

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



**BFRP İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME  
MENFEZLERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE  
İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

**Fuad BAKKOUR**

Danışman

**Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA**

SAMSUN  
2022

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans 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 davranılmadığımı taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet  (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır

İmza

... /... / 20...

Fuad BAKKOUR

## TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

**Tez Başlığı :** BFRP İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME MENFEZLERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 31 /05 /2022 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 19

Tek kaynak oranı : % 3 çıkmıştır.

İmza

31 /05 / 2022

Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA

## ÖZET

### BFRP İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME MENFEZLERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Fuad BAKKOUR  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Yüksek Lisans, Haziran/2022  
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA

Depremler, doğal afetler, olumsuz çevre koşulları yapılarla hasar verilmektedir. Bu yüzden betonarme menfezlerin güçlendirilmesinde günümüzde yeni teknolojiler ve ürünler geliştirilmektedir. Menfezlerin güçlendirilmesi önemli kurallar çerçevesinde yapılmalıdır.

Bu tezde, betonarme menfezlerin güçlendirme yöntemlerinden etkili ve son yıllarda kullanımı yayılmaya başlamış olan BFRP malzemeleri ile güçlendirilmesini ve bu uygulamanın SAP2000 programı ile modal analizi yapılarak sonuçlarının değerlendirilmesini içermektedir. Menfezler agresif ortamlara maruz kalır ve böylece hizmet kaybına neden olur. BFRP malzemelerinin yoğunluğu düşük, mekanik özellikleri çok iyidir, kimyasal maddelere ve korozyona karşı dayanıklıdır. Bu nedenle betonarme menfez hizmet ömrünü artırmak amacıyla BFRP ile güçlendirme yapılmaktadır. İlk olarak menfez ve FRP ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalara yer verilmekte ve konunun önemi vurgulanmaktadır. Ayrıca menfezler hakkında genel bilgilere yer verilmiştir. Daha sonra FRP ile ilgili gerekli açıklamalar yapılmıştır. Menfezin uzunluğu 12 m, menfez yüksekliği 3.5 m, genişliği 3.2 m, menfez kalınlığı 0,15 m ve betonarme menfez üzerindeki toprak yüksekliği 0.70 m dir. Kullanılan beton C30 dur. Uygulanacak BFRP kalınlığı 4 mm dir. Bu çalışmada betonarme kutu menfezinin yüzeylerini bir BFRP tabakası ile güçlendirilerek sonlu elemanlar metodu ile analiz yapılmıştır. Sonlu elemanlar metodu ile BFRP' siz betonarme menfezin analizini yapılarak menfezinin iki durumunun dinamik parametrelerini karşılaştırılmıştır. Son olarak, BFRP ile güçlendirme yapılmadan önce ve güçlendirme yapıldıktan sonra menfezin gerilme, kesme kuvveti ve momentler SAP2000 programını kullanarak hesaplanmıştır. Güçlendirme yapıldıktan sonra periyodunun %3.6-%16.8 oranında azaldığı, Mmax değerlerini %38 oranında azaldığı, Smax değerlerini %16 oranında azaldığı ve Vmax değerlerini yaklaşık olarak %1 oranında arttığı görülmektedir. Betonarme kutu menfezin bir BFRP tabakası ile güçlendirilmesinden sonra menfezinin rijitliğinde ciddi bir artış görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler:** BFRP, Modal Analiz, Güçlendirme, Betonarme Menfez, Sonlu Elemanlar Metodu, SAP2000.

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF BFRP REINFORCED CONCRETE CULVERTS BY FINITE ELEMENT METHOD

Fuad BAKKOUR  
Ondokuz Mayıs University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Civil Engineering  
Master, June/2022  
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Üyesi Sertaç TUHTA

Earthquakes, natural disasters, and adverse environmental conditions damage the structures, so new technologies and products are being developed for the reinforcement of concrete culverts. Strengthening the culverts is important and should be done within the framework of certain rules.

This study includes reinforcement of concrete culverts with BFRP materials, which is one of the effective reinforcement methods and whose use has began to spread in recent years, and the evaluation of the results of this application by making modal analysis with the SAP2000 program. Culverts are exposed to aggressive environments, resulting in loss of service. BFRP materials have low density, good mechanical properties, and are resistant to chemicals and corrosion. For this reason, reinforcement is made with BFRP in order to increase the concrete culvert service life. First, previous studies on culvert and FRP are given, and the subject's importance is emphasized. In addition, general information about the culverts is given. Then, necessary explanations about FRP were made. The length of the concrete culvert is 12 m, the height of the concrete culvert is 3.5 m, the width is 3.2 m, the thickness of the concrete culvert is 0.15 m and the soil height above the concrete culvert is 0.70 m. The concrete used is C30. The BFRP thickness to be applied is 4 mm. In this study, the surfaces of the concrete box culvert were strengthened with a BFRP layer and analyzed using the finite element method. The dynamic parameters of the two cases of the culvert were compared by analyzing the concrete culvert without BFRP with the same method. Finally, the culvert's stress, shear forces, and moments were calculated using the SAP2000 program before and after the reinforcement with BFRP. It is seen that the period decreased by 3.6%-16.8%, the  $M_{max}$  value decreased by 38%, the  $S_{max}$  value decreased by %16, and the  $V_{max}$  value increased by approximately 1%, after strengthening. A significant increase in the rigidity of the culvert was observed after the surfaces of the concrete culvert were reinforced with a layer of BFRP.

**Keywords:** BFRP, Modal Analysis, Strengthening, Concrete Culvert, Finite Element Method, SAP2000.

## **ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR**

Araştırma konusunun belirlenmesi sürecinden tamamlanmasına kadar her aşamada bana yol gösteren, desteklerini ve emeğini esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Sertaç TUHTA'ya gönülden teşekkür ederim. Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi olarak yanımda olan ve beni daima destekleyen annem, babam ve kardeşlerime sonsuz teşekkürler. Bu tez çalışmasının Türkiye'ye faydalı olmasını temenni ederim.

Fuad BAKKOUR

# İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI .....	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI .....	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI .....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
TABLolar DİZİNİ .....	xi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KONU İLE İLGİLİ DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>2</b>
2.1. Menfezler ile İlgili Çalışmalar .....	2
2.2. FRP Malzemelerin İnşaat Mühendisliği Sektöründe Kullanımı ile İlgili Çalışmalar .....	5
<b>3. MENFEZLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER .....</b>	<b>6</b>
3.1. Tariçe .....	6
3.2. Menfez Çeşitleri .....	8
3.2.1. Boru Menfezler .....	8
3.2.2. Kutu (Box) Menfezler .....	9
3.2.3. Kemer Menfezler .....	10
3.2.4. Tabliyeli Menfezler .....	11
3.3. Menfez Tasarımı .....	12
3.3.1. Malzeme Seçimi .....	12
3.3.2. Menfezlerin Yatay ve Düşey Yerleşimi .....	13
3.4. Menfez İşletme Koşulları .....	16
3.5. Menfezlerde Giriş ve Çıkış Yapıları .....	18
3.5.1. Menfez Girişlerinde Koruma .....	19
3.5.2. Menfez Çıkış Ağzlarında Koruma .....	20
3.6. Menfezlerin Hidrolik Tasarımı ve Taşkın Debilerinin Belirlenmesi .....	20
3.7. Menfezlere Etkiyen Yükler .....	21
3.7.1. Dolgu Yüğü .....	21
3.7.2. Yanal Toprak Basıncı .....	21
3.7.3. Su Yüğü .....	22
3.7.4. Hareketli Yüğü .....	22
3.7.5. Deprem Etkisi Altında Dinamik Toprak İtkisi .....	22
3.8. Muayene Sıklığı, Temel Ölçümler ve Muayene Geçmişi .....	23
3.9. Özel Muayene Ögeleri ve Fiziksel Koşulların Değerlendirilmesi .....	24
3.9.1. Korozyon .....	24
3.9.2. Aşınma .....	24
3.9.3. Kaplama Kaybı .....	24
3.9.4. Çatlaklar .....	24
3.9.5. Uygun Hizalama .....	24
<b>4. FRP (FİBER REİNFORCED POLYMER) .....</b>	<b>25</b>
4.1. FRP' nin Tariçesi .....	26
4.2. Lifler .....	26
4.3. Matris .....	26
4.4. FRP Çeşitleri ve Özellikleri .....	27
4.4.1. Karbon Fiberler (CFRP) .....	27
4.4.2. Cam Fiberler (GFRP) .....	28
4.4.3. Aramid Fiberler (AFRP) .....	29
4.4.4. Bazalt Fiberler (BFRP) .....	29
4.5. FRP Şekilleri .....	30
4.5.1. FRP Levhalar .....	30

4.5.2. FRP Çubukları .....	31
4.5.3. FRP Kabloları .....	31
4.5.4. FRP Kompozit Izgara .....	32
4.6. FRP Kompozit Yapılar .....	32
4.7. FRP ile Güçlendirme.....	32
4.7.1. Güçlendirme Projelerinde FRP Kullanımının Artmasına Neden Olan Temel Faktörler:.....	33
4.7.2. FRP Güçlendirme Sisteminin Avantajları.....	34
4.8. Fiber Takviyeli Polimerlerin Güçlendirme Uygulamaları .....	34
4.8.1. FRP Çubuklar ile Güçlendirme.....	34
4.8.2. FRP Şeritler ile Güçlendirme.....	35
<b>5. MATERYAL, METOD VE UYGULAMA.....</b>	<b>35</b>
5.1. Materyal .....	35
5.1.1. Betonarme .....	35
5.1.2. BFRP.....	36
5.2. Metot.....	36
5.3. Uygulama.....	37
<b>6. BFRP' Lİ VE BFRP' SİZ BETON MENFEZİN KARŞILAŞTIRMALARI .....</b>	<b>38</b>
6.1. Modların Karşılaştırılması.....	38
6.1.1. Mod 1 karşılaştırılması.....	38
6.1.2. Mod 2 karşılaştırılması.....	40
6.1.3. Mod 3 karşılaştırılması.....	42
6.1.4. Mod 4 karşılaştırılması.....	43
6.1.5. Mod 5 karşılaştırılması.....	45
6.1.6. Mod 6 karşılaştırılması.....	46
6.1.7. Mod 7 karşılaştırılması.....	48
6.1.8. Mod 8 karşılaştırılması.....	49
6.1.9. Mod 9 karşılaştırılması.....	51
6.1.10. Mod 10 karşılaştırılması.....	52
6.1.11. Mod 11 karşılaştırılması.....	54
6.1.12. Mod 12 karşılaştırılması.....	55
6.2. Maksimum Moment ( $M_{max}$ ) Karşılaştırılması .....	57
6.3. Maksimum Gerilme ( $S_{max}$ ) Karşılaştırılması .....	59
6.4. Maksimum Kesme Kuvveti ( $V_{max}$ ) Karşılaştırılması.....	61
6.5. Yerdeğiştirme Karşılaştırılması .....	63
<b>7. SONUÇ .....</b>	<b>65</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>66</b>
<b>ÖZ GEÇMİŞ.....</b>	<b>69</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Isıl Genleşme Katsayısı
AFRP	: Aramid Fiber Reinforcement Polymer
CFRP	: Carbon Fiber Reinforcement Polymer
$D_k$	: Kritik Akış Yüksekliği
$D_n$	: Normal Su Yüksekliği
E	: Elastisite Modülü
G	: Kayma Modülü
GFRP	: Glass Fiber Reinforcement
H	: Menfez Yüksekliği
$H_w$	: Giriş Suyu Yüksekliği
LP	: Lifli Polymer
M	: Moment
SAP2000	: Structural Analysis Program
$T_w$	: Çıkış Suyu Yüksekliği
U	: Poisson Oranı
V	: Kesme Kuvveti
$V_k$	: Menfez Kesitindeki Kritik Hız
$\gamma$	: Zeminin Birim Hacim Ağırlığı
$\alpha$	: Asal Gerilme Doğrultusundan Sapma Açısı
$\sigma$	: Gerilme

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Menfez örneği.....	2
Şekil 3.1. Boru menfez.....	9
Şekil 3.2. Kutu kesitli betonarme menfez.....	10
Şekil 3.3. Kemer mefez.....	11
Şekil 3.4. Tabliyeli menfez.....	11
Şekil 3.5. Menfezlerin yatay yerleşimi.....	14
Şekil 3.6. Menfezlerin düşey yerleşimi.....	15
Şekil 3.7. Giriş kontrollü menfez işletme koşulları.....	16
Şekil 3.8. Çıkış kontrollü menfez işletme koşulları.....	17
Şekil 3.9. Menfez girişinde akım kontrolü.....	19
Şekil 3.10. Menfez girişi - plan.....	19
Şekil 3.11. Sükûnet, aktif ve pasif durumlarında yanak toprak basıncı.....	22
Şekil 4.1. FRP oluşumu.....	26
Şekil 4.2. Karbon lifleri örneği.....	28
Şekil 4.3. Cam lifleri örneği.....	28
Şekil 4.4. Aramid lifleri örneği.....	29
Şekil 4.5. Bazalt lifleri örneği.....	30
Şekil 5.1. Menfez 3D modeli.....	37
Şekil 6.1. BFRP' siz 1. mod menfez deformasyonu.....	39
Şekil 6.2. BFRP' li 1. mod menfez deformasyonu.....	40
Şekil 6.3. BFRP' siz 2. mod menfez deformasyonu.....	41
Şekil 6.4. BFRP' li 2. mod menfez deformasyonu.....	41
Şekil 6.5. BFRP' siz 3. mod menfez deformasyonu.....	42
Şekil 6.6. BFRP' li 3. mod menfez deformasyonu.....	43
Şekil 6.7. BFRP' siz 4. mod menfez deformasyonu.....	44
Şekil 6.8. BFRP' li 4. mod menfez deformasyonu.....	44
Şekil 6.9. BFRP' siz 5. mod menfez deformasyonu.....	45
Şekil 6.10. BFRP' li 5. mod menfez deformasyonu.....	46
Şekil 6.11. BFRP' siz 6. mod menfez deformasyonu.....	47

Şekil 6.12. BFRP' li 6. mod menfez deformasyonu .....	47
Şekil 6.13. BFRP' siz 7. mod menfez deformasyonu .....	48
Şekil 6.14. BFRP' li 7. mod menfez deformasyonu .....	49
Şekil 6.15. BFRP' siz 8. mod menfez deformasyonu .....	50
Şekil 6.16. BFRP' li 8. mod menfez deformasyonu .....	50
Şekil 6.17. BFRP' siz 9. mod menfez deformasyonu .....	51
Şekil 6.18. BFRP' li 9. mod menfez deformasyonu .....	52
Şekil 6.19. BFRP' siz 10. mod menfez deformasyonu .....	53
Şekil 6.20. BFRP' li 10. mod menfez deformasyonu .....	53
Şekil 6.21. BFRP' siz 11. mod menfez deformasyonu .....	54
Şekil 6.22. BFRP' li 11. mod menfez deformasyonu .....	55
Şekil 6.23. BFRP' siz 12. mod menfez deformasyonu .....	56
Şekil 6.24. BFRP' li 12. mod menfez deformasyonu .....	56
Şekil 6.25. BFRP' siz Mmax diyagramı .....	57
Şekil 6.26. BFRP' li Mmax diyagramı .....	58
Şekil 6.27. BFRP' siz Smax diyagramı.....	59
Şekil 6.28. BFRP takviyeli Smax diyagramı .....	60
Şekil 6.29. BFRP' siz Vmax diyagramı .....	61
Şekil 6.30. BFRP' li Vmax diyagramı .....	62
Şekil 6.31. BFRP' siz yerdeğiştirme diyagramı.....	63
Şekil 6.32. BFRP' li yerdeğiştirme diyagramı .....	64

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 5.1. Betonarme ve BFRP tabakalarının kalınlıkları.....	37
Tablo 5.2. BFRP menfeze uygulanmadan önce periyot ve frekans değerleri.....	38
Tablo 5.3. BFRP menfeze uyguladıktan sonra periyot ve frekans değerleri.....	38
Tablo 6.1. Mod 1' nin periyot ve frekans değerleri karşılaştırması .....	40
Tablo 6.2. Mod 2' nin periyot ve frekans değerleri karşılaştırması .....	42
Tablo 6.3. Mod 3' nün periyot ve frekans değerleri karşılaştırması .....	43
Tablo 6.4. Mod 4' nün periyot ve frekans değerleri karşılaştırması .....	45
Tablo 6.5. Mod 5' nin periyot ve frekans değerleri karşılaştırması .....	46
Tablo 6.6. Mod 6' nın periyot ve frekans değerleri karşılaştırması .....	48
Tablo 6.7. Mod 7' nin periyot ve frekans değerleri karşılaştırması .....	49
Tablo 6.8. Mod 8' nin periyot ve frekans değerleri karşılaştırması .....	51
Tablo 6.9. Mod 9' nun periyot ve frekans değerleri karşılaştırması .....	52
Tablo 6.10. Mod 10' nun periyot ve frekans değerleri karşılaştırması .....	54
Tablo 6.11. Mod 11' nin periyot ve frekans değerleri karşılaştırması .....	55
Tablo 6.12. Mod 12' nin periyot ve frekans değerleri karşılaştırması .....	56
Tablo 6.13. Mmax değerlerinin karşılaştırması .....	58
Tablo 6.14. Smax değerlerinin karşılatırılması .....	60
Tablo 6.15. Vmax değerlerinin karşılaştırması .....	62
Tablo 6.16. Yerdeğiştirme değerlerinin karşılaştırması .....	64

# 1. GİRİŞ

Menfezler, karayolları veya demiryolları altında inşa edilen tünel benzeri geçiş yapıları olarak bilinmektedir. Menfezler genellikle küçük yapılar olarak kabul edilir ancak drenaj ve karayolu tesisinin bütünlüğü için büyük önem taşımaktadır. Özellikle yol ve köprü yapımında menfezler çok önemlidir. Menfezler uygun bir şekilde tasarlandığında yağışların vereceği zararlar önlenmiş olacaktır. Menfezler genellikle farklı yapılara uygun olarak farklı boyutlarda ve farklı şekillerde hazırlanmaktadır. Menfezler hidrolik bir tasarıma sahip olduklarından yağış ve su akışına karşı önemli bir bariyer görevi görmektedir. Menfezler genellikle betonarme, oluklu metal ve taş gibi çeşitli malzemelerden yapılır. Oluklu metal veya betonarme yapılan bu menfezlerin çoğu yüksek oranda bozulmaktadır. Menfezler agresif ortamlara maruz kalır (örneğin, yüksek neme maruz kalması, kuru-ıslak çevrim, çelik kaplamanın aşınması). Menfezler nem, sıcaklık ve klorürler metal boruların veya betonarme yapılarde çelik donatının korozyonunu hızlandırır ve sonunda hizmet kaybına yol açar. Ayrıca depremler, doğal afetler ve çevresel durumlar menfezlere zarar vermektedir. FRP malzemeler düşük yoğunluklu, yüksek mekanik özelliklere sahip olup kimyasal maddelere ve korozyona karşı dayanıklıdır. Ayrıca esnek olduğu için hızlı bir şekilde uygulanabilir. Bu nedenle betonarme kutu menfezlerin güçlendirilmesi için uygundur. BFRP malzemesinin betonarme kutu menfeze katkıları değerlendirilecektir. Bazalt elyaf takviyeli polimer (BFRP), betonarme menfez dahil olmak üzere birçok yapı için önemli ölçüde incelenmiştir. Betonarme menfez bir BFRP tabakası ile güçlendirerek dinamik davranışını belirlemek için sonlu elemanlar analizi kullanılmıştır. Dinamik parametreler, BFRP ile güçlendirme yapılmadan öncesi ve BFRP menfeze uygulandıktan sonra her iki durum arasında karşılaştırılmaktadır. Dinamik davranışların güçlendirme öncesi ve sonrası tüm etkili değişkenler (periyot, mod şekli vb.) analiz edilerek farklılıklar ortaya çıkarılmıştır. BFRP malzemeler için uygun yüzey hazırlığı çok önemlidir.



Şekil 1.1. Menfez örneği

## 2. KONU İLE İLGİLİ DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Bu kısımda, konu ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar sunulmaktadır. Çalışmalar iki bölüme ayrılmıştır. İlk olarak menfezler ile ilgili çalışmalar, ikinci bölümde ise FRP malzeme üzerine yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

### 2.1. Menfezler ile İlgili Çalışmalar

Yaşar' ın (1993) yaptığı çalışmada, menfezlerin genel özellikleri detaylandırılmış ve menfez kesitlerinin boşaltma kapasiteleri incelenmiştir. Karayollarında bulunan menfezler yapım prensipleri, malzeme çekme mukavemeti, dere yatağı ve dolgu yüksekliği açısından karşılaştırılmıştır. Aynı tahliye kapasitesine sahip çeşitli boyutlardaki kemer, kutu köprü menfezlerinin yapım maliyetleri hesaplanmış ve kendi içinde karşılaştırılmıştır. İnce ve iri agregaların taşıma mesafesinin toplam inşaat maliyetine etkisi araştırılmıştır. Menfez tiplerinin seçiminde menfezlerin en ekonomik büyüklükleri ve çeşitleri araştırılmıştır.

Tosun (2002) yaptığı çalışmada, menfezlerin hidrolik tasarımı ve analizinde kullanılan yöntemler incelenmiştir. Çalışma, Bodhaine'in laboratuvar çalışmalarına dayanan bir görsel yazılım programı geliştirilerek yapılmıştır. Elde edilen bulgular deneysel çalışmalar ve mevcut yazılımlarla karşılaştırılarak yazılımın performansı araştırılmıştır. Ayrıca Türkiye Devlet Su İşleri ve Karayolları Genel Müdürlüğü' nde kullanılan çözüm prosedürleri rapor edilmiştir. Daha kullanışlı bir yazılım geliştirmek ve çalışma süresini kısaltmak için yazılıma Türkiye illerinin yağış verilerini içeren hidrolojik bir modül eklenmiştir.

Aşkan (1996) yaptığı çalışmada, taşkın hesaplama yöntemleri incelenmiştir. Taşkın hesaplama yöntemleri olarak; beş farklı alan için DSİ Sentetik, Mockus ve

Rational yöntemleri uygulanmış ve menfezler buna göre tasarlanmıştır. Yüzeysel veya yeraltında akan su, hem şehir içi yollarda hem de yoğun yollarda zararlı bir unsurdur. Yeraltı ve yüzey suları, dolgu malzemesini doygun yol temeli için kullanılabilir hale getirir. Yüzeysel suların uzaklaştırılması için yapılan menfezler, taşkın olasılıklarına göre tasarlanmalıdır. Menfezler genellikle yolun ve küçük akarsuların geçtiği yerlere inşa edilir bu nedenle taşkın tabanları nispeten daha küçüktür. En güvenilir yöntem belirlenmiş ve menfezler buna göre tasarlanmıştır.

Gül'ün (1999) çalışmasında, Aydın-Denizli Karayolu genelindeki bazı menfez konumları, gerçek olguyu örneklendirmek amacıyla seçilerek hem elle hesaplanarak hem de üç yazılım kullanılarak yeniden tasarlanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Özcan'ın (2003) çalışmasında, menfezler taşkın olasılıklarına göre tasarlanmıştır. Akış gözlem istasyonlarının olmaması nedeniyle akış verileri tam olarak oluşturulamamaktadır. Malatya Gölbaşı yolu üzerindeki Şaşkaya deresi ile Konya-Aksaray yolunu kesen dereler 10 ve 100 yıllık tasarım debilerinin tahmininde Snyder yöntemi kullanılamamıştır. Çünkü bu yöntem, akış katsayısının belirlenmesi için taşkın hidrografına ve akış verilerinin istatistiksel yöntemlerine ihtiyaç duyar. Yukarıdaki akışlar için Rational, Mockus ve Sentetik yöntemler uygulanmıştır. Mockus yönteminin diğerlerine göre daha yüksek debi değerleri verdiği sonucuna varılmıştır.

Öztürk'ün (2001) çalışmasında, en önemli karayolu çapraz drenaj yapılarından biri olan menfezin hidroliği hidrolik açıdan incelenmiştir. Ortaya çıkan problemlerden dolayı menfezlerin hidrolik hassasiyetin tasarım ve uygulamada dikkate alınmadığı açıkça görülmektedir. Menfezlerin tasarım aşamasında hidrolik hesaplarda tepe debinin yanı sıra olası debiler de dikkate alınmalıdır. Otoyol menfezlerinin tasarımı için geliştirilen mevcut yazılımlar; HY8 tatmin edici tasarımlar sunar, önemli ölçüde zaman kazandırır, farklı alternatifler sunar ve yapılan tasarımı klasik yaklaşımla karşılaştırma imkanı vermektedir.

Çalışkan'ın (2007) çalışmasında, karayolu ulaşım sistemlerinin drenaj sistemleri incelenmiş ve bu sistemlerin hidrolik tasarım ilkeleri tanımlanmıştır. Türkiye' deki drenaj yapıları, menfezler ve köprülerin hidrolik tasarım aşaması ile ilgili sorunlar değerlendirmiştir. Türkiye' deki karayollarının drenaj sistemlerinin hesap yöntemleri

ve tasarım ilkeleri kendi kapsamlarında yeterli olmakla birlikte bazı aşamalarda tasarım ilkeleri ile ilgili bazı eksik noktalar tespit edilmiştir.

Kolate vd. (2014) çalışmalarında, kutu menfezlerin dağılım açısı veya etkin hareketli yük genişliği, toprak basıncının etkisi ve kutu menfezlerin üst levhasında sağlanan yastık derinliği gibi bazı tasarım parametrelerinin incelenmesini ele almaktadır.

Simpson ve. (2017) çalışmalarında, hasarlı iki betonarme boru kesitli menfezler, astarlamadan önce ve sonra yüzey yüklemesi altında gömülmüş ve test edilmiştir. Rehabilitasyon sonrası boruların rijitliği önemli ölçüde artırılmış ve dikey çap deformasyonları %87 ile %93 arasında azaldığı tespit edilmiştir. Kısmen, kayma işlemi sırasında boru menfezdeki önceden var olan çatlakların harç ile doldurulması nedeniyle, mevcut borunun yükün çoğunu taşıdığı tespit edilmiştir. Harç ve beton boru arasında kompozit hareket geliştirilmiştir. Bu deneylerde boruların nihai yük taşıma kapasitesi, boru menfezlerden ziyade kaplamasız zemin yüzeyinin taşıma kapasitesi tarafından yönetilmiştir.

Kheradi vd. (2018) çalışmalarında, mevcut kutu menfezin kısmi zemin iyileştirme yöntemi ile sismik iyileştirilmesi, 2D dinamik simülasyonu, zeminler ve temeller üzerine sarsma testleri incelenmiştir. Elde edilen verilere göre deprem sırasında zemin yapısı etkileşiminin çok önemli olduğunu vurgulanmışlar ve zemin iyileştirmesinin menfezlerin depreme karşı dayanımını artırmaya katkı sağladığını ispatlamışlardır.

Abuhajar vd. (2015) çalışmasında, çok çeşitli koşullar altında kum ile kutu menfezler arasındaki etkileşimi araştırmak için iki farklı kutu menfez kalınlığı ve iki Nevada kum bağıl yoğunluğu kullanılmıştır. Statik yükleme, zeminin kendi ağırlığından ve bir yüzey temelinden gelen ek yükten oluşurken sismik yükleme, her test için yedi deprem sarsıntısı olayının uygulanmıştır. Kutu menfezin tepkileri tüm yükleme koşulları için sonlu eleman yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Sonuçlar eğilme momenti, zemin basıncı ve menfez zemin etkileşim faktörleri açısından değerlendirilmiştir. Bu analizlere dayalı olarak, statik zemin basıncı, statik eğilme momenti ve kutu menfezlerin etrafındaki sismik eğilme momentlerinin tasarım değerlerinin değerlendirilmesine yardımcı olmak için tablolar ve denklemler belirlenmektedir.

## 2.2. FRP Malzemelerin İnşaat Mühendisliği Sektöründe Kullanımı ile İlgili Çalışmalar

Norris vd. (1997) tarafından yapılan çalışmada, ince karbon fiber takviyeli plastik CFRP levhalarla donatılan hasarlı veya düşük mukavemetli beton kirişlerin davranışına ilişkin deneysel ve analitik bir çalışmanın sonuçları belirlenmektedir. CFRP levhalar, eğilme ve kesme mukavemetlerini artırmak için beton kirişlerin gerilim yüzüne ve ağına epoksi yapıştırılmıştır. CFRP levhaların kirişlerin mukavemeti ve sertliği üzerindeki etkisi, kirişin eksenine göre liflerin çeşitli yönleri için dikkate alınır. On dokuz kiriş üretilmiş, beton çatlama dayanımının ötesinde yüklenmiş ve üç farklı CFRP sistemi ile güçlendirilmiştir. Kirişler daha sonra başarısız olacak şekilde yüklenmiştir. Liflerin oryantasyonuna bağlı olarak, farklı kırılma modları ve nihai mukavemette kazanç gözlemlenmiştir.

Xiao ve Wu (2000) tarafından yapılan çalışmada, farklı mukavemet ölçümlerine sahip dairesel kesitler farklı kalınlıklarda CFRP ile sarılmış ve mukavemetin beton kalitesine ve sargı kalınlığı miktarına göre değişkenliği incelenmiştir.

Çetinkaya vd. (2003) çalışmasında, karbon fiber polimer ile gerçekleşen güçlendirmenin kiriş taşıma gücünde önemli ölçüde artışlar yarattığını tespit edilmişlerdir.

Kasımzade ve Tuhta (2005) çalışmalarında, CFRP betonarme kirişler analitik ve deneysel olarak sonlu elemanlar metodu ile incelenmiştir.

Kasımzade ve Tuhta (2005) çalışmalarında, kompozit sargı ile güçlendirilmiş betonarme kolonların performansları incelenmiştir.

Tanarşlan ve Ertutar (2008) çalışmalarında, farklı şekillerde CFRP şeritler ile etriyesiz üretilen 7 adet deney kirişinin kesme kapasitelerindeki değişim incelenmektedir.

Adanur vd. (2011) çalışmalarında, asma köprü uygulamalarında FRP kompozitlerinin kullanılabilirliğini değerlendirilmektedir. Bu, biri FRP kompozitinden ve diğeri çelikten yapılmış iki özdeş uzun açıklıklı asma köprüünün FEM kullanılarak statik ve dinamik yükler altındaki tepkisi karşılaştırılarak gerçekleştirilmektedir. Sayısal sonuçlar, iki köprüünün tepkilerinin farklı olduğunu ve çelik köprü için elde edilen tepki değerlerinin kompozit köprüye kıyasla nispeten büyük olduğunu göstermiştir. İki köprü modelinin farklı mod dizilerine rağmen,

dinamik analiz sonuçları her iki köprü modelinin de benzer mod şekillerine sahip olduğunu göstermiştir. FRP'li köprü modelinin daha düşük öz ağırlığının bir sonucu olarak, FRP'li kompozit köprü modelinin frekansları çelik köprü modelinden daha büyüktür.

Günaydın vd. (2015) çalışmalarında, çelik ve cam elyaf takviyeli polimer kompozit GFRP malzemelerin kullanıldığı yaya köprülerinin geometrik olarak doğrusal olmayan statik ve dinamik analiz sonuçlarının belirlenmesi ve karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Sayısal sonuçlar, üç köprüünün tepkilerinin farklı olduğunu ve GFRP kompozit köprü için elde edilen tepki değerlerinin çelik köprüye göre oldukça düşük olduğunu göstermiştir. Yaya köprülerinde GFRP malzemesinin çelikten daha kullanışlı olduğu anlaşılmıştır.

Kasımzade ve Tuhta (2017) çalışmalarında, OMA' nın CFRP ile takviye yapılmış yapıların periyodunu ve rijitliğini değerlendirmek amacıyla kullanılabileceği gösterilmiştir.

Arslan vd. (2017) yaptıkları çalışmada, hasarlı çelik donatlı betonarme kirişlerin onarımının ve CFRP ile yapılan güçlendirmenin kiriş davranışı üzerindeki etkisini araştırılmıştır.

Abdurra' uf ve M. Gora (2018) çalışmalarında, cam elyaf takviyeli polimer GFRP levhalarla çevrili dikdörtgen betonarme kolonların eşmerkezli ve eksantrik yükleme altındaki davranışını simüle etmek için üç boyutlu bir FE modeli geliştirilmiştir. FE analiz sonuçları, GFRP kaplamanın beton kopmasını geciktirerek takviyeli kolonların performansını önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir.

Bakkour ve Tuhta (2022) çalışmalarında, GFRP ile güçlendirilmiş betonarme kutu menfezin modal parametrelerinin sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir.

### **3. MENFEZLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER**

#### **3.1. Tarihçe**

Menfezler, yüzyıllardır drenaj için kullanılan karayollarının altında dere ve diğer suları taşımak için kullanılan küçük yapılardır. Menfezler, kutu ve boru olmak üzere iki temel şekilde üretilir. Boru menfezleri, daha sonra dolgu ve yol ile kaplanan dairesel veya elips şekilli yapılar olabilir. Onları daha uzun yapmak için, çok hücreli menfezler oluşturmak için yan yana birkaç boru dönebilir. 1800' lerin ortalarından

önce boru menfezleri ahşap veya vitrifiye kilden yapılmıştı, ancak on dokuzuncu yüzyılın sonunda dökme demir ve beton gibi daha dayanıklı, prefabrik malzemeler kullanılıyordu. Romalılar, bağlayıcı özelliklerini keşfettikleri çimentonun bugünkü şeklini yakın bir şekil geliştirmişler ve kentlerinde binaların, geçitlerin, su kanallarının ve farklı yapıların yapımında kullanmaya başlamışlar. Romalılar tarafından kullanılan geçit yapılar gibi kanallar temel olarak ilk menfez yapısının esasını gerçekleştirmektedir. Bugünkü şekiline benzer bir yapıya sahip menfezin ilk örneği 1842 yılında ABD' nin New York şehrinde beton borular kullanılarak gerçekleştirilmiştir (ASCE, 2008).

Metal, yirminci yüzyılda tanıtıldı ve şu anda çoğu boru menfezi beton, takviyesiz ve takviyeli veya oluklu metalden yapılmıştır. Menfezler tarihsel olarak demiryolları ve yollar dahil olmak üzere ulaşım tesislerinin drenajını iyileştirmek için kullanılmıştır. 1867 yılında Fransız Joseph Monier tarafından patenti alınan çelik hasır betonarme blok üretim düşüncesi sonucunda betonarme menfezlerin ilkeleri konulmuştur. Bu gelişme ile Fransızlar 1896 yılında betonarme borular üretiminde çelik donatı kullanılarak daha güçlü menfezlerin yaptırmaya sağlamıştır. 1900' lü yılların başında betonarme boruların bol miktarda üretimi ile bu yaratıcılık bir çok ülkelere yayılmaya başlamış ve betonarme menfezler yapılmaya başlanmıştır. 1960' larda, beton boru menfezleri beş adede kadar standart dayanım sınıflandırmasında ve daha geniş çaplarda üretildi, ancak üretim ve kullanımlarının arkasındaki teknoloji zamanla çok az değişti. Daha büyük, çok hücreli boru menfezlerinin yapımı, daha küçük otoyol köprülerinin yerini alabilirdi. Sapma gerektirmeden hızlı bir şekilde kurulabilirler ve toplu prefabrikasyonları nedeniyle kutu menfezlerden daha ucuzdur. Çok hücreli menfezler ayrıca düşük setler veya geniş su yolları altında doğru miktarda drenaj oluşturmak için kullanılır. 1967' ye gelindiğinde, (FHWA) tarafından köprü güvenliğine daha fazla vurgu yapıldıktan sonra, birçok küçük köprünün yerini çoklu menfezler almıştır. Aynı zamanda ilk olarak elips biçimli menfezler üretilmiştir. Eliptik menfezler, su yolu ile yol arasındaki mesafenin sınırlı olduğu veya daha geniş akış alanına ihtiyaç duyulduğunda kullanılabilir. 1970' lere gelindiğinde, menfez ve kanalizasyon için yılda 10 milyon tondan fazla beton boru üretiliyormuş. Şu anda boru menfezleri, otoyol projelerinde hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Menfezler hala tipik olarak bölgesel tesislerde prefabrike edilmekte ve ihtiyaç duydukları yere sevk edilmektedir. Bazı mühendislerin daha dayanıklı ve daha düşük maliyetli bulunduğu

yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) boru da dahil olmak üzere yeni malzemeler kullanım için değerlendirilmektedir.

### **3.2. Menfez Çeşitleri**

Tipik olarak menfezler; Kutu şeklinde, yuvarlak yada eliptik olabilmektedir. Genellikle prefabrikler ve gömülü borulardan, betonarme veya diğer malzemelerden yapılabilirler. Ne amaçla kullanılacağına bağlı olarak şekli ve malzemesi değişebilir. Malzeme seçimi ve türü, maliyet karşılaştırmasına, yapının konumuna, işgücünün mevcudiyetine, zaman kısıtlamalarına ve önerilen tasarıma bağlı olacaktır.

Drenaj için kullanılan menfezlerde hidrolik kapasite en önemli faktördür. Bir menfez, trafiğin üzerinden geçmesi için bir köprü görevi görebilir. Tipik olarak doğal bir su akışında bulunurlar ve bir köprü veya akım akış kontrolörü amacına hizmet etmektedir.

Menfezler, yuvarlak, eliptik, düz tabanlı, armut biçimli ve kutu benzeri yapılar gibi birçok ve şekilde mevcuttur. Menfezler, yük ve su akış kapasiteleri, yataklama ve dolgunun kullanım ömrü ve kurulumuna göre yapılmaktadır. Tip, hidrolik, memba yüksekliği ve yol yüksekliği ve diğer koşullar dahil olmak üzere bir dizi faktöre dayanmaktadır (Özel, 2019).

Aşağıda, en yaygın Menfez türleri bulunmaktadır:

Boru Menfezi (tek veya çoklu)

Kutu Menfezi (tek veya çoklu)

Kemer Menfezi

Tabliyeli Menfezi (Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013).

#### **3.2.1. Boru Menfezler**

Boru menfezler, rekabetçi fiyat ve kolay kurulum nedeniyle en yaygın menfez türüdür. Dairesel, eliptik ve boru kemer gibi farklı şekillerde bulunurlar. Genel olarak şekilleri, saha koşullarına ve kısıtlamalarına bağlıdır. Bu nedenle yol bölgesinde eğer dolgu yüksekliği az ise uygulanırlar. Dairesel menfezlerin çapları 0.60-0.80-1.00-1.20 m olabilir. Boru menfezlerinin kırılması ve çatlaması muhtemel olduğundan hareketli yüklerin ağırlığı önemlidir. (Özel, 2019). Boru kemer menfezlerinin özellikleri şunlardır:

Sınırlı tavan boşluğu koşulu

Düşük akışta geliştirilmiş hidrolik kapasite

Estetik şekil ve görünüm

Hafif

Kurulumu kolay



Şekil 3.1. Boru menfez

### 3.2.2. Kutu (Box) Menfezler

Kutu menfezler betondan ve özellikle Betonarmeden oluşmaktadır. Ancak beton zeminin sağlamlığından dolayı çok miktarda su beklendiğinde su yönü değiştirilebilir. Bu özelliği kutu menfezleri en yaygın bulunan menfez türlerinden biri yapar. Tek gözlü, iki gözlü ve üç gözlü olarak tasarlanabilirler. Bu çeşit menfezlerde suyun yönünü değiştirmek ve su akışının beklendiği yerlerde kompozit malzeme kullanılabilir. Toprak gevşek bir yapıya sahipse ve açıklığı geniş ise bu tip menfez tercih edilebilir. Açıklığı 1-3 metre aralığındadır ve yüksekliği 0.6-3 metre aralığındadır. Eğer geçilecek mesafe 6 metreyi geçerse ekonomik olmayabilir. Sağlamdır ve montajı kolaydır (Özel, 2019).



Şekil 3.2. Kutu kesitli betonarme menfez

Kutu Menfezin Avantajları:

Kutu Menfezler aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı ekonomiktir:

Kutu menfez sert bir çerçeve yapısıdır ve yapımı çok basittir.

Ovma derinliğinin önemli olmadığı ancak toprağın zayıf olduğu çok yıllık olmayan dereler için uygundur.

Kutu menfezinin alt levhası, toprak üzerindeki basıncı azaltır.

Kutu menfezler rijitlikleri ve monolitik hareketleri nedeniyle ekonomiktir ve ayrı temellere gerek yoktur.

Özel durumlarda, zayıf temellerde kullanılır.

### 3.2.3. Kemer Menfezler

Kemer menfez metal, taş duvar, beton, betonarme vb. malzemelerden oluşur. İnşaatı çok zaman almaz ve kutu menfezden farklı olarak, su akımını bozmadan kurulabileceğinden su yönlendirmeye gerek yoktur. Bu tip menfez, yıkama yatağının doğal bütünlüğünü korur. Kemer menfezleri yüksek dolguların altında uygulanırlar. (Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013). Geleneksel kutu menfezlere ve boru menfezlere göre kemer menfez kullanmanın avantajları şunlardır:

Tasarruf

Hızlandırılmış inşaat programı

Daha yüksek hidrolik verimlilik

hoş estetik

Tasarım-inşa avantajı



Şekil 3.3. Kemer mefez

### 3.2.4. Tabliyeli Mefezler

Tabliyeli mefezler, beton veya kagir ayaklar ve dolgu tutacak (ricat) duvarları ile üst tabliyeden oluşmaktadır. Bu mefezler için açıklıkları 1.20 – 15.70 m arasında değişen muhtelif tip projeler geliştirilmiştir. İki kenar ayak mesnet arasındaki mesafe 8 m’ den az ise tabliyeli mefez, 8 m’ den fazla ise köprü olarak isimlendirilir. Mefezlerde tabliye plak şeklindedir. İmalat sırasında “Standart Tabliyeli ve Kemerli Mefez” kitapçığı kullanılmaktadır. (Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013).



Şekil 3.4. Tabliyeli mefez

### **3.3. Menfez Tasarımı**

Menfez ile ilgili, namlu içindeki akışı doğrudan etkileyen bazı özellikler vardır. Bunlardan en önemlileri şekil, malzeme ve giriş yapılandırmalarıdır.

Menfezler çeşitli şekil ve boyutlarda gelir. Yuvarlak borular en yaygın menfez türlerinden birini temsil ederken, kare veya dikdörtgen kutu menfezler de popülerdir. Kemer, eliptik, boru kemer ve modifiye kutu menfez şekilleri ek şekil seçenekleridir. Bu çeşitli seçenekler, tek namluya karşı çok namlulu veya çok hücreli kurulumları kullanma olasılığı ile birleştiğinde, esas olarak menfez şekilleri aralığını kapsar. Bu çalışma boyunca kutu menfezler incelenecektir.

Belirli bir menfez geçişi için seçilen varillerin şekli ve sayısı, sahaya özel belirlemelerdir. Menfez seçimleri tipik olarak, akış bölümü ve geçiş hakkı kısıtlamalarına uyarken mümkün olan en az dikey boşluk alanında mümkün olduğunca en fazla su iletmek için yapılır. Şekil, inşaat maliyetlerine, memba su yüzeyi yükseklik kısıtlamalarına, otoyol set yüksekliğine ve hidrolik performansa göre seçilir. (FHWA, 2012). En iyi özelliklere sahip menfezin seçilmesi için etüt koşulları, yol eğimi, yol dolgu yüksekliği ve doğal dere yatağı gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Aynı anda başka bir işlem yürütülmelidir; yol tasarımı yapılırken drenaj için dere yatağından veya menfezlerden geçen noktalar dikkate alınarak yol dolgusu ayarlanmalıdır.

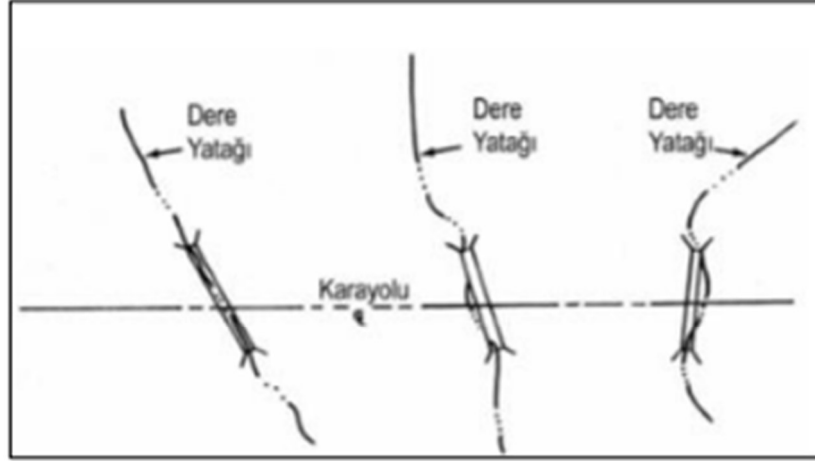
Menfez boyutlandırması doğru bir şekilde tasarlanmazsa, şiddetli yağışlardan sonra dere yataklarında su yükselerek yol dolgusunun aşınmasına, yolun kapanmasına, dolgu veya dolgu altındaki zeminin taşıma kapasitesinin azalmasına neden olur. Menfezler projelendirirken daha çok uygun ölçülerde tasarlanmadığında menfez yakındaki kaplamalarda oturma, bozulmaları ve deformasyonu sebep olabilmektedir. (Karayolu Tasarım El Kitabı, 2005).

#### **3.3.1. Malzeme Seçimi**

Yapısal dayanımı, hidrolik pürüzlülük, korozyon ve aşınma dayanımı ve yapım kolaylığı, menfez malzemesi seçiminde rol oynar. Menfezler, oluklu metal (alüminyum veya çelik), plastik (masif duvar ve profil duvar borusu), beton (güçlendirilmiş ve donatılmamış) ve taş dahil olmak üzere en yaygın kullanılan menfez malzemeleridir (Schall ve diğerleri, 2012). Genellikle çelik menfezler yapısında korozyon ve aşınmayı önlemek amacıyla bu menfezlere asfaltlı beton ile kaplama yapılmaktadır.

### 3.3.2. Menfezlerin Yatay ve Düşey Yerleşimi

Menfezlerin dere yataklarına eğimleri ve yerleşimi de drenaj sistemlerinin düzgün ve yeterli bir şekilde çalışması için çok önemlidir. Menfezlerin yerleşimi uygun biçimde yapılmadığı takdirde menfez kesitleri yeterli olsa bile sistemin doğru ve yeterli bir şekilde çalışmasının engelliyebilecek problemler çıkar ve hidrolik kapasitesi aşılabilir. Menfez yerleşimlerinde bakım kolaylığı, stabilite ve hidrolik verimlilik bakımından menfez yönlerinde ve eğimlerinde ani değişikliklerden kaçınılmalıdır. Doğru eğim değişikliğinin gerekli olduğu yerlerde düzgün ve geniş eğriler kullanılmalıdır. Düzgün ve geniş eğriler kullanarak menfez doğrultusunun değiştirilmesi oluşacak olumsuz etkileri en aza indirecektir. Menfezler birçoğu şu anda bakımsız durumda veya işlevsellikte azalma yaşıyor. Çevredeki arazi ve akış koşullarındaki değişiklikler artan akış kapasitesi gereksinimleriyle sonuçlandığından, diğerleri hidrolik kapasite açısından eskidir. Bu tür yapılar, işlevsel hidrolik performans ve yapısal yeterliliği sağlamak için düzenli olarak denetlenmelidir. Bu yüzden menfezler yerleştirilirken dikkat edilmesi gereken en önemli husus doğal dere yatağıyla düzenli çalışmasını sağlamak amacıyla menfezin doğal dere yatağı üzerine yerleştirilerek yapısal stabiliteyi korurken aynı zamanda da işletme maliyetlerini en aza indirmektir. Bu şartlar her zaman mümkün olmayabilir. Bazı dere yatakları kıvrımlı yapılarından dolayı tek menfez ile geçilemez. Böyle durumlarda doğal dere yataklarındaki düzenlemeler Şekil 3.5' daki görüldüğü gibi yapılmalıdır. Menfez şartları mümkün olduğunca dolgu üzerinde değil, doğal zemin üzerine yerleştirilmelidir (Özel, 2019).



a) Doğal dere yatağı üzerine menfezlerin yerleşimi



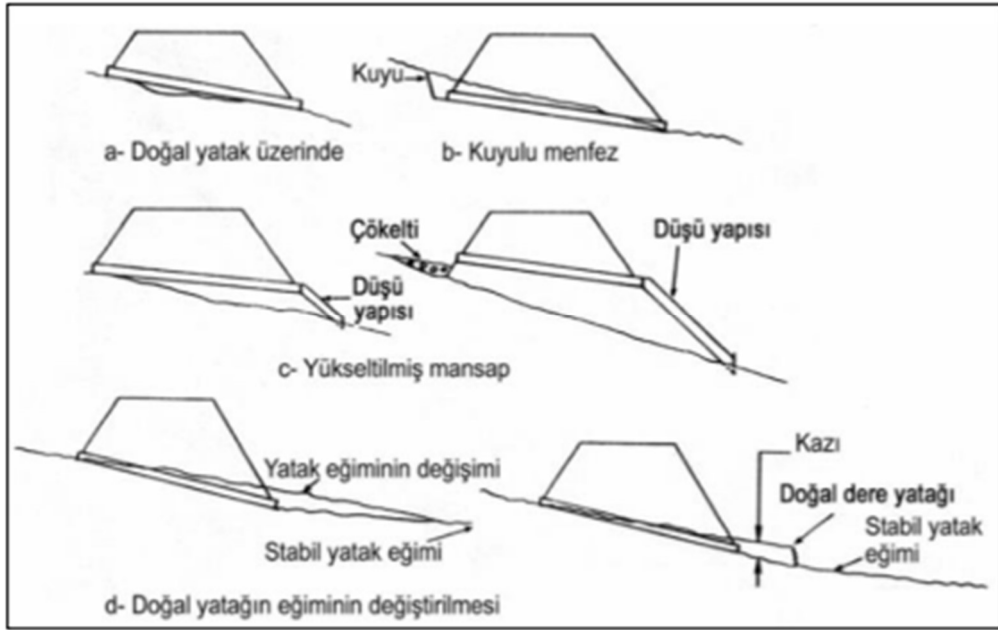
b) Düzenlenmiş dere yatağı üzerinde menfezlerin yerleşimi

Şekil 3.5. Menfezlerin yatay yerleşimi

Menfezlerin eğimleri de planlama aşamasında dikkatlice incelenmeli ve uygun planlama yapılmalıdır. Genel olarak menfezin bulunacağı kısımdaki ve çevredeki arazi menfezin eğimine önemli ölçüde etkilmektedir. Öncelikle menfezin konumlandırılacağı yolun en kesiti bulunmalı ve menfezin eğim aralıkları belirlenmelidir. Belli durumlarda yol en kesiti uygun olmadığı için menfezin konumunda küçük değişiklikler yapılabilir. Menfezlerin düşey yerleşimi Şekil 3.6' te gösterilmiştir. Menfezin eğimi belirlenirken birçok husus dikkate alınmalıdır. Menfezin büyük bir eğiminin seçilmesi akış hızının artmasına, çok küçük bir eğimin seçilmesi sürüntü malzemesinin çökmesine neden olur. Ayrıca menfezin eğimi menfezin taşıma kapasitesini de etkilediğinden, hesaplamalarda menfezin eğiminin değiştirilemediği durumlarda menfezin boyutlarının değiştirilmesi gerekebilir. Sürüntü malzemesinin çökmesini önlemek, kendi kendini temizlemesini sağlamak

ve minimum akış hızlarını gerçekleştirebilmek için minimum menfez eğimi %0.5 yapılmalıdır (KGM, 2005b).

Menfez eğiminin büyük olması akım hızının artmasına neden olur. Aşırı yüksek akım hızlarından kaçınmak için normal koşullarda altında maksimum eğim %10 olmalıdır (KGM, 2005b). Belli durumlarda mevcut akarsu yatak eğiminin bu değerden daha büyük olduğu yerler olabilir. Bu tip durumlarda menfezin dolguya yerleştirilmesi ve menfez çıkışındaki menfez ile doğal yatak kotları arasındaki fark için, çıkış yapısının tasarımında gerekli düzenlemelerin yapılarak oluşabilecek problemler önlenir. Ancak uygulama aşamasında bunun pratik olmadığı durumlarda yukarıda belirtilen maksimum eğim aşılabılır. Bu durumda menfez tabanı dayanıklı hale getirilmesi ve memba kısmındaki dere yatağında dinlenme çukuru, enerji kırıcı vb. önlemler ile suyun akış hızının azaltılmasına çalışılmalıdır. Artan suyun akış hızları için gerekli önlemlerin alınmadığı halde menfezin ve tüm drenaj sisteminin verimli çalışmasını engellemektedir.



Şekil 3.6. Menfezlerin düşey yerleşimi

Oturmaların gerçekleşmesinin beklendiği yüksek dolguların altında, yol dolgusunun oturmasını telafi etmek için menfezlere ters schimler sağlanması gerekebilir.

Her bir menfezin boyunca aynı eğime sahip olmalıdır. Menfezleri kısım kısım yapmak veya bazı kısımlarında farklı eğimlerin kullanılması mümkün değildir. Menfez içerisindeki akım hızını belirli sınırlar içerisinde tutmak büyük önem

taşımaktadır. Su hızının 10 m/s' yi geçtiği durumlarda betonda kavitasyonu önlemek için hız düşürücü önlemlerin alınması gereklidir (KGM, 2005b). Hız düşürücü önlemler alınarak menfez içerisindeki akım hızı düşürülür ve böylece betonda oluşacak kavitasyon sorununun önlenmektedir.

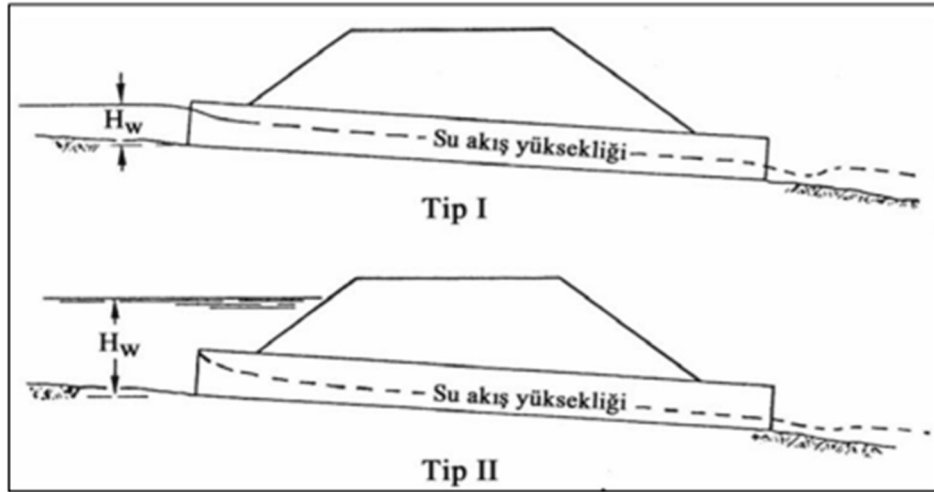
### 3.4. Menfez İşletme Koşulları

Menfezlerdeki akış hızını belirlenmesi ve ebat seçiminin yapılabilmesi için menfezlerin işletme koşullarını belirlenmelidir. Menfez işletme koşulları iki şekile ayrılır.

Giriş kontrollü menfez (Menfez Girişinde Su Kabarması)

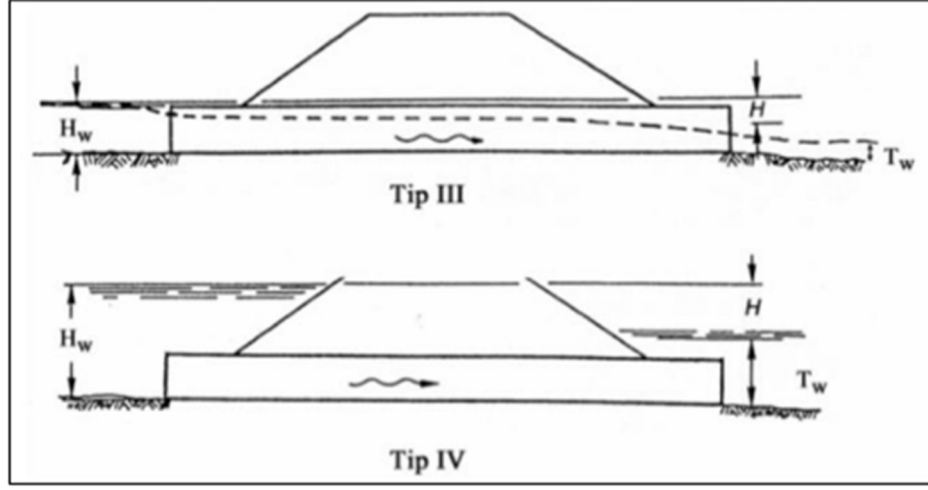
Çıkış kontrollü menfez (Menfez Çıkışında Su Kabarması) (KGM, 2005b).

Karayolu Tasarım El Kitabına (2005)' na göre menfez tasarımında menfez girişinde su kabarmasına izin verilerek hız ve debi hesaplarının buna göre yapılmalıdır. Şekil 3.7' de iki farklı tip giriş kontrollü menfez verilmiştir.



Şekil 3.7. Giriş kontrollü menfez işletme koşulları

Menfezlerin çıkışında zorunlu durumlar dışında suyun kabarmasına izin verilmez. Çıkışta suyun kabarmasına müsaade edildiğinde gerekli önlemler alınmalıdır (Şekil 3.8) (Karayolu Tasarım El Kitabı, 2005).



Şekil 3.8. Çıkış kontrollü menfez işletme koşulları

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8' de gösterildiği gibi menfezlerde akan su yüksekliği değişebilir.

H, menfezdeki su seviyesi ile giriş su seviyesi arasındaki fark olarak tanımlanabilir.

Bu değişiklik giriş suyu yüksekliği ( $H_w$ ), çıkış suyu yüksekliği ( $T_w$ ) ve kritik akış yüksekliği ( $D_k$ ) ile belirlenecektir. Bunlara ek olarak menfezin debisine ve akış hızına bağlı olarak sabit akış su yüksekliğine karşılık gelen normal su yüksekliği ( $D_n$ ) tespit edilecektir. Menfez kesitindeki kritik hız ( $V_k$ ), maksimum debide gerçekleşir.

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8' de verilen 4 tip menfez için işletme koşulları aşağıda verilmiştir (Karayolu Tasarım El Kitabı, 2005).

#### Tip I

1.  $H_w \leq 1.2H$  (H: menfez yüksekliği) olduğunda menfez girişinde kabarma yok veya çok azdır.

2. Doğal dere yatağının çok hafif eğimli ve geniş olduğu yerlerde menfez akımı

3. Kritik hız menfezin çıkışındadır.

#### Tip II

$H_w > 1.2H$  olduğundan menfez girişinde kabarma vardır.

### Tip III

1.  $H_w \leq 1.2H$  olduğundan menfez girişinde kabarma yok veya az
2. Dağlık arazide görülen akım şekli

### Tip IV

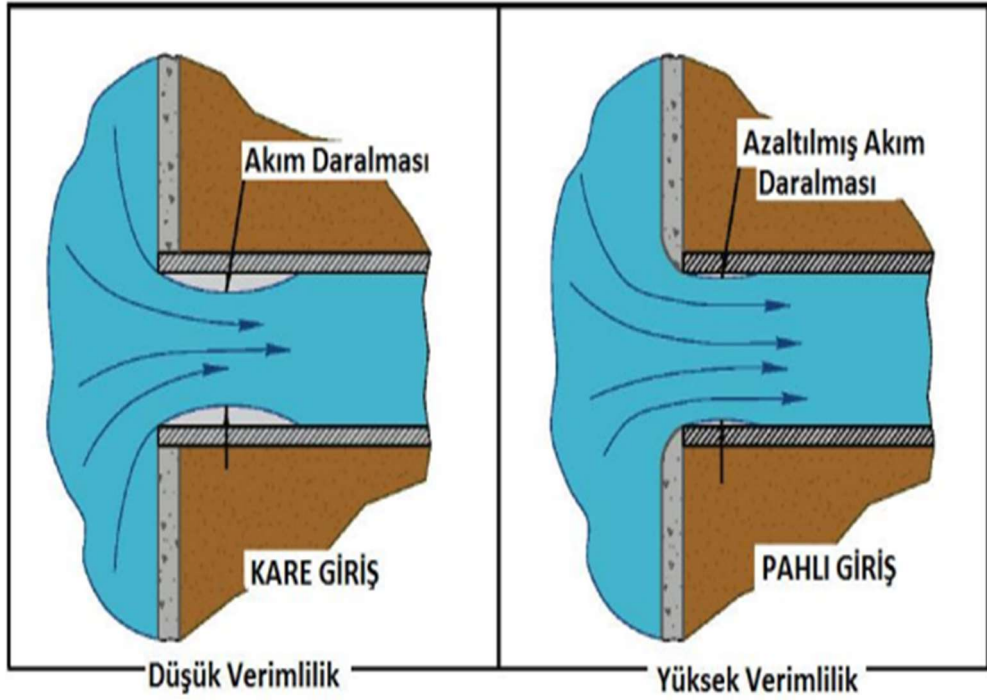
1.  $H_w > 1.2H$  olduğu için girişte kabarma vardır.
2.  $T_w > H$  olduğu için çıkışta kabarma vardır.
3. Bu şartlar altında menfez tam dolu akmaktadır.

Normal su yüksekliği kritik akış yüksekliğinden ( $D_n < D_k$ ) küçük ise menfez girişinde kabarmaya karşı önlem alınması gerekir. Normal su yüksekliği kritik akış yüksekliğinden ( $D_n > D_k$ ) büyük ise menfez çıkışında kabarmaya karşı önlem alınması gerekir. Minimum akım hızını sağlamak için menfez eğimi en az %0.5 olmalıdır.

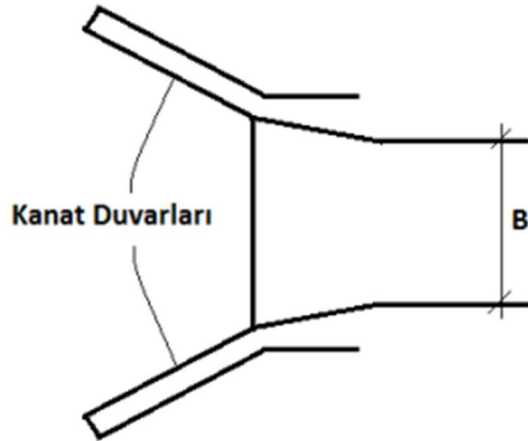
Aşırı akım hızlarını önlemek için maksimum menfez eğimi %10 olması gerekmektedir (Karayolu Tasarım El Kitabı, 2005).

### 3.5. Menfezlerde Giriş ve Çıkış Yapıları

Menfez giriş ve çıkış yapıları tasarlanırken öncelikle yapısal sağlamlığı, erozyon kontrolü ve yol dolgusunu tutma özellikleri dikkate alınması gerekir. Birçok menfez, su altı giriş koşulları altında çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Su yukarı akış ucunda yükseldikçe, giriş ucunda basınç yüksekliği artar ve menfez boyunca ilave akışı zorlar. Menfezler, uygun uç işleme ve şev stabilitesi konularına dikkat edilmesi koşuluyla bu tür akış koşullarında düzgün ve verimli bir şekilde çalışabilir. Menfezlerin girişinde ve menfez temellerinin uzunluğu boyunca oyulma, uygun menfez işlevselliğinin kritik bir yönü olabilir. (FHWA, 2012). Uygun giriş yapısının seçilmesi ile menfezlerin hidrolik kapasiteleri geliştirilebilir. Doğal dere menfez ağzından daha geniş olduğundan girişte akış daralır ve böylece ilk akış kontrolü sağlanır. Kare girişlere nazaran pahlı girişlerde kademeli bir akış geçişi sağlayarak enerji kaybını azaltır ve hidrolik verimliliği artırır (Şekil 3.9). Menfez girişlerinde genellikle enerji kaybını daha da azaltmak amacıyla geliştirilmiş girişler prefabrik yada yerinde dökme imal edilen konik girişler (kanat duvarları) kullanılır (Şekil 3.10). Menfez çıkış yapıları ise akış hızını azaltması, doğal dere akış hızına yaklaştırmak ve dolguları desteklemek için yapılmaktadır. (Özel, 2019).



Şekil 3.9. Menfez girişinde akım kontrolü



Şekil 3.10. Menfez girişi - plan

### 3.5.1. Menfez Girişlerinde Koruma

Yol dolgusunu desteklemek ve yol dolgusunu suyun erozyonundan korumak için menfez girişlerinde kafa ve kanat duvarları yapılır. Konumları menfezin hidrolik karakteri üzerinde etkili olabilir. Genel olarak giriş yapısı, yaklaşım kanalının yerleşimi ve boyutuna, silt ve erozyon kontrolüne, topografik yapıya bağlı olarak tasarlanmaktadır. Menfez girişlerinde yapılacak koruma tedbirleri, menfez girişinde moloz ve silt birikerek menfeze girecek suyun hidrodinamiği bozmaması için

öngörülmektedir. Ancak menfez girişindeki su hızının daha düşük olması nedeniyle küçük boyutlarda gerçekleşen erozyona karşı da etkilidir. Menfez girişlerinde koruma türlerinin seçimi zemin tipine göre yapılmaktadır. Yumuşak veya sert kaya zeminlerde koruma sağlanmazken, diğer zeminlerde taş pere koruma uygulanması tavsiye edilir (KGM, 2005b).

### **3.5.2. Menfez Çıkış Ağzlarında Koruma**

Menfez çıkışlarındaki suyun hızı genel olarak derenin doğal akış hızından daha yüksektir.

Bu durumda dere yatağında erozyona menfez çıkış apronunun altında oyulmaya neden olarak, menfezin düzgün şekilde çalışmasını engeller ve bazı durumlarda dolgunun stabilitesini etkiler. Bu nedenle menfez çıkışlarında koruma yapılmalıdır.

Taş Pere Uygulaması

Enerji Kırıcıli Koruma

Özel Tip Koruma

### **3.6. Menfezlerin Hidrolik Tasarım ve Taşkın Debilerinin Belirlenmesi**

Yol menfezleri, hem hidrolik hem de yapısal açıdan karmaşık mühendislik yapılarıdır. Bir menfezin işlevsel yeterliliği, iletmesi amaçlanan tasarım taşkınının tahmininden daha iyi değildir. Menfezler esas olarak hidrolik borular olarak işlev görür ve suyu bir yolun veya benzer trafik setinin bir tarafından diğerine iletir, bu nedenle menfezler, hidrolik yapılar olarak işlev görmeyen yanı sıra trafik yükü taşıyan yapılar olarak işlev görmeyen ikili amacına hizmet eder. Bu nedenle, uygun inceleme, menfezin hidrolik işlevsellik sorunlarının yanı sıra belirli bir sahadaki menfez malzemesinin tipinin yapısal özelliklerini de hesaba katmalıdır. (FHWA, 2012). Yüzeysel ve yeraltı suları yol dolgusunu suya doygun hale getirecek, trafik yüklerinin etkisiyle boşluk suyu basıncını artırmış olacak, dolayısıyla zeminin içsel sürtünme açısını azaltarak dolgunun taşıma kapasitesinde azalmaya neden olacaktır. Dolayısıyla çökmeler meydana gelerek, maddi ve manevi zararlar meydana gelebilmektedir. Menfezler belirli bir olasılıkla gelebilecek taşkın debisine göre boyutlandırılır. Büyük hasarlardan kaçınmak için taşkın analizi doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. (Öztürk vd, 2003).

Menfez yapıları tasarımı yaparken yola en uygun biçim seçilmesi, ekonomik açılarından en uygun olması ve menfezin verimi dikkate alınmalıdır. Menfezler uygun boyutlarda tasarlanmazsa yüksek yağışlarla birlikte akışa geçen sular yol dolgusunun erozyonuna neden olmaktadır. Dolgunun stabilitesini azaldığında menfez üzerindeki yol kaplamalarında deformasyonlara ve oturmalara neden olabilmektedir (Özel, 2019). Karayolu üzerinde yapılması planlanan menfezlerin tasarımını yapmadan önce sistemdeki yapıyı etkileyebilecek taşkın debilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Taşkın debisinin belirlenmesi, tasarımdaki en karmaşık ve en önemli adımdır. Taşkın debisinin yanlış hesaplanması, inşa edilecek menfezin yanlış tasarımı anlamına gelir.

Debi hesabında hata yapılması ve gerçek değerinden küçük bulunması menfezlerin kapasitesinin yetersiz kalmasına, karayolunun tahribatına sebep olarak can ve mal kaybına neden olabilir. Debinin gerçek debiden daha büyük hesaplanması inşa edilecek menfezin büyük kapasiteye sahip olur ve sonuç olarak ekonomik olmayan bir tasarım yapılmasına neden olacaktır (Çalışkan, 2007).

Yağış sonucu akışa geçen nehirlerde maksimum debi ; Mockus Metodu, DSİ sentetik Metodu, Mc Math yöntemi Snyder Metodu, Rasyonel Metodu ve Snyder Metodu gibi farklı yöntemler kullanılmasıyla hesaplanabilir (Karayolu Tasarım El Kitabı, 2005).

Beklenenden daha düşük miktarda bir debiyi proje debisi olarak dikkate alınması drenaj yapısının kapasitesini düşürecek ve karayolu projesinin hasar görmesine neden olacaktır.

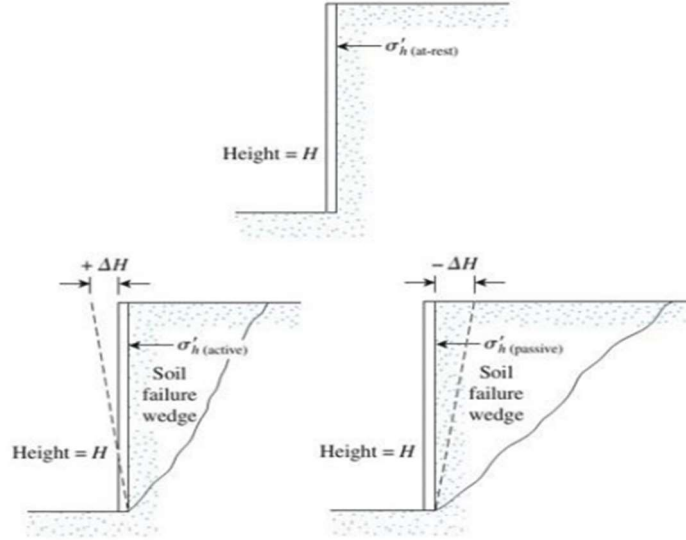
### **3.7. Menfezlere Etkiyen Yükler**

#### **3.7.1. Dolgu Yükü**

Menfez performansı ayrıca doğrudan çevreleyen toprak durumunun ve temel malzemesinin kalitesine de bağlıdır. Menfez üzerindeki yapısal dolgu ağırlığından kaynaklanan bu yükleme, menfezin tavan alanına üniform bir yayılı yük olarak etki eder. Dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ ) ile dolgu yüksekliği (H) çarpılarak birim alana etkiyen yük hesaplanır.

#### **3.7.2. Yanal Toprak Basıncı**

Toprak ile temas halinde olan yapılara etki eden yanal zemin basıncı iki durumda incelenir: aktif ve pasif zemin basıncı. Yanal zemin basınçlarının yapılar üzerindeki etkileri üzerine Coulomb (1776) ve Rankine (1857) tarafından incelemeler ve çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 3.11. Sükûnet, aktif ve pasif durumlarda yanal toprak basıncı

### 3.7.3. Su Yükü

Menfez içerisinden geçen suyun oluşturduğu basınç, menfez taban alanına üniform bir yayılı yük olarak etki eder. Suyun birim hacim ağırlığı ile menfez içerisindeki su yüksekliği çarpılarak birim alana etkiyen yük hesaplanır.

### 3.7.4. Hareketli Yük

Menfeze sürekli etki eden sabit yüklerin ek olarak, genellikle bir menfez üzerinde sadece inşaat sırasında etki eden inşaat yüklerine ek olarak, menfezin üzerinden sürekli olarak geçebilecek hareketli yüklere dayanabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Sabit ve hareketli yükler arasındaki temel fark, sabit yüklerin kalıcı, hareketli yüklerin ise geçici olmasıdır. Hareketli yüklerin iki yaygın biçime ayrılır, yaya yükleri ve taşıt yükleridir. Menfez tasarımında yaya yükleri ihmal edilebilir.

### 3.7.5. Deprem Etkisi Altında Dinamik Toprak İtkisi

Bir deprem sırasında gömülü yapılar üzerinde meydana gelen dinamik etki, toprak hareketlerini de önemli ölçüde değiştirir. Bu nedenle, dinamik durum için

menfez cidarlarına etkiyen toprak itkisi de dikkate alınması gerekir. Bu etki statik durumdaki toprak basıncına ek bir yük olarak hesaplanır.

### **3.8. Muayene Sıklığı, Temel Ölçümler ve Muayene Geçmişi**

Tek incelemeler, değerli olmakla birlikte, menfezin durumunun bir anlık görüntüsüdür. Uygun menfez muayenesi, söz konusu menfezin ömrünü de dikkate almalıdır. Tüm menfezler potansiyel risklerine göre değerlendirilmeli ve düzenli bir denetim programı oluşturulmalıdır. Menfezlerin en az beş yılda bir, yüksek akış ve aşırı fırtına olaylarını takiben ve/veya menfezin akış yukarısında artan akış veya kanal değişiklikleriyle sonuçlanan yeni gelişme gibi önemli değişiklikler meydana geldiğinde kontrol edilmesi önerilir. Denetim sürecinde tespit edilen sorunların türü ve boyutuna bağlı olarak takip ve daha sık denetimler gerekebilir. Bu tür veriler, meydana gelebilecek herhangi bir değişikliğin miktarını ve oranını değerlendirmede çok değerli olacaktır. Menfez denetim süreci, gelecekteki menfez denetimleri için kıyaslama işlevi görecektir, doğru temel ölçümlerin toplanmasıyla başlar. (FHWA, 2012). Tipik temel ölçümler şunları içerir:

Menfez boyutu-boru çapı (yuvarlak ise) veya açıklık ve yükselme boyutları

Menfez ve karayolu arasındaki kavşak açısı

Menfez yüksekliği-menfez uzunluğu boyunca her iki uçta ve istasyonlarda ters yükseklik

Karayolu yükseklikleri

Yol yüzeyinin genişliği ve türü

Mevcut herhangi bir uç korumanın açıklamaları

Akışı etkileyen menfez uçlarında moloz birikmesi

Menfez uzunluğu boyunca hizalama değişiklikleri, menfez şekli veya malzeme değişiklikleri

Menfezin yukarı ve aşağı akış kanalının özellikleri

Drenaj alanı tipi, akış özellikleri, arazi alanları ve ağaçlık araziye karşı asfalt yüzeyler.

### **3.9. Özel Muayene Ögeleri ve Fiziksel Koşulların Değerlendirilmesi**

#### **3.9.1. Korozyon**

Toprağın, atık suyun veya her ikisinin kimyasal içeriği nedeniyle korozyon meydana gelebilir. Bu tür korozyon tipik olarak bir metal menfezdeki paslanma, metal kaybı ve/veya delikler ile kendini gösterir. Betonun dökülmesi ve açıkta kalan veya paslanan takviye çeliği tipik olarak aşındırıcı saldırıya maruz kalan betonarme menfezlerde görülür. Bu tür hasarın kapsamını dikkate alınmalı ve uygulanan yükler ışığında herhangi bir önemli mukavemet ve stabilite kaybını değerlendirilmelidir.

#### **3.9.2. Aşınma**

Aşınma , menfezin yüzeyi öncelikle akış kuvvetleri ve menfez boyunca akışın taşıdığı yatak yükü tarafından aşındığında belirgindir. Oldukça dik eğimlere kurulan menfezler, kum, çakıl ve kaya gibi potansiyel olarak aşındırıcı yatak yüklerinin yüksek konsantrasyonuna sahip alanlar ile birleştiğinde, aşındırıcı kuvvetlerden kaynaklanan hasarlar için neden olabilir. (FHWA, 2012).

#### **3.9.3. Kaplama Kaybı**

Kaplama kaybı, menfez duvar bölümünün daha fazla hasar görmesine ve bozulmasına neden olabilir. Bu tür kaplama kaybının kaynağını belirlenmelidir.

#### **3.9.4. Çatlaklar**

Çatlaklar tipik olarak betonarme menfezlerde görülür, ancak metal ve plastik boru menfezleri de bazen çatlaklar gösterebilir. Boyut, uzunluk, konum ve frekans dahil olmak üzere bu tür çatlamların kapsamına dikkat edilmelidir. Bu tür çatlamların nedeni belirlenmeli ve düzeltici önlemler alınmalıdır. Metal menfezlerdeki çatlaklar, muhtemelen, çatlaklar boyunca ana boru duvarı ile uyumlu çubuk stok malzemesi kaynaklanarak onarılabilir. (FHWA, 2012).

#### **3.9.5. Uygun Hizalama**

Uygun hizalama, uyum ve sıkılık açısından bağlantı yerleri araştırılmalıdır. Yanlış hizalanmış, uyumsuz bağlantıların ele alınması, dolgu kaybının kanıtlarının kaydedilmesi ve kayda değer dolgu kaybının giderilmesi gerekir. Kötü yapılandırılmış ve yanlış hizalanmış dikişler, dolgu kaybına ve menfez mukavemetinde azalmaya neden olabilir. (FHWA, 2012).

#### 4. FRP (FİBER REİNFORCED POLYMER)

FRP malzemeleri, Elyaf Takviyeli Plastikler veya polimerlerin kısaltmasıdır. Günümüzde tüm teknik alanlarda olduğu gibi, malzeme teknoloji alanında, malzemelerde yaşanan sorunlara paralel olarak insanların ihtiyaç ve istekleri de her geçen gün artmaktadır. Bu tür sorunları azaltmak ve talepleri karşılamak için araştırmacılar yeni malzeme türleri ve uygulamaları üzerinde çalışarak yeni tasarımlar ortaya koymaktadır. Fiber Takviyeli Plastik (FRP) kompozitler, inşaat sektörü de dahil olmak üzere birçok alanda tercih edilen kompozit malzeme türlerinden biridir.

FRP' ler genellikle bir matris malzemesinin liflerle bir araya gelmesiyle oluşan ürünlerin tanımlanmasında kullanılır. Bu malzemeler, yüksek mukavemet ve çevresel faktörlere karşı iyi performans göstermelerinin yanı sıra araştırmacılar tarafından istenen birçok özelliğe sahip olmaları ve farklı kombinasyonlarda üretilmeleri nedeniyle tercih edilmektedir. Bu yeni nesil kompozit malzemelerin üstün mekanik mukavemetlerinin yanında hafiflik, korozyon direnci ve kimyasallara karşı yüksek direnç, elektrik yalıtımı, düşük yoğunluk ve yüksek mukavemet/yoğunluk oranı gibi özellikleri araştırmacıların dikkatine çekmiş ve uygulama örnekleri giderek artmaktadır. Ayrıca ısı iletkenlikleri düşüktür, uzun yıllar bakım ve boya gibi ek bir hizmete gerektirmemektedir. Bu malzemelerin özellikleri diğer alanlarda olduğu gibi inşaat sektöründe de birçok malzemeye alternatif olmasını avantajlı kılmaktadır (Şahin, 2000). Farklı eksenler veya yönler boyunca ölçüldüğünde FRP' ler farklı fiziksel özelliklere sahiptir. Elyafların istenilen yönde yönlendirilerek her yönde gerekli mukavemet elde edilebilir. FRP lifleri, döşeme, kiriş, kolon, beton duvar ve beton temel gibi beton yüzeylere yerleştirilerek ve yapıştırılarak betonun mukavemetini artırabilir.

Bu elyaflar farklı uygulamalara sahip binalarda (Ticari, Eğitim, Devlet, Konut), ağır makine ve ekipman desteği, deniz yapısı (Barajlar ve Kanallar) uygulanabilir. Ek olarak, FRP sistemi mühendislik altyapısını (karayolu demiryolu köprüleri, su ve kimyasal tanker, bacalar, soğutma kuleleri ve silolar) gibi geliştirmek için kullanılabilir (Aytaç, 2011).



Şekil 4.1. FRP oluşumu

#### 4.1. FRP' nin Tarihçesi

İstenilen özellik ve fonksiyonları elde etmek için kompozit malzeme kullanımına artan ihtiyaç nedeniyle inşaat sektöründe kompozit malzemelerin kullanımı önemli ölçüde artmakta ve hızla gelişmektedir. Bu alandaki ilk araştırmalar 1980' lerin başında başladı. Bununla birlikte, 1990 Kaliforniya' daki Kaliforniya ve Kobe depremleri, deprem bölgelerindeki beton yapıları iyileştirmek ve güçlendirmek için FRP liflerinden yapılmış polimer kompozitlerin kullanımına ilişkin kapsamlı bir çalışma için önemli ve etkili bir faktör olmuştur.

Kapsamı her gün artan bu çalışmalar, bu kompozitlerin güçlendirilmesi, yenilenmesi veya onarım edilmesi gereken yapılarda kullanılmasına büyük katkı sağlamıştır. Dünya çapında birçok yapı mühendisi ve araştırmacısı, şu anda yapıların FRP kompozitleri ile güçlendirilmesini araştırmakta, incelemekte ve test etmektedir.

#### 4.2. Lifler

Lifler, istenen özellikleri elde etmek için yönleri farklı biçimde yerleştirilebilmektedir. Lifler ayrıca kompozite kendi özelliklerini de verebilir (mukavemet, rijitlik/sertlik, dayanıklılık ve uygulanan yükün çoğunu taşıyabilme). Bu nedenle kompozitteki liflerin yönü kompozitin mukavemetini önemli ölçüde etkiler. Liflerin yönü, yapısal elemanın yükleme yönü ile aynı yönde ise, liflerin yüksek mukavemet ve rijitlik özelliklerinden yararlanılabilir. Lifler farklı uzunluk ve boyutlarda olabilir ve en yaygın modeller cam, bazalt, karbon ve aramittir.

#### 4.3. Matris

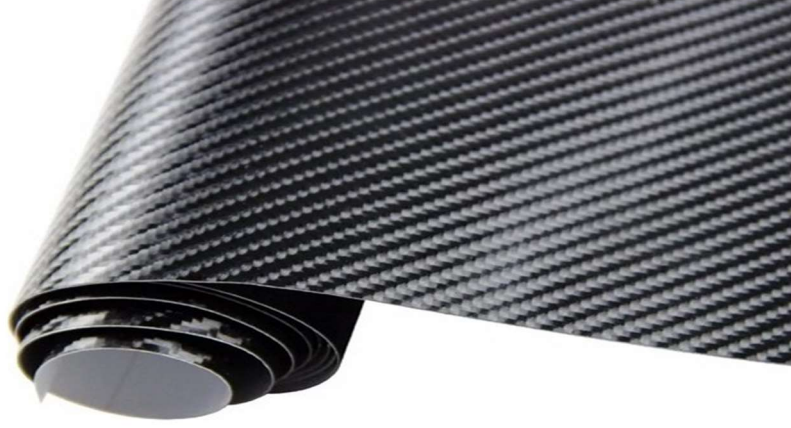
Matris, lifleri birbirine bağlayan FRP kompozitinin polimer bileşenini belirtir. Yapısal kompozit malzemeler için matris, en yaygın kullanımlı termoset tipi veya termoplastik tipte olabilmektedir. Polyester, vinylester ve epoksi, yüksek performanslı

takviye lifleri ile birlikte kullanılan en yaygın kullanılan polimerik matris malzemeleridir. Epoksiler, polyester ve vinil esterlerden daha pahalıdır, ancak genellikle daha iyi mekanik özelliklere ve olağanüstü dayanıklılığa sahiptir. Yüklerin çoğu lifler tarafından paylaşıldığından, matrisler FRP kompozitinin mukavemetine önemli ölçüde katkıda bulunmaz. Matris reçinenin temel işlevleri, takviye edici lifler arasındaki gerilimi aktarmak, lifleri bir arada tutmak için bir yapıştırıcı görevi görmek ve lifleri mekanik ve çevresel hasarlardan korumaktır. Matrisler, düşük büzülme ve termal genişleme katsayısı, yükü liflere aktaracak esneklik, yüksek sıcaklıkta mukavemet, mükemmel kimyasal direnç ve boyutsal kararlılık gibi özelliklere sahiptir. Kompozitlerin takviye uygulamalarında başarılı bir şekilde kullanılması, matris ve takviye lifleri arasında güçlü yapışma ve arayüzey kuvvetleri gerektirir ayrıca bu güçlü etkileşimin herhangi bir yükleme sırasında korunmalıdır. Lifler arasında oluşturulan kesme kuvvetleri, matrisin özellikleri ile sınırlıdır. Matrisin liflerden daha büyük bir şekil değiştirme kabiliyetine sahip olması önemlidir. Aksi takdirde lifler mukavemetlerini kaybetmeden önce matriste çatlaklar oluşacak ve lifler korunamayacaktır.

#### **4.4. FRP Çeşitleri ve Özellikleri**

##### **4.4.1. Karbon Fiberler (CFRP)**

Karbon fiberler, yapısal mühendislik uygulamalarında dayanımları nedeniyle güçlendirme için yaygın olarak kullanılmaktadır. Karbon fiberler çok dayanıklıdır ve sıcak ve nemli ortamlarda ve yorulma yüklerine maruz kaldığında çok iyi performans gösterir. Boyuna yönlerinde negatif veya çok düşük bir termal genişleme katsayısına sahiptirler, bu da onlara mükemmel boyutsal stabilite sağlar. Bununla beraber, bu lifler termal ve elektriksel olarak iletkenidir. Karbon lifleri önemli ölçüde yüksek yorulma ve sünme direncine sahiptir. Bu elyafların darbe dayanıklılığı, aramid ve cam elyaflara göre daha azdır. Karbon fiberler ilk ortaya çıktıklarında maliyet açısından pahalı olmasına rağmen, bu malzemenin tüketimi büyük ölçüde arttıkça ve kalite iyileştikçe, maliyet önemli ölçüde azalmıştır. Genel bir kural olarak, fiberin çapı ne kadar küçük olursa, mukavemeti o kadar yüksek olur, ancak genellikle çap ne kadar küçükse, maliyet de o kadar yüksek olur (Aytaç, 2011).

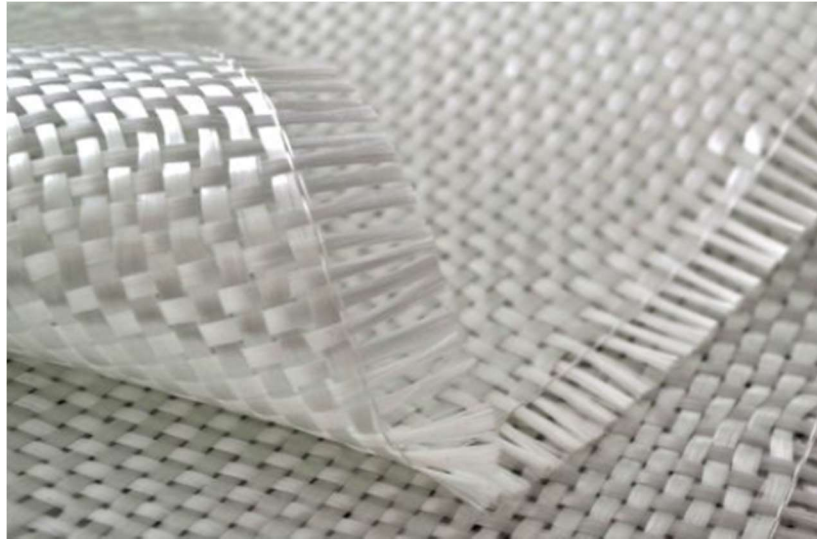


Şekil 4.2. Karbon lifleri örneği

#### 4.4.2. Cam Fiberler (GFRP)

Genel olarak cam elyafı genel amaçlı elyaflar ve özel amaçlı elyaflar olarak iki ayrı gruba ayrılmaktadır. Ayrıca cam fiber kumaşları tek yönlü ve çift yönlü olarak üretilmektedir. Ayrıca GFRP malzeme maliyetini daha da azaltmak için tek yönlü GFRP malzeme kullanılabilir. Cam elyafların özellikleri yüksek mukavemet, kimyasallara karşı yüksek dirençli ve düşük maliyetli olmasıdır. Cam elyafların dezavantajları, düşük çekme modülü, taşıma sırasında aşınmaya karşı düşük dirençlidir (Alam vd, 2015).

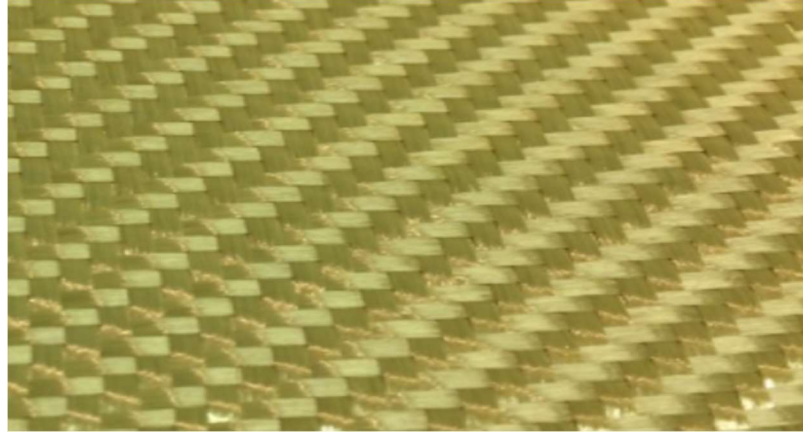
Cam fiber çubukları, ekonomi kalitesi ve inşaat teknolojisi gibi çok faydalıdır. Bununla birlikte montajları kolaydır ve yüksek çekme dayanımına sahiptir aynı zamanda güçlü korozyona, kimyasallara ve klorüre karşı yüksek direncine sahiptir .



Şekil 4.3. Cam lifleri örneği

#### 4.4.3. Aramid Fiberler (AFRP)

Bu lifler, günümüzde kullanılan herhangi bir takviye lifleri arasında en düşük özgül ağırlığa ve en yüksek çekme mukavemeti-ağırlık oranına sahiptir. Cam liften %43 ve çoğu karbon liften yaklaşık %20 daha hafiftirler. Yüksek mukavemete yanı sıra, lifler ayrıca kimyasal ve termal bozulmanın yanında darbeye ve aşınmaya karşı iyi direnç gösterir. Karbon fiberler gibi, lifin boyuna yönünde negatif bir genleşme katsayısına sahiptirler. Nispeten yüksek fiyatları, kesme ve işlemedeki zorluklar, yüksek nem emme, düşük erime sıcaklıkları ve nispeten zayıf basınç özellikleri onları yapısal mühendislik uygulamalarında FRP kompozit için daha az kullanılır hale getirmiştir (Aytaç, 2011).



Şekil 4.4. Aramid lifleri örneği

#### 4.4.4. Bazalt Fiberler (BFRP)

Bazalt, donmuş lav olan volkanik kayalardan elde edilen koyu veya siyah renkli, sert ve dayanıklı bir malzemedir. Bazalt lifleri, bazalt taşlarının 1700°C sıcaklıkta eritilmesiyle elde edilir. Bu liflerin farklı kimyasal bileşimleri değiştirilerek farklı mekanik özellikler elde edilir. Sıcaklığı 1200°C' den -1400°C' ye yükselterek, liflerin çekme mukavemeti (1.5-2.9) GPa' ya kadar yükselebilir. Bazalt lifleri, cam liflerinden fiziksel mekanik özellikleri bakımından daha iyidir. Bununla birlikte bazalt lifleri, karbon liflerinden daha ucuzdur. Yangına dayanıklılık, titreşim ve ses yalıtımı, kimyasal maddelere karşı dayanıklılık avantajlara sahiptir. (Alihassan, 2021).



Şekil 4.5. Bazalt lifleri örneği

Bazalt lifler ile E-Cam liflerin temel kimyasal bileşenleri birbirine çok benzer. Bazalt liflerinin ısı direncinin çok yüksek olması için ısı ve yangın yalıtım malzemesi olarak kullanılabilmesinin yanı sıra ses yalıtımında iyi performanslar sergilemekte ve avantajlarını ortaya koymaktadır. Yine elektrik yalıtımında kullanılabilirdiğinden diğer elyaflara göre bir avantaj olarak yeraltı döşemelerinde kullanılabilir. Bazalt lifleri kimyasal içeriğinden dolayı asidik, bazik ve deniz suyuna dayanıklıdır ve bunlara ek olarak çok düşük nem emilimi, bazalt lifleri atık endüstrisinde, deniz ulaşım araçlarında ve ekipmanlarda kullanılabilir (Quaglini ve ark., 2012; Colombo ve ark., 2012). Bu çalışmada betonarme kutu menfezin güçlendirmesi için BFRP kullanılacaktır.

#### **4.5. FRP Şekilleri**

##### **4.5.1. FRP Levhalar**

FRP levhalar, birkaç milimetre kalınlığında kompozit tabakalardır. Bu levhalar veya laminatlar, güçlü ve uygun bir şekilde yapıştırıcı maddeler ile beton yüzeylere yapıştırılır. FRP levhalar, hasarlı yapıların (depremlerden veya iyonlaşmış sudan kaynaklanan) onarılması ve güçlendirilmesi amacıyla kullanılır. Süneklik açısından FRP laminasyonu, esnek ve sert levhalar olarak bilinmektedir. Esnek FRP levhalar yüksek süneklik özelliklerine sahiptir ve düşük yarıçapta bükülebilir. katı levhalar yüksek kalınlıklarda üretilir ve diğer levhalardan farklı olarak şekillendirilemez ve geniş bir kalınlık aralığında bulunmaktadır. FRP sargıları, bir veya iki yöne yerleştirilebilir bir kumaş malzemelerdir.

FRP levhaları kullanmanın avantajları:

Ağırlığı düşüktür

Serbest uzunluk

Kalınlığı çok düşüktür

Nakliye çok basittir

FRP levhaların uygulaması kolaydır

çekme mukavemeti ve hatta yüksek basınç

Yüksek yorulma mukavemeti

Yaklaşık sıfır korozyon

#### **4.5.2. FRP Çubukları**

Çelik inşaat demirleri, betonun alkali ortamı tarafından kısa süreliğine korozyona karşı korunur, ancak agresif ortamlara bitişik deniz yapıları, köprüler ve agresif maddelere maruz kalan otoparklar gibi birçok yapı vardır. Nem, artan sıcaklık ve klor ortamının birleşimi, betonun alkali özelliklerini azaltır ve çelik donatılarda korozyona yol açar. Bu nedenle günümüzde bu tür ortamlarda inşaat yapımında FRP çubukları kullanılmaktadır. FRP çubukların mekanik davranışının sünek olmaması nedeniyle, bu çubukların kullanımı korozyon veya elektromanyetik sorunları en önemli sorunu olan yapılarla sınırlıdır. Çelik çubuklar kabaca homojen davranışa sahipken, FRP inşaat çubukları betonun bu özelliğini bozar. Çelik malzemelerin aksine, FRP malzemeleri doğrusal elastik davranış sergiler.

FRP çubukları, yeni binalar tasarlamak ve inşa etmek için de kullanılabilir. Bu malzemeler özellikleri ile çapları küçültür ve döşeme, tünel, temel vb. betonarme elemanlarda kullanılmaktadır.

#### **4.5.3. FRP Kabloları**

Esnek FRP çubuklar gibi ürünler, korozyon ve açık deniz ortamlarında kablo ve öngerilmeli beton yapılarda kullanılmaktadır. Bu ürünler ayrıca suya bitişik ön gerilmeli bileşenlerde de kullanılmaktadır.

#### **4.5.4. FRP Kompozit Izgara**

FRP Kompozit ızgaralar, iki yönde veya üç yönde çubuk bağlantısı ile oluşturulur. Bu ızgaralar karbon, cam, bazalt veya aramit fiber ve epoksi reçine, vinil ester veya polysterden yapılmıştır ve betonu güçlendirmek için uygun olarak belirtilmiştir.

#### **4.6. FRP Kompozit Yapılar**

FRP malzemeler de Pultrüzyon yöntemi ile I, T, U şekil ve açılarında yapısal profiller şeklinde üretilmektedir. Bu yöntemde, FRP elyaf demetleri bir kalıptan geçtikten sonra reçine ile kaplanır ve sabit bir kesit profili oluşturmaktadır. Pultrüzyon yönteminin başlıca avantajları, çok amaçlı olması ve çeşitli endüstrilerdeki çeşitli uygulamalarıdır. Başka bir deyişle, sadece makinenin şeklini değiştirerek, yapı sektöründe kullanılan ürünlerin yanı sıra takviye çeşitlerinin yanı sıra tekstil taşıma kayışları, raylar, otoyol korumaları, pencere ve kapı çerçeveleri, I-şekilli çapraz kirişler, Köşeler vb. elde edilebilir. Bu ürünlerin hizmet ömrü çok uzundur ve pultrude bir ürünün üretim hızı nispeten yüksektir. Fiyat açısından, pultrude bir kiriş benzer bir demir kasaya göre daha yüksek bir fiyata sahip olmasına rağmen, yüksek korozyon ve deprem direnci ve dayanıklılık gibi özellikler, yüksek başlangıç fiyatını telafi edebilir. Yapıların inşası gibi genel kullanımda, korozyona ve depreme karşı dayanıklılık ihtiyacı varsa, pultrude kirişlerin kullanımı da ekonomik olarak haklı gösterilebilir. Bu nedenle bu tür ürünler, çelik bileşenler ve yapılar için çok iyi bir alternatif olarak değerlendirilebilir.

#### **4.7. FRP ile Güçlendirme**

FRP ile güçlendirme sistemi, çeşitli endüstrilerde binaların güçlendirilmesi, yapıların güçlendirilmesi ve koruyucu kaplamalar için en yeni yöntemlerden biridir. Günümüzde binaların ve diğer beton ve çelik yapıların rehabilitasyonunda, onarımında, güçlendirilmesinde ve kompozit endüstrisinde yaygın olarak kullanılan fiber takviyeli Polimer. FRP veya fiber takviyeli polimer, iki temel bileşenden oluşur: fiber (lif) ve Matris (Reçine). Genellikle etkili bir bileşikte aşağıdaki varsayımlar geçerlidir:

Fiberin sertliği mutlaka matris sertliğinden daha yüksektir.

Matris, lifleri kimyasal olarak etkilemez.

Lifler ve matris arasındaki yapışma yeterince iyidir.

Matris, lifleri çevresel saldırılara ve erozyona karşı korur.

FRP kompozitlerin betonarme yapıların güçlendirilmesi ve onarımında kullanılır, son yıllarda önemli ölçüde artmıştır ve bunun ana nedeni, altyapının ömrünü uzatma ve altyapıyı dünya çapında iyileştirme ihtiyacıdır. Fiber takviyeli plastiklerin ana avantajları, yüksek korozyon direnci, kurulum yerinde kurulumunun kolay olması ve düşük ağırlıklarıdır. FRP malzemelerin sağlam bir şekilde kullanılmasının bir diğer nedeni de bu malzemelerin maliyetinin düşmesidir. Son 20 yılda, FRP kompozitlerin kullanımı, sıradan inşaatlarda kullanmak için lüks ve pahalı bir yol olarak kabul edilirken, günümüzde üretim teknolojisindeki ilerleme, bu malzemelerin fiyatını daha çok aşağılara itmiştir. Son yıllarda, mekanik davranışları ve uygulamaları dahil olmak üzere FRP'lerin kullanımına ilişkin teknik bilgiler, inşaat ve makine mühendisliği alanındaki her bilimsel dergide FRP kompozitlerinin belirli bir yönünü yayınlanmıştır. Bu artan eğilim, kompozit malzemeler kullanılarak yapıların güçlendirilmesi ve güçlendirilmesine ihtiyacı olan ve bu malzemelerin tasarımı ve kullanımına yönelik teknik bilgiyi geliştirmeyi amaçlayan bu yeni teknolojinin yaklaşımına ve önemine tanık olmaktadır.

#### **4.7.1. Güçlendirme Projelerinde FRP Kullanımının Artmasına Neden Olan Temel Faktörler:**

Büyüyen FRP ürünleri tedariki, üretimi ve dağıtımı, FRP fiyatlarının düşmesine ve FRP satın almalarının artmasına neden olmuştur.

Son yıllarda FRP malzemelerinin ve reçinelerin özelliklerinin iyileştirilmesi, güçlendirme projelerinin çoğunda yeniden bu malzemelerin kullanılmasına yol açmıştır.

FRP malzemelerin korozyon önleyici özellikleri, yüksek mekanik dayanım ile birlikte iki önemli görevi bir araya getirmiştir: beton, çelik, köprüler, borular, rezervuarlar ve petrokimya ve endüstriyel tesislerde güçlendirme ve korozyon önleyici kaplama, aynı anda zaman ve maliyet tasarrufu sağlar.

FRP' nin beton yapıların güçlendirilmesinde kullanılması, betonarme yapı elemanlarının tahrip edilmesinden ve geleneksel güçlendirme işlemlerden daha ucuzdur.

Modifiye edilmiş FRP üretim yöntemi, daha düşük FRP fiyatları yanında daha yüksek dayanım ve teknik özelliklere sahip ürünlerin üretilmesine yol açmıştır.

#### **4.7.2. FRP Güçlendirme Sisteminin Avantajları**

FRP malzemelerin ağırlığı, yapısal güçlendirme ve güçlendirmenin amaçlarından biri olan ihmal edilebilir düzeydedir.

FRP liflerin yüksek çekme mukavemeti.

Binayı güçlendirmek ve yeniden inşa etmek için FRP kullanımı çok zaman almaz ve tadilat elemanları çok kısa sürede hazır hale gelir.

FRP korozyona karşı yüksek dirence sahiptir. Bu, yapı elemanlarının aşındırıcı maddelerden korunmasına neden olur ve yüksek geçirgenlik özellikleri nedeniyle periyodik onarım ihtiyacını ortadan kaldırır.

FRP malzemelerin teknik tasarım ve tasarımdaki (rijitlik, mukavemet ve süneklik) yüksek kapasitesi, onları yenileme sistemlerinde benzersiz kılmıştır.

#### **4.8. Fiber Takviyeli Polimerlerin Güçlendirme Uygulamaları**

Fiber elyaf takviyeli polimer güçlendirme konusunda son yıllarda en önemli malzemeler arasında yer almaktadır. FRP malzemelerinin yoğunluğu düşük, mekanik özellikleri yüksek, kimyasal maddelere ve paslanmaya karşı dayanıklıdır (Bastianini vd, 2005). Ayrıca esnek olduğu için çabuk uygulanabilmektedir. Bu günlerde, köprülerin, binaların, menfezlerin, tünellerin ve altyapı sistemlerinin dinamik güçlendirmesi ve iyileştirmesinde kullanılmaktadır. Fiber takviyeli polimerlerin malzemeleri ızgara, çubuk, şerit tek yönlü veya çok yönlü olan kumaşlar gibi değişik şekillerde üretilerek değişik tekniklerle uygulanabilmektedirler (Değirmenci ve Sarıbyık, 2015).

##### **4.8.1. FRP Çubuklar ile Güçlendirme**

Epoksi, polyester ve vinil ester reçineli üretilen FRP inşaat demirleri, günümüzde çeşitli endüstrilerde ve bina güçlendirmelerinde kullanılmaktadır. Çelik ve betonun birleşimi yüksek dayanımlı bir bileşiktir. Ancak çeliğin oksidasyonu denen bir sorun var. Özellikle uygun beton ve çatlakların olmaması, yetersiz beton kaplamalar, uygun olmayan hava koşulları vb. nedenlerle çelik eleman neme, tuzlara, klorürlere vb. maruz kaldığında aşınmaya başlar ve betonun çökmesine neden olur. Bu sorun FRP çubukları kullanılarak çözülebilir. Yüksek çekme mukavemetli FRP çubuklar, kabul edilebilir elastisite modülü, yüksek korozyon direnci, yorulma ve sürünmeye karşı iyi direnç, betona iyi yapışma, elektromanyetik dalgalara karşı yalıtkan ve hafiflik en önemli

özellikleridir. Taşıma kapasitesini artıran, yapısal mukavemeti artıran, yapının aşınmasını ve hafifliğini azaltan çeliğin yerini almaya çok uygun bir alternatiftir (Kasımzade ve Tuhta, 2017). FRP çubukları korozyona dayanıklıdır ve bu nedenle beton kutu menfezlerin güçlendirmesi için uygun ve beton menfez köprülerinin hizmet ömrünü uzatır.

#### **4.8.2. FRP Şeritler ile Güçlendirme**

FRP şeritleri esas olarak mevcut yapı davranışını güçlendirmek, iyileştirmek ve geliştirmek veya mevcut yapıda oluşan hasarları modern bir mühendislik yöntemi olarak onarmak için kullanılır. Belirtildiği gibi, bu malzemeyi aşındırıcı olmaması ve korozyona karşı yüksek direnci olması güçlendirme için uygundur. Bu nedenle, FRP malzemeleri kullanarak beton yapıları güçlendirmek için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bir beton elemanın dış yüzeyine veya başka herhangi bir yüzeye yapışan FRP şeritler yapıştırılmış güçlendirme olarak bilinir.

### **5. MATERYAL, METOD VE UYGULAMA**

#### **5.1. Materyal**

Bu çalışmada bir kutu menfez betonarmeden imal edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada betonarme kutu menfezin elemanı üzerine SAP2000 programı yardımıyla BFRP malzemesi uygulanacaktır. Bu tez çalışmasında mevcut bir betonarme kutu menfez BFRP malzemesi ile güçlendirme çalışmasıdır. Betonarme kutu menfez kendi ağırlığı ile BFRP malzemesi uygulanmadan ve uygulandıktan sonra analiz edilecektir.

##### **5.1.1. Betonarme**

Menfez yapımında kullanılacak betonun özellikleri;

Materyalin Kütle ve Ağırlığı:

(BHA) Birim Hacim Ağırlığı=23.3814 KN/m<sup>3</sup>

(BHK) Birim Hacim Kütle=2.33814 KN/m<sup>3</sup> dir.

Materyalin Mekanik Özellikleri:

Elastisite Modülü E=32000000 KN/m<sup>2</sup>

Pozisyon Oranı U=0.2

Isıl Genleşme Katsayısı A=0.00001 1/C°

Kayma Modülü  $G=13333333 \text{ KN/m}^2$  ' dir.

Kullanılacak donatının özellikleri;

Donatının Kütle ve Ağırlığı:

Birim Hacim Ağırlığı= $76.9729 \text{ kN/m}^3$

Birim Hacim Kütlesi= $7.8429 \text{ kN/m}^3$  ' dir.

Donatının Mekanik Özellikleri:

Elastisite Modülü  $E=200000000 \text{ kN/m}^2$

Poisson Oranı  $U=0.3$

Isıl Genleşme Katsayısı  $A=0.0000117 \text{ 1/C}^\circ$ .

### **5.1.2. BFRP**

Çalışmada kullanılan BFRP malzemesinin mekanik özellikleri aşağıdaki gibi SAP2000 programına girilerek malzeme oluşturulmuştur.

Materyalin Kütle ve Ağırlığı:

Birim Hacim Ağırlığı= $20 \text{ kN/m}^3$

Birim Hacim Kütlesi= $2.038 \text{ kN/m}^3$  ' dir.

Materyalin Mekanik Özellikleri:

Elastisite Modülü

$E1=60000000 \text{ kN/m}^2$

$E2=60000000 \text{ kN/m}^2$

$E3=60000000 \text{ kN/m}^2$  ' dir.

Poisson Oranı

$U12=0.24$

$U13=0.24$

$U23=0.24$

### **5.2. Metot**

Mevcut bir menfez yapının sonlu elemanlar metodu ile bilgisayar ortamında SAP2000 programı aracılığıyla analizi yapılacaktır. Ardından 4 mm kalınlığında

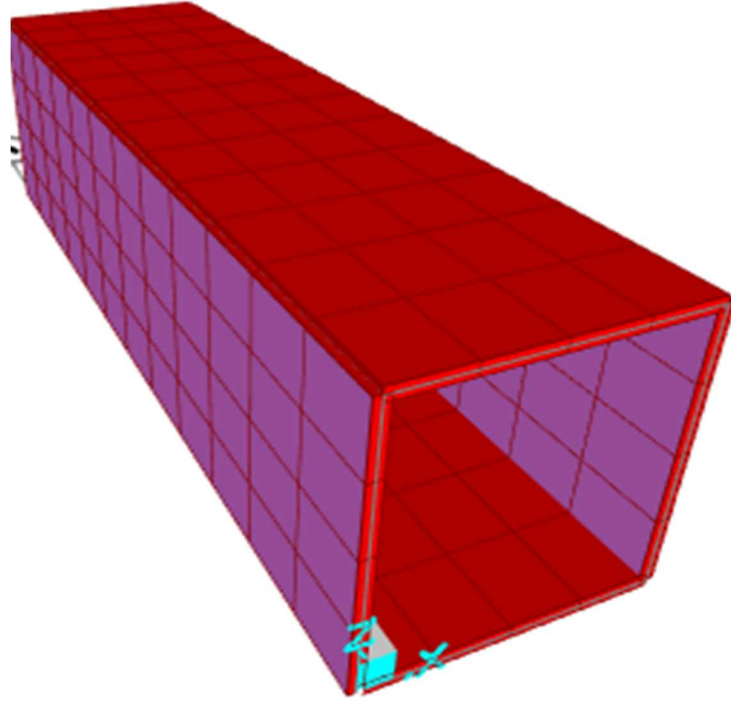
BFRP malzemesi ile menfez tüm yüzeylerine kaplanacak ve tekrar analiz yapılarak dinamik parametreler karşılaştırılacaktır.

### 5.3. Uygulama

İlk olarak beton kutu menfezin özellikleri ve BFRP malzemesinin özellikleri SAP2000 programına girilmiştir. Bu çalışmada BFRP malzemesi menfezin tüm yüzeylerine uygulanacaktır. Menfezin uzunluğu 12 m, menfez yüksekliği 3.5 m, genişliği 3.2 m, menfez kalınlığı 0.15 m ve menfez üzerindeki toprak yüksekliği 0.70 m dir, kullanılan beton C30 dur, uygulanacak BFRP kalınlığı 4 mm dir.

Tablo 5.1. Betonarme ve BFRP tabakalarının kalınlıkları

Tabaka No	Materyal	Kalınlık (mm)
1	Betonarme	150
2	BFRP	4



Şekil 5.1. Menfez 3D modeli

SAP2000 programında menfeze BFRP uygulanmadan önce periyot ve frekans değerleri Tablo 5.2' de verilmiştir.

Tablo 5.2. BFRP menfeze uygulanmadan önce periyot ve frekans değerleri

Mod	Periyot (s)	Frekans (hz)	Dairesel Frekans	Özdeğer (rad <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )
1	0.0967	10.3390	64.9619	4220.0587
2	0.0330	30.2362	189.9799	36092.3876
3	0.0319	31.2775	196.5227	38621.1944
4	0.0288	34.6604	217.7781	47427.3145
5	0.0282	35.4253	222.5839	49543.6194
6	0.0247	40.3426	253.4806	64252.4324
7	0.0232	42.9940	270.1394	72975.3275
8	0.0222	45.0067	282.7854	79967.6335
9	0.0210	47.5956	299.0520	89432.1491
10	0.0206	48.3706	303.9214	92368.2571
11	0.0197	50.5842	317.8299	101015.8788
12	0.0196	50.9965	320.4204	102669.2751

SAP2000 programı ortamında menfeze BFRP uygulaması yapıldıktan sonra periyot ve frekansları Tablo 5.3’ te verilmiştir. Tabloya bakarak periyot ve frekans değerlerindeki değişiklikleri görülmektedir.

Tablo 5.3. BFRP menfeze uyguladıktan sonra periyot ve frekans değerleri

Mod	Periyot (s)	Frekans (hz)	Dairesel Frekans	Özdeğer (rad <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )
1	0.09323	10.7257	67.3920	4541.6925
2	0.02988	33.4654	210.2694	44213.2426
3	0.0287	34.7922	218.6061	47788.6373
4	0.0257	38.7941	243.7509	59414.5260
5	0.0256	38.9182	244.5306	59795.2168
6	0.0219	45.6447	286.7946	82251.1784
7	0.0201	49.7341	312.4886	97649.1872
8	0.0191	52.3300	328.7993	108109.0431
9	0.0182	54.9288	345.1284	119113.6298
10	0.0180	55.3819	347.9751	121086.7065
11	0.0166	60.0222	377.1309	142227.7308
12	0.0163	61.2672	384.9534	148189.1330

## 6. BFRP’ Lİ VE BFRP’ SİZ BETONARME MENFEZİN KARŞILAŞTIRMALARI

### 6.1. Modların Karşılaştırması

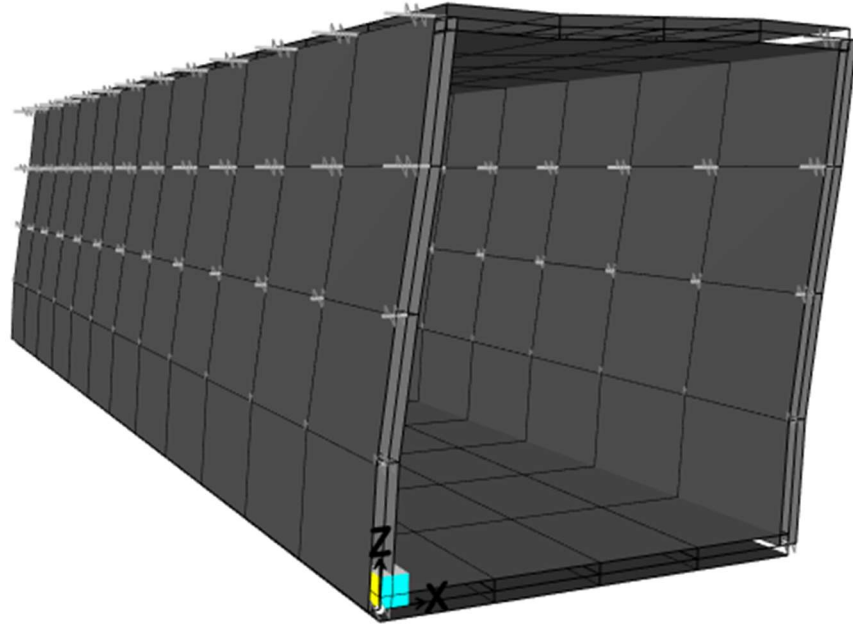
#### 6.1.1. Mod 1 karşılaştırılması

BFRP (4 mm) uygulanmadan önce: Periyot=0.0967 s, Frekans=10.3390 Hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.1' deki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

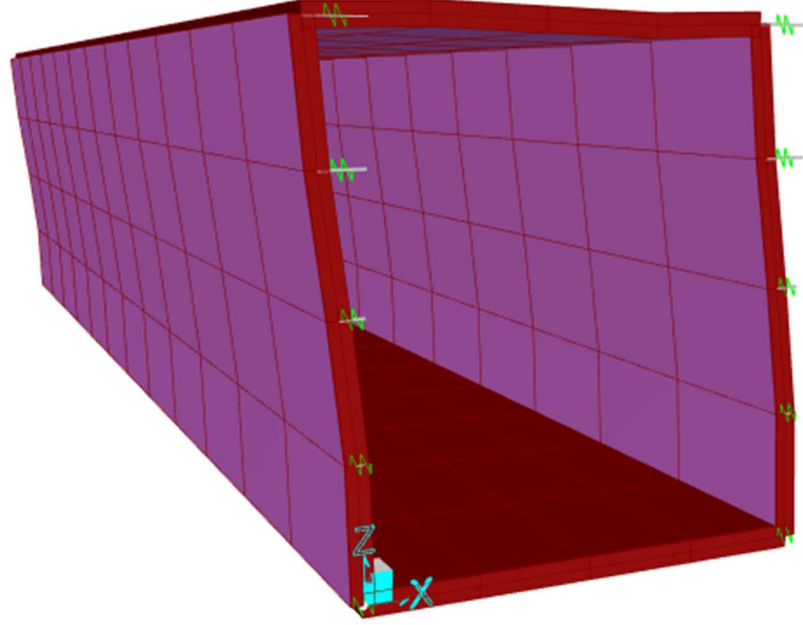
BFRP (4 mm) uygulandıktan sonra: Periyot=0.0932 s, Frekans=10.7257 Hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.2' deki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

Tablo 6.1' de görülen değişimler menfez tüm yüzlerine 4 mm kalınlığında BFRP malzemesi ile uygulama yapıldıktan sonra değişimin farklılığını gösterilmiştir.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; T = 0,09672; f = 10,33902



Şekil 6.1. BFRP' siz 1. mod menfez deformasyonu



Şekil 6.2. BFRP' li 1. mod menfez deformasyonu

Tablo 6.1. Mod 1' nin periyot ve frekans değerleri karşılaştırması

	Periyot (s)	Frekans (hz)
BFRP' siz	0.0967	10.3390
BFRP' li	0.0932	10.7257

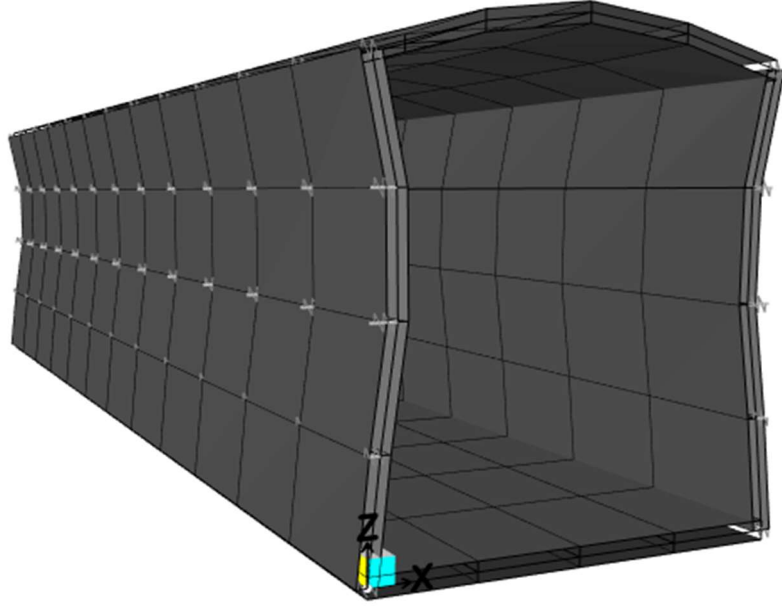
### 6.1.2. Mod 2 karşılaştırılması

BFRP (4 mm) uygulanmadan önce: Periyot=0.0330 s, Frekans=30.2362 Hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.3' teki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

BFRP (4 mm) uygulandıktan sonra: Periyot=0.02988 s, Frekans=33.4654 Hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.4' teki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

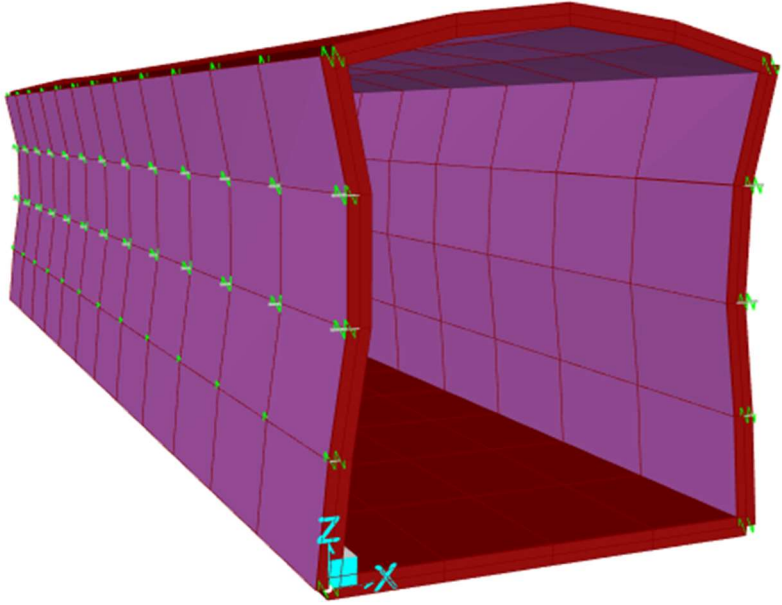
Tablo 6.2' de görülen değişimler menfez tüm yüzlerine 4 mm kalınlığında BFRP malzemesi ile uygulama yapıldıktan sonra değişimin farklılığını gösterilmiştir.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 2; T = 0,03307; f = 30,23625



Şekil 6.3. BFRP' siz 2. mod menfez deformasyonu

Deformed Shape (MODAL) - Mode 2; T = 0,02988; f = 33,46542



Şekil 6.4. BFRP' li 2. mod menfez deformasyonu

Tablo 6.2. Mod 2' nin periyot ve frekans değerleri karşılaştırması

	Periyot (s)	Frekans (hz)
BFRP' siz	0.0330	30.2362
BFRP' li	0.0298	33.4654

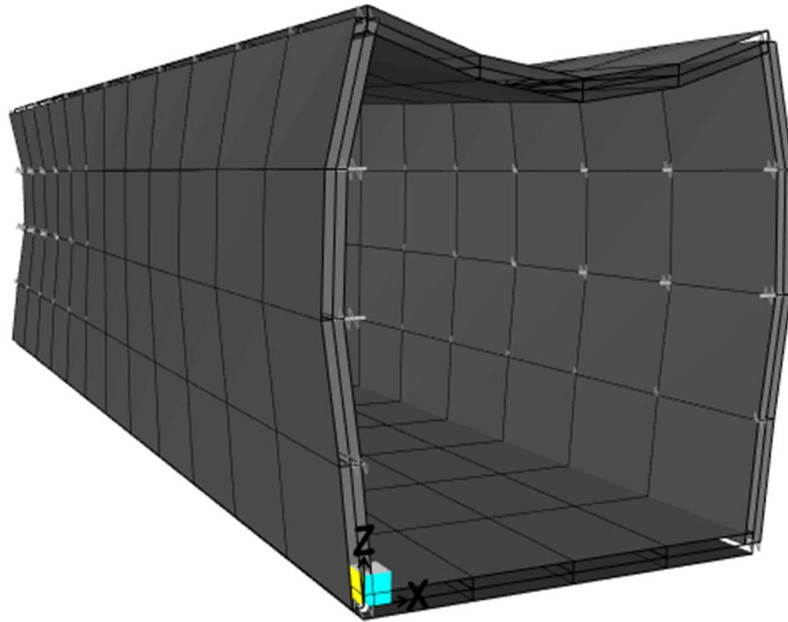
### 6.1.3. Mod 3 karşılaştırılması

BFRP (4 mm) uygulanmadan önce: Periyot=0.0319 s, Frekans=31.2775 Hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.5' teki grafiği gorsel olarak gosterilmektedir.

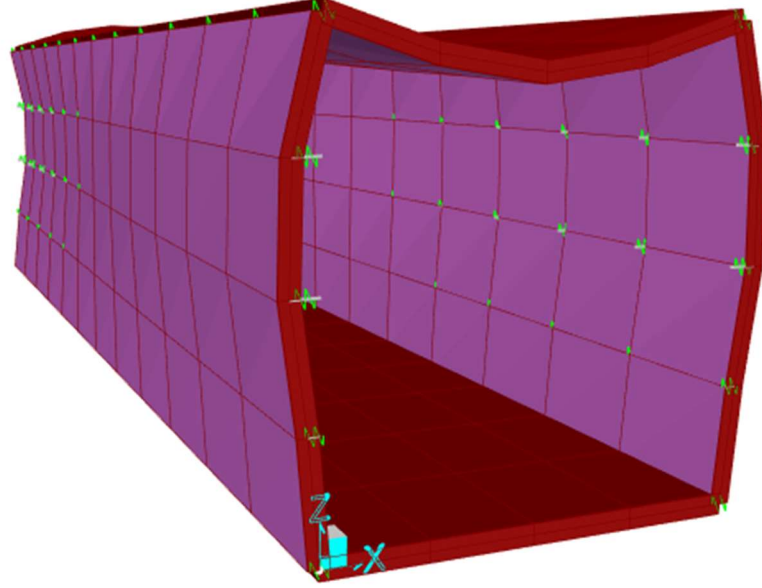
BFRP (4 mm) uygulandıktan sonra: Periyot=0.0287 s, Frekans=34.7922 Hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.6' daki grafiği gorsel olarak gosterilmektedir.

Tablo 6.3' te gorulen değişimler menfez tüm yüzlerine 4 mm kalınlığında BFRP malzemesi ile uygulama yapıldıktan sonra değişimin farklılığını gosterilmiştir.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 3; T = 0,03197; f = 31,27757



Şekil 6.5. BFRP' siz 3. mod menfez deformasyonu



Şekil 6.6. BFRP' li 3. mod menfez deformasyonu

Tablo 6.3. Mod 3' nün periyot ve frekans değerleri karşılaştırması

	Periyot (s)	Frekans (hz)
BFRP'siz	0.0319	31.2775
BFRP'li	0.0287	34.7922

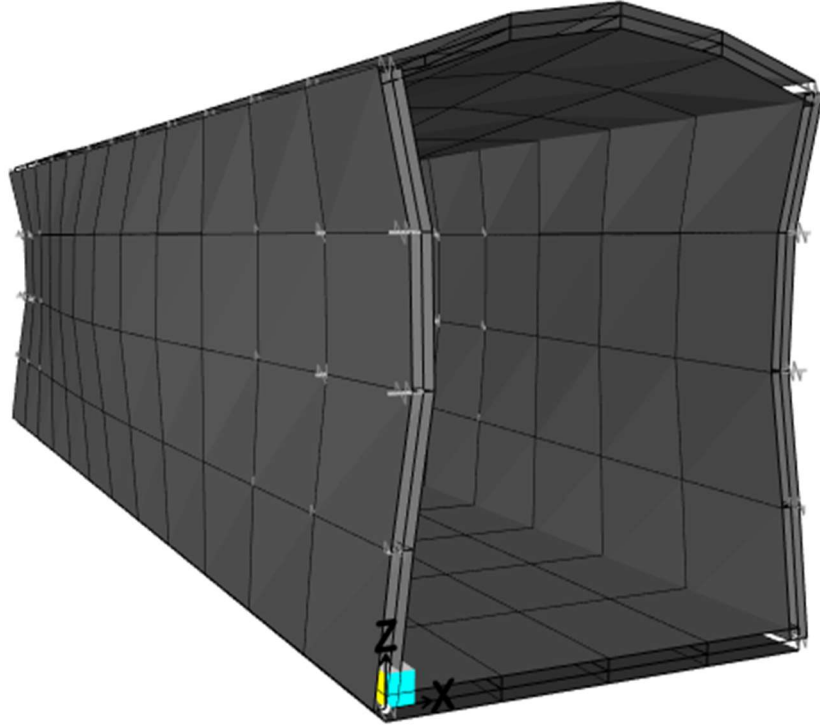
#### 6.1.4. Mod 4 karşılaştırılması

BFRP (4 mm) uygulanmadan önce: Periyot=0.0288 s, Frekans=34.6604 hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.7' deki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

BFRP (4 mm) uygulandıktan sonra: Periyot=0.0257 s, Frekans=38.7941 hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.8' deki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

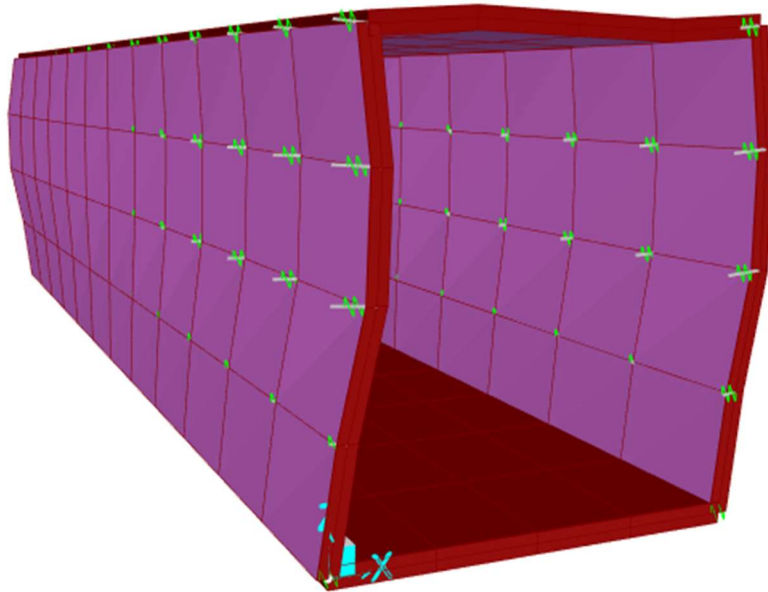
Tablo 6.4' te görülen değişimler menfez tüm yüzlerine 4 mm kalınlığında BFRP malzemesi ile uygulama yapıldıktan sonra değişimin farklılığını gösterilmiştir.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 4; T = 0,02885; f = 34,66047



Şekil 6.7. BFRP' siz 4.mod menfez deformasyonu

Deformed Shape (MODAL) - Mode 4; T = 0,02578; f = 38,79417



Şekil 6.8. BFRP' li 4.mod menfez deformasyonu

Tablo 6.4. Mod 4' nün periyot ve frekans değerleri karşılaştırması

	Periyot (s)	Frekans (hz)
BFRP' siz	0.0288	34.6604
BFRP' li	0.0257	38.7941

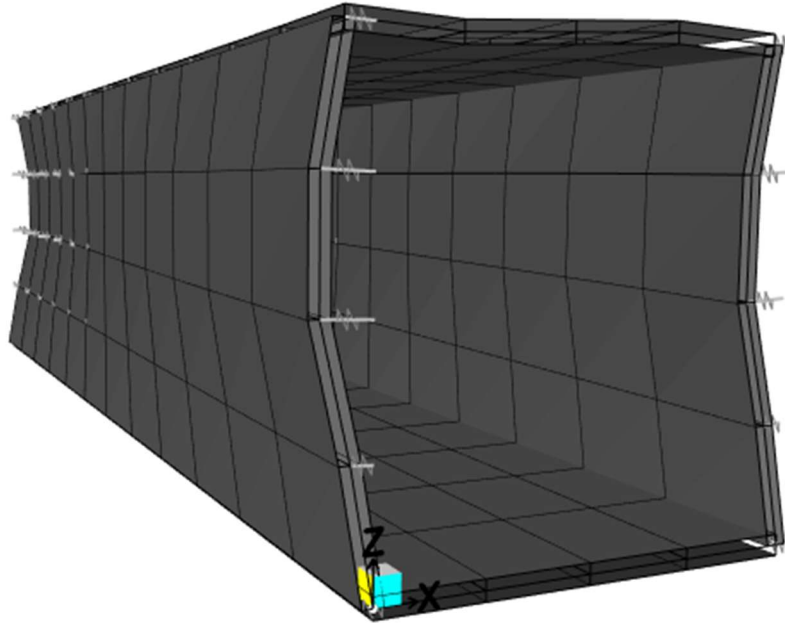
### 6.1.5. Mod 5 karşılaştırılması

BFRP (4 mm) uygulanmadan önce: Periyot=0.0282 s, Frekans=35.4253 Hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.9' daki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

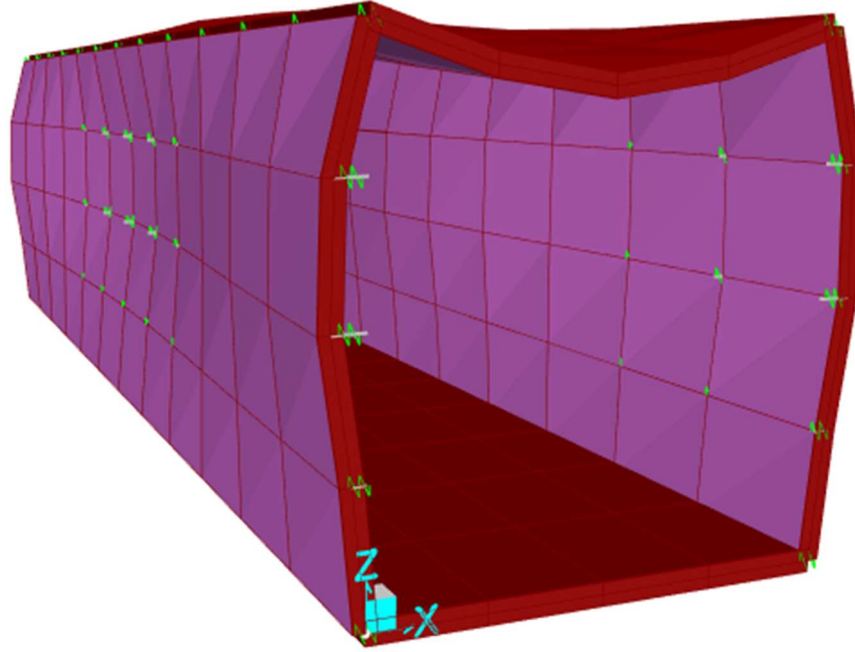
BFRP (4 mm) uygulandıktan sonra: Periyot=0.0256 s, Frekans=38.9182 Hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.10' daki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

Tablo 6.5' te görülen değişimler menfez tüm yüzlerine 4 mm kalınlığında BFRP malzemesi ile uygulama yapıldıktan sonra değişimin farklılığını gösterilmiştir.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 5; T = 0,02823; f = 35,42534



Şekil 6.9. BFRP' siz 5. mod menfez deformasyonu



Şekil 6.10. BFRP' li 5. mod menfez deformasyonu

Tablo 6.5. Mod 5' nin periyot ve frekans değerleri karşılaştırması

	Periyot (s)	Frekans (hz)
BFRP' siz	0.0282	35.4253
BFRP' li	0.0256	38.9182

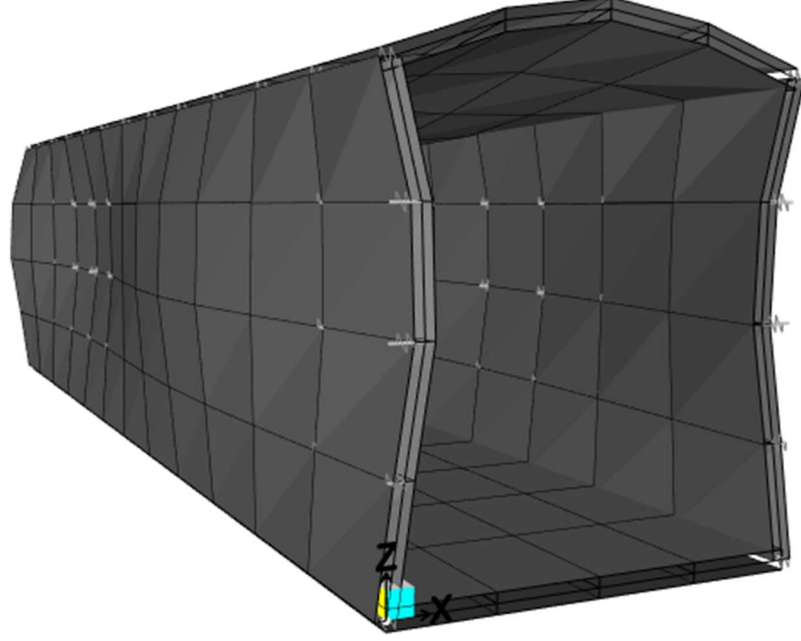
#### 6.1.6. Mod 6 karşılaştırılması

BFRP (4 mm) uygulanmadan önce: Periyot=0.0247 s, Frekans=40.3426 hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.11' deki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

BFRP (4 mm) uygulandıktan sonra: Periyot=0.0219 s, Frekans=45.6447 hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.12' deki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

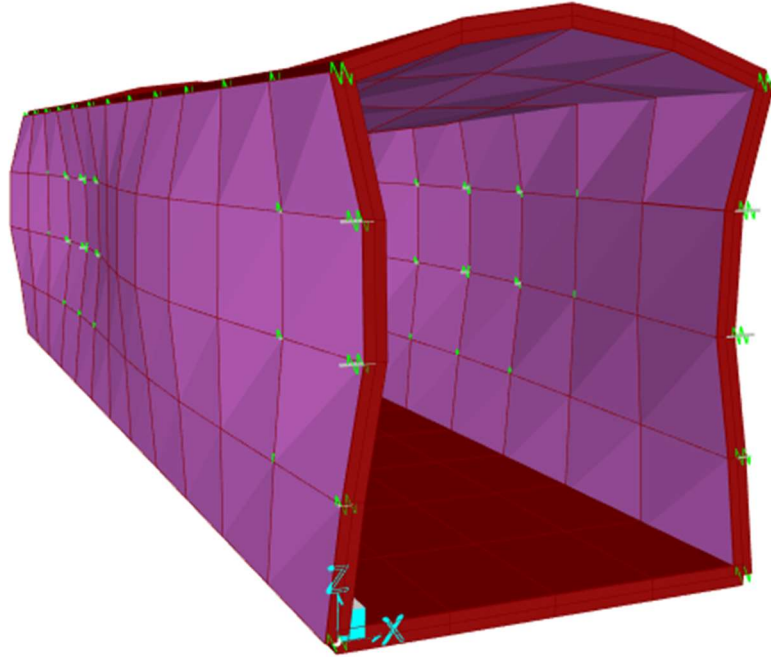
Tablo 6.6’ da görülen değişimler menfez tüm yüzlerine 4 mm kalınlığında BFRP malzemesi ile uygulama yapıldıktan sonra değişimin farklılığını gösterilmiştir.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 6; T = 0,02479; f = 40,3427



Şekil 6.11. BFRP’ siz 6. mod menfez deformasyonu

Deformed Shape (MODAL) - Mode 6; T = 0,02191; f = 45,64479



Şekil 6.12. BFRP’ li 6. mod menfez deformasyonu

Tablo 6.6. Mod 6' nın periyot ve frekans değerleri karşılaştırması

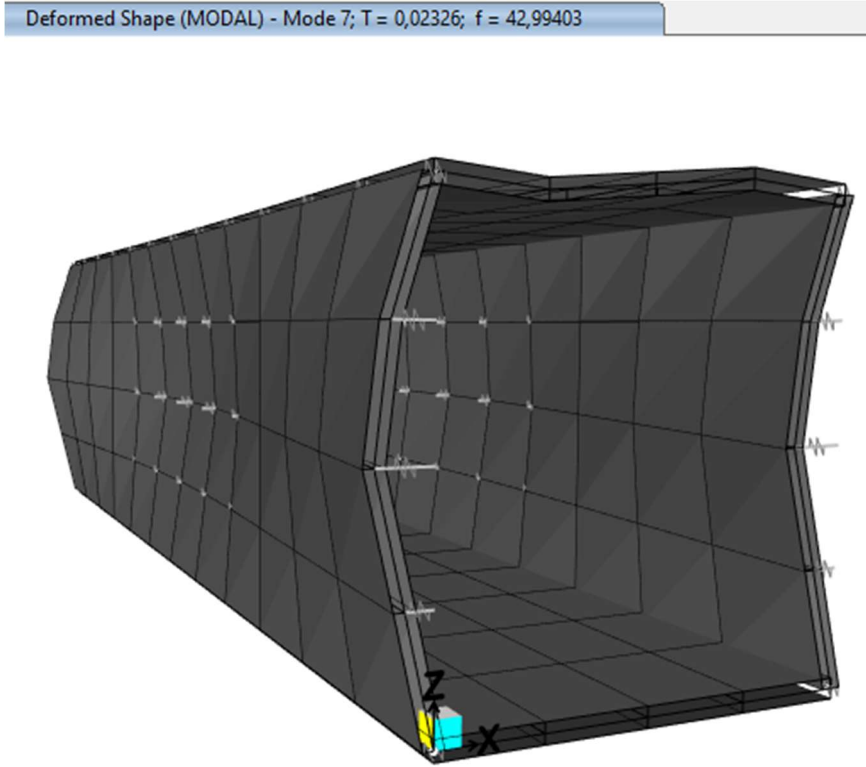
	Periyot (s)	Frekans (hz)
BFRP' siz	0.0247	40.3426
BFRP' li	0.0219	45.6447

### 6.1.7. Mod 7 karşılaştırılması

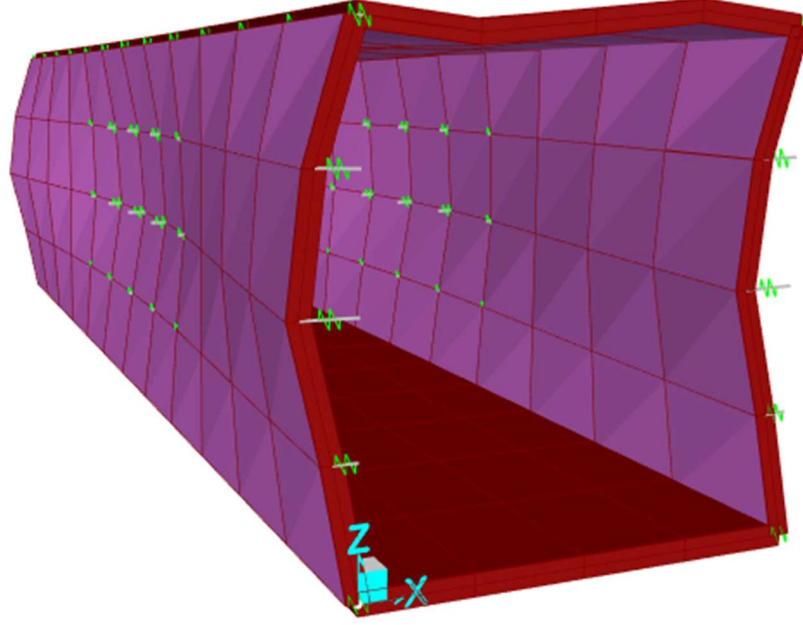
BFRP (4 mm) uygulanmadan önce: Periyot=0.0232 s, Frekans=42.9940 hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.13' teki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

BFRP (4 mm) uygulandıktan sonra: Periyot=0.0201 s, Frekans=49.7341 hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.14' teki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

Tablo 6.7' de görülen değişimler menfez tüm yüzlerine 4 mm kalınlığında BFRP malzemesi ile uygulama yapıldıktan sonra değişimin farklılığını gösterilmiştir.



Şekil 6.13. BFRP' siz 7. mod menfez deformasyonu



Şekil 6.14. BFRP' li 7. mod menfez deformasyonu

Tablo 6.7. Mod 7' nin periyot ve frekans değerleri karşılaştırması

	Periyot (s)	Frekans (hz)
BFRP' siz	0.0232	42.9940
BFRP' li	0.0201	49.7341

### 6.1.8. Mod 8 karşılaştırılması

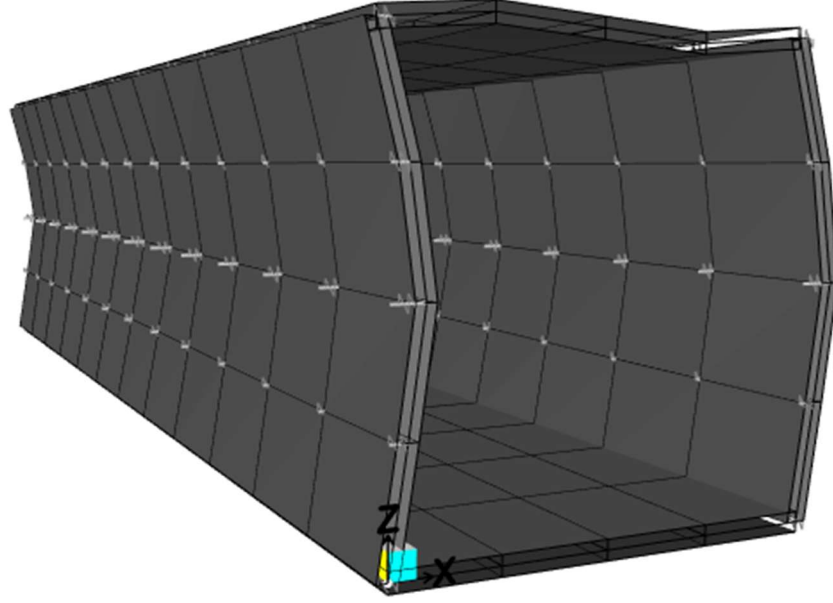
BFRP (4 mm) uygulanmadan önce: Periyot=0.0222 s, Frekans=45.0067 hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.15' deki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

BFRP (4 mm) uygulandıktan sonra: Periyot=0.0191 s, Frekans=52.3300 hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir.

Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.16' daki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

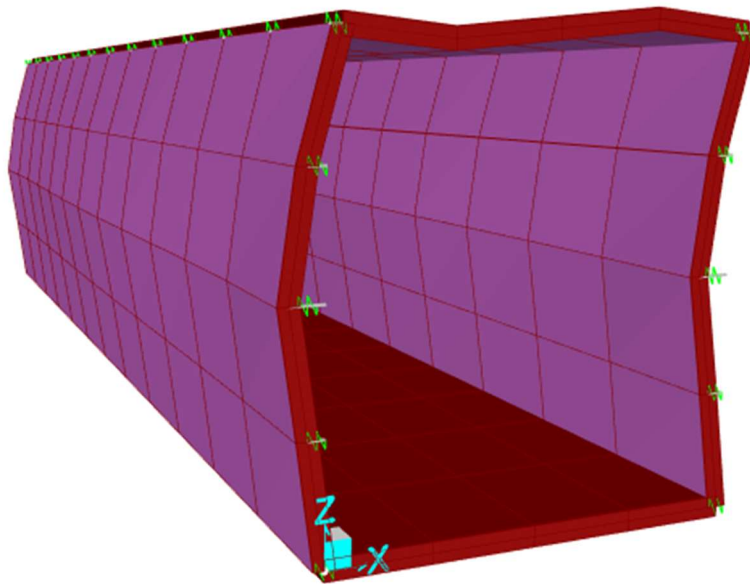
Tablo 6.8’ de görülen değişimler menfez tüm yüzlerine 4 mm kalınlığında BFRP malzemesi ile uygulama yapıldıktan sonra değişimin farklılığını gösterilmiştir.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 8; T = 0,02222; f = 45,00671



Şekil 6.15. BFRP’ siz 8. mod menfez deformasyonu

Deformed Shape (MODAL) - Mode 8; T = 0,01911; f = 52,33005



Şekil 6.16. BFRP’ li 8. mod menfez deformasyonu

Tablo 6.8. Mod 8' nin periyot ve frekans değerleri karşılaştırması

	Periyot (s)	Frekans (hz)
BFRP' siz	0.0222	45.0067
BFRP' li	0.0191	52.3300

### 6.1.9. Mod 9 karşılaştırılması

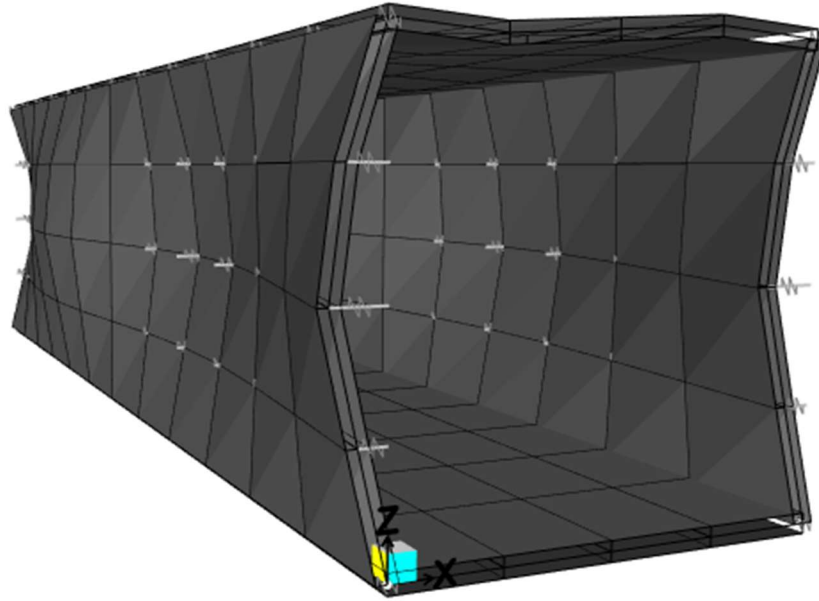
BFRP (4 mm) uygulanmadan önce: Periyot=0.0210 s, Frekans=47.5956 hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.17' deki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

BFRP (4 mm) uygulandıktan sonra: Periyot=0.0182 s, Frekans=54.928 hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir.

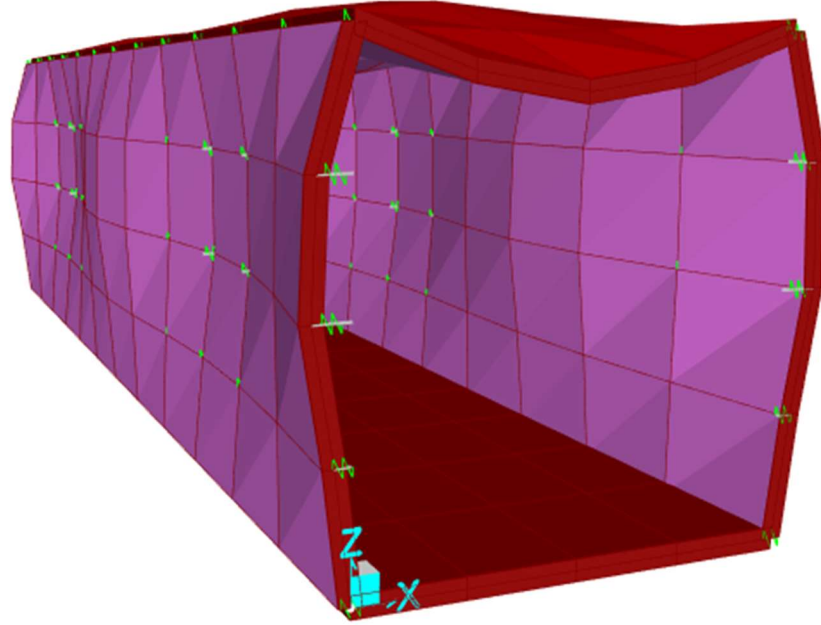
Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.18' deki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

Tablo 6.9' da görülen değişimler menfez tüm yzelerine 4 mm kalınlığında BFRP malzemesi ile uygulama yapıldıktan sonra değişimin farklılığını gösterilmiştir.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 9; T = 0,02101; f = 47,59562



Şekil 6.17. BFRP' siz 9. mod menfez deformasyonu



Şekil 6.18. BFRP' li 9. mod menfez deformasyonu

Tablo 6.9. Mod 9' nun periyot ve frekans değerleri karşılaştırması

	Periyot (s)	Frekans (hz)
BFRP' siz	0.0210	47.5956
BFRP' li	0.0182	54.9288

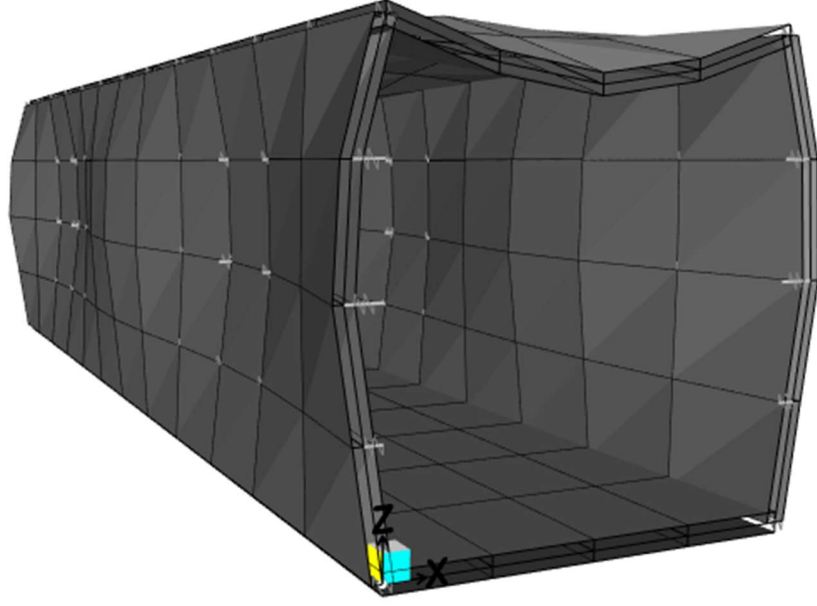
#### 6.1.10. Mod 10 karşılaştırılması

BFRP (4 mm) uygulanmadan önce: Periyot=0.0206 s, Frekans=48.3706 hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.19' daki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

BFRP (4 mm) uygulandıktan sonra: Periyot=0.0180 s, Frekans=55.3819 hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.20' deki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

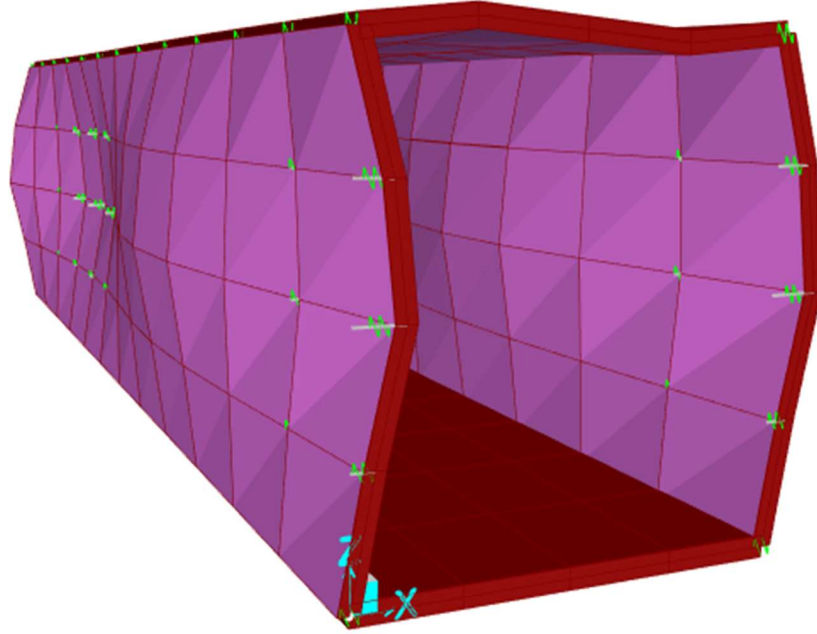
Tablo 6.10' da görülen değişimler menfez tüm yüzlerine 4 mm kalınlığında BFRP malzemesi ile uygulama yapıldıktan sonra değişimin farklılığını gösterilmiştir.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 10; T = 0,02067; f = 48,3706



Şekil 6.19. BFRP' siz 10. mod menfez deformasyonu

Deformed Shape (MODAL) - Mode 10; T = 0,01806; f = 55,38197



Şekil 6.20. BFRP' li 10. mod menfez deformasyonu

Tablo 6.10. Mod 10' nun periyot ve frekans değerleri karşılaştırması

	Periyot (s)	Frekans (hz)
BFRP' siz	0.0206	48.3706
BFRP' li	0.0180	55.3819

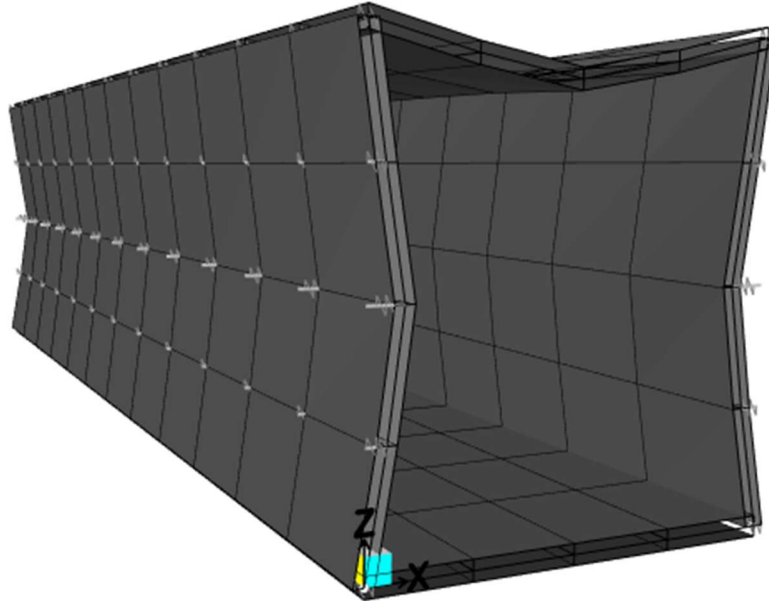
### 6.1.11. Mod 11 karşılaştırılması

BFRP (4 mm) uygulanmadan önce: Periyot=0.0197 s, Frekans=50.5842 Hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.21' deki grafiği gorsel olarak gosterilmektedir.

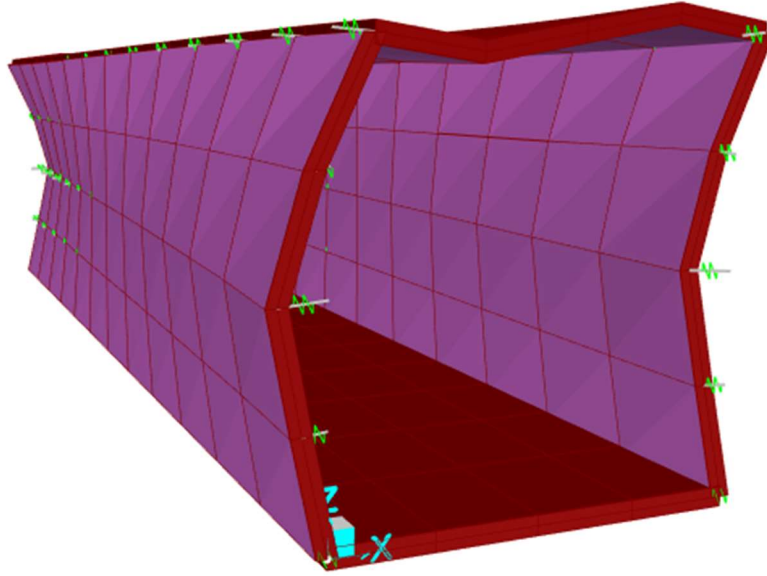
BFRP (4 mm) uygulandıktan sonra: Periyot=0.0166 s, Frekans=60.0222 Hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.22' deki grafiği gorsel olarak gosterilmektedir.

Tablo 6.11' de gorulen değişimler menfez tüm yüzlerine 4 mm kalınlığında BFRP malzemesi ile uygulama yapıldıktan sonra değişimin farklılığını gosterilmiştir.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 11; T = 0,01977; f = 50,58421



Şekil 6.21. BFRP' siz 11. mod menfez deformasyonu



Şekil 6.22. BFRP' li 11. mod menfez deformasyonu

Tablo 6.11. Mod 11' nin periyot ve frekans değerleri karşılaştırması

	Periyot (s)	Frekans (hz)
BFRP' siz	0.0197	50.5842
BFRP' li	0.0166	60.0222

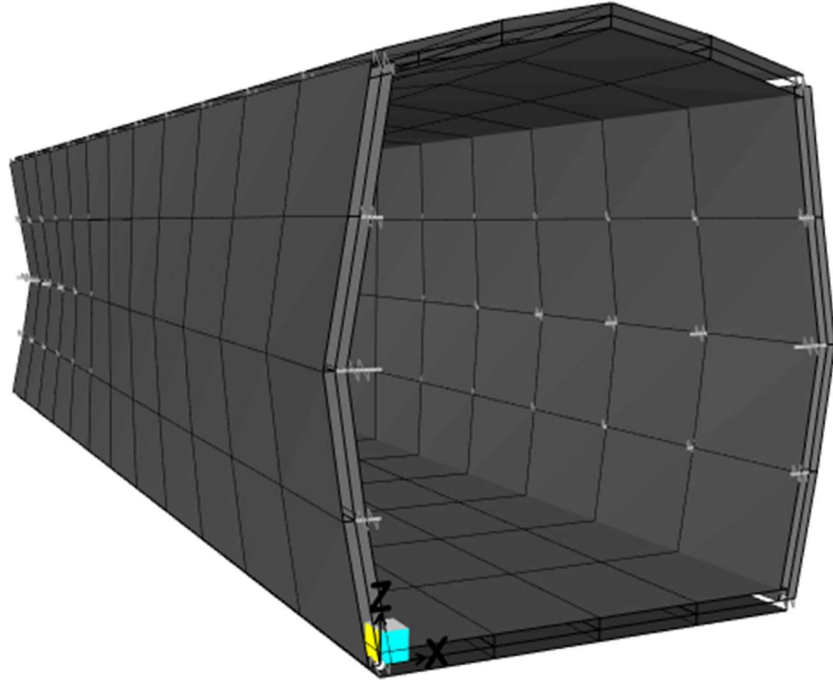
### 6.1.12. Mod 12 karşılaştırılması

BFRP (4 mm) uygulanmadan önce: Periyot=0.0196 s, Frekans=50.9965 hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.23' teki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

BFRP (4 mm) uygulandıktan sonra: Periyot=0.0163 s, Frekans=61.2672 hz, değerleri bu mod' daki SAP2000 programı tarafından verilen değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 6.24' teki grafiği görsel olarak gösterilmektedir.

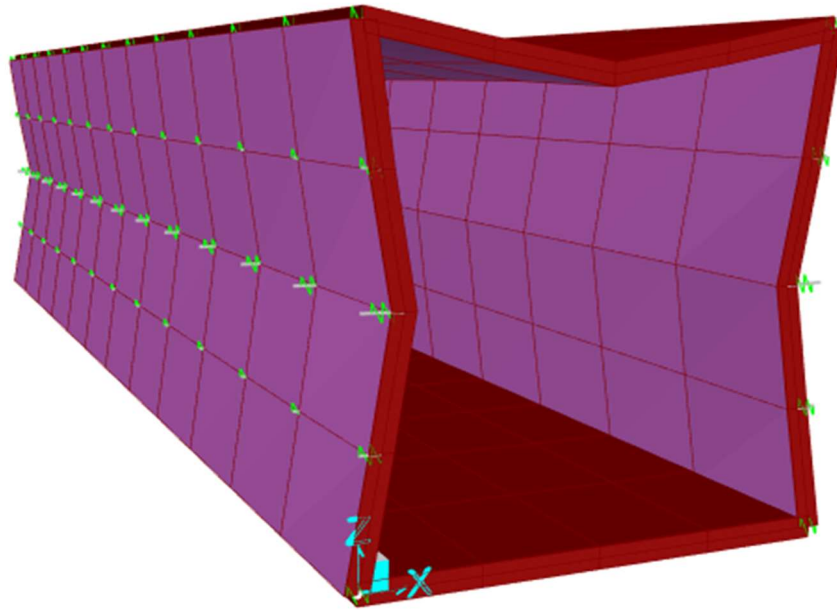
Tablo 6.12' de görülen değişimler menfez tüm yüzlerine 4 mm kalınlığında BFRP malzemesi ile uygulama yapıldıktan sonra değişimin farklılığını gösterilmiştir.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 12; T = 0,01961; f = 50,9965



Şekil 6.23. BFRP' siz 12. mod menfez deformasyonu

Deformed Shape (MODAL) - Mode 12; T = 0,01632; f = 61,26724



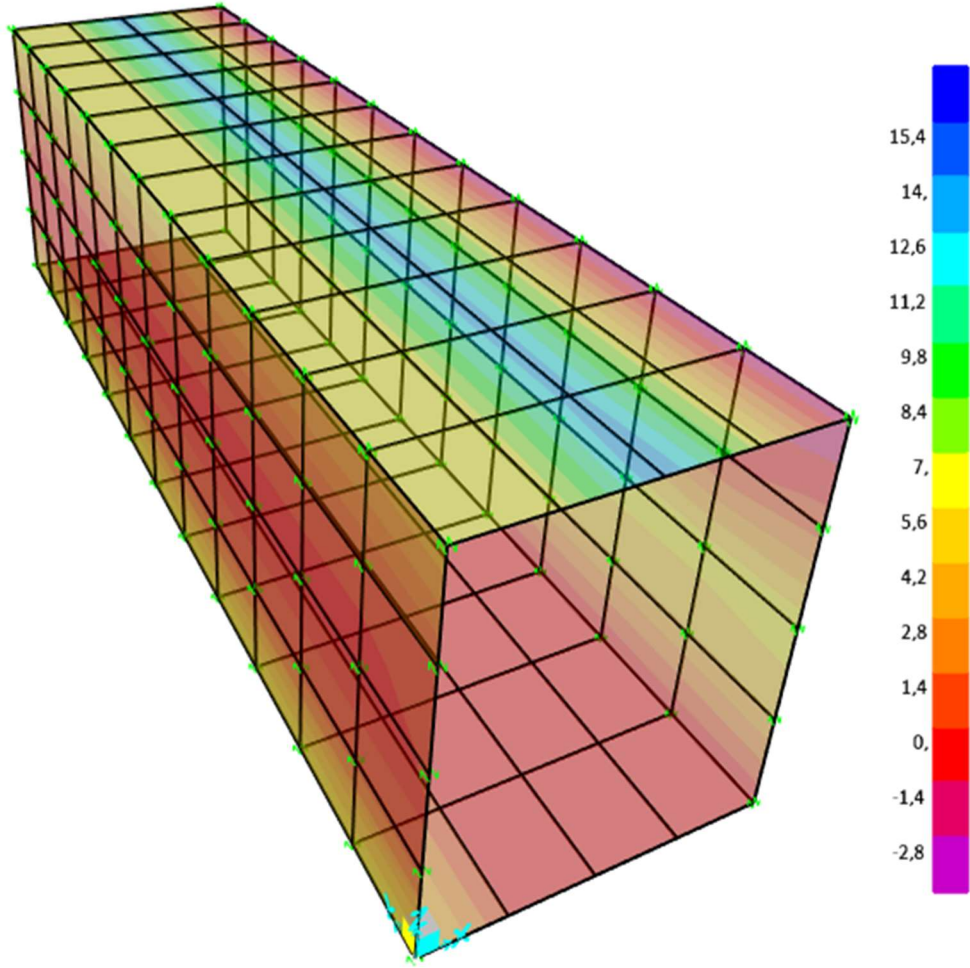
Şekil 6.24. BFRP' li 12. mod menfez deformasyonu

Tablo 6.12. Mod 12' nin periyot ve frekans değerleri karşılaştırması

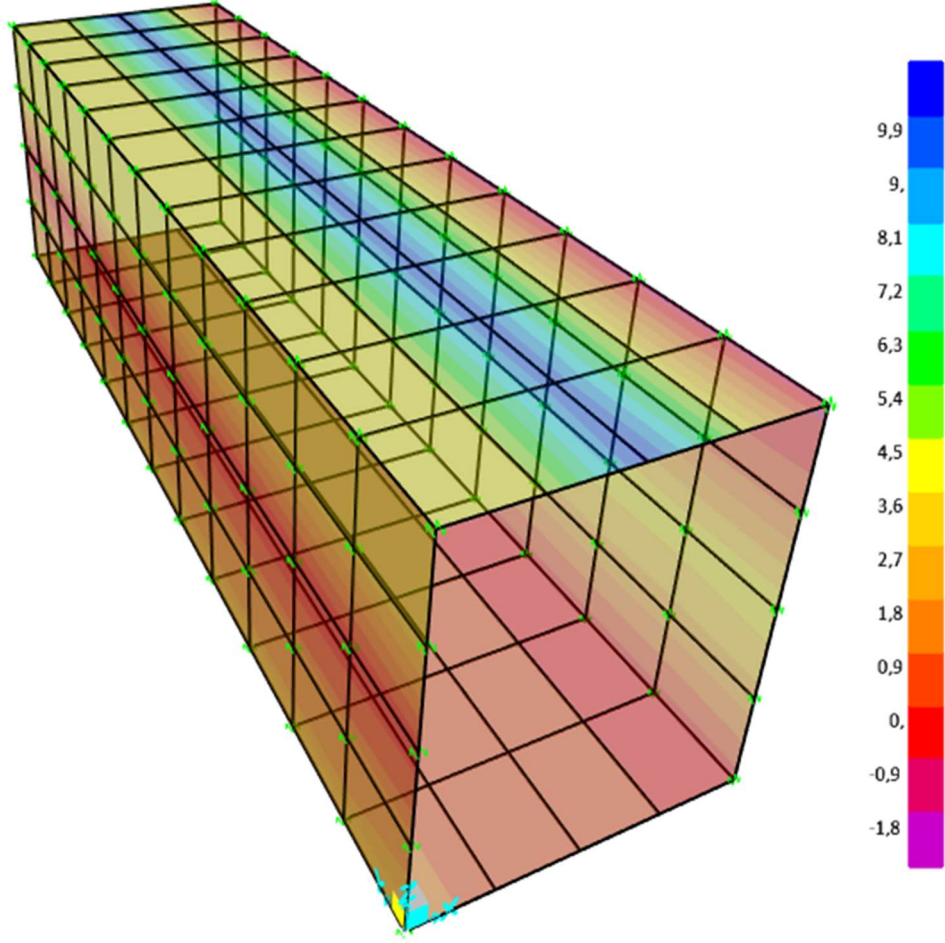
	Periyot (s)	Frekans (hz)
BFRP' siz	0.0196	50.9965
BFRP' li	0.0163	61.2672

## 6.2. Maksimum Moment (Mmax) Karşılaştırılması

SAP2000 programı ortamında betonarme kutu menfeze BFRP ile güçlendirme yapılmadan önce yapılan analizdeki maksimum moment değerleri ile, BFRP malzemesinin uygulandıktan sonraki maksimum moment değerleri görsel olarak sunulmaktadır.



Şekil 6.25. BFRP' siz Mmax diyagramı



Şekil 6.26. BFRP' li Mmax diyagramı

BFRP ile güçlendirme yapılmadan önce ve BFRP uygulandıktan sonra maximum ve minimum moment değerleri Tablo 6.13' te belirtilmiştir.

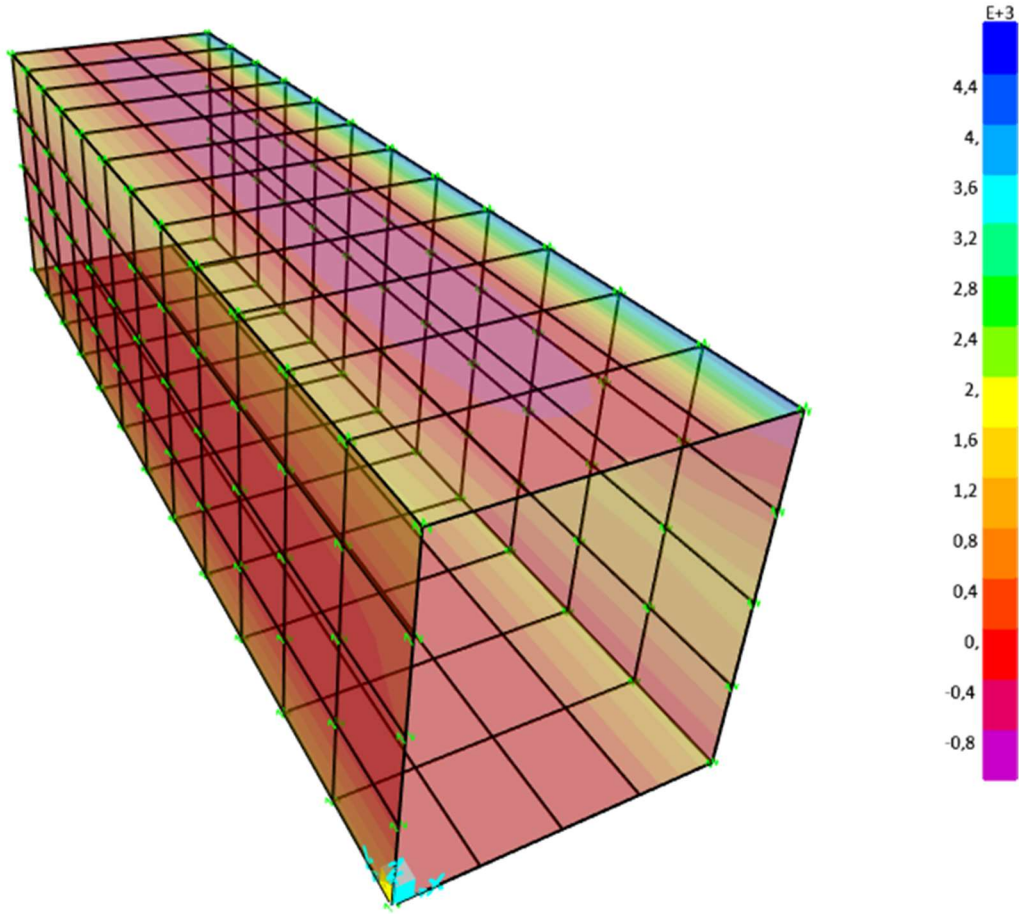
Tablo 6.13. Mmax değerlerinin karşılaştırması

Mmax Değerleri (kN)	BFRP' siz	BFRP' li
MAX	16.6510	10.2310
MİN	-3.3600	-1.9720

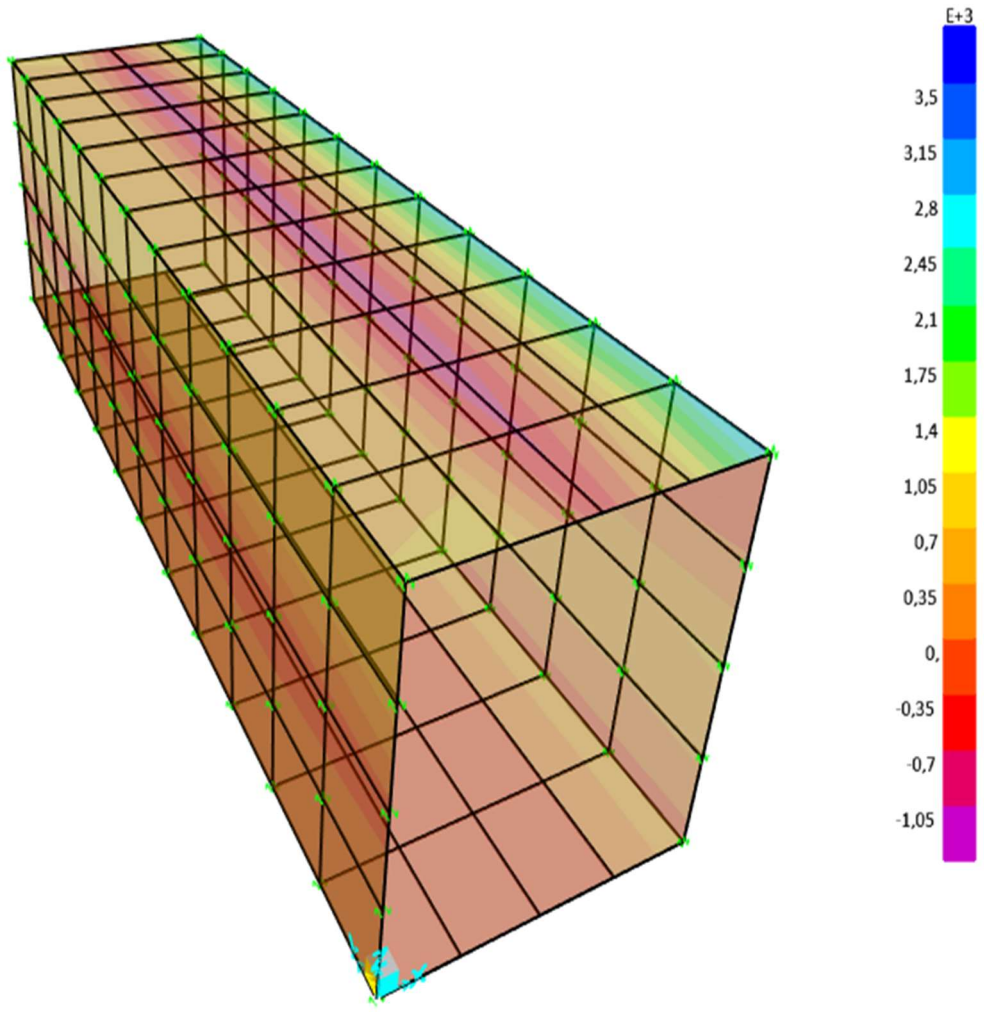
### 6.3. Maksimum Gerilme (Smax) Karşılaştırılması

SAP2000 programı ortamında betonarme kutu menfeze BFRP ile güçlendirme yapılmadan önce yapılan analizdeki maksimum gerilme etkisi ( $\sigma$ ) değerleri ile, BFRP malzemesinin uygulandıktan sonraki maksimum gerilme ( $\sigma$ ) etkisi görsel olarak sunulmaktadır.

BFRP ile güçlendirme yapılmadan önce ve BFRP uygulandıktan sonra maximum ve minimum gerilme değerleri Tablo 6.14' te belirtilmiştir.



Şekil 6.27. BFRP' siz Smax diyagramı



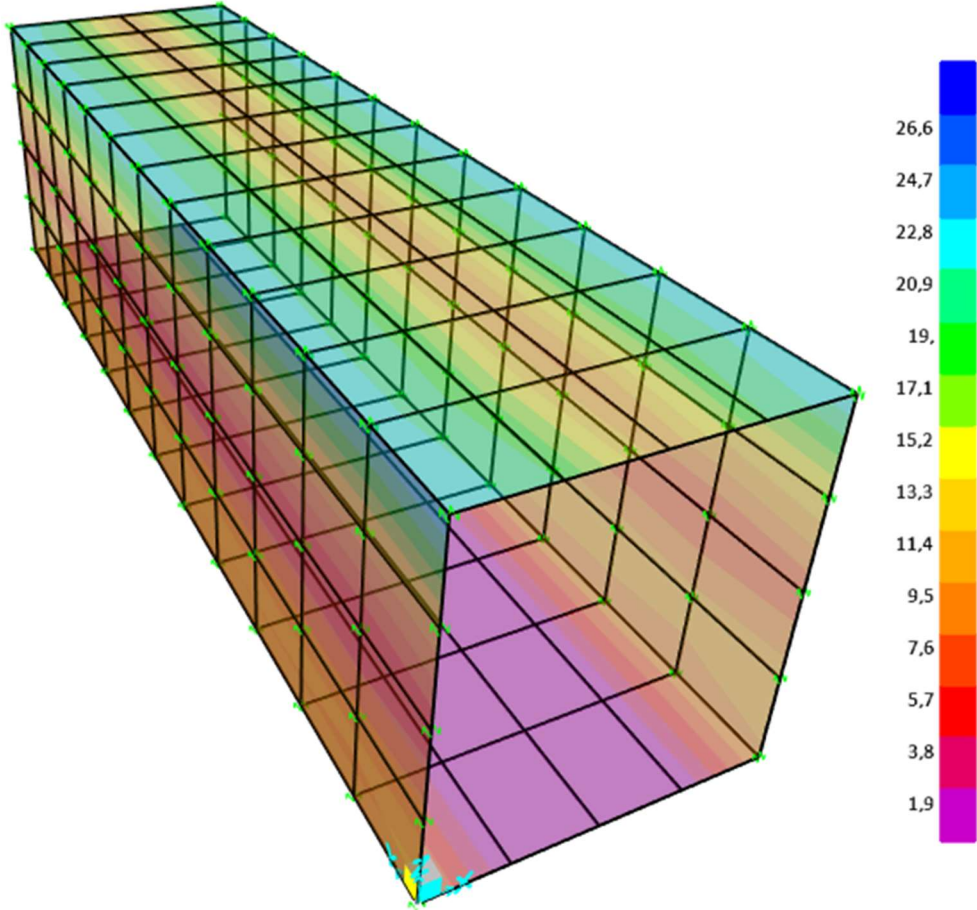
Şekil 6.28. BFRP takviyeli Smax diyagramı

Tablo 6.14. Smax değerlerinin karşılaştırılması

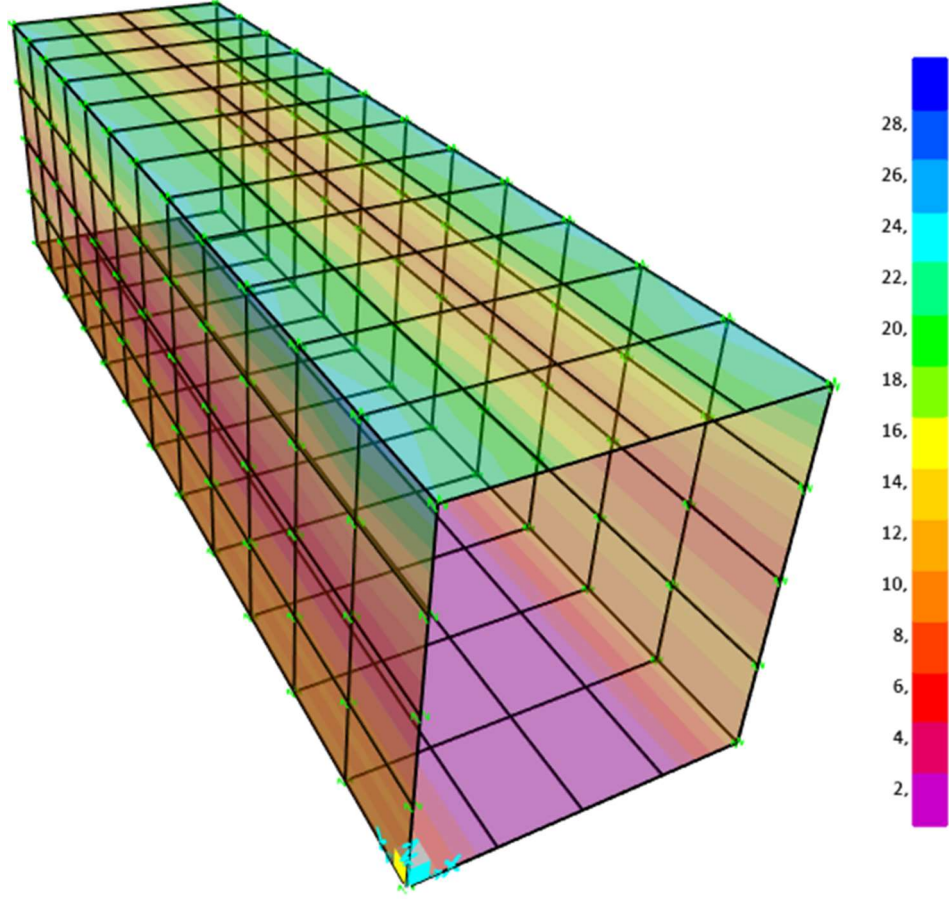
Smax Değerleri (kN/m <sup>2</sup> )	BFRP' siz	BFRP' li
MAX	4338.3360	3605.4810
MİN	-904.0330	-1062.3880

#### 6.4. Maksimum Kesme Kuvveti (Vmax) Karşılaştırılması

SAP2000 programı ortamında betonarme kutu menfeze BFRP ile güçlendirme yapılmadan önce yapılan analizdeki maksimum kesme değerleri ile, BFRP malzemesinin uygulandıktan sonraki maksimum kesme değerleri görsel olarak sunulmaktadır.



Şekil 6.29. BFRP' siz Vmax diyagramı



Şekil 6.30. BFRP' li Vmax diyagramı

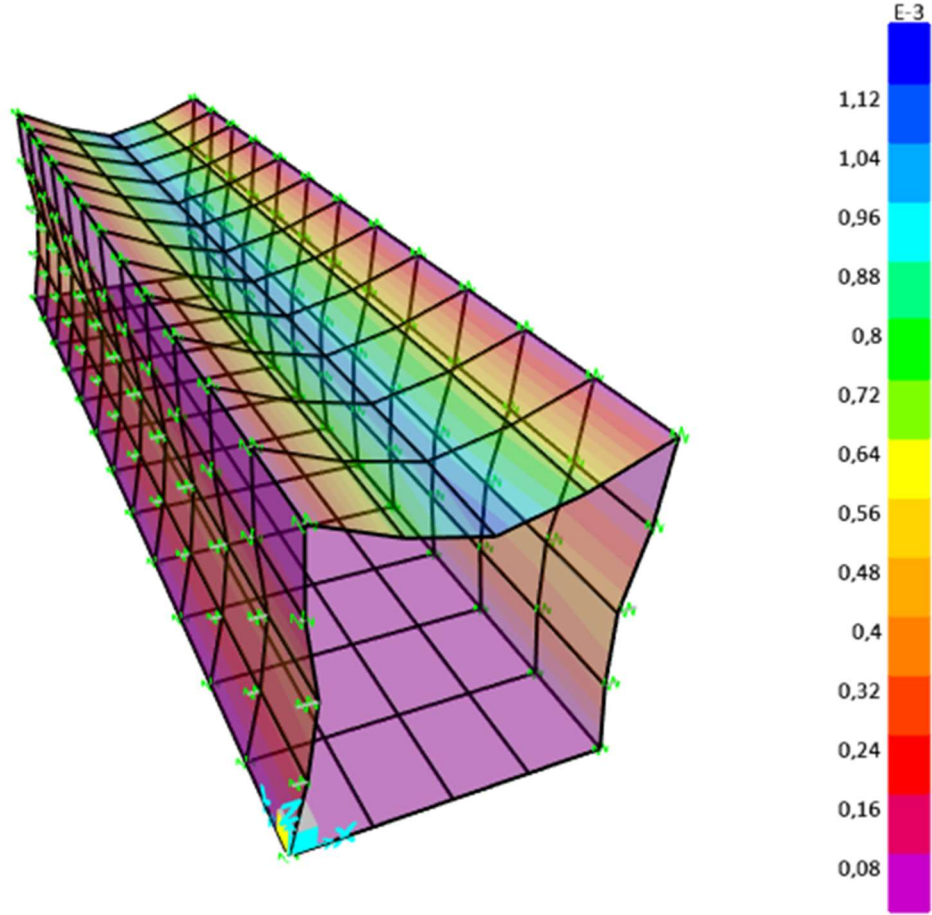
BFRP' li ve BFRP' siz durumları için Vmax değerleri Tablo 5.15' te belirlenmiştir.

Tablo 6.15. Vmax değerlerinin karşılaştırması

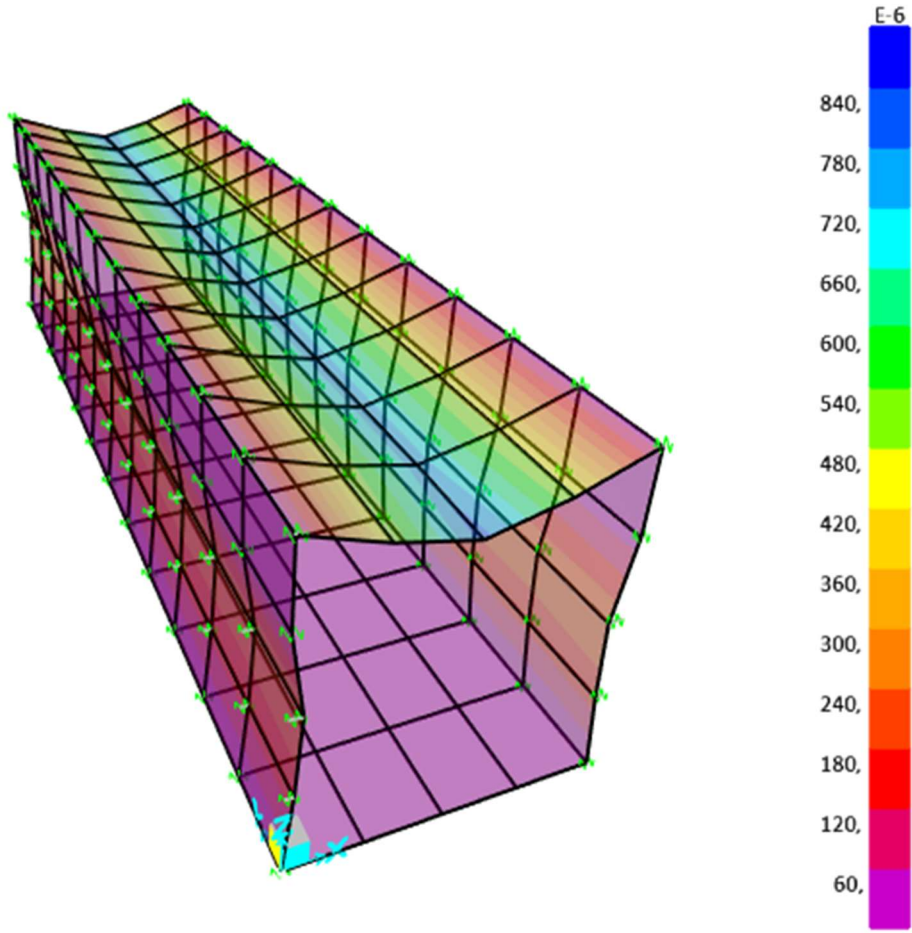
Vmax Değerleri (kN/m)	BFRP' siz	BFRP' li
MAX	28.3770	28.6320

## 6.5. Yerdeşistirme Karşılaştırılması

SAP2000 programında betonarme kutu menfeze BFRP ile güçlendirme yapılmadan önce yapılan analizdeki maksimum yerdeğistirme değerleri ile, BFRP malzemesinin uygulandıktan sonraki yerdeğistirme değerleri görsel olarak sunulmaktadır.



Şekil 6.31. BFRP' siz yerdeğistirme diyagramı



Şekil 6.32. BFRP' li yerdeğiştirme diyagramı

BFRP' li ve BFRP' siz durumları için maksimum yerdeğiştirme değerleri Tablo 5.16' da belirlenmiştir.

Tablo 6.16. Yerdeğiştirme değerlerinin karşılaştırması

Yerdeğiştirme Değerleri	BFRP' siz	BFRP' li
MAX	0.0011	0.0008

## 7. SONUÇ

Bu çalışmada 150 mm kalınlığındaki Betonarme Kutu Menfez yapısına 4 mm kalınlığında BFRP ile kaplanarak yapılan güçlendirme sonucunda yapının parametrelerinde meydana gelen ortalama değişim yüzdeleri aşağıda sıralanmıştır.

İlk olarak modların karşılaştırılması yapılmıştır. Modları incelediğimizde yapının BFRP ile güçlendirme yapılmadan önceki periyodunun güçlendirme yapıldıktan sonra %3.6 ile %16.8 aralarında azaldığı belirlenmiştir.

Menfezi güçlendirdikten sonra 1. modu incelediğimizde periyodunun %3.6 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Bildiğimiz gibi yapının ilk Periyodu yapının doğal titreşim periyodudur.

Maximum moment değerlerin karşılaştırılması yapıldı. Karşılaştığımız değerleri incelediğimizde menfezinin BFRP ile güçlendirdikten sonra  $M_{max}$  değerinin yaklaşık olarak %38 oranında azaldığı belirlenmiştir. Güçlendirme sürecinde kullandığımız BFRP malzemesinin elastisite modülünün yüksek olması oluşturduğumuz bileşik kesitin de elastisite modülünü arttırmıştır. Dolayısıyla moment değerlerinde önemli bir azalmaya neden olmuştur.

$S_{max}$  değerlerini karşılaştırdığımızda menfezinin BFRP ile güçlendirdikten sonra  $S_{max}$  değerinin yaklaşık olarak %16 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

$V_{max}$  değerlerini karşılaştırdığımızda menfezinin BFRP ile güçlendirdikten sonra  $V_{max}$  değerinin yaklaşık olarak %1 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Güçlendirilmemiş durum ile güçlendirilmiş durum arasındaki  $V_{max}$  değerleri birbirine yakın olduğu çıkmıştır.

Yerdeğiştirme değerlerini incelediğimizde menfezinin BFRP ile güçlendirdikten sonra yerdeğiştirme değerinin yaklaşık olarak %27 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Betonarme kutu menfez BFRP ile kaplanarak güçlendirildiğinde periyotlarda azalma açıkça görülmektedir.

Menfezinin rijitliği arttığı ve daha stabil hale geldiği tespit edilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abuhajar, O., Naggari, H., E. ve Newson, T., 2015. Static Soil Culvert Interaction the Effect of Box Culvert Geometric, Configurations and Soil Properties, *Computers and Geotechnics*, 69, 219–235.
- Adanur, S., Mosallam, A.S., Shinozuka, M. ve Gümüşel, L., 2011. A Comparative Study on Static and Dynamic Responses of FRP Composite and Steel Suspension Bridges, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*.
- Alam, S., Dhar, N. ve Rahman A. 2015. *Investigations on the Influence of Cutting Fluids in Turning Composites Under Variable Machining Conditions*. Master's Thesis, Department of Mechanical & Production Engineering Ahsanullah University of Science & Technology, 60, Dhaka, Bangladesh.
- Alshekh Hammoud Mahmoud, Sertac Tuhta and Furkan Günday (2022) “Determination of Modal Parameters of Reinforced Concrete Tunnel Retrofitted with CFRP Using Finite Element Method”, *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 9(04), pp. 10–18. doi: 10.17605/OSF.IO/QMWGV.
- Arslan, G., ve Şengün, K., 2017. Influence of CFRP on the Strength of Retrofitted Rc Beams Without Stirrups, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences* ,35,1, 77-85.
- ASCE, 2008. *ACPA Technical Series, Concrete Pipe Historical Overview of the RPC Industry Materials & Manufacturing Process for Reinforced Concrete Pipe I-2*, Reston.
- Aşkan, H., A.,1996. *Menfezlerin Projelendirilmesi için Taşkın Hesap Metodları*. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Elazığ.
- Aytaç, E. 2011. *CFRP Güçlendirme Malzemesi ve Güçlendirme Teknikleri*. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Anabilim Dalı, İzmir.
- Bakkour Fouad, Sertac Tuhta ve Furkan Günday (2022) “Finite Element Metodu Kullanılarak GFRP ile Güçlendirilmiş Takviyeli Beton Kutu Menfinin Modal Parametrelerinin Belirlenmesi”, *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology* , 9(04), s. 1–9 . doi: 10.17605/OSF.IO/63CPZ.
- Bastianini, F., Corradi, M., Borri, A. and Di Tommaso A. 2005. Retrofit and Monitoring of an Historical Building Using “Smart” CFRP with Embedded Fibre Optic Brillouin Sensors. *Construction and Building Materials*, 19:7, 525-535. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2005.01.004.
- Colombo, C., Vergani, L., Burman, M., 2012, Static and Fatigue Characterization of New Basalt Fibre Reinforced Composites, *Composite Structure* 94, 1165-1174.
- Çalışkan, U., 2007. *Karayolu Ulaşım Ağlarında Yüzeysel Drenaj Sistemleri ve Hidrolik Tasarım Esasları*. Yüksek Lisans Tezi. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Bilim Dalı, İstanbul.
- Değirmenci, İ.ve Sarıbyık, M. 2015. Tarihi Yapıların Güçlendirilmesinde Yenilikçi Yaklaşımlar ve FRP Malzemelerin Kullanımı. *3rd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, June, 339-347, Valencia, Spain.
- FHWA, “*Hydraulic Design of Culverts, Third Edition*”, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Colorado, 6-15 (2012).
- Gora, Abdurra'uf Mukhtar and Jaganathan, Jayaprakash and Anwar, M.P. and Alengaram, U. Johnson (2018) Finite Element Analysis of Rectangular Reinforced Concrete Columns Wrapped with FRP Composites. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, 431 . 072005/1-072005/8. ISSN 1757-899X.

- Gül, A., 1999, *Cross-Drainage&Culvert Design on Highways*. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Anabilim Dalı, İzmir.
- Günaydın, M., Adanur, S., Altunışık, A.C. ve Sevim, B., 2015. Static and Dynamic Responses of Halvagar Footbridge Using Steel and FRP Materials, *Steel and Composite Structures*, 18, 51-69.
- Karayolu Tasarım El Kitabı*, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara (2005).
- Karayolları Teknik Şartnamesi*, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara (2013).
- Kasimzade, A.A., & Tuhta, S. (2005) Finite Element, Analytical, Experimental Investigation of Reinforced Concrete Beams Strengthened with GFRP and Related Structure Analysis Problem' s Solutions, *AACEU*, Scientific Works No 0, pp.18-26.
- Kasimzade, A.A., & Tuhta S. (2012). Analytical, Numerical And Experimental Examination of Reinforced Composites Beams Covered with Carbon Fiber Reinforced Plastic, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, vol. 42, pp. 55- 70.
- Kasimzade, A.A., & Tuhta, S. (2017) OMA of Model Steel Structure Retrofitted with GFRP Using Earthquake Simulator, *Earthquakes and Structures*, vol. 12, pp. 689-697.
- Kheradi, H., Nagano, K., Nishi, H. ve Zhang, F., 2018. 1-G Shaking Table Tests on Seismic Enhancement of Existing Box Culvert with Partial Groundimprovement Method and Its 2d Dynamic Simulation, *Soils and Foundations*, 58, 563–581.
- Kim, K. ve Yoo, C., H., 2005. Design Loading on Deeply Buried Box Culvert, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Asce*, 131, 1.
- KGM (*Karayolları Genel Müdürlüğü*), 2005b. Proje ve Mühendislik Hizmetleri Kriter Raporları, Karayolları Genel Müdürlüğü, Otoyollar Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Kolate, N., Mathew, M., ve Mali, S., 2014. Analysis and Design of RC Box Culvert, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5, 12.
- Kuş, M., “*Theoretical Effects of Geometrical Parameters on Reinforced Concrete Box Culverts*”. Yüksek Lisans Tezi. Hasan Kalyoncu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, 4-41 (2017).
- Norris, T., Saadatmanesh, H.ve Ehsani, M.R., 1997, Shear and flexurer strengthening of RC beams with carbon fiber sheets, *Journal of Structural Engineering*, July,911.
- Özcan, C., Ö., 2003. *Stability Analyses of The Dump Site Culvert in Tınaz Surface Mine*. Yüksek Lisans Tezi. O.D.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Özel, S., “*Karayolu Kutu Menfez Yapılarında Farklı Tasarım Yöntemlerinin Karşılaştırılması*”. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Bilim Dalı, Trabzon, 1-24, (2019).
- Öztürk, A., 2001. *Karayolu Menfezlerinin Hidrolik Yönden İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Öztürk, M., Kaya, N. ve Aşkan A. H., “*Menfezlerin Projelendirilmesinde Kullanılan Taşkın Hesap Metotlarının Değerlendirilmesi*”, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7 (2): 167-171 (2003).
- Quagliarini, E.,Monni, F., Lenci, S., Bondioli, F., 2012, Tensile Characterization of Basalt Fiber Rods and Ropes: A First Contribution, *Construction and Building Materials* 34, 372-380.
- Schall, J. D., Thompson, P. L., Zerges, S. M., Kilgore, R. T., and Morris, J. L. (2012). Hydraulic Design of Highway Culverts (3rd ed.) *Hydraulic Design Series*. No 5.

- Simpson, B., Hoult, N., A. ve Moore, I., D., 2017. Rehabilitated Reinforced Concrete Culvert Performance Under Surface Loading, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 69, 52–63.
- Şahin, Y., “*Kompozit Malzemelere Giriş*”, Gazi Kitabevi, Ankara, 2-33 (2000).
- Tanarşlan, H.M. Ertutar, Y.ve Altın, S ,2008. Makale ADIJournal of Reinforced Plastics and Composites, 27,1287.
- Tosun, E., 2002. *Numerical İmplementation of Culvert Design Method*. Yüksek Lisans Tezi. O.D.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Tuhta, S., Abrar, O., & Günday, F. (2019). Experimental Study on Behavior of Bench-Scale Steel Structure Retrofitted with CFRP Composites under Ambient Vibration. *European Journal of Engineering Research and Science*, 4(5), 109–114.
- Tuhta, S., Günday, F., & Alihassan, A. (2020). The Effect of CFRP Reinforced Concrete Chimney on Modal Parameters Using Finite Element Method. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 7(2), 1–6.
- Tuhta, S., Günday, F., & Pehlivan, N. C. (2019). Investigation of CFRP Retrofiting Effect on Masonry Dome on Bending Moment Using Finite Element Method. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 6(6), 18–22.
- Tuhta, S., Günday, F., & Warayth, M. O. (2021). The Effect of GFRP Steel Silo on Modal Parameters Using Finite Element Method. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 8(7), 41-46.
- Tuhta, S., Günday, F., & Aydın, H. (2019). Dynamic Analysis of Model Steel Structures Retrofitted with GFRP Composites under Microtremor Vibration. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 3(2), 729–733.
- Xiao, Y. and Wu, H., 2000. Compressive Behaviour of Concrete Confined by Carbon Fiber Composite Jackets, *Journal of Materials in Civil Engineering* ,12,2, 139-146.
- Yaşar, İ., 1993. *Karayollarında Kullanılan Sanat Yapılarının Seçimi ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Elazığ.
- Ziada, M., Tuhta, S., Gençbay, E. H., Günday, F., & Tammam, Y. (2019). Analysis of Tunnel Form Building Retrofitted with using Finite Element Method. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 3(2), 822–826.

## ÖZ GEÇMİŞ

Fuad BAKKOUR, Homs Ibn Khaldon Lisesi' ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümünden 22.06.2020 tarihinde mezun oldu. 2020 yılında OMÜ İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına girdi. İyi derecede İngilizce/ Arapça bilmektedir.

### İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0003-3346-2650

### Yayınlar:

1. Bakkour Fouad , Sertaç Tuhta ve Furkan Günday (2022) “Finite Element Metodu Kullanılarak GFRP ile Güçlendirilmiş Takviyeli Beton Kutu Menfinin Modal Parametrelerinin Belirlenmesi”, International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology , 9(04), s. 1–9 . doi: 10.17605/OSF.IO/63CPZ.