapılmıştır. Bu araştırma neticesinde malzeme özellikleri adına kâinattaki canlılardan bambu bitkisi seçilmiştir. Bambu bitkisinin mikro yapısı incelenerek mekanik açıdan kompozit malzemeyle ilişkilendirilmiştir. Bambu gövde kesit yapısı ele alınarak bu kesitteki fiber yapısının kompozit malzemeye aktarımı araştırılmıştır. Doğal bambu lifleri yapısı nedeniyle en çok ilgi çeken malzeme olması, yüksek performans, kolay elde edilmesi, düşük temel maliyeti, biyomalzeme olması gibi özellikleri sayesinde dikkat çeken bir malzemedir. Bu malzemenin kompozit malzemeye aktarılması ile yeni bir ürün elde ederek bambu bitkisinin mekanik açıdan özellikleri kompozit kirişe aktarılmıştır.

Yapılan çalışmayı temelde üç bölüme ayırmak mümkündür. Bunlardan birincisi bambu gövde yapısı üzerinden yapılan çeşitli deneyler, ikincisi bambu kesit yapısına benzer kompozit kiriş üretimi ve sonuncu bölüm ise üretilen kompozit kirişin farklı tasarım parametreleri için eğilme rijitliğinin tespiti şeklindedir. Bambu üzerinden yapılacak mekanik deneyler ile bambu gövdesinin eğilme rijitliği, hem mekanik hem de sonlu elemanlar metodu ile yapılan deneyler ile incelenmiştir. Fiber yapısı üzerinden optimizasyon yapılarak buna göre bu tasarım, üretilecek olan kompozit kirişe aktarılmıştır. Kompozit kiriş üretimi için silikon kalıp tasarımı ve üretimi yapılmıştır. Bu kalıp, reçine transfer metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozit kiriş karbon çubuklardan ve reçineden oluşmaktadır. Üretilen kirişin alınan test kuponları üzerinden basit eğme testleri, darbe testleri yapılarak yapının eğilme rijitliği farklı yönler için elde edilmiştir. Sonuç olarak standart tek doğrultulu fiberden elde edilmiş aynı kalınlığa sahip kompozit kiriş ile Bambu kesit yapısına sahip kompozit kiriş arasında eğilme rijitliği / yoğunluk parametresi dikkate alınarak karşılaştırma yapılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Doğadan Esinlenerek Tasarım

Biomimetik tasarımından yola çıkılarak birçok araştırmacı tarafından farklı şekillerde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır;

Kâinattan etkilenecek yapılan tasarımların esas maksadı, kâinattaki olağan üstü gelişmelerin insanlığa fayda sağlamasıdır. Kâinattaki gelişmeler insanların dikkatini çekerek esin kaynağı ve yaşamını kolaylaştırması adına önemli bir rol almıştır. (Bar-Cohen, 2006). Kâinatta genellikle hayvan ve bitkilerden esinlenerek yapılan çalışmalar vardır. Örneğin buğdayın gövdelerinden etkilenecek yapılan çalışmada, buğdayın yapısal özelliklerinin kiriş tasarımına faydası olmuştur (Değer vd. 2010).

Bitkilerin ve hayvanların mekanik özellikleri üzerine detaylı çalışmalar yapılmıştır. Bitkiler ile yapılan çalışmalardan, ağaç dallarının gövdesiyle birleştiği yer dikkate alınmıştır. İncelenen ağaç ile gövdesinin birleştiği noktadaki ayrıntıya dikkat edilmiştir. Burada meydana gelen eğimden dolayı oluşan gerilmelerin azaldığı ortaya çıkmıştır. Araştırmacılar buradan şu sonuca varmıştır. Tasarımda çentikli bölgedeki parçaların optimize edilerek uygulanabileceği gözlemlenmiştir. (Mattheck 1998). Bitkilerden esinlenilerek yapılan bir diğer çalışmada iki farklı bitki gövdesinin yapısal ve morfolojik tipleri ele alınmıştır. Çalışmada bitki gövdesi fiber yapısı ve ağırlık kriterleri referans olarak ele alınmış. Böylece bitki gövdelerindeki kesit yapısı, tekstilin teknik yapısına aktarımı uygulamalı olarak gerçekleştirilmiştir. (Markus vd. 2006).

Araştırmacılar doğada bulunan bitki ve hayvan morfolojilerini inceleyerek bu yapıların uzay yapı sistemlerinde kullanılabilirliklerini incelemişlerdir. Özellikle kelebekler, yusuçuk böceği, ağustos böceklerinin kozadan çıkış süreçleri, çıktıktan sonraki kanat yapısı membran yapıların tasarımlarında kullanılmasını ele almışlardır (Kishimoto vd. 2006).

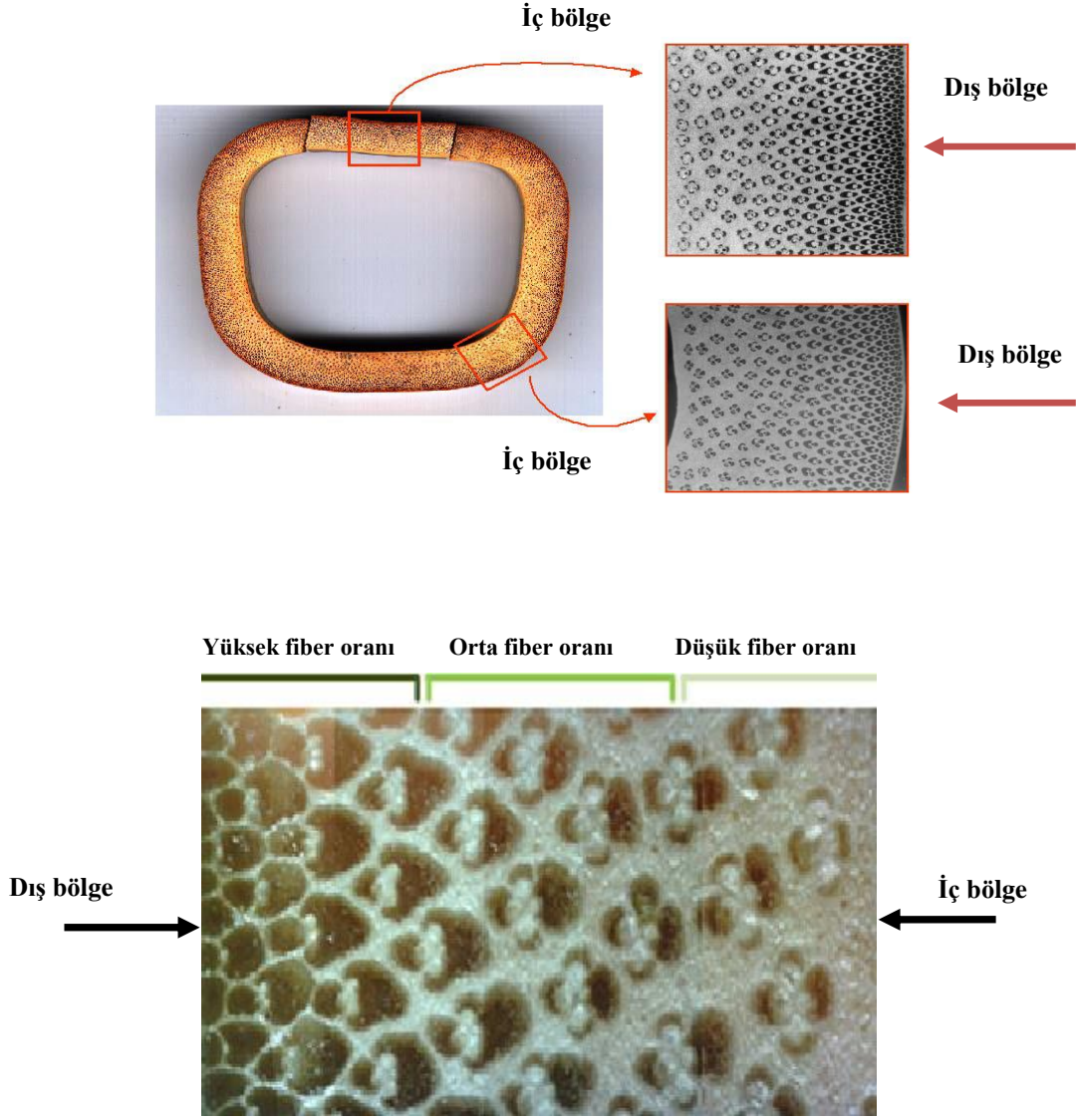
Yapılan bir diğerk çalışmada ise katlanıp açılabilen membran modülleri kullanarak gelecekte büyük uzay yapısı sistemleri elde etmek için çalışma yapılmıştır. Hiyerarşik modüllerin uzay yapısı katlanıp açılabilen membran modüllerinin uyarlanabilirlik sistemleri incelenmiş ve bu tür güneş enerjisi uyduları olarak gelecekte büyük uzay yapısı sistemlerini gerçekteştirmek için mümkün olan yapı modelleri incelenmiştir (Natori vd. 2008).

Hayvanlardan esinlenerek yapılan çalışmalarda ise, Akita Prefectural Üniversitesi'nden Japon bilim adamı Norihiko Saga tırtıl hareketini örnek alarak enkaz altındakilere yardım eden robotun tasarımını geliştirmiştir (Saga 2004). Northeastern Üniversitesi'nden araştırmacıların, akrelerden esinlenerek bir tasarım yapmışlardır. Akrelerin çöldeki hareket kabiliyetinden esinlenerek robot tasarımına uygulanmışlardır (Graham ve Rowe 2001).

Yapılan bir başka çalışmada yılanın yapısı incelenmiştir. Yılanın iskelet ve uzuvlarının olmamasından ve gövdesini istediği şekilde şekillendirebilen bir yapı olduğundan yola çıkılarak NASA Araştırma Merkezi tarafından esinlenerek yaptığı "snakebot" diye adlandırdıkları insansız uzay aracını yapılmıştır (Biggins 2008).

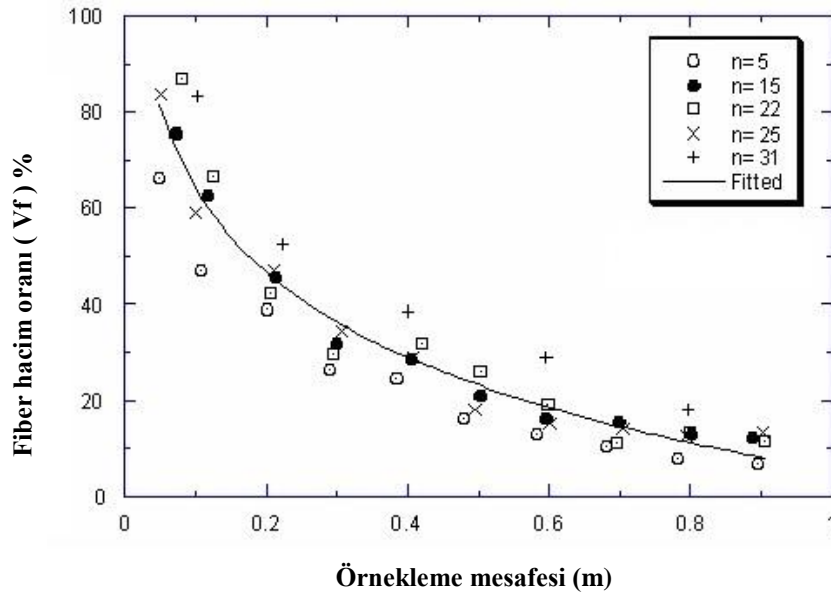
2.2 Bambu Gövde Kesiti İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Tan vd. (2011) yaptıkları çalışmada bambu yapılarının mekanik özelliklerini, deneysel ve numerik çalışmalarla ele almışlardır. Bambu gövdesinden alınan kesitlere basit eğilme testleri yapılmış, testler sonrasında her kesitin farklı eğilme rijitlik değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bambu kesitinin dış bölgesindeki fiber hacim oranının, iç bölgesine göre daha yüksek olduğu şekil 2.1'de belirtilmiştir. Dış bölgenin fiber hacim oranının yüksek olması, iç bölgeye göre daha mukavemetli olduğunu belirlemişlerdir.



Şekil 2.1 Fonksiyonel aşamalı bambu yapısının fiber hacim oranlarının kesit görünümü (Tan vd. 2011).

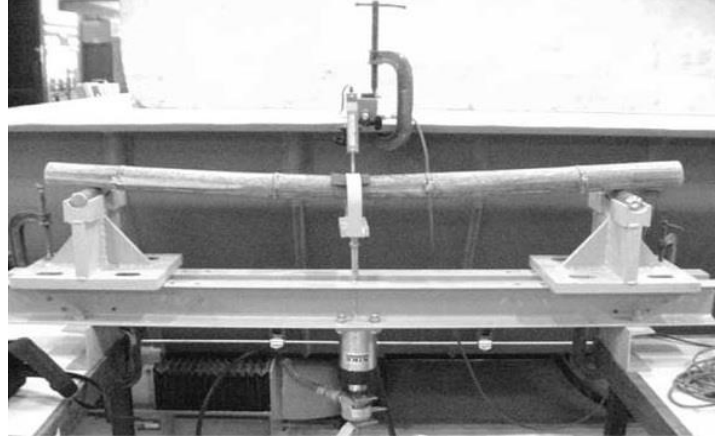
Sutnaun vd. (2011) nin çalışmasında bambu yapıları üzerinde rüzgâr etkisinin oluşturabileceği eğilme durumu incelenmiştir. Bambu gövdesinin eğilme dayanımını artırmak için bambu gövdelerinin makroskobik ve mikroskobik yapılarını incelemiştir. Eğilme basıncını oluşturan rüzgâr yükünün bambu gövdesinin orta bölgesinde değiştiği bulunmuştur. Fiber hacim oranının bambu yüksekliği boyunca yüzde dağılımı Şekil 2.2’ de belirtilmiştir. Sonuç olarak bambunun her bir yükseklikte rüzgâr yükü tarafından oluşturulan eğilme basınç seviyesiyle orantılı olduğunu belirlemiştir.



Şekil 2.2 Bambunun iç ve dış yüzeylerindeki fiber hacim oranının yüzdelik dağılımları (Sutnaun vd. 2011).

Lakkad ve Patel (1981) yaptıkları çalışmada ise bambunun mekanik özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmanın temelinde yumuşak çelik, güçlendirilmiş cam ve plastik gibi geleneksel materyaller ile bambu arasındaki farklar dikkate alınmıştır. Çekme, basma, elastise modülü ve kayma gerilmesi arasında karşılaştırılma yapılmıştır. Sonuç olarak bambunun mukavemeti karşılaştırılan malzemeler arasında tek yönlü cam takviyeli plastik (GRP) hariç diğer materyallerden (yumuşak çelik, polyester reçine), dokumalı cam fitil (RW), kesilmiş cam elyaf (CSM) daha fazladır. Çalışmanın sonucunda bambunun incelenen türlerden daha sert ve daha mukavemetli olduğu belirlenmiştir.

Chung ve Yu (2002) yapılan çalışmada iki bambu türü olan Kao Jue ve Mao Jue'nun, fiziksel özelliklerini üzerine bir araştırma yapmışlardır. Bambunun gövdesindeki lifler boyunca meydana gelen fiziksel özellikler, Şekil 2.3' teki deney düzeneğiyle incelenmiştir. Basma ve eğilme yöntemleriyle mukavemetleri ve elastisite modülü hesaplanmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda bambunun nem özelliğinin mekanik özellikler üzerinde önemli bir özellik olduğu bulunmuştur. Bambunun mekanik özelliklerinin elde edilen değerlerinin yaygın kereste yapılarından daha üstün olduğu belirlenmiştir. Çalışmada yapı kerestesinin yerine bambunun yaygın olarak kullanılması, doğal ormanlardaki ağaç kullanımını azaltacaktır.



Şekil 2.3 Bambu gövdesine üç nokta eğilme testinin yapılması (Chung ve Yu 2002).

Yu vd. (2003) iki yapısal bambu türünün eğilme parametreleriyle ilgili çalışmışlardır. Bambunun iskele olarak yaygın bir kullanımını vardır. İskelelerde meydana gelen çökmelerden dolayı araştırmacılar yeni bir tasarım yapmışlardır. Yapılan tasarım, mevcut iskelelerdeki veriler ile karşılaştırılmıştır. Bambunun burkulmaya karşı daha mukavemetli bir yapıya sahip olduğu, iskele yapısı olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir.

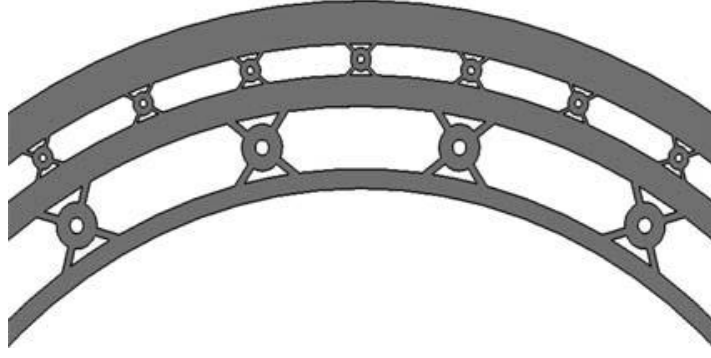
Ray vd. (2005) yaptıkları çalışmada bambu gövde kesitini fonksiyonel derecelendirilmiş bir kompozit olarak incelemişlerdir. Bambunun kesitini sonlu elemanlar metodu ile incelemişler, bambunun iç kısmındaki fiber şekli yaklaşık olarak eliptik (0.78* 0.93 mm) iken dış çevresindeki fiberlerin ise dairesel (0.14 mm) olduğu belirlenmiştir (bkz. Şekil 2.1). Çalışmanın sonucunda bambunun dış çevresindeki fiberler, iç çevresindeki fiberlere göre yaklaşık dört kat daha güçlü olduğu sonucuna varılmıştır.

Chand vd. (2008) bambu kesiti ile ilgili yaptıkları çalışmada bambu gövdesinin fiberlere dik yönde ve fiberlere paralel yöndeki mekanik davranışlarını gerek deneysel gerek numerik olarak incelemişlerdir. Sonuçta çekme ve eğilme deneylerinden elde ettikleri dayanım değerlerini numerik (sonlu elemanlar metodu) yöntemle elde edilen değerler ile karşılaştırmış, sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğunu tespit etmişlerdir.

Ghavami vd. (2003) ise bambu yapısının fonksiyonel derecelendirilmiş kompozit malzeme olarak, mikro yapısındaki fiber – matris ilişkisini incelemişlerdir. Şekil 2,1’de bambunun fonksiyonel derecelendirilmiş (FDM) kesiti gösterilmiştir. Fiberlerin homojen olmayan dağılımından yola çıkılarak mukavemet ve elastite modülü için karışım denkleminde yararlanılmışlardır. Bu denklemlerden faydalanılarak matrisin içindeki fiberlerin homojen dağılımı arasında mükemmel bir bağ olduğunu belirlemişlerdir. Kompozit malzemeler yaklaşımındaki temel denklemlerin, bambunun elastisite modülünü hesaplamak için uygulanabilir olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak araştırmacılar uygun bambu mikro yapısındaki damar demetlerini geliştirmek için çalışmaların devam ettiklerini belirtmişlerdir.

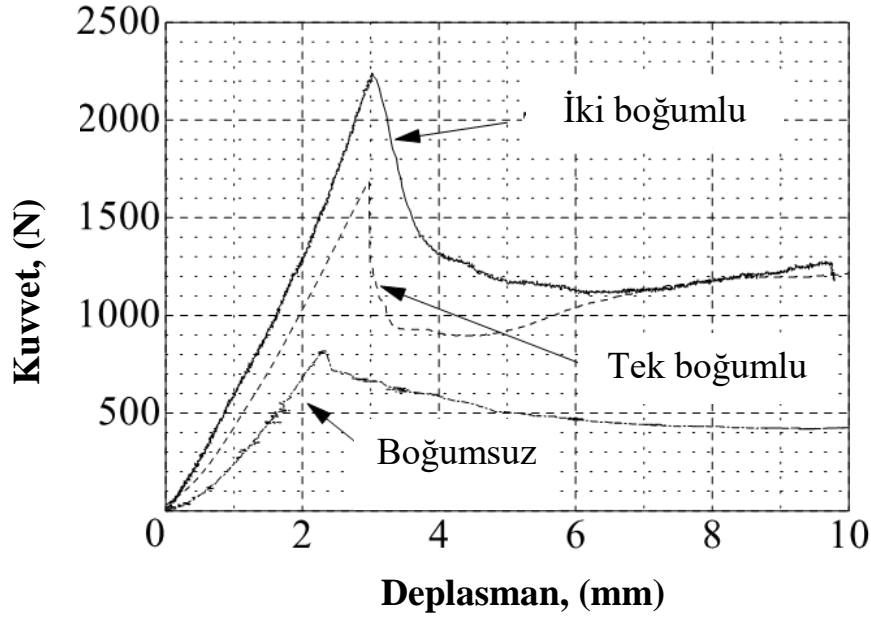
Liu vd. (2008) çalışmasında bambu bitkisinden esinlenilerek bambunun beyzbol sopası olarak kullanımında ne tür performans sağlayacağı üzerine araştırma yapmışlardır. Bambunun, düşük maliyetli ve hızlı büyüme özelliğine sahip olduğu nitelikler belirtilmiştir. Farklı sopalar ile bambu sopası arasında performanslarını belirlemek için ultrasonik muayene yöntemi (NDT) ile inceleme yapmışlardır. NDT yöntemi, malzemelerinin mukavemeti için iyi bir test olduğu belirtilmiştir. Beyzbol sopası üretimi için bambunun yeni bir malzeme olduğu öngörülmüştür.

Ma vd. (2008) bambunun elastisite modülünü belirlemek için üç nokta eğilme testi uygulamışlardır. Bambunun silindirik kesitinin yapısal özelliklerinden ve hücre yapısından esinlenilerek Şekil 2.4’ de görüldüğü gibi yeni biyonik kabuk tasarlamışlardır. Yapılan sonlu elemanlar analizleri ile geleneksel kabuk ve biyonik kabuk karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak biyonik kabuğun yük-taşıma kapasitesinde % 124.8 artış olduğu bulunmuştur.



Şekil 2.4 Bambu dayalı biyonik silindirik kabuk tasarımı (Ma vd. 2008).

Bao vd. (2010) bambunun yapısından ilham alınarak biomimetik bir tasarım yapmışlardır. Çalışmada fiber takviyeli kompozite silindirik (CFRP) malzemesinin eğilme özelliğini iyileştirebilmek için bambu fiber yapısından esinlenilmiştir. Kompozit silindiri üretebilmek için vakum destekli reçine transfer kalıplama (VARTM) yöntemini kullanmışlardır. Üretilen kompozit silindirlere dört nokta eğme testleri uygulanmışlardır (Bkz. Şekil 2.5). Sonuçta özellikle ince kabuk yapıdaki kompozit silindirlere, bambu kesitine benzer boğum noktaları oluşturarak yapının dayanımının arttırılabileceğini belirlemişlerdir.



Şekil 2.5 Boğumlu yapıdaki bambu gövdesinin dört nokta eğme testi sonrası elde edilen Kuvvet-Deplasman eğrileri (Bao vd. 2010).

Silva vd. (2008) bu çalışmada, fonksiyonel derecelendirilmiş fiber yapısına sahip bambu gövdesini mekanik ve yapısal özelliklerini numerik analiz yöntemi ile incelemiştir. Bambu sonlu elemanlar metodu ile üç boyutlu modellenmiş, modele uygulanan sınır şartları ile yapının eğilme, çekme ve burulma analizleri gerçekleştirilmiştir. Modellerin elastik modülünün belirlenmesi için üç farklı metod kullanılmıştır. Bu modellerin birincisi için sabit elastik model değeri kullanılmış, ikincisi için FDM yapısına uygun dıştan içe doğru azalan elastik modül kullanılmış, üçüncüsünde ise elastik rijitlik matrisi homojenizasyon metodu kullanılarak elde edilmiş ve analiz programına malzeme sabitleri olarak girilmiştir. Sonuç olarak, bu modellerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, kalınlık boyunca bambu gövde kesitinin FDM olarak modellenmesinin gerekliliği vurgulanmıştır.

Yu vd. (2008) yaptıkları çalışmada, Zheijang'da bulunan 4-6 yaşlarındaki bambulardan kesit alınarak fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde inceleme yapmışlardır. Alınan numunelerden oluşan tabakaların, sonuçlar üzerinde önemli bir etkisi oluşmuştur. Bambunun bağıl yoğunluğu, teğet daralma, elastisite modülü ve çekme

mukavemeti değerleri, iç tabakadan dışarı doğru artış göstermiştir. Ayrıca boyuna daralma i tabakadan dışarı doğru azaldığı belirlenmiştir.

Obataya vd. (2007) yapılan çalışmada kesilmiş bambu gövdesinin eğilme özelliklerini, ladin ve kayın ağacıyla karşılaştırmışlardır. Bambu bitkisinin yumuşak i tabakası, büyük basınc deformasyonuna maruz kalırken ve dış tabakası ise gerilme baskısını koruduğundan dolayı eğilme testinde iyi sonuçlar vermiştir. Ağaç rnekleri ise bölgesel eğilimler göstermiştir. Sonuç olarak yapılan testler sonucunda ağaç ve bambunun gergin kalmaları arasında net bir farklılık gözlenmemiş ve bambunun çok esnek olmadığını ama mükemmel yumuşaklığa sahip olduğunu gstermişledir.

Ghavami (1995)' de yaptığı bir çalışmasında bambunun yapısındaki özelliklerinin, beton karışımına bağ kuvveti olarak uygulama yöntemini incelemiştir. Çalışmada geleneksel olan elik betonlarının özellikleriyle, bambu takviyeli beton kirişlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Çekme, basma, elastisite modülü ve dayanım değerleri arasında karşılaştırılma yapılmıştır. Sonuç olarak bambu takviyeli beton kirişlerin elik takviyeli kirişlerden dayanımı değerinin % 400 arttığı belirlenmiştir.

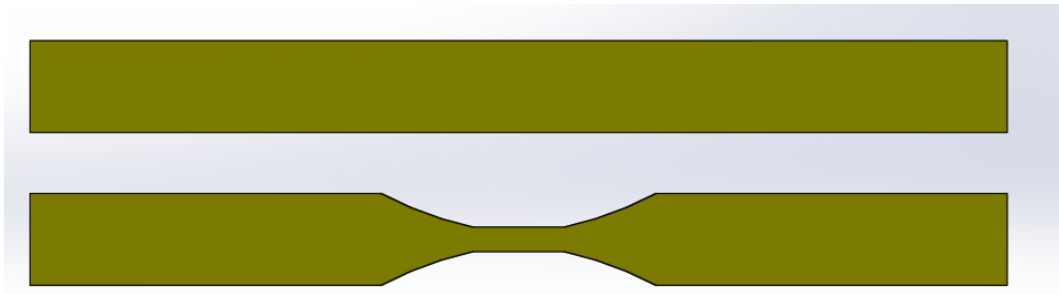
3. MATERYAL ve METOT

Tezin bu bölümü üç ana başlıktan oluşmaktadır. İlk olarak bambu bitkisinin mekanik olarak incelenmesi ele alınacaktır. İkinci kısımda ise bambu bitkisinden esinlenilerek yeni bir kompozit kiriş üretimi için yapılmış olan tasarım, imalat ve test aşamalarından, son olarak da sonlu elemanlar metodu ile nümerik analiz sonuçlarından bahsedilmektedir.

3.1 Bambu Bitkisinin Mekanik Olarak İncelenmesi

Çekme testleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Makine Mühendisliği Merkezi Araştırma Kompozit Laboratuvarında bulunan bilgisayar kontrollü Instron-8501 marka cihazda yapılmıştır.

Çekme deneyi, bambu numunelerine eksen doğrultusunda kuvvet uygulayarak gerçekleştirilir. Çekme test cihazı çalıştırıldığında çenenin hareketini sağlayan silindir pistona basınçlı yağ sevk edilerek yukarı doğru itilir. Böylece çeneler yukarı doğru çekilmiş olur. Cihaza bağlı olan bambu numunesinin eksen doğrultusunda çekme sonucu göstermiş olduğu davranışlar incelenir. Bu malzeme çekmeye zorlandığında boyu uzar ve kesiti daralır. Kuvvet uygulanmaya devam edildiği takdirde bambu numunesi plastik deformasyon sonucu hasara uğrar. Uygulanan kuvveti kesit alanına bölerek gerilme elde edilir. Böylece Hooke kanunu gereği elastik modül elde edilir. Şekil 3.1’de görülen sabit kesitli bambu numunesine çekme işlemi uyguladığında istenen sonuç elde edilememiştir. Bambu çekme numunesi konik taş ile taşlama makinesinde orta kısımlarının kesit alanları şekildeki gibi azaltılmıştır.



Şekil 3.1 Bambu çekme numunesinin zımparalanmış ve zımparalanmamış durumu.

Bambu numuneleri Şekil 3.2’de görüldüğü gibi çekme işlemine hazırlanmıştır. Şekil 3.2’de görülen bambu numunelerine çekme prosesi uyguladığında başarılı sonuç elde edilememiştir. Çünkü yapılan çekme testinde bu parçalarda kayma meydana gelmiştir. Kayma olmasının nedeni ise uç kısımlarda düzleştirilmiş olan kesit alanlarının ölçüm yapılacak olan orta kısımlardaki kesit alanlarından az olduğu için çekme kuvvetini karşılayamamaktadır.



Şekil 3.2 Bambunun ilk çekme numuneleri.

Kayma sorununu önlemek için çekme kuvvetinin oluşacağı orta kısımdaki kesit alanı daha da küçültülmüştür (Şekil 3.3). Böylece orta kısmın kesit alanı uç kısmın kesit alanından daha küçük olduğu için çekme işlemi daha kolay gerçekleşmiştir. Ayrıca çekme numunelerinin düzleştirilmiş uç kısımlarına çekme esnasında oluşan kaymayı önlemek için cam fiber kullanılarak çekme deneyi tekrar edilmiştir. Yapılan çekme testinde kullanılan çekme hızı 1 mm/dk’dır.



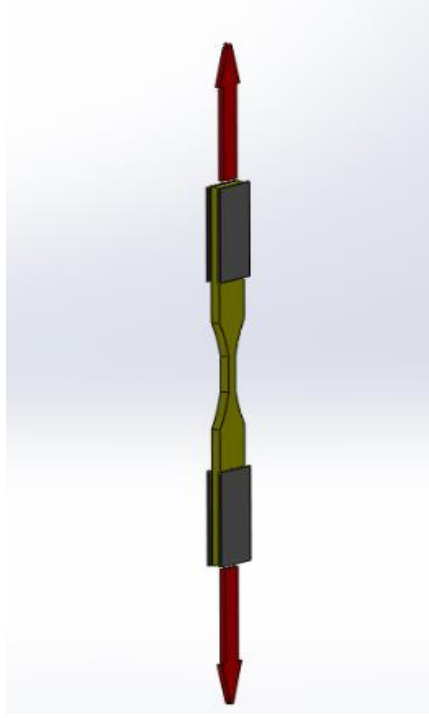
Şekil 3.3 Kesit alanları küçültülmüş çekme numuneleri.

Çekme deneyinde kullanacak olduğumuz bambu numune ebatları aşağıdaki Çizelge 3.1'deki gibidir. Şekil 3.8'de belirtildiği üzere “w” genişliği, “t” kalınlığı ifade etmektedir

Çizelge 3. 1 Çekme numune ebatları.

Parça No	w(mm)	t(mm)
E1	3,3	2,4
E2	3,2	2,4
E3	3,3	2,4
E4	3,3	2,4

Şekil 3.4 ve şekil 3.5'de görüldüğü gibi çekme numuneleri cihaza bağlanarak kontrollü şekilde çekilmiştir. Çekme cihazında video extensometre ile uzama değerleri ölçülmüştür. Ayrıca çekme kuvvetlerine de bakılmıştır.

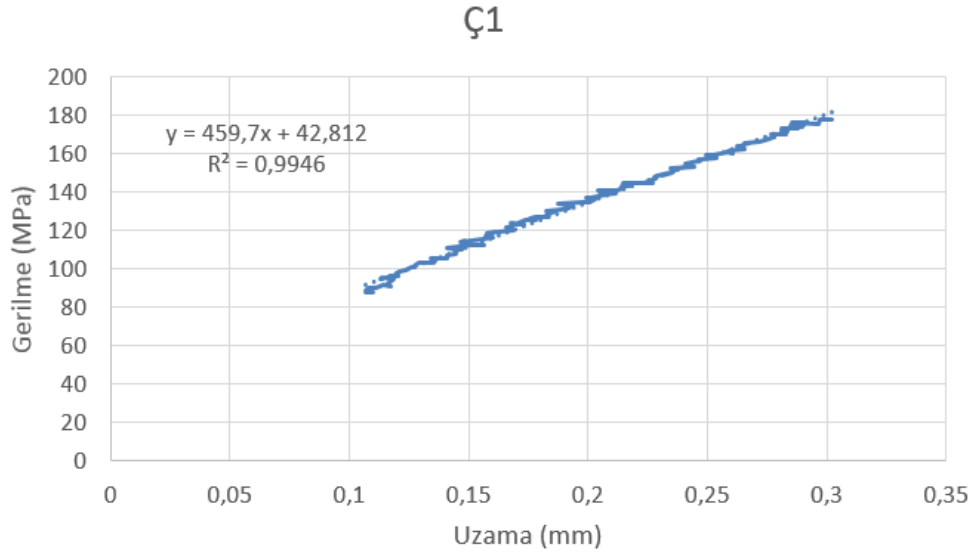


Şekil 3.4 Çekme numunesi üç boyutlu gösterimi.



Şekil 3.5 Çekme deneyinin gerçekleştirilmesi.

Çekme cihazından çıkan veriler ilk olarak Excel üzerinde açılarak gerilmeyi bulmak için kuvvet değerlerini, çekme parçalarının alanına bölerek gerilme bulunur. Daha sonra gerilme ile % uzama seçilerek grafik oluşturulmuştur. Bu grafiklerde oluşan şekilde lineer kısmı almak için belirli uzama aralıklarında alarak doğru sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Oluşturulan lineer doğrunun eğimi alınarak elastik modül hesabında kullanılmıştır. Yapılan bu işlemler diğer üç çekme numunesi için de ayrı ayrı yapılmıştır. Dört ayrı çekme numunesi teker teker çekme prosesine tabi tutulmuştur. Bunların gerilme - % uzama arasındaki ilişki Şekil 3.6'daki gibidir. Grafikteki x eksenini % uzamayı, y eksenini ise gerilme değerlerini ifade etmektedir.



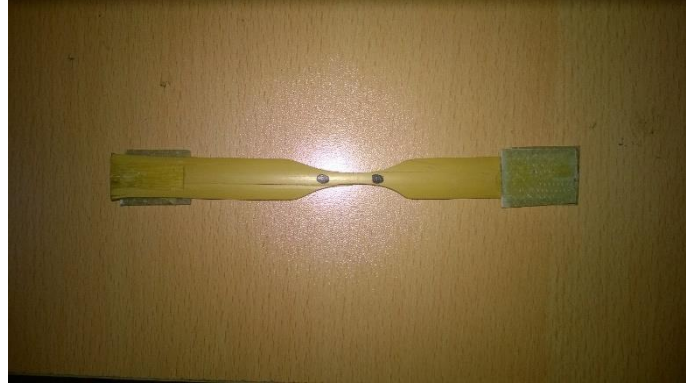
Şekil 3.6 Bir nolu çekme numunesinin gerilme-uzama grafiği.

$$\sigma = \varepsilon * E \quad (3.1)$$

$$\sigma = F/A \text{ (N/mm}^2 \text{)} \quad (3.2)$$

Burada gerilme, çekme numunelerine etkiyen maksimum kuvveti kesit alanına bölerek bulunmuştur.

Çekme deneyinde cihaza bağlı olan numunede video extensometre fiber yoğunluğunun fazla olduğu kısımda belirtilen iki nokta (Şekil 3.7) arasındaki uzama değerleri alınmıştır. Bu nedenle çıkan sonuçlar beklenen değerlerin üstündedir. Yukarıdaki şekil 3.6'da görüldüğü gibi elastisite modülü yaklaşık olarak 45.9 GPa değerinde çıkmıştır. Bu durum yaklaşık olarak sadece fiberin elastisite modülüne yakınlık göstermektedir.



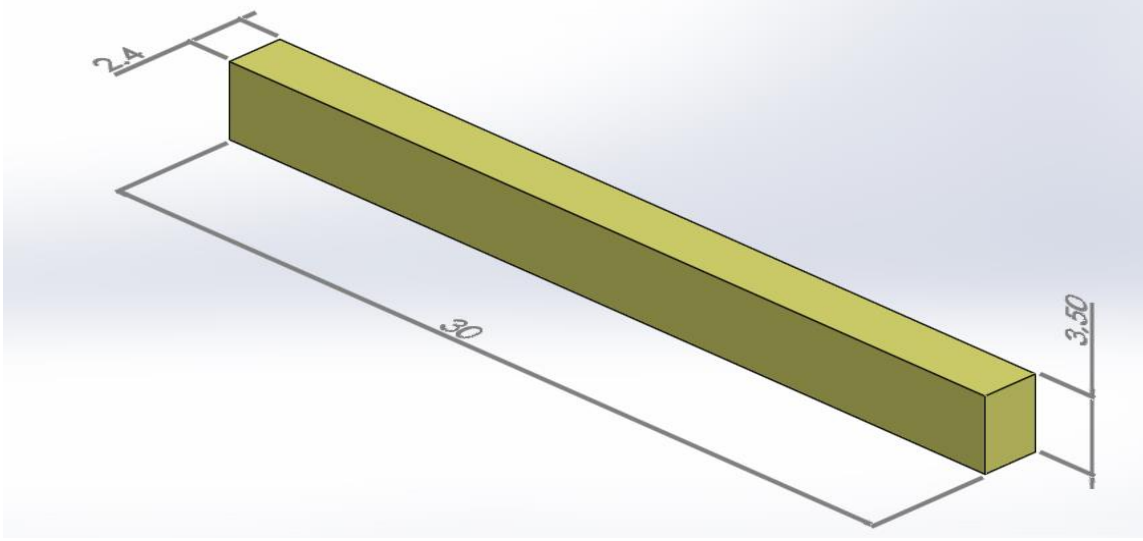
Şekil 3.7 İki noktası belirlenmiş çekme numunesi.

3.1.1 Üç Nokta Eğme Testi ve Sonuçları

Eğme testleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Makine Mühendisliği Merkezi Araştırma Kompozit Laboratuvarında bulunan bilgisayar kontrollü şuumatsu 10 kN'luk cihazda yapılmıştır.

Eğme testi, iki desteğe serbest olarak oturtulan silindir ya da dikdörtgen kesitli düz parçalar ile yön değiştirmeksizin ortasına eğme kuvveti uygulandığında numunede oluşan birim şekil değişikliği olarak tanımlanır. Eğilme deneyinin yapılma amacı bambu bitki gövdesinden alınan kesitlerin tasarım bilgilerini belirlemek ve eğilmeye karşı mekanik özelliklerini tespit etmektir.

Üç nokta eğme testi için şekil 3.8'deki gibi numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 3.8 Üç nokta eğme katı model tasarımı.

Üç nokta eğme testi yapılacak olan numunelerin ebatları Çizelge 3.2'deki gibidir. Hazırlanan numunelerde “w” genişliği, “t” kalınlığı ifade etmektedir. Şekil 3.9'da üç nokta eğme numuneleri görülmektedir.

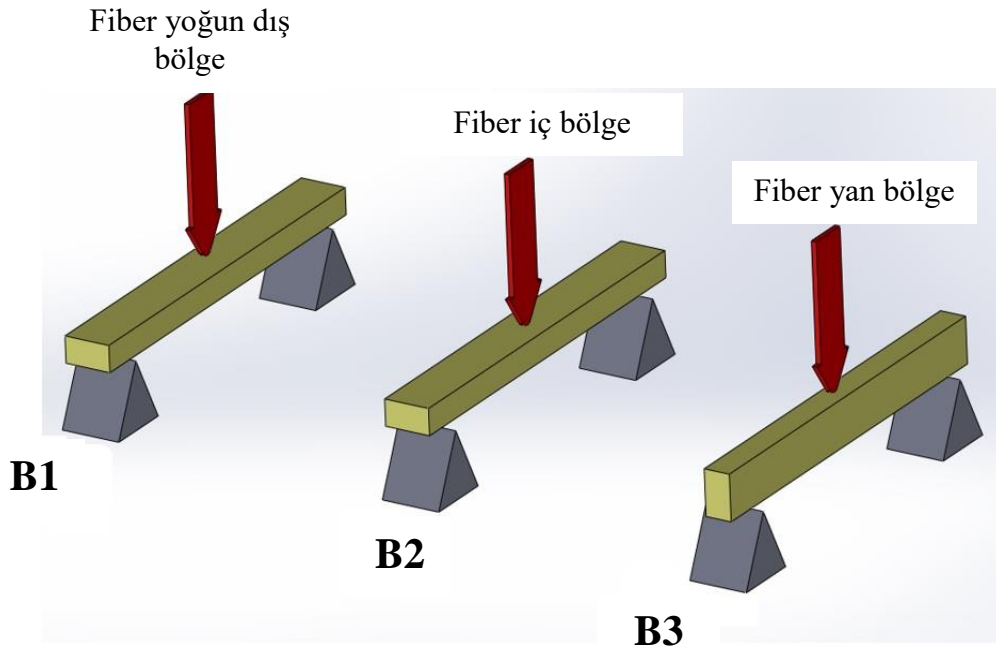
Çizelge 3. 2 Eğme test numune ebatları.

EĞME YÖNTEMİ	PARÇA NO	w(mm)	t(mm)
Dış eğme Numuneleri	E1	3,5	2,4
	E2	3,5	2,4
	E3	3,5	2,4
	E4	3,5	2,4
İç eğme Numuneleri	E5	3,5	2,4
	E6	3,5	2,4
	E7	3,5	2,4
	E8	3,5	2,4
Yan eğme Numuneleri	E9	2,4	3,4
	E10	2,4	3,4
	E11	2,4	3,5
	E12	2,4	3,4



Şekil 3.9 Üç nokta eğme test numuneleri.

Üç nokta eğme testi için hazırlanan numunelere aşağıdaki şekil 3.10’da görüldüğü gibi üç farklı durumda eğme prosesleri yapılmıştır. Eğme deneyi için çene hızı 1 mm/dak alınmıştır.



Şekil 3.10 Üç nokta eğme test yöntemleri.

Şekilde 3.10’da görülen B1 ile belirtilen üç nokta eğme numunesine fiber yapının yoğun olduğu dış kısımdan kuvvet uygulanarak eğme prosesi uygulanmıştır. B2 ile belirtilen üç nokta eğme numunesi ise iç kısımdan kuvvet uygulayarak eğme prosesine tabi tutulmuştur. B3 ile belirtilen üç nokta eğme numunesi ise yan kısımdan kuvvet

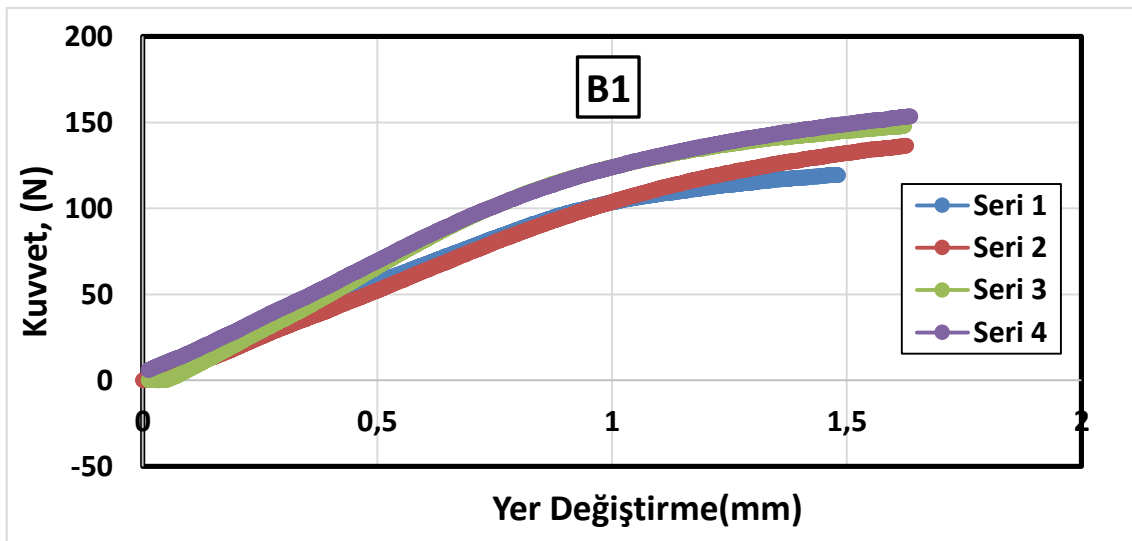
uygulayarak eğme işlemi uygulanmıştır.

Şekil 3.11’de görüldüğü gibi kuvvet iki destek arasındaki mesafenin orta noktasından uygulanmıştır. Üç nokta eğme test cihazına sabitlenen parça ilk olarak basma yapacaktır. Üst kısmı parçaya sıfırlamak için çok az bir (0-2N) kuvvet uygulayarak parçaya sıfırlama yapılır. Daha sonra teste başlanır.



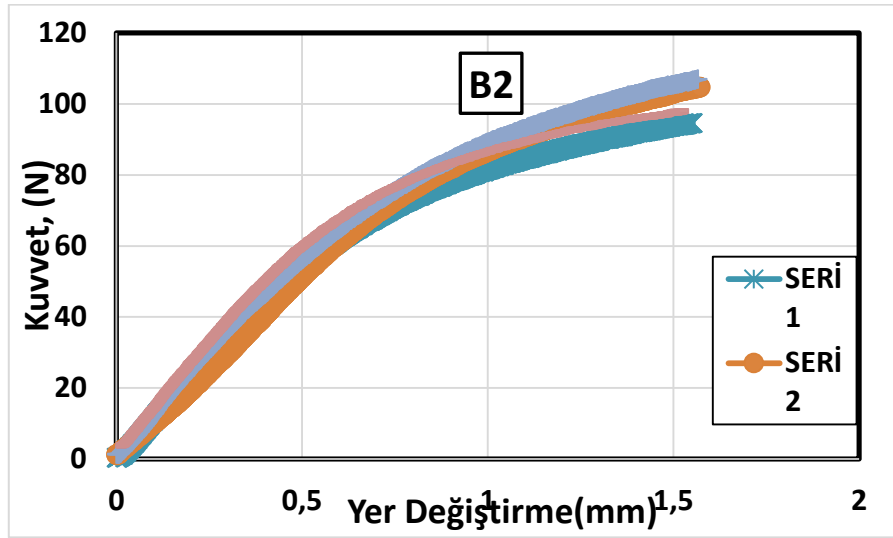
Şekil 3.11 Üç nokta eğme numunesinin cihaza bağlanmış hali.

Dış eğme (B1) numunelerinin kuvvet-uzama grafiği şekil 3.12’deki gibidir.

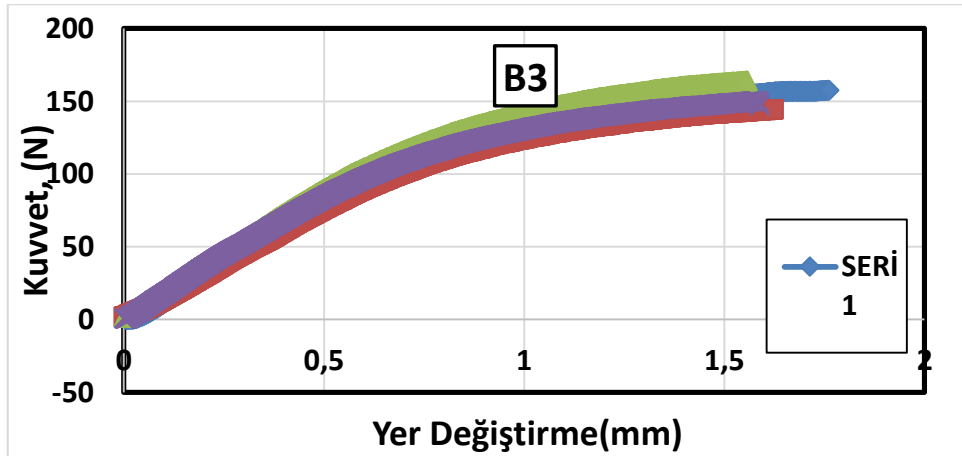


Şekil 3.12 Dış eğme (B1) numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.

Şekil 3.12'deki B1 olarak belirtilen Dış Bükme grafiğinde x eksenini uzamayı, y eksenini ise kuvvet değerlerini ifade etmektedir. 4 adet deney numunesi (Seri1, Seri 2, Seri3, Seri4) olmak üzere deney numunesi olarak hazırlanmıştır. Üç nokta eğme cihazından çıkan veriler ilk olarak Excel üzerinde açılarak kuvvet ve uzama değerlerini seçerek grafik oluşturulur. Bu grafiklerde oluşturulan lineer doğrunun eğimi alınarak elastik modül ve gerilme hesabında kullanılır. Yapılan bu işlemler üç farklı eğme numuneleri içinde ayrı ayrı gerçekleştirilir.



Şekil 3.13 İç eğme (B2) numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.



Şekil 3.14 Yan eğme (B3) numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.

Bu verilere göre elastik modülü bulmak için s (iki destek arası mesafe), m (F-x kuvvet uzama doğrusunun eğimi), w (numune genişliği), t (numune kalınlığı) parametrelerini kullanarak;

$$E = \frac{s^3 * m}{4 * w * t^3} \quad (3.3)$$

Elastik modül bu formül üzerinden hesaplanır. Üç nokta eğme testi sonuçları Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. 3 Üç nokta eğme test sonuçları.

Eğme Şekli	Parça No	P(N)	w(mm)	t(mm)	s(mm)	m	E(MPa)
Dış Eğme Numuneleri	E1	119,45	3,5	2,4	25	108,74	8779,05
	E2	137,00	3,5	2,4	25	110,69	8936,48
	E3	149,20	3,5	2,4	25	150,02	12111,76
	E4	149,85	3,5	2,4	25	134,82	10884,60
	Ort						10591,81
İç Eğme Numuneleri	E1	108,45	3,5	2,4	25	108,92	8793,58
	E2	110,60	3,5	2,4	25	104,98	8475,49
	E3	114,65	3,5	2,4	25	107,56	8683,78
	E4	106,80	3,5	2,4	25	113,29	9146,39
	Ort						8650,95
Yan Eğme Numuneleri	E1	156,15	2,4	3,4	25	167,86	6951,19
	E2	142,60	2,4	3,4	25	156,24	6470,00
	E3	162,50	2,4	3,5	25	175,09	6646,69
	E4	148,95	2,4	3,4	25	165,47	6852,22
	Ort						6730,02

Üç farklı şekilde uygulanan eğme deney sonuçları her bir numune için ayrı ayrı hesaplanarak elastik modül ve gerilme hesaplanmıştır.

Hesaplanan elastisite modüllerine baktığımızda fiber yoğun bölgeden etkiyen destek ile yapılan testlerde, elde edilen elastisite modülü değerlerinin fiber yoğunluğunun az olduğu taraftan etkiyen destek ve yanal olarak etkiyen destek ile yapılan eğilme testlerinden fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise bambu kesitindeki fiber dağılımının dıştan içe azalmasıdır. $E_{yan} \leq E_{iç} \leq E_{dış}$ ilişkisi bulunmuştur.

3.2 Bambu Bitkisinden Esinlenilerek Yeni Bir Kompozit Kiriş Tasarımı

Bambu bitkisinin mikro yapısından elde edilen verilerden esinlenerek Kompozit kiriş tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir.

3.2.1 Kompozit Malzemenin Tarihçesi

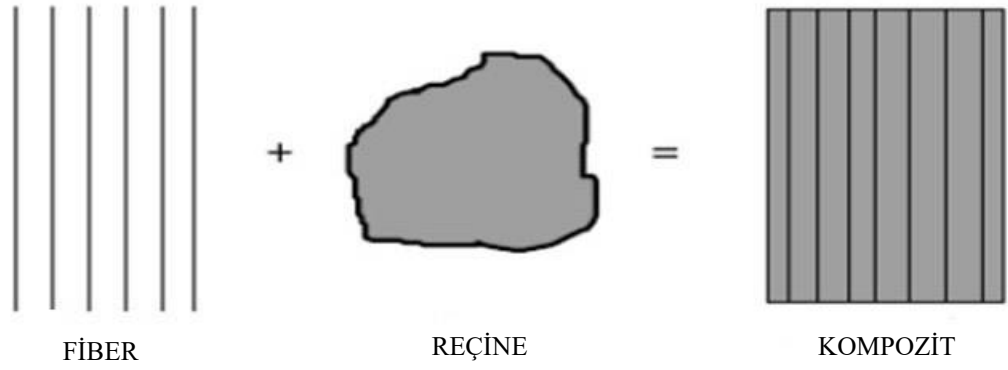
Günümüz teknolojisiyle birlikte yeni malzeme arayışları gittikçe artmaktadır. Bu gereksinimin ana etkenlerinden olan hafif, esnek ve mukavemet oranı yüksek olan malzemelere ihtiyaç vardır. Bu ihtiyaçlara en iyi cevabı veren malzeme olarak kompozit malzeme 1940'lı yılların başında yeni bir mühendislik konusu olarak ele alınmıştır. Daha öncelerinde insanoğlu malzemenin dayanımını artırmak adına malzemelerin içine saman, sap, bitkisel ve hayvansal katkı malzemelerini koyarak mukavemeti artırmayı hedeflemişlerdir. Buna en iyi örnekte kerpiçtir. Kerpiçte ana malzeme olan çamura, saman ve sapları karıştırarak kerpicing mukavemetini artırmışlardır. Kompozit malzeme kavşım anlamı içermektedir. Kompozit malzeme günümüz teknolojisindeki yeri havacılık, gemicilik, enerji gibi birçok sektörlerde çok farklı malzemeler ve ürünler geliştirilmiştir.

3.2.2 Kompozit Malzeme Özellikleri

Kompozit malzeme en az iki farklı malzemenin kavşımı ile elde edilen malzemedir. Şekil 3.15'de gösterildiği gibi kompozit malzemenin minimum iki adet bileşeni vardır. Bunlardan birincisi matristir. Matris malzeme, kompozit malzemenin plastik deformasyon sonucunda oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önlemesini sağlamakta ve bu sayede malzemenin kopmasını geciktirmektedir. Diğeri ise takviye malzemesidir. Takviye malzemesi ise, kompozit malzemenin mukavemetini artırmak adına kullanılmaktadır. Bileşenlerinin özelliklerini göstermesi sayesinde kompozit malzemenin avantajları ortaya çıkmaktadır. Bu avantajlarını şöyle sıralayabiliriz. Kompozit malzemeler bu avantajlardan biri veya birkaçını bir arada göstermektedir.

- Yüksek Mukavemet
- Mekanik Testlerdeki (dayanım, basınç, çekme, eğilme, çarpma dayanımı) sonuçları yüksektir.
- Yorulma Dayanımı

- Isı ve Akustik direnç
- Elektrik İletkenliği
- Estetik
- Ağırlık
- Kırılma Tokluğu
- Maliyet



Şekil 3.15 Kompozit malzeme bileşenleri.

3.3 Kompozit Kiriş İçin Kalıp Tasarımı ve Üretimi

Bu tez çalışmasında bambu bitkisinden esinlenerek kompozit kiriş üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu kiriş üretimi için ilk önce bambu bitkisinin mikro yapısı incelenerek mekanik testler gerçekleştirilmiştir. Bu mekanik testlerdeki veriler ilham kaynağı olarak ele alınmış ve kompozit kirişin nasıl aktarılacağı belirlenmiştir. Bu aşamada ise kompozit karbon çubuk malzemenin özellikleri dikkate alındığında üretim için takviye malzeme için en uygun olduğu belirlenmiştir. Üretimin gerçekleşmesi için kiriş şekline benzemesi ve pürüzsüz bir kalıptan sonuç almak adına kalıp silikon malzemesiyle seçilerek kalıp üretilmiştir. Üretimde birinci ana bileşen olan, matris için reçine kullanılmıştır. Takviye malzeme olarak da karbon fiber çubuk malzeme kullanılmıştır.

3.3.1 Kalıp Silikon Malzeme Özellikleri

Kalıp silikon yöntemi için RTV-2 (Room Temperature Vulcanizing) kalıp silikon malzemesi kullanılmıştır. RTV-2 anlamı Oda sıcaklığında sertleştirilmedir. 2'nin anlamı sertleşmenin başlamasını sağlayan kimyasal ürünü ifade etmektedir. Kompozit kiriş üretiminde kalıp üretim aşamasında RTV-2 kalıp silikonu ile gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığında yani 25 derecede sertleşme reaksiyon başlamaktadır. Sıcaklık yükseldikçe reaksiyon hızlanmaktadır. Sıcaklık düştükçe reaksiyon yavaşlamaktadır. Reaksiyonun olması için 25 derece en uygun sıcaklık olduğu tavsiye edilmektedir. Ürünün kullanım alanı çok fazladır, sebebi ise ürünün akışkan olmasıdır. İstedığımız şekilde model oluşturulabilir. Sertleşme olduktan sonra kimyasal yapısı nedeniyle elastik bir hal alır.

Kalıp silikonunun kompozit kiriş üretimi için seçilmesinin nedeni ise kiriş üretiminde kalıptan kirişlerin zarar görmeden çıkarılması gerekmektedir. Kirişlerin kolay çıkarılması için silikon malzemenin esneme özelliği dikkate alınmıştır. Kalıp silikonu ile üretim gerçekleşmesiyle birlikte, kiriş yapışmadan ve özel ekipman gerektirmeden kolay bir şekilde çıkabilmesi malzemenin elastik özelliğindedir. Katalizör karışımı ile birlikte kalıbın kısa bir süre içinde oluşma özelliği de bu kalıp yöntemini seçmemizde en önemli etkindir.



Şekil 3.16 Kalıp silikonu ve katalizör (sertleştirici) malzeme.

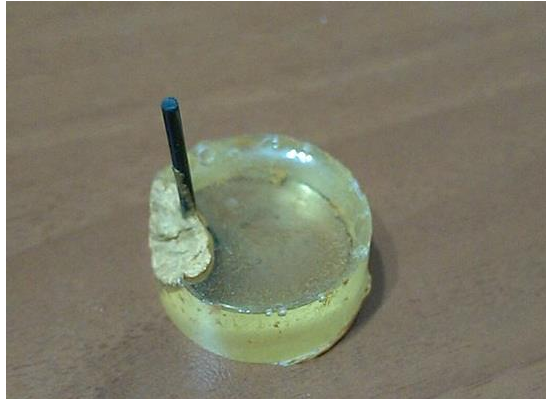
3.3.2 Kompozit Karbon Çubuk Malzeme Özellikleri

Kiriş üretimi için takviye malzeme olarak kompozit karbon çubuk malzeme kullanılmıştır. Şekil 3.17’de gösterilen 2 mm çapında 1 metre boyunda karbon çubuk takviye malzeme olarak kullanılmıştır.



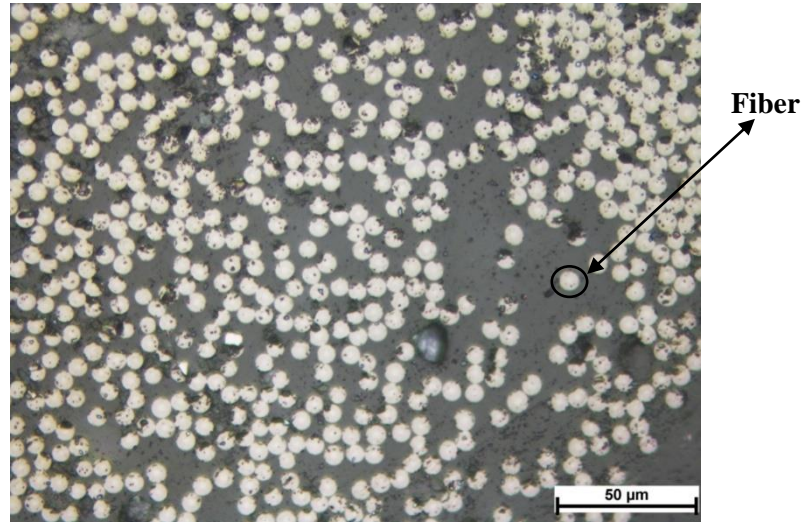
Şekil 3.17 Kompozit karbon çubuk.

Şekil 3.18’de gösterilen kompozit karbon çubuk malzemenin mikro yapısı deneysel olarak incelenmiştir. Modelleme sırasında karbon çubuğun malzeme özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun için reçineye emdirilmiş karbon çubuğun karışım kuralı yaklaşımı kullanılarak fiber hacim oranı ve reçine emdirilmiş elyafın uzunlamasına elastik modülü, enine doğrultudaki elastik modülü büyük ve küçük Poisson oranları denklemleri kullanılarak bulunmuştur. Kompozit kiriş üretimi için takviye malzeme olarak kullanılacak olan karbon fiber çubuğun, deneysel elde edilen ölçümler sonucunda dairesel karbon çubuğun yoğunluğu 1425 kg/m^3 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.18 Kompozit karbon çubuk malzemenin mikro yapısının incelenmesi.

Burada fiber hacim oranı hem karışım formülü kullanılarak elde edilmiş hem de karbon çubuğun kesitinin mikro fotoğrafları çekilerek elde edilmiştir. Her bir fotoğraftaki mikro yapının fiber hacim oranları belirlenmiştir. Altı adet mikro yapının değerlendirilmesi sonucunda fiber hacim oranı ortalama %52 olarak bulunmuştur. Fiber hacim oranları belirlenirken mikro yapısından kesit alınarak kesitteki mesafe-alan ilişkisinden oran bulunmuştur. Karbon çubuğun mikro yapısı Şekil 3.19’da görülmektedir.



Şekil 3.19 Karbon çubuğun mikro yapı görüntüsü.

Denklemler 3.4’de fiberin yoğunluğu ve matrisin yoğunluğu Torayca ve Epoksi (Hexion) şirketlerinin malzeme bilgi datalarından alınmış ve sırasıyla, $\rho_f = 1760 \text{ kg/m}^3$, $\rho_m = 1150 \text{ kg/m}^3$ ’dür.

$$V_f + V_m = 1 \quad (3.4)$$

$$\rho_{ref} = V_f \rho_f + (1 - V_f) \rho_m \quad (3.5)$$

Karışım kuralı yaklaşımında ise fiber hacim oranı $V_f = 0.508$ elde edilmiştir.

T300B fiberleri için $E_1=230 \text{ GPa}$, $E_2=14 \text{ GPa}$, $G_{12}=9 \text{ GPa}$, $\nu_{12}=0.2$ olarak alınmıştır (3.6). L160 epoksi matris için ise $E=3.5 \text{ GPa}$ alınmış, Poisson oranı $\nu_{12}=0.35$ olarak kabul edilmiştir. Bu malzeme özellikleri dikkate alınarak

$$E_1^y = V_f E_{1f} + E_m (1 - V_f) \quad (3.6)$$

Karışım oranı formülü fiber doğrultusundaki modülü iyi bir şekilde tahmin etmekle birlikte enine doğrultu için iyi sonuçlar vermemektedir. Bunun için enine doğrultudaki modül ve kayma modülü için Halpin–Tsai denklemleri kullanılmıştır. Buna göre

$$E_2^y = \frac{(1+\xi\eta V_f)E_m}{1-\eta V_f} \quad (3.7)$$

Burada $\eta = \frac{E_{2f}/E_m - 1}{E_{2f}/E_m - \xi}$ ve E_{2f} elyafın enine doğrultudaki elastik modülüdür. ξ Elyaf takviyesinin bir ölçüsü olup elyaf geometrisine, paketleme şekline ve yükleme şekline bağlıdır; dairesel kesitli elyaflar için $\xi = 2$ alınması önerilmiştir.

$$G_{12}^y = G_m \frac{(G_{12f} + G_m) + V_f(G_{12f} - G_m)}{(G_{12f} + G_m) - V_f(G_{12f} - G_m)} \quad (3.8)$$

$G = E/2(1+\nu)$ elde edilir. Burada G_m matrisin kayma modülü, G_{12f} ise elyafın kayma modülüdür. Reçineye emdirilmiş elyafın büyük Poisson oranları, elyaf ve matrisin Poisson oranları ve elyaf hacim oranından hesaplanabilir:

$$\nu_{12}^y = V_f \nu_{21f} + V_m (1 - V_f) \quad (3.9)$$

Küçük Poisson oranı ise elastik modül ters ilişkisi yardımı ile şu şekilde bulunmaktadırlar:

$$\nu_{12}^y = \nu_{12}^y \frac{E_2^y}{E_1^y} \quad (3.10)$$

Sonuç olarak elde edilen tek doğrultu fiber yapısına sahip karbon çubuğun malzeme özellikleri Çizelge 3.4’te verilmektedir.

Çizelge 3. 4 Karbon çubuk malzemenin özellikleri.

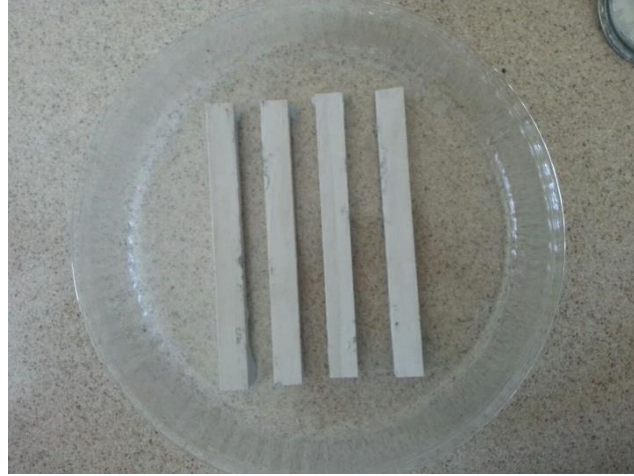
	Malzeme Özellikleri	Değerler	Ref. [16]	Ref. [17]
	E₁ , (GPa)	116,7	132,58	135,0
	E₂=E₃ , (GPa)	7,0	10,8	8,8
Karbon	G₁₂=G₁₃ , (GPa)	2,85	5,7	4,47
Kiriş	G₂₃ , (GPa)	2,07	3,4	3,2
	v₁₂=v₁₃	0,27	0,24	0,33
	v₁₃	0,41	0,49	0,48

3.3.3 Kalıp Silikon Kalıbının Hazırlanması

Kompozit kiriş üretimini gerçekleştirmek için kalıp üretimi yapılmıştır. Bu üretim için silikon kalıp malzemesi kullanılmıştır. Silikon malzemenin istediğimiz şekli alması ve üretim sonundaki esnek bir şekilde kirişin kalıptan çıkarılması için RTV-2 kalıp silikon seçilmiştir. Kiriş için 26x12x200mm boyutlarında 14 mm et kalınlığında 4 adet mermer kestirilmiştir (Şekil 3.20). Mermerin yüzeyindeki pürüzlülük olmaması kalıbın sorunsuz üretimi sağlanması hedeflenmiştir. Şekil 3.21’de kalıbımızın ana şeklini alması için bor cam kalıp olarak seçilmiştir. Borcamın taban yüzeyinin düz ve pürüzsüz olması seçimimizde etken olmuştur.



Şekil 3.20 Kiriş malzeme için hazırlanmış mermerler.



Şekil 3.21 Kalıp malzemesi için kullanılacak borcam malzemesi.

Katalizör maddesi silikon malzemenin daha çabuk sertleşmesi için üretim aşamasında kullanılmıştır. Katalizör miktarı koyulan silikon miktarının %3 ile %5 arasında konulmasına dikkat edilmiştir. Bu deney çalışmasında %5 katalizör hassas terazi yardımı ile koyulmuştur. Kalıp silikon malzemesi ile katalizör maddesi karışımı yapıp, Şekil 3.22'de gösterildiği gibi dökülmüştür. Kalıba döküm yapıldıktan sonra reaksiyon olması açısından 25 C° de sıcaklıkta 24 saat süre ile beklenmiştir.



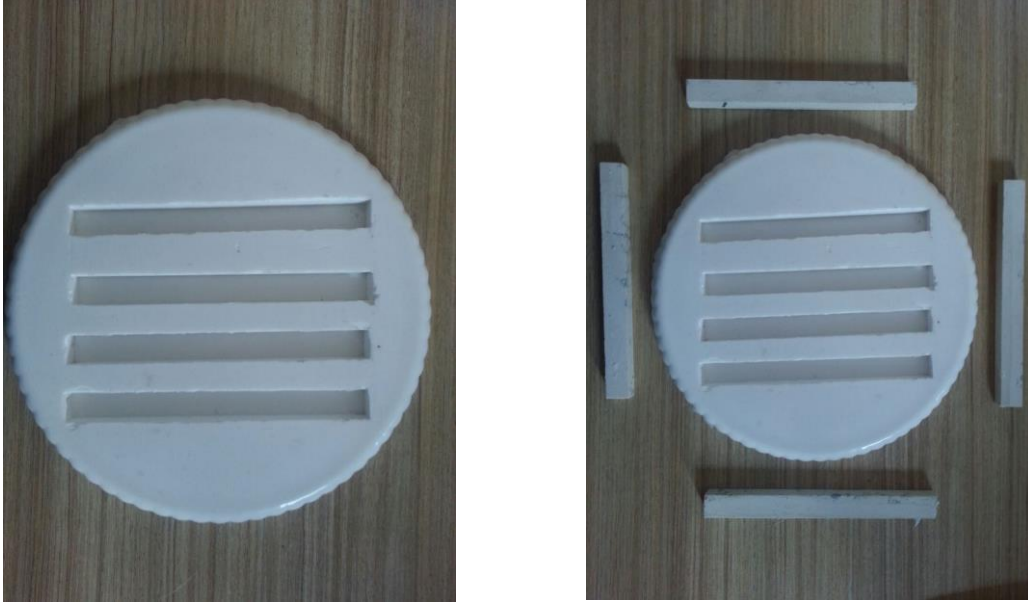
Şekil 3.22 Kalıba silikon malzemenin dökülme aşaması.

Kalıba silikonun dökülmesinden sonra, Şekil 3.23’de 24 saat bekleme süresine geçilmiştir.



Şekil 3.23 Kalıp hazırlandıktan sonra bekleme aşaması.

Kalıbın bekleme süresinden sonra borcam kalıp malzemesinden kalıbımız çok rahat bir şekilde çıkarılmıştır (Şekil 3.24). Kalıp üretimi istenilen boyutlarda gerçekleştirilmiş olup, kiriş üretimi için hazır hale gelmiştir.

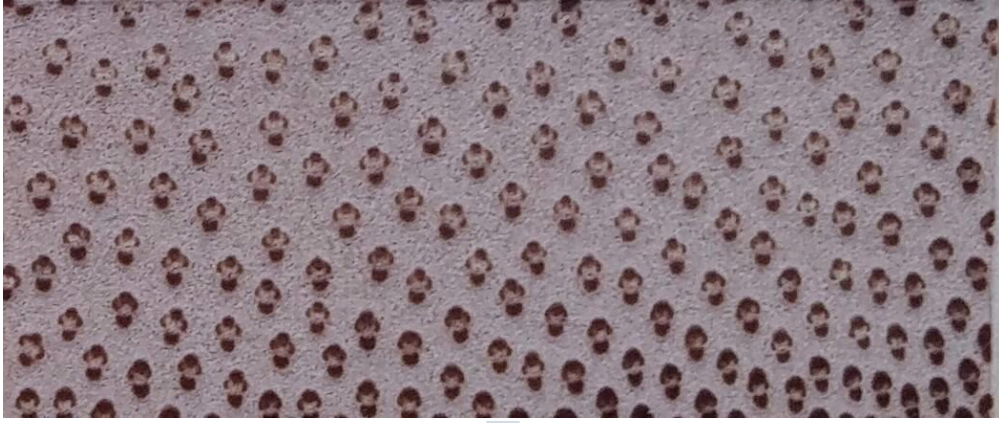


Şekil 3.24 Kalıbın üretilmiş hali ve mermerlerden çıkarılmış durumu.

3.4 Kiriş Plakalarının Tasarımı ve Kompozit Kirişin Üretimi

Biomimetik tasarım yöntemi kullanılarak yapılan bu tez çalışmasında, bambu bitkisinin mikro yapısı göz önüne alınıp bambu bitkisinden alınan bir kesit incelenerek, dayanıklı bir kompozit kiriş malzeme elde etmektir.

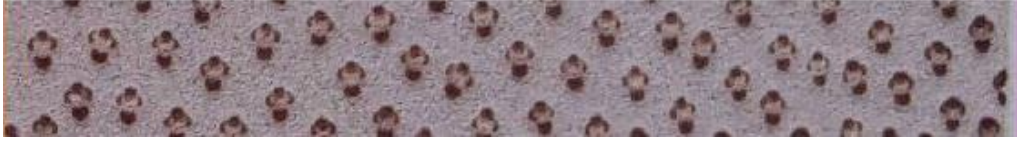
İlk olarak bambunun mikro yapısından bir kesit alınıp fotoğraflanarak bambu içyapısı incelenmiştir. Şekil 3.25’ de gösterilen bambunun mikro yapısından da görüldüğü üzere fonksiyonel dereceli malzeme olduğu görülmektedir. Kademeli olarak fiberlerin azaldığı görülmektedir. Fiberlerin dış yüzeyde yoğun iç yüzeye doğru kademeli bir şekilde azaldığı mikro yapısında bellidir. Bambu bitkisinin kademeli olarak azalan bu fiber hacim oranları belirlenerek, bu fiber hacim oranlarını kompozit kirişe aktarılmıştır.



Az yoğun fiber oranı



Orta yoğun fiber oranı



Çok yoğun fiber oranı

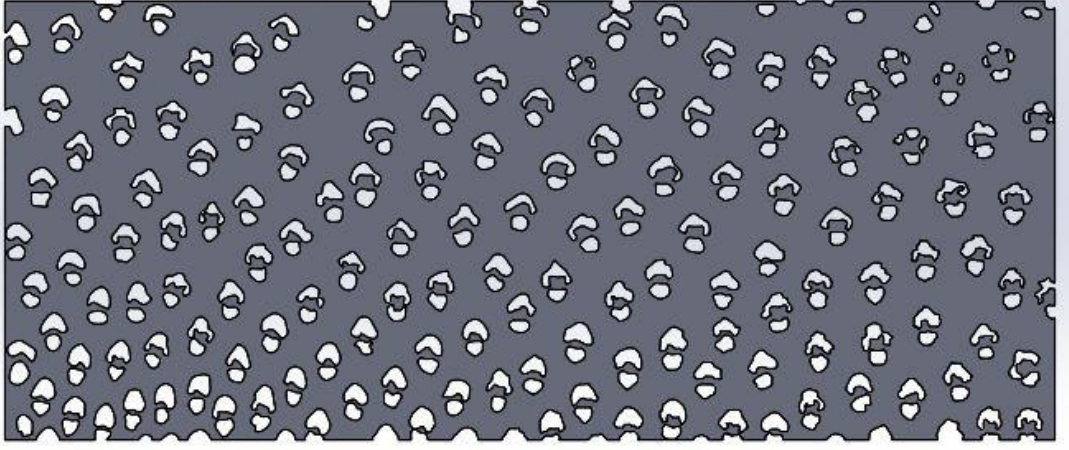


Şekil 3.25 Bambunun mikro yapısının incelenmesi.

Bambunun bu yapısından esinlenerek, bu yapıya uygun bir kiriş tasarlanmıştır. Şekil 3.26' da görüldüğü üzere solidworks programı yardımıyla tasarım oluşturulmuştur. Bu tasarımdaki fiber oranı bambunun yapısındaki fiber oranı ile tasarlanarak kirişe aktarılacaktır.

Şekil 3.25'deki gibi bambu kesitlerinin mikro yapısı incelenerek, bambu yapısının dış kısımlarında fiber oranının fazla olduğu fakat içe doğru gidildikçe bu oranın azaldığı, dış kısımlarda yatay eksendeki fiber sayısı fazlayken içe doğru azaldığı ve dikey eksendeki fiberler arası boşlukların içe doğru arttığı gözlemlenmiştir.

Fiber oranları bambunun her kesitinde farklılık göstermekte olup aşağıdaki incelediğimiz kesitte (Şekil 3.26) bu oran solidworks programı yardımıyla %18 bulunmuştur. Fakat diğer çalışmalar incelenerek %28 fiber oranı kullanılmaya karar verilmiştir.



Şekil 3.26 Bambu yapısının solidworks programına aktarılarak fiber oranının belirlenmesi.

%28 fiber oranı baz alınarak aşağıdaki formülizasyon sistemi oluşturulmuş ve tasarım buna bağlı kalınarak yapılmıştır.

%28 oranını yakalamak için gerekli fiber sayısını bulmak için kullanılan formül:

N: toplam fiber sayısı

%28 fiber oranı baz alınarak aşağıdaki formülizasyon sistemi oluşturulmuş ve tasarım buna bağlı kalınarak yapılmıştır.

%28 oranını yakalamak için gerekli fiber sayısını bulmak için kullanılan formül:

N: toplam fiber sayısı

X: yataydaki uzunluk

Y: dikeydeki uzunluk

A: fiberin taban alanı

Olmak üzere:

$N = [X*Y*(28/100)]/A$ 'dır.

Dikey ekseninde kaç adet fiber olduğu bulmak için kullanılan formül:

D: çap

R: yarıçap

B: dikey eksenindeki fiber adeti

Olmak üzere:

$B = Y/D - 2R$ 'dir.

Yatay eksenin orta noktasında kaç adet fiber olduğunu bulmak için kullanılan formül:

N/B 'dir.

$N/B = z$ oranı bulunduktan sonra;

$B < 6$ ve $B = \text{çift sayı iken};$

Aşağı yöne doğru ilk basamağın fiber sayısı $z+1$ şeklinde artarken diğer basamakların $z+3, z+5$ şeklinde fiber sayısı artar, yukarı yöne doğru ilk basamağın fiber sayısı $z-1$ şeklinde azalırken diğer basamakların fiber sayısı $z-3, z-5$ şeklinde azalır.

$B < 6$ ve $B = \text{tek sayı iken};$

Bulunan z değeri orta noktaya yazılır. Aşağı yöne doğru $z+2$ şeklinde fiber sayısı artarken, yukarı yöne doğru $z-2$ şeklinde azalır.

$B > 6$ ise

Bulunan z değeri orta noktaya yazılır. Aşağı doğru $z+1$ şekilde fiber sayısı artarken, yukarı doğru $z-1$ şeklinde azalır.

Yatay eksenindeki fiberler arası boşluğu bulmak için kullanılan formül:

C: fiberlerin eksenleri arasındaki boşluk

Olmak üzere:

$C = X/Z$ 'dir

Z her satır için o satırın fiber sayısı olarak alınır.

Dikey eksendeki fiberler arası boşluğu bulmak için kullanılan formül:

B= Dikeydeki fiber adeti

K= Orta noktadaki aralık

H= Fiberler arasındaki aralık sayısı

$$2R/10 = F$$

$$Y-(B*D)-2F=E$$

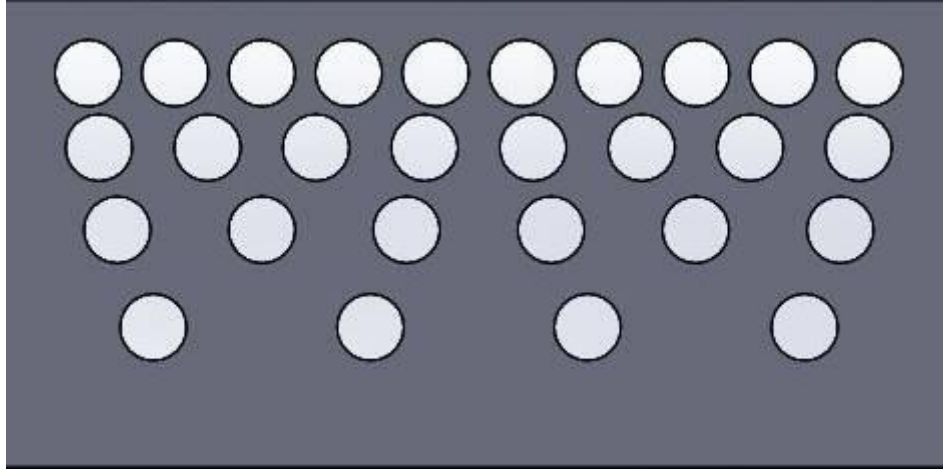
$$E/H = K$$

Olmak üzere;

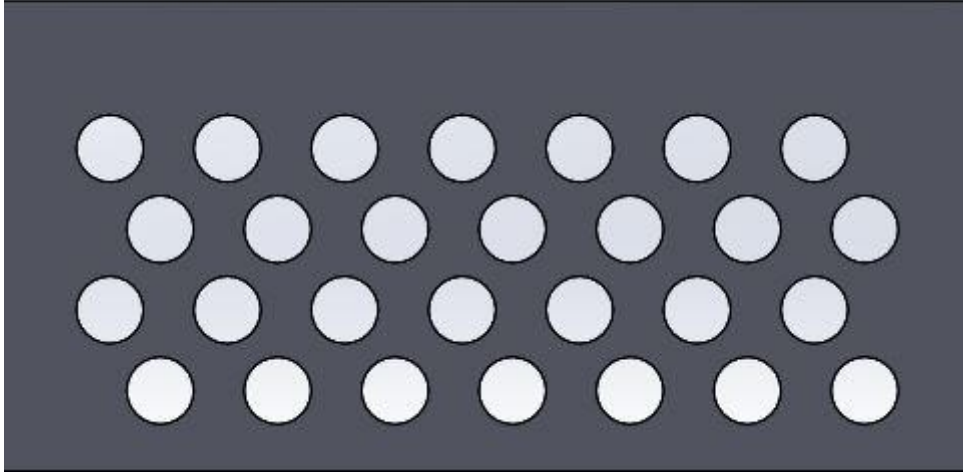
Yukarı doğru boşluklar $K+K/2$ şeklinde artarken

Aşağı doğru boşluklar $K-K/2$ şeklinde azalır.

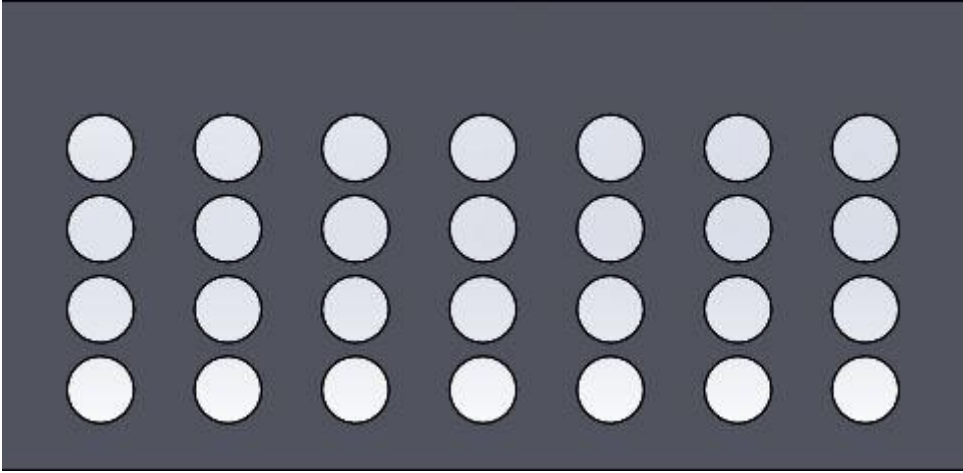
Oluşturulan formülizasyona uygun şekilde tasarımı yapılan kompozit kiriş bambu yapısı, hegzagonal ve homojen dağılımlı fiber yapılarıyla kıyaslanacağı için 3 farklı tasarım yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünü gidermek için tıraşlama yapılacak olduğundan tasarımların boyutları 30*16mm'dir. Daha sonra gerçek ölçülerine frezelenerek 26*12 boyutlarına indirilecektir.



Şekil 3.27 Bambu yapısı.



Şekil 3.28 Hegzagonal yapı.



Şekil 3.29 Homojen yapı.

Bambudan esinlenerek mikro yapısından çıkarılan modeller bambu yapısı, hegzagonal yapı ve homojen yapı olarak tasarlanmıştır.

Bambu için ölçülendirmeler formülde yerlerine yazılarak aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$D=2 R=1 \text{ iken } A = \pi r^2 \quad A=3.14$$

$$X=26 \quad Y=12 \text{ ölçüleri}$$

$$N = [X*Y*(28/100)]/A, \quad N=28$$

$$B= Y/D-2R, \quad B=4$$

$$Z=N/B, \quad Z=7$$

Yukarıdan aşağıya doğru:

1. Satır: $Z-3=4$ adet
2. Satır: $Z-1=6$ adet
3. Satır: $Z+1=8$ adet
4. Satır: $Z+3=10$ adet' dir.

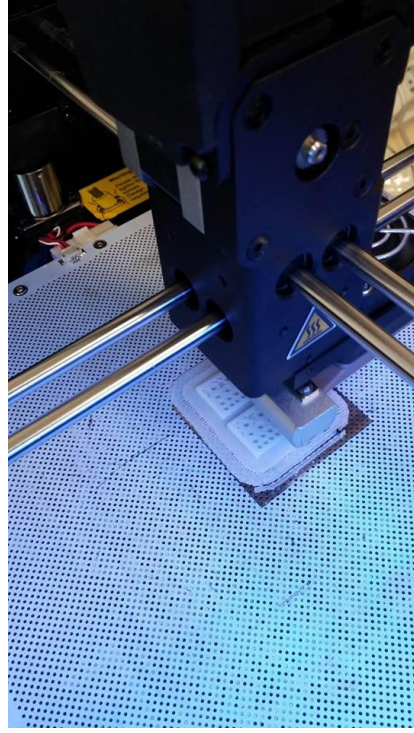
C =

1. Satır için: $C= X/Z-3$, 6.5mm
2. Satır için: $C= X/Z-1$, 4.33mm
3. Satır için: $C=X/Z+1$, 3.25mm
4. Satır için: $C=X/Z+3$, 2.6mm 'dir.

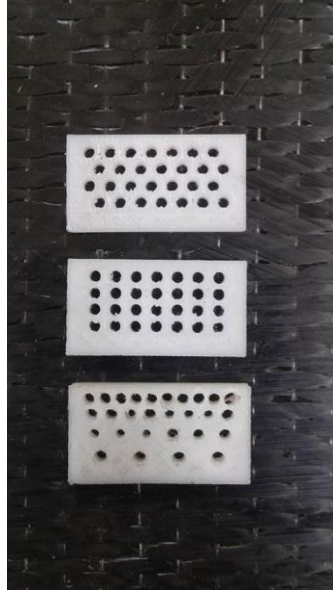
E/H =K

1. Aralık için: 1.80mm
2. Aralık için: 1.20mm
3. Aralık için: 0.60mm'dir.

Tasarımlar oluşturulduktan sonra Solidworks'un STL formatında kaydedilerek Z-suite programına aktarılmış, buradan da 3 boyutlu yazıcıya aktarılarak her biri 2 mm derinliğinde 4 adet bambu kesit, 4 adet homojen ve 4 adet hegzagonal kesite sahip plakalar üretilmiştir (Şekil 3.30).



Şekil 3.30 Boyutlu yazıcı ile plakaların üretilmesi.



Şekil 3.31 Boyutlu yazıcı ile üretilmiş numuneler.

Daha sonra sipariş edilen 2 mm çapında 1 metre boyundaki karbon fiber çubuklar dramel (Şekil 3.32) yardımı ile 1 metre boyundaki çubuklar 20 cm'lik boylara getirilip 3 boyutlu yazıcıda üretilen delikli plakalara geçirilmiş, sonrasında kalıp ayırıcı sürülerek silikon kalıbın içine yerleştirilmiştir (Şekil 3.33).



Şekil 3.32 Karbon çubukları kesilmesi için kullanılan dramel makinesi.

3D yazıcıda üretilen plakalara T300 fiberi olan tek doğrultulu 2 mm çapındaki kompozit çubuklar geçirilmiştir (Şekil 3.33).



Şekil 3.33 Üretilen plakalara karbon çubukların montaj aşaması.

Bir kabın içinde hazırlanan epoksi döküm reçinesi BOND350DH ve sertleştiricisi BOND350H (Şekil 3.34) 2'ye 1 oranda karıştırılmış ve kalıba dökümü yapılmıştır. 24 saat süreyle kuruyan epoksi silikon kalıptan çok rahat ayrılmıştır. Silikon kalıbın esnekliğinden yararlanılarak sorunsuz bir şekilde çıkartılan kiriş Şekil 3.35 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.34 Sertleştirici malzeme ve reçine.



Şekil 3.35 Üretilen kirişin silikon kalıptan çıkarılmış hali.

Aynı yoğunlukta hangisinin daha dayanıklı olduğuna dair karşılaştırma yapabilmek için homojen bir kesit ve hegzagonal yapıda bir kesit daha tasarlanmıştır. Tasarımların kalıpları 3 boyutlu yazıcı yardımıyla oluşturulmuştur, kalıbın deliklerinden karbon fiber

Çubuklar geçirilip fiber yapısı elde edilmiş, epoksi döküm reçinesi kullanılarak da matris yapı elde edilmiştir. Şekil 3.35 'de üretilen bambu kesit, homojen kesit ve hegzagonal kesitteki kirişlere 3 nokta eğme testleri yapılmıştır ve bu test değerleri bilgisayar ortamında abaqus programıyla yapılmış olan 3 nokta eğme analiziyle kıyaslanmıştır.



Şekil 3.36 Bambu, hegzagonal ve homojen yapıdaki kirişler.

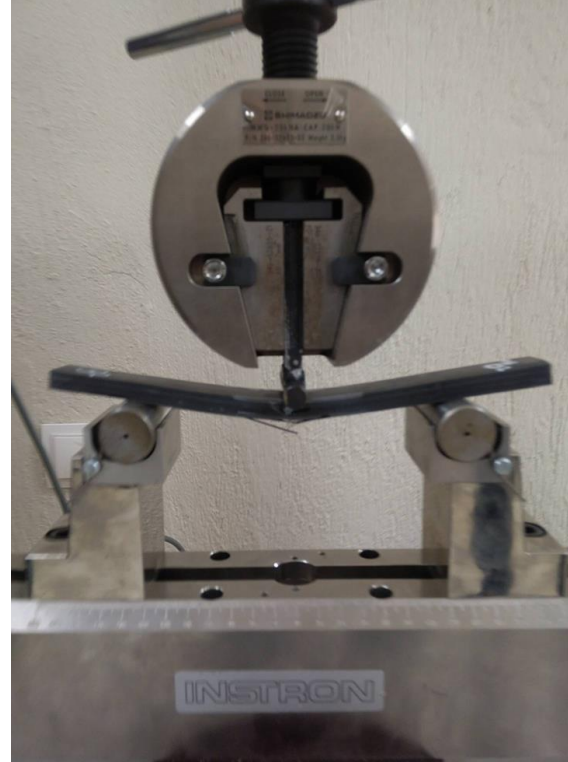
Üretilen kirişlerin kesiti alınmış hali Şekil 3.37'de gösterilmiştir.



Şekil 3.37 üretilen kirişlerin kesit görünümü.

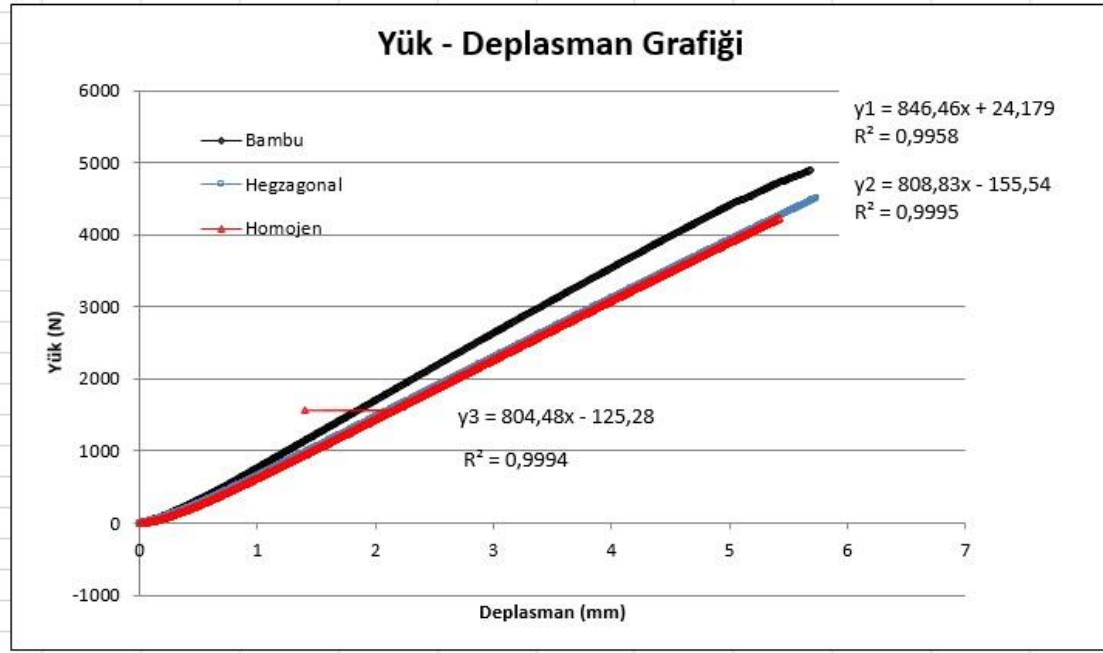
3.5 Üç Nokta Eğme Testi

Bu kısımda üretilen bambunun yapıdaki kirişe, homojen kirişe ve hegzagonal kesitteki kiriş yapısına uygulanan üç nokta eğme testlerinin sonuçları ve bu sonuçlarına yer verilmiştir.



Şekil 3.38 Bambunun hegzagonal ve homojen yapıdaki kirişlere 3 nokta eğme testi uygulanması.

Hegzagonal kiriş ve bambu kirişin eğilme rijitliklerinin kıyaslanması Çizelge 3.5’ te gösterilmiştir. Çizelge 3.3’te orijinal bambu yapısında aldığımız kesit sonuçlarında ortalama Elastisite Modülü 10591,81 MPa olarak üç nokta eğme testlerinde bulunmuştur. Üretimi yapılan bambu kirişinin elastisite modülü ise 11125,7 MPa ve Hegzagonal kirişin ise 9989,7 MPa bulunmuştur. Çizelge 3.5’te gösterildiği üzere orijinal bambunun eğilme rijitliği deneysel çalışma sonucunda dayanımının hegzagonal yapıdaki kirişin eğilme rijitliğinden %10 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.39 Hegzagonal kiriş, homojen ve bambu kirişin eğilme dayanımlarının kıyaslanması.

Çizelge 3. 5 Bambu yapısı, homojen yapı ve hegzagonal yapının analiz verileri.

Numuneler	P(N)	W(mm)	t(mm)	s(mm)	m	E(MPa)	σ (MPa)
Bambu Yapısı	4900	26	13,8	150	901	11125,7	222,7
Hegzagonal Yapı	4500	26	13,8	150	809	9989,7	204,5
Homojen Yapı	4235,6	26	13,8	150	754	9678,8	195,6

3.6 Sonlu Elemanlar Metodu (SEM)

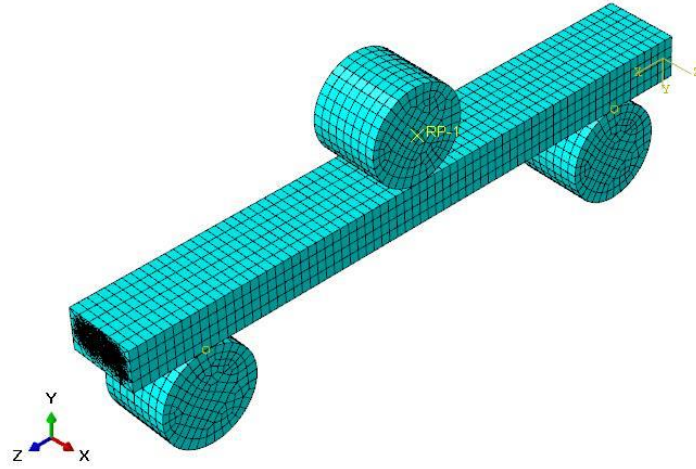
Mühendislik problemlerinde, matematiksel ve mühendislik çözümlerine sayısal analizlerle çözüm arayan ve problemlere uygulanabilir çözüm bulan yöntemle Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) denilmektedir. Mühendislik problemlerinin basite indirgenerek çözüme kavuşturmasına sağlayan sonlu elemanlar metodu günümüzde en çok kullanılan analiz yöntemleridir. Sonlu elemanlar metodu çözüm bölgesinin çok sayıda sonlu ve birbirine bağlı elemanlardan oluşmaktadır. Sonlu elemanlar metodu çözüme ulaşılmasında çeşitli teoriler kullanılarak, sınır koşul ve denge denklemlerin tanımlanmasıyla yaklaşık sonuçlar bulmaktadır (Demirsöz 2005).

Mühendisliğin her dalındaki problemlere Sonlu elemanlar metodu uygulanabilmektedir. Gerilme analizi, akışkanlar mekaniği, statik ve dinamik problemler, gürültü ve titreşim analizi, yorulma analizi, biomekanik ve elektriksel manyetik alanlar vb. mühendislik problemlerinin çözümünde analiz sonuçlarını vermektedir.

Bu tez çalışmasının sonlu elemanlar metodu ile incelenmesi için sonlu elemanlar metodu olan abaqus programı yardımı ile sonuçlar incelenmiştir.

3.6.1 Sonlu Elemanlar Metodu ile Yapılan Analizler

Bu kısımda, üç nokta eğilme testi sonlu elemanlar metodu ve nümerik analiz sonuçları incelenmiştir. Şekil 3.40'da görüldüğü üzere sonlu elemanlar metodu ile modellenmiş üç nokta eğme düzeneği bulunmaktadır. Bu modelde yer alan kirişlere üç nokta eğme analizleri 85736 adet mesh verilerek yapılmıştır.



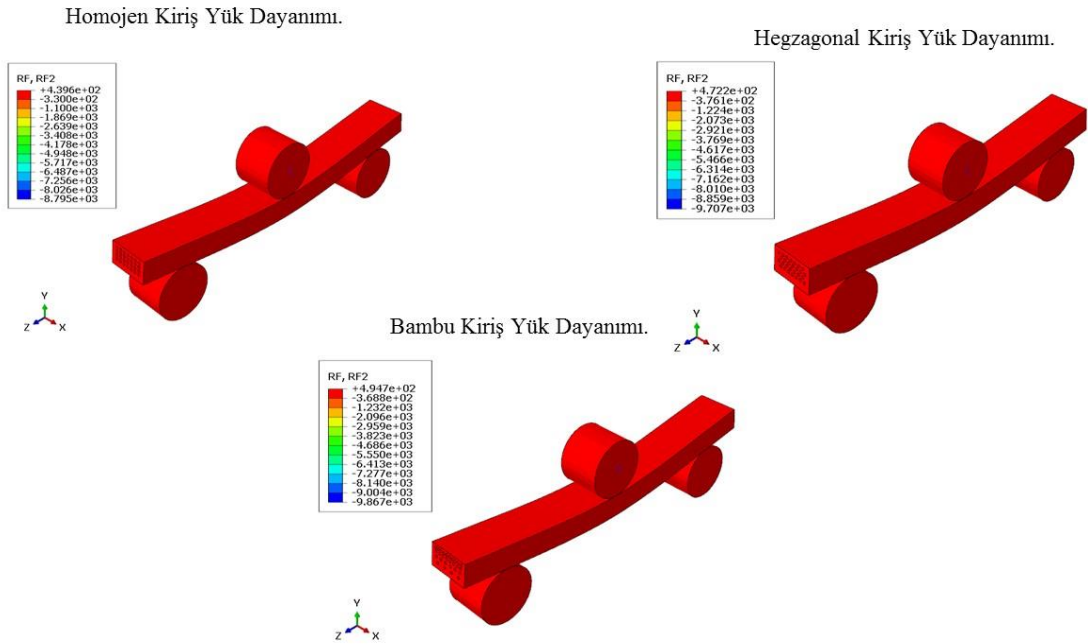
Şekil 3.40 Sonlu elemanlar metodu ile üç nokta eğme testi.

Sonlu elemanlar metodunu için Abaqus programını kullanarak üç adet kiriş çizimi yapılmış olup, Homojen kiriş, Bambu kiriş ve Hegzagonal yapıdaki kirişlerin dayanımı ölçülmüştür. Üretimi yapılan kirişlerin sonlu elemanlar metodu ile karşılaştırılması yapılmıştır. Kirişlerde oluşan yük dayanımı ve gerilme konturları arasında deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

4. BULGULAR

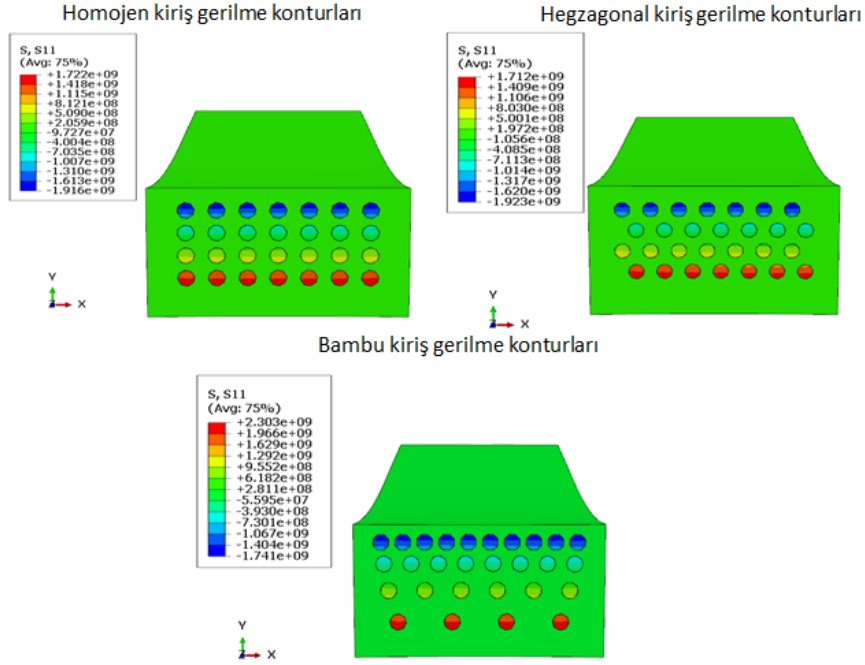
4.1 Sonlu Elemanlar Metodu İle ilgili Analiz Sonuçları

Homojen kiriş için tasarlanan plakalar abaqus programına aktarılarak analizi yapılmıştır. Yapılan analiz çalışmanın neticesinde homojen kirişin yük dayanımının hegzagonal kirişden yaklaşık %9 ve bambu kirişine göre ise % 14 daha az olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.1). Bambunun mikro yapısına uygun olarak tasarlanan kirişin homojen yapı ve hegzagonal yapıdaki kirişlere göre % 14 daha dayanıklı olduğu belirlenmiştir. Bambunun mikro yapısında tespit edilen hegzagonallığa göre tasarlanan hegzagonal kirişin, homojen dağılımlı olarak yapılan homojen kirişe göre % 9 yük dayanımında etkin olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.1 Üretimi yapılan kirişlerin yük dayanımları.

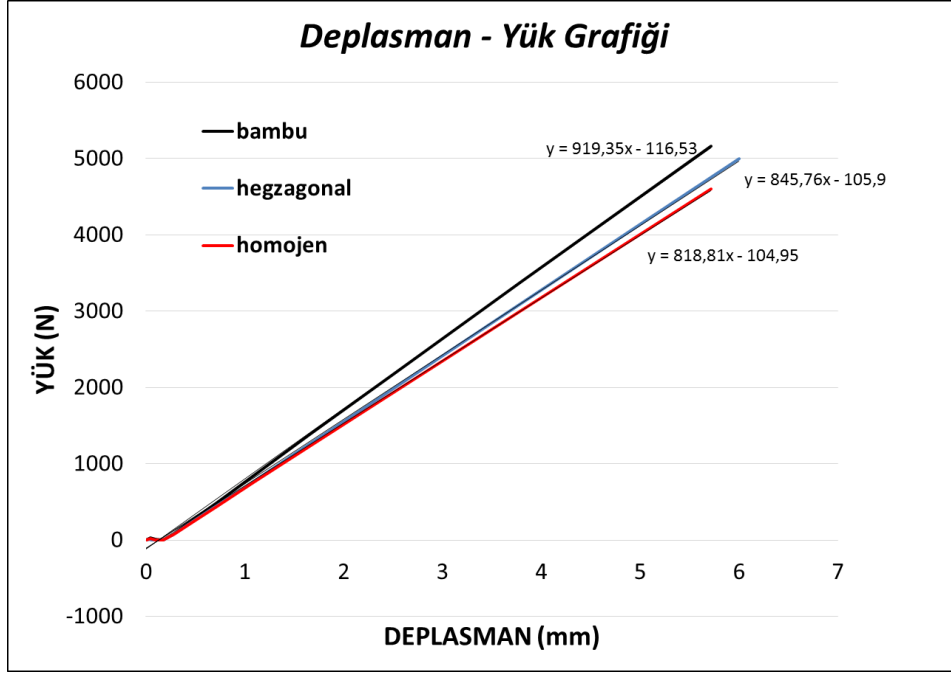
Homojen kiriş, hegzagonal kiriş ve bambu kirişler için gerilme analizler yapılmış sonucunda oluşan gerilmeler Şekil 4.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Üretimi yapılan kirişlerin gerilme konturları.

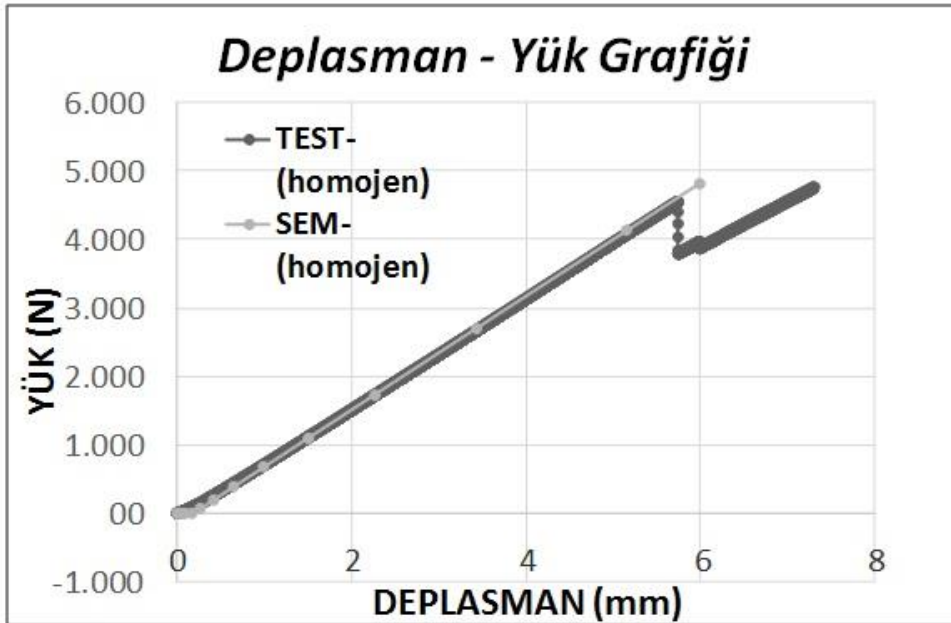
Üç farklı kirişten yapılan çözümlerin sonuçlarında, bambu kirişte gerilme diğerlerinden fazla oluşmuştur. Aynı zamanda en az gerilme ise yine bambu kirişte fiberlerin yoğun olduğu bölgede oluşmuştur. Hegzagonal yapıdaki kiriş de gerilmelerin orantılı bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir.

Sonlu elemanlar metodu ile tasarımı yapılan kirişlerin analizleri yapılmıştır. Yük-deplasman grafiğinde belirtildiği üzere bambu yapıdaki kirişin en fazla yük dayanımına ve en az yer değiştirmeye sahip olduğu belirtilmiştir (Şekil 4.3). Şekil 4.3’de görülen grafiğin (X) eksenini uzama değerlerini milimetre olarak göstermektedir. (Y) eksenini ise kuvvet değerlerini Newton biriminde göstermektedir. Grafikte belirtildiği homojen yapıdaki kirişin dayanımı ve deplasman değerleri en az olmuştur. Silikon kalıp yardımı ile üretilen kirişlerin üç nokta eğme testi ile yapılan analizlerle uyumlu olduğu saptanmıştır. Bu durumdan da anlaşılacağı üzere yük dayanımları homojen kiriş < hegzagonal kiriş < bambu olarak sıralanmaktadır.



Şekil 4.3 Sonlu elemanlar metodu ile tasarlanan bambu, homojen ve hegzagonal yapıdaki kesitlerin eğilme rijitliklerinin kıyaslanması.

Üretilen homojen yapıdaki kiriş için yapılan üç nokta eğme testi ve sonlu elemanlar metodu ile tasarlanmış homojen yapıdaki kiriş için yapılan üç nokta eğme analizi ile karşılaştırılmıştır. Bambunun sonlu elemanlar metodu ile yapılan analizinin yük dayanımı ve uzama değeri, test ile yapılandan daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Bambunun mekanik sonucu ile sonlu elemanlar metodu testinin grafiği.

5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Kainatta bulunan canlılar özellikleri ile insanoğluna en mükemmel örnekleri sunmaktadır. Bu canlıların mükemmel tasarımından esinlenerek insanların yaşamını kolaylaştırma ve daha üstün ürün geliştirilmesi mümkündür.

Bu çalışmada, biomimetik tasarım tekniğinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu teknik kullanılarak bambu yapısının mikro yapısından esinlenerek üç tip kompozit kiriş tasarlanmıştır. Bu sonuçlardan elde edilen veriler bambunun mekanik yapısı ile karşılaştırılmıştır. Kainattaki tasarım özelliklerinin tasarlanacak ürünlere nasıl aktarılacağı ve bu süreçte ortaya çıkan sorunların deneysel ve sonlu elemanlar metodu ile gerçekleştirilmiştir.

Bambu kirişler için üç adet plaka tasarlanmıştır. Bu plakalar tasarlanırken bambunun mikro yapısı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Kirişlerin üretimi yapılırken silikon kalıplama yöntemi tercih edilmiştir.

Bambu, hegzagonal ve homojen kesitlere sahip kirişlerin üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretimi yapılan kirişlere üç nokta eğme testi uygulanmıştır. Bu deneysel testten elde edilen yük ve deplasman verileri bambunun mikro yapısı ile karşılaştırılmıştır. Kirişler sonlu elemanlar metodu ile incelenmiştir. Üç adet kirişin tasarımları sonlu elemanlar metoduna aktararak üç nokta eğme testi uygulanarak deplasman-yük verileri elde edilmiştir. Bu elde edilen verileri deneysel test verileri ile karşılaştırılarak meydana gelen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak biomimetik yöntemle ürettiğimiz bambu yapıdaki kompozit kirişin eğilme rijitliği deneysel çalışma sonucunda dayanımının, hegzagonal yapıdaki kirişin eğilme rijitliğinden %10 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmanın sonucunda kainattaki tasarımların incelenmesiyle insanoğluna yeni tasarım fikirlerinin elde edilebileceği görülmüştür. Çalışmada biomimetik tasarım yöntemi kullanılarak yapılan modellemeler için uygulanabilir olduğu görülmüştür. Doğal fiber

bulunduran bambu malzemesinin mikro yapısından elde edilen veriler incelenmiş, buradaki değerler kompozit kirişe aktarılmıştır.

Günümüzde önem arz eden inşaat, uzay yapılarında, otomotiv sektöründe ve uçak sanayisinde hafif, dayanımı yüksek ve estetik olduğu yapılar yaygınlaşmaktadır. Üretimi yapılan malzemelerde bu özellikler çoğunlukla aranmaktadır. Bu tez çalışmasında bambudan esinlenerek üretilen kompozit kirişin eğilme rijitliğinden elde edilen veriler dikkate alındığında yukarıda belirtilen sektörlerde de kullanımı insanların yaşamını kolaylaştırılması açısından uygulanabilirliği araştırılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Bar Cohen, Y., (2006). *Biomimetics - Biologically Inspired Technologies*. Taylor & Francis Group, New York
- Bao, L., Kamada, N., Qian, D., Shirayi, T., Gotou, S., & Kemmochi, K. (2010). Improvement of the Bending Characteristics of Thin FRP Cylinders by Imitating Nodes of Bamboo. *Advanced Composite Materials*, **19(2)**, 157-170.
- Biggins, P. D., Kusterbeck, A., & Hiltz, J. A. (2008). Bio-inspired approaches to sensing for defence and security applications. *Analyst*, **133(5)**, 563-570.
- Chand, N., Shukla, M., & Sharma, M. K. (2008). Analysis of Mechanical Behaviour of Bamboo (*Dendrocalamus strictus*) by Using FEM. *Journal of Natural Fibers*, **5(2)**, 127-137.
- Chung, K. F., & Yu, W. K. (2002). Mechanical properties of structural bamboo for bamboo scaffoldings. *Engineering structures*, **24(4)**, 429-442.
- Değer, G., Pakdemirli M., Candan F., Akgün S., Boyacı H., (2010). Strength of Wheat and Barley Stems and Design of New Beams. *Mathematical and Computational Applications*, **15 (1)**, pp. 1-13.
- Demirsöz R. (2005). Asansör Kılavuz Rayların Gerilme Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ghavami, K., Rodrigues, C. S., & Paciornik, S. (2003). Bamboo: functionally graded composite material. *Asian journal of civil engineering (building and housing)*, **4(1)**, 110.
- Ghavami, K. (1995). Ultimate load behaviour of bamboo-reinforced lightweight concrete beams. *Cement and concrete composites*, **17(4)**, 281-288.

- Lakkad, S. C., & Patel, J. M. (1981). Mechanical properties of bamboo, a natural composite. *Fibre Science and Technology*, **14(4)**, 319-322.
- Liu, T. H., Su, C. K., & Shiang, T. Y. (2008, March). The Characteristics Of Baseball Bats Manufactured By Different Materials. In *ISBS-Conference Proceedings Archive* (Vol. 1, No. 1).
- Ma, J. F., Chen, W. Y., Zhao, L., & Zhao, D. H. (2008). Elastic buckling of bionic cylindrical shells based on bamboo. *Journal of Bionic Engineering*, **5(3)**, 231-238.
- Markus Milwich , Thomas Speck , Olga Speck , Thomas Stegmajer and Heinrich Planck (2006). “Biomimetics And Technical Textiles: Solving Engineering Problems With The Help Of Nature’s Wisdom” .
- Mattheck, C. (1998). *Design in nature: learning from trees*. Springer-Verlag, Berlin, New York, p. xiv, 276 p
- Natori M.C. 1, Yamakawa H. 1, Kishimoto N. 2, and Higuchi K. 2 (2008). “Concept of LargeSpace Structure Systems Using Deployable Membrane Modules Embedded with Inflatable Tubes” Faculty of Science and Engineering, Waseda University 2 Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency (ISAS/JAXA).
- Kishimoto N., Natori M.C. and Higuchi K. (2006). “New Deployable Membrane Structure Models Inspired by Morphological Changes in Nature” Institute of Space and Astronautical Science / Japan Aerospace Exploration Agency 3-1-1 Yoshinodai, Sagamihara, Kanagawa 229-8501.
- Obataya, E., Kitin, P., & Yamauchi, H. (2007). Bending characteristics of bamboo (*Phyllostachys pubescens*) with respect to its fiber–foam composite structure. *Wood Science and Technology*, **41(5)**, 385-400

- Ray, A. K., Mondal, S., Das, S. K., & Ramachandrarao, P. (2005). Bamboo-A functionally graded composite-correlation between microstructure and mechanical strength. *Journal of materials science*, **40(19)**, 5249-5253.
- Saga, N. (2004). Development of a peristaltic crawling robot using magnetic fluid on the basis of the locomotion mechanism of the earthworm. *Smart Materials and Structures*, **13**: 566.
- Silva, E. C. N., Walters, M. C., & Paulino, G. H. (2008). Modeling Bamboo as a functionally graded material. *In AIP conference proceedings* (pp. 754-759).
- Sutnaun, S., Srisuwan, S., Jindasai, P., Cherdchim, B., Matan, N., & Kyokong, B. (2011). Macroscopic and microscopic gradient structures of bamboo culms. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, **2(1)**, 81-97.
- Tan, T., Rahbar, N., Allameh, S. M., Kwofie, S., Dissmore, D., Ghavami, K., & Soboyejo, W. O. (2011). Mechanical properties of functionally graded hierarchical bamboo structures. *Acta biomaterialia*, **7(10)**, 3796-3803.
- Yu, H. Q., Jiang, Z. H., Hse, C. Y., & Shupe, T. F. (2008). Selected physical and mechanical properties of Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*). *Journal of Tropical Forest Science*, 258-263.
- Yu, W. K., Chung, K. F., & Chan, S. L. (2003). Column buckling of structural bamboo. *Engineering Structures*, **25(6)**, 755-768.

ÖZGEÇMİŞ

- Adı Soyadı : Cevdet ŞENEL
- Doğum Yeri ve Tarihi : Görele/15.08.1989
- Yabancı Dili : İngilizce
- İletişim (Telefon/e-posta) : 0 538 7164228 / cevdet2841@gmail.com
- Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
- Lise : Gebze Endüstri Meslek Lisesi (2003-2007)
- Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi / Teknik Eğitim Fakültesi
/Makine Res. ve Konst. Öğr. (2008-2012)
- Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü /
Makine Mühendisliği (2013-2016)
- Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / İş
Güvenliği (Tezsiz) (2013-2015)
- Çalıştığı Kurum ve Yıl :
- Afyon Kocatepe Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı, TÜBİTAK 213M572
Proje Asistanı (15.04.2014-15.02.2015)
- Anadolu Stratejik Yatırımlar Araştırma ve Danışmanlık Merkezi / Proje Koordinatörü
(19.02.2015-devam ediyor)
- Yayınları (SCI ve diğer) :
- Şenel, C., Karakaya, Ş., Verim, Ö (2014). Vakum Destekli Reçine Transfer Metodu ile
Kompozit Reflektif Yüzey Üretimi, Bilimsel Araştırma Projesi, Afyon Kocatepe
Üniversitesi-Afyonkarahisar: 13.HIZDES.22