



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GFRP İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ ENDÜSTRİYEL BETONARME
BACALARIN SONLU ELEMANLAR METODU İLE ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

Anas ALIHASSAN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA

SAMSUN
2021

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**GFRP İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ ENDÜSTRİYEL BETONARME
BACALARIN SONLU ELEMANLAR METODU İLE ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

Anas ALIHASSAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA

SAMSUN
2021

TEZ KABUL VE ONAYI

Anas ALIHASSAN tarafından. Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA danışmanlığında hazırlanan “GFRP ile Güçlendirilmiş Endüstriyel Betonarme Bacaların Sonlu Elemanlar Metodu ile Analizi” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 21.5.2021 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Azer KASIMZADE Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yapı Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/>
			Kabul
			<input type="checkbox"/>
			Ret
Üye (Danışman)	Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mekanik Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/>
			Kabul
			<input type="checkbox"/>
			Ret
Üye	Doç. Dr. İsa ÇÖMEZ Karadeniz Teknik Üniversitesi Mekanik Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/>
			Kabul
			<input type="checkbox"/>
			Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY

... / ... / ...

Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım yüksek lisans/doktora/sanatta yeterlik tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

İmza

21 /05 / 2021

Anas ALIHASSAN

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: GFRP İle Güçlendirilmiş Endüstriyel Betonarme Bacaların Sonlu Elemanlar Metodu İle Analizi

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 04/05/2021.tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 16

Tek kaynak oranı : % 3 çıkmıştır.

İmza

04 /05 / 2021

Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA

ÖZET

GFRP İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ ENDÜSTRİYEL BETONARME BACALARIN SONLU ELEMANLAR METODU İLE ANALİZİ

Anas ALIHASSAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans. Nisan/2021

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA

Sanayi bacaları, sıcak zehirli gazların atmosfere salınmasını sağlayan düşey yapılardır. Baca ölü yükler, rüzgâr yükleri, sıcak değişiminden oluşan etkiler ve sismik yükler etkisinden dolayı dayanmaları her zaman mümkün değildir. Bu nedenle zaman zaman güçlendirmeleri gerekmektedir. Endüstriyel bacaların güçlendirmesinde, yüksek korozyon ve kimyasal dayanıma sahip olmaları nedeniyle. cam elyaf takviyeli plastik (GFRP) malzemeler tercih edilmektedir. Endüstriyel betonarme bacalar GFRP tabakası ile güçlendirilerek sonlu elemanlar metodu ile dinamik analizi yapılmıştır. GFRP ile güçlendirilmiş durum ile güçlendirme öncesindeki durumu dinamik parametreler karşılaştırılmıştır. Güçlendirme öncesi ve sonrası dinamik davranıştaki tüm etkili parametreler (frekans, mod şekilleri. vb) incelenerek farklar ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada 250 mm kalınlığında olan bacaya 2 mm kalınlığında bir GFRP kumaş sarılarak yapılan güçlendirme neticesinde, betonarme bacanın sonlu eleman modelinden analitik olarak 1.0954 ile 31.6721 Hz. arasında değişen frekans ve 0.9128 ile 0.0315 arasında değişen periyot. GFRP kullanarak güçlendirildikten sonra 1.1146 ile 33.8664 Hz. arasında değişen frekans ve 0.8971 ile 0.0295 arasında değişen periyot toplam 5 veri elde edilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda 1. Modu incelediğimizde yapının GFRP takviyesinden önceki periyodunun güçlendirme yapıldıktan sonra yaklaşık olarak %2 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışma da SAP2000 yapı paket programından yararlanılarak hesapların güvenilir ve Pratik olması sağlanmıştır

Anahtar Sözcükler: GFRP. FRP. Betonarme. Sanayi Bacaları. Güçlendirme.

ABSTRACT

ANALYSIS OF INDUSTRIAL REINFORCED CONCRETE CHIMNEYS RETROFITTED WITH GFRP BY FINITE ELEMENT METHOD

Anas ALIHASSAN

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of of Civil Engineering

Master. April/2021

Supervisor: Assist. Prof. Dr.Sertaç TUHTA

Industrial chimneys are vertical structures that allow hot toxic gases to be released into the atmosphere. It is not always possible to withstand the chimney dead loads, wind loads, effects of temperature change and seismic loads. Therefore, they need to be reinforced from time to time. Glass fiber reinforced plastic (GFRP) materials are preferred in the reinforcement of industrial chimneys due to their high corrosion and chemical resistance. Industrial reinforced concrete chimneys were reinforced with GFRP layer and their dynamic analysis was performed with finite element method. Dynamic parameters were compared between the GFRP amplified state and the state before reinforcement. The differences were revealed by examining all the effective parameters (frequency, mode shape, etc) in the dynamic behavior before and after the reinforcement.

In this study, as a result of the reinforcement made by wrapping a 2 mm thick GFRP fabric to the 250 mm thick chimney, the finite element model of the reinforced concrete chimney was analyzed analytically from 1.0954 to 31.6721 Hz, frequency ranging from 0.9128 to 0.0315, 1.1146 to 33.8664 Hz after amplification using GFRP. A total of 5 data were obtained with a frequency varying between 0.8971 and 0.0295. As a result of these studies, when we examine the 1st Mode, it is determined that the period before GFRP reinforcement of the structure decreases by approximately 2% after reinforcement. In this study, using the SAP2000 structure package program, it was ensured that the calculations were reliable and practical.

Keywords: GFRP, FRP, reinforced concrete, industrial chimneys, reinforcement.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, iki yıl boyunca değerli bilgilerini bizlerle paylaşan, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım saygıdeğer danışman hocam; Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen babam, annem, erkek kardeşim, kız kardeşlerim ve çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan tüm değerli arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığına destekleri için teşekkür ederim. Ayrıca bana bu sabrı, azmi, çalışma hırısını ve zekayı sunan Yüce Allah'a da şükretmeyi bir borç bilirim.

Anas ALIHASSAN

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
3. BETONARME BACALAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER	4
3.1. Tarihçe.....	4
3.2. Betonarme Baca Kısımları	6
3.2.1. Baca Gövdesi	6
3.2.2. Baca Kaplamaları.....	6
3.2.3. Baca Temelleri.....	8
3.3. Betonarme Başlıca Baca Tipleri.....	8
3.4. Bacalarda Çekimin Sağlanması.....	9
3.5. Baca Etkileri	10
4. FRP' NİN TANIMI.....	11
4.1. Lifler: Güçlendirmede kullanılacak olan.....	11
4.1.1. Cam Lifleri.....	12
4.1.2. Karbon lifleri	13
4.1.3. Aramid Lifleri	14
4.1.4. Bazalt lifleri	15
4.2. Matris.....	16
4.3. Kompozit	17
4.4. FRP çeşitleri ve genel özellikleri.....	19
4.4.1. Cam fiberler (GFRP)	21
4.4.2. Karbon fiberler (CFRP)	22
4.5. FRP ile güçlendirmenin tipik nedenleri.....	22
4.5.1. Sismik ve rüzgâr yükleri	22
4.5.2. Fonksiyon değişimi.....	22

4.5.3. İnşaat ve tasarım hataları	22
4.5.4. Onarımlar	22
4.5.5. Patlama etkisini azaltma	23
4.5.6. Korozyon	23
4.6. FRP'nin uygulanması	23
4.6.1. FRP uygulaması için yüzey hazırlığı	23
4.6.2. FRP malzemenin uygulanması	24
4.6.3. Dikkat edilmesi gereken hususlar	25
4.7. ENDÜSTRİYEL BACALAR İÇİN GENEL YAPISAL HASARLAR.....	26
4.7.1. Endüstriyel Bacalar 'da Görülen Çatlaklar	26
4.7.2. Temel Çatlaklar	26
4.7.3. Koronerasyon Çatlaklar	26
4.8. Çatlaklar ve malzeme değişiklikleri nedenleri	26
4.9. Endüstriyel Baca Güçlendirmesi Yapılırken Duvar Malzemesi Değişiklikleri	27
4.9.1. Volümetrik Malzemelerdeki Değişiklik	27
4.9.2. Duvarın Harç Derzlerinin Dağılması	27
4.9.3. Seramik Tuğlaların Yüzeysel Olarak Dökülmesi	28
4.10. Endüstriyel Baca Güçlendirme İşlemleri.....	28
5. MATERYAL, METOD VE UYGULAMA	29
5.1. Materyal.....	29
5.1.1. Beton.....	29
5.1.2. Tek yönlü GFRP	30
5.2. Metot	31
5.3. Uygulama	31
6. GFRP'Lİ VE GFRP'SİZ DURUMDAKİ BACALARIN KARŞILAŞTIRMALARI	35
6.1. Modların Karşılaştırması	35
6.2. Maksimum Gerilme (S_{max}) Karşılaştırılması	43
6.3. Maksimum Moment (M_{max}) Karşılaştırılması	45
6.4. Maksimum Kesme Kuvveti (V_{max}) Karşılaştırılması	47
7. SONUÇ	49
KAYNAKLAR	50
ÖZ GEÇMİŞ.....	53

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

G	Kayma Modülü
U	Poisson oranı
E	Elastisite Modülü
A	Isıl Genleşme Katsayısı
S	Gerilme
V	Kesme Kuvveti
M	Moment

KISALTMALAR

FRP	Fiber Reinforcement Polymer
GFRP	Glass Fiber Reinforcement Polymer
CRFP	Carbon Fiber Reinforcement Polymer
ARFP	Aramid Fiber Reinforcement Polymer
ICOMOS	International Council on Monuments and Sites

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Yatağan Termik Santrali Bacası. Muğla. Türkiye	4
Şekil 3.2. Betonarme baca elemanları	7
Şekil 3.3. Betonarme bacalarda kullanılan bazı temel tipleri	8
Şekil 3.4. Betonarme baca boy kesitleri (Aliyazıcıoğlu, 2004)	9
Şekil 4.1. Güçlendirme liflerinin gerilme-birim şekil değiştirme	12
Şekil 4.2. Cam lifleri örneği	12
Şekil 4.3. Karbon lifleri örneği	13
Şekil 4.4. Aramid lifleri örneği	14
Şekil 4.5. Bazalt lifleri örneği	15
Şekil 4.6. FRP'yi oluşturan bileşenler	17
Şekil 4.7. Lifli polimerler ile alüminyum ve çeliğin yoğunluklarının karşılaştırılması	18
Şekil 4.8. Lifli polimerler ile alüminyum ve çeliğin kesme dayanımlarının karşılaştırılması	18
Şekil 4.9. Yaygın elyaf türleri (karbon, aramid ve cam)	19
Şekil 4.10. FRP'lere ait gerilme - şekil değiştirme grafiği	19
Şekil 4.11. FRP uygulaması öncesi yapılan hazırlıklar	24
Şekil 4.12. FRP uygulaması yapılan bir kolon	25
Şekil 4.13. FRP uygulaması yapılan bir giriş	25
Şekil 5.1. Baca SAP2000 3D modeli	32
Şekil 6.1. GFRP'siz 1. Mod	35
Şekil 6.2. GFRP'li 1. Mod	36
Şekil 6.3. GFRP'siz 2. Mod	37
Şekil 6.4. GFRP'li 2. Mod	37
Şekil 6.5. GFRP'siz 3. Mod	38
Şekil 6.6. GFRP'li 3. Mod	39
Şekil 6.7. GFRP'siz 4. Mod	40
Şekil 6.8. GFRP'li 4. Mod	40
Şekil 6.9. GFRP'siz 5. Mod	41
Şekil 6.10. GFRP'li 5. Mod	42
Şekil 6.11. GFRP'siz S_{max} diyagramı	43
Şekil 6.12. GFRP takviyeli S_{max} diyagramı	44
Şekil 6.13. GFRP'siz M_{max} diyagramı	45
Şekil 6.14. GFRP'li M_{max} diyagramı	46
Şekil 6.15. GFRP'siz V_{max} diyagramı	47
Şekil 6.16. GFRP'li V_{max} diyagramı	48

TABLolar DİZİNİ

Tablo 4.1. Termoset matrislerin genel özellikleri (fib-Bulletin. 2007).....	16
Tablo 4.2. FRP' lerin fiziksel ve mekanik özellikleri	20
Tablo 4.3. FRP.leri oluşturan matrislerin özellikleri.....	20
Tablo 4.4. FRP.lerin ve çeliğin yoğunlukları (kg/m ³).....	20
Tablo 5.1. Taş Duvar ve GFRP Tabakalarının Kalınlıkları	32
Tablo 5.2. GFRP Uygulanmadan Önceki Periyot ve Frekans Değerleri	33
Tablo 5.3. GFRP Uygulanmasından Sonraki Periyot ve Frekans Değerleri.....	34
Tablo 6.1. Mod 1.nin karşılaştırılması	36
Tablo 6.2. Mod 2.nin karşılaştırılması	38
Tablo 6.3. Mod 3.nin karşılaştırılması	39
Tablo 6.4. Mod 4.nin karşılaştırılması	41
Tablo 6.5. Mod 5.nin karşılaştırılması	42
Tablo 6.6. S _{max} Değerlerinin karşılaştırılması.....	44
Tablo 6.7. Max ve Min Moment karşılaştırması	46
Tablo 6.8. V _{max} alt ve Üst Değerlerinin karşılaştırması.....	48

1. GİRİŞ

Endüstriyel bacalar, gazların atmosfere salınabilmesi için yardım eden uzun ve ince yapılardır. Genellikle gaz yığınları olarak adlandırılıp buhar üreten bir kazanın yanında bulunurlar ve gazlar kanallar vasıtasıyla bacaya aktarılır. Betonarme (RC) bacalar genellikle yerçekimi, rüzgâr, sıcaklık ve deprem yüklerine dayanacak şekilde tasarlanmaktadır.

Sanayi yapılarındaki bacalar da ise atmosfere bırakılacak duman ya da gaz miktarının çok fazla oluşu ve hava kirliliğinin kontrol edilerek belli değerler içerisinde tutulması zorunluluğu yüksek düzey atık gaz kanallarının diğer bir deyişle sanayi bacalarının yapımını gerekli kılmıştır.

Baca boyutları ve konstrüksiyonu sanayi tesisinin teknolojik parametrelerine bağlıdır. Baca yüksekliği bacanın çekimiyle çok yakından ilişkilidir. Bunun yanı sıra çevredeki arazinin topografyası rüzgâr akımları ve hâkim rüzgâr yönü bacanın inşa yerini ve yüksekliğini etkiler. Baca tepesindeki çap, atık gaz çıkış hızına, temel en kesitindeki çap ise atılacak gaz miktarı ve daha çok bacayı etkileyen statik ve dinamik etkilere bağlıdır.

FRP malzemelerin kimyasal etkenlere karşı dayanıklılığı dayanımı yüksek genişleme katsayısı düşük korozyona karşı dayanıklılığı esnekliği yüksek ve hafif malzeme olduğu için taşıma ve uygulama esnasında çok fazla çaba ve zamana ihtiyaç gerektirmeyen bir malzeme olması nedeniyle son yıllarda güçlendirme alanında elverişli bir malzeme olmuştur. Güçlendirmede FRP kullanılması ile ilgili çalışmalar detaylı olarak bir sonraki bölümde anlatılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Valluzzi vd (2001) çalışmalarında. Farklı yöntemlerle tonozların FRP ile güçlendirilmesi yapıldı ve ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak göçme mekanizmaları ve elde edilen veriler için yeni modelleme yöntemleri gösterilmiştir.

Foraboschi (2004) çalışmasında. dış ve iç tarafları FRP ile onarılmış tonoz ve kemerlerin mafsal mekanizması göçme oluşmayacak biçimde tasarlanmış ve incelenmesini yapılmıştır. Ayrıca FRP kopması, sıyrılma, kayma ve ezilme gibi farklı davranış şekilleri için modeller sunulmuştur. Bu modellerin göçme modlarının taşıyabileceği maksimum yük kapasitelerini gösterilmiştir.

Kasimzade ve Tuhta (2005) çalışmalarında. CFRP ile Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Sonlu Elemanlar Metodu ile Analitik ve Deneysel Olarak İncelenmiştir.

Kasimzade ve Tuhta (2005) çalışmalarında. Kompozit Sargılar ile Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların Performanslarını İncelenmiştir.

Shrive (2006) çalışmasında. Deprem etkisine maruz kalmış olan kemerlerin dayanımını arttırmak amacıyla FRP'nin nasıl kullanılacağına dair çalışmalar yapılmıştır.

Baratta ve Corbi (2007) çalışmalarında. FRP ile güçlendirilmesini yapılmış ve yapılmamış kemerlerin arasındaki farkları kontrol ederek kemerlerin statik açısından karşılaştırmaları yapılmıştır.

Elmalich ve Rabinovitch (2009) çalışmalarında. Kompozit malzemeler ile güçlendirme işlemi yapılmış olan kemerlerin analizini sonlu elemanlar yöntemiyle yapılmıştır.

Oliveira vd (2010) çalışmalarında. deneysel olarak GFRP ile güçlendirilmiş tuğla kemerlerinin davranışlarını incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına dayanarak ilgili yönetmelik ve standartların geliştirilmesinin, analitik çözümlerin ve sayısal modellerin doğrulanması açısından faydalar sağlanacaktır.

Altunışık (2011) çalışmasında. FRP ile güçlendirilmiş taş minarelerin güçlendirme işleminden önce ve sonraki durumlarının dinamik etkilerini karşılaştırmıştır. Çalışmanın modeli olarak Trabzon'da bulunan tarihi bir caminin minaresini seçilmiştir. FRP ile güçlendirmesi yapılan minarenin dinamik etkileri üzerinde önemli ölçüde etkilendiğini, çalışmanın bir sonucu olarak gösterilmiştir.

Kasimzade ve Tuhta (2012) alışmalarında CFPR ile güçlendirilmiş betonarme kirişin taşıyabileceği yük ve momentin uygulanmış CFRP tabaka sayısına bağlı yüzde 70-120 kadar artışı grlmştir.

Kasimzade ve Tuhta (2017) alışmalarında. GFRP ile Güçlendirilmiş yapıların periyodu ve rijitliğini değerlendirmek amacıyla OMA'nın kullanılabilceğini gösterilmiştir.

Tuhta (2018) alışmasında. Betonarme binanın döşemelerinin GFRP ile güçlendirilmesiyle binanın rijitliğinde artış grlmştir.

Tuhta (2020) alışmasında. Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak CFRP Betonarme Bacanın Modal Parametrelere Etkisi.

Tuhta (2020) alışmasında. Model elik Bacanın Bulanık Mantıkla Sistem Tanımı.

3. BETONARME BACALAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

3.1. Tarihçe

Bacalar duman ve gazların atmosfere taşınmasına yarayan yapı elemanlarıdır duman miktarının az olduğu durumlarda örneğin konutlarda bu işlem tuğla duvarlar içinde teşkil edilmiş kanallar vasıtasıyla yapılır ve bu kanallar genellikle binanın çatısından yaklaşık olarak 50 ila 150 cm yükselirler. Sanayi yapılarında ise atmosfere atılacak duman veya gaz kısaca atık gaz miktarının çok fazla oluşu ve hava kirliliğinin kontrol edilerek belirli değerlerin altında tutulması zorunluluğu yüksek düzey atık gaz kanallarının yani sanayi bacalarının yapımını gerektirmiştir. Şekil 3.1’de faaliyette bulunan bir sanayi bacası gösterilmektedir. Burada “baca” deyiminden büyük sanayi tesislerinde inşa edilen ve bütünüyle tepeden temele kadar yükleri üzerinde taşıyan yapı anlaşılacaktır. (Aydoğan, 1988).



Şekil 3.1. Yatağan Termik Santrali Bacası. Muğla. Türkiye

İnsanoğlu ve doğa arasındaki etkileşim yeni teknolojilerin gelişmesine neden olmuştur. Teknolojik gelişmeler de gelişmekte olan ülkelere büyük bir fayda sağlamıştır. Bu gelişimin sonucunda sanayi alanında meydana gelen gelişmelere paralel olarak çok sayıda yüksek ve narin betonarme baca inşa edilmiştir (Ali Yazıcıoğlu, 2004).

On dokuzuncu yüzyılda ve yirminci yüzyılın başlangıcında birçok fabrika ve güç istasyonu bacaları kargırdı. Kargır bağlantıların çekmeye karşı bilinen zayıflığıyla bu yapılar rüzgârın devirici etkisine direnebilmek için kendi ağırlıklarından kaynaklanan ölü yüklerinden yararlandılar (Holmes, 2007).

Son 30 yılda sanayinin hızlı gelişimi ile hava kirliliği problemi güncel hale gelmiştir. Dolayısıyla daha yüksek bacaların inşası atık gazların atmosferde daha yükseklere bırakılması için gerekmiş yüksekliğin artışı ile birlikte rüzgâr ve deprem etkileri de boyutlandırmada ön plana çıkmıştır. Sanayinin gelişimine paralel olarak hesaplama araçlarının ve bilgisayarların hızlı gelişimi daha yüksek bacaların daha gerçekçi yöntemlerle boyutlandırılması olanağını vermiştir (Aydoğan, 1988).

Betonarme bacalar yerinde dökme ve hazır olarak inşa edilebilmektedir Kesitleri yükseklikleri boyunca sabit ya da değişken olmaktadır. İlk bacalardaki şiddetli patlamalar üst kısımlarda kaplama olmaması ve ısıl gerilmelere karşı yetersiz donatılmış olmasından dolayı hasarlar meydana getirmiştir. İlk yerinde dökme beton bacalar. 1920'li yıllardan sonra tek olarak koni şeklinde yükselen baca gövdeleri şeklinde olmuş olup çap ve gövde kalınlıklarının baca boyunca doğrusal olarak değişmesi kesitlerde beton ve kaplamada doğrudan bir tasarruf sağlamıştır. Hazır betonarme bacalarda ısıl gerilmelerden dolayı çatlak oluşma eğilimi yerinde dökme bacaların bu eğilimine özdeştir. Günümüzde hazır betonarme bacalar daha yaygın olarak inşa edilmekte fakat taşınma problemlerinden dolayı baca yapımı için daha az tercih edilmektedirler. 1950'lerin sonlarına doğru işçi ücretlerinin artışı ile çelik baca imalatı daha ekonomik hale gelmiştir. İlerleyen yıllarda hava kirliliğinin artması yüksek bacaların yapımı için gerek olmuş ve betonarme bacaların yapımı hız kazanmıştır. Sanayi bacaları içinde en yüksek bacalardan biri. Uluslararası Kanada Nikel İşletmeleri; Sudbury. Ontario. Kanada'daki. 381 m. yüksekliğinde inşa edilen bacadır (Aliyazıcıoğlu, 2004)

3.2. Betonarme Baca Kısımları

Bir baca yapısı ana yapı elemanları olarak gövde ve temelden oluşur. Baca gövdesinde dıştan içe aşağıdaki elemanlar ile karşılaşılır:

- a. Asıl taşıyıcı olan betonarme kabuk.
- b. Yalıtım veya yalıtımla birlikte hava boşluğu.
- c. Kaplama

Buna ilaveten kaplama ve yalıtımı taşımak üzere baca gövdesinde yaklaşık 7.5 'de bir çıkan halka şeklinde konsollar teşkil edilmektedir. Gövdenin üzerinde bakım için gerekli olan çelik merdivenler ve paratoner gibi baca donanımları yer almaktadır.

Bacanın görevini sağlıklı bir şekilde yerine getirebilmesi için boşluklar bulunması gerekir. Genellikle bacanın alt kısmında sanayi tesisinden çıkan atık gazın girdiği "giriş ağzı" için boşluklar bırakılır (Aydoğan, 1988)

3.2.1. Baca Gövdesi

Betonarme gövde silindirik ya da kesik konik bir kabuk olup kalınlığı sabit veya temelden yukarıya doğru gittikçe azalmaktadır. Baca gövdesi atık gaz çıkış ağzında tepe çemberi ile takviye edilir. Bu çember atık gaz çıkış ağzını burkulmadan korur (Aydoğan, 1988)

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI)' ye göre baca cidarı; bacanın ağırlığı, sıcaklığın yatay ve düşey etkisi ve rüzgâr ya da deprem etkilerinden büyüğüne göre projelendirilmelidir. (Rumman, 1974)

İç çapı 6.10 m veya daha az olan bacalarda minimum cidar kalınlığı 18 cm olmalıdır. Eğer iç çap 6.10 m'den daha büyük olursa her 61 cm.lik artış için cidar kalınlığı 0.635 cm artırılmalıdır. (Guerrin, 1969)

3.2.2. Baca Kaplamaları

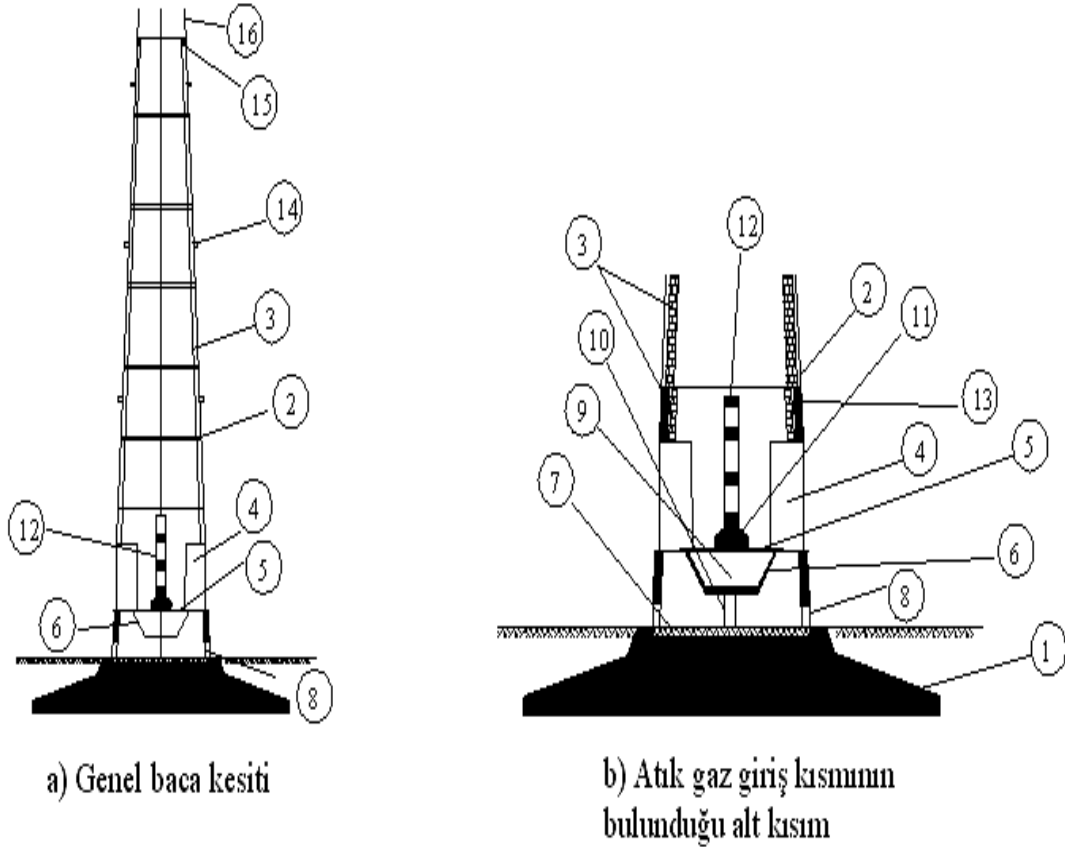
Baca gövdesi yüksek sıcaklık ve atık gazların zararlı etkilerine karşı içten korunmalıdır. Bu korumayı kaplamalar sağlamaktadır. Baca gövdesi ilk uygulamalarda kaplamasız olarak yapılmaktaydı. Günümüzde ise pek çok ülkede betonarme bacalar en az 11 cm kalınlığında tuğlalarla kaplanmaktadır. Betonu ısı korunmasını daha da iyileştirmek için beton ile tuğla arasında birkaç cm hava boşluğu bırakılmalıdır. (Rumman, 1974)

Asit ihtiva eden atık gazların tuğla sıvaları arasından geçerek nispeten soğuk

olan beton üzerinde yoğunlaşması sonucu betonda zararlı asidik etkiler oluşabilmektedir. Bu gibi durumlarda gövdeden bağımsız çelik kaplamalar kullanılarak daha iyi sonuçlar alınabilmektedir. Aşağıda genel baca elemanları Şekil 3.2’de verilmektedir.

Burada;

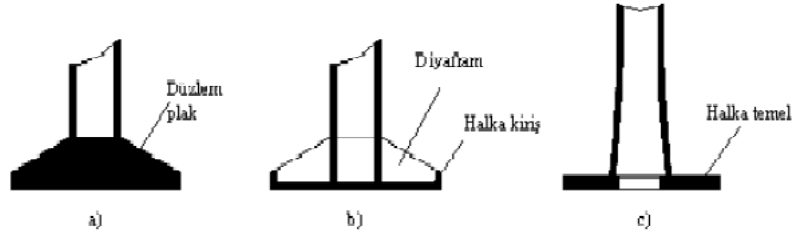
- | | |
|-----------------------------|------------------------------------|
| 1) Betonarme temel | 10) Huni eğimli döşemesi |
| 2) Betonarme gövde | 11) Kaplamalı perde duvar |
| 3) Tuğla kaplama | 12) Ateş tuğlasından ayırma duvarı |
| 4) Atık gaz giriş ağızları | 13) Baca gövdesi rijitlik halkası |
| 5) Betonarme döşeme | 14) Kontrol ve dinlenme sahanlığı |
| 6) Kül Hunisi | 15) Atık gaz çıkış ağızları |
| 7) Kum dolgu | 16) Paratoner |
| 8) Kül atma boşluğu | |
| 9) Kül hunisi boşaltma yeri | |



Şekil 3.2. Betonarme baca elemanları

3.2.3. Baca Temelleri

Betonarme baca temelleri diğer yapı temellerinden çok da farklı bir özellik göstermez. Betonarme bacaların temeli çok fazla sıcaklığa maruz kalabileceğinden sıcaklık etkilerinden korunması gerekmektedir. Bacalar için şekil 3.3.'de gösterilen temel tipleri kullanılmakla beraber dairesel plak halka ve kazıklı temeller daha sık kullanılmaktadır. Zemin gerilmesinin 1.2 kgf/cm^2 den yüksek olması durumunda yüzeysel temeller kullanılmakla beraber daha düşük olması durumunda ise kazıklı temel inşasına gidilebilmektedir.(Aydoğan, 1988)



Şekil 3.3. Betonarme bacalarda kullanılan bazı temel tipleri

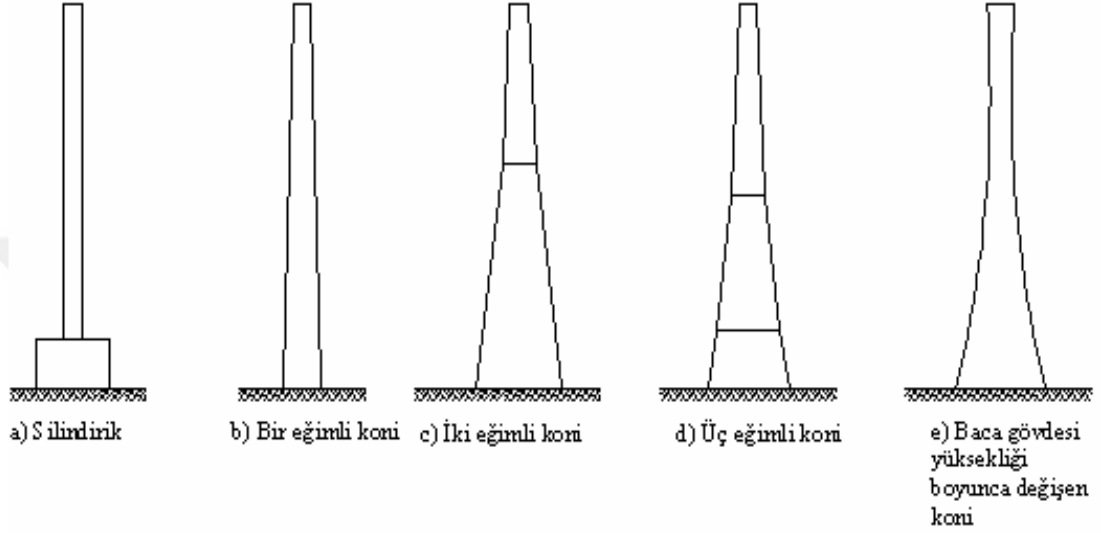
3.3. Betonarme Başlıca Baca Tipleri

İki eğimli bacalar temelde büyük bir çıkma sağladıklarından ekonomik olurlar. Buna karşılık kayar kalıp inşaatına olanak veren düşey cidarlı bacalara göre inşaat hızları daha düşüktür. İki ya da daha fazla eğimli bacalar ise tırmanan kalıpla inşa edilirler. 200 m yüksekliğe kadar olan bacaların tırmanan kalıpla yapılması daha uygun olmaktadır. 200 m'den daha yüksek bacaların ise kayar kalıp tekniği ile inşa edilmeleri yapım aşamasını kolaylaştırmaktadır. (Guerrin. 1969)

Betonarme bacalar kullanılan yalıtım kaplama ve mesnetleme yöntemine göre 4'e ayrılabilir. Bunlar

- İzolasyonlu. beton duvarlı betonarme bacalar.
- Ana gövdesi gaz kanallarından bağımsız olarak inşa edilen betonarme bacalar
- Ana gövdeden destek alarak inşa edilen betonarme bacalar.
- Önceden hazırlanmış, yalıtımlı, ateşe dayanıklı beton kaplamalı. hazır beton gövdeli betonarme bacalardır

Baca gövdesi düşey silindir ya da bir, iki veya üç eğimli kesik koni şeklinde olabilir (Şekil 3.4.a.b.c.d). Betonarme bacalar tepeden tabana kadar sürekli değişen bir eğimle inşa edilebilirler (Şekil 3.4.e). Bu tip bacalara eşit dayanımlı bacalarda denilebilir (İpekçi, 1987)



Şekil 3.4. Betonarme baca boy kesitleri (Aliyazıcıoğlu, 2004)

3.4. Bacalarda Çekimin Sağlanması

Baca verilen boyutları ile doğal olarak ya da ek düzenekler ile yapay olarak çeker. Doğal çekim baca girişindeki atık gaz basıncı ile dışarıdaki hava basıncı arasındaki farktan oluşur. Baca yüksekliği bu fark ile doğru orantılıdır. Bacada geçen atık gaz miktarı Q , baca en kesit alanı A ve atık gaz geçiş hızı V arasına $Q=A.V$ bağıntısı vardır. Uygun bir atık gaz geçiş hızı ile gerekli baca en kesit alanı bulunabilir (Aydoğan, 1988)

Yapay Çekim büyük sanayi yapılarında doğal çekim özellikle atık gazın sıcaklığı düşük olduğunda ya çok büyük baca en kesiti ya da büyük baca yüksekliği gerektirir. Bu gibi durumlarda bacada yapay çekim oluşturacak diğer bir deyişle atık gazı dışarı doğru itecek bir düzenek bacaya yerleştirilir. Böyle bir düzenek baca yüksekliğini çekimden bağımsız kılmak ve atık gazın çıkış hızını düzenlemek için genellikle çoğu bacalara konur (Aydoğan, 1988)

3.5. Baca Etkileri

Betonarme bacaların projelendirilmesinde göz önüne alınması gereken etkiler şunlardır:

- 1) Kalıcı yük etkileri
- 2) Rüzgâr etkileri
- 3) Deprem etkileri
- 4) Sıcaklık farkından oluşan etkiler

Bunlarla birlikte yerel eğilmeler temel dönmesi ve dolayısıyla 2. mertebe etkileri bacanın düzeylikten sapması ve burkulma da diğer önemli etkilerdir.



4. FRP' NİN TANIMI

FRP kompozitler inşaat sektöründe tasarım kolaylığı farklı fiziksel değerler için farklı kompozit malzeme kullanma imkânı uygulama ve kullanma kolaylığı gibi olanaklar sağlamaktadır. Uygulandıkları yapıda ve yapı elemanında ise yük taşıma kapasitesini artırma durabiliteyi geliştirme dinamik yüklerden gelen yorulma direncini güçlendirme gibi olanaklar sağlamaktadır (Buyukozturk, 1998)

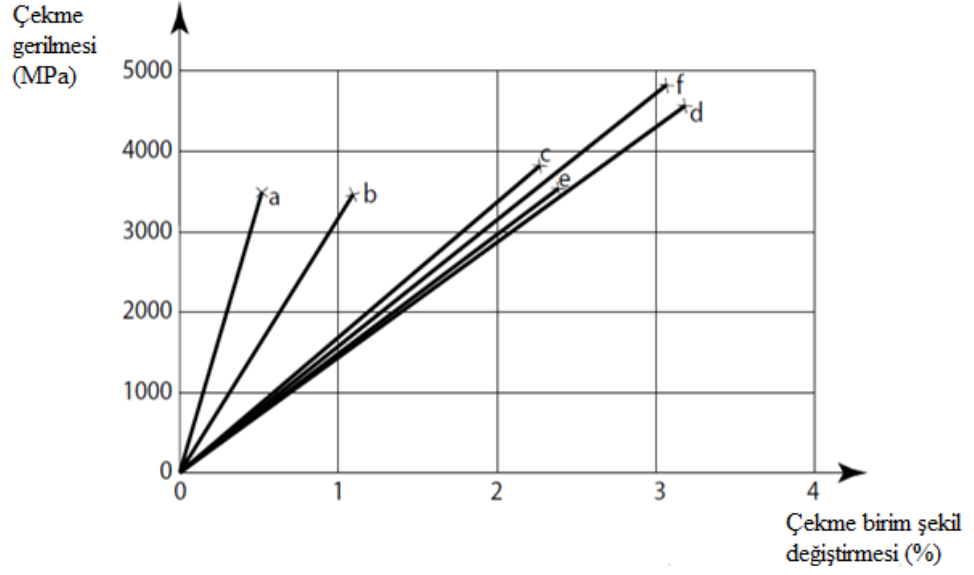
Hafif ve esnek bir malzeme olmasından dolayı yapıda ölü yük artışına neden olmaz. 1990'ların başından itibaren ABD, Kanada, Suudi Arabistan'ı kapsayan bir çok ülkeden araştırmacı bu alandaki çalışmalarını bir araya getirdiler ve kompozitler ile yeniden donatımın değişik analiz tasarımı uygulama ve dayanıklılık özelliklerini incelediler. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen cesaret verici sonuçlar saha uygulamalarının önünü açtı (Buyukozturk, 1998)

Malzemeyi oluşturan bileşenler ve özellikleri;

4.1. Lifler: Güçlendirmede kullanılacak olan

FRP kompozitler inşaat sektöründe tasarım kolaylığı farklı fiziksel değerler için farklı kompozit malzeme kullanma imkânı uygulama ve kullanma kolaylığı gibi olanaklar sağlamaktadır. Uygulandıkları yapıda ve yapı elemanında ise yük taşıma kapasitesini artırma durabiliteyi geliştirme dinamik yüklerden gelen yorulma direncini güçlendirme gibi olanaklar sağlamaktadır (Gökçen, 2019)

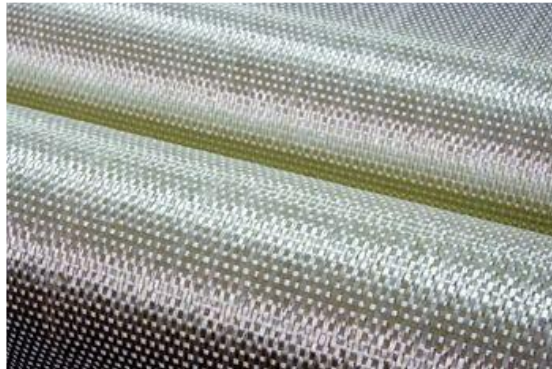
FRP malzemelerinde esas yük taşıyıcı bileşen liflerdir. Lifler polimerik kompozitlerde kullanılır çünkü dayanıklı rijit ve hafiftirler. En çok kullanılan lif çeşitleri cam, karbon ve aramid esaslı olanlardır. Son zamanlarda bazalt lifleri de ticari olarak temin edilebilmektedir. Bütün bu lifler herhangi bir akma göstermeden çekme yüklemesi altında kırılana kadar doğrusal elastik davranış sergilemektedir. Kullanım ve çevre koşullarına göre en uygun lif seçilebilmektedir. Karbon ve aramid lifleri ana yönlerde farklı mekanik ve termal özellik değerlerine sahip yani anizotropik iken cam lifleri ve bazalt lifleri izotropiktirler.



Şekil 4.1. Güçlendirme liflerinin gerilme-birim şekil değiştirme Grafiği a) karbon (yüksek modüllü); b) karbon (yüksek dayanımlı); c) aramid (Kevlar 49); d) s-cam; e) e-cam; f) basalt

4.1.1. Cam Lifleri

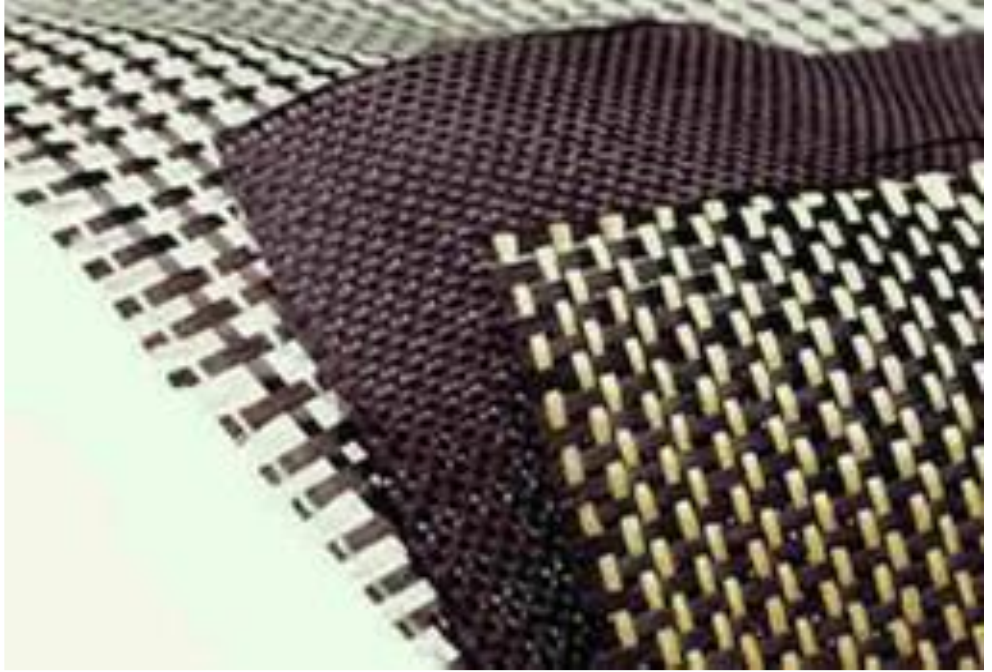
Cam lifler. matris yapıdaki kompozitler için en yaygın kullanılan takviye lifleridir. Üretim sırasında cam lifin bağlayıcı bir madde ile kaplanması ara bağlantıda esnek bir tabaka sağlar bağın mukavemetini artırır ve malzemedeki boşlukların sayısını azaltır. En yaygın cam fiberler. E-cam. S-cam ve alkaliye dirençli camdan yapılan türlerdir. E-cam tüm cam türleri içerisinde en ekonomik olanıdır ve fiberle güçlendirilmiş plastik endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. S-cam. E-camdan daha yüksek çekme dayanımına ve elastisite modülüne sahiptir. Ancak. S-camın maliyetinin yüksek olması. onun E-camdan daha yaygın kullanılmasını önlemiştir (Gökçen, 2019)



Şekil 4.2. Cam lifleri örneği

4.1.2. Karbon lifleri

Karbon ve grafit lifler birbirinin yerine kullanılır. Ancak bu ikisi arasında modüler yapı söz konusu olduğunda bazı önemli farklılıklar vardır. Karbon fiberlerin çoğu poliakrilonitrilin ayrışmasıyla üretilmektedir. Karbon atomları, Grafit oluşturmak için normal altıgenlerin kristal grafik paralel düzlemlerinde düzenlenirken. Karbonda tabakalar arasındaki bağlar zayıftır. Böylece iki boyutlu bir düzen vardır. Bu tip lifler için üretim prosesi 200-300°C'de oksidasyon 1000-1500 ve 1500-2000'de farklı karbonizasyon aşamaları ve son olarak 2500-3000'de grafitizasyondan oluşmaktadır. Grafit karbondan daha yüksek elastisite modülüne sahiptir. Bu lifler yüksek özgül mukavemet ve sertlik sergiler. Genel olarak elastik modülün artmasıyla gerilme mukavemeti ve kopma uzaması azalır. Sıcaklık arttıkça. Karbon fiberlerin çekme dayanımları ve elastisite modülü sabit kalmaktadır. Ayrıca zorlu çevresel faktörlere karşı oldukça dayanıklıdırlar. Karbon fiberler kırılmaya kadar elastik davranış sergilerler ve gevrek bir şekilde kırılırlar. En büyük dezavantajları yüksek maliyetli olmalarıdır. E-camdan 10-30 kat daha pahalıdırlar. Bu elyafların yüksek maliyeti yüksek hammadde fiyatları ve uzun karbonizasyon süreci ve grafitizasyondan kaynaklanmaktadır (Gökçen, 2019)



Şekil 4.3. Karbon lifleri örneği

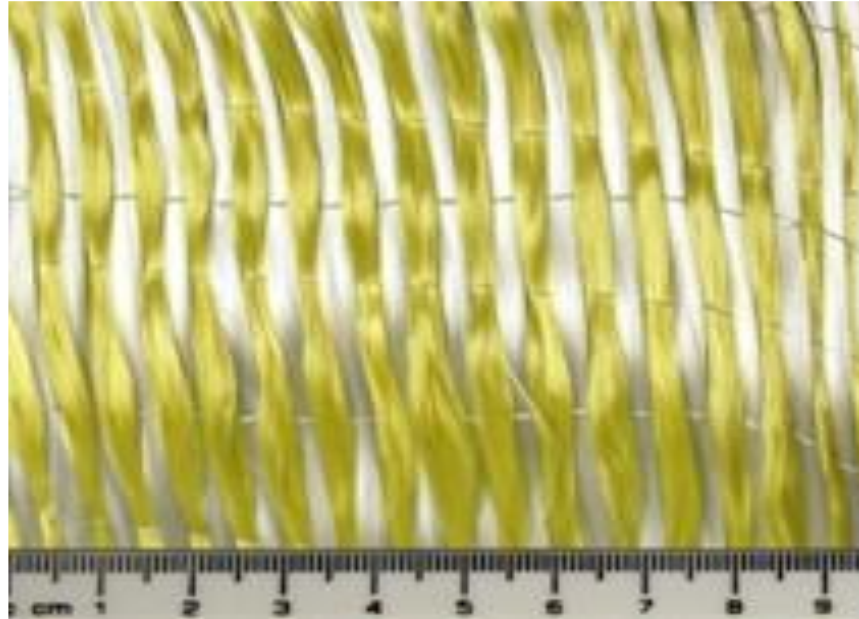
4.1.3. Aramid Lifleri

Aramid, mevcut takviye lifleri arasında en düşük özgül ağırlığa ve en yüksek özgül dayanıma (dayanım/özgül ağırlık) sahiptir. Günümüzde kullanılmakta olan aramid lifi çeşitleri şunlardır:

- Kevlar 29 (Maksimum etki ve hasar toleransı olan kompozitler için)
- Kevlar 49 (Genel olarak güçlendirme plastiklerinde)
- Kevlar 149 (Mevcut tüm aramid lifleri arasında en yüksek çekme modülüne sahip olan)

Kevlar liflerinin basınç dayanımı, çekme dayanımının %20'sinden daha azdır. Kevlar 49 çekmede gevrek bir davranışa sahiptir, ancak basınç yükü altında sünek ve büyük miktarda enerji emmektedir. Düşük sünme özelliğine sahiptir.

Yüksek sıcaklıklara karşı direnci diğer liflerden daha fazladır. Sıcaklık arttıkça çekme dayanımı ve modülü lineer olarak azalmaktadır. Bununla birlikte 180 derecede orijinal dayanımlarının %80'inden fazlasını korumaktadırlar. Kevlar liflerinin su emme özellikleri bulunmaktadır. Su emme miktarı, lif çeşidine göre farklılık göstermektedir. UV ışınlarına duyarlıdır. Pek çok kimyasal maddeye karşı dirençlidir. Köprü kolonlarının güçlendirilmesinde ve yapıların patlamaya karşı korunmasında kullanılmaktadır.



Şekil 4.4. Aramid lifleri örneği

4.1.4. Bazalt lifleri

Bazalt lifleri, cam liflere göre daha iyi fizik mekanik özelliklere sahip olan ezilmiş volkanik lav kalıntılarının eritilmesiyle elde edilen tek bileşenli malzemelerdir, ancak karbon liflerden önemli ölçüde daha ucuzdur. Başlıca avantajları ise yangına karşı dayanıklılık, titreşim ve ses yalıtımı, kimyasal maddelere karşı dayanıklılık olarak sıralanabilmektedir (Şengün, 2010)



Şekil 4.5. Bazalt lifleri örneği

4.2. Matris

Liflerin etrafını saran ve lifleri bir arada tutan malzemedir. Matris materyalleri genellikle bir polimerik kompozitin hacim olarak %30-60'ını oluşturmaktadır. Bir matrisin işlevleri, güçlendirici lifleri birbirine bağlamak, yükü liflere aktarmak ve dağıtmak, lifleri çevresel etkenlerden ve mekanik aşınmadan korumaktır. Bu nedenle, bir kompozit sistem tasarlanırken matris seçimi büyük önem taşımaktadır çünkü matris, nihai ürünün hem mekanik hem de fiziksel özelliklerini etkilemektedir. FRP kompozitlerinde kullanılan polimerik matrisler 2 sınıfa ayrılabilir: Termoset reçineler ve termoplastik. En yaygın kullanılan matrisler epoksi, polyester, vinilestlerdir (Gökçen, 2019)

Tablo 4.1. Termoset matrislerin genel özellikleri (fib-Bulletin. 2007).

Özellikler	Polyester	Epoksi	Vinil ester
Yoğunluk (kg/m ³)	1200-1400	1200-1400	1150-1350
Çekme dayanımı (MPa)	34.5-104	55-130	73-81
Boyuna modül	2.1-3.45	2.75-4.10	3.0-3.5
Poisson oranı	0.35-0.39	0.38-0.40	0.36-0.39
Termal genişleme katsayısı (106/°C)	55-100	45-65	50-75
Nem içeriği (%)	0.15-0.60	0.08-0.15	0.14-0.30

Lif ilave edilmeden önce, polimerizasyonun başlatılması için sıvı reçineye az miktarda reaktif sertleştirici madde eklenmektedir. Böylelikle çapraz bağlantılar oluşmakta ve epoksi sıvı reçine katı maddelere dönüşmektedir. Epoksi reçinelerinin avantajları arasında yüksek mekanik özellikler, kolay işlem yapılabilmesi, pek çok lif çeşidiyle güçlü bağ kurabilmesi sayılabilir. Korozyona karşı yüksek bir dirence sahiptir ve su ile sıcaklık gibi çevresel faktörlerden diğer matrislere göre daha az etkilenmektedir. Bu reçinelerin sertleştirilmesi 5C ila 150C arasında değişen sıcaklıklarda elde edilebilmektedir. Epoksinin dezavantajları ise oldukça yüksek maliyete sahip olması ve kürün uzun süreli olmasıdır. Epoksiler, genellikle polyester ve vinilestlerden daha pahalıdır Polyester reçineler iyi UV direncine sahip olacak şekilde ve dış mekân uygulamalarında kullanılmak üzere formülize edilmektedir. Polyester reçineler korozyon direncine ihtiyaç duyan uygulamalarda

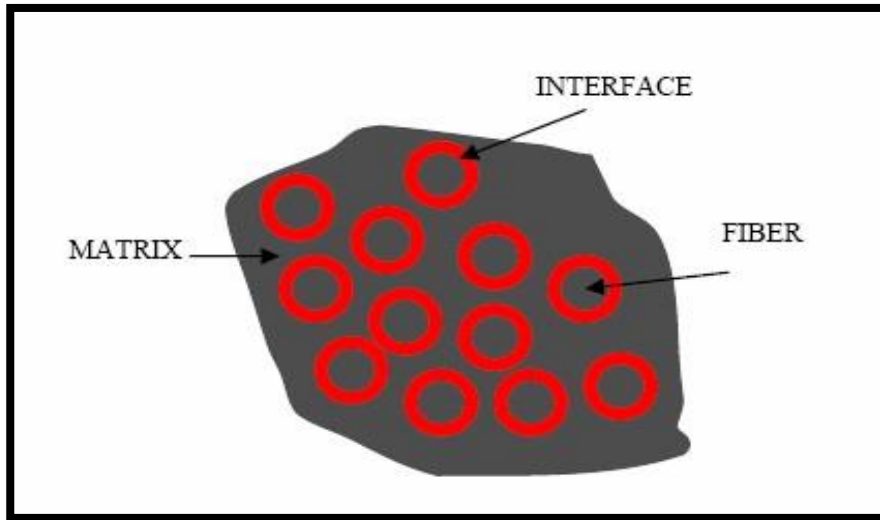
kullanılmaktadır. Polyester reçinenin en önemli dezavantajı yüksek hacimsel büzülmeye sahip olmasıdır. Bu hacimsel büzülme, bir termoplastik bileşen ekleyerek azaltılabilmektedir.

Vinilesterler, metakrilat ve akrilat bazlı reçinelerdir. Polyesterden daha esnek bir yapıya ve daha yüksek kırılma tokluğuna sahiptirler. Ayrıca cam lif ile güçlendirildiğinde iyi yapışma özelliğine sahip olmaktadır. Epoksi reçineleri ile karşılaştırıldığında orta derecede dayanıma sahiptirler. Hacimsel büzülmesi epoksiden daha fazladır. Vinilester reçineleri asitlere, alkalilere, solventlere ve peroksidlere karşı oldukça dayanıklıdır.

4.3. Kompozit

Matris ve liflerin bir araya gelmesiyle kompozit malzeme oluşur. Lifler devamlı veya kesikli olabilir. Sürekli lifler tek yöne yönlendikleri gibi iki dik yönde de bulunabilirler. Süreksiz liflerde yönlenme düzlemde rastgele olabilir. Bazı Kompozit malzemelerinde tüm lifler en temel eksene paralel olacak biçimde yönlenmiştir, bu kompozitlerin bu yöndeki verimlilikleri maksimum değerlerdir.

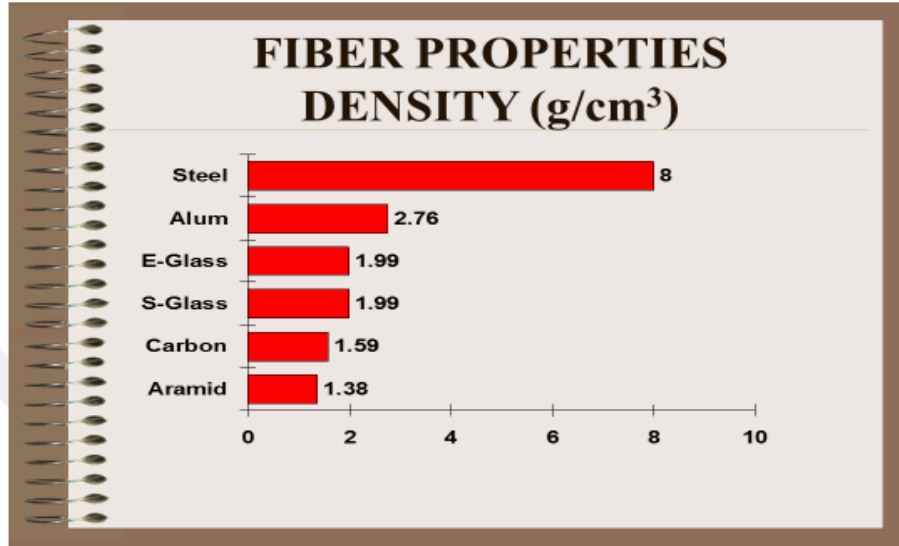
Ancak liflere dik doğrultuda yalnızca matris çalışmaktadır; bu sebeple mekanik özellikler önemli ölçüde düşer. Bazı kompozitlerde ise birbirine dik iki yönde ($0^{\circ}/90^{\circ}$) lifler bulunabilir (Aytaç, 2011)



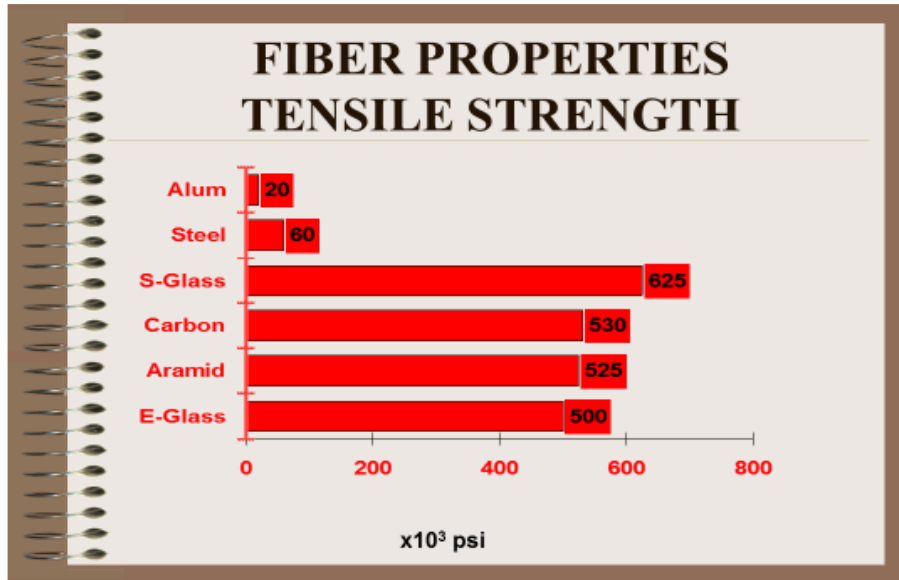
Şekil 4.6. FRP'yi oluşturan bileşenler

Özetle; matris fazı içine konan fiberler mükemmel bir mikro yapıya sahip yük taşıyabilen elemanlardır. Bu fiberler çeşitli maddelerden üretilirler. Yüksek

sıcaklıklarda üretilen cam, karbon ve aramid benzeri malzemeler endüstride çeşitli işlemlerden geçirilerek lif haline getirilir. Bunlar mikron kalınlıkta liflerdir. Çekme dayanımları bir hayli yüksektir. Bu lifler reçinelerle, katkı maddeleri yardımı ile iyi aderans sağlarlar. Bu üç malzeme yanında çelik ve alüminyumun yoğunlukları ve çekme mukavemetleri Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’te karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.7. Lifli polimerler ile alüminyum ve çeliğin yoğunluklarının karşılaştırılması



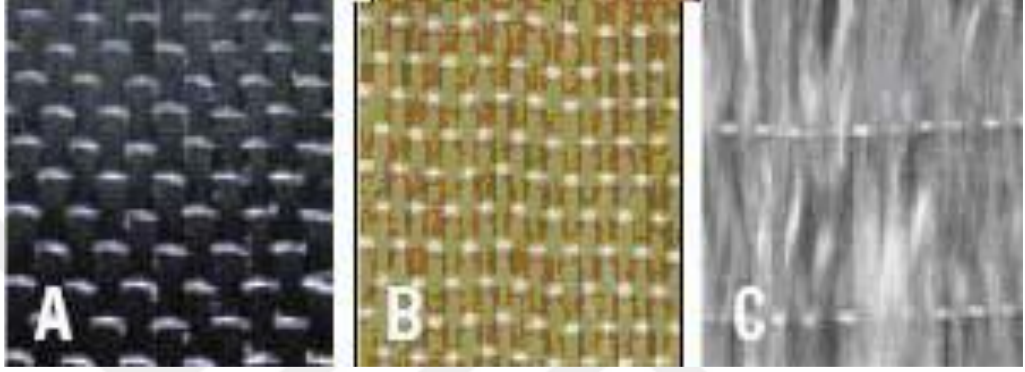
Şekil 4.8. Lifli polimerler ile alüminyum ve çeliğin kesme dayanımlarının karşılaştırılması

Bu elyaflar arasında en çok karbon, cam ve aramid fiberler kullanılıyor. Yapı alanında da bu durum geçerlidir. Bu üç elyaf türü de kuvvetli, sert ve devamlı

biçimde üretilebilmektedirler (Ersoy, 2001)

Fiber kompozitlerin çalışmasını etkileyen ana faktörler şunlardır;

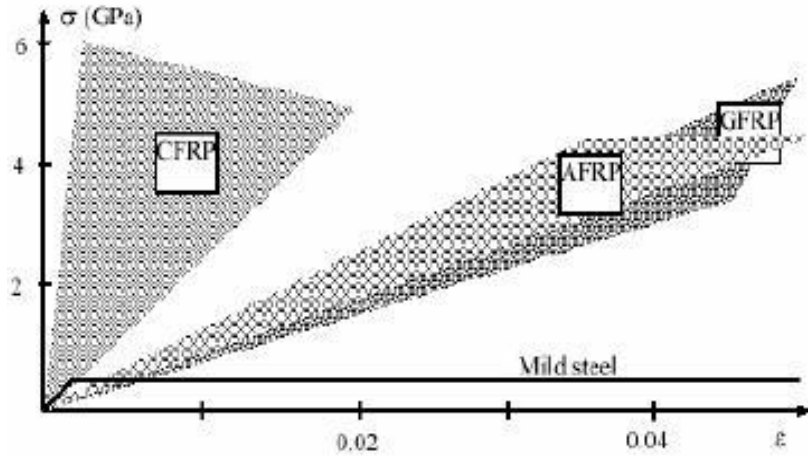
- Fiber Doğrultusu
- Uzunluk
- Fiberlerin mekanik ve fiziksel özellikleri
- Reçinelerin mekanik özellikleri
- Reçineler ve fiber arasındaki aderans ve yapışma kuvveti (Çelik, 2001)



Şekil 4.9. Yaygın elyaf türleri (karbon, aramid ve cam)

4.4. FRP çeşitleri ve genel özellikleri

Daha önce anlatılmış olduğu gibi yapıda en çok kullanılacak olan FRP çeşitleri; karbon fiber, aramid fiber, glass (cam) fiber adı ile 3 başlık altında toplanabilmektedir. FRP'lere ait gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.10.'da verilmiştir.



Şekil 4.10. FRP'lere ait gerilme - şekil değiştirme grafiği

FRP' lerin fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 4.2.'de. verilmektedir (ACI Committee 2001).

Tablo 4.2. FRP' lerin fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiber Tipi	Elastisite Modülü GPA	Sınır Gerilme MPa	Uzama Miktarı (%)
Karbon			
Genel Amaçlı Yüksek Dayanımlı Aşırı Yüksek Dayanımlı Yüksek Modül Aşırı Yüksek Modül	220-240	2050-3790	1.2
	220-240	3790-4820	1.4
	220-240	4820-6200	1.5
	340-520	1720-3100	0.5
	520-690	1380-2400	0.2
Glass			
E-glass S-glass	69-72	1860-2680	4.5-5.4
	86-90	3440-4140	
Aramid			
Genel Amaçlı Yüksek Performans	69-83	3440-4140	2.5
	110-124	3440-4140	1.6

FRP Matrislerinin tipleri ve özellikleri Çizelge 4.3.'de görülmektedir.

Tablo 4.3. FRP.leri oluşturan matrislerin özellikleri

	Matris Tipleri			
	Polyester	Fenolik	Vinylester	Epoksi
Yoğunluk (kg/m ³)	1200	1200	1150	1100-1400
Çekme Dayanımı (MPa)	50-60	50-40	70-80	50-90
Elastisite Modülü (GPa)	3.0	3.0	3.5	3.0
Kırılmadaki Uzama (%)	2.0-3.0	1.0-2.0	4.0-6.0	2.0-8.0

Tablo 4.4. FRP.lerin ve çeliğin yoğunlukları (kg/m³)

Çelik	GFRP	CFRP	AFRP
7900	1200 - 2100	1500 - 1600	1200 - 1500

Yapılacak uygulamalara göre kullanılacak liflerin seçiminde çeşitli faktörler rol oynar. Bunlar; yapını tipi, beklenen yükleme, çevre şartları olarak özetlenebilir. Kısaca açıklamak gerekirse;

Cam lifleri çok kullanılacak olan güçlendirme lifleridir. Diğer liflere göre ucuz olmasına karşılık işlenme karakteristikleri de çok iyidir.

Karbon lifleri yüksek dayanıklılık ve yüksek rijitlik elde edebilmek için en çok kullanılacak olan takviye malzemesidir.

Aramid lifleri çok sıkı organik sentetik liflerdir. Karbon ve aramid lifleri pek çok kimyasal etkiye karşı direnç gösterirlerken, cam lifleri alkaliler tarafından çeşitli etkilere maruz kalırlar. Cam ve karbon lifleri ultraviyole ışımdan etkilenmezler. Ancak aramid lifleri, ultraviyole ışık altında renk değişimine ve dayanıklılık azalmasına maruz kalırlar. Aramid ve cam lifleri iletken değillerdir. Karbon lifinin ise iletkenliği söz konusudur. Karbon ve cam liflerinin basınç dayanıklılık, çekme dayanıklılıklarına çok yakındır. Aramid 'in basınç dayanıklılık ise çekme dayanıklılık dan bir hayli düşüktür. Karbon, aramid ve cam lifleri toksik etkisi olmayan ve kirlilik açısından tehlikeli sayılmayacak malzemelerdir

4.4.1. Cam fiberler (GFRP)

Cam izotropik bir maddedir ve hammaddesi kalsiyum oksit, boron, sodyum, demir ve alüminyum gibi eklentilerle birlikte silika (SiO_2) ya dayanır. Cam lifler karbon ve aramid liflerden daha ucuzdur.

Cam liflerin çeşitli türleri vardır. E-glass (elektrik geçirmez). S-glass (çok kuvvetli) ve AR-glass (alkali geçirmez). Lif çeşidine göre elastisite modülü 70-85 GPa arasında ve en yüksek uzama miktarı da %2-5 arasında değişir. Bunların arasında en çok kullanılanı E-glass cam lifleridir.

E-glass silis, alümin ve kireçten. S-glass ise silis alümin ve magneziden oluşmuştur. Cam lifleri bükülmüş iplik, dokuma, keçe biçiminde satışa sunulur. (Keskin 2005). Cam fiberi halen aramid ve karbon fiberlerinden daha yüksek dayanım özelliğine sahiptir. Fiber kumaşları genelde cam elyafının lifleri ile üretilmektedir.

İşlemler sırasında değişik kimyasalların eklenmesi ve bazı özel üretim metotları ile farklı türde cam elyafı üretilebilmektedir.

Cam elyafı biçimlendirildikten sonra yıpranmaya dayanıklılık artış göstermesi için kimyasallarla bir kaplama işlemi yapılır. Kaplama malzemesi olarak genelde fiberin kompozit malzemeye uygulanmasından önce kolaylıkla kaldırılabilen ve su ile çözülebilen. Polimerler kullanılıyor. Fiber ile reçinenin birbirine iyi yapışması son derece önemlidir.

İyi yapışmamaktan dolayı birbirinden kayan takviye malzemesi ve matris, kompozit malzemenin sertliğini ve sağlamlık performansını düşürür. Bu durumun engellenmesi için fiber kimyasallarla kaplanır. (Sipahioğlu. 2006)

Cam elyaflar pek çok inşaat mühendisliği uygulamalarında ekonomikliği ve

spesifik 30 dayanıklılık fonksiyonları nedeniyle hâkim fiber sınıfıdır (Çelik, 2001)

4.4.2. Karbon fiberler (CFRP)

Karbon fiberlerin elastisite modülleri ve çekme dayanımları yüksektir. Grafit tabakalarının, karbon fiber eksenine doğru paralel bir şekilde yönlendirildiği zaman dayanımı en yüksek değere ulaşabilir. Dolayısıyla bu fiberlerin dayanımı daha çok yüksektir. Ayrıca bu fiberlerin tasarım malzemeleri olarak kullanılmaktadır. (Aricasoy, 2006).

4.5. FRP ile güçlendirmenin tipik nedenleri

4.5.1. Sismik ve rüzgâr yükleri

Deprem veya güçlü rüzgâr etkisi altında bir yapının hareketi emebilmesi için yeterince esnek olması gerekir. Yapıya ağırlık eklemek kütleyi ve dolayısıyla yıkılma ihtimalini artırır. Bu da çok ince olan (0.5 mm) ve yapıya ağırlık getirmeyen FRP' yi en ideal çözüm yapar.

4.5.2. Fonksiyon değişimi

Bazen bir yapı tasarlanma amacından farklı kullanılabilir, bu durumda da ilave edilmiş 33 veya değişmiş yükleri karşılayacak şekilde takviye edilmesi gerekir. Çatıya daha sonradan yerleştirilen çok ağır.

4.5.3. İnşaat ve tasarım hataları

Bazen bir iş tamamlandıktan sonra proje yapım hataları ya da betonun istenilen kalitede olmaması nedeniyle güçlendirme gerekmektedir. FRP, eksik olan çeliğin 'yerini tutması' için veya düşük beton gücünü dengelemek için kullanılabilir.

4.5.4. Onarımlar

Bazı yapılar zaman ve çevre faktörlerinden dolayı aşınmaya uğrar ve hasar görür. Bu yapılar özenli bir çalışmayla orijinal hallerine geri döndürülebilirler. FRP kompozitlerinin tuzlu suya %100'e varan dayanımı olduğundan su altında da kullanımda mükemmel sonuç verirler.

4.5.5. Patlama etkisini azaltma

FRP ürünleri, yapıları bomba ve endüstriyel kazalar gibi patlamalardan korumada, yapıların mermilerden zarar görmesini engellemekte mükemmeldir. Bu uygulama farklı fiber ve reçinelerden oluşan özel bir tasarım gerektirir.

4.5.6. Korozyon

FRP ürünleri kimyasal bozulmaya karşı yüksek derecede dirençlidir. Bu özelliklerinden ötürü yapı elemanlarını zararlı kimyasal ve çevresel saldırılardan koruma ve onarmada kullanılabilirler (Kaygusuz, 2008)

4.6. FRP'nin uygulanması

4.6.1. FRP uygulaması için yüzey hazırlığı

FRP malzemeler için yüzey hazırlığı çok önemlidir. Betonarme yapılarda çelik, betonun içerisinde kaldığı için sıyrılmaya ve betonla farklı hareket etme eğilimi göstermez. Fakat FRP malzemeler için en korkulan husus malzemenin sıyrılmaya veya beton paspayı tabakasını da alarak ayrılmasıdır.

Malzeme uygulanmadan önce yapılması gereken işlemler sırasıyla şunlardır:

1- Hasar görmüş beton yapılar FRP uygulanmadan önce tamir edilmelidir. Eğer beton paspayı tabakası korozyon sonucu hasar görmüş ya da karbonatlaşmaya uğramış ise bu tabaka bütünüyle kazınıp kaldırılmalıdır.

2- Yüzeydeki yapışmayı engelleyici toz, yağ, kir gibi tabakalar kumlama ve yüksek basınçlı su püskürtme yöntemi ile kaldırılmalıdır.

3- Köşeler ve keskin kenarlar yuvarlanmalıdır, çünkü bu bölgeler laminasyonun ve sürekliliğin bozulmasına sebebiyet verir. Keskin köşelerde yük aktarımı olmaz. Dış açılar 1– 3 cm yarıçaplı bir kavis oluşacak şekilde törpülenir. iç açılar ise epoksi harç ile doldurularak yuvarlatılır.

4- Temiz yüzeye fırça ya da ruloyla epoksi astar sürülmelidir. Eğer yüzeyde nem var ise ve giderilemiyorsa neme dayanıklı astar kullanılmalıdır. Astar kuruduktan sonra, yüzeydeki hafif girintiler epoksi dolgu malzemesiyle doldurulmalıdır. o da kuruyunca yüzey, ilk reçine katının sürülmesine ve FRP tabakanın kaplanmasına hazırdır.



Şekil 4.11. FRP uygulaması öncesi yapılan hazırlıklar

4.6.2. FRP malzemenin uygulanması

Yapılan proje sonucu ve uygulanacağı yapı elemanının durumuna da bağlı şekilde FRP sistemlerin hangisinin, ne şekilde kullanılacağına karar verilir. Bu uygulamaların tümünde değişmeyen reçinelerin karıştırılarak uygulaması yapılacak yere ya da malzeme yüzeyine sürülmesidir. Reçineler belli ısı derecesine ulaşmadan reaksiyona girmezler. Çok sıcak ortamlardaysa reaksiyonlarını hızlı tamamlayarak kristalleşirler.

Beton tam normal hava koşullarında (+200C) dayanımını 28 günde alırken reçineler 7 günde tamamlarlar. Ortam sıcaklığına göre 30 dakika ile 1 saat arasında kristalleşirler.

Burada dikkat edilmesi gerekli olan en önemli husus, reçine ve sertleştirici karıştırıldıktan sonra kristalleşmeye başlamadan FRP'nin tatbik edilmesi işlemidir. Bu uygulamalar esnasında gözlerin ve ellerin korunması için gerekli tedbirler alınmalıdır (Çelik, 2001)

Yüzey hazırlığı yapılmış bölgeye polyester sürülürken, bir yandan da FRP kumaş polyestere doyurulur. Bu işlem sert rulolarla polyester dolu yayvan bir kap içerisinde bastırarak yapılır. Kumaş ve polyesterin kompozit bir malzeme oluşturması ve yekpare hareket etmesi için kumaş içerisinde hiç hava boşluğu kalmamasına özen gösterilir.



Şekil 4.12. FRP uygulaması yapılan bir kolon



Şekil 4.13. FRP uygulaması yapılan bir kiriş

Daha sonra kumaş, yapıştırılacağı bölgeye yerleştirilip tekrar üzerinden ruloyla bastırılır. Polyesteri iyi emmediği hissedilen yerlere ilave polyester sürülür. Tüm işlemler polyester kristalleşme süresi dolmadan tamamlanmalıdır.

Bu yüzden kristalleşme süresince ne kadar yere uygulama yapılacaksa sadece oraya yetecek kadar polyester hazırlanmalıdır.

4.6.3. Dikkat edilmesi gereken hususlar

FRP uygulaması sırasında elbet maske gözlük ve plastik eldiven gibi koruyucu donanım ve giysilerin giyilmesi gereklidir. İşin yapıldığı bölge çok iyi bir biçimde havalandırılmalıdır ve hiçbir durumda uygulama çıplak alevle karşılaştırılmamalıdır. Ortam ısısının düşük olduğu durumlarda astar ve reçinenin her ikisinin de viskozitesi Yükselir veya polimerizasyon hızı düşer. FRP uygulaması 50C altında yapılmamalıdır.

Ortamda ıslaklık ya da nem olması astar veya reçinenin sertleşmesini olumsuz yönde etkiler.

Herhangi bir şekilde nemin ortamdan uzaklaştırılması ve suyun drene edilmesi gereklidir. Yağmur altında veya çığ oluşması durumunda FRP uygulaması yapılması sakıncalıdır. Herhangi bir yüzey bozukluğu ya da keskin köşeler uygulama esnasında FRP'nin yüzeyden ayrılmasına sebep olabilir (Sipahioğlu, 2006)

4.7. ENDÜSTRİYEL BACALAR İÇİN GENEL YAPISAL HASARLAR

Birden fazla bacanın uzun süre gözlenmesi ile iki genel tipteki bacaları ayırt etmek mümkün. Tuğla üzerinde damgalanan çatlaklar ve kurucu materyallerdeki değişiklikler.

4.7.1. Endüstriyel Bacalar 'da Görülen Çatlaklar

Yığın Çatlakları: Neredeyse her zaman dikey yönde görülür, sarma istifinin yüzeyinde veya duvarın eklem harçlarını işaretleyen bir zikzak halinde. Genellikle yığının üst kısmında daha sık rastlanır.

4.7.2. Temel Çatlaklar

Dikey istiflerindeki benzer şekilde görülür, genellikle tünel ağzı içindeki zayıf bölgelerde rastlanır.

4.7.3. Koronerasyon Çatlaklar

Bu tür çatlaklar afet sonucu veya sık sık görülmeyen olaylar sonucu oluşan çatlaklardır. (Yıldırımdan kaynaklanan elektrik çarpması gibi) Bu problem oluştuğunda yığının üst üste dikey çatlaklardan türediği görülmektedir.

4.8. Çatlaklar ve malzeme değişiklikleri nedenleri

- a) Çatlaklar ve Malzeme Değişiklikleri Nedenleri Duvar bacalardaki yapısal hasarların kaynağı. analizden anlaşılmaktadır. Maruz kaldığı yüklerin ve bu faaliyetlerin endüstriyel süreçte geliştirilen işlevden kaynaklanan özel koşulları vardır.
- b) Bacanın içinden geçen duman sıcaklığı her zaman 100 ° C ve bazen 200 ° C'yi aşabilir. Termal duvarların bu yüksek sıcaklıklarda tabii tutulduğu gerilmeler önemlidir.

- c) Çok sayıda bacada görülebilecek bir diğer hasar. ana boru hattının eğimidir. Yukarıda bahsedilen şartlar. kömürün yanmasından kaynaklanmaktadır ve genel yakıt. kükürt içeren yakıtların tamamı. anagövdenin eğimi genel olarak aşağıda belirtilen harç sülfasyonundan etkilenen duvar derzlerinin farklı genişlemesi yukarıda detaylandırılan işlem. eğik oldukları yöne bağlı olarak değişiklik gösterebilir.
- d) Nemli rüzgarın yönünde eğilim. duvarın gözenekliliğiyle nemin nüfuz etmesine neden olur. Bunların çoğunda bacalar nemli rüzgar yönü durumu ile karşılaşması ile ayırt edilir. Rüzgar sayesinde daha Kirlidir.
- e) Kuru ya da sıcak rüzgar yönünde eğilim ve ters yönde olma eğilimi duvarın nem dengesine hakim olur. Bunların yanı sıra. oluşumu az çok belirleyici biçimde etkileyen başka nedenler olabilir.
- f) Bacaların iç merdivenlerini oluşturan çelik çubukların korozyonu. harçın genişlemesi ve bitki üzerinde kama etkisi. İnşaat aşamasında veya ilk yıllarında belirli mekanik eylemler baca. harç derzleri yeterince sertleşmediğinde bile güçlü bir rüzgar gibi süreçleri etkiler (Kiran, 2001)

4.9. Endüstriyel Baca Güçlendirmesi Yapılırken Duvar Malzemesi Değişiklikleri

4.9.1. Volümetrik Malzemelerdeki Değişiklik

Gözenekliliği ve olası kimyasalları ilişkilendirmeye gerek yoktur. Duvar yapısını oluşturan malzemelerin değişimi görünür bir eğilime neden olur.

Çok sayıda bacada bu değişkenlik bulunur ve özellikle bacaların üst kısmında görülmektedir. Yığınlar ve taç kısmı yakınlarında sıklıkla rastlanır.

4.9.2. Duvarın Harç Derzlerinin Dağılması

Dayanıklılığın asıl azalmasına neden olan, etkilenen alanlar maruz kalan tuz rüzgârı ile çakışmaktadır. Yüz veya ıslak yığın ve taç kısmında sıklıkla görülmektedir.

4.9.3. Seramik Tuğlaların Yüzeysel Olarak Dökülmesi

Bu problem parçalanmaya benzemektedir. Harç derzleri etkiler ve ayrıca tercihen üst kısım ve bölgelerde rüzgâr ve nemden etkilenir.

4.10. Endüstriyel Baca Güçlendirme İşlemleri

Endüstriyel baca güçlendirme duvar yapısını yeniden modellemek ve davranışları hakkında bilgi sahibi olmak ciddi bir mühendislik işidir.

DeneySEL sonuçları kullanılarak sayısal bir modeli kalibre etmeye yönelik tekniklerin başında dinamik analiz gelmektedir. Sınai bir duvar çatı bacasına uygulanan bir sismik analiz sonucunun GFRP 'yi kullanarak güçlendirme yapılması uygun görülmektedir.

Bunun sismik kapasitesini arttırmak için FRP malzemeleri kullanılması gerekmektedir. GFRP dikey kayışların kullanılması ile endüstriyel bacaların sismik kapasitesi arttırılır. (Aydoğan, 1988)

5. MATERYAL. METOD VE UYGULAMA

5.1. Materyal

Bu çalışmada bir önceki bölümde bahsedildiği gibi baca elemanı üzerine SAP2000 programı ile GFRP malzemesi eklenecektir. Baca ile GFRP malzemesi eklenmeden ve eklendikten sonra analiz edilecektir.

Bu çalışmada kullanılacak ana malzemeler şunlardır:

5.1.1. Beton

Bu çalışmada SAP2000 programının veri tabanında bulunan beton BHA ve mekanik özelliklerini kullanılmıştır. Baca yapımında kullanılacak betonun karakteristik silindir basınç dayanımı (F_{ck}) 25 MPa (C25) dan küçük olmamalıdır.

Materyalin Kütle ve Ağırlığı:

- 1- (BHA) Birim Hacim Ağırlığı = 2402.76 kgf/m^3
- 2- (BHK) Birim Hacim Kütle = 2158.753 kgf/m^3 'dir.

Materyalin Mekanik Özellikleri:

- 1-Elastisite Modülü $E = 2534.56 \text{ kgf/mm}^2$
- 2- Poisson Oranı $U = 0.2$
- 3- Isıl Genleşme Katsayısı $A = 0.0000098 \text{ 1/C}$
- 4- Kayma Modülü $G = 1056.068 \text{ kgf/mm}^2$ 'dir.

Donatı Kütle ve Ağırlığı:

- 1- (BHA) Birim Hacim Ağırlığı = $7849.0476 \text{ kgf/m}^3$
- 2- (BHK) Birim Hacim Kütle = 7851.72 kgf/m^3 'dir

Donatı Mekanik Özellikleri:

- 1-Elastisite Modülü $E = 20389.019 \text{ kgf/mm}^2$
- 2- Poisson Oranı $U = 0.3$
- 3- Isıl Genleşme Katsayısı $A = 0.0000117 \text{ 1/C}$

Concrete Shell Section Design Parameters

Section Name: Shell

Rebar Material

Material: + A615Gr60

Rebar Layout Options

Default

One Layer

Two Layers

Cover to Centroid of Steel

Top Bar - Direction 1: 0.025

Top Bar - Direction 2: 0.035

Bottom Bar - Direction 1: 0.025

Bottom Bar - Direction 2: 0.035

OK Cancel

5.1.2. Tek yönlü GFRP

Çalışmada kullanılan Tek Yönlü GFRP'nin BHA ve mekanik özellikleri Rahmani vd. (2011) çalışmalarından alınmıştır.

Materyalin Kütle ve Ağırlığı:

1-Birim Hacim Ağırlığı = 1900.65 kgf/m^3

2- Birim Hacim Kütle = 1938.12 kgf/m^3 'dir.

Materyalin Mekanik Özellikleri:

1- Elastisite Modülü

$E1 = 4078.86 \text{ kgf/mm}^2$

$E2 = 4078.86 \text{ kgf/mm}^2$

$E3 = 815.77 \text{ kgf/mm}^2$ 'dir.

2- Poisson Oranı

$$U_{12} = 0.25$$

$$U_{13} = 0.25$$

$$U_{23} = 0.25$$

5.2. Metot

Mevcut bir baca yapının sonlu elemanlar metodu ile bilgisayar ortamında SAP2000 programı analizi yapılarak GFRP ile taşıyıcı sistemi güçlendirilmiş yapının aynı şekilde analizi yapılarak dinamik parametrelerinin karşılaştırılmıştır.

5.3. Uygulama

İlk olarak SAP2000 programına bacanın özellikleri ve GFRP malzemesinin özellikleri girilmiştir. Bu çalışmada GFRP malzemesi bacanın tüm yüzeyine uygulanacaktır. Böylece baca üzerindeki tüm çatlaklar kapatılacaktır.

Beton bacanın alt çapı 2 m beton bacanın üst çapı 1 m beton bacanın yüksekliği 50 m. beton bacada kullanılan beton C20 / 25'dir. Beton bacanın beton kalınlığı 0.25 m'dir



Şekil 5.1. Baca SAP2000 3D modeli

Tablo 5.1. Taş Duvar ve GFRP Tabakalarının Kalınlıkları

Tabaka No'su	Materyal	Kalınlık (mm)
1	Betonarme Baca	250
2	GFRP	2

SAP2000 programı ortamında Bacaya GFRP uygulanmadan önce periyot ve frekansları Tablo 5.2’de verilmiştir

Tablo 5.2. GFRP Uygulanmadan Önceki Periyot ve Frekans Değerleri

Durum	Mod	Periyot (saniye)	Frekans (Hertz)	Dairesel Frekans	Özdeğer (rad ² /saniye ²)
Modal	1	0.9128	1.0955	6.8831	47.3768
Modal	2	0.9128	1.0955	6.8831	47.3768
Modal	3	0.1970	5.0760	31.8933	1017.1840
Modal	4	0.1970	5.0760	31.8933	1017.1840
Modal	5	0.0798	12.5381	78.7789	6206.1186
Modal	6	0.0798	12.5381	78.7789	6206.1186
Modal	7	0.0610	16.3943	103.0084	10610.7291
Modal	8	0.0546	18.3250	115.1397	13257.1432
Modal	9	0.0439	22.7675	143.0525	20464.0242
Modal	10	0.0439	22.7675	143.0525	20464.0242
Modal	11	0.0316	31.6721	199.0019	39601.7756
Modal	12	0.0316	31.6721	199.0019	39601.7756

Bacaya GFRP uygulaması yapıldıktan sonra periyot ve frekansları Tablo 5.3'te verilmiştir. Tabloya bakarak periyot ve frekanslardaki değişiklikleri görölmektedir.

Tablo 5.3. GFRP Uygulanmasından Sonraki Periyot ve Frekans Değerleri

Durum	Mod	Periyot (saniye)	Frekans (Hertz)	Dairesel Frekans	Özdeğer ($\text{rad}^2/\text{saniye}^2$)
Modal	1	0.8971	1.1146	7.0035	49.0492
Modal	2	0.8971	1.1146	7.0035	49.0492
Modal	3	0.1942	5.1506	32.3619	1047.2929
Modal	4	0.1942	5.1506	32.3619	1047.2929
Modal	5	0.0789	12.6700	79.6081	6337.4517
Modal	9	0.0437	22.8877	143.8077	20680.6507
Modal	10	0.0437	22.8877	143.8077	20680.6507
Modal	11	0.0296	33.7304	211.9341	44916.0427
Modal	12	0.0295	33.8604	212.7515	45263.1855

6. GFRP'Lİ VE GFRP'SİZ DURUMDAKİ BACALARIN KARŞILAŞTIRMALARI

6.1. Modların Karşılaştırması

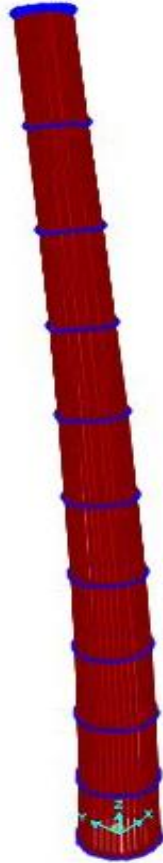
- Mod1 :

GFRP uygulanmadan önce: Periyot =0.9128 s. Frekans =1.0954 Hz değerleri bu moddaki SAP2000 programından alınan değerlerdir.

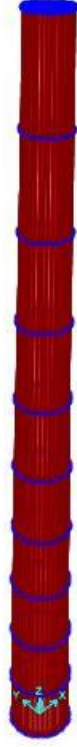
GFRP uygulandıktan sonra: Periyot =0.8971 s. Frekans =1.1146 Hz değerleri bu moddaki SAP2000 programından alınan değerlerdir.

Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.1 ve 6.2'deki grafiği görsel olarak sunmaktadır.

Mod değerlerinin daha net karşılaştırılması için Tablo 6.1'ye bakıldığında GFRP malzemesinin Baca üzerine uygulandıktan sonraki değişimi ile uygulama yapıldıktan sonra değişimin farklılığını gösterilmiştir.



Şekil 6.1. GFRP'siz 1. Mod



Şekil 6.2. GFRP'li 1. Mod

Tablo 6.1. Mod 1.nin karşılaştırılması

	PERİYOT (s)	FREKANS (hz)
GFRP'SİZ	0.9128	1.0954
GFRP'Lİ	0.8971	1.1146

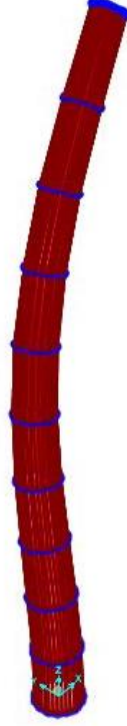
- Mod2 :

GFRP uygulanmadan önce: Periyot =0.1970 s. Frekans =5.0759 hz değerleri bu moddaki SAP2000 programından alınan değerlerdir.

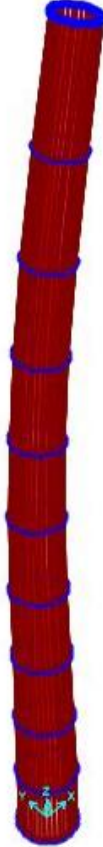
GFRP uygulandıktan sonra: Periyot =0.1941 s. Frekans =5.1505 hz değerleri bu moddaki SAP2000 programından alınan değerlerdir.

Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.3 ve 6.4'deki grafiği görsel olarak sunmaktadır.

Mod değerlerinin daha net karşılaştırılması için Tablo 6.2'ye bakıldığında GFRP malzemesinin Baca üzerine uygulandıktan sonraki değişimi ile uygulama yapıldıktan sonra değişimin farklılığını gösterilmiştir.



Şekil 6.3. GFRP'siz 2. Mod



Şekil 6.4. GFRP'li 2. Mod

Tablo 6.2. Mod 2.nin karşılaştırılması

	PERİYOT (s)	FREKANS (hz)
GFRP'SİZ	0.1974	5.0639
GFRP'Lİ	0.1941	5.1505

- Mod3 :

GFRP uygulanmadan önce: Periyot =0.0797 s. Frekans =12.5380 hz değerleri bu moddaki SAP2000 programından alınan değerlerdir.

GFRP uygulandıktan sonra: Periyot =0.0789 s. Frekans =12.6700 hz değerleri bu moddaki SAP2000 programından alınan değerlerdir.

Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.5 ve 6.6'deki grafiği görsel olarak sunmaktadır.

Mod değerlerinin daha net karşılaştırılması için Tablo 6.3'ye bakıldığında GFRP malzemesinin Baca üzerine uygulandıktan sonraki değişimi ile uygulama yapıldıktan sonra değişimin farklılığını gösterilmiştir.



Şekil 6.5. GFRP'siz 3. Mod



Şekil 6.6. GFRP'li 3. Mod

Tablo 6.3. Mod 3.nin karşılaştırılması

	PERİYOT (s)	FREKANS (hz)
GFRP'SİZ	0.0797	12.5380
GFRP'Lİ	0.0789	12.6700

- Mod4 :

GFRP uygulanmadan önce: Periyot =0.0610 s. Frekans =16.3942 hz değerleri bu moddaki SAP2000 programından alınan değerlerdir.

GFRP uygulandıktan sonra: Periyot =0.0653 s. Frekans =21.1005 hz değerleri bu moddaki SAP2000 programından alınan değerlerdir.

Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.7 ve 6.8'deki grafiği görsel olarak sunmaktadır. Mod değerlerinin daha net karşılaştırılması için Tablo 6.4'ye bakıldığında GFRP malzemesinin Baca üzerine uygulandıktan sonraki değişimi ile uygulama yapıldıktan sonra değişimin farklılığını gösterilmiştir.



Şekil 6.7. GFRP'siz 4. Mod



Şekil 6.8. GFRP'li 4. Mod

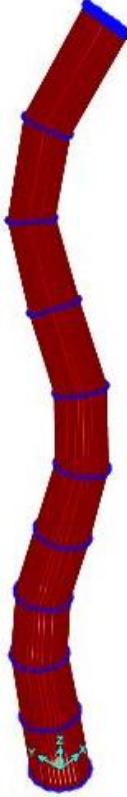
Tablo 6.4. Mod 4.nin karşılaştırılması

	PERİYOT (s)	FREKANS (hz)
GFRP'SİZ	0.0439	22.7675
GFRP'Lİ	0.0436	22.8877

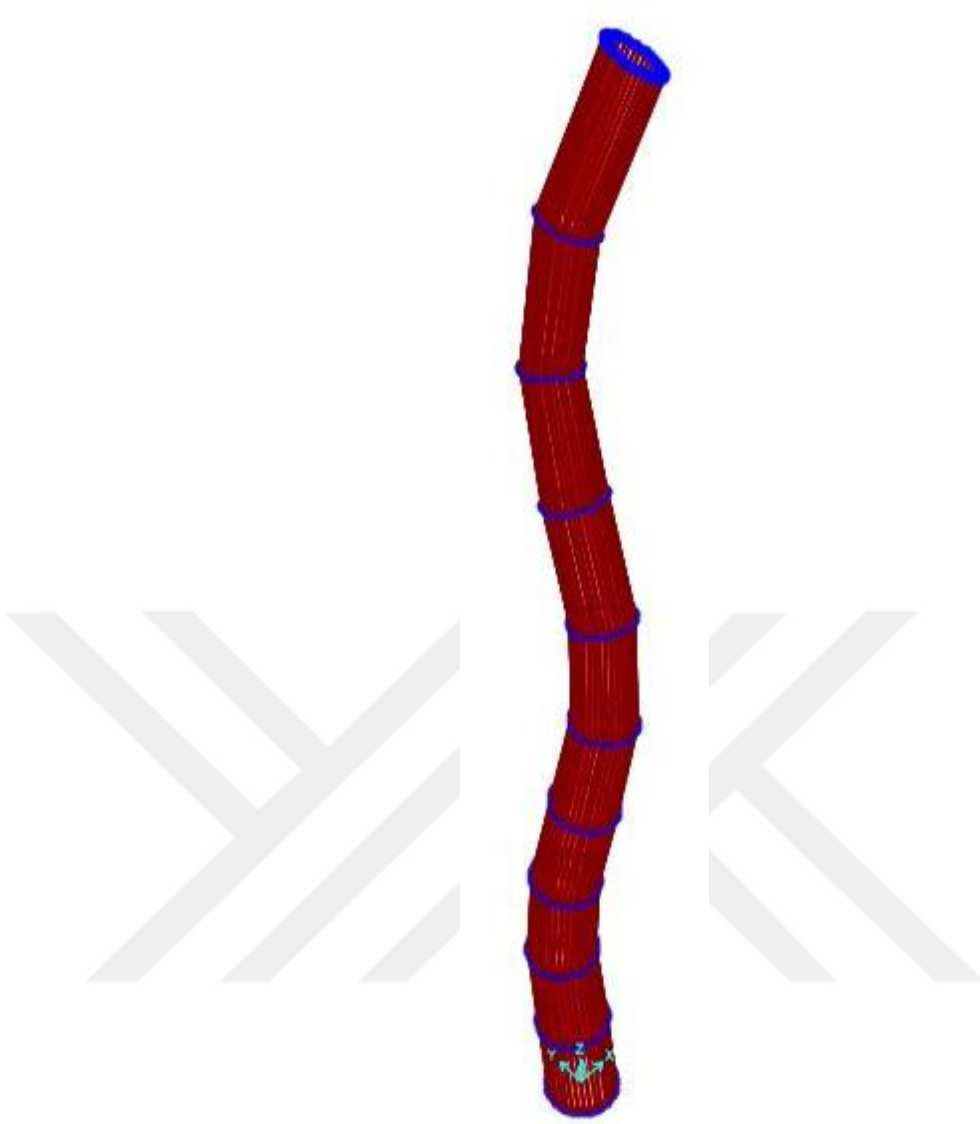
- **Mod5** :

GFRP uygulanmadan önce: Periyot =0.0315 s. Frekans =31.6721 hz değerleri bu moddaki SAP2000 programından alınan değerlerdir. GFRP uygulandıktan sonra: Periyot =0.0295 s. Frekans =33.8604 hz değerleri bu mod.daki SAP 2000 programından alınan değerlerdir.

Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.9 ve 6.10'deki grafiği görsel olarak sunmaktadır. Mod değerlerinin daha net karşılaştırılması için Tablo 6.5'ye bakıldığında GFRP malzemesinin Baca üzerine uygulandıktan sonraki değişimi ile uygulama yapıldıktan sonra değişimin farklılığını gösterilmiştir.



Şekil 6.9. GFRP'siz 5. Mod



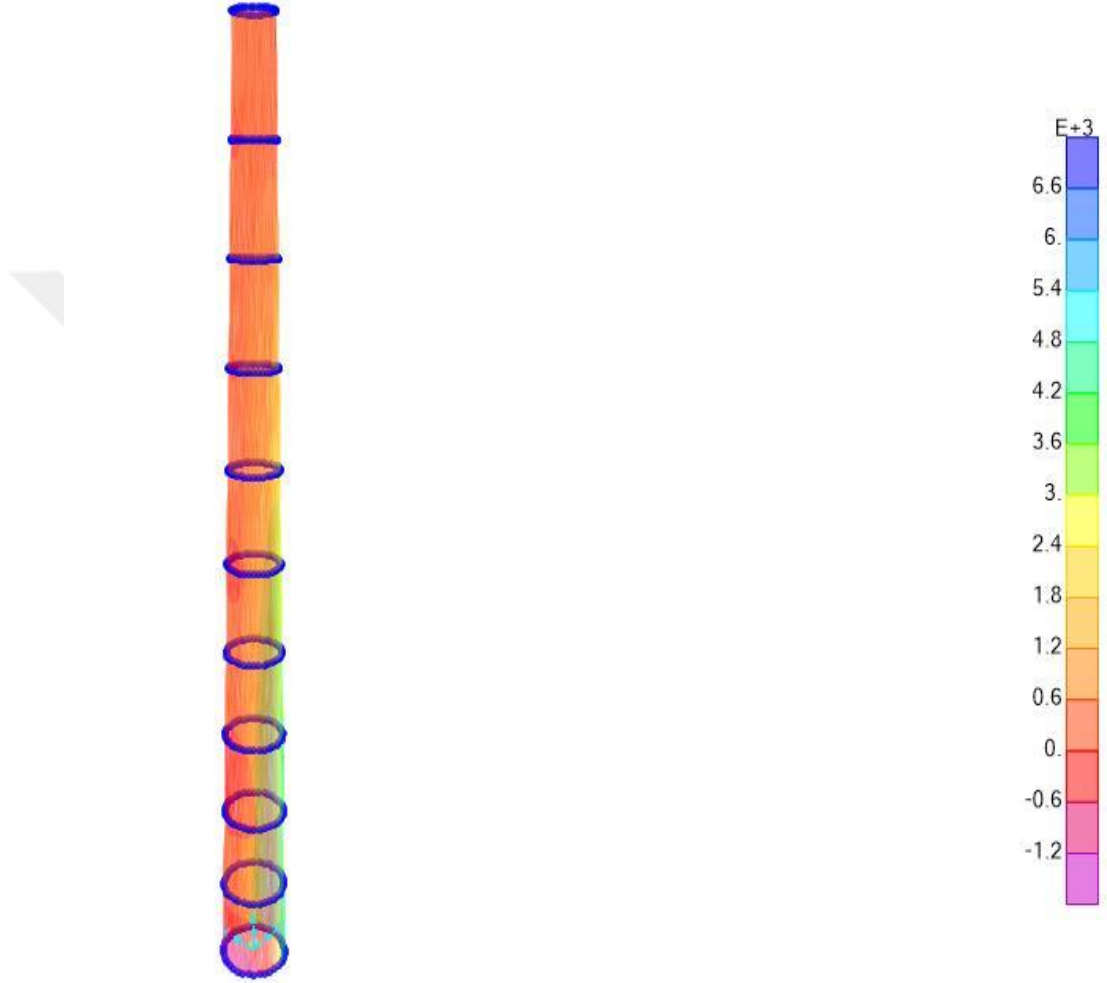
Şekil 6.10. GFRP'li 5. Mod

Tablo 6.5. Mod 5.nin karşılaştırılması

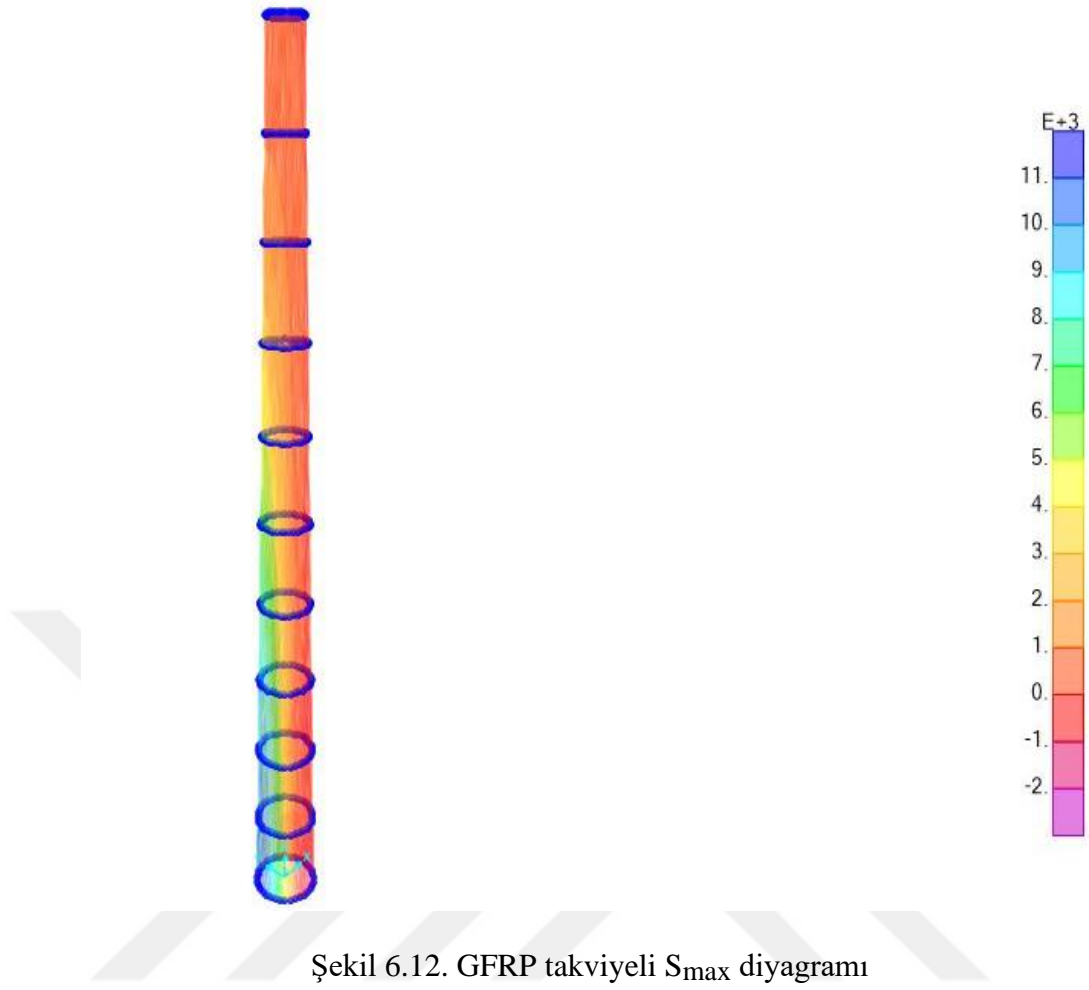
	PERİYOT (s)	FREKANS (hz)
GFRP'SİZ	0.0315	31.6721
GFRP'Lİ	0.0295	33.8604

6.2. Maksimum Gerilme (S_{max}) Karşılaştırılması

SAP2000 programı ortamında bacaya GFRP ile güçlendirme yapılmadan önce yapılan analizdeki S_{max} değerleri ile. GFRP kaplandıktan sonraki diyagramlar şekil 6.11 ve 6.12’da belirtilmiştir.



Şekil 6.11. GFRP'siz S_{max} diyagramı

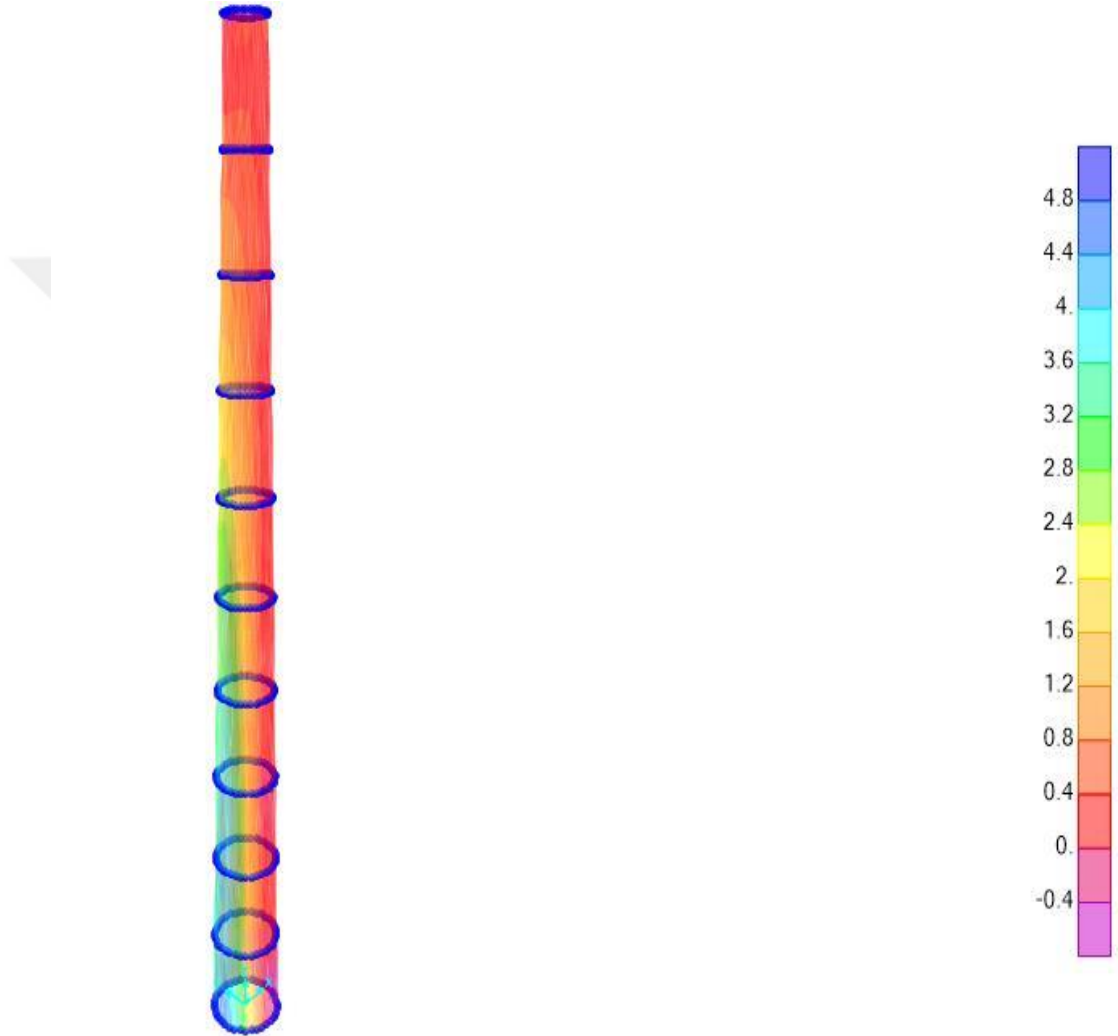


Tablo 6.6. S_{max} Değerlerinin karşılaştırılması

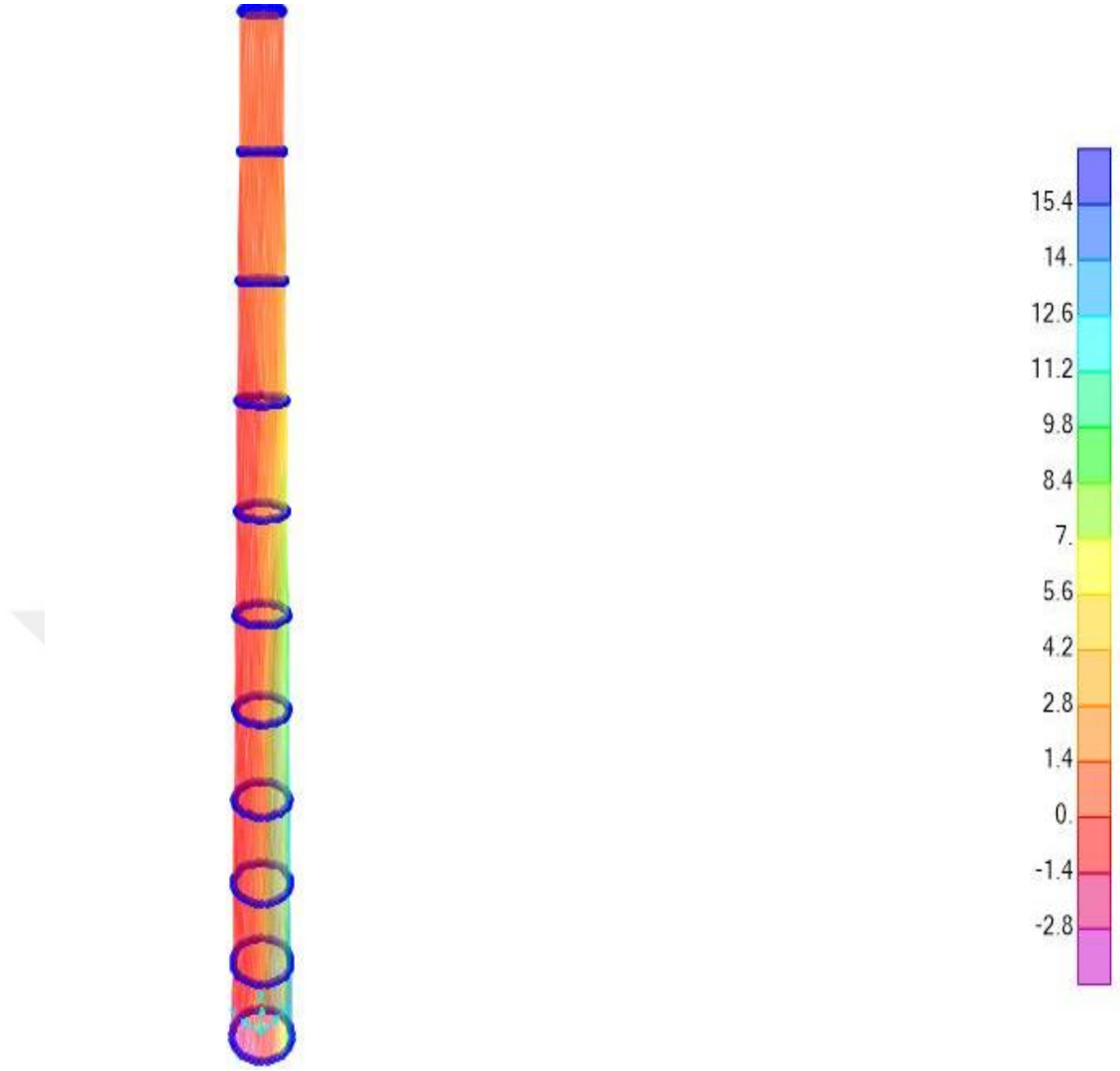
S_{max} Alt/Üst Değerleri (KN/m ²)	GFRP'SİZ	GFRP'Lİ
S_{max} Alt Min	-134577.43	-351445.01
S_{max} Alt Max	134577.55	351445.28
S_{max} Üst Min	-313765.18	-795833.57
S_{max} Üst Max	313765.07	795833.72

6.3. Maksimum Moment (M_{max}) Karşılaştırılması

SAP2000 programında max moment değerleri GFRP takviyesi yapılmadan önceki değerleri ve GFRP takviyesi yapıldıktan sonraki değerlerin kıyaslanabilmesi adına görsel diyagramlar Şekil 6.13 ve 6.14 de belirtilmiştir.



Şekil 6.13. GFRP'siz M_{max} diyagramı

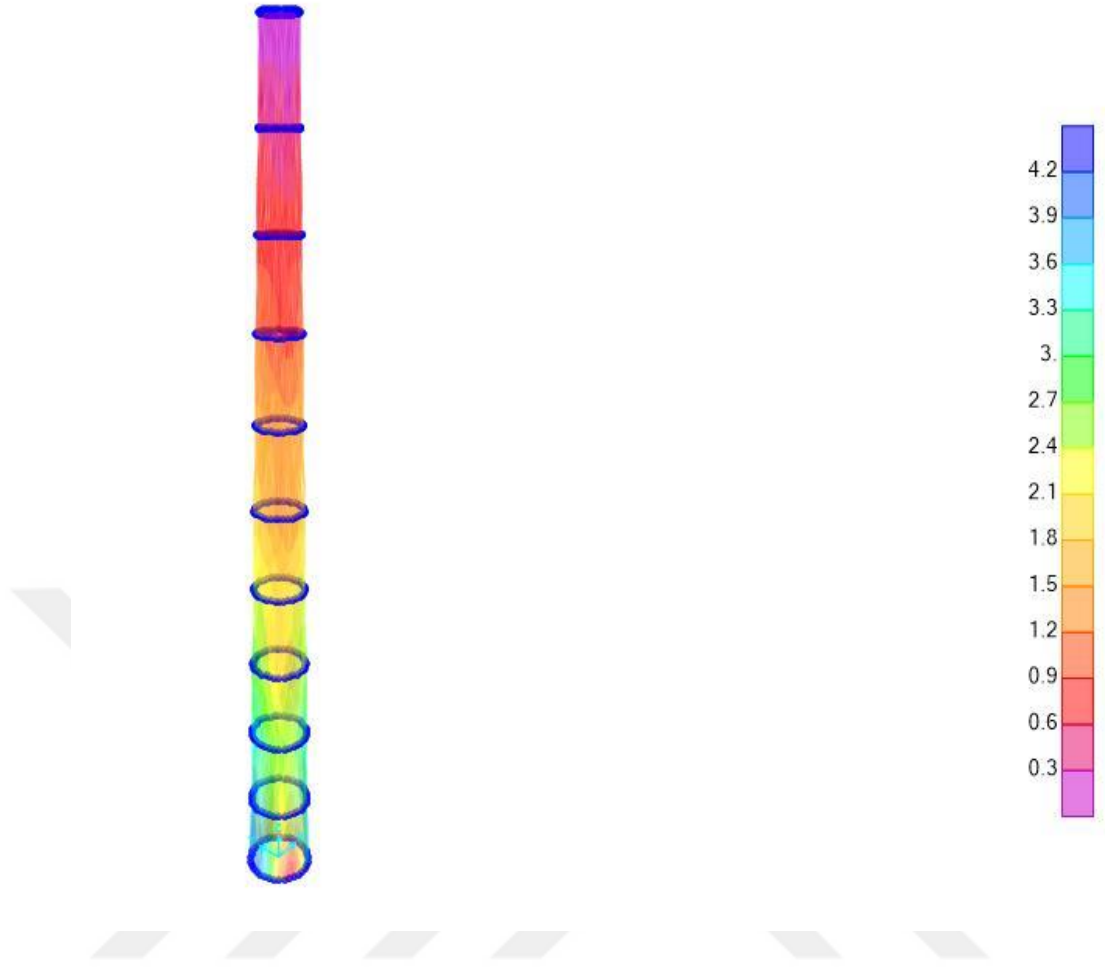


Şekil 6.14. GFRP'li M_{max} diyagramı

GFRP ile uygulama yapılmadan önce ve GFRP takviyeli maximum ve minimum moment değerleri 6.7'te belirtilmiştir.

Tablo 6.7. Max ve Min Moment karşılaştırması

Moment Değerleri (KN)	GFRP'SİZ	GFRP'Lİ
M_{max}	4915.42	5533.02
M_{min}	-4915.42	-5533.02



Şekil 6.16. GFRP'li V_{max} diyagramı

GFRP'Lİ VE GFRP'SİZ durumları için V_{max} değerleri Tablo 6.8'te verilmiştir.

Tablo 6.8. V_{max} alt ve Üst Değerlerinin karşılaştırması

VMAX ALT VE ÜST DEĞERLERİ (kN/m)	GFRP'SİZ	GFRP'Lİ
V_{max} Üst Değer	5853.19	6604.78
V_{max} Alt Değer	0.0828	0.0178

7. SONUÇ

Bu çalışmada yapının 250 mm kalınlığında baca yapıya 2 mm kalınlığında bir GFRP kumaş sarılarak yapılan güçlendirme neticesinde. yapının parametrelerindeki ortalama değişim yüzdeleri aşağıda sıralanmıştır.

İlk olarak modların karşılaştırılması yapıldı. 1. Modu incelediğimizde yapının GFRP takviyesinden önceki periyodunun güçlendirme yapıldıktan sonra yaklaşık olarak %2 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Sistemin 1. Periyodu yapının doğal titreşim periyodu olduğunu bilinmektedir.

S alt max değerlerini incelediğimizde GFRP ile güçlendirme yapılmadan önceki değerlerin. güçlendirme yapıldıktan sonra yaklaşık %61 oranında azaldığı görülmektedir.

Maximum moment değerlerini karşılaştırdığımızda güçlendirme yapıldıktan sonra M_{max} değerinin yaklaşık %12.5 oranında artış olduğunu tespit edilmiştir.

V_{max} değerini güçlendirme yapıldıktan sonra %13 oranında artmıştır. Kullandığımız güçlendirme malzemesi baca yüzeyine kumaş olarak sarılmıştır.

Beton bacanın GFRP ile takviye edilmesiyle. periyotlarda bir azalma açıkça görülebilecektir; Periyotlardaki azalmanın yapıyı rezonans aralığından çıkardığı ve sertliği arttırdığı da bilinmektedir.

Analiz sonuçları incelendiğinde. bu çalışmada beton bacanın GFRP ile güçlendirilmesinin beton bacayı daha güvenli hale getirdiği açıkça görülmektedir.

Yukarıda bahsedilen tüm bu gerçeklerin ışığında beton bacalarda GFRP takviye yöntemi kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Aliyazıcıoğlu 2004. Bir sentez çalışması ışığında betonarme sanayi bacalarının farklı yöntemlerle yapısal özömlmeleri ve tasarımları. Trabzon K.T.Ü.. Fen Bilimleri Enstitüsü
- Altunişik A. 2011. Dynamic response of masonry minarets strengthened with Fiber Reinforced Polymer (FRP) composites. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 11:7. 2011-2019. doi: 10.5194/nhess-11-2011-2011.
- Aydoğan 1988. Betonarme Bacalar. İ.T.Ü. İnşaat Faköltesi. İstanbul.
- AYTAÇ. E. 2011. CFRP güçlendirme malzemesi ve güçlendirme teknikleri. DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İzmir
- Barnes. R.A. and Mays.G.C. 1999. Fatigue Performance of Concrete Beams Strengthening With Cfrp Plates. *Journal of composite For construction*. 3:2. 63-72. doi: 10.1061/(ASCE)1090-0268(1999)3:2(63).
- Basilio. I., Oliveira. D.V. and Lourenço. P.B. 2004. Optimal FRP strengthening of masonry arches. *Proc. 13th International Brick/Block Masonry Conference*. 361-370. Amsterdam.
- Buyukozturk 1998. Failure behavior of precracked concrete beams retrofitted with FRP. *Journal of composites for construction*. 2:3. 138-144.
- Çelik 2001. Fiber takviyeli polimerler ve mühendislik yapılarında kullanım alanları. Sakarya Üniversitesi
- Çöğürçü. M. T. 2007. Yığma yapıların yatay derz güçlendirme yöntemiyle güçlendirilmesi. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. 204. Konya.
- De Felice. G. 2009. Assessment of the load-carrying capacity of multi-span masonry arch bridges using fibre beam elements. *Engineering Structures*. 31:8. 1634-1647. doi: 10.1016/j.engstruct.2009.02.022.
- De Lorenzis. L. and Teng. J. G. 2007. Near-surface mounted FRP reinforcement: An emerging technique for strengthening structures. *Composites Part B: Engineering*. 38:2. 119-143. doi: 10.1016/j.compositesb.2006.08.003.
- Dushimimana. A., Ziada. M. and Tuhta. S. 2018. Effect of Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Composites Applied to Walls and Slabs of Masonry Building. *Development*. 5(04). 2434-2442.
- Cavicchi. A. and Gambarotta. L. 2005. Collapse analysis of masonry bridges taking into account arch–fill interaction. *Engineering Structures*. 27:4. 605-615. doi: 10.1016/j.engstruct.2004.12.002.
- Ersoy. H. Y. 2001. Kompozit Malzeme Literatür Yayıncılık. 238 İstanbul.

- Gökçen. C. 2019. FRP ile güçlendirilmiş betonarme elemanlarda frp-beton sıyrıлма davranışının incelenmesi. Ege Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü İzmir.
- Guerrin. A. 1969. *Traité De Béton Armé Tome VI*. Dunod. Paris.
- İpekçi. Ö. 1987. *Betonarme Bacalar Hiperbolik Soğutucular ve Projelendirme Esasları*. K.T.Ü..Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon.
- Kasımzade. A. and Tuhta. S. 2005. Finite Element. Analytical. Experimental Investigation of Reinforced Concrete Beams Strengthened with CFRP and Related Structure Analysis Problem's Solutions. *AACEU*. 2:2. 18-26.
- Kasımzade. A. and Tuhta. S. 2005. Performance of Reinforced Concrete Columns Confined by Composite Wraps. *AACEU*. 2:2. 13-18.
- Kasımzade. A. and Tuhta. S. 2012. Analytical. Numerical and Experimental Examination of Reinforced Composites Beams Covered with Carbon Fiber Reinforced Plastic. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. 42:1. 55-70. doi: 10.2478/v10254-012-0004-1.
- Kasımzade. A. and Tuhta. S. 2017. OMA of model steel structure retrofitted with CFRP using earthquake simulator. *Earthquakes and Structures*. 12(6). 689–697.
- Kaygusuz. M. 2008. *Yangın Hasarına Uğramış Betonun GFRP ve Epoksi Enjeksiyonu ile Onarım ve Güçlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Erzurum Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum
- Kiran. N. R. 2001. *Analysis and Design of Reinforced Concrete Chimneys*. *Bachelor of Technology major project. Department of Civil Engineering. Indian Institute of Technology Madras*.
- Milani. G. 2010. 3D FE limit analysis model for multi-layer masonry structures reinforced with FRP strips. *International Journal of Mechanical Sciences*. 52:6. 784-803. doi: 10.1016/j.ijmecsci.2010.01.004.
- Milani. G., Fedele. R., Lourenço. P. and Basilio. I. 2014. Experimental and Numerical FE Analyses Of Curved Masonry Prisms and Arches Reinforced With FRP Materials. 9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions. 14–17 October. Mexico.
- Oliveira. D. V., Basilio. I. and Lourenço. P. B. 2010. Experimental Behavior of FRP Strengthened Masonry Arches. *Journal of Composites for Construction*. 14:3. 312-322. doi: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000086.
- Rumman. W. S. 1974. *Reinforced Concrete Chimneys*. *Handbook of Concrete Engineering*. V 15. Van Nostrand Reinhold Company. New York..
- Şengün. İ. 2010. *Betonarme Sanayi Bacalarının Bilgisayar Destekli Tasarımı*. Fen Bilimleri Enstitüsü
- Sipahioğlu. M. 2006. *Betonarme binaların fiber takviyeli polimer sistemi ile onarım ve güçlendirilmesi*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü

- TUHTA. S. (2018). GFRP retrofitting effect on the dynamic characteristics of model steel structure. STEEL AND COMPOSITE STRUCTURES. 28(2). 223–231.
- TUHTA. S., GÜNDAY. F., & PEHLİVAN. N. Ç. (2019). Investigation of CFRP Retrofitting Effect on Masonry Dome on Bending Moment Using Finite Element Method. International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology. 6(6). 0–0.
- TUHTA. S., GÜNDAY. F., & ALİHASSAN. A. M. (2020). System Identification of Model Steel Chimney with Fuzzy Logic. International Journal of Research and Innovation in Applied Science. 0–0.
- TUHTA. S., GÜNDAY. F., & ALİHASSAN. A. M. (2020). The Effect of CFRP Reinforced Concrete Chimney on Modal Parameters Using Finite Element Method. International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology. 0–0.
- Valluzzi. M. R., Valdemarca. M. and Modena. C. 2001. Behavior of Brick Masonry Vaults Strengthened by FRP Laminates. Journal of Composites for Construction. 5:3. 163-169. doi: 10.1061/(ASCE)1090-0268(2001)5:3(163).

ÖZ GEÇMİŞ

Yayınlanmış Çalışmalar:

1. Tuhta. S., Günday. F. & Alihassan. A. M. (2020). System Identification Of Model Steel Chimney With Fuzzy Logic. International Journal Of Research And Innovation In Applied Science. 0-0.
2. Tuhta. S., Günday. F. & Alihassan. A. M. (2020). The Effect Of CFRP Reinforced Concrete Chimney On Modal Parameters Using Finite Element Method. International Journal Of Innovations In Engineering Research And Technology. 0-0.
3. Tuhta. S., Günday. F. & Alihassan. A. M. (2021). The effect of CFRP Reinforced Square Stone Chimney On Modal Parameters Using Finite Element Method. 2nd International Conference On Science Technology And Educational Practices
4. Günday. F. & Alihassan. A. M. (2021). The Effect Of GFRP Reinforced Square Concrete Chimney On Modal Parameters Using Finite Element Method. 2nd International Conference On Science Technology And Educational Practices

Kazanılan Ödüller, Teşvikler ve Burslar

1. **Gazze Filistin Üniversitesi'nde lisans eğitimi için başarılı burs.**
2. **YTB tarafından yüksek lisans eğitimi için başarılı burs.**