

T.C
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜNEL KALIP YAPILARDA KARBON LİFLİ POLİMER KOMPOZİT
KULLANIMI**

EREN HAYATİ GENÇBAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

T.C
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TÜNEL KALIP YAPILARDA KARBON LİFLİ POLİMER KOMPOZİT
KULLANIMI**

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Sertaç TUHTA

SAMSUN-2017

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında

Eren Hayati GENÇBAY Tarafından Hazırlanan

**TÜNEL KALIP YAPILARDA KARBON LİFLİ POLİMER
KOMPOZİT KULLANIMI**

**başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından .../.../... tarihinde yapılan sınav ile
YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.**

Başkan : Prof. Dr. Azer KASIMZADE
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Burçin Şenol ŞEKER
Amasya Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Sertaç TUHTA
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

.../.../2017

Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Dünya’da deprem riski taşıyan bölgelerde, gelişmekte olan ülkelerde mevcut birçok yapı, deprem kuvvetleri karşısında etkisiz kalmaktadır. Karbon elyaflar ile güçlendirilmiş kumaşlar (CFRP) betonarme yapıların güçlendirilmesi için son yıllarda çok yaygın olarak kullanılan bir malzeme haline gelmiştir.

Ülkemizde, betonarme binalarda daha çok kolon mantolama ve perde sistemleri kullanılmaktadır. Bunu çelik mantolama ve çelik kafes perde sistemler izlemektedir. FRP (Fiber Takviyeli Polimer) isimli kompozitler ile güçlendirme ülkemizde de yavaş yavaş yaygınlaşmaktadır. Fiberler çekme dayanımı yüksek olduğu için kiriş ve döşemelerin eğilme dayanımlarını artırmaktadır. Çekme yönü doğrultusunda kullanıldığında kesmeye karşıda dayanım kazandırmaktadır.

Bu çalışmada tünel kalıp sistemi kullanılarak yapılmış 16 katlı betonarme yapının her döşemesine 1mm’lik CFRP malzemesi uygulanmıştır. SAP2000 programı ile yapılan bu analizde, betonarme yapının frekansında artış görülmüş, periyod daha az olan bir yapı meydana gelmiştir. Bu sonuçlarda bize CFRP malzemesinin kullanımının yapının rijitliğinde %38’lik bir artış meydana getirdiğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: CFRP, FRP, SAP2000, FREKANS, MOD ŞEKLİ,

ABSTRACT

Many regions where has the earthquake risk around the world, Many buildings in developing countries are ineffective in front of earthquake forces. Recent years ,the fabrics which are strenghten with carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) have become a very common material to strenghten the ferro-concrete buildings.

In our country,mostly column jacketing and partition systems are used. They are also followed with steel jacketing and trussed steel joist systems. Reinforcement with composites named FRP (fiber-reinforced polymer) are getting common slowly by slowly in our country. Since fibers are high-tensile steel,they increase the strength of joist and covering deflection. If it is used in the direction of tensile,it also saves the strength for shearing.

In this study,1 mm CFRP hardware is applied to the each covering of a 16-floor-ferro-concrete building which is made with tunnel formwork system. In this analysis done with SAP2000 programme,increase in the frequency of a ferro concrete building is observed, structure which has less in cycle is appeared. These results show us that CFRP hardwares make an %38 increase in the rigid of structure.

KeyWords: CFRP, FRP, SAP2000, FREQUENCY

TEŐEKKÖR

Yüksek lisansa başladığım ilk günden itibaren her türlü imkan ve desteği sağlayan, çalışmalarım boyunca farklı fikirler sunarak yardımcı olan, engin bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, akademik duruş ve terbiyesini örnek aldığım, bilgi ve birikimlerini bizimle paylaşan, üzerimde büyük emeği olan danışmanım, çok kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. SERTAÇ TUHTA'ya.

Üzerimdeki emekleri büyük olan kıymetli anneme, babama ve canım kardeşlerime ve tabi ki müstakbel eşime teşekkürü bir borç bilirim.

Eren Hayati GENÇBAY

İÇİNDEKİLER

Özet.....	iii
Abstract.....	iv
Teşekkür	v
İçindekiler.....	vi
Simgeler.....	viii
Şekiller Listesi.....	ix
Tablolar Listesi.....	xi
	<u>Sayfa</u>
1. GİRİŞ	1
1.1 FRP Nedir?.....	1
1.2 FRP Malzemesinin Özellikleri.....	2
1.3 FRP Uygulanması.....	5
1.4 FRP ile Güçlendirme Yöntemi.....	6
1.5 Karbon Fiber Takviyeli Polimerler (CFRP).....	7
1.6 Karbon Fiber Takviyeli Polimerler (CFRP) Güçlendirme Malzemesinin Kullanım Alanları.....	11
1.7 Tünel Kalıp Sistemler	12
1.8 Tünel Kalıp Sisteminin Gelişimi ve Uygulandığı Ülkeler.....	16
1.9 Tünel Kalıp Sistemi Oluşturan Elemanlar.....	16
1.10 Tünel Kalıp Sisteminin Tasarımı.....	17
1.11 Tünel Kalıbın Uygulanması.....	18
1.12 Tünel Kalıp Sistemleri Ülkemiz.....	24
1.13 Literatür Araştırması.....	25
2. MATERYAL VE METOT	33
2.1 Materyal.....	33
2.2 Metot.....	33

2.3 Tünel Kalıp Sistemi ile İnşa edilen Binanın Oluşum ve Analizi.....	33
2.3.1 Binanın Özellikleri ve Uygulama.....	33
3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	59
3.1 Sonuçlar.....	59
3.2 Öneriler.....	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	65



SİMGELER

A_c	: Beton kesit alanı
b	: Kolonun eni
b_1	: CFRP' li kolon eni
U	: Pozisyon Oranı
E_{CFRP}	: CFRP elastisite modülü
EI	: Betonarmenin eğilme rijitliği
$(EI)_{güç}$: Güçlendirilmiş durumdaki eğilme rijitliği
E_c	: Beton elastisite modülü
A	: Birim hacim ağırlık
f_{cd}	: Beton hesap basınç dayanımı
f_{yd}	: Çelik hesap çekme dayanımı
f_L	: CFRP' den dolayı çevresel basınç
h	: Kolonun yüksekliği
h_1	: CFRP' li kolon yüksekliği
I_c	: Atalet momenti
I_{CFRP}	: CFRP' nin atalet momenti
G	: Kayma modülü
L	: Kolon boyu
L_b	: Burkulma boyu
N	: Normal kuvvet
n	: CFRP sarım sayısı
P_c	: Betonun taşıdığı kuvvet
$^{\circ}C$: Santigrat Derece
r	: Kesit merkezinin köşe noktasına olan uzaklığı
ρ_c	: Donatı oranı
ρ_f	: CFRP oranı
H	: Döşeme üstünden üst döşemenin altına kadar olan yükseklik

ŞEKİLLER LİSTESİ**Sayfa**

Şekil 1.1. CFRP kumaş ile kiriş güçlendirme uygulaması.....	7
Şekil 1.2. CFRP ile güçlendirilmiş kirişler.....	9
Şekil 1.3 Gerilme-Birim uzama diyagramı	9
Şekil 1.4. Köprü ayakları.....	11
Şekil 1.5. Köprü kirişleri.....	11
Şekil 1.6. Limanlar.....	11
Şekil 1.7. Kolon-kiriş birleşim yerleri.....	11
Şekil 1.8. Su depoları.....	12
Şekil 1.9. Döşemeler.....	12
Şekil 1.10. Merdiven altları.....	12
Şekil 1.11 Ahşap kirişler.....	12
Şekil 1.12. Kalıp Eleman.....	13
Şekil 1.13. Tünel Kalıp Elemanları.....	13
Şekil 1.14. Yarım Tünel Kalıp Elemanı.....	14
Şekil 1.15. Tam Tünel Kalıp Elemanı.....	14
Şekil 1.16. Eki Köşe Ve ki Yarım Tünelden Oluşan Tam Tünel Kalıp	15
Şekil 1.17 Tünel Kalıp Boyutları.....	15
Şekil 1.18. Tünel Kalıp Destek Elemanları.....	17
Şekil 1.19. Tünel Kalıp Sisteminde Kalıbın Yerleştirilmesi.....	18
Şekil 1.20. Tünel Kalıp Sisteminde Pencere Boşluğunun Bırakılması.....	19
Şekil 1.21. Tünel Kalıp Sisteminde Merdivenin yerleştirilmesi.....	20
Şekil 1.22. Betonarme demiriyle, hasır çeliğin gerilme-uzama eğrisi.....	21
Şekil 1.23. Tünel Kalıp Sisteminde Beton Yerleştirilmesi.....	22
Şekil 1.24. Duvar Başlangıcı.....	23
Şekil 2.1. 16 katlı Betonarme Yapı SAP2000 Uygulaması.....	34
Şekil 2.2. CFRP'liMMax.....	35
Şekil 2.3 CFRP'liVMax.....	35
Şekil 2.4. CFRP'sizMMax.....	36
Şekil 2.5. CFRP'sizVMax.....	36
Şekil 2.6. SAP2000 MOD1 Şekli.....	37

Şekil 2.7. SAP2000 MOD2 Şekli.....	38
Şekil 2.8 SAP2000 MOD3 Şekli.....	39
Şekil 2.9 SAP2000 MOD4 Şekli.....	40
Şekil 2.10 SAP2000 MOD5 Şekli.....	41
Şekil 2.11. CFRP'siz Seçili Katlarda Mmax Grafiği.....	45
Şekil 2.12. CFRP'siz Seçili Katlarda Vmax Grafiği.....	49
Şekil 2.13. CFRP'li Seçili Katlarda Mmax Grafiği.....	53
Şekil 2.14. CFRP'li Seçili Katlarda Vmax Grafiği.....	57



TABLULAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1. Cam Fiberlerin Genel Özellikleri	3
Tablo 1.2. Karbon Fiberlerin Genel Özellikleri.....	3
Tablo 1.3. Cam Fiberlerin Genel Özellikleri.....	4
Tablo 2.1. CFRP'siz Değerler.....	34
Tablo 2.2. Tablo CFRP'li Değerler.....	35
Tablo 2.3. CFRP Uygulaması Kıyası.....	36



1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknolojik yaklaşımlarla birlikte CFRP güçlendirme malzemesi yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Gerek dünyada gerekse ülkemizde yapılan onarım ve güçlendirmesinde tercih edilen bu malzeme hakkında yapılışı, davranışı uygulama alanları taşıma gücü veburkulma yüküne katkısı açısından değişik çalışmalara konu olmuştur. Tüm dünyadaki yapı endüstrisi ele aldığı konuların başında standardı düşük olan yapıların onarım ve güçlendirmesi gelmektedir. CFRP güçlendirme malzemeleri köprü, Avm, enerji santralleri, kamu kurumları ve tarihi yapıların restorasyonun da kullanılmaktadır. Biz bu çalışmada tünel kalıp sistemi ile yapılan betonarme yapılarda CFRP malzemesinin kullanımını inceledik. Yapının yıpranmasının nedeninde rüzgar, hava gibi etkenler veya deprem gibi doğal afetler ile hasar gören yerlerin onarımın da düşük standartlara sahip yapıların güçlendirmesi için geleneksel güçlendirme tekniklerine nazaran daha hızlı ve kolay teknikle uygulanan ve ilave güç artışına sebep olmayan yüksek mukavemetli bir ürünün kullanımının gerekliliği verilerle ortaya koymaktır.

1.1 FRP nedir?

FRP (fiber reinforced polymer) olarak ifade edilen fiber takviyeli polimerler; yüksek mukavemetli fiberler ile plastik esaslı bağlayıcı reçine matrisinin ve çeşitli katkı maddelerinin bir araya gelmesiyle oluşan ve dünya genelinde yaygın olarak kullanılmaya başlanan yeni nesil güçlendirme malzemesidir. Bu malzemelerin, sıklıkla kullanılmakta olan çelik lama-plak takviyesine karşı en büyük üstünlüğü korozyona dayanıklı olmalarıdır. Ayrıca bunun dışında birçok dış etkene metallere daha çok dayanıklıdırlar. Hafif, ince, uygulaması hızlı ve pratik olan uzun ömürlü bu malzemeler, liflerin dizilim yönleri değiştirilerek mukavemeti ayarlanabildiğinden ve beton ile çeliğin giremeyeceği yerlere girebildiğinden güçlendirmede büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Kolon ve kirişleri güçlendirme amacı ile kirişlerin alt yüzeylerine yapıştırılan çelik levhaların çelik yapılarda kullanılan çelik profillerden değişik bir özelliği yoktur. Çelik levhalar epoksi türünden bir yapıştırıcı ile beton yüzeye

uygulanmaktadır. Burada önemli olan çelik levhayı betona yapıştırılan malzemenin özellikleridir.

Betonarme yüzeylere çelik levha yapıştırarak güçlendirmenin iki ana sorunu vardır. Biri, hava koşullarına açık olan çelik levhalarda kısa bir süre içinde paslanma olması; diğeri ise ağır çelik levhanın, yapıştırmada kullanılan malzeme sertleşinceye kadar özel iskele sistemleri ile desteklenmesidir. Bu olumsuzlukları gidermek için çelik levhalar yerine yüksek çekme dayanımlı liflerden dokunmuş ve epoksi bir ortam içine alınmış özel sentetik dokumalar kullanılmaktadır.

Sentetik dokumalar yüksek dayanımlı liflerin oluşturduğu bir malzemedir. Bu dokular polimer, epoksi vb. emdirilerek betonarme elemanlara yapıştırılmaktadır. Dokumalar ince oluşları nedeniyle mevcut betonarme elemanlara sarılabilmekte ve betonarme elemana sürekli olarak yapıştırılabilmektedir. Kısacası, betonarme elemanların (kolon, kiriş, döşeme) basınç ve/veya eğilme dayanımlarının artırılmasında etkili bir şekilde kullanılabilen bu malzemelerle yapılacak olan güçlendirme işlemleri, ülkemizdeki mevcut deprem yönetmeliğinde de uygulanabilir güçlendirme yöntemleri arasında gösterilmekte ve yönteme ait hesap yöntemleri sunulmaktadır (Aytaç, 2011).

1.2 FRP Malzemesinin Özellikleri

a) Lifler: Güçlendirmede kullanılan bu tür sargı malzemelerinde esas yük taşıyıcı bileşen, liflerdir. En çok kullanılan lif cinsleri cam karbon ve aramid esaslı olanlardır. Lif halindeki bu malzemeler büyük hacimli konularına kıyasla daha yüksek dayanıma sahiptirler. Cam lifleri, büyük hacimli konularında olduğu gibiyüzey kusurları içermediğinden dayanımları yüksektir. Karbon liflerinde tüm bağlar kovalen türdür ve büyük hacimli hallerindeki tabakalanma, bu durumlarında söz konusu değildir. Aramid liflerinde ise moleküllerin yönlendirilmiş olması ve kristalleşme gibi nedenler malzemenin nedeniyle mekanik özelliğini uzatmaktadır.

-Cam Lifleri

Bu malzemelerin fiyatları karbon fiberlere göre düşüktür. Elastisite modülü düşüktür. Yüksek mukavemetlidir. Sürekli ve tekrarlı yüklere karşı dayanımı

nispeten düşüktür. Yumuşama noktası 800 – 1000 ⁰C'dir. Alkalilere duyarlıdır. Neme karşı direnci düşüktür.

Tablo 1.1. Cam fiberlerin genel özellikleri

Elastisitemodülü	72 – 78 GPa
Çekme dayanımı	3300 – 4500 MPa
Kopma dayanımı	%4,8 - %5,0

- Karbon Lifleri

Yüksek mukavemet ve rijitliğe sahiptir. Düşük birim boy uzamasına ve darbe direncine sahiptir. Titreşimli yüklerden etkilenmez. Rutubet ve kimyasallara karşı direnci mükemmeldir. Galvanik korozyondan etkilenmektedir. 200 ⁰C sıcaklığa kadar etkilidir. Sıcaklık ve elektriği iyi iletebilmektedir.

Tablo 1.2. Karbon fiberlerin genel özellikleri

Elastisite modülü	290 – 400 GPa
Çekme dayanımı	2400 – 5700 MPa
Kopma dayanımı	%0,3 - %1,8

- Aramid Lifleri:

Bu malzemelerin fiyatları karbon fiberlere göre düşüktür. Elastisite modülü düşüktür. Yüksek mukavemetlidir. Sürekli ve tekrarlı yüklere karşı dayanımı nispeten düşüktür. Yumuşama noktası 800 – 1000 ⁰C'dir. Alkalilere duyarlıdır. Neme karşı direnci düşüktür (Buselvd, 2003;Celep & Kumbasar, 2000;Anonymous, 2004).

Tablo 1.3. Cam fiberlerin genel özellikleri

Elastisite modülü	72 – 78 GPa
Çekme dayanımı	3300 – 4500 MPa
Kopma dayanımı	%4,8 - %5,0

b) Matriks (Sürekli Faz): Liflerin etrafını saran ve lifleri bir arada tutan malzemedir. Matriksin ana görevi gerilmeleri liflere aktarmaktır. Bunun dışında lifleri dış etkenlerden (nem, kimyasallar ve oksitlenme) korur, cam ve karbon lifleri yüzey çentiklerine karşı duyarlı olduğundan lif yüzeylerinin birbirine çarparak veya dış etkilerle hasar görmesini engeller. Genel olarak termoset polimerler matriks olarak kullanılır. Örneğin, epoksipoliester, vinilester, fenolik gibi.

c) Kompozit: Matriks ve liflerin bir araya gelmesi ile kompozit malzeme oluşur. Lifler sürekli ya da kesikli olabilir. Sürekli lifler tek yöne yönlendikleri gibi iki dik yönde de bulunabilirler. Betonarme yapıların takviyesi amacı ile kullanılan kompozitlerde kalınlık küçüktür ve lifler bir düzleme paralel olarak yer alırlar. Süreksiz liflerde yönlenme düzlemde rastgele olabilir. Bazı kompozitlerde tüm lifler ana eksene paralel olacak şekilde yönlendirilmiştir, bu kompozitlerin bu yöndeki verimlilikleri maksimum değerlerdir. Ancak liflere dik doğrultuda sadece matriks çalışmaktadır; bu nedenle mekanik özellikler büyük oranda düşer. Bazı kompozitlerde ise birbirine dik iki yönde ($0^\circ / 90^\circ$) lifler bulunabilir.

Özetle; matriks fazı içerisine konan fiberler kusursuz bir mikro yapıya sahip yük taşıyabilen elemanlardır. Bu fiberler çeşitli maddelerden üretilirler. Yüksek sıcaklıklarda üretilen cam, karbon ve aramid gibi malzemeler endüstride çeşitli işlemlerden geçirilerek lif haline getirilir. Bunlar mikron kalınlıkta liflerdir. Çekme dayanımları oldukça yüksektir. Bu lifler reçinelerle, katkı maddeleri yardımıyla iyi aderans sağlarlar. FRP malzemesi, kullanılan bu lif tiplerine göre üçe ayrılmaktadır:

- CFRP “karbon lifli polimer”
- GFRP “cam lifli polimer”
- AFRP “aramid lifli polimer” (Aytaç, 2011)

1.3. FRP Uygulanması

Kompozitlerin bir yapıştırıcı yardımı ile yapı elemanlarının yüzeylerine uygulanması gerekir. En çok kullanılan yapıştırıcılar epoksi, poliester, poliüretan ve akriliklerdir. Yapıştırma işlemi şantiyede gerçekleştirilmektedir. Yapıştırma sırasında özen gösterilmeli, kompozit yapı elemanının yüzeyine, yabancı maddeler ve nem içermeyecek şekilde hazırlanarak ve çevreden etkilenmeyecek şekilde yapıştırılmalıdır. Burada yapıştırıcı-kompozit-yapı elemanı uyumuna özen gösterilmelidir.

Özellikle kolon tipi elemanların takviyesinde, önceden prefabrike olarak hazırlanmış ve elemanın boyutlarına uygun olan kompozitler iki ya da tek parçalı olarak elemanın üzerine yerleştirilmekte veya yapıştırma işlemi uygulanmakta ya da kompozit ile yapı elemanı arası bir döküm harcı (grout) ile doldurulmaktadır. Bu işleme gömlek ya da ceket giydirme adı verilmektedir.

FRP uygulanmasındaki avantajlar;

- Tasarımı kolay ve etkindir. Amerikan ve Avrupa tasarım normlarında standart hesap yöntemleri mevcuttur.
- Farklı fiziksel değerler için farklı kompozit malzeme kullanma imkânı vardır.
- Paslanmaz ve manyetik alan oluşturmaz.
- Yapılarda mevcut kullanımı engellemeden veya durdurmadan uygulamaolanağı vardır.
- Uygulama ve kullanım kolaylığı vardır.
- Maliyeti yüksek makine ve ekipman gerektirmez.
- İstenilen her çeşit yapı elemanı ve malzemesini güçlendirebilir.
- Bakım gerektirmez.
- Kalite kontrol ve güvence sistemleri mevcuttur.
- Eksenel yük taşıma kapasitesini, eğilme ve kesme dayanımlarını, durabilte seyive sünekliliği artırır.
- Dinamik yükten gelen malzeme yorulması direncini güçlendirir.
- Mevcut sehimleri tamamen ortadan kaldırır veya artmasını önler.
- Ölü yükleri arttırmaz, elemanların geometrisini değiştirmez.
- Esnek olup her türlü forma adapte edilebilir (Aytaç,2011).

Fiber takviyeli polimerlerin (FRP) dezavantajları:

- Bu malzemelerin en büyük dezavantajı yüksek maliyetli olmalarıdır.
- Enine dayanımı düşüktür. UV ışınlarından ve radyasyondan etkilenmektedir. Yüksek ısıya karşı dayanıklılıkları son derece düşüktür.
- Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır, standartlaşmış bir kalite yoktur (Celep & Kumbasar, 2001).

1.4 FRP ile Güçlendirme Yöntemi

FRP malzemeler ile güçlendirmede, FRP malzemeler kirişe sargılanabilir veya kiriş eksenine paralel olarak yapıştırılıp boyuna donatı olarak kullanılabilir. Bunun için yüzey hazırlığı çok önemlidir. Kirişlerde FRP' nin uygulanmasındaki en önemli sorun malzemenin sıyırılması veya betonun paspayı tabakasını alarak ayrılmasıdır. Bu gibi sorunların yaşanmaması için uygulanacak yerdeki beton parçaları temizlenir varsa kırık olanlar uzaklaştırılmalıdır. Oluşan boşluklar epoksi veya tamir harcı ile doldurulmalıdır. Köşeler ve keskin kenarlar sürekliliği sağlamak için törpülenerek yuvarlanmalıdır. Dış köşeler çapı 1-3 cm olacak şekilde yuvarlatılmaktadır. İç açılar ise epoksi ile doldurularak yuvarlatılmaktadır. FRP uygulaması köşelere paralel ise düzeltmeye gerek yoktur. Yüzeydeki yapışmayı engelleyici toz, yağ, kir gibi maddeler kumlama veya yüksek basınçlı su veya hava püskürtme ile uzaklaştırılmalıdır. FRP uygulanırken sıcaklık 5° C'nin altında ve 30° C'nin üstünde olmamalıdır. En uygun sıcaklık 20° C'dir. Uygulama esnasında nem % 4'ten fazla olmamalıdır. Eğer nem oranı düşürülemediyse neme dayanıklı astar kullanılmalıdır. Temiz yüzeye fırça veya rulo ile epoksi astar sürülmelidir. Astar kurduktan sonra hafif çukurluklar epoksi ile doldurulmalıdır. Epoksi de kurduktan sonra yüzey reçinesinin sürülmesine ve FRP'nin uygulanmasına hazır olmaktadır. Karlı ve yağmurlu havalarda kesinlikle uygulanmamalıdır. Özel koşullar sağlanırsa uygulanabilmektedir (Celep & Kumbasar, 2001).



Şekil1.1 CFRP kumaş ile kiriş güçlendirme uygulaması

Güçlendirme işlemi bir yapı veya yapı elemanının öngörülen bir güvenlik düzeyine çıkarmak için yapılan işlemdir. Günümüzde betonarme binaların güçlendirilmesi ve/veya onarılmasını gerektiren birçok neden vardır. Yapı kullanım amacının değişmesi nedeni ile daha büyük yüklerin etkimesi, rötre nedeniyle betondaki çatlaklara dolan suların donatıları korozyona uğratması, tasarım aşamasında veya yapım aşamasında yapılan hatalar, standartların gelişmesi sonucu yeni şartnamelere uyma zorunluluğu ve deprem sonucu oluşan hasarların giderilmesi gibi ve daha bir çok nedenden dolayı güçlendirme ve/veya onarım işlemi yapılabilmektedir (Kurtibek, 2007).

1.5 Karbon Fiber Takviyeli Polimerler (CFRP)

Fiber takviyeli polimerler FRP veya yapı kompozitleri" olarak adlandırılan bu kompozitler polimer matris malzemenin fiberle takviye edilmesinden elde edilirler. FRP ürünleri günümüzde yapısal uygulamalarda sık kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerde kullanılan fiberlerin fiziksel biçimleri oluşturulan yeni malzemenin özellikleri üzerinde çok önemli bir faktördür. Takviyeler temel olarak 3 farklı biçimde bulunmaktadır. Bunlar parçacıklar, süreksiz ve sürekli fiberlerdir. Parçacık genelde 3 boyutlu olmamasına rağmen her yönde eşit boyutlardadır. Takviye malzemesinin (elyaflar) bir boyutu diğer boyutlarına göre daha fazla olur. Süreksiz elyaflar (doğranmış elyaflar, öğütülmüş elyaflar veya püskül) birkaç mm den birkaç cm ye kadar değişen ölçülerde olabilmektedir. Çoğu lifin çapı birkaç mikrometreyi geçmemektedir.

Sürekli elyaflar ise tel sarma yöntemi gibi yöntemlerle kesilmeden ip şeklinde kullanılmaktadır. Elyaflar en yüksek mekanik özelliklerini enine değil boyuna doğrultuda gösterirler. Bu nedenle tasarım aşamasında elyafların reçine içindeki yerleşimler ve geometrileri göz önünde bulundurmamak çok önemlidir.

Cam elyafının günümüzde en çok kullanılan ve geçerli takviye malzemesi olmasına rağmen gelişmiş kompozit malzemelerde genellikle saf karbonun elyafı kullanılmaktadır. Karbon elyafı cam elyafına oranla daha güçlü ve hafif bir malzeme olmasına rağmen üretim maliyeti daha yüksektir. Karbon elyafından daha güçlü ve aynı zamanda daha pahalı olan ise bor elyafıdır.

Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca elyaf türleri;

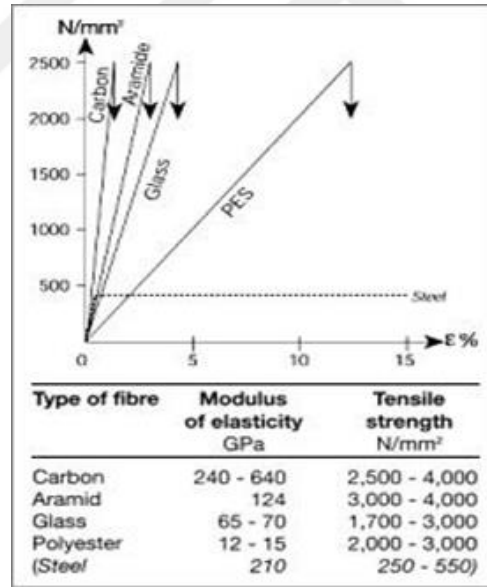
- Cam elyafı
- Karbon elyafı
- Aramid elyafı
- Bor elyafı
- Oksit elyafı
- Yüksek yoğunluklu polietilen elyafı
- Poliamid elyafı
- Polyester elyafı
- Doğal organik elyaflar.

Bu elyaflar arasında en çok cam, karbon ve aramid elyafı kullanılmaktadır. Bu üç elyaf türü de güçlü, sert ve sürekli biçimde üretilebilmektedirler.

Bu malzemeler çok düşük ağırlıklarına rağmen çok yüksek mukavemetlere, anti korozif özelliklere, yüksek mekanik ve fiziksel değerlere sahiptirler. FRP kompozit malzemeler tek yönlü plakalar, kumaşlar, çubuklar ve çift yönlü örtüler olarak üretilebilmektedir (Kaya, 2010).



Şekil 1.2 CFRP ile güçlendirilmiş kirişler



Şekil 1.3 Gerilme-Birim uzama diyagramı

CFRP malzemesi betonarme yapıların güçlendirilmesinde yüksek çekme dayanımı, hafif olması, uygulanma kolaylığı, korozyona ve çevre etkilerine karşı dayanıklılığı, uygulandığı betonarme elemanların geometrik ölçülerini değiştirmemesi ve farklı güçlendirme detaylarında kullanılacak çok çeşitli

türlerinin piyasada hazır olarak bulunabilmesi gibi nedenlerden dolayı son 10 yıl içerisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Wiley,2002).

Literatürde yer alan deneysel çalışmalar incelendiğinde CFRP ile güçlendirilmiş betonarme elemanlarda üç farklı göçme türü yaygın olarak görülmektedir [5]-[6]. Gözlemlenen göçme mekanizmaları yapıştırılan CFRP'nin betonarme elemanın yüzeyinden soyulması, kullanılan epoksinin kayma gerilmesi sınırının aşılmasıyla yüzeyden ayrılması ve CFRP elemanın kopması olarak sayılabilir. CFRP aksenal çekme dayanımı çok yüksek bir malzeme olması nedeniyle kopması son derece zordur. Ayrıca bu göçme modu malzemenin tüm performansının kullanıldığı ve geliştirilen güçlendirme detayının amaçlanan başarıya ulaştığının önemli bir göstergesidir. Ancak literatürde yer alan birçok çalışmada bu göçme mekanizması meydana gelmeden çok önce göçmenin CFRP'nin beton yüzeyinden soyulması veya epoksinin kayma gerilmesinin aşılmasıyla CFRP elemanın yüzeyden ayrılması şeklinde meydana geldiği gözlenmiştir. Bu iki göçme mekanizmasından en çok gözlenen ise CFRP'nin yapıştırıldığı beton yüzeyinin hemen bir kaç mm aşağısından kesme gerilmesi etkisiyle soyulması sonucunda meydana gelen göçme modudur.

CFRP elemanların beton yüzeyinden soyulması ile gerçekleşen göçme sonucunda geliştirilen güçlendirme yöntemlerinden istenilen performans elde edilememektedir. Sözü edilen göçme mekanizmasını etkileyen en önemli faktör beton basınç dayanımıdır. Ayrıca CFRP kullanılarak geliştirilen güçlendirme detaylarının dayanım ve rijitliğini etkileyen diğer önemli parametreler ise CFRP yapıştırma alanı yani şerit genişliği ve etkili yapıştırma boyu olarak sayılabilir. CFRP kullanılarak geliştirilen bir güçlendirme detayının dayanımı ve rijitliği gibi önemli değerler göçme moduna bağlıdır. Eğer göçme beton yüzeyinden soyulma şeklinde meydana gelecek ise geliştirilen güçlendirme detayının kapasitesinin hesaplanmasında CFRP ile beton yüzeyini arasındaki gerilme dağılımının bilinmesi son derece önemlidir. Bu nedenle literatürde CFRP ile beton yüzeyi arasındaki gerilme dağılımının belirlenmesine yönelik çalışmalar son yıllarda önem kazanmıştır.(Chen & Teng, 2001 ;Smith & Teng, 2003 ; Teng vd, 2003)

1.6 Karbon Fiber Takviyeli Polimerler (CFRP) Güçlendirme Malzemesinin Kullanım Alanları

CFRP güçlendirme malzemesi kullanılarak köprü kolonları (Şekil 1.4.), köprü kirişleri (Şekil 1.5.), limanlar (Şekil 1.6.), kolon-kiriş birleşim yerleri (Şekil 1.7.), su depoları (Şekil 1.8.), döşemeler (Şekil 1.9.), merdiven altları (Şekil 1.10.) ve ahşap kirişler (Şekil 1.11.) gibi birçok yapı elemanında kullanılabilir (White & Busel, 2003; Kasimzade & Tuhta, 2005 ; Busel vd, 2003).



Şekil 1.4. Köprü ayakları



Şekil 1.5. Köprü kirişleri



Şekil 1.6 Limanlar



Şekil 1.7. Kolon-kiriş birleşim yerleri



Şekil 1.8. Su depoları



Şekil 1.9. Döşemeler



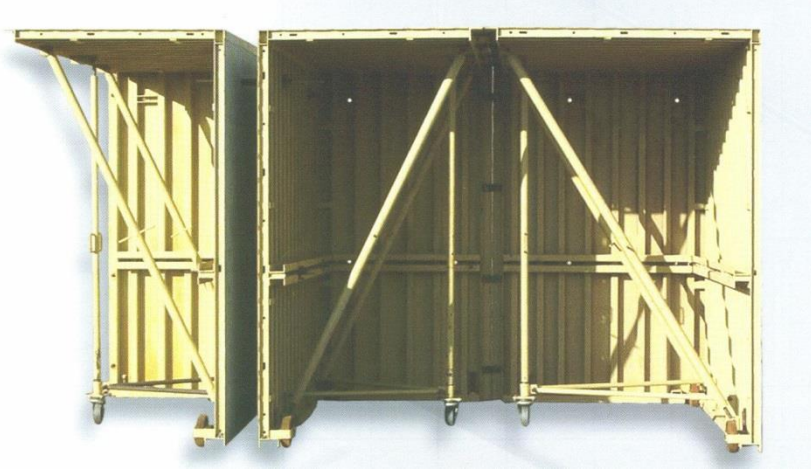
Şekil 1.10. Merdiven altları



Şekil 1.11. Ahşap kirişler,

1.7 Tünel Kalıp Sistemler

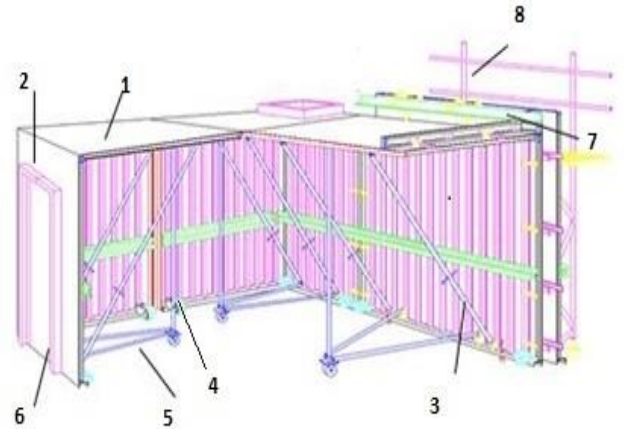
Tünel kalıp sistemi, yapılarda taşıyıcı duvar (perde) ve döşemelerin bütün halinde, tek işleme yerinde dökümünü sağlayan bir yapım tekniğidir. Sistem saç panolardan oluşur. Tünel Kalıplar dört yüzü kapalı kalıp birimlerdir. Beşinci yüz kalıbın üzerine oturduğu döşemedir. Altıncı yüz ise kalıbın çıkarılması için açık bırakılır. Kalıp yüzeyleri 3-4 mm kalınlığında çelik levhalardan oluşur. (Şekil 1.12)



Şekil 1.12. Kalıp Eleman [13]

Bu sistemde döşemeler üç kenarından perdelerle mesnetlenir. Cephe elemanları, merdivenler, sahanlıklar, bölme duvarlar, bacalar vb. ön yapımlı üretilir ve ana sistemle birleştirilir. Beton içinde kapı, pencere, baca deliği gibi boşlukları oluşturmak için çelik rezervasyon elemanları kullanılır. Elektrik ve su tesisatları kalıbın içine önceden yerleştirilir. Kalıpların yerine yerleşimi ise kule vinç yardımıyla olmaktadır. Tünel kalıbı oluşturan elemanlar Şekil 1.12’de gösterilmiştir.

1. Yatay Pano
2. Dikey Pano
3. Çapraz Destek (konturfiş)
4. Tekerli Dikme
5. Tekerlek
6. Döşeme Kapatma Elemanı
7. Rezervasyon Kalıpları
8. Çalışma iskelesi



Şekil 1.13. Tünel Kalıp Elemanları [14]

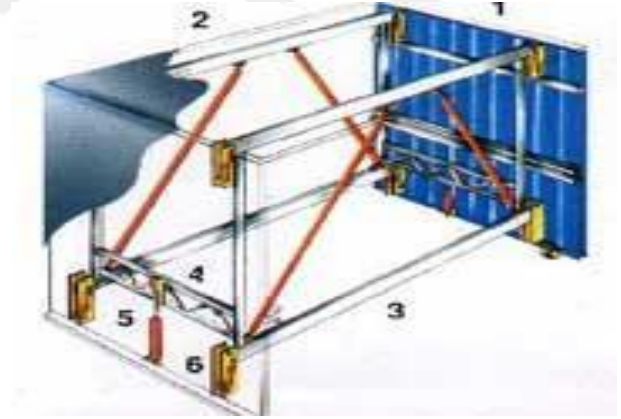
Tünel Kalıp elemanları yarım tünel kalıplar ve tam tünel kalıplar olmak üzere ikiye ayrılır.

1. Düşey Pano
2. Yatay Pano
3. Ayarlanabilir Payanda
4. Denge Payandası
5. Süper Kriko



Şekil 1.14. Yarım Tünel Kalıp Elemanı [14]

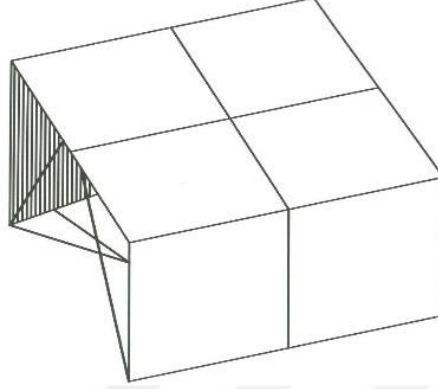
1. Yan Duvar Kalıbı
2. Yatay Kalıp Yüzeyi
3. Travers
4. Kaldırma Kirişi
5. Hidrolik Kriko
6. Ayar ve Tespit Çubuğu



Şekil 1.15. Tam Tünel Kalıp Elemanı [14]

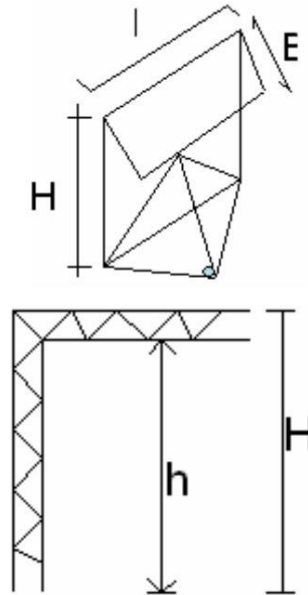
Yarım tünellerle kullanılacak mekana göre çeşitli kombinasyonlar yapılarak tam tünel kalıp elde edilebilir. Tam tünel kalıpların ağırlıkları 80 kg/m^2 dir. Eleman uzunluğu: 0.625 - 1.25 - 2.5m, genişlik yönünde büyüme olasılığı 1,8 m(ek parça

ile);maksimum açıklık 6,2 m dir. Standart tünel genişlikleri 1,05 - 1,35 - 1,65 - 1,95 - 2,25 - 2,55 - 2,85 dir. Değişik kombinasyonlarla 2,1-5,7 m arasında açıklıklar için standart tünel kalıplar elde edilir. (Şekil 1.16) (Şimşek, 2001)



Şekil 1.16. Eki Köşede ki Yarım Tünelden Oluşan Tam Tünel Kalıp

Yarım tünel kalıplarda ise; ağırlık 70 kg/m²; 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. (Şekil 1.17)



Şekil 1.17. Tünel Kalıp Boyutları (Şimşek, 2001)

1.8. Tünel Kalıp Sisteminin Gelişimi ve Uygulandığı Ülkeler

Tünel kalıp sistemi ilk kez Fransa'da yapılan uygulamada ahşap kalıplar ile denenmiş olup daha sonra çelikten üretilmiştir. Dünya'da Outinord isimli bir inşaat firması tarafından tanıtılan bu sistem tek konut ve konut bloklarında uygulanmış olup halen Yugoslavya, Almanya, İsrail, Romanya, İtalya, Türkiye ve çeşitli ülkelerde uygulanmaktadır (Balkabak, 1999).

1978 yılından sonra, Türkiye'de bir yapı üretim kuruluşu olan Mesa'nın önderliğinde uygulamalarına başlanmıştır. Toplu konut üretiminde tünel kalıp sistemler kullanılmaktadır.

1.9. Tünel Kalıp Sistemi Oluşturan Elemanlar

Tünel kalıp sistemi oluşturan elemanlar altı kısımda incelenmektedir.

Ana tünel kalıp ; perde duvarları ve döşemeyi oluşturan kalıp elemanıdır.

Özel ek kalıp parçaları; tünel kalıp dökümündeki delikler, konsollar, döşeme ve perde alınları gibi parçalardır.

Çalışma platformu; dökülen betonun prizini aldıktan sonra kalıpların çekildikleri platformlardır. Tünel kalıplar bu platformlara sürülerek götürülür. Yerleşimi kule vinçle olur.

Destek elemanlar; tünel kalıbın kesitine beton dökümü ile gelecek yükleri almak için konulan dikme, krikon tekerler, payanda gibi elemanlardır.(Şekil 1.18)



Şekil 1.18. Tünel Kalıp Destek Elemanları

1.10. Tünel Kalıp Sisteminin Tasarımı

Tünel kalıp sistemlerde döşeme kalınlıkları eşittir. Düşük döşeme genellikle yapılmaz. Düşük döşemenin olmayışı ve sarkan tesisat elemanlarının yok edilebilmesi için asma tavan yapılır. Yapıda girinti-çıkıntı olması istenmez. Kat yükseklikleri eşittir.

Döşemeler üç kenarından perdelerle mesnetlidir. Bu üç tarafı kapalı hücrenin dışarıya tekerleklerle çıkarılabilmesi için her hücrenin dışa bakan yüzü açık olmalıdır. Açık olan mesnetlenmemiş kenarın üzerine gelecek duvar yükünün karşılanması, perdeler arası aks sürekliliğinin sağlanması bu kenarda oluşabilecek sehimlerin engellenmesi amacıyla döşeme yüksekliğinde, 30-60 cm eninde kirişler oluşturulur.

Perde duvar doğrultuları, yapının iki yöndeki rijitlikleri ve tünelin çıkış yönleri göz önüne alınarak tasarlanmalıdır. Binada her iki doğrultuda çok sayıda perde olduğundan temeli iki yönde sürekli yapmak gerekir. Ancak sürekli temeller, yapım ve kalıp bakımından dolayı çıkacak güçlükten dolayı tercih edilmez. Tünel kalıp sistemlerde plak temel tercih edilir. Yapının konumlandırmasında aynı kule vinç ile en az iki yapının üretilmesi sağlanmalıdır.

1.11 Tünel Kalıbın Uygulanması

Tünel kalıplı yüksek binaların depreme karşı projelendirilmesinin esasları, pek bilinmemektedir. Bu tür yapılar, dünyada çok az uygulanmaktadır ve uygulandığı ülkelerde de deprem riski yoktur. Örneğin: İsveç, Hollanda, Fransa, USA(Chicago). İlgili sayılabilecek deneysel ve analitik çalışmalar, perde duvarlı kirişsiz döşeme sistemlerine aittir. Daha çok kirişsiz plak döşemenin, iki perde çifti arasında, bağlantı kirişi olarak ne kadar etkin çalıştığı araştırılmıştır. Yapılan bu tür deneysel araştırmalar, döşeme-perde bağlantı bölgelerinde, yöresel döşeme yırtılmaları ve zımbala kırılmalarının olabileceğini göstermektedir.

Bu sistemin iyi sonuç verebilmesi için az sayıda da olsa kalifiyeli elemana ihtiyaç vardır. Grup büyüklüğü, uygulanması istenen programın planlanmış üretimine göre belirlenir. Bununla beraber işçileri yürütebilecek nitelikteki kişilerden meydana gelen gurubun eleman sayısı yediyi geçmez. Sistemde, konu tun büyüklüğüne bağlı olarak günde bir, iki veya üç konutun yapımı amaçlanır. Vinç ve beton üretme tesislerinin kapasitesi üretim miktarının gerçekleşmesindeki sınırı tayin eden çok önemli 2 faktördür (Sümer, 2003).



Şekil 1.19. Tünel Kalıp Sisteminde Kalıbın Yerleştirilmesi

Kalıpların üzerine kalıp yağı sürülerek yerleştirmeye hazır hale getirilir. ki yarım elemandan oluşan tünel kalıp bir önceki döşeme üzerinde oluşturulan aks

betonundan yararlanılarak yerine yerleştirilir. Aks betonu için özel kalıp elemanları kullanılır. Şayet kapı, pencere boşluklarının bırakılması gerekiyorsa betonarme demirleri ve tesisat şebekeleri döşenmeden önce kalıplara “boşluk kalıpları” monte edilir. Duvarlardaki pencere ve kapı açıklıkları, çelik tünel kalıpların dik yüzeylerine monte edilip sökülebilen “kapı ve pencere çerçeveleri” yardımıyla elde edilir. Merdiven kovaları ve servis bacaları ise tünel kalıpların yatay yüzeylerine monte edilen “çelik çerçeveler” ile teşkil edilirler.



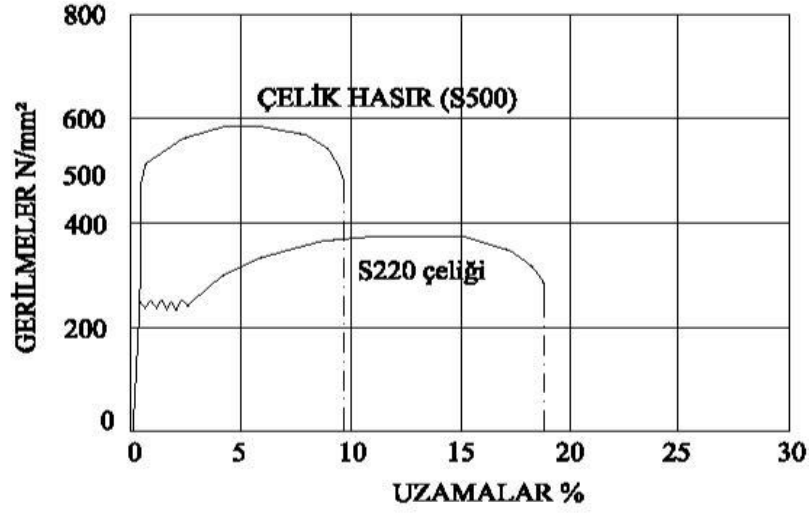
Şekil 1.20. Tünel Kalıp Sisteminde Pencere Boşluğunun Bırakılması.



Şekil 1.21. Tünel Kalıp Sisteminde Merdivenin yerleştirilmesi.

Döşeme ve duvarlarda kullanılan inşaat çeliği (hasır çelik levhalar) ve elektrik tesisatı, tünel kalıba önceden tasarlandığı biçimde yerleştirilir. Su tesisatı, ısıtma, havalandırma gibi unsurların, pencere ve kalıpların gerektirdiği boşluklar tünel kalıp üzerine yerleştirilen rezervasyon kalıpları ile sağlanır. Boşlukların geçici olarak kapanması çelik kapılarda plastik tıkaçlarla olmaktadır. Elektrik tesisatı mıknatıslı tutucular kullanılarak donatıya bağlanır donatı ile bir bütün halinde kalıbın içine yerleştirilir ve tünel kalıp ile birleştirilir (Sümer, 2003).

Çelik hasır, yüksek vasıflı ve özel nervürlü bir yapı çeliğidir. Çelik hasır soğuk çekmeve özel şekilde nervürlendirme ile elde edilen çubuklar, istenilen boyutta kesilir vedoğrultuludur belirli aralıklarla elektronik programlı punto kaynağı ile birleştirilerek çelik hasır elde edilir. Çelik hasırlar başlıca iki tip olarak elde edilirler (Balkabak, 1999).



Şekil 1.22. Betonarme demiriyle, hasır çeliğin gerilme-uzama eğrisi

Beton dökülmesi ve kür işlemleri için tünel kalıpla yapılan yapılarda genelde hazır beton kullanılmaktadır. Betondöküldükten sonra üretimi artırmak için süratli yapımını artırmak amacıyla kürleme metotları kullanılmaktadır. Bu kürleme sayesinde 24 saat içerisinde kalıp alınabilmektedir. Kürleme de aşırı sıcaklığın rolü betonun gerek rötre, gerekse içsel dayanımı etkilemektedir. Bu yüzden ısı şokunu önlemek için beton karıldıktan sonra 1,5–2 saatten önce 50 °C ve 5–6 saatten önce 100 °C yükseltilmemelidir. Kür için, buhar, gaz, mazot, sıcak su ve enfraruj ışıkları gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu uygulama yapılırken tünel ağızları ya naylon bezlerle ya da katranlı örtülerle kapatılarak ısı kaybı önlenmiş olmaktadır. Memleketimizde ise tünel kalıp uygulamalarında kürleme hacimlerinin içerisine yerleştirilen bütan gaz sobaları ile yapılmaktadır. Yaz aylarında beş saat kış aylarında ise sekiz saat süre ile 50 °C kürleme kâfi gelmektedir (Balkabak, 1999).



Şekil 1.23 Tünel Kalıp Sisteminde Beton Yerleştirilmesi.

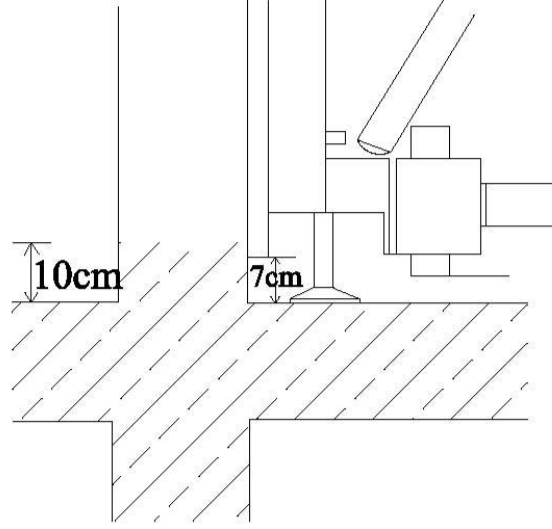
Şekil 1.22’de Tünel Kalıp Sisteminde ayrışmaya beton atıldıktan sonrakikür işlemi gözükmemektedir. Ayrıca betonun içinde boşluk kalmasından dolayı taze beton uğramadan homojen dökülmesi sağlanmalıdır. Perde duvarların betonlanmasında beton 50cm’lik tabakalar halinde dökülüp vibrasyon uygulanmalıdır.

Şekil 1.23’de Tünel Kalıp Sistemin betonlanması ve vibratör kullanımı gözükmemektedir. Kullanılan vibratörün betona dik daldırılması gerekir. Eğik daldırılan vibratörler taze betonda ayrışmaya neden olmaktadır. Vibratör taze beton içinde 10-15 saniye tutulmalı ve beton yüzeyinde düzelme gözükmediğinde ya da şerbet halinde ince kıvamlı yüzey görüldüğünde betondan çıkarılmalıdır. Vibratörün deviri boşta 7000-9000, yük altında ise 13000-18000 1/dak. kadardır.

Kalıbın sökülmesi işlemide ertesi sabah kalıplar sökülmeye hazırdır. Beton döküldükten sonra yaklaşık 16 saat sonra kalıp sökülmeye hazır hale gelmektedir. Gece boyunca kapatılan koruyucu perdeler açılır. Tünel kalıbın, dış kalıpla olan bağlantıları çözülür. Tünel kalıp, tekerlekleri üzerinde dışarıya itilir. Vinçle kaldırılarak yeni yerine yerleştirilir. Kapı, pencere ve diğer boşluklar için bırakılan rezervasyon kalıpları tünel kalıbın sökülmesinden sonra yerlerinden çıkarılır.

Sistemin teşkili ise, döşeme ile birlikte onun üzerindeki duvar başlangıcı da aynı anda betonlanır. Duvar başlangıcı döşemenin her iki yanından yaklaşık olarak 10 cm yükseltilmiş olup perde duvar enindedir. Kalıpların birleştirilmesi ve

yerleştirilmesi, dikey panellerin alt kısmına monte edilen krikolar yardımıyla hızlı ve hassas bir şekilde gerçekleştirilir [18].



Şekil 1.24. Duvar Başlangıcı

Kalıpların yere oturan ayakları, beton yüksekliğine göre ayarlanır. Kalıbın alt kenarı ile zeminin üstü arasında 7cm.'lik bir yükseklik kalması sağlanır. Mesela, 2.65 m. yüksekliğindeki konutlarda 2.58 cm. kalıp yüksekliği +7cm ile 2.65cm yükseklik elde edilmiş olur. Çelik tünel kalıp elemanı döşeme üzerine vinçle taşınıp, duvar başlangıç çıkıntısına yanaştırılarak yükseklik ayarı, kalıbın altındaki ayak vidaları ile sağlandıktan sonra, döşeme üzerindeki yarım tünel elemanının yanına getirilecek olan diğer eleman bağlantısı ise şu şekilde yapılır. Tünel eleman birbirine doğru itilir ve araya bağlantı elemanı konarak kelepçelenir (Altan & Aydoğan, 1995).

Plandaki ölçülere göre yerleştirilen tünel elemanların karşısına konacak elemanlar daha sonra yine vinç yardımıyla döşeme üzerine taşınır ve karşılıklı olarak kelepçelenerek veya U profillerle vidalanarak sistem tamamlanır. Karşılıklı monte edilen yarım tünel kalıpların tablalarından meydana gelen döşemenin yataylığı sağladığı takdirde, duvarlar otomatik olarak düşey duruma geçerler. Bu sebeple düşey doğrultudaki kalıpların montajı için herhangi bir düzenlemeye gerek kalmamaktadır. Bu işlem yapıldıktan sonra, üst tabakaya, orta noktasından, döşeme açıklığının yaklaşık 1/10'u kadar bir ters sehimle yükseltilir.

Bu sistemde dış duvarlar için “alın kalıbı” kullanılır. Çalışma platformu üzerine monte edilen dış duvar kalıpları, tünel kalıbın duvar panolarına bağlanır. Bu bağlantılar, gerek dış yüzlerdeki kalkan duvarlarının, gerekse yan yana yerleştirilen tünellerdeki beton duvarların teşkilinde duvar eni ölçüsündeki boylama koniklerle yapılır. Bu konikler, çelik veya pik borulardan ibaret olan, içindeki vidaların sıkıştırılması ile sabit açıklıklar elde edilmiş olur. Bu borular beton dökümü tamamlandıktan sonra tekrar kullanılmak üzere geriye alınır ve yerlerine betondan yapılmış elemanlar yerleştirilir (Altan & Aydoğan, 1995).

1.12. Tünel Kalıp Sistemleri Ülkemiz

Ülkemizin yaşadığı hızlı kentleşme ve sanayileşme sürecinde kentlere yapılan yoğun göçler, aşırı nüfus artışında etkisiyle konut ihtiyacını beraberinde getirmiş, konut ihtiyacının karşılanması için 70’li yılların sonundan itibaren toplu konut üretimine gidilmiştir. Ancak devam eden toplu konut uygulamaları ihtiyacı karşılayacak miktarda olmamış, başta büyük kentlerimizde olmak üzere, kendiliğinden gelişen, altyapısı olmayan kaçak yapılaşma, yarattığı fiziki ve sosyal problemler ile ülkemizin önemli sorunlarından biri haline gelmiştir. Çoğunluğu deprem kuşağında yer alan ülkemizde, bugün örneğini özellikle İstanbul’da yaşadığımız çarpık kentleşme ve kaçak yapı stokunun, depreme karşı güvenli hale getirilebilmesi, düzenli kentleşme sağlanması için devlet ve halkımız çaresiz kalmaktadır. Son yıllarda Toplu Konut Dairesi Başkanlığı ve bazı kamu kuruluşları, kentsel dönüşüm projelerini hayata geçirerek sağlam, kaliteli, kent kültürüne uygun yapılar hedeflemiş, bu amaçla toplu konut üretimini hızlandırmıştır. Toplu konut üretiminde mevcut uygulamalar incelendiğinde yapım tekniği olarak tünel kalıp sistemler karşımıza çıkmaktadır.

Tünel kalıp sistemler, yapılarda taşıyıcı duvar (perde) ve döşemelerin bütün halinde, tek işlemle yerinde dökümünü sağlayan bir yapım tekniğidir. Yatay ve düşey taşıyıcıların bir bütün olarak dökülmesi monolitik bir yapı elde edilmesini sağlamaktadır. Döşemelerde, cephe panellerinde ve perde gövdelerinde S500 hasır çeliği; perde uçlarında, temelde, konsol olarak çalışan döşemelerde, aks devamlılığı sağlayan döşeme bantlarında, etriyelerde S420 çeliği kullanılmaktadır. Tünel kalıp sistemlerde yapı elemanları; Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında

Yönetmelik ve TS500 - Betonarme Yapıların Tasarımı ve Yapım Kurallarına göre boyutlandırılmaktadır(Şimşek, 2001).

1.13. Literatür Araştırması

Kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişlerin güçlendirilmesi amacıyla geliştirilen yöntemler karbon elyaf takviyeli plastik (CFRP) uygulamaları, elemanın betonarme katmanlar ile mantolanması, eleman dışından kelepçe uygulamaları ve çelik levhaların epoksi yardımıyla eleman dışından yapıştırılması olarak sayılabilir. Yetersiz kesme kapasiteli betonarme kirişlerin güçlendirilmesine ilişkin literatürde bulunan çalışmalarda genelde CFRP şeritler ve çelik plakalar olmak üzere iki çeşit malzemenin kullanıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda laboratuvar ortamında deneysel olarak, yapılan güçlendirme tekniğinin kesme dayanımına etkisi incelenmiş ve aynı zamanda analitik çalışmalar sonucunda bilgisayar modellemesi yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Literatürde bulunan karbon elyaf kullanılarak yapılan güçlendirme çalışmalarından bazıları aşağıda kısaca sunulmuştur(Cılız, 2007).

Li, Diagana ve Delmas (2001) tarafından yapılan çalışmada kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişler epoksi ile dıştan yapıştırılan CFRP şeritlerle güçlendirilmiştir. Deneysel çalışmada 5 adeti güçlendirme uygulanmamış kontrol elemanı olmak üzere toplam 14 adet basit mesnetli betonarme kiriş kullanılmıştır. Kirişlerin ortalama basınç dayanımı 38 MPa' dır. Deneysel çalışmada boyuna donatı ve etriye miktarının güçlendirme üzerindeki etkisinin araştırılabilmesi için deney numuneleri beş ayrı grupta incelenmiştir. Yükleme kiriş açıklığının 1/3 mesafesinden monotonik olarak etki ettirilmiştir. CFRP şeritlerle yapılan güçlendirme kirişin sadece 1/3'lük kısmında ve üç ayrı yükseklikte uygulanmıştır. Deneyde boyuna donatı miktarı, etriye aralıkları ve CFRP şeritlerin uygulama miktarı değiştirilerek beş ayrı grupta deney elemanları üretilmiştir. Deney sonucunda CFRP şeritlerin elemanın kesme dayanımına yaptığı katkının çeşitli parametrelerden etkilendiği görülmüştür. CFRP şeritlerin yapıştırılma yüzeyi arttıkça, kesme dayanımına katkısı da artmıştır. Kirişte kullanılan boyuna donatı ve etriye miktarının, CFRP şeritlerin kesme dayanımına katkısını etkilediği görülmüştür. Kirişte kullanılan etriye miktarı azaltıldığında CFRP şeritlerin kesme kapasitesine katkısının arttığı gözlenmiştir. Deney sonuçları ile analitik sonuçlar karşılaştırıldığında elde edilen değerlerin kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu görülmüştür (Diagana vd ,2001).

Khalifa ve Nanni (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmada kesme dayanımı yetersiz dikdörtgen kesitli betonarme kirişler değişik yerleşim düzenindeki CFRP şeritlerle güçlendirilmiştir. Deneysel çalışma 12 adet tam ölçekli basit mesnetli kirişten oluşmaktadır. Deney elemanları, kesme açıklığındaki etriye yerleşimine göre iki ana guruba ayrılmıştır. Bu iki ana gurupta kendi içinde kesme açıklığı / faydalı yükseklik oranına göre iki alt guruba ayrılmıştır. Her grup için bir deney elemanına güçlendirme uygulanmamış ve kontrol elemanı olarak kullanılmıştır. Diğer sekiz elemana ise değişik yerleşim düzeninde CFRP şeritlerle güçlendirme uygulanmıştır. Deney sonuçlarında dıştan yapıştırılan CFRP şeritlerle güçlendirilen kirişlerin kesme kapasitesinde %40 ile %138 oranında bir artış sağlanmıştır. Kesme kapasitesindeki artışın kesme açıklığı / faydalı yükseklik oranından etkilendiği gözlenmiştir. Analitik çalışma ile elde edilen kesme dayanımının deneysel sonuçlarla kabul edilebilir düzeyde uyum gösterdiği görülmüştür (Khalifa & Nanni, 2002).

Khalifa ve Nanni (2000) tarafından gerçekleştirilen çalışmada T kesitli betonarme kirişler epoksi ile dıştan yapıştırılan CFRP şeritler ile kesmeye karşı güçlendirilmiştir. Deneysel çalışma 6 adet tam ölçekli, basit mesnetli T kesitli betonarme kirişten oluşmaktadır. Deney numunelerinden birine güçlendirme uygulanmamış ve kontrol elemanı olarak kullanılmış diğer beş kirişe ise değişik yerleşim düzeni ile CFRP şeritler uygulanarak güçlendirme yapılmıştır. Deneyde fiber doğrultusu kiriş eksenine paralel ve dik (0° ve $0^\circ/90^\circ$) olacak şekilde iki çeşit CFRP şerit kullanılmıştır. CFRP şeritler deney numunelerine U sargı ve sadece yan yüzeylerine yapıştırılması şeklinde kullanılmıştır. Deney sonuçları dıştan yapıştırılan CFRP şeritlerin kirişin kesme kapasitesini %35 ile %145 oranında arttırdığını göstermiştir. Ayrıca uçları kiriş tablasına ankre edilen U-sargı şeritlerin kesme kapasitesine katkısının, kiriş yan yüzeylerine uygulanan şeritlere göre daha fazla olduğunu göstermiştir (Khalifa & Nanni, 2000).

Khalifa, Gustavo, Nanni ve Belarbi (1999) tarafından yapılan çalışmada kesme dayanımı düşük betonarme kirişler dıştan yapıştırılan CFRP şeritlerle güçlendirilmiştir. Deney programı 9 adet tam ölçekli, iki açıklıklı, dikdörtgen kesitli betonarme kirişten oluşmaktadır. Deney numuneleri donatı miktarı ve beton basınç dayanımlarına göre üç guruba ayrılmıştır. Her guruptan bir kiriş referans kirişi olarak seçilmiş ve güçlendirme uygulanmamıştır. Diğer altı kiriş değişik yerleşim düzenindeki CFRP şeritlerle güçlendirilmiştir. Deney sonucunda dıştan yapıştırılan

CFRP şeritlerin kiriş kesme kapasitesini pozitif ve negatif moment bölgelerinin ikisinde de önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Çalışma sonucunda kirişlerin kesme dayanımlarında %22 ile %135 oranında artış meydana gelmiştir. Ayrıca deney sonuçları CFRP şeritlerin kesme kapasitesine katkısının, kesme donatısı bulunmayan kirişlerde daha fazla olduğuna işaret etmektedir (Khalifa vd, 1999).

Triantafillou (1998) tarafından yapılan çalışmada kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişlere CFRP şeritlerle güçlendirme uygulanmıştır. Deneysel çalışmada 11 adet basit mesnetli dikdörtgen kesitli kiriş kullanılmıştır. Deneyde iki elemana güçlendirme uygulanmamış ve bu kirişler kontrol elemanı olarak kullanılmıştır. Diğer dokuz eleman değişik genişlik ve açıda yapıştırılan CFRP şeritlerle güçlendirilmiştir. Deney sonucunda CFRP şeritlerin betonarme kirişlerin kesme dayanımını arttırmada çok etkili olduğu görülmüştür. Kesme dayanımında kontrol kirişlerine göre %45 ile %95 arasında değişen oranlarda artış sağlanmıştır (Triantafillou, 1998).

Raghu, Myers ve Nanni (2000) tarafından gerçekleştirilen çalışmada epoksi ile dıştan yapıştırılan CFRP levhalarla güçlendirilen T kesitli betonarme kirişlerin göçme modları ve kesme dayanımları araştırılmıştır. Deney programı 9 adet T-kirişten oluşmaktadır. Deney elemanlarından iki tanesi kontrol elemanı olarak seçilmiştir. Diğer yedi eleman ise değişik düzendeki CFRP levhalar ve uygulanan ankrajlar ile güçlendirilmiştir. İki elemana fiber doğrultusu kiriş eksenine dik olacak şekilde CFRP levhalar U şeklinde yapıştırılmıştır. Geriye kalan deney elemanlarından iki tanesi de aynı şekilde güçlendirilmiş ilave olarak CFRP levhaların uçlarına ankraj uygulaması yapılmıştır. Diğer üç kirişe ise ilave bir katman daha CFRP levha yapıştırılmış ve bu kirişlerden ikisine ankraj uygulanmıştır. Seçilen bu güçlendirme tekniği ile CFRP katman sayısı ile uygulanan ankraj sisteminin kesme dayanımı üzerindeki etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Deney sonuçlarından dıştan yapıştırılan CFRP levhaların kirişin kesme kapasitesini %11 ile %34 arasında arttırdığı görülmüştür. Tek katman CFRP levha ile iki katman CFRP levha yapıştırılan kirişler karşılaştırıldığında yapıştırılan ikinci katmanın kesme kapasitesinde önemli sayılabilecek bir artışa neden olmadığı görülmüştür. Ayrıca CFRP levhaların uç kısmına uygulanan ankrajların kesme dayanımında önemli bir katkı sağladığı görülmüştür (Ragh vd, 2000).

Taljsten ve Elfgren (2000) tarafından yapılan çalışmada, hazırlanan beton kirişlerin yan yüzeylerine değişik düzende CFRP levha ve şeritler yapıştırılmıştır. Deneysel çalışmanın amacı kirişlerin güçlendirmeden önceki ve sonraki kesme kapasitelerinin ve CFRP levha ve şeritlerin beton yüzeyine uygulanması sırasında kullanılan 3 değişik tekniğin araştırılmasıdır. Deney programı 8 adet dikdörtgen kesitli kirişten oluşmaktadır. Çalışmada 3 kiriş kontrol kirişi olarak kullanılmıştır. Kiriş orta noktasına ve mesnetlerine yerleştirilen 3 adet LVDT ile bu noktalardan deplasman ölçüleri alınmıştır. Güçlendirme uygulanan kirişlerde; fiber lifteki çekme kırılması, betonda meydana gelen basınç kırılması ve CFRP ile beton arasında oluşan bağ kırılması olmak üzere 3 tip kırılma gözlenmiştir. Deney sonucunda dıştan yapıştırılan CFRP levha ve şeritler kirişlerin kesme kapasitesini önemli oranda arttırmıştır. Kontrol kirişleri ile kıyaslandığında dayanımda maksimum %300'lük bir artış meydana gelmiştir (Taljsten & Elfgren, 2000).

Taljsten (2003) tarafından gerçekleştirilen çalışmada CFRP şeritler ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin kesme dayanımlarının belirlenmesine yönelik bir analitik çalışma yapılmış ve bu çalışmadan elde edilen sonuçların karşılaştırılabilmesi için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Analitik çalışmada CFRP şeritlerin kesme dayanımını hesaplamak için bir formül elde edildikten sonra kirişin nominal kesme dayanımı hesaplanmıştır. Deneysel çalışmada 7 adet dikdörtgen kesitli betonarme kiriş kullanılmıştır. Bu kirişlerden 1 tanesi kontrol kirişi olarak kullanılmış diğer kirişler ise CFRP şeritler ile güçlendirilmiştir. Bütün kirişlerde kesme açıklığı boyunca etriye donatısı kullanılmamıştır. Analitik metot ile deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Deney sonuçlarına göre betonarme kirişlerin kesme dayanımını arttırmak için CFRP şeritlerin mümkün olabildiği kadar kesme çatlağına dik olacak şekilde yerleştirilmesi gerektiği belirtilmiştir (Taljsten, 2003).

Norris, Saadatmanesh ve Ehsani (1997) tarafından yapılan deneysel çalışmada 19 adet dikdörtgen kesitli betonarme kiriş üretilmiştir. Kirişlerden altısında diğer üretilen elemanlara göre daha az kesme donatısı kullanılmıştır. Bu kirişlerden 1 tanesine güçlendirme uygulanmamış ve kontrol elemanı olarak kullanılmıştır. Diğer 5 kiriş ise $\pm 45^\circ$ ve $0^\circ/90^\circ$ düzendeki CFRP şeritlerle güçlendirilmiştir. Geri kalan 13 elemanda ise daha fazla kesme donatısı kullanılmıştır. Bu elemanlardan 12 adeti 0° , 90° ve $\pm 45^\circ$ lik CFRP şeritlerle güçlendirilmiştir. Yüklemeler kiriş açıklığının $L/4$ ve

3L/4 mesafesinden yapılmıştır. Deney sonucunda dıştan yapıştırılan CFRP şeritler kirişlerin dayanım ve rijitliğini arttırmıştır. Dayanımdaki artışın ve göçme modunun CFRP şeritlerin yerleşim düzeninden doğrudan etkilendiği gözlenmiştir (Norris vd , 1997).

Sheikh, De Rose ve Mardukhi (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmada hasar görmüş yapı elemanlarının FRP elemanlar ile güçlendirme tekniklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla çok katlı bir yapının hasar görmüş döşeme ve kiriş elemanları laboratuvar ortamında tam ölçekli olarak modellenmiş ve üretilmiştir. Güçlendirme işleminin gerçek durumla aynı şartlarda gerçekleştirilmesi amacı ile deney elemanları yüklemeye tabi tutularak taşıma gücüne ulaşmaları ve hasar görmeleri sağlanmıştır. Deney programında 3 adet betonarme döşeme ve 2 adet betonarme kiriş kullanılmıştır. Birer deney elemanı kontrol elemanı olarak kullanılmıştır. Diğer elemanlar CFRP ile güçlendirilmiştir. Güçlendirme uygulanmayan ilk elemandan alınan sonuçlar değerlendirilerek diğer elemanlardaki CFRP yerleşimi belirlenmiştir. Deney sonuçları CFRP elemanlar ile yapılan güçlendirmenin eğilmede de kesmede olduğu kadar etkili olduğunu göstermiştir. Kesme göçmesinin engellenmesi ve davranışa eğilmenin hakim olması isteniyor ise CFRP elemanların belirli sınırlarda kullanılması gerektiği belirtilmiştir (Sheikh vd, 2002).

Gendron, Picard ve Guérin (1999) tarafından yapılan çalışmada fiber kompozitler ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin kesme dayanımlarının belirlenmesine yönelik analitik bir metot sunulmuş ve elde edilen sonuçların karşılaştırılabilmesi için bu metot test edilen bir T-kiriş üzerinde denenmiştir. Çalışmada ilk önce kirişin nominal kesme dayanımı hesaplanmış daha sonra ise kesme dayanımını arttırmak için kullanılan fiber kompozit şeritlerin tasarımı yapılmıştır. Şeritler kirişin yan yüzlerine kiriş yatay eksenine ile açı yapacak şekilde yapıştırıldıktan sonra kiriş test edilmiştir. Çalışma sonucunda, geliştirilen analitik metot test edilen T-kiriş üzerinde denenmiştir (Gendron vd, 1999).

Deniaud ve Cheng (2001) betonarme kirişlerde kesme kuvvetinin taşınmasında beton, kesme donatısı ve dıştan yapıştırılan FRP kompozitler arasındaki etkileşimi deneysel olarak incelemeyi amaçlamışlardır. Bu amaca yönelik olarak üretilen 8 adet T-kiriş test edilmiştir. T-kirişler; cam lifli polimerler (GFRP) ve karbon lifli

polimerler (CFRP) ile güçlendirilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda FRP kompozitler ile güçlendirilmiş kirişlerin kesme dayanımlarında güçlendirme uygulanmamış kirişlere göre %77,4 ile %117,3 arasında değişen oranlarda bir artışın olduğu belirlenmiştir. Kesme kapasitesindeki artış oranının sadece kullanılan FRP kompozit tipine bağlı olmadığı, kesme donatısı miktarı ile de yakından ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar deney elemanları için analitik bir model geliştirmişlerdir. Deney sonuçları ile analitik çalışmadan elde edilen değerlerin uyumlu olduğu gözlenmiştir (Deniaud & Cheng, 2001).

Mitsui ve diğerleri (1998), dıştan epoksi ile yapıştırılan CFRP elemanlarla güçlendirilen betonarme kirişlerin, simetrik olmayan yüklemeye altındaki davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışma kapsamında 6 adet betonarme kiriş test edilmiştir. Deney sonuçlarına göre kesmeye karşı CFRP elemanlar ile güçlendirilen kirişlerin kesme dayanımları, kontrol elemanına göre 1,3 ile 1,8 kat arasında değişen oranlarda artış göstermiştir. CFRP şeritlerin en uygun yerleşim düzenine göre, kesme dayanımı üzerindeki etkisinin geliştirilebilmesi amacıyla klasik kafes kiriş modeli kullanılarak basit bir analiz gerçekleştirilmiştir (Mitsui vd, 1998).

Diagana ve diğerleri (2003), kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişlerin, dıştan yapıştırılan CFRP şeritler ile güçlendirilmesini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışma kapsamında on adet basit mesnetli, dikdörtgen kesitli betonarme kiriş üretilmiş ve üç noktadan monotonik olarak uygulanan yük altında test edilmiştir. Deney elemanlarının eğilme kapasiteleri kesme kapasitelerine göre yüksek tasarlanmıştır. Çalışmada iki eleman kontrol elemanı olarak kullanılmış diğer sekiz deney elemanı ise CFRP şeritlerin, 'U' şeklinde ve kirişi tam olarak saracak biçimde yapıştırılması ile güçlendirilmiştir. Karbon fiber kumaşlar, güçlendirme uygulanan kirişler üzerine 45° ve 90° lik şeritler halinde değişik aralıklarla yapıştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre dıştan yapıştırılan CFRP şeritler ile yapılan güçlendirme işleminin betonarme kirişlerin kesme kapasitelerini önemli oranda arttırdığı görülmüştür. Kesme kapasitesindeki artışın CFRP şeritlerin yerleşim düzenine göre değiştiği belirtilmiştir. Betonarme kirişi tamamen saran dikey CFRP şeritlerin, 'U' şeklinde sarılan şeritlere göre, kesme dayanımına iki kat daha fazla katkı yaptığı görülmüştür. Ayrıca 45° lik CFRP şeritlerin, kirişe tam olarak ve 'U'

şeklinde sarılması ile güçlendirilen kirişlerin kesme dayanımlarının yaklaşık olarak aynı seviyede olduğu görülmüştür (Diagana vd, 2003).

Kachlakev ve diğerleri (2000), artan trafik yüklerine bağlı olarak köprü kirişlerinin güçlendirilmesine yönelik bir çalışma yapmışlar ve gerçek bir köprü göz önüne alınarak 4 adet model kiriş üretmişlerdir. Kirişlerden 1 adeti kontrol elemanı olarak kullanılmış diğer 3 deney elemanı ise karbon lifli polimerler (CFRP) ve cam lifli polimerler ile (GFRP) güçlendirilmiştir. Tek doğrultulu CFRP şeritler eğilme kapasitesini arttırmaya yönelik, tek doğrultulu GFRP şeritler ise kesme dayanımını arttırmaya yönelik olarak kirişlerin belirlenen bölgelerine epoksi yardımıyla uygulanmıştır. Kompozitler kullanılarak güçlendirilen kirişlerin davranışının anlaşılabilmesi için gerekli ölçüm düzeneği kurulmuş, gerilme değerlerinin belirlenebilmesi için 18 adet gerilme ölçer kullanılmıştır. FRP elemanlar ile güçlendirilen model kirişler ile kontrol kirişinin testinden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, güçlendirme uygulanan kirişlerin yük taşıma kapasitelerinde %150 oranında bir artışın olduğu görülmüştür. Artış miktarının kompozit elemanların yerleşim düzeni ve miktarıyla değiştiği belirtilmiştir (Kachlakev & McCurry, 2000).

Anıl ve Keleş (2005), tarafından yapılan çalışmada CFRP şeritler ile güçlendirilmiş, kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişlerin tersinir tekrarlanır yükler altında davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında 6 adet T kesitli betonarme kiriş üretilmiş ve tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deneysel çalışmada CFRP şeritlerin genişliği, kesme açıklığı boyunca yerleşim düzeni ve CFRP şeritlerin uç bölgelerine uygulanan ankrajlar ana değişkenler olarak seçilmiştir. Deney elemanlarından 1 tanesi kesme dayanımı eğilme dayanımından daha yüksek dizayn edilmiş ve kontrol elemanı olarak kullanılmıştır. Kesme dayanımı yetersiz olarak dizayn edilen diğer 5 deney elemanından birine güçlendirme uygulanmamış geri kalan 4 deney elemanına ise çeşitli düzende dıştan yapıştırılan CFRP şeritlerle güçlendirme uygulanmıştır. Tüm deney elemanlarının ortalama basınç dayanımı 30 MPa'ın üzerindedir. CFRP şeritler kesme dayanımını arttırmaya yönelik, kirişlerin kesme açıklığı boyunca epoksi ile çeşitli konfigürasyonlarda uygulanmıştır. Deney sonuçları CFRP şeritler ile yapılan güçlendirme tekniği sonucunda tüm deney elemanlarının dayanım ve rijitliğinde önemli bir artışın olduğunu göstermiştir. Deney elemanlarının davranışını ve

sünekliğini etkileyen en önemli değişkenin CFRP şeritlerin genişliğinin ve yerleşim düzeninin olduğu belirtilmiştir. Deney sonuçları ile ACI-440 komite raporundaki analitik yaklaşım karşılaştırıldığında analitik çalışmadan elde edilen moment kapasitelerinin deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlara göre ortalama %17, kesme dayanımının ise %20 mertebelerinde az olduğu görülmüştür. Deneysel ve analitik değerler arasındaki farkın deneysel çalışmada uygulanan ankraj detayından kaynaklandığını düşünölmektedir ve analitik yaklaşımın, kesme kapasitesine ankraj detayının da etkisini içerecek şekilde geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır (Anıl, 2006;Keleş,2005).



2. MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal

Bu tez çalışmasında hazırlanan çok katlı betonarme binaya CFRP malzemesi ile güçlendirme çalışmasıdır. Tünel kalıp sistemi uygulanan betonarme binanın her katına SAP2000 programı yardımıyla CFRP malzemesi uygulanmıştır.

SAP2000 programı içinde oluşturulan ara birimlere malzeme özellikleri girilerek gerekli işlemler yapılmıştır. SAP2000 'de eleman kompozit döşeme olarak tanımlanmıştır.

2.2. Metot

Bu çalışmada teorik bilgiler ışığında oluşturulan hesaplar doğrultusunda kesme kuvveti, periyodu hesaplanmıştır.

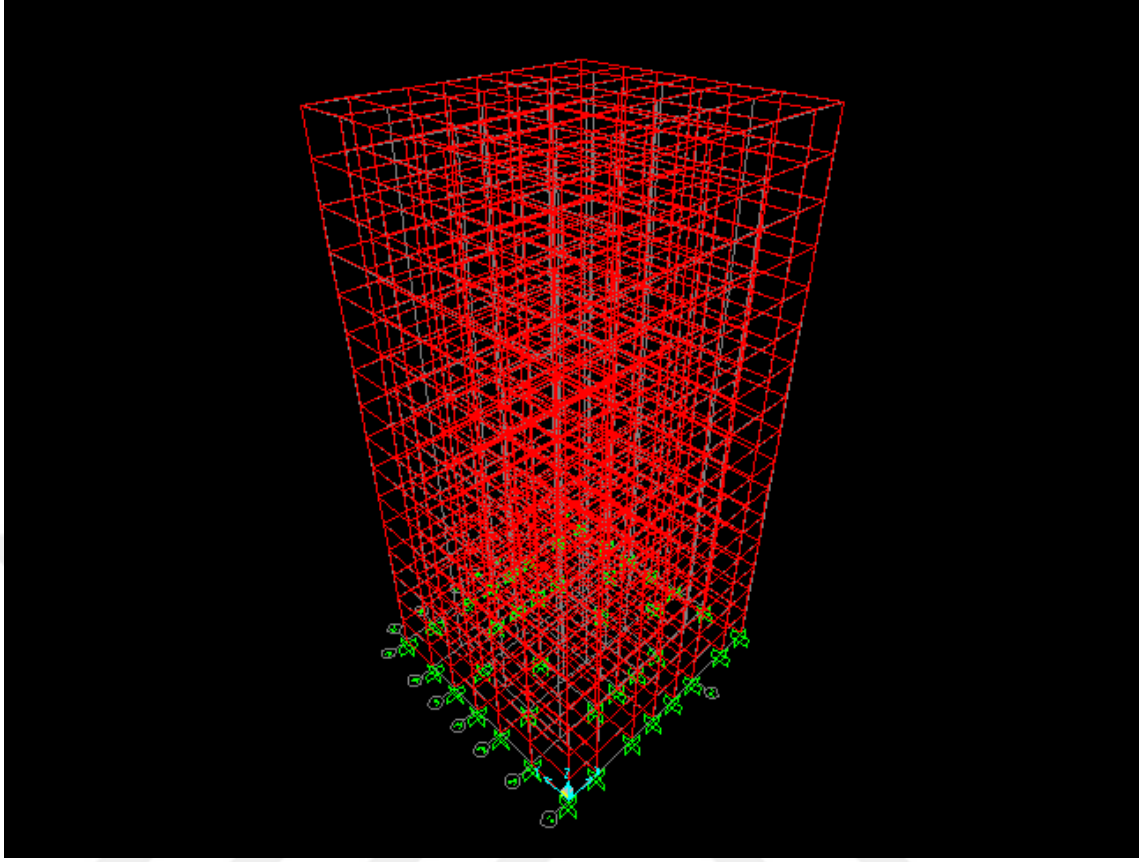
2.3 Tünel Kalıp Sistemi ile İnşa edilen Perdelerden Oluşan Binanın Oluşum ve Analiz

Bu bölümde, tünel kalıp sistemi kullanılarak 16 kattan oluşan binanın tasarım ve analizi SAP2000 programı ile yapılmıştır.

Betonarme yapılar için seçilen taşıyıcı sistemlerde genellikle kiriş bulunmaktadır. Taşıyıcı sistem içinde kirişlerin iki temel görevi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi döşemeden aktarılan sabit ve hareketli yükler ile varsa üzerindeki duvar yüklerini mesnetlendikleri kolon yada perdelerle aktarmaktır. Bu yükler düşey olarak etkimektedir. İkincisi ise taşıyıcı sisteme özellikle deprem ve rüzgâr nedeniyle etkiyen yatay yükleri döşemelerle birlikte düşey taşıyıcı elemanlara aktarmaktır (Doğangün, 2002).

2.3.1 Binanın Özellikleri ve Uygulama

Bina 16 Kattan (Zemin+15 Kattan) tünel kalıp sistemi ile perdelerle oluşturulmuştur. Kullanım amacı konut olarak belirlenmiştir. Binanın kat yükseklikleri 3'er metre olup toplam yüksekliği 48 metredir. Binanın oturumu XZ doğrultusunda 22,15 metre, YZ doğrultusunda 23,6 metredir.



Şekil 2.1 16 katlı Betonarme Yapı SAP2000 Uygulaması

Çok katlı perdeli sistem yapımıza CFRP uygulanmamış periyot, frekansları tabloda verilmiştir. Bu değerlerde periyot ve frekanstaki farklılığı göstermektedir.

Tablo2.1.CFRP'siz Değerler

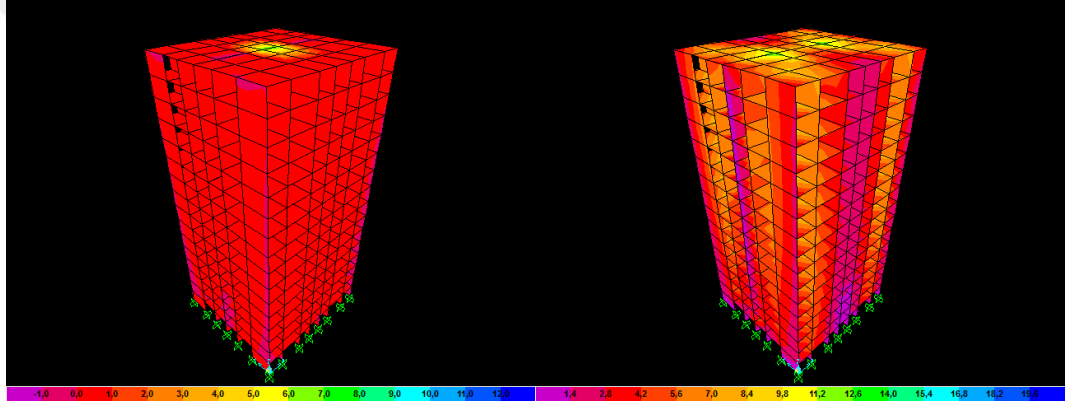
MODLARIN PERİYOT VE FREKANSLARI			
		PERİYOT (SANİYE)	FREKANS(HERTZ)
Mod	1	1,654946	0,60425
Mod	2	1,132158	0,88327
Mod	3	1,041482	0,96017

Çok katlı perdeli sistem yapımıza CFRP uygulaması yapıldıktan sonra periyot ve frekansları tablo da gözükmetedir. CFRP bezleri kullanıldığında periyot ve frekanslarında gözle görülür artış olduğu gözükmetedir.

Tablo2.2. Tablo CFRP'li Değerler

MODLARIN PERİYOT VE FREKANSLARI			
		PERİYOT (SANİYE)	FREKANS(HERTZ)
Mod	1	1,196734	0,83561
Mod	2	0,927908	1,0777
Mod	3	0,882561	1,1331

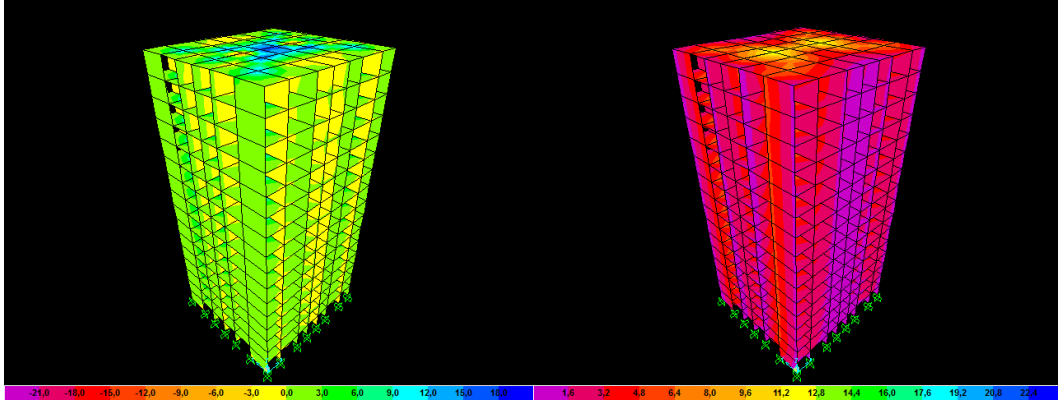
SAP2000 programında 16 katlı perdeli sitem binaya CFRP malzemesinin uygulandığında maksimum moment ve kesme kuvveti görsel olarak Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'de görülmektedir.



Şekil 2.2.CFRP'liMMax

Şekil 2.3.CFRP'liVMax

SAP2000 programında 16 katlı perdeli sitem binaya CFRP malzemesinin uygulanması yapılmadan maksimum moment ve kesme kuvveti görsel olarak Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'de görülmektedir. Farklılığın 3 boyutlu ve şekilsel olarak nasıl ortaya çıktığı bu resimlerden de anlaşılmaktadır.



Şekil 2.4.CFRP'sizMMax

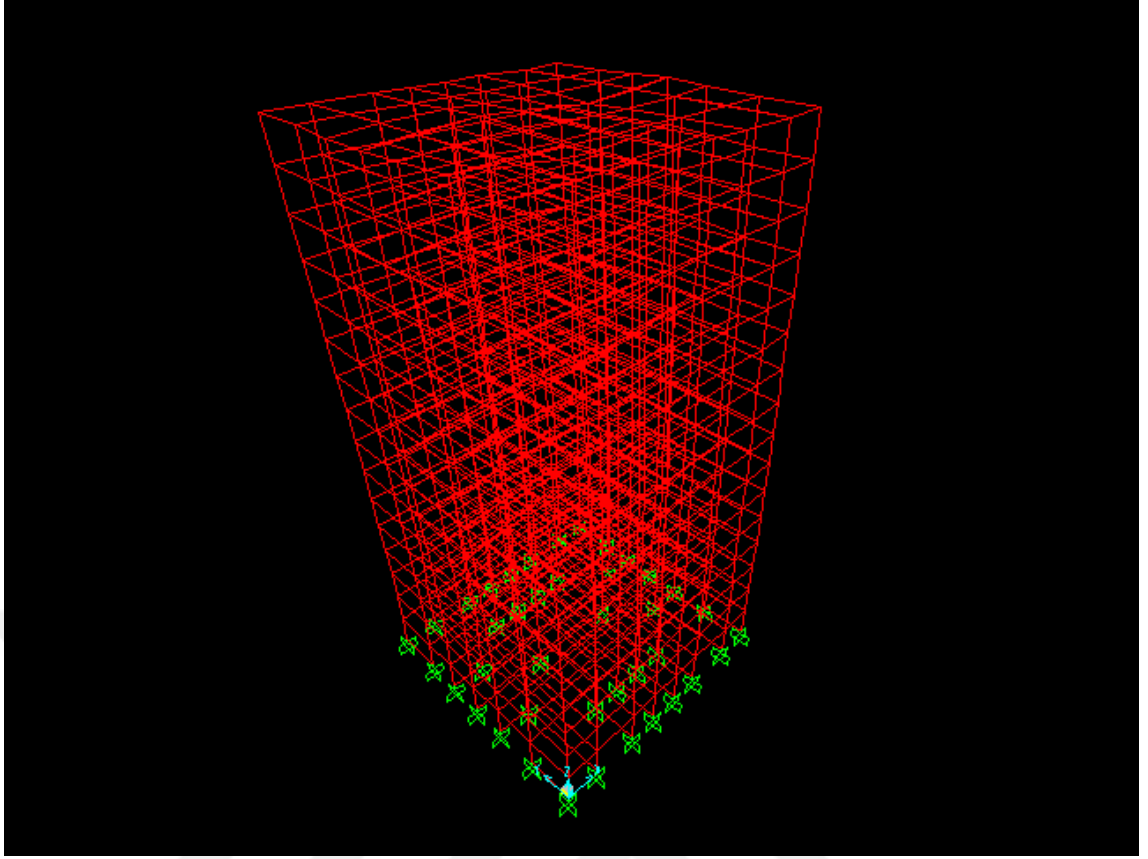
Şekil 2.5.CFRP'sizVMax

Uygulama yapılan binada SAP2000 programı üzerinden CFRP malzemesinin periyot, frekans, kesme kuvveti ve momentlerdeki değişime etkileri aşağıdaki tabloda görülmektedir. Tablo 2.3'de görülen değişimler döşemelerine CFRP malzemesi ile uygulama yapıldıktan sonra değişimin farklılığını gözler önüne sermiştir. Bu farklılık kesme kuvvetlerindeki değişimle momentlerde olan değişimide göstermektedir.

Tablo 2.3. CFRP Uygulaması Kıyası

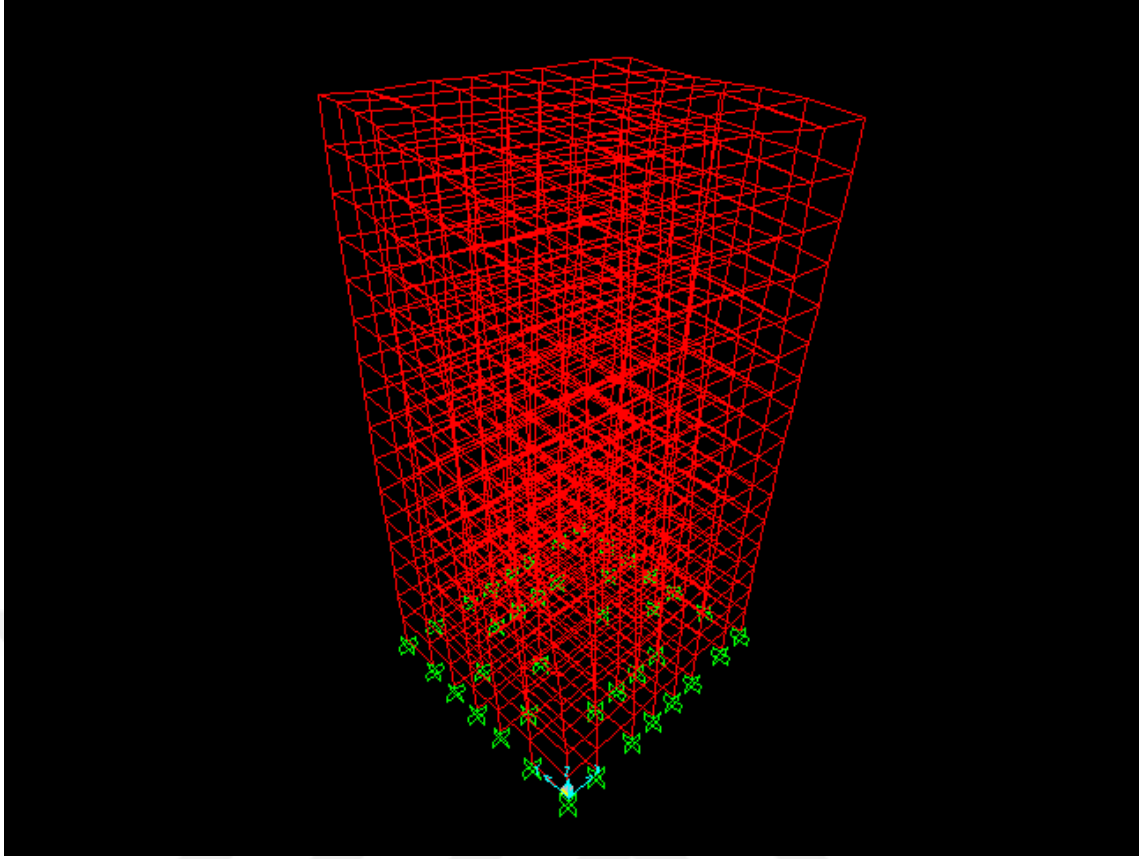
	CFRP'SİZ	CFRP'Lİ
PERİYOT(T) (Saniye)	1,6549	1,1967
FREKANS(F) (Hertz)	0,6042	0,8356
Vmax (Kesme Kuvveti) (N/mm ²)	23,217	20,936
Vmin (Kesme Kuvveti) (N/mm ²)	2,73	9,05
Mmax (Moment) (N.m)	18,12	12,694
Mmin (Moment) (N.m)	22,743	1,64

Uygulama yapılan 16 katlı binamızda Mod'larında oluşan değişimler Şekil 2.6, Şekil 2.7, Şekil 2.8, Şekil 2.9, Şekil 2.10'da SAP2000 programına yansımaları şekil olarak görülmektedir. Herbir Mod'da frekans ve periyotta farklılıklar vardır. Farklılıklar girmiş olunan değerlere verilen tepkileri ortaya koymakta ve bunların yansımalarını ortaya sunmaktadır.



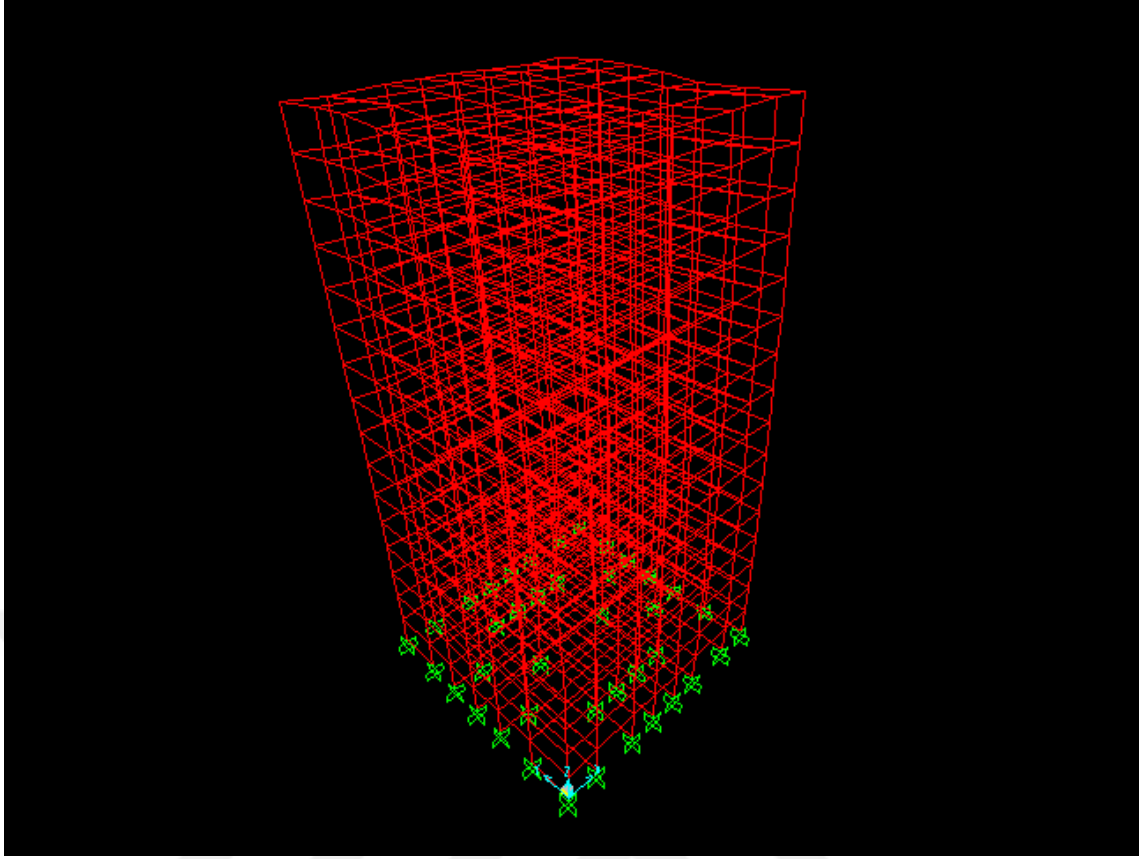
Şekil 2.6 SAP2000 Mod1 Şekli

Mod1; Periyot =1.65495 s , Frekans =0.60425 değerleri bu moddaki SAP2000 programının bize vermiş olduğu değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 2.6 'daki grafiği bize görsel olarak sunmaktadır.



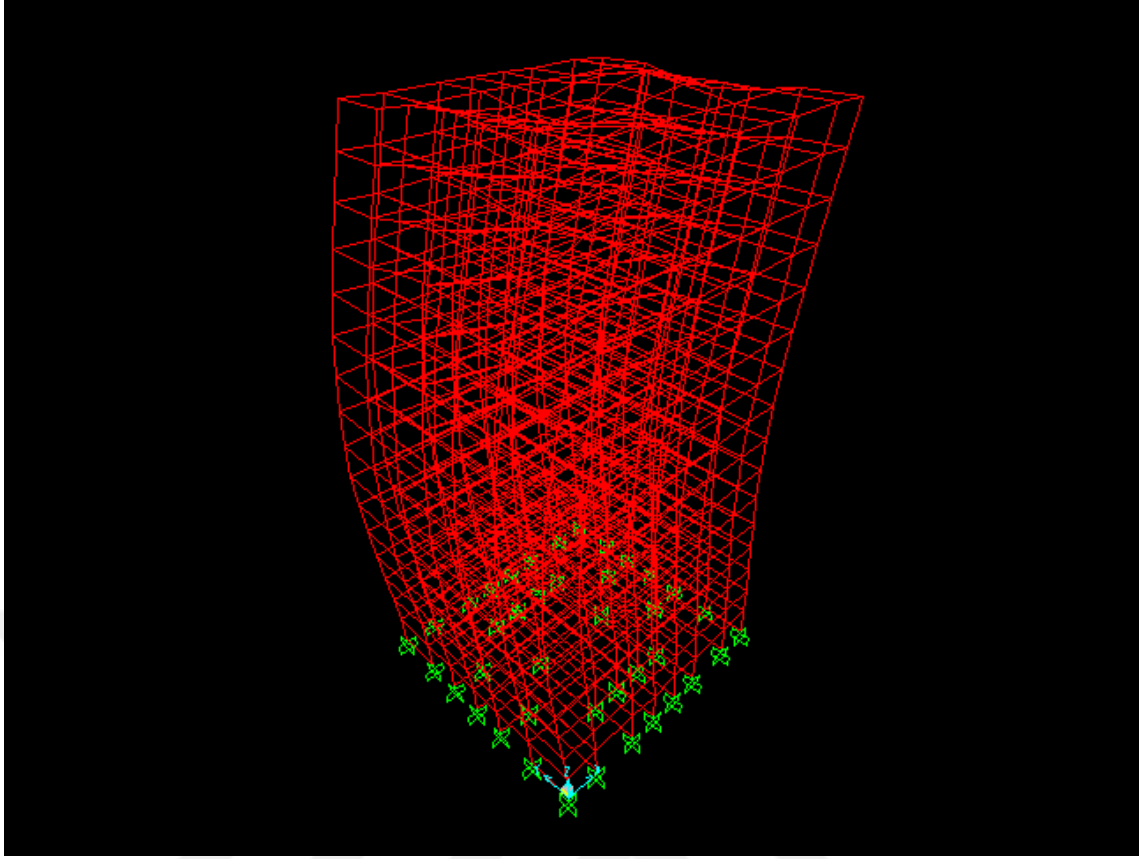
Şekil 2.7 SAP2000 Mod2 Şekli

Mod2; Periyot =1.13216 s , Frekans =0.88327 değerleri bu moddaki SAP2000 programının bize vermiş olduğu değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 2.7 ‘daki grafiği bize görsel olarak sunmaktadır.



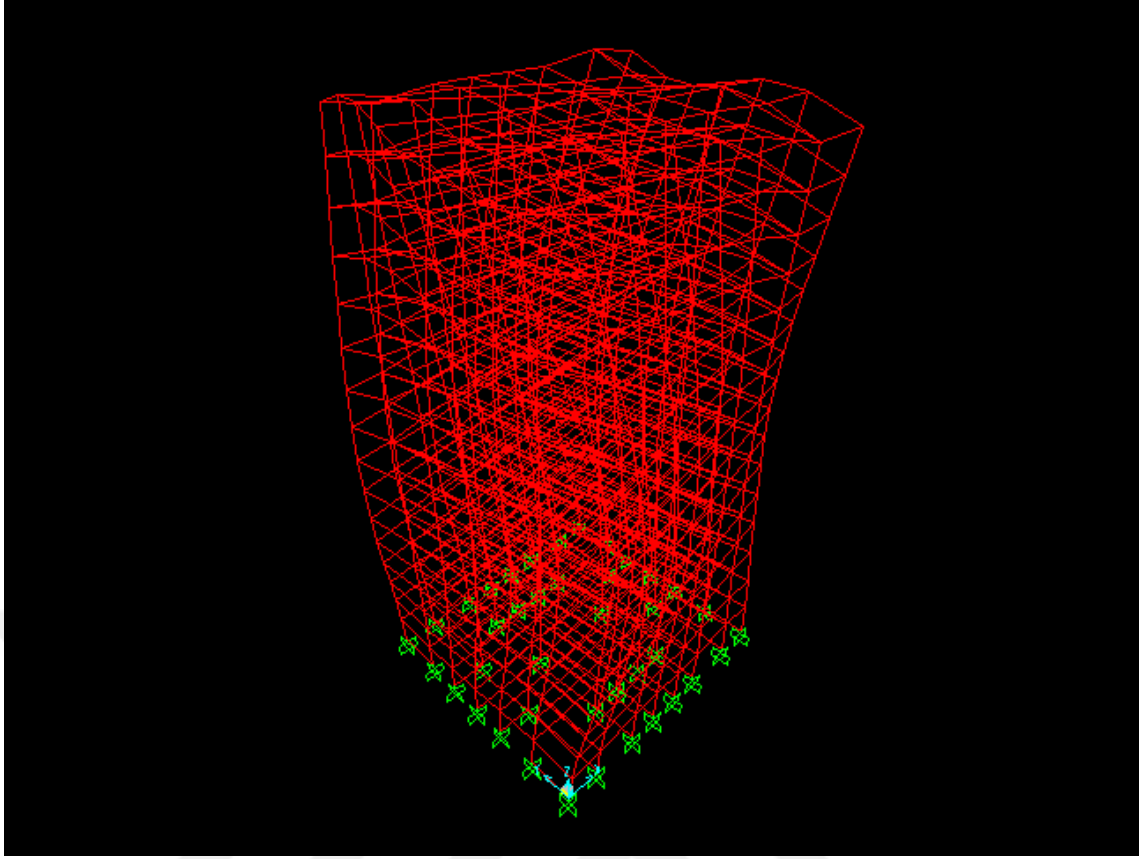
Şekil 2.8 SAP2000 Mod3 Şekli

Mod3; Periyot =1.04148 s , Frekans =0.96017 değerleri bu moddaki SAP2000 programının bize vermiş olduğu değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 2.8 ‘daki grafiği bize görsel olarak sunmaktadır.



Şekil 2.9 SAP2000 Mod4 Şekli

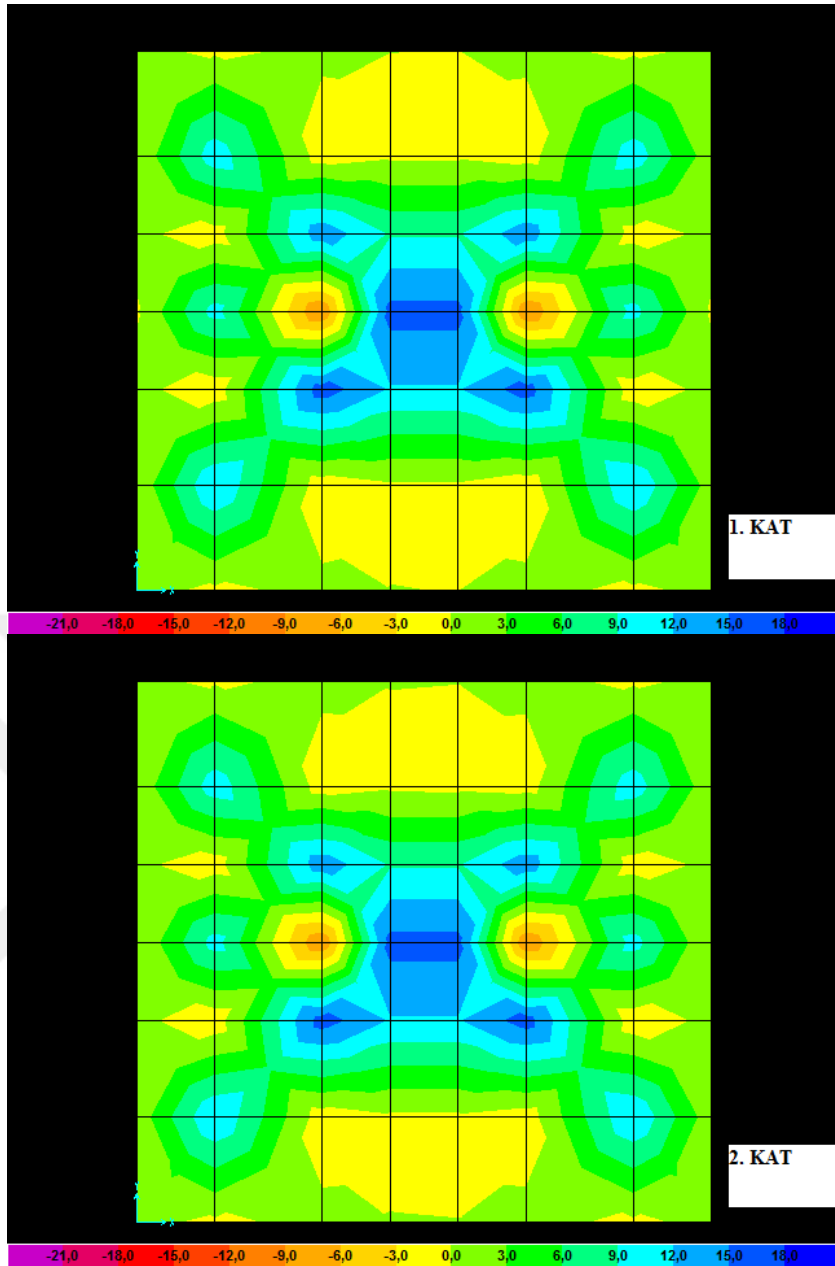
Mod4; Periyot =0.34780 s , Frekans =2.87524 değerleri bu moddaki SAP2000 programının bize vermiş olduğu değerlerdir. Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 2.9 'daki grafiği bize görsel olarak sunmaktadır.

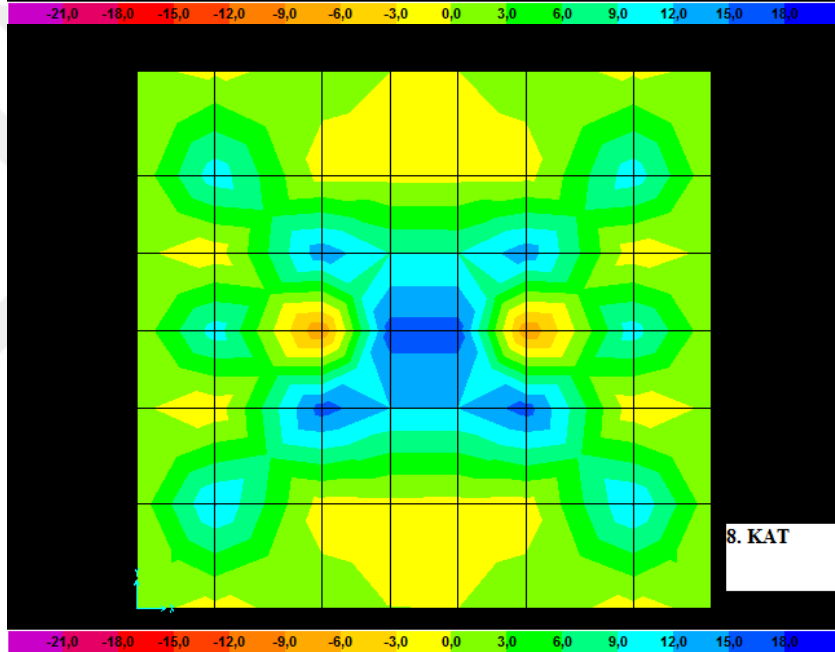
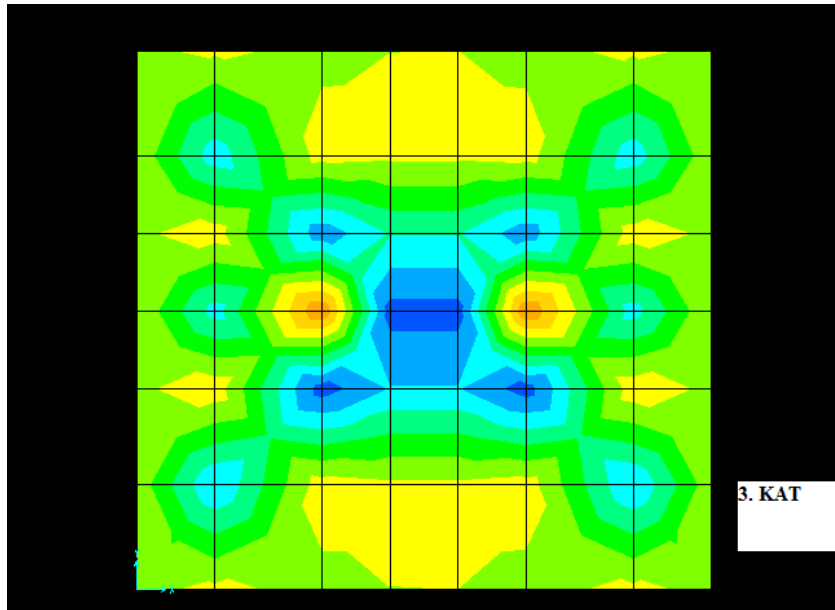


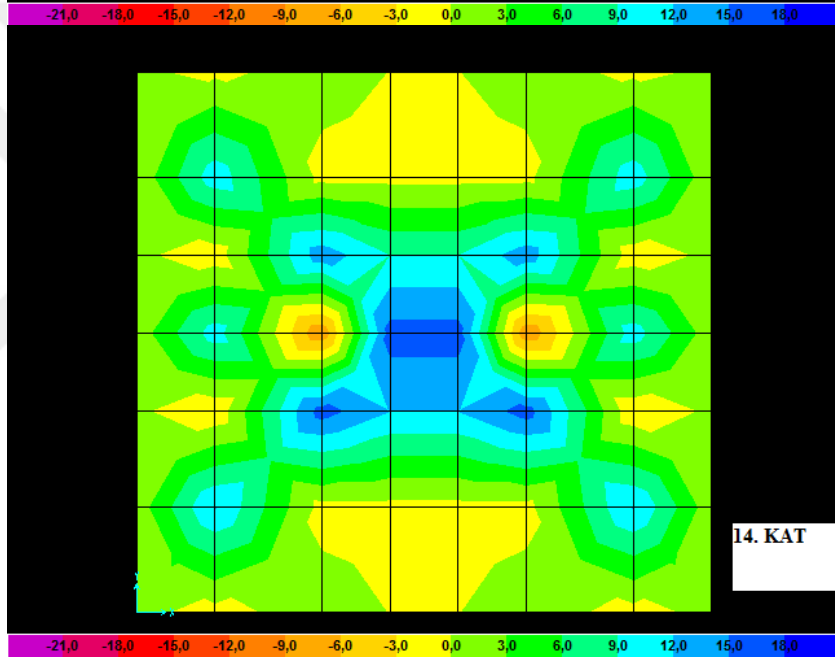
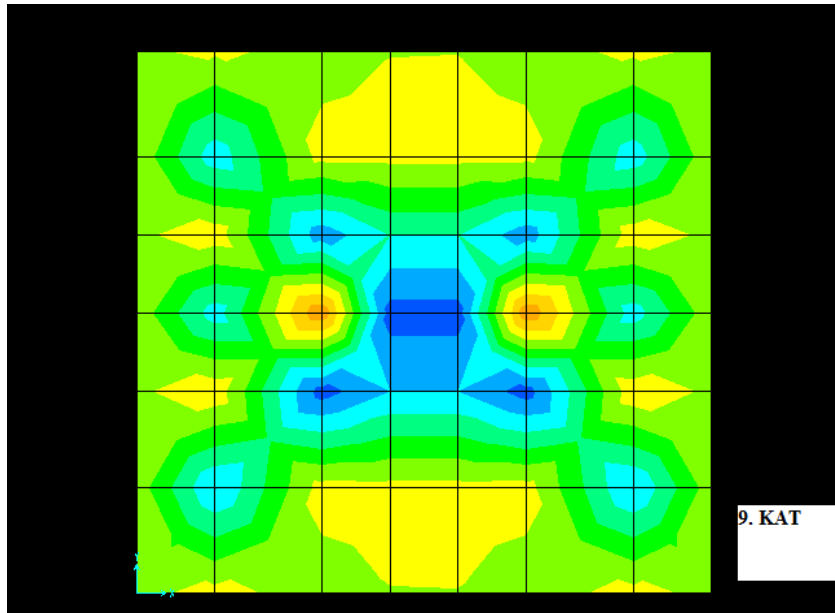
Şekil 2.10 SAP2000 Mod5 Şekli

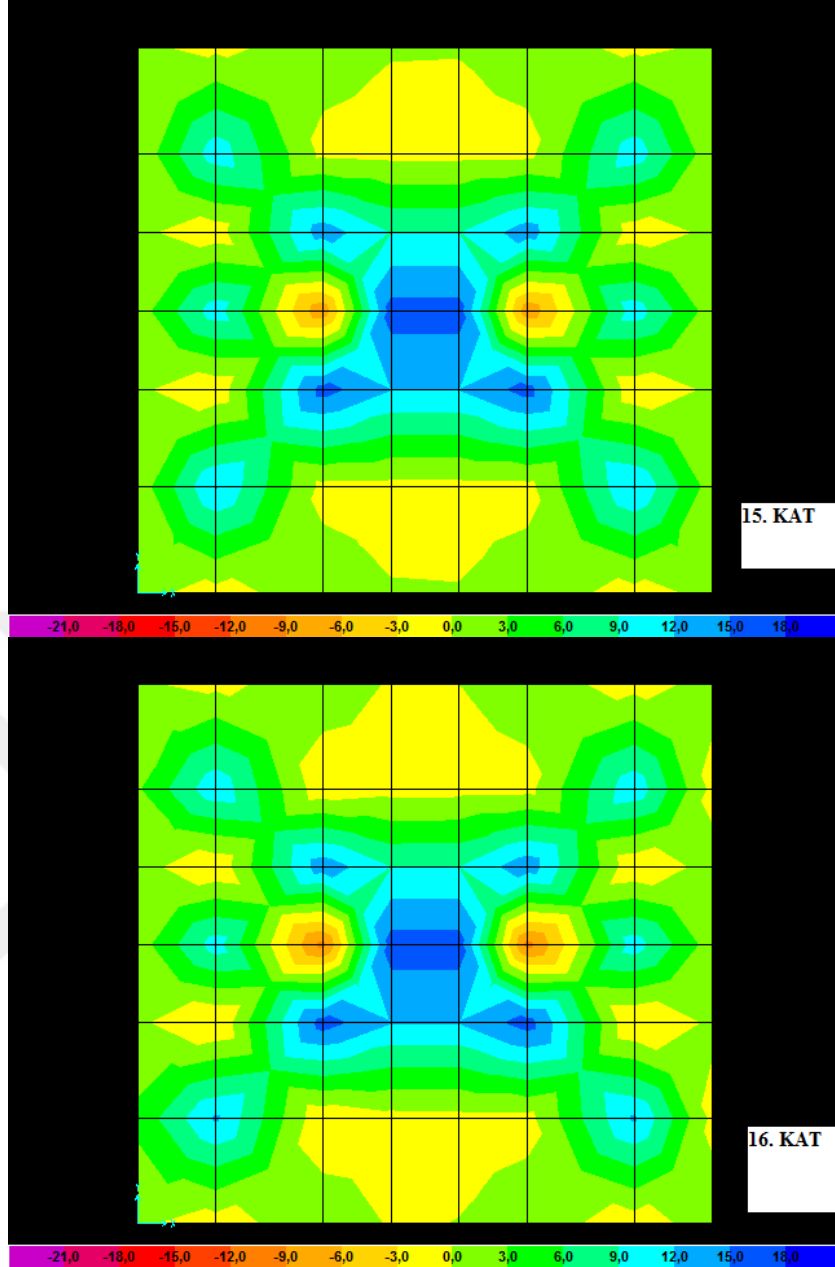
Mod5; Periyot =0.23304 s , Frekans =4.29117 değerleri bu moddaki SAP2000 programının bize vermiş olduğu değerlerdir.Bu değerlerle birlikte SAP2000 programı Şekil 2.10 'daki grafiği bize görsel olarak sunmaktadır.

Uygulama yapılan 16 katlı binamızda belli katlar ayrıntılı incelenmiştir. 1. Kat, 2. Kat, 3. Kat, 8. Kat, 9. Kat, 14. Kat, 15. Kat ve 16. Katların SAP2000 programında maksimum momentlerindeki değişimleri aşağıdaki resimlerde görmektedir.



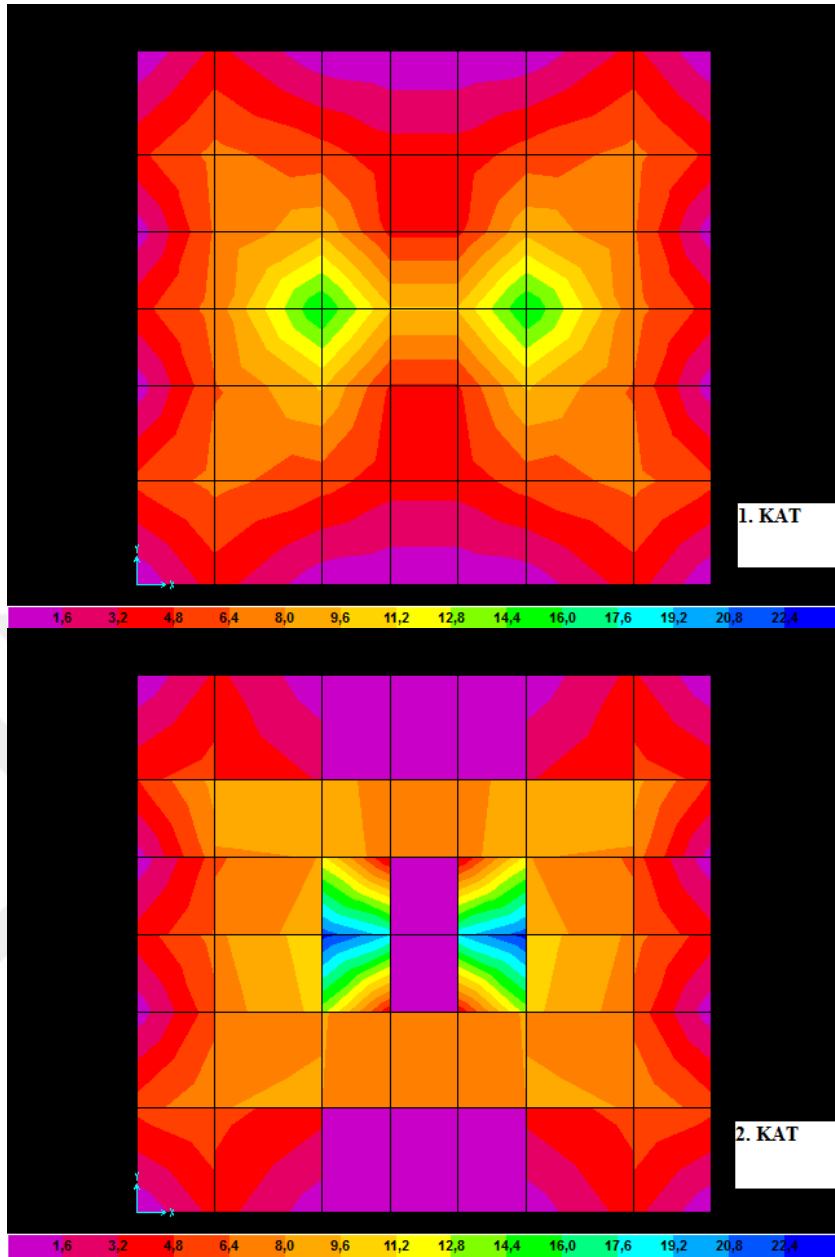


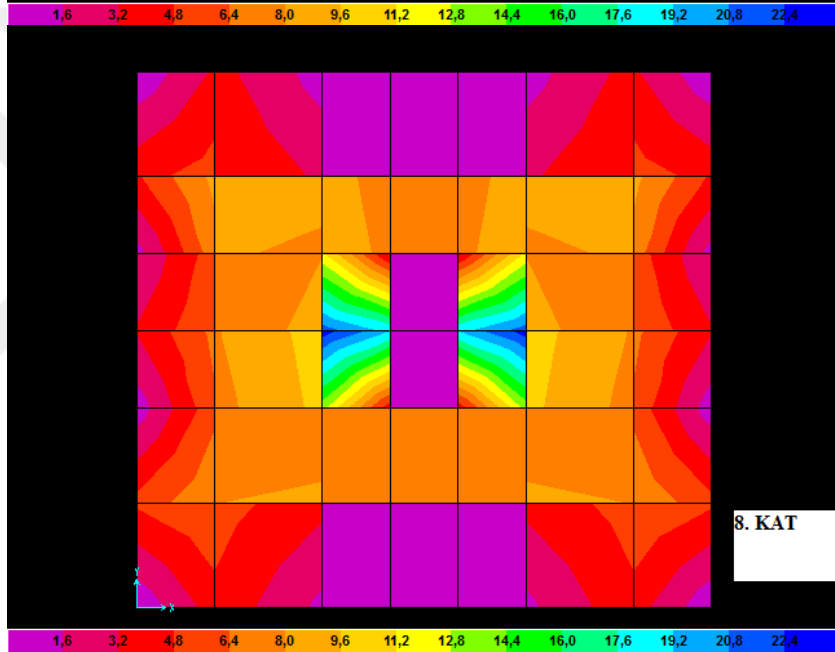
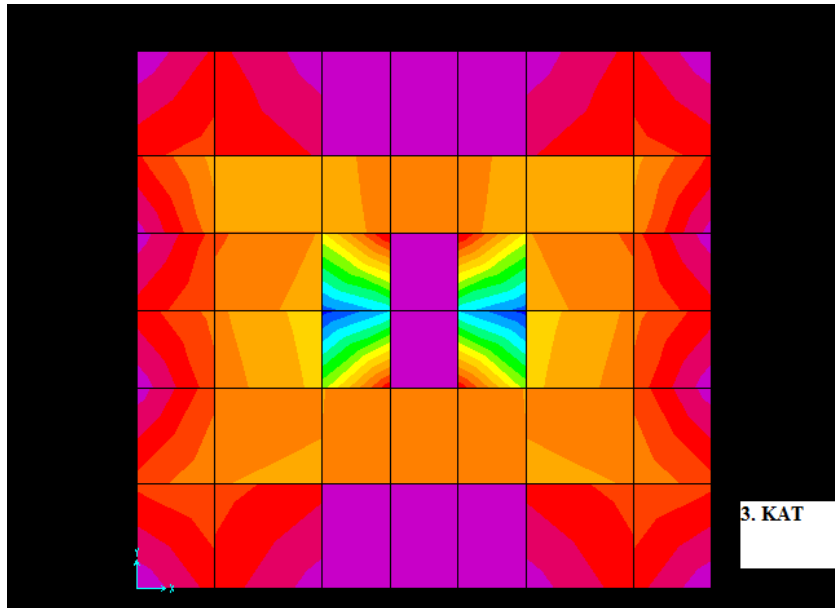


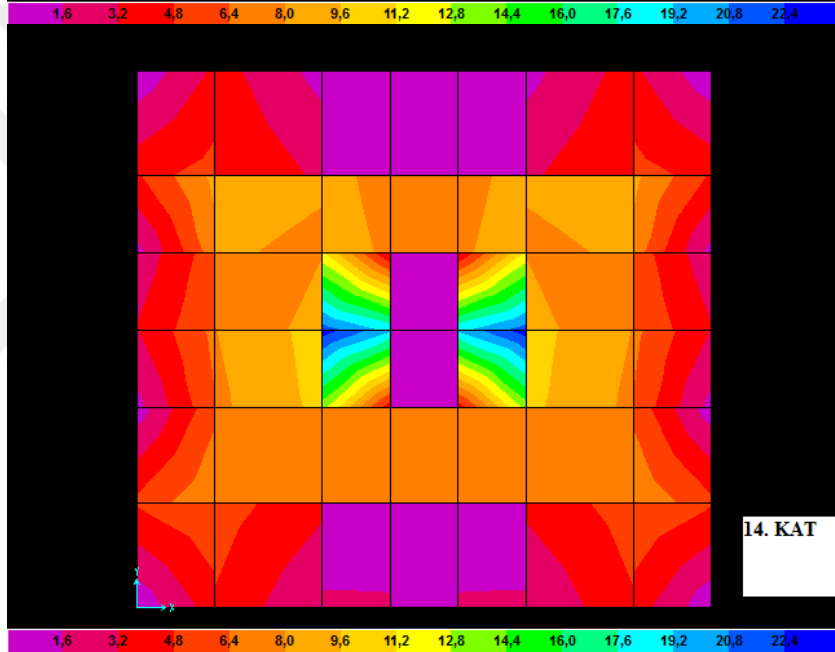
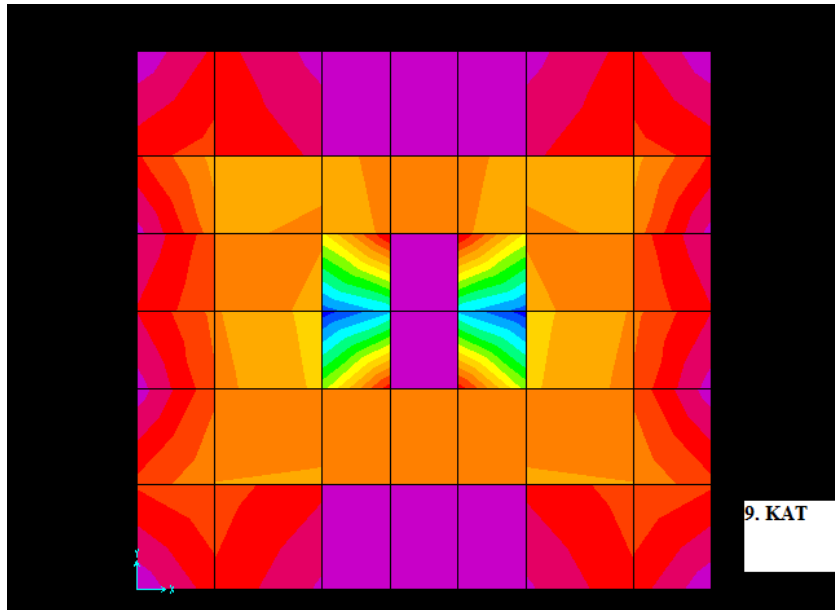


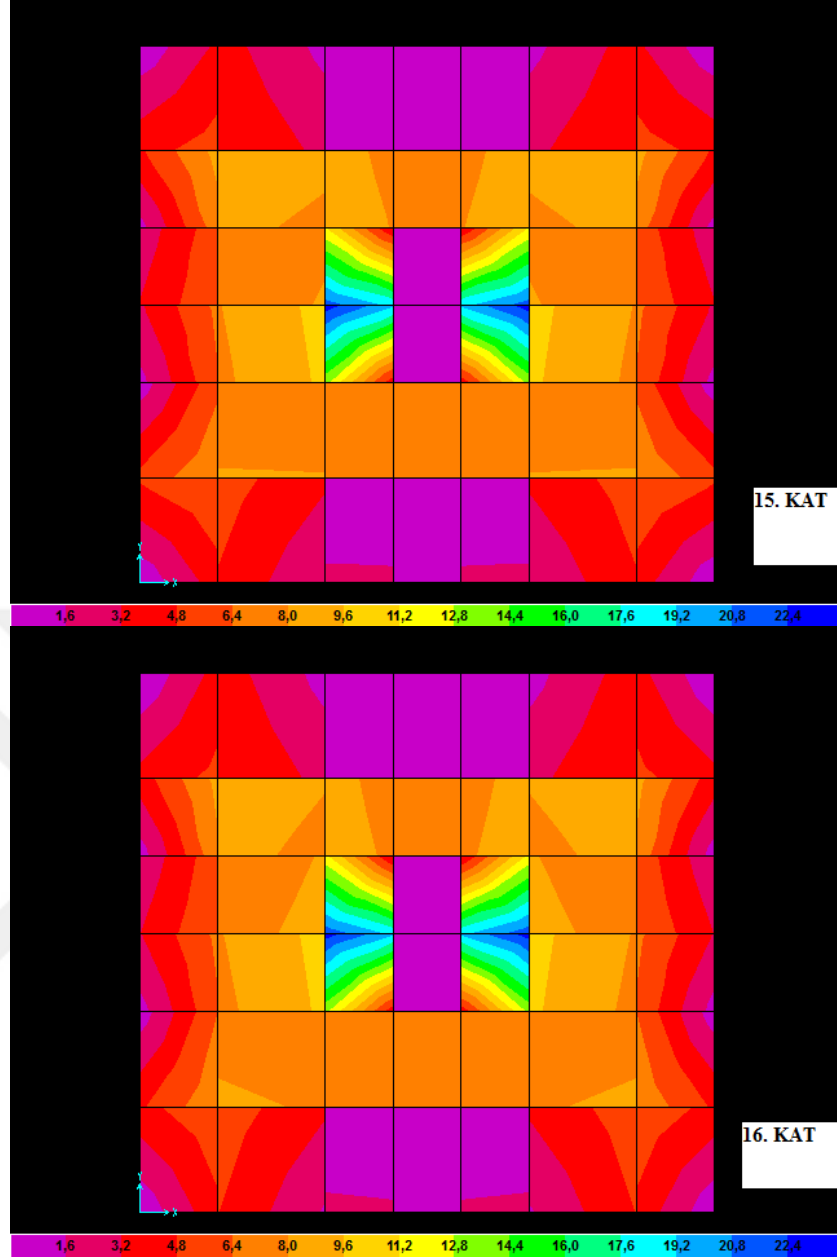
Şekil 2.11. CFRP'siz Seçili Katlarda Mmax Grafiği

Uygulama yapılan binamızda seçili katlar SAP2000 programında incelendiğinde CFRP malzemesinin uygulanmadan maksimum kesme kuvvetindeki görselleri aşağıdaki resimlerde gözükmektedir.



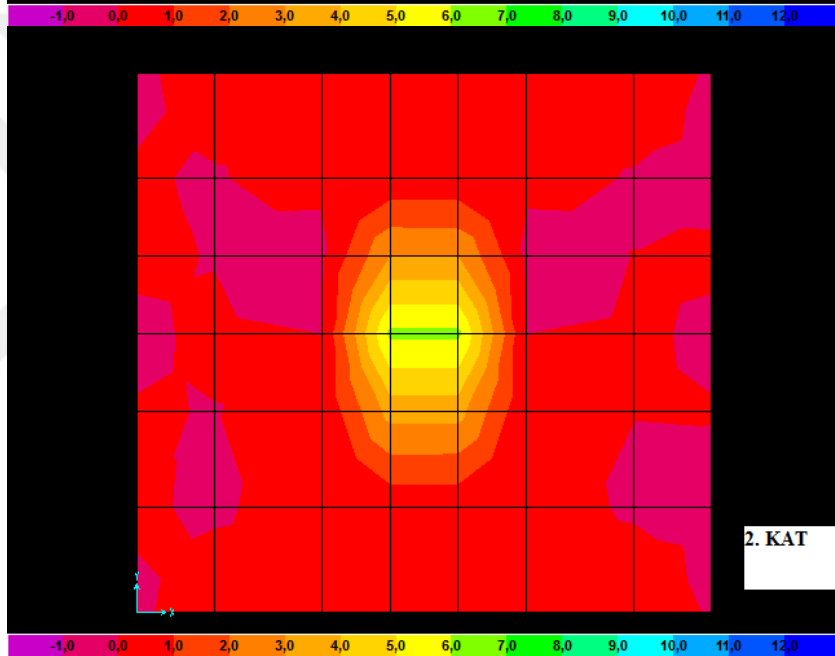
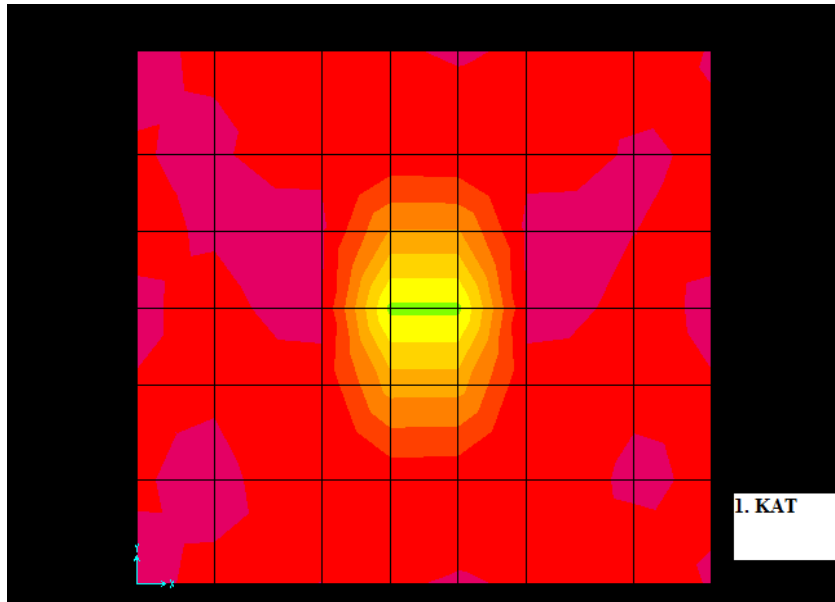


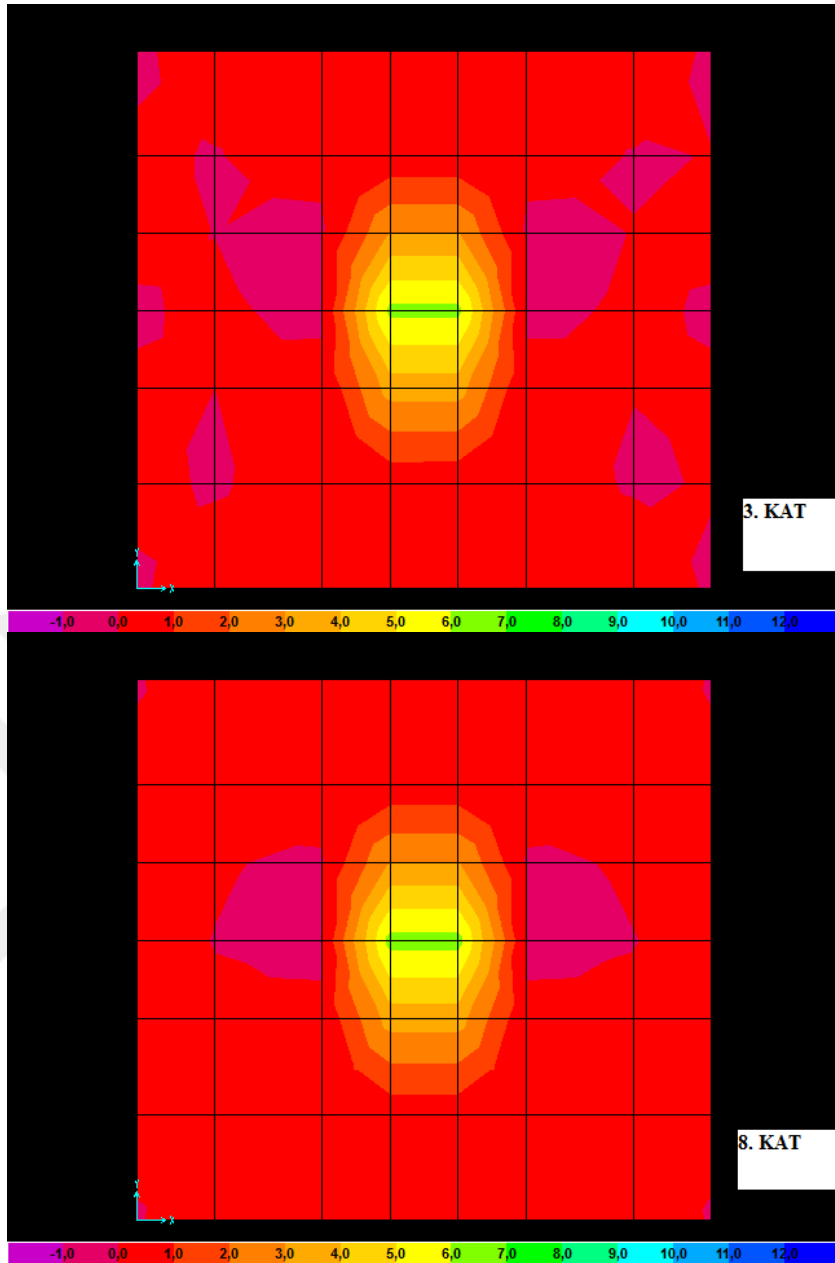


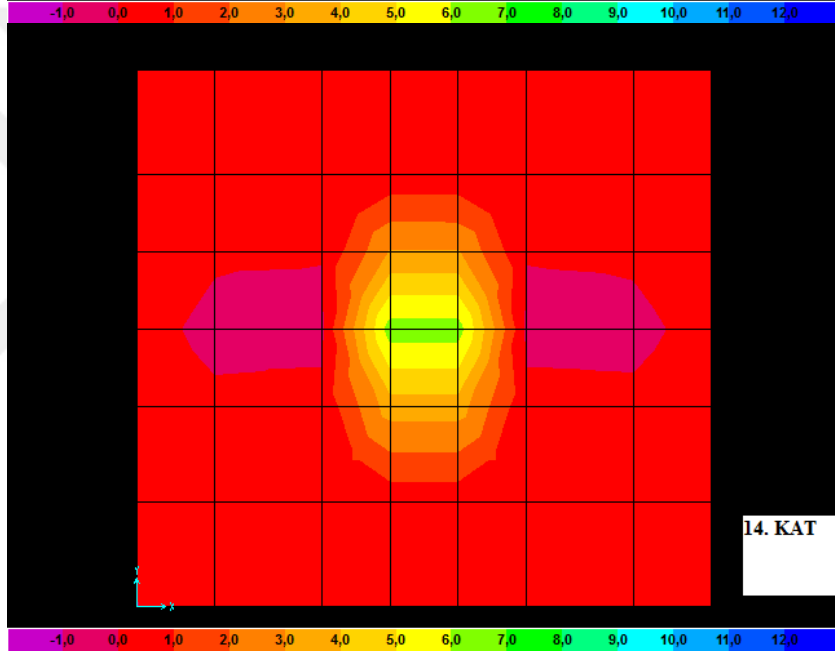
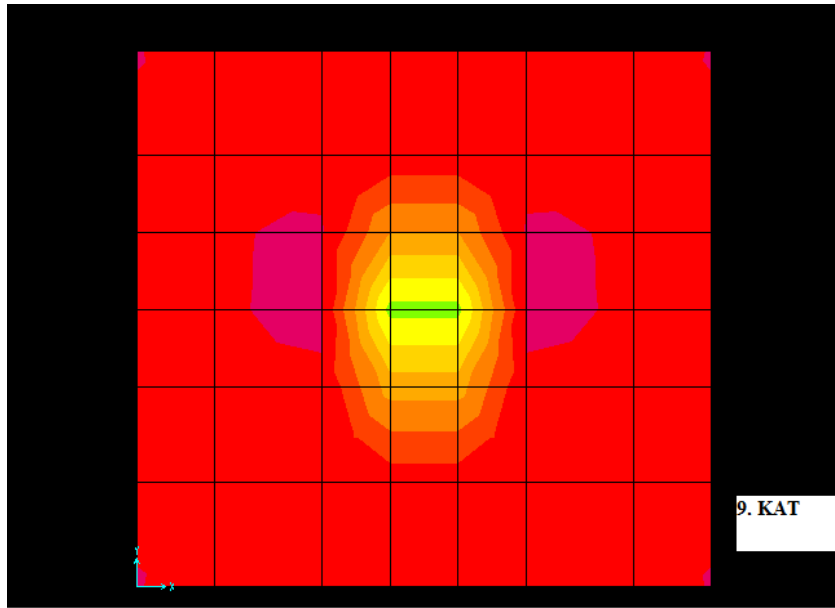


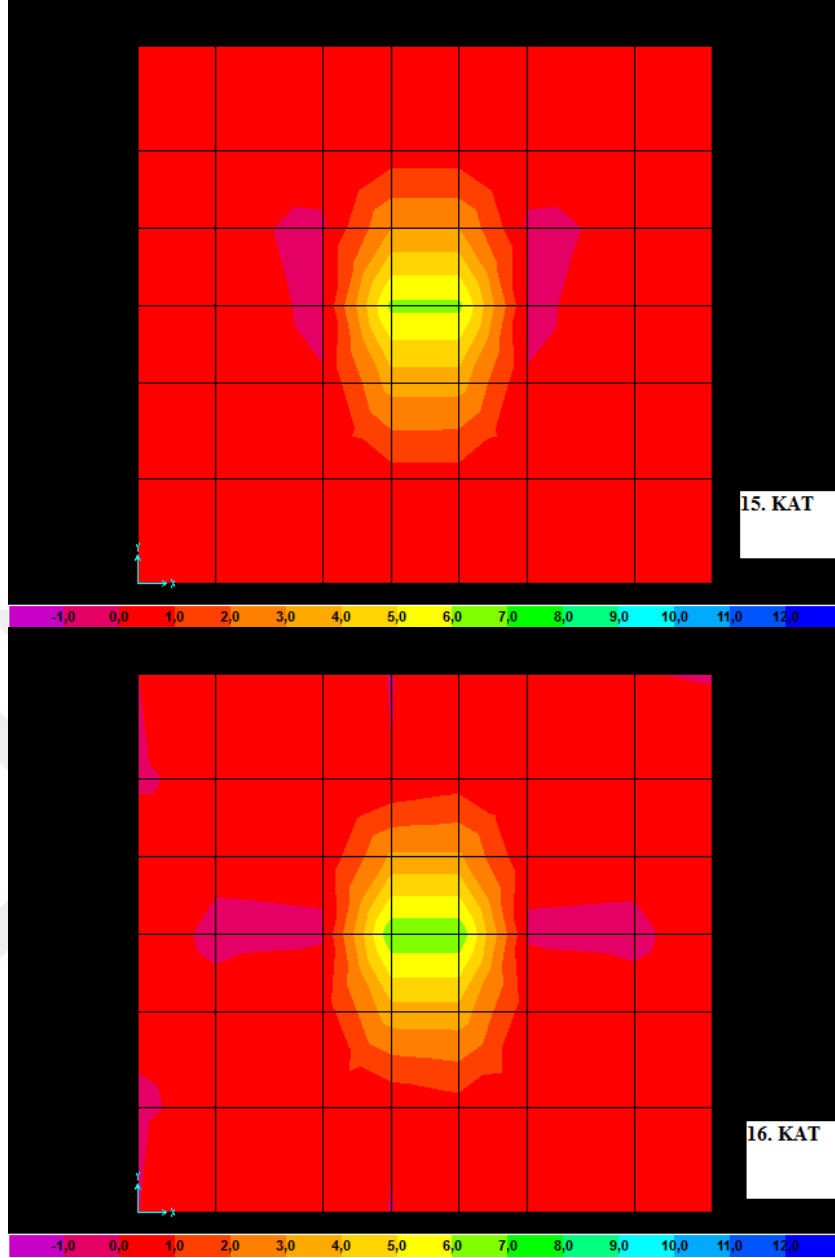
Şekil 2.12 CFRP'siz Seçili Katlarda Vmax Grafiği

CFRP malzemesini uyguladığımızda maksimum momentin seçtiğimiz katlardaki SAP2000 programında görseline yansımaları aşağıdaki resimlerde görülmektedir.



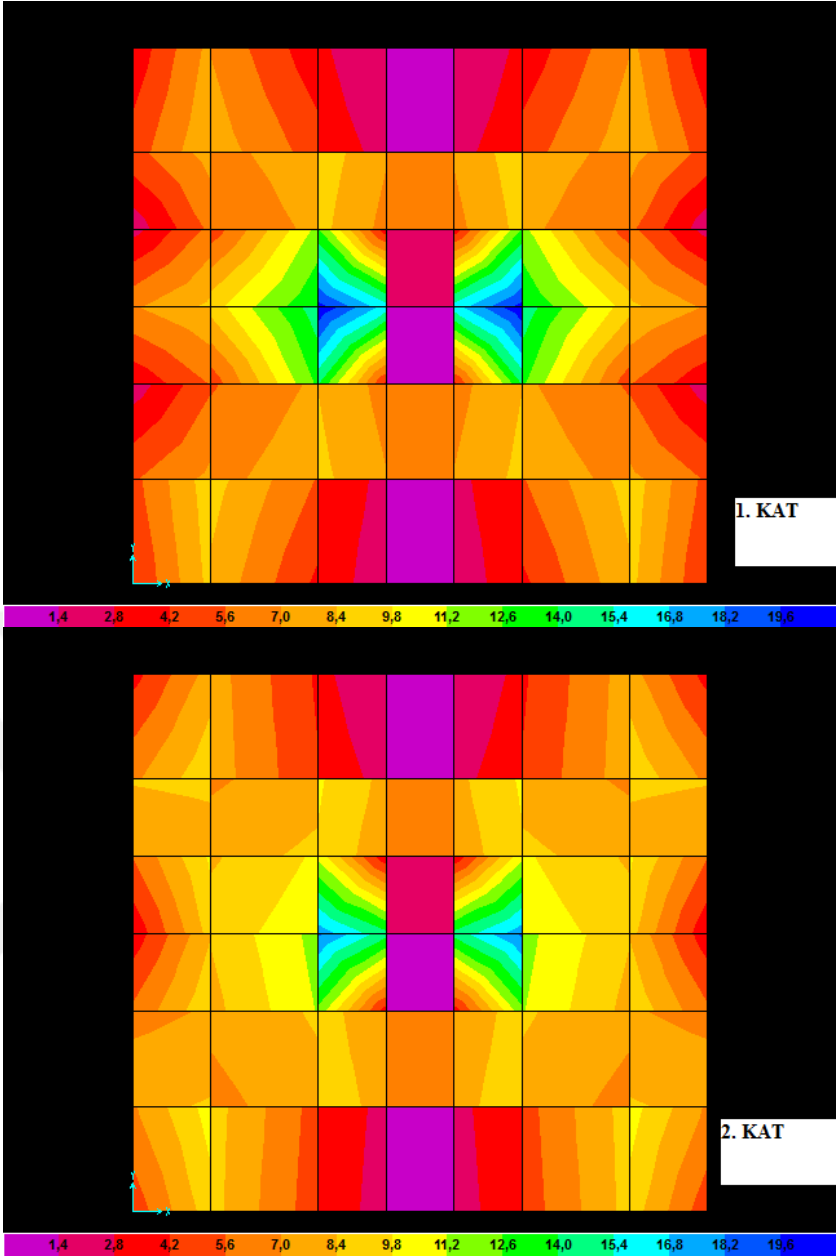


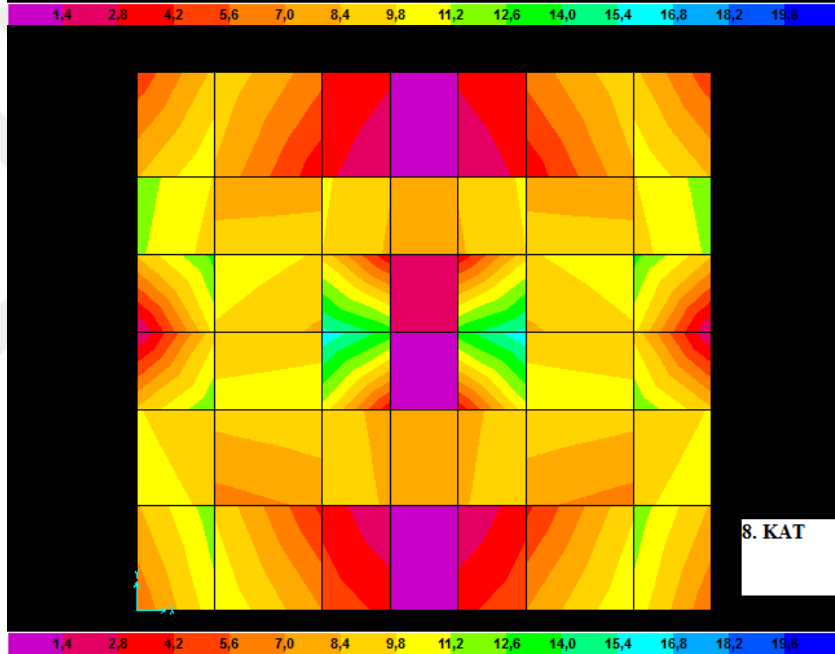
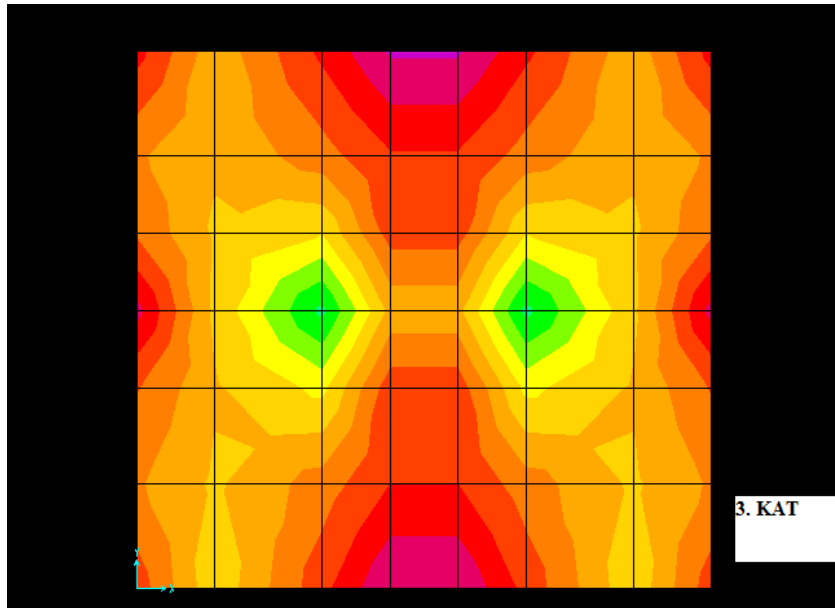


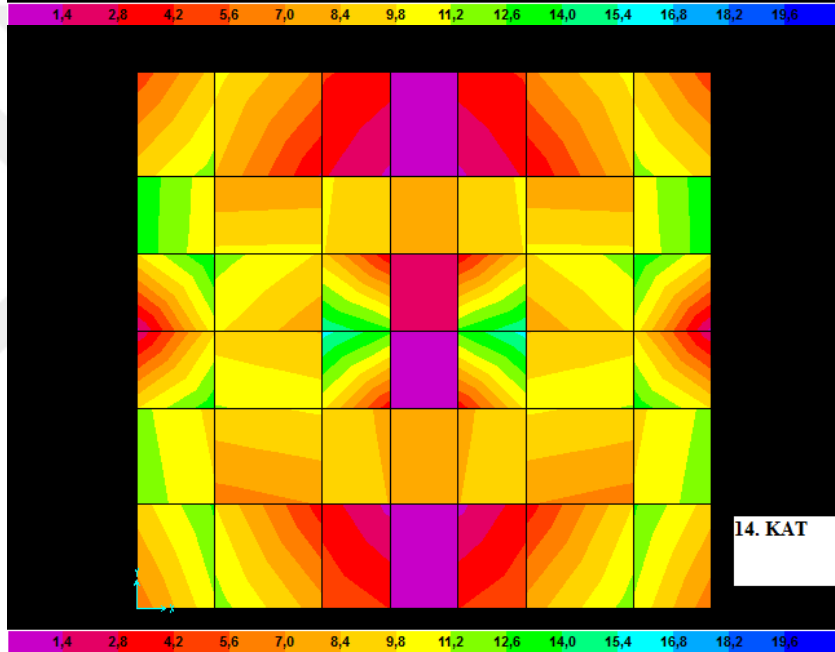
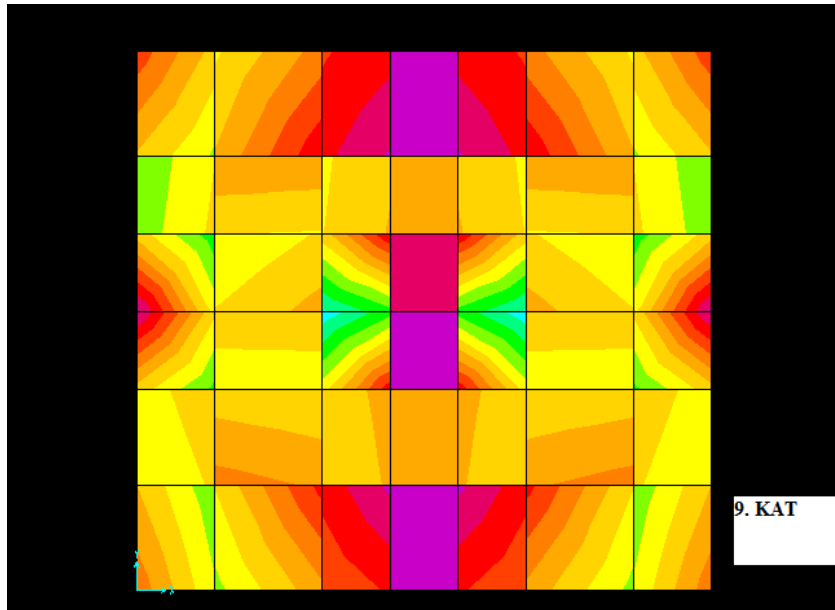


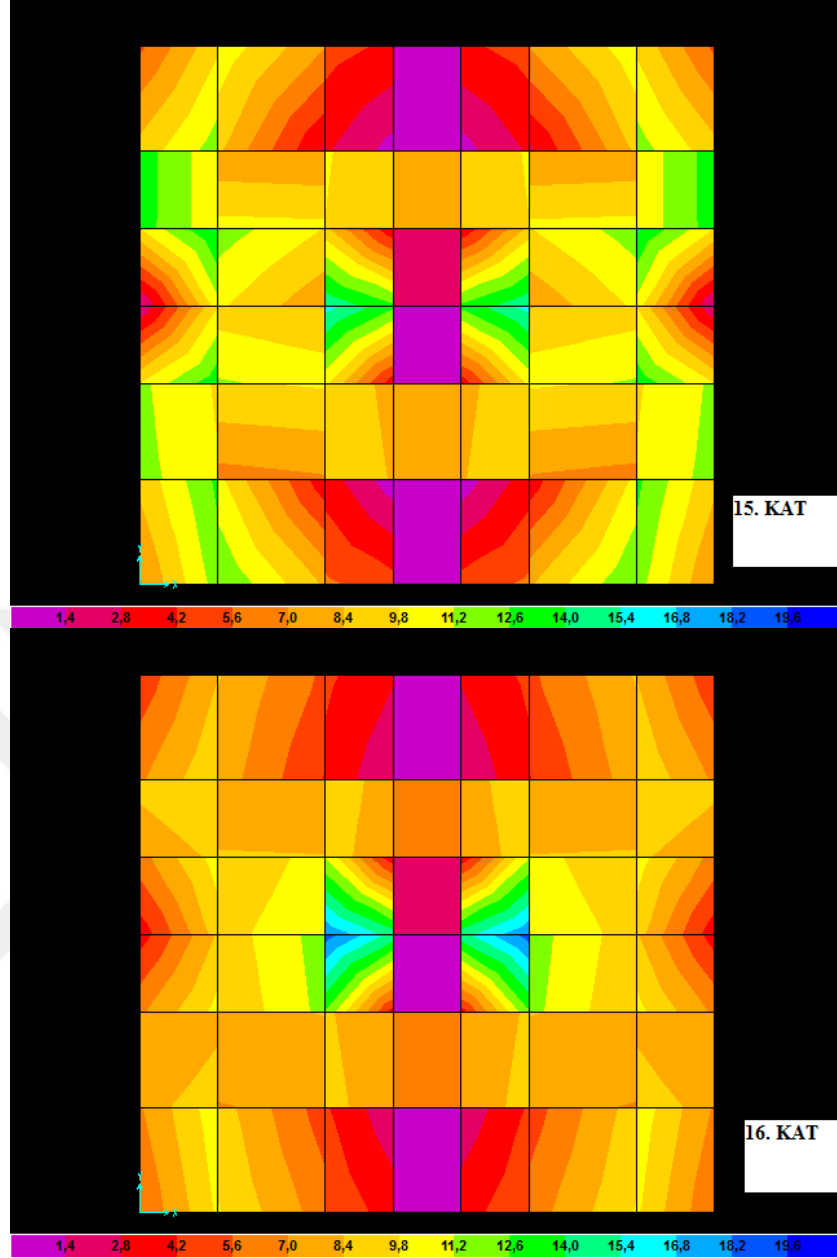
Şekil 2.13. CFRP'li Seçili Katlarda Mmax Grafiği

CFRP malzemesini uyguladığımızda maksimum kesme kuvvetin seçtiğimiz katlardaki SAP2000 programında görseline yansması aşağıdaki Şekil 2.14 'teki resimlerde gözükmemektedir.









Şekil 2.14. CFRP'li Seçili Katlarda Vmax Grafiği

Yukarıdaki şekillerde perdeli sistem binaya CFRP malzemesinin uygulanmasından sonra seçili katlarda kesme kuvvetinin nasıl farklılıklar oluşturduğu görülmüştür.

16 katlı Tünel kalıp sistemi ile oluşturulmuş binanın SAP2000 programında girilen CFRP değerleri;

$$\text{Elastisite Modülü } E1 = 1,350E+08$$

$$E2 = 1,350E+08$$

$$E3 = 10000000$$

Pozisyon Oranı $U_{12} = 0,3$

$U_{13} = 0,3$

$U_{23} = 0,022$

Birim Hacim Ağırlık $A_1 = 1,170E-05$

$A_2 = 1,170E-05$

$A_3 = 1,170E-05$

Kayma Modülü $G_{12} = 3378,3784$

$G_{13} = 3378,3784$

$G_{23} = 3378,3784$

Kütlenin Birim Ağırlık $= 15,96 \text{ K,m,C}$

Kütlenin Birim Hacim $= 1,63 \text{ K,m,C}$ 'dir.

Girilen beton değerleri;

Elastisite Modülü $E = 24821128$

Pozisyon Oranı $U = 0,2$

Birim Hacim Ağırlık $A = 9,900E-06$

Kayma Modülü $G = 10342137$

Kütlenin Birim Ağırlık $= 23,5631 \text{ K,m,C}$

Kütlenin Birim Hacim $= 2,4028 \text{ K,m,C}$ 'dir.

Girilen çelik değerleri;

Elastisite Modülü $E = 1,999E+08$

Pozisyon Oranı $U = 0,3$

Birim Hacim Ağırlık $A = 1,170E-05$

Kayma Modülü $G = 76903069$

Kütlenin Birim Ağırlık $= 76,9729 \text{ K,m,C}$

Kütlenin Birim Hacim $= 7,849 \text{ K,m,C}$ 'dir.

3. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

3.1. Sonuçlar

Yapılan çalışmada 16 katlı bir yapı üzerinde yapılan analizlerde her döşemeye uygulanan CFRP malzemesinin binanın dayanımını önemli ölçüde değiştirdiği ortaya konulmuştur. Periyot ve frekanslardaki değişiklikler bu değişimin ne kadar önemli bir boyutta olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmada, yapı sistemlerinin ve özel İnşaat Mühendisliği problemlerinin çözümünde son derece sağlıklı sonuçlar veren SAP2000 paket programı kullanılmıştır. SAP2000 'de eleman kompozit döşeme olarak tanımlanmıştır.

Teorik olarak bulunan sonuçlara göre CFRP malzemesi uygulanmamış 16 katlı tünel kalıp sistemi uygulanan binanın periyodu 1.65, SAP2000 programında her döşemesine 1mm CFRP malzemesi uygulanan binanın periyodu 1,19 olduğu görülmüştür. Bu da bize yaklaşık olarak %38'lik bir rijitlik artışı olduğunu göstermektedir.

3.2 Öneriler

Dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlanan bu uygulamada, FRP'nin tarihi yapıların ve fay hatlarının çok olduğu ülkemizde sadece mekanik alanında değil inşaat alanında kullanmamız gerektiğini göstermektedir.

Uygulaması hızlı, pratik bir malzeme olduğundan hastane, enerji tesisleri ve köprü gibi sürekli kullanımda olan yapılarda diğer güçlendirme yöntemlerine göre daha hızlı sonuç alınmaktadır.

Yüksek frekans, düşük periyot tekrarlayan yüklere karşı dayanımın iyi olması cazibeyi arttırmaktadır.

CFRP malzemelerin yapıya uygulanması da çok büyük önem taşır. Uygulamadaki tüm kurallar tam olarak yerine getirilerek profesyonel bir çalışma yapılması gerekmekte ve bu şekilde yapılan hesaplamaların bir önemi olacaktır. Bu malzemeler maliyeti yüksek olan malzemelerdir. Bu yüzden kullanılması gereken fiber miktarı hassas olarak hesaplanmalı ve maliyeti daha uygun hale getirilmelidir.

Bu tip g¼çlendirme malzemeleriyle ilgili bir standart ¼lkemizde mevcut değildir. Bu malzemelerle ilgili standartların oluşturulması bu malzemelerin gelişimini ve kullanımını artıracakđ düşün¼lmektedir.



KAYNAKLAR

1. Aytaç E, (2011). CFRP Güçlendirme Malzemesi ve Güçlendirme Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 95, Sakarya.
2. Celep Z & Kumbasar N, (2001). Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
3. Kurtibek Y, (2007). Beton ve CFRP Şeritler Arasındaki Kayma Gerilmesi Dağılımının Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü, 86, Ankara.
4. Kaya M, (2010). İki ve Üç Boyutlu CFRP'li Eğilme Kirişlerinde Boyut Etkisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi, 82, Ankara.
5. Smith S T & Teng J G, (2002). "FRP-strengthened RC beams-I: review of debonding strength models," *Engineering Structural*, 24(4):385–395.
6. Oehler D J, Park S M & Mohamed Ali M S, (2003). "A structural engineering approach to adhesive bonding longitudinal plate to RC beams and slabs. *Composites:Part A*, 34(12):887–97.
7. Chen J F & Teng J G, (2001). "Anchorage strength models for FRP and steel plates bonded to concrete," *Journal Structural Engineering*, 127(7):784–791.
8. Smith S T & Teng, J G, (2003). "Shear-bending interaction in debonding failures of FRP plated RC beams," *Advanced Structural Engineering*, 6(3):183–199.
9. Teng J G, Smith S T, Yao J & Chen J F, (2003). "Intermediate crack-induced debonding in RC beam and slabs," *Construction and Building Materials*, 17(6–7):447–462.
10. Chen J F & Teng J G, (2003). "Shear capacity of FRP strengthened RC beams: FRP debonding," *Construction and Building Materials*, 17(1):27–41.
11. White D & Busel J, (2003). CFRP & GFRP Composite Applications for Infrastructure Rehabilitation and Repair. NASTO 2003 Conference, NY.

12. Kasimzade A & Tuhta S, (2005). Performance of Reinforced Concrete Columns Confined by Composite Wraps, AACEU, Scientific Works No 2, p.13.
13. Panel Makina Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, 1990, Tünel Kalıp Firma Broşürleri, Ankara, 16s.
14. Çözüm Sanayi Yapı Elemanları Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, 1986, Tünel Kalıp Firma Broşürleri, İzmir, 12s.
15. Şimşek H, (2001). Çok Katlı Yapılarda Tünel Kalıp Uygulaması ve Bu Yapıların Projelendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 151, İstanbul.
16. Balkabak, (1999). Tünel Kalıp Sistemler, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 87, Isparta.
17. Sümer Y, (2003). Deprem Etkisindeki Tünel Kalıp Sistemli Yapılar için Karşılaştırılmalı Sistem Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
18. Mesa malat., Kalıp Sistemler Tanıtım Broşürü, 1997.
19. Altan M & Aydoğan M, (1995). Kalıp Projelerinde Göz Önüne Alınması Gerek en Yükler Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 378(24-28).
20. Cılız İ, (2007). Düşük Dayanımlı Betonla Üretilmiş T Kesitli Betonarme Kirişlerin CFRP İle Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 131, Ankara.
21. Doğançın D, (2002). Betonarme yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsan Yayınevi.
22. Busel J, Goodspeed C & Borno D, (2003). Introduction to Composite, ACI Subcommittee 440 E Education.
23. Celep Z & Kumbasar N, (2000). Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, 596, İstanbul.
24. Anonymous, (2004). [www.materialssolutions.info/Introduction to Composite Design.htm](http://www.materialssolutions.info/Introduction%20to%20Composite%20Design.htm).
25. Li A, Diagona C. & Delmas Y, (2001). "CFRP contribution to shear capacity of strengthened RC beams", *Elsevier, Engineering Structures*, 23: 1212-1220.

26. Khalifa A & Nanni A, (2002). "Rehabilitation of rectangular simply supported RC beams with shear deficiencies using CFRP composites", *Elsevier, Construction and Building Materials*, 16: 135-146.
27. Khalifa A & Nanni A, (2000). "Improving shear capacity of existing RC T-section beam using CFRP composites", *Elsevier, Cement & Concrete Composites*, 22: 165-174.
28. Khalifa A, Tumialan G, Nanni A, & Belarbi A, (1999). "Shear Strengthening of Continuous RC Beams Using Externally Bonded CFRP Sheets", *American Concrete Institute. In: Proceedings of the 4th International Symposium on FRP for Reinforcement of Concrete Structures (FRPRCS4)*, Baltimore, 995-1008.
28. Triantafillou T C, (1998). "Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Epoxy-Bonded FRP Composites", *ACI Structural Journal*, 95 (2): 107-115.
29. Raghu A, Mettemeyer M, Mayers J, & Nanni A, (2000). "An Assessment of In-Situ FRP Shear and Flexural Strengthening of Reinforced Concrete Joists", *ASCE Structures Congress*, Philadelphia, 1-8.
30. Täljsten B & Elfgren L, (2000). "Strengthening concrete beams for shear using CFRP-materials: evaluation of different application methods", *Elsevier, Composites Part B: Engineering*, 31: 87-96.
31. Täljsten B, (2003). "Strengthening Concrete Beams for Shear with CFRP Sheets", *Elsevier, Construction and Building Materials*, 17: 15-26.
32. Norris T, Saadatmanesh H & Ehsani M, (1997). "Shear and flexural strengthening of R/C beams with carbon fiber sheets", *Journal of Structural Engineering*, 123 (7): 903-911.
33. Sheikh S, DeRose, D & Mardukhi J, (2002). "Retrofitting of Concrete Structures for Shear and Flexure with Fiber-Reinforced Polymers", *ACI Structural Journal*, 99 (4): 451-459.
34. Gendron G, Picard A & Guérin M C, (1999). "A theoretical study on shear strengthening of reinforced concrete beam using composite plates", *Elsevier, Composites Structures*, 45: 303-309.

35. Deniaud C & Cheng J J R, (2001). "Shear behavior of reinforced concrete T-beams with externally bonded fiber-reinforced polymer sheets", *ACI Structural Journal*, 98 (3): 386-394.
36. Mitsui Y, Murakami K, Takeda K & Sakai H, (1998). "A study on shear reinforcement for cement of reinforced concrete beam externally bonded with carbon fiber sheets", *Composite Interfaces*, 5 (4): 285-295.
37. Diagan C, Li A, Gedalia B, & Delmas, Y., (2003). "Shear strengthening effectiveness with CFF strips", *Elsevier, Engineering Structures*, 25: 507-516.
38. Kachlakev D, McCurry D D, (2000). "Behavior of full-scale reinforced concrete beam retrofitted for shear and flexure with FRP laminates", *Composites, Part B: engineering*, 31: 445-452.
39. Anıl Ö, (2006). "Improving shear capacity of RC T-beams using CFRP composites subjected to cyclic load", *Cement & Concrete Composites*, 28: 638-649.
40. Keleş M, (2005). "Betonaarme Kirişlerde Açılı CFRP Şeritlerin Kesmeye Katkısı", Yüksek lisans tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 64-82.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Eren Hayati GENÇBAY

Doğum Yeri : Samsun

Doğum Tarihi : 07.06.1986

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Samsun Anadolu Lisesi (2004)

Lisans : Yıldız Teknik Üniversitesi (2010)

Yüksek Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı (01.09.2012 / ...)

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl

1- Gözlem Müh. Müt. Plan. Tic. Ltd. Şti. / Kontrol Mühendisi / Tokat Çevreyolu

(10.10.2010/01.11.2011)

2- Reform Yapı Denetim / Kontrol Mühendisi

(13.09.2012/31.12.2012)

3- İlk YapıDenetim / Kontrol Mühendisi

(07.01.2013/ 18.03.2016)

4- Terme Belediyesi / İnşaat Mühendisi

(21.03.2016 / ...)