



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

BETONARME TÜNEL KALIP YAPILARDA BFRP KULLANIMININ İNCELENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Ahmet SEL

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA

SAMSUN
2023

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



**BETONARME TÜNEL KALIP YAPILARDA BFRP
KULLANIMININ İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Ahmet SEL

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA

SAMSUN
2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet SEL tarafından, Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA danışmanlığında hazırlanan “BETONARME TÜNEL KALIP YAPILARDA BFRP KULLANIMININ İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 15.2.2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Zeki KARACA Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye (Danışman)	Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Furkan GÜNDAY Giresun Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

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

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

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

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

15 / 02 / 2023

Ahmet SEL

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : BETONARME TÜNEL KALIP YAPILARDA BFRP KULLANIMININ İNCELENMESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 28.12.2022 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 25

Tek kaynak oranı : % 4 çıkmıştır.

15 / 02 / 2023

Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA

ÖZET

BETONARME TÜNEL KALIP YAPILARDA BFRP KULLANIMININ İNCELENMESİ

Ahmet SEL
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans, Şubat/2023
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA

Nüfusun hızla artması ve kentlere yapılan yoğun göçler konut ihtiyacının artmasına neden olmuştur. Bu durum toplu konut üretimine gidilmesine ve konut üretiminde yeni tekniklerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Ortaya çıkan bu yeni teknikler arasında tünel kalıp tekniği yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Konut ihtiyacındaki bu hızlı artış yeni konut üretim tekniklerinin yanı sıra mevcut yapıların çeşitli onarım ve güçlendirme yöntemleriyle iyileştirilerek kullanımına devam etme mecburiyeti doğurmuştur.

Tünel kalıp tekniği ile inşa edilen betonarme yapıda da diğer yapılarda olduğu gibi yapı henüz servis ömrünü doldurmadan bazı onarım ve güçlendirme ihtiyaçları doğabilmektedir. Bu güçlendirme yöntemlerinden en yaygın olanları mantolama, çelik lamalar veya çelik plakalar ile yapılan güçlendirmelerdir. Bunların yanı sıra fiber takviyeli polimerler (FRP) ile yapılan güçlendirmeler de son zamanlarda dünyada büyük hız kazanmıştır. Uygulama hızı ve kolaylığı sağlayan FRP ürünleri ele alındığında yüksek korozyon dayanımı ve düşük maliyet gibi üstün özellikleri bakımından bazalt lif takviyeli polimerler de oldukça ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada 20 katlı betonarme tünel kalıp bir yapı SAP2000 programında modellenerek düşey yükler etkisi altında analiz edilmiştir. Daha sonra aynı yapının perdelerinde tek taraflı 5 mm kalınlığında BFRP uygulanarak analiz yapılmıştır. Son olarak ise aynı yapının perdelerine iki taraflı 5'er mm kalınlıkta BFRP uygulanarak analiz yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda yapılan BFRP uygulamalarının yapının deprem davranışında oluşturduğu değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır.

Yapılan analizler sonucunda mevcut yapıya oranla, perdelerine tek taraflı 5 mm BFRP uygulanan yapının hakim periyodunun %4.33 oranında azaldığı, perdelerine iki taraflı 5 mm BFRP uygulanan yapının hakim periyodunun ise %4.93 oranında azaldığı görülmüştür. Aynı şekilde F_{max} , M_{max} , V_{max} , S_{max} ve yerdeğiştirme sonuçları incelendiğinde de perdelerine tek taraflı yapılan uygulamanın mevcut duruma göre önemli bir fark göstermesine rağmen perdelerine iki taraflı yapılan uygulamanın ciddi bir fark oluşturmadığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler: BFRP, Betonarme tünel kalıp yapı, Modal analiz, Sonlu elemanlar metodu, SAP2000, Güçlendirme.

ABSTRACT

EXAMINATION OF THE USE OF BFRP IN REINFORCED CONCRETE TUNNEL FORMWORK STRUCTURES

Ahmet SEL
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering
Master, February/2023
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Sertaç TUHTA

The rapid increase in the population and the intense migrations to the cities have led to an increase in the housing need. This situation has led to mass housing production and the emergence of new techniques in housing production. Among these emerging new techniques, the tunnel formwork technique is widely preferred. This rapid increase in the need for housing has led to the necessity of continuing to use the existing structures by improving them with various repair and strengthening methods, as well as new housing production techniques.

In reinforced concrete structures constructed with tunnel formwork technique, as in other structures, some repair and strengthening needs may arise before the structure has yet completed its service life. The most common of these strengthening methods are sheathing, reinforcement with steel flats or steel plates. In addition to these, reinforcements made with fiber reinforced polymers (FRP), have also gained great speed in the world recently. When FRP products, which provide application speed and ease, are considered, they come to the forefront in basalt fiber reinforced polymers in terms of superior properties such as high corrosion resistance and low cost.

In this study, a 20 storey reinforced concrete tunnel formwork structure was modeled in the SAP2000 program and analyzed under the effect of vertical loads. Then, the analysis was carried out by applying a single-sided 5 mm thick BFRP on the bulkheads of the same building. Finally, the analysis was made by applying 5 mm thick BFRP on both sides to the bulkheads of the same building. As a result of the analyzes made, it was aimed to examine the changes caused by the BFRP applications in the earthquake behavior of the structure.

As a result of the analyzes made, it was observed that the dominant period of the structure with one-sided 5 mm BFRP applied to its bulkheads decreased by 4.33%, compared to the structure without BFRP, and the dominant period of the structure to which 5 mm BFRP was applied bilaterally to its bulkheads was reduced by 4.93%. Likewise, when the results of F_{max} , M_{max} , V_{max} , S_{max} and displacement were examined, it was concluded that although the unilateral application to the bulkheads showed a significant difference compared to the situation without BFRP, the bilateral application to the bulkheads did not make a significant difference.

Keywords: BFRP, Reinforced concrete tunnel formwork, Modal analysis, Finite element method, SAP2000, Strengthening.

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca engin bilgileriyle beni aydınlatan, farklı fikirlerimin oluşumuna katkı sağlayarak bu çalışmamı keyifli bir şekilde yapmamı sağlayan, kısıtlı sürecimize rağmen desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli büyüğüm, danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA' ya,

Tez yazım sürecim boyunca beni cesaretlendiren, yardımlarını ve manevi desteğini her zaman hissettiğim Mimar Nisanur Taşçı' ya,

Tüm hayatım boyunca desteklerini ve emeklerini her zaman hissettiğim, bugünlere beni getiren babam Aliaslan SEL, annem Ayten SEL, kardeşlerim Nafiye Nur SEL ve Durdane SEL' e,

İlkokul döneminden, yüksek lisans dönemine kadar tüm eğitim hayatım boyunca üzerimde emeği olan öğretmenlerime, hocalarıma ve dostlarıma,

Teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmamın vatanıma ve milletime hayırlı olmasını temenni ederim.

Ahmet SEL

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. FRP MALZEMELER	2
2.1. FRP Malzemeyi Oluşturan Bileşenler ve Özellikleri.....	4
2.1.1. Lifler	4
2.1.2. Matris (Sürekli Faz)	8
2.1.3. Kompozit.....	9
2.2. FRP Malzeme Çeşitleri ve Özellikleri	10
2.2.1. GFRP (Cam Fiber Takviyeli Polimerler).....	10
2.2.2. CFRP (Karbon Fiber Takviyeli Polimerler).....	12
2.2.3. AFRP (Aramid Fiber Takviyeli Polimerler)	12
2.2.4. BFRP (Bazalt Fiber Takviyeli Polimerler)	13
2.3. FRP Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	19
2.4. FRP Uygulamaları	19
2.4.1. FRP Donatılarla ve Hasırlarla Yapılan Uygulamalar.....	19
2.4.2. FRP Kumaşlar, Plaklar ve Şeritlerle Yapılan Uygulamalar.....	23
3. TÜNEL KALIP YAPILAR.....	32
3.1. Genel Bilgiler.....	32
3.2. Tünel Kalıp Çeşitleri.....	33
3.2.1. Yarım Tünel Kalıp	33
3.2.2. Tam Tünel Kalıp	34
3.3. Tünel Kalıp Sistemini Oluşturan Elemanlar	35
3.3.1. Ana Tünel Kalıp.....	35
3.3.2. Özel Ek Kalıp Parçaları	35
3.3.3. Çalışma Platformu	36
3.3.4. Destek elemanlar.....	36
3.3.5. Kırılma elemanları.....	37
3.3.6. Aks betonu dökümünü sağlayan elemanlar	38
3.4. Tünel Kalıp Sisteminin Gelişimi ve Uygulandığı Ülkeler.....	38
3.5. Tünel Kalıp Sisteminin Kullanılma Nedenleri.....	39
3.6. Tünel Kalıp Sisteminin Tasarımı	39
3.7. Tünel Kalıp Yöntemi ile Yapı Üretim Süreci	40
3.8. Ülkemizde Tünel Kalıp Sistemleri.....	46
3.9. Betonarme Tünel Kalıp Yapılarda Güçlendirme Tekniklerinin Karşılaştırılması	46
4. MATERYAL, METOT VE UYGULAMA.....	51
4.1. Materyal	51
4.1.1. Betonarme	51
4.1.2. BFRP.....	51
4.2. Metot.....	52
4.3. Binanın Özellikleri ve Uygulama	52
5. MEVCUT VE BFRP'Lİ BETONARME TÜNEL KALIP YAPI MODELLERİNİN ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	55
5.1. Modların ve Periyotların Karşılaştırılması.....	55
5.1.1. Mod 1 Karşılaştırması.....	56

5.1.2. Mod 2 Karşılaştırması.....	57
5.1.3. Mod 3 Karşılaştırması.....	59
5.1.4. Mod 4 Karşılaştırması.....	60
5.1.5. Mod 5 Karşılaştırması.....	62
5.2. Maksimum Kuvvet (F_{max}) Karşılaştırması	63
5.3. Maksimum Moment (M_{max}) Karşılaştırması	65
5.4. Maksimum Kesme Kuvveti (V_{max}) Karşılaştırması	67
5.5. Maksimum Gerilme (S_{max}) Karşılaştırması.....	69
5.6. Yerdeğiştirme Karşılaştırması.....	71
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	74
KAYNAKLAR	76
ÖZ GEÇMİŞ.....	79



SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Isıl Genleşme Katsayısı
AFRP	: Aramid Fiber Reinforced Polymer
BFRP	: Basalt Fiber Reinforced Polymer
BHA	: Birim Hacim Ağırlığı
BHK	: Birim Hacim Kütlesi
CFRP	: Carbon Fiber Reinforced Polymer
E	: Elastisite Modülü
F	: Kuvvet
FRP	: Fiber Reinforced Polymer
f_{yk}	: Çelik Karakteristik Akma Dayanımı
G	: Kayma Modülü
GFRP	: Glass Fiber Reinforced Polymer
H	: Döşeme Üstünden Üst Döşeme Altına Kadar Olan Yükseklik
M	: Moment
MPa	: Megapascal
PAN	: Pliakrilanitril
S	: Gerilme
SAP2000	: Structural Analysis Program
U	: Poisson Oranı
V	: Kesme Kuvveti

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. FRP lif yönü çeşitleri (Pehlivan, 2019)	2
Şekil 2.2. Cam lifi (Pehlivan, 2019).....	5
Şekil 2.3. Karbon lifi (Pehlivan, 2019)	5
Şekil 2.4. Aramid lifi (Pehlivan, 2019).....	6
Şekil 2.5. Bazalt lifi (Çamkerten ve diğ., 2020).....	7
Şekil 2.6. FRP' yi oluşturan bileşenler (Pehlivan, 2019).....	9
Şekil 2.7. FRP' nin yapısı (Akbalık, 2020).....	10
Şekil 2.8. Betonarme altyapı elemanında GFRP donatısının kullanılması	11
Şekil 2.9. GFRP donatısı ile üretilmiş betonarme altyapı elemanı örneği	11
Şekil 2.10. CFRP kumaşlar kullanılarak köprü kirişinin güçlendirilmesi (Kadhim, 2020) ...	12
Şekil 2.11. Aramid fiber takviyeli kumaş örneği (Şenol, 2019)	13
Şekil 2.12. Bazalt kayacı örneği.....	14
Şekil 2.13. Bazalt elyafı (Çevik, 2014).....	16
Şekil 2.14. Bazalt ip, lif (Çevik, 2014)	16
Şekil 2.15. BFRP çubuk (Çevik, 2014).....	17
Şekil 2.16. BFRP kumaş (Sivri, 2021).....	17
Şekil 2.17. BÇIII ve BFRP donatı karşılaştırması (Çevik, 2014)	18
Şekil 2.18. Farklı yüzey özelliklerine sahip FRP donatılar (Durmaz, 2018)	20
Şekil 2.19. FRP donatıların çelik donatılarla beraber kullanımı (Öztürk, 2018)	21
Şekil 2.20. FRP donatıların kıyı yapılarında kullanımı (Durmaz, 2018)	23
Şekil 2.21. FRP hasırların köprü döşemelerinde kullanımı (Durmaz, 2018).....	23
Şekil 2.22. Betonarme kirişte iç ve dış köşelerin kavislendirilmesi (Yılmaz ve Diğ., 2002) .	24
Şekil 2.23. FRP'nin ankrajlama için eğilme bölgesi dışına taşırılması (Yılmaz ve diğ., 2002).....	25
Şekil 2.24. Betonarme döşemede FRP şeritlerin çift yönlü olarak uygulanması (Yılmaz ve diğ., 2002).....	26
Şekil 2.25. Betonarme kolonlarda FRP uygulama şekilleri (Maraş, 2021).....	26
Şekil 2.26. Kolon-kiriş bölgeleri için FRP uygulama şemaları (Maraş, 2021)	27
Şekil 2.27. Kolon-kiriş bölgesinde FRP uygulaması örneği (Gençbay, 2017)	28
Şekil 2.28. CFRP çubukların uygulamaya hazırlanması (Pehlivan, 2019)	30
Şekil 2.29. FRP ile güçlendirilmiş kubbe kasnağı (Pehlivan, 2019).....	31
Şekil 3.1. Kalıp elemanı (Gençbay, 2017)	32
Şekil 3.2. Tünel kalıp elemanları (Gençbay, 2017)	33
Şekil 3.3. Yarım tünel kalıp elemanı (Türken ve diğ., 2011).....	34
Şekil 3.4. Tam tünel kalıp elemanı (Türken ve diğ., 2011)	34
Şekil 3.5. Yarım tünel kalıplarla oluşturulmuş tam tünel kalıp sistemi (Sucu, 2006)	35

Şekil 3.6. Tünel kalıp imalatında kullanılan bazı ek parçalar (Kıncal, 2006).....	36
Şekil 3.7. Çalışma platformları (Kıncal, 2006).....	36
Şekil 3.8. Tünel kalıp destek elemanları (Gençbay, 2019).....	37
Şekil 3.9. Tünel kalıbın koruyucu perdelerle kapatılarak kürlemeye hazırlanması (Sucu, 2006).....	37
Şekil 3.10. Aks betonu (sokl) kalıpları (Kıncal, 2006).....	38
Şekil 3.11. Perde donatılarının yerleşimi (Sucu, 2006).....	41
Şekil 3.12. Elektrik tesisatının donatılara bağlanması (Sucu, 2006).....	42
Şekil 3.13. Tünel kalıp elemanın yerine yerleştirilmesi (Kıncal, 2006).....	43
Şekil 3.14. Tünel kalıp sisteminde pencere boşluğunun bırakılması (Gençbay, 2017).....	43
Şekil 3.15. Betonarme demiriyle, hasır çeliğin gerilme-uzama eğrisi (Gençbay, 2017).....	44
Şekil 3.16. Döşeme çelik hasırlarının yerleşimi (Sucu, 2006).....	44
Şekil 3.17. Kürleme için kullanılan tüplerin tünel kalıp elemana yerleştirilmesi (Sucu, 2006).....	45
Şekil 3.18. Tünel kalıbın tekerlekleri üzerinde dışarıya çıkarılması (Sucu, 2006).....	46
Şekil 3.19. Düşey taşıyıcı perde elemanın FRP kompozit kullanılarak güçlendirilmesi.....	48
Şekil 3.20. Betonarme perdelerin FRP kompozit şeritler kullanılarak güçlendirilmesi.....	48
Şekil 3.21. Betonarme döşemelerin FRP kompozit şeritler kullanılarak güçlendirilmesi.....	48
Şekil 3.22. Betonarme perde elemanın mantolama tekniği kullanılarak güçlendirilmesi.....	49
Şekil 3.23. CFRP ile güçlendirilen 1/3 ölçekli betonarme tünel kalıp yapının deneysel testi (Anudai et al., 2016).....	50
Şekil 4.1. Mevcut betonarme tünel kalıp yapıya ait kat planı.....	53
Şekil 4.2. Mevcut yapının SAP2000’de modellenmiş 3 boyutlu görünümü.....	53
Şekil 4.3. Perdelerde tek taraflı BFRP uygulamasına ait kesit gösterimi.....	54
Şekil 4.4. Perdelerde iki taraflı BFRP uygulamasına ait kesit gösterimi.....	54
Şekil 5.1. Mevcut durum için 1. mod görseli.....	56
Şekil 5.2. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 1. mod görseli.....	56
Şekil 5.3. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 1. mod görseli.....	57
Şekil 5.4. Mevcut durum için 2. mod görseli.....	57
Şekil 5.5. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 2. mod görseli.....	58
Şekil 5.6. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 2. mod görseli.....	58
Şekil 5.7. Mevcut durum için 3. mod görseli.....	59
Şekil 5.8. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 3. mod görseli.....	59
Şekil 5.9. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 3. mod görseli.....	60
Şekil 5.10. Mevcut durum için 4. mod görseli.....	60
Şekil 5.11. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 4. mod görseli.....	61
Şekil 5.12. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 4. mod görseli.....	61
Şekil 5.13. Mevcut durum için 5. mod görseli.....	62

Şekil 5.14. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 5. mod görseli	62
Şekil 5.15. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 5. mod görseli	63
Şekil 5.16. Mevcut yapının F_{max} diyagramı	63
Şekil 5.17. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda F_{max} diyagramı ...	64
Şekil 5.18. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda F_{max} diyagramı	64
Şekil 5.19. Maksimum kuvvet (F_{max}) grafiği	65
Şekil 5.20. Mevcut yapının M_{max} diyagramı.....	65
Şekil 5.21. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda M_{max} diyagramı..	66
Şekil 5.22. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda M_{max} diyagramı...	66
Şekil 5.23. Maksimum moment (M_{max}) grafiği	67
Şekil 5.24. Mevcut yapının V_{max} diyagramı	67
Şekil 5.25. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda V_{max} diyagramı ..	68
Şekil 5.26. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda V_{max} diyagramı ...	68
Şekil 5.27. Maksimum kesme kuvveti (V_{max}) grafiği	69
Şekil 5.28. Mevcut yapının S_{max} diyagramı	69
Şekil 5.29. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda S_{max} diyagramı ...	70
Şekil 5.30. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda S_{max} diyagramı	70
Şekil 5.31. Maksimum gerilme (S_{max}) grafiği.....	71
Şekil 5.32. Mevcut yapının yerdeğiştirme diyagramı	71
Şekil 5.33. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda yerdeğiştirme diyagramı.....	72
Şekil 5.34. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda yerdeğiştirme diyagramı.....	72
Şekil 5.35. Yerdeğiştirme grafiği.....	73

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Bazalt elyaflara ait teknik özellikler (Araz ve diğ., 2018).....	7
Tablo 2.2. FRP Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması (Balcı, 2019).....	19
Tablo 2.3. FRP donatılarının avantaj ve dezavantajları (Cullazoğlu, 2014).....	22
Tablo 5.1. BFRP yapıya uygulanmadan önce periyot değerleri	55
Tablo 5.2. Perdelere tek taraflı 5 mm BFRP uygulandığında elde edilen periyot değerleri ..	55
Tablo 5.3. Perdelere iki taraflı 5 mm BFRP uygulandığında elde edilen periyot değerleri ...	55
Tablo 5.4. Periyotlar	73
Tablo 5.5. Analiz sonuçları	73



1. GİRİŞ

Günümüzde nüfusun hızla artması ve kentlere yapılan yoğun göçler konut ihtiyacının artmasına neden olmuştur. Bu durum sonucunda toplu konut üretimine gidilmiş fakat bu durum bile mevcut üretim teknikleriyle konut ihtiyacını karşılamaya yeterli olmamıştır. Konut ihtiyacındaki bu artış, hızlı ve ekonomik konut üretimi ihtiyacını doğurmuştur. Gelişen teknolojinin de etkisiyle konut üretiminde farklı inşaat yapım teknolojileri ortaya çıkmıştır. Bu teknolojiler arasında tünel kalıp teknolojisi yaygın bir şekilde tercih edilmeye başlanmıştır. Tünel kalıp sisteminin tercih edilmesinin en büyük nedenlerinden bazıları, monolitik bir yapı oluşturmaya, çoklu yapı üretiminde üretim maliyeti ve işgücünü düşürmesidir.

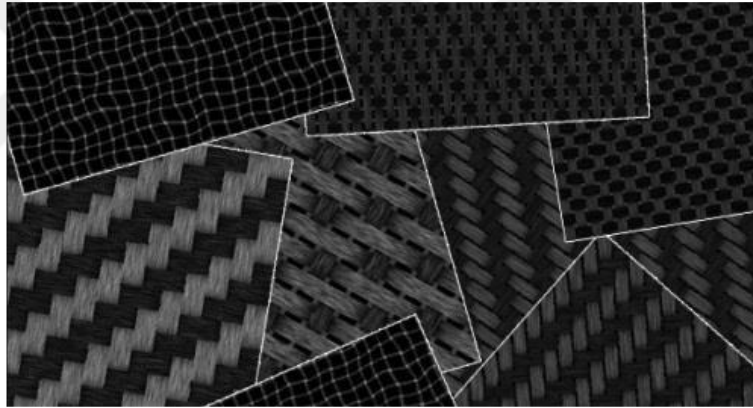
Konut ihtiyacının hızlı artışı, bazı durumlarda mevcut yapıların çeşitli onarım ve güçlendirme yöntemleriyle iyileştirilerek kullanımına devam etme mecburiyeti doğurmuştur.

Tünel kalıp tekniği ile inşa edilen betonarme yapılarda da yapı henüz servis ömrünü doldurmadan bazı onarım ve güçlendirme ihtiyaçları doğabilmektedir. Projelerdeki kesit yetersizliklerinden veya yanlış uygulamalardan kaynaklanan bu durumların düzeltilmesi ve yapının kullanımına devam edilebilmesi için bazı onarım ve güçlendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu güçlendirme yöntemlerinden en yaygın olanları çelik lama ve plakalar ile güçlendirme, mantolama ile güçlendirme gibi yöntemlerdir. Bunların yanı sıra yeni nesil bir yöntem olarak FRP ile güçlendirme yöntemi de son zamanlarda dünyada büyük hız kazanmıştır.

Bu çalışmada tünel kalıp yapıların Bazalt Lif Takviyeli Polimer (BFRP) ile güçlendirme yöntemi incelenecektir.

2. FRP MALZEMELER

FRP (Fiber Reinforced Polymer) olarak isimlendirilen lif takviyeli polimerler; mukavemeti yüksek olan lifler ile ana maddesi plastik olan ve bağlayıcı özelliğe sahip reçine matrisinin ve bunun haricinde diğer katkı maddelerinin bir araya getirilmesiyle elde edilen malzemelerdir. Bu malzemeler dünya genelinde yaygın bir şekilde kullanılan güçlendirme malzemeleridir. Güçlendirmede genellikle kullanılmakta olan çelik lama-plak malzemesi ile mukayese edildiğinde FRP malzemelerin en büyük üstünlüğü korozyon dayanımlarıdır. Metallere kıyasla birçok dış etkiye karşı daha dayanıklıdırlar. Hafif ve ince yapıya sahip malzemelerdir. Uygulama yöntemleri kolay ve pratik olan bu malzemeler oldukça uzun ömürlüdür. FRP malzemelerde istenilen doğrultuda liflerin dizilim yönleri ile oynanarak malzeme dayanımı ayarlanabilir. Diğer güçlendirme yöntemleriyle kıyaslandığında beton veya çeliğin giremeyeceği yerlere girebilme özelliği vardır (Şekil 2.1) (Aytaç, 2011).



Şekil 2.1. FRP lif yönü çeşitleri (Pehlivan, 2019)

Betonarme yapılarda ana taşıyıcı elemanlar olan kolon ve kirişlerde güçlendirme gerektiği durumlarda elemanların yüzeylerine yapıştırılan çelik levhalar, çelik yapılarda kullanılan çelik profiller ile aynı özelliklere sahiptir. Çelik levhaların yüzeye uygulanması epoksi benzeri yapıştırıcı özelliğe sahip malzemeler ile sağlanır. Çelik elemanı betonarme yüzeye yapıştırmayı sağlayan epoksi malzemesinin kalitesi ve diğer mekanik özellikleri büyük önem arz etmektedir.

Betonarme elemanlarda güçlendirme sağlamak amaçlı yüzeye yapıştırılacak çelik levhalarla ilgili dikkat edilmesi gereken iki temel husus vardır. Bunlardan birincisi, kullanılan çelik levhalarda, dış hava temasından dolayı kısa bir süre içerisinde korozyon oluşması; ikincisi ise çelik levhaların yüksek ağırlığından dolayı

yapıştırma malzemesi sertleşinceye kadar çeşitli iskele sistemleri ile desteklenmek zorunda kalınmasıdır. Bu olumsuzluklar incelendiğinde çelik levhalar yerine FRP malzemelerin kullanılması büyük avantajlar sağlamaktadır.

Sentetik özelliğe sahip dokuma ürünler, yüksek mukavemetli liflerin meydana getirdiği malzemelerdir. Bu tür malzemeler polimer reçine veya epoksi gibi farklı malzemeler ile birleştirilerek beton/betonarme elemanlara yapıştırılabilmektedir. İnce bir yapıya sahip dokumalar mevcut betonarme elemanlara kolay bir şekilde sarılabilmekte ve betonarme elemana kalıcı olarak yapıştırılabilmektedir. Kısacası, betonarme elemanların (kolon, kiriş, döşeme) basınç veya eğilme mukavemetlerinin iyileştirilmesinde etkili bir biçimde kullanılabilen FRP malzemeler ile yapılacak olan onarım ve güçlendirme yöntemleri, şu an mevcut olan ve ülkemizde uygulanan deprem yönetmeliğine bakıldığında da uygulanabilir onarım ve güçlendirme yöntemleri arasında gösterilmektedir. Mevcut yönetmelikte bu yöntemlere ait hesap metotları verilmektedir (Aytaç, 2011).

Türkiye’de ve Dünya’da kullanımı hızla yayılmakta olan FRP ile güçlendirme yöntemi yapısal bir rehabilitasyon yöntemidir. Bu malzemeler çevresel etkilere karşı oldukça dayanıklı malzemelerdir. Betonarme yapıların güçlendirmesinde sıklıkla kullanılan bu malzemelerin çelik lama veya plaklarla yapılan güçlendirme tekniklerine karşı en büyük avantajları korozyona karşı dayanıklı olmalarıdır. Bu özelliklerinin yanı sıra birçok çevresel faktöre metallere göre daha dayanıklıdır. Erime ve korozyon dayanımları yüksek olduğundan ayrıca yapıların taşıyıcı sistemini ve mimari ihtiyaçlarını değiştirmeden güçlendirme imkânı sunmaları gibi üstün özellikleri nedeniyle çok sayıda yapısal onarım ve güçlendirme projesinde bu malzemeler diğer yöntemlere göre daha tercih edilebilir durumdadır (Pehlivan, 2019).

İnşaat sektöründe, farklı fiziksel değerleri ve tasarım kolaylığı sağlama imkânı sunan bu kompozit malzemeler farklı uygulama tekniklerinin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Taşıyıcı yapı elemanlarında ve yapının genelinde, yük taşıma kapasitesini artırma, durabiliteyi geliştirme gibi avantajlar sağlayan bu malzemeler ayrıca dinamik ve statik yüklerin neden olacağı yorulma direncine karşı dayanımın artırılması gibi konularda ciddi faydalar sağlamaktadır (Büyüköztürk, 1998).

FRP malzemeler esnek ve hafif olmalarından dolayı yapıda ilave bir ölü yük artışına neden olmamaktadır. 1990’ların başından itibaren Kanada, ABD ve Suudi Arabistan gibi ülkelerde 1990’lı yıllardan beri araştırmacıların bu alanda yaptıkları çalışmalar ortak bir zeminde birleştirdiler. Yapılan tüm bu çalışmalar, kompozitlerle

yeniden donatımının değişik analiz ve tasarım metotlarının, uygulanabilirlik ve mukavemet açısından etkilerini incelediler. Yapılan birçok deneysel çalışma doğrultusunda ulaşılan sonuçlar saha uygulamalarının önünü açıcı ve kolaylaştırıcı şekilde rol oynamaktadır (Büyüköztürk, 1998).

2.1. FRP Malzemeyi Oluşturan Bileşenler ve Özellikleri

2.1.1. Lifler

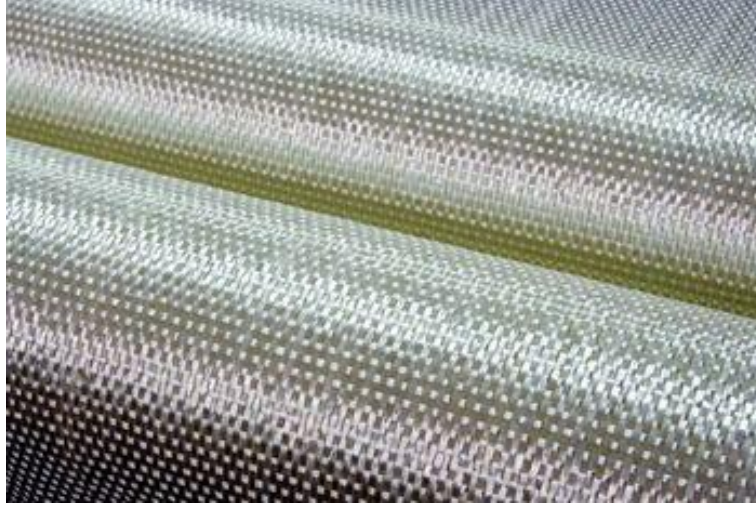
Güçlendirme amaçlı kullanılan FRP sargı malzemelerinde asıl yük taşıyıcı bileşen olan lifler tarafından karşılanmaktadır. Sıklıkla kullanılan elyaf cinsleri cam, aramid ve karbon içerikli olanlardır. Lif yapısına sahip olan bu bileşenler hacimce büyük oldukları durumlarına göre daha yüksek mukavemete sebep olurlar. Cam elyaflar, hacimce büyük durumlarında olduğuna benzer olarak yüzey kusurları barındırmamaktadırlar ve bu elyafların dayanımları oldukça yüksektir. Karbon elyaflarda ise tüm kimyasal bağlar kovalent bağ türündendir ve büyük hacimli durumlarındaki bu tabakalanma lif hallerinde söz konusu olamaz. Aramid liflerinde ise moleküllerin farklı şekillerde yönelmiş olması ve kristalleşmenin oluşmuş olması gibi sebepler malzemenin mekanik açıdan üstünlüklerini artırmaktadır (Pehlivan, 2019).

Cam lifleri dayanım özellikleri bakımından iki ana grupta incelenmektedir.

Düşük dayanımlı olan cam lifleri: Bu gruba ait cam lifleri çekme mukavemetleri 1000-2000 N/mm², elastisite modülleri ise 70000 N/mm² yi bulmaktadır. A, C, E, E-CR gibi çeşitleri vardır. Diğer liflerle mukayese edildiğinde daha ucuzdur.

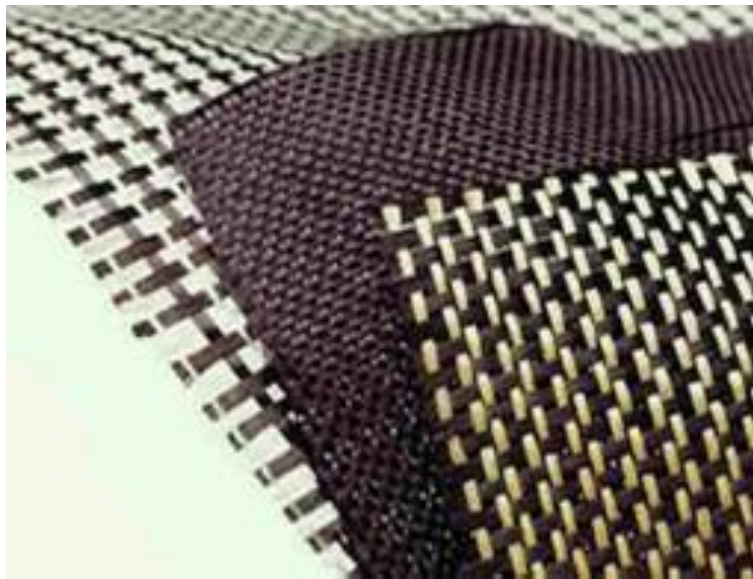
Yüksek dayanımlı olan cam lifleri: 200-3000 N/mm² civarında çekme mukavemetine, 85000 N/mm² civarında elastisite modülüne sahip olan bu grubun S, AR ve R gibi çeşitleri bulunur.

Camların en büyük dezavantajları alkali ortama karşı dirençlerinin düşük olmasıdır. Diğer türlerden farklı olarak AR çeşidi bu tip alkali ortamlara mukavemetli hale getirilmiştir. Özgül ağırlıkları 2.5 g/cm³ olan camlar, çelikle mukayese edildiğinde bu özgül ağırlık oldukça küçüktür (Şekil 2.2) (Pehlivan, 2019).



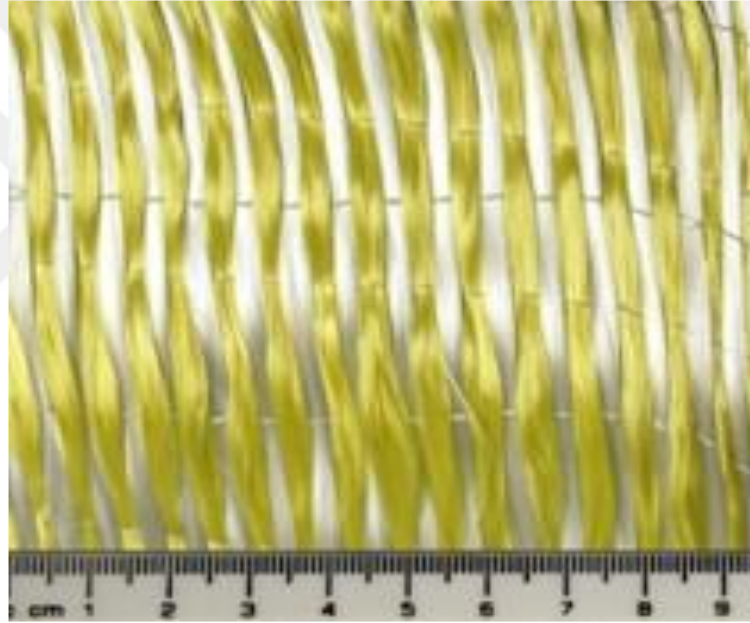
Şekil 2.2. Cam lifi (Pehlivan, 2019)

Karbon elyafların çekme mukavemeti $3000-5000 \text{ N/mm}^2$ ve elastisite modülleri ise $230000-300000 \text{ N/mm}^2$ aralığındadır. Karbon elyafların özgül ağırlıkları 1.9 g/cm^3 civarındadır. Bu elyaflar genel durumlarda poliakrilanitril (PAN) polimerlerin ilk lif şekline getirilmesi, daha sonrasındaysa çekme etkisi altında tutulurken karbürasyon ve oksitlenme işlemleri uygulanarak elde edilirler. Karbürasyon sıcaklığı genelde $1000-3000 \text{ }^\circ\text{C}$ aralığında uygulanır ve değişiklik gösterebilir. Yüksek elastisite modülü elde etmek için karbürasyon sıcaklığının yüksek tutulması gerekmektedir. Ancak çekme mukavemeti $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ civarında maksimum durumdayken sıcaklık arttıkça bu durum giderek düşer. Grafit olarak isimlendirilen karbon lifleri yüksek elastisite modülüne sahip olanlardır (Pehlivan, 2019).



Şekil 2.3. Karbon lifi (Pehlivan, 2019)

Aramid Lifleri polimer esastır. Bu liflerin çekme mukavemeti 3000 N/mm² değerine ulaşabilir. Diğer liflerle mukayese edildiğinde elastisite modülleri görece daha düşüktür. Aramid liflerinin elastisite modülleri 60000-120000 N/mm² civarındadır. Bu liflerin en yaygın ve tanınan çeşitleri Kevlar29 ve Kevlar49'dur. Aramid elyafların özgül ağırlığı 1.4 g/cm³ tür. Bu değer düşük olduğundan özgül dayanımları ve özgül elastisite modülü değerleri diğer elyaf türlerine göre oldukça yüksektir. Bahsedilen değerler kompozit malzeme tercihi için önemli olan parametrelerdir. Bütün üstün özelliklerine rağmen basınç mukavemetleri düşüktür. Aramid lifleri solventlere, yağlamaya ve yangına karşı diğer lif türleriyle mukayese edildiğinde daha dayanıklıdır. Aramid elyaflar, karbon ve cam elyafları gibi gevrek gibi gevrek değildir, daha çok sünek bir davranış gösterirler (Pehlivan, 2019).



Şekil 2.4. Aramid lifi (Pehlivan, 2019)

Bazalt kayacının eritilmesi daha sonra da işlenmesi sonucu bazalt lifleri elde edilmektedir. Bu liflerin çapı 13-20 µm aralığında olmaktadır. Bazalt liflerin ses ve ısı yalıtımları diğer liflerle kıyaslandığında oldukça yüksektir. Bazalt kayacı doğada çok miktarda ve kolay bir şekilde bulunabilmektedir. Bazalt liflerinin bu şekilde kolay ulaşılabilen bir hammaddeden üretilmesi diğer liflere göre daha ucuz olmalarını sağlamaktadır. Bazalt lifleriyle ilgili yapılan çalışmalar ve mukayeseler incelendiğinde kopmadan uzayabilme özelliklerinin karbon liflerden, çekme mukavemetlerinin ise E-Sınıfı cam liflerden daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yukarıda bahsedilen faydaları yaygın olarak bilinmesine rağmen bazalt liflerle ilgili yapılan çalışmalar

oldukça sınırlı sayıdadır. Yapılan çalışma sayısının az olması sebebiyle bu liflerin, kompozit malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine oluşturdıkları etkilerin belirlenmesi için yapılan araştırmalarının miktarının artması gerekmektedir (Araz ve diğ., 2018)

Tablo 2.1. Bazalt elyaflara ait teknik özellikler (Araz ve diğ., 2018)

Özellik	Değer	Birim
Isı Dayanımı	-260/680	°C
Filament Çapı	13-20	µm
Özgül Ağırlık	2.80	gr/cm ³
Elyaf Boyu	3~100	mm ±10
Nem	0.2-12	%
Elastisite Modülü	89000	N/mm ²
Kopma Uzaması	3.5	%



Şekil 2.5. Bazalt lifi (Çamkerten ve diğ., 2020)

Kullanılacak liflerin seçimi yapılacak uygulamaya bağlıdır. Liflerin seçimini bazı kriterler belirler. Bunlar; yapının tipi, beklenen yükleme, çevre koşulları olarak özetlenebilir. Kısaca açıklamak gerekirse;

- Cam lifleri sıklıkla kullanılan güçlendirme lifleridir. Diğer liflere oranla daha ucuzdur ve kolay işlenebilir.
- Karbon lifleri çok yüksek mukavemet ve rijitlik sağlanması için en yaygın şekilde tercih edilen takviye malzemesidir.

- Karbon ve aramid elyaflar oluşabilecek kimyasal etkilere karşı çok güçlü dayanım göstermektedir. Cam lifleri ise alkalilere karşı dayanıklı değildirler ve çeşitli kimyasal bozulmalara maruz kalırlar.
- Aramid lifleri oldukça sıkı özelliğe sahip organik esaslı sentetik liflerdir.
- Karbon lifleri ve cam lifleri UV ışınlara karşı dayanıklıdır ancak aramid elyaflar, UV ışık altında renk değişimine uğrar. Aynı zamanda UV ışıklar aramid elyaflarda dayanım kaybına neden olur.
- İletkenlik özellikleri bakımından, aramid ve cam lifleri iletken malzemeler değilken, Karbon lifleri ise iletken özelliğe sahiptir. Karbon ve cam liflerinin basınç mukavemeti, çekme mukavemetlerine yakındır. Aramid' in basınç mukavemeti ise çekme mukavemetine kıyasla çok daha düşüktür.
- Çevre kirliliği açısından tehlikesiz nitelikte olan aramid, cam ve karbon lifleri toksik etkisi bulunmayan malzemelerdir (Koçak, 2003).
- Bazalt lifleri ısı dirençlerinin çok yüksek olması nedeniyle ısı ve yangın yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir.
- Bazalt lifleri ses yalıtımında iyi performanslar sergilemektedir.
- Bazalt lifleri elektriksel yalıtımda kullanılabilir.
- Bazalt lifleri kimyasal içeriğinden dolayı asidik, bazik ortamlara ve deniz suyuna karşı dayanıklıdır. Bunlara ek olarak çok düşük nem emilimi yapmaları, bazalt liflerinin atık endüstrisinde, deniz ulaşım araçlarında ve ekipmanlarda kullanılabilir olmasına olanak sağlar.
- Bu liflerin farklı kimyasal bileşimleri değiştirilerek farklı mekanik özellikler elde edilebilmektedir. Sıcaklığı 1200 °C' den -1400 °C' ye yükselterek, liflerin çekme mukavemeti 1.5-2.9 GPa' a kadar yükselebilir.
- Bazalt lifleri, cam liflerinden fiziksel mekanik özellikleri bakımından daha iyidir. Bununla birlikte bazalt lifleri, karbon liflerinden daha ucuzdur (Bakkour, 2022).

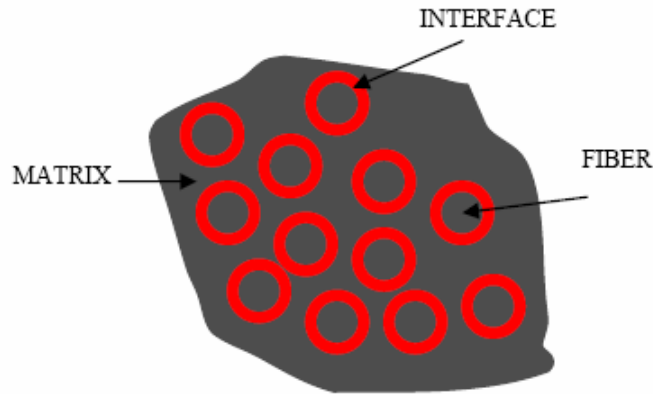
2.1.2. Matris (Sürekli Faz)

Lifleri bir arada tutan ve liflerin etrafını saran malzemeye matris adı verilmektedir. Gerilmeleri liflere aktarmak matrisin ana görevidir. Matris lifleri dış etkenlerden korumaya yardımcı olur. Bu dış etkenler oksitlenme, nem ve çeşitli kimyasallar şeklinde sıralanabilir. Liflerin dış etkenlerden korunması kompozit malzemenin sağlıklı çalışması açısından büyük önem arz etmektedir. Özellikle karbon

ve cam lifleri kendi yüzeylerinde oluşabilecek çentiklerine karşı çok duyarlıdır. Bu gibi durumlarda matris liflerin birbiri ile temas etmesini ve bunun sonucunda oluşabilecek riskleri engeller. Bu riskler lif yüzeylerinin birbirleriyle çarpışması dış etkiler sebebiyle hasar almaları şeklinde açıklanabilir. Genelde matris olarak kullanılan malzemeler termoset polimerlerdir. Örneğin, vinilester, epoksi poliester ve fenolik gibi (Aytaç, 2011).

2.1.3. Kompozit

Kompozit malzemeler ana madde olan matris ve donatı vazifesi üstlenecek liflerin bir araya getirilmesi ile elde edilir. Bu kompozit malzemeler içerisindeki lifler kesikli ya da sürekli olabilir. Sürekli lifler tek yönlü veya iki yönlü olabilirler. Süreksiz liflerde ise yönelme düzlemde rastgele ve dağınık bir şekilde olabilir. Tüm lifler, bazı kompozit malzemelerde ana eksen doğrultusuna paralel olarak yönelmektedir. Bu kompozitlerden elde edilen maksimum verimlilik bu doğrultudaki değerlerdir. Matris ise liflere dik yönde çalışmaktadır; bundan dolayı mekanik özellikler yüksek oranda azalmaktadır. Bazı kompozit malzemelerde ise hem birbirine dik hem de paralel olan yani iki doğrultuda da çalışan ($0^\circ/90^\circ$) lifler mevcuttur (Pehlivan, 2019).



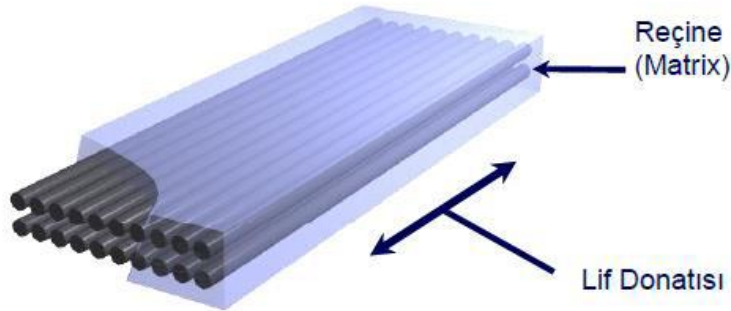
Şekil 2.6. FRP' yi oluşturan bileşenler (Pehlivan, 2019)

Özetle; lifler matris fazının içinde bulunduklarında kusursuz mikro yapıya sahip ve iyi yük taşıyabilme kabiliyetinde olan elemanlardır. Bu fiberler çok çeşitli hammaddelerden üretilebilmektedir. Sıcaklığın çok yüksek olduğu ortamlarda üretilen hammaddeler çeşitli endüstrilerde birçok işlemde geçirilerek bildiğimiz lif haline getirilir. Bu hammaddeler içerisinde yaygın olarak kullanılanlara karbon, bazalt, cam ve aramid örnek olarak gösterilebilir. Bu liflerin kalınlıkları mikrometre cinsinden

ifade edilir. Çekme mukavemeti konusunda oldukça başarılıdırlar. Bu lifler çeşitli katkı malzemeleri yardımıyla reçine ile çok güçlü bir aderans sağlar (Pehlivan, 2019).

2.2. FRP Malzeme Çeşitleri ve Özellikleri

Son yıllarda, FRP malzemelere olan ilgi çok artmıştır. Bu ilginin en büyük nedeni FRP malzemelerin, çelik takviye ürünlerinin yerine geçebilecek bir malzeme olabileceği ihtimalidir. FRP malzemeler çok farklı şekillerde üretilmektedir. Örneğin FRP' ler, teller, örgü kumaşları ve güçlendirme çubuklarının yanı sıra, kayış ve farklı çeşitlerde levhaların üretimi amacıyla da kullanılır. Ticari olarak da oldukça kolay temin edilebilen FRP malzemeler, çeşitli liflerin birbirine bağlayıcı malzemeler ile bağlanması ile üretilir. Bu liflerden en yaygın olarak kullanılanları karbon (C), cam (G), bazalt (B) ve aramid (A) lifleri olarak gösterilebilir. Bağlayıcı malzemeler ise sıklıkla kullanılan polyester, vinilester veya çeşitli epoksi reçinelerdir. Bu birleşim sonucu oluşan kompozit malzemelerin isimleri, GFRP, CFRP, AFRP ve BFRP olarak kısaltılabilir (Kolukırmak, 2018).

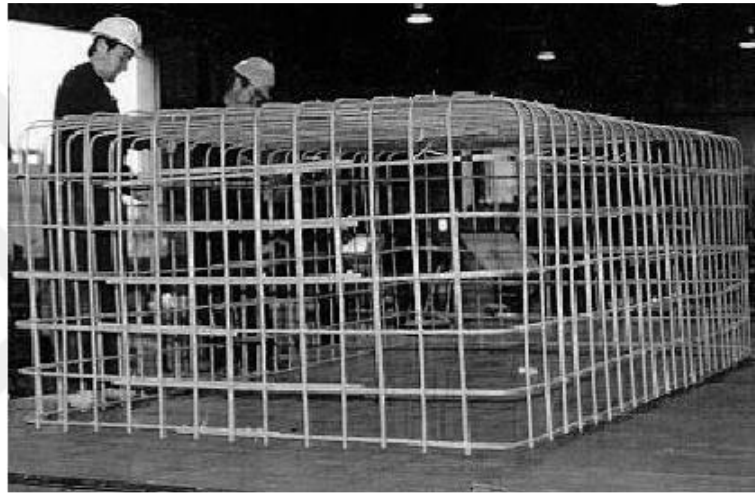


Şekil 2.7. FRP' nin yapısı (Akbalık, 2020)

2.2.1. GFRP (Cam Fiber Takviyeli Polimerler)

GFRP'ler, reçine matrisi içine gömülmüş, yüksek dayanımlı cam liflerinden oluşmuş bir kompozittir. Elyafların matris içine birbirine paralel yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek dayanım sağlanmaktadır. Liflerin iki boyutlu yerleştirilmesi durumunda her iki yönde de eşit dayanım sağlanabilmektedir. Matris içerisinde homojen dağılmış kısa elyaflarla ise daha izotrop malzeme elde edilebilmektedir. Fiberler yerleştirilirken, yük etkisine göre fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilebileceği yönde yerleştirilmektedir. Malzemeye gelen yüklerin büyük bir bölümünü kompozit içerisindeki lifler alarak malzemeye rijitlik ve mukavemet sağlarlar. Kolay temin edilebilir olması ve istenen özellikleri büyük

oranda karşılamaları nedeniyle uygulamalarda yaygın olarak kullanılanlar cam ve karbondur. Matrisler lifler arasında oluşan gerilmelerin transferini yaparlar. En çok kullanılan matrisler; epoksi, vinil ester ve polysterlerdir. FRP donatılar, elik donatılardan farklı olarak yapı elemanına göre şekillendirilerek üretilmektedir ve üretim yerinde donatılar bağlanarak yapının donatı aksamı oluşturulmaktadır. Dolayısıyla, GFRP donatıları kutu menfez gibi yeraltı yapı elemanları üretiminde de kullanılabilir. GFRP donatılarla üretilen altyapı elemanının imalat anı şekil 2.8.' de üretim tamamlanmış hali ise şekil 2.9.' da verilmiştir (Topçu ve Uygunoğlu, 2020).



şekil 2.8. Betonarme altyapı elemanında GFRP donatısının kullanılması



şekil 2.9. GFRP donatısı ile üretilmiş betonarme altyapı elemanı rneği

2.2.2. CFRP (Karbon Fiber Takviyeli Polimerler)

CFRP malzemesi betonarme yapıların güçlendirilmesinde yüksek mukavemeti, uygulanma kolaylığı, hafifliği, korozyona ve diğer dış etkilere karşı dayanımı gibi nedenlerden dolayı ön plana çıkmakta ve tercih nedeni olmaktadır. Ayrıca betonarme yapıların taşıyıcı elemanlarına yapılan uygulamalarda yapı elemanlarının geometrik ölçülerinde büyümeye neden olmamaktadır. Farklı şekillerde güçlendirme detaylarına olanak sağlayan birçok çeşidi piyasadan kolayca temin edilebilmekte, hazır ve işlenmiş şekilde bulunabilmektedir. Bu gibi sebeplerden dolayı özellikle son 15 yıldır CFRP malzemesi onarım ve güçlendirme faaliyetlerinde sıklıkla tercih edilmektedir (Gençbay, 2017).



Şekil 2.10. CFRP kumaşlar kullanılarak köprü kirişinin güçlendirilmesi (Kadhim, 2020)

2.2.3. AFRP (Aramid Fiber Takviyeli Polimerler)

AFRP kompozitler yüksek mukavemete sahip bir polimer malzemedir. Güç/ağırlık özelliği çok yüksektir. Ateşe dayanımı oldukça fazladır. Yapılarının bozulabilmesi için 500 °C üzeri sıcaklıklar gerekmektedir. Aşınmaya ve kesmeye karşı çok dirençli bir üründür. Yüksek sıcaklıklarda bile kumaş bütünlüğünü koruyabilmektedir. Aramid liflerinin yaygın olarak tanınma nedenleri arasında büyük sertlik ve penetrasyona olan dirençleri başta gelmektedir. Yüksek mukavemeti ve nedeni ile delinmeme özelliğine sahip olması istenen çeşitli malzemelerin üretiminde kullanılabilmektedirler. UV ışınlar, tuz ve asitlere karşı hassas bir malzemedir. Yapısı nedeniyle nem almaya müsaittirler (Balcı, 2019).

AFRP malzemesinde aramid elyaflar lif olarak kullanılmaktadır. Bu lifler hafif ve rijit olmalarının yanı sıra cam elyaftan sonra en ucuz elyaf türlerinden biridir.

Aramid ilk organik elyaf türü ve bir naylon türevidir. Diğer elyaf türlerine göre daha yüksek sıcaklık dayanımına sahiptir (Çiçek, 2019).

AFRP kumaşın, birim ağırlığı 360 gr/m²’ dir. Görünümü sarı renkte olan bir malzemedir. Yangına karşı direnç gerektiren giyim, aksesuar ve ekipmanlarda tercih edilmektedir. Balistik amaçlı zırhlı giysilerde kullanılmasının en büyük nedeni çarpma dayanımının çok yüksek olmasıdır (Şenol, 2019).

AFRP’ nin dezavantajları;

- AFRP kumaşların kesme, katlanma ve işlenme zorluğu vardır.
- Ultraviyole ışınları, tuz ve asit gibi dış etkilere maruz kaldıklarında yapıları bozulur.
- Basınç mukavemetleri ve nem tutma özellikleri çok düşüktür (Çiçek, 2019).



Şekil 2.11. Aramid fiber takviyeli kumaş örneği (Şenol, 2019)

2.2.4. BFRP (Bazalt Fiber Takviyeli Polimerler)

Bazalt, volkanik bir kayadır ve yer kabuğunun çeşitli tektonik hareketler sonucu çatlaması ve bu çatlaklardan dışarıya ulaşan erimiş lavların soğuyup katılaşması sonucu oluşmaktadır. Bazaltlar genelde kurşuni ya da siyah renkte görünmektedirler. Bazalt kayacının yoğunluğu diğer volkanik kayalar ile mukayese edildiğinde çoğundan daha fazladır. Yeryüzünde çok yaygın olan diğer volkanik esaslı kayalara oranla silis içeriği daha düşük, demir ve magnezyum oranı ise daha yüksektir.

Yapısındaki başlıca mineraller feldispat, piroksen, olivin ve demir oksitleridir. Bu kayaçların büyük çoğunluğu kristalli yapıdadır. Lavların çok hızlı bir şekilde soğuması sonucu oluşan bazaltlar bu durumdan dolayı camsı bir görünüm kazanmaktadırlar. Dünya üzerinde var olan tektonik hareketlerin sürekliliği ve yaygınlığı nedeniyle erimiş lav akıntıları çok geniş alanları kaplamaktadır. Bu durumdan dolayı Dünya üzerinde sınırsız bazalt bölgeleri mevcuttur. Örneğin ABD'nin kuzeybatısında, Hindistan ve Brezilya'da binlerce kilometre genişliğinde bazalt platoları vardır (Çevik, 2014).



Şekil 2.12. Bazalt kayacı örneği

Bazalt önemli bir kırmataş malzemesidir. Yol ve yapı sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazalt, petrografi bilim dalından bilindiği gibi makroskobik yönden koyu gri-siyah renkli, ince taneli masif yapıda zor kırılğan bir yapıya sahip bir kayadır. Kimyasal yönden ise yapısında %45-52 arasında SiO_2 (Silis), yüksek demir ve magnezyum bulunduran bazik özelliğe sahip bir kayadır olarak tanımlanır (Uz, 1999).

Bazalt, yoğun ve sert olduğundan, basınca karşı dayanımı en çok olan taştır. Granitten daha serttir. Bu nedenle inşaat sektörünün her yerinde inşaat taşı, parke, balast ve kırmataş yapımı için kullanılabilir. Türkiye’de birçok şehrinde yapı işlerinde kullanılan tek taştır. Şanlıurfa, Gaziantep, Diyarbakır civarında ve Trakya’ da Çorlu dolaylarında bazaltlar kırmataş yapımında kullanılır. Gevşek ve gevrek olan bazalt tüfleri çok poroz, sünger gibi gözenekli olur. Bu özelliklerinden dolayı da hafif bir

yapı malzemesidir. 1300 °C’ de eritenler asitlere dayanıklı gereç yapımında kullanılır (Çevik, 2014).

Dünyadaki yeni gelişmeler insanlarda hem çevre bilincini geliştirmiş hem de daha sakin ve doğal ortamlarda yaşama arzusunu doğurmuştur. Son yıllarda ülkemizde de özellikle büyük şehirlerde ve turistik yörelerde, yapılarda ve topluma ait açık ve kapalı alanlarda doğal taşlar kullanılmaya başlanmıştır. Bazalt aşınma ve iklim şartlarına dayanım sağlama açısından yaygın olarak tercih edilen bir taştır. Bazalt taşına yakın gelecekte de vazgeçilmez gözüyle bakılmaktadır. Kullanım alanı her geçen gün genişleyen bazalt, değişik kalınlık ve ölçülerde mimari yapıların her safhasında, alt ve üst yapıda, zemin ve cephe kaplamalarında, şehir içi yollarda, kaldırımlarda, tretuvarlarda ve bahçe düzenlemesinde kullanılmaktadır. Ayrıca;

- Bazalt, farklı doz ve miktarlarda beton içeriğine agrega olarak katılmaktadır.
- Balast taşı olarak raylı sistem yollarında kalker yerine tercih edilmeye başlanmıştır.
- Cam, seramik ve mineral kökenli çeşitli yalıtım sistemlerinde kullanılmaktadır.
- Isı depolama yöntemi ile evlerin ısıtılması kolay ve ekonomik bir yöntem olarak tercih edilmektedir. Bazalt taşının ısı tutabilme kapasitesi oldukça yüksektir.
- Bazalttan elde edilen taş yünü her türlü gemi ve denizde inşa edilen diğer yapıların döşeme ve duvar yalıtım malzemesi olarak tercih edilmektedir. Yüksek sıcaklığa olan mukavemeti nedeniyle yangın kapılarında, kazan ve kazan dairelerinde, klima donanım ve kanallarında, baca ve baca gazı kanallarında tank ve depolarında, duvar modüllerinde ve tavan izolasyonunda kullanılmaktadır (Çevik, 2014).

BFRP kumaşlar, inşaat sektöründe diğer lifli kumaşların alternatifi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan en önemlileri karbon elyafı ve sentetik elyafı kumaşlardır. Ayrıca BFRP kompozitler yüksek mekanik özellikleri, kimyasal dayanımları, ses ve ısı izolasyon özellikleri ile otomotiv sektörü başta olmak üzere havacılık, gemicilik, savunma sanayi vb. birçok sektörde kullanılmaktadır.

ABD, Rusya ve Ukrayna gibi ülkeler başta olmak üzere diğer birçok ülkede BFRP kompozitler donatı çeliğine alternatif olarak düşünülmekte ve kullanılmaktadır. Bazalt elyaflar ile epoksi reçinenin birleştirilmesi sonucu elde edilen ve çelik donatı formunda üretilen BFRP kompozitler mevcuttur. Bu BFRP donatılar özellikle korozyon riski yüksek betonarme yapıların çeşitli taşıyıcı elemanlarında betonarme çeliği yerine kullanılabilir. Donatı çeliği ile mukayese edildiğinde ağırlık

bakımından yaklaşık 3 kat daha hafif olan BFRP donatılar mukavemet bakımından ise çelik donatıdan daha fazla dayanıma sahiptir. Bu malzemelerin ısı genleşme katsayıları betonun genleşme katsayısına çok daha yakındır. Alkali reaksiyonlara karşı yüksek direnci de dikkate alındığında, birçok alanda donatı çeliğine alternatif olma potansiyeli çok yüksektir (Çevik, 2014).

Geliştirilmiş farklı formlarda bazalt ürünleri mevcuttur. Yaygın olarak, elyaf, lif, çubuk ve kumaş formlarında üretilirler. Üretilen bu ürünler inşaat sektörünün farklı alanlarında uygulama tekniğine bağlı olarak tercih edilirler.



Şekil 2.13. Bazalt elyafı (Çevik, 2014)



Şekil 2.14. Bazalt ip, lif (Çevik, 2014)



Şekil 2.15. BFRP çubuk (Çevik, 2014)



Şekil 2.16. BFRP kumaş (Sivri, 2021)

Bazalt elyaflar pek yaygın olmasa da ülkemizde bilinmekte ve çeşitli alanlarda kullanılmaktadırlar. Bu liflerin farklı şekillerde ve ebatlarda üretilmesi mümkündür. Uzunlukları 5 mm ile 100 mm arasında olan çapı ise genelde 20 mikron civarında olan lifler beton içerisinde kullanılmaktadır. Bu lifler betonun içerisinde üç boyutlu olarak dağılır ve donatı etkisi oluşturur. Hafif olan bu malzemeler betonun içerisine eşit bir şekilde ve kolayca karışabilmektedir.

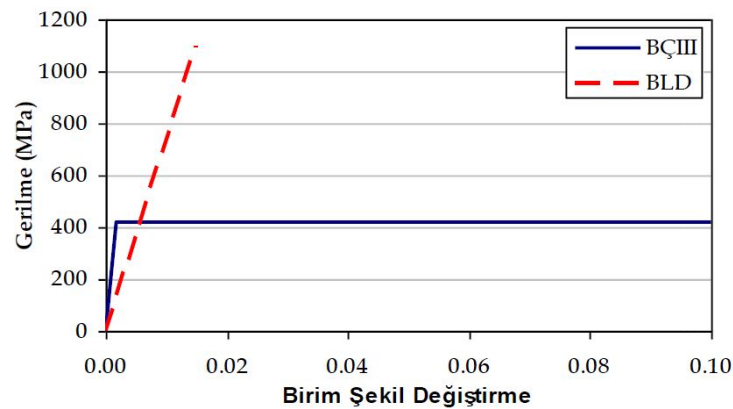
Bazalt ipler ise direkt kullanım alanı az olan ancak lifli kumaş üretimi ile havacılık, denizcilik, otomotiv sektöründe yaygın kullanım alanı olan inşaat sektöründe ise benzer ürünler olan karbon ve sentetik lifli kumaşların alternatifi olarak karşımıza çıkmaktadır (Çevik, 2014).

Bazalt lifine en yakın elyaf türü camdır. Aynı kimyasal bileşime sahiptirler. Ancak bazalt elyafı daha iyi mukavemet özelliklerine sahiptir. Alkali, asidik ve tuz korozyonuna karşı yüksek dirence sahiptir (Kadhim, 2020).

Bazalt çubuklar elyafların farklı bağlayıcılar ile nervürlü inşaat demiri formuna getirilmeleri ile elde edilen ürünlerdir. Saha betonlarında, yol inşaatlarında, temellerde, kimyasal tesislerde, deniz yapılarında Ukrayna, ABD ve Rusya başta olmak üzere birçok ülkede yaygın kullanım alanı bulunmaktadır.

Bazalt lifli donatı, bazalt lifler ve yüksek dayanımlı epoksi kullanılarak elde edilen, nervürlü betonarme donatısı formunda üretilen bir üründür. Sürekli liflerin sarılarak spiral hale getirilmesi ve epoksi ile bağlanması ile istenilen form verilmektedir. Böylece korozyona ve hidroklorik asit, alkali, deniz suyu vb. kimyasal etkilere dayanıklı ve uzun ömürlü bir ürün elde edilmektedir. Bazalt lifli donatı yüksek dayanımlı olması yanında oldukça hafif bir üründür.

Türkiye’ de betonarme donatısı olarak kullanılan BÇIII sınıfı çelik için TS-500’ e (2000) göre çekme etkisi altında karakteristik akma dayanımı $f_{yk}=420$ MPa, elastisite modülü 200000 MPa’ dır. Çeliğin öz ağırlığı ise yaklaşık olarak 7.8 g/cm^3 tür. Bazalt lifli donatının çekme dayanımı BÇIII sınıfı donatı çeliğinin yaklaşık 2.5 katı iken elastisite modülü yaklaşık olarak üçte biri seviyesindedir. Şekil 2.15’te BÇIII ve bazalt lifli donatı için idealize edilmiş gerilme-şekil değiştirme ilişkisi verilmiştir. Bazalt lifli donatının kopma uzamasına kadar olan gerilme-şekil değiştirme ilişkisi doğrusal kabul edilecek bir eğilim göstermektedir (Çevik, 2014).



Şekil 2.17. BÇIII ve BFRP donatı karşılaştırması (Çevik, 2014)

TS-500’e göre, BÇIII donatısı için minimum kopma uzaması %10 olarak öngörülmüştür. Özellikle deprem bölgelerinde yapılan betonarme elemanların eğilme

etkisi altında sünek davranmaları çok önemlidir. Sünek davranışı etkileyen faktörlerden birisi de donatının kopmadan uzayabilme özelliğidir. Bazalt lifli donatı için kopma uzaması %1.5-%2.0 arasında değişmektedir. Bu özelliği nedeniyle deprem bölgelerindeki sünek tasarım gerektiren elemanlar için kullanılması uygun görülmektedir. Tasarım felsefesi gereği büyük deformasyonlara izin verilmeyen ya da sünek davranış gereksinimi duyulmayan elemanlarda ise çelik donatı yerine tercih edilmektedir. Temeller, döşemeler, betonarme prefabrik elemanlar, ön gerilmeli betonarme elemanlar, depo ve silolar, köprüler, beton yol ve pistler, kıyı ve liman yapıları, su kanalları, barajlar muhtemel kullanım alanları olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bazalt donatılar çelik donatı ile karşılaştırıldığında daha gevrek bir malzeme olmasına rağmen, yüksek çekme dayanımı, çelik donatıya göre çok daha hafif olması ve kimyasallara karşı direnci nedeniyle mühendislik uygulamalarında kısa süre içerisinde geniş bir kullanım alanı bulacaktır (Çevik, 2014).

2.3. FRP Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Tablo 2.2. FRP kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması (Balcı, 2019)

Özellik	Bazalt	E camı	S camı	Aramid	Karbon
Çekme Mukavemeti (MPa)	3000-4840	3100-3800	4020-4650	2900-3450	3500-4400
Elastisite Modülü (GPa)	93-110	72.5-75.5	83-86	70-179	230-800
Kopmadan Uzama (%)	3.1-6.0	4.7	5.3	2.40-3.60	0.50-1.50
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2.65-2.80	2.50-2.62	2.46	1.44	1.75-1.95

Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı gibi çekme mukavemeti bakımından yapılan incelemelerde bazalt elyafın; aramid elyaftan daha yüksek özellikte, E cam elyafına yakın, S cam elyaftan ve karbon elyaftan ise çekme mukavemeti bakımından daha düşük özellikte olduğu görülmektedir. FRP kompozitler elastisite modülleri bakımından incelendiğinde ise bazalt elyafların ortalama olarak E ve S cam elyaflarından daha yüksek elastisite modülüne aramid ve karbon elyafların ise daha düşük elastisite modülüne sahip olduğu görülmektedir (Balcı, 2019).

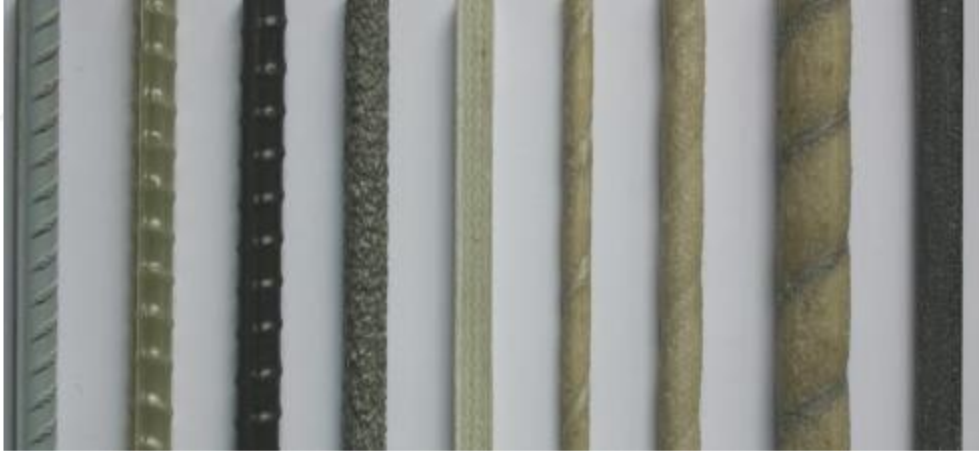
2.4. FRP Uygulamaları

2.4.1. FRP Donatılarla ve Hasırlarla Yapılan Uygulamalar

İnşaatta önemli problemlerden birisi donatı çeliğinin korozyona uğramasıdır. Yetersiz paspayı, deniz suyu ve tekrarlayan donma çözülme olayı gibi etkenler korozyona sebebiyet vermektedir. Bu durum liman, köprü, otopark gibi çevresel

faktörlere maruz kalan betonarme yapılarda kullanılabilirlik süresini kısaltarak yapı güvenliğini tehdit eder. Sorunun giderilmesi için uzun süreli ve pahalı bakım işlemlerinin uygulanması gerekir. Betonarme yapılarda korozyon sorununu ortadan kaldırmak için geleneksel çelik donatı yerine alternatif oluşturabilecek lif takviyeli polimer (FRP) donatıların kullanılması önerilmiştir (Öztürk, 2018).

Özellikle dış ortamlara açık olan yapılarda kullanılabilen farklı tiplerde FRP donatıları mevcuttur. Bunlar; yüzey deformasyonlu donatı çubukları, öngerme tendonları, çift yönde hasır şeklindeki betonarme donatılardır. Günümüzde betonarme ve öngerilmeli beton uygulamaları için kullanılan FRP donatıları tek doğrultulu, düz veya nervürlü çubuklar ve burulmuş tendonlar şeklindedir. Bazı FRP çubukları kendisini çevreleyen betonla arasında daha iyi bir aderans olması için kumla kaplanmakta veya aderansı sağlamak üzere yüzey deformasyonlarının elde edilebilmesi için helezonik tel sarma yöntemi gibi ikinci bir işleme maruz bırakılmaktadır (Cullazoğlu, 2014).



Şekil 2.18. Farklı yüzey özelliklerine sahip FRP donatılar (Durmaz, 2018)

FRP donatısı çubuk, plak ve halat şeklinde oluşturulabilmekte ve çelik donatıdan farklı olarak, kesin bir şekilleri, yüzey konfigürasyonları, lif doğrultusu, birleşim malzemeleri ve oranları yoktur (Cullazoğlu, 2014).

FRP donatılarının çekme dayanımı, geleneksel çelik donatılara göre daha yüksektir. Bu malzemelerin ağırlığının az olması, taşıma, işçilik ve ekipman maliyetlerini azaltmakta ve inşaat sahasında çubukların yerleştirilmesini kolaylaştırmaktadır. Bununla birlikte elektromanyetik izolasyonun kritik olduğu

nükleer güç santralleri ve hastaneler gibi yapı uygulamalarında bu donatının manyetik olmama özelliği bir avantaj olarak ortaya çıkmaktadır (Cullazoğlu, 2014).

FRP çubuklarının mekanik özellikleri çelik çubuklardan oldukça farklı olup bu özellikler matris ve lif tipine bağlıdır. FRP donatıları, genelde çeliğe göre daha düşük elastisite modülüne ve daha yüksek çekme dayanımına sahiptir. Betonarme yapılarda kullanılan FRP donatılarının çelik donatıya göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır (Cullazoğlu, 2014).

FRP donatıların, çelik donatılardan farklı olarak, çekme etkisi altında kopmadan önce herhangi bir plastik davranış (akma) sergilememesi betonarme elemanda ani kırılmalara neden olabilmektedir. Bu durum FRP donatısı ve çelik donatısının betonarme eleman içerisinde hibrit olarak kullanılması fikrini ortaya çıkarmıştır.



Şekil 2.19. FRP donatıların çelik donatılarla beraber kullanımı (Öztürk, 2018)

Tablo 2.3. FRP donatılarının avantaj ve dezavantajları (Cullazoğlu, 2014)

Avantajları	Dezavantajları
• Yüksek boyuna çekme dayanımı (liflerin yükleme yönü ve işaretiyle değişmektedir) • Korozyon dayanıklılığı (kaplamaya bağlı değildir) • Manyetik olmaması • Yüksek yorulma dayanımı (takviye lifi tipine göre değişmektedir)	• Gevrek kopmadan önce akma olmaması • Düşük enine dayanım (liflerin yükleme yönü ve işaretiyle değişmektedir) • Düşük elastisite modülü (takviye lifi tipine göre değişmektedir) • Ultraviyole radyasyon etkisi altında polimer reçineler ve lifler için hasar hassasiyeti

Dünyada pek çok ülkede FRP donatıları ve FRP profilleri kullanılarak oluşturulmuş yapı örnekleri bulunmaktadır. Betonda FRP donatısının ilk uygulama örnekleri Japonya’da yapılmıştır. Kuzey Amerika, Avrupa ve Japonya’da çok sayıda betonarme yapı FRP donatısı kullanılarak inşa edilmekte veya güçlendirilmektedir (Öztürk, 2018).

FRP çubukların uygulama alanları şu şekildedir:

- Betonarme yapılarda donatı elemanı ve öngerme tendonu olarak,
- Yığma yapıların ve özellikle tarihi kubbelerin güçlendirilmesi için dıştan donatı şeklinde,
- Çeşitli taşıyıcı sistemlerde profil olarak,
- FRP profil ve çubuklardan oluşan köprü tabliyelerinde,
- Çevre etkilerine çokça maruz kalan kıyı yapılarında,

Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde, zemin suyu etkisinde kalmış betonarme yapılarda, deniz suyuna maruz kalan ve denize yakın yapılarda korozyon nedeni ile beton ve donatıda ciddi hasarlar gözlenmektedir. Zemin suyunun etkili olduğu bölgelerde su yalıtımı yapılmayan yapıların, deprem sonrası yıkılan ve hasar gören

bodrum kat taşıyıcı sistemleri incelendiğinde çelik donatı korozyona uğramış ve betonarmenin niteliğini kaybettiği gözlemlenebilmektedir (Durmaz, 2018).



Şekil 2.20. FRP donatıların kıyı yapılarında kullanımı (Durmaz, 2018)

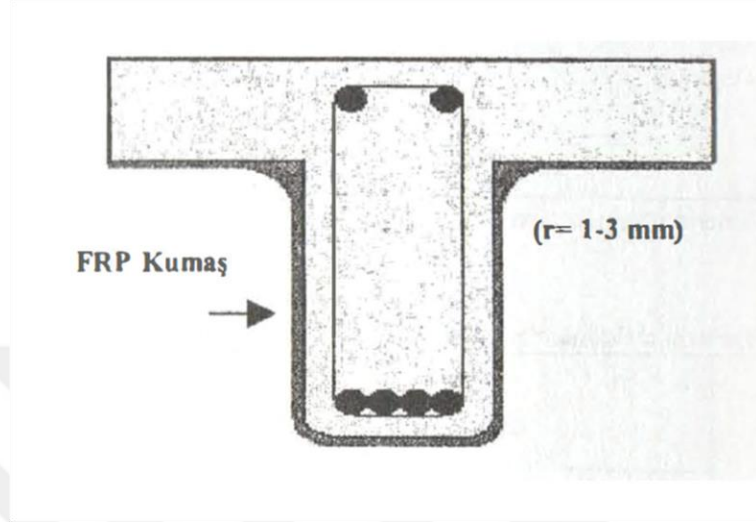


Şekil 2.21. FRP hasırların köprü döşemelerinde kullanımı (Durmaz, 2018)

2.4.2. FRP Kumaşlar, Plaklar ve Şeritlerle Yapılan Uygulamalar

Betonarme yapılarda FRP malzemeler kullanılarak yapılan güçlendirmelerde, FRP malzemeler kirişlere salgılama yöntemiyle uygulanabilir veya kirişin çalışma eksenine paralel bir şekilde yapıştırılarak boyuna donatı vazifesiyle de kullanılabilir. Bu malzemelerle yapılacak güçlendirme uygulamalarında betonarme taşıyıcı elemanın yüzey hazırlığı çok önemlidir. FRP kompozitlerin betonarme kirişlere uygulanmasında karşılaşılan en önemli sorun FRP'nin sıyrılması ve betondaki paspayı tabakasını da alarak ayrılmasıdır. FRP uygulaması yapılacak yüzeydeki beton parçaları ve kırık olan kısımlar uzaklaştırılırsa sıyrılma riski oldukça azaltılmış olur. Yüzey temizliği yapıldıktan sonra betonarme yüzeyde oluşan boşluklar tamir harcı veya epoksi gibi yöntemlerle doldurulmalıdır. Betonarme eleman köşeleri ve keskin kenarlar FRP

malzemenin sürekliliğini bozmaması açısından törpülenerek yuvarlanmalıdır. Betonarme kirişin dış köşeleri 1-3 cm çapında olacak şekilde yuvarlatılmalıdır. İç köşeler ise epoksi veya tamir harcı benzeri malzemeler ile doldurularak yuvarlatılmalıdır (Gençbay, 2017).



Şekil 2.22. Betonarme kirişte iç ve dış köşelerin kavislendirilmesi (Yılmaz ve Diğ., 2002)

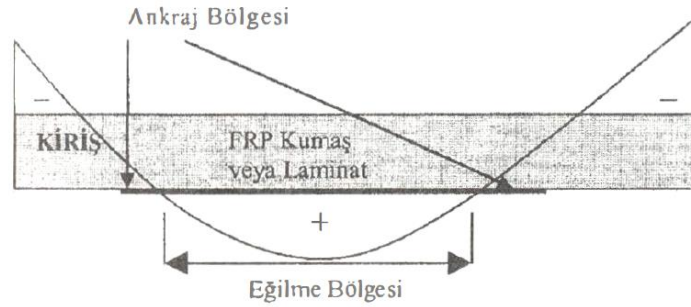
FRP malzemeler için yüzey hazırlığı uygulamada en önemli aşama olarak kabul edilmektedir. Çünkü, bu malzemeler dıştan uygulandığından temas yüzeyinden sıyrılma veya beton pas tabakasını alarak ayrılması söz konusu olabilir. Betonarme yapılarda çelik, beton tarafından kuşatıldığından beton içerisinde kalmaktadır, sıyrılma veya betonla farklı hareket etme eğilimi yoktur, monolitik davranış gösterir. Ancak FRP kumaş ve laminantlar yüzeye iyi tutunamadıklarında bu davranışı gösteremezler. Kumaşların, laminantlara (plaklara) göre yüzeye daha iyi uyum sağladıklarından yapışma gücünün de daha iyi olduğu görülmüştür (Yılmaz ve diğ., 2002).

FRP malzemenin yüzeye yapışmasını olumsuz etkileyecek yağ, toz ve kir gibi yabancı maddeler yüksek basınçlı su/hava püskürterek veya kumlama yapılarak uygulama yüzeyinden uzaklaştırılmalıdır. 5 °C' nin altında olan ve 30 °C' nin üzerinde olan sıcaklıklarda FRP uygulaması yapılmamalıdır. En ideal olan sıcaklık 20 °C' dir. Uygulama yapılacak ortamdaki nem oranı %4' ten daha fazla olmamalıdır. Ortamdaki nem oranı bir şekilde azaltılamıyorsa neme karşı dayanımı olan astarlar kullanılmak zorundadır. Temizlenen betonarme eleman yüzeyine fırça veya rulo yardımıyla epoksi astar uygulaması yapılmalıdır. Astar kurumasına müteakip oluşabilecek birtakım

çukurluklar epoksi türevi malzemeler ile doldurulmalıdır. Epoksi malzemesi de kurduğunda betonarme yüzey reçine sürülerek FRP uygulaması yapılmaya müsait hale gelmektedir. FRP uygulamaları karlı ve yağmurlu havalarda kesinlikle yapılmamalıdır. Çok mecbur kalındığında ise yukarıda bahsedilen özel koşulların muhakkak sağlanması gerekmektedir (Celep ve Kumbasar, 2001).

FRP kumaşlar, hazırlanmış yüzeye epoksi sürülerek yapıştırılır. Kumaş ve epoksinin yapıştırıldığı yüzeyle arasında hiç hava boşluğu olmamasına özen gösterilmelidir. Yüzey hazırlığı yapılmış bölgeye epoksi sürülürken bir taraftan da FRP kumaş epoksiye doyurulur. Kumaşlarda sıyrılmaya karşı gerekli yerlerde ankraj yapılmalıdır. Yapılan bazı testler sonucu, kumaşı kullanılacak bölgenin en az 10 cm dışına taşımanın yeterli olacağı ileri sürülmektedir.

FRP' ler kirişin eğilme bölgesinde boyuna, kesme bölgesinde ise 45° ve 135° açılarda uygulandığında maksimum performans gösterirler. Yine kumaşlarda ek yapılması isteniyorsa en az 10 cm bindirme yapılmalıdır. Eğilme bölgelerinde tek ve sürekli parça kullanılmalı, ekleme yapılmamalıdır. Yapıştırma işlemi tamamlandığında FRP malzeme üzerine kum serpilir. Daha sonra üzerine sıva veya koruyucu boya uygulanarak kaplanır (Yılmaz ve diğ., 2002).

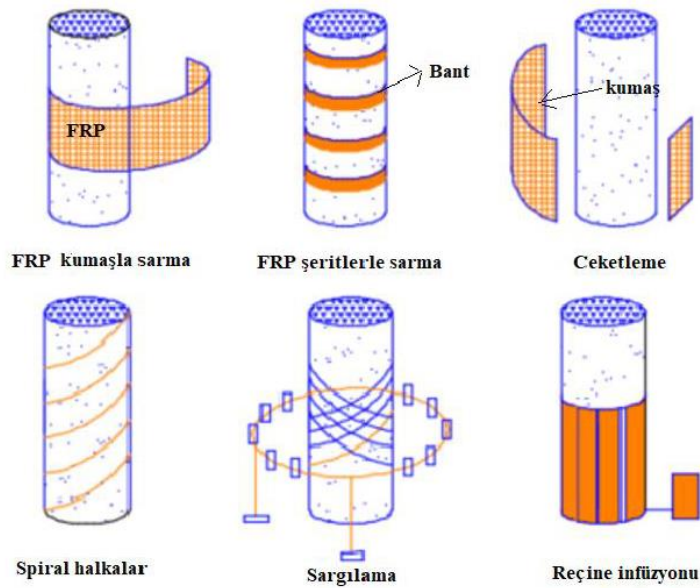


Şekil 2.23. FRP'nin ankrajlama için eğilme bölgesi dışına taşırılması (Yılmaz ve diğ., 2002)



Şekil 2.24. Betonarme döşemede FRP şeritlerin çift yönlü olarak uygulanması (Yılmaz ve diğ., 2002)

Kolonlarda süneklik, kesme dayanımı, basınç dayanımı ve sismik dayanımın artırılması için kumaşlar enlemesine sarılmalıdır. Yapılan testlerde FRP sarılı kolonların artan sismik ve tekrarlı yüklere karşı, daha fazla deplasman yaparak enerji sönmülendirdiği görülmüştür (Yılmaz ve diğ., 2002).

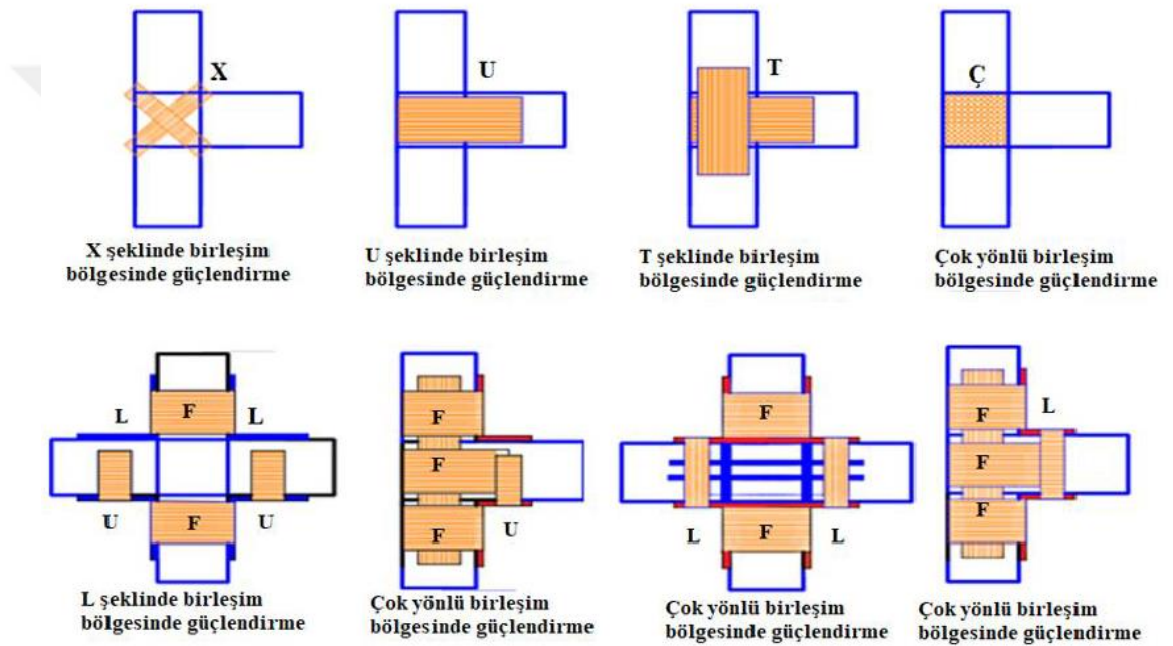


Şekil 2.25. Betonarme kolonlarda FRP uygulama şekilleri (Maraş, 2021)

Betonarme yapılarda, kolon kiriş birleşim bölgeleri depremlerde en çok hasara uğrayan ve güçlendirilmesi gereken bölgelerdir. Bu birleşim bölgelerinde, iki boyutlu FRP ile güçlendirme yöntemleriyle sargılama işlemleri uygulanan birçok çalışma mevcuttur. Şekil 2.26.' da kolon kiriş bölgesinde güçlendirme çalışmalarında önerilen

dört farklı konfigürasyon uygulanmaktadır. Bu güçlendirme yöntemleri şu şekilde sıralanabilir:

- 1) U şekilli FRP kullanarak güçlendirilen kolon kiriş birleşim bölgesi,
- 2) Derz üzerinde yatay ve düşey yönlerde FRP uygulayarak T şekilli konfigürasyon,
- 3) X şeklinde güçlendirilen birleşim bölgesi,
- 4) Çoklu konfigürasyonlarla iki veya dört eksenli FRP kompozitlerle güçlendirilen birleşim bölgeleri.

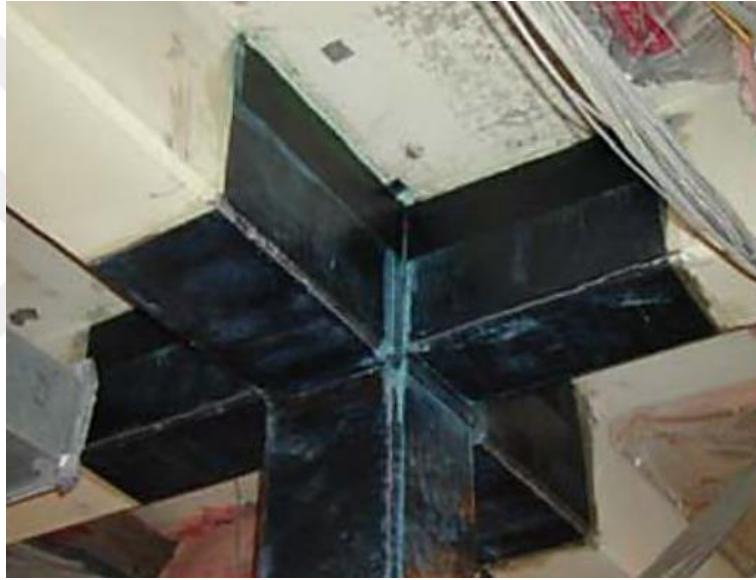


Şekil 2.26. Kolon-kiriş bölgeleri için FRP uygulama şemaları (Maraş, 2021)

Yapılan çalışmalarda, önerilen güçlendirme türleri birçok araştırmacı tarafından detaylı olarak açıklanmıştır. Bu deneylerden elde edilen ana gözlem, U şeklindeki konfigürasyonlar için, ankraj olmadan yapısal davranışta herhangi bir gelişme olmadığıdır. Sabit bir şekilde ankrajla sabitlenmiş U şekilli güçlendirmede ise %99 oranında bir mukavemet artışı elde edilmiştir. T şekilli FRP ile güçlendirilen numunelerde de yüksek oranda dayanım artışı tespit edilmiştir. X şekilli, U şekilli ve T şekilli güçlendirmeler karşılaştırıldığında, liflerin temel gerilim eksenine yönlendirilmesine rağmen, her üç durumda da X şekilli konfigürasyonda özellikle kesme kuvvetlerine karşı, oldukça önemli sonuçlar elde edilmiştir. U şekilli FRP sargısı uygulamadan önce kiriş köşe kesitleri tıraşlanarak yuvarlatılmasıyla, bu

kompozitlerin zarar görmesi engellenmiş ve daha yüksek dayanım artışı sağladığı gözlenmiştir (Maraş, 2021).

Kasımzade ve Tuhta (2012) çalışmalarında, fiber lif takviyeli polimerler (FRP) ile güçlendirilmiş kirişin sonlu elemanlar metodu ile elde edilen analitik sonuçları ile deneysel sonuçlarını karşılaştırmışlardır. FRP sarım sayısının maksimum yük ve maksimum moment kapasitesine etkisini değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre CFRP uygulanmış betonarme kirişlerin sarım sayısı ile kiriş yükü ve moment kapasitesi arasında niteliksek bağımlılıklar meydana gelmiştir. Karbon Elyaf Takviyeli Plastik (CFRP) ile güçlendirilmiş yapıların analizi için bilinen geleneksel analiz programlarının uygulama olanakları gösterilmiştir (Kasımzade ve Tuhta, 2012).



Şekil 2.27. Kolon-kiriş bölgesinde FRP uygulaması örneği (Gençbay, 2017)

FRP laminantlar (plakalar) önceden epoksi emdirilerek fırınlanmış, sert levha biçiminde malzemelerdir. Genişlikleri 1-10 cm kalınlıkları 1-1.5 mm arasında rulo halinde olup uygulanacağı uzunluklara göre kesilirler. Laminantlar, kumaşlarda olduğu gibi yüzeye epoksi ile yapıştırılır. FRP laminantların eğilmeye karşı değişik bir kullanım şekli de slot (yarık) uygulamasıdır. Güçlendirilmek istenen yüzeyde FRP laminantın gireceği genişlikte bir oyuk açılır, içerisine epoksi doldurulur ve laminant bu oyuğa yerleştirilir. Bu yöntem, anıtsal eserler ve tarihi yapılar için ideal bir sistemdir (Yılmaz ve diğ., 2002).

Yığma yapı sisteminin basınç dayanımı oldukça yüksektir, ancak çekme bölgelerinde gerekli çekme dayanımını karşılayamazlar. Yatay yükler etkisi altında kaldıklarında ise yeterli dayanımı göstermeleri beklenmektedir. Yığma yapılarda ana

taşıyıcı elemanlar duvarlardır. Karbon lif takviyeli polimer çubuklar ile yapılan güçlendirmeler ana taşıyıcı duvarlara veya diğer strüktürlerde oluşabilecek çekme gerilmelerinin karşılanmasını amaçlayan bir güçlendirme tekniğidir (Kasımzade ve Tuhta, 2017).

Yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesinde birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bazı yöntemler geleneksel malzemeler yardımıyla uygulanmaktadır. Geleneksel güçlendirme malzemelerinin yetersiz kaldığı durumlarda ise yeni malzemeler kullanılarak yapıya çeşitli müdahaleler yapılmaktadır. Bazı müdahalelerde birkaç yapı elemanının onarımı yeterli olabilirken bazı durumlarda ise yapı bütün olarak güçlendirilir. Karbon fiberle güçlendirilmiş polimerlerin (CFRP) kullanımı oldukça popüler bir yöntemdir. Bunun nedeni ise yüksek ağırlık-ağırlık ve yüksek sertlik-ağırlık oranları, yüksek mekanik performans ve herhangi bir şekilde üretilme olasılığı, kurulum kolaylığı ve destek yapısı, korozyon direnci, hafiflik ve yüksek dayanıklılık için daha az gereksinim olmasıdır. Ek olarak, yapılardaki gerilmelerin düşük olması her zaman arzu edilir. Bu etkiyi gözlemlemek son derece önemlidir. (Tuhta ve diğ., 2019)

Tuhta ve diğ. çalışmalarında, 1 mm kalınlığındaki CFRP kumaşı 100 mm kalınlığındaki yığma kubbe yapısına sararak yığma kubbelerin maksimum gerilmeleri ile CFRP ile güçlendirilmiş yığma kubbelerin maksimum değerleri arasındaki farkları incelemişlerdir. Bu farklar %70.08 civarında gözlenmiştir. Olumlu bir düşüşü ifade eden bu fark CFRP ile güçlendirmenin, yığma kubbelerde güvenlik açısından olumlu sonuçlar doğurduğunu göstermiştir (Tuhta ve diğ., 2019).

CFRP donatılar ile yapılan onarım ve güçlendirmeler, yığma yapı taşıyıcı sistemiyle dengeli ve uyumlu bir şekilde çalışabilmektedir. Ayrıca yığma yapı ve FRP malzemenin birlikte hareket edebilme kabiliyeti diğer yöntemler ile mukayese edildiğinde FRP malzemelerin bu konuda çok daha üstün olduğu görülmektedir. Tüm bu sebepler FRP malzemelerin tercih edilmesine olanak sağlamaktadır. (Kasımzade ve Tuhta, 2017).

Çelik hasır donatılarla uygulanan güçlendirmeler ile CFRP malzemesi ile yapılan güçlendirmeler mukayese edildiğinde ortaya çıkan en önemli fark CFRP malzemelerin korozyona uğramamaları ve çeliğe oranla çevresel ve kimyasal etkilerden daha az etkilenmeleridir. Çelik hasırlar ile yapılacak uygulamalarda çelik hasırın dış faktörlerden etkilenmemesini sağlamak amacıyla uygulama sonrasında çelik hasırlar beton benzeri bir sıva tabakasıyla kaplanmalıdır. Ancak kullanılacak

beton harçlarının sünekliğinin, elastisite modülünün ve diğer mekanik özelliklerinin mevcut yapıdaki harç malzemesine göre epey farklılık göstermesi kaçınılmazdır. Sistem bu nedenle tam anlamıyla bir bütün halinde ve uyumlu bir şekilde çalışamayacaktır. Ayrıca çelik hasırla yapılan güçlendirmelerde çelik hasır ve üzerine yapılacak sıvanın yığma yapının ağırlığını artıracak, bu durumun ise deprem etkilerinin yapıda daha fazla hissedilmesine sebep olacağı gayet anlaşılabilir (Kasımzade ve Tuhta, 2017).

FRP donatılar ile uygulanan güçlendirmelerde ise genel olarak kullanılan yöntem önce yığma yapı sistemini oluşturan taşıyıcı malzemelerin derz aralıklarının boşaltılması, daha sonradan ise epoksilenen FRP çubuğun yığma yapının derz aralarına yerleştirilmesidir. Daha sonradan FRP çubuklar, ana yapıya uygun nitelikte harçlar kullanılarak kapatılmalıdır. Uygulanan bu yöntem sayesinde yapıda oluşan çekme gerilmeleri yapının taşıyıcı duvarlarının yüzeyine eklenen bu FRP çubuklar sayesinde karşılanabilir. Ayrıca FRP donatılar elemanın yüzeyi boyunca düşey doğrultuda uygulandığında eğilmeye karşı, enine doğrultuda uygulandığında ise kesmeye karşı dayanım artışı sağlamaktadır (Pehlivan, 2019).



Şekil 2.28. CFRP çubukların uygulamaya hazırlanması (Pehlivan, 2019)

CFRP kumaşlar ile yığma yapıların, kemerlerin, duvarların, tonozların ve yığma yapı tekniğiyle üretilen kubbelerin dış yüzeylerinde çeşitli güçlendirme teknikleri uygulanabilir. Bu yöntemlerde CFRP malzemesi uygun yönde, genişlikte ve sıklıkta

sarım yapılarak yapıların mevcut dinamik ve statik yükler etkisi altında taşıma kapasitelerinin artması sağlanır. Aynı zamanda bu yapıların süneklikleri de artmaktadır. CFRP uygulamasından önce yüzeyde bulunan oynak malzemelerin, tozların ve kirlerin yüzeyden uzaklaştırılarak yüzeyin hazırlanması çok önemlidir. Bu hazırlık CFRP kumaş ile yapı elemanı arasındaki aderansın artmasında oldukça önemlidir (Pehlivan, 2019).



Şekil 2.29. FRP ile güçlendirilmiş kubbe kasnağı (Pehlivan, 2019)

3. TÜNEL KALIP YAPILAR

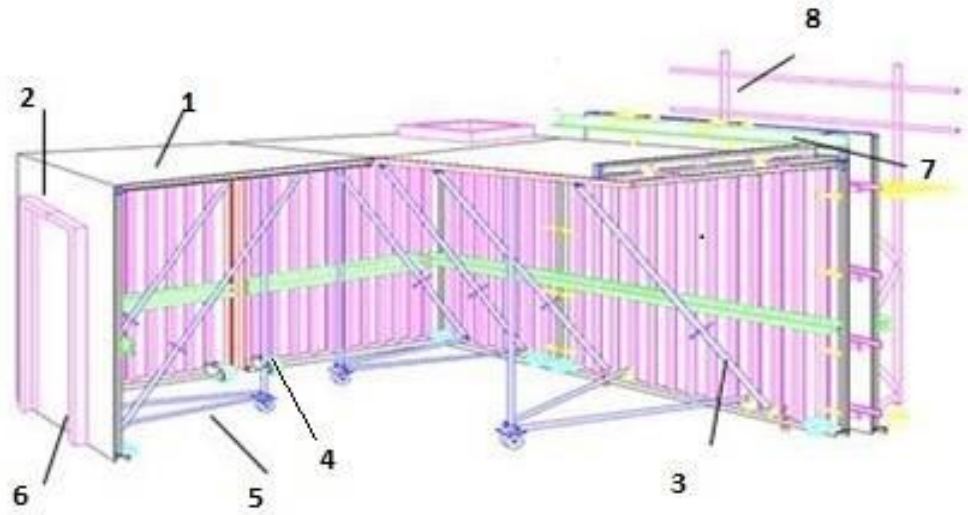
3.1. Genel Bilgiler

Tünel kalıp yapı sistemi, yapının taşıyıcı duvarlarının yani perdelerinin ve döşemelerin bütün bir şekilde oluşturulup, tek seferde dökülmesine olanak tanıyan bir inşaat yapım tekniğidir. Sistem sac panolar ve diğer elemanlardan meydana gelir. Tünel kalıplar dört yüzeyi kapalı olan kalıp birimlerdir. Beşinci yüz kalıbın üzerine oturduğu altta bulunan dşemedir. Altıncı yüz, kalıbın çıkarılacağı taraftır ve bu nedenle açık bırakılır. 3-4 mm kalınlığındaki elik levhalar kalıbın yüzeyini oluşturur (Gençbay, 2017).



şekil 3.1. Kalıp elemanı (Gençbay, 2017)

Tünel kalıp sisteminde döşemeler  tarafından perdelere bağlanır. Cephe kısmında bulunan elemanlar, sahanlıklar, merdivenler, bacalar, bölme duvarlar vb. n yapımlı olarak dışarda üretilir ve daha sonradan ana sistemde bulunan taşıyıcılarla birleştirilir. elik rezervasyon elemanları yardımıyla beton içinde pencere, kapı ve baca gibi boşlukları bırakılır. Bu elemanlar beton dökümünden önce kalıp içerisine konulur. Su ve elektrik tesisatları da daha sonradan kullanılmak amacıyla kalıbın içerisine yerleştirilir. Kalıplar montaj yapılacağı bölüme kule vinç vasıtasıyla taşınır ve yerleştirilir. Tünel kalıp sistemini oluşturan elemanlar şekil 3.2’ de sunulmuştur (Gençbay, 2017).



Şekil 3.2. Tünel kalıp elemanları (Gençbay, 2017)

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 1. Yatay pano | 5. Tekerlek |
| 2. Dikey pano | 6. Döşeme kapatma elemanı |
| 3. Çapraz destek (konturfiş) | 7. Rezervasyon kalıpları |
| 4. Tekerli Dikme | 8. Çalışma iskelesi |

3.2. Tünel Kalıp Çeşitleri

3.2.1. Yarım Tünel Kalıp

Döşemelerle birlikte, binanın yan dış duvarlarının, iç bölme perdelerinin, dış perde perdelerinin betonlanmasına izin veren kalıp ekipmanına verilen isimdir. Yarım tünel kalıp ekipmanında, kalıp sökümünden sonra, döşemeler dikme ile desteklenerek bir süre bu şekilde bırakılmalıdır.

Yarım tünel kalıpların tam tünel kalıplara göre farkı, iki yarım kalıbın birleşim detaylarının farklı olmasıdır (Türken ve diğ., 2011).

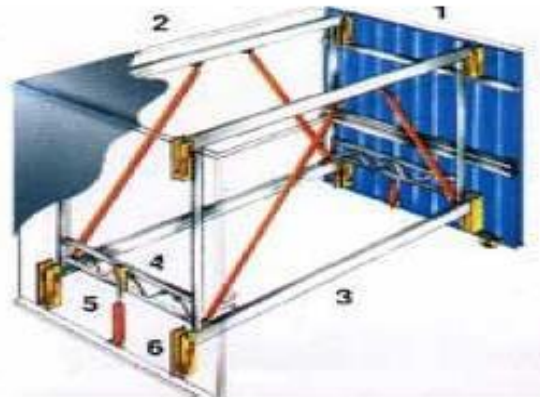


1. Düşey pano
2. Yatay pano
3. Ayarlanabilir payanda
4. Denge payandası
5. Süper kriko

Şekil 3.3. Yarım tünel kalıp elemanı (Türken ve diğ., 2011)

3.2.2. Tam Tünel Kalıp

Tam tünel kalıp ekipmanı döşemelerle birlikte, binanın, iç bölme perdelerinin, dış perde perdelerinin betonlamasına izin veren ekipmandır. Tam tünel kalıplarda, kalıp boyutunu etkileyen en önemli özelliklerden biri kalıpların ağırlıkları, bir diğeri ise kullanılan kule vincin kaldırma kapasitesidir. Tünel kalıplarda boyutlar üretici firmalara göre değişiklik gösterebilir. Kalıp açıklıkları genelde 5.70 m ile 6.30 m arasında değişmektedir. Kalıp yükseklikleri ise 2 m ile 3 m arasında değişmektedir. Açıklığın daha fazla istenildiği tasarımlarda döşeme kalınlığı artacak, kalıp konstrüksiyonu zorlanacak dolayısıyla kullanılan elemanların kesitleri artacaktır. Kısacası sistem ekonomik olmamaya başlayacaktır. Tam tünel kalıplar alındıktan sonra döşemeler dikme desteğine alınabilir.

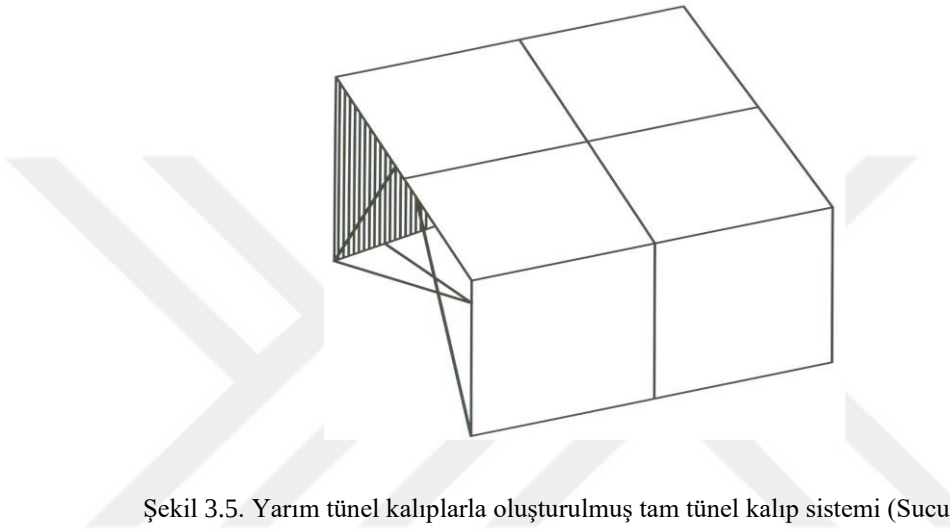


1. Yan duvar kalıbı,
2. Yatay kalıp yüzeyi
3. Travers
4. Kaldırma kirişi
5. Hidrolik kriko
6. Ayar ve tespit çubuğu

Şekil 3.4. Tam tünel kalıp elemanı (Türken ve diğ., 2011)

Yarım tünellerle kullanım durumuna göre farklı şekillerde kombinasyonlar yapılarak tam tünel kalıp elemanları elde edilebilir. Tam tünel kalıp elemanların ağırlıkları 80 kg/m^2 ’ dir. Eleman uzunluğu: 0.625-1.25-2.5 m, genişlik yönünde büyüme olasılığı 1.8 m (ek parça ile); maksimum açıklık 6.2 m’ dir (Şimşek, 2001).

Standart tünel genişlikleri 1.05-1.35-1.65-1.95-2.25-2.55-2.85 m’dir. Değişik kombinasyonlar yapılarak 2.1-5.7 m arasında açıklıklar için standart tünel kalıplar oluşturulur (Sucu, 2006).



Şekil 3.5. Yarım tünel kalıplarla oluşturulmuş tam tünel kalıp sistemi (Sucu, 2006)

Yarım tünel kalıplarda ise; ağırlık 70 kg/m^2 ; maksimum açıklık 5.7 m’dir. Standart tünel yükseklikleri 2.3-4.00 m’ye kadardır. Tünel kalıp yüksekliği (H) döşeme üstünden, üst döşemenin altına kadar olan yüksekliktir (Sucu, 2006).

3.3. Tünel Kalıp Sistemini Oluşturan Elemanlar

Tünel kalıp yapım tekniğinde her bir elemanın farklı görevleri mevcuttur. Sistemi oluşturan elemanlar 6 grupta incelenebilir.

3.3.1. Ana Tünel Kalıp

Perde duvarların ve döşemenin imalatını sağlayan elemanlarıdır.

3.3.2. Özel Ek Kalıp Parçaları

Tünel kalıp dökümündeki konsollar, delikler, perde alınları ve döşeme gibi yapıları oluşturan parçalardır (Kıncal, 2006).

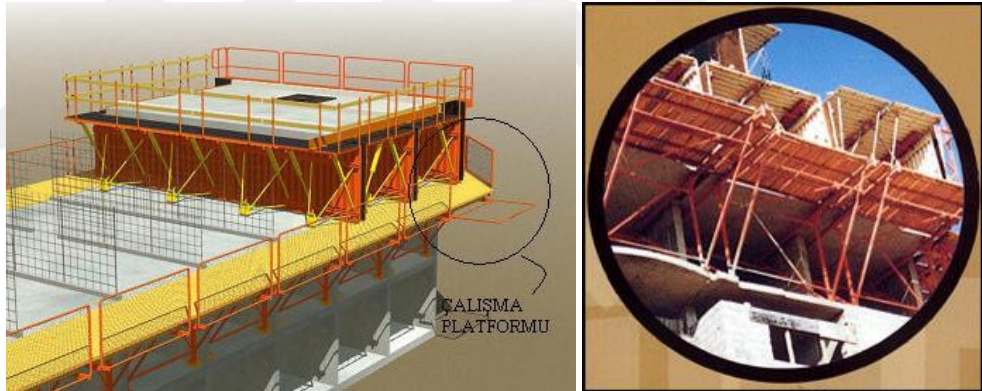
Kapı ve pencere boşlukları perde kalıplarının arasına yerleştirilen çeşitli rezervasyon elemanları ile oluşturulur.



Şekil 3.6. Tünel kalıp imalatında kullanılan bazı ek parçalar (Kıncal, 2006)

3.3.3. Çalışma Platformu

Betonun dökülmesine ve prizini almasına müteakip kalıpların çekilerek dışarı alınmalarını sağlayan yan platformlardır. Ana yapıdan sökülen tünel kalıp elemanları bu platformlara sürülür ve kule vinç yardımı ile üst kata yerleştirilir (Kıncal, 2006).



Şekil 3.7. Çalışma platformları (Kıncal, 2006)

3.3.4. Destek elemanlar

Beton dökülürken gelecek olan yükleri taşıyabilmek maksatlı kullanılan kriko, payanda, teker ve dikme gibi ek elemanlardır (Gençbay, 2017).



Şekil 3.8. Tünel kalıp destek elemanları (Gençbay, 2019)

3.3.5. Kürleme elemanları

Tünel kalıp sisteminde kürleme beton döküldükten sonra çeşitli yöntemlerle yapılır. Bu yöntemlerden birincisi kalıbın içinin ısıtılmasıdır ikincisi ise kalıp içinde buhar veya sıcak suyun dolaştığı kanalların yerleştirilmesidir. Eğer tünel kalıp sistemi içerden ısıtılarak kürleme yapılacaksa; tünel kalıbının açık olan ağızları plastik perdeler yardımıyla kapatılır. Tünel kalıp içindeki sıcaklığın artması için ocaklar yakılarak betonun daha hızlı priz alması sağlanır. Buhar veya su kullanılarak kürleme yapılacaksa tünel kalıbın yanlarına ve döşemelerin altına sıcak su yada buhar dolaşımını sağlayan kanallar monte edilir (Sucu, 2006).

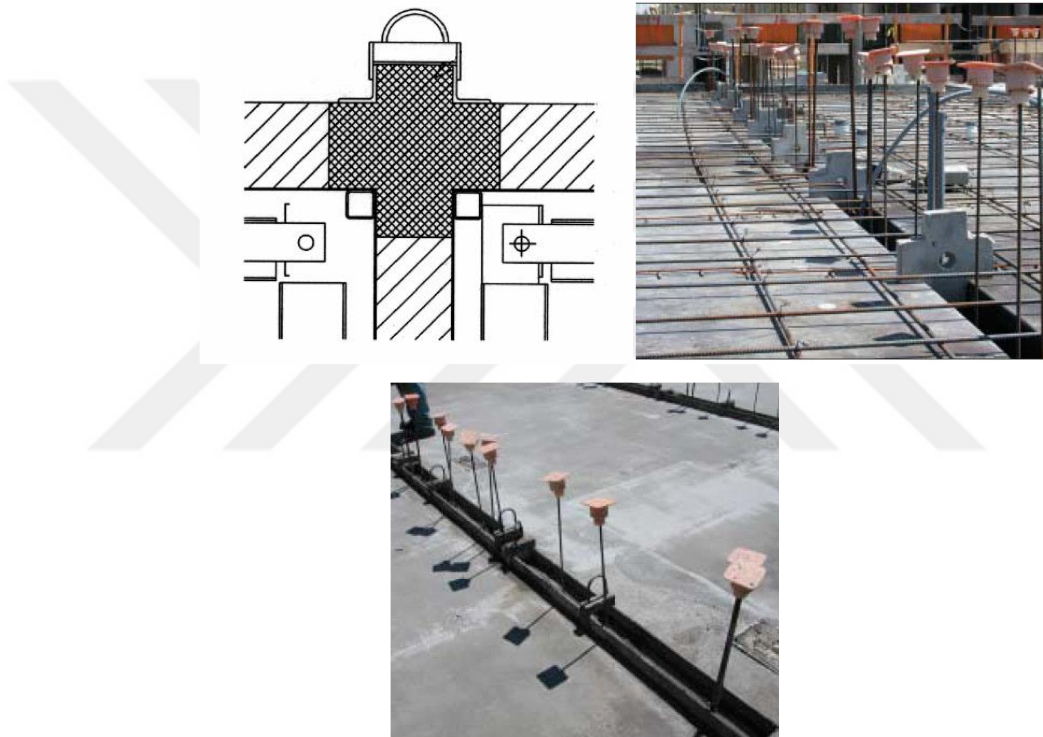


Şekil 3.9. Tünel kalıbın koruyucu perdelerle kapatılarak kürlemeye hazırlanması (Sucu, 2006)

3.3.6. Aks betonu dökümünü sağlayan elemanlar

Tünel kalıp elemanları yerleştirilirken bir üst kattaki konumları ve hizalarının bulabilmesi için aks betonlarına ihtiyaç vardır. Aks betonlarının yapılabilmesi için kullanılan ilave kalıp elemanına “Aks Beton Kalıbı” ya da “sokl” adı verilir.

Aks betonlarının dökülebilmesi için ilk olarak artı şeklindeki beton prekast elemanlar iki tünel kalıp arasına yerleştirilir. Bu artı prekast elemanların üst yatay hizası döşeme üst kotunu belirirler. Daha sonra çelik korniyerler bu prekast elemanların beton dışında kalan kısmına bağlanarak aksın kalıplarını oluşturur (Kıncal, 2006).



Şekil 3.10. Aks betonu (sokl) kalıpları (Kıncal, 2006)

3.4. Tünel Kalıp Sisteminin Gelişimi ve Uygulandığı Ülkeler

Tünel kalıp sisteminin ilk uygulamaları Fransa’da ahşap kalıplar kullanılarak denenmiştir. Daha sonraları ise bu kalıplar çelikten üretilmiştir. Bu sistem Dünya’ya Outinord adındaki bir inşaat şirketi tarafından tanıtılmıştır. Tek konut ve konut bloklarında uygulanan tünel kalıp sistemi hala birçok Avrupa ülkesinde ve Türkiye’de uygulanmaktadır. (Balkabak, 1999)

Türkiye’de bir yapı üretim kuruluşu olan Mesa’nın önderliğinde, 1978 yılından sonra çeşitli uygulamalar yapılmaya başlanmıştır. Toplu konut üretiminde hızlı ve

pratik olması gibi birçok nedenden dolayı yaygın olarak tünel kalıp sistemi kullanılmaktadır (Sucu, 2006).

3.5. Tünel Kalıp Sisteminin Kullanılma Nedenleri

Tünel kalıp sistemlerinin kullanılma nedenlerini Şu Şekilde sıralayabiliriz;

- Tünel kalıp sistemi tüm taşıyıcı elemanların tek seferde yerinde dkebilmesine olanak sağlar. Bu Şekilde daha monolitik bir yapı ortaya çıkar ve özellikle perde ile döşemelerin birleşim bölgelerinde oluşan soğuk derz problemi ortadan kalkmıŐ olur.
- Düşey taşıyıcı elemanların perdelerden oluşması, yapının yatay kuvvetlere karşı daha dayanıklı olmasını ve yüklerin temellere homojen bir Şekilde dağılmasını sağlamaktadır.
- Kat ykseklıklarının, döşeme kalınlıklarının eşit olması yapıda detay benzerliği sağlayarak daha kolay bir üretim yöntemi oluŐturmaktadır.
- Tünel kalıp sisteminin kullanıldığı inŐaatlarda kaba inşaat yapım süresi geleneksel yöntemle yapılan inŐaatlara göre çok daha kısadır. Bu konuyla ilgili yapılan birçok araştırma kaba inşaat sresinin %50 oranında kısaltıldığını göstermektedir.
- Nitelikli iŐçi gereksinimi geleneksel yönteme oranla daha azdır.
- Elektrik ve su tesisatlarının, ısıtma ve havalandırma malzemelerinin beton dökümünden önce kalıbın içine yerleştirilmesi sonraki süreçte oluŐacak imalat detaylarının kolaylaŐmasını sağlar. Ayrıca beton dökümünden hemen sonra ince iŐlerin yapımına baŐlanabilir.
- Kalıplar, düşük hata toleranslarına göre üretildiği için beton dökümündeki ölçüsel doğruluk, kaliteli işçilik ve kesinlik ara duvar bölmeleri ve doğrama gibi ölçülü malzemelerin dökümden hemen sonra yerlerine takılabilmelerine olanak sağlar.
- Sıva gibi ilave ince iŐlerin yapılmasını gerektirmeyen düzgün yüzeyli betonlar elde edilir. Boya, duvar kâğıdı veya benzeri dekorasyon malzemeleri yüzeye doğrudan uygulanabilir (Kıncal, 2006).

3.6. Tünel Kalıp Sisteminin Tasarımı

Tünel kalıp tekniğiyle inşa edilen yapılarda döşemelerin kalınlıkları eşittir. Genellikle düşük döşeme yapılmaktan kaçınılır. Düşük döşeme yapılmıyor olması tavandan sarkan çeşitli tesisat malzemelerinin görünmesine neden olur. Bu tesisat

elemanları asma tavan yapılarak gizlenir. Düşük döşeme yapımının tercih edilmemesinin en büyük nedeni daha pratik bir üretim yöntemi için yapıda girinti-çıkıntı olmasının istenmemesidir. Kat yükseklikleri kalıp sisteminin bozulmaması nedeniyle eşittir.

Döşemeler üç tarafından düşey taşıyıcı elemanlara yani perdelerle mesnetlidir. Bu üç tarafı kapalı hücreleri oluşturan tünel kalıpların tekerleklerle dışarı çıkarılabilmesi amacıyla hücrenin dışı bakan bir yüzü açık bırakılmak mecburiyetindedir. Bu durum açık olan yani taşıyıcı perde üzerine mesnetlenmemiş kenarın üzerine daha sonradan gelecek olan duvar yükünün karşılanması problemini doğurmaktadır. Bu problemin giderilmesi ve bu kenarda daha sonradan oluşabilecek sehimlerin engellenmesi amacıyla eni 30-60 cm kadar olan yüksekliği ise döşeme yüksekliğini geçmeyecek şekilde sarkmayan kirişler oluşturulur.

Perde duvar yönleri ayarlanırken, yapının iki doğrultuda da sahip olması gereken rijitlik göz önüne alınmalıdır. Aynı zamanda tünel kalıbı oluşturan kalıp elemanlarının çıkış yönleri de dikkate alınmalıdır. Yapılacak tasarımlar bu kriterler baz alınarak yapılmalıdır. Yapıyı oluşturan perdeler her iki doğrultuda da çok sayıda bulunabilmektedir. Bu nedenle yapının temelini her iki yönde de sürekli olacak şekilde yapmak gerekmektedir. Bu sebeplerden dolayı tünel kalıp yapı sisteminde genellikle radye temel tercih edilmektedir. Çok bloklu yapılarda kule vinç konumlandırılırken, aynı kule vinç ile birden fazla yapının üretilmesi sağlanmalıdır. Bu durum maliyet ve yapım süresi açısından ciddi avantajlar sağlamaktadır (Gençbay, 2017).

3.7. Tünel Kalıp Yöntemi ile Yapı Üretim Süreci

Tünel kalıp sistemi ile inşa edilen yüksek katlı binaların deprem dayanımı açısından projelendirilme esasları çok yaygın olarak bilinmemektedir. Bu yapılar, diğer yapım tekniklerine oranla dünyada daha az uygulanmaktadır. Bu sistemin uygulandığı ülkelerde çoğunlukla deprem riski düşüktür. Örneğin: İsveç, Hollanda, Fransa, USA (Chicago). Bu konuyla ilgili olarak deneysel ve analitik nitelikte yapılan çalışmalar, yaygın olarak taşıyıcı perde duvarlara sahip kirişsiz döşemelerden meydana gelen yapı sistemlerine aittir. Genel olarak kirişsiz bir plak döşemenin, perdeler arasında çalışırken bağlantı kirişi vazifesini yerine getirip getiremediği araştırılmıştır. Yapılan buna benzer deneysel araştırmaların birçoğu, döşeme ve perdelerin bağlantı bölgelerinde hasarlara neden olabilecek durumların olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu durumlar bölgesel döşeme yırtılmaları ve zimbala kırılmalarıdır.

Bu sistemin verimli bir şekilde çalışması ve olumlu sonuç verebilmesi için az sayıda bile olsa tünel kalıp sistemini iyi bilen kalifiyeli eleman ihtiyacı vardır. Çalışacak grup büyüklüğü, uygulanmak istenen programın üretim planına göre belirlenir (Sümer, 2003).

Tünel kalıp sisteminde zeminin kazılması ve temel imalatının yapılması geleneksel yöntemlerle olur. Grobeton döküldükten sonra temel kalıpları hazırlanır, donatılar bağlanır ve temel betonu dökülür (Sucu, 2006).

Bodrum katlar genellikle normal kat yüksekliklerinden daha fazla yapılır. Standart tünel kalıp kotuna gelene kadar perde duvarlar ve döşemeler geleneksel yöntemlerle dökülür. Bu kottan sonrasında tünel kalıp kurulur. Bu kot aynı zamanda tünel kalıbın vinç yardımıyla sökülüp takılabilmesine olanak sağlayan kottur. Arazinin durumuna göre bazı yapılarda bodrum katların tamamen geleneksel yöntemlerle yapılması durumu da oluşılabilmektedir (Kıncal, 2006).

Tünel kalıp sistemi uygulanırken önce düşey taşıyıcı eleman olan betonarme perde elemanların bir üst kattaki konumlarının belirlenmesi için aks betonu da denilen sokl elemanlar dökülür. Perdelerin oturtulacağı döşemenin üst kotundan yaklaşık 10 cm yükseklikte imalatı yapılacak perdeler boyunca dökülen aks betonu yerleştirecek kalıpların ölülerini ve doğrultularını belirlemede yardımcı olur. Daha sonra perdelerin elik donatıları bağlanır. Elektrik tesisatı daha sonradan kullanılmak maksadıyla mıknatıslı tutucular yardımıyla donatıya bağlanarak kalıp içerisine yerleştirilir (Sucu, 2006).



Şekil 3.11. Perde donatılarının yerleşimi (Sucu, 2006)



Şekil 3.12. Elektrik tesisatının donatılara bağlanması (Sucu, 2006)

Üzerine kalıp yağı sürülen kalıplar yerleştirmeye hazır hale getirilir. En son imalatı yapılan döşeme üzerinde oluşturulmuş olan aks betonları vasıtasıyla iki yarım elemandan oluşan tünel kalıp yerine yerleştirilir. Kapı, pencere boşlukları için donatı ve tesisat imalatları yapılmadan önce rezervasyon elemanları kalıplara monte edilir. Perde duvarlardaki kapı ve pencere boşlukları, çelik perde kalıplarının dik olan yüzeylerine monte edilen ve sökülüp takılabilen “kapı ve pencere rezervasyon elemanları” sayesinde oluşturulur. Merdiven kovaları ve servis bacaları gibi elemanlar ise tünel kalıpların yatay yüzeylerine yani döşemeler üzerine teşkil edilen “çelik çerçeveler” yardımıyla meydana getirilir (Gençbay, 2017).



Şekil 3.13. Tünel kalıp elemanın yerine yerleştirilmesi (Kıncal, 2006)

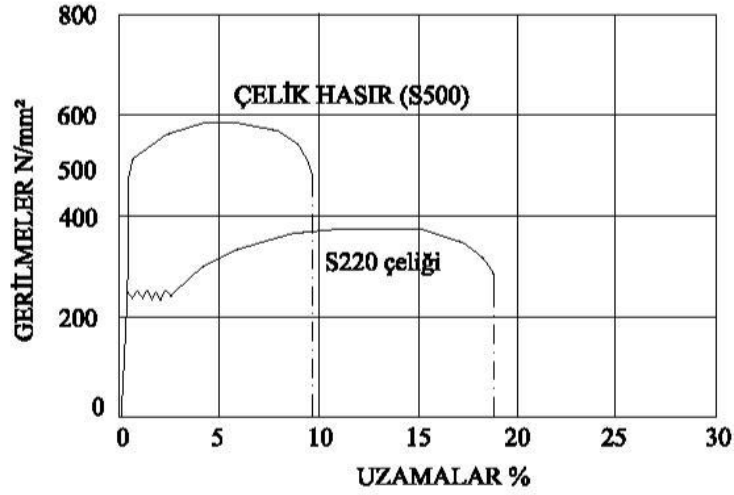


Şekil 3.14. Tünel kalıp sisteminde pencere boşluğunun bırakılması (Gençbay, 2017)

Döşeme ve perde duvarlarda kullanılan çelik hasır ve diğer tesisat elemanları, tünel kalıp elemanlara projesine uygun şekilde yerleştirilir. Havalandırma, ısıtma ve su tesisatı gibi mekanik tesisat elemanlarının kat içinde veya katlar arasında geçişi veya montajı için gerekli olan boşluklar tünel kalıplar üzerine beton dökülmeden önce yerleştirilen çeşitli rezervasyon elemanları sayesinde oluşturulur. (Gençbay, 2017)

Çelik hasır, özel nervürlerden oluşan ve yüksek niteliklere sahip bir inşaat çeliğidir. Soğuk çekme ve özel şekilde nervürlendirme ile elde edilen çelik çubukların

istenilen boyutta kesilip ve doğrultulması ile çelik hasırın ana malzemesi meydana getirilir. Elektronik programlı punto kaynağı belirli aralıklarla uygulanarak çelik çubuklar birleştirilir ve çelik hasır elde edilir (Gençbay, 2017).



Şekil 3.15. Betonarme demiriyle, hasır çeliğin gerilme-uzama eğrisi (Gençbay, 2017)



Şekil 3.16. Döşeme çelik hasırlarının yerleşimi (Sucu, 2006)

Perdenin diğer tarafına gelen kalıp da yerine yerleştirilerek perde kapatılır. İç ve dış kalıplar arasında çeşitli takviye ve destek bağlantıları oluşturulur. Perde ve döşemelere ait olan alın elemanları yerlerine sabitlenir. Döşeme üzerine konulması gereken tüm donatılar ve rezervasyon elemanları yerleştirilir. Son olarak aks betonu kalıpları da yerleştirildikten sonra ısıtıcılar tünelin içine konulur, tünel kalıbın açık kalan ağızları naylon bezler ya da katranlı örtüler yardımıyla kapatılır (Sucu, 2006).

Beton dökümü tamamlandıktan sonra kürlemeye geçilir. Kür için genellikle gaz, buhar, sıcak su ve mazot gibi farklı araçlar tercih edilmektedir. Türkiye’de yapılan imalatlarda kalıp içine yerleştirilen bütan gaz sobası yardımıyla kürleme işlemi yapılır. Kürleme işleminin süresi yaz ve kış aylarında değişiklik göstermektedir. Yaz aylarında yapılan imalatlarda 5 saat, kış aylarında yapılan imalatlarda ise 8 saat boyunca, 50 °C sıcaklıkta kürleme işlemleri sürdürülür. Olabildiğince yüksek verimin alınabilmesi için gece boyunca kapalı bekletilen koruyucu perdeler ertesi gün sabah saatlerinde açılır. Tünel kalıbın dökülen betonla teması kesilir, ayarlanarak kısaltılıp uzatılabilen dikmeler gevşetilir. Tünel kalıp tekerlikleri üzerinde açık olan tarafa doğru dışarıya itilerek çıkartılır. Yerine betona zarar gelmemesi için dikmeler konur. Sökülen kalıplar üst kattaki yerine kule vinçle kaldırılarak yerleştirilir. Kule vinçlere bağlı olan üçgen halatlar veya askılar yardımıyla tünel kalıplar taşınır. Diğer birimlerin çalışma programını aksatmayacak şekilde prekast elemanların yerlerine montajı yapılır. Alt katların duvar, tesisat gibi imatları gün boyu devam eder (Sucu, 2006).



Şekil 3.17. Kürleme için kullanılan tüplerin tünel kalıp elemana yerleştirilmesi (Sucu, 2006)



Şekil 3.18. Tünel kalıbın tekerlekleri üzerinde dışarıya çıkarılması (Sucu, 2006)

3.8. Ülkemizde Tünel Kalıp Sistemleri

Ülkemiz hızlı bir kentleşme ve sanayileşme sürecinden geçmektedir. Bu süreç neticesinde kentlere yapılan aşırı göçler, yoğun nüfus artışının da beraberinde ciddi bir konut ihtiyacı meydana gelmiştir. Konut ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla 70' li yıllardan beri toplu konut üretiminde artışa gidilmiştir. Fakat bu durum bile mevcut konut ihtiyacını karşılayabilecek yeterlilikte olmamıştır. Başta büyük şehirlerimizde olmak üzere, kendiliğinden gelişen ve altyapısı olmayan bir kaçak yapılaşma meydana gelmiştir. Bu kaçak yapılaşmanın yarattığı fiziki ve sosyal birtakım problemler oluşmuştur. Oluşan bu problemler ülkemizin en önemli sorunlarından biridir. Ülkemizin büyük bir kısmı deprem kuşağında yer almaktadır. Bugün özellikle İstanbul' da yaygın olarak gözlemlediğimiz çarpık kentleşme durumu depreme karşı son derece güvensiz bir tablo sergilemektedir. Son yıllarda TOKİ ve diğer bazı kamu kuruluşları, riskli yapıların dönüştürülmesi projelerinin hayata geçirilmesini bu sayede de kaliteli, sağlam ve kent kültürüne uygun yapılar inşa etmeyi hedeflemiştir. Böylece toplu konut üretimi hız kazanmıştır. Toplu konut üretiminde mevcut uygulamalara bakıldığında yaygın olarak tercih edilmekte olan tünel kalıp sistemler ön plana çıkmaktadır (Gençbay, 2017).

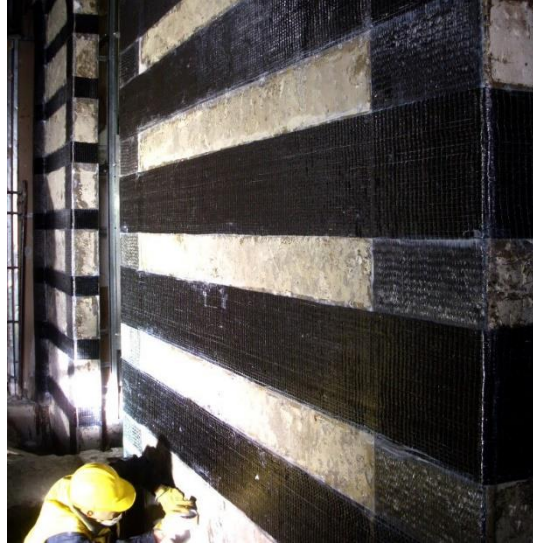
3.9. Betonarme Tünel Kalıp Yapılarda Güçlendirme Tekniklerinin Karşılaştırılması

Betonarme tünel kalıp yapılar, tekniğin ana prensiplerinden kaynaklı her türlü mimari tasarıma olanak sağlamamaktadır. Bunun en büyük nedenlerinden biri kalıp sisteminin dışarı çıkarılması için bir tarafın açık bırakılmasıdır. Mimari tasarımlar yapılırken öncelikli olarak bu durum dikkate alınır. Ayrıca kalıp sistemi tüm katlarda aynıdır, farklı çıkmalara ve farklı kat yüksekliklerine olanak tanımaz. Bu gibi durumlardan dolayı zaten mimari estetik anlamında çok elverişli olmayan tünel kalıp yapılarda, mantolama ile güçlendirmede yapı elemanlarının ebatlarında büyümeye neden olacaktır. Bu da mimari net kullanım alanlarının küçülmesine neden olacağı için mimari anlamda istenmeyen bir durumdur.

Betonarme tünel kalıp yapılarda mantolama ile yapılacak onarım veya güçlendirmelerde düşey taşıyıcı perdelerin bir üst kattaki perdeye ankrajlanması gerekmektedir. Tünel kalıp yapılarda perde uzunlukları çok fazla olduğu için ankrajlama işlemleri fazlaca olacağından perde ve döşeme birleşim bölgesinin zayıflamasına neden olacaktır. Ayrıca bu durum zaman, işçilik ve maliyet gibi konular nedeniyle tercih edilmemektedir.

Betonarme tünel kalıp yapılarda tesisat elemanları taşıyıcı perdelerin içerisine beton dökümünden önce çeşitli yöntemlerle sabitlenir. Tünel kalıp yapılarda taşıyıcı perdelerin mantolama yöntemiyle güçlendirilmesi, taşıyıcı perde üzerinde ilave bir katman oluşturacağı için elektrik tesisatı ve sıhhi tesisat elemanlarının geride kalmasına neden olacaktır. Ayrıca tesisat işlerinin de yeniden yapılması gerekecektir. FRP ile yapılan uygulamalarda perde duvar kalınlıklarındaki büyümeler 5-10 mm civarında olacağı için tesisat işlerinin yeniden yapılmasına gerek kalmayacaktır.

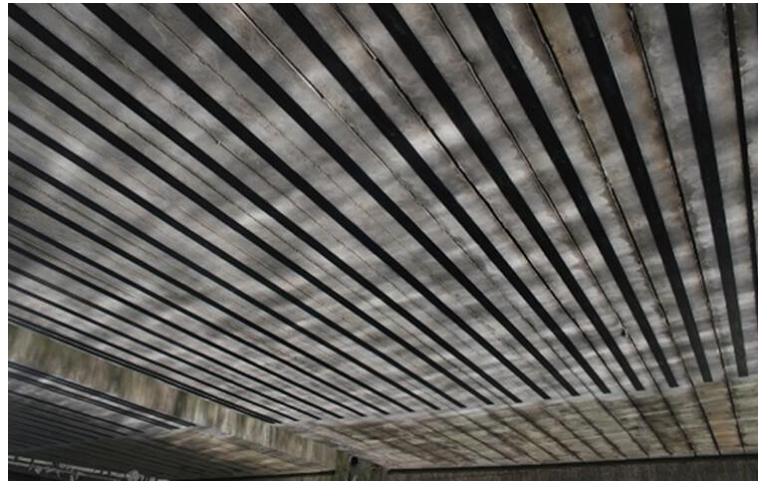
Bu gibi nedenlerden dolayı betonarme tünel kalıp yapılarda mantolama tekniği onarım veya güçlendirmelerde tercih edilmemektedir. Bunun yerine çelik lamalarla, plakalarla, profillerle veya FRP kompozit malzemelerle yapılan güçlendirme yöntemleri çok daha yaygındır. FRP kompozitlerin üstün korozyon dayanımları ve kolay uygulama teknikleri de göz önüne alındığında diğer güçlendirme yöntemlerine göre daha ön plana çıkmaktadır. Ayrıca FRP kompozitler ile yapılan güçlendirmeler, uygulama esnasında genellikle yapının kullanımına devam edilmesine engel teşkil etmemektedir.



Şekil 3.19. Düşey taşıyıcı perde elemanın FRP kompozit kullanılarak güçlendirilmesi (CTec-LLC, 2022)



Şekil 3.20. Betonarme perdelerin FRP kompozit şeritler kullanılarak güçlendirilmesi (Remedial, 2022)



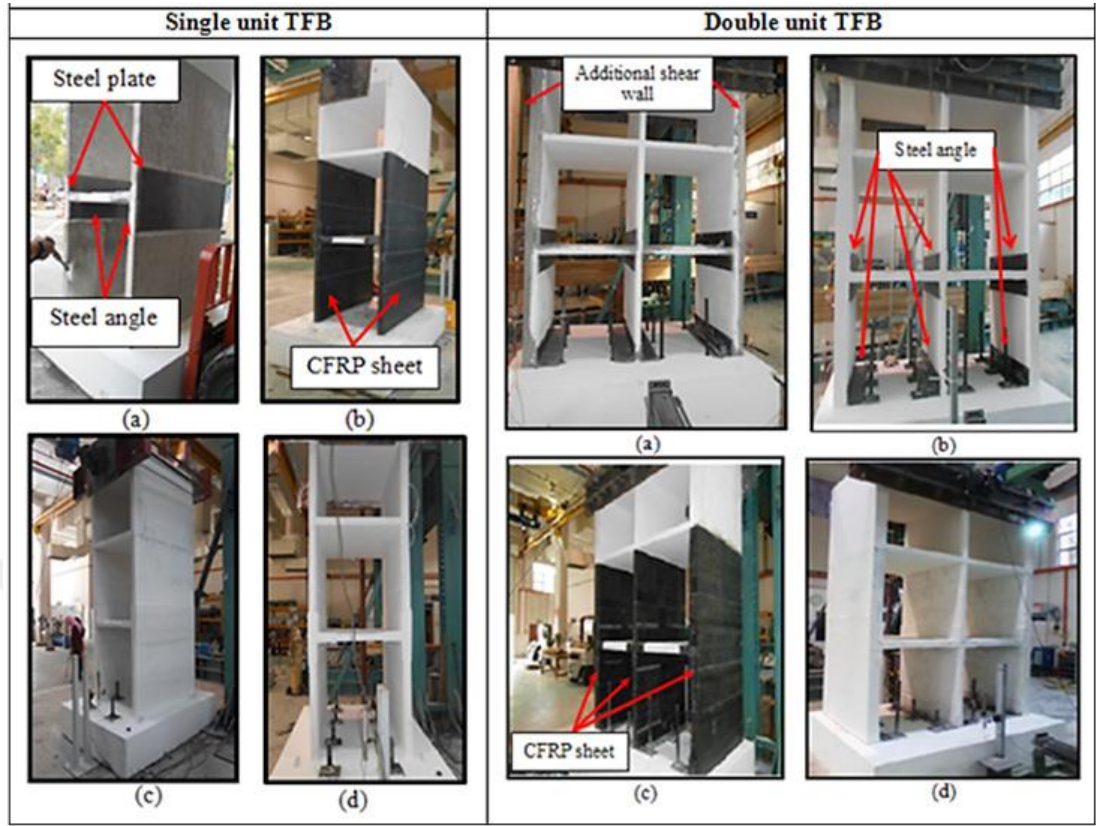
Şekil 3.21. Betonarme döşemelerin FRP kompozit şeritler kullanılarak güçlendirilmesi (TSM, 2022)



Şekil 3.22. Betonarme perde elemanın mantolama tekniği kullanılarak güçlendirilmesi
(Tork Mühendislik ve Dış Ticaret Ltd. Şti., 2022)

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi düşey taşıyıcı perdelerin mantolama yöntemiyle güçlendirilmesi için döşemelerin delinerek perde donatılarının yukarıya devam etmesi gerekmektedir. Bu durum perde ve döşeme bağlantısında zayıflamaya neden olacaktır. Betonarme tünel kalıp yapılarıdaki perde uzunluklarının çok fazla olması bu tip bir güçlendirme uygulamasının döşeme bağlantı noktalarında ciddi problemler oluşturacağını açıkça ortaya koymaktadır.

Anudai ve diğerleri (2016) çalışmalarında, 1/3 ölçekte tek ve çift üniteli tünel kalıp yapılar tasarlayarak bu yapıları yanal yükler etkisi altında test etmişlerdir. Hasar gören bu numuneleri CFRP kompozitler ile güçlendirmişlerdir. Mevcut yapılar ile CFRP kullanılarak güçlendirilen yapıların sismik performansı karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda CFRP kompozitler ile güçlendirilen prototiplerin yanal mukavemet kapasitelerinin ve rijitliğinin arttığı tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda orta veya şiddetli depremlerden sonra hasar görmüş betonarme tünel kalıp yapıların CFRP kompozitler ile güçlendirilmesinin yapı performansına önemli derecede katkı sağladığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 3.23. CFRP ile güçlendirilen 1/3 ölçekli betonarme tünel kalıp yapının deneysel testi (Anudai et al., 2016)

4. MATERYAL, METOT VE UYGULAMA

4.1. Materyal

Bu çalışmada, tünel kalıp sistemi ile yapılmış 20 katlı betonarme bir yapıda BFRP kullanımı incelenmektedir. Modelde perde ve döşemelerde kullanılacak olan beton sınıfı C30'dur. Tünel kalıp sistemi uygulanan yapının tüm perdelerine önce tek taraflı olarak, daha sonra ise çift taraflı olarak BFRP malzemesi uygulanacaktır.

4.1.1. Betonarme

Çalışmada kullanılan C30 betonun özellikleri, aşağıda verildiği gibi SAP2000 programına girilerek malzeme oluşturulmuştur.

Materyalin Kütle ve Ağırlığı:

(BHA) Birim Hacim Ağırlığı= 24.9926 KN/m^3

(BHK) Birim Hacim Kütlesi= 2.5485 KN/m^3 , dir.

Materyalin Mekanik Özellikleri:

Elastisite Modülü $E=33000000 \text{ KN/m}^2$

Poisson Oranı $U=0.2$

Isıl Genleşme Katsayısı $A=0.00001 \text{ 1/C}^\circ$

Kayma Modülü $G=13750000 \text{ KN/m}^2$, dir.

Kullanılacak donatının özellikleri;

Donatının Kütle ve Ağırlığı:

Birim Hacim Ağırlığı= 76.9729 kN/m^3

Birim Hacim Kütlesi= 7.849 kN/m^3 , dir.

Donatının Mekanik Özellikleri:

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

Poisson Oranı $U=0.3$

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

4.1.2. BFRP

Çalışmada kullanılan BFRP malzemesinin özellikleri, aşağıda verildiği gibi SAP2000 programına girilerek malzeme oluşturulmuştur.

Materyalin Kütle ve Ağırlığı:

Birim Hacim Ağırlığı=20 kN/m³

Birim Hacim K tlesi=2.038 kN/m³’ dir.

Materyalin Mekanik  zellikleri:

Elastisite Modülü

E1=60000000 kN/m²

E2=60000000 kN/m²

E3=60000000 kN/m²’ dir.

Poisson Oranı

U12=0.24

U13=0.24

U23=0.24

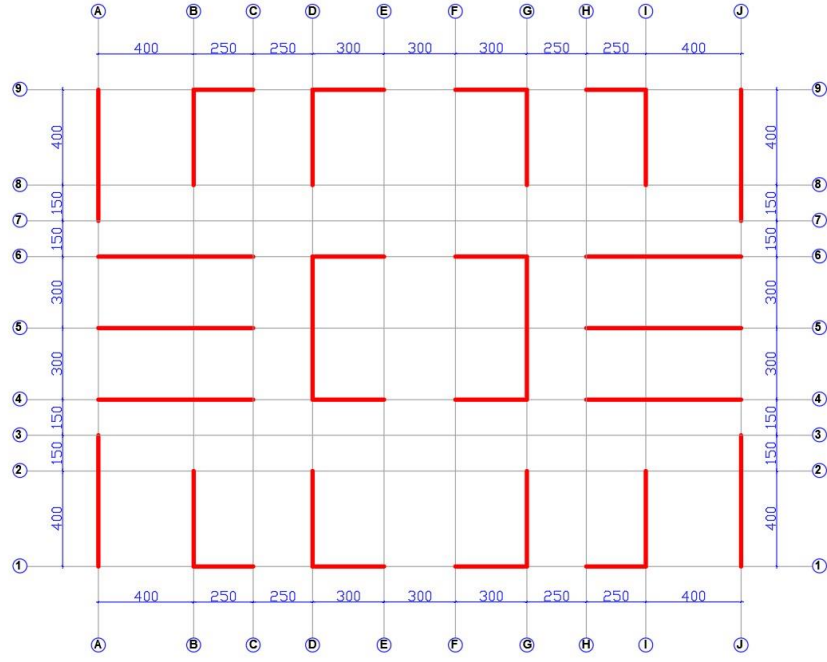
4.2. Metot

20 katlı betonarme tünel kalıp bir yapı SAP2000 programı ile modellenerek düşey yükler etkisi altında sonlu elemanlar metoduyla analizi yapılacaktır. Daha sonra aynı yapının perdelerine SAP2000 programı aracılığıyla BFRP uygulanacaktır. BFRP uygulanmış perdeler kompozit eleman olarak tanımlanacaktır. Çalışmanın amacı BFRP uygulanmış yapıyı, mevcut yapı ile mukayese etmek olduğu için her iki yapıya da ilave bir deprem kuvveti etki ettirilmemiştir.

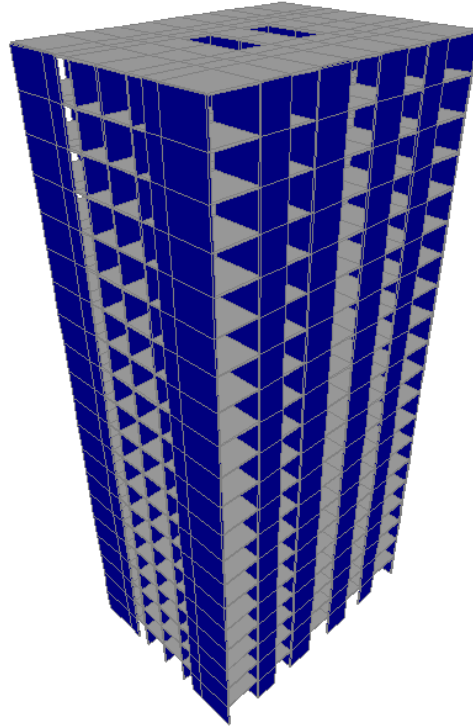
 lk olarak perdelerin tek tarafına 5 mm kalınlığında BFRP uygulanarak analiz yapılacak, daha sonra ise perdelerin her iki tarafında 5’ er mm kalınlığında BFRP uygulanarak analiz yapılacak ve dinamik parametreler karşılaştırılacaktır.

4.3. Binanın  zellikleri ve Uygulama

Bina toplam 20 (Z+19) katlı olup tünel kalıp sistemi ile perde ve döşemelerden oluşmaktadır. Her bir katın yüksekliliği 3 m, binanın toplam yüksekliliği ise 60 m’ dir. Binanın XZ doğrultusundaki uzunluğu 27 m, YZ doğrultusundaki uzunluğu ise 20 m’ dir. Binanın kullanım amacı ve mimarisi konut olarak belirlenmiştir. Yapının perde ve döşeme kalınlıkları 15 cm’ dir.



Şekil 4.1. Mevcut betonarme tünel kalıp yapıya ait kat planı



Şekil 4.2. Mevcut yapının SAP2000’de modellenmiş 3 boyutlu görünümü

Perdelerin tek tarafına 5 mm BFRP uygulaması yapıldığında SAP2000 programının arayüzünden alınan kesit gösterimi Şekil 4.3.'de sunulmuştur.

Shell Section Layer Definition

Layer Definition Data

Layer Name	Distance	Thickness	Material	Nonlinear	Material Angle	Num Integ Points
1	0.	0.15	BETON-C30	No	0.	2
2	0.0775	0.005	BFRP	No	0.	2

Quick Start

Add

Insert

Modify

Delete

☐ Highlight Selected Layer

Transparency Control

Distance

Section Name: PERDE-15(BFRP)

Order Layers By Distance

Order Ascending

Order Descending

Calculated Layer Information

Number of Layers: 2

Total Section Thickness: 0.155

Sum of Layer Overlaps: 0.

Sum of Gaps Between Layers: 0.

OK

Cancel

Şekil 4.3. Perdelerde tek taraflı BFRP uygulamasına ait kesit gösterimi

Perdelerin iki tarafına 5 mm BFRP uygulaması yapıldığında SAP2000 programının arayüzünden alınan kesit gösterimi Şekil 4.4.'de sunulmuştur.

Shell Section Layer Definition

Layer Definition Data

Layer Name	Distance	Thickness	Material	Nonlinear	Material Angle	Num Integ Points
1	0.	0.15	BETON-C30	No	0.	2
2	0.0775	0.005	BFRP	No	0.	2
3	-0.0775	0.005	BFRP	No	0.	2

Quick Start

Add

Insert

Modify

Delete

☐ Highlight Selected Layer

Transparency Control

Distance

Section Name: PERDE-15(2xBFRP)

Order Layers By Distance

Order Ascending

Order Descending

Calculated Layer Information

Number of Layers: 3

Total Section Thickness: 0.16

Sum of Layer Overlaps: 0.

Sum of Gaps Between Layers: 0.

OK

Cancel

Şekil 4.4. Perdelerde iki taraflı BFRP uygulamasına ait kesit gösterimi

5. MEVCUT VE BFRP'Lİ BETONARME TÜNEL KALIP YAPI MODELLERİNİN ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

5.1. Modların ve Periyotların Karşılaştırılması

SAP2000 programında mevcut yapının analizi sonucunda elde edilen periyot değerleri Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Mevcut yapının periyot değerleri

Mod	Periyot (s)
1	1.1304
2	1.1171
3	1.0887
4	0.2908
5	0.2719

Perdelere tek taraflı 5 mm BFRP uygulanarak analiz yapıldığında elde edilen periyot değerleri Tablo 5.2.'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Perdelere tek taraflı 5 mm BFRP uygulandığında elde edilen periyot değerleri

Mod	Periyot (s)
1	1.0814
2	1.0245
3	0.9964
4	0.2796
5	0.2559

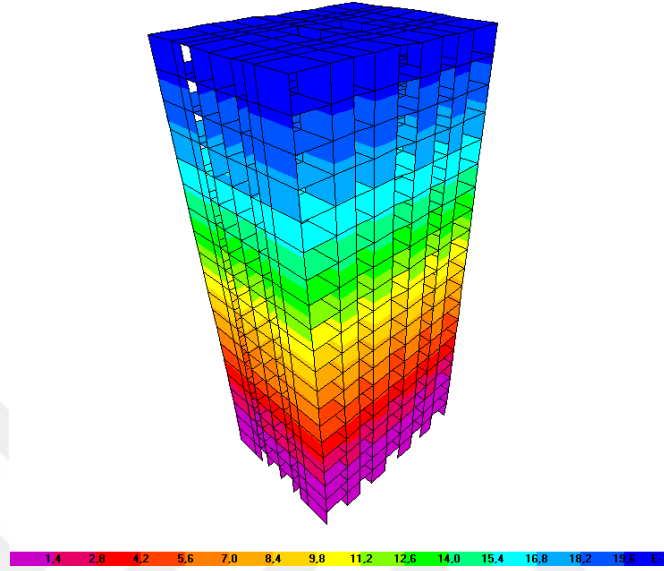
Perdelere iki taraflı 5 mm BFRP uygulanarak analiz yapıldığında elde edilen periyot değerleri Tablo 5.3.'de verilmiştir.

Tablo 5.3. Perdelere iki taraflı 5 mm BFRP uygulandığında elde edilen periyot değerleri

Mod	Periyot (s)
1	1.0747
2	1.0164
3	0.9910
4	0.2761
5	0.2523

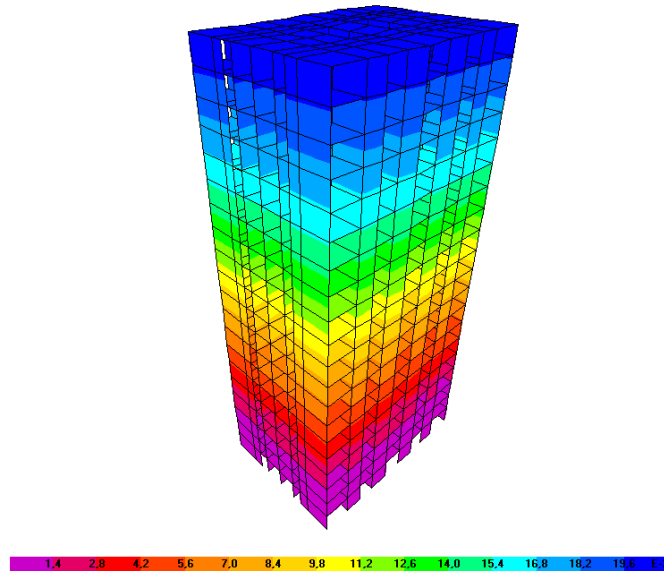
5.1.1. Mod 1 Karşılaştırması

Mevcut betonarme tünel kalıp yapının SAP2000 programında yapılan analizi sonucunda 1. mod için Periyot=1.1304 s olarak hesaplanmıştır. Yapının 1. mod görseli şekil 5.1.' de sunulmuştur.



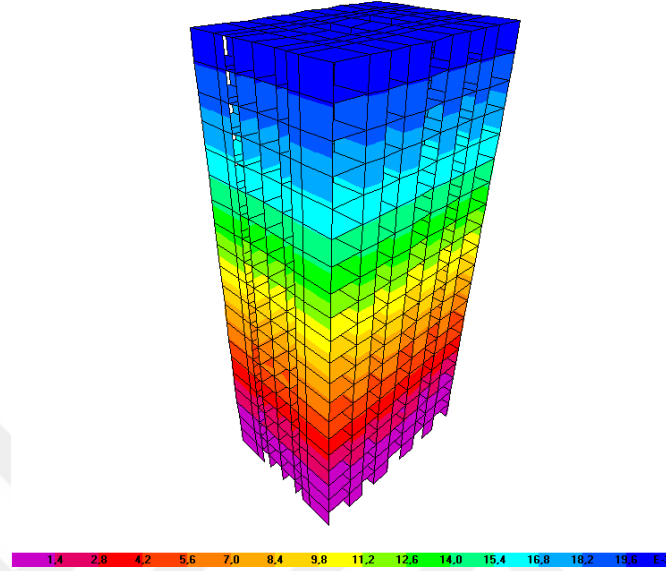
şekil 5.1. Mevcut durum için 1. mod görseli

Yapının perdelerine tek taraflı 5 mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda 1. mod için Periyot=1.0814 s olarak hesaplanmıştır. Yapının 1. mod görseli şekil 5.2.' de sunulmuştur.



şekil 5.2. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 1. mod görseli

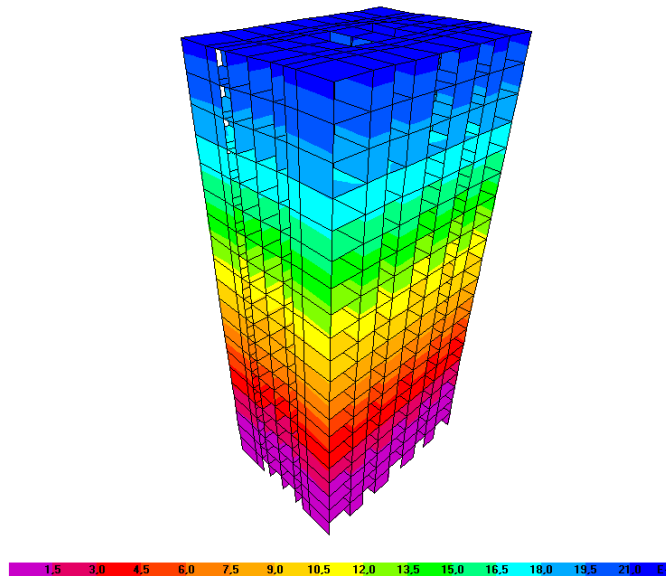
Yapının perdelerine iki taraflı 5' er mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda 1. mod için Periyot=1.0747 s olarak hesaplanmıştır. Yapının 1. mod görseli Şekil 5.3.' de sunulmuştur.



Şekil 5.3. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 1. mod görseli

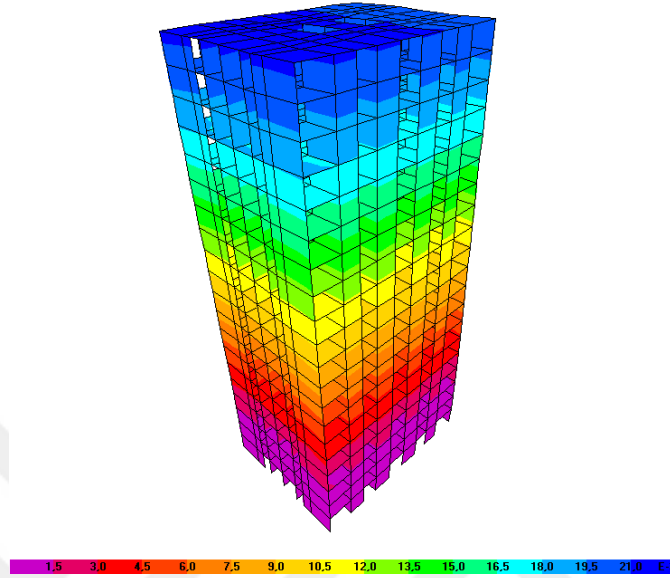
5.1.2. Mod 2 Karşılaştırması

Mevcut betonarme tünel kalıp yapının SAP2000 programında yapılan analizi sonucunda 2. mod için Periyot=1.1171 s olarak hesaplanmıştır. Yapının 2. mod görseli Şekil 5.4.' de verilmiştir.



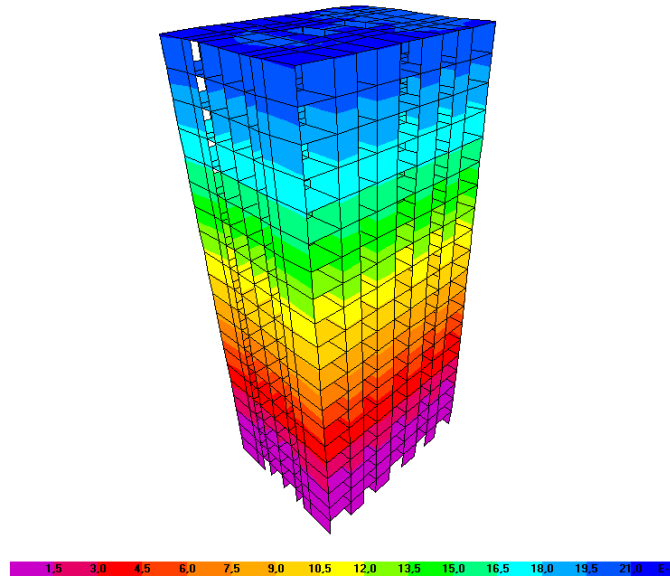
Şekil 5.4. Mevcut durum için 2. mod görseli

Yapının perdelerine tek taraflı 5 mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda 2. mod için Periyot=1.0245 s olarak hesaplanmıştır. Yapının 2. mod görseli Şekil 5.5.' de sunulmuştur.



Şekil 5.5. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 2. mod görseli

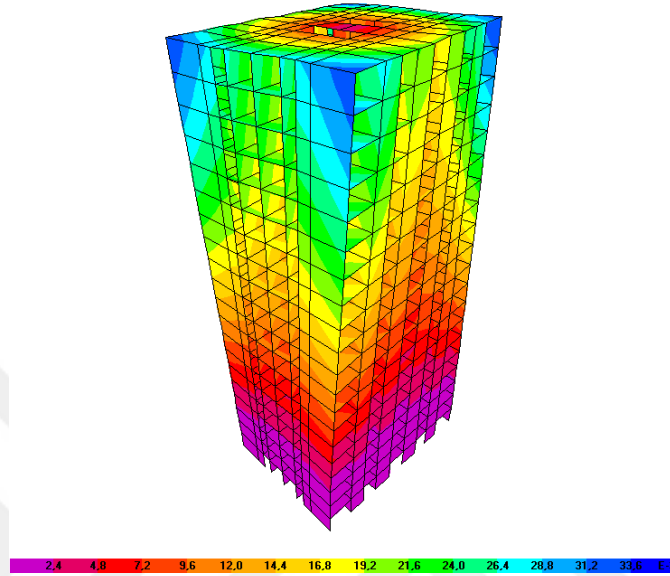
Yapının perdelerine iki taraflı 5' er mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda 2. mod için Periyot=1.0164 s olarak hesaplanmıştır. Yapının 2. mod görseli Şekil 5.6.' da sunulmuştur.



Şekil 5.6. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 2. mod görseli

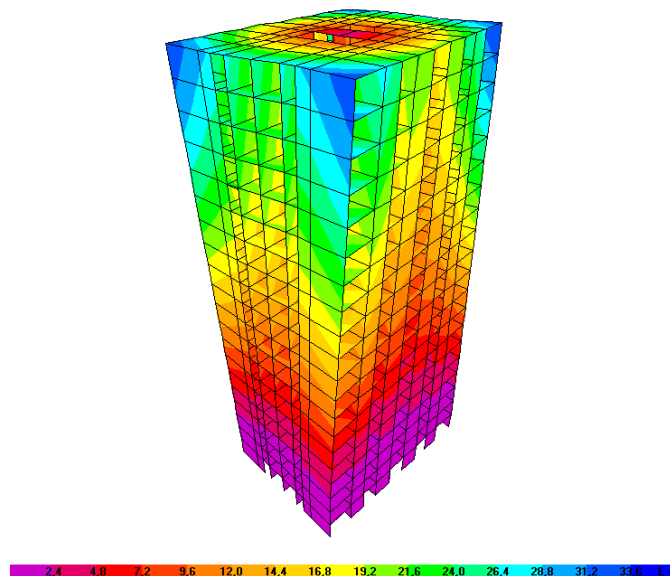
5.1.3. Mod 3 Karşılaştırması

Mevcut betonarme tünel kalıp yapının SAP2000 programında yapılan analizi sonucunda 3. mod için Periyot=1.0887 s olarak hesaplanmıştır. Yapının 3. mod görseli şekil 5.7.' de sunulmuştur.



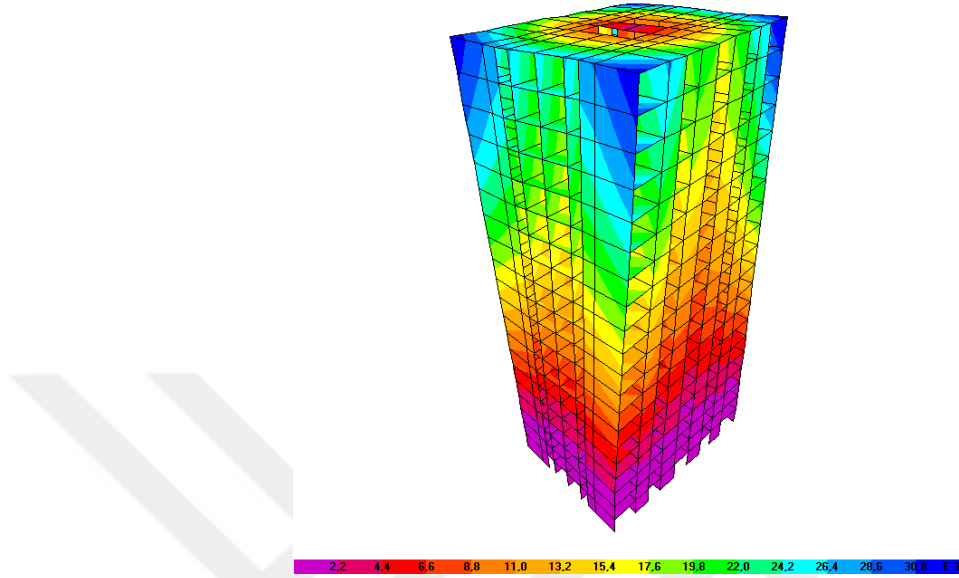
şekil 5.7. Mevcut durum için 3. mod görseli

Yapının perdelerine tek taraflı 5 mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda 3. mod için Periyot=0.9964 s olarak hesaplanmıştır. Yapının 3. mod görseli şekil 5.8.' de sunulmuştur.



şekil 5.8. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 3. mod görseli

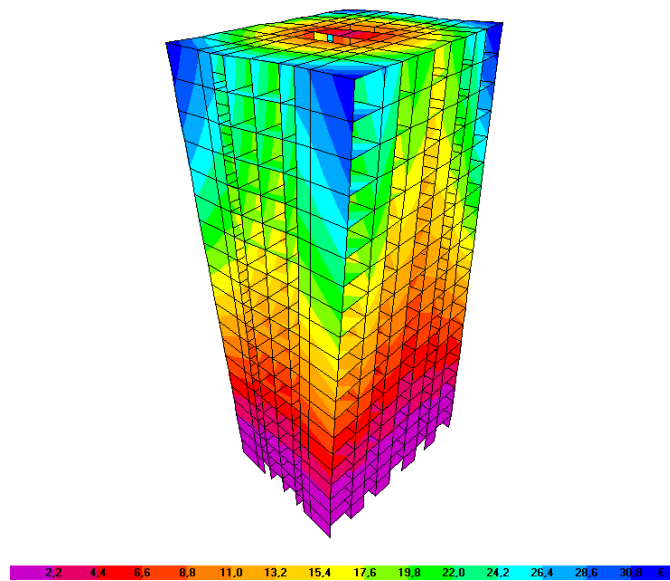
Yapının perdelerine iki taraflı 5' er mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda 3. mod için Periyot=0.9910 s olarak hesaplanmıştır. Yapının 3. mod görseli Şekil 5.9.' da sunulmuştur.



Şekil 5.9. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 3. mod görseli

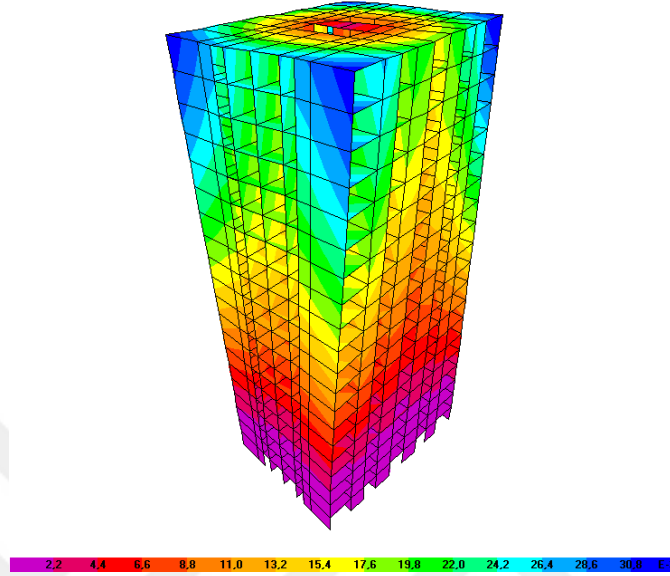
5.1.4. Mod 4 Karşılaştırması

Mevcut betonarme tünel kalıp yapının SAP2000 programında yapılan analizi sonucunda 4. mod için Periyot=0.2908 s olarak hesaplanmıştır. Yapının 4. mod görseli Şekil 5.10.' da sunulmuştur.



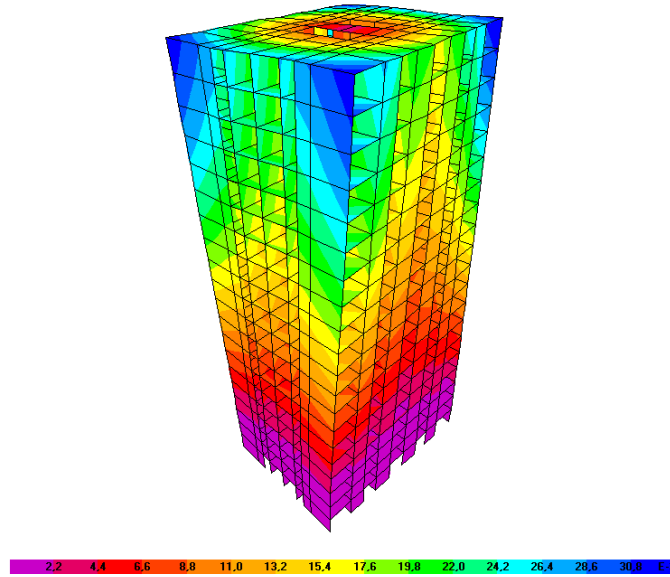
Şekil 5.10. Mevcut durum için 4. mod görseli

Yapının perdelerine tek taraflı 5 mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda 4. mod için Periyot=0.2796 s olarak hesaplanmıştır. Yapının 4. mod görseli Şekil 5.11.' de sunulmuştur.



Şekil 5.11. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 4. mod görseli

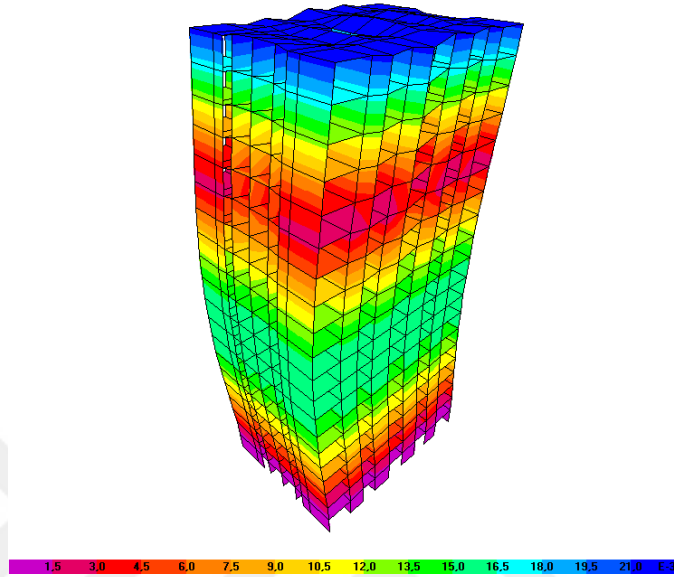
Yapının perdelerine iki taraflı 5' er mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda 4. mod için Periyot=0.2761 s olarak hesaplanmıştır. Yapının 4. mod görseli Şekil 5.12.' de sunulmuştur.



Şekil 5.12. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 4. mod görseli

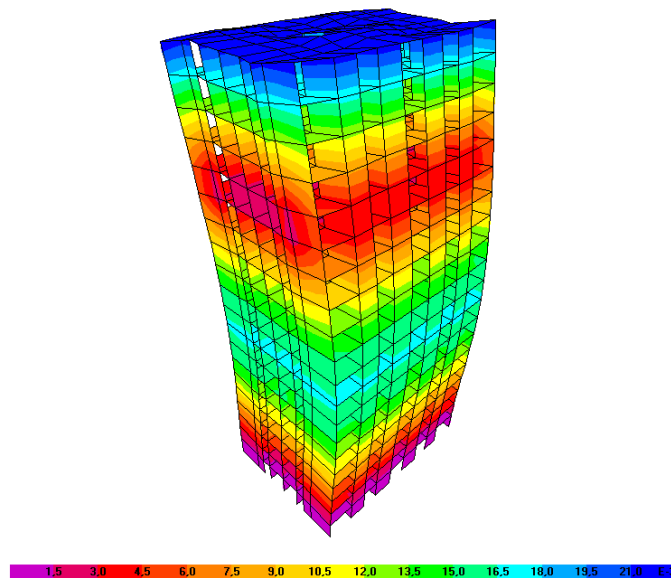
5.1.5. Mod 5 Karşılaştırması

Mevcut betonarme tünel kalıp yapının SAP2000 programında yapılan analizi sonucunda 5. mod için Periyot=0.2719 s olarak hesaplanmıştır. Yapının 5. mod görseli Şekil 5.13.' de sunulmuştur.



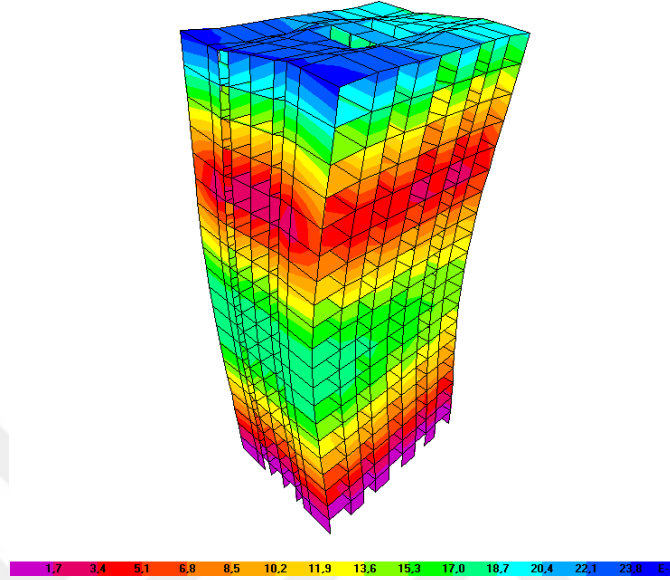
Şekil 5.13. Mevcut durum için 5. mod görseli

Yapının perdelerine tek taraflı 5 mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda 5. mod için Periyot=0.2559 s olarak hesaplanmıştır. Yapının 5. mod görseli Şekil 5.14.' de sunulmuştur.



Şekil 5.14. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 5. mod görseli

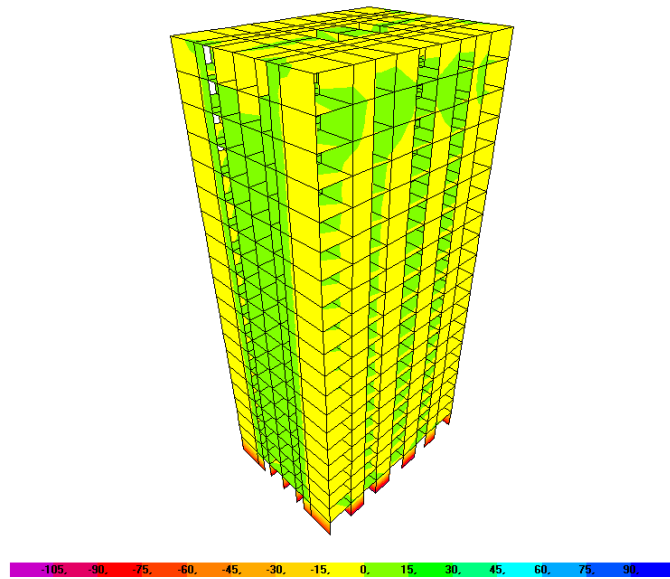
Yapının perdelerine iki taraflı 5' er mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda 5. mod için Periyot=0.2523 s olarak hesaplanmıştır. Yapının 5. mod görseli Şekil 5.15.' de sunulmuştur.



Şekil 5.15. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda 5. mod görseli

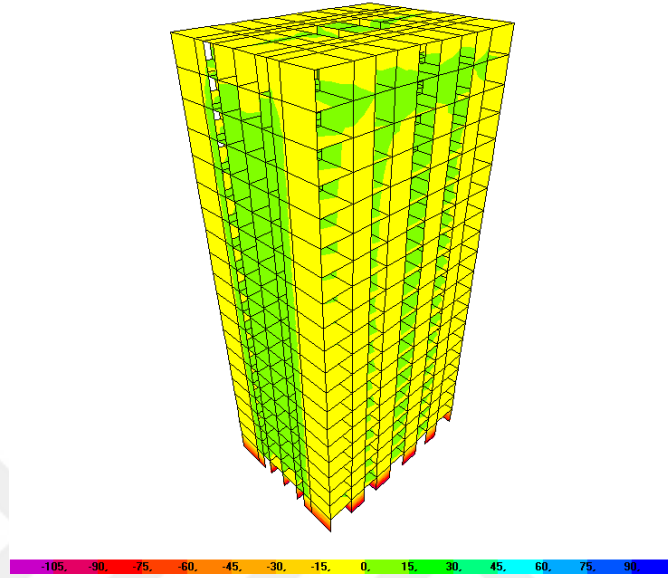
5.2. Maksimum Kuvvet (F_{max}) Karşılaştırması

Mevcut betonarme tünel kalıp yapının SAP2000 programında yapılan analizi sonucunda $F_{max}=98.2990$ kN olarak hesaplanmıştır. Yapının F_{max} diyagramı Şekil 5.16.' da sunulmuştur.



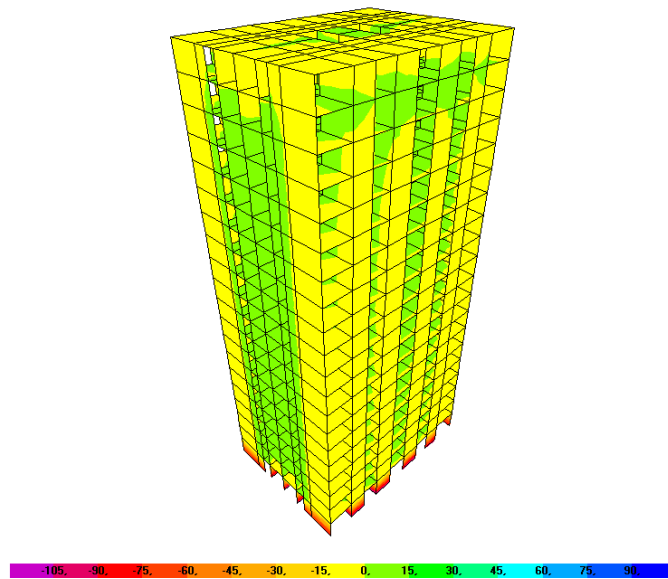
Şekil 5.16. Mevcut yapının F_{max} diyagramı

Yapının perdelerine tek taraflı 5 mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda $F_{max}=89.6630$ kN olarak hesaplanmıştır. Yapının F_{max} diyagramı Şekil 5.17.' de sunulmuştur.



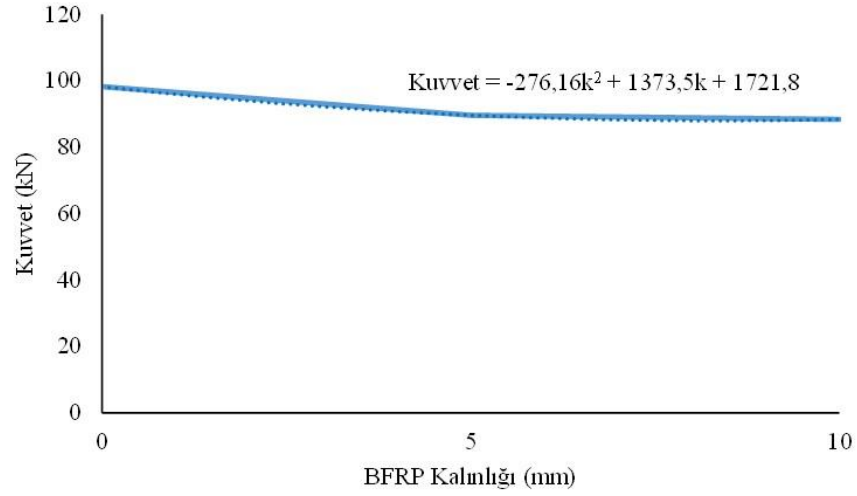
Şekil 5.17. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda F_{max} diyagramı

Yapının perdelerine iki taraflı 5' er mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda $F_{max}=88.4040$ kN olarak hesaplanmıştır. Yapının F_{max} diyagramı Şekil 5.18.' de sunulmuştur.



Şekil 5.18. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda F_{max} diyagramı

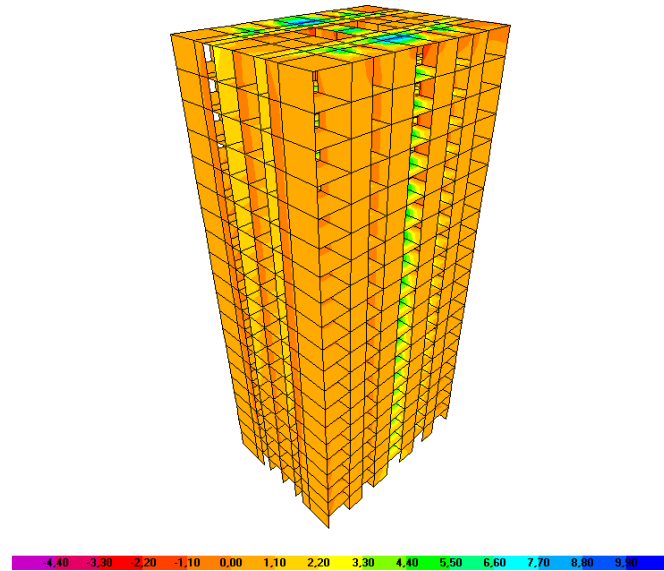
Uygulamada BFRP' nin farklı kalınlıklara göre betonarme tünel kalıp yapıda oluşturduğu maksimum kuvvetler (F_{max}) grafiksel olarak Şekil 5.19.' da sunulmuştur.



Şekil 5.19. Maksimum kuvvet (F_{max}) grafiği

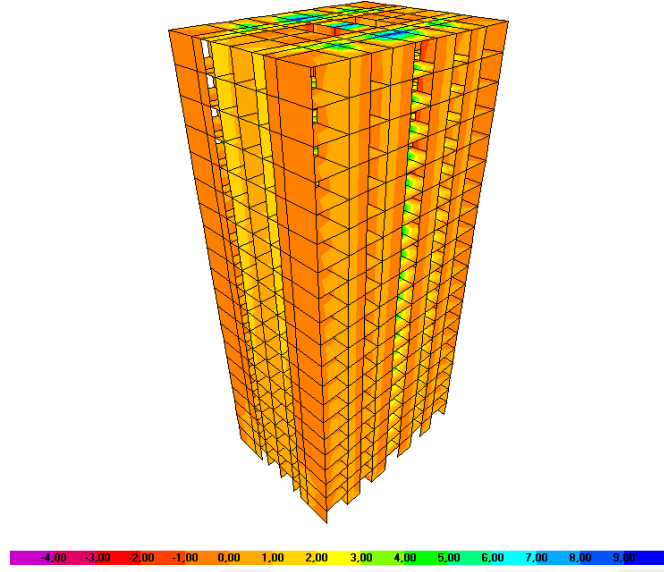
5.3. Maksimum Moment (M_{max}) Karşılaştırması

Mevcut betonarme tünel kalıp yapının SAP2000 programında yapılan analizi sonucunda $M_{max}=9.870$ kNm olarak hesaplanmıştır. Yapının M_{max} diyagramı Şekil 5.20.' de sunulmuştur.



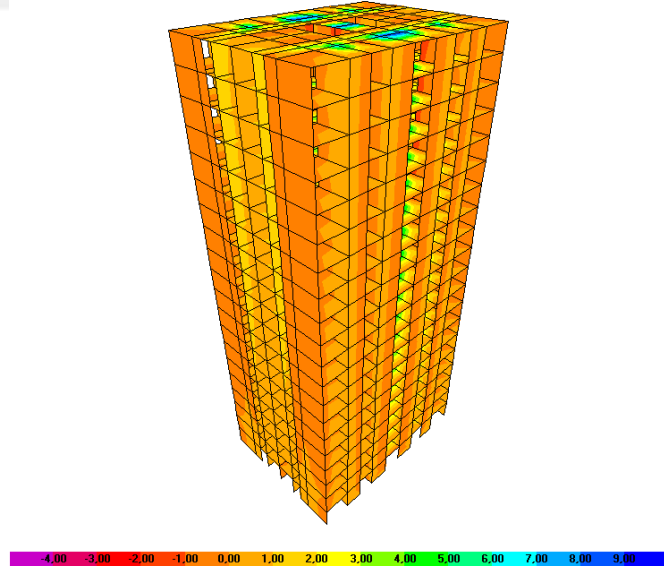
Şekil 5.20. Mevcut yapının M_{max} diyagramı

Yapının perdelerine tek taraflı 5 mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda $M_{max}=9.1760$ kNm olarak hesaplanmıştır. Yapının M_{max} diyagramı Şekil 5.21.' de sunulmuştur.



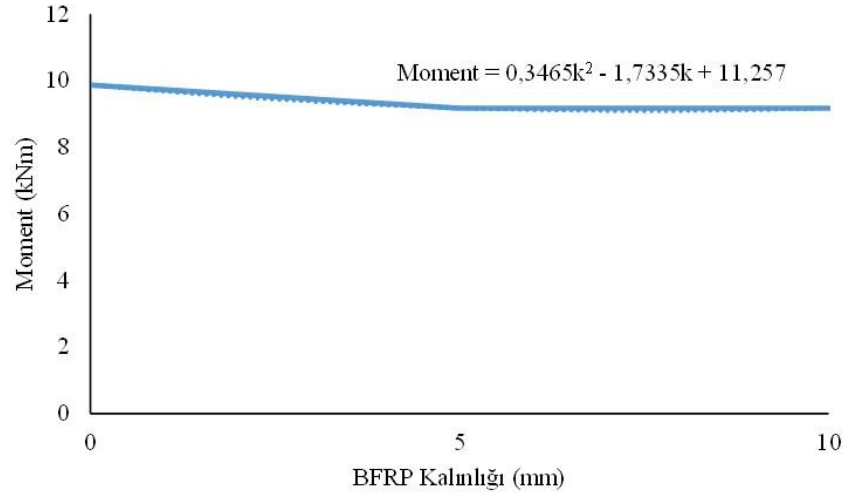
Şekil 5.21. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda $M_{\max}$ diyagramı

Yapının perdelerine iki taraflı 5' er mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda $M_{\max}=9.1750$ kNm olarak hesaplanmıştır. Yapının $M_{\max}$ diyagramı Şekil 5.22.' de sunulmuştur.



Şekil 5.22. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda $M_{\max}$ diyagramı

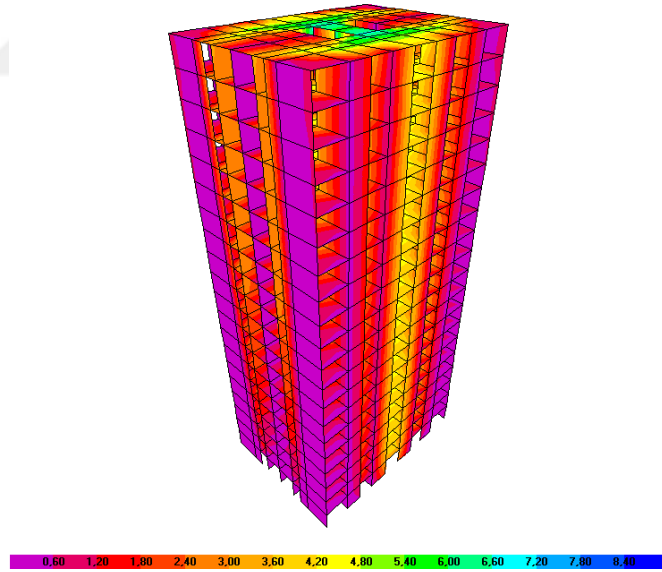
Uygulamada BFRP' nin farklı kalınlıklara göre betonarme tünel kalıp yapıda oluşturduğu maksimum momentler ($M_{\max}$) grafiksel olarak Şekil 5.23.' te sunulmuştur.



Şekil 5.23. Maksimum moment (Mmax) grafiği

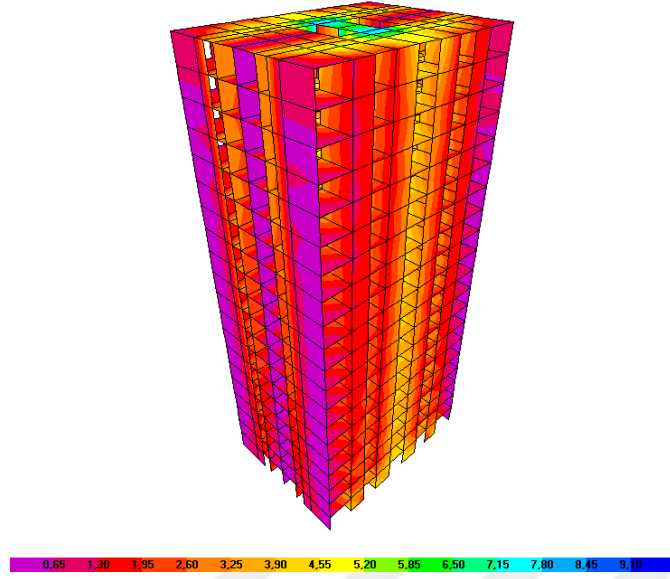
5.4. Maksimum Kesme Kuvveti ($V_{\max}$) Karşılaştırması

Mevcut betonarme tünel kalıp yapının SAP2000 programında yapılan analizi sonucunda $V_{\max}=8.7290$ kN olarak hesaplanmıştır. Yapının $V_{\max}$ diyagramı Şekil 5.24.' de sunulmuştur.



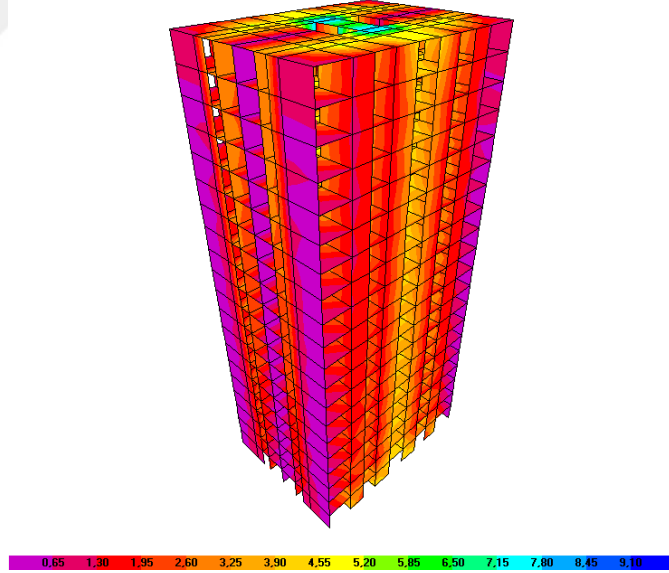
Şekil 5.24. Mevcut yapının $V_{\max}$ diyagramı

Yapının perdelerine tek taraflı 5 mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda $V_{\max}=9.6920$ kN olarak hesaplanmıştır. Yapının $V_{\max}$ diyagramı Şekil 5.25.' de sunulmuştur.



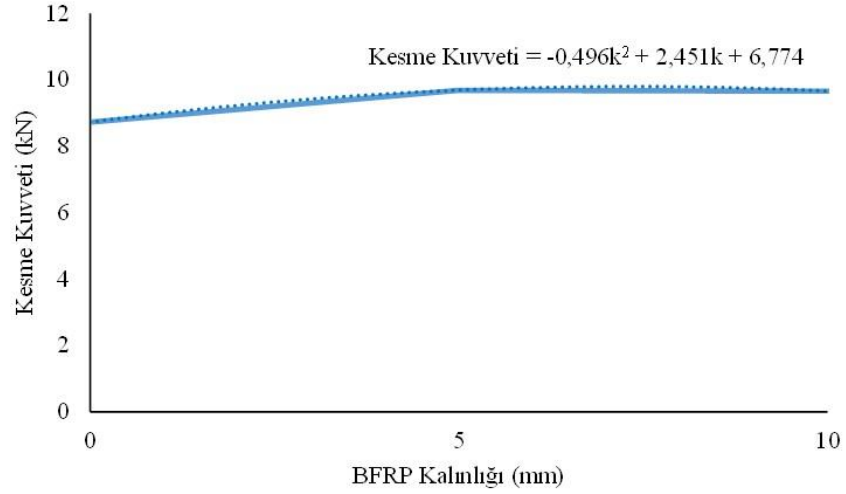
Şekil 5.25. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda V_{max} diyagramı

Yapının perdelerine iki taraflı 5' er mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda $V_{max}=9.6630$ kN olarak hesaplanmıştır. Yapının V_{max} diyagramı Şekil 5.26.' de sunulmuştur.



Şekil 5.26. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda V_{max} diyagramı

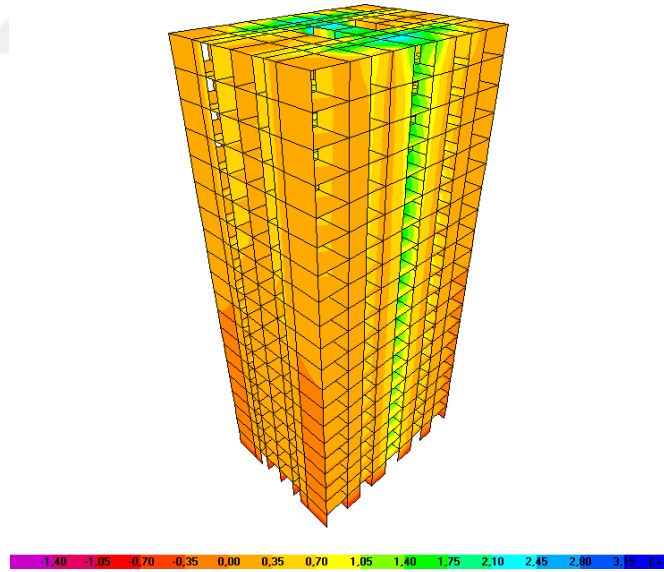
Uygulamada BFRP' nin farklı kalınlıklara göre betonarme tünel kalıp yapıda oluşturduğu maksimum kesme kuvvetleri (V_{max}) grafiksel olarak Şekil 5.27.' de sunulmuştur.



Şekil 5.27. Maksimum kesme kuvveti (Vmax) grafiği

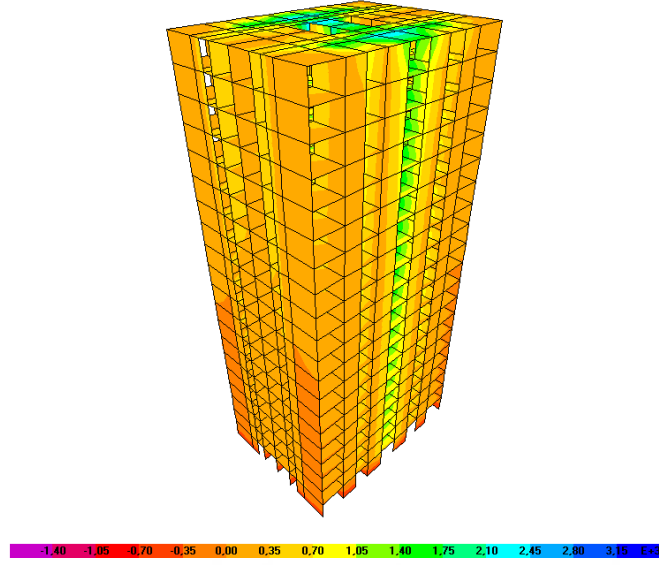
5.5. Maksimum Gerilme (S_{max}) Karşılaştırması

Mevcut betonarme tünel kalıp yapının SAP2000 programında yapılan analizi sonucunda $S_{max}=2819.1270 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Yapının S_{max} diyagramı Şekil 5.28.' de sunulmuştur.



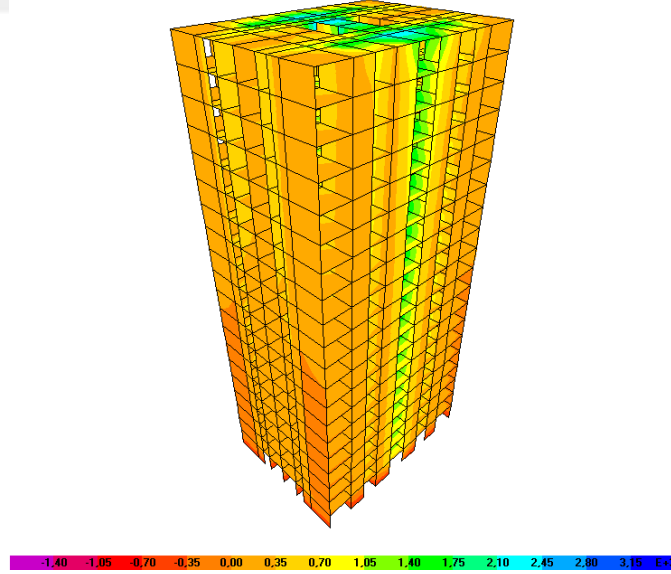
Şekil 5.28. Mevcut yapının S_{max} diyagramı

Yapının perdelerine tek taraflı 5 mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda $S_{max}=3364.1680 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Yapının S_{max} diyagramı Şekil 5.29.' da sunulmuştur.



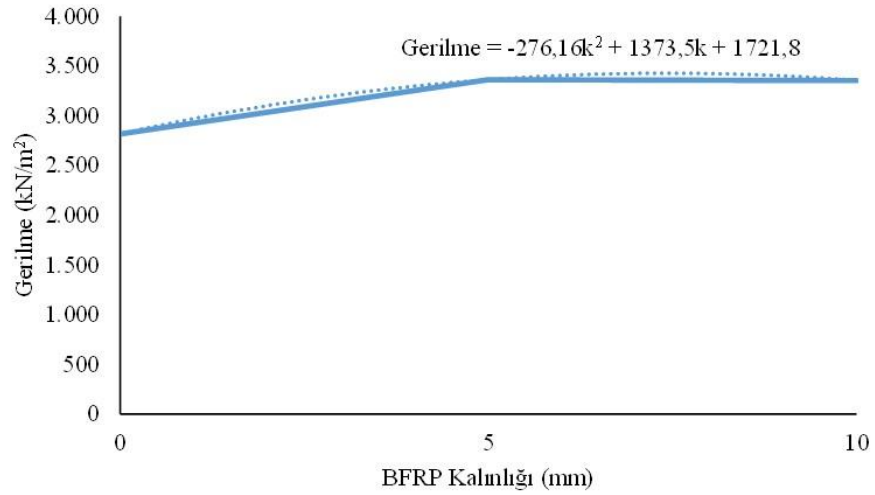
Şekil 5.29. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda S_{max} diyagramı

Yapının perdelerine iki taraflı 5' er mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda $S_{max}=3356.8980 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Yapının S_{max} diyagramı Şekil 5.30.' da sunulmuştur.



Şekil 5.30. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda S_{max} diyagramı

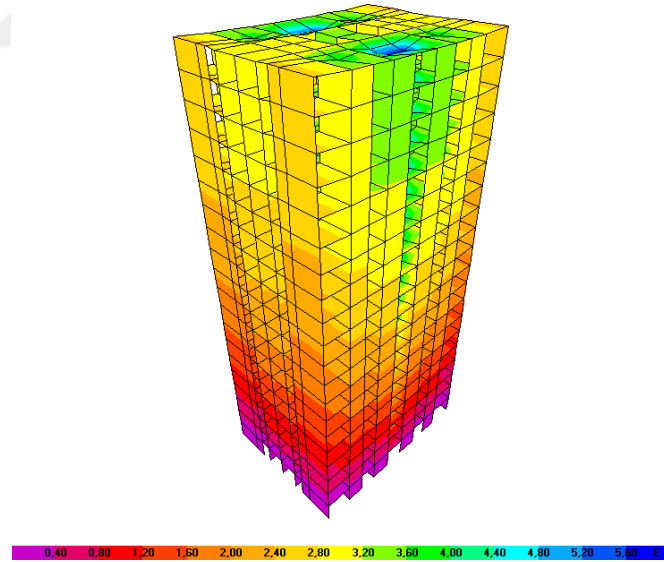
Uygulamada BFRP' nin farklı kalınlıklara göre betonarme tünel kalıp yapıda oluşturduğu maksimum gerilmeler (S_{max}) grafiksel olarak Şekil 5.31.' de sunulmuştur.



Şekil 5.31. Maksimum gerilme (S_{max}) grafiği

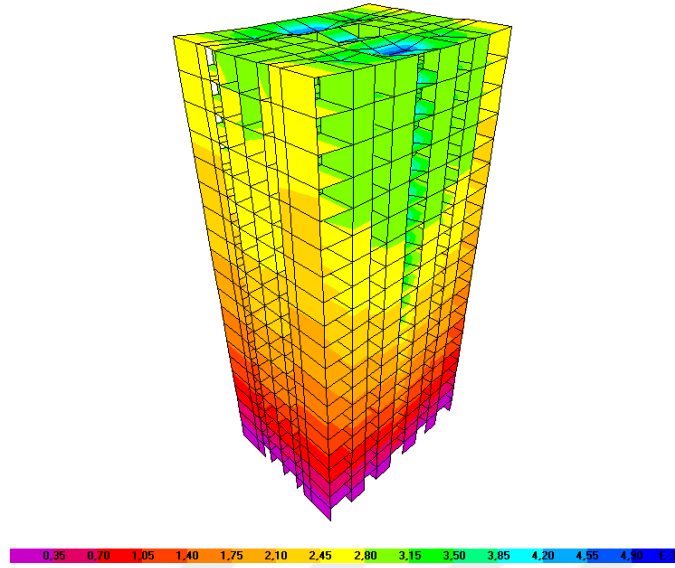
5.6. Yerdeğiştirme Karşılaştırması

Mevcut betonarme tünel kalıp yapının SAP2000 programında yapılan analizi sonucunda maksimum yerdeğiştirme 0.006 m olarak hesaplanmıştır. Yapının yerdeğiştirme diyagramı Şekil 5.32.' de sunulmuştur.



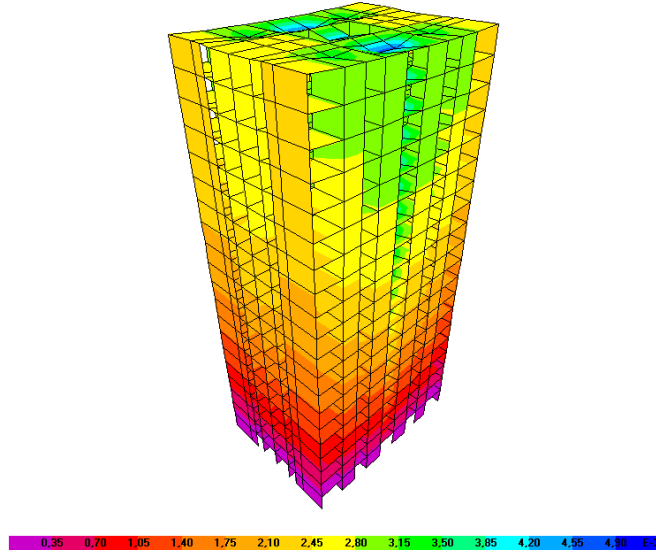
Şekil 5.32. Mevcut yapının yerdeğiştirme diyagramı

Yapının perdelerine tek taraflı 5 mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda maksimum yerdeğiştirme 0.005 m olarak hesaplanmıştır. Yapının yerdeğiştirme diyagramı Şekil 5.33.' de sunulmuştur.



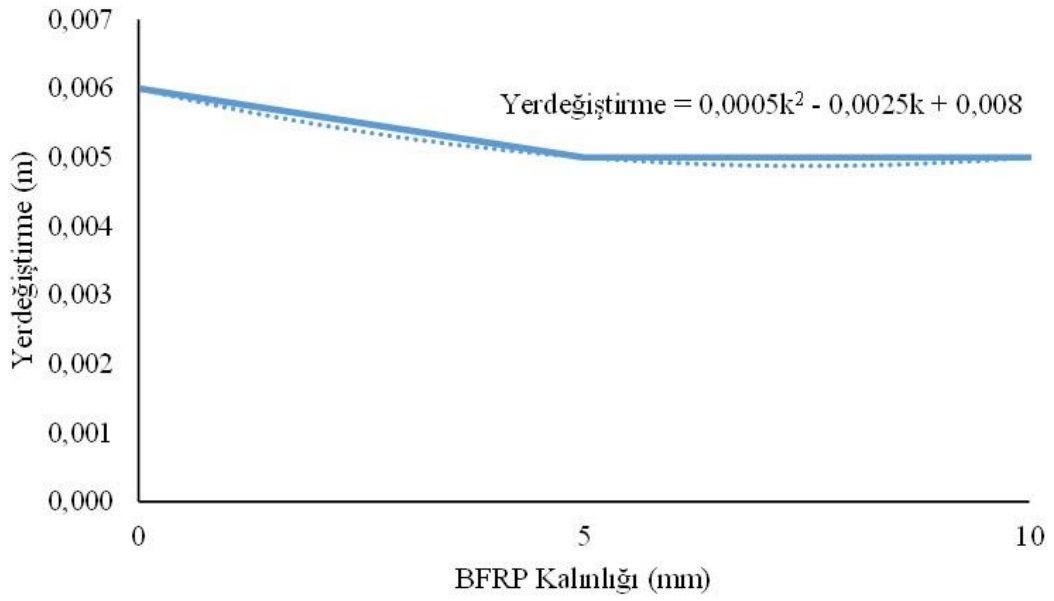
Şekil 5.33. Perdelerde tek taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda yerdeğiştirme diyagramı

Yapının perdelerine iki taraflı 5' er mm BFRP uygulandıktan sonra SAP2000 programında yapılan analiz sonucunda maksimum yerdeğiştirme 0.005 m olarak hesaplanmıştır. Yapının yerdeğiştirme diyagramı Şekil 5.34.' de sunulmuştur.



Şekil 5.34. Perdelerde iki taraflı 5 mm BFRP uygulanması durumunda yerdeğiştirme diyagramı

Uygulamada BFRP' nin farklı kalınlıklara göre betonarme tünel kalıp yapıda oluşturduğu yerdeğiştirmeler grafiksel olarak Şekil 5.31.' de sunulmuştur.



Şekil 5.35. Yerdeğiştirme grafiği

Tablo 5.4. Periyotlar

Mod	1. Durum (Mevcut yapı)	2. Durum (Tek taraflı 5 mm BFRP uygulaması)	3. Durum (İki taraflı 5'er mm BFRP uygulaması)
	Periyot (s)	Periyot (s)	Periyot (s)
1	1.1304	1.0814	1.0747
2	1.1171	1.0245	1.0164
3	1.0887	0.9964	0.9910
4	0.2908	0.2796	0.2761
5	0.2719	0.2559	0.2523

Tablo 5.5. Analiz sonuçları

Uygulama	F _{max} kN/m	M _{max} kNm/m	V _{max} kN/m	S _{max} kN/m ²	Yerd. m
1.Durum (Mevcut yapı)	98.2990	9.8700	8.7290	2819.1270	0.006
2. Durum (Tek taraflı 5 mm BFRP uygulaması)	89.6630	9.1760	9.6920	3364.1680	0.005
3. Durum (İki taraflı 5 mm BFRP uygulaması)	88.4040	9.1750	9.6630	3356.8980	0.005

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, tünel kalıp yöntemi ile inşa edilmiş 20 katlı betonarme bir model esas alınmıştır. Ele alınan model 1. Durumda BFRP uygulanmadan analiz edilmiş, 2. Durumda perdelerle tek taraflı 5 mm kalınlığında BFRP uygulanmış, 3. Durumda ise perdelerle iki taraflı 5' er mm kalınlığında BFRP uygulanmıştır. Farklı uygulama durumları için elde edilen analiz sonuçları aşağıda değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda modlara ait periyot değerleri Tablo 5.4.' de, diğer analiz sonuçları ise Tablo 5.5.' de verilmiştir.

Mevcut yapı ile perdelerle tek taraflı 5 mm kalınlığında BFRP uygulanmış yapının 1. Mod periyot değerleri karşılaştırıldığında %4.33 oranında bir azalma olduğu görülmektedir. Mevcut yapı ile perdelerle iki taraflı BFRP uygulanmış yapının periyot değerleri karşılaştırıldığında ise %4.93 oranında bir azalma olduğu görülmektedir.

Mevcut yapı ile perdelerle tek taraflı 5 mm kalınlığında BFRP uygulanmış yapının 2. Mod periyot değerleri karşılaştırıldığında %8.29 oranında bir azalma olduğu görülmektedir. Mevcut yapı ile perdelerle iki taraflı BFRP uygulanmış yapının periyot değerleri karşılaştırıldığında ise %9.01 oranında bir azalma olduğu görülmektedir.

Mevcut yapı ile perdelerle tek taraflı 5 mm kalınlığında BFRP uygulanmış yapının 3. Mod periyot değerleri karşılaştırıldığında %8.48 oranında bir azalma olduğu görülmektedir. Mevcut yapı ile perdelerle iki taraflı BFRP uygulanmış yapının periyot değerleri karşılaştırıldığında ise %8.97 oranında bir azalma olduğu görülmektedir.

Mevcut yapı ile perdelerle tek taraflı 5 mm kalınlığında BFRP uygulanmış yapının 4. Mod periyot değerleri karşılaştırıldığında %3.85 oranında bir azalma olduğu görülmektedir. Mevcut yapı ile perdelerle iki taraflı BFRP uygulanmış yapının periyot değerleri karşılaştırıldığında ise %5.06 oranında bir azalma olduğu görülmektedir.

Mevcut yapı ile perdelerle tek taraflı 5 mm kalınlığında BFRP uygulanmış yapının 5. Mod periyot değerleri karşılaştırıldığında %5.88 oranında bir azalma olduğu görülmektedir. Mevcut yapı ile perdelerle iki taraflı BFRP uygulanmış yapının periyot değerleri karşılaştırıldığında ise %7.21 oranında bir azalma olduğu görülmektedir.

F_{max} değerleri Mevcut duruma göre karşılaştırıldığında, perdelerin tek tarafına 5 mm BFRP uygulanması durumunda F_{max} değerinin %8.79 oranında azaldığı, perdelerin iki tarafına 5'er mm BFRP uygulanması durumunda ise F_{max} değerinin %10.07 oranında azaldığı görülmektedir.

M_{max} değerleri Mevcut duruma göre karşılaştırıldığında, perdelerin tek tarafına 5 mm BFRP uygulanması durumunda M_{max} değerinin %7.03 oranında azaldığı, perdelerin iki tarafına 5'er mm BFRP uygulanması durumunda ise M_{max} değerinin %7.04 oranında azaldığı görülmektedir.

V_{max} değerleri Mevcut duruma göre karşılaştırıldığında, perdelerin tek tarafına 5 mm BFRP uygulanması durumunda V_{max} değerinin %11.03 oranında arttığı, perdelerin iki tarafına 5'er mm BFRP uygulanması durumunda ise V_{max} değerinin %10.70 oranında arttığı görülmektedir.

S_{max} değerleri Mevcut duruma göre karşılaştırıldığında, perdelerin tek tarafına 5 mm BFRP uygulanması durumunda S_{max} değerinin %19.33 oranında arttığı, perdelerin iki tarafına 5'er mm BFRP uygulanması durumunda ise S_{max} değerinin %19.08 oranında arttığı görülmektedir.

Yerdeğiştirme değerleri Mevcut duruma göre karşılaştırıldığında, perdeler hem tek taraflı ve hem iki taraflı yapılan uygulamalarda yerdeğiştirme miktarının Mevcut duruma göre %16.67 oranında azaldığı görülmektedir.

Perdelere tek taraflı 5 mm BFRP uygulandığında, Mevcut duruma göre yapı periyodundaki değişiklik açıkça görülmektedir. Perdelere iki taraflı yapılan uygulama, tek taraflı uygulama ile mukayese edildiğinde ise yapı periyodunda ciddi bir değişiklik oluşmamaktadır. Aynı şekilde F_{max} , M_{max} , V_{max} , S_{max} ve yerdeğiştirme kriterleri incelendiğinde de 1. durumun yani perdeler tek taraflı BFRP uygulamasının değerleri Mevcut duruma göre belirgin bir değişiklik gösterirken aynı belirgin değişikliğin iki taraflı BFRP uygulamasının tek taraflı BFRP uygulamasına mukayesesi yapıldığında oluşmadığı görülmektedir.

Yapılan çalışmanın özelinde elde edilen sonuç şu şekildedir; tünel kalıp sistemi ile inşa edilen betonarme bir yapıda onarım ve güçlendirme başlığı altında yapının hem düşey yükler etkisi altında hem de deprem davranışında BFRP kullanılarak bazı değişiklikler yapılmak isteniyorsa, perde türündeki taşıyıcı elemanlara tek taraflı yapılacak uygulamadan elde edilecek verimin yüksek olduğu fakat iki taraflı yapılacak uygulamanın ise maliyet, zaman ve işçilik konuları göz önüne alındığında çok yüksek verim sağlamayacağı sonucuna varılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akbalık, H. H. (2020). *Bazalt FRP Şerit ile Beton Arasındaki Arayüzey Bağlantısını Etkileyen Parametrelerin Deneysel Olarak Araştırılması ve İyileştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya.
- Anudai, S., Hamid, N. H. A. and Hashim, M. H. M. (2016). *Experimental Study on Seismic Behavior of Repaired Single and Double Unit Tunnel Form Building Under In-Plane Cyclic Loading*, Malaysian Construction Research Journal; Vol. 19, No.2.
- Araz, N. G. ve diğ. (2018). *Beton Üretiminde Bazalt Fiber Kullanımının Değerlendirilmesi*, 9. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, s.s. 298-309.
- Aytaç, E. (2011). *CFRP Güçlendirme Malzemesi ve Güçlendirme Teknikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Bakkour, F. (2022). *BFRP ile Güçlendirilmiş Betonarme Menfezlerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Samsun.
- Balcı, M. T. (2019). *Kesme Dayanımı Yetersiz Betonarme Kirişlerin Ankrajlı Sarım Yöntemi Kullanılarak Bazalt Elyaf Kumaşlar ile Güçlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya.
- Balkabak (1999). *Tünel Kalıp Sistemler*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Büyüköztürk, O. and Hearing, B. (1998). *Failure Behavior of Precracked Concrete Beams Retrofitted with FRP*, ASCE Journal of Composites for Construction, Vol. 2 No.3, pp. 138-144.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N. (2000). *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N. (2001). *Betonarme Yapılar*, Beta Dağıtım İstanbul.
- CTec-LLC (2022). *Betonarme Yapıların Güçlendirilmesi*, Erişim Tarihi: 25.12.2022 <https://ctech-llc.com/tr/wikitech/strengthening-of-concrete-structures>
- Cullazoğlu, F. (2014). *FRP Donatılı Betonarme Kirişlerin Eğilme ve Kesme Etkisi Altındaki Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Çamkerten, M. ve diğ. (2020). *Püskürtme Betonda Bazalt Lif Kullanımının Değerlendirilmesi*, MT Bilimsel, Yeraltı Kaynakları Dergisi, Sayı:17
- Çevik, N. (2014). *Bazalt Elyafın Beton Yollarda Kullanılabilirliği*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Çiçek, Ö. F. (2019). *Aramid Elyaf Kumaş ile Oluşturulan Kompozit Boruların İç Basınç Altındaki Hasar Gerilme Davranışı*, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Durmaz, N. (2018). *FRP Donatılı Beton Döşemelerin Eğilme Davranışlarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Gençbay, E. H. (2017). *Tünel Kalıp Yapılarda Karbon Lifli Polimer Kompozit Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kadhim, A. M. H. (2020). *Flexural Strengthening and Rehabilitation of Reinforced Concrete Beam Using BFRP Composites*, Ph. D. Thesis, Gaziantep University, Graduate School of Natural & Applied Sciences, Gaziantep.

- Kasımzade A. A. and Tuhta S. (2012). *Analytical, Numerical and Experimental Examination of Reinforced Composites Beams Covered with Carbon Fiber Reinforced Plastic*, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 42, 1, 1 / 2012
- Kasımzade, A. A. and Tuhta, S. (2017). *OMA of Model Steel Structure Retrofitted with CFRP Using Earthquake Simulator Earthquakes and Structures*, 12(6), 689-697
- Kıncal, T. (2006). *Tünel Kalıpla İnşa Edilen Yapıların Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Koçak, A.R. (2003). *Betonarme Yapıların Lif Takviyeli Polimerler (FRP) ile Onarımı ve Güçlendirmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kolukırık, S. (2018). *Normal ve Yüksek Dayanımlı Beton Kullanılan BFRP ve Çelik Donatılı Hibrit Kirişlerin Eğilme Davranışı*, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Maraş, M. M. (2021). *Betonarme Yapıların Güçlendirilmesinde Kullanılan FRP Kompozitin Yapısal Performansa Etkisi*, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Sayı: 23, s.s. 108-119.
- Öztürk, B. (2018). *FRP Donatılı Betonarme Kirişlerin Eğilme Etkisi Altındaki Davranışı*, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Pehlivan, N.Ç. (2019). *CFRP ile Güçlendirilmiş Yığma Kubbelerin Sonlu Elemanlar Metodu ile Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Remedial (2022). *Carbon Fibre Strengthening*, Erişim Tarihi: 20.12.2022, <https://remedial.com.au/what-we-do/carbon-fibre-strengthening/>
- Sivri, Ç. (2021). *Bazalt Kumaşların Bazı Isıl Özelliklerinin Son Kullanım Açısından Değerlendirilmesi*, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı 22, s.s. 27-31.
- Sucu, Ö. (2006). *Tünel Kalıplarla İnşa Edilen Tamamen Perdeli Betonarme Yapıların Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Sümer, Y. (2003). *Deprem Etkisindeki Tünel Kalıp Sistemli Yapılar İçin Karşılaştırmalı Sistem Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Şenol, N. (2019). *Cam Karbon ve Aramid Elyaf Kumaş ile Hibrit Sargılanmış Betonların Dayanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Yozgat Bozok Üniveristesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.
- Şimşek, H. (2001). *Çok Katlı Yapılarda Tünel Kalıp Uygulanması ve Bu Yapıların Projelendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Topçu, İ. B. Ve Uygunoğlu T. (2020). *GFRP Çubukların Özellikleri ve Prefabrik Altyapı Elemanlarında Kullanımı*, El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:7, No:1, s.s. 169-178
- Tork Mühendislik ve Dış Ticaret Ltd. Şti. (2022). *Yapısal Güçlendirme, Betonarme Mantolama ve Perde İlavesi*, Erişim Tarihi: 25.12.2022, <https://www.torkmuhendislik.com.tr/hizmetlerimiz/guclendirme>
- TSM (2022). *Carbon Fibre Strengthening*, Erişim Tarihi: 20.12.2022, <https://www.totalsm.co.uk/services/structural-repair/carbon-fibre-strengthening/>

- Tuhta S., Gunday F., Aydın, H. and Pehlivan N. C. (2019). *Investigation of CFRP Retrofitting Effect on Masonry Dome on Bending Moment Using Finite Element Method*, International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology, 6 / 2019
- Türken, H. Ve diğ. (2011). *Tünel Kalıp Sistemlerin Geleneksel Sistemlerle Karşılaştırılması*, New World Sciences Academy, Sayı: 6, No: 4.
- Uz, B. (1999). *Bazaltların Kırmataş Yönünden Değerlendirilmesi "Trakya Tekirdağ Bazaltları Örneği"*, 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.
- Yılmaz, K. ve diğ. (2002). *Fiber Takviyeli Polimer Uygulamalarında Yapışma Yüzeyi Kalitesinin Kompozit Performansına Etkisi*, SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6. Cilt, 2. Sayı, s.s. 82-86.



ÖZ GEÇMİŞ

Ahmet Sel, Amasya Anadolu Lisesi’ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümünden 2017 yılında mezun oldu. 2020 yılında OMÜ LEE İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans programına girdi. Mezuniyetinden bu yana yapı sektörünün çeşitli alanlarında inşaat mühendisi olarak görev yapmıştır.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0003-3020-7566

Yayınlar:

1. Sel, A., Tuhta, S. and Gunday, F. (2023). *Investigation of Tunnel Formwork Structure Retrofitted with JFRP by Finite Element Method*, JournalNX – A Multidisciplinary Peer Reviewed Journal, 9-1, 1-11.