

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BETONARME VE LİFLİ POLİMERDEN YAPILMIŞ
MENFEZLERİN YAPISAL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Metin KARADAĞ

KASIM 2018

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Anabilim Dalında
Metin KARADAĞ Tarafından Hazırlanan**

**BETONARME VE LİFLİ POLİMERDEN YAPILMIŞ
MENFEZLERİN YAPISAL ANALİZİ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 17/06/2018 gün ve 1762 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof.Dr.Süleyman ADANUR

Üye : Prof .Dr.Ahmet Can ALTUNIŞIK

Üye : Doç .Dr.Tufan ÇAKIR

The image shows three handwritten signatures in blue ink, each written on a horizontal dotted line. The first signature is 'S. Adanur', the second is 'Altunışık', and the third is 'Çakır'.

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

“Betonarme ve Lifli Polimerden Yapılmış Menfezlerin Yapısal Analizi” isimli tez çalışmasını bana öneren, çalışmanın her aşamasında maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen, değerli hocam Sayın Prof. Dr. Süleyman ADANUR'a minnet ve şükranlarımı sunarım.

Son olarak tez çalışması boyunca desteğini, güvenini ve yardımlarını benden esirgemeyen eşim Merve TEKDEMİR KARADAĞ'a teşekkür eder, bu çalışmanın, yeni çalışmalara ışık tutmasını ve ülkemize faydalı olmasını temenni ederim.

Metin KARADAĞ
Trabzon 2018

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Betonarme ve Lifli Polimerden Yapılmış Menfezlerin Yapısal Analizi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Süleyman ADANUR’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 16 / 11 /2018

Metin KARADAĞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	X
SUMMARY	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XII
TABLolar DİZİNİ	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XVI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Konu ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar	3
1.2.1. Menfez ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	3
1.2.2. Lifli Polimer Malzemelerin İnşaat Mühendisliği Alanında Kullanımı ile İlgili Çalışmalar	7
1.3. Tezin Amacı ve İçeriği.....	9
1.4. Menfez	10
1.5. Menfez Tasarımı	11
1.5.1. Kare, Dikdörtgen, Yamuk Kesitli Menfez Tasarımı.....	12
1.5.1.1. Sabit Yük	12
1.5.1.2. Dikey Toprak Yüğü	13
1.5.1.3. Yanal Toprak Yüğü.....	13
1.5.1.4. Şürşarj Yüğü	14
1.5.1.5. Su Yüğü	15
1.5.1.6. Hareketli Yüğü.....	15
1.5.1.6.1. HL93 Tasarım Kamyonu	16
1.5.1.6.2. Kamyon Yüğü Azaltma Katsayıları.....	17
1.5.1.6.3. Eşdeğer Şerit Genişliği	17
1.5.1.6.4. Dinamik Yüğü Azaltma	18
1.5.1.6.5. Ortalama Hareketli Yüğü.....	19

1.5.1.6.6.	Dikdörtgen, Kare, Yamuk Kesitli Menfezlerde Kullanılacak Yük Kombinasyonları.....	19
1.5.1.6.6.1.	Yük Durumları	19
1.5.1.6.6.2.	Yapı Analizi ve Boyutlandırılması İçin Yük Kombinasyonları	19
1.5.2.	Dairesel Kesitli Menfez Tasarımı	20
1.5.2.1.	Sabit Yükler	21
1.5.2.2.	Dikey Toprak Yükü	21
1.5.2.3.	Yatay Toprak Yükü	22
1.5.2.4.	Boru Sıvı Ağırlığı	22
1.5.2.5.	Hareketli Yük.....	23
1.5.2.6.	Dairesel Kesitli Menfezlerde Kullanılacak Yük Kombinasyonları	25
1.5.2.6.1.1.	Yük Durumları	25
1.5.2.6.1.2.	Yapı Analizi ve Boyutlandırılması İçin Yük Kombinasyonları	25
1.6.	AASHTO-LFRD'ye Göre Deprem Yükleri Hesaplama Akışı	26
1.6.1.	İvme Katsayısı	26
1.6.2.	Önem Sınıflandırılması.....	27
1.6.3.	Deprem Performans Kategorisi.....	27
1.6.4.	Zemin Etkisi.....	27
1.6.5.	Yerel Zemin Katsayısı	28
1.6.6.	Elastik Deprem Davranış Katsayısı	28
1.6.7.	Deprem Yükü Azaltma Katsayıları.....	29
1.7.	Lifli Polimer Kompozitler.....	30
1.7.1.	Lifler	30
1.7.2.	Matris	32
1.7.3.	Ara Yüzey	33
1.7.4.	Lifli Polimer Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları.....	33
1.7.5.	Lifli Polimer Malzemelerin İnşaat Mühendisliğinde Uygulamaları	34
1.8.	Betonarme Malzemeli Menfezin Donatı Miktarının Belirlenmesi	35
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	38
2.1.	Giriş	38
2.2.	Dikdörtgen Kesitli Menfez	39
2.2.1.	Yapı Sisteminin Tanıtılması	39
2.2.2.	Sabit Yük Hesabı(DC)	40

2.2.3.	Dikey Toprak Yüğü(EV)	40
2.2.4.	Yatay Toprak Yüğü(EH).....	41
2.2.5.	Hareketli Şürşarj Yüğü(LS)	42
2.2.6.	Hareketli Yüğü (LL+IM)	43
2.3.	Kare Kesitli Menfez	44
2.3.1.	Yapı Sisteminin Tanıtılması	44
2.3.2.	Sabit Yüğü Hesabı(DC)	45
2.3.3.	Dikey Toprak Yüğü(EV)	45
2.3.4.	Yatay Toprak Yüğü(EH).....	46
2.3.5.	Hareketli Şürşarj Yüğü(LS)	47
2.3.6.	Hareketli Yüğü (LL+IM)	48
2.4.	Yamuk Kesitli Menfez	50
2.4.1.	Yapı Sisteminin Tanıtılması	50
2.4.2.	Sabit Yüğü Hesabı(DC)	50
2.4.3.	Dikey Toprak Yüğü(EV)	50
2.4.4.	Yatay Toprak Yüğü(EH).....	51
2.4.5.	Hareketli Şürşarj Yüğü(LS)	53
2.4.6.	Hareketli Yüğü (LL+IM)	54
2.5.	Dairesel Kesitli Menfez	55
2.5.1.	Yapı Sisteminin Tanıtılması	55
2.5.2.	Sabit Yüğü(DC)	56
2.5.3.	Dikey Toprak Yüğü(EV)	56
2.5.4.	Yatay Toprak Yüğü(EH).....	57
2.5.5.	Hareketli Yüğü (LL+IM)	58
2.6.	Deprem Yüğü Hesabında Kullanılacak Spektrum Eğrisi	61
3.	BULGULAR ve İRDELEMELER	62
3.1.	Giriş.....	62
3.2.	Dikdörtgen Kutu Menfez İçin Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	62
3.2.1.	Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	62
3.2.1.1.	Yerdeğiştirme.....	62
3.2.1.1.1.	Düşey Yerdeğiştirme	62
3.2.1.1.2.	Yatay Yerdeğiştirme	63
3.2.1.2.	Eğilme Momenti	63

3.2.1.3.	Kesme Kuvveti.....	67
3.2.1.4.	Normal Kuvvetleri	70
3.2.2.	Modal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	73
3.2.3.	Dikdörtgen Kesitli Betonarme Menfezin Donatı Hesabı.....	79
3.3.	Kare Kutu Mnefez İçin Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	81
3.3.1.	Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	81
3.3.1.1.	Yerdeğiştirme.....	82
3.3.1.1.1.	Düşey Yerdeğiştirme	82
3.3.1.1.2.	Yatay Yerdeğiştirme	82
3.3.1.2.	Eğilme Momenti	83
3.3.1.3.	Kesme Kuvveti.....	86
3.3.1.4.	Normal Kuvvetleri	89
3.3.2.	Modal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	92
3.3.3.	Kare Kesitli Betonarme Menfezin Donatı Hesabı	98
3.4.	Yamuk Kutu Mnefez İçin Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	100
3.4.1.	Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	100
3.4.1.1.	Yerdeğiştirme.....	101
3.4.1.1.1.	Düşey Yerdeğiştirme	101
3.4.1.1.2.	Yatay Yerdeğiştirme	101
3.4.1.2.	Eğilme Momenti	102
3.4.1.3.	Kesme Kuvveti.....	105
3.4.1.4.	Normal Kuvvetleri	108
3.4.2.	Modal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	111
3.4.3.	Yamuk Kesitli Betonarme Menfezin Donatı Hesabı	117
3.5.	Boru Mnefez İçin Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	119
3.5.1.	Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	119
3.5.1.1.	Yerdeğiştirme.....	120
3.5.1.1.1.	Düşey Yerdeğiştirme	120
3.5.1.1.2.	Yatay Yerdeğiştirme	120
3.5.1.2.	Eğilme Momenti	121
3.5.1.3.	Kesme Kuvvetleri	123
3.5.1.4.	Normal Kuvvetleri	125
3.5.2.	Modal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	127

3.5.3.	Yamuk Kesitli Betonarme Menfezin Donatı Hesabı	133
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	136
5.	KAYNAKLAR	140
ÖZGEÇMİŞ		



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

BETONARME VE LİFLİ POLİMERDEN YAPILMIŞ
MENFEZLERİN ANALİZİ

Metin KARADAĞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Süleyman ADANUR

2018, 144 Sayfa

Bu tezde, lifli polimer kompozit malzeme (cam, karbon) kullanılarak yapılmış dikdörtgen, kare, yamuk, dairesel menfezlerin gerilme, şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme kabiliyetlerindeki değişimleri incelenmiştir. Menfez statik ve modal birleştirme kullanılarak dinamik karakteristiklerinin ve yapısal davranışlarının analitik olarak belirlenmesi amaçlanmaktadır. Aynı çalışmalar menfezlerin betonarme olması durumu için de tekrarlanmıştır. Daha sonra da lifli polimer kompozit ve betonarme malzeme kullanılarak yapılmış menfezlerin analizleri sonucu elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda hazırlanan tez üç bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde genel bilgiler üzerinde durulmakta, konuyla ilgili daha önce yapılmış çalışmalara yer verilmekte ve konunun önemi vurgulanmaktadır. Ayrıca menfeze ait genel bilgilere ve bu yöntemlerle ilgili denklemlere de yer verilmektedir.

İkinci bölümde, yapılan çalışmalar ve bu çalışmalardan elde edilen bulgular sunulmaktadır. Menfezin sonlu eleman modelleri oluşturularak dinamik karakteristikler analitik olarak elde edilmiştir. Menfezin sonlu eleman modellerinin zati ağırlık, toprak dolgu ağırlığı, kamyon (hareketli) yükü ağırlığı, yatay toprak yükü ve modal birleştirme durumları için statik ve dinamik analizleri yapılarak yapısal davranışı değerlendirilmiştir.

Üçüncü bölümde tez çalışmasından elde edilen sonuçlara ve yapılan önerilere yer verilmektedir. Bu bölümü kaynaklar ve özgeçmiş izlemektedir.

Çalışma sonunda, lifli polimer malzemeler ile betonarme malzeme arasındaki eğilme momenti, kesme kuvveti değeri ve normal kuvvet değerleri birbirine yakın değerde çıkmıştır. Kesit kalınlığı lifli polimer malzemede daha küçük olduğundan dolayı sağlıklı bir yorum yapılamayacaktır fakat uygulamada yapılacak en uygun kalınlık için karbon lifli polimer malzemede çok iyi sonuçlar elde edilecektir.

Anahtar Kelimeler: Menfezler, Statik Analiz, Modal Analiz, Lifli Polimer Malzeme, Sonlu Eleman Yöntemi

PhD. Thesis

SUMMARY

STRUCTURELS ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE AND
FIBER POLYMERS CULVERT

Metin KARADAĞ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Süleyman ADANUR
2018, 144 Pages

In this thesis, the changes in tensile, deformation and displacement capabilities of rectangular, square, trapezoidal, circular, grilles made of fibrous polymer composite material (glass, carbon) were investigated. It is aimed to analytically determine the dynamic characteristics and structural behavior of the culvert using static and modal coupling. The same works have been repeated for the cases where the culverts are reinforced concrete. Then, analyzes of the culverts made of fibrous polymer composite and reinforced concrete materials were compared and the results obtained were compared. The thesis prepared in this context consists of three parts.

In the first part, general information is emphasized, previous work on this subject is given and emphasis is given to the importance of this subject. In addition, general information about grilles and equations related to these methods are given.

In the second part, the studies done and the findings obtained from these studies are presented. The dynamic characteristics are obtained analytically by creating the finite element models of the grille. Structural behavior of the finite element models of the culvert was evaluated by static and dynamic analysis for the weights of soil weight, soil fill weight, truck (moving) load weight, horizontal soil load and modal consolidation.

In the third part, the results obtained from the thesis work and the proposed ones are given. This section follows resources and curriculum vitae.

At the end of the study, the bending moment, shear force value and normal force values between the fibrous polymer materials and the reinforced concrete material were close to each other. As the section thickness is smaller in the fibrous polymer material, a healthy interpretation cannot be made, but very good results will be obtained in the carbon fiber polymer material for the most suitable thickness to be made in the application.

Key Words: Culverts, Modal Analysis, Fiber Reinforced Polymer Composite Material, Finite Element Method

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Menfez çeşitleri (a) dairesel menfez (b) kutu menfez (c) kemerli menfez (d) tabliyeli menfez.....	11
Şekil 1.2.	HL93 tasarım kamyonu.....	16
Şekil 1.3.	Tasarım tandemi.....	16
Şekil 1.4.	Tekerlek Yükü Lastik Temas Alanı.....	17
Şekil 1.5.	Borunun Etkili Destek Uzunluğu.....	25
Şekil 1.6.	Lifli polimer kompozit malzeme formu (Tuakta C., 2005).....	30
Şekil 2.1.	Dikdörtgen kesitli menfezin gösterimi.....	39
Şekil 2.2.	Dikdörtgen kesitli menfezin EV dikey toprak yükün gösterimi.....	40
Şekil 2.3.	Dikdörtgen kesitli menfezin EH _{min} yatay toprak yükün gösterimi.....	41
Şekil 2.4.	Dikdörtgen kesitli menfezin EH _{max} yatay toprak yükün gösterimi.....	42
Şekil 2.5.	Dikdörtgen kesitli menfezin LS şurşarj yükün gösterimi.....	43
Şekil 2.6.	Dikdörtgen kesitli menfezin LL+IM hareketli yükün gösterimi.....	44
Şekil 2.7.	Kare kesitli menfezin gösterimi.....	45
Şekil 2.8.	Kare kesitli menfezin EV hareketli yükün gösterimi.....	46
Şekil 2.9.	Kare kesitli menfezin EH _{max} hareketli yükün gösterimi.....	47
Şekil 2.10.	Kare kesitli menfezin EH _{min} hareketli yükün gösterimi.....	47
Şekil 2.11.	Kare kesitli menfezin LS hareketli yükün gösterimi.....	48
Şekil 2.12.	Kare kesitli menfezin LL+IM hareketli yükün gösterimi.....	49
Şekil 2.13.	Yamuk kesitli menfezin gösterimi.....	50
Şekil 2.14.	Yamuk kesitli menfezin EV hareketli yükün gösterimi.....	51
Şekil 2.15.	Yamuk kesitli menfezin EH _{max} hareketli yükün gösterimi.....	52
Şekil 2.16.	Yamuk kesitli menfezin EH _{min} hareketli yükün gösterimi.....	53

Şekil 2.17.	Yamuk kesitli menfezin LS hareketli yükün gösterimi.....	54
Şekil 2.18.	Yamuk kesitli menfezin LL+IM hareketli yükün gösterimi	55
Şekil 2.19.	Dairesel kesitli menfezin gösterimi.....	56
Şekil 2.20.	Dairesel kesitli menfezin EV hareketli yükün gösterimi	57
Şekil 2.21.	Dairesel kesitli menfezin EH_{max} hareketli yükün gösterimi.....	58
Şekil 2.22.	Dairesel kesitli menfezin LL+IM hareketli yükün gösterimi.....	60
Şekil 2.23.	Dikdörtgen, kare, yamuk ve dairese kesitlerin analizinde kullanacağımız Gölçük ilçesinin ASHTO-LFRD'ye göre oluşturulmuş tasarım spektrumu (A=0.4/Zemin Profili II).....	61
Şekil 3.1.	Dikdörtgen kesitli menfezin SAP2000 modellemesi	63
Şekil 3.2.	Dikdörtgen şekilli menfez betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere bağlı mod şekilleri	74
Şekil 3.3.	Dikdörtgen kesitli menfezin SAP2000 boyuna donatı alanları.....	80
Şekil 3.4.	Kare kesitli menfezin SAP2000 modellemesi.....	82
Şekil 3.5.	Kare şekilli menfez betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere bağlı mod şekilleri	93
Şekil 3.6.	Kare kesitli menfezin SAP2000 boyuna donatı alanları	99
Şekil 3.7.	Yamuk kesitli menfezin SAP2000 modellemesi.....	101
Şekil 3.8.	Yamuk şekilli menfez betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere bağlı mod şekilleri	112
Şekil 3.9.	Yamuk kesitli menfezin SAP2000 boyuna donatı alanları	118
Şekil 3.10.	Dairesel kesitli menfezin SAP2000 modellemesi	120
Şekil 3.11.	Dairesel şekilli menfez betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere bağlı mod şekilleri	128
Şekil 3.12.	Dairesel kesitli menfezin SAP2000 boyuna donatı alanları.....	134

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1.	Çeşitli malzemelerin birim hacim ağırlıkları(AASHTO-LFRD,2007).....	12
Tablo 1.2.	Taşıt için Zeminin Eşdeğer Yüksekliği(AASHTO-LFRD,2007)	15
Tablo 1.3.	Kamyon Yüğü Azaltma Katsayıları(AASHTO-LFRD,2007).....	17
Tablo 1.4.	Dikey toprak yüğü için VAF değerleri(AASHTO-LFRD,2007)	22
Tablo 1.5.	Yatay toprak yüğü için HAF değerleri(AASHTO-LFRD,2007).....	22
Tablo 1.6.	AASHTO-LRFD kritik tekerlek yüğüleri ve borunun üzeri üzerindeki yayılma boyutları.....	23
Tablo 1.7.	Önem sınıflandırması(AASHTO,2002)	27
Tablo 1.8.	Sismik performans kategorisi(AASHTO,2002).....	27
Tablo 1.9.	Zemin Profil Tipleri(AASHTO,2002).....	28
Tablo 1.10.	Deprem yüğü azaltma katsayıları(AASHTO,2002)	29
Tablo 1.11.	Farkli Tür Liflerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri(AASHTO,2002).....	31
Tablo 1.12.	Lifli polimer malzemenin avantaj ve dezavantajları	32
Tablo 2.1.	Dikdörtgen, kare, yamuk, dairesel kesitli menfezlerin analizlerinde kullanılan betonarme, cam lifli polimer, karbon lifli polimer malzemelerin tasarım parametreleri	38
Tablo 2.2.	Zemin Profil Tip II İçin Spektrum Eğrisinde Kullanılan Değerler	61
Tablo 3.1.	Dikdörtgen kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3'e göre elde edilen eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması.....	65
Tablo 3.2.	Dikdörtgen kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 4, kombinasyon 5 ve kombinasyon 6'ya göre elde edilen eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması.....	66
Tablo 3.3.	Dikdörtgen kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3'e göre elde edilen kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	68

Tablo 3.4.	Dikdörtgen kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 4, kombinasyon 5 ve kombinasyon 6'ya göre elde edilen kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	69
Tablo 3.5.	Dikdörtgen kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3'e göre elde edilen normal kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	71
Tablo 3.6.	Dikdörtgen kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 4, kombinasyon 5 ve kombinasyon 6'ya göre elde edilen normal kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	72
Tablo 3.7.	Dikdörtgen kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere göre frekans ve periyot değerleri.....	73
Tablo 3.8.	Kare kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3'e göre elde edilen eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması.....	84
Tablo 3.9.	Kare kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 4, kombinasyon 5 ve kombinasyon 6'ya göre elde edilen eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması.....	85
Tablo 3.10.	Kare kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3'e göre elde edilen kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	87
Tablo 3.11.	Kare kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 4, kombinasyon 5 ve kombinasyon 6'ya göre elde edilen kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	88
Tablo 3.12.	Kare kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3'e göre elde edilen normal kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	90
Tablo 3.13.	Kare kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 4, kombinasyon 5 ve kombinasyon 6'ya göre elde edilen normal kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	91
Tablo 3.14.	Kare kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere göre frekans ve periyot değerleri.....	92

Tablo 3.15.	Yamuk kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3'e göre elde edilen eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması.....	103
Tablo 3.16.	Yamuk kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 4, kombinasyon 5 ve kombinasyon 6'ya göre elde edilen eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması.....	104
Tablo 3.17.	Yamuk kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3'e göre elde edilen kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	106
Tablo 3.18.	Yamuk kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 4, kombinasyon 5 ve kombinasyon 6'ya göre elde edilen kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	107
Tablo 3.19.	Yamuk kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3'e göre elde edilen normal kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	109
Tablo 3.20.	Yamuk kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 4, kombinasyon 5 ve kombinasyon 6'ya göre elde edilen normal kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	110
Tablo 3.21.	Yamuk kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere göre frekans ve periyot değerleri.....	111
Tablo 3.22.	Dairesel kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3 ve kombinasyon 4'e göre elde edilen eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması	122
Tablo 3.23.	Dairesel kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3 ve kombinasyon 4'e göre elde edilen kesme kuvvet değerlerinin karşılaştırılması	124
Tablo 3.24.	Dairesel kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3 ve kombinasyon 4'e göre elde edilen normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması	126
Tablo 3.21.	Dairesel kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere göre frekans ve periyot değerleri.....	127

SEMBOLLER DİZİNİ

g	Yerçekimi İvmesi
B_c	Belirtilen Dışbükey Dış Genişliği
H, z, D_E	Menfez Üzerindeki Dolgu Yüksekliği
F_e	Dolgu İçin Zemin-Yapı Etkileşim Faktörü
γ_s	Dolgu Yoğunluğu
p	Yanal Toprak Basıncı
k, k_a, k_p	Yanal Toprak Basınç Katsayıları
ϕ'_f	İç Sürtünme Açısı
β	Dolgunun Yatay Açısı
δ	Dolgu İle Dolgu Arasındaki Sürtünme Açısı
θ	Duvarı Arka Yüzünün Yatay Açısı
Δ_p	Hareketli Yük Şürşarjdan Kaynaklı Sabit Toprak Basıncı
h_{eg}	Zemin Eşdeğer Yüksekliği
p_p	Pasif Yanal Toprak Basıncı
c	Kohezyon Katsayısı
γ_{eq}	Eşdeğer Sıvı Yoğunluğu
γ_{su}	Suyun Yoğunluğunu
E	Kanat Genişliğine Dikey Eşdeğer Dağılımı
S	Temiz Kanat Genişliği
E_{span}	Kanat Genişliğine Paralel Eşdeğer Dağılımın Uzunluğunu
L_T	Kanat Genişliğine Paralel Lastik Temas Alanının Uzunluğunu
$LLDF$	Dolgu Derinliğine Bağlı Olan Hareketli Yük Faktörü
L	Kanat Genişliğine Dik Eşdeğer Dağılımın Eni

w	Tekerlek Yüğü Ortalama Basınç Yoğunluğunu
P	Toplam Hareketli Yüğü
W	Kanat Genişliğine Paralel Eşdeğer Dağılımın Eni
IM	Dinamik Yüğü Azaltma Katsayısı
VAF	Dolgu İçin Zemin-Yapı Etkileşim Faktörü
HAF	Yatay Toprak Yüğü Belirlemek İçin Kullanılacak Katsayı
A	Ivme Katsayısı
R	Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
S	Yerel Zemin Katsayısı
Tm	Köprünün M'inci Titresim Moduna İlişkin Periyod
Csm	Spektral Ivme Katsayısı
WE	Dikey Toprak Yüğü
DC	Sabit Yüğü
EV	Dikey Toprak Yüğü
LL+IM	Hareketli Yüğü
EH, EHmax, EHmin	Yatay Toprak Yüğüleri
LS	Şürşarj Yüğü
WA	Su Basıncı
S	Etriye Aralığı
V _{max}	Maksimum Kesme Kuvveti
V _d	Tasarım Kesme Kuvveti
V _{cr} ,	Kesitin Kesmede Çatlama Dayanımı
V _c	Kesme Dayanımına Beton Katkısı
ρ	Donatı Oranı
A _s ,	Eğilme Donatı Alanı
A _{st} ,	Kolon Boyuna Donatısı Toplam Kesit Alanı
d	Faydalı Yükseklik

a	Eşdeğer Dikdörtgen Basınç Bloku Derinliği
M_d	Tasarım Eğilme Momenti
f_{cd}	Beton Hesap Basınç Dayanımı
b_w	Gövde Genişliği
A_{st}	Kolon Boyuna Donatısı Toplam Kesit Alanı
f_{ck}	Beton Karakteristik Basınç Dayanımı
f_{ctd}	Beton Tasarım Eksenel Çekme Dayanımı
f_{cd}	Beton Hesap Basınç Dayanımı
f_{ctk}	Beton Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı
f_{yk}	Boyuna Donatı Karakteristik Akma Dayanımı
f_{yd}	Donatı Çeliği Hesap Akma Dayanımı
f_{ywd}	Enine Donatı Tasarım Akma Dayanımı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Ulaştırma sistemleri toplumların gelişiminde tarih boyunca her dönemde çok önemli bir yere sahip olmuştur. Günümüzde toplumsal ve ticari gelişim açısından ulaştırma sistemleri çok büyük öneme sahiptir. Bu sistemin eksiksiz bir bütün olarak çalışabilmesi birçok sanat yapısının inşasıyla mümkündür. Bu yapılar temel olarak, menfezler ve köprülerdir. Menfezler, yağışla akışa geçen doğal dere yataklarının (kuru derelerin) yolu kesmesi durumunda, yağıştan dolayı yüzeysel akışa geçen yağmur sularının yola zarar vermeden yolun altından geçirilmesi amacıyla yapılan drenaj yapılarına denir (KGM, 2005a). Menfezler yol geçişi ve drenaj sistemlerinde hayati öneme sahiptir. Menfezler genellikle betonarme olarak tercih edilmektedirler.

Günümüzde tüm teknik alanlarda olduğu gibi malzeme teknolojileri alanında da insanların ihtiyaç ve istekleri, malzemelerde yaşanan problemlere paralel olarak her geçen gün artmaktadır. Bu tür problemleri azaltmak ve talepleri karşılamak amacıyla araştırmacılar yeni malzeme türleri ve uygulamaları üzerinde çalışmakta, yeni tasarımlar ortaya koymaktadırlar. Bu malzemeler genellikle kompozit malzeme diye adlandırdığımız malzemelerdir. (Ekiz,2013)

İnşaat sektöründe aralarında bulunduğu birçok alanda tercih edilen kompozit malzeme türlerinden birisi Fiber Takviyeli Plastik (FRP) kompozitlerdir. FRP'ler genelde bir matris malzemenin liflerle birleştirilmesiyle oluşan ürünlerin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek dayanım ve çevresel etmenlere karşı gösterdiği iyi performansın yanında araştırmacıların arzu ettiği birçok özelliğe sahip ve farklı kombinasyonlarda üretilebilir olmaları nedeniyle tercih edilmektedirler. Bu yeni nesil kompozit malzemelerin üstün mekanik dayanımlarının yanı sıra hafifliği, korozyon dayanımı ve kimyasallara karşı yüksek direnç göstermeleri, elektrik yalıtımı, düşük yoğunluk ve dayanım/yoğunluk oranının yüksekliği gibi özellikler araştırmacıların ilgisini çekmekte ve uygulama örnekleri giderek yaygınlaşmaktadır. Ayrıca düşük ısı iletkenliğine sahip olmaları, uzun yıllar bakım ve boya gibi ek bir hizmete ihtiyaç duymamaları v.b. özellikler bu malzemelerin diğer alanlarda olduğu gibi inşaat sektöründe birçok malzemenin alternatifi olma yönünde avantajlı konuma getirmektedir. (Aydın, 2011)

Yapı endüstrisinde FRP kompozitler genellikle giydirme cephe sistemleri, yaya ve taşıt köprüleri, zemin iyileştirmeleri, borular, tamir ve güçlendirme işlerinde kullanılmaktadır. Yapı sektörü toplam FRP kompozit pazarının %30'u civarındaki kısmını oluşturmakta, ikinci olarak ise otomotiv sektörü gelmektedir. Bununla birlikte henüz bu malzemeler kullanıcılar ve tasarımcılar tarafından iyi tanınmama nedeniyle diğer malzemelerin yerine kullanılabilecek birçok durumda değerlendirilmemektedir. Mevcut uygulamaların büyük bir kısmında FRP kompozitlerin iyi bir çözüm olabileceği öngörülmektedir (Cripps vd. 2002).

Günümüzde kompozit malzemelerin kullanımı, yapı sektörünün de aralarında bulunduğu birçok teknik alanda hızla artmakta ve her geçen gün gelişim göstermektedir. Bu gelişim süreci içerisinde inşaat endüstrisi mühendislik problemlerinde yapım teknolojileri ve tasarımlarını geliştirmek, daha ekonomik çözümler elde etmek için sürekli yeni çözümler bulmak için uğraşmaktadır (Hollaway vd. 2001). Genellikle yapı sektöründe taşıyıcı olarak düşünülmeyen ikincil yapı elemanlarında tercih edilen yeni nesil kompozitler, günümüzde taşıyıcı, esas yapı elemanı olarak da kullanılmaktadır. Özellikle FRP kompozitlerin seri üretiminin artmasıyla birlikte yapılarda farklı amaçlarda daha etkin kullanılmaya başlanılmış, hafif ve yüksek dayanıma sahip fiber takviyeli kompozit malzemelerin betonarme yapılarda güçlendirme, tamir ve iyileştirmede kullanılması artmıştır (Emmons vd. 1998).

Betonarme yapılarda temel problemlerden birisi de çelik donatının korozyonudur. Betonarme yapılarda oluşan donatı korozyonu yapının stabilitesi açısından çok önemli sonuçlar doğurur. Çelik donatı korozyonu sonucu kesit ve duktilite kaybına uğrar. Oluşan reaksiyon ürünleri nedeniyle betonda meydana gelen genleşme etkisi önceleri pas payı tabakasının çatlamasına, ilerleyen aşamalarda ise tamamen dökülmesine yol açar. Bu durumda, hiçbir fiziksel ve kimyasal koruması kalmayan donatının çok daha hızlı şekilde kesit kaybetmesi, zamanla tamamen yok olması mümkündür. Donatı-beton aderansı da korozyondan olumsuz etkilenir, ilerlemiş hasar durumunda aderans tamamen yok olur. Az miktardaki kesit kaybının bile bu tür yapıları korozyona karşı çok hassas olduklarını gösterir. Bu tür yapılarda korozyonun oluşması kısa sürede yıkılmalarına yol açabilir (Baradan vd. 2010). Yüksek dayanımlı çelik malzemeye oranla, lifli polimer kompozit malzemelerin çekme dayanımı 2 kat daha fazladır. Elastisite modülü çeligin %80'i kadardır. Ağırlığı ise, çelik ağırlığının %20'sidir. LP'lerin korozyona ve yorulmaya karşı direnç yeteneği ile termal etkilere karşı dayanımı diğer önemli özellikleri arasındadır (Zhang, 2008).

Kompozitler üzerinde artan yoğun ilgiye paralel olarak yapılan bu tez çalışmasında lifli polimer malzeme (karbon, cam) kullanılarak yapılmış dikdörtgen, kare, yamuk, dairesel kesitli

menfezlerin gerilme, şekil değiştirme ve yerdeğiştirme kabiliyetlerindeki değişimleri incelenmiştir. Menfez statik ve mod birleştirme kullanılarak dinamik karakteristiklerinin ve yapısal davranışlarının analitik olarak belirlenmesi amaçlanmaktadır. Birçok pozitif özelliğe sahip lifli polimer malzemelerin, bu özelliklerini yine birçok avantaja sahip ve en çok tercih edilen yapı malzemesi olan betonarmeye göre alternatif olabirliği incelenmiştir. birinci bölümde kompozit malzemeler ve menfezler, ikinci bölümde model olarak seğilen menfez çeşitlerinin betonarme, cam ve karbon malzeme kullanılarak sap2000 de yüklemeler yapılması, üçüncü bölümde hesap sonuçları irdelenmiş, dördüncü bölümde sonuçlar ve öneriler bölümleri, beşinci bölümde kaynaklar ele alınmıştır.

1.2. Konu ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Bu kısımda, konu ile ilgili daha önce gerçekleştirilen çalışmalara yer verilmektedir. Yapılan çalışmalar iki kısma ayrılmıştır. Birinci kısımda, Sanat yapısı olarak menfez, ikinci kısımda ise lifli polimer malzeme ile ilgili çalışmalar özetlenmektedir.

1.2.1. Menfez ile İlgili Çalışmalar

Yaşar (1993) çalışmasında, menfezlerin genel özellikleri açıklandıktan sonra debi hesabı ve menfez kesitinin tayini incelenmiştir. Karayollarında yapılan menfezler; inşa. esasları, sürüntü maddeleri, dere yatağı ve dolgu yüksekliği yönünden karşılaştırılmıştır. Aynı debiyi geçiren değişik ebatlardaki kemer menfez, kutu menfez ve tabliyeli menfezlerin maliyeti çıkarılmış ve karşılaştırılması yapılmıştır. Menfez cinslerine göre kum-çakıl taşıma mesafesinin maliyete etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak, menfez seğiminde hangi ebatda ve hangi çeşit menfezlerin daha ekonomik olduğu araştırılmıştır.

Aşkan (1996) çalışmasında, Konya - Aksaray Karayolunu kesen 5, 6, 7, 10 nolu dereleri ve Gölbaşı yolundaki Şaşkaya deresi için üç metod uygulamış ve yolun öneminden dolayı en güvenli debiyi veren metod bulunarak menfezler boyutlanmıştır.

Gül (1999) çalışmasında, gerçek olayı gösterme açısından, Aydın-Denizli Otoyolu üzerinde birkaç menfez yeri seçilmiş ve menfezler, hem el ile hesap yöntemiyle hem de menfez tasarımına yönelik üç yazılımın kullanılmasıyla yeniden tasarlanarak sonuçları değerlendirilmiştir.

Öztürk (2001) çalışmasında, karayolundaki sanat yapılarından en önemlilerinden birisi

olan menfezlerin hidroljiğini irdelemiştir. Menfez için geliştirilmiş HY8 bilgisayar programı iyi sonuçlar vermekte, gerek zaman ve gerekse menfez projelendirilmesinde alternatifler oluşturma açısından uygun olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, menfez hesaplarına klasik yaklaşım için bir öneri getirilmiştir.

Tosun (2002) çalışmasında, menfezlerin hidrolik tasarımı ve analizinde kullanılan metodlar incelenmiştir. Araştırma Bodhaine'nin laboratuvar çalışmaları üzerine kurulu görsel bir program ile gerçekleştirilmiştir. Program performansı deneylerle ve mevcut programlarla karşılaştırılarak araştırılmıştır. Aynı zamanda Devlet Su İşleri (DSİ) ve Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından kullanılan çözüm metodları da verilmiştir. Ayrıca programın daha kolay kullanımı ve hesap süresinin azaltılması için hidrolojik verilerden debiyi hesaplayan bir alt program eklenmiştir.

Çalışkan vd. (2003), çalışma alanı olarak Yesiltepe Orman İşletme Şefliği (Maçka, Trabzon) sınırları içerisinde bulunan 35 km'lik orman yolu seçilmiştir. Bu yolda 16'sı büz, 7'si menfez, 3'ü köprü ve 5'i de kasis olmak üzere toplam 31 adet mevcut hidrolik sanat yapısını belirlemiş ve bu sanat yapılarından sadece % 40'nın fonksiyonlarını yerine getirebildiği tespit edilmiştir. Hidrolik sanat yapıları yapım tekniği yönünden incelendiğinde, sanat yapılarının boyutlandırılmasının yerinde olduğu, ancak yine de başkaca problemlere rastlanıldığını tespit edilmiştir. Özellikle büzlerde ve menfezlerde çimento oranının yetersiz olduğu anlaşılmıştır. Hidrolik sanat yapılarının bakımları da yetersiz olup bir çoğunun fonksiyonunu yitirmek üzere olduğu anlaşılmıştır.

Özcan (2003) çalışmasında, Tmaz Açık İşletmesi'nde inşa edilen kutu tipi döküm sahası menfezinin duraylılık analizleriyle ilgili olan çalışmaları sunulmuştur. Ayrıca, diğer menfez seçeneklerinin duraylılık koşulları değerlendirilmiştir. TKİ mühendisleri Gevenez Deresi vadisi üzerine 480 metre uzunluğunda donatılı betondan bir menfez inşa etmişlerdir. Ancak, örtü malzemesi döküldükten sonra menfezin ilk 100 metrelik kısmında dikkate değer deformasyonlar oluşmuştur. Menfezin yenilme mekanizmasını belirlemek için sayısal modelleme çözümlenmeleri yapılmış ve geriye dönük analiz tekniği kullanılarak sayısal model geliştirilmiştir. Sayısal modelin geçerliliği, menfezin duraylı kısmı üzerine örtü malzemesi dökülürken menfez içerisinde gerçekleştirilen konverjans ölçümleri ve gözlemlerle kanıtlanmıştır. Son olarak, geliştirilen sayısal modele dayanılarak, gelecekte kullanılabilecek diğer menfez seçenekleri değişik dolgu koşulları, yataklama koşulları, menfez şekilleri ve döküm koşulları göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir.

Öztürk vd. (2003), Konya-Aksaray karayolunu kesen 5,6,7 ve 10 nolu derelerle Malatya-

Gölbaşı yolundaki Şaşkaya deresi için 10 ve 100 yıllık tasarım debilerinin tahmininde, akım verilerine bağlı istatistiksel metotlar ve katsayının tespitinde gözlenmiş taşkın hidrografi gerektiğinden Snyder metodu kullanılmamıştır. Rasyonel, D.S.İ. Sentetik ve Mockus metodunun diğerlerine göre daha büyük debi değerleri verdiği saptanmıştır.

Çalışkan vd. (2006), Maçka Orman İşletme Mudurluğu'ne bağlı Yeşiltepe Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde bulunan 79 km uzunluğundaki bir orman yolu seçilmiştir. Daha sonra, CBS yardımıyla hesaplanan havzaların su toplama alanları göz önünde bulundurularak yapılması gerekli görülen hidrolik sanat yapılarının kesit alanları, Talbot formülüne göre belirlenmiş ve buna göre sanat yapısının tipi seçilmiştir. Buna göre, yapılan hesaplamalar sonucunda 20 yerde dairesel kesitli buz veya küçük menfez, 13 yerde sepet kulpu büz veya kasis ve 5 yerde de büyük menfez veya büzlü kasisin yapılmasının gerekli olduğu bulunmuştur. Bu çalışma sonucunda, CBS tekniğinin havzaların su toplama alanlarının hesaplanması ve sanat yapılarının tipinin belirlenmesinde kullanılmasının zaman bakımından büyük avantajlar sağladığı görülmüştür.

Öztürk vd. (2010) çalışmalarında, örnek bir orman yolu üzerinde yapılan drenaj yapılarının planlama ve konumlandırma çalışmaları incelenmiştir. Sonuç olarak, bazı drenaj yapılarının konumlarının ve yapımının hatalı olduğu belirlenmiş ve hatalar ortaya konmuştur.

Ülgen (2011) çalışmasında, kuru kuma gömülü kutu menfezlerin üzerinde bir dizi sarsma tablası deneyleri yapılmıştır. Esneklik oranının yanıl dinamik zemin basıncı üzerindeki etkisini incelemek için farklı rijitlikteki dört menfez modeli çeşitli harmonik hareketler altında test edilmiştir. Deney sonuçlarına göre, menfez modelinin yan duvarlarına etkiyen basitleştirilmiş dinamik basınç dağılımı önerilmiş ve maksimum basınç değerini hesaplamak için dinamik yanıl basınç katsayısı tanımlanmıştır. Bu katsayının değerleri, kayma birim deformasyonu ve zeminle yeraltı yapısı arasındaki rölatif rijitliğin fonksiyonu olarak elde edilmiştir. Son olarak, yapının üzerine gelen kuvvetleri değerlendiren basitleştirilmiş bir çerçeve analizi yaklaşımı önerilmiş ve menfezin alt bölümden sabitlenmiş olduğu, yan duvarlarından yanıl gerilmelere, üstten de kayma gerilmesine maruz kaldığı varsayılmıştır. Santrifüj testleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar, kuru kuma gömülü kutu menfezlerin sismik ön değerlendirilmesinin yapılması için önerilen basitleştirilmiş prosedürün, makul doğrulukta pratik bir yaklaşım olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Hamad (2013) çalışmasında, birleşik kutu tipi menfez-geniş tepeli savak yapısında oluşan akım karakteristiklerini deneysel olarak araştırmaktadır. Bu amaçla, yapının 12 cam-modeli geliştirilerek bir laboratuvar kanalı içinde modellemeler yapılmıştır. Bu modeller,

menfez boyutlarına bağılı olarak 4 gruba ayrılmıştır, her grupta 3 farklı model bulunmaktadır. Deneysel çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir: sadece menfez akımı, sadece geniş tepeli savak akımı, ve birleşik menfez-geniş tepeli savak akımı. Fiziksel değişkenler üzerinde boyut analizi yapılarak debi katsayısı üzerinde en etkili boyutsuz parametreler elde edilmiştir. Elde edilen bu boyutsuz parametrelere bağılı olarak, debi katsayısını tahmin eden denklemler (i) çoklu lineer regresyon ve (ii) çoklu üstel regresyon analizleri kullanılarak elde edilmiştir.

Ay (2016) çalışmasında, Kutu menfez boyut analizini yapmak için rasyonel metot ve bilgisayar destekli GIS metodları kullanılmaktadır. Bu çalışmada Gaziantep ili Yavuzeli-Araban ilçeleri arasında bulunan $37^{\circ}30'33.00''K$ $37^{\circ}42'18.19''D$ noktasına köprülü kutu menfez boyut analizi yapılmıştır. Boyut analizi için rasyonel ve bilgisayar destekli ArcGIS programı kullanılmıştır. Her iki metodla elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma yapılan alan için Gaziantep Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden 10 yıllık ve 100 yıllık maximum debileri zamana bağılı olarak grafiksel şekilde temin edilmiştir. Zemin geçirimsizlik katsayısı (c) çalışma havzasına yakın bir bölgede yapılan çalışmanın sonuçları baz alınarak hesaplanmıştır. Kutu menfezin hesaplanmasında 10 yıllık ve 100 yıllık maximum debiler GIS programı kullanılarak hesaplanmış ve boyutlandırılması yapılmıştır. Çalışma esnasında, ArcGIS programı kullanılarak yapılan boyut analizi ile Karayolları Genel Müdürlüğünün kullandığı rasyonel metot hesaplarında farklı kesitler elde edilmiştir. ArcGIS programı ile daha gerçekçi sonuçların elde edildiği gözlemlenmiştir.

Kheradi vd. (2017) makalesinde, yumuşak zeminde mevcut olan sismik gereksinimi karşılamayan dikdörtgen biçimli bir kutu menfez için optimum zemin iyileştirme modelini bulmak için doğrusal olmayan 2D / 3D dinamik FEM ile sayısal testler gerçekleştirilmiştir. Deprem etkisini en etkili şekilde azaltabilecek optimum bir model bulmak için, kesme-kapama yöntemi ile inşa edilen kutu eğriliği için zemin iyileştirmesinin farklı modelleri araştırılmıştır. 2D / 3D dinamik sonlu elemanlar analizinde, zemin Toyoura kum, tipik temiz kumdur ve doğrusal olmayan mekanik davranışı Döngüsel Hareketlilik modeli tarafından tanımlanmıştır. Önerilen sayısal yöntemin geçerliliği önce 1 g sallayarak tabla testiyle doğrulanmış ve daha sonra yeryüzünün iyileştirilmesi için optimum örüntü bulmak için sayısal testler yapılmıştır. Son olarak, mevcut kutu menfezi için etkili zemin iyileştirme modeli sayısal analizle önerilmiştir.

Kuş (2017) çalışmasında, betonarme kutu menfezlerin (RCBC) geometrik parametrelerini inceleyen parametrik bir çalışma sunulmuştur. RCBC üzerinde etkili olan ölü ve canlı yükler ile taşıt yükü formüllerinin türetilmesi açıklanmıştır. Bu formüller bir tabloda

özetlenmiştir. Menfez genişliği, yüksekliği ve dolgu derinliğinin RCBC tasarımı üzerindeki etkileri SAP2000 programında 88 adet iki boyutlu sonlu elamanlar modeli oluşturularak incelenmiştir. SAP2000 modellerini oluşturmak ve analiz sonuçları elde etmek için VBA ve CSI API kullanılarak bir Excel programı geliştirilmiştir. Analiz sonuçları taşıt yükünün dolgu derinliğinin 1 m' den az olduğu değerlerde hakim yük konumunda iken, dolgu derinliğinin 1 m' den fazla olduğu değerlerde ise toprak yükünün hakim yük konumuna geçtiğini ortaya çıkarmıştır. Minimum iç kuvvetler ve taban zemin gerilmeleri, 0.7 - 1.0 m dolgu derinliği aralığında meydana gelmiştir. Açıklık genişliği ve dolgu derinliği parametreleri RCBC modellerinin iç kuvvetleri üzerinde önemli bir etkiye sahip iken, menfez yüksekliğinin etkisinin kayda değer olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu araştırma ayrıca tek hücreli RCBC yerine çok hücreli RCBC tasarımlarının kullanılmasının düşük iç kuvvetler ve zemin gerilmeleri nedeniyle daha ekonomik ve güvenilir olduğunu ortaya koymaktadır.

1.2.2. Lifli Polimer Malzemelerin İnşaat Mühendisliği Alanında Kullanımı ile İlgili Çalışmalar

Ersoy ve Uzsoy (1971) çalışmalarında, tek katlı ve tek açıklıklı çok sayıda çerçeve sistemler lifli polimerler ile güçlendirilerek yatay yük etkilenmiş, çerçevenin yatay deplasmanında önemli oranda azalma sağlanırken yük taşıma kapasitesinde artışlar olduğu gözlenmiştir.

Khalifa vd. (1996) çalışmalarında, ana açıklığı 122m ve toplam uzunluğu 274,3m olan Lincoln kablolu köprüsünün analiz ve tasarımı üzerine çalışma yapmışlardır. Tek doğrultulu plaklarda; lif doğrultusundaki dayanımın daha yüksek olduğu ifade edilmiştir.

Mirmiran ve Shahawy (1997) çalışmalarında, lifli polimerler ile güçlendirilen daire kesitli yapı elemanlarının sünekliğini ve eğilme kapasitesini daha çok artırdığı gözlenmiştir.

Norris vd. (1997) çalışmalarında, ondokuz adet deney kirişi farklı doğrultuda dokuma özelliklerine sahip CFRP kumaşlar ile kiriş alt ve yanlarına yapıştırılarak kirişlerin çatlama dayanımından daha yüksek bir kuvvet altında kırılma şekli incelenmiş ve kesme ve eğilme kapasiteleri incelenmiştir.

Xiao ve Wu (2000) çalışmalarında, farklı mukavemet ölçülerinde daire kesitli numuneler farklı kalınlıkta CFRP ile sarılarak dayanımın beton kalitesi ve sargı kalınlığı miktarına göre değişkenliği incelenmiştir.

Tan (2002) çalışmasında, tarafından 11,5 cm ve 42 cm gibi farklı boyutlarda çok sayıda betonarme dikdörtgen kesit üzerinde yapılan aksenal basınç deneyi çalışmasında sargı

şekillerinin taşıma kapasitesi üzerinde etkileri araştırılmıştır.

Çetinkaya vd. (2003) çalışmalarında, CFRP ile yapılan güçlendirmede kiriş taşıma gücünde önemli artışlar oluşturduğu gözlenmiştir.

Bonfiglioli vd. (2004) çalışmalarında, LP kompozit kumaş ile güçlendirilmiş kirişlerin dinamik davranışlarının Deneysel Modal Analiz Yöntemi ile belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, deneysel ve teorik sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğu ve dinamik testlerin hem hasar ile meydana gelen rijitlik değişimlerini belirlemede hem de güçlendirme etkinliğinin belirlenmesinde faydalı bilgiler vereceği belirtilmiştir.

Arın (2006) çalışmasında, bir betonarme kirişin aynı özelliklerde ama farklı kalınlıkta karbon lifli polimer ile güçlendirilmesinde taşıma kapasitesindeki artışlar analitik ve nümerik olarak incelemiştir. Güçlendirilmiş bu kirişlerin eğilme kapasitelerindeki artışların CFRP miktarının artırılması ile doğru orantılı olduğu gözlenmiştir.

Zhang ve Ying (2007) çalışmalarında, Runyang ve Jinsha Köprüleri üzerinde çalışmalar yapmıştır. Köprülerde karbon LP kablo kullanımı ile aerodinamik stabiliteler incelenmiştir. Karbon LP kabloların, aerodinamik stabilitesinin çeliklerden daha iyi olduğu, fakat kablo askılı köprüler için, karbon LP kabloların aerodinamik stabilitesinin, çelik kablolar ile hemen hemen aynı olduğu vurgulanmıştır.

Tanarşlan ve Ertutar (2008) çalışmalarında, etriyesiz üretilen 7 adet deney kirişin farklı şekillerde CFRP şeritler ile kesme kapasitesindeki değişimleri incelenmiştir.

Zheng vd. (2010) çalışmalarında, ana açıklığı 2000m ve 5000m olan iki tip asma köprüyü sırası ile Karbon LP ve çelik kablolu sistem şeklinde tasarlayarak karşılaştırmıştır.

Adanur vd. (2011) çalışmalarında, LP kompozitlerin, asma köprülerde uygulanabilirliği üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada, LP kompozitlerin hafif ağırlıklarının sonucu olarak; FRP kompozit köprü modelinin frekans değerlerinin, çelik köprü frekans değerlerinden daha fazla çıktığı vurgulanmıştır.

Jafarov (2012) çalışmasında, doğrusal olmayan sonlu eleman yöntemini kullanarak LP ile güçlendirilmiş yığma duvarların düşey ve yatay yükler altında elasto-plastik analizlerini gerçekleştirmektedir.

Eslami ve Ronagh (2013) çalışmalarında, LP kompozit malzeme ile güçlendirilmiş donatı yönünden özel tasarlanan betonarme binaların deprem davranışlarının deneysel olarak incelenmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, LP kompozit malzeme ile güçlendirilen betonarme binaların, güçlendirme işlemi uygulanmayan binalara göre deprem davranışlarının iyileştiği belirtilmiştir.

Fakharifar vd. (2014) çalışmalarında, kolon-kiriş birleşim bölgeleri LP kompozit malzeme ile güçlendirilmiş betonarme bir çerçevenin deprem davranışının analitik olarak incelenmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışma sonunda, önerilen yeni güçlendirme şemasının birleşim bölgelerinin güçlendirilmesinde sağlam ve gelecek vaat eden bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

Günaydın vd. (2015) yaptıkları çalışmada, çelik ve cam lifli polimer kompozit malzeme kullanarak yaya köprüsünün doğrusal olmayan statik ve dinamik analiz sonuçlarını karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Yapılan analizler sonucu üç köprü modelinin davranışı da farklı olarak elde edilmiştir. Cam lifli polimer kompozit malzemesinin yaya köprüleri için çelik malzemedenden daha faydalı olduğu sonucuna varmışlardır.

Ertürkmen vd (2016) çalışmalarında, karbon lifli polimer sargılı yüksek dayanımlı çelik lifli ve lifsiz betonarme kolonların davranışları incelenmiştir. Kolon numunelerin analizinden elde edilen sonuçların deneysel olarak elde edilen sonuçlarla uyum içinde olduğu gözlenmiştir.

Arslan vd. (2017) çalışmasında, hasar görmüş betonarme ve çelik lifli betonarme kirişlerin onarımı ve karbon lifli polimer (CFRP) ile güçlendirilmesinin kiriş davranışına etkisi incelenmiştir.

1.3. Tezin Amacı ve İçeriği

Yapılan literatür araştırmasının ilk kısmında sanat yapısı olarak menfez ile ilgili çalışmalar verilmiştir. İkinci kısmında ise kompozit malzemeler kullanılarak mühendislik yapılarının yapısal davranışlarının belirlendiği çalışmalara yer verilmiştir.

Literatüre katkı sağlayacağı düşünülen bu tez çalışmasında; lifli polimer kompozit malzeme (karbon) kullanılarak yapılmış dikdörtgen, kare, yamuk, dairesel menfezlerin gerilme, şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme kabiliyetlerindeki değişimleri incelenmiştir. Menfez statik ve modal birleştirme kullanılarak dinamik karakteristiklerinin ve yapısal davranışlarının analitik olarak belirlenmesi amaçlanmaktadır. Aynı çalışmalar menfezlerin betonarme olması durumu için de tekrarlanmıştır. Daha sonra da lifli polimer kompozit ve betonarme malzeme kullanılarak yapılmış menfezlerin analizleri sonucu elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda hazırlanan tez üç bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde genel bilgiler üzerinde durulmakta, konuyla ilgili daha önce yapılmış çalışmalara yer verilmekte ve konunun önemi vurgulanmaktadır. Ayrıca menfeze ait genel bilgilere ve bu yöntemlerle ilgili denklemlere de yer verilmektedir.

İkinci bölümde, yapılan çalışmalar ve bu çalışmalardan elde edilen bulgular sunulmaktadır. Menfezin sonlu eleman modelleri oluşturularak dinamik karakteristikler analitik olarak elde edilmiştir. Menfezin sonlu eleman modellerinin zati ağırlık, toprak dolgu ağırlığı, kamyon(hareketli) yükü ağırlığı, yatay toprak yükü, eşdeğer deprem yükü ve modal birleştirme durumları için statik ve dinamik analizleri yapılarak yapısal davranışı değerlendirilmiştir.

Üçüncü bölümde tez çalışmasından elde edilen sonuçlara ve yapılan önerilere yer verilmektedir. Bu bölümü kaynaklar ve özgeçmiş izlemektedir.

1.4. Menfez

Sürekli olarak akan ya da yağış sonucu oluşan küçük akarsuları yol gövdesinin bir tarafından diğer tarafına geçirmede kullanılan hidrolik sanat yapılarına menfez denir. Boru menfez, kutu menfez, kemerli menfez, tabliyeli menfez (standart köprüler) ve köprüler olmak üzere beş çeşide ayrılırlar.

Fazla yüksek olmayan dolgu altlarında kullanılan boru menfezler(büzler), beton veya betonarme olarak daire kesitli ya da sepet kulpu şeklinde dökülürler. Kırılma ve çatlama kolay olduğu için yüksek dolgularda kullanılmazlar. Önceden döküldükleri için daha çok bakım çalışmalarında ve acil durumlarda kullanılan daire büzler 0,60-0,80-1,00 ve 1,20 m çapındadır.

Kutu menfezler, serbest açıklıkları 1,00-1,0-2,00-2,50-3,00 m ve serbest yükseklikleri de 0,60-1,00-1,50-2,00-3,00 m olan, her iki ucunda yani memba ve mansap tarafında kanat duvarları bulunan kutu kesitli, betonarme menfezlerdir. Serbest açıklığı 1,00 ve 1,50 m olanlar en fazla 15,00 m, serbest açıklığı 2,00-2,50 ve 3,00 m olanlar ise en fazla 9,00 m yükseklikteki dolgular altında kullanılırlar. İki ve üç gözlü olanları ise en fazla 6,00 m dolgu yüksekliğine kadar uygulanabilir.

Büzler ve kutu menfezler belli bir dolgu yüksekliğine kadar kullanılabilirler. Yüksek dolgular altında kemerli menfezler uygulanır. Bu menfezler kagir veya beton kemerli olurlar. KGM tarafından, serbest açıklığı 0,70-1,00-2,00-3,00-4,00-5,00-6,00-7,00-8,00-9,00 ve 10,00 m olan kemerli menfezler için hazırlanmış tip projeler vardır.

Tabliyeli menfezler, beton veya kagir kenar ayaklar ve ricat duvarları ile üst tabliyeden oluşurlar. Bu menfezler için açıklıkları 1,20 m ile 15,70 m arasında değişen muhtelif tip projeler geliştirilmiştir. Açıklık adedi ne olursa olsun iki kenar ayak mesnedi arasındaki mesafe 8,0 m den küçük ise tabliyeli menfez 8,0 m den büyük ise köprü olarak isimlendirilir. Bu tip menfezlerde, bordürler arasındaki açıklık, tali köy yolları için 4,00 m, işlek köy yolları için 6,00 m, il yolları için 7,00 m, devlet yolları için 8,00 m olarak kabul edilmiştir. Köprüler üzerinde yaya kaldırımı ve korkuluk tesisi zorunludur. Menfezler üzerinde bu zorunluluk yoktur. Tabliyeli menfez ve köprülerde, tabliye betonu ara verilmeksizin sürekli bir çalışma ile dökülmelidir. Menfezlerde tabliye plak şeklinde, köprülerde ise kirişlidir. Tabliyeli menfezler ve köprüler, genellikle dolgu altına yapılmazlar ve tabliye üst kotu kırmızı kot alınır.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 1.1. Menfez çeşitleri (a) dairesel menfez (b) kutu menfez (c) kemerli menfez (d) tabliyeli menfez

1.5. Menfez Tasarımı

AASHTO LRFD spesifikasyonlarını karakterize eden limit durum tasarımı, belirli yük türlerini kullanır. Bu yük türleri arasında ölü yükler, hareketli yükler, inşaat yükleri, rüzgar

yükleri, üst üste bindirilmiş deformasyonlardan kaynaklanan kuvvet etkileri, sürtünme kuvvetleri ve patlama yükleri yer alır. Bu yüklerden sadece gömülü yapılar sınıfına giren menfez hesabı ile alakalı yükler anlatılacaktır.

Bu bölümde sunulan yük tipleri kare, dikdörtgen, yamuk ve dairesel kesitli menfez tasarımı için geçerlidir.

1.5.1. Kare, Dikdörtgen, Yamuk Kesitli Menfez Tasarımı

1.5.1.1. Sabit Yük

AASHTO-LRFD, DC yükleri "yapısal bileşenlerin ölü yükü ve yapısal olmayan ataşmanlar" olarak tanımlar. DC ölü yükler genellikle DC1 ve DC2 olarak adlandırılan iki kategoriye ayrılır. DC1 yükleri, yapının sabit kendi ağırlığını içerirler. DC2 yükleri genellikle montaj prosedüründe daha sonra yer alır ve yükseltilmiş kaldırımlar, yol bariyerleri, aydınlatma yapıları ve yapıya diğer ekleri içerirler. DC1 yükleri ve DC2 yükleri farklı bölüm özelliklerine uygulanırsa da, yük kombinasyonları için bir yük faktörü belirlemek amacıyla DC1 ve DC2 yükleri, bir yük tipi DC olarak kabul edilir. En yaygın yapısal materyallerin bazıları için AASHTO- LRFD Tablo 3.5.1-1'deki tipik birim ağırlıklar Tablo 1.1'de sunulmuştur.

Tablo 1.1. Çeşitli malzemelerin birim hacim ağırlıkları(AASHTO-LFRD,2007)

Malzeme		Yoğunluk(kg/m ³)
Sıkıştırılmış Kum, Silt veya Kil		1925
Beton	Düşük-yoğunluk	1775
	Kum-düşük-yoğunluk	1925
	$f_c \leq 35$ MPa Normal yoğunluk	2320
	$35 \leq f_c \leq 105$ Normal yoğunluk	$2240 + 2.29f_c$
Gevşek kum, silt ve taş		1600
Yumuşak kil		1600
Haddelenmiş çakıl		2250
Çelik		7850
Su	Saf	1000
	Tuzlu	1025

1.5.1.2. Dikey Toprak Yüğü

Toprak dolgu yüksekliği, menfez üst döşemenin en üst yüzeyinden yolun veya dolgunun üst kısmına kadar ölçülen kısımdır. Toprak dolgu yüksekliği denklemde kullanılan H veya D_E sembolleriyle belirtilir. Zemin dikey yükler, toprak-yapı etkileşim faktörüne dayalı olarak, menfezin üstündeki ve bitişik alanların biraz dışındaki toprak ve kaldırım yüklerine atıfta bulunmaktadır.

Menfezlerin dikey toprak yükünü hesaplamak için AASHTO -LFRD madde 12.11.2.2.1 de belirtilen formüller denk. 1.1 ve denk.1.2' de ifade edilmiştir.

$$W_E = gF_e\gamma_s B_c H \times 10^{-9} \quad (1.1)$$

$$F_e = 1 + 0.2 \frac{H}{B_c} \quad (1.2)$$

Burada; W_E , dikey toprak yükünü (N/mm), g, yerçekim ivmesini (m / sn.2), B_c , dışbükey dış genişliğini (mm), H, menfez üzerindeki dolgu yüksekliğini (mm), F_e , dolgu için zemin-yapı etkileşim faktörü, γ_s , dolgu yoğunluğunu (kg/m^3) ifade etmektedir.

1.5.1.3. Yatay Toprak Yüğü

Bir duvar üzerindeki yanal toprak basıncının büyüklüğü ve yönü başlıca dolgu malzemesinin yapısına ve yerçekimi yükü gibi kesinlik derecesi belirlenemeyen birçok faktöre (duvar hareketi vb.) bağlıdır. Yanal toprak basıncı duvarın yüksekliği boyunca doğrusal olarak artar. Buna göre, yanal basınç, p, AASHTO LRFD madde 3.11.5.1-1' de belirtilen denklem 1.3 ile ifade edilir.

$$p = k\gamma_s g z (\times 10^{-9}) \quad (1.3)$$

Burada; p, yanal toprak basıncı (MPa), k, yanal toprak basınç katsayısı, z, menfez üzerindeki dolgu yüksekliğini (mm), g, yerçekim ivmesini (m / sn.2), F_e , dolgu için zemin-yapı etkileşim faktörü, γ_s , dolgu yoğunluğunu (kg/m^3) ifade etmektedir.

Sükünette yanal toprak basıncı katsayısı AASHTO -LRFD madde 3.11.5.2-1' de verilen formül denklem 1.4 ile ifade edilir:

$$k_0 = 1 - \sin \phi'_f \quad (1.4)$$

Aktif yanal toprak basınç katsayısı, k_a , Coulomb'un toprak basıncı teorisine dayanır, AASHTO -LRFD madde 3.11.5.3-1'de verilen formül denklem 1.5 ile ifade edilir:

$$k_a = \frac{\sin^2(\theta + \phi'_f)}{\tau(\sin^2\theta \sin^2(\theta - \delta))} \quad (1.5)$$

Burada τ , AASHTO LRFD 3.11.5.3-2'de verilen formül denklem 1.6 ile ifade edilir:

$$\tau = \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_f + \delta) \sin(\phi'_f - \beta)}{\sin(\theta - \delta) \sin(\theta + \delta)}}\right)^2 \quad (1.6)$$

Burada; δ , dolgu ile duvar arasındaki sürtünme açısı, β , dolgunun yatay açısı, θ , duvarın arka yüzünün yatay açısı, ϕ'_f , iç sürtünme açısını ifade etmektedir.

1.5.1.4. Şürşarj Yüğü

Duvarın arka yüzünün arkasındaki duvar yüksekliğinin yarısına eşit bir mesafe içinde bir taşıt yükü dolgunun yüzeyi üzerinde harekete geçmesi beklendiğinde, hareketli yük şürşarj etkileri tasarımda dikkate alınacaktır. Şürşarj hareketli yükü, bir karayolu için olduğunda, yük yoğunluğu AASHTO LRFD makale 3.6.1.2 araç hareketli yük tasarımı ile tutarlı olmalıdır.

Hareketli yük şürşarj yükleri uygulandığında, toprak basıncı eşdeğer şürşarj tabakası vasıtasıyla gerçek yük ile değiştirilerek hesaplanır, h_{eg} (AASHTO -LRFD Madde 3.11.6.4). Araç hareketli yük şürşarj etkisinden kaynaklanan toprak basıncı denklem 1.12'de ifade edilir:

$$\Delta_p = k_a \gamma_s g h_{eg} \times 10^{-9} \quad (1.7)$$

Burada; Δ_p , hareketli şürşarj yükünden kaynaklı sabit toprak basıncı (MPa), γ_s , dolgu yoğunluğunu (kg/m^3), k_a , toprak basınç katsayısı, h_{eg} , zemin eşdeğer yüksekliğini (mm), g , yerçekim ivmesini (m/sec^2) ifade etmektedir.

Tablo 1.2'de, aktif toprak basıncı koşullarına maruz kalan duvara yakın düzgün şürşarj yükünden kaynaklı toprak basınç dağılımını göstermektedir.

Tablo 1.2. Taşıt için Zeminin Eşdeğer Yüksekliği(AASHTO-LFRD,207)

Dayanak yüksekliği	heq (mm)
1500	1200
3000	900
≥6000	600

1.5.1.5. Su Yüğü

Suyun statik basıncının, suyun bulunduğu satha dik olarak hareket ettiği varsayılır. AASHTO-LFRD madde 3.7.1 'de belirtildiği gibi itibar edilen suyun yüksekliği, suyun yoğunluğu ve g (yerçekiminin ivmesi) değerinin çarpımı olarak hesaplanır ve denk. 1.8'deki ile ifade edilir.

$$WA = \gamma_{su} \cdot g \cdot (H)(\times 10^{-9}) \quad (1.8)$$

Burada; WA, su basıncı (MPa), γ_{su} , suyun yoğunluğunu (kg/m³), H, suyun yüksekliğini (mm) ,g, yerçekim ivmesini(m/sec²) ifade etmektedir.

Kaldırma kuvveti, tasarım su seviyesinin aşağısında hareket eden bütün bileşenler AASHTO-LFRD madde 3.7.1'de belirtildiği gibi statik basıncının dikey bileşenlerinin toplamı olarak alınır ve kaldırma kuvveti olarak düşünülür.

1.5.1.6. Hareketli Yüğü

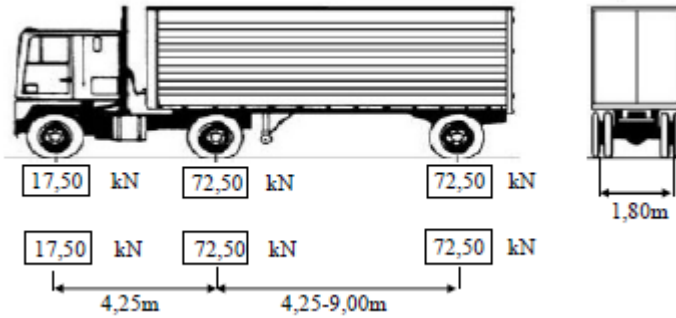
Bir menfez üzerinde sürekli olarak etkiyen sabit yüklerin yanı sıra, genelde bir menfez üzerinde yalnızca inşaat sırasında hareket eden inşaat yüklerine ek olarak, menfezin devamlı olarak üstünden geçebilecek hareketli yüklere de dayanabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Sabit yükler ve hareketli yükler arasındaki temel farklılık sabit yüklerin kalıcı olmasına rağmen hareketli yüklerin geçici olmasıdır. Hareketli yüklerin iki yaygın biçimi, taşıt yükleri ve yaya yükleridir. Yaya yükleri menfez tasarımında ihmal edilebilir. Hesaplarımızda AASHTO-LFRD yönetmeliğinde tanımlanan HL93 tasarım kamyonu kullanılmaktadır. Bu çalışmada hareketli araç yükü olarak HL93 tasarım kamyonu dikkate alınmaktadır.

1.5.1.6.1. HL93 Tasarım Kamyonu

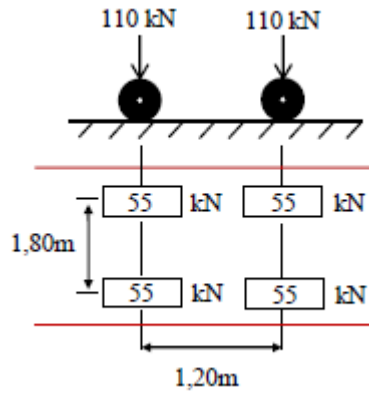
AASHTO-LRFD’de hareketli araç yükü için kullanılmakta olan HL93 tasarım kamyonunun aksları arasındaki mesafe ve dingil yükleri Şekil 1.2’de görülmektedir. HL93 tasarım kamyonunun ön dingilindeki bir tekerlekten yola aktarılan yük değeri 17,50kN, orta ve arka dingildeki bir tekerlekten yola aktarılan yük değeri ise 72, 50kN’dur.

AASHTO-LRFD’de hareketli araç yükünün belirlenmesinde HL93 tasarım kamyonu dışında Şekil 1.3’de görülmekte olan tasarım tandemi de bulunmaktadır. Tasarım tandemi, aksları arası mesafesi 1,20m, aks yükleri 110kN ve tekerlekler arası enine mesafesi 1,80m olan aracı temsil etmektedir.

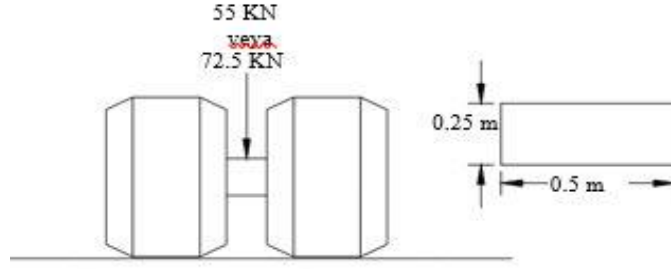
AASHTO-LRFD’de orantılı olarak dağıtılan 64 kip / ft (9.3 N / mm) yükten oluşur ve enlemesine 10 ft (3 m) yer kaplar. Bir veya iki lastikten oluşan tekerleğin lastik temas alanı eni 510 mm, uzunluğu 250 mm olan tek bir dikdörtgen olarak kabul edilmelidir. Lastik temas alanı Şekil 1.4 'te gösterilmektedir.



Şekil 1.2. HL93 tasarım kamyonu



Şekil 1.3. Tasarım tandemi



Şekil 1.4. Tekerlek Yüğü Lastik Temas Alanı

1.5.1.6.2. Kamyon Yüğü Azaltma Katsayıları

Tasarım şeridi birden fazla ise, her şeridin aynı anda kamyonlarla dolu olacağı olası değildir. Bu imkansızlığı hesaba katmak için, kamyon yükleri, tüm şeritlerin aynı anda dolu olma olasılığının düşük olmasından dolayı şerit sayısına bağlı olarak azaltılır. Kamyon yüğü azaltma katsayıları Tablo 1.3 'te sunulmuştur.

Tablo 1.3. Kamyon Yüğü Azaltma Katsayıları(AASHTO-LFRD,207)

Yüğü şeritlerin sayısı	Çoklu varlık faktörü. m
1	1.20
2	1.00
3	0.85
>3	0.65

1.5.1.6.3. Eşdeğer Şerit Genişliği

Dolgu yüksekliği 600 mm'den az olma durumunda AASHTO 4.6.2.10.1'e göre, dolgu yüksekliği 600 mm veya daha büyük olma durumunda AASHTO 3.6.1.2.6 maddeleri menfezlere uygulanması gerekir.

AASHTO 4.6.2.10.2'ye trafiğin asıl olarak menfeze paralel ilerlediği durumlarda menfezler, tek şeritli çoklu varlık faktörüne sahip tek bir yüğü şerit halinde analiz edilir.

İstif aracı aks yükleri, $E = E_{span}$ 'a eşit dikdörtgen bir alan üzerine eşit olarak dağıtıldığı kabul edilir. Menfezin kanat genişliğine dikey ve yatay uzunlukları 1.9 ve 1.10' daki denlemlerle ifade edilir.

Menfezin kanat genişliğine dikey:

$$E = 2440 + 0.12S \quad (1.9)$$

Menfezin kanat genişliğine paralel:

$$E_{\text{span}} = L_T + LLDF(H) \quad (1.10)$$

Burada; E, kanat genişliğine dikey eşdeğer dağılımın enini (mm), S, net kanat genişliğini (mm), E_{span} , kanat genişliğine paralel eşdeğer dağılımın uzunluğunu (mm), L_T , kanat genişliğine paralel lastik temas alanının uzunluğunu (mm), LLDF, dolgu derinliğine bağlı olan hareketli yük faktörünü, H, dolgu derinliğini (mm) ifade etmektedir.

AASHTO 3.6.1.2.6'ya göre derinlik 600 mm veya daha büyük olduğu durumlarda lastik temas alanının kenarları eşit kenarlarla dikdörtgen alan üzerinden doğrusal yayılım olarak hesaplanır. AASHTO Madde 1.5.6.5.4 lastik temas alanı dolgu derinliği 1.15 kat arttırılır. AASHTO madde 1.5.6.5.5 çoklu varlık faktörü hükümleri geçerlidir. Dolgu yükü 0.6 m den küçükse şerit yükü hesaplanacaktır. Menfezin kanat genişliğine dikey ve yatay uzunlukları 1.11 ve 1.12' deki denlemlerle ifade edilir.

Menfezin kanat genişliğine dikey:

$$L = \text{Aks aralığı} + \text{Lastik temas alanı} + 1.15H \quad (1.11)$$

Menfezin kanat genişliğine paralel:

$$W = \text{Aks aralığı} + \text{Lastik temas alanı} + 1.15H \quad (1.12)$$

Burada; L, kanat genişliğine dikey eşdeğer dağılımın enini (mm), W, kanat genişliğine paralel eşdeğer dağılımın uzunluğunu (mm), H, dolgu derinliğini (mm) ifade etmektedir.

1.5.1.6.4. Dinamik Yük Azaltma

Menfezler ve diğer gömülü yapılar için dinamik yük azaltma (IM), menfez üzerindeki dolgu derinliğine bağlı olarak azaltılır. AASHTO LRFD, 2.4 m'ye kadar dolgu yüksekliklerine kadar dinamik yük azaltma miktarının dikkate alınması gerekir. Dinamik yük azaltma miktarını hesaplayan denklem 1.13.'deki şekilde ifade edilir:

$$IM = 33(1.0 - 4.1 \times 10^{-4} D_E) \geq 0\% \quad (1.13)$$

Burada; D_E , dolgu yüksekliğini(mm) ifade etmektedir.

1.5.1.6.5. Ortalama Hareketli Yük

Yukarıda verilmiş olan formüller kullanılarak ortalama hareketli yük denklem 1.14.'deki şekilde hesaplanır.

$$w = \frac{P(1 + IM)}{W L} \quad (1.14)$$

Burada; w , tekerlek yükü ortalama basınç yoğunluğunu (kN/mm^2), P , toplam hareketli yük (kN), L , kanat genişliğine dik eşdeğer dağılımın uzunluğunu (mm), W , kanat genişliğine paralel eşdeğer dağılımın uzunluğunu (mm), $LLDF$, dolgu derinliğine bağlı olan hareketli yük faktörünü, H , dolgu derinliğini(mm) ifade etmektedir.

1.5.1.6.6. Dikdörtgen, Kare, Yamuk Kesitli Menfezlerde Kullanılacak Yük Kombinasyonları

1.5.1.6.6.1. Yük Durumları

Yapıya etkiyen yatay ve düşey yüklerin, LRFD için yapılan hesapta kullanılan kombinasyonların kısaltmaları ve açıklamaları aşağıdaki gibidir.

DC: Sabit Yük

EV: Dikey Toprak Yükü

LL+IM: Hareketli Yük

EH, EHmax, EHmin: Yatay Toprak Yükleri

LS: Şürşarj Yükü

WA: Su yükü

1.5.1.6.6.2. Yapı Analizi ve Boyutlandırması İçin Yük Kombinasyonları

AASHTO-LFRD tablo 3.4.1-1 ve 3.4.1-2 den alınarak dikdörtgen, kare, yamuk kesitli

menfezler için kullanılacak kombinasyonlar aşağıda gösterilmiştir. AASHTO-LFRD madde 12.5’de belirtildiği gibi güç limit durumu I ve servis limit durumu I için tasarlanması yeterlidir. Menfezler için aşırı durum kombinasyonuna (deprem yüklemesi) gerek yoktur. (URL-4)

Güç Limit Durumu

Maksimum dikey yük ve maksimum yatay yük durumu (Kombinasyon 1):

$$1.25DC + (1.30) (1.05) EV + 1.75(LL+IM) + (1.35) (1.05) EH_{max} + 1.75LS$$

Maksimum dikey yük ve minimum yatay yük durumu (Kombinasyon 2):

$$1.25DC + (1.30) (1.05) EV + 1.75(LL+IM) + (0.9/1.05) EH_{min} + 1.0 WA$$

Minimum dikey yük ve maksimum yatay yük durumu (Kombinasyon 3):

$$0.90DC + (0.90/1.05) EV + (1.35) (1.05) EH_{max} + 1.75LS$$

Servis Limit Durumu

Maksimum dikey yük ve maksimum yatay yük durumu (Kombinasyon 4):

$$1.00DC + 1.00EV + 1.00(LL+IM) + 1.00EH_{max} + 1.00LS$$

Maksimum dikey yük ve minimum yatay yük durumu (Kombinasyon 5)

$$1.00DC + 1.00EV + 1.0(LL+IM) + 1.00EH_{min} + 1.0 WA$$

Minimum dikey yük ve maksimum yatay yük durumu (Kombinasyon 6):

$$1.00DC + 1.00EV + 1.00EH_{max} + 1.00LS$$

1.5.2. Dairesel Kesitli Menfez Tasarımı

Gömülü borulara etkiyen dış yükler; boru üzerindeki geri dolgu ağırlığı, boru ve bileşenlerinin kendi ağırlıkları ve trafik yükleri nedeniyle meydana gelir. Ayrıca, dolgu yüksekliği, boru üzerinde ve etrafındaki zeminin yapısı ve yoğunluğu, hendek genişliği ve derinliği, borunun yük altındaki deformasyonu ve inşaat yöntemleri de boruya etkiyen dış yükler üzerinde büyük öneme sahiptir. Bu nedenle, gömülü borulara etkiyen dış yükleri

hesaplarken boru ile yan dolgunun rölatif rijitliği, dolgu yüksekliği, yükün cinsi, yerleştirme şartları, boru çapı, borunun şekli ve malzeme özelliklerini dikkate almak gerekir. (Mooser, 1990; Linsley, Franzini, 1955; Uslu,1979; Oglesby, Hichs,1982)

1.5.2.1. Sabit Yükler

AASHTO-LRFD, DC yükleri "yapısal bileşenlerin ölü yükü ve yapısal olmayan ataşmanlar" olarak tanımlar. DC ölü yükler genellikle DC1 ve DC2 olarak adlandırılan iki kategoriye ayrılır. DC1 yükleri, yapının sabit kendi ağırlığını içerirler. DC2 yükleri genellikle montaj prosedüründe daha sonra yer alır ve yükseltilmiş kaldırımlar, yol bariyerleri, aydınlatma yapıları ve yapıya diğer ekleri içerirler. DC1 yükleri ve DC2 yükleri farklı bölüm özelliklerine uygulansa da, yük kombinasyonları için bir yük faktörü belirlemek amacıyla DC1 ve DC2 yükleri, bir yük tipi DC olarak kabul edilir.

1.5.2.2. Dikey Toprak Yükü

Toprak dolgu yüksekliği, menfez üst döşemenin en üst yüzeyinden yolun veya dolgunun üst kısmına kadar ölçülen kısımdır. Toprak dolgu yüksekliği denklemde kullanılan H veya D_E sembolleriyle belirtilir. Zemin dikey yükler, toprak-yapı etkileşim faktörüne dayalı olarak, menfezin üstündeki ve bitişik alanların biraz dışındaki toprak ve kaldırım yüklerine atıfta bulunmaktadır.

Menfezlerin dikey toprak yükünü hesaplamak için AASHTO -LRFD madde 12.11.2.2.1 de belirtilen formüller denk. 1.1’de ifade etmiştik. Dairesel kesitli menfezlerde de aynı formül kullanılır sadece F_e yerine VAF kullanılır. Prizma yükü denklem 1.15’te ki şekilde ifade edilir. Dikey toprak yükü kurulum çeşidini belirledikten sonra tablo 1.4’ten alacağımız VAF yapı- etkileşim faktörü ile prizma yükünün çarpımıdır ve denklem 1.16’daki şekilde ifade edilir.

$$PL = \gamma_s B_c H x 10^{-9} \quad (1.15)$$

$$W_E = VAF x PL \quad (1.16)$$

Burada; W_E, dikey toprak yükünü (N/mm), g, yerçekim ivmesini (m / sn.2), B_c, dışbükey dış genişliğini (mm), H, menfez üzerindeki dolgu yüksekliğini (mm), VAF, dolgu için zemin-yapı etkileşim faktörü, γ_s , dolgu yoğunluğunu (kg/m³), PL, prizma yükünü (N/mm) ifade

etmektedir.

Tablo 1.4. Dikey toprak yükü için VAF değerleri(AASTO-LFRD,2007)

Kurulum çeşidi	VAF
1	1.35
2	1.40
3	1.40
4	1.40

1.5.2.3. Yatay Toprak Yükü

Prizma yükü denklem 1.17’de ki şekilde ifade edilir. Yatay toprak yükü kurulum çeşidini belirledikten sonra tablo 1.5’den alacağımız HAF yapı-etkileşim faktörü ile prizma yükünün çarpımıdır ve denklem 1.16’daki şekilde ifade edilir.

$$PL = \gamma_s B_c H x 10^{-9} \quad (1.17)$$

$$EV = HAF x PL \quad (1.18)$$

Burada; EV, yatay toprak yükünü (N/mm), g, yerçekim ivmesini (m / sn.2), Bc, dışbükey dış genişliğini (mm), H, menfez üzerindeki dolgu yüksekliğini (mm), HAF, yatay toprak yükünü belirlemek için kullanılacak katsayıyı, γ_s , dolgu yoğunluğunu (kg/m3), PL, prizma yükünü (N/mm) ifade etmektedir.

Tablo 1.5. Yatay toprak yükü için HAF değerleri(AASTO-LFRD,2007)

Kurulum çeşidi	HAF
1	0.45
2	0.40
3	0.37
4	0.30

1.5.2.4. Boru Sıvı Ağırlığı

Sıvı ağırlığı borunun kendi ağırlığı ile aynı derecede büyüktür. Geçmişteki geleneksel tasarım hesaplama yönteminde, B ve C yatak takımları kullanan Marston Spangler akışkan ağırlığını ihmal etmiştir. AASHTO ve CHBDC gibi bazı yönetmelikler, şimdi D-yükü belirlenirken borudaki sıvının ağırlığının her zaman dikkate alınmasını gerektiğini belirtir.

Aksi belirtilmediği sürece, borudaki akışkanın ağırlığı, W_F , 1000 kg / m³'lük bir sıvı yoğunluğuna dayanan tasarımda düşünülmelidir. (AASHTO-LFRD,2007)

1.5.2.5. Hareketli Yük

Uzunlamasına yönde, tasarım aracı üç dingil içerir. İlk dingil 35 KN'lık bir yüke ve ikinci ve üçüncü dingillerin her biri 145 KN'lık yüklere sahiptir. Birinci ve ikinci akslar arasındaki boşluk 4.3 m, ancak ikinci ve üçüncü akslar arasındaki mesafe 4.3 ila 9 m arasında değişiyor. Orantılı olarak dağıtılan 64 kip / ft (9.3 N / mm) yükten oluşur ve enlemesine 10 ft (3 m) yer kaplar. Bir veya iki lastikten oluşan tekerleğin lastik temas alanı eni 510 mm, uzunluğu 250 mm olan tek bir dikdörtgen olarak kabul edilmelidir. Kritik tekerlek yükleri ve borunun üzeri üzerindeki yayılma boyutları tablo 1.6 'da gösterilmiştir.

Tablo 1.6. AASHTO-LRFD kritik tekerlek yükleri ve borunun üzeri üzerindeki yayılma boyutları

Granüler toprak dolgusu			
H, m	P, KN	Yayılma a,m	Yayılma b,m
$H < 0.6$	72	$a + 1.15H$	$b + 1.15H$
$0.6 < H < 0.84$	145	$a + 1.2 + 1.15H$	$b + 1.2 + 1.15H$
$H \leq 0.84$	222	$a + 1.2 + 1.15H$	$b + 1.2 + 1.15H$
Diğer toprak dolgular			
H, m	P, KN	Yayılma a,m	Yayılma b,m
$H < 0.71$	72	$a + 1.00H$	$b + 1.00H$
$0.71 < H < 0.96$	145	$a + 1.2 + 1.00H$	$b + 1.2 + 1.00H$
$0.96 \leq H$	222	$a + 1.2 + 1.00H$	$b + 1.2 + 1.00H$

Dinamik yük azaltma miktarını formül 1.19'da ki şekilde ifade edilir.

$$IM = 33(1.0 - 4.1 \times 10^{-4} D_E) \geq 0\% \quad (1.19)$$

Burada; D_E , dolgu yüksekliğini(mm) ifade etmektedir.

Ortalama hareketli yük denklem 1.20 ile ifade edilir.

$$w = \frac{P(1 + IM)}{W L} \quad (1.20)$$

Burada; w , tekerlek yükü ortalama basınç yoğunluğunu (kN/m^2), P , toplam hareketli yük (kN), L , kanat genişliğine dik eşdeğer dağılımın uzunluğunu (m), W , kanat genişliğine paralel eşdeğer dağılımın uzunluğunu (m), $LLDF$, dolgu derinliğine bağlı olan hareketli yük faktörünü, H , dolgu derinliğini (m) ifade etmektedir.

Boru üzerinde hareket eden toplam canlı yük denk. 1.21 ile belirlenir.

$$W_T = (w + L_L)L S_L \quad (1.21)$$

$$0 \leq H < 2.4 \text{ m}, \quad L_L = 3 \text{ KN/m}^2 \quad (1.22)$$

$$H \geq 2.4 \text{ m}, \quad L_L = 0 \quad (1.23)$$

Burada; w , tekerlek yükü ortalama basınç yoğunluğunu (kN/mm^2), L_L , AASHTO LRFD kullanılırsa şerit yüklemesi (kN/m^2), H , dolgu yüksekliği (m), L , kanat genişliğine dik eşdeğer dağılımın uzunluğunu (m), S_L , borunun dış yatay aralığı, B_c veya borunun uzunlamasına eksenine çapraz yük alanının boyutu, hangisi daha az ise, (m), W_T , toplam hareketli yük (kN) ifade etmektedir.

Boru üzerinde lineer metre başına hareket eden hareketli yük denk. 1.24 ile belirlenir:

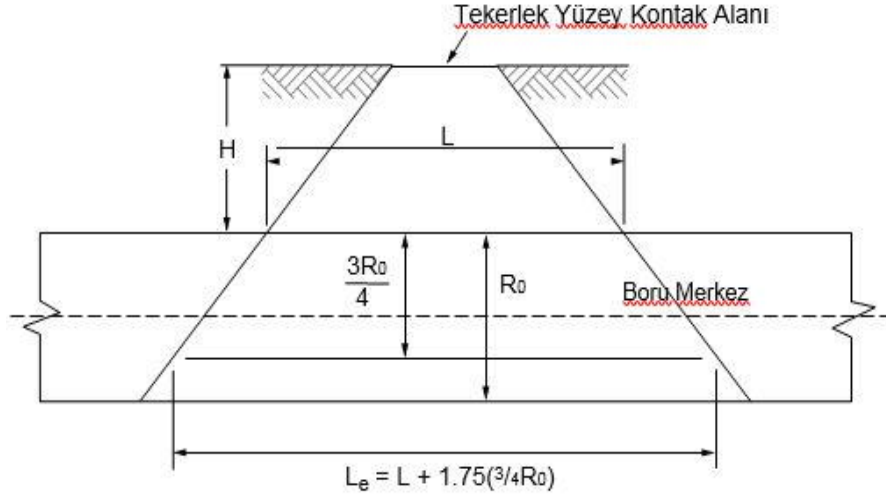
$$W_L = \frac{W_T}{L_e} \quad (1.24)$$

Burada; W_L , borunun üzerinde hareketli yük (kN/m), L_e , borunun etkili destek uzunluğu (m) ifade etmektedir.

Borunun etkili destek uzunluğu:

$$L_e = L + 1.75(3/4 R_0) \quad (1.25)$$

Burada; R_0 , dış dikey boru yükselmesi (m) ifade etmektedir.



Şekil 1.5. Borunun Etkili Destek Uzunluğu

1.5.2.6. Dairesel Kesitli Menfezlerde Kullanılacak Yük Kombinasyonları

1.5.2.6.1. Yük Durumları

Yapıya etkileyen yatay ve dikey yüklerin, LRFD için yapılan hesapta kullanılan kombinasyonların kısaltmaları ve açıklamaları aşağıdaki gibidir.

DC: Sabit Yük

EV: Dikey Toprak Yükü

LL+IM: Hareketli Yük

EH: Yatay Toprak Yükleri

WA: Su yükü

1.5.2.6.2. Yapı Analizi ve Boyutlandırması İçin Yük Kombinasyonları

AASHTO-LFRD tablo 3.4.1-1 ve 3.4.1-2 den alınarak dairesel kesitli menfezler için kullanılacak kombinasyonlar aşağıda gösterilmiştir. AASHTO-LFRD madde 12.5'de belirtildiği gibi güç limit durumu I ve servis limit durumu I için tasarlanması yeterlidir. Menfezler için aşırı durum kombinasyonuna (deprem yüklemesi) gerek yoktur. (URL-4)

Güç Limit Durumu

Maksimum dikey yük ve maksimum yatay yük durumu (Kombinasyon 1):

$$1.25DC + (1.30) (1.05) EV + 1.75(LL+IM) + (1.35) (1.05) EH$$

Maksimum dikey yük ve minimum yatay yük durumu (Kombinasyon 2):

$$1.25DC + (1.30) (1.05) EV + 1.75(LL+IM) + (0.9/1.05) EH + 1.0 WA$$

Minimum dikey yük ve maksimum yatay yük durumu (Kombinasyon 3):

$$0.90DC + (0.90/1.05) EV + (1.35) (1.05) EH$$

Servis Limit Durumu

Maksimum dikey yük ve maksimum yatay yük durumu (Kombinasyon 4):

$$1.00DC + 1.00EV + 1.00(LL+IM) + 1.00EH$$

1.6. AASHTO-LFRD'ye Göre Deprem Yükleri Hesaplama Akışı

1.6.1. İvme Katsayısı

Şartnamenin uygulanmasında kullanılacak ivme katsayısı (A), risk haritalarından belirlenmektedir, ivme katsayılarıyla tanımlanan deprem yükünün 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı yüzde 10'dur (75 yıllık sürede aşılma olasılığı %15'e yakındır). Bu değer yaklaşık 475 yıllık dönüş periyoduna eşittir. Aşağıda sözü geçen durumlarda, "yere özel" ivme katsayılarının uzmanlarca belirlenmesi gerekir:

- Aktif fay hattına yakın olan yerler
- Bölgede düşük olasılıklı depremlerin beklenmesi (<%10)
- Köprünün önemine göre uzun süre kullanılması (>50 yıl)

Örnek olarak, 250 yıllık kullanma ömrüne sahip önemli bir köprünün tasarım depreminin bu süre içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanıyorsa, dönüş periyodu 2400 yıla denk gelmektedir. ABD'deki bazı eyaletler kendi risk haritalarını geliştirmiştir. Bu eyaletlerin birçoğu 475 yıllık dönüş periyodunu kullanmaktadır. Türkiye'de ise DBYBHY, bina önem katsayısı I=1 olan yapılar için tasarım depreminin 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10

olarak tanımlanmaktadır. Tasarım depreminde can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasarın oluşması sınırlandırılmalıdır. (AASHTO, 2002).

1.6.2. Önem Sınıflandırılması

İvme parametreleri seçildikten sonra yapının önem sınıfı belirlenir. 0.29'dan büyük ivme katsayılarına sahip köprülerde, Deprem Performansı Kategorisinin belirlenmesi için Önem Sınıflandırılması (ÖS) yapılması gerekir. (AASHTO, 2002).

Tablo 1.7. Önem sınıflandırması (AASHTO, 2002)

Önemli Köprüler-ÖS=I
Diğer Köprüler-ÖS=II

1.6.3. Deprem Performans Kategorisi

İvme Katsayısı (A) ve Önem Sınıfına (ÖS) göre dört deprem performans kategorisinden (DPK) birine atanır, tablo 1.8. hesap ve tasarım kuralları, DPK tarafından belirlenir. (AASHTO, 2002).

Tablo 1.8. Sismik performans kategorisi (AASHTO, 2002).

İvme Katsayısı	Önem Sınıfı (ÖS)	
	I	II
A	I	II
$A \leq 0.09$	A	A
$0.09 < A \leq 0.19$	B	B
$0.19 < A \leq 0.29$	C	C
$0.29 < A$	D	C

1.6.4. Zemin Etkisi

Yerel zemin koşullarının köprü üzerindeki etkisi, zemin profil tiplerine bağlı olarak yerel zemin katsayısı (S) ile göz önüne alınmaktadır. Dört Zemin Profil Tipi tanımlanmaktadır:

- Tip I, aşağıdaki ikisinden biridir:
 - Kaya (760m/sn'den daha büyük bir kayma dalgası hızı ile karakterize edilmektedir)

- Kalınlığı 60m'yi geçmeyen ve kaya üzerinde bulunan kum, çakıl ya da sert kil tabakaları içeren sert zeminler
- Tip II, sert kil ya da derin kohezyonsuz zeminlerdir. Zemin kalınlığı 60m'den fazladır ve kaya üzerinde kum, çakıl ya da sert kil tabakaları bulunmaktadır.
- Tip III, yumusak-orta serlikte kil ve kumdur.
- Tip IV, kalınlıkları 12m'yi aşan yumusak kil ya da silttir.

Bu tipler, yaklaşık olarak yönetmeliğimizdeki Z1, Z2, Z3 ve Z4 zemin profiline karşı gelmektedir, (Celep ve Kumbasar,2004). Yere özel elastik deprem katsayısının uzmanlarca belirlendiği durumlarda bölge katsayısı kullanılmasına gerek kalmamaktadır. (AASHTO, 2002).

1.6.5. Yerel Zemin Katsayısı

Yerel Zemin Katsayısı (S) zemin koşullarının, elastik davranış katsayısı ve spektrum üzerindeki etkisini yaklaşık olarak hesaba katmak için belirlenmiştir, Tablo 1.9'da gösterilmiştir. (AASHTO, 2002).

Tablo 1.9. Zemin Profil Tipleri(AASHTO.2002)

Alan Katsayısı	Zemin Profil Tipi			
	I	II	III	IV
S	1.0	1.2	1.5	2.0

1.6.6. Elastik Deprem Davranış Katsayısı

Elastik deprem davranış katsayısı, elastik hesapta kullanılan yatay deprem kuvvetini tanımlamaktadır. Deprem yönetmeliğimizdeki spektral ivme katsayısına A(T) yaklaşık olarak karşı gelmektedir. Uzmanlarca hazırlanan %5 sönüm oranlı, yere özel davranış spektrumu bu koşulların yerini alabilir. Bu spektrumun deprenselliği ve zemin koşullarını göz önüne alması gerekmektedir, (AASHTO,2002). %2 sönümlü spektrumlarda deprem katsayıları 1.25 ile arttırabilir. Düşey deprem yükü, spektrumun ordinatları 0.67 ile çarpılması sonucu yeterli yakınlıkta hesaplanabilmektedir, (AASHTO,2002).

Spektral ivme katsayısı (Csm), zemin profil tipine ve etkin yer ivmesine bağlı olarak Denklem 1.26'da verildiği gibi hesaplanmaktadır. Denklemden A, S ve Tm sembolleri

sırasıyla, etkin yer ivmesini, zemin profili katsayısını ve m'inci moddaki periyodu temsil etmektedir.

$$C_{sm} = \frac{1.2AS}{T_m^{2/3}} \leq 2.5 A \quad (1.26)$$

Burada, A risk haritasından okunan ivme katsayısı, S Boyutsuz Yerel Zemin Katsayısı (Tablo 1.9) ve T_m köprünün m'inci titreşim moduna ilişkin periyoddur. C_{sm} değerinin $2.5A$ 'yı geçmemesi gerekmektedir. Zemin Profil Tipinin III ya da IV ve $A \geq 0.30$ olduğu yerlerde C_{sm} $2.0A$ 'den fazla olamaz.

1.6.7. Deprem Yüğü Azaltma Katsayıları

Deprem performans kategorisi B, C ya da D olan köprülerin eleman ve bağlantıları için tasarım kuvvetleri, elastik deprem kuvvetlerinin uygun bir deprem yüğü azaltma katsayısına (R) bölünmesiyle elde edilmektedir. Bu azaltma katsayıları tablo 1.10'da verilmiştir. Bu katsayılar, deprem yönetmeliğindeki taşıyıcı sistem davranış katsayısının karşılığıdır. (AASHTO, 2002)

Tablo 1.10. Deprem yüğü azaltma katsayıları(AASHTO.2002)

Altyapı	R	Bağlantı	R
Perde Ayak	2	Üstyapı ile Kenarayak arasında	0.8
Betonarme Kazık Grubu			
a.Yalnız düşey kazıklar	3	Üstyapıda genleşme derzi	0.8
b.Eğik kazık varsa	2		
Tek kolon	3	Kolon, orta ayak veya kazık grubu ile başlık kirişi ya da üstyapı arasında	1
Çelik ya da Kompozit Kazık Grubu			
a.Yalnız düşey kazıklar	5	Kolon ya da ayak ile temel arasında	1
b.Eğik kazık varsa	3		
Kolon grubu ayak	5		

1.7. LP Kompozitler

Pultruzyon yöntemi ile üretilen liflerle güçlendirilmiş polimer profiller yaklaşık 30 yıldır inşaat endüstrisinde çeşitli alanlarda ve şekillerde kullanılmaktadır. Pultruzyon yöntemi, 2. Dünya savaşından sonra Amerika Birleşik Devletlerinde köprülerde ve yapılarda geleneksel kolon ve kiriş elemanların yerine kullanılabilirliği düşünülerek geliştirilmiştir. Pultruzyon yöntemi ile üretilen profillerin verimliliği beklenenden fazla olmuştur.

Günümüzde cam lifli pultruzyon profiller oldukça tercih edilmektedirler fakat bunun yanında karbon, aramid ve hibrit (karbon-cam) lifli pultruzyon profillere olan ilgi özellikle Japonya'da ve Amerika Birleşik Devletleri'nde artmaktadır.

Lifli polimer pultruzyon profiller hafiflik, yüksek dayanım, yüksek rijitlik, iyi korozyon direnci, düşük bakım masrafı, estetik görünüm gibi önemli özelliklere sahiptir. Lifli polimer kompozit malzemeler otomotiv sektörü, spor malzemeleri, sağlık sektörü, uçak, uzay ve savunma sanayilerinde başarılı birçok uygulama alanı vardır.

Yapı sektöründe de bu profillerin kullanımına oldukça sık başvurularak geleneksel malzemelerin (beton, çelik) alternatifi olma yolunda oldukça mesafe katedilmiştir. Örnek olarak onarım-güçlendirme işlerinde, köprü mühendisliğinde, donatı üretiminde, demir yollarında, altyapı uygulamalarında, inşaat profillerinde, metro inşaatlarında (rayların destekl.) kullanılmaktadır.

Pultruzyon yöntemi ile üretilen profiller temel olarak iki bileşenden meydana gelir. Bunlar donatı lifleri ve polimer reçinesidir. Lifli Polimer kompozitler lif ve reçine malzemesinin birbirine yapışması ile oluşur. Bu durum Şekil 1.6'da verilmektedir.



Şekil 1.6. Lifli polimer kompozit malzeme formu (Tuakta C., 2005)

1.7.1. Lifler

Lifler, istenilen özellikleri elde etmek için doğrultuları farklı şekilde yerleştirilebilmektedir. Donatılar, hem doğal, hem de sentetik olabilmektedir. Bununla birlikte,

ticari olarak en çok kullanılanlar sentetik olanlardır.

Lifler, kompozite kendi karakteristik özelliklerini de verebilmektedir (mukavemet, rijitlik, durabilite ve tatbik edilen yükün büyük kısmını taşıyabilme). Bu sebeple kompozitteki liflerin yönü kompozitin mukavemetini önemli derecede etkiler. Lifler değişik boy ve büyüklükte olabilir ve en yaygın bulunan modelleri cam, karbon ve aramid dir. LP kompozit malzeme üretiminde kullanılan liflerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1.11’de verilmektedir.

Tablo 1.11. Farklı tür liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri (Bank, 2006; CEB-FIB, 2001)

	Lifler		
	Cam	Karbon	Aramid
Özgül Ağırlık (g/m ³)	2.46-2.57	1.7-2.1	1.4-1.4
Çekme Dayanımı (MPa)	2350-4600	2400-4800	2760-3620
Elastisite Modülü (GPa)	70-90	250-800	62-175
Maksimum Uzama (%)	2.5-3	0.2-1.4	2.5-3.5

Cam lifi günümüzde kullanılan en eski ve en yaygın malzemelerden biridir. Yüksek mukavemet ve düşük maliyet ile bu malzeme; denizcilik, spor endüstrisi ve havacılık sektörü olmak üzere birçok sektörde yaygın olarak kullanılmıştır. Bu lifin boyutları genellikle 3 ~ 5 mikron çaplarında olmaktadır.

Karbon lifinin karakteristiği; yüksek mukavemet, yüksek modül ve tipik doğal etkilere karşı yüksek rezistans olarak tanımlanabilir. Karbon lifi kendi içerisinde gerilme modülüne göre 4 grupta tanımlanabilir. Bu gruplar; standart modüllü, orta modüllü, yüksek modüllü ve çok yüksek modüllü olarak değerlendirilebilir.

Aramid lifi yüksek elastisite modülüne sahiptir, bu sahip olduğu yüksek elastisite modülü, bu malzemeyi, geleneksel poliamid liflerden (naylon gibi) 20 kat güçlü kılar. Aramid lifleri yüksek performans liflerinin en hafifidir (yaklaşık 1.4 g/cm³). Bu liflere ait üstün ve zayıf yönler tablo 1.12’de verilmiştir.

Tablo 1.12. Çeşitli malzemelerin birim hacim ağırlıkları

Avantajları	Dezavantajları
Cam Lifi	
Düşük maliyet Darbelere ve gerilmelere karşı yüksek mukavemet Yırtılma anında yüksek ϵ değeri, Kimyasal etkilere karşı yüksek rezistans, Doğal yükleme (sismik yükleme, patlama şiddetli rüzgâr) durumlarına karşı idealdir	Düşük elastisite modülü Düşük nem rezistans Düşük yorulma direnci Liflerin aşınmaya karşı zaafı Ani yüklemelere karşı yetersizdir.
Karbon Lifi	
Sünme direnci mükemmel seviyededir, Termal genişleme katsayısı düşüktür, Düşük yoğunluğa sahiptir, Gerilme modülü yüksektir, Yüksek mukavemet Kimyasal etkilere dayanıklılık Düşük elektirik direnci (düşük iletkenlik)	Yüksek maliyet Yırtılma anında düşük ϵ değeri sergiler Gerilme mukavemetine göre düşük basınç davranışı sergiler Anizotrop malzemedir, Nemli ortamlarda kullanılması bağ kuvvetini zayıflatabilir,
Aramid Lifi	
Yüksek elastisite modülü, Yüksek mekanik özellikler, Termal direnci gelişmiştir, Mukavemet ağırlık oranı yüksektir.	Yüksek derecede anizotropdur,

1.7.2. Matris

Matris, kompozitin temelini oluşturur ve lifleri bir arada tutarak kompozitin dayanımını artırır. Kullanım yerine bağlı olarak farklı matrisler seçilir. Vinilester reçineleri, poliester-stiren sistemiyle karşılaştırıldığında bazı avantajlara sahiptir. Çok fazla su emmezler ve kimyasal dirençleri daha yüksektir. Cam lifler kullanıldığında bu durum avantaj sağlar. Fakat ne vinilester, ne de doymamış poliester-stiren sistemi yüksek sıcaklık uygulamaları için uygun değildir. Yüksek sıcaklıklarda, epoksi reçineleri gibi matrislerin kullanılması gerekmektedir. Bunlar 160°C'a kadar olan sıcaklıklarda kullanılabilirler. Ancak 160°C gerçek anlamda çok yüksek bir sıcaklık değildir (Gümüşderelioğlu ,2004).

Kompozit malzemeyi oluşturan elemanlardan her biri, işlem ve sonuç performansta önemli rol oynamaktadır. Reçine veya polimer, kompozit yapıyı bir arada tutmakta ve elde edilen ürünün fiziksel özelliklerine etki etmektedir. Takviye elemanı lifler, mekanik dayanımı sağlamaktadır. Dolgu maddeleri ve katkıları ise ürüne istenen özellikleri katmak amacıyla kullanılmaktadır. (Yavuz,2011)

1.7.3. Ara Yüzey

Fiziksel ve kimyasal olarak lif ve matris malzemelerinin birbiri ile yapışma yüzeyi, ara yüzey ile ifade edilir. LP kompozit malzemenin performans yeterliliği, bu aşamada sağlanır. Malzeme anizotropik özellik gösterir ve LP malzeme analizlerinde, lif ve matris malzemesi arasındaki yapışma yüzeyinin mükemmel olduğu, bu nedenle, ara yüzeyin karşıt her iki yüzeyinde gerilme kesintisinin olmadığı farz edilir.

1.7.4. Lifli Polimer Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

Lifli polimer kompozitlerin avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz.

- Üretim, düşük iş gücü ile yapılabilir,
- Karmaşık geometriye sahip şekiller bile kolaylıkla üretilebilir,
- Üretim kolaylığından dolayı, gün geçtikçe düşen maliyetleriyle, metaller ile sıkı bir yarış halindedirler,
- Farklı mekanik özellikler elde etmek için, farklı elyaf katmanları ve kombinasyonları ile CTP üretilebilir,
- Hacimsel bazda, polimer üretimi için metallerden daha az enerjiye ihtiyaç duyarlar,
- Üretim hızı genel olarak 0.6m–1.2m/dak. olup, üretilen parça eser uygun bir yapıya sahip ise 3m/dak. gibi yüksek bir hıza çıkabilir,
- Ekonomik olması ve birçok pazar tarafından kullanılması sayesinde, en hızlı ilerleme gösteren kompozit üretim yöntemidir,
- Pultrüzyon, yönlendirilmiş elyaf kullanılan bir prosestir. Elyafın büyük bir kısmı optimum çekme dayanımı elde edecek şekilde boyuna yerleştirilirken bir kısım elyaf ise istenen ürün özelliklerini sağlayacak şekilde farklı yönde düzenlenebilmesi,
- Düşük işçilik gerektiren büyük ölçüde otomatikleştirilmiş gibi proses olması,
- İşçilik maliyeti satış fiyatının %5-10'u arasında kalabilmesi,
- Pultrüzyon yönteminde, ekipman yatırım masraflarının diğer yüksek hacimde üretim yapılan yöntemlerle kıyaslandığında düşük olması,
- Ayrıca, tüm bu unsurlar orta-yüksek hacimli uygulamalar için pultrüzyon yöntemini ekonomik kılmaktadır.

Lifli polimer kompozitlerin (Pultrüzyon yöntemi ile) dezavantajları ise;

- Pultrüzyon prosesinde, elyafın büyük bölümü çekme dayanımı sağlayacak yönde

yerleştirildiğinden, genellikle çapraz yöndeki mukavemetin düşüklüğü,

- Genel olarak çapraz yönlerde elde edilen özellikler, gerçek çekme dayanımının %10-25 olması,
- Pultrüzyon ürünleri genellikle rekabet halinde oldukları malzemelerle aynı rijitlik değerlerine sahip olmaması,
- Bu durum rakip malzemelerin rijitlik değerlerine ulaşmak için kesitte ya da cidar kalınlığında tasarım değişikliklerinin yapılmasını zorunlu kılmakta,
- Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal özelliklerde olmaması, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesme dayanımı bulunmakta,
- Malzemenin kalitesi, üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır.
- Fakat bu yöntemde standartlaşmış bir kalitenin olmaması,
- Kompozitler kırılğan (gevrek) malzeme oldukları için, kolaylıkla zarar görürler, onarımları yeni problemler yaratabilmektedir.

1.7.5. Lifli Polimer Malzemelerin İnşaat Mühendisliğinde Uygulamaları

LP kompozit malzemeler; uzun mesafeli köprüler, iskeleler, korozyon rezistanslı kazıklar, düşük yükseklikli köprü iskeleleri ve durabilitesi yüksek direklerde kullanılmıştır. Bugün dünya üzerinde çok sayıda köprüde güçlendirilme yapılmıştır. Bugüne kadar yapılan LP uygulamaları göstermiştir ki, LP kompozit; şiddetli uzun ömürlü yükler, donma –çözülme etkileri, kimyasallar karşısında başarılı olmuştur. LP kompozit etkili bir güçlendirme, destekleme vb elemanıdır.

Bir diğer kullanım yeri ise hasar görmüş yapıların onarım ve güçlendirme ile mukavemetinin artırılmasıdır. Dünya üzerinde birkaç firma, hasar görmüş çelik kuşatmalı betonarme kolonların dış yüzeylerinin LP kompozit ile sararak yapının bütünlüğünü koruyarak çökmelerin önüne geçer ve betonarme kolonun göçmesini engeller. Yapılardaki mimari kullanım ise; dış mevcut yapı sistemine daha az hasar vererek güçlendirme ve onarım imalatı sağlar, çatı yalıtım, döşeme kaplama ve bölmelendirme şeklinde olur.

Özellikle tarihi ve yığma yapılarda deprem vb. etkiler altında yapının komple göçmemesi, tarihi görünümünü koruması ve orijinal yapısının bozulmaması istenir. Bu durumda klasik olarak uygulanan çeşitli güçlendirme yöntemlerinin yapı sistemini ve görünümü değiştirmesi, ağırlığını arttırması, çelik, betonarme vb. elemanların mevcut taş, tuğla elemanlarla birlikte çalışmasının etkin olarak sağlanması gibi giderilemeyen veya

giderilmesi çok zahmetli olan problemler ortaya çıkmaktadır.FRP malzemeler bu dezavantajları ortadan kaldırmaktadır.FRP malzemelerden burada bahsedilecek olanları karbon, cam ve aramid dokumalar, karbon ince plakalardır. (URL-2)

Yükleme kapasitesinin artışında, yapı kullanım amacının değiştirilmesinde, yapısal hasarların tamirinde, deprem sonucu oluşabilecek hasarların önlenmesinde, yapısal sistemdeki değişiklikler, dizayn veya imalat hataları standart ve şartnamelerdeki değişikliklere göre yapıların takviyesinde, betonarme, yığma veya ahşap yapıların eğilme ve kayma dayanımını arttırmak için kullanılmaktadır. (URL-2)

1.7. Betonarme Malzemeli Menfezin Donatı Miktarının Belirlenmesi

Beton hesap basınç dayanımı, (f_{cd}) aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1.5} \quad (1.27)$$

Beton hesap çekme dayanımı, (f_{ctd}) aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{1.15} \quad (1.28)$$

Donatı çeliği hesap akma dayanımı, (f_{yd} , f_{ywd}) aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$$f_{yk} = \frac{f_{ck}}{1.5} \quad (1.29)$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15} \quad (1.30)$$

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{1.15} \quad (1.31)$$

Burada; f_{cd} , beton hesap basınç dayanımı (MPa), f_{ck} , beton karakteristik basınç dayanımı (MPa), f_{ctd} , beton tasarım eksenel çekme dayanımı (MPa), f_{ctk} , beton karakteristik eksenel çekme dayanımı (MPa), f_{yk} , boyuna donatı karakteristik akma dayanımı (MPa), f_{yd} , donatı çeliği hesap akma dayanımı, (MPa) , f_{ywd} , enine donatı tasarım akma dayanımı (MPa) ifade etmektedir.

Basınç bloğu derinliği (a) aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$$d = \text{kesit kalınlığı} - \text{pas payı} \quad (1.32)$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * M_d}{0.85 * f_{cd} * b_w}} \quad (1.33)$$

Donatı alanı A_s aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} * \left(d - \frac{a}{2}\right)} \quad (1.34)$$

Buna göre, donatı oranı, ρ , TS 500 madde 7.3’de belirtilen denklem 1.35 ile ifade edilir.

$$\rho = \frac{A_s}{d * b_w} \quad (1.35)$$

Buna göre, TS 500 madde 7.4.1’e belirtilen göre kolon toplam boyuna donatı oranı aşağıdaki değerden az olamaz.

$$\rho = \frac{A_{st}}{A_s} \geq 0.01 \quad (1.36)$$

$\rho \leq \rho_{min}$ olduğunda hesaplarımızda ρ_{min} değerini kullanacağız.

$$A_s = A_{st} * \rho \quad (1.37)$$

Burada; d, faydalı yükseklik (mm), a, eşdeğer dikdörtgen basınç bloku derinliği (mm), M_d , tasarım eğilme momenti (kNmm), f_{cd} , beton hesap basınç dayanımı (MPa), b_w gövde genişliği (mm), ρ , donatı oranı, A_s , eğilme donatı alanı (mm²), A_{st} , kolon boyuna donatısı toplam kesit alanı (mm²) ifade etmektedir.

Kesme kuvvetlerine göre kayma donatısı hesabı yapılacaktır. İki kollu etriye alanı A_{sw} seçilir ve etriye aralığı hesaplanır. Her bir açıklık için elde edilen en büyük kesme kuvveti V_d dikkate alınarak açıklığa yerleştirilecek etriye aralığı (S) belirlenir.

Buna göre, yanal basınç, V_{max} , TS 500 madde 8.5.1.2’ de belirtilen denklem 1.38 ile ifade edilir.

$$V_{\max} = 0.22 * f_{cd} * b_w * d \quad (1.38)$$

$V_{\max} < V_d$ olduğunda kesit yetersizdir.

Buna göre, kesitin kesmede çatlama dayanımı, V_{cr} , TS 500 madde 8.1.3'de belirtilen denklem 1.39 ile ifade edilir.

$$V_{cr} = 0.65 * f_{ctd} * b_w * d \quad (1.39)$$

Buna göre, kesme dayanımına beton katkısı ve etriye aralığı, V_c , ve S , TS 500 madde 8.1.4'te belirtilen denklem 1.40 ve 1.41 ile ifade edilir.

$$V_c = 0.8 * V_{cr} \quad (1.40)$$

$V_{cr} < V_d < V_{\max}$ olduğunda etriye aralığı aşağıdaki denklem ile bulunur.

$$\frac{A_{sw}}{S} = \frac{(V_d - V_c)}{f_{ywd} * d} \quad (1.41)$$

Buna göre, etriye aralığı, S , TS 500 madde 8.1.5.1'de belirtilen denklem 1.42 ile ifade edilir.

$V_d < V_{cr}$ olduğunda etriye aralığı aşağıdaki denklem ile bulunur.

$$\frac{A_{sw}}{S} = 0.3 * \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} * b_w \quad (1.42)$$

$S \leq h/2$, $S \leq 200$ mm (açıklıkta), $S \leq h/4$, $S \leq 100$ mm (sarılma bölgelerinde) minimum etriye aralığı hesaplanacaktır.

Burada; V_{\max} , maksimum kesme kuvveti (kN), V_d , tasarım kesme kuvveti (kN), V_{cr} , kesitin kesmede çatlama dayanımı (kN), V_c , kesme dayanımına beton katkısı (kN), S , etriye aralığı (mm), ρ , donatı oranı, A_s , eğilme donatı alanı (mm²), A_{st} , kolon boyuna donatısı toplam kesit alanı (mm²) ifade etmektedir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

2.1. Giriş

Bu tez çalışmasında, kompozit malzemeden yapılmış dairesel (boru), dikdörtgen, kare ve yamuk olmak üzere 4 farklı kesitteki bir menfezin statik hesabı ve modal analizi yapılmıştır. Kompozit malzemelerin özellikle son zamanlarda; hafifliği, korozyona karşı direnci, rijitlik oranlarına göre yüksek dayanımları, elastisite modülü özellikleri ve kolay uygulanabilir olması gibi özelliklerinden dolayı kullanımı yaygınlaşmaktadır. Ayrıca betonarme malzeme kullanılarak da aynı şekilde hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda bulunan değerler karşılaştırılarak betonarme bir malzemenin mi yoksa lifli polimer malzemenin mi daha uygun bir malzeme olduğu araştırılmıştır. Çalışmada, menfez plak olarak modeli oluşturulmuş, tablo 2.1’de ki değerler kullanılarak SAP2000 programı yardımı ile analizleri elde edilmiştir. Ayrıca hesaplarda borunun içinin boş olduğu varsayıldığından su yükü ihmal edilmiştir.

Tablo 2.1. Dikdörtgen, kare, yamuk, dairesel kesitli menfezlerin analizlerinde kullanılan betonarme, cam lifli polimer, karbon lifli polimer malzemelerin tasarım parametreleri

Lif Tipi	Brim Ağırlık (g/m ³)	Elastisite Modülü (GPA)
Karbon	1.7	250
Cam	2.46	70
Betonarme(C25)	2.5	30

Hesap kolaylığı açısından dolgu ile duvar arasındaki sürtünme açısını $\delta = 0^\circ$, dolgunun yatay açısını $\beta = 0^\circ$, duvarın arka yüzünün yatay açısını $\theta = 90^\circ$, iç sürtünme açısını $\phi'_f = 33^\circ$ alınacaktır. Bu değerler alınarak tüm hesaplarda kullanacağımız sukunette ve aktif yanal toprak basınç katsayıları aşağıda hesaplanmıştır.

Buradan aşağıdaki formül ile sukunette yanal toprak basınç katsayısı bulunur.

$$k_0 = 1 - \sin \phi'_f = 1 - \sin 33^\circ = 0.51 \quad (2.1)$$

Aktif yanal toprak basınç katsayısı aşağıdaki formüller yardımıyla bulunur.

$$k_a = \frac{\sin^2(\theta + \phi'_f)}{\tau(\sin^2\theta \sin^2(\theta - \delta))} = \frac{\sin^2(90^\circ + 33^\circ)}{2.25(\sin^2 90^\circ \sin^2(90^\circ))} = 0.41 \quad (2.2)$$

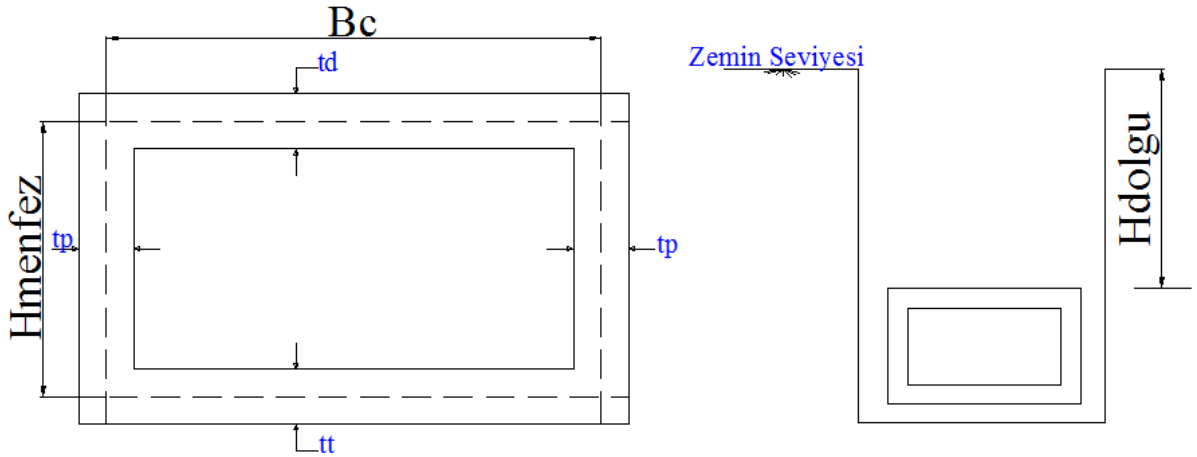
Burada τ , AASHTO LRFD 3.11.5.3-2'de verilen formül Denk. 1.9 ile ifade edilir:

$$\tau = \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(33^\circ + 0^\circ) \sin(33^\circ - 0^\circ)}{\sin(90^\circ - 0^\circ) \sin(90^\circ + 0^\circ)}} \right)^2 = 2.25 \quad (2.3)$$

2.2. Dikdörtgen Kesitli Menfez

2.2.1. Yapı Sisteminin Tanıtılması

Dikdörtgen kesitli betonarme menfezin iç boyutları ($B_c \times H_{\text{menfez}}$) sırasıyla 2.5 m x 1.5 m'dir. Menfezin üzerindeki dolgu yüksekliği (H_{dolgu}) 1.0 m'dir. Menfezin tipik kesiti şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Dikdörtgen kesitli menfezin gösterimi

Eşdeğer rijitlik yönteminde;

$$E_{\text{Betonarme}} \times A_{\text{Betonarme}} = E_{LP} \times A_{LP} \quad 2.4$$

formülasyonu kullanılmıştır (Cheng, 1999). (2.4) denklemine göre; $E_{\text{Betonarme}}$ ve E_{LP} sırası ile betonarme ve lifli polimer malzeme için izin verilebilir gerilme dayanım değerlerini, $A_{\text{Betonarme}}$ ve A_{LP} ise, sırası ile betonarme ve lifli polimer malzemenin kesit alanlarını ifade etmektedir. (2.1) eşitliğine göre dikdörtgen kesitli menfezde menfez kalınlıkları cam lifli

polimer malzeme için 10 cm, karbon lifli polimer malzeme için 3.5 cm olarak hesaplanmıştır. Fakat cam ve karbon lifli polimer malzeme için yapacağımız analiz hesaplarında menfez kalınlıkları 10 cm olarak alınmıştır.

2.2.2. Sabit Yük Hesabı (DC)

Tablo 2.4. de verilen tasarım parametreleri kullanılarak dikdörtgen kesitli menfezin zati yükleri SAP2000 programı tarafından hesaplanmıştır.

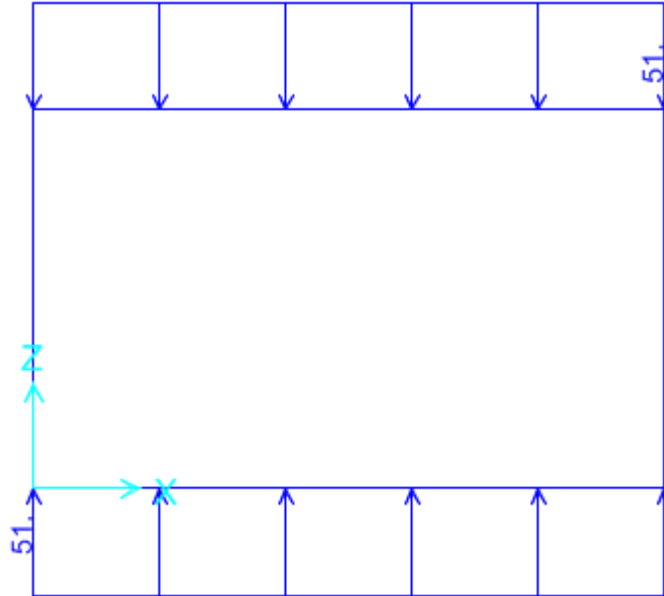
2.2.3. Dikey Toprak Yükü (EV)

Dolgu koşulları için etkileşim faktörü dolgu yüksekliğine (H_{dolgu}) ve menfezin (B_c) dış genişliğine bağlıdır:

$$F_e = 1 + 0.2 \left(\frac{H_{dolgu}}{B_c} \right) = 1 + 0.2 \left(\frac{1000}{2500} \right) = 1.08$$

Menfezin üstündeki tasarım dikey toprak basıncı:

$$W_E = gF_e \gamma_s B_c H_{dolgu} \times 10^{-9} = 9.81 \cdot 1.08 \cdot 1925 \cdot 2500 \cdot 1000 \times 10^{-9} = 51 \text{ (kN / m)}$$



Şekil 2.2. Dikdörtgen kesitli menfezin EV dikey toprak yükün gösterimi

2.2.4. Yatay Toprak Yüğü (EH)

Menfez üzerindeki yanal toprak basıncı (EH) aşağıdaki formüller kullanılarak bulunabilir. Denklem 2.1 ve 2.2 de hesapladığımız katsayılar vasıtasıyla zeminin aktif yanal toprak basıncı aşağıdaki formüller vasıtasıyla hesaplanmıştır.

Menfezin üst noktasında, yanal toprak basıncı (1 m uzunluk için):

$$EH_{min} = k_a \gamma_s g H_{dolgu} (x10^{-6}) = 0.41.1925.9,81.1000. (10^{-6}) = 7.74 \text{ kN/m}$$

$$EH_{max} = k_0 \gamma_s g H_{dolgu} (x10^{-6}) = 0.51.1925.9,81.1000. (10^{-6}) = 9.63 \text{ kN/m}$$

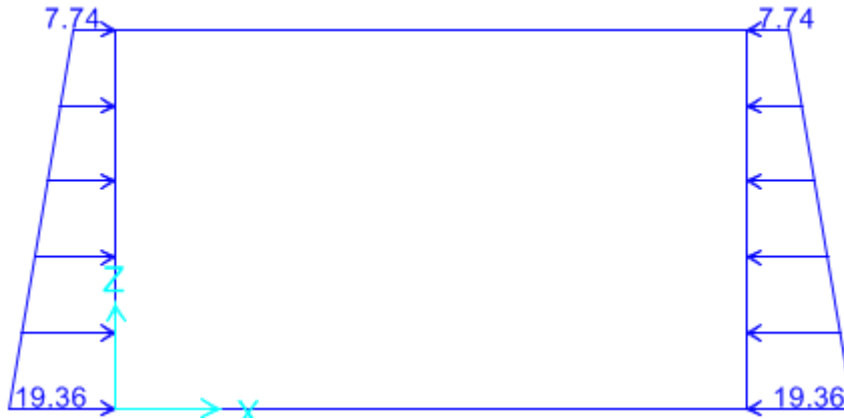
Menfezin alt noktasında, yanal toprak basıncı (1 m uzunluk için):

$$EH_{alt} = k_a \gamma_s g (H_{dolgu} + H_{menfez}) (x10^{-6})$$

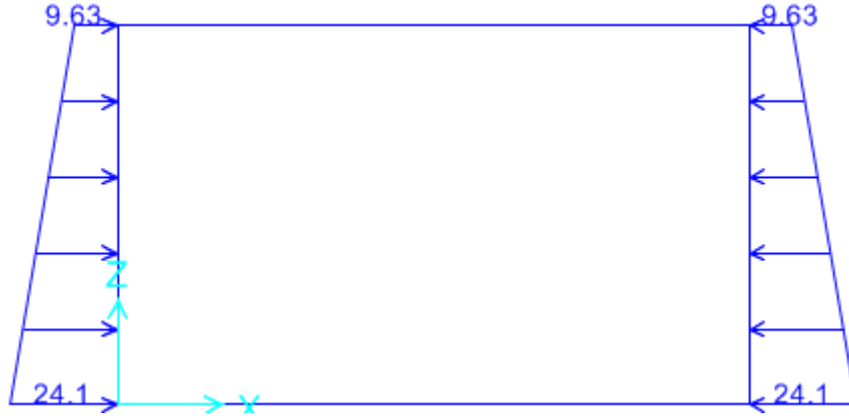
$$EH_{alt} = 0.41.1925.9,81. (1000 + 1500). 10^{-6} = 19.36 \text{ kN/m}$$

$$EH_{alt} = k_0 \gamma_s g (H_{dolgu} + H_{menfez}) (x10^{-6})$$

$$EH_{alt} = 0.51.1925.9,81. (1000 + 1500). 10^{-6} = 24.1 \text{ kN/m}$$



Şekil 2.3. Dikdörtgen kesitli menfezin EHmin yatay toprak yükün gösterimi



Şekil 2.4. Dikdörtgen kesitli menfezin EHmax yatay toprak yükün gösterimi

2.2.5. Hareketli Şürşarj Yükü (LS)

$k_a = 0.41$ (Denk.2.2'den)

Menfezin üstündeki hareketli şürşarj yükünün yüksekliği döşemenin üst yüzeyinden dolgu veya kaldırımın en üst noktasına olan uzaklıktır.

Yükseklik:

$$H_{\text{menfezin üst noktası}} = H_1 = 1 \text{ m}$$

Eşdeğer dolgu yüksekliği, h_{eq} dolgunun derinliğine bağlıdır ve tablo 1.2. kullanılarak bulunabilir.

Dolgu yüksekliği 1 m için eşdeğer yükseklik:

$$h_{eq1} = 1200 \text{ mm}$$

Menfez üst kısmında karşılık gelen yanal hareketli şürşarj yük şu şekilde hesaplanır:

$$LS_{\text{üst}} = k_a \gamma_s g h_{eq} \times 10^{-9} = 0.41 \cdot 1925 \cdot 9,81 \cdot 1200 \times 10^{-6} = 9.29 \text{ kN/m}$$

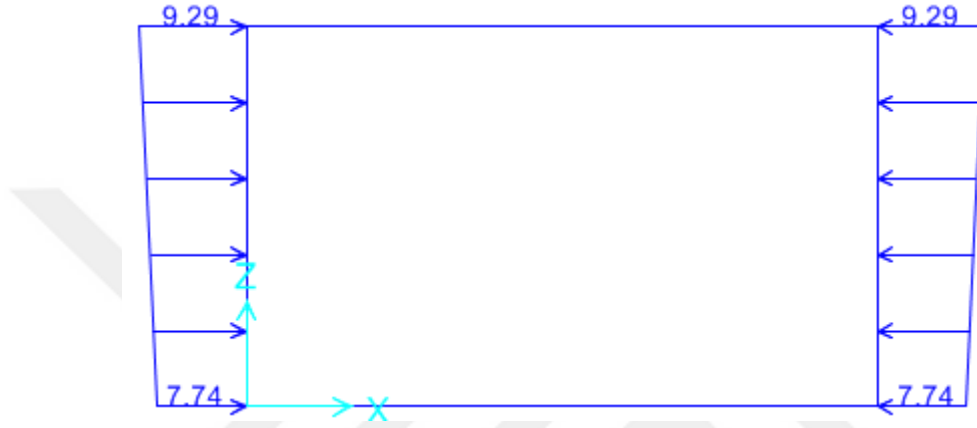
Menfezin altındaki hareketli şürşarj yükünün yüksekliği döşemenin en alt yüzeyinden dolgu veya kaldırımın en üst noktasına olan uzaklıktır.

$$H_2 = (H_{\text{dolgu}} + H_{\text{menfez}}) = 1000 + 1500 = 2500$$

Enterpolasyon ile, tekrardan tablo 1.2. kullanılarak eşdeğer yükseklik bulunur.

$$h_{\text{eq2}} = 1200 - \left(\frac{2500 - 1500}{3000 - 1500} \right) \times (1200 - 900) = 1000 \text{ mm}$$

$$LS_{\text{alt}} = k_a \gamma_s g h_{\text{eq}} \times 10^{-9} = 0.41 \cdot 1925 \cdot 9,81 \cdot 1000 \times 10^{-6} = 7.74 \text{ kN/m}$$



Şekil 2.5. Dikdörtgen kesitli menfezin LS şürşarj yükün gösterimi

2.2.6. Hareketli Yük (LL+IM)

Dinamik yük katsayısı(IM) aşağıdaki förmül yardımıyla bulunur.

$$IM = 33(1.0 - 4.1 \times 10^{-4} \times D_E) = 33(1.0 - 4.1 \times 10^{-4} \times 1) = 32.99\%$$

Menfez üstündeki HL-93 kamyon aks konfigürasyonunun oluşturduğu lineer yük aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$$w_{LL+IM} = \frac{2 \cdot P_w \cdot MPF \cdot (1 + IM)}{W \cdot L} = \frac{2 \cdot 72.5 \cdot 1.2 \cdot (1 + 0,3299)}{3.5 \cdot 1.4} = 47.23 \text{ kN/m}$$

Burada:

$$W = \text{aks aralığı} + \text{lastik temas alanı} + 1.15 \cdot H = 1800 + 510 + 1.15 \cdot 1000 = 3.5 \text{ m}$$

$$L = \text{lastik temas alanı} + 1.15 \cdot H = 250 + 1.15 \cdot 1000 = 1.4 \text{ m}$$

Menfez üstündeki HL-93 tandem kamyon aks konfigürasyonunun oluşturduğu lineer yük aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

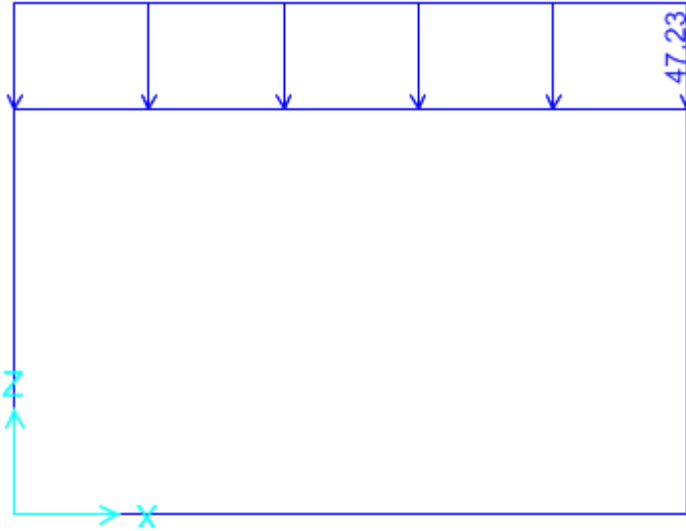
$$w_{LL+IM} = \frac{4 \cdot P_w \cdot MPF \cdot (1 + IM)}{W \cdot L} = \frac{4 \cdot 55 \cdot 1.2 \cdot (1 + 0,3299)}{3.5 \cdot 2.6} = 38.58 \text{ kN/m}$$

Burada:

$$W = 3.5 \text{ m}$$

$$L = \text{aks aralığı} + \text{lastik temas alanı} + 1.15 \cdot H = 1200 + 250 + 1.15 \cdot 1000 = 2.6 \text{ m}$$

Hesaplarda hareketli yük olarak kamyon dingil konfigürasyonu biraz büyük çıktığından tasarım için bu değer kullanılacaktır.



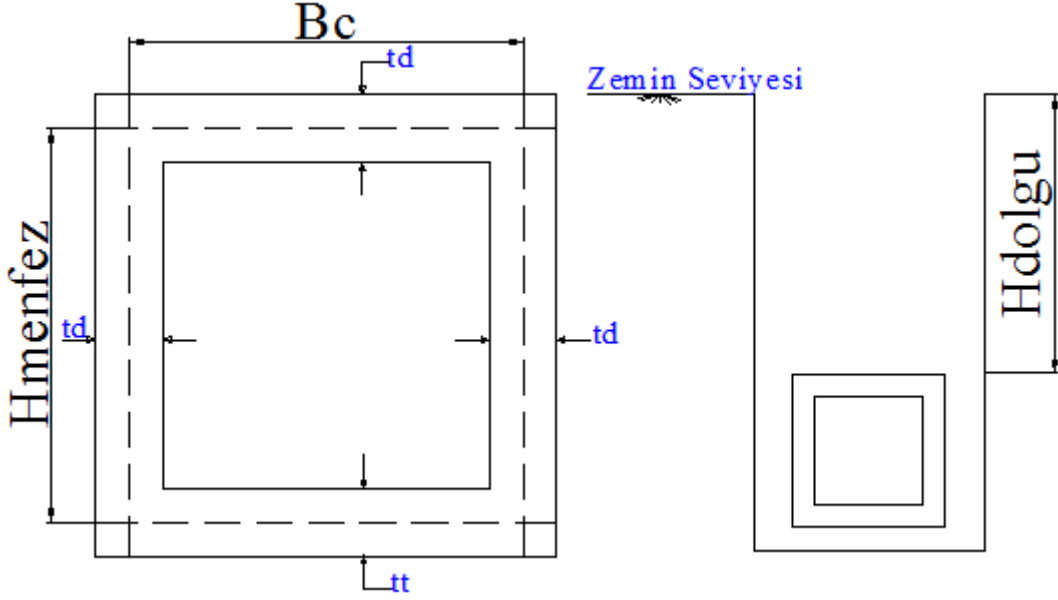
Şekil 2.6. Dikdörtgen kesitli menfezin LL+IM hareketli yükün gösterimi

2.3. Kare Kesitli Menfez

2.3.1. Yapı Sisteminin Tanıtılması

Kare kesitli betonarme menfezin iç boyutları ($B_c \times H_{\text{menfez}}$) sırasıyla 1.5 m x 1.5 m'dir. Menfezin üzerindeki dolgu yüksekliği (H_{dolgu}) 1.0 m'dir. Menfezin tipik kesiti şekil 2.7'de gösterilmiştir.

(2.4) eşitliğine göre dikdörtgen kesitli menfezde menfez kalınlıkları cam lifli polimer malzeme için 10 cm, karbon lifli polimer malzeme için 3.5 cm olarak hesaplanmıştır. Fakat cam ve karbon lifli polimer malzeme için yapacağımız analiz hesaplarında menfez kalınlıkları 10 cm olarak alınmıştır.



Şekil 2.7. Kare kesitli menfezin gösterimi

2.3.2. Sabit Yük Hesabı (DC)

Tablo 2.4. de verilen tasarım parametreleri kullanılarak kare kesitli menfezin zati yükleri SAP2000 programı tarafından hesaplanmıştır.

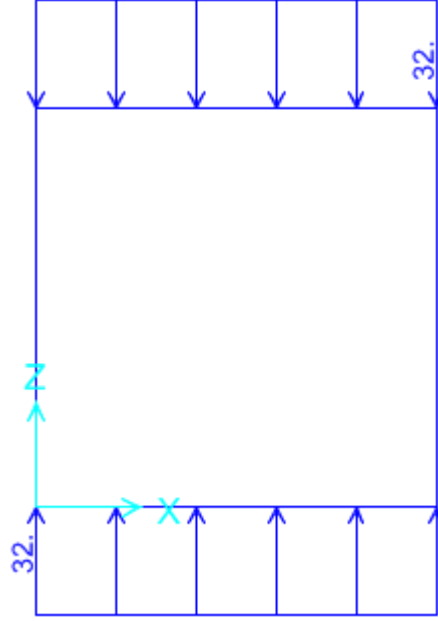
2.3.3. Dikey Toprak Yükü (EV)

Dolgu koşulları için etkileşim faktörü dolgu yüksekliğine (H) ve menfezin (Bc) dış genişliğine bağlıdır:

$$F_e = 1 + 0.2 \left(\frac{H}{B_c} \right) = 1 + 0.2 \left(\frac{1000}{1500} \right) = 1.13$$

Menfezin üstündeki tasarım dikey toprak basıncı:

$$W_E = gF_e \gamma_s B_c H \times 10^{-9} = 9.81 \cdot 1.13 \cdot 1925 \cdot 1500 \cdot 1000 \times 10^{-9} = 32.00 \text{ (kN / m)}$$



Şekil 2.8. Kare kesitli menfezin EV hareketli yükün gösterimi

2.3.4. Yatay Toprak Yükü (EH)

Menfez üzerindeki yanal toprak basıncı (EH) aşağıdaki formüller kullanılarak bulunabilir. Denklem 2.1 ve 2.2 de hesapladığımız katsayılar vasıtasıyla zeminin aktif yanal toprak basıncı aşağıdaki formüller vasıtasıyla hesaplanmıştır.

Menfezin üst noktasında, yanal toprak basıncı (1 m uzunluk için):

$$EH_{min} = k_a \gamma_s g H_{dolgu} (x10^{-6}) = 0.41.1925.9,81.1000. (10^{-6}) = 7.74 \text{ kN/m}$$

$$EH_{max} = k_0 \gamma_s g H_{dolgu} (x10^{-6}) = 0.51.1925.9,81.1000. (10^{-6}) = 9.63 \text{ kN/m}$$

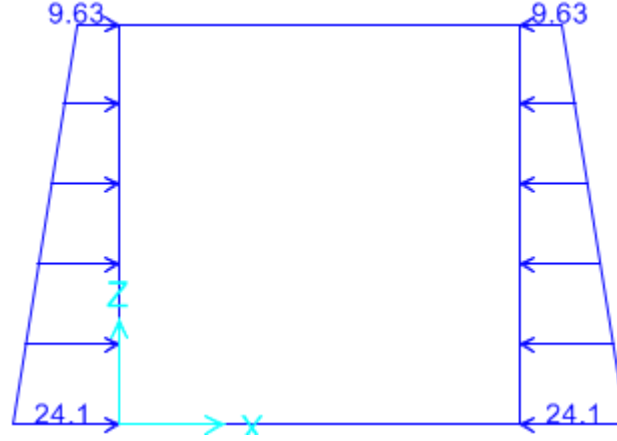
Menfezin alt noktasında, yanal toprak basıncı (1 m uzunluk için):

$$EH_{min} = k_a \gamma_s g (H_{dolgu} + H_{menfez}) (x10^{-6})$$

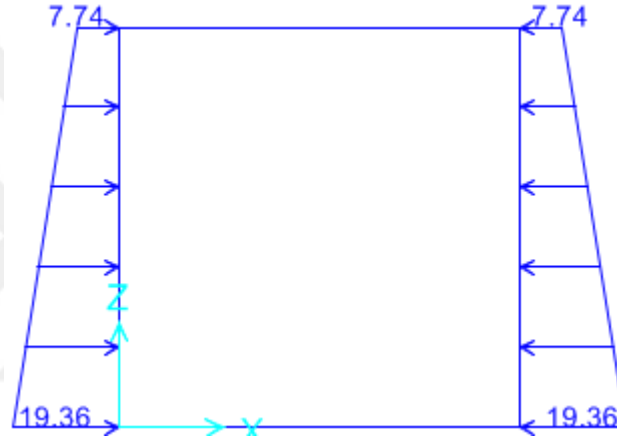
$$EH_{min} = 0.41.1925. 9,81. (1000 + 1500). 10^{-6} = 19.36 \text{ kN/m}$$

$$EH_{max} = k_0 \gamma_s g (H_{dolgu} + H_{menfez}) (x10^{-6})$$

$$EH_{max} = 0.51.1925. 9,81. (1000 + 1500). 10^{-6} = 24.1 \text{ kN/m}$$



Şekil 2.9. Kare kesitli menfezin $E_{H_{max}}$ hareketli yükün gösterim



Şekil 2.10. Kare kesitli menfezin $E_{H_{min}}$ hareketli yükün gösterimi

2.3.5. Hareketli Şürşarj Yükü (LS)

$k_a = 0.41$ (Denk.2.2'den)

Menfezin üstündeki hareketli şürşarj yükünün yüksekliği döşemenin üst yüzeyinden dolgu veya kaldırımın en üst noktasına olan uzaklıktır.

Yükseklik:

$H_{\text{menfezin üst noktası}} = H_1 = 1.0 \text{ m}$

Eşdeğer dolgu yüksekliği, h_{eq} dolgunun derinliğine bağlıdır ve tablo 1.2. kullanılarak bulunabilir.

Dolgu yüksekliği 1.0 m için eşdeğer yükseklik:

$$h_{eq1} = 1200 \text{ mm}$$

Menfez üst kısmında karşılık gelen yanal hareketli şürşarj yük şu şekilde hesaplanır:

$$LS_{üst} = k\gamma_s g h_{eq} \times 10^{-9} = 0.41 \cdot 1925 \cdot 9,81 \cdot 1200 \times 10^{-6} = 9.29 \text{ kN/m}$$

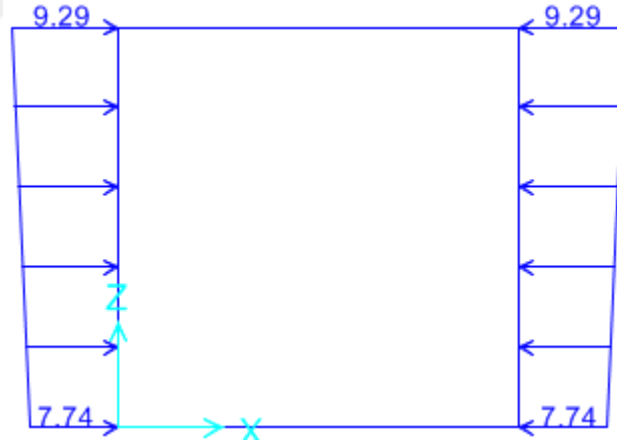
Menfezin altındaki hareketli şürşarj yükünün yüksekliği döşemenin en alt yüzeyinden dolgu veya kaldırımın en üst noktasına olan uzaklıktır.

$$H_2 = (H_{dolgu} + H_{menfez}) = 1000 + 1500 = 2500$$

Tekrardan tablo 1.2. kullanılarak eşdeğer yükseklik bulunur.

$$h_{eq2} = 1200 - \left(\frac{2500 - 1500}{3000 - 1500} \right) \times (1200 - 900) = 1000 \text{ mm}$$

$$LS_{alt} = k\gamma_s g h_{eq} \times 10^{-9} = 0.41 \cdot 1925 \cdot 9,81 \cdot 1000 \times 10^{-6} = 7.74 \text{ kN/m}$$



Şekil 2.11. Kare kesitli menfezin LS hareketli yükün gösterimi

2.3.6. Hareketli Yük (LL+IM)

Dinamik yük katsayısı(IM) aşağıdaki förmül yardımıyla bulunur.

$$IM = 33(1.0 - 4.1 \times 10^{-4} \times D_E) = 33(1.0 - 4.1 \times 10^{-4} \times 1.0) = 32.99\%$$

Menfez üstündeki HL-93 kamyon aks konfigürasyonunun oluşturduğu lineer yük aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$$w_{LL+IM} = \frac{2 \cdot P_w \cdot MPF \cdot (1 + IM)}{W \cdot L} = \frac{2 \cdot 72.5 \cdot 1.2 \cdot (1 + 0,3299)}{3.5 \cdot 1.4} = 47.23 \text{ kN/m}$$

Burada:

$$W = \text{aks aralığı} + \text{lastik temas alanı} + 1.15 \cdot H = 1800 + 510 + 1.15 \cdot 1000 = 3.5 \text{ m}$$

$$L = \text{lastik temas alanı} + 1.15 \cdot H = 250 + 1.15 \cdot 1000 = 1.4 \text{ m}$$

Menfez üstündeki HL-93 tandem kamyon aks konfigürasyonunun oluşturduğu lineer yük aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

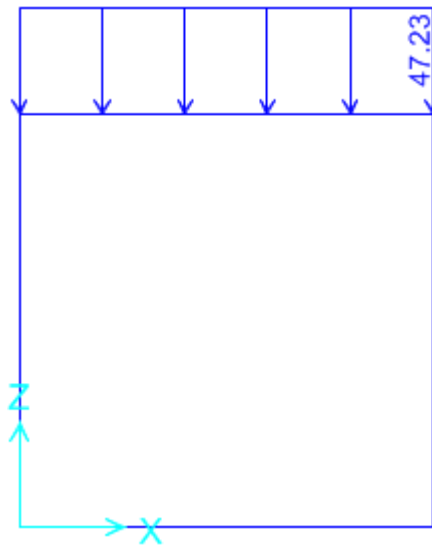
$$w_{LL+IM} = \frac{4 \cdot P_w \cdot MPF \cdot (1 + IM)}{W \cdot L} = \frac{4 \cdot 55 \cdot 1.2 \cdot (1 + 0,3299)}{3.5 \cdot 2.6} = 38.58 \text{ kN/m}$$

Burada:

$$W = 3.5 \text{ m}$$

$$L = \text{aks aralığı} + \text{lastik temas alanı} + 1.15 \cdot H = 1200 + 250 + 1.15 \cdot 1000 = 2.6 \text{ m}$$

Hesaplarda hareketli yük olarak kamyon dingil konfigürasyonu biraz büyük çıktığından tasarım için bu değer kullanılacaktır.



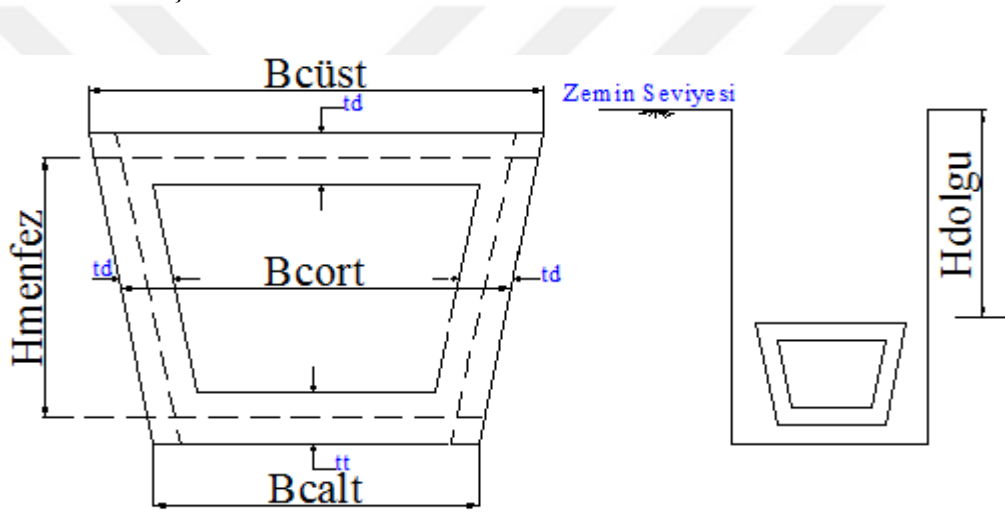
Şekil 2.12. Kare kesitli menfezin hareketli yükün gösterimi

2.4. Yamuk Kesitli Menfez

2.4.1. Yapı Sisteminin Tanıtılması

Yamuk kesitli betonarme menfezin iç boyutları ($B_{cüst} \times B_{calt} \times H_{menfez}$) sırasıyla 2.5 m x 1.5 m x 1.5 m'dir. Menfezin üzerindeki dolgu yüksekliği (H_{dolgu}) 1.0 m'dir. Menfezin tipik kesiti şekil 2.13'de gösterilmiştir.

(2.4) eşitliğine göre dikdörtgen kesitli menfezde menfez kalınlıkları cam lifli polimer malzeme için 10 cm, karbon lifli polimer malzeme için 3.5 cm olarak hesaplanmıştır. Fakat cam ve karbon lifli polimer malzeme için yapacağımız analiz hesaplarında menfez kalınlıkları 10 cm olarak alınmıştır.



Şekil 2.13. Yamuk kesitli menfezin gösterimi

2.4.2. Sabit Yük Hesabı (DC)

Tablo 2.4. de verilen tasarım parametreleri kullanılarak yamuk kesitli menfezin zati yükleri SAP2000 programı tarafından hesaplanmıştır.

2.4.3. Dikey Toprak Yükü (EV)

Dolgu koşulları için etkileşim faktörü dolgu yüksekliğine (H) ve menfezin (B_c) dış genişliğine bağlıdır:

$$F_e = 1 + 0.2 \left(\frac{H}{B_{\text{cort}}} \right) = 1 + 0.2 \left(\frac{1000}{2000} \right) = 1.1$$

Menfezin üstündeki ortalama dikey toprak basıncı:

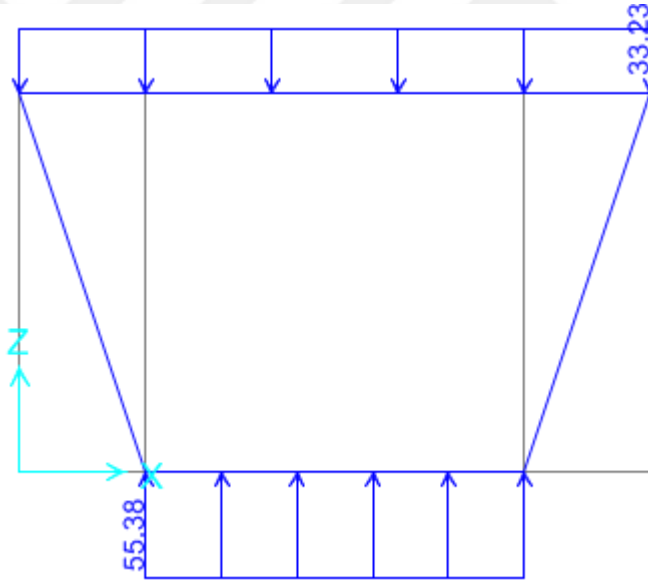
$$W_E = gF_e \gamma_s B_c H \times 10^{-9} = 9.81 \cdot 1.1 \cdot 1925 \cdot 2000 \cdot 1000 \times 10^{-9} = 41.54 \text{ (kN / m)}$$

Menfezin üst tabliesinde oluşan dikey toprak basıncı:

$$W_{\text{Eüst}} = \frac{W_E B_{\text{cort}}}{B_{\text{cüst}}} = \frac{41.54 \times 2000}{2500} = 33.23 \text{ (kN / m)}$$

Menfezin alt temelinde dikey toprak basıncı:

$$W_{\text{Eüst}} = \frac{W_E B_{\text{cort}}}{B_{\text{cüst}}} = \frac{41.54 \times 2000}{1500} = 55.38 \text{ (kN / m)}$$



Şekil 2.14. Yamuk kesitli menfezin EV dikey toprak yükün gösterimi

2.4.4. Yatay Toprak Yükü (EH)

Menfez üzerindeki yanal toprak basıncı (EH) aşağıdaki formüller kullanılarak bulunabilir. Denklem 2.1 ve 2.2 de hesapladığımız katsayılar vasıtasıyla zeminin aktif yanal

toprak basıncı aşağıdaki formüller vasıtasıyla hesaplanmıştır.

Menfezin üst noktasında, yanal toprak basıncı (1 m uzunluk için):

$$EH_{min} = k_a \gamma_s g H_{dolgu} (x10^{-6}) = 0.41.1925.9,81.1000. (10^{-6}) = 7.74 \text{ kN/m}$$

$$EH_{max} = k_0 \gamma_s g H_{dolgu} (x10^{-6}) = 0.51.1925.9,81.1000. (10^{-6}) = 9.63 \text{ kN/m}$$

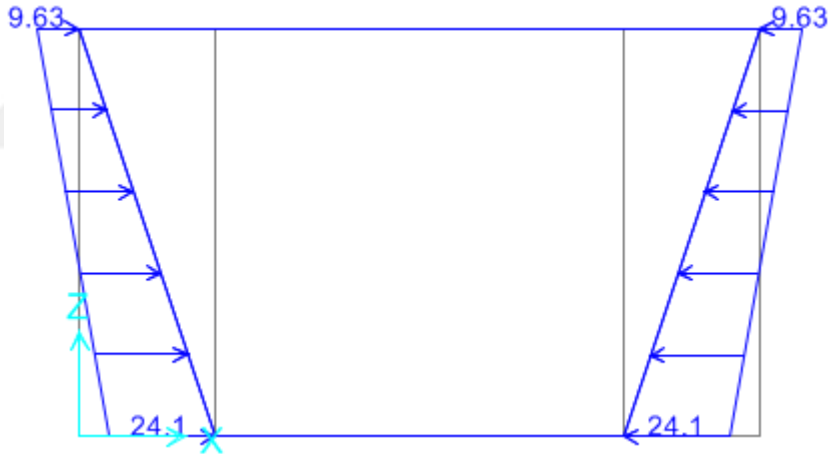
Menfezin alt noktasında, yanal toprak basıncı (1 m uzunluk için):

$$EH_{min} = k_a \gamma_s g (H_{dolgu} + H_{menfez}) (x10^{-6})$$

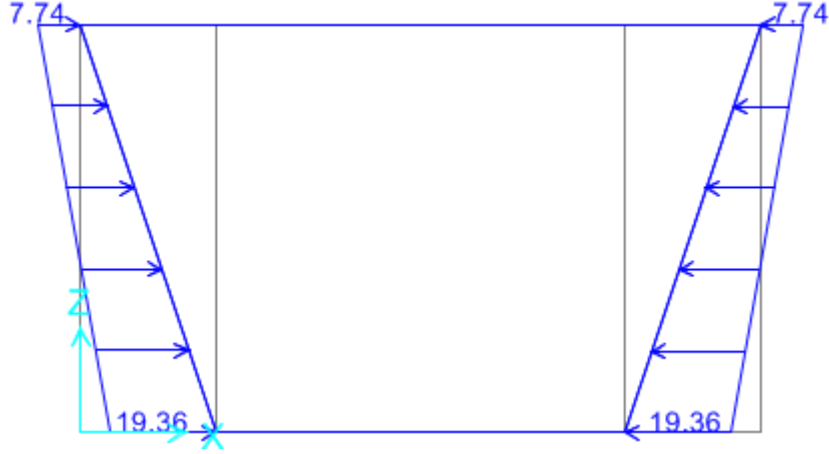
$$EH_{min} = 0.41.1925. 9,81. (1000 + 1500). 10^{-6} = 19.36 \text{ kN/m}$$

$$EH_{max} = k_0 \gamma_s g (H_{dolgu} + T_t + H_{menfez} + T_b) (x10^{-6})$$

$$EH_{max} = 0.51.1925. 9,81. (1000 + 1500). 10^{-6} = 24.1 \text{ kN/m}$$



Şekil 2.15. Yamuk kesitli menfezin EH_{max} yatay toprak yükün gösterimi



Şekil 2.16. Yamuk kesitli menfezin $E_{H_{min}}$ yatay toprak yükün gösterimi

2.4.5. Hareketli Şürşarj Yükü (LS)

$$k_a = 0.41 \text{ (Denk.2.2'den)}$$

Menfezin üstündeki hareketli şürşarj yükünün yüksekliği döşemenin üst yüzeyinden dolgu veya kaldırımın en üst noktasına olan uzaklıktır.

Yükseklik:

$$H_{\text{menfezin üst noktası}} = H_1 = 1.0 \text{ m}$$

Eşdeğer dolgu yüksekliği, h_{eq} dolgunun derinliğine bağlıdır ve tablo 1.2. kullanılarak bulunabilir.

Dolgu yüksekliği 1.5 m için eşdeğer yükseklik:

$$h_{eq1} = 1200 \text{ mm}$$

Menfez üst kısmında karşılık gelen yanal hareketli şürşarj yük şu şekilde hesaplanır:

$$LS_{\text{üst}} = k\gamma_s g h_{eq} \times 10^{-9} = 0.41 \cdot 1925 \cdot 9,81 \cdot 1200 \times 10^{-6} = 9.29 \text{ kN/m}$$

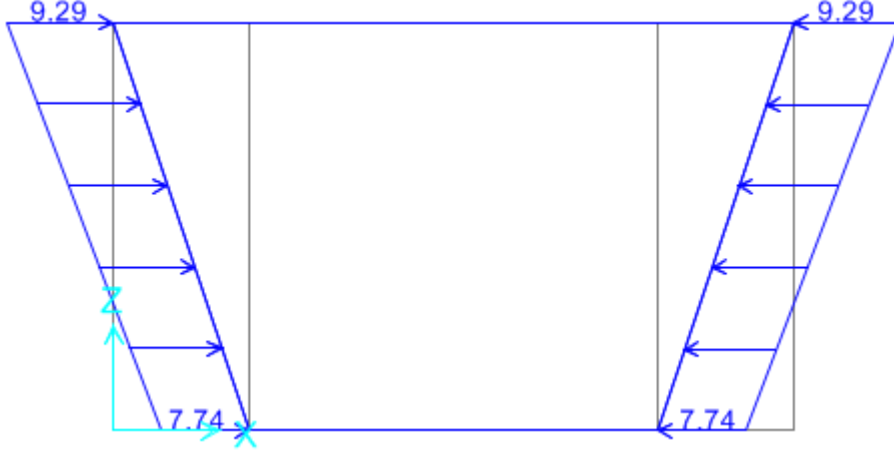
Menfezin altındaki hareketli şürşarj yükünün yüksekliği döşemenin en alt yüzeyinden dolgu veya kaldırımın en üst noktasına olan uzaklıktır.

$$H_2 = (H_{\text{dolgu}} + H_{\text{menfez}}) = 1000 + 1500 = 2500 \text{ mm}$$

Enterpolasyon ile, tekrardan tablo 1.2. kullanılarak eşdeğer yükseklik bulunur.

$$h_{eq2} = 1200 - \left(\frac{2500 - 1500}{3000 - 1500} \right) \times (1200 - 900) = 1000 \text{ mm}$$

$$LS_{alt} = k\gamma_s g h_{eq} \times 10^{-9} = 0.41 \cdot 1925 \cdot 9,81 \cdot 1000 \times 10^{-6} = 7.74 \text{ kN/m}$$



Şekil 2.17. Yamuk kesitli menfezin LS şürşarj yükün gösterimi

2.4.6. Hareketli Yük (LL+IM)

Dinamik yük katsayısı(IM) aşağıdaki förmül yardımıyla bulunur.

$$IM = 33(1.0 - 4.1 \times 10^{-4} \times D_E) = 33(1.0 - 4.1 \times 10^{-4} \times 1) = 32.99\%$$

Menfez üstündeki HL-93 kamyon aks konfigürasyonunun oluşturduğu lineer yük aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$$w_{LL+IM} = \frac{2 \cdot P_w \cdot MPF \cdot (1 + IM)}{W \cdot L} = \frac{2 \cdot 72.5 \cdot 1.2 \cdot (1 + 0,3299)}{3.5 \cdot 1.4} = 47.23 \text{ kN/m}$$

Burada:

$$W = \text{aks aralığı} + \text{lastik temas alanı} + 1.15 \cdot H = 1800 + 510 + 1.15 \cdot 1000 = 3.5 \text{ m}$$

$$L = \text{lastik temas alanı} + 1.15 \cdot H = 250 + 1.15 \cdot 1000 = 1.4 \text{ m}$$

Menfez üstündeki HL-93 tandem kamyon aks konfigürasyonunun oluşturduğu lineer yük

aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

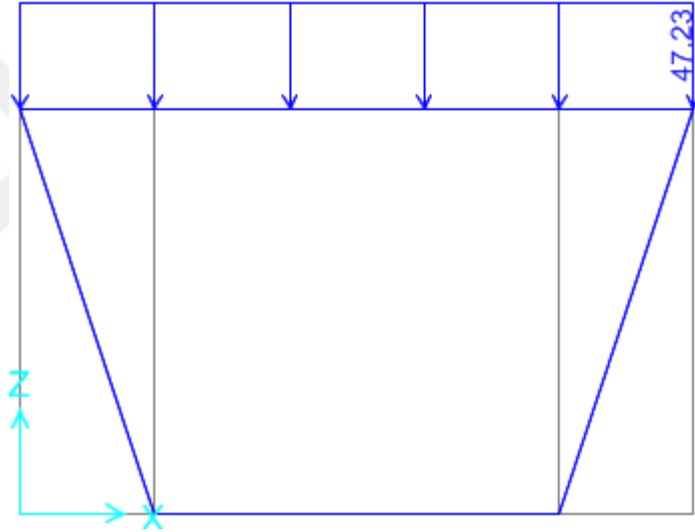
$$W_{LL+IM} = \frac{4 \cdot P_w \cdot MPF \cdot (1 + IM)}{W \cdot L} = \frac{4 \cdot 55 \cdot 1.2 \cdot (1 + 0,3299)}{3.5 \cdot 2.6} = 38.58 \text{ kN/m}$$

Burada:

$$W = 3.5 \text{ m}$$

$$L = \text{aks aralığı} + \text{lastik temas alanı} + 1.15 \cdot H = 1200 + 250 + 1.15 \cdot 1000 = 2.6 \text{ m}$$

Hesaplarda hareketli yük olarak kamyon dingil konfigürasyonu biraz büyük çıktığından tasarım için bu değer kullanılacaktır.



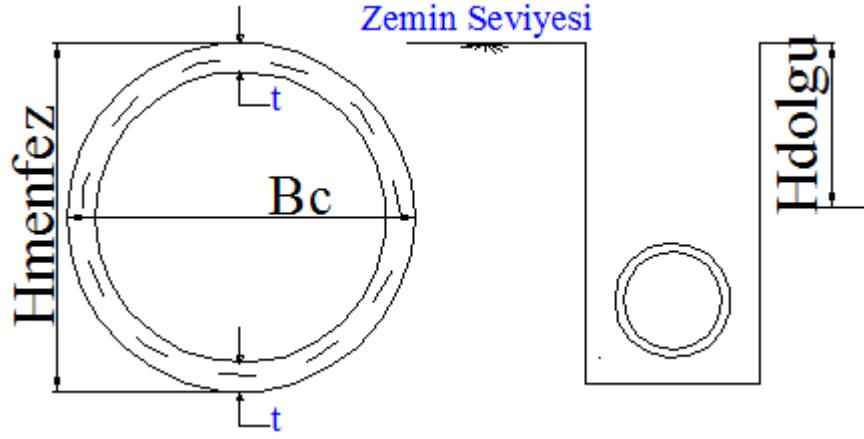
Şekil 2.18. Yamuk kesitli menfezin LL+IM hareketli yükün gösterimi

2.5. Dairesel Kesitli Menfez

2.5.1. Yapı Sisteminin Tanıtılması

Dairesel kesitli betonarme menfezin iç boyutları ($B_c \times H_{\text{menfez}}$) sırasıyla 1.5 m x 1.5 m'dir. Menfezin üzerindeki dolgu yüksekliği (H_{dolgu}) 1.0 m'dir. Menfezin tipik kesiti şekil 2.19'da gösterilmiştir.

(2.4) eşitliğine göre dikdörtgen kesitli menfezde menfez kalınlıkları cam lifli polimer malzeme için 7.5 cm, karbon lifli polimer malzeme için 1.5 cm olarak hesaplanmıştır. Fakat cam ve karbon lifli polimer malzeme için yapacağımız analiz hesaplarında menfez kalınlıkları 7.5 cm olarak alınmıştır.



Şekil 2.19. Dairesel kesitli menfezin gösterimi

2.5.2. Sabit Yük (DC)

Tablo 2.4. de verilen tasarım parametreleri kullanılarak daireli kesitli menfezin zati yükleri SAP2000 programı tarafından hesaplanmıştır.

2.5.3. Dikey Toprak Yükü (EV)

Tablo 1.4.'ten kurulum çeşidi olarak 1'i seçtiğimiz için VAF=1.35 olarak bulunur.

$$B_c = 1500 \text{ mm}$$

Prizma yükü:

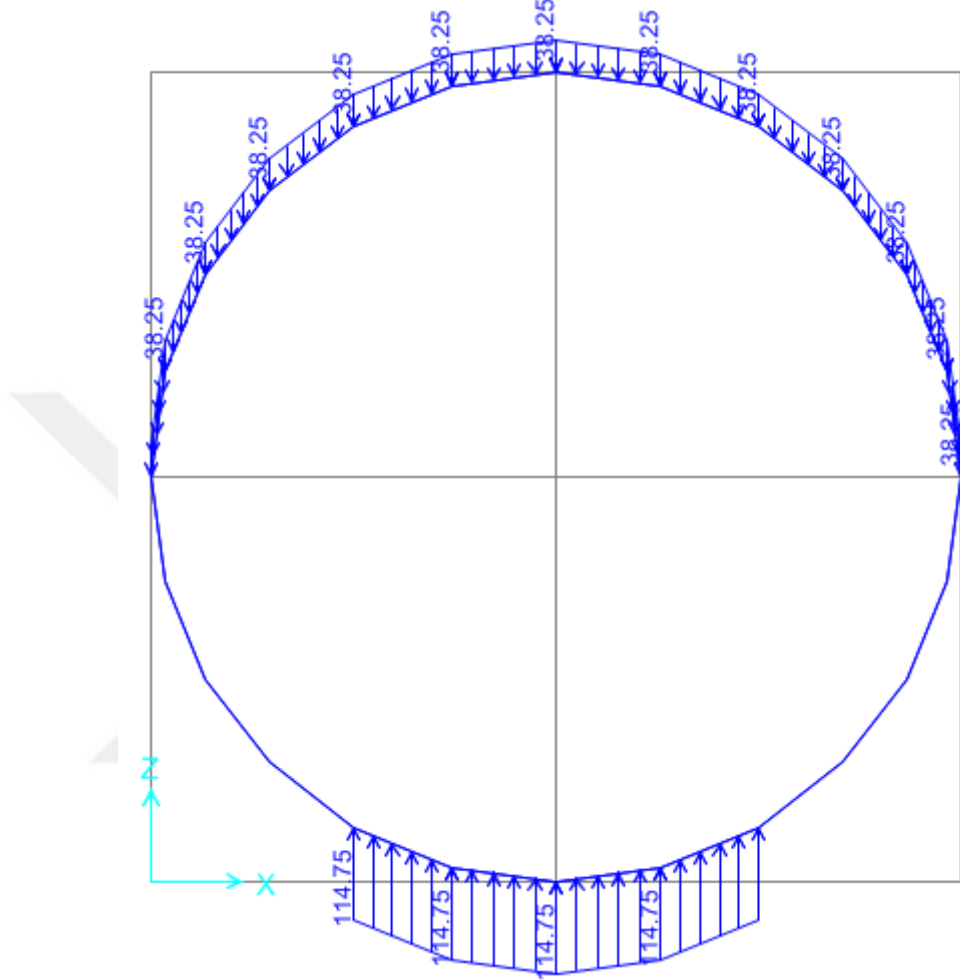
$$PL = g_{ys} B_c H \times 10^{-9} = 9.81.1925.1500.1000 \times 10^{-9} = 28.33 \text{ (kN / m)}$$

Dikey toprak yükü:

$$W_{Eüst} = VAF \times PL = 1.35 \times 28.33 = 38.25 \text{ (kN / m)}$$

Dikey toprak yüküne karşılık gelen tepki kuvveti:

$$W_{Ealt} = W_{Eüst} \times 3 = 38.25 \times 3 = 114.75 \text{ (kN / m)}$$



Şekil 2.20. Dairesel kesitli menfezin EV yatay toprak yükün gösterimi

2.5.4. Yatay Toprak Yükü (EH)

Tablo 1.5.'ten kurulum çeşidi olarak 1'i seçtiğimiz için HAF=0.45 olarak bulunur.

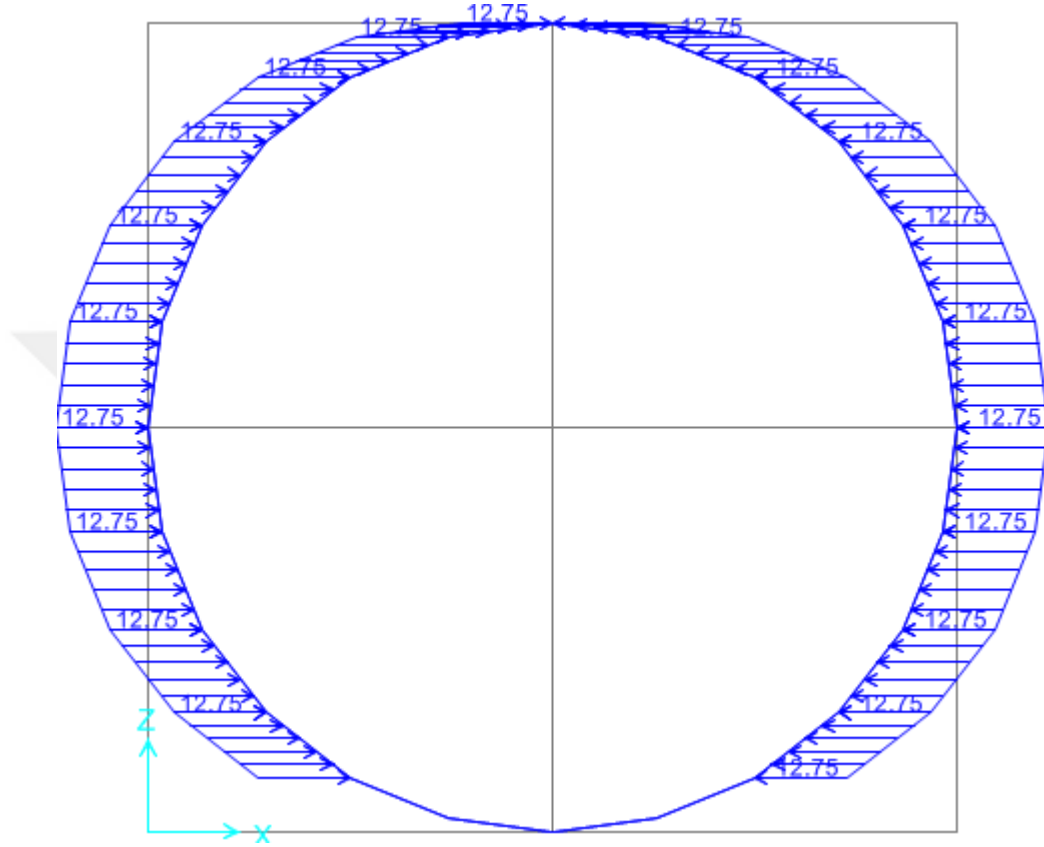
$$B_c = 1500 \text{ mm}$$

Dairesel şekilli menfez için Prizma yükü:

$$PL = \gamma_s B_c H \times 10^{-9} = 9.81.1925.1500.1000 \times 10^{-9} = 28.33 \text{ (N / mm)}$$

Dairesel şekilli menfez için yatay toprak yükü:

$$W_H = HAF \times PL = 0.45 \times 28.33 = 12.75 \text{ (kN / m)}$$



2.21. Dairesel kesitli menfezin EH yatay toprak yükün gösterimi

2.5.5. Hareketli yük (LL+IM)

Dinamik yük katsayısı(IM) aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$$IM = 33(1.0 - 4.1 \times 10^{-4} \times D_E) = 33(1.0 - 4.1 \times 10^{-4} \times 1.0) = 32.99 \%$$

Menfez üstündeki HL-93 kamyon aks konfigürasyonunun oluşturduğu lineer yük aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$$\text{Yayımla } a = (a + 1200 + 1.15H) = 0.51 + 1.2 + 1.15 \times 1 = 2.86 \text{ m}$$

$$\text{Yayılma } b = (b + 1200 + 1.15H) = 0.25 + 1.2 + 1.15 \times 1 = 2.60 \text{ m}$$

$$w_{LL+IM} = \frac{P_w \cdot (1 + IM)}{A} = \frac{222 \cdot (1 + 0,3299)}{2.86 \cdot 2.60} = 39.70 \text{ kN/m}$$

Boru üzerinde hareket eden toplam canlı yük aşağıdaki formülle belirlenir.

$$W_{Tmax} = (w + L_L)L S_L$$

Boru merkez hattına enine araç hareketinin hesaplanması,

$$0 \leq H < 2.4 \text{ m}, L_L = 3 \text{ KN/m}^2$$

$$H \geq 2.4 \text{ m}, L_L = 0$$

$$L_L = 3 \text{ KN/m}^2 \text{ şerit yüklemesi,}$$

$$\text{Yayılma } a = 2.86 \text{ m}$$

$$\text{Yayılma } b = 2.60 \text{ m}$$

$B_c = 1.50 \text{ m}$, Yayılma b' 'den daha az olduğundan en küçüğü seçiyoruz

$$S_L = 1.50 \text{ m}$$

$$w = 39.70 \text{ KN/m}^2$$

$$W_T = (w + L_L)L S_L = (39.70 + 3) * 2.86 * 1.5 = 183.18 \text{ KN/m}^2$$

Boru merkez hattına enine araç hareketinin hesaplanması,

$$L_L = 3 \text{ KN/m}^2 \text{ şerit yüklemesi,}$$

$$\text{Yayılma } a = 2.86 \text{ m}$$

$$\text{Yayılma } b = 2.60 \text{ m}$$

$B_c = 1.50 \text{ m}$, Yayılma a' 'den daha az olduğundan en küçüğü seçiyoruz

$$S_L = 1.50 \text{ m}$$

$$w = 39.70 \text{ KN/m}^2$$

$$W_T = (w + L_L)L S_L = (39.70 + 3.0) * 2.60 * 1.5 = 166.53 \text{ KN}$$

Hesaplarda hareketli yük olarak büyük çıkan W_{Tmax} değerini tasarımda kullanılacaktır.

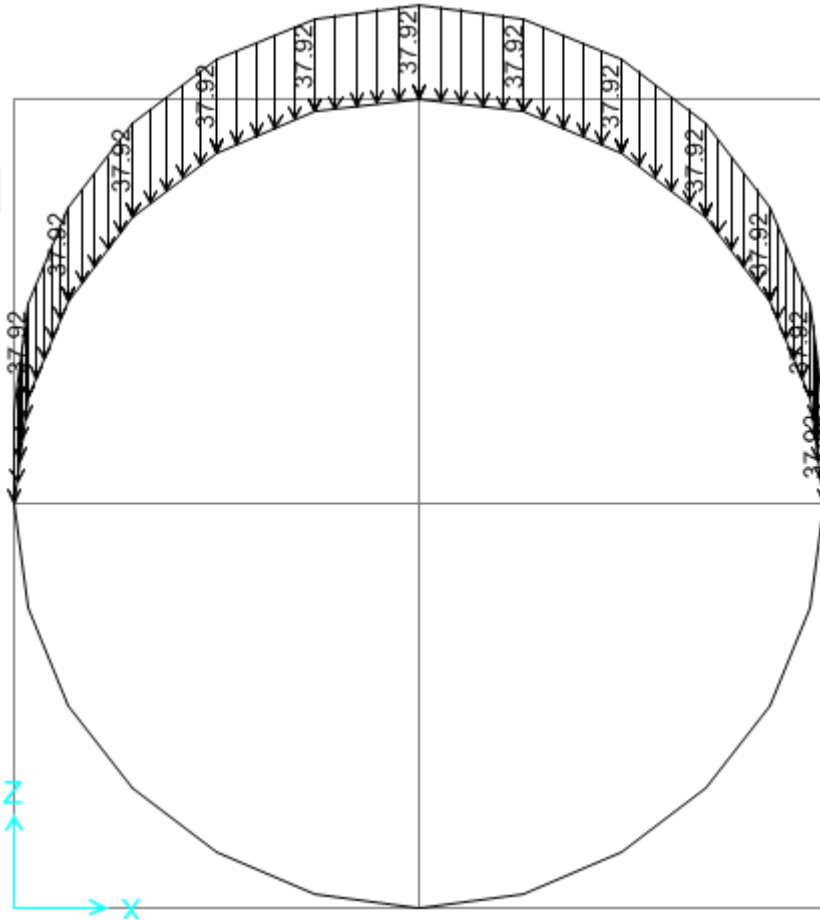
$$W_{Tmax} = 183.18 \text{ KN}$$

Boru üzerinde m başına hareket eden hareketli yük aşağıdaki denklemle belirlenir:

$$R_0 = 1.5 \text{ m}$$

$$L_e = L + 1.75 \left(\frac{3}{4} R_0 \right) = 2.86 + 1.75 \left(\frac{3}{4} \times 1.5 \right) = 4.83 \text{ m}$$

$$W_L = \frac{W_T}{L_e} = \frac{183.18}{4.83} = 37.92 \text{ kN/m}$$



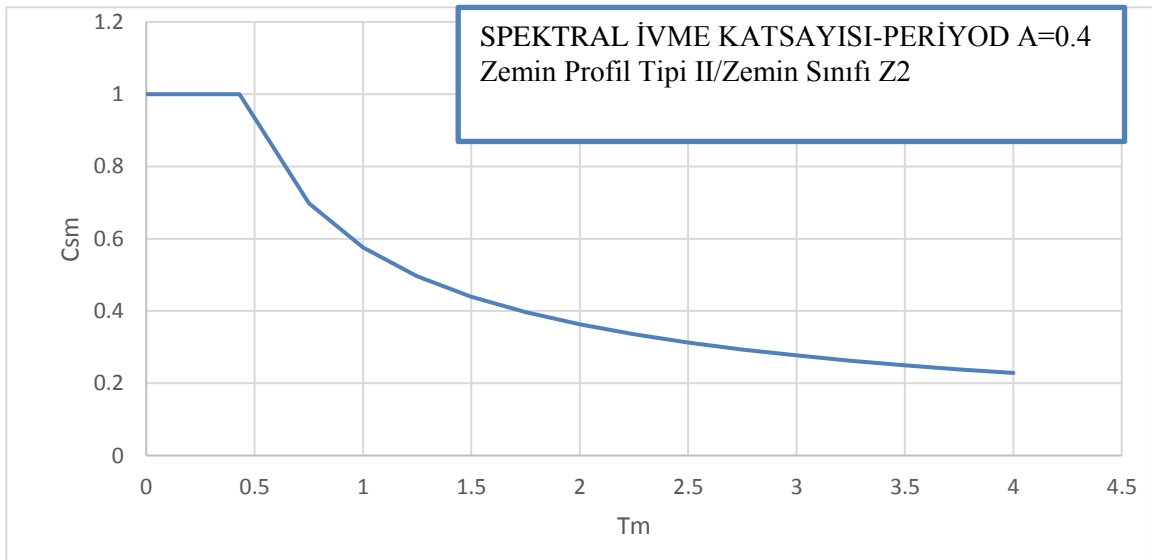
Şekil 2.22. Dairesel kesitli menfezin hareketli yükün gösterimi

2.6. Deprem Yük Hesabında Kullanılacak Spektrum Eğrisi

Menfezin yapıldığı yer Gölcük ilçesi olduğu için zemin profili II, yer ivme katsayısı $A=0.4g$. (1. Derece Deprem Bölgesi) olarak belirlenmiştir. Tekil kolonların deprem yükü azaltma katsayıları AASHTO'da $R=1$ olarak verilmiştir (Tablo 2.2). Spektrum eğrisi, AASHTO-LFRD şartnamesinde belirtildiği gibi oluşturulmuştur, ivme katsayısı ve zemin etkisi spektrumunda göz önüne alınarak deprem davranış katsayısı denklem 1.25 ile hesaplanmıştır ve deprem spektrum grafiği ($T_m - C_{sm}$) çizilmiştir. (AASHTO, 2002)

Tablo 2.2. Zemin profil tip II için spektrum eğrisinde kullanılan değerler

Bölge katsayısı	S	1.2
İvme katsayısı	A	0.40
Sismik kategori	SPK	D
Titreşim modunun periyodu	T_m	S_n
Yerçekim ivme	g	9.81
Sönüm katsayısı	D	%5
Azaltma katsayısı	R	1
İvme	a	m/s^2



Şekil 2.23. Dikdörtgen, kare, yamuk ve dairesel kesitlerin analizinde kullanacağımız Gölcük ilçesinin ASHTO-LFRD 'ye göre oluşturulmuş tasarım spektrumu ($A=0.4$ /Zemin Profili II).

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

3.1. Giriş

Tezin bu bölümünde, örnek olarak seçilmiş kare, dikdörtgen, yamuk ve daire şekilli menfezin statik ve dinamik davranışlarına lifli polimer malzemelerin etkileri incelenmiş ve analizler sonucu elde edilen bulgular tablolar ile desteklenerek verilmiştir. Ayrıca AASHTO şartnamesine göre oluşturulan Gölcük ilçesinin spektrumunun modal analizi de yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Analizler sonucunda betonarme ve lifli polimer malzemenin (cam, karbon) yerdeğiştirme, eğilme momenti, kesme kuvveti ve normal kuvvet değerleri irdelenmiştir. LP malzemelerin kare, daire, dikdörtgen ve yamuk kesitli menfezde etkilerini daha iyi görmek amacıyla, elde edilen sonuçların geleneksel betonarme malzeme kullanılarak yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

3.2. Dikdörtgen Kutu Menfez İçin Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

3.2.1. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

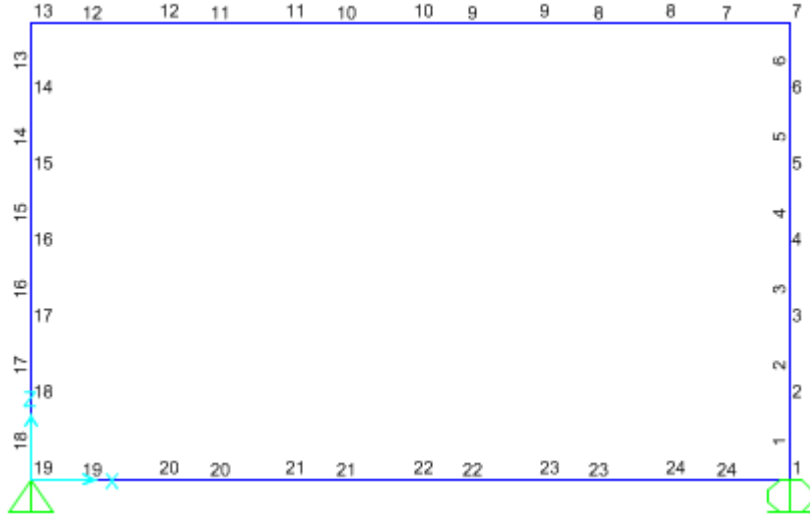
Bu bölüm de dikdörtgen kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre modelin SAP2000'den çıkan sonuçları tablolar halinde sunulmuştur. Şekil 3.1 de yapının SAP2000'de oluşturulmuş modellemesi görülmektedir.

3.2.1.1. Yerdeğiştirme

3.2.1.1.1. Düşey Yerdeğiştirme

Dikdörtgen kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçları elde edilmiştir. Analizler sonucunda betonarme için en büyük düşey yerdeğiştirme değeri 0.96 mm'dir. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için 6.4 mm ve karbon lifli polimer malzeme için 1.81 mm olarak tespit edilmiştir. En düşük düşey

yerdeğiştirme değeri betonarme malzemede elde edilmiştir.



Şekil 3.1. Dikdörtgen kesitli menfezin SAP2000 modellemesi

3.2.1.1.2. Yatay Yerdeğiştirme

Dikdörtgen kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçları elde edilmiştir. Analizler sonucunda betonarme için en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.17 mm'dir. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için 1.64 mm ve karbon lifli polimer malzeme için 0.46 mm olarak tespit edilmiştir. En düşük yatay yerdeğiştirme değeri betonarme malzemede elde edilmiştir.

3.2.1.2.Eğilme Momenti

Dikdörtgen kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçlarında üst tabliye orta bölgesinde, maksimum eğilme momenti değerleri elde edilmiştir. Bu çalışmada, dikey yerdeğiştirme değerlerinin de bu bölgede maksimum olması nedeni ile moment değerlerinin tabliye orta bölgesinde oluşması normaldir. LP malzemelerin, eğilme momenti değerlerini daha iyi görmek amacıyla, elde edilen cam lifli polimer malzeme sonuçları ve karbon lifli polimer sonuçları, betonarme malzemenin kullanıldığı analiz sonuçları ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere bağlı olarak elde edilen eğilme momenti değerleri tablo 3.1 ve tablo 3.2'de verilmiştir. Analizlerde betonarme için maksimum eğilme momenti

değeri 64.33 kNm'dir. Bu değer, cam lifli polimer için 65.44 kNm ve karbon lifli polimer için 65.19 kNm olarak tespit edilmiştir. Tablodan görüleceği üzere değerler birbirine yakın çıkmıştır.



Tablo 3.1. Dikdörtgen kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3'e göre elde edilen eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 1				Kombinasyon 2				Kombinasyon 3			
		Betonarme (kNm)	Cam Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)		Betonarme (kNm)	Cam Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)		Betonarme (kNm)	Cam Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)	
1	1	4.16	-19.88	-20.37	6.09	-17.95	-18.44	-1.29	-16.11	-16.41			
2	2	-0.59	-19.82	-20.15	-3.05	-22.28	-22.61	3.88	-10.03	-10.23			
3	3	-8.14	-22.56	-22.73	-13.13	-27.55	-27.72	3.66	-6.75	-6.85			
4	4	-18.31	-27.92	-27.92	-24.05	-33.66	-33.66	0.84	-6.08	-6.08			
5	5	-30.9	-35.7	-35.54	-35.69	-40.49	-40.32	-4.42	-7.84	-7.74			
6	6	-45.74	-45.73	-45.4	-47.95	-47.94	-47.61	-11.92	-11.85	-11.65			
6	7	-62.63	-57.81	-57.32	-60.74	-55.92	-55.43	-21.47	-17.90	-17.61			
7	7	-62.63	-57.81	-57.32	-60.74	-55.92	-55.43	-21.47	-17.90	-17.61			
8	8	6.85	9.61	9.69	8.74	11.50	11.58	0	2.09	2.09			
9	9	48.54	50.07	49.9	50.43	51.96	51.79	12.89	14.09	13.91			
10	10	62.43	63.55	63.3	64.33	65.44	65.19	17.19	18.09	17.85			
11	11	48.54	50.07	49.9	50.43	51.96	51.79	12.89	14.09	13.91			
12	12	6.85	9.61	9.69	8.74	11.50	11.58	0	2.09	2.09			
12	13	-62.63	-57.81	-57.32	-60.74	-55.92	-55.43	-21.47	-17.90	-17.61			
13	13	62.63	57.81	57.32	60.74	55.92	55.43	21.47	17.90	17.61			
14	14	45.74	45.73	45.4	47.95	47.94	47.61	11.92	11.85	11.65			
15	15	30.9	35.7	35.54	35.69	40.49	40.32	4.42	7.84	7.74			
16	16	18.31	27.92	27.92	24.05	33.66	33.66	-0.84	6.07	6.07			
17	17	8.14	22.56	22.73	13.13	27.55	27.72	-3.66	6.75	6.85			
18	18	0.59	19.82	20.15	3.05	22.28	22.61	-3.88	10.03	10.23			
18	19	-4.16	19.88	20.37	-6.09	17.95	18.44	-1.29	16.11	16.41			
19	19	-4.16	19.88	20.37	-6.09	17.95	18.44	-1.29	16.11	16.41			
20	20	-5.36	-9.00	-8.92	-7.29	-10.93	-10.85	0.56	-1.96	-1.96			
21	21	-6.08	-26.33	-26.49	-8.01	-28.26	-28.43	1.67	-12.81	-12.99			
22	22	-6.32	-32.10	-32.35	-8.25	-34.04	-34.29	2.04	-16.42	-16.66			
23	23	-6.08	-26.33	-26.49	-8.01	-28.26	-28.43	1.67	-12.81	-12.99			
24	24	-5.36	-9.00	-8.92	-7.29	-10.93	-10.85	0.56	-1.96	-1.96			
24	1	4.16	19.88	20.37	6.09	17.95	18.44	-1.29	16.11	16.41			

Tablo 3.2. Dikdörtgen kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 4, kombinasyon 5 ve kombinasyon 6'ya göre elde edilen eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 4				Kombinasyon 5				Kombinasyon 6			
		Betonarme (kNm)	Cam Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)		Betonarme (kNm)	Cam Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)		Betonarme (kNm)	Cam Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)	
1	1	-4.32	-14.94	-15.32	-5.15	-14.11	-14.48	-17.37	-1.97	-17.37	-17.70		
2	2	0.94	-14.46	-14.71	-0.1	-15.50	-15.75	-13.52	1.93	-13.52	-13.74		
3	3	-4.29	-15.84	-15.96	-6.44	-17.98	-18.11	-11.52	0.05	-11.52	-11.63		
4	4	-11.25	-18.94	-18.94	-13.74	-21.43	-21.43	-11.24	-3.56	-11.24	-11.24		
5	5	-19.79	-23.62	-23.49	-21.9	-25.73	-25.60	-12.56	-8.75	-12.56	-12.45		
6	6	-29.78	-29.75	-29.50	-30.78	-30.75	-30.50	-15.32	-15.4	-15.32	-15.10		
6	7	-41.09	-37.20	-36.83	-40.26	-36.38	-36.00	-19.40	-23.36	-19.40	-19.07		
7	7	-41.09	-37.20	-36.83	-40.26	-36.38	-36.00	-19.40	-23.36	-19.40	-19.07		
8	8	4.26	6.50	6.55	5.09	7.33	7.37	3.80	1.48	3.80	3.80		
9	9	31.47	32.72	32.57	32.3	33.55	33.40	17.72	16.39	17.72	17.52		
10	10	40.54	41.46	41.24	41.36	42.29	42.07	22.36	21.36	22.36	22.10		
11	11	31.47	32.72	32.57	32.3	33.55	33.40	17.72	16.39	17.72	17.52		
12	12	4.26	6.50	6.55	5.09	7.33	7.37	3.80	1.48	3.80	3.80		
12	13	-41.09	-37.20	-36.83	-40.26	-36.38	-36.00	-19.40	-23.36	-19.40	-19.07		
13	13	41.09	37.20	36.83	40.26	36.38	36.00	19.40	23.36	19.40	19.07		
14	14	29.78	29.75	29.50	30.78	30.75	30.50	15.32	15.4	15.32	15.10		
15	15	19.79	23.62	23.49	21.9	25.73	25.60	12.56	8.75	12.56	12.45		
16	16	11.25	18.94	18.94	13.74	21.43	21.43	11.24	3.56	11.24	11.24		
17	17	4.29	15.84	15.96	6.44	17.98	18.11	11.52	-0.05	11.52	11.63		
18	18	-0.94	14.46	14.71	0.18	15.50	15.75	13.52	-1.93	13.52	13.74		
18	19	-4.32	14.94	15.32	-5.15	14.11	14.48	17.37	-1.97	17.37	17.70		
19	19	-4.32	14.94	15.32	-5.15	14.11	14.48	17.37	-1.97	17.37	17.70		
20	20	-3.24	-6.12	-6.08	-4.08	-6.96	-6.91	-3.70	-0.89	-3.70	-3.70		
21	21	-2.59	-18.76	-18.92	-3.43	-19.6	-19.75	-16.34	-0.24	-16.34	-16.54		
22	22	-2.38	-22.98	-23.20	-3.21	-23.81	-24.03	-20.55	-0.03	-20.55	-20.82		
23	23	-2.59	-18.76	-18.92	-3.43	-19.6	-19.75	-16.34	-0.24	-16.34	-16.54		
24	24	-3.24	-6.12	-6.08	-4.08	-6.96	-6.91	-3.70	-0.89	-3.70	-3.70		
24	1	-4.32	14.94	15.32	-5.15	14.11	14.48	17.37	-1.97	17.37	17.70		

3.2.1.3. Kesme Kuvveti

Dikdörtgen kesitli menfez'in betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Betonarme, cam lifli polimer, karbon lifli polimere bağlı olarak elde edilen kesme kuvveti değerleri tablo 3.3 ve tablo 3.4'te verilmiştir. Tabliye orta noktalarında maksimum eğilme momenti tespit edilmiştir. Kesme kuvveti değeri de menfezin tabliye orta noktalarında sıfırdır. Analizlerde betonarme için maksimum kesme kuvveti değeri 200.1 kN'dur. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için 194.18 kN ve karbon lifli polimer malzeme için 192.99 kN olarak tespit edilmiştir.



Tablo 3.3. Dikdörtgen kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3'e göre elde edilen kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 1				Kombinasyon 2				Kombinasyon 3			
		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	
1	1	13.22	-6.08	-6.74		34.55	15.37	14.69		-16.19	-30.17	-30.57	
2	2	24.73	5.49	4.83		38.51	19.28	18.62		-4.62	-18.6	-19.00	
3	3	35.56	16.32	15.66		42.05	22.32	22.16		6.21	-7.73	-8.17	
4	4	45.64	26.40	25.74		45.17	25.94	25.28		16.29	2.31	1.91	
5	5	54.98	35.74	35.08		47.88	28.65	27.99		25.63	11.65	11.25	
6	6	63.58	44.34	43.68		50.17	30.94	30.28		34.23	20.25	19.85	
6	7	71.43	52.19	51.54		52.04	32.81	32.15		42.09	28.10	27.71	
7	7	-200.1	-194.18	-192.99		-200.1	-194.18	-192.99		-61.86	-57.59	-56.74	
8	8	-133.4	-129.45	-128.66		-133.4	-129.45	-128.66		-41.24	-38.40	-37.83	
9	9	-66.70	-64.73	-64.63		-66.70	-64.73	-64.33		-20.62	-19.20	-18.91	
10	10	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
11	11	66.70	64.73	64.63		66.70	64.73	64.33		20.62	19.20	18.91	
12	12	133.4	129.45	128.66		133.4	129.45	128.66		41.24	38.40	37.82	
12	13	200.1	194.18	192.99		200.1	194.18	192.99		61.86	57.59	56.74	
13	13	71.43	52.19	51.54		52.04	32.81	32.15		42.09	28.10	27.71	
14	14	63.58	44.34	43.68		50.17	30.94	30.28		34.23	20.25	19.85	
15	15	54.98	35.74	35.08		47.88	28.65	27.99		25.63	11.65	11.25	
16	16	45.64	26.40	25.74		45.17	25.94	25.28		16.29	2.31	1.91	
17	17	35.56	16.32	15.66		42.05	22.32	22.16		6.17	-7.73	-8.17	
18	18	24.73	5.49	4.83		38.51	19.28	18.62		-4.62	-18.6	-19.00	
18	19	13.22	-6.08	-6.74		34.55	15.37	14.69		-16.19	-30.17	-30.57	
19	19	3.46	83.17	84.36		3.46	83.17	84.36		-5.34	52.06	52.91	
20	20	2.30	55.45	56.24		2.30	55.45	56.24		-3.56	34.71	35.28	
21	21	1.15	27.73	28.12		1.15	27.73	28.12		-1.78	17.35	17.64	
22	22	-0.04	0.00	0.00		-0.04	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
23	23	-1.15	-27.73	-28.12		-1.15	-27.73	-28.12		1.78	-17.35	-17.64	
24	24	-2.30	-55.45	-56.24		-2.30	-55.45	-56.24		3.56	-34.71	-35.28	
24	1	-3.46	-83.17	-84.36		-3.46	-83.17	-84.36		5.34	-52.06	-52.91	

Tablo 3.4. Dikdörtgen kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 4, kombinasyon 5 ve kombinasyon 6'ya göre elde edilen kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 4				Kombinasyon 5				Kombinasyon 6			
		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	
1	1	9.64	-5.81	-6.31	18.66	3.25	2.75	-3.76	-19.30	-19.73			
2	2	17.31	1.88	1.38	23.26	7.83	7.33	3.93	-11.61	-12.04			
3	3	24.46	9.03	8.53	27.37	11.94	11.44	11.08	-4.45	-4.89			
4	4	31.08	15.65	15.45	31.00	15.57	15.07	17.69	2.16	1.72			
5	5	37.15	21.72	21.22	34.15	18.72	18.21	23.77	8.24	7.8			
6	6	42.69	27.26	26.76	36.81	21.38	20.88	29.31	13.77	13.34			
6	7	47.69	32.26	31.76	38.98	23.55	23.05	34.31	18.77	18.34			
7	7	-130.6	-125.86	-124.91	-130.6	-125.86	-124.91	-71.56	-66.83	-65.88			
8	8	-87.07	-83.91	-83.28	-87.07	-83.91	-83.28	-47.71	-44.55	-43.92			
9	9	-43.53	-41.95	-41.64	-43.53	-41.95	-41.64	-23.85	-22.28	-21.96			
10	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
11	11	43.53	41.95	41.64	43.53	41.95	41.64	23.85	22.28	21.96			
12	12	87.07	83.91	83.28	87.07	83.91	83.28	47.71	44.55	43.92			
12	13	130.6	125.86	124.91	130.6	125.86	124.91	71.56	66.83	65.88			
13	13	47.69	32.26	31.76	38.98	23.55	23.05	34.31	18.77	18.34			
14	14	42.69	27.26	26.76	36.81	21.38	20.88	29.31	13.77	13.34			
15	15	37.15	21.72	21.22	34.15	18.72	18.21	23.77	8.24	7.80			
16	16	31.08	15.65	15.45	31.00	15.57	15.07	17.69	2.16	1.72			
17	17	24.46	9.03	8.53	27.37	11.94	11.44	11.08	-4.45	-4.89			
18	18	17.31	1.88	1.38	23.26	7.83	7.33	3.93	-11.61	-12.04			
18	19	9.61	-5.81	-6.31	18.66	3.25	2.75	-3.76	-19.30	-19.73			
19	19	-3.10	60.67	61.63	-3.10	60.67	61.63	-3.10	60.67	61.63			
20	20	-2.07	40.45	41.08	-2.07	40.45	41.08	-2.07	40.45	41.08			
21	21	-1.03	20.23	20.54	-1.03	20.23	20.54	-1.03	20.23	20.54			
22	22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
23	23	1.03	-20.23	-20.54	1.03	-20.23	-20.54	1.03	-20.23	-20.54			
24	24	2.07	-40.45	-41.08	2.07	-40.45	-41.08	2.07	-40.45	-41.08			
24	1	3.10	-60.67	-61.63	3.10	-60.67	-61.63	3.10	-60.67	-61.63			

3.2.1.4. Normal Kuvveti

Dikdörtgen kesitli menfez'in betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere bağlı olarak elde edilen normal kuvvet değerleri tablo 3.5 ve tablo 3.6'da verilmiştir. Analizlerde betonarme için maksimum normal kuvvet değeri -211.82 kN'dur. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için -198.78 kN ve karbon lifli polimer malzeme için -196.18 kN olarak tespit edilmiştir. Lifli polimer malzemelerin betonarmeye oranla daha hafif olması nedeni ile normal kuvvet değerlerinin betonarme için yüksek olması normaldir.



Tablo 3.5. Dikdörtgen kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3'e göre elde edilen normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 1				Kombinasyon 2				Kombinasyon 3			
		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)
1	1	-211.82	-198.78	-196.18	-211.82	-198.78	-196.18	-211.82	-198.78	-196.18	-70.29	-60.91	-59.03
2	2	-209.87	-198.02	-195.65	-209.87	-198.02	-195.65	-209.87	-198.02	-195.65	-68.89	-60.36	-58.65
3	3	-207.91	-197.25	-195.12	-207.91	-197.25	-195.12	-207.91	-197.25	-195.12	-67.48	-59.81	-58.27
4	4	-205.96	-196.48	-194.58	-205.96	-196.48	-194.58	-205.96	-196.48	-194.58	-66.08	-59.25	-57.89
5	5	-204.01	-195.72	-194.05	-204.01	-195.72	-194.05	-204.01	-195.72	-194.05	-64.67	-58.70	-57.50
6	6	-202.05	-194.95	-193.52	-202.05	-194.95	-193.52	-202.05	-194.95	-193.52	-63.26	-58.15	-57.12
6	7	-200.11	-194.17	-192.99	-200.11	-194.17	-192.99	-200.11	-194.17	-192.99	-61.89	-57.59	-56.74
7	7	-71.43	-52.19	-51.54	-52.04	-32.81	-32.15	-52.04	-32.81	-32.15	-42.09	-28.10	-27.71
8	8	-71.43	-52.19	-51.54	-52.04	-32.81	-32.15	-52.04	-32.81	-32.15	-42.09	-28.10	-27.71
9	9	-71.43	-52.19	-51.54	-52.04	-32.81	-32.15	-52.04	-32.81	-32.15	-42.09	-28.10	-27.71
10	10	-71.43	-52.19	-51.54	-52.04	-32.81	-32.15	-52.04	-32.81	-32.15	-42.09	-28.10	-27.71
11	11	-71.43	-52.19	-51.54	-52.04	-32.81	-32.15	-52.04	-32.81	-32.15	-42.09	-28.10	-27.71
12	12	-71.43	-52.19	-51.54	-52.04	-32.81	-32.15	-52.04	-32.81	-32.15	-42.09	-28.10	-27.71
12	13	-71.43	-52.19	-51.54	-52.04	-32.81	-32.15	-52.04	-32.81	-32.15	-42.09	-28.10	-27.71
13	13	-71.43	-52.19	-51.54	-52.04	-32.81	-32.15	-52.04	-32.81	-32.15	-42.09	-28.10	-27.71
14	14	-200.11	-194.17	-192.99	-200.11	-194.17	-192.99	-200.11	-194.17	-192.99	-61.89	-57.59	-56.74
15	15	-202.05	-194.95	-193.52	-202.05	-194.95	-193.52	-202.05	-194.95	-193.52	-63.26	-58.15	-57.12
16	16	-204.01	-195.72	-194.05	-204.01	-195.72	-194.05	-204.01	-195.72	-194.05	-64.67	-58.70	-57.50
17	17	-205.96	-196.48	-194.58	-205.96	-196.48	-194.58	-205.96	-196.48	-194.58	-66.08	-59.25	-57.89
18	18	-207.91	-197.25	-195.12	-207.91	-197.25	-195.12	-207.91	-197.25	-195.12	-67.48	-59.81	-58.27
18	19	-209.87	-198.02	-195.65	-209.87	-198.02	-195.65	-209.87	-198.02	-195.65	-68.89	-60.36	-58.65
19	19	-211.82	-198.78	-196.18	-211.82	-198.78	-196.18	-211.82	-198.78	-196.18	-70.29	-60.91	-59.03
20	20	13.16	-6.08	-6.74	34.56	15.33	14.67	34.56	15.33	14.67	-16.19	-30.17	-30.57
21	21	13.16	-6.08	-6.74	34.56	15.33	14.67	34.56	15.33	14.67	-16.19	-30.17	-30.57
22	22	13.16	-6.08	-6.74	34.56	15.33	14.67	34.56	15.33	14.67	-16.19	-30.17	-30.57
23	23	13.16	-6.08	-6.74	34.56	15.33	14.67	34.56	15.33	14.67	-16.19	-30.17	-30.57
24	24	13.16	-6.08	-6.74	34.56	15.33	14.67	34.56	15.33	14.67	-16.19	-30.17	-30.57
24	1	13.16	-6.08	-6.74	34.56	15.33	14.67	34.56	15.33	14.67	-16.19	-30.17	-30.57

Tablo 3.6. Dikdörtgen kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 4, kombinasyon 5 ve kombinasyon 6'ya göre elde edilen normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 4				Kombinasyon 5				Kombinasyon 6			
		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer(kN)	Karbon Lifli Polimer(kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer(kN)	Karbon Lifli Polimer(kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer(kN)	Karbon Lifli Polimer(kN)	
1	1	-139.98	-129.55	-127.46		-139.98	-129.55	-127.46		-80.94	-70.52	-68.42	
2	2	-138.41	-128.94	-127.04		-138.41	-128.94	-127.04		-79.37	-69.90	-68.00	
3	3	-136.85	-128.32	-126.61		-136.85	-128.32	-126.61		-77.81	-69.29	-67.58	
4	4	-135.29	-127.71	-126.19		-135.29	-127.71	-126.19		-76.25	-68.67	-67.15	
5	5	-133.73	-127.09	-125.76		-133.73	-127.09	-125.76		-74.69	-68.06	-66.73	
6	6	-132.16	-126.48	-125.34		-132.16	-126.48	-125.34		-73.12	-67.44	-66.30	
6	7	-130.58	-125.85	-124.91		-130.58	-125.85	-124.91		-71.54	-66.82	-65.86	
7	7	-47.69	-32.26	-31.76		-38.98	-23.55	-23.05		-34.31	-18.77	-18.34	
8	8	-47.69	-32.26	-31.76		-38.98	-23.55	-23.05		-34.31	-18.77	-18.34	
9	9	-47.69	-32.26	-31.76		-38.98	-23.55	-23.05		-34.31	-18.77	-18.34	
10	10	-47.69	-32.26	-31.76		-38.98	-23.55	-23.05		-34.31	-18.77	-18.34	
11	11	-47.69	-32.26	-31.76		-38.98	-23.55	-23.05		-34.31	-18.77	-18.34	
12	12	-47.69	-32.26	-31.76		-38.98	-23.55	-23.05		-34.31	-18.77	-18.34	
12	13	-47.69	-32.26	-31.76		-38.98	-23.55	-23.05		-34.31	-18.77	-18.34	
13	13	-130.58	-125.85	-124.91		-130.58	-125.85	-124.91		-71.54	-66.82	-65.86	
14	14	-132.16	-126.48	-125.34		-132.16	-126.48	-125.34		-73.12	-67.44	-66.30	
15	15	-133.73	-127.09	-125.76		-133.73	-127.09	-125.76		-74.69	-68.06	-66.73	
16	16	-135.29	-127.71	-126.19		-135.29	-127.71	-126.19		-76.25	-68.67	-67.15	
17	17	-136.85	-128.32	-126.61		-136.85	-128.32	-126.61		-77.81	-69.29	-67.58	
18	18	-138.41	-128.94	-127.04		-138.41	-128.94	-127.04		-79.37	-69.90	-68.00	
18	19	-139.98	-129.55	-127.46		-139.98	-129.55	-127.46		-80.94	-70.52	-68.42	
19	19	9.62	-5.81	-6.31		18.66	3.23	2.73		-3.76	-19.30	-19.73	
20	20	9.62	-5.81	-6.31		18.66	3.23	2.73		-3.76	-19.30	-19.73	
21	21	9.62	-5.81	-6.31		18.66	3.23	2.73		-3.76	-19.30	-19.73	
22	22	9.62	-5.81	-6.31		18.66	3.23	2.73		-3.76	-19.30	-19.73	
23	23	9.62	-5.81	-6.31		18.66	3.23	2.73		-3.76	-19.30	-19.73	
24	24	9.62	-5.81	-6.31		18.66	3.23	2.73		-3.76	-19.30	-19.73	
24	1	9.62	-5.81	-6.31		18.66	3.23	2.73		-3.76	-19.30	-19.73	

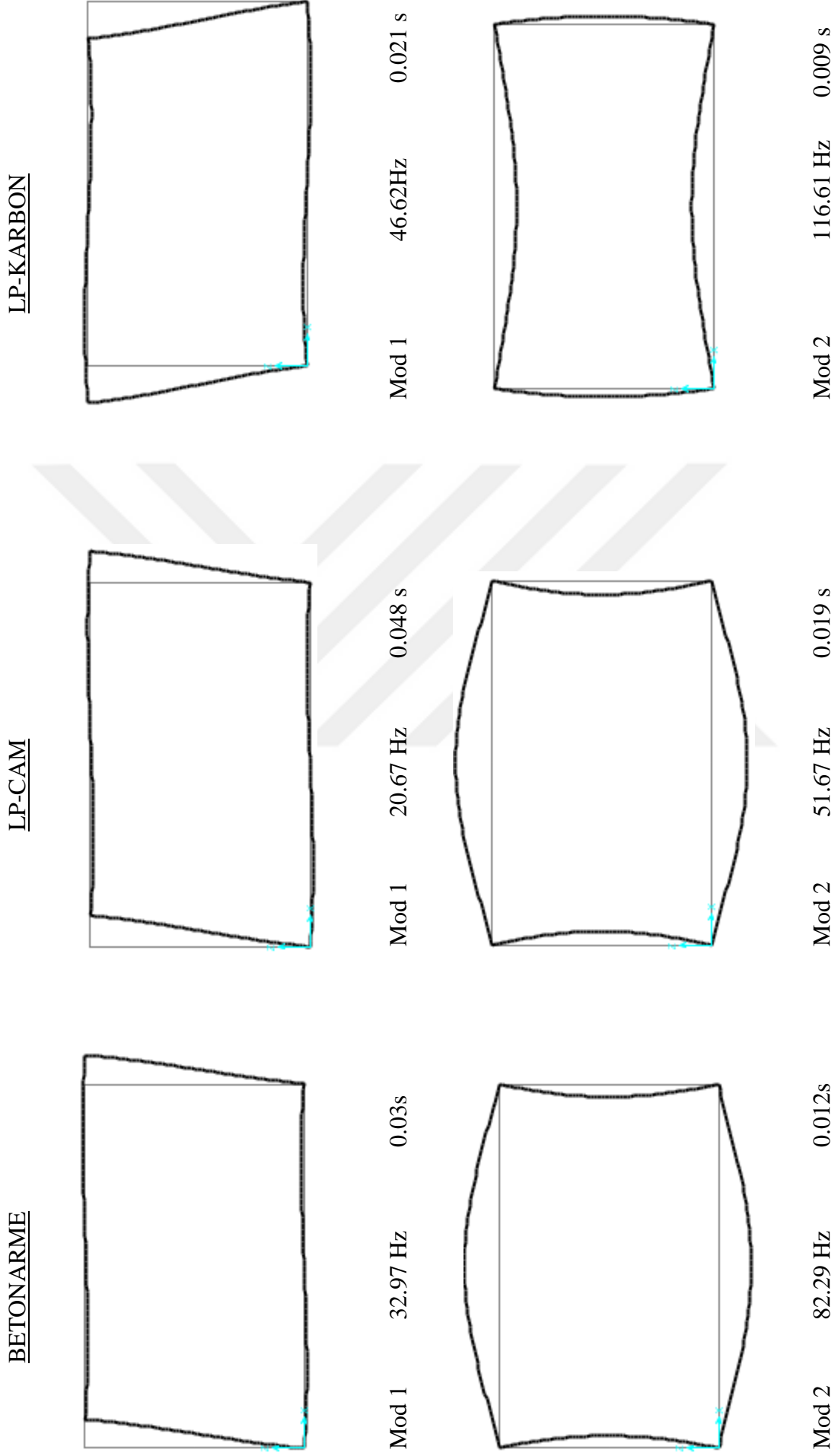
3.2.2. Modal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan hesaplarda dikdörtgen kesitli menfezin analizlerinde 10 mod dikkate alınmıştır. Analizler sonucunda elde edilen 10 moda ait frekans ve periyot değerleri tablo 3.7’de verilmektedir. Modal analizlerden farklı mod frekanslarına rağmen, benzer mod şekilleri elde edilmiştir. Lifli polimer malzeme için elde edilen mod şekilleri, betonarme için elde edilen mod şekilleri ile benzer özellik göstermektedir

Karbon lifli polimer malzemeye bağlı olarak elde edilen frekans aralık değerlerinin, betonarme için elde edilen frekans aralık değerlerinden büyük olduğu Tablo 3.7’ de görülmektedir. Betonarme malzeme için hesaplanan frekans aralık değerleri “32.97 Hz” ile “515.67Hz” aralığında değişmektedir. Cam lifli polimer malzeme için elde edilen frekans değerleri “20.67 Hz” ile “418.64 Hz” aralığındadır. Karbon lifli polimer malzeme için, frekans değerleri “46.62Hz” ile “912.33Hz” arasında değişmektedir. Verilerden görüleceği üzere, betonarme malzeme için hesap edilen frekans değer aralığı, karbon lifli polimer malzeme değer aralığına göre daha küçük çıkmıştır.

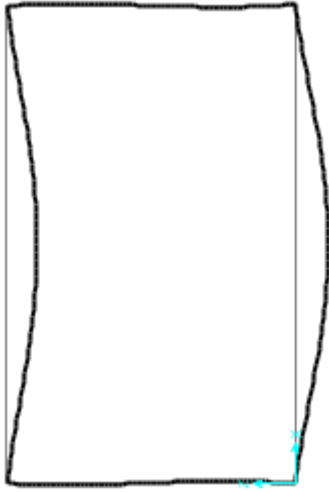
Tablo 3.7. Dikdörtgen kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon Lifli polimer malzemeye göre frekans ve periyot değerleri

Mod No	Betonarme		Cam Lifli Polimer		Karbon Lifli Polimer	
	Periyod (saniye)	Frekans (Hz)	Periyod (saniye)	Frekans (Hz)	Periyod (saniye)	Frekans (Hz)
Mod 1	0.03	32.97	0.048	20.67	0.021	46.62
Mod 2	0.012	82.29	0.019	51.67	0.009	116.61
Mod 3	0.010	101.57	0.016	64.45	0.007	144.20
Mod 4	0.005	205.54	0.008	132.65	0.003	297.21
Mod 5	0.004	233.88	0.006	159.42	0.003	352.26
Mod 6	0.004	273.73	0.006	177.53	0.003	393.01
Mod 7	0.003	305.83	0.005	218.69	0.002	477.53
Mod 8	0.003	365.46	0.003	325.47	0.001	711.85
Mod 9	0.002	437.90	0.003	348.27	0.001	753.79
Mod 10	0.002	515.67	0.002	418.64	0.001	912.33

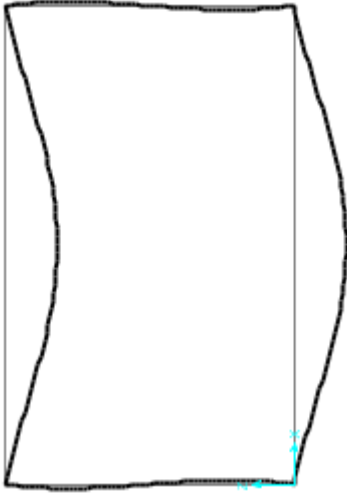


Şekil 3.2. Dikdörtgen kesitli menfez betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere bağlı mod şekilleri

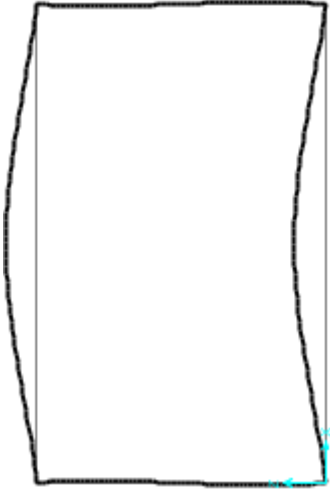
Şekil 3.2'nin devamı



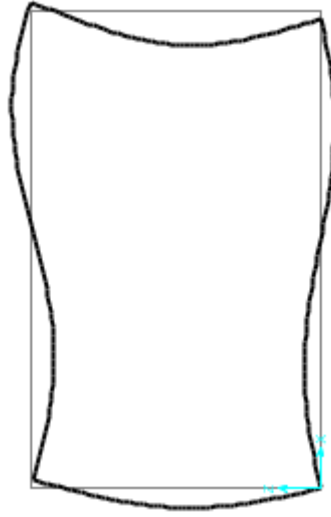
Mod 3 101.57 Hz 0.010s



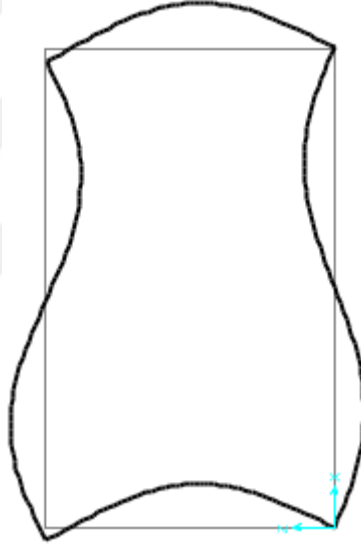
Mod 3 64.45 Hz 0.016 s



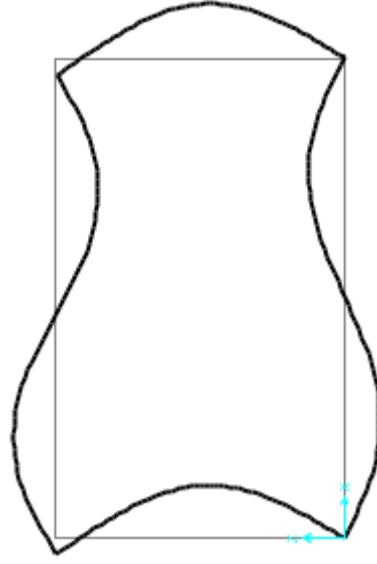
Mod 3 144.20 Hz 0.007 s



Mod 4 205.54 Hz 0.005s

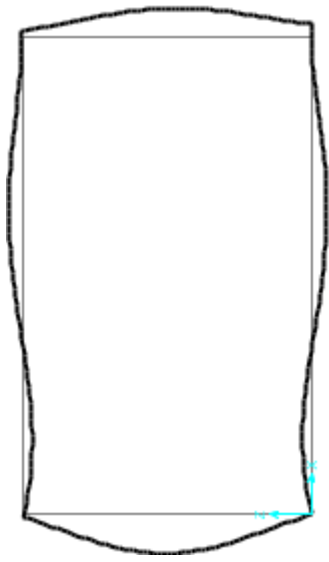


Mod 4 132.65 Hz 0.008 s

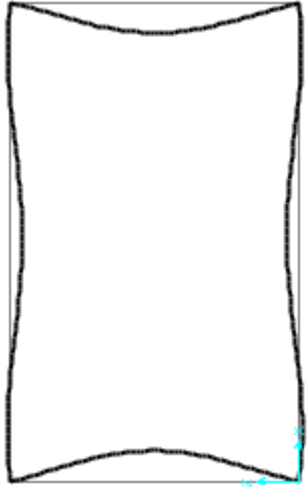


Mod 4 297.21 Hz 0.003 s

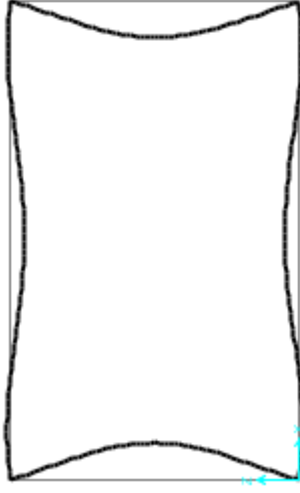
Şekil 3.2'nin devamı



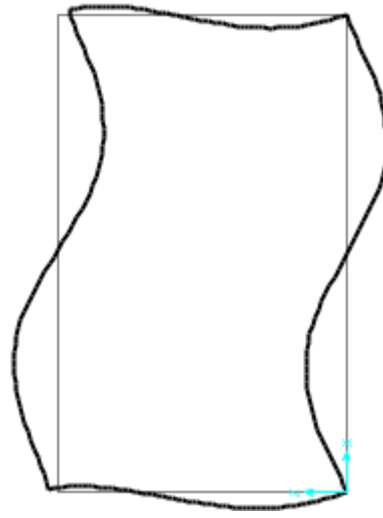
Mod 5 233.88 Hz 0.004s



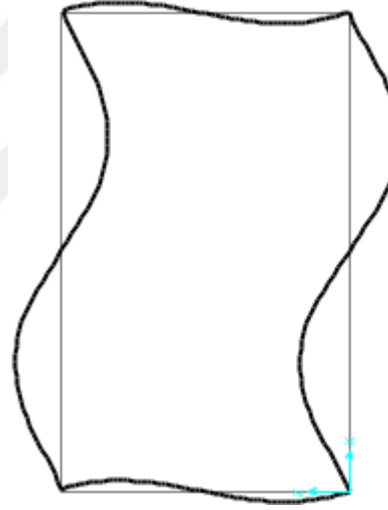
Mod 5 159.42 Hz 0.006 s



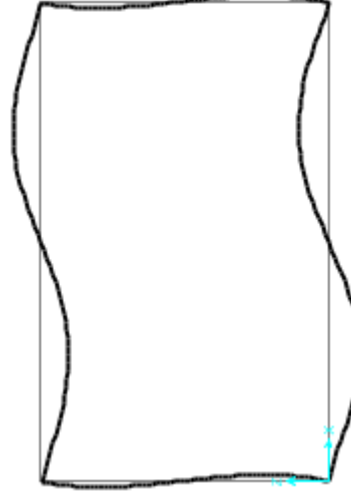
Mod 5 352.26 Hz 0.003 s



Mod 6 273.73 Hz 0.004s

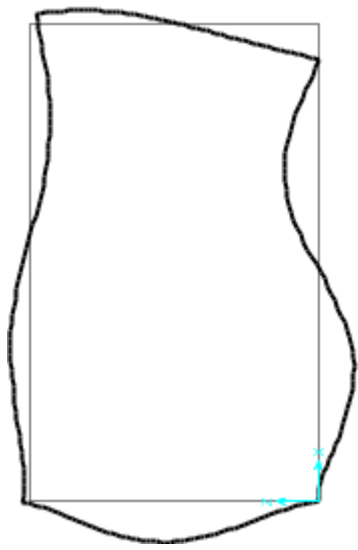


Mod 6 177.53 Hz 0.006 s

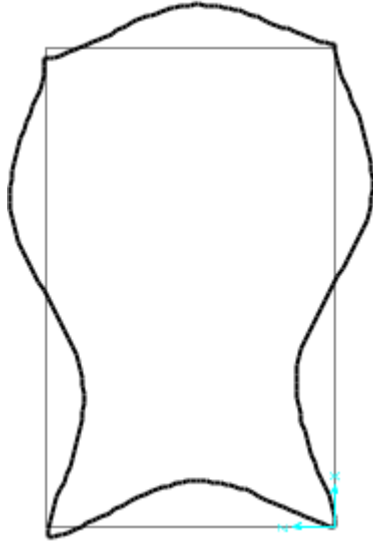


Mod 6 393.01 Hz 0.003 s

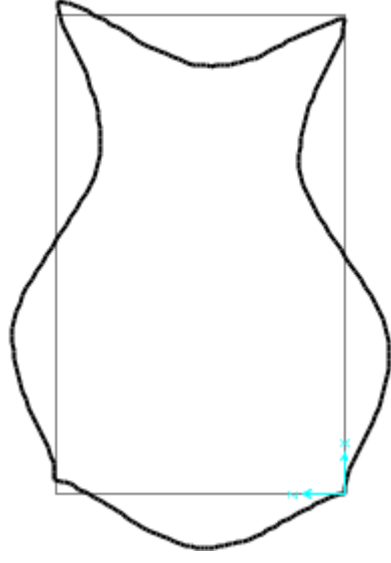
Şekil 3.2'nin devamı



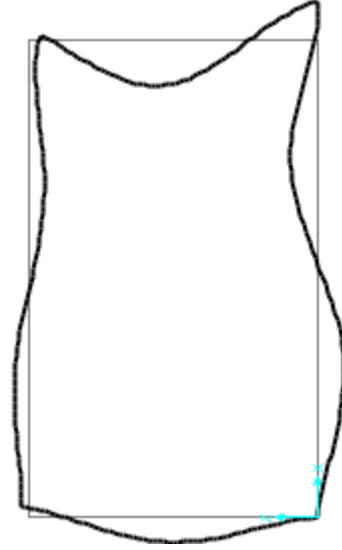
Mod 7 305.83 Hz 0.003s



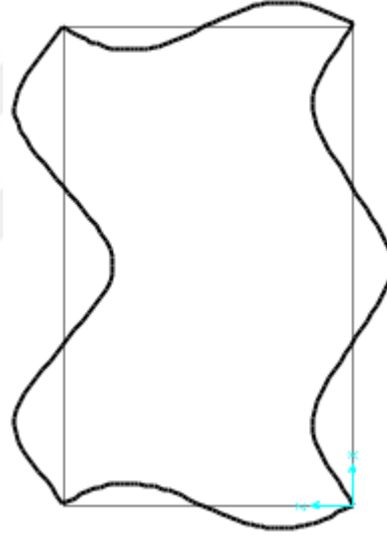
Mod 7 218.69 Hz 0.005 s



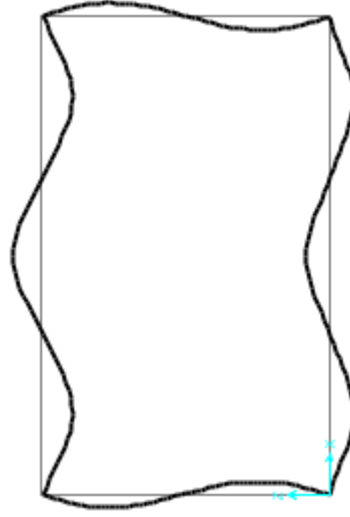
Mod 7 477.53 Hz 0.002 s



Mod 8 365.46 Hz 0.003 s

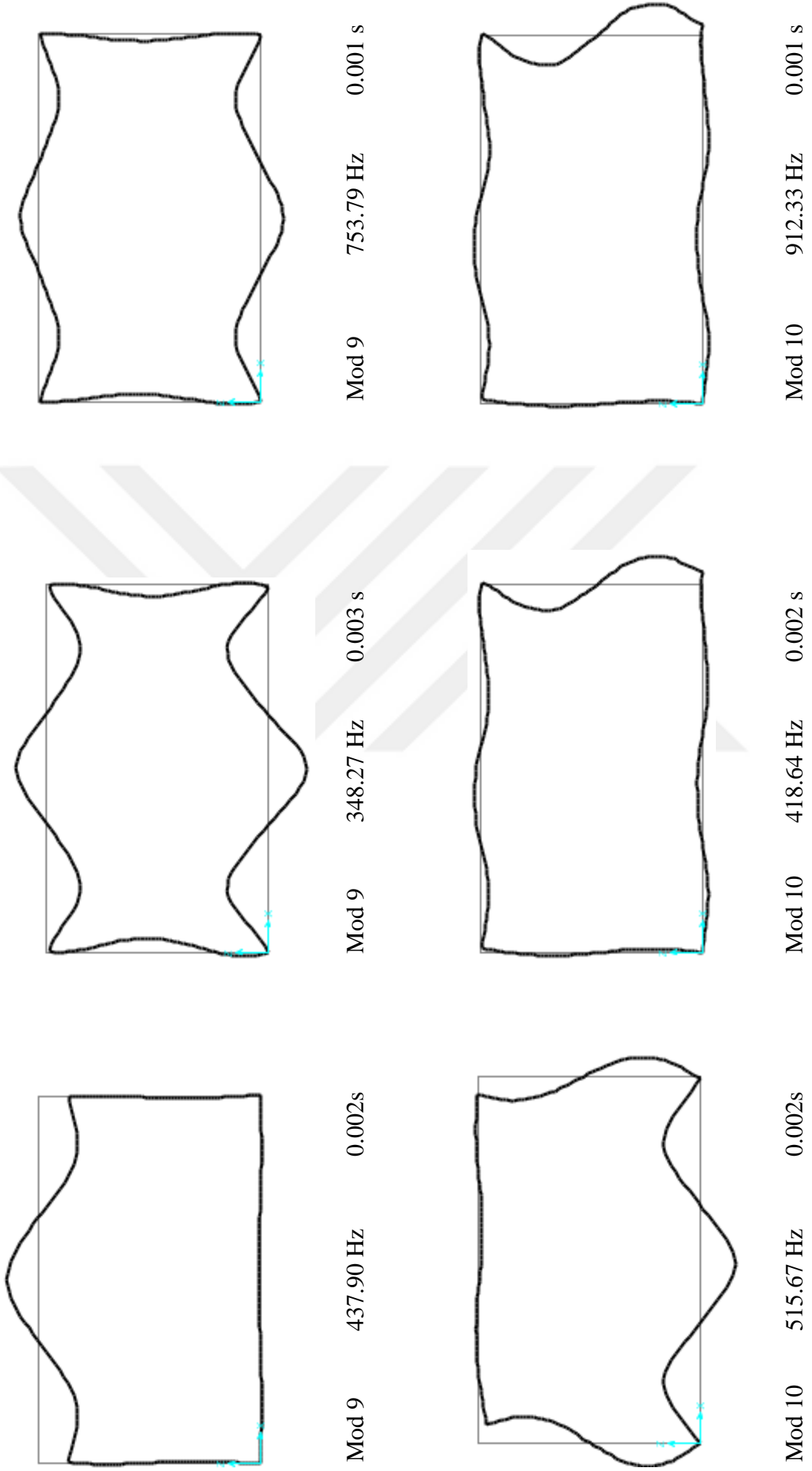


Mod 8 325.47 Hz 0.003 s



Mod 8 711.85 Hz 0.001 s

Şekil 3.2'nin devamı



3.2.3. Dikdörtgen Kesitli Betonarme Menfezin Donatı Hesabı

Beton hesap basınç dayanımı, (f_{cd}) aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$f_{ck} = 25$ MPa (C25 betonu için karakteristik basınç dayanımı)

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1.5} = \frac{25}{1.5} = 16.67 \text{ MPa}$$

Beton hesap çekme dayanımı, (f_{ctd}) aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$f_{ctk} = 1.75$ MPa (C25 betonu için karakteristik çekme dayanımı)

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{1.15} = \frac{1.75}{1.15} = 1.167 \text{ MPa}$$

Donatı çeliği hesap akma dayanımı, (f_{yd} , f_{ywd}) aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$f_{yk} = 220$ MPa (S220a çelik karakteristik akma dayanımı)

$f_{yk} = 420$ MPa (S420a çelik karakteristik akma dayanımı)

$$f_{yk} = \frac{f_{ck}}{1.5} = \frac{25}{1.5} = 16.67 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = \frac{420}{1.15} = 365 \text{ MPa}$$

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = \frac{220}{1.15} = 191 \text{ MPa}$$

En büyük eğilme momenti değeri $M_d = 62.63 * 10^6$ Nmm bulunur. (Tablo 3.1)

Basınç bloğu derinliği (a) aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$d = \text{kesit kalınlığı} - \text{pas payı} = 1000 - 50 = 950$ mm

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * M_d}{0.85 * f_{cd} * b_w}} = 950 - \sqrt{950^2 - \frac{2 * 62.63 * 10^6}{0.85 * 16.67 * 250}} = 18.80 \text{ mm}$$

Donatı alanı A_s aşağıdaki förmül yardımıyla bulunur.

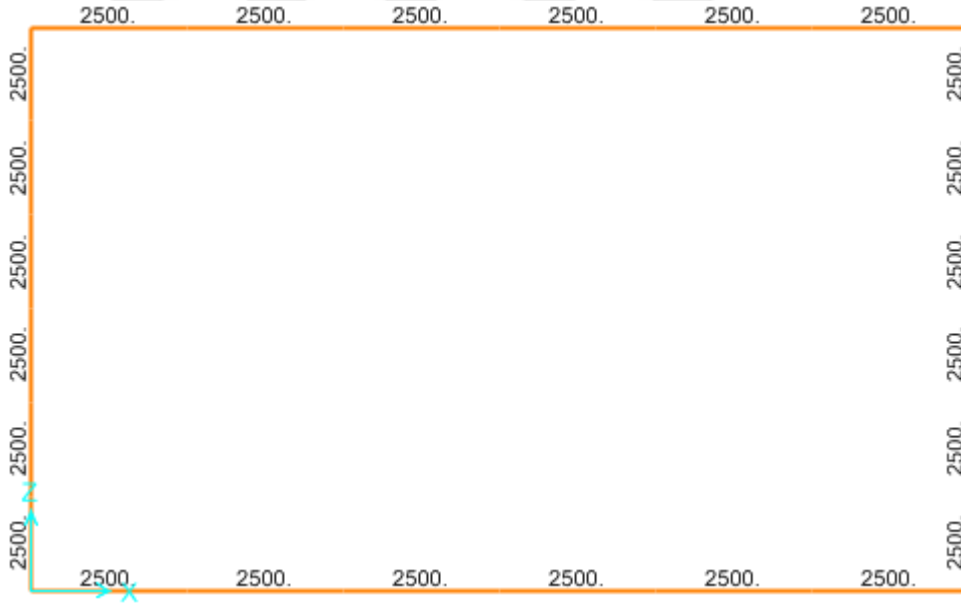
$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} * (d - \frac{a}{2})} = \frac{62.63 * 10^6}{365 * (950 - \frac{18.80}{2})} = 182 \text{ mm}^2 = 201 \text{ mm}^2 (1\emptyset 16)$$

$$\rho = \frac{A_s}{d * b_w} = \frac{201}{950 * 250} = 0.0008$$

$\rho \leq \rho_{min}$ olduğundan hesaplarımızda ρ_{min} değerini kullanacağız.

$$A_s = A_{st} * \rho_{min} = 1000 * 250 * 0.01 = 2500 \text{ mm}^2 \rightarrow 8\emptyset 20 (2512 \text{ mm}^2)$$

En büyük moment değerimiz olmak üzere tüm noktalarda minimum donatı alanı hesaplanmıştır. Sap2000'den aldığımız şekil 3.3'den görüleceği üzere tüm noktalarda minimum donatı alanı çıkmıştır.



Şekil 3.3. Dikdörtgen kesitli menfezin SAP2000 boyuna donatı alanları

Kesme kuvvetlerine göre kayma donatısı hesabı yapılacaktır. İki kollu etriye alanı A_{sw} seçilir ve etriye aralığı hesaplanır. Her bir açıklık için elde edilen en büyük kesme kuvveti V_d dikkate alınarak açıklığa yerleştirilecek etriye aralığı (S) belirlenir.

$$V_{max} > V_d$$

$$V_{max} = 0.22 * f_{cd} * b_w * d = 0.22 * 16.67 * 250 * 950 = 871 \text{ N} > 200.1 \text{ N}$$

$$V_{cr} = 0.65 * f_{ctd} * b_w * d = 0.65 * 1.167 * 250 * 950 = 180.15 \text{ N}$$

$$V_c = 0.8 * V_{cr} = 0.8 * 180.15 = 144.12 \text{ N}$$

$V_{cr} < V_d < V_{max}$ olduğundan

$$\frac{A_{sw}}{S} = \frac{(V_d - V_c)}{f_{ywd} * d} = \frac{(200.1 - 144.12)}{191 * 950} = 0.308 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$\emptyset 10 \text{ iki kollu etriye için } A_{sw} = 2 * 79 \text{ mm} = 158 \text{ mm}$$

$$\frac{A_{sw}}{S} = 0.308 \rightarrow S = \frac{158}{0.308} = 513 \text{ mm}$$

$$S = \begin{cases} \frac{1000}{2} = 500 \\ 200 \text{ mm} \end{cases} \rightarrow \text{Açıklıkta } 200 \text{ mm}$$

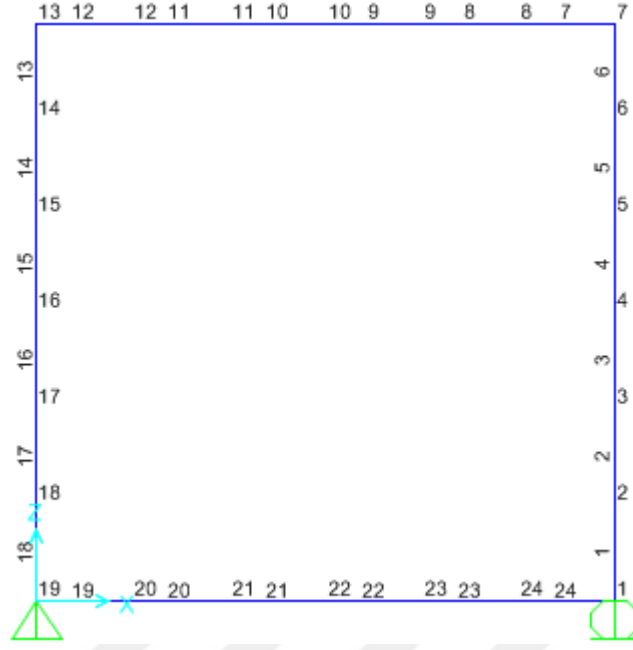
$$S = \begin{cases} \frac{1000}{4} = 250 \\ 100 \text{ mm} \end{cases} \rightarrow \text{Sarılma } 100 \text{ mm}$$

Kesme kuvvetine göre kayma donatısı sarılma bölgelerinde $\emptyset 10/10$,açıklıkta $\emptyset 10/20$ olarak hesaplanmıştır.

3.3.Kare Kutu Menfez İçin Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

3.3.1. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölüm de kare kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre modelin sap2000'den çıkan sonuçları grafiklerle sunulmuştur. Şekil 3.4'de yapının SAP2000'de oluşturulmuş modellenmesi görülmektedir.



Şekil 3.4. Kare kesitli menfezin sap2000 modellemesi

3.3.1.1. Yerdeğiştirme

3.3.1.1.1. Düşey Yerdeğiştirme

Kare kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçları elde edilmiştir. Analizler sonucunda betonarme için en büyük düşey yerdeğiştirme değeri 0.15 mm'dir. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için 0.84 mm ve karbon lifli polimer malzeme için 0.24 mm olarak tespit edilmiştir. En düşük düşey yerdeğiştirme değeri betonarme malzemede elde edilmiştir.

3.3.1.1.2. Yatay Yerdeğiştirme

Kare kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçları elde edilmiştir. Analizler sonucunda betonarme için en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.04 mm'dir. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için 0.30 mm ve karbon lifli polimer malzeme için 0.08 mm olarak tespit edilmiştir. En düşük yatay yerdeğiştirme değeri betonarme malzemede elde edilmiştir.

3.3.1.2.Eğilme momenti

Kare kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçlarında üst tabliye orta bölgesinde, maksimum eğilme momenti değerleri elde edilmiştir. Bu çalışmada, düşey yerdeğiştirme değerlerinin de bu bölgede maksimum olması nedeni ile moment değerlerinin tabliye orta bölgesinde oluşması normaldir. LP malzemelerin, eğilme momenti değerlerini daha iyi görmek amacıyla, elde edilen cam lifli polimer malzeme sonuçları ve karbon lifli polimer sonuçları, betonarme malzemenin kullanıldığı analiz sonuçları ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere bağlı olarak elde edilen eğilme momenti değerleri tablo 3.8 ve tablo 3.9’da verilmiştir. Analizlerde betonarme için maksimum eğilme momenti değeri 21.98 kNm’dir. Bu değer, cam lifli polimer için 21.25 kNm ve karbon lifli polimer için 21.16 kNm olarak tespit edilmiştir. Tablodan görüleceği üzere değerler birbirine yakın çıkmıştır. Lifli polimer malzemenin rijitliği, betonarmeye oranla daha yüksektir. Dolayısı ile betonarme için eğilme momenti değeri, cam ve karbon lifli polimer malzemeye göre daha fazladır.

Tablo 3.8. Kare kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3'e göre elde edilen eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 1				Kombinasyon 2				Kombinasyon 3			
		Betonarme (kNm)	Cam Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)		Betonarme (kNm)	Cam Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)		Betonarme (kNm)	Cam Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)	
1	1	-4.95	-5.57	-5.74	-2.37	-2.98	-3.15	-5.52	-6.00	-6.09			
2	2	-0.79	-1.20	-1.32	-2.61	-3.01	-3.13	0.62	0.31	0.24			
3	3	0.57	0.36	0.31	-3.78	-3.98	-4.04	3.97	3.81	3.78			
4	4	-0.69	-0.69	-0.69	-5.78	-5.78	-5.78	4.70	4.70	4.70			
5	5	-4.37	-4.16	-4.10	-8.52	-8.31	-8.26	3.01	3.17	3.20			
6	6	-10.29	-9.88	-9.77	-11.87	-11.47	-11.35	-0.93	-0.61	-0.55			
6	7	-18.27	-17.66	-17.48	-15.75	-15.14	-14.97	-6.92	-6.45	-6.35			
7	7	-18.27	-17.66	-17.48	-15.75	-15.14	-14.97	-6.92	-6.45	-6.35			
8	8	2.69	2.56	2.59	5.21	5.08	5.10	-1.74	-1.80	-1.81			
9	9	15.27	14.69	14.63	17.78	17.21	17.14	1.36	0.99	0.91			
10	10	19.46	18.74	18.64	21.98	21.25	21.16	2.4	1.92	1.82			
11	11	15.27	14.69	14.63	17.78	17.21	17.14	1.36	0.99	0.91			
12	12	2.69	2.56	2.59	5.21	5.08	5.10	-1.74	-1.80	-1.81			
12	13	-18.27	-17.66	-17.48	-15.75	-15.14	-14.97	-6.92	-6.45	-6.35			
13	13	18.27	17.66	17.48	15.75	15.14	14.97	6.92	6.45	6.35			
14	14	10.29	9.88	9.77	11.87	11.47	11.35	0.93	0.61	0.55			
15	15	4.37	4.16	4.10	8.52	8.31	8.26	-3.01	-3.17	-3.20			
16	16	0.69	0.69	0.69	5.78	5.78	5.78	-4.70	-4.70	-4.70			
17	17	-0.57	-0.36	-0.31	3.78	3.98	4.04	-3.97	-3.81	-3.78			
18	18	0.79	1.20	1.32	2.61	3.01	3.13	-0.62	-0.31	-0.24			
18	19	4.95	5.57	5.74	2.37	2.98	3.15	5.52	6.00	6.09			
19	19	4.95	5.57	5.74	2.37	2.98	3.15	5.52	6.00	6.09			
20	20	-0.65	-0.78	-0.75	-3.23	-3.36	-3.34	2.10	2.04	2.03			
21	21	-4.01	-4.59	-4.65	-6.59	-7.17	-7.24	0.05	-0.33	-0.41			
22	22	-5.13	-5.85	-5.95	-7.72	-8.44	-8.53	-0.64	-1.12	-1.22			
23	23	-4.01	-4.59	-4.65	-6.59	-7.17	-7.24	0.05	-0.33	-0.41			
24	24	-0.65	-0.78	-0.75	-3.23	-3.36	-3.34	2.10	2.04	2.03			
24	1	4.95	5.57	5.74	2.37	2.98	3.15	5.52	6.00	6.09			

Tablo 3.9. Kare kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 4, kombinasyon 5 ve kombinasyon 6'ya göre elde edilen eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 4				Kombinasyon 5				Kombinasyon 6			
		Betonarme (kNm)	Cam Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)		Betonarme (kNm)	Cam Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)		Betonarme (kNm)	Cam Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)	
1	1	-3.55	-4.05	-4.18	-2.44	-2.94	-3.07		-4.57	-5.10	-5.20		
2	2	-0.71	-1.04	-1.13	-1.46	-1.80	-1.89		-0.65	-1.00	-1.07		
3	3	0.28	0.11	0.07	-1.59	-1.75	-1.79		1.41	1.24	1.20		
4	4	-0.46	-0.46	-0.46	-2.67	-2.67	-2.67		1.76	1.73	1.76		
5	5	-2.77	-2.61	-2.56	-4.61	-4.44	-4.40		0.52	0.69	0.73		
6	6	-6.54	-6.21	-6.13	-7.26	-6.93	-6.85		-2.17	-1.83	-1.75		
6	7	-11.63	-11.13	-11.00	-10.53	-10.03	-9.90		-6.18	-5.66	-5.55		
7	7	-11.63	-11.13	-11.00	-10.53	-10.03	-9.90		-6.18	-5.66	-5.55		
8	8	1.72	1.63	1.64	2.83	2.73	2.74		-0.21	-0.28	-0.29		
9	9	9.74	9.29	9.23	10.84	10.39	10.33		3.38	2.95	2.87		
10	10	12.41	11.84	11.76	13.51	12.95	12.86		4.57	4.03	3.92		
11	11	9.74	9.29	9.23	10.84	10.39	10.33		3.38	2.95	2.87		
12	12	1.72	1.63	1.64	2.83	2.73	2.74		-0.21	-0.28	-0.29		
12	13	-11.63	-11.13	-11.00	-10.53	-10.03	-9.90		-6.18	-5.66	-5.55		
13	13	11.63	11.13	11.00	10.53	10.03	9.90		6.18	5.66	5.55		
14	14	6.54	6.21	6.13	7.26	6.93	6.85		2.17	1.83	1.75		
15	15	2.77	2.61	2.56	4.61	4.44	4.40		-0.52	-0.69	-0.73		
16	16	0.46	0.46	0.46	2.67	2.67	2.67		-1.76	-1.73	-1.76		
17	17	-0.28	-0.11	-0.07	1.59	1.75	1.79		-1.41	-1.24	-1.20		
18	18	0.71	1.04	1.13	1.46	1.80	1.89		0.65	1.00	1.07		
18	19	3.55	4.05	4.18	2.44	2.94	3.07		4.57	5.10	5.20		
19	19	3.55	4.05	4.18	2.44	2.94	3.07		4.57	5.10	5.20		
20	20	-0.47	-0.56	-0.55	-1.58	-1.68	-1.67		0.55	0.48	0.47		
21	21	-2.88	-3.33	-3.39	-4.00	-4.45	-4.51		-1.86	-2.29	-2.37		
22	22	-3.69	-4.25	-4.34	-4.80	-5.37	-5.45		-2.67	-3.21	-3.32		
23	23	-2.88	-3.33	-3.39	-4.00	-4.45	-4.51		-1.86	-2.29	-2.37		
24	24	-0.47	-0.56	-0.55	-1.58	-1.68	-1.67		0.55	0.48	0.47		
24	1	3.55	4.05	4.18	2.44	2.94	3.07		4.57	5.10	5.20		

3.3.1.3. Kesme Kuvveti

Kare kesitli menfez'in betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Betonarme, cam lifli polimer, karbon lifli polimere bağlı olarak elde edilen kesme kuvveti değerleri tablo 3.10 ve tablo 11'de verilmiştir. Tabliye orta noktalarında maksimum eğilme momenti tespit edilmiştir. Kesme kuvveti değeri de menfezin tabliye orta noktasında sıfırdır. Analizlerde betonarme için maksimum kesme kuvveti değeri 100.61 kN'dur. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için 97.06 kN ve karbon lifli polimer malzeme için 96.34 kN olarak tespit edilmiştir.



Tablo 3.10. Kare kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3'e göre elde edilen kesme kuvveti degerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 1				Kombinasyon 2				Kombinasyon 3			
		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	
1	1	-22.49	-23.31	-23.54	-1.07	-1.88	-2.11	-30.43	-31.07	-31.19			
2	2	-10.92	-11.74	-11.97	2.88	2.07	1.84	-18.86	-19.50	-19.62			
3	3	-0.09	-0.91	-1.14	6.42	5.61	5.38	-8.04	-8.67	-8.80			
4	4	9.99	9.18	8.95	9.54	8.73	8.50	2.05	1.42	1.29			
5	5	19.33	18.52	18.29	12.25	11.44	11.21	11.39	10.76	10.63			
6	6	27.93	27.11	26.88	14.54	13.73	13.50	19.99	19.35	19.23			
6	7	35.79	34.97	34.74	16.41	15.60	15.37	27.84	27.21	27.08			
7	7	-100.61	-97.06	-96.34	-100.61	-97.06	-96.34	-24.86	-22.30	-21.79			
8	8	-67.07	-64.70	-64.23	-67.07	-64.70	-64.23	-16.57	-14.87	-14.53			
9	9	-33.54	-32.35	-32.11	-33.54	-32.35	-32.11	-8.29	-7.43	-7.26			
10	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
11	11	33.54	32.35	32.11	33.54	32.35	32.11	8.29	7.43	7.26			
12	12	67.07	64.70	64.23	67.07	64.70	64.23	16.57	14.87	14.53			
12	13	100.61	97.06	96.34	100.61	97.06	96.34	24.86	22.30	21.79			
13	13	35.79	34.97	34.74	16.41	15.60	15.37	27.84	27.21	27.08			
14	14	27.93	27.11	26.88	14.54	13.73	13.50	19.99	19.35	19.23			
15	15	19.33	18.52	18.29	12.25	11.44	11.21	11.39	10.76	10.63			
16	16	9.99	9.18	8.95	9.54	8.73	8.50	2.05	1.42	1.29			
17	17	-0.09	-0.91	-1.14	6.42	5.61	5.38	-8.04	-8.67	-8.80			
18	18	-10.92	-11.74	-11.97	2.88	2.07	1.84	-18.86	-19.50	-19.62			
18	19	-22.49	-23.31	-23.54	-1.07	-1.88	-2.11	-30.43	-31.07	-31.19			
19	19	26.90	30.45	31.17	26.90	30.45	31.17	16.42	18.98	19.49			
20	20	17.93	20.30	20.78	17.93	20.30	20.78	10.95	12.65	13.00			
21	21	8.97	10.15	10.39	8.97	10.15	10.39	5.47	6.33	6.50			
22	22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
23	23	-8.97	-10.15	-10.39	-8.97	-10.15	-10.39	-5.47	-6.33	-6.50			
24	24	-17.93	-20.30	-20.78	-17.93	-20.30	-20.78	-10.95	-12.65	-13.00			
24	1	-26.90	-30.45	-31.17	-26.90	-30.45	-31.17	-16.42	-18.98	-19.49			

Tablo 3.11. Kare kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 4, kombinasyon 5 ve kombinasyon 6'ya göre elde edilen kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 4				Kombinasyon 5				Kombinasyon 6			
		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	
1	1	-15.26	-15.93	-16.10	-6.22	-6.89	-7.06	-19.58	-20.27	-20.42			
2	2	-7.57	-8.24	-8.41	-1.63	-2.29	-2.46	-11.89	-12.58	-12.73			
3	3	-0.42	-1.09	-1.26	2.49	1.82	1.65	-4.73	-5.43	-5.57			
4	4	6.19	5.53	5.35	6.12	5.45	5.28	1.88	1.18	1.04			
5	5	12.27	11.60	11.43	9.26	8.60	8.43	7.96	7.26	7.12			
6	6	17.81	17.14	16.97	11.92	11.26	11.09	13.49	12.80	12.65			
6	7	22.81	22.14	21.97	14.10	13.44	13.27	18.49	17.80	17.65			
7	7	-64.11	-61.27	-60.70	-64.11	-61.27	-60.70	-28.69	-25.85	-25.28			
8	8	-42.74	-40.85	-40.47	-42.74	-40.85	-40.47	-19.13	-17.23	-16.85			
9	9	-21.37	-20.42	-20.23	-21.37	-20.42	-20.23	-9.56	-8.62	-8.43			
10	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
11	11	21.37	20.42	20.23	21.37	20.42	20.23	9.56	8.62	8.43			
12	12	42.74	40.85	40.47	42.74	40.85	40.47	19.13	17.23	16.85			
12	13	64.11	61.27	60.70	64.11	61.27	60.70	28.69	25.85	25.28			
13	13	22.81	22.14	21.97	14.10	13.44	13.27	18.49	17.80	17.65			
14	14	17.81	17.14	16.97	11.92	11.26	11.09	13.49	12.80	12.65			
15	15	12.27	11.60	11.43	9.26	8.60	8.43	7.96	7.26	7.12			
16	16	6.19	5.53	5.35	6.12	5.45	5.28	1.88	1.18	1.04			
17	17	-0.42	-1.09	-1.26	2.49	1.82	1.65	-4.73	-5.43	-5.57			
18	18	-7.57	-8.24	-8.41	-1.63	-2.29	-2.46	-11.89	-12.58	-12.73			
18	19	-15.26	-15.93	-16.10	-6.22	-6.89	-7.06	-19.58	-20.27	-20.42			
19	19	19.31	22.16	22.72	19.31	22.16	22.72	19.31	22.16	22.73			
20	20	12.88	14.77	15.15	12.88	14.77	15.15	12.88	14.77	15.15			
21	21	6.44	7.38	7.58	6.44	7.38	7.58	6.44	7.38	7.58			
22	22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
23	23	-6.44	-7.38	-7.58	-6.44	-7.38	-7.58	-6.44	-7.38	-7.58			
24	24	-12.88	-14.77	-15.15	-12.88	-14.77	-15.15	-12.88	-14.77	-15.15			
24	1	-19.31	-22.16	-22.72	-19.31	-22.16	-22.72	-19.31	-22.16	-22.73			

3.3.1.4. Normal Kuvveti

Kare kesitli menfez'in betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere bağlı olarak elde edilen normal kuvvet değerleri tablo 3.12 ve tablo 3.13'te verilmiştir. Analizlerde betonarme için maksimum normal kuvvet değeri -112.33 kN'dur. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için -101.67 kN ve karbon lifli polimer malzeme için -99.53 kN olarak tespit edilmiştir. Lifli polimer malzemelerin betonarmeye oranla daha hafif olması nedeni ile normal kuvvet değerlerinin betonarme için yüksek olması normaldir.



Tablo 3.12. Kare kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3'e göre elde edilen normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 1				Kombinasyon 2				Kombinasyon 3			
		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	
1	1	-112.33	-101.67	-99.53		-112.33	-101.67	-99.53		-33.30	-25.62	-24.08	
2	2	-110.37	-100.90	-99.00		-110.37	-100.90	-99.00		-31.89	-25.07	-23.70	
3	3	-108.42	-100.13	-98.47		-108.42	-100.13	-98.47		-30.48	-24.51	-23.32	
4	4	-106.47	-99.36	-97.94		-106.47	-99.36	-97.94		-29.08	-23.96	-22.94	
5	5	-104.52	-98.59	-97.41		-104.52	-98.59	-97.41		-27.67	-23.41	-22.55	
6	6	-102.56	-97.82	-96.87		-102.56	-97.82	-96.87		-26.27	-22.85	-22.17	
6	7	-100.61	-97.06	-96.34		-100.61	-97.06	-96.34		-24.85	-22.30	-21.79	
7	7	-35.79	-34.97	-34.74		-16.41	-15.60	-15.37		-27.84	-27.21	-27.08	
8	8	-35.79	-34.97	-34.74		-16.41	-15.60	-15.37		-27.84	-27.21	-27.08	
9	9	-35.79	-34.97	-34.74		-16.41	-15.60	-15.37		-27.84	-27.21	-27.08	
10	10	-35.79	-34.97	-34.74		-16.41	-15.60	-15.37		-27.84	-27.21	-27.08	
11	11	-35.79	-34.97	-34.74		-16.41	-15.60	-15.37		-27.84	-27.21	-27.08	
12	12	-35.79	-34.97	-34.74		-16.41	-15.60	-15.37		-27.84	-27.21	-27.08	
12	13	-35.79	-34.97	-34.74		-16.41	-15.60	-15.37		-27.84	-27.21	-27.08	
13	13	-100.61	-97.06	-96.34		-100.61	-97.06	-96.34		-24.85	-22.30	-21.79	
14	14	-102.56	-97.82	-96.87		-102.56	-97.82	-96.87		-26.27	-22.85	-22.17	
15	15	-104.52	-98.59	-97.41		-104.52	-98.59	-97.41		-27.67	-23.41	-22.55	
16	16	-106.47	-99.36	-97.94		-106.47	-99.36	-97.94		-29.08	-23.96	-22.94	
17	17	-108.42	-100.13	-98.47		-108.42	-100.13	-98.47		-30.48	-24.51	-23.32	
18	18	-110.37	-100.90	-99.00		-110.37	-100.90	-99.00		-31.89	-25.07	-23.70	
18	19	-112.33	-101.67	-99.53		-112.33	-101.67	-99.53		-33.30	-25.62	-24.08	
19	19	-22.49	-23.31	-23.54		-1.07	-1.88	-2.11		-30.43	-31.07	-31.19	
20	20	-22.49	-23.31	-23.54		-1.07	-1.88	-2.11		-30.43	-31.07	-31.19	
21	21	-22.49	-23.31	-23.54		-1.07	-1.88	-2.11		-30.43	-31.07	-31.19	
22	22	-22.49	-23.31	-23.54		-1.07	-1.88	-2.11		-30.43	-31.07	-31.19	
23	23	-22.49	-23.31	-23.54		-1.07	-1.88	-2.11		-30.43	-31.07	-31.19	
24	24	-22.49	-23.31	-23.54		-1.07	-1.88	-2.11		-30.43	-31.07	-31.19	
24	1	-22.49	-23.31	-23.54		-1.07	-1.88	-2.11		-30.43	-31.07	-31.19	

Tablo 3.13. Kare kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 4, kombinasyon 5 ve kombinasyon 6'ya göre elde edilen normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 4				Kombinasyon 5				Kombinasyon 6			
		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	
1	1	-73.49	-64.96	-63.25		-73.49	-64.96	-63.25		-38.06	-29.54	-27.82	
2	2	-71.92	-64.34	-62.82		-71.92	-64.34	-62.82		-36.50	-28.92	-27.40	
3	3	-70.36	-63.73	-62.40		-70.36	-63.73	-62.40		-34.94	-28.31	-26.97	
4	4	-68.80	-63.11	-61.97		-68.80	-63.11	-61.97		-33.38	-27.69	-26.55	
5	5	-67.24	-62.50	-61.55		-67.24	-62.50	-61.55		-31.81	-27.08	-26.13	
6	6	-65.67	-61.88	-61.12		-65.67	-61.88	-61.12		-30.25	-26.46	-25.70	
6	7	-64.09	-61.27	-60.70		-64.09	-61.27	-60.70		-28.68	-25.84	-25.27	
7	7	-22.81	-22.14	-21.97		-14.10	-13.44	-13.27		-18.49	-17.80	-17.65	
8	8	-22.81	-22.14	-21.97		-14.10	-13.44	-13.27		-18.49	-17.80	-17.65	
9	9	-22.81	-22.14	-21.97		-14.10	-13.44	-13.27		-18.49	-17.80	-17.65	
10	10	-22.81	-22.14	-21.97		-14.10	-13.44	-13.27		-18.49	-17.80	-17.65	
11	11	-22.81	-22.14	-21.97		-14.10	-13.44	-13.27		-18.49	-17.80	-17.65	
12	12	-22.81	-22.14	-21.97		-14.10	-13.44	-13.27		-18.49	-17.80	-17.65	
12	13	-22.81	-22.14	-21.97		-14.10	-13.44	-13.27		-18.49	-25.84	-25.27	
13	13	-64.09	-61.27	-60.70		-64.09	-61.27	-60.70		-28.68	-26.46	-25.70	
14	14	-65.67	-61.88	-61.12		-65.67	-61.88	-61.12		-30.25	-27.08	-26.13	
15	15	-67.24	-62.50	-61.55		-67.24	-62.50	-61.55		-31.81	-27.69	-26.55	
16	16	-68.80	-63.11	-61.97		-68.80	-63.11	-61.97		-33.38	-28.31	-26.97	
17	17	-70.36	-63.73	-62.40		-70.36	-63.73	-62.40		-34.94	-28.92	-27.40	
18	18	-71.92	-64.34	-62.82		-71.92	-64.34	-62.82		-36.50	-29.54	-27.82	
18	19	-73.49	-64.96	-63.25		-73.49	-64.96	-63.25		-38.06	-20.27	-20.42	
19	19	-15.26	-15.93	-16.10		-6.22	-6.89	-7.06		-19.58	-20.27	-20.42	
20	20	-15.26	-15.93	-16.10		-6.22	-6.89	-7.06		-19.58	-20.27	-20.42	
21	21	-15.26	-15.93	-16.10		-6.22	-6.89	-7.06		-19.58	-20.27	-20.42	
22	22	-15.26	-15.93	-16.10		-6.22	-6.89	-7.06		-19.58	-20.27	-20.42	
23	23	-15.26	-15.93	-16.10		-6.22	-6.89	-7.06		-19.58	-20.27	-20.42	
24	24	-15.26	-15.93	-16.10		-6.22	-6.89	-7.06		-19.58	-20.27	-20.42	
24	1	-15.26	-15.93	-16.10		-6.22	-6.89	-7.06		-19.58	-20.27	-20.42	

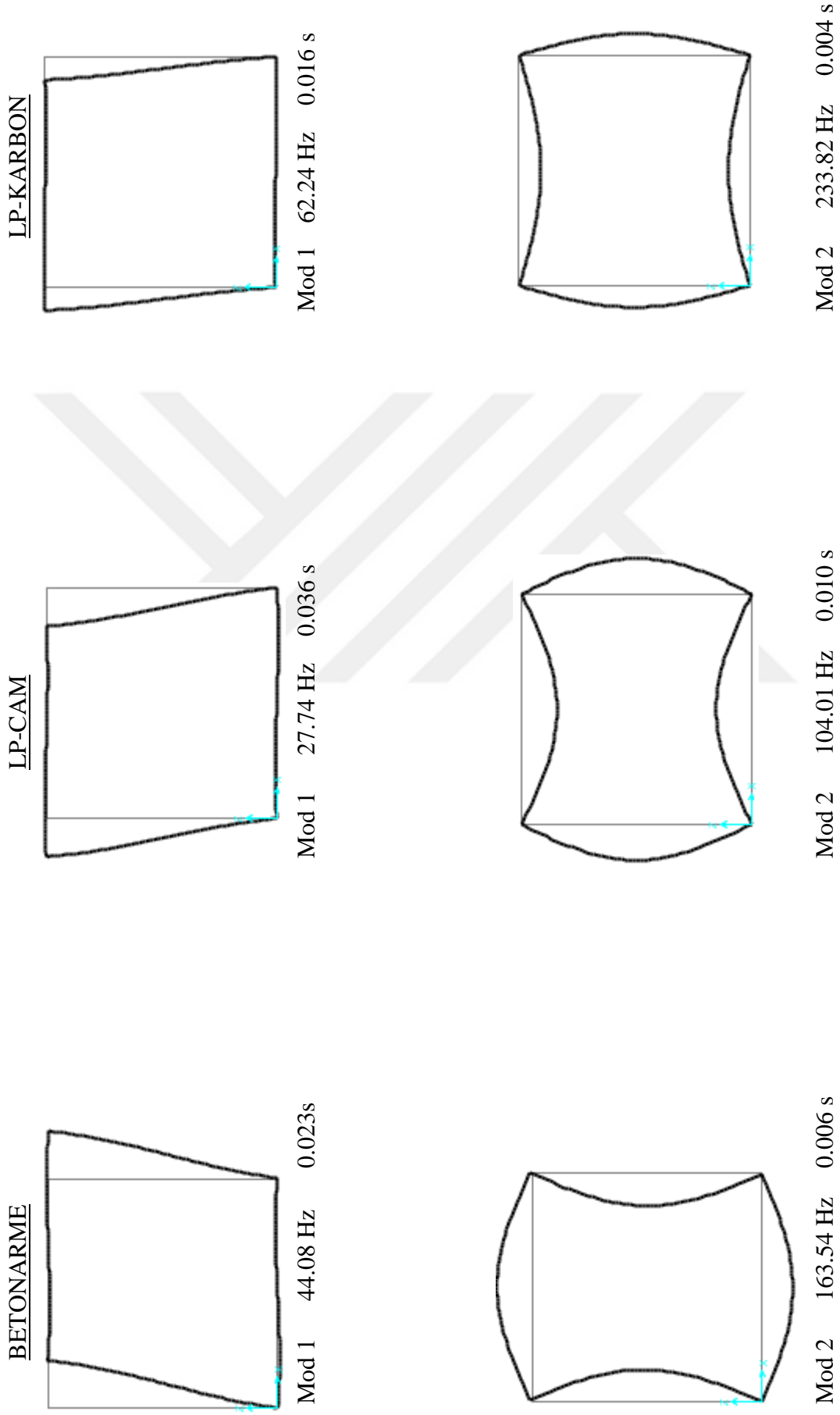
3.3.2. Modal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan hesaplarda kare kesitli menfez analizlerinde 10 mod dikkate alınmıştır. Analizler sonucunda elde edilen 10 moda ait frekans ve periyot değerleri tablo 3.14'te verilmektedir. Modal analizlerden farklı mod frekanslarına rağmen, benzer mod şekilleri elde edilmiştir. LP malzeme için elde edilen mod şekilleri, betonarme için elde edilen mod şekilleri ile benzer özellik göstermektedir

Cam lifli polimer malzeme ve karbon lifli polimer malzemeye bağlı olarak elde edilen frekans aralık değerlerinin, betonarme için elde edilen frekans aralık değerlerinden büyük olduğu Tablo 3.14'te görülmektedir. Betonarme malzeme için hesaplanan frekans aralık değerleri "44.08 Hz" ile "681.66 Hz" aralığında değişmektedir. Cam lifli polimer malzeme için elde edilen frekans değerleri "27.74 Hz" ile "702.85 Hz" aralığındadır. Karbon lifli polimer malzeme için, frekans değerleri "62.24 Hz" ile "1517.75 Hz" arasında değişmektedir. Verilerden görüleceği üzere, betonarme malzeme için hesap edilen frekans değer aralığı, cam ve karbon lifli polimer malzeme değer aralığına göre daha küçük çıkmıştır.

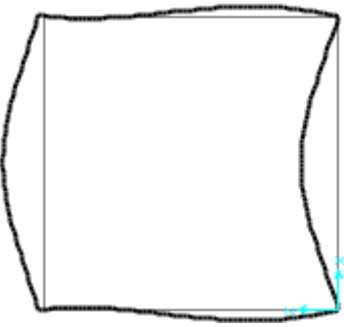
Tablo 3.14. Kare kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere göre frekans ve periyot değerleri

Mod No	Betonarme		Cam Lifli Polimer		Karbon Lifli Polimer	
	Periyod (saniye)	Frekans (Hz)	Periyod (saniye)	Frekans (Hz)	Periyod (saniye)	Frekans (Hz)
Mod 1	0.023	44.08	0.036	27.74	0.016	62.24
Mod 2	0.006	163.54	0.010	104.01	0.004	233.82
Mod 3	0.004	234.57	0.006	154.15	0.003	340.97
Mod 4	0.004	269.22	0.006	174.57	0.003	386.35
Mod 5	0.003	311.70	0.005	210.21	0.002	457.50
Mod 6	0.002	451.83	0.003	383.49	0.001	838.90
Mod 7	0.002	491.67	0.002	438.27	0.001	942.41
Mod 8	0.002	554.55	0.002	440.38	0.001	946.94
Mod 9	0.002	635.82	0.002	509.25	0.001	1079.18
Mod 10	0.001	681.66	0.001	702.85	0.001	1517.75

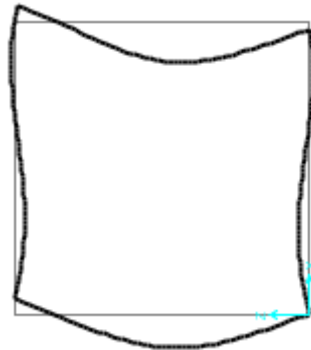


Şekil 3.5. Kare kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere bağlı mod şekilleri

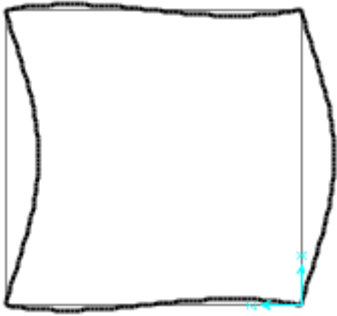
Şekil 3.5'in devamı



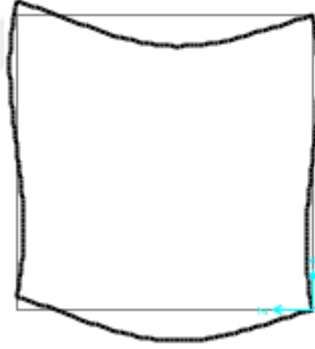
Mod 3 234.57 Hz 0.004 s



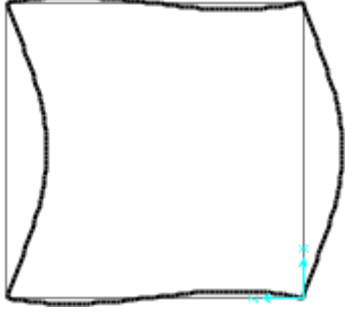
Mod 4 269.22 Hz 0.004 s



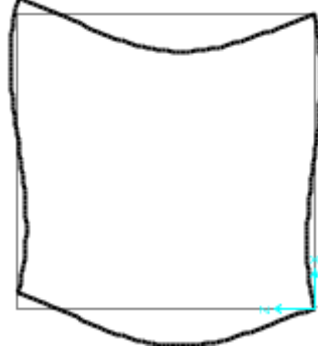
Mod 3 154.15 Hz 0.006 s



Mod 4 174.57 Hz 0.006 s

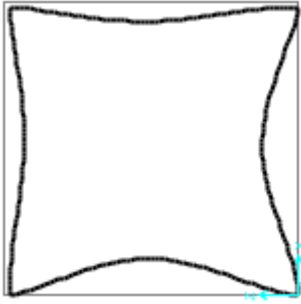


Mod 3 340.97 Hz 0.003 s



Mod 4 386.35 Hz 0.003 s

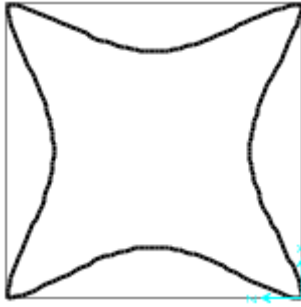
Şekil 3.5'in devamı



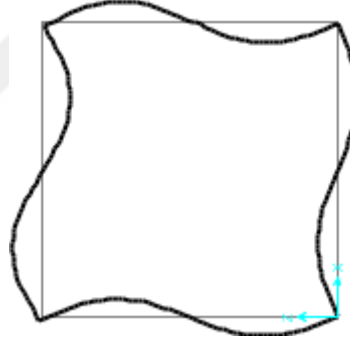
Mod 5 311.70 Hz 0.003 s



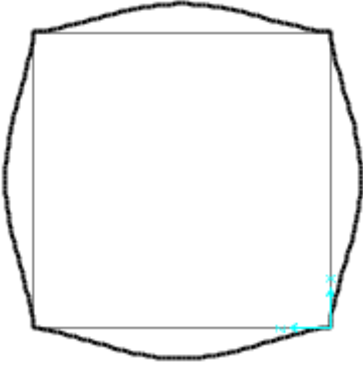
Mod 6 451.83 Hz 0.002 s



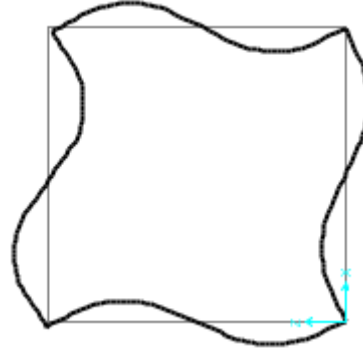
Mod 5 210.21 Hz 0.005 s



Mod 6 383.49 Hz 0.003 s

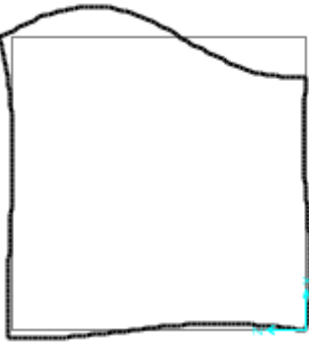


Mod 5 457.50 Hz 0.002 s

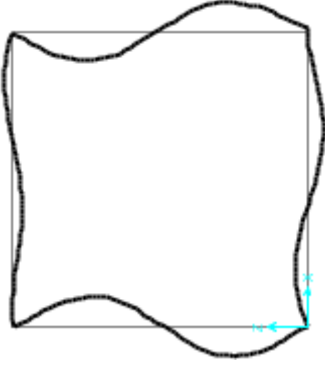


Mod 6 838.90 Hz 0.001 s

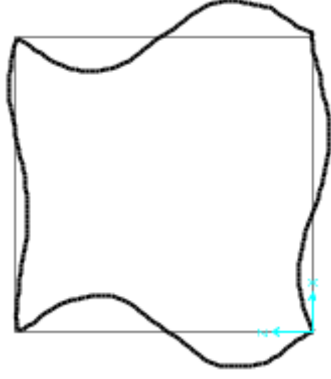
Şekil 3.5'in devamı



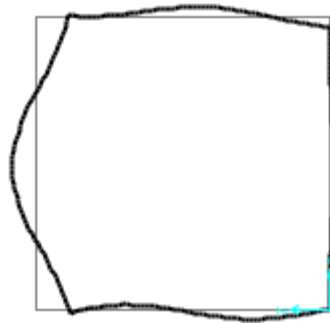
Mod 7 491.67 Hz 0.002 s



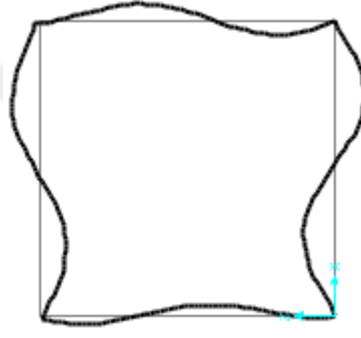
Mod 7 438.27 Hz 0.002 s



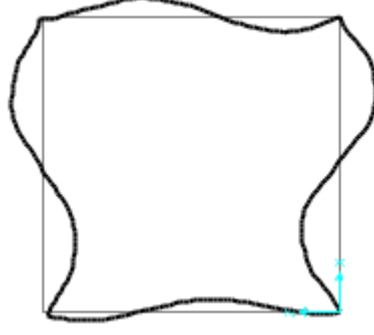
Mod 7 942.41 Hz 0.001 s



Mod 8 554.55 Hz 0.002 s

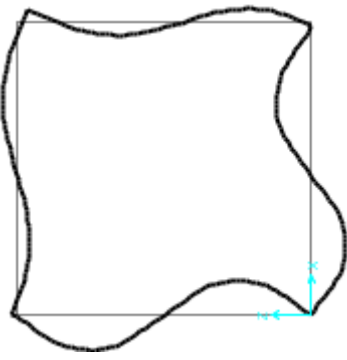


Mod 8 440.38 Hz 0.002 s

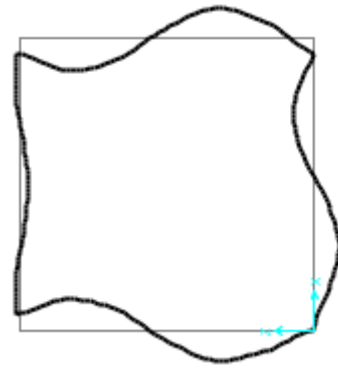


Mod 8 946.94 Hz 0.001 s

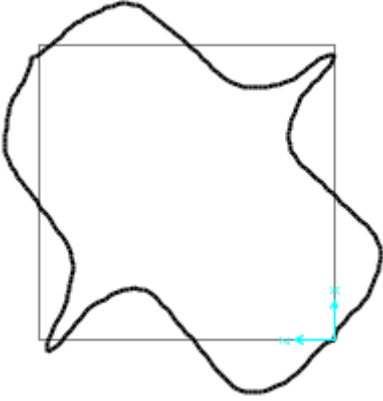
Şekil 3.5'in devamı



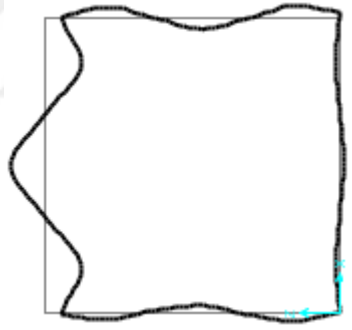
Mod 9 635.82 Hz 0.002 s



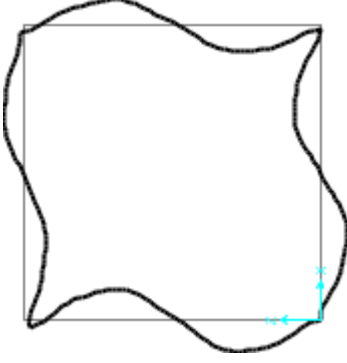
Mod 10 681.66 Hz 0.001 s



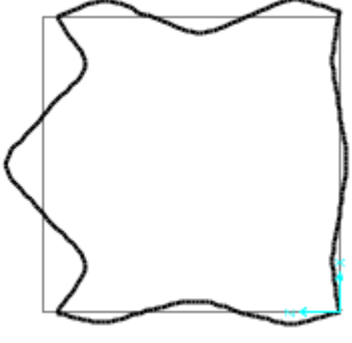
Mod 9 509.25 Hz 0.002 s



Mod 10 702.85 Hz 0.001 s



Mod 9 1079.18 Hz 0.001 s



Mod 10 1517.75 Hz 0.001 s

3.3.3. Kare Kesitli Betonarme Menfezin Donatı Hesabı

Beton hesap basınç dayanımı, (f_{cd}) aşağıdaki förmül yardımıyla bulunur.

$f_{ck} = 25$ MPa (C25 betonu için karakteristik basınç dayanımı)

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1.5} = \frac{25}{1.5} = 16.67 \text{ MPa}$$

$f_{cd} = 16.67$ MPa

Beton hesap çekme dayanımı, (f_{ctd}) aşağıdaki förmül yardımıyla bulunur.

$f_{ctk} = 1.75$ MPa (C25 betonu için karakteristik çekme dayanımı)

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{1.15} = \frac{1.75}{1.15} = 1.167 \text{ MPa}$$

Donatı çeliği hesap akma dayanımı, (f_{yd} , f_{ywd}) aşağıdaki förmül yardımıyla bulunur.

$f_{yk} = 220$ MPa (S220a çelik karakteristik akma dayanımı)

$f_{yk} = 420$ MPa (S420a çelik karakteristik akma dayanımı)

$$f_{yk} = \frac{f_{ck}}{1.5} = \frac{25}{1.5} = 16.67 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = \frac{420}{1.15} = 365 \text{ MPa}$$

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = \frac{220}{1.15} = 191 \text{ MPa}$$

10 noktası için hesap momenti; $M_d = 21.98$ kNm $= 21.98 * 10^6$ (Tablo 3.1)

Basınç bloğu derinliği (a) aşağıdaki förmül yardımıyla bulunur.

$d = \text{kesit kalınlığı} - \text{pas payı} = 1000 - 50 = 950$ mm

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * M_d}{0.85 * f_{cd} * b_w}} = 950 - \sqrt{950^2 - \frac{2 * 21.98 * 10^6}{0.85 * 16.67 * 250}} = 7 \text{ mm}$$

Donatı alanı A_s aşağıdaki förmül yardımıyla bulunur.

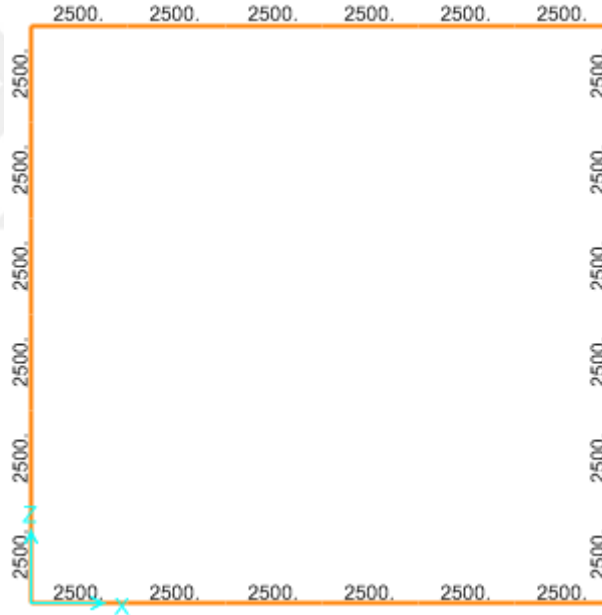
$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} * (d - \frac{a}{2})} = \frac{21.98 * 10^6}{365 * (950 - \frac{7}{2})} = 63.62 \text{ mm}^2 \rightarrow 113 \text{ mm}^2 (1\emptyset 12)$$

$$\rho = \frac{A_s}{d * b_w} = \frac{113}{950 * 250} = 0.0004$$

$\rho \leq \rho_{min}$ olduğundan hesaplarımızda ρ_{min} değerini kullanacağız.

$$A_s = A_{st} * \rho_{min} = 1000 * 250 * 0.01 = 2500 \text{ mm}^2 \rightarrow 8\emptyset 20 (2512 \text{ mm}^2)$$

En büyük moment değerimiz olmak üzere tüm noktalarda minimum donatı alanı hesaplanmıştır. Sap2000'den aldığımız Şekil 3.6'dan görüleceği üzere tüm noktalarda minimum donatı alanı çıkmıştır.



Şekil 3.6. Kare kesitli menfezin sap2000 boyuna donatı alanları

Kesme kuvvetlerine göre kayma donatısı hesabı yapılacaktır. İki kollu etriye alanı A_{sw} seçilir ve etriye aralığı hesaplanır. Her bir açıklık için elde edilen en büyük kesme kuvveti V_d dikkate alınarak açıklığa yerleştirilecek etriye aralığı (S) belirlenir.

$$V_{max} > V_d$$

$$V_{max} = 0.22 * f_{cd} * b_w * d = 0.22 * 16.67 * 250 * 950 = 871 \text{ N} > 100.61 \text{ N}$$

$$V_{cr} = 0.65 * f_{ctd} * b_w * d = 0.65 * 1.167 * 250 * 950 = 180.15 \text{ N}$$

$$V_c = 0.8 * V_{cr} = 0.8 * 180.15 = 144.12 \text{ N}$$

$V_d < V_{cr}$ olduğundan

$$\frac{A_{sw}}{S} = 0.3 * \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} * b_w = 0.3 * \frac{1.167}{191} * 250 = 0.46 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$\emptyset 10 \text{ iki kollu etriye için } A_{sw} = 2 * 79 \text{ mm} = 158 \text{ mm}$$

$$\frac{A_{sw}}{S} = 0.46 \rightarrow S = \frac{158}{0.46} = 344 \text{ mm}$$

$$S = \begin{cases} \frac{1000}{2} = 500 \\ 200 \text{ mm} \end{cases} \rightarrow \text{Açıklıkta } 200 \text{ mm}$$

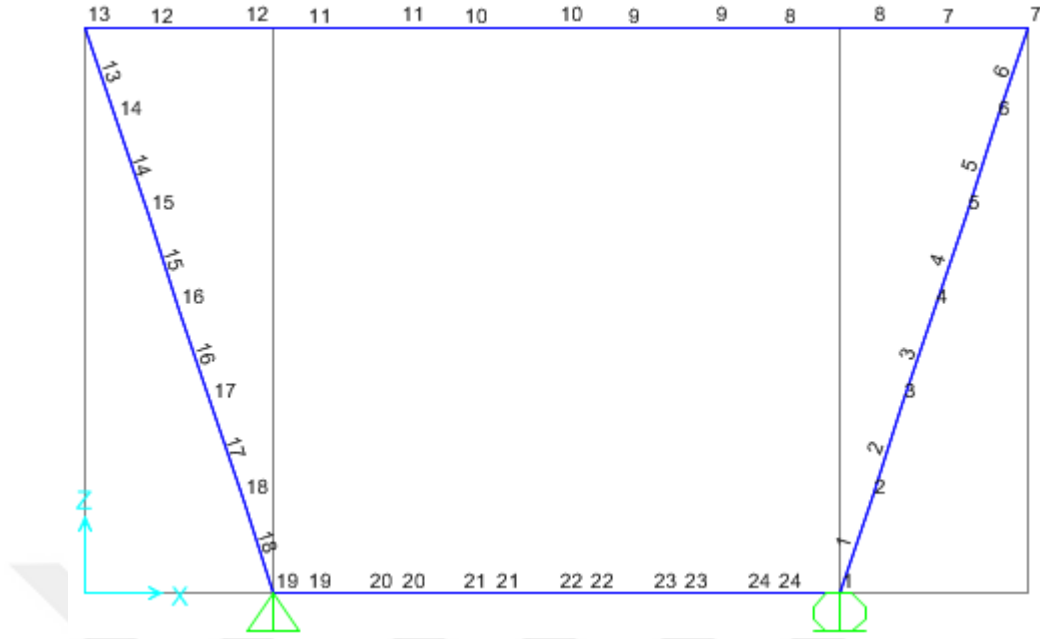
$$S = \begin{cases} \frac{1000}{4} = 250 \\ 100 \text{ mm} \end{cases} \rightarrow \text{Sarılma } 100 \text{ mm}$$

Kesme kuvvetine göre kayma donatısı sarılma bölgelerinde $\emptyset 10/10$, açıklıkta $\emptyset 10/20$ olarak hesaplanmıştır.

3.4.Yamuk Kutu Menfez İçin Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

3.4.1. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölüm de kare kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre modelin SAP2000'den çıkan sonuçları grafiklerle sunulmuştur. Şekil 3.7' de yapının SAP2000'de oluşturulmuş modellenmesi görülmektedir.



Şekil 3.7. Yamuk kesitli menfezin sap2000 modellemesi

3.4.1.1.1. Yerdeğiştirme

3.4.1.1.2. Düşey Yerdeğiştirme

Yamuk kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçları elde edilmiştir. Analizler sonucunda betonarme için en büyük düşey yerdeğiştirme değeri 0.83 mm'dir. Bu değer, cam lifi polimer malzeme için 5.15 mm ve karbon lifi polimer malzeme için 1.47 mm olarak tespit edilmiştir. En düşük düşey yerdeğiştirme değeri betonarme malzemede elde edilmiştir.

3.4.1.1.3. Yatay Yerdeğiştirme

Yamuk kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçları elde edilmiştir. Analizler sonucunda betonarme için en büyük düşey yerdeğiştirme değeri 0.17 mm'dir. Bu değer, cam lifi polimer malzeme için 1.07 mm ve karbon lifi polimer malzeme için 0.30 mm olarak tespit edilmiştir. En düşük düşey yerdeğiştirme değeri betonarme malzemede elde edilmiştir.

3.4.1.2.Eğilme momenti

Yamuk kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçlarında üst tabliye orta bölgesinde, maksimum eğilme momenti değerleri elde edilmiştir. Bu çalışmada, düşey yerdeğiştirme değerlerinin de bu bölgede maksimum olması nedeni ile moment değerlerinin tabliye orta bölgesinde oluşması normaldir. LP malzemelerin, eğilme momenti değerlerini daha iyi görmek amacıyla, elde edilen cam lifli polimer malzeme sonuçları ve karbon lifli polimer sonuçları, betonarme malzemenin kullanıldığı analiz sonuçları ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere bağlı olarak elde edilen eğilme momenti değerleri tablo 3.15 ve tablo 3.16'da verilmiştir. Analizlerde betonarme için maksimum eğilme momenti değeri 55.34 kNm'dir. Bu değer, cam lifli polimer için 53.41 kNm ve karbon lifli polimer için 53.33 kNm olarak tespit edilmiştir. Tablodan görüleceği üzere değerler birbirine yakın çıkmıştır. Lifli polimer malzemenin rijitliği, betonarmeye oranla daha yüksektir. Dolayısı ile betonarme için eğilme momenti değeri, cam ve karbon lifli polimer malzemeye göre daha fazladır.

Tablo 3.15. Yamuk kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3'e göre elde edilen eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 1				Kombinasyon 2				Kombinasyon 3			
		Betonarme (kNm)	Cam Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)		Betonarme (kNm)	Cam Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)		Betonarme (kNm)	Cam Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)	
1	1	1.12	2.47	2.83	-1.84	-0.16	-0.11		6.11	6.95	7.13		
2	2	3.42	3.96	4.13	5.26	5.59	5.98		1.15	1.45	1.51		
3	3	8.50	8.33	8.34	13.17	12.50	13.01		-0.98	-1.15	-1.19		
4	4	16.17	15.40	15.25	21.79	20.43	20.87		-0.48	-1.06	-1.17		
5	5	26.22	24.95	24.68	31.00	29.25	29.45		2.46	1.56	1.38		
6	6	38.47	36.80	36.42	40.70	38.82	38.65		7.63	6.49	6.26		
6	7	52.71	50.75	50.29	50.78	49.00	48.34		14.85	13.54	13.27		
7	7	-52.71	-50.75	-50.29	-50.78	-49.00	-48.34		-14.85	-13.54	-13.27		
8	8	6.25	6.15	6.20	8.17	7.90	8.14		0.02	-0.17	-0.20		
9	9	41.62	40.30	40.10	43.54	42.03	42.03		8.91	7.86	7.65		
10	10	53.42	51.68	51.40	55.34	53.41	53.33		11.88	10.53	10.27		
11	11	41.63	40.31	40.11	43.55	42.04	42.04		8.92	7.87	7.66		
12	12	6.27	6.17	6.22	8.18	7.90	8.15		0.02	-0.15	-0.18		
12	13	-52.68	-50.72	-50.26	-50.77	-48.99	-48.33		14.82	-13.51	-13.24		
13	13	52.68	50.72	50.26	50.77	48.99	48.33		14.82	13.51	13.24		
14	14	38.45	36.78	36.40	40.70	38.81	38.64		7.62	6.47	6.24		
15	15	26.22	24.94	24.67	31.00	29.24	29.45		2.45	1.56	1.38		
16	16	16.18	15.40	15.26	21.79	20.43	20.87		-0.47	-1.05	-1.16		
17	17	8.52	8.35	8.36	13.17	12.50	13.02		-0.96	-1.14	-1.17		
18	18	3.45	3.99	4.10	5.27	5.60	5.99		1.19	1.48	1.54		
18	19	1.16	2.52	2.88	-1.83	-0.14	-0.10		6.16	7.00	7.17		
19	19	1.16	2.52	2.88	-1.83	-0.14	-0.10		6.16	7.00	7.17		
20	20	-9.43	-8.82	-8.61	-12.42	-11.47	-11.58		-0.41	-0.10	-0.04		
21	21	-15.80	-15.63	-15.51	-18.78	-18.27	-18.47		-4.36	-4.37	-4.37		
22	22	-17.92	-17.90	-17.81	-20.90	-20.54	-20.77		-5.68	-5.79	-5.81		
23	23	-15.81	-15.65	-15.52	-18.78	-18.28	-18.47		-4.37	-4.38	-4.38		
24	24	-9.47	-8.86	-8.64	-12.43	-11.49	-11.59		-0.44	-0.13	-0.07		
24	1	1.12	2.47	2.33	-1.84	-0.16	-0.11		6.11	6.95	7.13		

Tablo 3.16. Yamuk kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 4, kombinasyon 5 ve kombinasyon 6'ya göre elde edilen eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 4				Kombinasyon 5				Kombinasyon 6			
		Betonarme (kNm)	Cam Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)	Betonarme (kNm)	Cam Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)	Betonarme (kNm)	Cam Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)	Karbon Lifli Polimer (kNm)
1	1	1.39	2.43	2.69	1.42	0.11	1.16	1.42	5.01	5.96	6.16	6.16	
2	2	2.68	3.08	3.20	3.97	3.44	3.85	3.97	2.73	3.07	3.14	3.14	
3	3	5.79	5.63	5.63	7.63	7.79	7.64	7.63	2.27	2.08	2.04	2.04	
4	4	10.57	9.95	9.83	12.28	13.02	12.39	12.28	3.48	2.85	2.72	2.72	
5	5	16.89	15.88	15.67	17.77	19.00	17.99	17.77	6.23	5.23	5.03	5.03	
6	6	24.61	23.29	23.00	24.00	25.61	24.29	24.00	10.37	9.10	8.84	8.84	
6	7	33.57	32.03	31.68	30.83	32.72	31.18	30.83	15.76	14.29	13.99	13.99	
7	7	-33.57	-32.03	-31.68	-30.83	-32.72	-31.18	-30.83	-15.76	-14.29	-13.99	-13.99	
8	8	4.07	3.96	3.98	4.83	4.91	4.82	4.83	1.37	1.20	1.17	1.17	
9	9	26.65	25.56	25.38	26.23	27.50	26.41	26.23	11.66	10.50	10.27	10.27	
10	10	34.18	32.76	32.52	33.37	35.02	33.61	33.37	15.09	13.60	13.31	13.31	
11	11	26.66	25.57	3.59	26.24	27.50	26.41	26.24	11.66	10.51	10.28	10.28	
12	12	4.08	3.98	4.00	4.84	4.92	4.82	4.84	1.39	1.21	1.18	1.18	
12	13	-33.55	-32.01	31.66	-30.82	-32.71	-31.17	-30.82	-15.75	-14.27	-13.97	-13.97	
13	13	33.55	32.01	31.66	30.82	32.71	31.17	30.82	15.75	14.27	13.97	13.97	
14	14	24.59	23.27	22.99	23.99	25.61	24.28	23.99	10.36	9.08	8.83	8.83	
15	15	16.89	15.88	15.66	17.77	19.00	17.98	17.77	6.23	5.23	5.03	5.03	
16	16	10.58	9.95	9.83	12.28	13.02	12.40	12.28	3.49	2.85	2.72	2.72	
17	17	5.80	5.65	5.64	7.64	7.80	7.65	7.64	2.27	2.10	2.05	2.05	
18	18	2.70	3.10	3.22	3.98	3.45	3.86	3.98	2.75	3.09	3.16	3.16	
18	19	1.42	2.46	2.72	1.44	0.13	1.18	1.44	5.04	5.99	6.19	6.19	
19	19	1.42	2.46	2.72	1.44	0.13	1.18	1.44	5.04	5.99	6.19	6.19	
20	20	-6.26	-5.81	-5.67	-6.95	-7.55	-7.10	-6.95	-2.64	-2.28	-2.20	-2.20	
21	21	-10.87	-10.78	-10.71	-11.99	-12.16	-12.06	-11.99	-7.25	-7.25	-7.24	-7.24	
22	22	-12.41	-12.44	-12.39	-13.67	-13.7	-13.72	-13.67	-8.79	-8.91	-8.93	-8.93	
23	23	-10.88	-10.79	-10.72	-11.99	-12.17	-12.07	-11.99	-7.26	-7.26	-7.25	-7.25	
24	24	-6.28	-5.84	-5.69	-6.96	-7.57	-7.11	-6.96	-2.66	-2.30	-2.23	-2.23	
24	1	1.39	2.43	2.69	1.42	0.11	1.16	1.42	5.01	5.96	6.16	6.16	

3.4.1.3. Kesme Kuvveti

Yamuk kesitli menfez'in betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Betonarme, cam lifli polimer, karbon lifli polimere bağlı olarak elde edilen kesme kuvveti değerleri tablo 3.17 ve tablo 3.18'de verilmiştir. Tabliye orta noktalarında maksimum eğilme momenti tespit edilmiştir. Kesme kuvveti değeri de menfezin tabliye orta noktalarında sıfırdır. Analizlerde betonarme için maksimum kesme kuvveti değeri 169.79 kN'dur. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için 163.87 kN ve karbon lifli polimer malzeme için 162.68 kN olarak tespit edilmiştir.



Tablo 3.17. Yamuk kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3'e göre elde edilen kesme kuvveti degerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 1				Kombinasyon 2				Kombinasyon 3			
		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	
1	1	-3.33	0.06	0.82		-25.30	-19.49	-21.21		24.43	26.65	27.09	
2	2	-14.14	-11.25	-10.58		-28.55	-24.09	-24.96		13.38	15.26	15.69	
3	3	-24.32	-21.82	-21.23		-31.44	-28.24	-28.32		2.90	4.62	4.95	
4	4	-33.75	-31.65	-31.13		-33.91	-31.87	-31.27		-6.64	-5.28	-5.00	
5	5	-42.43	-40.73	-40.29		-35.96	-34.98	-33.80		-15.51	-14.43	-14.21	
6	6	-50.38	-49.07	-48.71		-37.60	-37.57	-35.91		23.64	-22.84	-22.68	
6	7	-57.55	-56.63	-56.35		-38.81	-39.63	-37.59		-30.99	-30.48	-30.37	
7	7	-169.79	-163.87	-162.68		-169.78	-163.86	-162.67		-42.77	-38.50	-37.65	
8	8	-113.20	-109.25	-108.46		-113.19	-109.24	-108.45		-28.51	-25.67	-25.10	
9	9	-56.61	-54.63	-54.24		-56.60	-54.62	-54.23		-14.26	-12.84	-12.56	
10	10	-0.01	-0.01	-0.01		-0.03	-0.04	-0.03		0.01	-0.01	-0.01	
11	11	56.58	54.61	54.21		56.59	54.62	54.2		14.24	12.82	12.53	
12	12	113.17	109.23	108.44		113.18	109.23	108.44		28.49	25.65	25.08	
12	13	169.77	163.85	162.66		169.78	163.85	162.67		42.74	38.48	37.62	
13	13	57.54	56.63	56.35		38.81	39.63	37.59		30.98	30.47	30.37	
14	14	50.34	49.03	48.67		37.59	37.55	35.89		23.60	22.80	22.64	
15	15	42.39	40.69	40.25		35.95	34.96	33.78		15.47	14.39	14.17	
16	16	33.70	31.60	31.08		33.89	31.85	31.25		6.60	5.23	4.95	
17	17	24.26	21.77	21.17		31.42	28.22	28.31		-3.02	-4.67	-5.01	
18	18	14.08	11.20	10.52		28.53	24.07	24.95		-13.38	-15.32	-15.71	
18	19	3.11	-0.07	-0.82		25.25	19.44	21.19		-24.44	-26.65	-27.10	
19	19	50.87	54.42	55.13		50.85	54.40	55.11		31.53	34.09	34.61	
20	20	33.92	36.29	36.77		33.90	36.27	36.74		21.03	22.74	23.08	
21	21	16.98	18.16	18.40		16.96	18.14	18.38		10.53	11.39	11.56	
22	22	0.03	0.14	0.03		0.1	0.1	0.1		0.03	0.03	0.03	
23	23	-16.91	-18.10	-18.33		-16.94	-18.12	-18.36		-10.47	-11.32	-11.49	
24	24	-33.86	-36.23	-36.7		-33.88	-36.25	-36.72		-20.97	-22.67	-23.02	
24	1	-50.80	-54.36	-55.07		-50.83	-54.38	-55.09		-31.47	-34.03	-34.54	

Tablo 3.18. Yamuk kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 4, kombinasyon 5 ve kombinasyon 6'ya göre elde edilen kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 4				Kombinasyon 5				Kombinasyon 6			
		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	
1	1	-1.46	1.31	1.89	-10.64	-8.03	-7.48	12.28	14.76	15.27			
2	2	-8.44	-6.47	-5.66	-14.65	-12.38	-11.87	5.14	7.28	7.72			
3	3	-15.07	-13.12	-12.67	-18.25	-16.29	-15.84	-1.52	0.33	0.71			
4	4	-21.16	-19.53	-19.14	-21.35	-19.71	-19.33	-7.61	-6.08	-5.76			
5	5	-26.72	-25.40	-25.08	-23.98	-22.65	-22.33	-13.16	-11.95	-11.70			
6	6	-31.73	-30.73	-30.47	-26.12	-25.10	-24.85	-18.18	-17.28	-17.09			
6	7	-36.19	-35.50	-35.31	-27.76	-27.07	-26.87	-22.63	-22.05	-21.93			
7	7	-108.40	-103.66	-102.71	-108.39	-103.65	-102.70	-49.36	-44.62	-43.67			
8	8	-72.27	-69.11	-68.47	-72.26	-69.10	-68.47	-32.91	-29.75	-29.12			
9	9	-36.14	-34.56	-34.24	-36.13	-34.55	-34.24	-16.46	-14.88	-14.56			
10	10	-0.08	-0.08	-0.08	-0.04	-0.04	-0.04	-0.08	-0.08	-0.08			
11	11	36.12	34.54	34.23	36.13	34.55	34.23	16.44	14.86	14.55			
12	12	72.25	69.09	68.46	72.25	69.10	68.46	32.89	29.73	29.10			
12	13	108.38	103.64	102.69	108.38	103.65	102.70	49.34	44.60	43.65			
13	13	36.18	35.50	35.30	27.76	27.06	26.87	22.63	22.04	21.92			
14	14	31.70	30.70	30.44	26.10	25.09	24.83	18.15	17.25	17.06			
15	15	26.69	25.37	25.05	23.96	22.63	22.31	13.13	11.92	11.67			
16	16	21.13	19.50	19.11	21.34	19.69	19.31	7.58	6.04	5.73			
17	17	15.03	13.09	12.64	18.23	16.27	15.82	1.48	-0.37	-0.74			
18	18	8.40	6.14	5.63	14.63	12.36	11.85	-5.15	-7.32	-7.75			
18	19	1.19	-1.32	-1.89	10.58	7.98	7.41	-12.29	-14.77	-15.27			
19	19	36.87	39.71	40.28	36.86	39.70	40.27	36.87	39.71	40.28			
20	20	24.59	26.48	26.86	24.58	26.47	26.85	24.59	26.48	26.86			
21	21	12.30	13.25	13.44	12.29	13.24	13.43	12.30	13.25	13.44			
22	22	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02			
23	23	-12.26	-13.21	-13.40	-12.27	-13.22	-13.41	-12.26	-13.21	-13.40			
24	24	-24.54	-26.44	-26.82	-24.55	-26.45	-26.83	-24.54	-26.44	-26.82			
24	1	-36.83	-39.67	-40.24	-36.84	-39.68	-40.25	-36.83	-39.67	-40.24			

3.4.1.4. Normal Kuvveti

Yamuk kesitli menfez'in betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere bağlı olarak elde edilen normal kuvvet değerleri tablo 3.19 ve tablo 3.20'te verilmiştir. Analizlerde betonarme için maksimum normal kuvvet değeri -190.92 kN'dur. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için -177.88 kN ve karbon lifli polimer malzeme için -175.30 kN olarak tespit edilmiştir. Lifli polimer malzemelerin betonarmeye oranla daha hafif olması nedeni ile normal kuvvet değerlerinin betonarme için yüksek olması normaldir.



Tablo 3.19. Yamuk kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2 ve kombinasyon 3'e göre elde edilen normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 1				Kombinasyon 2				Kombinasyon 3			
		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	
1	1	-190.92	-177.88	-175.30		-183.57	-171.37	-167.95		-62.60	-53.16	-51.26	
2	2	-185.11	-173.25	-170.91		-180.30	-168.97	-166.10		-57.33	-48.75	-47.03	
3	3	-179.55	-168.88	-166.77		-177.17	-166.73	-164.39		-52.32	-44.58	-43.03	
4	4	-174.24	-164.75	-162.88		-174.18	-164.67	-162.82		-47.55	-40.67	-39.29	
5	5	-169.17	-160.86	-159.23		-171.32	-162.77	-161.39		-43.03	-37.00	-35.80	
6	6	-164.35	-157.23	-155.84		-168.61	-161.06	-160.10		-38.76	-33.58	-32.55	
6	7	-159.78	-153.88	-152.70		-166.03	-159.50	-158.95		-34.73	-30.41	-29.53	
7	7	-4.06	-5.08	-5.17		15.69	12.85	14.60		-18.41	-19.29	-19.47	
8	8	-4.06	-5.08	-5.17		15.69	12.85	14.60		-18.41	-19.29	-19.47	
9	9	-4.06	-5.08	-5.17		15.69	12.85	14.60		-18.41	-19.29	-19.47	
10	10	-4.06	-5.08	-5.17		15.69	12.85	14.60		-18.41	-19.29	-19.47	
11	11	-4.06	-5.08	-5.17		15.69	12.85	14.60		-18.41	-19.29	-19.47	
12	12	-4.06	-5.08	-5.17		15.69	12.85	14.60		-18.41	-19.29	-19.47	
12	13	-4.06	-5.08	-5.17		15.69	12.85	14.60		-18.41	-19.29	-19.47	
13	13	-159.96	-153.84	-152.68		-166.13	-159.51	-158.94		-34.90	-30.40	-29.54	
14	14	-164.34	-157.22	-155.82		-168.6	-161.05	-160.09		-38.75	-33.57	-32.54	
15	15	-169.16	-160.86	-159.22		-171.32	-162.77	-161.39		-43.02	-36.99	-35.79	
16	16	-174.23	-164.74	-162.87		-174.17	-164.66	-162.82		-47.54	-40.66	-39.28	
17	17	-179.54	-168.87	-166.76		-177.17	-166.73	-164.39		-52.31	-44.58	-43.03	
18	18	-185.11	-173.25	-170.90		-180.30	-168.96	-166.10		-57.33	-48.74	-47.02	
18	19	-190.90	-177.86	-175.27		-183.57	-171.37	-167.95		-62.57	-53.13	-51.24	
19	19	-57.32	-56.31	-56.21		-34.10	-35.76	-33.01		-42.97	-42.09	-41.92	
20	20	-57.32	-56.31	-56.21		-34.10	-35.76	-33.01		-42.97	-42.09	-41.92	
21	21	-57.32	-56.31	-56.21		-34.10	-35.76	-33.01		-42.97	-42.09	-41.92	
22	22	-57.32	-56.31	-56.21		-34.10	-35.76	-33.01		-42.97	-42.09	-41.92	
23	23	-57.32	-56.31	-56.21		-34.10	-35.76	-33.01		-42.97	-42.09	-41.92	
24	24	-57.32	-56.31	-56.21		-34.10	-35.76	-33.01		-42.97	-42.09	-41.92	
24	1	-57.32	-56.31	-56.21		-34.10	-35.76	-33.01		-42.97	-42.09	-41.92	

Tablo 3.20. Yamuk kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 4, kombinasyon 5 ve kombinasyon 6'ya göre elde edilen normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 4				Kombinasyon 5				Kombinasyon 6			
		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	
1	1	-124.25	-113.80	-111.73		-121.15	-110.70	-108.62		-66.54	-56.06	-53.95	
2	2	-120.13	-110.62	-108.74		-118.05	-108.55	-106.66		-62.41	-52.88	-50.97	
3	3	-116.18	-107.62	-105.93		-115.12	-106.57	-104.87		-58.47	-49.88	-48.16	
4	4	-112.41	-104.81	-103.30		-112.34	-104.74	-103.23		-54.70	-47.06	-45.53	
5	5	-108.83	-102.17	-100.85		-109.73	-103.08	-101.76		-51.11	-44.42	-43.08	
6	6	-105.42	-99.71	-98.58		-107.29	-101.58	-100.45		-47.70	-41.96	-40.81	
6	7	-102.16	-97.41	-96.49		-104.99	-100.21	-99.30		-44.48	-39.64	-38.68	
7	7	-2.01	-2.87	-2.98		6.87	6.02	5.91		-7.41	-8.37	-8.56	
8	8	-2.01	-2.87	-2.98		6.87	6.02	5.91		-7.41	-8.37	-8.56	
9	9	-2.01	-2.87	-2.98		6.87	6.02	5.91		-7.41	-8.37	-8.56	
10	10	-2.01	-2.87	-2.98		6.87	6.02	5.91		-7.41	-8.37	-8.56	
11	11	-2.01	-2.87	-2.98		6.87	6.02	5.91		-7.41	-8.37	-8.56	
12	12	-2.01	-2.87	-2.98		6.87	6.02	5.91		-7.41	-8.37	-8.56	
12	13	-2.01	-2.87	-2.98		6.87	6.02	5.91		-7.41	-8.37	-8.56	
13	13	-102.34	-97.40	-96.48		-105.11	-100.23	-99.29		-44.60	-39.67	-38.71	
14	14	-105.41	-99.70	-98.57		-107.28	-101.57	-100.45		-47.70	-41.95	-40.80	
15	15	-108.82	-102.16	-100.84		-109.73	-103.07	-101.76		-51.11	-44.41	-43.07	
16	16	-112.41	-104.80	-103.29		-112.34	-104.74	-103.23		-54.69	-47.05	-45.52	
17	17	-116.18	-107.62	-105.92		-115.12	-106.56	-104.87		-58.69	-49.87	-48.15	
18	18	-120.12	-110.62	-108.73		-118.05	-108.55	-106.66		-62.41	-52.87	-50.96	
18	19	-124.24	-113.79	-111.71		-121.14	-110.69	-108.62		-66.52	-56.04	-53.94	
19	19	-38.09	-37.23	-37.12		-28.28	-27.43	-27.32		-32.69	-31.73	-31.54	
20	20	-38.09	-37.23	-37.12		-28.28	-27.43	-27.32		-32.69	-31.73	-31.54	
21	21	-38.09	-37.23	-37.12		-28.28	-27.43	-27.32		-32.69	-31.73	-31.54	
22	22	-38.09	-37.23	-37.12		-28.28	-27.43	-27.32		-32.69	-31.73	-31.54	
23	23	-38.09	-37.23	-37.12		-28.28	-27.43	-27.32		-32.69	-31.73	-31.54	
24	24	-38.09	-37.23	-37.12		-28.28	-27.43	-27.32		-32.69	-31.73	-31.54	
24	1	-38.09	-37.23	-37.12		-28.28	-27.43	-27.32		-32.69	-31.73	-31.54	

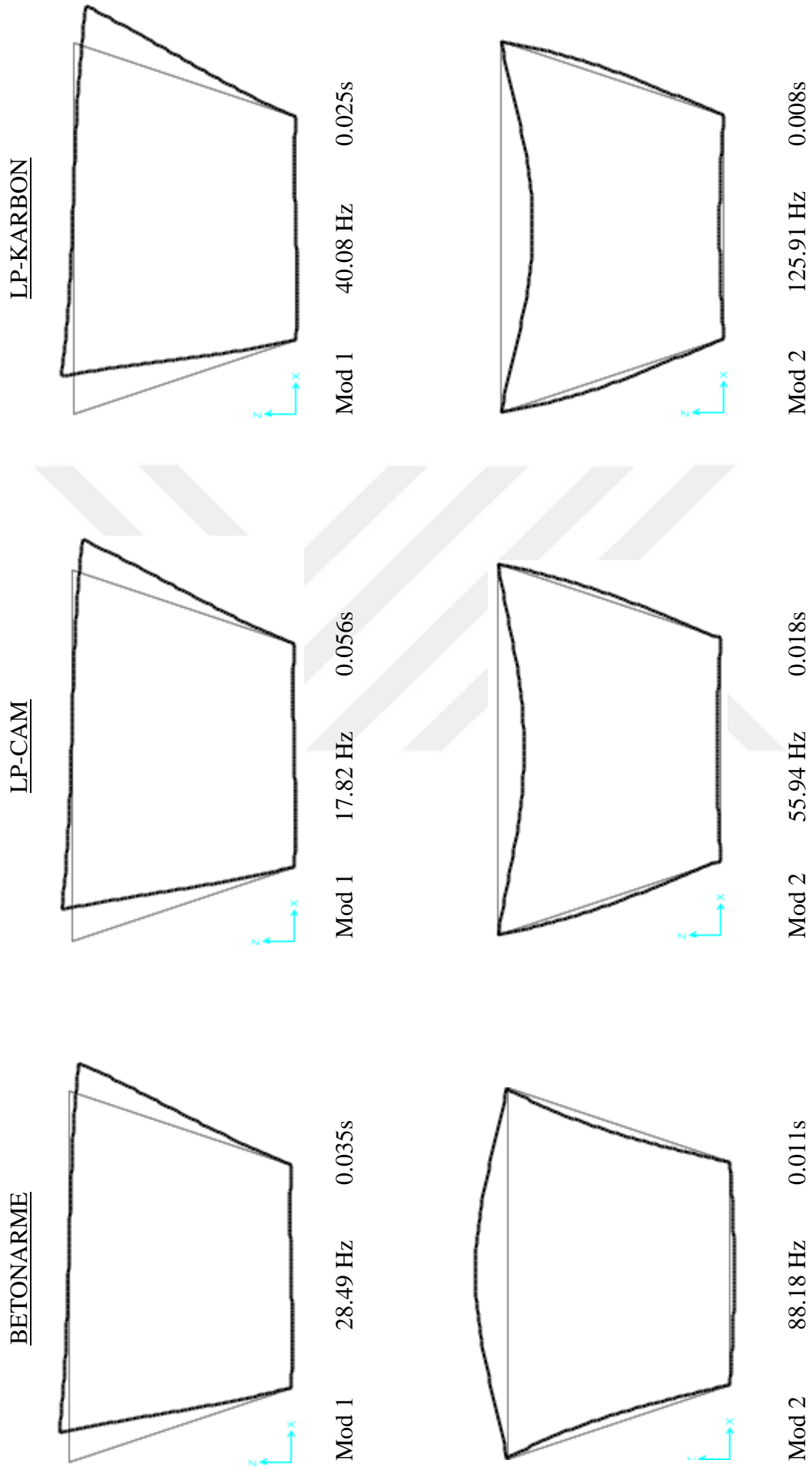
3.4.2. Modal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan hesaplarda yamuk kesitli menfezin analizlerinde 10 mod dikkate alınmıştır. Analizler sonucunda elde edilen 10 moda ait frekans ve periyot değerleri tablo 3.21’de verilmektedir. Modal analizlerden farklı mod frekanslarına rağmen, benzer mod şekilleri elde edilmiştir. LP malzeme için elde edilen mod şekilleri, betonarme için elde edilen mod şekilleri ile benzer özellik göstermektedir.

Karbon lifi polimer malzemeye bağlı olarak elde edilen frekans aralık değerlerinin, betonarme için elde edilen frekans aralık değerlerinden büyük olduğu Tablo 3.25’ de görülmektedir. Betonarme malzeme için hesaplanan frekans aralık değerleri “28.49 Hz” ile “561.80 Hz” aralığında değişmektedir. Cam lifi polimer malzeme için elde edilen frekans değerleri “17.82 Hz” ile “467.98 Hz” aralığındadır. Karbon lifli polimer malzeme için, frekans değerleri “40.08 Hz” ile “999.42 Hz” arasında değişmektedir. Verilerden görüleceği üzere, betonarme malzeme için hesap edilen frekans değer aralığı, karbon lifli polimer malzeme değer aralığına göre daha küçük çıkmıştır.

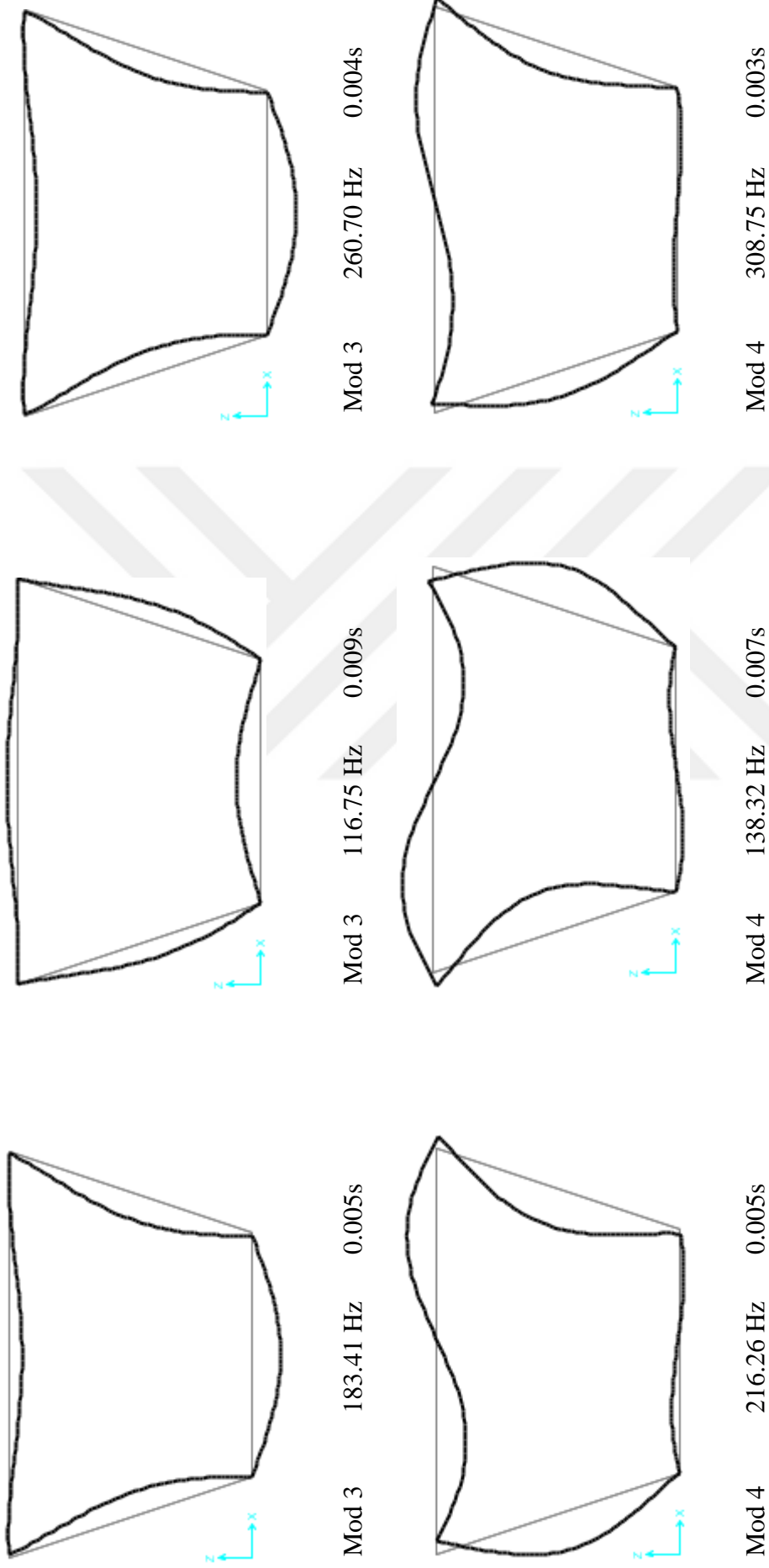
Tablo 3.21. Yamuk kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere göre frekans ve periyot değerleri

Mod No	Betonarme		Cam Lifli Polimer		Karbon Lifli Polimer	
	Periyod (saniye)	Frekans (Hz)	Periyod (saniye)	Frekans (Hz)	Periyod (saniye)	Frekans (Hz)
Mod 1	0.035	28.49	0.056	17.82	0.025	40.08
Mod 2	0.011	88.18	0.018	55.94	0.008	125.91
Mod 3	0.005	183.41	0.009	116.75	0.004	260.70
Mod 4	0.005	216.26	0.007	138.32	0.003	308.75
Mod 5	0.004	276.85	0.005	185.42	0.002	406.41
Mod 6	0.003	290.55	0.005	193.14	0.002	424.65
Mod 7	0.003	380.03	0.003	328.01	0.001	715.82
Mod 8	0.002	467.58	0.003	385.14	0.001	838.68
Mod 9	0.002	535.30	0.002	415.26	0.001	890.51
Mod 10	0.002	561.80	0.002	467.98	0.001	999.42

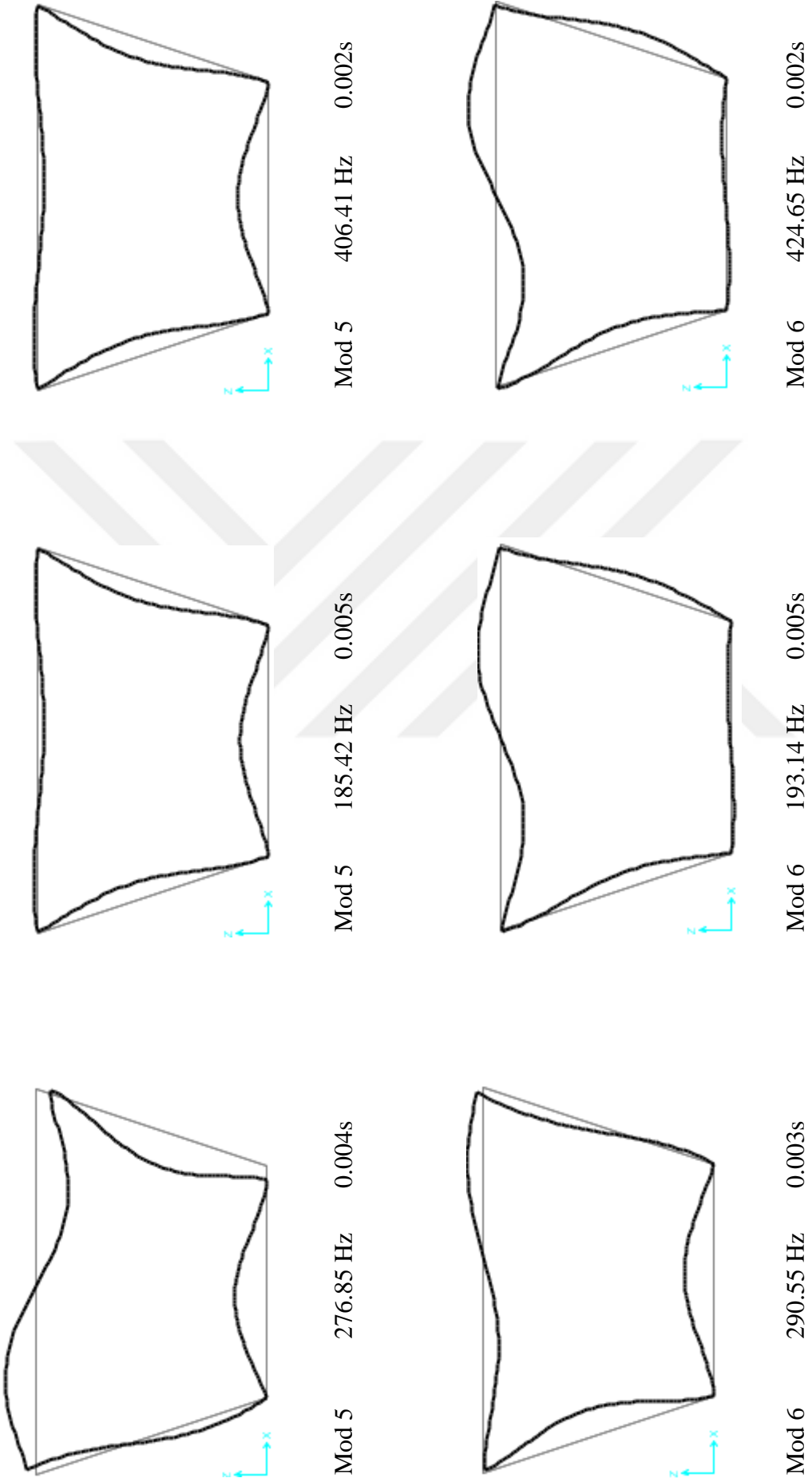


Şekil 3.8. Dikdörtgen şekilli menfez betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere bağlı mod şekilleri

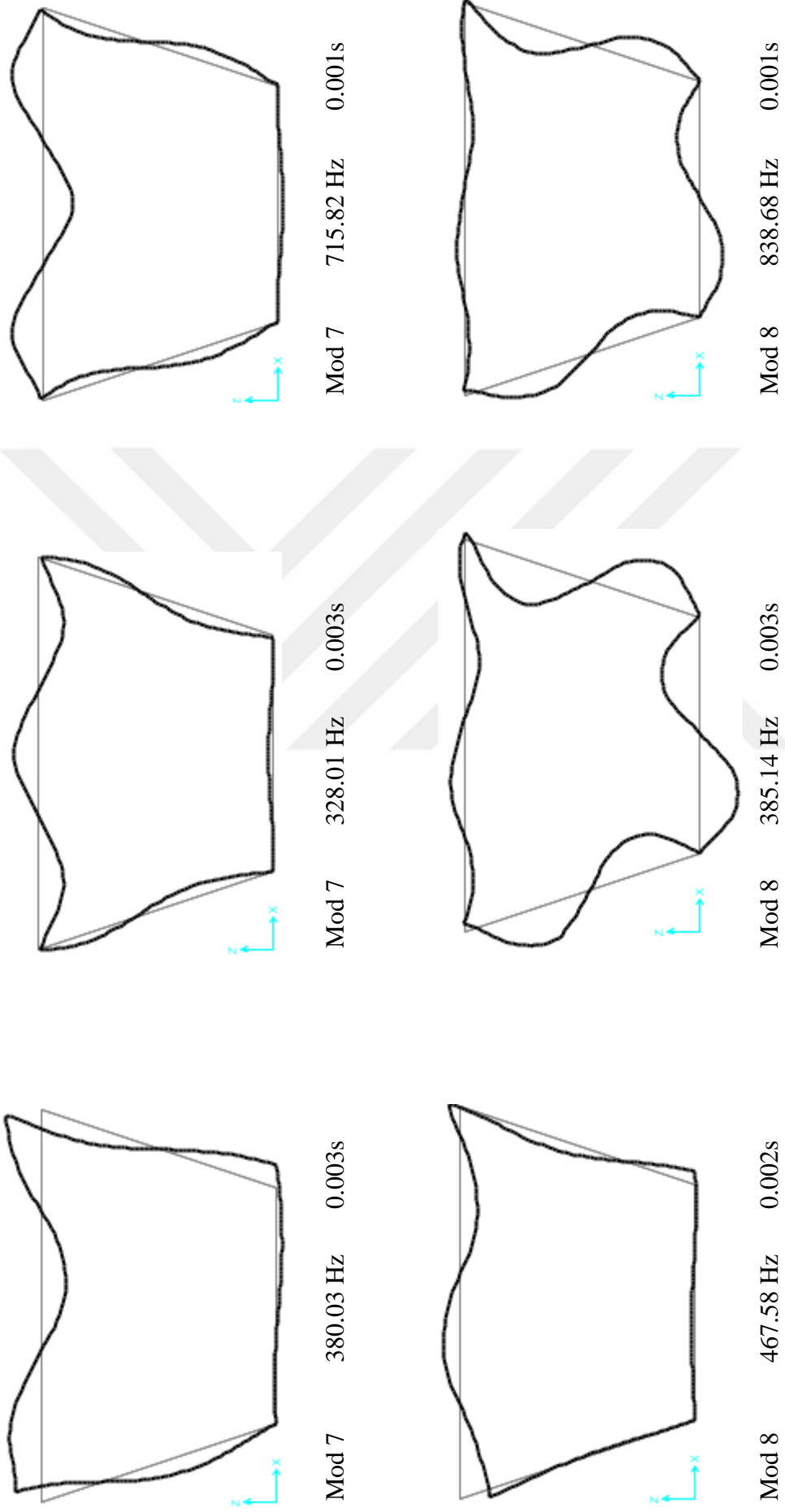
Şekil.3.8'in devamı



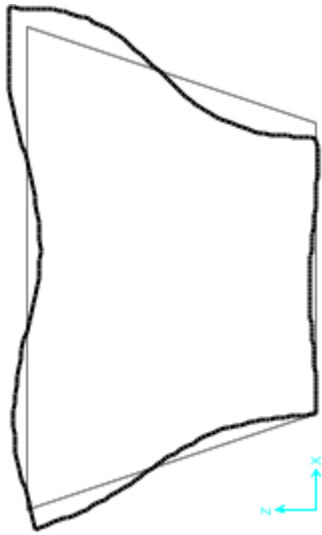
Şekil.3.8'in devamı



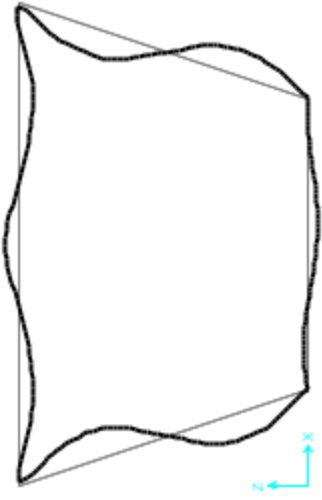
Şekil.3.8'in devamı



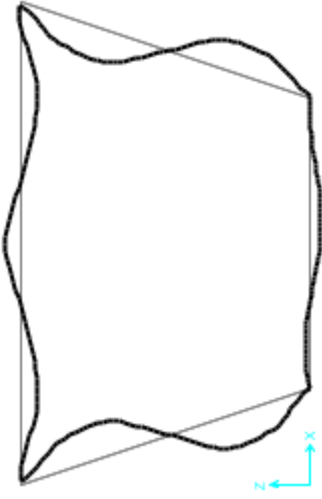
Şekil.3.8'in devamı



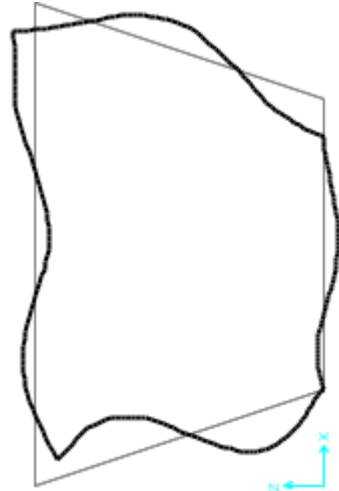
Mod 9 535.30 Hz 0.002s



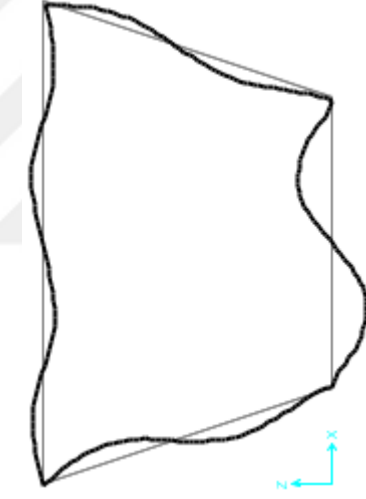
Mod 9 415.26 Hz 0.002s



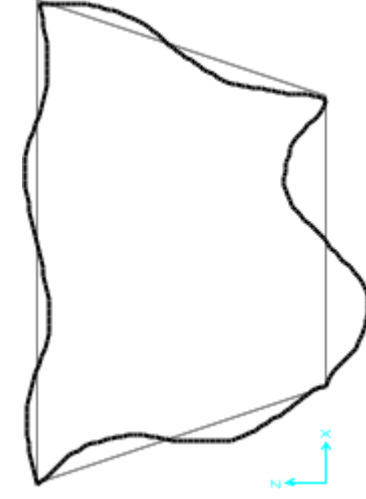
Mod 9 890.51 Hz 0.001s



Mod 10 561.80 Hz 0.002s



Mod 10 467.98 Hz 0.002s



Mod 10 999.42 Hz 0.001s

3.4.3. Yamuk Kesitli Betonarme Menfezin Donatı Hesabı

Beton hesap basınç dayanımı, (f_{cd}) aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$f_{ck} = 25$ MPa (C25 betonu için karakteristik basınç dayanımı)

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1.5} = \frac{25}{1.5} = 16.67 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 16.67 \text{ MPa}$$

Beton hesap çekme dayanımı, (f_{ctd}) aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$f_{ctk} = 1.75$ MPa (C25 betonu için karakteristik çekme dayanımı)

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{1.15} = \frac{1.75}{1.15} = 1.167 \text{ MPa}$$

Donatı çeliği hesap akma dayanımı, (f_{yd} , f_{ywd}) aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$f_{yk} = 220$ MPa (S220a çelik karakteristik akma dayanımı)

$f_{yk} = 420$ MPa (S420a çelik karakteristik akma dayanımı)

$$f_{yk} = \frac{f_{ck}}{1.5} = \frac{25}{1.5} = 16.67 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = \frac{420}{1.15} = 365 \text{ MPa}$$

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = \frac{220}{1.15} = 191 \text{ MPa}$$

10 noktası için hesap momenti; $M_d = 55.34$ kNm $= 55.34 * 10^6$ (Tablo 3.1)

Basınç bloğu derinliği (a) aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$d = \text{kesit kalınlığı} - \text{pas payı} = 1000 - 50 = 950$ mm

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * M_d}{0.85 * f_{cd} * b_w}} = 950 - \sqrt{950^2 - \frac{2 * 55.34 * 10^6}{0.85 * 16.67 * 250}} = 17 \text{ mm}$$

Donatı alanı A_s aşağıdaki förmül yardımıyla bulunur.

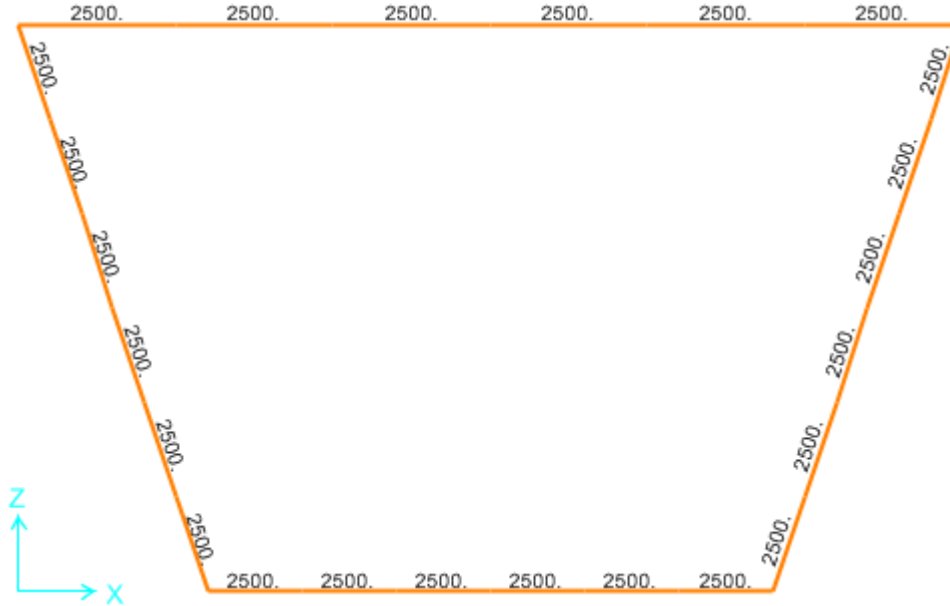
$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} * (d - \frac{a}{2})} = \frac{55.34 * 10^6}{365 * (950 - \frac{17}{2})} = 161 \text{ mm}^2 \rightarrow 201 \text{ mm}^2 (1\emptyset 16)$$

$$\rho = \frac{A_s}{d * b_w} = \frac{201}{950 * 250} = 0.0008$$

$\rho \leq \rho_{min}$ olduğundan hesaplarımızda ρ_{min} değerini kullanacağız.

$$A_s = A_{st} * \rho_{min} = 1000 * 250 * 0.01 = 2500 \text{ mm}^2 \rightarrow 8\emptyset 20 (2512 \text{ mm}^2)$$

En büyük moment değerimiz olmak üzere tüm noktalarda minimum donatı alanı hesaplanmıştır. Sap2000'den aldığımız Şekil 3.9'dan görüleceği üzere tüm noktalarda minimum donatı alanı çıkmıştır.



Şekil 3.9. Yamuk kesitli menfezin sap2000 boyuna donatı alanları

Kesme kuvvetlerine göre kayma donatısı hesabı yapılacaktır. İki kollu etriye alanı A_{sw} seçilir ve etriye aralığı hesaplanır. Her bir açıklık için elde edilen en büyük kesme kuvveti V_d dikkate alınarak açıklığa yerleştirilecek etriye aralığı (S) belirlenir.

$$V_{max} > V_d$$

$$V_{max} = 0.22 * f_{cd} * b_w * d = 0.22 * 16.67 * 250 * 950 = 871 \text{ N} > 166.77 \text{ N}$$

$$V_{cr} = 0.65 * f_{ctd} * b_w * d = 0.65 * 1.167 * 250 * 950 = 180.15 \text{ N}$$

$$V_c = 0.8 * V_{cr} = 0.8 * 180.15 = 144.12 \text{ N}$$

$V_d < V_{cr}$ olduğundan

$$\frac{A_{sw}}{S} = 0.3 * \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} * b_w = 0.3 * \frac{1.167}{191} * 250 = 0.46 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$\emptyset 10 \text{ iki kollu etriye için } A_{sw} = 2 * 79 \text{ mm} = 158 \text{ mm}$$

$$\frac{A_{sw}}{S} = 0.46 \rightarrow S = \frac{158}{0.46} = 344 \text{ mm}$$

$$S = \begin{cases} \frac{1000}{2} = 500 \\ 200 \text{ mm} \end{cases} \rightarrow \text{Açıklıkta 200mm}$$

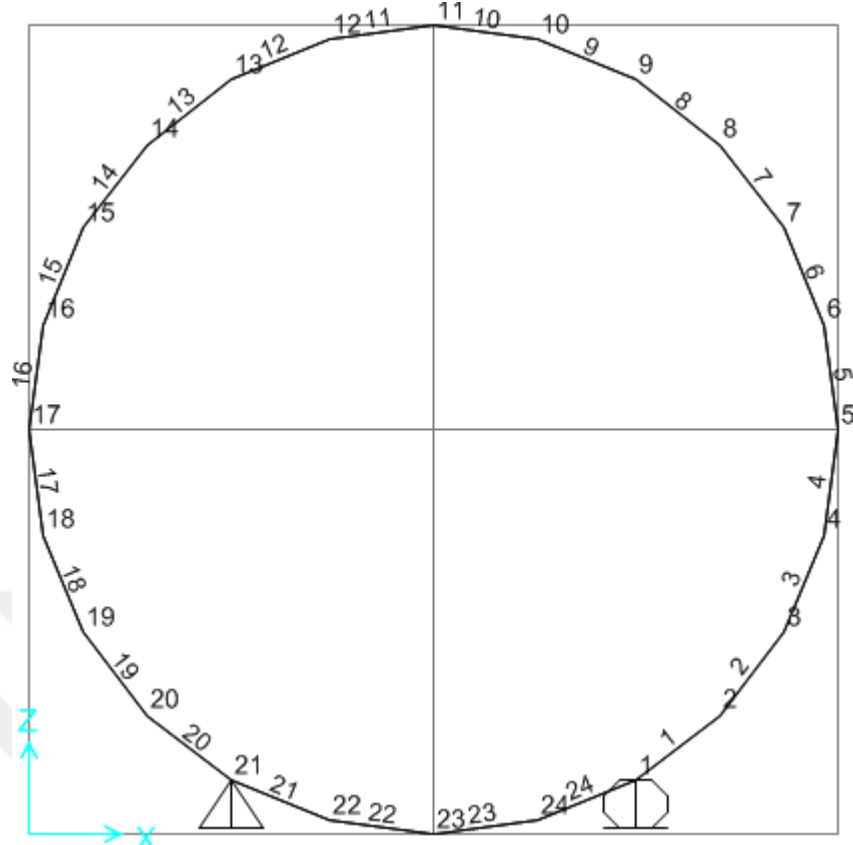
$$S = \begin{cases} \frac{1000}{4} = 250 \\ 100 \text{ mm} \end{cases} \rightarrow \text{Sarılma 100mm}$$

Kesme kuvvetine göre kayma donatısı sarılma bölgelerinde $\emptyset 10/10$,açıklıkta $\emptyset 10/20$ olarak hesaplanmıştır.

3.5.Boru Menfez İçin Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

3.5.1. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölüm de kare kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre modelin SAP2000'den çıkan sonuçları grafiklerle sunulmuştur. Şekil 3.10' da yapının SAP2000'de oluşturulmuş modellenmesi görülmektedir.



Şekil 3.10. Daire kesitli menfezin sap2000 modellemesi

3.5.1.1. Yerdeğiştirme

3.5.1.1.1. Düşey Yerdeğiştirme

Dairesel kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçları elde edilmiştir. Analizler sonucunda betonarme için en büyük düşey yerdeğiştirme değeri 0.96 mm'dir. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için 3.90 mm ve karbon lifli polimer malzeme için 1.10 mm olarak tespit edilmiştir. En düşük düşey yerdeğiştirme değeri betonarme malzemede elde edilmiştir.

3.5.1.1.2. Yatay Yerdeğiştirme

Yamuk kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçları elde edilmiştir. Analizler sonucunda betonarme için en büyük düşey yerdeğiştirme değeri 0.60 mm'dir. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için

1.95 mm ve karbon lifli polimer malzeme için 0.55 mm olarak tespit edilmiştir. En düşük düşey yerdeğiştirme değeri betonarme malzemede elde edilmiştir.

3.5.1.2. Eğilme momenti

Dairesel kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçlarında 45. noktada, maksimum eğilme momenti değerleri elde edilmiştir. Bu çalışmada, düşey yerdeğiştirme değerleri ise 5. ve 17. noktada maksimum değere ulaşmıştır. LP malzemelerin, eğilme momenti değerlerini daha iyi görmek amacıyla, elde edilen cam lifli polimer malzeme sonuçları ve karbon lifli polimer sonuçları, betonarme malzemenin kullanıldığı analiz sonuçları ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere bağlı olarak elde edilen eğilme momenti değerleri tablo 3.22'de verilmiştir. Analizlerde betonarme için maksimum eğilme momenti değeri -25.79 kNm'dir. Bu değer, cam lifli polimer için -25.16 kNm ve karbon lifli polimer için -24.99 kNm olarak tespit edilmiştir. Tablodan görüleceği üzere değerler birbirine yakın çıkmıştır. Lifli polimer malzemenin rijitliği, betonarmeye oranla daha yüksektir. Dolayısı ile betonarme için eğilme momenti değeri, cam ve karbon lifli polimer malzemeye göre daha fazladır.

Tablo 3.22. Dairesel kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2, kombinasyon 3 ve kombinasyon 4'e göre elde edilen eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 1			Kombinasyon 2			Kombinasyon 3			Kombinasyon 4		
		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)
1	1	-16.55	-15.85	-15.67	-17.13	-16.42	-16.25	-2.90	-2.41	-2.29	-10.43	-9.88	-9.74
2	2	3.17	3.19	3.18	3.18	3.20	3.19	1.92	1.92	1.91	2.31	2.32	2.31
3	3	16.99	16.57	16.45	17.55	17.12	7.01	4.93	4.61	4.53	11.18	10.84	10.74
4	4	24.26	23.63	23.46	25.20	24.57	24.40	6.19	5.74	5.61	15.79	15.29	15.15
5	5	-24.71	-24.08	-23.91	-25.79	-25.16	-24.99	-5.84	-5.38	-5.26	-16.00	-15.49	-15.36
6	6	-18.75	-18.26	-18.13	-19.70	-19.21	-19.08	-4.07	-3.72	-3.63	-12.09	-11.70	-11.60
7	7	-8.95	-8.60	-8.54	-9.43	-9.18	-9.12	-1.60	-1.43	-1.39	-5.67	-5.47	-5.42
8	8	2.17	2.16	2.14	2.14	2.12	2.11	0.87	0.85	0.84	1.46	1.44	1.43
9	9	11.85	11.60	11.52	12.40	12.15	12.07	2.83	2.63	2.58	7.69	7.48	7.42
10	10	18.33	17.91	17.79	19.35	18.93	18.81	4.00	3.67	3.58	11.85	11.51	11.41
11	11	20.56	20.08	19.94	21.77	21.30	21.16	4.35	4.00	3.90	13.28	12.89	12.78
12	12	18.33	17.91	17.79	19.35	18.93	18.81	4.00	3.67	3.58	11.85	11.51	11.41
13	13	11.85	11.60	11.52	12.40	12.15	12.07	2.83	2.63	2.58	7.69	7.48	7.42
14	14	2.17	2.16	2.14	2.14	2.12	2.11	0.87	0.85	0.84	1.46	1.44	1.43
15	15	-8.85	-8.60	-8.54	-9.43	-9.18	-9.12	-1.60	-1.43	-1.39	-5.67	-5.47	-5.42
16	16	-18.75	-18.26	-18.13	-19.70	-19.21	-19.08	-4.07	-3.72	-3.63	-12.09	-11.70	-11.60
17	17	24.71	24.08	23.91	25.79	25.16	24.99	-5.84	-5.38	-5.26	-16.00	-15.49	-15.36
18	18	24.26	23.63	23.46	25.20	24.57	24.40	6.19	5.74	5.61	15.79	15.29	15.15
19	19	16.99	16.57	16.45	17.55	17.12	17.01	4.93	4.61	4.53	11.18	10.84	10.74
20	20	3.17	3.19	3.18	3.18	3.20	3.19	1.92	1.92	1.91	2.31	2.32	2.31
21	21	-16.55	-15.85	-15.67	-17.13	-16.42	-16.25	-2.90	-2.41	-2.29	-10.43	-9.88	-9.74
22	22	-22.44	-21.89	-21.77	-23.43	-22.89	-27.76	-6.47	-6.10	-6.01	-14.83	-14.40	-14.30
23	23	-24.58	-24.09	-23.98	-25.72	-25.23	-25.12	-7.77	-7.45	-7.37	-16.42	-16.04	-15.95
24	24	-22.44	-21.89	-21.77	-23.43	-22.89	-22.76	-6.47	-6.10	-6.01	-14.83	-14.40	-14.30

3.5.1.3.Kesme Kuvveti

Dairesel kesitli menfez'in betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Betonarme, cam lifli polimer, karbon lifli polimere bağlı olarak elde edilen kesme kuvveti değerleri tablo 3.23'de verilmiştir. Tabliye mesnet noktasında maksimum eğilme momenti tespit edilmiştir. Analizlerde betonarme için maksimum kesme kuvveti değeri -101.44 kN'dur. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için -98.13 kN ve karbon lifli polimer malzeme için -97.28 kN olarak tespit edilmiştir.



Tablo 3.23. Dairesel kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2, kombinasyon 3 ve kombinasyon 4'e göre elde edilen kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 1			Kombinasyon 2			Kombinasyon 3			Kombinasyon 4		
		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)
1	1	-43.79	-44.86	-45.15	-45.94	-47.01	-47.30	-26.86	-27.64	-27.85	-32.48	-33.33	-33.56
2	2	-101.44	-98.13	-97.28	-104.00	-100.70	-99.84	-25.42	-23.05	-22.44	-65.53	-62.90	-62.21
3	3	-71.72	-69.61	-69.07	-73.95	-71.85	-71.31	-16.57	-15.08	-14.69	-46.09	-44.41	-43.98
4	4	-38.60	-37.64	-37.40	-39.92	-38.95	-38.71	-7.99	-7.32	-7.15	-24.59	-23.82	-23.63
5	5	-33.80	-33.02	-32.80	-33.78	-33.00	-32.78	-11.24	-10.65	-10.49	-22.25	-21.62	-21.44
6	6	-56.78	-55.47	-55.11	-58.06	-56.74	-56.38	-15.60	-14.63	-14.37	-36.95	-35.89	-35.60
7	7	-65.06	-63.54	-63.13	-67.26	-65.74	-65.33	-16.21	-15.09	-14.80	-42.14	-40.92	-40.59
8	8	-60.11	-58.69	-58.31	-62.65	-61.23	-60.85	-13.91	-12.87	-12.60	-38.82	-37.68	-37.37
9	9	-44.92	-43.85	-43.56	-47.05	-45.98	-45.69	-9.89	-9.11	-8.90	-28.95	-28.09	-27.86
10	10	-23.57	-23.03	-22.89	-24.48	-23.94	-23.80	-5.47	-5.08	-4.98	-15.20	-14.76	-14.65
11	11	-0.81	-0.87	-0.88	-0.21	-0.21	-0.17	2.03	2.07	2.08	-0.64	-0.68	-0.69
12	12	23.57	23.03	22.89	24.48	23.94	23.80	5.47	5.08	4.98	15.20	14.76	14.65
13	13	44.92	43.85	43.56	47.05	45.98	45.69	9.89	9.11	8.90	28.95	28.09	27.86
14	14	60.11	58.69	58.31	62.65	61.23	60.85	13.91	12.87	12.60	38.82	37.68	37.37
15	15	65.06	63.54	63.13	67.26	65.74	65.33	16.21	15.09	14.80	42.14	40.92	40.59
16	16	56.78	55.47	55.11	58.06	56.74	56.38	15.60	14.63	14.37	36.95	35.89	35.60
17	17	33.80	33.02	32.80	33.78	33.00	32.78	11.24	10.65	10.49	22.25	21.62	21.44
18	18	38.60	37.64	37.40	39.92	38.95	38.71	7.99	7.32	7.15	24.59	23.82	23.63
19	19	71.72	69.61	69.07	73.95	71.85	71.31	16.57	15.08	14.69	46.09	44.41	43.98
20	20	101.44	98.13	97.28	104.00	100.70	99.84	25.42	23.05	22.44	65.53	62.90	62.21
21	21	43.79	44.86	45.15	45.94	47.01	47.30	26.86	27.64	27.85	32.48	33.33	33.56
22	22	25.68	26.23	26.37	26.42	26.96	27.10	15.90	16.30	16.40	18.93	19.36	19.48
23	23	-3.81	-3.76	-3.75	-3.08	-3.03	-3.01	-2.60	-2.56	-2.55	-2.62	-2.58	-2.56
24	24	-25.68	-26.23	-26.37	-26.42	-26.96	-27.10	-15.90	-16.30	-16.40	-18.93	-19.36	-19.48

3.5.1.4.Normal Kuvveti

Dairesel kesitli menfez'in betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere bağlı olarak elde edilen normal kuvvet değerleri tablo 3.24'te verilmiştir. Analizlerde betonarme için maksimum normal kuvvet değeri -146.89 kN'dur. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için -143.40 kN ve karbon lifli polimer malzeme için -142.48 kN olarak tespit edilmiştir. Lifli polimer malzemelerin betonarmeye oranla daha hafif olması nedeni ile normal kuvvet değerlerinin betonarme için yüksek olması normaldir.



Tablo 3.24. Dairesel kesitli menfezin, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer malzemeye göre statik analizi sonucunda kombinasyon 1, kombinasyon 2, kombinasyon 3 ve kombinasyon 4'e göre elde edilen normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

Çubuk	Nokta	Kombinasyon 1			Kombinasyon 2			Kombinasyon 3			Kombinasyon 4		
		Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)	Betonarme (kN)	Cam Lifli Polimer (kN)	Karbon Lifli Polimer (kN)
1	1	-113.55	-110.22	-100.33	-109.10	-105.77	-104.88	-43.34	-40.92	-40.28	-74.86	-72.19	-71.48
2	2	-132.68	-128.90	-127.89	-130.11	-126.33	-125.33	-45.34	-42.60	-41.87	-86.93	-83.90	-83.09
3	3	-143.93	-140.12	-139.11	-142.86	-139.04	-138.03	-45.49	-42.73	-42.00	-93.86	-90.81	-90.00
4	4	-146.89	-143.40	-142.48	-146.71	-143.21	-142.29	-44.11	-41.59	-40.93	-95.45	-92.65	-91.92
5	5	-141.60	-138.69	-137.94	-141.60	-138.70	-137.94	-41.50	-39.41	-38.86	-91.77	-89.45	-88.84
6	6	-107.08	-104.94	-104.39	-106.56	-104.41	-103.86	-31.97	-30.44	-30.04	-69.38	-67.67	-67.22
7	7	-71.75	-70.41	-70.08	-70.06	-68.73	-68.39	-23.36	-22.42	-22.18	-46.56	-45.49	-45.22
8	8	-40.59	-39.99	-39.85	-37.28	-36.68	-36.54	-16.86	-16.46	-16.35	-26.52	-26.05	-25.94
9	9	-17.69	-17.67	-17.68	-12.54	-12.52	-12.54	-15.34	-15.14	-15.11	-11.89	-11.88	-11.89
10	10	-11.75	-11.85	-11.94	1.11	-5.47	0.68	-13.80	-13.95	-14.00	-8.22	-8.36	-8.40
11	11	-6.19	-6.58	-6.70	2.11	1.72	1.60	-15.41	-15.72	-15.80	-4.85	-5.17	-5.27
12	12	-5.82	-6.15	-6.26	1.08	0.77	0.66	-13.80	-13.95	-14.00	-4.42	-4.69	-4.77
13	13	-17.69	-17.67	-17.68	-12.54	-12.52	-12.54	-13.25	-13.26	-13.26	-11.89	-11.88	-11.88
14	14	-40.59	-39.99	-39.85	-37.28	-36.68	-36.54	-16.86	-16.46	-6.35	-26.52	-26.05	-25.94
15	15	-71.75	-70.41	-70.08	-70.06	-68.73	-68.39	-23.36	-22.42	-22.18	-46.56	-45.49	-45.22
16	16	-107.08	-104.94	-104.39	-106.56	-104.41	-103.86	-31.97	-30.44	-30.04	-69.38	-67.67	-67.22
17	17	-141.60	-138.69	-137.94	-141.60	-138.70	-137.94	-41.50	-39.41	-38.86	-91.77	-89.45	-88.84
18	18	-146.89	-143.40	-142.48	-146.71	-143.21	-142.29	-44.11	-41.59	-40.93	-95.45	-92.65	-91.92
19	19	-143.93	-140.12	-139.11	-142.86	-139.04	-138.03	-45.49	-42.73	-42.00	-93.86	-90.81	-90.00
20	20	-132.68	-128.90	-127.89	-130.11	-126.33	-125.33	-45.34	-42.60	-41.87	-86.93	-83.90	-83.09
21	21	-113.55	-110.22	-109.33	-109.10	-105.77	-104.88	-43.34	-40.92	-40.28	-74.86	-72.19	-71.48
22	22	-32.84	-32.52	-32.41	27.27	-26.95	-26.85	-22.17	-21.91	-21.83	-22.73	-22.46	-22.38
23	23	-28.96	-28.60	-28.51	-23.41	-23.05	-22.89	-19.74	-19.45	-19.37	-19.92	-19.59	-19.49
24	24	-32.84	-32.52	-32.41	-27.27	-26.95	-26.85	-22.17	-21.91	-21.83	-22.73	-22.46	-22.38

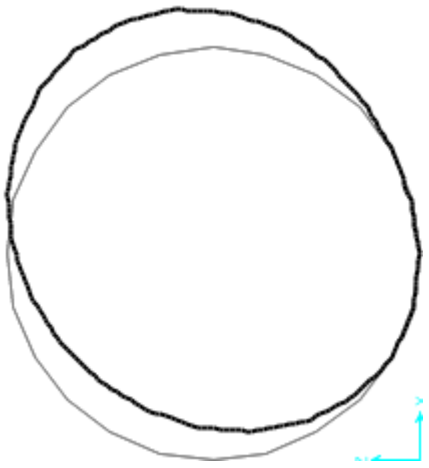
3.5.2. Modal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan hesaplarda dairesel kesitli menfezin analizlerinde 10 mod dikkate alınmıştır. Analizler sonucunda elde edilen 10 moda ait frekans ve periyot değerleri tablo 3.25’te verilmektedir. Modal analizlerden farklı mod frekanslarına rağmen, benzer mod şekilleri elde edilmiştir. Lifli polimer malzeme için elde edilen mod şekilleri, betonarme için elde edilen mod şekilleri ile benzer özellik göstermektedir

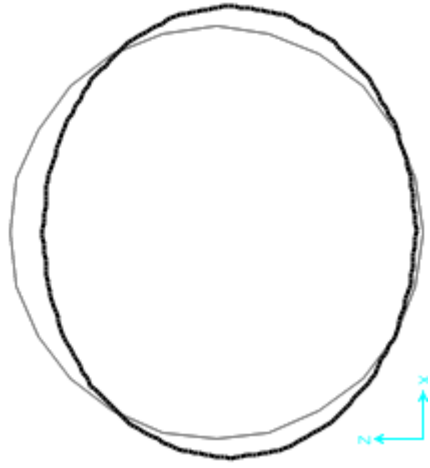
Karbon lifi polimer malzemeye bağlı olarak elde edilen frekans aralık değerlerinin, betonarme için elde edilen frekans aralık değerlerinden büyük olduğu Tablo 3.25’ de görülmektedir. Betonarme malzeme için hesaplanan frekans aralık değerleri “34.48 Hz” ile “875.44 Hz” aralığında değişmektedir. Cam lifi polimer malzeme için elde edilen frekans değerleri “24.94 Hz” ile “848.44 Hz” aralığındadır. Karbon lifli polimer malzeme için, frekans değerleri “55.96 Hz” ile “1812.09 Hz” arasında değişmektedir. Verilerden görüleceği üzere, betonarme malzeme için hesap edilen frekans değer aralığı, karbon lifli polimer malzeme değer aralığına göre daha küçük çıkmıştır.

Tablo 3.25. Dairesel kesitli menfezin betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere göre frekans ve periyot değerleri

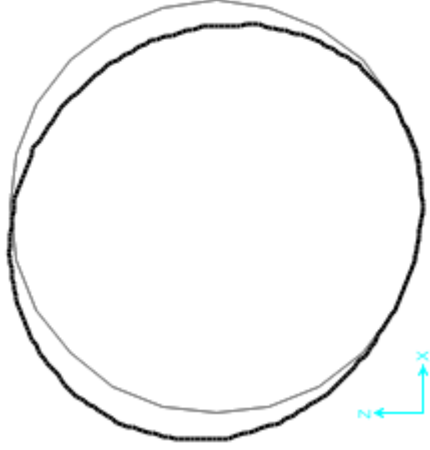
Mod No	Betonarme		Cam Lifli Polimer		Karbon Lifli Polimer	
	Periyod (saniye)	Frekans (Hz)	Periyod (saniye)	Frekans (Hz)	Periyod (saniye)	Frekans (Hz)
Mod 1	0.029	34.48	0.040	24.94	0.018	55.96
Mod 2	0.012	85.16	0.016	61.89	0.007	139.34
Mod 3	0.005	194.96	0.007	141.60	0.003	315.41
Mod 4	0.003	294.31	0.005	213.59	0.002	476.17
Mod 5	0.003	387.84	0.003	308.13	0.001	670.39
Mod 6	0.002	467.56	0.003	339.55	0.001	746.98
Mod 7	0.002	603.47	0.002	465.12	0.001	1011.89
Mod 8	0.001	744.98	0.002	585.83	0.001	1269.77
Mod 9	0.001	798.46	0.001	722.53	0.001	1551.83
Mod 10	0.001	875.44	0.001	848.44	0.001	1812.09

BETONARME

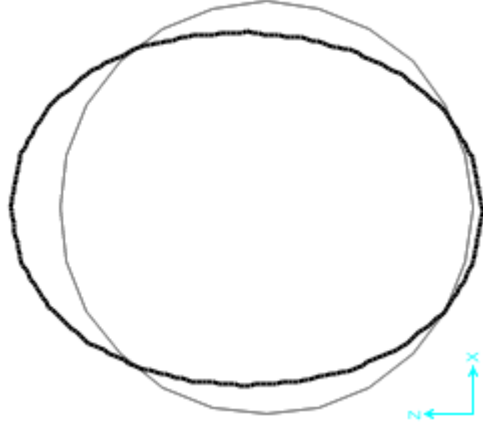
Mod 1 34.48 Hz 0.029s



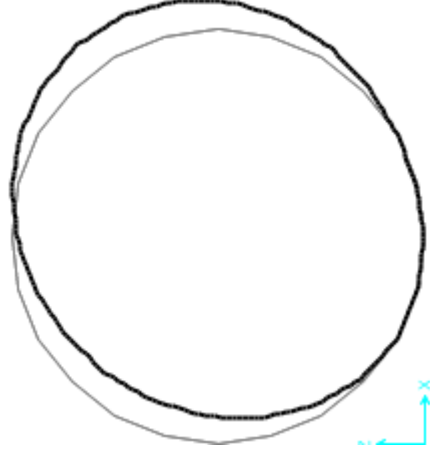
Mod 2 85.16 Hz 0.012s

LP-CAM

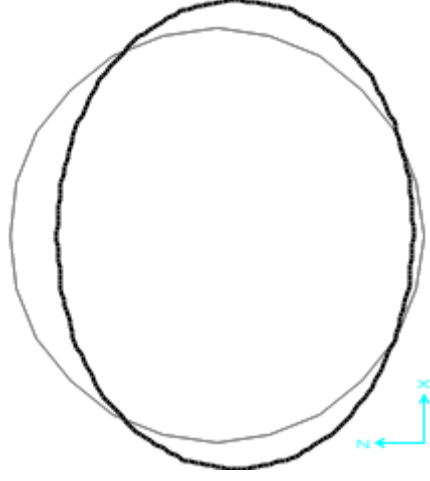
Mod 1 24.94 Hz 0.04 s



Mod 2 61.89 Hz 0.0016 s

LP-KARBON

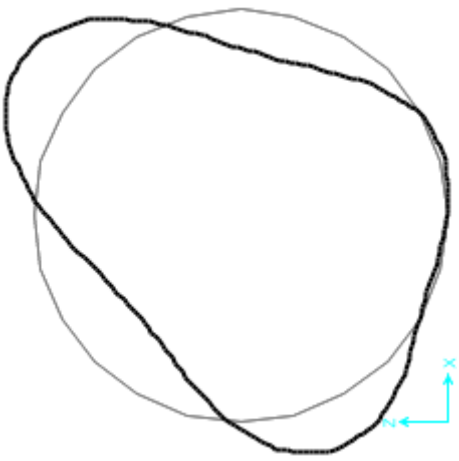
Mod 1 55.96 Hz 0.018 s



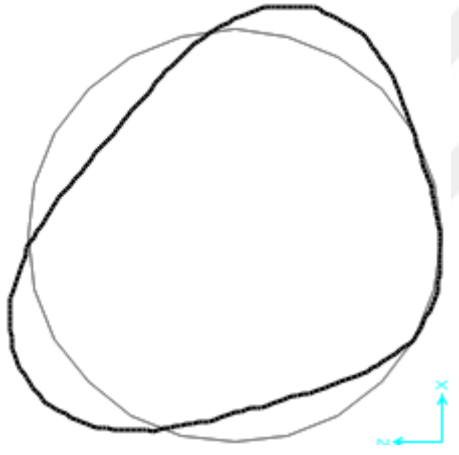
Mod 2 139.34 Hz 0.007 s

Şekil 3.11. Dairesel kesitli menfez betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimer bağli mod şekilleri

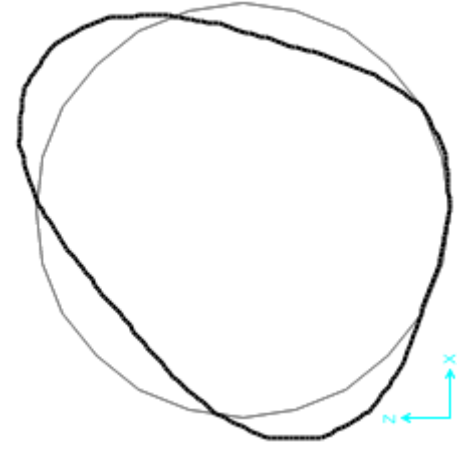
Şekil 3.11'in devamı



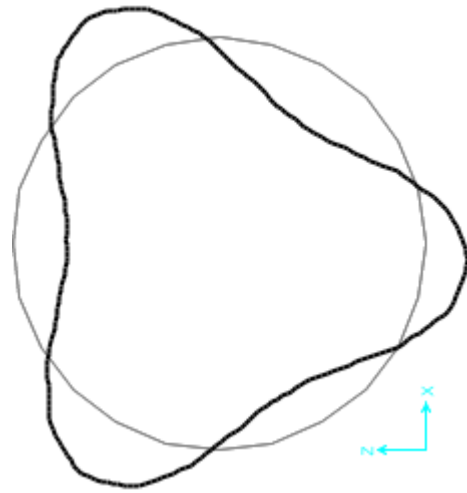
Mod 3 194.96 Hz 0.005 s



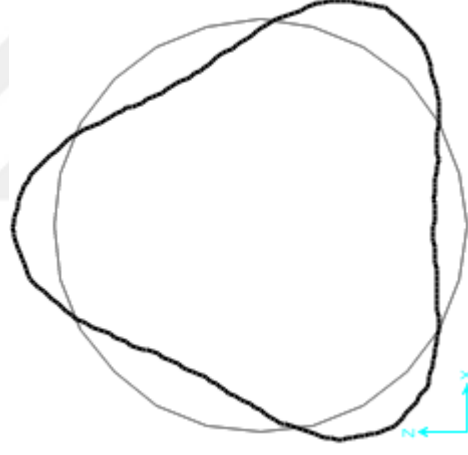
Mod 3 141.60 Hz 0.007 s



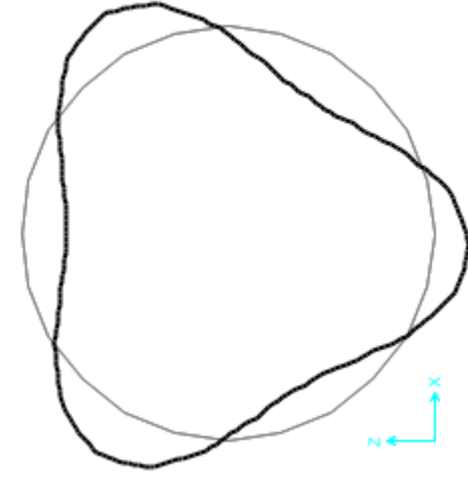
Mod 3 315.45 Hz 0.003 s



Mod 4 294.31 Hz 0.003 s

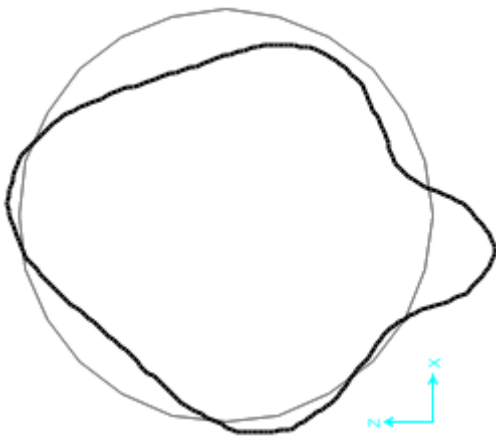


Mod 4 213.98 Hz 0.004 s

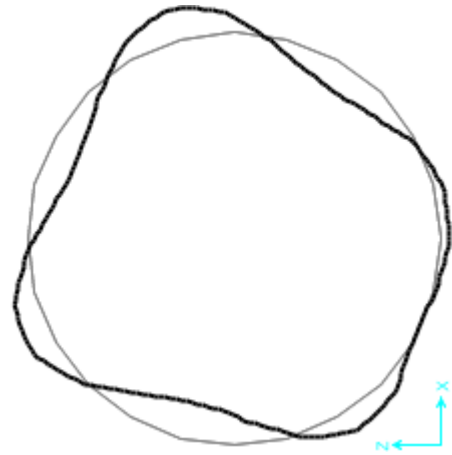


Mod 4 476.17 Hz 0.002 s

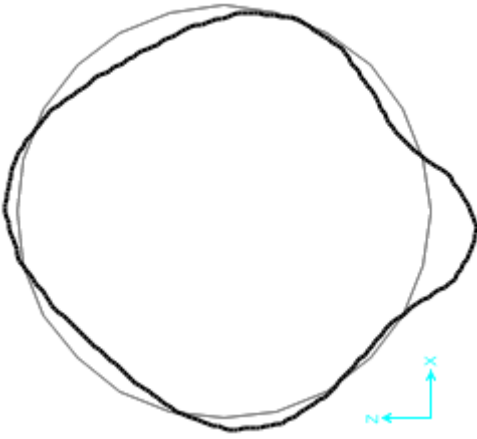
Şekil 3.8. devamı



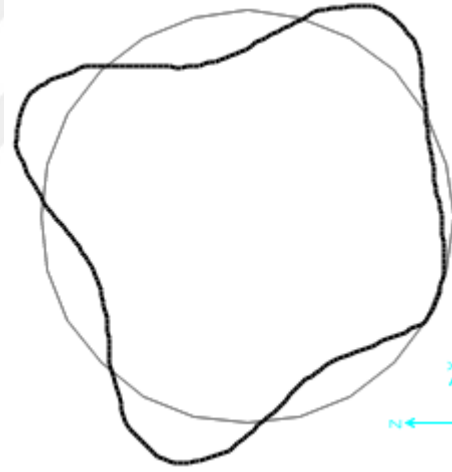
Mod 5 387.84 Hz 0.003 s



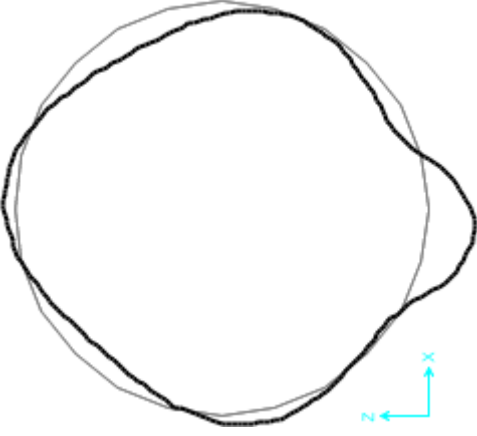
Mod 6 467.56 Hz 0.002 s



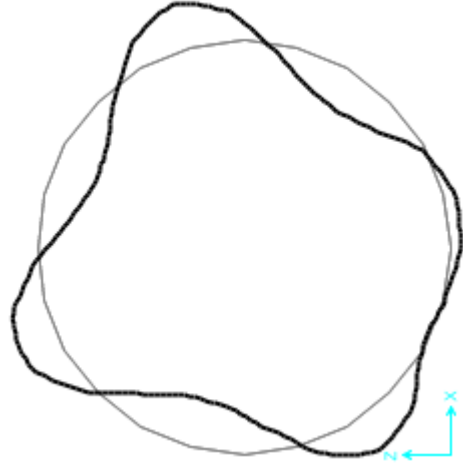
Mod 5 308.13 Hz 0.003 s



Mod 6 339.55 Hz 0.003 s

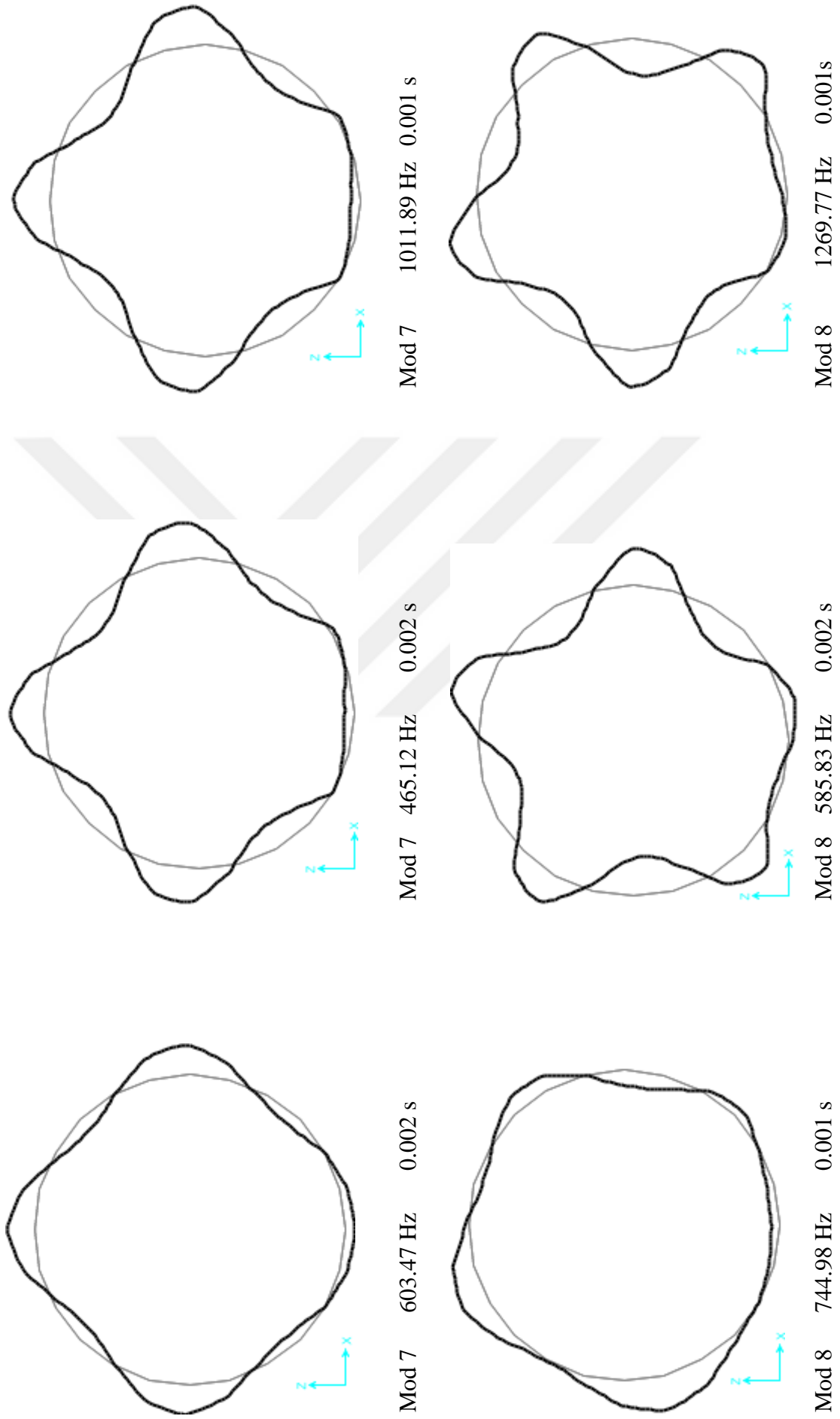


Mod 5 670.39 Hz 0.001 s

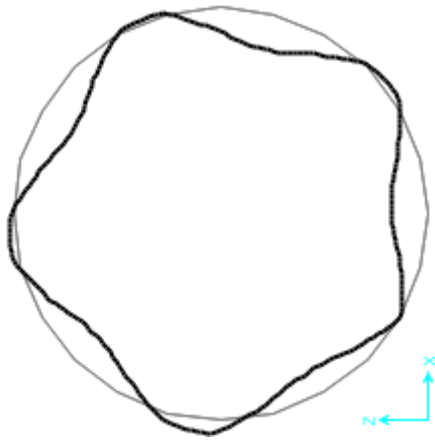


Mod 6 746.98 Hz 0.001 s

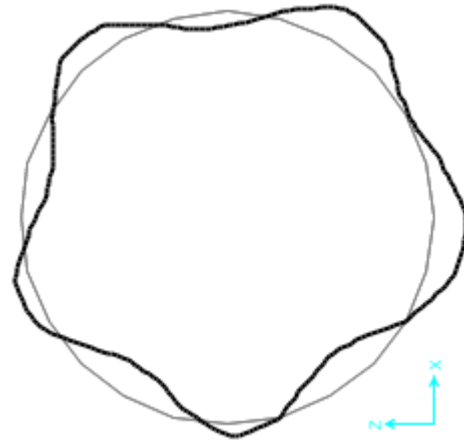
Şekil 3.8. devamı



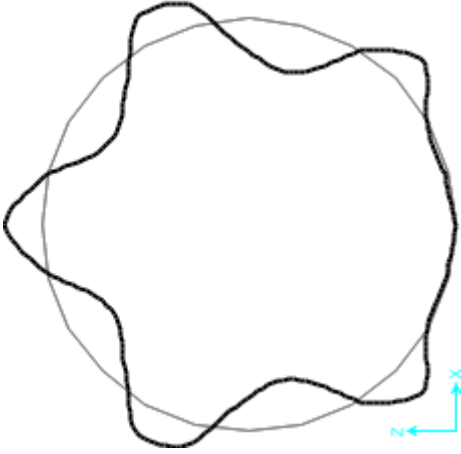
Şekil 3.8. devamı



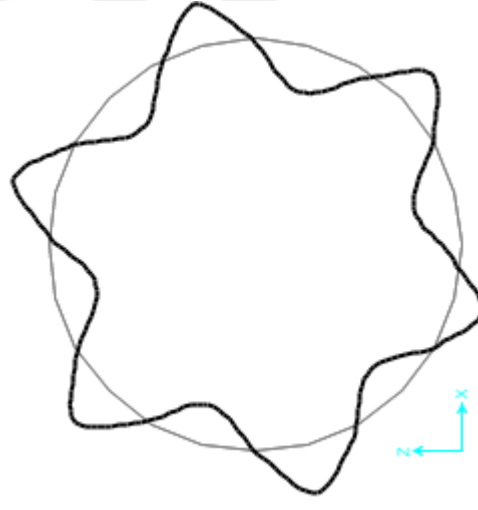
Mod 9 798.46 Hz 0.001 s



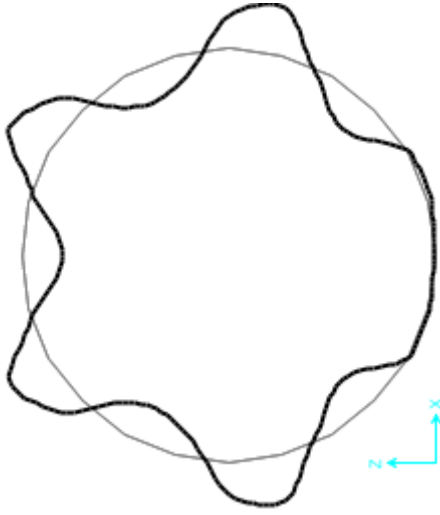
Mod 10 875.44 Hz 0.001 s



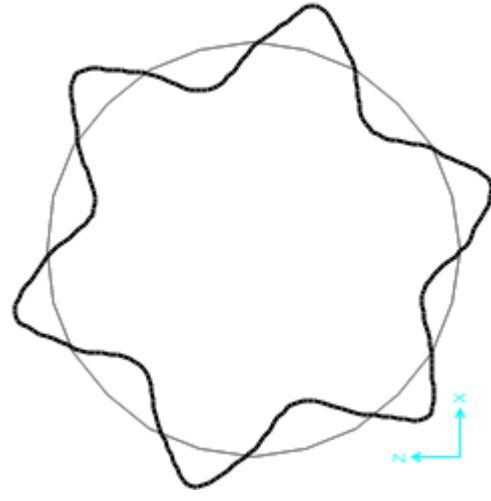
Mod 9 722.53 Hz 0.001 s



Mod 10 848.44 Hz 0.001 s



Mod 9 1551.83 Hz 0.001 s



Mod 10 1812.09 Hz 0.001s

3.5.3. Daire Kesitli Betonarme Menfezin Donatı Hesabı

Beton hesap basınç dayanımı, (f_{cd}) aşağıdaki förmül yardımıyla bulunur.

$f_{ck} = 25$ MPa (C25 betonu için karakteristik basınç dayanımı)

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1.5} = \frac{25}{1.5} = 16.67 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 16.67 \text{ MPa}$$

Beton hesap çekme dayanımı, (f_{ctd}) aşağıdaki förmül yardımıyla bulunur.

$f_{ctk} = 1.75$ MPa (C25 betonu için karakteristik çekme dayanımı)

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{1.15} = \frac{1.75}{1.15} = 1.167 \text{ MPa}$$

Donatı çeliği hesap akma dayanımı, (f_{yd} , f_{ywd}) aşağıdaki förmül yardımıyla bulunur.

$f_{yk} = 220$ MPa (S220a çelik karakteristik akma dayanımı)

$f_{yk} = 420$ MPa (S420a çelik karakteristik akma dayanımı)

$$f_{yk} = \frac{f_{ck}}{1.5} = \frac{25}{1.5} = 16.67 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = \frac{420}{1.15} = 365 \text{ MPa}$$

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = \frac{220}{1.15} = 191 \text{ MPa}$$

10 noktası için hesap momenti; $M_d = 25.79 \text{ kNm} = 25.79 * 10^6$ (Tablo 3.1)

Basınç bloğu derinliği (a) aşağıdaki förmül yardımıyla bulunur.

$d = \text{kesit kalınlığı} - \text{pas payı} = 1000 - 50 = 950 \text{ mm}$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * M_d}{0.85 * f_{cd} * b_w}} = 950 - \sqrt{950^2 - \frac{2 * 25.79 * 10^6}{0.85 * 16.67 * 250}} = 7.7 \text{ mm}$$

Donatı alanı A_s aşağıdaki förmül yardımıyla bulunur.

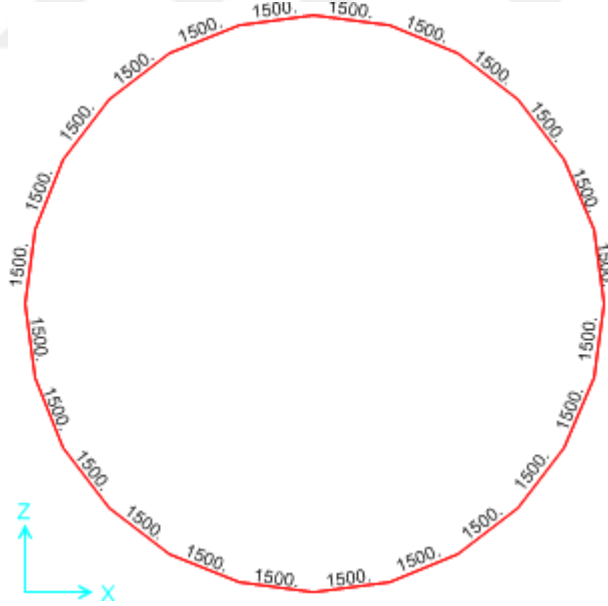
$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} * (d - \frac{a}{2})} = \frac{25.39 * 10^6}{365 * (950 - \frac{7.7}{2})} = 73.52 \text{ mm}^2 \rightarrow 113 \text{ mm}^2 (1\emptyset 12)$$

$$\rho = \frac{A_s}{d * b_w} = \frac{113}{950 * 250} = 0.0004$$

$\rho \leq \rho_{min}$ olduğundan hesaplarımızda ρ_{min} değerini kullanacağız.

$$A_s = A_{st} * \rho_{min} = 1000 * 250 * 0.01 = 1500 \text{ mm}^2 \rightarrow 5\emptyset 20 (1570 \text{ mm}^2)$$

En büyük moment değerimiz olmak üzere tüm noktalarda minimum donatı alanı hesaplanmıştır. Sap2000'den aldığımız Şekil 3.12'den görüleceği üzere tüm noktalarda minimum donatı alanı çıkmıştır.



Şekil 3.12. Dairesel kesitli menfezin sap2000 boyuna donatı alanları

Kesme kuvvetlerine göre kayma donatısı hesabı yapılacaktır. İki kollu etriye alanı A_{sw} seçilir ve etriye aralığı hesaplanır. Her bir açıklık için elde edilen en büyük kesme kuvveti

V_d dikkate alınarak açıklığa yerleştirilecek etriye aralığı (S) belirlenir.

$$V_{\max} > V_d$$

$$V_{\max} = 0.22 * f_{cd} * b_w * d = 0.22 * 16.67 * 250 * 950 = 871 \text{ N} > 104 \text{ N}$$

$$V_{cr} = 0.65 * f_{ctd} * b_w * d = 0.65 * 1.167 * 250 * 950 = 180.15 \text{ N}$$

$$V_c = 0.8 * V_{cr} = 0.8 * 180.15 = 144.12 \text{ N}$$

$V_d < V_{cr}$ olduğundan

$$\frac{A_{sw}}{S} = 0.3 * \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} * b_w = 0.3 * \frac{1.167}{191} * 250 = 0.46 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$\varnothing 10 \text{ iki kollu etriye için } A_{sw} = 2 * 79 \text{ mm} = 158 \text{ mm}$$

$$\frac{A_{sw}}{S} = 0.46 \rightarrow S = \frac{158}{0.46} = 344 \text{ mm}$$

$$S = \begin{cases} \frac{1000}{2} = 500 \\ 200 \text{ mm} \end{cases} \rightarrow \text{Açıklıkta 200mm}$$

$$S = \begin{cases} \frac{1000}{4} = 250 \\ 100 \text{ mm} \end{cases} \rightarrow \text{Sarılma 100mm}$$

Kesme kuvvetine göre kayma donatısı sarılma bölgelerinde $\varnothing 10/10$,açıklıkta $\varnothing 10/20$ olarak hesaplanmıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, lifli polimer malzeme (cam ve karbon lifli polimer) kullanılarak dikdörtgen, kare, yamuk ve dairesel kesitli menfezin statik ve mod birleştirme yöntemine göre oluşturulmuş spektrum grafiği ile modal analiz durumu incelenmiştir. Aynı menfez modeli betonarme malzeme olarak da analiz edilmiş ve analiz sonuçları karşılaştırılmalı olarak tablo halinde verilmiştir. Statik hesabı ve mod birleştirme yöntemi AASHTO-LFRD yönetmeliğine göre yapılmıştır. Gölcük İlçesinin AASHTO-LFRD yönetmeliği ile oluşturulmuş spektrum grafiği kullanılmıştır. Modal analizinde sönüm oranı %5,0 olarak seçilmiştir, dikdörtgen, kare, yamuk ve dairesel kesit için 10 mod dikkate alınmıştır. Bu tez kapsamında, betonarme, cam lifli polimer ve karbon lifli polimere göre yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Modal analizlere bağlı olarak edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- ✓ Modal analizlerde, farklı mod frekanslarına rağmen, cam lifli Polimer ve karbon lifli polimer malzemelerde benzer mod şekilleri elde edilmiş.
- ✓ Dikdörtgen kesitli betonarme menfez için hesaplanan frekans değerleri “32.97 Hz” ile “515.67 Hz” aralığında değişmektedir. Cam lifli polimer malzeme için elde edilen frekans değerleri “20.67 Hz” ile “418.64 Hz” aralığındadır. Karbon lifli polimer malzeme için, frekans değerleri “46.62 Hz” ile “912.33 Hz” arasında değişmektedir. Kare kesitli betonarme menfez için hesaplanan frekans değerleri “44.08 Hz” ile “681.66 Hz” aralığında değişmektedir. Cam lifli polimer malzeme için elde edilen frekans değerleri “27.74 Hz” ile “702.85 Hz” aralığındadır. Karbon lifli polimer malzeme için, frekans değerleri “62.24 Hz” ile “1517.75 Hz” arasında değişmektedir. Yamuk şekilli betonarme menfez için hesaplanan frekans değerleri “28.49 Hz” ile “561.80 Hz” aralığında değişmektedir. Cam lifli polimer malzeme için elde edilen frekans değerleri “17.82 Hz” ile “467.98 Hz” aralığındadır. Karbon lifli polimer malzeme için, frekans değerleri “40.08 Hz” ile “999.42 Hz” arasında değişmektedir. Daire şekilli betonarme menfez için hesaplanan frekans değerleri “34.48 Hz” ile “875.44 Hz” aralığında değişmektedir. Cam lifli polimer malzeme için elde edilen frekans değerleri “24.94 Hz” ile “848.44 Hz” aralığındadır. Karbon lifli polimer malzeme için, frekans değerleri “55.96 Hz” ile “1812.09 Hz” arasında değişmektedir.

Statik analizler sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

✓ Dikdörtgen kesitli betonarme menfez için hesaplanan maksimum düşey yerdeğiştirme 0.96 mm'dir. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için elde edilen 6.4 mm ve karbon lifli polimer malzeme için, 1.81 mm olarak belirlenmiştir. Kare kesitli betonarme menfez için hesaplanan maksimum düşey yerdeğiştirme 0.15 mm'dir. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için elde edilen 0.84 mm ve karbon lifli polimer malzeme için 0.24 mm olarak belirlenmiştir. Yamuk kesitli betonarme menfez için hesaplanan maksimum düşey yerdeğiştirme -0.83 mm'dir. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için elde edilen 5.15 mm ve karbon lifli polimer malzeme için 1.47 olarak belirlenmiştir. Daire kesitli betonarme menfez için hesaplanan maksimum düşey yerdeğiştirme 0.96 mm'dir. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için elde edilen 3.90 mm ve karbon lifli polimer malzeme için 1.10 mm olarak belirlenmiştir.

✓ Dikdörtgen kesitli betonarme menfez için hesaplanan maksimum yatay yerdeğiştirme 0.17 mm'dir. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için elde edilen 1.64 mm ve karbon lifli polimer malzeme için, 0.46 mm olarak belirlenmiştir. Kare şekilli betonarme menfez için hesaplanan maksimum yatay yerdeğiştirme 0.04 mm'dir. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için elde edilen 0.30 mm ve karbon lifli polimer malzeme için 0.08 mm olarak belirlenmiştir. Yamuk kesitli betonarme menfez için hesaplanan maksimum yatay yerdeğiştirme 0.17 mm'dir. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için elde edilen 1.07 mm ve karbon lifli polimer malzeme için 0.30 mm olarak belirlenmiştir. Daire kesitli betonarme menfez için hesaplanan maksimum yatay yerdeğiştirme 0.60 mm'dir. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için elde edilen 1.95 mm ve karbon lifli polimer malzeme için, 0.55 mm olarak belirlenmiştir.

✓ Dikdörtgen kesitli betonarme menfez için, maksimum eğilme momenti değeri 64.33 kNm'dir. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için 65.44 kNm ve Karbon lifli polimer malzeme için 65.19 kNm olarak tespit edilmiştir. Kare kesitli betonarme menfez için, maksimum eğilme momenti değeri 21.98 kNm'dir. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için 21.25 kNm ve karbon lifli polimer malzeme için 21.16 kNm olarak tespit edilmiştir. Yamuk kesitli betonarme menfez için, maksimum eğilme momenti değeri 55.34 kNm'dir. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için 53.41 kNm ve karbon lifli polimer malzeme için 53.33 kNm olarak tespit edilmiştir. Daire kesitli betonarme menfez için, maksimum eğilme momenti değeri -25.79 kNm'dir. Bu değer, cam lifli polimer malzeme için -25.16 kNm ve karbon lifli polimer malzeme için -24.99 kNm olarak tespit edilmiştir.

✓ Dikdörtgen kesitli betonarme menfez için, tabliye orta noktasında maksimum eğilme momenti tespit edilmiştir. Analizlerde, betonarme için, maksimum kesme kuvveti değeri 200.1 kN'dur. Bu deger, cam lifli polimer malzeme için 194.18 kN ve karbon lifli polimer malzeme için 192.99 kN olarak tespit edilmiştir. Kare şekilli betonarme menfez için, tabliye orta noktasında maksimum eğilme momenti tespit edilmiştir. Analizlerde, betonarme için, maksimum kesme kuvveti değeri 100.61 kN'dur. Bu deger, cam lifli polimer malzeme için 97.06 kN ve karbon lifli polimer malzeme için 96.34 kN olarak tespit edilmiştir. Yamuk kesitli betonarme menfez için, tabliye orta noktasında maksimum eğilme momenti tespit edilmiştir. Analizlerde, betonarme için, maksimum kesme kuvveti değeri 169.79 kN'dur. Bu deger, cam lifli polimer malzeme için 163.87 kN ve karbon lifli polimer malzeme için 162.68 kN olarak tespit edilmiştir. Daire kesitli betonarme menfez için, tabliye orta noktasında maksimum eğilme momenti tespit edilmiştir. Analizlerde, betonarme için, maksimum kesme kuvveti değeri -101.44 kN'dur. Bu deger, cam lifli polimer malzeme için -98.13 kN ve karbon lifli polimer malzeme için -97.28 kN olarak tespit edilmiştir.

✓ Dikdörtgen kesitli betonarme menfez için, tabliye orta noktasında maksimum eğilme momenti tespit edilmiştir. Analizlerde, betonarme için, maksimum normal kuvveti değeri -211.82 kN'dur. Bu deger, cam lifli polimer malzeme için -198.78 kN ve karbon lifli polimer malzeme için -196.18 kN olarak tespit edilmiştir. Kare kesitli betonarme menfez için, tabliye orta noktasında maksimum eğilme momenti tespit edilmiştir. Analizlerde, betonarme için, maksimum normal kuvveti değeri -112.33 kN'dur. Bu deger, cam lifli polimer malzeme için -101.67 kN ve karbon lifli polimer malzeme için -99.53 kN olarak tespit edilmiştir. Yamuk kesitli betonarme menfez için, tabliye orta noktasında maksimum eğilme momenti tespit edilmiştir. Analizlerde, betonarme için, maksimum kesme kuvveti değeri -190.92 kN'dur. Bu deger, cam lifli polimer malzeme için -177.88 kN ve karbon lifli polimer malzeme için -175.30 kN olarak tespit edilmiştir. Daire kesitli betonarme menfez için, alt orta noktasında maksimum eğilme momenti tespit edilmiştir. Analizlerde, betonarme için, maksimum kesme kuvveti değeri -146.89 kN'dur. Bu deger, cam lifli polimer malzeme için -143.40 kN ve karbon lifli polimer malzeme için -142.48 kN olarak tespit edilmiştir.

✓ Cam ve karbon lifli polimer kompozit malzemeye bağlı olarak elde edilen frekans değerleri, kare kesitli menfezde betonarme malzeme için elde edilen frekans değerlerinden büyüktür. Dikdörtgen, yamuk ve dairesel kesitli menfezlerde ise karbon lifli polimer malzemedede betonarme malzemededen daha büyük frekans değerleri elde edilmiştir. Bu da karbon lifli polimer malzemenin rijid olmasından kaynaklanmaktadır.

✓ Kare, yamuk ve dairesel kesitli menfezlerde betonarme için eğilme momenti değeri, cam ve karbon lifli polimer malzemeye göre daha büyük çıkmıştır. Buna rağmen en küçük yerdeğiştirme değerinin betonarme malzemede daha düşük çıkması kalınlıkların farklı olmasından dolayıdır.

✓ Lifli polimer malzemelerin betonarmeye oranla daha hafif olması nedeni ile normal kuvvet değerlerinin betonarme için yüksek olması normaldir.

✓ Beklenildiği gibi cam ve karbon lifli polimer ve betonarme tasarımları arasındaki bu farklar, her üç malzemenin mekanik ve fiziksel malzeme özelliklerinin çeşitliliğinden kaynaklanmaktadır. Lifli polimer kompozitlerin ana karakteristik özelliklerinden biri, kendilerine özgü yüksek dayanım ve rijitlikleridir.

✓ Betonarme malzeme için kare kesitli menfezde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Dairesel kesitli menfezin kesit kalınlığı daha az olmasına rağmen kare kesitli menfeze yakın değerler elde edilmiştir. Dikdörtgen kesitli menfez daha kötü davranış sergilemiştir.

✓ Lifli polimer malzemeler ile betonarme malzeme arasındaki eğilme momenti, kesme kuvveti değeri ve normal kuvvet değerleri birbirine yakın değerlerde çıkmıştır. Kesit kalınlığı lifli polimer malzemede daha küçük olduğundan dolayı sağlıklı bir yorum yapılamayacaktır fakat uygulamada yapılacak en uygun kalınlık için karbon lifli polimer malzemede çok iyi sonuçlar elde edilecektir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında yapılan bazı öneriler maddeler halinde aşağıda sunulmaktadır:

✓ Lifli kompozitlerin hafif ağırlıkları ve mekanik özelliklerinin iyi derecede olması, onları uygulamalar için üstün kılmaktadır.

✓ Analitik olarak yapılan bu çalışma deneysel olarakta yapıp karşılaştırılabilir.

✓ Bu çalışmada betonarme malzeme ile ve lifli polimer kompozit malzemeler karşılaştırılmıştır. Bu çalışma çelik malzeme olarakta yapıp kıyaslanabilir.

5. KAYNAKLAR

- A.P Mooser, 1990. Burried Pipe Design, Mc Graw Hill, New York.
- AASHTO, 2002. Standard Specifications for Highway Bridges, Seventeenth Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO LRFD, 2007. Bridge Design Specifications, Fourth Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials.
- 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, DOI: 10.1177/0731684411418391.
- Akoğul, C., 2017. Prekast Kirişli Betonarme Köprülerin Aashto'ya Göre Depreme Dayanıklı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arın, A., 2006. Fiber İle Güçlendirilmiş Betonarme Kiriş ve Plakların Rijitlik ve Kesme Tepkilerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi.Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- 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.
- Aşkan, H., A.,1996. Menfezlerin Projelendirilmesi İçin Taşkın Hesap Metodları, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Atabey, N., A., 2011. Lifli Polimer Kompozit Asma Köprülerin Statik ve Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ay, M., 2016. Design of Road-Crossing Drainage Culverts Using GIS Data, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Aydın, F., 2011. Cam Lifi Takviyeli Plastik (GFRP) Kompozit ve Beton İle Üretilen Hibrit Yapı Elemanlarının Mekanik Performansının Araştırılması, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Baradan, B. Yazıcı, H. ve Ün, H.İ., 2010. Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)' Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, İstanbul.
- Bonfiglioli, B., Pascale, G., ve De Mingo, S.M., 2004. Dynamic Testing of Reinforced Concrete Beams Damaged and Repaired with Fiber Reinforced Polymer Sheets, Journal of Materials in Civil Engineering, 16, 400-406.
- C.H. Oglesby and R.G. Hichs,1982. Highway Engineering, IV Edition, John Wiley & Sons, N.Y.

- Cao, V.V. ve Ronagh, H.R., 2014. Reducing the Potential Seismic Damage of Reinforced Concrete Frames using Plastic Hinge Relocation by FRP, Composites: Part B, 60,688-696.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Cripps, A., 2002. Fiber Reinforced Polymer Composites In Construction, Construction Industry Research & Information Association (CIRIA), February.
- Çalışkan, E., ve Acar, H., H., 2003. Orman Yollarında Hidrolik Sanat Yapılarının İncelenmesi, Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi., 1,2, 137-143.
- Çalışkan, E. Şentürk, N. ve Acar, H.H., 2006. Orman Yollarında Hidrolik Sanat Yapısı İhtiyacının Gis Ve Gps Kullanılarak Araştırılması, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 56,2, 176-190
- Çetinkaya, N., Kaplan, H. ve Şenel, M.,2003. “Betonarme Kirişlerin Lifli Polimer Malzemeler Kullanılarak Onarım ve Güçlendirilmesi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli.
- DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Ekiz, Y., 2013. Yapı Elemanlarında Çelik Donatı Yerine Cam Elyaf Takviyeli Plastik (CTP) Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Emmons, P. H. Vaysburg, A. M. and Thomas, J., 1998. Strengthening of Concrete Structures, Part II, Advanced Composites, ACI Concrete International, 20, 4, 56-60.
- Ersoy, U. ve Uzsoy, S., 1971. The Behavior and Strength of Infilled Frames, Report No.MAG 205, Tubitak, Ankara, Turkey.
- Ertürkmen, D., Dündar, C., ve Tokgöz, S., 2016, Karbon Lifli Polimer Sargılı Narin Betonarme Kolonların Moment Büyütme Yöntemi ile Analizi, Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 31,1, 11-21.
- Eslami, A., ve Ronagh, H.R., 2013. Effect of FRP Wrapping in Seismic Performance of RC Buildings with and without Special Detailing-A Case Study, Composites: Part B,45, 1265-1274.
- Fakharifar, M., Sharbatdar, M.K., Lin, Z., Dalvand, A., Sivandi-Pour, A., ve Chen, G., 2014. Seismic Performance and Global Ductility of RC Frames Rehabilitated with Retrofitted Joints by CFRP Laminates, Earthq. Eng. & Eng. Vib., 13, 59-73.
- Fico, R., 2006, Limit States Design of Concrete Structures Reinforced with Frp Bars, PhD Thesis, University of Naples Federico II.
- Gül, A., 1999, Cross-drainage&culvert design on highways, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Gümüşderelioğlu, M., 2004. Geleceğin Malzemeleri, Kompozit Malzemeler, Bilim ve Teknik Dergisi, 2-5.
- 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.
- Hamad, M., 2013. Investigation of Flow Characteristics Through Box Shape Culvert Combined With Broad Crested Weir, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Jacobson D.A., 2004. Experimental and Analytical Study of Fiber Reinforced Polymer (FRP) Grid-Reinforced Concrete Bridge Decking, MSc Thesis, University of Wisconsin-Madison.
- Jafarov, O., 2012. Lifli Polimerle Güçlendirilmiş Yığma Duvarların Modellenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Khalifa, M.A., Hodhod, O.A. ve Zaki, M.A., 1996. Analysis and Design Methodology for An FRP Cable – Stayed Pedestrian Bridge, Composites, Part B 27B, 307-317.
- Kheradi, H., Ye, B., Nişhi, H., Oka, R., ve Zhang, F., ,2017, Optimum Pattern Of Ground Improvement For Enhancing Seismic Resistance Of Existing Box Culvert Buried In Soft Ground , Tunnelling and Underground Space Technology , 69 ,187-202.
- Kuş, M., 2017. Theoretical Effects Of Geometrical Parameters On Reinforced Concrete Box Culverts, Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- M. Uslu, 1979. Prefabrike Kanalizasyon Kanalları ve Boru Hatlarının Döşenmesine Ait Talimatlar, Alman Normları DIN 4033, İller Bankası, Ankara.
- 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.
- Ohde, J. 1938. "Zur Theorie des Erddruckes unter besonderer Berücksichtigung der Erdruck Verteilung (On earth Pressure with Special Consideration to Earth Pressure Distribution)", Bautechnik, 16,150-159,176-180,241-245,331-335,480-487,570-571,753,671.
- 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, Ankara,
- Özcan, O., Binici, B., ve Özcebe, G., 2010. Yetersiz Betonarme Kolonlar için Lifli Polimer Güçlendirme Tasarım Kurallarının İrdelenmesi, İMO Teknik Dergi, 339, 5219-5239.
- Öztürk, A., 2001. Karayolu Menfezlerinin Hidrolik Yönden İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Öztürk, M., Kaya, N., ve Aşkan, H., A., 2003. Menfezlerin Projelendirilmesinde Kullanılan Taşkın Hesap Metodlarının Değerlendirilmesi, SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi., 7,2,167-171.
- Öztürk, T., ve İnan, M., 2010. Orman Yollarında Drenaj Yapılarının Konumlarının ve Boyutlarının Belirlenmesinde Cbs'nin Kullanılması III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Ekim, Gebze-Kocaeli, Bildiriler Kitabı: 736 - 744.
- Peker, Ö., 2005. "Düşük Dayanımlı Betonarme Elemanların CFRP ile Güçlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- R.K. Linsley and J.B. Franzini, 1955. Elements of Hydraulic Engineering, Mc-Graw Hill Book Comp. Inc., New York.
- Rizkalla, S., Hassan T., and Hassan, N., 2003, Design Recommendations for the use of FRP for Reinforcement and Strengthening of Concrete Structures. Prog. Struct. Engng Concrete Construction Mater., 1, 5, 16–28.
- Tan, K.H., 2002. Strength Enhancement of Rectangular Reinforced Concrete Columns using Fiber-Reinforced Polymer, ASCE Journal of Composites for Construction, 6,3, 175-183.
- Tanarslan, 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 Methods, Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Terzaghi, K., Peck, R.B., and Mesri, G. 1996. Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Uluğ, N.İ., 2008. Öngerilmeli Bir Köprü Tasarımı ve Performans Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ülgen, D., 2011. An Experimental Study On The Behavior Of Box-Shaped Culverts Buried İn Sand Under Dynamic Excitations, O.D.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Wu, W.,1990. Thermo mechanical properties of fiber reinforced plastics (FRP) bars, Doktora Tezi, West Virginia University, Amerika,
- 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, Elazığ.

- Yavuz, G., 2011. Lif Takviyeli Polimerlerin Betonarme Kirişlerde Donatı Olarak Kullanımı, e-Journal of New World Sciences Academy ,6,4, 1001-1015.
- Yayla, N., 2004. Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Zhang, X.J. and Ying, L.D., 2007. Aerodynamic Stability of Cable – Supported Bridges Using CFRP Cables, Journal of Zhejiang University Science A, 8, 5, 693-698.
- Zhang, X.J., 2008. Mechanics Feasibility of Using CFRP Cables in Super Long-Span Cable-Stayed Bridges, Structural Engineering and Mechanics, 29, 5, 30, 567-579.
- Zheng, H., Teng, J. and Lü, Z., 2010. The Cables Behavior of Long-Span Suspension Bridge with CFRP Cable System During Erection, International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), June, Wuhan.
- URL-1, <http://kisi.deu.edu.tr/burak.felekoglu/04.Polipart2.pdf.html>. 25.12.2017.
- URL-2, <http://www.deltayapi.net/cfrp.pdf.html> 25.12.2017.
- URL-3, <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.google.com.tr%2Ffmaps&date>, 26 Aralık 2016.
- URL-4, <https://www.dot.state.mn.us/bridge/pdf/lrfdmanual/section12.pdf>, 01.09.2013.
- URL-5, <http://www.concrete-pipe.org>, 26.12.2017.

ÖZGEÇMİŞ

Metin KARADAĞ, 1985 yılında Van'da doğmuştur. İlkokulu 1991-1996 tarihleri arasında İnönü İlköğretim Okulu'nda tamamlamıştır. 1997-1999 yılları arasında Kazım Karabekir Lisesinde okuyup 8. Sınıfa kadar okuyarak orta öğrenimini tamamlamıştır. Lise hayatını 2000-2003 yılları arasında Milli Piyango Anadolu Lisesinde okuyup 2003 yılında tamamlayarak ilk yılında girmiş olduğu Öğrenci Seçme Sınavında (ÖSS) gösterdiği başarıyla Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü 1. olarak kazanmıştır. Hazırlık dahil 2008 yılında buradan mezun olup aynı yıl burada yüksek lisans eğitimine başlamıştır. İngilizce bilen KARADAĞ, evlidir ve 1 çocuk babasıdır.