

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CFRP GÜÇLENDİRME MALZEMESİ VE
GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİ

Ezgi AYTAÇ

Eylül, 2011
İZMİR

CFRP GÜÇLENDİRME MALZEMESİ VE GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİ

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı**

Ezgi AYTAÇ

**Eylül, 2011
İZMİR**

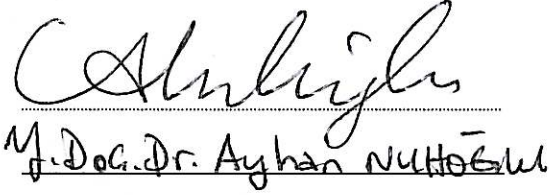
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

EZGİ AYTAÇ, tarafından PROF. DR. YILDIRIM ERTUTAR yönetiminde hazırlanan CFRP GÜÇLENDİRME MALZEMESİ VE GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİ başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



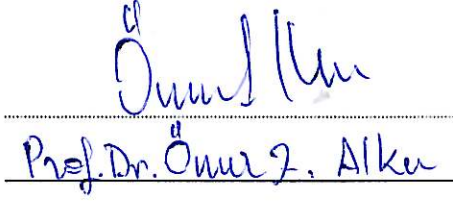
Prof. Dr. Yıldırım ERTUTAR

Danışman



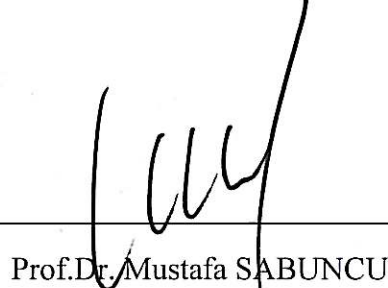
M. Doç. Dr. Ayhan NURHOĞLU

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ömer Z. Alkan

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Ana Bilim Dalı yüksek lisans çalışması olarak sunulan bu çalışmayı yöneten, yakın ilgi ve değerli yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle destek olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Yıldırım ERTUTAR' a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans çalışması boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme, çalışmada önemli katkılarda bulunan ve yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım İnş. Müh. Bora GÜMÜŞ'e, Mak. Müh. Fırat ÇAM'a, İnş. Müh. Merve GÜNDOĞAN'a, Jeofizik Yük. Müh. Elif BALKAN'a ve hocalarım Dr. H. Murat TANARSLAN' ile Araş. Gör. Sadık Can GİRGİN'e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ezgi AYTAÇ

CFRP GÜÇLENDİRME MALZEMESİ VE GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİ

ÖZ

Türkiye deprem haritası incelendiğinde yüz ölçümünün yüzde 42'sinin birinci derece deprem kuşağı üzerinde olduğu görülmektedir. Bu derece önemli bir deprem riski bulunan ülkemizde yapılar depreme dayanıklı şekilde tasarlanmalıdır. Burada amaç; oluşacak olan depremin büyüklüğü gözönüne alınarak, mevcut binaların deprem esnasında ve sonrasında bir takım beklentileri yerine getirebilmesidir.

Mevcut betonarme yapı stoğunun büyük bir bölümünün çeşitli araştırmalar esnasında incelenmesinde beton basınç dayanımlarının projelendirme sırasında öngörülen değerden düşük olduğu, enine ve boyuna donatıların günümüz yönetmelikleri tarafından öngörülen şartları sağlamaktan uzak olduğu görülmüş ve belirlenmiştir. Bu eksiklikler düşey taşıyıcı elemanların aksel yük, kesme kuvveti, eğilme momenti taşıma kapasiteleri ile süneliklerini olumsuz etkilemekte, bunun sonucunda yapıların deprem karşısındaki davranışı öngörülenden çok daha başarısız olabilmektedir.

Bu gibi durumlarda, hasar görmüş betonarme elemanlara başlangıçtaki orijinal mukavemetlerini kazandırmak veya güçlendirmek amacı ile çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, geliştirilen bu güçlendirme yöntemleri hakkında genel bilgiler verilmiş ve özellikle CFRP (karbon fiber takviyeli polimer) ile güçlendirme yöntemi ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu güçlendirme yönteminin daha iyi anlaşılabilmesi için mevcut bir yapının performans analizi yapılmış; güçlendirilmesi gereken elemanlarda CFRP kullanılarak analiz yapılmış ve sonuçları raporlar halinde sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: CFRP, güçlendirme, deprem, performans analizi, ACI 440.

CFRP STRENGTHENING MATERIAL AND STRENGTHENING TECHNIQUES

ABSTRACT

If the map of Turkey earthquake is examined, we can see that the 42 percent of our country's survey is on the first degree seismic belt. In our country the structures have to designed as earthquake-resistant because of the important earthquake risk. The aim is here, the structures should supply expectations during and after earthquake (which is considering the magnitude of the earthquake will occur).

A large part of the existing reinforced concrete structure during various research projects examining the concrete compressive strength is lower than predicted value that on the project, and transverse; longitudinal reinforcements are far from ensuring the conditions stipulated on today's regulations. Axial loads of the vertical bearing elements, shear forces, bending moment carrying capacities and ductilities are adversely affected because of these deficiencies. As a result of this, structures behaviours, which against to earthquake, are much more fail than predicted.

For these situations, different strengthening methods had enhanced, to increase and strengthen them in order to protect their original form.

In this study, there are some informations about these strengthening methods and especially CFRP (carbon fiber reinforced polymer) strengthening method. For a better understanding of this method, an existing building had solved with performance analysis and found elements which should be strengthened. The elements which should be strengthened had solved and analyzed with CFRP and the results were presented in reports.

Keywords: CFRP, strengthening, earthquake, performance analysis, ACI 440.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
BÖLÜM BİR — GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsam	3
BÖLÜM İKİ — DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI	4
2.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Amaç.....	4
2.2 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı İlkeleri.....	5
2.3 Depremde Hasar.....	5
2.4 Bina Türlerine Göre Deprem Hasarlar ve Bu Hasarların Nedenleri.....	6
BÖLÜM ÜÇ — GÜÇLENDİRME.....	8
3.1 Güçlendirme İlkeleri.....	8
3.2 Güçlendirme Esasları.....	10
3.3 Güçlendirme Yöntemleri.....	11
3.4 Sistem İyileştirilmesi ile Güçlendirme.....	11
3.5 Eleman İyileştirilmesi ile Güçlendirme.....	16
BÖLÜM DÖRT — DEPREM PERFORMANSI BELİRLEME.....	21
4.1 Deprem Performansının Belirlenmesi İçin Genel Bilgiler.....	21
4.1.1 Bina Deprem Performans Seviyeleri.....	21
4.2 Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması.....	23

4.3 Mevcut Bir Binanın Kullanım Amacı ve Türü.....	24
4.4 Bina Bilgi Düzeyi.....	26
4.5 Artırımsal İtme Analizi ile İtme Eğrisinin Bulunması.....	26
4.6 İtme Eğrisini Belirlemek İçin Adım Adım Yapılması Gereken İşlemler.....	27
4.7 Yatay Yer Değiştirme Katsayısının Belirlenmesi.....	29
BÖLÜM BEŞ — CFRP GÜÇLENDİRME MALZEMESİ.....	32
5.1 FRP Nedir?.....	32
5.2 Malzeme Özellikleri.....	33
5.3 FRP Uygulanması.....	35
5.4 CFRP Nedir?.....	36
5.5 CFRP Malzeme Özellikleri.....	36
5.6 CFRP Kullanım Alanları.....	37
5.7 CFRP Malzemesinin Avantajları.....	38
5.8 CFRP Malzemesinin Dezavantajları.....	38
5.9 CFRP Uygulama Şekli.....	39
5.10 ACI 440 Yönetmeliği ve Yönetmelikte Yer Alan Uygulama Tipleri, Şekilleri ve Hesap Methodları.....	45
BÖLÜM ALTI — ÖRNEK UYGULAMALAR.....	49
6.1 Örnek Olarak Seçilen Mevcut Binanın Değerlendirilmesi.....	49
6.2 Genel Bina Bilgileri.....	49
6.3 Örnek Binanın Deprem Performansının Belirlenmesi.....	54
6.4 Örnek Binanın Doğrusal Olmayan Artırımsal İtme Analizi.....	55
6.5 Örnek Binanın Kapasite Eğrisinin Belirlenmesi.....	57
6.6 Örnek Binadaki Hasarlı Kiriş Oranlarının ve Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi.....	58
6.7 Örnek Binadaki Hasarlı Kolon Taban Kesme Kuvvetlerinin Oransal Dağılımı ve Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi.....	59
6.8 Örnek Binanın Kat Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi.....	69

6.9 Örnek Bina X Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Performans Değerlendirilmesi.....	70
6.10 Örnek Bina X Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Performans Değerlendirilmesi.....	72
BÖLÜM YEDİ — ÖRNEK BİNANIN CFRP İLE GÜÇLENDİRİLMESİ.....	74
7.1 Mevcut Binanın ACI 440 Yönetmeliği' ne Göre Hesap Sonuçları.....	74
BÖLÜM SEKİZ — SONUÇLAR.....	88
KAYNAKLAR.....	93
EKLER.....	95

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Önemli bir deprem kuşağında yer alan ülkemizde özellikle son yıllarda meydana gelen büyük depremler, mevcut binaların dayanımı hakkında soru işaretleri oluşmasına yol açmıştır (Şekil 1.1). Deprem mühendisliği ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler, mevcut yapıların deprem davranışlarının incelenmesinin daha ayrıntılı ve olabildiğince daha gerçekçi yapılması olanağı yaratmış ve binaların dayanımları konusundaki tereddütlerin giderilmesi / belirlenmesi olanağı sağlamıştır.

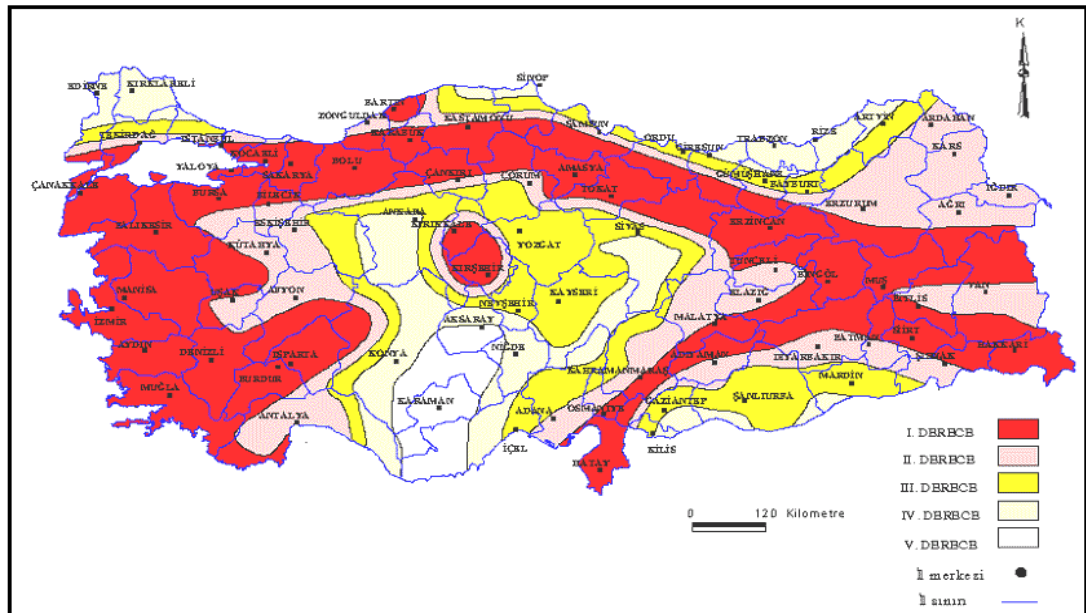
Günümüzde mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi, yöntemin kapsamlı olması sebebiyle, bilgisayar yazılımları yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Bilgisayar, çok değişik kabulleri içeren çözümleri kısa zamanda yapabilmesi bakımından son derece önemli bir araçtır. Buna karşın iyileştirmede çözüm sonuçlarının değerlendirilmesi, karşılaştırmaların yapılması ve üretilecek alternatif çözümlerin bulunması için, taşıyıcı sistemin davranışının, hesap ilkelerinin ve çözüm aşamalarının tam olarak kavranmış olması gerekmektedir(Celep, 2007).

Betonarme taşıyıcı sistemlerin yatay ve düşey yükler etkisindeki değerlendirmesinde iki hesap adımı söz konusudur. Bunlardan birincisi, taşıyıcı sistem elemanlarında belirli yükler altında ortaya çıkan kesit tesirlerinin ve yer değiştirmelerinin belirlenmesidir. İkinci hesap adımı tasarımı yeni yapılacak yapılarda elde edilen kesit tesirleri altında kesitin tasarımı (geometrik boyutlar ve donatısı) olarak, mevcut yapılarda ise kesit parametrelerinin hesap edilmesi ve bu kesitlerde dış kuvvetlerden dolayı oluşan kesit etkileri ile karşılaştırılması olarak düşünülebilir.

Bazı özel durumlar oluşmadıkça, yapı sistemleri işletme yükleri altında genellikle doğrusal davranış gösterirler. Doğrusal sistem davranışını esas alan analiz yöntemlerinde, malzemenin gerilme-şekil değiştirme bağıntıları doğrusal elastik olarak alınmakta ve meydana gelen yer değiştirmelerin çok küçük olduğu varsayımı yapılmaktadır. Bu karşılık, dış etkiler işletme yükü sınırını aşarak yapının taşıma gücüne yaklaştıkça, gerilmeler doğrusal elastik sınırı aşmakta ve yer değiştirmeler çok küçük kabul edilemeyecek değerler almaktadır.

Doğrusal analiz yöntemleri ile deprem sonrası yapıda oluşabilecek hasar durumları için fikir yürütmek neredeyse mümkün değildir. Bunun yanında, aynı yapının birçok kez deprem etkisine maruz kalması sonucunda nasıl bir davranış göstereceği konusunda da tam bir belirsizlik bulunmaktadır. Buradan hareketle, doğrusal hesap yöntemlerinin yapının hesabında yetersiz olduğu sonucuna varılabilir.

Özellikle betonarme taşıyıcı sistemlerde, yönetmeliklerde bahsi geçen “Tasarım Depremi” altında doğrusal olmayan davranışın ortaya çıkacağı kabul edilir. Bu sayede oluşacak yatay yük kapasite artımı “Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı” veya “Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı” ile deprem etkisi talebinin azaltılması şeklinde gözönüne alınır. Günümüzde bilgisayar teknolojisinin ilerlemesi ve betonarme elemanların davranışlarının daha iyi bilinmesi, taşıyıcı sistemin doğrusal ötesi davranışının daha zahmetsiz ve daha gerçekçi bir biçimde incelenmesini mümkün kılar. Bu sebeple oluşan kapasite artışının gözönüne alınmasını sağlar. Ülkemizde yürürlükte olan Deprem Yönetmeliği’nde mevcut binaların deprem güvenliklerinin değerlendirilmesinde kullanılan kural ve şartlarda, doğrusal olmayan davranışın esas alındığı açık bir biçimde görülmektedir(Celep, 2007).



Şekil 1.1 Türkiye deprem haritası.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsam

Giriş bölümünde de anlatıldığı gibi günümüz Deprem Yönetmeliği'nde doğrusal olmayan davranışın esas alındığı ve bu esasa dayanılarak hesap yapıldığı bilinmektedir. Bu çalışmada amaç geçmiş yıllarda önceki yönetmeliklere uygun olarak tasarlanmış fakat günümüz yönetmeliklerinde yer alan ilkeleri karşılamayan binaların durumunu incelemektir. Bu inceleme de yeterli dayanımı sağlamayan ve günümüz koşullarına uymayan yapıların ne şekilde güçlendirilebilecekleri, hangi güçlendirme yönteminin hangi tür yapıya uygulanabileceği konusuna değinilmiştir. Genel güçlendirme yöntemlerinden CFRP ile güçlendirme konusu üzerinde durulmuş, malzeme özellikleri, karakteristik yapısı ve uygulama yöntemi hakkında bilgiler ACI 440 yönetmeliği incelenerek aktarılmıştır. Bu yöntemle ilgili örnek bir uygulama yapılarak mevcut bina güçlendirilmiş ve ayrıntılar tablo ve grafikler şeklinde sunulmuştur.

BÖLÜM İKİ

DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI

Yüz ölçümünün % 42'si birinci derece deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde 20. yüzyılın başlarından beri yapılan istatistiki çalışmalar yaklaşık olarak her iki yılda bir yıkıcı deprem olduğunu göstermektedir. Bazı büyük şehirlerimizin I. Derece deprem bölgeleri üzerinde kuruldukları, nüfusumuzun yarısından fazlasının bu sahalarda yaşadığı bir gerçektir. Bu durum Türkiye'de doğal afetler olabileceğini ve büyük bir nüfusun etkilenebileceğini ortaya koymaktadır. Meydana gelebilecek olan herhangi bir deprem esnasında taşıyıcı sistem çok kısa sürede etkilenir ve dinamik etkiler ortaya çıkar. Bu nedenle yapılması gereken, olabilecek depremin özelliklerini iyi belirleyerek gerekli önlemleri zamanında almaktır.

2.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Amaç

Depreme dayanıklı yapı tasarımında amaç; oluması muhtemel olan depremin büyüklüğü gözönüne alınarak, mevcut binaların deprem esnasında ve sonrasında bir takım beklentileri yerine getirebilmesidir.

Deprem etkisi altında taşıyıcı sistemin bazı özelliklere sahip olması beklenir. Sıkça meydana gelen hafif büyüklükteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, sık olmayan orta büyüklükte depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde olması ve lineerlik sınırının aşılması; nadir olan büyük depremlerde can kaybının olmaması, binaların kısmen veya tamamen göçmemesi, mümkün olduğu kadar büyük plastik deformasyon yapması istenir. Taşıyıcı sistem tasarımı, olabilecek depremler tahmin edilerek bu özellikleri sağlayacak şekilde yapılmalıdır.

2.2 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı İlkeleri

Bir yapı tasarımına başlarken öncelikle yapılması geren, tasarımda dikkate alınacak olan tasarım depreminin belirlenmesidir. Önem katsayısı 1 olan konut, işyeri ve benzeri yapılarda, 50 yıl içerisinde gerçekleşme oranı %10 olan büyük deprem gözönüne alınmakta ve hesaplar bu kabul üzerinden gerçekleştirilmektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkelerinden biri, taşıyıcı sistemi oluşturan her bir elemanın deprem yüklerini temel zeminine güvenli bir şekilde aktarmasını sağlayabilmesidir. Bunun için taşıyıcı sistem elemanlarının yeterli rijitlik, kararlılık ve dayanımda olması gerekmektedir. Ayrıca taşıyıcı sistem elemanlarının, deprem yüklerinden oluşan enerjiyi güvenle tüketebilmesi için sünek tasarım ilkelerine uyulmalı, düzensiz binaların tasarımından ve yapımından kaçınılmalıdır.

Kütle merkezi ile rijitlik merkezi çakışmayan binalarda burulma etkisi meydana gelir. Bu gibi istenmeyen etkileri önlemek için; taşıyıcı sistemler planda simetrik veya simetriğe yakın halde düzenlenmeli, perde gibi rijit taşıyıcı sistem elemanları binanın burulma rijitliğini arttıracak şekilde yerleştirilmelidir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında herhangi bir katta zayıf kat veya yumuşak kat durumu oluşturan düzensizliklerden kaçınılmalıdır. Bunun için taşıyıcı sistem hesabında göz önüne alınmayan, ancak kendi düzlemlerinde önemli derecede rijitliğe sahip olabilen dolgu duvarlarının bazı katlarda ve özellikle binaların giriş katlarında kaldırılması ile oluşan ani rijitlik ve dayanım azalmasının olumsuz etkilerini gidermek için bina taşıyıcı sisteminde gerekli önlemler alınmalıdır.

2.3 Depremde Hasar

Deprem sonrası hasar görmüş bir binada beş tür hasar olabileceği söylenebilir. Bu hasar türleri Tablo 2.1’ de görüldüğü gibi 0’dan V’ e kadar kademelendirilmektedir. Bir yapının hasarlı olarak nitelendirilebilmesi için; o yapının taşıyıcı sistem

elemanlarının tabloda belirtilen III., IV. ve V. sınıflandırma içerisinde yer alması gerekmektedir.

Tablo 2.1 Hasar düzeylerinin sınıflandırılması

HASAR DÜZEYİ	AÇIKLAMA
0 HASARSIZ	
I AZ HASARLI	Beton yüzeyinde görülebilir kılcal kayma çatlakları (0.2 mm den daha dar)
II HAFİF HASARLI	Beton yüzeyinde görülen ince kayma çatlakları (genişlikleri 0.2 - 1.0 arasında değişen çatlaklar)
III ORTA HASARLI	1.0 - 2.0 mm arasında gözlenen geniş çatlaklar, yer yer pas payının dökülmesi ve donatının açığa çıkması halı
IV AĞIR HASARLI	2.0 mm den daha büyük çatlaklar, pas payı dökülmüş ve donatılar açıkça görülüyor ancak donatıda burkulma gözlenmiyor
V ÇOK AĞIR HASARLI	Burkulmuş ve/veya kırılmış donatılar, betonun ezilmesi görülür. ayrıca çökme ya da döşemede eğrilik görülür.

Yapının taşıyıcı elemanları genellikle harç, sıva gibi kaplama elemanlarıyla örtülüdür. Bu tür kaplama elemanlarında çatlak görüldüğünde, bu çatlakların taşıyıcı elemandaki varlığı anlaşılamıyorsa, bu kaplamalar kaldırılarak alttaki beton yüzeyi incelenmeli ve çatlakların taşıyıcı elemanda olup olmadığı belirlenmelidir.

2.4 Bina Türlerine Göre Deprem Hasarları ve Bu Hasarların Nedenleri

Yapılarda meydana gelebilecek olan hasarlardan önce başlıca belirti; aşırı sehim ve çatlak nedeniyle titreşim oluşmasıdır. Genellikle yapılardaki hasarla ilgili olarak, önde aşırı sehim gözlenmekte ardından hızlı bir çatlama meydana gelmektedir. Çatlakların oluştuğu bölgede meydana gelen çekme, basınç ve kayma gerilmeleri nedeniyle oluşan aşırı sehim ve deformasyon, o elemanın elastik yük taşıma kapasitesinin üzerinde zorlamaya maruz kaldığını göstermektedir. Betonda basınç dayanımının aşılması durumunda ezilme şeklinde bir hasar meydana gelmekte ve bu

etkiye dik yönde çekme gerilmeleri oluşmakta ve betonun çatlaması, çekme dayanımının aşılmasından dolayı ortaya çıkmaktadır.

Bina türlerine göre hasar şekilleri aşağıda açıklandığı gibidir.

Yığma binalarda görülen hasarların nedenleri; yapıda duvar bütünlüğünü bozacak büyüklükte kapı ve pencere boşluğu oluşturulması, toprak örtülü çatı döşemesiyle yapının ağırlaştırılması, taşıyıcı duvarı oluşturan elemanların birbirine kuvvetli bir harçla bağlanmaması, binanın duvarlarında tek tip malzeme yerine taş, kerpiç gibi malzemelerin kullanılması şeklinde sıralanabilir.

Betonarme karkaslı binalarda görülen hasarlar; kısa kolon oluşturulması, tasarımda öngörülmeeyen ilave katların yapılması, hatalı ve yetersiz temel tasarımı, bitişik nizam yapılarda iki bina arasında yeterli dilatasyon bırakılmaması, projede belirlenen beton kalitesinden düşük kalitede beton kullanımı, etriyelerin yetersiz miktarda olması, boyuna donatıların gereğinden az olması ya da donatılarını uygun şekilde ankrajının yapılmaması, kısa kolon etkisi yaratacak olan bant pencereler, hatalı merdiven detayı gibi yapım hataları ve özensizliği sebebiyle oluşmaktadır. Bunların dışında hasara sebep olan bir diğer etken ise deprem mühendisliği konularındaki bazı belirsizliklerdir. Zemin dinamiği disiplininin mühendislik pratiğine yansıyamıyor olması, zeminin heterojenik yapısından dolayı komşu iki arsa arasında bile deprem etkilerinin farklılık göstermesi, dolgu zeminin deprem esnasında ayrışması gibi sebepler sonucu hasarlar oluşabilmektedir.

Küçük çatlaklardan kolon kırılmalarına kadar çok geniş bir yelpazeye sahip olan betonarme karkas binaların taşıyıcı eleman hasarlarının boyutu, yapıya büyük bir deprem etkisi altında dahi, yapıda göçme olmayacak yani can güvenliğinin sağlanabileceği düzeyde olması tasarımın ve mühendisliğin temel hedefidir.

BÖLÜM ÜÇ

GÜÇLENDİRME

Bir yapıdaki hasarsız yapı elemanlarının/sistemlerinin ya da hasarlı durumda bulunan yapı elemanlarının onarım yapılarak hasarları giderildikten sonra, performanslarının iyileştirilmesini sağlamak üzere yapılan müdahalelere güçlendirme adı verilmektedir. Yapısal güçlendirmenin hedefi, yapının deprem performansının iyileştirilmesidir. Yani yapının belirli bir deprem düzeyinde görmesi beklenen hasar miktarının azaltılması güçlendirmenin temel amacıdır.

3.1 Güçlendirme İlkeleri

Her yapı birbirinden farklı özellikler içerdiğinden, mevcut bir yapıda güçlendirme işlemi yapılmadan önce o yapıya uygun olabilecek güçlendirme yönteminin belirlenmesi gerekmektedir. Burada amaç, yapıda meydana gelen hasarın nedenlerini giderecek önlemlerin belirlenmesi ve hasarın ortaya çıkardığı direnç kaybının giderilmesi ya da bir daha olmaması için yapılması gerekli güçlendirme işlemlerinin belirlenmesidir. Farklı hasar nedenleri değişik güçlendirme ilkelerinin uygulanmasını gerektirmekle birlikte yine de hemen her durumda uygulanabilecek ortak önlemler vardır. Bu önlemler depreme dayanıklı yapı kavramı ile de bağlantılıdır.

Yapı sünekliğinin artırılması öncelikle düşünülmesi gerekli bir iyileştirme değildir. Süneklik, bir yapının, bir yapı elemanının veya bir kesitin, taşıma kapasitesinde önemli bir azalma olmadan büyük deformasyon yapabilme yeteneğidir. Bir yapının deprem dayanımında, plastik mafsallardan oluşan kesitlerde tüketilen enerji, önemli bir rol oynar. Yeterli enerjinin tüketilebilmesi, büyük ölçüde plastik mafsalların olduğu kesitlerin sünekliğine bağlıdır.

Bir betonarme kesitin sünekliği, eksenel yük düzeyi yükseldikçe azalır. Bu nedenle, eksenel yük düzeyi çok düşük olan kirişlerin sünekliği kolonlarınkine oranla çok daha yüksektir. Bu durum göz önünde bulundurularak çerçeve tasarımı yapılırken plastik mafsalların kolonlarda değil, kirişlerde oluşturulmasına özen

gösterilir. Deprem yönetmeliğinde yer alan ve kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu, kirişin kolona göre daha sünek bir davranış sergilemesi gerekliliğinden kaynaklanmaktadır (Ersoy ve Özcebe, 2001, s.296). Sünekliği arttırmak için mantolama, uygulanabilecek olan en ideal güçlendirme yöntemlerinden biri olarak literatürde yer almaktadır.

Bir diğer yöntem yapı ağırlığını azaltmaktır. Bir yapıya gelen deprem kuvveti yapının ağırlığı ile orantılıdır. Bina ağırlığında yapılacak olan bir azaltma, yapıya etkiyecek olan deprem kuvvetinin aynı oranda azalmasına neden olacaktır. Bunun için yapıda tuğla duvar uygulaması yerine daha hafif malzeme kullanımı tercih edilebilir. Mevcut bir yapının üst katlarından bir ya da birkaçı yıkılabilir. Yapı içerisinde kullanılan ağır eşyalar veya iç/dış yüzeylerde kullanılan taş kaplamalar kaldırılabilir.

Deprem kuvveti etkisi altında taşıma gücünde azalma meydana gelmiş olan yapıda; yapının taşıma gücünün artırılabilmesi için, hasar görmüş olan taşıyıcı elemanların yeni elemanlarla takviyesi, sistem içinde uygun ilave taşıyıcı elemanların yerleştirilmesi, mevcut elemanların enkesitlerinin genişletilmesi gibi yöntemlere başvurulur. Bu yöntemler sonucunda, yapı deprem yüklerine karşı daha elastik bölgede kalarak hasar oluşmadan kuvvetlere karşı koyabilmektedir.

Diğer bir yöntem de yapı dinamik özelliklerinin iyileştirilmesidir. Yapıdaki hasar, asal titreşim periyodu ile zemin hakim periyodunun birbirine çok yakın olmasından dolayı oluşan rezonans ile ilgili ise, yapının dinamik özellikleri değiştirilip yapı periyodu ile zemin hakim periyodunun birbirinden uzaklaştırılması sağlanabilir.

Yapının sönüm oranının artırılması ve yapıdaki katlar arasındaki rijitlik değişimlerinin uyumlu olmasının sağlanması da yapının dinamik özelliklerini iyileştiren önlemlerdir. Yapı rijitliğinin üst katlardan aşağı doğru giderek artması, katlar arasında ani ve büyük rijitlik farklarının olmaması üst kattan gelen perde duvarın zemin katta yapılmamış olmasından ya da zemin katta yapılan perde

duvarların üst katlarda kesilmemesi, yapının dinamik özelliklerini iyileştiren önlemlerdir (Tankut ve Ersoy, 1993).

Son olarak da yapı eksantrisitesinin giderilmesi yönteminden bahsedilebilir. Yapı rijitlik merkezi ile taşıyıcı elemanların ağırlık merkezlerinin çakışmaması sonucu burulma meydana gelir. Bu durumu engellemek için eksantrisiteyi yok edecek perde duvar ekleme yoluna gidilebilir. Böylelikle kütle ve rijitlik merkezleri olabildiğince birbirine yaklaşarak burulma oluşması engellenebilir.

3.2 Güçlendirme Esasları

Betonarme elemanların güçlendirilmesi için çok iyi bir davranış bilgisi gerekmektedir. Yapının tamamı gözönüne alınmadan yapılan bir güçlendirme işlemi yapıya yarar yerine zarar verebilir. Bu zararlar, aşağıdaki gibi özetlenebilir.

a) Yapı Geometrisinde Değişme: Güçlendirme işlemi yapı taşıyıcı sistem geometrisini değiştirebilir. Kirişlerin mevcut donatıları yeni durum için uygun değil ise yeni sorunlar açığa çıkabilir.

b) Eleman Rijitliğinde Değişme: Güçlendirme işlemi sonucu eğilme rijitliğinde önemli artışlar görülebilir ve bunun sonucunda elemanlar arasındaki moment dağılımında da değişiklikler oluşabilir. Bu etkiler güçlendirme işleminde mutlaka gözönüne alınmalıdır.

c) Ankastrelik Derecesinde Değişme: Güçlendirme işlemi ile hem yapı elemanlarının kendisinin hem de diğer elemanlar için sınır koşullarının değişmesi söz konusudur. Bu değişim sonucu istenmeyen zorlama artışlarının oluşması yapı için sorun olabilmektedir.

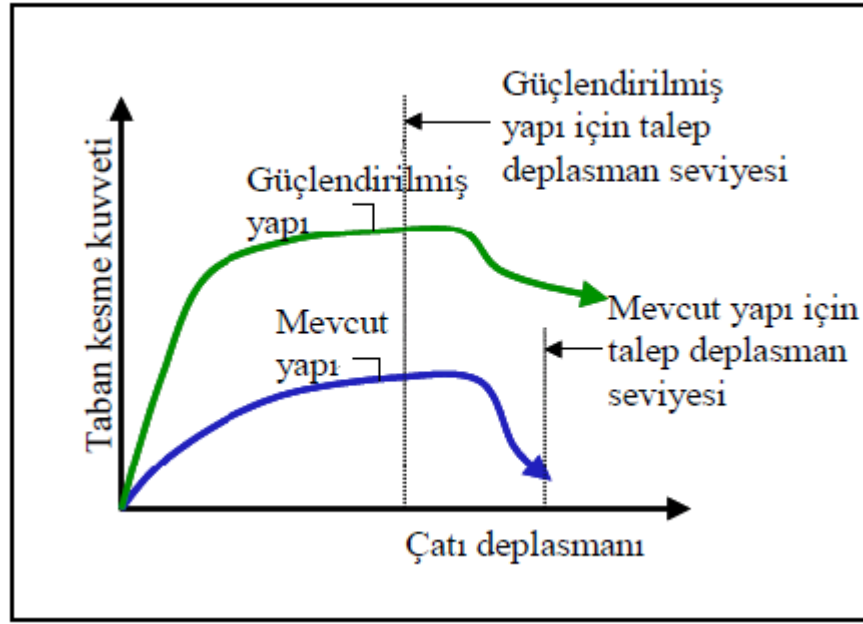
d) Donatı Yüzdesinin Artması: Kirişlerin eğilme için güçlendirilmesi ile çekme donatısının artırılması sonucu donatı yüzdeleri yönetmeliklerce yasaklanmış olan denge üstü donatılı bir kiriş durumuna gelebilir. Bu kontrollerin yapılması gereklidir.

3.3 Güçlendirme Yöntemleri

Betonarme yapıların güçlendirilmesi esas olarak eleman iyileştirilmesi ile güçlendirme ve sistem iyileştirilmesi ile güçlendirme olmak üzere iki tür olarak uygulanmaktadır. Bunların dışında, güçlendirme yöntemi olarak adlandırılmayan deprem talebini azaltmaya yarayan sönümleyici ve izolatörlerin kullanımına da rastlanmaktadır.

3.4 Sistem İyileştirilmesi ile Güçlendirme

Özellikle Türkiye’de yaygın olarak kullanılan güçlendirme yöntemi, sistem iyileştirmesi yöntemidir. Bu yöntemde elemanların yetersizlikleri sistem kapasitesi artırılarak giderilir. Sisteme eklenen yeni elemanlar (genellikle perdeler) yapının yatay yük kapasitesini artırır ancak sünekliğine ciddi bir etkileri olmaz. Şekil 3.1’ de sistem güçlendirmesi yapılan bir yapıdaki muhtemel kapasite değişimi görülmektedir. Güçlendirme ile yapının rijitliği artmakta ve deplasman talebi azalmaktadır. Yani burada yapının hedef deplasmana ulaşması yerine hedef deplasmanın küçültülmesi gibi bir hedef seçilmiş olmaktadır. Yapıda daha az bölgeye müdahale gerektiren bu yöntem ekonomik olmasına karşın, çerçevedeki bazı duvarların yıkılarak yerine yeni perdeler yapılması gerektiğinden yapının kullanımını aksatmakta ve yapı sahipleri için caydırıcı olmaktadır.



Şekil 3.1 Sistem iyileştirilmesi ile güçlendirme.

Deprem dayanımı oldukça yetersiz yapılarda genelde uygulanan güçlendirme yöntemi, sistem iyileştirilmesidir. Eleman iyileştirmesi ise genellikle, az sayıdaki elemanın gevrek kırılması ile yapının talep deplasman seviyesine ulaşamadığı durumlarda ekonomik olarak uygulanabilen bir yöntemdir.

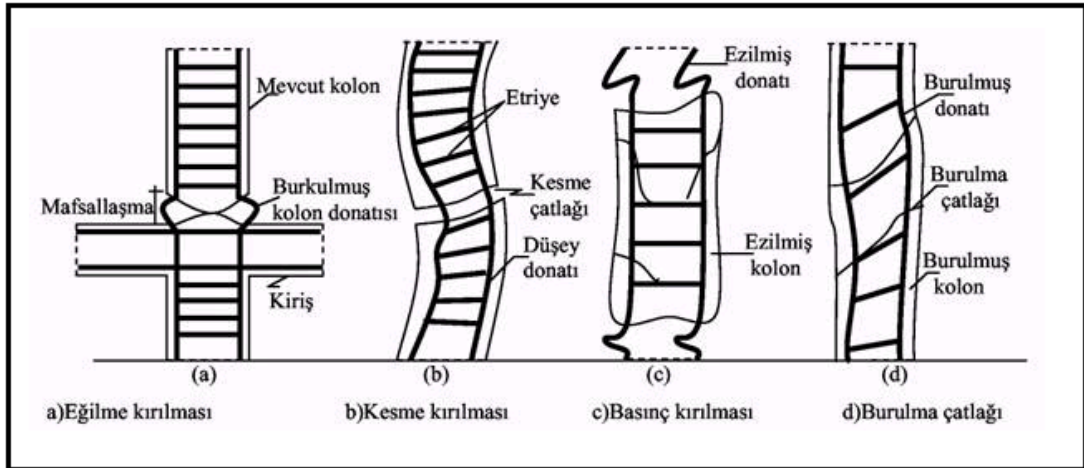
- Sistem İyileştirilmesi ile Güçlendirme Aşamaları ve Metotları: Yapı güvenliğinin belirlenmesi işlemi sonucunda yetersiz dayanıma sahip olduğu belirlenen (hasarlı veya hasarsız) bir yapının güçlendirilmesi gereklidir. Yapı güvenliğinin belirlenmesi aşamasında mevcut sistemin tüm hesapları eldeki malzeme bilgileri kullanılarak yeniden yapılması nedeniyle, taşıyıcı sistemin zayıflıkları bilinmektedir.

Yapının güvenliğinin belirlenmesinin ardından güçlendirme projelerinin hazırlanması aşaması gelmektedir. Yapı sisteminin iyileştirilmesi amacıyla yapılacak olan güçlendirme yönteminin seçimi yapının taşıyıcı sistemine, kullanım amacına, işin tamamlanma sürecine, yapının konumuna ve ekonomik kısıtlamalara bağlı olarak gerçekleştirilmektedir.

Sistem iyileştirilmesi yapının yanal rijitliğinin artırılması ile özdeştir. Yapıda, çok sayıda elemanın güçlendirilmesi gerekiyorsa, yeterli yanal rijitlik yoksa, gevrek kırılmaya neden olacak detay hataları varsa, yumuşak kat, kısa kolon olumsuzlukları varsa sistem iyileştirilmesi gerekli olmaktadır.

Bu amaçla, betonarme perdelerin veya çelik çaprazların kullanılması gündeme gelmektedir.

a) Betonarme Dolgu Perdelerin Sistem İyileştirmesi ile Güçlendirilmesi: Taşıyıcı sistemin depremde yatay yükleri karşılayacak ortagonal çerçevelerden yoksun olması ya da bu çerçevelerin, özellikle dişli döşeme sistemlerde karşılaşıldığı gibi kapasitelerinin yetersizliği ve kat ötelemelerinin oldukça büyük olması hallerinde, eleman iyileştirilmesi ile güçlendirme yöntemi yetersiz kalabilmektedir. Bu durumda plandaki sayıları üçten az olmamak kaydıyla, yapı yüksekliğince devam eden yeni betonarme perdelerin eklenmesi, sistemin yatay yük taşıma kapasitesini artırmaktadır.

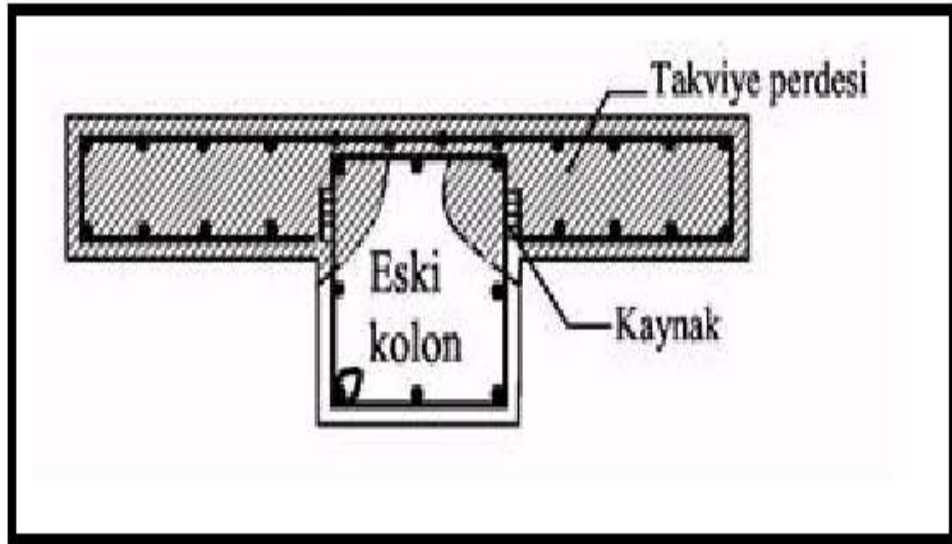


Şekil 3.2 Kolonlarda oluşan hataların şekilsel gösterimi.

Genel hatlarıyla betonarme kolonlarda dört çeşit hasar meydana gelmektedir. Bunlardan eğilme kırılması, deprem etkileri ile kolona gelen eğilme momentinin artması sonucu kolon uçlarında mafsallaşma meydana gelmesi ile oluşur (Şekil 3.2a). Kesme kırılması ise kolona gelen kesme kuvvetini kolonun taşıyamaması sonucu oluşur (Şekil 3.2b). Kolon kesitinin en dış lifindeki beton ezilmeye başladığında,

donatı henüz akma birim uzamasına ulaşmamış ise kolonda basınç kırılmaları ortaya çıkmaktadır(Şekil 3.2c). Yapının kütle ve rijitlik merkezleri çakışık değilse kolonlarda burulma kırılmalarının olabileceği dikkate alınmalıdır (Şekil 3.2d).

Kolonda yukarıda anlatılan herhangi bir hasarın oluşması durumunda, kolonun her iki yanına kanat biçiminde perde duvar eklenebilir. Bu durumda perdenin yatay donatısı, kolonun yatay donatısına kaynakla bağlanmalıdır. Daha sonra betonlama işlemi yapılarak eski betonun yeni perde içinde yer alması sağlanmalıdır. Böylece mevcut kolon betonarme perde arasına alınarak kesiti büyütülmüş ve yük taşıma kapasitesi artırılmış olur (Şekil 3.3, 3.4).



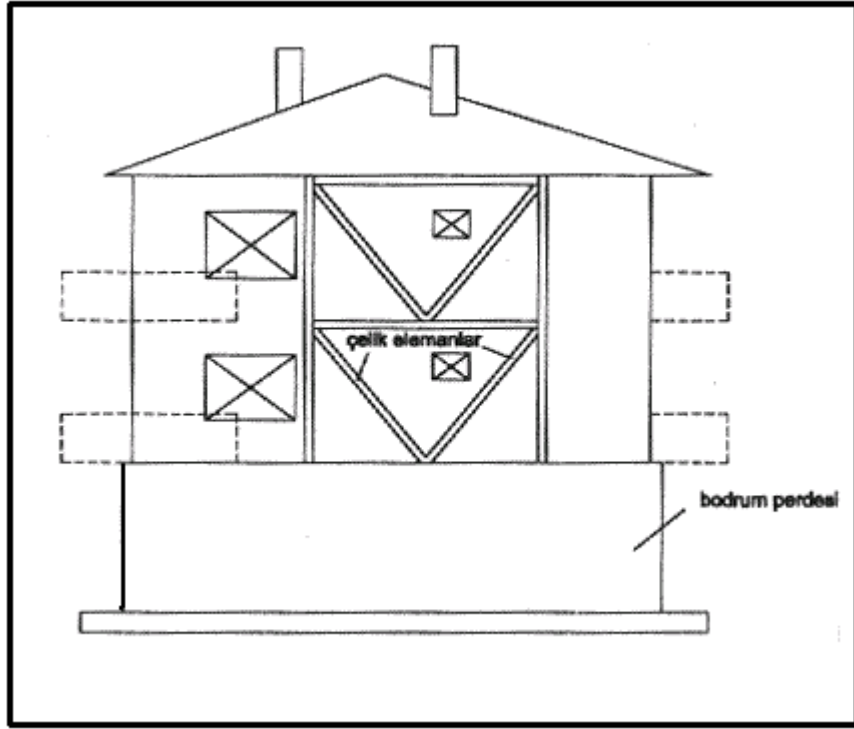
Şekil 3.3 Betonarme kolonun perde duvarla takviyesi.



Şekil 3.4 Perde duvar ile güçlendirilme.

b) Çelik Çaprazlarla Güçlendirme: Yatay deprem yüklerini karşılayabilecek elemanların eksik ya da yetersiz olduğu taşıyıcı sistemlerde, özellikle mekanın ve imalat yapılmasının uygun olmadığı yapı hacimlerinde, betonarme perde eklenmesi yerine karşı mevcut kolon ve kirişlere komşu çelik çaprazlardan oluşan bir sistem eklenmektedir. Ancak betonarme perdeler kadar yüksek düzeyde taşıma kapasitesine sahip bulunmadıklarından, çelik profillerin boyutları büyük olabilmektedir. Diğer yandan kullanılan çelik çapraz elemanların köşelerinde yoğun gerilme birikimi meydana gelmesi nedeniyle bu gerilmelerin betonarme elemanlara aktarımında sorun olabilmektedir. Özellikle beton kalitesi düşük olan yapılarda bu köşelerin çelik levhalarla güçlendirilmesi de gerekmektedir.

Bu yöntemle, kolonlar arasındaki bir çerçeve açıklığının içerisine çelik çaprazlar yerleştirilerek ek yanal rijitlik elde edilmesi sağlanmaktadır. Çelik çaprazların kolon-kiriş birleşimlerinde oluşturduğu gerilme birikimleri ise çelik çerçeveler kullanılarak dağıtılır.



Şekil 3.5 Çelik çaprazlarla güçlendirilmiş bina

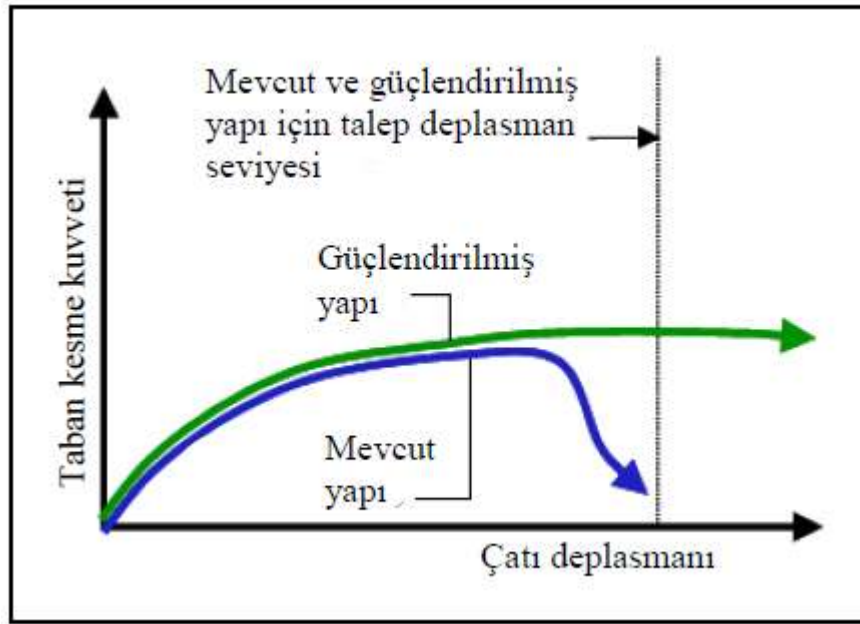
Her iki yöntemin kullanılmasında, kat burulmasını en aza indirecek biçimde rijit elemanların planda yerleştirilmesine ve katlar arasında rijitlik farkının en aza indirilmesinin sağlanmasına dikkat edilmelidir.

Açıklanmış olan bu güçlendirme yöntemleri uygun ve gerek görülen durumlarda birkaçı birbirini destekleyecek biçimde aynı yapı sisteminde kullanılabilir. Özellikle ciddi düzeyde depremde hasar görmüş yapılarda genellikle, taşıyıcı sistem elemanlarını başlangıç taşıma düzeyine getirmek amacı ile bir onarım ve ardından yetkin mühendislik tasarımına uygun bir güçlendirme yapılması gerekmektedir.

3.5 Eleman İyileştirilmesi ile Güçlendirme

Deprem yükleri altında doğrusal elastik olmayan davranış gösteren yapı elemanlarında gevrek hasar beklenen bölgelerde bu tür hasarın engellenerek sünek davranışın elde edilmesi ve böylece yapının yük kapasitesi artırılmaksızın, deplasman kapasitesinin artırılması yoluyla güçlendirilmesi, eleman güçlendirilmesi olarak bilinmektedir.

Şekil 3.6’ da eleman iyileştirmesi ile yapılan güçlendirmenin yapı kapasitesine ve performansına etkisi gösterilmiştir. Eleman iyileştirmesi ile yapının yatay yük taşıma kapasitesinde ciddi bir değişim olmamış fakat güçlendirilen elemanın sünek davranışı ile yapı sünekliği artmıştır. Rijitliği değişmeyen yapıdan depremin talep ettiği deplasman seviyesi değişmemiştir. Güçlendirme ile yapının hedef deplasmana ulaşabilmesi sağlanmıştır. Yapıda az sayıda problemli elemanın bulunması durumunda uygulanması ekonomik sonuçlar vermektedir.



Şekil 3.6 Eleman iyileştirilmesi ile güçlendirme.

- Eleman İyileştirilmesi ile Güçlendirme Metotları: Hasarlı elemanların iyileştirilmesi çeşitli yöntemler ile gerçekleştirilebilir. Bu yöntemler içerisinde en sıkça kullanılanlar şu başlıklar altında toplanabilir:

a) Mantolama: Kapasitesi yetersiz olan elemanların kesitlerini ve kesitlerin içindeki donatı miktarını artırmak, başka bir deyişle kesitin taşıma kapasitesini yükseltmek amacıyla uygulanan güçlendirme yöntemidir. Hem kirişler hem de kolon ve perdelerle uygulanabilen mantolama tekniği, korozyon düzeyi oldukça yüksek elemanlarda da kullanılmaktadır.

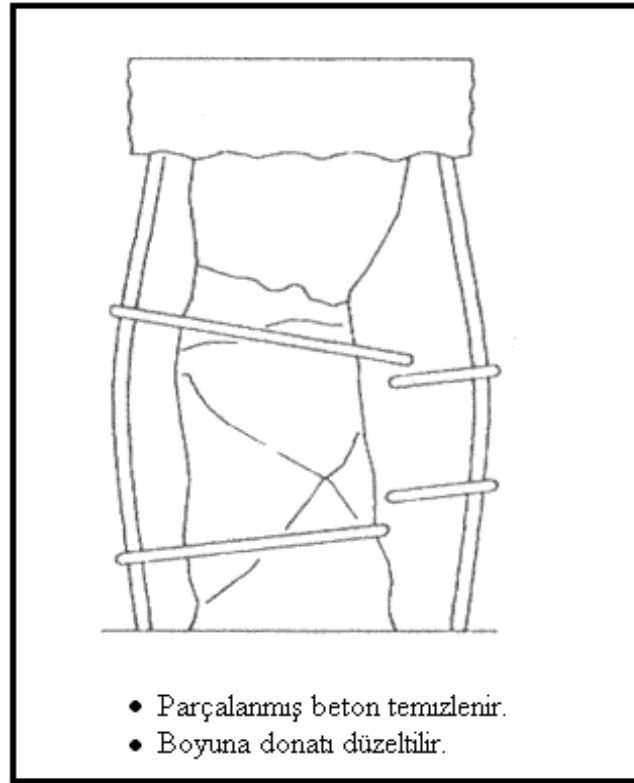
İki çeşit mantolama yöntemi mevcuttur. Bunlar çelik mantolama ve betonarme mantolamadır.

- Çelik Mantolama: Bu yöntem ile kolon ve kiriş içinde olması gereken sargı donatısı, çelik bantlar kullanılarak elemanın dışında sağlanmaktadır.

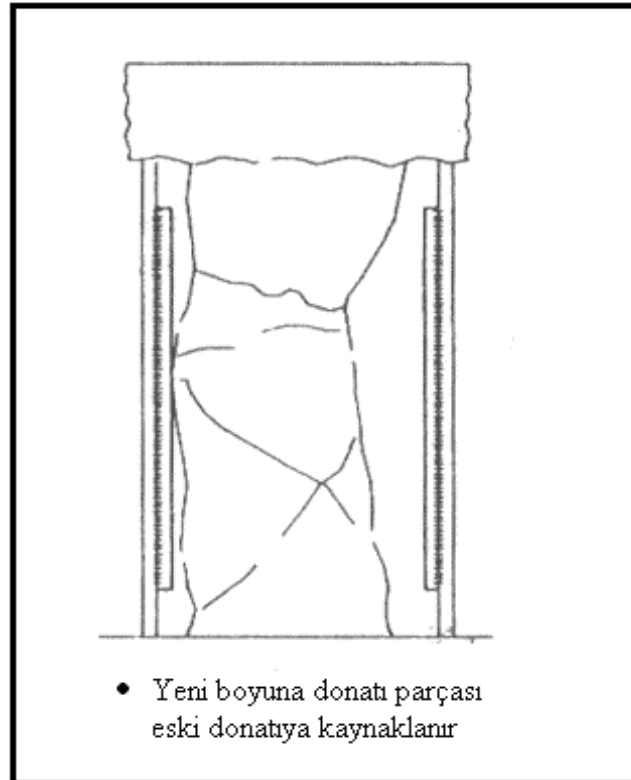
Çelik manto, kolonun dört köşesine oturtulan çelik köşebentlerin, belirli sıklıkta çelik lamalarla birleştirilmesiyle oluşturulur. Lamalar köşebentlere kaynaklanarak birleştirilir. Bu tür mantoda önemli olan, düşey olarak köşelere yerleştirilen köşebentlerin, üstte ve altta konulan plakalarla betonarme elemanlara sıkıca oturtulmasıdır. Eğer yapılabilirse, krikolar aracılığıyla üstte yaslanılacak kiriş biraz itilmeli sonra köşebentler yerleştirilmelidir. Bu yapılamıyorsa, sistem alttaki plakanın çelik kamalarla sıkıştırılmasıyla oturtulabilir. Şekil 3.7' de kolona uygulanmış olan çelik mantolama örneği gösterilmektedir.

Çelik manto, dört köşesine giydirilen çelik köşebentlerin sağladığı alanla kolonun eksenel yük kapasitesini artırır. Enine düzenlenen lamalar, sık olarak yerleştirilir ve altına konulan harçla lamaların beton yüzeye tam olarak yaslanması sağlandığında bu imalat kolonun sünekliğini de artırmaktadır. Ancak çelik manto ile kolonun eğilme kapasitesini artırmak, çok özel detaylar oluşturulmadıkça olası değildir. Başka bir deyişle çelik manto, katlar arası süreklilik sağlamadığı için kolonun eğilme kapasitesine bir katkı sağlamamaktadır.

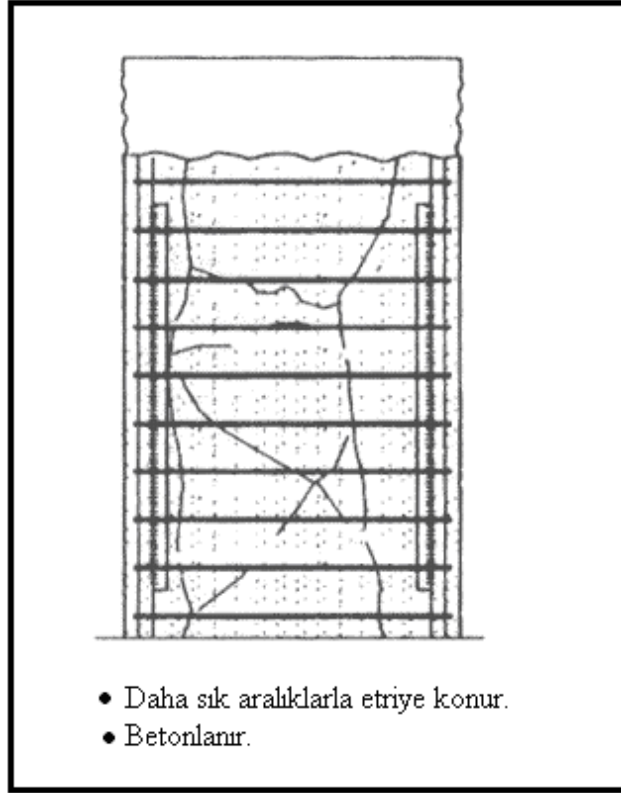
- Betonarme Mantolama: Bu yöntem genellikle kolonlarda uygulanır. Bu yöntemde kolonun üzerindeki hasarlı beton tabakası, etriyeler ve boyuna donatı ile belirlen kolon "çekirdek" bölümüne kadar kaldırılmaktadır. Mevcut beton basınçlı su ile yıkanarak toz ve gevşek malzemeden temizlenmelidir. Mantolama sırasında eklenen yeni katmanların kalınlığı 5 ya 10 cm olacaktır. Eklenen bu yeni katmanın içinde hem boyuna donatı hem de etriye olduğundan, manto kolonun kesme ve eksenel yük taşıma kapasitelerini artacaktır. Manto içerisine yerleştirilen boyuna donatıların katlar arasında sürekliliği sağlanırsa, kolonun eğilme kapasitesi de artmaktadır.



Şekil 3.7 Kolonda betonarme mantolama uygulaması 1.



Şekil 3.8 Kolonda betonarme mantolama uygulaması 2.



Şekil 3.9 Kolonda betonarme mantolama uygulaması 3.



Şekil 3.10 Kolonda çelik mantolama uygulaması

Yukarıdaki şekillerde mafsallaşmış kolon uçlarının betonarme mantolama uygulaması ile onarımın şekilleri gösterilmiştir.

BÖLÜM DÖRT

DEPREM PERFORMANSI

4.1 Deprem Performansının Belirlenmesi İçin Genel Bilgiler

4.1.1 Bina Deprem Performans Seviyeleri

Binaların deprem performansının belirlenmesi, deprem etkisi altında kalan binada oluşması beklenen hasarın durumu ile bağlantılıdır ve dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır. (DBYBHY 2007, Bölüm 7.7.3)

- Hemen Kullanım Seviyesi (HK)

Binanın herhangi bir katında, göz önüne alınan deprem doğrultusu için yapılan değerlendirmede, kirişlerin en fazla %10'u Belirgin Hasar Bölgesinde bulunabilir. Ancak diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesindedir. Varsa gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri koşulu ile binanın Hemen Kullanım Performans Düzeyinde olduğu kabul edilir.

Bu seviyede, tüm elemanlar rijitlik ve dayanım gibi özelliklerini korumaktadırlar. Yapıda kalıcı ötelemeler oluşmamıştır ve güçlendirilmesine gerek yoktur.

- Can Güvenliği Seviyesi (CG)

Uygulanan sismik etkiler altında yapısal (taşıyıcı) elemanların bir kısmında hasara izin verilebilir, fakat bu elemanlar yatay rijitliklerini ve dayanımlarını önemli ölçüde korumaktadırlar. Düşey elemanlar düşey yükleri rahatlıkla taşıyabilir. Taşıyıcı olmayan elemanlarda, dolgu duvarlarda yıkılma olmaması kaydıyla hasara izin verilir. Binada az miktarda kalıcı ötelemeler oluşabilir; ancak bunlar gözle fark edilebilir büyüklükte olmamalıdır (Özer, 1980).

Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Can Güvenliği Performans Düzeyinde olduğu kabul edilir:

a) Binanın herhangi bir katında, uygulanmış her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki (b) paragrafında tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesine geçebilir. İkincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler, bu kurala dahil değildir.

b) İleri Hasar Bölgesindeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olmalıdır.

c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesidir. Fakat herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden DBYBHY 2007'de verilen güçlü kolon şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler. (DBYBHY 2007)

- Göçme Öncesi Performans Seviyesi (GÖ)

Uygulanan sismik etkiler altında yapısal (taşıyıcı) elemanların önemli bir kısmında hasar görülür. Bu elemanların bazılarında yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünün kaybolduğu gözlemlenir. Düşey elemanlar düşey yüklerin taşınmasında yeterlidir; ancak bazıları eksenel kapasitelerine ulaşmıştır. Yapısal olmayan elemanlar hasarlıdır, dolgu duvarlarının bir bölümü yıkılmıştır. Yapıda kalıcı ötelemeler oluşmuştur (Özer,1980).

Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesinde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Göçme Öncesi Performans Düzeyinde olduğu kabul edilir:

a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesine geçebilir. İkincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler, bu kurala dahil değildir.

b) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesindedir. Fakat binanın herhangi bir katında alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden DBYBHY 2007'de verilen güçlü kolon şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler (DBYBHY 2007).

c) Binanın mevcut durumunda kullanımı Can Güvenliği bakımından sakıncalıdır, bu yüzden bina güçlendirilmelidir. Fakat bu karar alınırken, ekonomik etkiler ve özellikle fayda/maliyet analizinin iyi yapılması gerekmektedir (DBYBHY 2007).

- Göçme Durumu (GD)

Bina Göçme Öncesi performans düzeyini sağlamıyorsa Göçme Durumundadır. Yapı, sismik etkiler karşısında tamamen yıkılmıştır veya yıkılma pozisyonuna geçmiştir. Daha sonra meydana gelebilecek hafif şiddette bir deprem etkisinde, yıkılma olasılığı oldukça yüksektir. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından kesinlikle sakıncalıdır.

4.2 Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

Doğrusal elastik yöntemde göreli kat ötelemeleri yapısal sistemde yapısal olmayan hasarını sınırlı tutmak için sınırlandırılır. Doğrusal elastik olmayan

yöntemde beton ve donatının birim deformasyonları doğrudan sınırlandırıldığı için ayrıca görelî kat ötelemesi kontrolüne gerek duyulmaz (Celep,2007). Doğrusal elastik yöntemlerle yapılan hesapta bir deprem doğrultusunda, binanın herhangi bir katındaki kolon veya perdelerin görelî kat ötelemeleri, her bir hasar sınırı için Tablo 4.1’ deki verilen değeri aşmayacaktır (Özer,1980).

Tablo 4.1 Görelî kat ötelemesi sınırları

Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Hasar Sınırı		
	MN	GV	GÇ
δ_{ji} / h_{ji}	0.01	0.03	0.04

δ_{ji} : i. katta j. kolon veya perdenin alt ve üst uçları arasında yer değıştirme farkı olarak hesaplanan görelî kat ötelemesi,

h_{ji} : İlgili elemanın yüksekliğı olarak tanımlanır.

Tablo 4.1 incelendiğinde, hasar sınırı ilerledikçe izin verilen sınırların büyüdüğü görölmektedir (Celep,2007).

4.3 Mevcut Bir Binanın Kullanım Amacı ve Türü

Bu alt bölümde ileri bölümde çözümü verilecek olan örnek bir binanın doğrusal olmayan hesap modelinin oluşturulması ve Doğrusal Olmayan Statik Artırımsal İtme Analizi Yöntemi ile itme analizinin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan bina kullanım amacı ve türü ile ilgili bilgiler verilmiştir. DBYBHY 2007’ de yer alan farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Tablo 4.2’ de verilmiştir.

Tablo 4.2 Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	---	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	---	HK	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri, vb.	HK	CG	---
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar, vb.	---	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	---	CG	---

HK: Hemen Kullanım; **CG:** Can Güvenliği; **GÖ:** Göçmenin Önlenmesi.

4.4 Bina Bilgi Düzeyi

Bina bilgi düzeyini belirlemek amacıyla gerekli bilgiler DBYBHY’ te üç ana grup içinde değerlendirilmektedir (Tablo 4.3) incelenecek olur ise bina bilgi düzeyleriyle ilgili şu bilgilere ulaşılabilir.

Tablo 4.3 Binalar için bilgi düzeyleri katsayıları

BİLGİ DÜZEYİ	BİLGİ DÜZEYİ KATSAYISI
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

Sınırlı bilgi düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlere göre belirlenir.

Orta bilgi düzeyi: Eğer binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılmalıdır. Eğer binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut ise sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen ölçümler yapılarak proje bilgileri teyit edilir.

Kapsamlı bilgi düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur ve proje bilgilerinin doğrulanması amacıyla yeterli düzeyde ölçümler yapılır.

Binalar için toplanarak değerlendirilen bilgiler kapsamında, DBYBHY’ te verilen ve bu çalışmadaki Tablo 4.3’ ten yararlanarak bilgi düzey katsayısı belirlenir.

4.5 Artırımsal İtme Analizi ile İtme Eğrisinin Bulunması

Depreme dayanıklı yapı tasarımında ana ilke, insanların can güvenliğinin sağlanması, deprem etkisi altında binada oluşacak hasarların en aza indirilmesi olmaktadır. Yapı mühendisliğinde amaç yapının tamamen göçmesini engellemek ve çok büyük bir deprem sonrasında bile ekonomik olarak güçlendirilebilir durumda

olmasını sağlamaktır. Yapıların tasarlanmasında kullanılan doğrusal analiz yöntemleri; yapıya etki ettirilen yatay ve düşey yükler altında, malzeme özelliklerine bağlı olarak yapının elastik kapasitesi ve ilk akma durumunun yerinin belirlenmesi hakkında fikir verir. Ancak, malzemelerin doğrusal davranmamasıyla birlikte, akma sonrası kuvvet dağılımlarını ve hasar mekanizmasını belirlemede yetersiz kalır. Buradan çıkarılacak sonuç, doğrusal hesap yöntemlerinin yapının deprem hesabında yetersiz kaldığıdır. Buna karşın, doğrusal olmayan analiz yöntemleri, binaların göçme anına kadar olan davranışlarının ve yıkılma durumundaki mod şekillerinin nasıl olacağını bir yaklaşımla gösterir. Yapıların yükler altında elastik sınır aşıldıktan sonraki davranışını daha gerçekçi ve daha esnek yorumlayabilmek, gerçeğe yakın çözümler elde edebilmek için doğrusal olmayan yöntemler kullanılmaktadır.

Taşıyıcı sistemin geometrisi, kesiti, malzeme özellikleri ve taşıyıcı sistemin elastik ötesi davranışı gözönüne alınarak sisteme adım adım yatay yük yükleme yapılır ve toplam yatay yükle en son noktanın yer değiştirmesi arasındaki ilişki elde edilir. Bu analize “Artırımsal İtme Analizi (Pushover)”, bulunan eğriye “Yatay Yük Kapasite Eğrisi” denir. Yatay yükün değişiminin deprem etkisinde olduğu gibi birinci titreşim modu ve kat kütleleri ile orantılı olduğu kabul edilmektedir.

4.6 İtme Eğrisini Belirlemek İçin Adım Adım Yapılması Gereken İşlemler

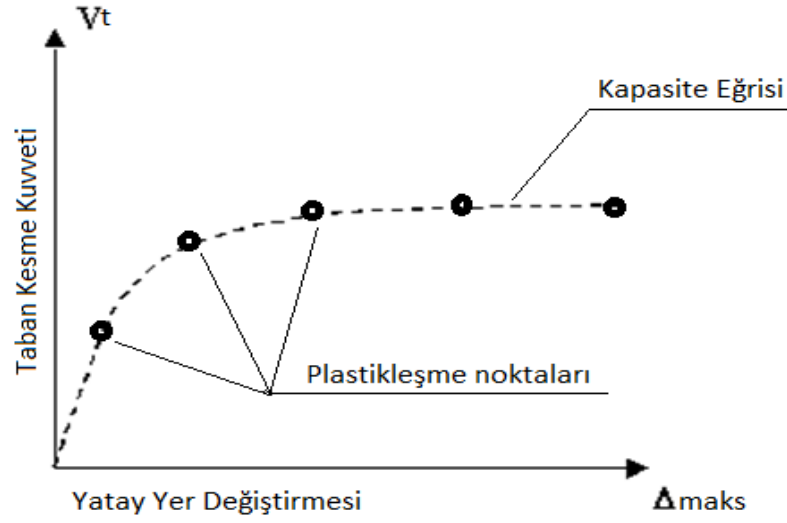
Artırımsal İtme Analizi sonucunda elde edilen eğri, itme eğrisi olarak adlandırılmaktadır. Bir yapının performansa dayalı analizindeki ilk adım, İtme eğrisinin tespit edilmesidir. İtme eğrileri; belirli bir yapının ilk konumundan labil hale gelinceye kadar geçen süre içerisinde, yapıya artırılarak uygulanan yük etkisi altında, taban kesme kuvvetlerine karşılık gelen çatı yer değiştirme değerlerinin bir etkileşim diyagramı üzerinde kesişen noktaların geometrik olarak birleştirilmesiyle elde edilen diyagramlardır (Bağcı, 2005). Yapının kapasitesi bu diyagramlarla ifade edilir. Bu diyagramlar veya eğriler, Pushover eğrisi olarak da anılmaktadır. Bu eğrileri belirlemek için yapılan analiz ise Pushover Analizi’ dir (ATC40, 1996).

İtme eğrisini oluştururken, yapının birinci doğal titreşim modu esas alınarak yüklemeler yapılır. Bu yüklemeler sonucunda yapıda meydana gelen taban kesme kuvveti ve yatay yer değiştirme dikkate alınır. Bu türden bir yaklaşım, ancak doğal titreşim periyodu bir saniye veya bir saniyeden az olan yapılar için uygulanabilir. Bu tip yapılarda, daha yüksek modların yapıya etkileri çok azdır ve bu etkiler ihmal edilebilir. Çok katlı ve sünekliği daha fazla olan yapılar dikkate alındığında, bu tip yapıların birinci moda ait doğal titreşim periyodu bir saniyeden daha fazla olarak hesaplanır ve yüksek modların yapıya etkisi ihmal edilemeyecek kadar fazladır. Bu sebeple, böyle yapılarda hesap yapılırken daha yüksek modların etkisi de gözönüne alınmalıdır (ATC40, 1996).

İtme eğrisini oluşturulmasında ilk adım olarak; yapının zati ağırlığının gözardı edilmediği durumda, her kata ait yatay kuvvetler, birinci mod şekline uygun olarak kat kütlelerinin toplandığı kabul edilen kütle merkezlerine uygulanır. Düşey ve yatay yüklemeler sonucunda, Deprem Yönetmeliği içerisinde yer alan $(G+nQ)$ yükleme kombinasyonu dikkate alınarak elemanlardaki kesit tesirleri hesaplanır. Burada “G” zati yükü, “Q” hareketli yükü, “n” hareketli yük katılım katsayısını simgelemektedir. Oluşan taban kesme kuvvetleri ve çatı yer değiştirmeleri kaydedilir. Bunların yanında eleman iç kuvvetleri ve dönmelerin de kaydedilmesi, ileriki aşamalarda performans kontrolü için gerekli olacaktır. Mafsallaşan elemanlar için, rijitlik sıfır alınarak model tekrar kontrol edilir. Başka bir eleman akmaya ulaşana veya mafsallaşana kadar yatay yük artırılma işlemine devam edilir. Yatay yük artırım işleminin belirli bir aşamasından sonra, taban kesme kuvvetine karşılık gelen çatı yer değiştirmesi çok fazla artış gösterebilir. Bu durum, yapının yük taşıma kapasitesinin yavaş yavaş azaldığının bir göstergesidir. Bu duruma aldırış edilmeden yatay yük artışına devam edilir. Taban kesme kuvveti – yer değiştirme etkileri birbirinden çok fazla farklılık gösteren düzenli olmayan bir duruma gelindiğinde, yapı elemanları veya eleman grupları tamamıyla göçmeye başlıyor demektir. Bu durumda yapı düşey yük taşıma kapasitesini de kaybetmektedir. Bu adım, Artırımsal İtme Analizi’ ndeki son adımdır. Bu işlem sonunda yapıyı mekanizma durumuna getiren göçme yükü (limit yükü) bulunmuş olur (ATC40, 1996). Artırımsal İtme Analizi sonucu elde

edilen tipik bir taban kesme kuvveti – tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi Şekil 4.1’ de verilmiştir.

Günümüzde itme eğrisinin elde edilmesine yönelik bu işlemler bilgisayar programlarıyla kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu amaç doğrultusunda ETABS, SAP2000, RISA, SEISMOSTRUCT, DRAIN gibi programlar kullanılmaktadır.



Şekil 4.1. Artırımsal itme analizi ile kapasite eğrisinin elde edilmesi

4.7 Yatay Yer Değiştirme Katsayısının Belirlenmesi

Bir binanın dinamik analizinden elde edilen büyüklükler dikkate alınarak, binanın deprem sırasında yapması gereken yatay yerdeğiştirme değerleri FEMA 356’da tanımlanan ve 2007 deprem yönetmeliğinde de yer alan “yer değiştirme katsayıları” yöntemi kullanılarak belirlenmektedir. FEMA 356’ya göre yapının tasarım depremi altında yapması gereken yatay yer değiştirme;

$$\delta_t = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \text{ dir.} \quad (4.1)$$

Burada;

C_0 : Kontrol Noktasındaki 1. mod Katılım Faktörü,

C_1 : Elastik ve elastik olmayan yer değiştirmeleri ilişkilendirme katsayısı olup;

$$C_1 = 1.0 \quad (T_e > T_B) \text{ (Eşdeğer yer değiştirme kuralı)}$$

$$C_1 = [1.0 + (R-1)T_B/T_e]/R \quad (T_e < T_B) \text{ (Eşdeğer enerji kuralı)}$$

olarak tanımlanmıştır.

T_e : Hesap yapılan doğrultudaki etkin yapı periyodu,

T_B : Tasarım Deprem Spektrumunun Karakteristik bir değeri olup Deprem Yönetmeliği'nde farklı zemin türleri için verilmektedir.

R : Elastik dayanım talebinin hesaplanan akma dayanımı katsayısına oranı olup;

$$R = \frac{S_a}{V_y / W} C_m \quad (4.2)$$

bağıntısından hesaplanır.

Burada;

C_m : Etkin kütle faktörü olup FEMA 356'da betonarme çerçeveler için,

$$C_m = 0.9$$

olarak verilmiş,

V_y : Yapının akma dayanımı

W : Yapının ağırlığı

C_2 : Malzeme karakteristikleri ve bunların yapı deplasmanına etkisini tanımlayan katsayı,

C_3 : İkinci merteye etkileri tanımlayan katsayı,

S_a : Hesap yapılan yöndeki 1. periyoda karşı gelen spektral ivme katsayısıdır.

g : Yerçekimi ivmesidir.

Yapının deprem sırasında yapması gereken talep yer değiştirme, 2007 deprem yönetmeliğinde verilen;

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (4.3)$$

ifadesi ile hesaplandığında yapı için bulunan talep yer değıştirme değerlerinin yukarıda tanımlanan yer değıştirme katsayıları yöntemindeki denklemden elde edilen değerlerle aynı olduğu görölmektedir.

BÖLÜM BEŞ

CFRP GÜÇLENDİRME MALZEMESİ

5.1 FRP Nedir?

Kısaca 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 göre 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 yapıştıran 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 dokumalar 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 arttırılmasında etkili bir şekilde kullanılabilmekte olan bu malzemelerle yapılacak olan güçlendirme işlemleri, ülkemizdeki mevcut deprem yönetmeliğinde de uygulanabilir güçlendirme yöntemleri arasında gösterilmekte ve yönetime ait hesap yöntemleri sunulmaktadır.

5.2 Malzeme 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 konumlarına kıyasla daha yüksek dayanıma sahiptirler. Cam lifleri, büyük hacimli konumlarında olduğu gibi yüzey kusurları içermediğinden dayanımları yüksektir. Karbon liflerinde tüm bağlar kovalen türdendir ve büyük hacimli hallerindeki tabakalanma, bu durumlarında söz konusu değildir. Aramid liflerinde ise moleküllerin yönlenmiş olması ve kristalleşme gibi nedenler malzemenin nedeniyle mekanik özelliğini uzatmaktadır.

- Cam Lifleri

Dayanımlarına göre iki gruba ayrılmaktadır:

- Düşük Dayanımlılar: Bunların çekme dayanımları $1000 - 2000 \text{ N/mm}^2$ ve elastisite modülleri 70000 N/mm^2 civarındadır. E, A, C, E - CR gibi tipleri vardır ve göreceli olarak daha ucuzdurlar.

- Yüksek Dayanımlılar: Dayanımları $2000 - 3000 \text{ N/mm}^2$ ve elastisite modülleri 85000 N/mm^2 civarında olup R, S ve AR gibi tipleri vardır.

Camlar genel olarak alkali ortamlara dayanıksızdır, ancak AR tipi bu ortamlara dayanıklı hale getirilmiştir. Camların özgül ağırlıkları $2,5 \text{ g/cm}^3$ tür ve çelikten oldukça küçüktür ($7,8 \text{ g/cm}^3$).

- Karbon Lifleri

Dayanımı (3000 – 5000 N/mm²) ve elastisite modülleri (230000 – 300000 N/mm²) çok yüksektir. Özgül ağırlıkları ise 1,9 g/cm³ tür. Bu lifler genellikle poliakrilanitril (PAN) polimerlerin önce lif haline getirilmesi, sonra çekme gerilmeleri altında oksitlenme ve karbürasyon işlemlerinin uygulanması sonucu elde edilirler. Karbürasyon sıcaklığı 1000- 3000° C arasında değişir, yüksek sıcaklıkta üretilenlerin elastisite modülleri daha yüksektir. Ancak çekme dayanımı 1500° C civarında bir maksimum değerden geçerek düşer. Yüksek elastisite modülüne sahip karbon lifleri grafit olarak da adlandırılırlar.

- Aramid Lifleri:

Polimer esashlı bu liflerde çekme dayanımı 3000 N/mm² kadar çıkabilir. Elastisite modülü diğer liflere göre daha düşüktür (60000 – 120000 N/mm²). En çok bilinen tipleri Kevlar29 ve Kevlar49dur. Bu liflerin özgül ağırlığı düşük olduğu için (1,4 g/cm³) kompozit malzemelerde önemli birer parametre olan özgül dayanım (dayanım/özgül ağırlık) ve özgül elastisite modülü (elastisite modülü/özgül ağırlık) diğer kompozitlere göre yüksektir. Buna karşılık basınç dayanımları düşüktür. Aramid lifleri solventlere, yağlama ve yangına karşı daha dirençlidir. Karbon ve cam lifleri gibi gevrek olmayıp sünek davranış gösterirler.

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, epoksi poliestere, 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.

Sürekli liflerde yönelme düzlemde rastgele olabilir. Bazı kompozitlerde tüm lifler ana eksene paralel olacak şekilde yönelmiştir, 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”

5.3 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 aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Tasarımı kolay ve etkindir. Amerikan ve Avrupa tasarım normlarında standart hesap yöntemleri mevcuttur.
- Farklı fiziksel değerler için farklı kompozit malzeme kullanma imkanı vardır.
- Paslanmaz ve manyetik alan oluşturmaz.
- Yapılarda mevcut kullanımı engellemeden veya durdurmadan uygulama olanağı 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, durabiliteyi ve sünekliği 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.

5.4 CFRP Nedir?

Karbon fiber takviyeli polimerler, genellikle İngilizce orijinal adının kısaltılmasıyla CFRP (carbon fiber reinforced polymer) olarak anılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda üretilen karbonun çeşitli işlemlerden geçirilmesi ile elde edilen mikron kalınlıktaki liflerin reçinelerle birleşmesi sonucu oluşturulan güçlendirme malzemesidir.

5.5 CFRP Malzeme Özellikleri

CFRP, poliester reçine içinde gömülmüş 5 – 10 mikrometre çapında çok ince karbon elyaflardan oluşmaktadır. CFRP' ler çelikten 5,2 defa daha hafiftirler. Şu an için inşaat mühendisliğinde yaygın kullanımını engelleyen ana neden yüksek fiyatıdır

(25 İsviçre Frankı / kg). Ancak teknolojideki hızlı gelişmelere bakıldığında CFRP uygulamalarının yakın bir zaman içinde daha ekonomik olacağı söylenebilir.

Bu malzemelerin kullanımı ile yapı elemanının yük taşıma kapasitesinin geri kazanılması veya artırılması amaçlandığı için uygulama bir onarımdan çok güçlendirme işlemidir. Bu yöntem ancak yapı elemanının mevcut taşıma kapasitesinin saptanması ve kapsamlı bir projelendirmenin ardından kullanılabilir.

5.6 CFRP Kullanım Alanları

Dünyada bilinen en sağlam malzemelerden biri olan karbon lifler ipek görünüş ve inceliğinde olup, gerilmeye karşı çelikten 14 kat daha fazla dayanım göstermekte ve buna rağmen ağırlığı çeliğin beşte biri civarındadır. Bu olağanüstü dayanımı nedeni ile karbon lifleri ve karbon liflerinden dokunmuş kumaşlar endüstrinin çeşitli kademelerinde kullanılmaktadır.

Karbon liflerin kullanıldığı en eski uygulama alanlarından birisi uzay ve havacılık sektörüdür. Hafif olmasının yanı sıra en belirgin özelliği olan yüksek dayanım, karbon liflerin uçak kanatları ve gövde aksamı imalatında kullanılmasında etkili olmuştur. Günümüzde bazı uçak parçalarının standart olarak imal edilmesinde; ipek yumuşaklığında olan liflerin kolayca istenilen şekle getirilmesi ve özel epoksi reçinesi ile birleşince çelikleşmesi yönteminden yararlanılmaktadır.

Yüksek performans isteyen ve yüksek hızlarda aerodinamik yüklere maruz kalan yarış otomobillerinin kaporta aksamı, sürat teknelerinin gövdeleri de karbon liflerden imal edilmekte ve araçların performansı artırılmaktadır. Karbon liflerinin su ve nemden etkilenmemesi ve korozyon probleminin olmaması da ayrıca bir avantaj oluşturmaktadır. Hafifliği ve dayanımı nedeniyle bisiklet, tenis raketi gibi pek çok değişik alanda kullanılan karbon liflerinin kullanım sahası her geçen gün artmaktadır.

Uzay, havacılık ve sporda şimdiye kadar kullanılan CFRP malzemesinin son dönemlerdeki bir diğer uygulama alanı da yapı mühendisliğidir. Özellikle deprem ve korozyon hasarlı binaların ekonomik ve hızlı onarımlarında oldukça iyi sonuçlar elde

edilmektedir. Tamirdeki pratiklik, binaya ekstra yük getirmemesi ve eşyaların boşaltılmadan binanın tamir ve takviye edilebilir olmasının yanı sıra çelikten 14 kat dayanıklı olmanın verdiği olağanüstü sağlamlık bu tekniğin en belirgin avantajlarından biridir.

Karbon liflerinin inşaat sektöründe belli başlı kullanım sahaları şöyle sıralanabilir:

- Orta ve hafif deprem hasarlı binaların tamirâtı
- Hasarsız binaların sağlamlık derecelerinin artırılması
- Yeni inşaatların depreme dayanıklılığı ve buna bağlı olarak satış değerlerinin artırılması
- Korozyon hasarlı köprü, viyadük, apartman kolon-kiriş ve duvarların tamirâtı
- Ahşap yapıların restorasyonu ve güçlendirilmesi
- Tarihi eser, camii kubbe ve minarelerinin tamirâtı.

5.7 CFRP Malzemesin Avantajları

Hasar görmüş betonarme elemanlara başlangıçtaki orijinal mukavemetlerini kazandırmak veya güçlendirmek amacıyla karbon lifli epoksi esaslı kompozit malzemeler çelik plakalarla yapılan geleneksel güçlendirme sistemlerine alternatif olarak geliştirilmişlerdir. Çekme dayanımları çelikten fazla olan bu tür kompozit malzemelerin en büyük avantajları hafif olmaları, korozyona uğramamaları, rulolar halinde saklanabilmeleri ve kolaylıkla uygulanabilmeleridir.

Bu malzemelerin bir diğer önemli avantajı da, yapının içerisine ancak birkaç milimetrelik bir kalınlık eklemesine rağmen klasik metotlarla elde edilecek sağlamlığın kat kat fazlasını elde edebilmesidir.

5.8 CFRP Malzemesin Dezavantajları

Polimer esaslı bu malzemelerin yüksek maliyetleri ve UV ışınlarına ile yangına karşı (80° C ye kadar dayanım gösterebilmektedir) dayanıksız olmaları nedeniyle özel sıvalar veya kaplamalarla korunmalarının gerekliliği malzemenin

dezavantajlarıdır. Polimerlerin uzun süreli sabit yükler altında sünme deformasyonlarının yüksek oluşu da CFRP malzemesi için bir diğer problem olarak görülmektedir.

CFRP 'ler sadece lif eksenine paralel çekme kuvvetlerini karşılayabildikleri için uygulama yönü önemlidir. İki yönlü tabakalar halinde uygulandığında kirişlerde eğilme ve kesme dayanımının, kolonlarda eğilme ve sargılama etkisiyle basınç dayanımının artırılması mümkündür. Ancak bu tür bir uygulama için onarılacak veya güçlendirilecek elemanın beton kalitesinin çok düşük olmaması gereklidir. Çünkü karbon liflere yük transferi, yapışma yüzeyinin beton dayanımına bağlıdır. Belli bir dayanımın altındaki kiriş ve kolonlarda uygulanması uçlarda beton yüzeyinin kopmasına sebep olmaktadır. Bu durumun oluşmaması için beton sınıfı C16 ve üzerinde olmalıdır.

5.9 CFRP Uygulama Şekli

a) Karbon Lifli Şerit Uygulaması:

Betonarme ve ahşap yapı elemanları için güçlendirme sistemidir. Güçlendirme elemanlarının yapıştırılması için epoksi yapıştırıcı ve karbon lifli şeritler kullanılmaktadır.

Betonarme ve ahşap yapıların korozyona karşı dayanımlı, karbon lifleriyle güçlendirilmiş polimer şeritlerle güçlendirilmesi mümkün olmaktadır.

Betonarme ve ahşap yapılarda, karbon lifleriyle güçlendirilmiş polimer şeritler, aşağıda sıralanmış olan nedenlerden dolayı ve yapıyı güçlendirmek için kullanılmaktadır:

➤ Yük Artışı:

- Ambar ve depolardaki hareketli yüklerin artması,

- Köprülerdeki trafik yükünün artması,
- Endüstriyel yapılarda ağır makinelerin montajı,
- Vibrasyonlu yapılar,
- Yapı kullanım amacının değiştirilmesi.

➤ Yapı Elemanlarının Zarar Görmesi:

- Yapı elemanlarının yaşlanması,
- Donatı korozyonu,
- Yangın.

➤ Yapılması İstenen Değişiklikler:

- Deformasyonların azaltılması,
- Çelik donatıdaki gerilmelerin azaltılması,

➤ Yapısal Sistemdeki Değişiklikler:

- Perde duvar eklenmesi,
- Döşemelerde boşluk açılması.

➤ Dizayn veya İmalat Hataları:

- Yetersiz donatı,
- Kesitteki yetersiz faydalı yükseklik.

Polimer şeritlerin sağladığı avantajları şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Düşük ağırlık,
- Eksiz olarak her uzunlukta imalat,
- İnce et kalınlığı,
- Taşıma kolaylığı (rulolar halinde),

- Çok yüksek dayanım,
- Değişik elastisite modüllerinde şerit tipleri,
- Üzeri kaplanabilir olmasıdır.

Karbon lifleriyle güçlendirilmiş polimer şeritler elastisite modüllerine göre başlıca üç gruba ayrılır. Bunlar S, M, H tipleridir. S tiplerinin ortalama elastisite modülü $> 165.000 \text{ N/mm}^2$ dir. M tiplerinde bu değer $> 210.000 \text{ N/mm}^2$ dir. H tiplerinde elastisite modülü ise $> 300.000 \text{ N/mm}^2$ dir. S tipi polimer şeritlerle ilgili sınıflandırma Tablo 5.1’ de, M tipi için sınıflandırma Tablo 5.2’ de, H tipi için ise Tablo 5.3’ te verilmiştir.

Tablo 5.1 S tipi karbon şeritlerin en kesit özellikleri

Tip	Genişlik mm	Kalınlık mm	Kesit Alanı mm^2
S 512	50	1.2	60
S 612	60	1.2	72
S 812	80	1.2	96
S 1012	100	1.2	120
S 1212	120	1.2	144
S 1512	150	1.2	180
S 614	60	1.4	84
S 914	90	1.4	126
S 1214	12	1.4	168

Tablo 5.2 M tipi karbon şeritlerin en kesit özellikleri

Tip	Genişlik mm	Kalınlık mm	Kesit Alanı mm ²
M 614	60	1.4	84
M 914	90	1.4	126
M 1214	120	1.4	168

Tablo 5.3 H tipi karbon şeritlerin en kesit özellikleri

Tip	Genişlik mm	Kalınlık mm	Kesit Alanı mm ²
H 514	50	1.4	70

Karbon lifleriyle güçlendirilmiş polimer şeritlerin fiziksel ve mekaniksel özellikleri Tablo 5.4 ve 5.5te verilmektedir.

Tablo 5.4 Karbon şeritlerin fiziksel ve mekanik özellikleri

Renk	Siyah
Yapısı	Karbon lifleriyle güçlendirilmiş epoksi matris
Hacimsel lif içeriği*	> %68
Raf ömrü	Limitsiz (direk güneş ışığına maruz kalmada)

* Mekanik değerler lif doğrultusundaki değerleri göstermektedir.

Tablo 5.5 Karbon şeritlerin özellikleri

	H Tipi	S Tipi	M Tipi
Elastisite Modülü	165.000 N/mm ²	210.000 N/mm ²	300.000 N/mm ²
Çekme Gerilmesi	2.800 N/mm ²	2.400 N/mm ²	1.300 N/mm ²
Kopmadaki Ortalama	3.050 N/mm ²	2.900 N/mm ²	1.450 N/mm ²
Çekme Gerilmesi			
Kopmadaki Uzama	% 1.7	% 1.2	% 1.45
Yoğunluk	1,5 gr/cm ³	1,6 gr/cm ³	1,6 gr/cm ³

b) Karbon Lifli Dokuma Uygulaması:

Mevut bir betonarme, yığma veya ahşap yapının yükleme kapasitesinin artışında, yapı kullanım amacının değiştirilmesinde, yapısal hasarların tamirinde, deprem sonrası oluşabilecek hasarların önlenmesinde, standart ve şartnamelerdeki değişikliklere göre yapıların takviyesinde yapının eğilme ve kayma dayanımlarını arttırmak için CFRP malzemesi kullanılmaktadır.

CFRP malzemesinin avantajları; eğilme ve kayma donatısı olarak çok amaçlı kullanılabilmesi, kimyasal etkilere dayanıklı olması, üst üste dokuma uygulamasında bile ince kaplama kalınlığı (eğilme bölgesi takviyesinde üç kata kadar uygulama yapılabilir), solventsiz doyurma reçinesinin kolaylıkla kullanılabilmesi ve ihtiyaca göre lif doğrultusunun ayarlanabilmesi şeklinde açıklanabilir.

CFRP malzemesinin uygulanması öncesinde eleman yüzeyinin hazırlanması gerekmektedir. Yüzey hazırlığı kumlama veya chipping' leme yöntemiyle yapılmaktadır. Yüzeydeki toz ve gevşek parçacıklar endüstriyel tip elektrik süpürgesiyle alınmalıdır. Yüzey yağ, çapak, boya ve sıvadan arındırılmış, temiz, kuru brüt beton yüzey olmalıdır.

Karbon lifli dokuma çok kesici özel bir makas veya bıçakla kesilebilmektedir. Hiçbir zaman katlanmamalıdır.

- Yapıştırma işlemi yapılacak yüzey düzgün olmalıdır. Kalıp izleri, yüzeydeki bozukluklar 0,5 mm den fazla olmamalıdır.
- Güçlendirilecek yüzeyin minimum çekme dayanımı $1,0 \text{ N/mm}^2$ olması gerekmektedir.
- 90° olan köşeler en az 10 mm yarıçapında olacak şekilde yuvarlatılmalıdır. Bu işlem elmas diskli bir alet kullanılarak yapılabilmektedir.

Uygulama öncesi işlemlerin ardından, ilk olarak doyurma reçinesi, hazırlanan yüzeye yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak $0,7 - 1,2 \text{ kg/m}^2$ olacak şekilde mala veya fırça yardımıyla sürülür. Yüzeye uygulanan bu reçine üzerine karbon lifli dokuma istenilen doğrultuda yerleştirilir. Yedirme rulosuyla hafifçe bastırılarak lif doğrultusunda yapılacak olan yavaş hareketlerle karbon lifli dokumanın gergin, pot yapmadan yerleşmesi sağlanır. Karbon lifli dokumanın üzerine sıva gibi bir kaplama işlemi uygulanacaksa, kaplama sonrası sürülen doyurma reçinesinin üzerine kuvars kumuyla pürüzlendirme yapılır. Bu şekilde hazırlanan yüzey, üzerine gelecek çimentolu katlarla iyi bir aderans sağlamaktadır.

Uygulamada dikkat edilecek önemli noktalar şu şekilde sıralanabilir:

- Lif doğrultusundaki birleşim yerlerinde, minimum 100 mm olacak şekilde üst üste bindirme yapılmalıdır.
- Liflere paralel doğrultuda yerleştirilen karbon kumaşlarda üst üste bindirme şart değildir.
- Karbon lifli malzeme direkt güneş ışığıyla temastan korunmalıdır.

Ayrıca, bütün ekipmanlar kullanımdan hemen sonra epoksi tiner ile temizlenmelidir. Kürünü almış doyurma reçinesi ancak mekanik yolla yapıştığı yerden uzaklaştırılabilir.

Uygulama sırasında insan sağlığı açısından alınması gerekli olan önlemler ise şöylece özetlenebilir:

Çalışmaya başlanmadan önce eller ve çıplak kalan cilt, koruyucu kremlerle kremlenmelidir. Koruyucu ekipman (eldiven, gözlük vb.) kullanılmalıdır. Göz veya yumuşak dokuyla temasta ılık, temiz su ile yıkayıp, derhal bir doktora başvurulması gerekmektedir.

5.10 ACI 440 Yönetmeliği ve Yönetmelikte Yer Alan Uygulama Tipleri, Şekilleri ve Hesap Metotları

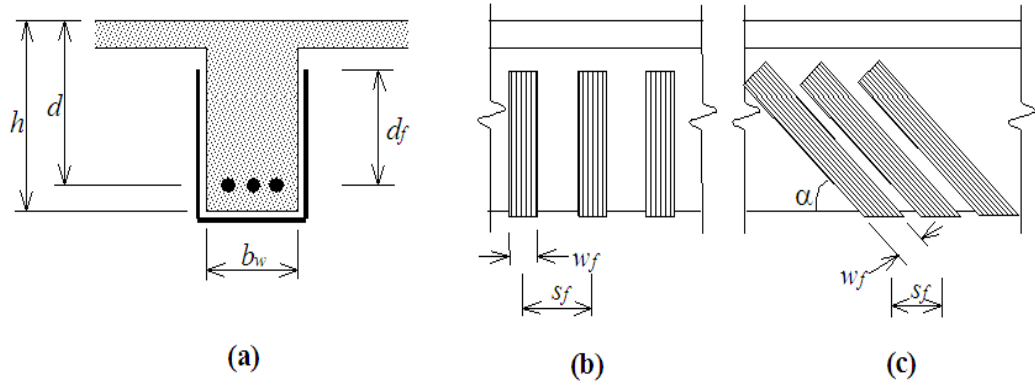
ACI 440 yönetmeliğinde yer alan 10. Bölüm incelendiğinde toplam üç çeşit CFRP uygulama yöntemi olduğu görülmektedir. Bunlar Şekil 5.1’ de görüldüğü gibi; tüm yüzeyleri sargılı yöntem, üç yüzeyi sargılı yöntem veya U sargılı yöntem ve iki yan yüzü sargılı yöntemlerdir.



Şekil 5.1 ACI 440 Yönetmeliği’nde yer alan CFRP uygulama tipleri

Şekilde gösterilen her üç yöntem ile kesme kapasitesi artırılrsa da en etkili olan yöntem tüm yüzeyi sargılı yöntemdir. Bu yöntemi U sargı takip ederken, iki yan yüzün sargılanmasıyla uygulanan yöntem en az etkisi olandır.

ACI 440 Yönetmeliği’ne göre CFRP uygulamasında takip edilecek olan hesaplamalar ve uygulama şekli ile ilgili genel bilgi aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.2 CFRP ile güçlendirilecek olan elemanların hesap değişkenlerinin şekil üzerinde gösterilmesi

CFRP ile güçlendirilen elemanlarının kesme dayanımları tüm yönetmeliklerde, kesme donatısının ve çatlamamış betonun kesme dayanımına katkısına, CFRP' nin katkısının eklenmesi ile elde edilmektedir.

$$V = V_c + V_s + V_f \quad (5.1)$$

(5.1) bağıntısında V_f , CFRP' nin kesme dayanımına katkısı, V_c , betonun kesme dayanımına katkısı, V_s ise kesme donatısının kesme dayanımına katkısıdır. Betonun kesme dayanımına katkısı,

$$V_c = 0,65 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \quad (5.2)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Bağıntıda;

f_c' : Betonun karakteristik basınç dayanımı

b_w : Kiriş gövde genişliği

d : Kiriş faydalı yüksekliğidir.

ACI 440 komite raporu

CFRP şeritlerin kesme dayanımına katkısı, ACI-440 komite raporunda sunulan bağıntı ile hesaplanmış, çatlamamış betonun katkısına eklenerek deney elemanlarının

kesme dayanımları elde edilmiştir. ACI-440 komite raporunda CFRP şeritlerin kesme dayanımına katkısı,

$$V_f = \frac{2 \cdot n \cdot t_f \cdot w_f \cdot f_{fe} \cdot (\sin\beta + \cos\beta) \cdot d_f}{s_f} \quad (5.3)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Bağıntıda;

V_f : CFRP şeritlerin kesme dayanımına katkısı

β : CFRP şeritlerin yatay eksenle yaptığı açı

d_f : Etkili CFRP şerit uzunluğu

s_f : CFRP şeritlerin, eksenden eksene aralıkları

f_{fe} : CFRP'deki etkili gerilme

n : CFRP sargı sayısı

t_f : CFRP şeritlerin kalınlığı

w_f : CFRP şerit genişliğidir.

(5.3) bağıntısındaki f_{fe} ifadesi,

$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} \cdot E_f \quad (5.4)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. (5.4) no'lu bağıntıda;

E_f : CFRP'nin elastisite modülü

ε_{fe} : CFRP'nin etkili birim deformasyon değeridir. ε_{fe} terimi,

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{fu} \cdot k_v \quad (5.5)$$

ifadesinden elde edilmektedir. (5.5) no'lu bağıntıda;

ε_{fu} : CFRP'nin tasarım kopma birim deformasyon değeri

k_v : Beton ile CFRP arasındaki bağ katsayısı olup, k_v katsayısı;

$$\kappa_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11,900 \epsilon_{fu}} \leq 0,75 \quad (5.6)$$

bağıntısından elde edilmektedir. Bağıntıda;

k_1 : Betonun basınç dayanımına bağlı değişiklik katsayısı

k_2 : CFRP uygulama şekline bağlı değişiklik katsayısı

L_e : CFRP şerittin aktif uzunluğudur.

(5.6) no'lu bağıntıda bulunan k_1 ve L_e terimleri,

$$L_e = \frac{23,300}{(n t_f E_f)^{0.58}} \quad (5.7)$$

$$k_1 = \left(\frac{f'_c}{27} \right)^{2/3} \quad (5.8)$$

şeklinde elde edilmektedir. k_2 , CFRP şeritlerin uygulama şekline bağlıdır. CFRP şeritler elemanın yan yüzlerine yapıştırıldığı durumda k_2 , (5.10) no'lu bağıntı ile CFRP şeritler U biçiminde uygulandığı durumda k_2 , (5.9) no'lu bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$k_2 = \begin{cases} \frac{d_f - L_e}{d_f} & U \text{ biçimli} \\ \frac{d_f - 2L_e}{d_f} & \text{yan yüz uygulaması} \end{cases} \quad (5.9)$$

$$(5.10)$$

BÖLÜM ALTI

ÖRNEK UYGULAMALAR

Bu bölümde, projesi 1975 Türk Deprem Yönetmeliği' ne göre tasarlanmış ve İzmir' de 1986 yılında inşa edilmiş olan mevcut bir binanın artırimsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile deprem performansı incelenmiş, elde olunan sonuçlar değerlendirilerek CFRP güçlendirme malzemesiyle eleman bazında güçlendirme uygulaması yapılmış ve binaya tekrar performans analizi uygulanmış, sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur.

6.1 Örnek Olarak Seçilen Mevcut Binanın İncelenmesi

Çalışmanın bu bölümünde, örnek olarak belirlenen mevcut bir binanın DBYBHY 2007 kriterlerine göre performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Analiz yöntemi olarak Artırimsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi kullanılmıştır.

Performansını belirlemek üzere, projesi 1975 Türk Deprem Yönetmeliği' ne göre Z3 zemin sınıfında tasarlanmış ve 1986 yılında İzmir' de inşa edilmiş olan 5 katlı betonarme çerçeve sistemli örnek binaya ait genel bilgiler aşağıdaki bölümde verilmiştir.

6.2 Genel Bina Bilgileri

Bina Bilgileri

Bina kat sayısı	Zemin + 4 Normal Kat
Bina kat yüksekliği	2,5m (Tüm katlar)
Toplam bina yüksekliği	12,5m
Binanın X doğrultusundaki toplam uzunluğu	22,80m
Binanın Y doğrultusundaki toplam uzunluğu	8,30m
Bina oturma alanı	189m ²
Bina kullanım amacı	Konut

Malzeme Bilgileri

Beton (Tüm betonarme elemanlar)	C16 ($f_{cm} = 16 \text{ MPa}$)
Donatı çeliği	S220 I ($f_{ym} = 220 \text{ MPa}$)
Betonarme elastisite modülü (E_c)	27000 MPa (N/mm^2)
Donatı çeliği elastisite modülü (E_s)	200000 MPa (N/mm^2)

Proje Parametreleri

Deprem bölgesi	1. Bölge
Etkin yer ivmesi (A_o)	0,40
Binanın projesi (Var / Yok)	Var
Bilgi düzeyi	Kapsamlı
Bina önem katsayısı (I)	1,0
Yerel zemin sınıfı	Z3
Zemin emniyet gerilmesi	150 kN / m^2
Zemin yatak katsayısı	15000 kN / m^3
Spektrum karakteristik periyotları	$T_A = 0,15\text{sn}$, $T_B = 0,60\text{sn}$
Hareketli yük katılım katsayısı (n)	0,3
Döşeme türü	Plak
Döşeme kalınlığı	0,12m – 0,15m

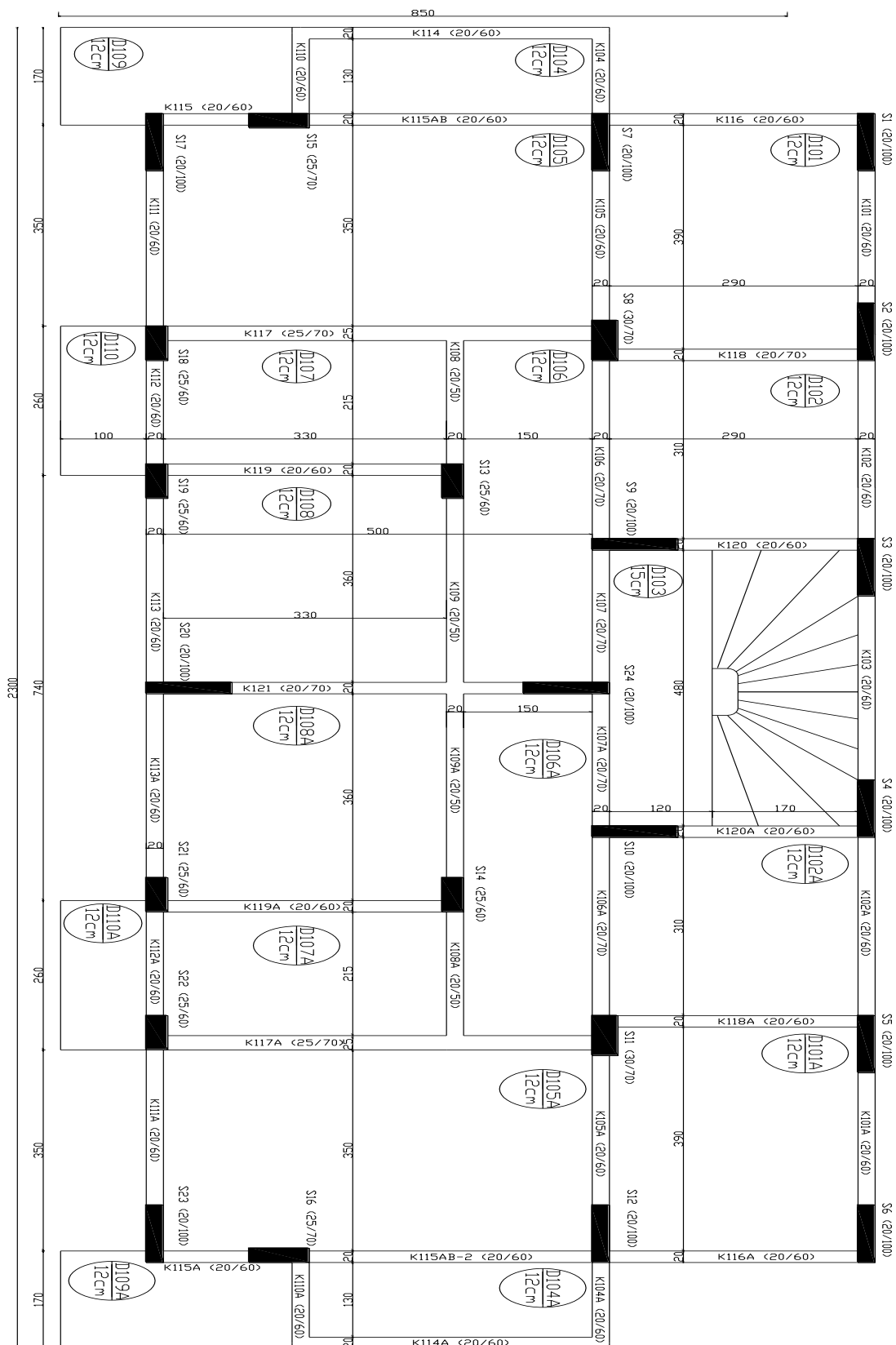
Yükler

Beton yoğunluğu	25 kN / m^3
Dış duvar yükü (20cm + Sıva)	8,36 kN / m
İç duvar yükü (10cm + Sıva)	5,50 kN / m
Sıva + Kaplama	1,50 kN / m^2
Hareketli yük (Normal katlarda)	2,00 kN / m^2
Hareketli yük (Çatı katlarda)	1,00 kN / m^2
Hareketli yük (Merdiven ve balkonlarda)	3,50 kN / m^2

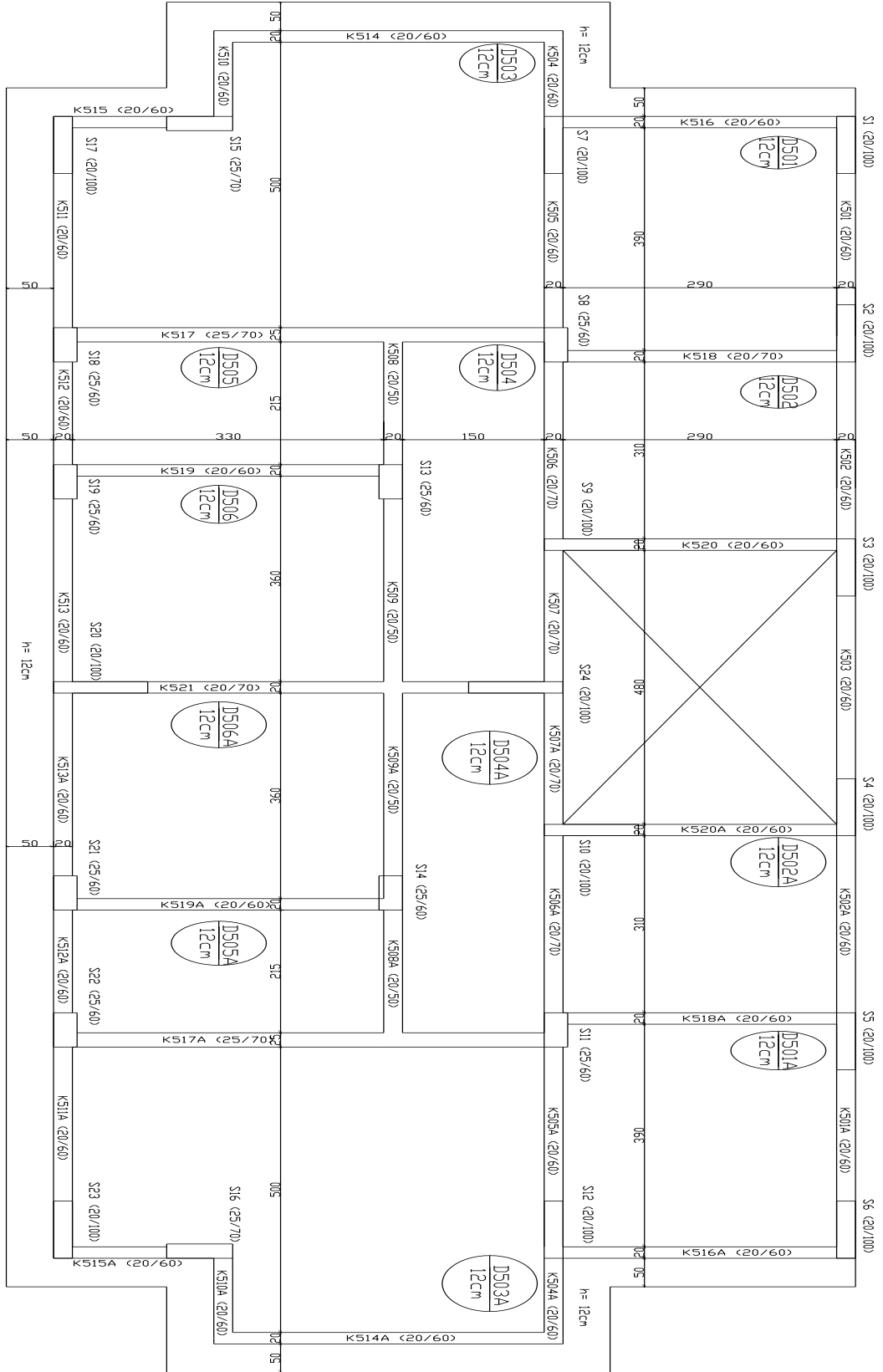
Yapı analizinde, beton ve donatı çeliği için projesinde öngörülen dayanımlar esas alınmıştır. Yapının üç boyutlu analitik modeli oluşturulmuş ve Şekil 6.2' de gösterilmiştir. Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak göz önüne alınmış ve binanın kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilmiştir.

Artırımsal ivme analizinde plastik mafsalları tanımlanacak kesitlerin iç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntılarının tanımlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla plastikleşme ihtimali bulunan bütün kesitlerin moment-eğrilik ilişkileri XTRACT programı kullanılarak belirlenmiş ve bu eğriler iki doğru parçası ile idealleştirilmiştir. Yapının üç boyutlu analizleri, SAP2000 bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiştir.

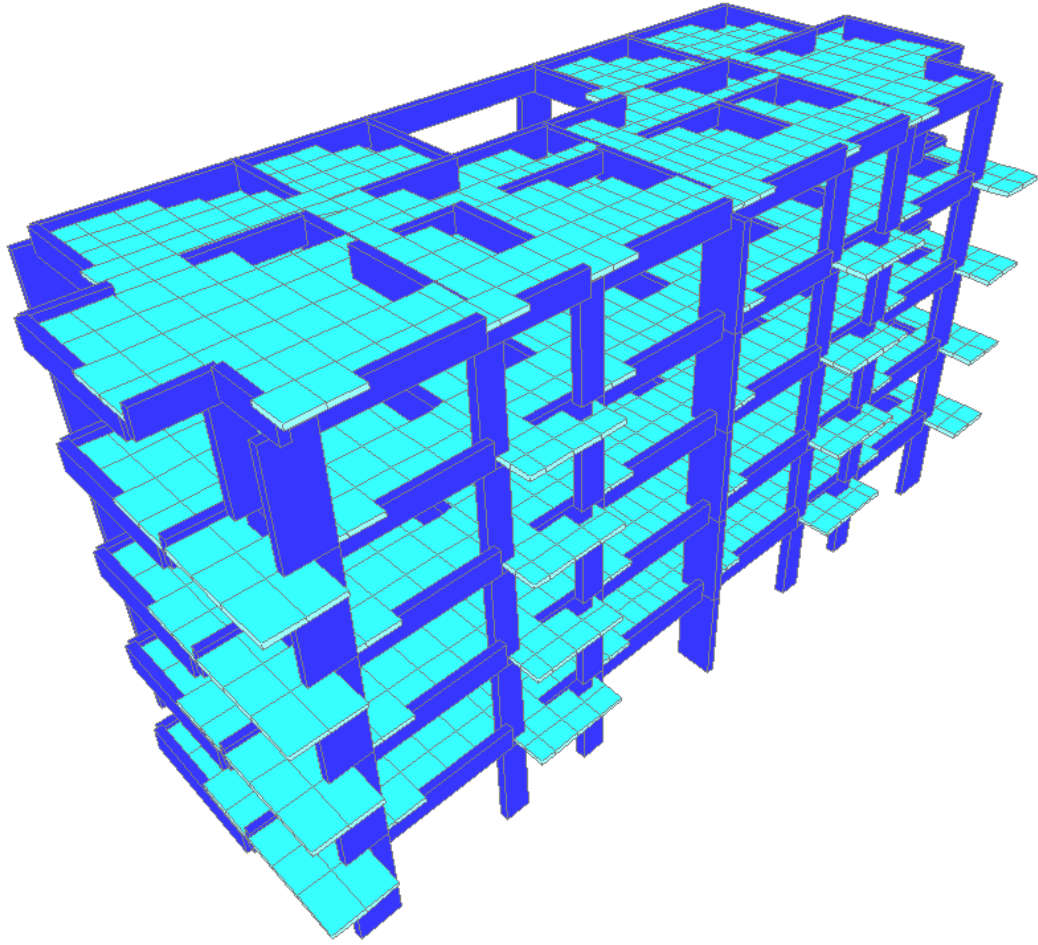
Yapının tanıtılması açısından yapıya ait kalıp planları Şekil 6.1a ve Şekil 6.1 b de verilmiştir. Binadaki kirişler her katta aynı olmak üzere 20/50, 20/60, 20/70 ve 25/70 cm enkesit boyutlarındadır. Kolonlar, 20/100, 30/70, 25/60 ve 25/70 cm enkesit boyutlarında olup katlarda farklılık göstermektedir. Binanın SAP2000 programı ile çözümünde dikkate alınmış olan kolon boyutları ve boyuna donatıları EK1' de, kiriş boyutları ve boyuna donatıları EK2' de verilmiştir.



Şekil 6.1.a Kalıp planı



Şekil 6.1.b Çatı kalıp planı



Şekil 6.2. Binanın SAP2000de modellenmiş hali

6.3 Örnek Binanın Deprem Performansının Belirlenmesi

Bu bölümde örnek binanın düşey yükler ve deprem yüklerini temsil eden eşdeğer statik yatay yük etkileri altında deprem performans seviyesi belirlenmiştir.

Örnek olarak seçilen bina için, 50 yıllık süreç içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan tasarım depremi etkisi altında ülkemizde 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY)'e göre oluşturulan tablo (Tablo 4.2) göz önüne alınarak Can Güvenliği (CG) performans seviyesi hedeflenmiştir.

Yapının düşey yükler ve deprem yüklerini temsil eden eşdeğer statik yatay yük etkileri altında yatay yer değiştirme kapasitesini belirlemek için 2007 Deprem

Yönetmeliği'nde ve FEMA 356'da tanımlanan doğrusal olmayan artırimsal itme analizi yöntemi kullanılmıştır.

Modelde, kolonlarda ve kirişlerde plastik mafsalların oluşacağı kesitler kolon ve kirişlerin uç noktaları olarak tanımlanmıştır. Modellemede, kirişlerin eksenel yük düzeyi düşük olduğu için sadece eğilmeye çalıştığı kabul edilerek plastik mafsalların sadece eğilme momenti etkisinden oluşacağı kabul edilmiştir. Kolonlarda ise eksenel yük etkisi ihmal edilemeyeceği için, plastik mafsalların özelliklerinin tanımlanmasında eksenel kuvvet-eğilme momenti etkileşimi dikkate alınmıştır. Bu kabul altında kirişlerin ve kolonların moment-eğrilik ve kolonların eksenel kuvvet-eğilme momenti etkileşim diyagramları "XTRACT" yazılımı kullanılarak her kesit için hesaplanmış ve yapı modeline aktarılmıştır.

Ayrıca kiriş ve kolonların hasar bölgelerini belirlemek için 2007 Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ) plastik dönme sınır değerleri her kesit için hesaplanarak modelde tanımlanmıştır.

Birinci derece deprem bölgesinde yer alan yapıların analizinde Z3 zemin sınıfı için verilen karakteristik değerler kullanılmıştır.

6.4 Örnek Binanın Doğrusal Olmayan Artırimsal İtme Analizi

Bu bölümde, modellenen yapının doğrusal olmayan statik artırimsal itme analizinde dikkate alınan dinamik karakteristikler tanımlanmış ve binanın deprem performansının belirlenmesine ışık tutacak olan analiz sonuçları verilmiştir.

a) Örnek Binanın Dinamik Karakteristiklerinin Belirlenmesi:

Örnek binanın Sap2000 Advanced 11.0.8 bilgisayar programı ile yapılan dinamik analizinden elde edilen dinamik karakteristik değerleri Tablo 6.1' de verilmiştir.

Tablo 6.1 Yapının dinamik karakteristik değerleri

X Yönü 1. Periyod (T_{1x}) (sn)	0.656
Y Yönü 1. Periyod (T_{1y}) (sn)	0.894
X Yönü 1. Mod Kütle Katılım Oranı (α_{1x}) (%)	74.59
Y Yönü 1. Mod Kütle Katılım Oranı (α_{1y}) (%)	79.97
X Yönü 1. Mod Modal Katılım Faktörü (PF_{1x})	1.323
Y Yönü 1. Mod Modal Katılım Faktörü (PF_{1y})	1.370

b) Örnek Binanın Deprem Talep Yer Değiştirme Değerlerinin Belirlenmesi:

Örnek binanın X ve Y doğrultusu için hakim mod kütle katılım oranının %70'in üzerinde olduğu görülmektedir. Bu sebeple söz konusu binada artırımsal itme analizi yapılırken yatay yükleme şekli olarak ilgili doğrultudaki birinci mod şekli kullanılmıştır. C_0 katsayısı, FEMA 356 Bölüm 3 – Tablo 3.2'den “ 1,4 ” olarak alınmıştır. İlgili tablo Şekil 6.3' te gösterilmiştir.

Table 3-2 Values for Modification Factor C_0 ¹

	Shear Buildings ²		Other Buildings
Number of Stories	Triangular Load Pattern (1.1, 1.2, 1.3)	Uniform Load Pattern (2.1)	Any Load Pattern
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

1. Linear interpolation shall be used to calculate intermediate values.

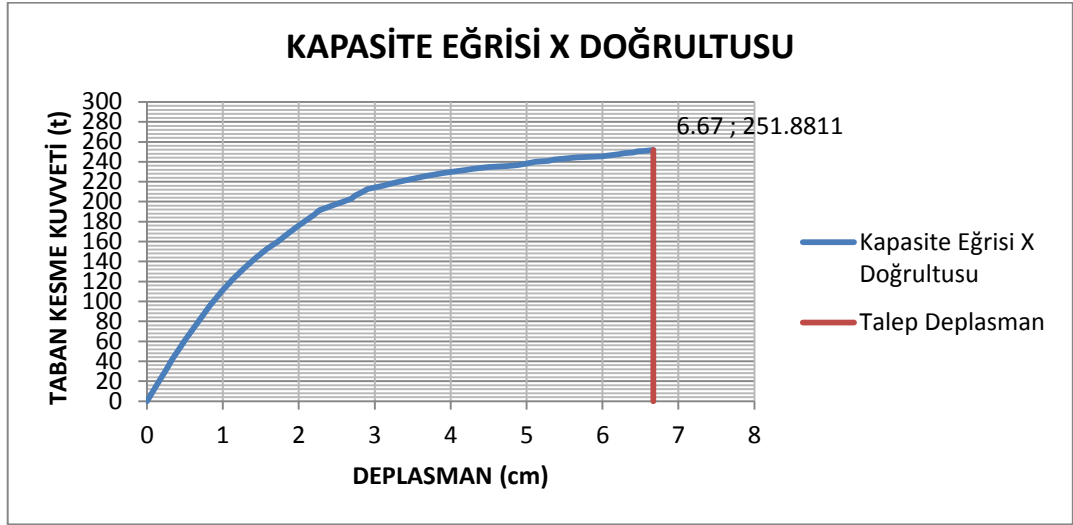
2. Buildings in which, for all stories, interstory drift decreases with increasing height.

Şekil 6.3 FEMA 356 C_0 katsayısı

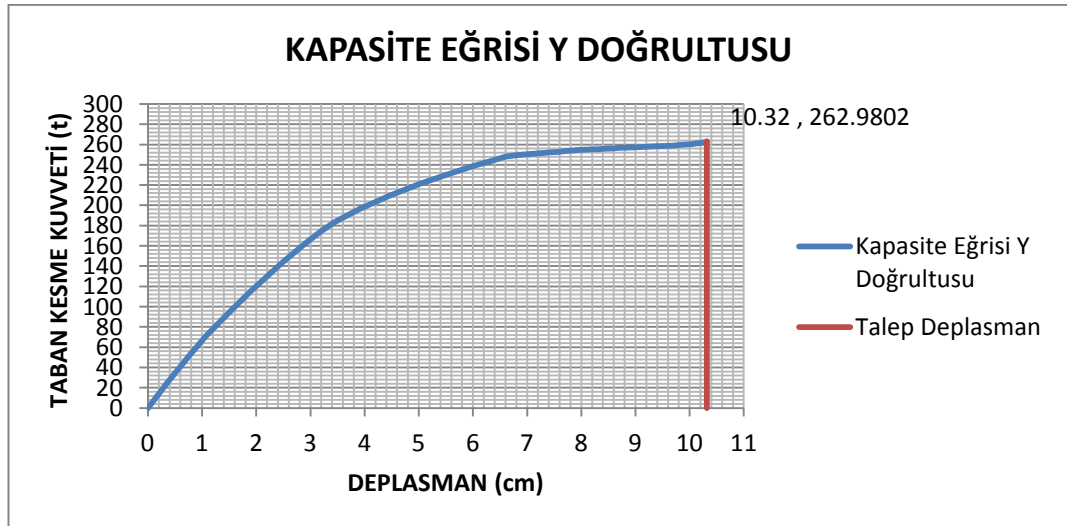
Bölüm 4.7' de verilen formüller ve yukarıdaki tabloda gösterilen değerlere göre örnek bina için hesaplanan yatay yer değiştirme talepleri; X doğrultusu için 6,67 cm, Y doğrultusu için ise 10,32 cm' dir.

6.5 Örnek Binanın Kapasite Eğrisinin Belirlenmesi

Örnek binanın her iki yöndeki kütle katılım oranları %70'in üzerinde olduğu için yapının artırımsal itme analizinde yatay yük dağılımı olarak analiz yapılan doğrultudaki yapının hakim mod şekli kullanılmıştır. Yapının artırımsal itme analizinden elde edilen X ve Y doğrultusu için kapasite eğrileri ve deprem talep yer değiştirmeleri Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.4 Örnek bina X doğrultusu modal yüklemesine ait kapasite eğrisi ve deprem talep yer değiştirmesi



Şekil 6.5 Örnek bina Y doğrultusu modal yüklemesine ait kapasite eğrisi ve deprem talep yer değiştirmesi

6.6 Örnek Binadaki Hasarlı Kiriş Oranlarının ve Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi

Yapıda artırımsal itme analizi yapılarak, yapının yatay yer değiştirmesi, deprem yönetmeliğinde tanımlanan tasarım depremi kullanılarak hesaplanmış yatay yer değiştirme talebine ulaştığı anda kirişlerin hangi hasar bölgesinde olduğu belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar sayısal ve oransal olarak Tablo 6.2, Tablo 6.3, Tablo 6.4 ve Tablo 6.5’te verilmiştir.

Tablo 6.2 X doğrultusundaki yatay birinci mod şekline göre modal yükleme sonucunda örnek binadaki kirişlerin hasar bölgelerine göre sayısal dağılımı

	KATLARDAKİ TOPLAM KİRİŞ SAYISI	HASAR BÖLGELERİ			
		Minimum Hasar Bölgesindeki Toplam Kiriş Sayısı	Belirgin Hasar Bölgesindeki Toplam Kiriş Sayısı	İleri Hasar Bölgesindeki Toplam Kiriş Sayısı	Göçme Bölgesindeki Toplam Kiriş Sayısı
ZEMİN KAT	42	37	5	0	0
1. KAT	42	40	2	0	0
2. KAT	40	40	0	0	0
3. KAT	40	40	0	0	0
4. KAT	40	40	0	0	0

Tablo 6.3. X doğrultusundaki yatay birinci mod şekline göre modal yükleme sonucunda örnek binadaki kirişlerin hasar bölgelerine göre yüzde dağılımı

	HASAR BÖLGELERİ			
	Minimum Hasar Bölgesindeki Toplam Kiriş Oranı (%)	Belirgin Hasar Bölgesindeki Toplam Kiriş Oranı (%)	İleri Hasar Bölgesindeki Toplam Kiriş Oranı	Göçme Bölgesindeki Toplam Kiriş Oranı
ZEMİN KAT	88.1	11.9	0	0
1. KAT	95.2	4.8	0	0
2. KAT	100	0	0	0
3. KAT	100	0	0	0
4. KAT	100	0	0	0

Tablo 6.4. Y doğrultusundaki yatay birinci mod şekline göre modal yükleme sonucunda örnek binadaki kirişlerin hasar bölgelerine göre sayısal dağılımı

	KATLARDAKİ TOPLAM KIRIŞ SAYISI	HASAR BÖLGELERİ			
		Minimum Hasar Bölgesindeki Toplam Kiriş Sayısı	Belirgin Hasar Bölgesindeki Toplam Kiriş Sayısı	İleri Hasar Bölgesindeki Toplam Kiriş Sayısı	Göçme Bölgesindeki Toplam Kiriş Sayısı
ZEMİN KAT	42	32	10	0	0
1. KAT	42	35	7	0	0
2. KAT	40	36	4	0	0
3. KAT	40	39	1	0	0
4. KAT	40	40	0	0	0

Tablo 6.5. Y doğrultusundaki yatay birinci mod şekline göre modal yükleme sonucunda örnek binadaki kirişlerin hasar bölgelerine göre yüzde dağılımı

	HASAR BÖLGELERİ			
	Minimum Hasar Bölgesindeki Toplam Kiriş Oranı (%)	Belirgin Hasar Bölgesindeki Toplam Kiriş Oranı (%)	İleri Hasar Bölgesindeki Toplam Kiriş Oranı	Göçme Bölgesindeki Toplam Kiriş Oranı
ZEMİN KAT	76.2	23.8	0	0
1. KAT	83.3	16.7	0	0
2. KAT	90	10	0	0
3. KAT	97.5	2.5	0	0
4. KAT	100	0	0	0

6.7 Örnek Binadaki Hasarlı Kolon Taban Kesme Kuvvetlerinin Oransal Dağılımı ve Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi

Yapıda artırımsal itme analizi yapılarak, yapının yatay yer değiştirmesi, deprem yönetmeliğinde tanımlanan tasarım depremi kullanılarak hesaplanmış yatay yer değiştirme talebine ulaştığı anda kolonların hangi hasar bölgesinde bulunduğu ve bu anda her bir kolondaki taban kesme kuvveti değerleri belirlenmiş, elde edilen

sonuçlar oransal olarak Tablo 6.6, Tablo 6.7, Tablo 6.8, Tablo 6.9, Tablo 6.10, Tablo 6.11, Tablo 6.12, Tablo 6.13, Tablo 6.14, Tablo 6.15’ te verilmiştir.

Tablo 6.6 X doğrultusu birinci mod şekline göre modal yükleme sonucunda örnek binanın zemin kat kolonlarının hasar bölgeleri, taban kesme kuvvetleri ve kesme kuvveti kapasiteleri

KOLON İNDİSİ	SAP2000 İNDİSİ	YÜKLEME DURUMU	HASAR DURUMU	P (t)	KESİT	f _{ck} (MPa)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr2 (t)	Kesme Kuvveti V2 (t)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr3 (t)	Kesme Kuvveti V3 (t)	Kesme Güvenliği
S 1	58	DepremX	Minimum Hasar*	-51,8	20x100	16	28,20	2,59	19,40	1,04	YETERLİ
S 2	59	DepremX	Minimum Hasar*	-89,2	20x100	16	27,91	7,29	20,87	1,04	YETERLİ
S 3	60	DepremX	Minimum Hasar*	-87,61	20x100	16	27,82	6,26	20,78	0,64	YETERLİ
S 4	61	DepremX	Minimum Hasar*	-61,36	20x100	16	28,69	7,52	19,89	0,11	YETERLİ
S 5	62	DepremX	Minimum Hasar*	-77,6	20x100	16	29,51	7,18	20,71	0,43	YETERLİ
S 6	63	DepremX	Minimum Hasar*	-71,77	20x100	16	27,02	5,67	19,98	0,51	YETERLİ
S 12	64	DepremX	Minimum Hasar*	-148,6	20x100	16	30,94	3,90	23,90	0,94	YETERLİ
S 16	65	DepremX	Minimum Hasar*	-96,47	25x70	16	27,90	7,07	23,50	4,09	YETERLİ
S 23	66	DepremX	Minimum Hasar*	-94,85	20x100	16	30,39	5,17	21,59	1,48	YETERLİ
S 17	67	DepremX	Belirgin Hasar*	-35,31	20x100	16	31,03	4,42	19,29	1,06	YETERSİZ
S 18	68	DepremX	Minimum Hasar*	-81,38	25x60	16	23,87	8,92	18,73	0,99	YETERLİ
S 19	69	DepremX	Minimum Hasar*	-100,9	25x60	16	22,66	7,66	18,81	0,41	YETERLİ
S 20	70	DepremX	Belirgin Hasar*	-127,2	20x100	16	23,24	2,91	32,04	3,15	YETERSİZ
S 21	71	DepremX	Minimum Hasar*	-73,74	25x60	16	23,48	8,23	18,34	1,95	YETERLİ
S 22	72	DepremX	Minimum Hasar*	-116,9	25x60	16	25,68	8,14	20,54	3,55	YETERLİ
S 8	73	DepremX	Minimum Hasar*	-143,4	30x70	16	30,30	18,94	25,90	3,28	YETERLİ
S 11	74	DepremX	Minimum Hasar*	-169,4	30x70	16	31,62	21,26	27,22	1,67	YETERLİ
S 13	75	DepremX	Minimum Hasar*	-115,8	25x60	16	22,10	11,03	19,02	2,07	YETERLİ
S 9	76	DepremX	Belirgin Hasar*	-104,8	20x100	16	21,66	4,84	28,70	8,19	YETERSİZ
S 24	77	DepremX	Belirgin Hasar*	-108,6	20x100	16	22,29	4,67	31,09	3,79	YETERSİZ
S 10	78	DepremX	Belirgin Hasar*	-84,03	20x100	16	21,04	4,70	29,84	8,45	YETERSİZ
S 14	79	DepremX	Minimum Hasar*	-95,31	25x60	16	24,58	11,69	19,44	0,57	YETERLİ
S 7	80	DepremX	Minimum Hasar*	-102,7	20x100	16	34,46	6,98	22,73	1,46	YETERLİ
S 15	81	DepremX	Minimum Hasar*	-106,1	25x70	16	25,85	10,38	20,90	3,19	YETERLİ

“*:İki ucu mafsallaşan kolon”

Tablo 6.7 X doğrultusu birinci mod şekline göre modal yükleme sonucunda örnek binanın 1. kat kolonlarının hasar bölgeleri, taban kesme kuvvetleri ve kesme kuvveti kapasiteleri

KOLON İNİDİSİ	SAP2000 İNİDİSİ	YÜKLEME DURUMU	HASAR DURUMU	P (t)	KESİT	f _{ck} (MPa)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr2 (t)	Kesme Kuvveti V2 (t)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr3 (t)	Kesme Kuvveti V3 (t)	Kesme Güvenliği
S 1	1	DepremX	Minimum Hasar*	-41,8	20x100	16	27,69	4,42	18,89	1,75	YETERLİ
S 2	2	DepremX	Minimum Hasar*	-69,85	20x100	16	26,92	8,62	19,88	1,82	YETERLİ
S 3	3	DepremX	Minimum Hasar	-68,38	20x100	16	26,84	8,37	19,80	1,02	YETERLİ
S 4	4	DepremX	Minimum Hasar*	-48,94	20x100	16	28,05	7,12	19,25	0,04	YETERLİ
S 5	5	DepremX	Minimum Hasar*	-62,61	20x100	16	28,75	7,24	19,95	0,44	YETERLİ
S 6	6	DepremX	Minimum Hasar	-56,81	20x100	16	26,25	6,48	19,21	0,42	YETERLİ
S 12	7	DepremX	Minimum Hasar	-115,7	20x100	16	29,26	7,60	22,22	1,46	YETERLİ
S 16	8	DepremX	Minimum Hasar	-75,41	25x70	16	26,83	0,76	22,43	3,71	YETERLİ
S 23	9	DepremX	Minimum Hasar*	-73,04	20x100	16	29,28	8,70	20,48	2,18	YETERLİ
S 17	10	DepremX	Minimum Hasar*	-30,87	20x100	16	30,80	6,04	19,07	1,15	YETERLİ
S 18	11	DepremX	Minimum Hasar*	-65,19	25x60	16	23,04	9,26	17,91	0,96	YETERLİ
S 19	12	DepremX	Minimum Hasar	-79,72	25x60	16	21,58	6,95	17,73	0,91	YETERLİ
S 20	13	DepremX	Minimum Hasar*	-100,3	20x100	16	21,87	4,64	30,67	5,98	YETERLİ
S 21	14	DepremX	Minimum Hasar*	-58,67	25x60	16	22,71	7,94	17,58	2,01	YETERLİ
S 22	15	DepremX	Minimum Hasar*	-90,66	25x60	16	24,34	7,86	19,21	3,96	YETERLİ
S 8	16	DepremX	Minimum Hasar*	-113,8	30x70	16	28,79	14,05	24,39	4,62	YETERLİ
S 11	17	DepremX	Minimum Hasar*	-130,6	30x70	16	29,64	17,84	25,24	0,34	YETERLİ
S 13	18	DepremX	Minimum Hasar*	-90,53	25x60	16	20,81	6,27	17,73	2,19	YETERLİ
S 9	19	DepremX	Minimum Hasar*	-83,33	20x100	16	20,57	6,33	27,61	1,11	YETERLİ
S 24	20	DepremX	Belirgin Hasar*	-84,79	20x100	16	21,08	6,06	29,88	6,67	YETERSİZ
S 10	21	DepremX	Minimum Hasar*	-69,3	20x100	16	20,29	6,02	29,09	0,05	YETERLİ
S 14	22	DepremX	Minimum Hasar*	-76,59	25x60	16	23,62	7,38	18,49	0,58	YETERLİ
S 7	23	DepremX	Minimum Hasar	-80,09	20x100	16	33,31	8,26	21,57	2,18	YETERLİ
S 15	24	DepremX	Minimum Hasar	-80,23	25x70	16	24,53	5,09	19,58	1,72	YETERLİ

“*:İki ucu mafsallaşan kolon”

Tablo 6.8 X doğrultusu birinci mod şekline göre modal yükleme sonucunda örnek binanın 2. kat kolonlarının hasar bölgeleri, taban kesme kuvvetleri ve kesme kuvveti kapasiteleri

KOLON İNİDİSİ	SAP2000 İNİDİSİ	YÜKLEME DURUMU	HASAR DURUMU	P (t)	KESİT	f _{ck} (MPa)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr2 (t)	Kesme Kuvveti V2 (t)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr3 (t)	Kesme Kuvveti V3 (t)	Kesme Güvenliği
S 1	139	DepremX	Minumum Hasar	-31,36	20x100	16	27,16	2,39	18,36	2,13	YETERLİ
S 2	140	DepremX	Minumum Hasar*	-50,25	20x100	16	25,92	7,99	18,88	1,36	YETERLİ
S 3	141	DepremX	Minumum Hasar	-48,76	20x100	16	25,84	6,97	18,80	1,10	YETERLİ
S 4	142	DepremX	Minumum Hasar*	-36,37	20x100	16	27,41	6,32	18,61	0,04	YETERLİ
S 5	143	DepremX	Minumum Hasar*	-47,15	20x100	16	27,96	6,82	19,16	0,30	YETERLİ
S 6	144	DepremX	Minumum Hasar	-41,4	20x100	16	25,47	5,08	18,43	0,34	YETERLİ
S 12	145	DepremX	Minumum Hasar	-82,83	20x100	16	27,58	5,39	20,54	1,35	YETERLİ
S 16	146	DepremX	Minumum Hasar	-53,76	25x70	16	25,73	0,56	21,33	3,11	YETERLİ
S 23	147	DepremX	Minumum Hasar	-51,51	20x100	16	28,19	5,83	19,39	2,13	YETERLİ
S 17	148	DepremX	Minimum Hasar*	-24,92	20x100	16	30,50	5,10	18,76	0,99	YETERLİ
S 18	149	DepremX	Minumum Hasar	-48,65	25x60	16	22,20	8,55	17,07	1,05	YETERLİ
S 19	150	DepremX	Minumum Hasar	-58,13	25x60	16	20,48	6,44	16,63	0,82	YETERLİ
S 20	151	DepremX	Minimum Hasar*	-73,49	20x100	16	20,50	4,47	29,30	5,32	YETERLİ
S 21	152	DepremX	Minumum Hasar	-43,67	25x60	16	21,95	7,31	16,81	1,97	YETERLİ
S 22	153	DepremX	Minumum Hasar	-64,42	25x60	16	23,00	7,19	17,87	3,83	YETERLİ
S 8	154	DepremX	Minumum Hasar	-85,29	25X60	16	21,87	10,56	18,02	2,60	YETERLİ
S 11	155	DepremX	Minumum Hasar	-92,33	25X60	16	22,23	12,13	18,38	0,02	YETERLİ
S 13	156	DepremX	Minumum Hasar	-65,87	25x60	16	19,56	6,25	16,48	2,13	YETERLİ
S 9	157	DepremX	Minimum Hasar*	-62,03	20x100	16	19,48	6,07	26,52	1,21	YETERLİ
S 24	158	DepremX	Minimum Hasar*	-61,4	20x100	16	19,89	5,81	28,69	6,29	YETERLİ
S 10	159	DepremX	Minimum Hasar*	-53,54	20x100	16	19,49	5,65	28,29	1,51	YETERLİ
S 14	160	DepremX	Minumum Hasar	-58,26	25x60	16	22,69	7,28	17,56	0,52	YETERLİ
S 7	161	DepremX	Minumum Hasar	-58,16	20x100	16	32,19	6,53	20,46	2,19	YETERLİ
S 15	162	DepremX	Minumum Hasar	-56,21	25x70	16	23,30	4,87	18,35	1,36	YETERLİ

“*:İki ucu mafsallaşan kolon”

Tablo 6.9 X doğrultusu birinci mod şekline göre modal yükleme sonucunda örnek binanın 3. kat kolonlarının hasar bölgeleri, taban kesme kuvvetleri ve kesme kuvveti kapasiteleri

KOLON İNİDİSİ	SAP2000 İNİDİSİ	YÜKLEME DURUMU	HASAR DURUMU	P (t)	KESİT	f _{ck} (MPa)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr2 (t)	Kesme Kuvveti V2 (t)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr3 (t)	Kesme Kuvveti V3 (t)	Kesme Güvenliği
S 1	208	DepremX	Minumum Hasar	-20,28	20x100	16	26,59	1,19	17,79	1,87	YETERLİ
S 2	209	DepremX	Minumum Hasar*	-31,86	20x100	16	24,98	4,51	17,94	1,37	YETERLİ
S 3	210	DepremX	Minumum Hasar*	-29,67	20x100	16	24,87	4,40	17,83	1,00	YETERLİ
S 4	211	DepremX	Minumum Hasar*	-23,3	20x100	16	26,75	5,09	17,95	0,00	YETERLİ
S 5	212	DepremX	Minumum Hasar*	-31,1	20x100	16	27,14	5,47	18,34	0,05	YETERLİ
S 6	213	DepremX	Minumum Hasar*	-25,82	20x100	16	24,68	4,33	17,64	0,04	YETERLİ
S 12	214	DepremX	Minumum Hasar*	-51,87	20x100	16	26,00	0,86	18,96	0,62	YETERLİ
S 16	215	DepremX	Minumum Hasar	-35,73	25x70	16	24,81	1,83	20,41	2,19	YETERLİ
S 23	216	DepremX	Minumum Hasar	-29,59	20x100	16	27,07	2,32	18,27	1,69	YETERLİ
S 17	217	DepremX	Minumum Hasar	-17,87	20x100	16	30,14	1,62	18,40	0,28	YETERLİ
S 18	218	DepremX	Minumum Hasar	-31,24	25x60	16	21,31	6,96	16,18	1,43	YETERLİ
S 19	219	DepremX	Minumum Hasar	-36,64	25x60	16	19,39	5,17	15,54	0,91	YETERLİ
S 20	220	DepremX	Minumum Hasar	-46,74	20x100	16	19,14	3,36	27,94	5,24	YETERLİ
S 21	221	DepremX	Minumum Hasar	-28,48	25x60	16	21,17	6,07	16,04	1,87	YETERLİ
S 22	222	DepremX	Minumum Hasar	-38,73	25x60	16	21,69	5,79	16,56	3,55	YETERLİ
S 8	223	DepremX	Minumum Hasar	-55,92	25X60	16	20,37	9,72	16,52	2,45	YETERLİ
S 11	224	DepremX	Minumum Hasar	-57,71	25X60	16	20,46	9,77	16,61	0,38	YETERLİ
S 13	225	DepremX	Minumum Hasar	-42,55	25x60	16	18,37	4,14	15,29	1,93	YETERLİ
S 9	226	DepremX	Minumum Hasar	-40,4	20x100	16	18,38	4,69	25,42	0,89	YETERLİ
S 24	227	DepremX	Minumum Hasar*	-38,29	20x100	16	18,71	4,42	27,51	6,57	YETERLİ
S 10	228	DepremX	Minumum Hasar	-35,93	20x100	16	18,59	4,07	27,39	1,75	YETERLİ
S 14	229	DepremX	Minumum Hasar	-39,1	25x60	16	21,71	4,97	16,58	0,62	YETERLİ
S 7	230	DepremX	Minumum Hasar	-39,69	20x100	16	31,25	4,55	19,52	1,20	YETERLİ
S 15	231	DepremX	Minumum Hasar	-34,25	25x70	16	22,19	4,20	17,24	0,67	YETERLİ

“*:İki ucu mafsallaşan kolon”

Tablo 6.10 X doğrultusu birinci mod şekline göre modal yükleme sonucunda örnek binanın 4. kat kolonlarının hasar bölgeleri, taban kesme kuvvetleri ve kesme kuvveti kapasiteleri

KOLON İNİSİ	SAP2000 İNİSİ	YÜKLEME DURUMU	HASAR DURUMU	P (t)	KESİT	f _{ck} (MPa)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr2 (t)	Kesme Kuvveti V2 (t)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr3 (t)	Kesme Kuvveti V3 (t)	Kesme Güvenliği
S 1	277	DepremX	Minumum Hasar*	-8,778	20x100	16	26,01	0,36	17,21	1,33	YETERLİ
S 2	278	DepremX	Minumum Hasar*	-13,86	20x100	16	24,07	3,01	17,03	0,98	YETERLİ
S 3	279	DepremX	Minumum Hasar	-11,6	20x100	16	23,95	3,01	16,91	0,82	YETERLİ
S 4	280	DepremX	Minumum Hasar*	-9,928	20x100	16	26,07	3,10	17,27	0,37	YETERLİ
S 5	281	DepremX	Minumum Hasar	-13,6	20x100	16	26,25	3,24	17,45	0,84	YETERLİ
S 6	282	DepremX	Minumum Hasar	-10,45	20x100	16	23,89	3,20	16,85	0,32	YETERLİ
S 12	283	DepremX	Minumum Hasar	-22,94	20x100	16	24,53	1,00	17,49	0,04	YETERLİ
S 16	284	DepremX	Minumum Hasar	-16,2	25x70	16	23,81	4,02	19,41	1,07	YETERLİ
S 23	285	DepremX	Minumum Hasar	-10,06	20x100	16	26,07	2,01	17,27	0,77	YETERLİ
S 17	286	DepremX	Minumum Hasar	-6,948	20x100	16	29,58	2,04	17,85	0,60	YETERLİ
S 18	287	DepremX	Minumum Hasar	-13,92	25x60	16	20,43	4,45	15,30	2,50	YETERLİ
S 19	288	DepremX	Minumum Hasar	-14,5	25x60	16	18,26	2,19	14,41	1,56	YETERLİ
S 20	289	DepremX	Minumum Hasar	-20,46	20x100	16	17,80	2,07	26,60	7,05	YETERLİ
S 21	290	DepremX	Minumum Hasar	-12,55	25x60	16	20,36	3,52	15,23	1,90	YETERLİ
S 22	291	DepremX	Minumum Hasar	-14,87	25x60	16	20,48	2,76	15,34	3,16	YETERLİ
S 8	292	DepremX	Minumum Hasar	-26,47	25X60	16	18,87	5,25	15,02	1,77	YETERLİ
S 11	293	DepremX	Minumum Hasar	-26,6	25X60	16	18,88	3,62	15,03	1,24	YETERLİ
S 13	294	DepremX	Minumum Hasar	-19,61	25x60	16	17,20	1,67	14,12	1,76	YETERLİ
S 9	295	DepremX	Minumum Hasar	-18,21	20x100	16	17,25	2,76	24,29	0,34	YETERLİ
S 24	296	DepremX	Minumum Hasar	-15,85	20x100	16	17,57	2,10	26,37	7,33	YETERLİ
S 10	297	DepremX	Minumum Hasar	-16,88	20x100	16	17,62	1,88	26,42	0,65	YETERLİ
S 14	298	DepremX	Minumum Hasar	-18,74	25x60	16	20,67	1,29	15,54	1,26	YETERLİ
S 7	299	DepremX	Minumum Hasar	-18,41	20x100	16	30,16	0,79	18,43	1,07	YETERLİ
S 15	300	DepremX	Minumum Hasar	-14,34	25x70	16	21,17	0,59	16,22	0,75	YETERLİ

“*:İki ucu mafsallaşan kolon”

Tablo 6.11 Y doğrultusu birinci mod şekline göre modal yükleme sonucunda örnek binanın zemin kat kolonlarının hasar bölgeleri, taban kesme kuvvetleri ve kesme kuvveti kapasiteleri

KOLON İNİSİ	SAP2000 İNİSİ	YÜKLEME DURUMU	HASAR DURUMU	P (t)	KESİT	f _{ck} (MPa)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr2 (t)	Kesme Kuvveti V2 (t)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr3 (t)	Kesme Kuvveti V3 (t)	Kesme Güvenliği
S 1	58	DepremY	Minimum Hasar*	-92,17	20x100	16	30,26	1,79	21,46	6,98	YETERLİ
S 2	59	DepremY	Minimum Hasar*	-129	20x100	16	29,93	0,77	22,89	9,24	YETERLİ
S 3	60	DepremY	Minimum Hasar*	-110,5	20x100	16	28,99	0,11	21,95	7,36	YETERLİ
S 4	61	DepremY	Minimum Hasar*	-110	20x100	16	31,17	0,15	22,37	7,21	YETERLİ
S 5	62	DepremY	Minimum Hasar*	-127,4	20x100	16	32,05	0,11	23,25	8,49	YETERLİ
S 6	63	DepremY	Minimum Hasar*	-92,38	20x100	16	28,07	2,12	21,03	6,89	YETERLİ
S 12	64	DepremY	Minimum Hasar*	-116,8	20x100	16	29,31	0,88	22,27	10,12	YETERLİ
S 16	65	DepremY	Minimum Hasar*	-146,6	25x70	16	30,46	2,35	26,06	11,62	YETERLİ
S 23	66	DepremY	Minimum Hasar*	-0,228	20x100	16	25,57	0,11	16,77	5,87	YETERLİ
S 17	67	DepremY	İleri Hasar	-1,177	20x100	16	29,29	0,12	17,55	5,73	YETERSİZ
S 18	68	DepremY	Belirgin Hasar*	-70,86	25x60	16	23,33	0,19	18,20	7,00	YETERSİZ
S 19	69	DepremY	Minimum Hasar*	-54,95	25x60	16	20,32	0,58	16,47	6,82	YETERLİ
S 20	70	DepremY	Göçme	-91,77	20x100	16	21,44	0,03	30,24	12,18	YETERSİZ
S 21	71	DepremY	Minimum Hasar*	-63,07	25x60	16	22,93	0,01	17,80	6,06	YETERLİ
S 22	72	DepremY	Minimum Hasar*	-70,75	25x60	16	23,33	0,49	18,19	6,63	YETERLİ
S 8	73	DepremY	İleri Hasar	-137,5	30x70	16	29,99	0,81	25,59	17,91	YETERSİZ
S 11	74	DepremY	İleri Hasar	-128,6	30x70	16	29,54	1,07	25,14	18,10	YETERSİZ
S 13	75	DepremY	Minimum Hasar*	-113,8	25x60	16	22,00	0,29	18,92	10,85	YETERLİ
S 9	76	DepremY	Göçme	-96,76	20x100	16	21,25	0,06	28,29	17,29	YETERSİZ
S 24	77	DepremY	Göçme	-119,3	20x100	16	22,84	0,07	31,64	18,59	YETERSİZ
S 10	78	DepremY	Göçme	-92,46	20x100	16	21,47	0,00	30,27	15,82	YETERSİZ
S 14	79	DepremY	Minimum Hasar*	-106,9	25x60	16	25,17	0,42	20,03	10,52	YETERLİ
S 7	80	DepremY	Minimum Hasar*	-124	20x100	16	35,55	0,73	23,81	10,52	YETERLİ
S 15	81	DepremY	Minimum Hasar*	-147,8	25x70	16	27,97	1,68	23,02	12,18	YETERLİ

“*:İki ucu mafsallaşan kolon”

Tablo 6.12 Y doğrultusu birinci mod şekline göre modal yükleme sonucunda örnek binanın 1. kat kolonlarının hasar bölgeleri, taban kesme kuvvetleri ve kesme kuvveti kapasiteleri

KOLON İNİDİSİ	SAP2000 İNİDİSİ	YÜKLEME DURUMU	HASAR DURUMU	P (t)	KESİT	f _{ck} (MPa)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr2 (t)	Kesme Kuvveti V2 (t)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr3 (t)	Kesme Kuvveti V3 (t)	Kesme Güvenliği
S 1	1	DepremY	Minumum Hasar	-71,06	20x100	16	29,18	2,22	20,38	6,98	YETERLİ
S 2	2	DepremY	Minumum Hasar*	-97,23	20x100	16	28,31	0,24	21,27	9,17	YETERLİ
S 3	3	DepremY	Minumum Hasar	-85,89	20x100	16	27,74	0,66	20,70	7,30	YETERLİ
S 4	4	DepremY	Minumum Hasar	-85,71	20x100	16	29,93	0,03	21,13	7,20	YETERLİ
S 5	5	DepremY	Minumum Hasar	-95,73	20x100	16	30,44	0,32	21,64	8,70	YETERLİ
S 6	6	DepremY	Minumum Hasar	-71,18	20x100	16	26,99	2,35	19,95	6,86	YETERLİ
S 12	7	DepremY	Minumum Hasar*	-90,38	20x100	16	27,97	0,61	20,93	9,09	YETERLİ
S 16	8	DepremY	Minumum Hasar*	-113,8	25x70	16	28,79	1,58	24,39	10,82	YETERLİ
S 23	9	DepremY	Minumum Hasar*	-4,383	20x100	16	25,78	0,11	16,98	5,39	YETERLİ
S 17	10	DepremY	Belirgin Hasar*	-4,976	20x100	16	29,48	0,29	17,75	5,33	YETERSİZ
S 18	11	DepremY	Minumum Hasar	-56,76	25x60	16	22,61	0,60	17,48	6,16	YETERLİ
S 19	12	DepremY	Minumum Hasar	-45,63	25x60	16	19,85	0,41	16,00	6,75	YETERLİ
S 20	13	DepremY	Belirgin Hasar*	-73,63	20x100	16	20,51	0,09	29,31	12,36	YETERSİZ
S 21	14	DepremY	Minumum Hasar	-51,05	25x60	16	22,32	0,06	17,19	4,09	YETERLİ
S 22	15	DepremY	Minumum Hasar	-56,82	25x60	16	22,62	1,30	17,48	5,86	YETERLİ
S 8	16	DepremY	Minumum Hasar*	-110,5	30x70	16	28,62	0,15	24,22	17,87	YETERLİ
S 11	17	DepremY	Minumum Hasar*	-104,2	30x70	16	28,30	0,32	23,90	18,34	YETERLİ
S 13	18	DepremY	Minumum Hasar*	-90,95	25x60	16	20,83	0,19	17,75	10,52	YETERLİ
S 9	19	DepremY	Belirgin Hasar*	-76,12	20x100	16	20,20	0,04	27,24	14,72	YETERSİZ
S 24	20	DepremY	Belirgin Hasar*	-92,69	20x100	16	21,48	0,03	30,28	16,24	YETERSİZ
S 10	21	DepremY	Belirgin Hasar*	-73,06	20x100	16	20,48	0,03	29,28	14,87	YETERSİZ
S 14	22	DepremY	Minumum Hasar*	-85,89	25x60	16	24,10	0,07	18,96	10,26	YETERLİ
S 7	23	DepremY	Minumum Hasar*	-95,15	20x100	16	34,08	0,16	22,34	9,94	YETERLİ
S 15	24	DepremY	Minumum Hasar*	-114,5	25x70	16	26,27	1,50	21,32	10,86	YETERLİ

“*:İki ucu mafsallaşan kolon”

Tablo 6.13 Y doğrultusu birinci mod şekline göre modal yükleme sonucunda örnek binanın 2. kat kolonlarının hasar bölgeleri, taban kesme kuvvetleri ve kesme kuvveti kapasiteleri

KOLON İNİDİSİ	SAP2000 İNİDİSİ	YÜKLEME DURUMU	HASAR DURUMU	P (t)	KESİT	fck (MPa)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr2 (t)	Kesme Kuvveti V2 (t)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr3 (t)	Kesme Kuvveti V3 (t)	Kesme Güvenliği
S 1	139	DepremY	Minumum Hasar	-50,2	20x100	16	28,12	1,45	19,32	6,22	YETERLİ
S 2	140	DepremY	Minumum Hasar*	-66,74	20x100	16	26,76	0,39	19,72	7,28	YETERLİ
S 3	141	DepremY	Minumum Hasar	-61,17	20x100	16	26,48	0,35	19,44	6,84	YETERLİ
S 4	142	DepremY	Minumum Hasar	-61,02	20x100	16	28,67	0,06	19,87	6,77	YETERLİ
S 5	143	DepremY	Minumum Hasar*	-65,03	20x100	16	28,87	0,20	20,07	7,19	YETERLİ
S 6	144	DepremY	Minumum Hasar	-50,28	20x100	16	25,92	1,68	18,88	6,10	YETERLİ
S 12	145	DepremY	Minumum Hasar*	-63,78	20x100	16	26,61	0,79	19,57	7,30	YETERLİ
S 16	146	DepremY	Minumum Hasar	-80,68	25x70	16	27,10	1,29	22,70	9,34	YETERLİ
S 23	147	DepremY	Minumum Hasar*	-7,606	20x100	16	25,95	0,10	17,15	5,08	YETERLİ
S 17	148	DepremY	Minumum Hasar*	-7,806	20x100	16	29,62	0,09	17,89	5,01	YETERLİ
S 18	149	DepremY	Minumum Hasar	-43,01	25x60	16	21,91	0,50	16,78	5,89	YETERLİ
S 19	150	DepremY	Minumum Hasar	-35,98	25x60	16	19,35	0,32	15,50	6,89	YETERLİ
S 20	151	DepremY	Minumum Hasar	-56,38	20x100	16	19,63	0,04	28,43	8,63	YETERLİ
S 21	152	DepremY	Minumum Hasar	-38,77	25x60	16	21,70	0,00	16,56	4,38	YETERLİ
S 22	153	DepremY	Minumum Hasar	-43,23	25x60	16	21,92	1,06	16,79	5,68	YETERLİ
S 8	154	DepremY	Minumum Hasar*	-83,08	25x60	16	21,75	0,14	17,90	10,70	YETERLİ
S 11	155	DepremY	Minumum Hasar*	-79,66	25x60	16	21,58	0,27	17,73	10,87	YETERLİ
S 13	156	DepremY	Minumum Hasar*	-68,48	25x60	16	19,69	0,02	16,61	9,99	YETERLİ
S 9	157	DepremY	Minumum Hasar	-54,97	20x100	16	19,12	0,08	26,16	13,03	YETERLİ
S 24	158	DepremY	Minumum Hasar	-66,32	20x100	16	20,14	0,03	28,94	14,77	YETERLİ
S 10	159	DepremY	Minumum Hasar	-53,24	20x100	16	19,47	0,04	28,27	13,02	YETERLİ
S 14	160	DepremY	Minumum Hasar*	-65,32	25x60	16	23,05	0,15	17,92	9,78	YETERLİ
S 7	161	DepremY	Minumum Hasar*	-66,21	20x100	16	32,60	0,84	20,87	7,47	YETERLİ
S 15	162	DepremY	Minumum Hasar	-80,79	25x70	16	24,56	0,94	19,61	9,57	YETERLİ

“*:İki ucu mafsallaşan kolon”

Tablo 6.14 Y doğrultusu birinci mod şekline göre modal yükleme sonucunda örnek binanın 3. kat kolonlarının hasar bölgeleri, taban kesme kuvvetleri ve kesme kuvveti kapasiteleri

KOLON İNİDİSİ	SAP2000 İNİDİSİ	YÜKLEME DURUMU	HASAR DURUMU	P (t)	KESİT	f _{ek} (MPa)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr2 (t)	Kesme Kuvveti V2 (t)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr3 (t)	Kesme Kuvveti V3 (t)	Kesme Güvenliği
S 1	208	DepremY	Minumum Hasar*	-30,23	20x100	16	27,10	2,10	18,30	5,04	YETERLİ
S 2	209	DepremY	Minumum Hasar*	-39,58	20x100	16	25,38	0,14	18,34	6,09	YETERLİ
S 3	210	DepremY	Minumum Hasar*	-37,27	20x100	16	25,26	0,13	18,22	5,92	YETERLİ
S 4	211	DepremY	Minumum Hasar	-37,18	20x100	16	27,45	0,00	18,65	5,81	YETERLİ
S 5	212	DepremY	Minumum Hasar*	-38,39	20x100	16	27,52	0,02	18,72	5,97	YETERLİ
S 6	213	DepremY	Minumum Hasar*	-30,25	20x100	16	24,90	2,19	17,86	4,96	YETERLİ
S 12	214	DepremY	Minumum Hasar*	-41,48	20x100	16	25,47	0,72	18,43	6,05	YETERLİ
S 16	215	DepremY	Minumum Hasar	-46,14	25x70	16	25,34	2,72	20,94	6,81	YETERLİ
S 23	216	DepremY	Minumum Hasar*	-10,36	20x100	16	26,09	0,67	17,29	4,57	YETERLİ
S 17	217	DepremY	Minumum Hasar*	-10,35	20x100	16	29,75	0,73	18,02	4,55	YETERLİ
S 18	218	DepremY	Minumum Hasar	-28,33	25x60	16	21,16	0,50	16,03	3,45	YETERLİ
S 19	219	DepremY	Minumum Hasar	-25,62	25x60	16	18,83	0,44	14,98	5,07	YETERLİ
S 20	220	DepremY	Minumum Hasar*	-37,88	20x100	16	18,69	0,04	27,49	0,72	YETERLİ
S 21	221	DepremY	Minumum Hasar	-25,98	25x60	16	21,04	0,30	15,91	3,11	YETERLİ
S 22	222	DepremY	Minumum Hasar	-28,7	25x60	16	21,18	0,64	16,05	3,36	YETERLİ
S 8	223	DepremY	Minumum Hasar*	-55,48	25x60	16	20,35	0,07	16,50	8,81	YETERLİ
S 11	224	DepremY	Minumum Hasar*	-53,86	25x60	16	20,26	0,06	16,41	8,67	YETERLİ
S 13	225	DepremY	Minumum Hasar*	-43,36	25x60	16	18,41	0,19	15,33	7,50	YETERLİ
S 9	226	DepremY	Minumum Hasar	-35,37	20x100	16	18,12	0,08	25,16	6,54	YETERLİ
S 24	227	DepremY	Minumum Hasar	-40,88	20x100	16	18,84	0,05	27,64	7,98	YETERLİ
S 10	228	DepremY	Minumum Hasar	-34,44	20x100	16	18,51	0,07	27,31	6,54	YETERLİ
S 14	229	DepremY	Minumum Hasar*	-42,62	25x60	16	21,89	0,19	16,76	7,55	YETERLİ
S 7	230	DepremY	Minumum Hasar*	-42,66	20x100	16	31,40	0,61	19,67	6,10	YETERLİ
S 15	231	DepremY	Minumum Hasar	-46,36	25x70	16	22,80	2,36	17,85	6,87	YETERLİ

“*:İki ucu mafsallaşan kolon”

Tablo 6.15 Y doğrultusu birinci mod şekline göre modal yükleme sonucunda örnek binanın 4. kat kolonlarının hasar bölgeleri, taban kesme kuvvetleri ve kesme kuvveti kapasiteleri

KOLON İNİSİ	SAP2000 İNİSİ	YÜKLEME DURUMU	HASAR DURUMU	P (t)	KESİT	f _{ck} (MPa)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr2 (t)	Kesme Kuvveti V2 (t)	Kesme Kuvveti Kapasitesi Vr3 (t)	Kesme Kuvveti V3 (t)	Kesme Güvenliği
S 1	277	DepremY	Minumum Hasar*	-11,8	20x100	16	26,16	1,95	17,36	3,17	YETERLİ
S 2	278	DepremY	Minumum Hasar	-15,53	20x100	16	24,15	0,99	17,11	4,26	YETERLİ
S 3	279	DepremY	Minumum Hasar	-14,86	20x100	16	24,12	0,18	17,08	3,72	YETERLİ
S 4	280	DepremY	Minumum Hasar	-14,83	20x100	16	26,32	0,17	17,52	3,69	YETERLİ
S 5	281	DepremY	Minumum Hasar	-15,13	20x100	16	26,33	0,98	17,53	3,75	YETERLİ
S 6	282	DepremY	Minumum Hasar*	-11,75	20x100	16	23,96	1,96	16,92	3,18	YETERLİ
S 12	283	DepremY	Minumum Hasar	-19,69	20x100	16	24,36	0,33	17,32	3,13	YETERLİ
S 16	284	DepremY	Minumum Hasar	-16,42	25x70	16	23,82	2,36	19,42	1,53	YETERLİ
S 23	285	DepremY	Minumum Hasar	-6,583	20x100	16	25,90	2,93	17,10	1,19	YETERLİ
S 17	286	DepremY	Minumum Hasar	-6,529	20x100	16	29,56	2,83	17,83	1,25	YETERLİ
S 18	287	DepremY	Minumum Hasar	-12,4	25x60	16	20,35	0,66	15,22	0,63	YETERLİ
S 19	288	DepremY	Minumum Hasar	-11,98	25x60	16	18,13	0,61	14,28	0,30	YETERLİ
S 20	289	DepremY	Minumum Hasar	-17,04	20x100	16	17,63	0,03	26,43	4,47	YETERLİ
S 21	290	DepremY	Minumum Hasar	-11,7	25x60	16	20,32	0,65	15,18	0,09	YETERLİ
S 22	291	DepremY	Minumum Hasar	-12,62	25x60	16	20,36	0,60	15,23	0,56	YETERLİ
S 8	292	DepremY	Minumum Hasar	-26,65	25x60	16	18,88	0,87	15,03	5,69	YETERLİ
S 11	293	DepremY	Minumum Hasar	-26,71	25x60	16	18,88	0,94	15,03	5,68	YETERLİ
S 13	294	DepremY	Minumum Hasar	-18,84	25x60	16	17,16	0,22	14,08	5,06	YETERLİ
S 9	295	DepremY	Minumum Hasar	-16,41	20x100	16	17,16	0,15	24,20	1,81	YETERLİ
S 24	296	DepremY	Minumum Hasar	-16,77	20x100	16	17,61	0,02	26,41	7,20	YETERLİ
S 10	297	DepremY	Minumum Hasar	-16,31	20x100	16	17,59	0,13	26,39	1,83	YETERLİ
S 14	298	DepremY	Minumum Hasar	-18,98	25x60	16	20,69	0,20	15,55	5,07	YETERLİ
S 7	299	DepremY	Minumum Hasar	-19,68	20x100	16	30,23	0,11	18,50	3,23	YETERLİ
S 15	300	DepremY	Minumum Hasar	-16,57	25x70	16	21,28	2,23	16,33	1,59	YETERLİ

“*:İki ucu mafsallaşan kolon”

6.8 Örnek Binanın Kat Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Yapının kat kesme kuvvetleri değerlendirilerek yapının deprem performansı kolonlar açısından belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 6.16 ve Tablo 6.17’ de verilmiştir.

Tablo 6.16 X doğrultusunda yatay birinci mod şeklindeki yükleme sonucunda örnek bina kolonlarının hasar bölgelerine göre toplam kesme kuvvetleri ve kolonların hasar bölgelerine göre toplam kesme kuvveti oranları

X	$\Sigma V_{(MH),i}$ (ton)	$\Sigma V_{(BH),i}$ (ton)	$\Sigma V_{(IH),i}$ (ton)	$\Sigma V_{(G),i}$ (ton)	ΣV_i (ton)	$\Sigma V_{(MH),i}/\Sigma V_i$ (%)	$\Sigma V_{(BH),i}/\Sigma V_i$ (%)	$\Sigma V_{(IH),i}/\Sigma V_i$ (%)	$\Sigma V_{(G),i}/\Sigma V_i$ (%)
Zemin Kat	176.32	75.76	0.00	0.00	251.88	1.00	0.00	0.00	0.00
1.Kat	231.36	14.77	0.00	0.00	246.13	1.00	0.00	0.00	0.00
2.Kat	198.57	0.00	0.00	0.00	198.57	1.00	0.00	0.00	0.00
3.Kat	138.50	0.00	0.00	0.00	138.50	1.00	0.00	0.00	0.00
4.Kat	79.93	0.00	0.00	0.00	79.93	1.00	0.00	0.00	0.00

Tablo 6.17 Y doğrultusunda yatay birinci mod şeklindeki yükleme sonucunda örnek bina kolonlarının hasar bölgelerine göre toplam kesme kuvvetleri ve kolonların hasar bölgelerine göre toplam kesme kuvveti oranları

Y	$\Sigma V_{(MH),i}$ (ton)	$\Sigma V_{(BH),i}$ (ton)	$\Sigma V_{(IH),i}$ (ton)	$\Sigma V_{(G),i}$ (ton)	ΣV_i (ton)	$\Sigma V_{(MH),i}/\Sigma V_i$ (%)	$\Sigma V_{(BH),i}/\Sigma V_i$ (%)	$\Sigma V_{(IH),i}/\Sigma V_i$ (%)	$\Sigma V_{(G),i}/\Sigma V_i$ (%)
Zemin Kat	187.19	7.63	30.96	37.20	262.98	74.45	0.00	0.00	25.55
1.Kat	165.00	70.70	0.00	0.00	235.70	97.74	2.26	0.00	0.00
2.Kat	197.82	0.00	0.00	0.00	197.82	100.00	0.00	0.00	0.00
3.Kat	138.01	0.00	0.00	0.00	138.01	100.00	0.00	0.00	0.00
4.Kat	72.09	0.00	0.00	0.00	72.09	100.00	0.00	0.00	0.00

6.9 Örnek Bina X Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Performans Değerlendirilmesi

Örnek binadaki tüm betonarme yapı elemanlarının kesit hasar durumları aşağıdaki gibidir:

- Toplam 42 adet olan Zemin Kat kirişlerinin 12 adedi plastikleşmiş olup, plastikleşmiş kesitlerin %11,9'u Belirgin Hasar Bölgesinde (BHB), %88,1'i Minimum Hasar Bölgesindedir (MHB).
- Toplam 42 adet olan 1. Kat kirişlerinin 11 adedi plastikleşmiş olup, plastikleşmiş kesitlerin %4,8'i Belirgin Hasar Bölgesinde (BHB), %95,2'si Minimum Hasar Bölgesindedir (MHB).

- Toplam 40 adet olan 2. Kat kirişlerinin 7 adedi plastikleşmiş olup, plastikleşmiş kesitlerin tamamı Minimum Hasar Bölgesindedir (MHB).

- Toplam 40 adet olan 3. Kat kirişlerinin 1 adedi plastikleşmiş olup, plastikleşmiş kesitlerin tamamı Minimum Hasar Bölgesindedir (MHB).

- Toplam 40 adet olan 4. Kat kirişlerinin hiçbirisi plastikleşmemiştir.

Sonuç itibariyle X doğrultusu için yapılan itme analizi sonucunda İleri Hasar Bölgesinde (İHB) yer alan hiçbir kiriş elemanı yer almamaktadır.

- Toplam 24 adet olan Zemin Kat kolonlarının tamamı plastikleşmiş olup, kesitlerin %30'u Belirgin Hasar Bölgesinde (BHB), %70'i Minimum Hasar Bölgesindedir (MHB).

- Toplam 24 adet olan 1. Kat kolonlarının 17 adedi plastikleşmiş olup, plastikleşmiş kesitlerin %6'sı Belirgin Hasar Bölgesinde (BHB), %94'ü Minimum Hasar Bölgesindedir (MHB).

- Toplam 24 adet olan 2. Kat kolonlarının 8 adedi plastikleşmiş olup, plastikleşmiş kesitlerin tamamı Minimum Hasar Bölgesindedir (MHB).

- Toplam 24 adet olan 3. Kat kolonlarının 7 adedi plastikleşmiş olup, plastikleşmiş kesitlerin tamamı Minimum Hasar Bölgesindedir (MHB).

- Toplam 24 adet olan 4. Kat kolonlarının 3 adedi plastikleşmiş olup, plastikleşmiş kesitlerin tamamı Minimum Hasar Bölgesindedir (MHB).

X doğrultusu için yapılan itme analizi sonucunda İleri Hasar Bölgesinde (İHB) yer alan hiçbir kolon elemanı yer almamaktadır. Tablo 6.6, Tablo 6.7, Tablo 6.8, Tablo 6.9, Tablo 6.10'da da görüldüğü ve yukarıda da belirtildiği gibi, kolonların iki ucunda mafsallı oluşmuş, Minimum Hasar Sınırı aşılmıştır. Bu kolonların taşıdığı

kesme kuvvetlerinin tüm kat kesme kuvveti talebine oranı 1. katta 0,43, 2. katta $616,03/2636,45 = 0,13$ olarak bulunmuştur. 1. kattaki 0,43 oranı, bu çalışmada yer alan Bölüm 5.1 ve aynı zamanda DBYBHY 2007’de yer alan Bölüm 7.7.3c gereğince verilen üst sınır olan 0,3 oranından büyüktür.

Bu belirlemeler doğrultusunda DBYBHY 2007’de yer alan Bölüm 7.7.3’e göre seçilmiş olan örnek binada X doğrultusu depremi altındaki yapısal performans Can Güvenliği Performans Düzeyi sağlanmamaktadır.

6.10 Örnek Bina Y Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Performans Değerlendirilmesi

Tüm betonarme yapı elemanlarının kesit hasar durumları aşağıdaki gibidir:

- Toplam 42 adet olan Zemin Kat kirişlerinin 28 adedi plastikleşmiş olup, plastikleşmiş kesitlerin %21,4’ü Belirgin Hasar Bölgesinde (BHB), %78,6’sı Minimum Hasar Bölgesindedir (MHB).
- Toplam 42 adet olan 1. Kat kirişlerinin 20 adedi plastikleşmiş olup, plastikleşmiş kesitlerin %16,7’si Belirgin Hasar Bölgesinde (BHB), %83,3’ü Minimum Hasar Bölgesindedir (MHB).
- Toplam 40 adet olan 2. Kat kirişlerinin 9 adedi plastikleşmiş olup, plastikleşmiş kesitlerin %10’u Belirgin Hasar Bölgesinde (BHB), %90’ı Minimum Hasar Bölgesindedir (MHB).
- Toplam 40 adet olan 3. Kat kirişlerinin 4 adedi plastikleşmiş olup, plastikleşmiş kesitlerin %2,5’i Belirgin Hasar Bölgesinde (BHB), %97,5’i Minimum Hasar Bölgesindedir (MHB).
- Toplam 40 adet olan 4. Kat kirişlerinin hiçbirisi plastikleşmemiştir.

Sonuç itibariyle Y yönü için yapılan itme analizi sonucunda İleri Hasar Bölgesinde (İHB) yer alan hiçbir giriş elemanı yer almamaktadır.

- Toplam 24 adet olan Zemin Kat kolonlarının tamamı plastikleşmiş olup, kesitlerin %17'si Göçme Bölgesinde (GB), %13'ü İleri Hasar Bölgesinde (İHB), %4'ü Belirgin Hasar Bölgesinde (BHB), %66'sı Minimum Hasar Bölgesindedir (MHB).

- Toplam 24 adet olan 1. Kat kolonlarının 16 adedi plastikleşmiş olup, plastikleşmiş kesitlerin %31'i Belirgin Hasar Bölgesinde (BHB), %69'u Minimum Hasar Bölgesindedir (MHB).

- Toplam 24 adet olan 2. Kat kolonlarının 10 adedi plastikleşmiş olup, plastikleşmiş kesitlerin tamamı Minimum Hasar Bölgesindedir (MHB).

- Toplam 24 adet olan 3. Kat kolonlarının 14 adedi plastikleşmiş olup, plastikleşmiş kesitlerin tamamı Minimum Hasar Bölgesindedir (MHB).

- Toplam 24 adet olan 4. Kat kolonlarının 2 adedi plastikleşmiş olup, plastikleşmiş kesitlerin tamamı Minimum Hasar Bölgesindedir (MHB).

Bu belirlemeler doğrultusunda Y yönü için yapılan itme analizi sonucunda zemin katta yer alan Göçme Bölgesinde (GB) yer alan kolonlardan dolayı DBYBHY 2007'de yer alan Bölüm 7.7.3'e göre seçilmiş olan örnek binada Y doğrultusu depremi altındaki yapısal performans Can Güvenliği Performans Düzeyi sağlanmamaktadır.

İki doğrultuda yapılmış olan performans analizi sonucunda, örnek binada Can Güvenliği Performans Düzeyi sağlanmamaktadır. Bu nedenle binanın güçlendirilmesi gerekmektedir. Kolonlarda S8, S9, S10, S11, S17, S18, S20 ve S24; girişlerde K101, K101A, K106, K106A, K109, K109A, K111, K111A, K120 ve K120A güçlendirilecek olan elemanlardır.

BÖLÜM YEDİ

ÖRNEK BİNANIN CFRP İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

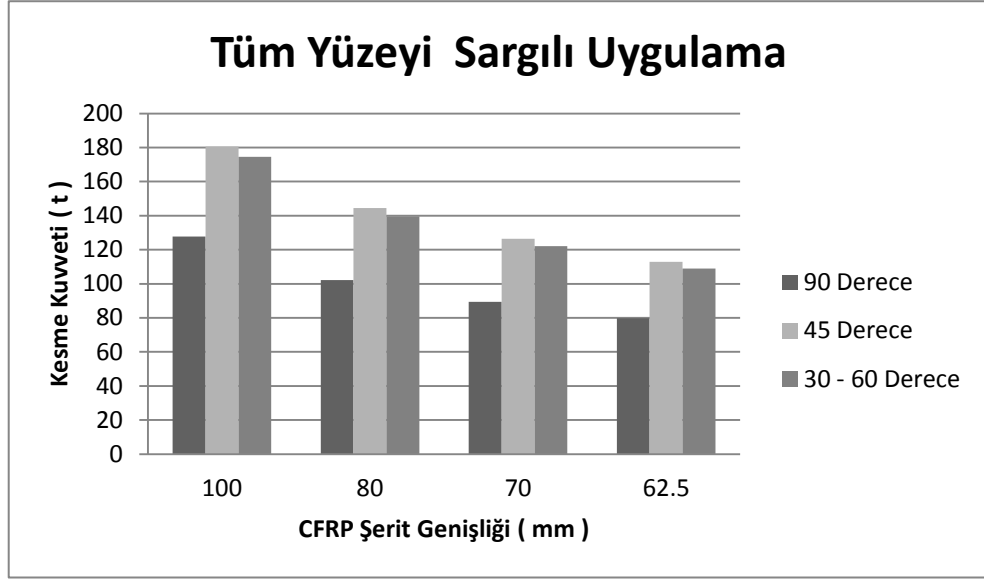
Bu bölümde, güçlendirme işlemi yapılacak olan elemanlar ACI 440 yönetmeliği dikkate alınarak çözüm yapılmıştır. Hesaplamalarda Bölüm 4'te verilen bağıntılar kullanılmış ve eleman bazında uygulama ve sonuçlar tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

7.1 Örnek Binanın ACI 440 Yönetmeliği' ne Göre Hesap Sonuçları

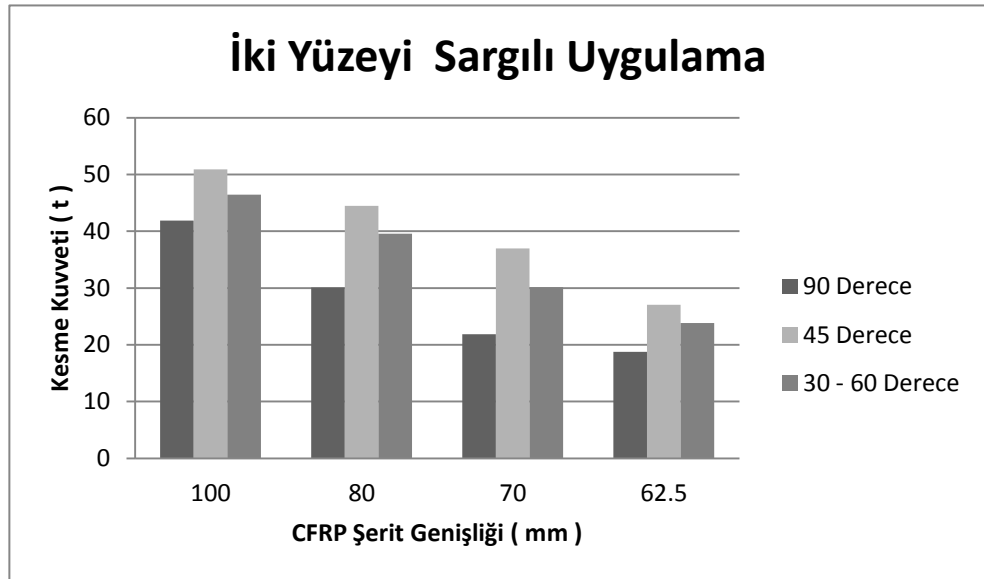
Bölüm 4.10'da verilen ACI 440 Yönetmeliği' nde yer alan bağıntılara göre örnek binanın CFRP ile güçlendirme hesaplamaları excel programı yardımıyla yapılmış ve sonuçları EK-3'te gösterilmiştir. CFRP uygulaması elemana 90, 45, 30 ve 60 derecelik açılarla uygulanmış olup, uygulama şerit genişlikleri 6,25 cm, 7 cm, 8 cm ve 10 cm şeklinde seçilmiştir. Şerit genişlikleri arasından en uygun olanı seçilip sırasıyla kolon ve kirişlerde tüm yüzeyleri sargılı ve iki yüzeyi sargılı, kirişlerde U sargılı şekilde uygulanmış ve sonuçlar irdelenerek kıyaslanmıştır.

Güçlendirilmesi gereken elemanlar için yapılmış olan CFRP uygulamalarının hesap sonuçları ve kesme değerleri grafiksel karşılaştırmalar sunulmuş ve en uygun olan çözüm vurgulanmıştır.

- *S9, S10, S20, S24 (20 / 100) numaralı kolonlar için grafik sonuçları;*



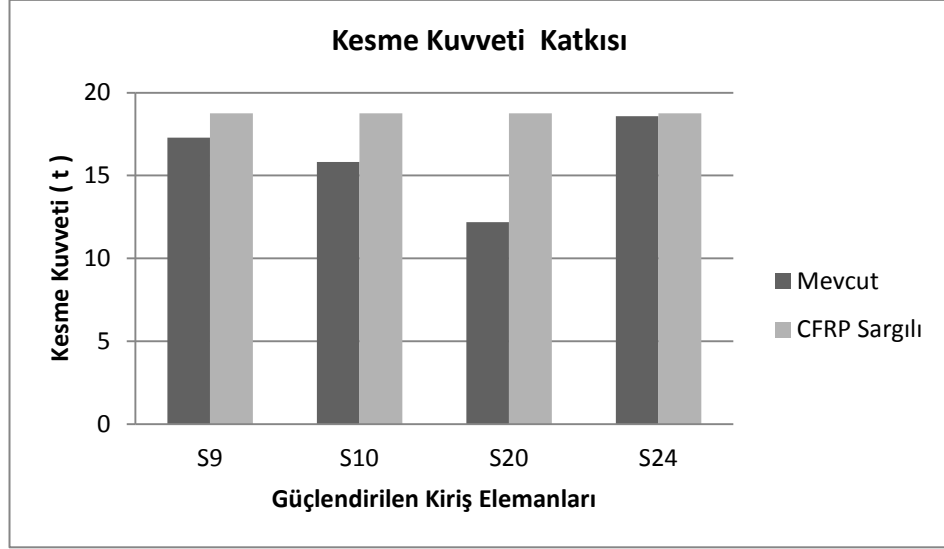
Şekil 7.1. S9, S10, S20, S24 (20 / 100) numaralı kolonlar için tüm yüzeyi sargılı CFRP uygulaması grafik sonuçları.



Şekil 7.2. S9, S10, S20, S24 (20 / 100) numaralı kolonlar için iki yüzeyi sargılı CFRP uygulaması grafik sonuçları.

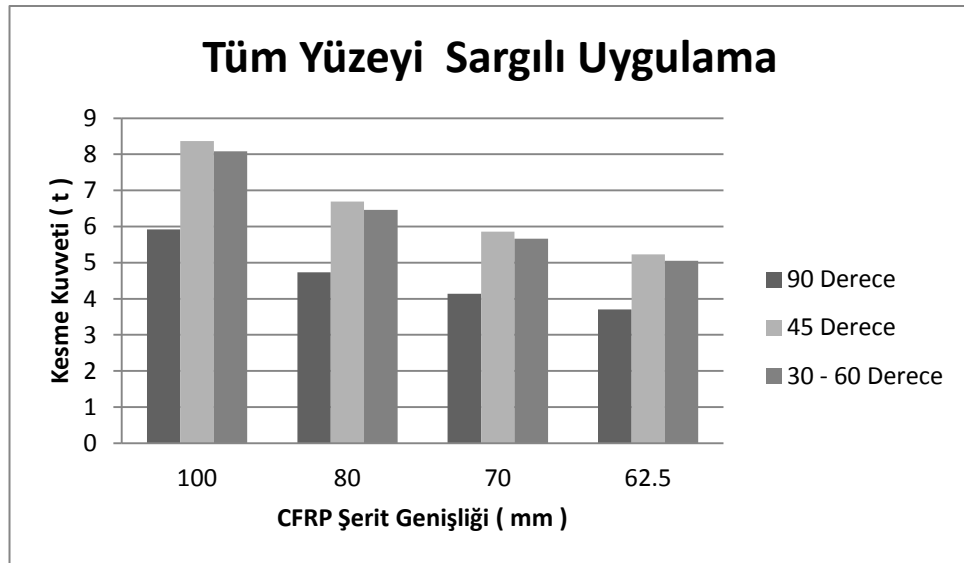
- Tüm yüzeyi sargılı ve iki yüzeyi sargılı uygulama incelendiğinde; tüm yüzeyi sargılı uygulamanın iki yüzeyi sargılı uygulamadan daha yüksek oranda kesme etkisine katkısı olduğu görülmektedir. Her iki uygulamada da 90, 45, 30 ve 60

derecelik uygulamaların tümü yeterli kesme değerini vermektedir. Ancak uygulama kolaylığı açısından 90 derecelik iki yüzeyi sargılı uygulama tavsiye edilmektedir. Farklı şerit genişliklerindeki CFRP malzemesinin tümü kesme kuvveti açısından yeterlidir; ancak 62.5 mm'lik malzeme tasarruf sağlayacağından tercih edilmelidir.

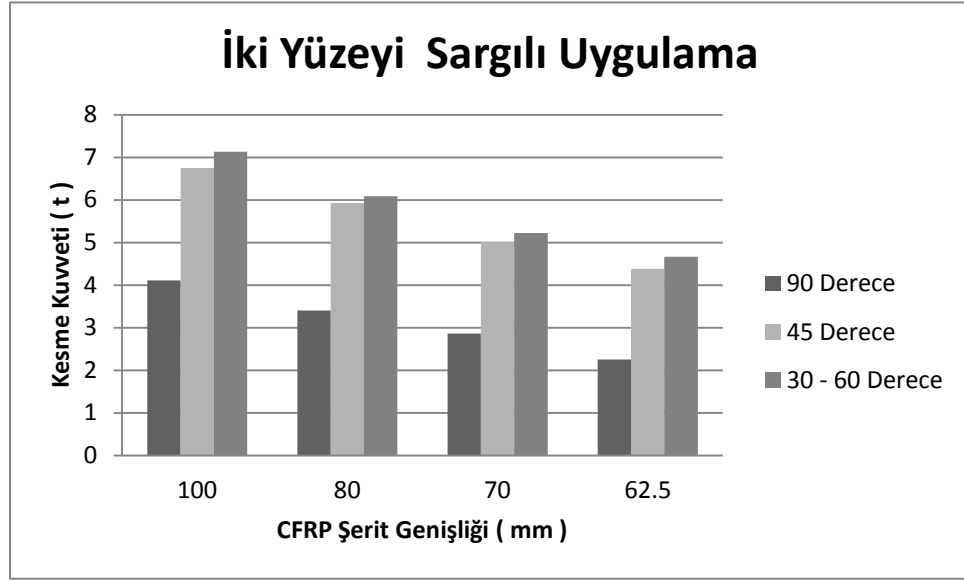


Şekil 7.3. S9, S10, S20, S24 (20 / 100) numaralı kolonların mevcut kesme kuvvetine CFRP katkısı.

- *S17 (100 / 20) numaralı kolon için grafik sonuçları;*

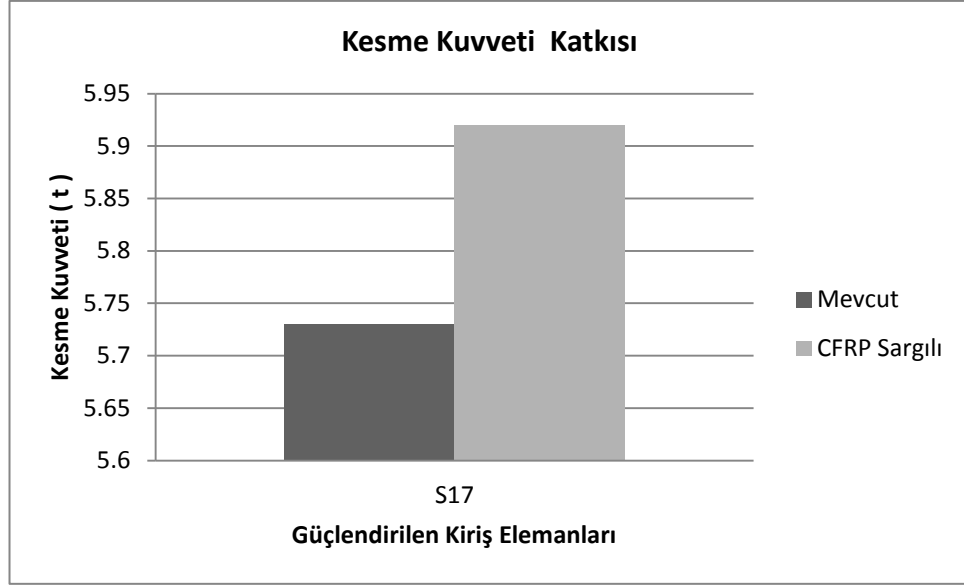


Şekil 7.4. S17 (100 / 20) numaralı kolon için tüm yüzeyi sargılı CFRP uygulaması grafik sonuçları.



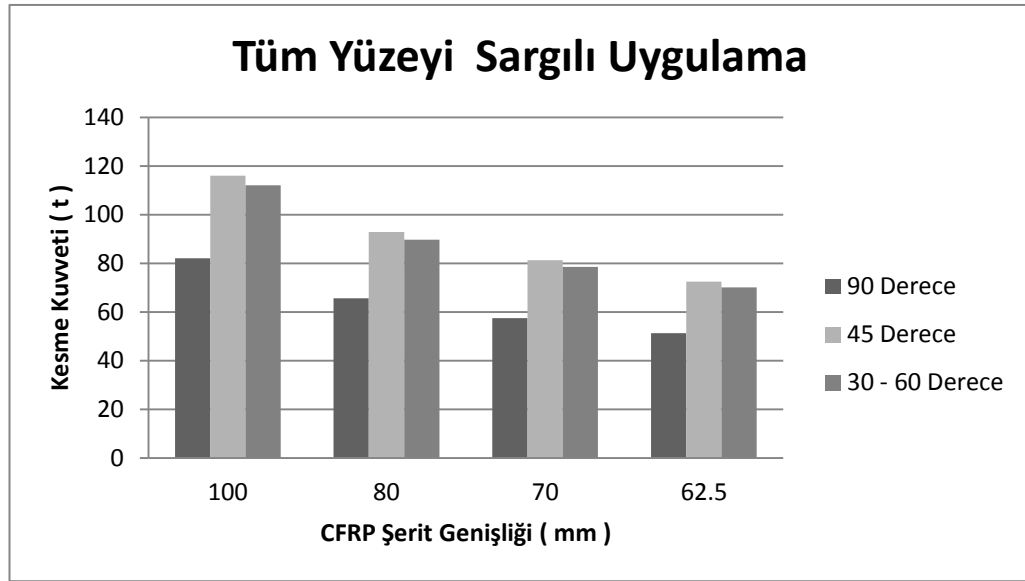
Şekil 7.5. S17 (100 / 20) numaralı kolon için iki yüzeyi sargılı CFRP uygulaması grafik sonuçları.

- Tüm yüzeyi sargılı ve iki yüzeyi sargılı uygulama incelendiğinde; tüm yüzeyi sargılı uygulamanın iki yüzeyi sargılı uygulamadan daha yüksek oranda kesme etkisine katkısı olduğu görülmektedir. İki yüzeyi sargılı uygulama tek yönde donatı yetersizliği olduğu durumlarda tercih edilebilmektedir. Tüm yüzeyi sargılı uygulamada 90 derecelik uygulama mevcut kesme kuvvetine katkı sağlamadığından tercih edilememektedir. 45, 30, 60 derecelik uygulamalardan hepsi tercih edilebilmektedir fakat yalnızca 100 mm şerit genişliğindeki malzemenin uygulanmasına izin verilebilmektedir. Çünkü diğer aralıklarda kesme kuvvetinde yeterli derecede artış sağlanamamaktadır.

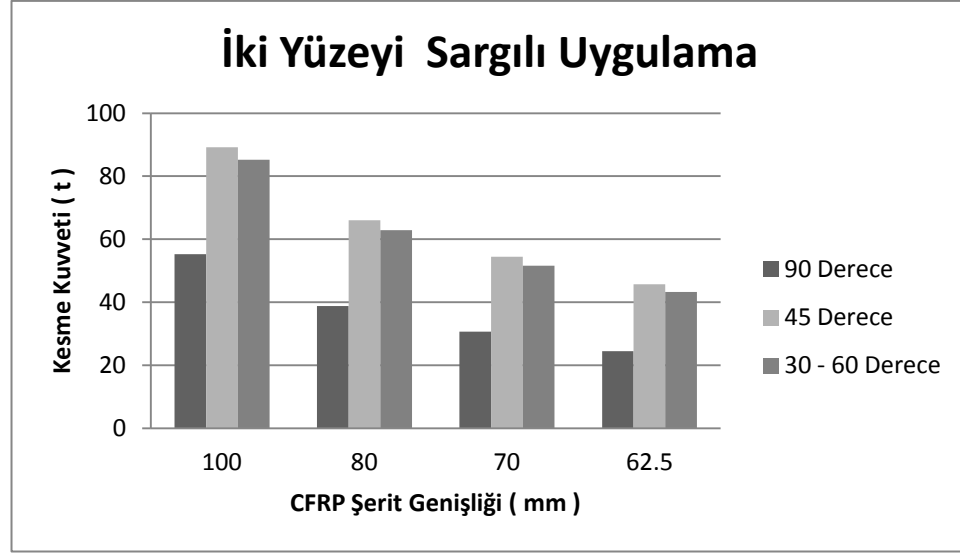


Şekil 7.6. S17 (100 / 20) numaralı kolonların mevcut kesme kuvvetine CFRP katkısı.

- *S8 ve S11 (30 / 70) numaralı kolonlar için grafik sonuçları;*

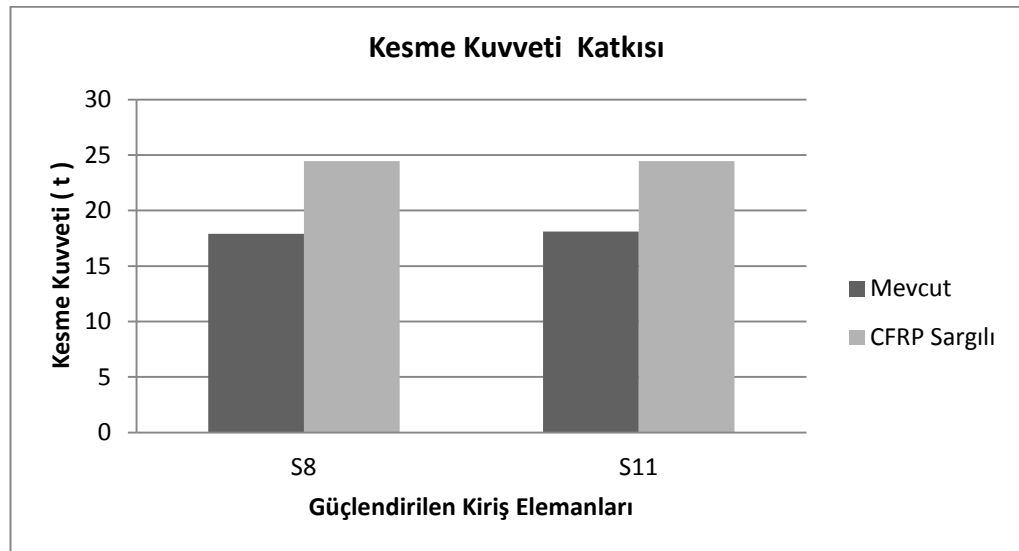


Şekil 7.7. S8 ve S11 (30 / 70) numaralı kolonlar için tüm yüzeyi sargılı CFRP uygulaması grafik sonuçları.



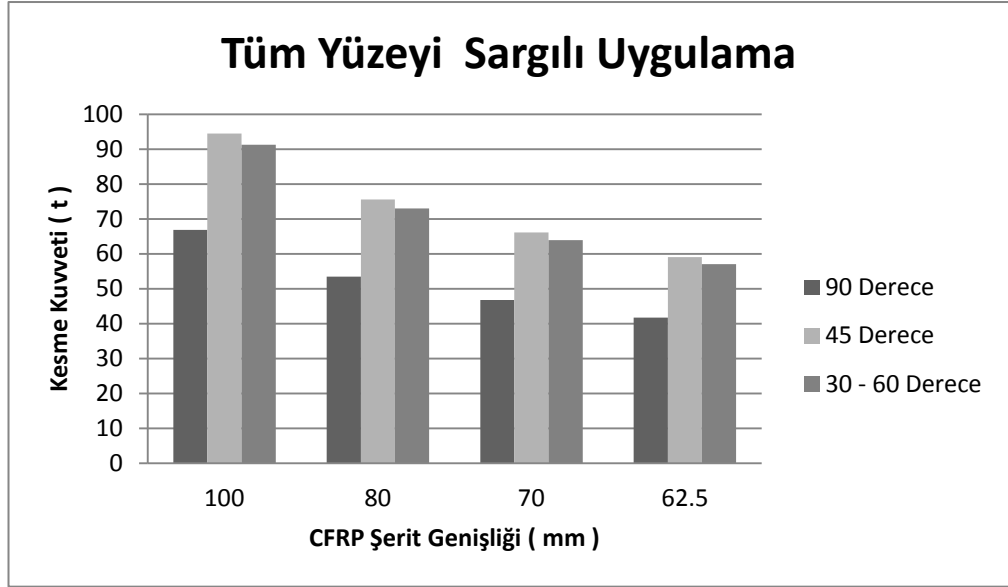
Şekil 7.8. S8 ve S11 (30 / 70) numaralı kolonlar için iki yüzeyi sargılı CFRP uygulaması grafik sonuçları.

- Tüm yüzeyi sargılı ve iki yüzeyi sargılı uygulama incelendiğinde; tüm yüzeyi sargılı uygulamanın iki yüzeyi sargılı uygulamadan daha yüksek oranda kesme etkisine katkısı olduğu görülmektedir. Her iki uygulamada da 90, 45, 30 ve 60 derecelik uygulamaların tümü yeterli kesme değerini vermektedir. Ancak uygulama kolaylığı açısından 90 derecelik iki yüzeyi sargılı uygulama tavsiye edilmektedir. Farklı şerit genişliklerindeki CFRP malzemesinin tümü kesme kuvveti açısından yeterlidir; ancak 62.5 mm'lik malzeme tasarruf sağlayacağından tercih edilmelidir.

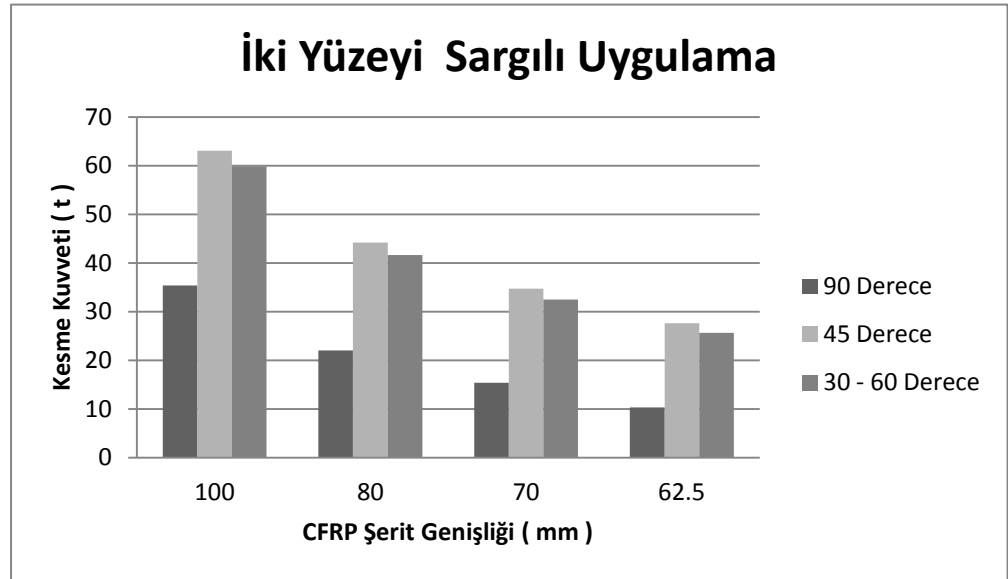


Şekil 7.9. S8 ve S11 (30 / 70) numaralı kolonların mevcut kesme kuvvetine CFRP katkısı.

- *S18 (25 / 60) numaralı kolon için grafik sonuçları;*



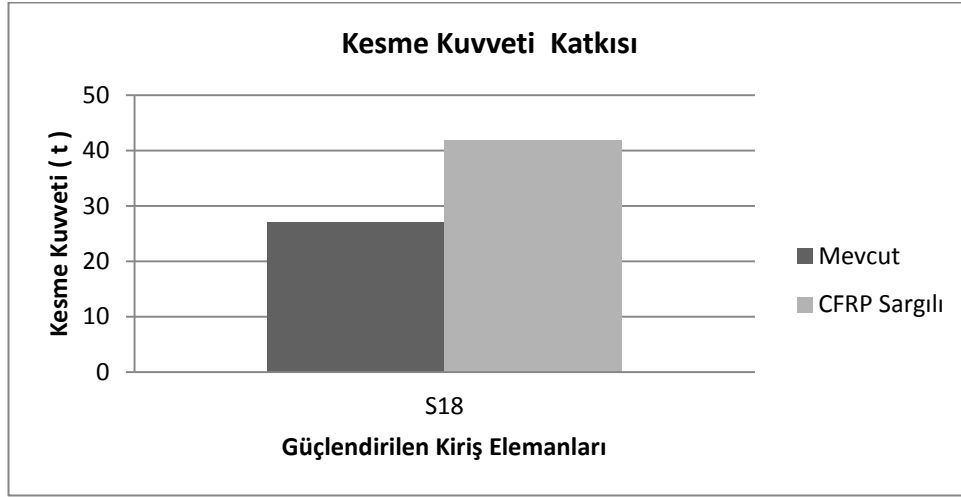
Şekil 7.10. S18 (25 / 60) numaralı kolon için tüm yüzeyi sargılı CFRP uygulaması grafik sonuçları.



Şekil 7.11. S18 (25 / 60) numaralı kolon için iki yüzeyi sargılı CFRP uygulaması grafik sonuçları.

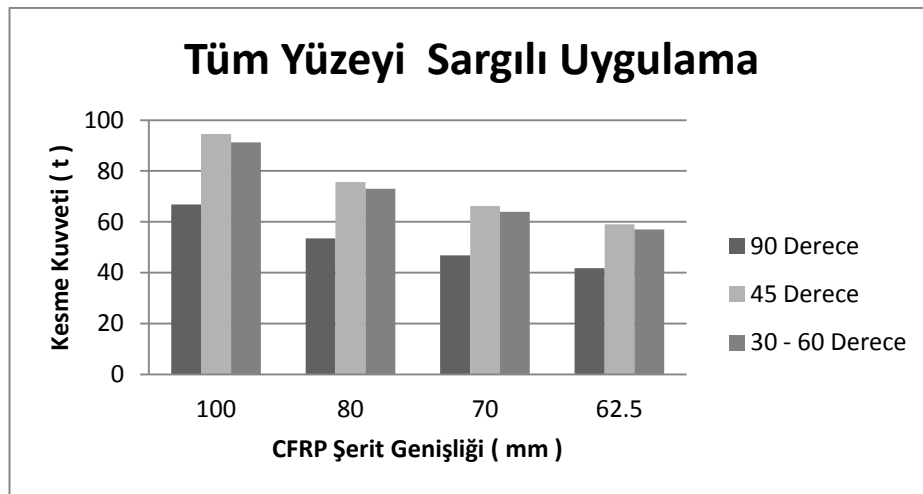
- Tüm yüzeyi sargılı ve iki yüzeyi sargılı uygulama incelendiğinde; tüm yüzeyi sargılı uygulamanın iki yüzeyi sargılı uygulamadan daha yüksek oranda kesme etkisine katkısı olduğu görülmektedir. İki yüzeyi sargılı uygulama tek yönde donatı

yetersizliği olduğu durumlarda tercih edilebilmektedir. Tüm yüzeyi sargılı uygulamada 90, 45, 30 ve 60 derecelik uygulamaların tümü yeterli kesme değerini vermektedir. Ancak uygulama kolaylığı açısından 90 derecelik uygulama tavsiye edilmektedir. Farklı şerit genişliklerindeki CFRP malzemesinin tümü kesme kuvveti açısından yeterlidir; ancak 100 mm'lik malzeme uygulama kolaylığı yönünden ve tasarruf sağlayacağından tercih edilmelidir.

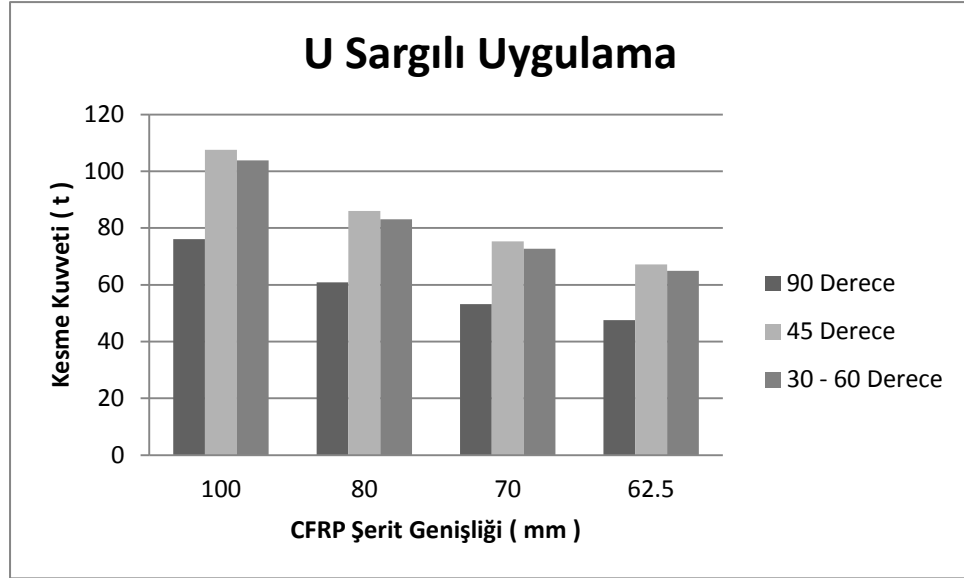


Şekil 7.12. S18 (25 / 60) numaralı kolonların mevcut kesme kuvvetine CFRP katkısı.

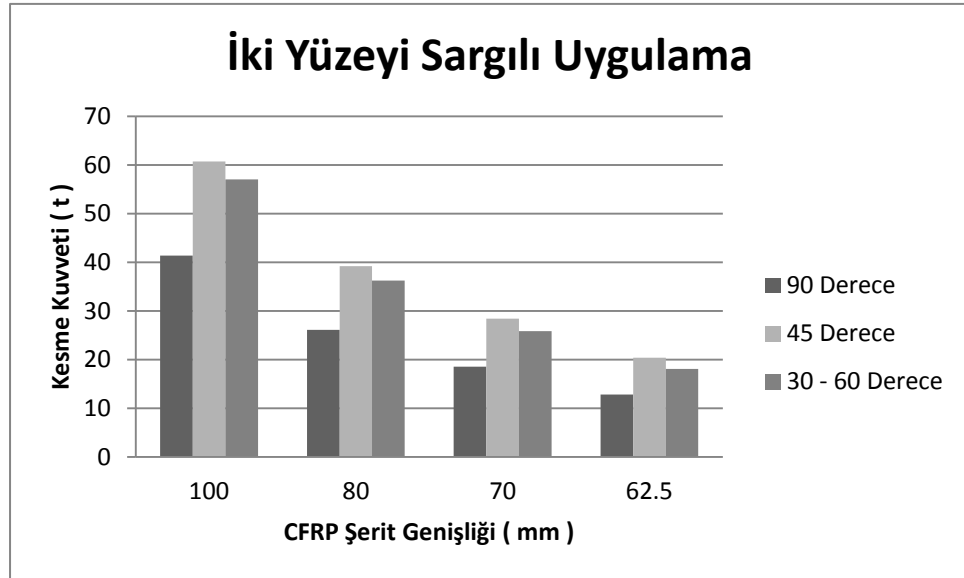
- ***K101, K101A, K111, K111A, K120 ve K120A (20 / 60) numaralı kirişler için grafik sonuçları;***



Şekil 7.13. K101, K101A, K111, K111A, K120 ve K120A (20 / 60) numaralı kirişler için tüm yüzeyi sargılı CFRP uygulaması grafik sonuçları.



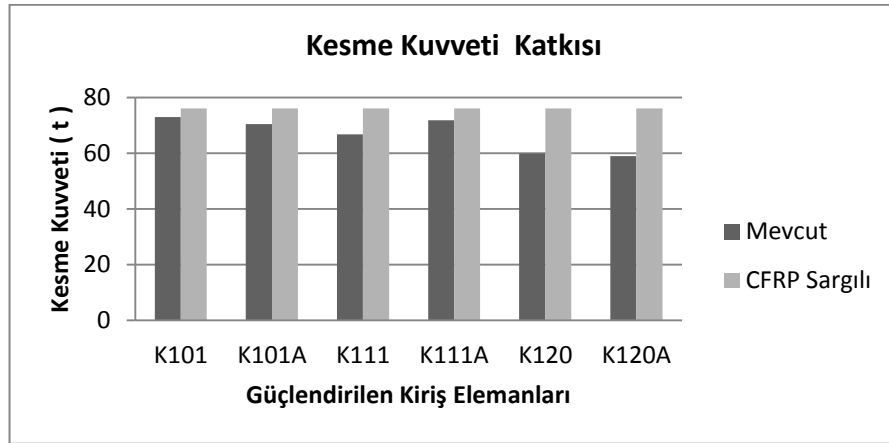
Şekil 7.14. K101, K101A, K111, K111A, K120 ve K120A (20 / 60) numaralı kirişler için U sargılı CFRP uygulaması grafik sonuçları.



Şekil 7.15. K101, K101A, K111, K111A, K120 ve K120A (20 / 60) numaralı kirişler için iki yüzeyi sargılı CFRP uygulaması grafik sonuçları.

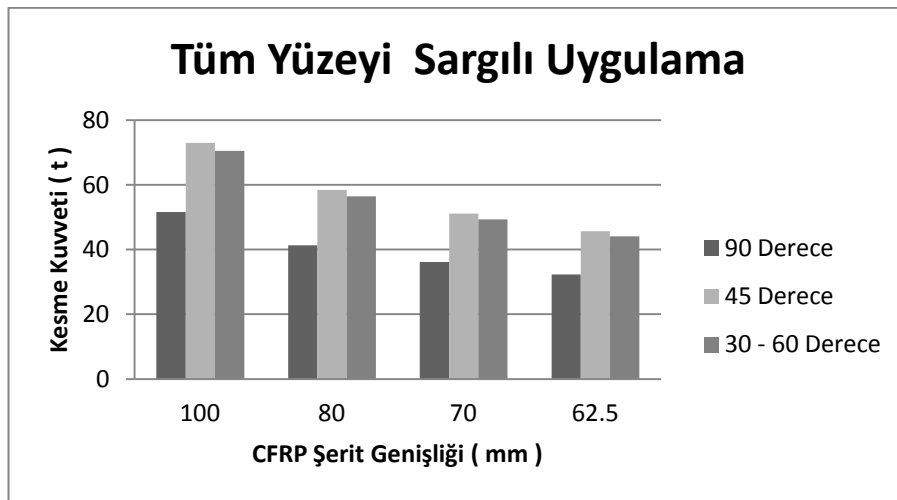
- Tüm yüzeyi sargılı, U sargılı ve iki yüzeyi sargılı uygulama incelendiğinde; tüm yüzeyi sargılı uygulamanın U sargılı ve iki yüzeyi sargılı uygulamadan daha yüksek oranda kesme etkisine katkısı olduğu görülmektedir. Tüm yüzeyi sargılı uygulamada 90, 45, 30 ve 60 derecelik uygulamaların tümü yeterli kesme değerini vermektedir. Ancak uygulama zorluğu açısından tüm yüzeyi sargılı uygulama tavsiye

edilmemektedir. İki yüzeyi sargılı uygulama ise kesme kuvvetine az miktarda katkı sağladığından uygulanmamaktadır. Tüm bu sebepler doğrultusunda U sargılama tercih edilmektedir. U sargılı yöntem içerisinde ise 90 derecelik uygulama hem uygulama kolaylığı hem de kesme katkısı açısından yeterli değerde olduğundan tercih edilmelidir. Farklı şerit genişliklerindeki CFRP malzemesinin tümü kesme kuvveti açısından yeterlidir; ancak 100 mm'lik malzeme uygulama kolaylığı yönünden ve tasarruf sağlayacağından tercih edilmelidir.

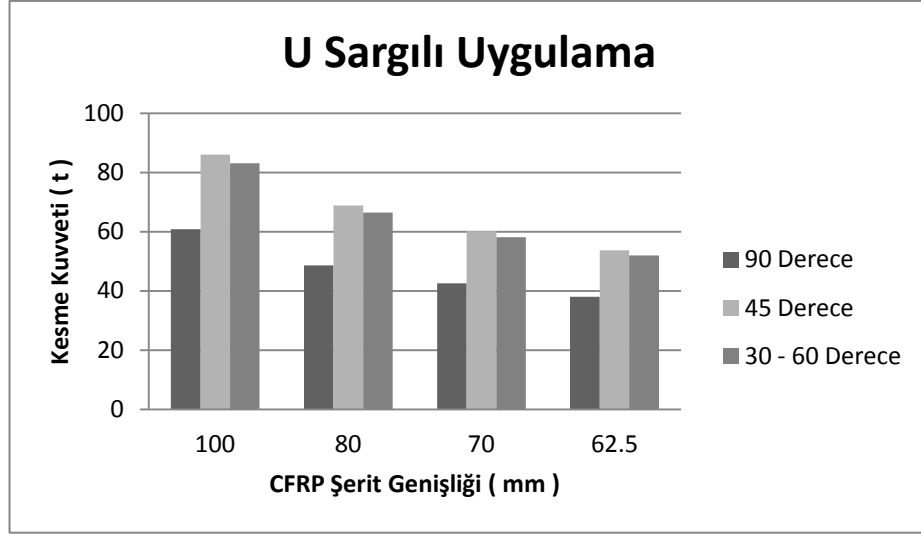


Şekil 7.16. K101, K101A, K111, K111A, K120 ve K120A (20 / 60) numaralı kirişlerin mevcut kesme kuvvetine CFRP katkısı.

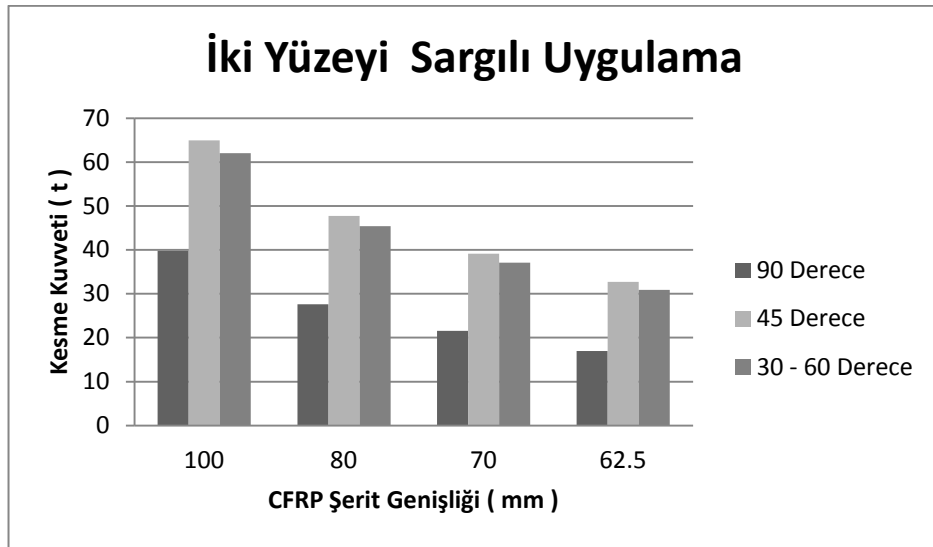
- **K109 ve K109A (20 / 50) numaralı kirişler için grafik sonuçları;**



Şekil 7.17. K109 ve K109A (20 / 50) numaralı kirişler için tüm yüzeyi sargılı CFRP uygulaması grafik sonuçları.



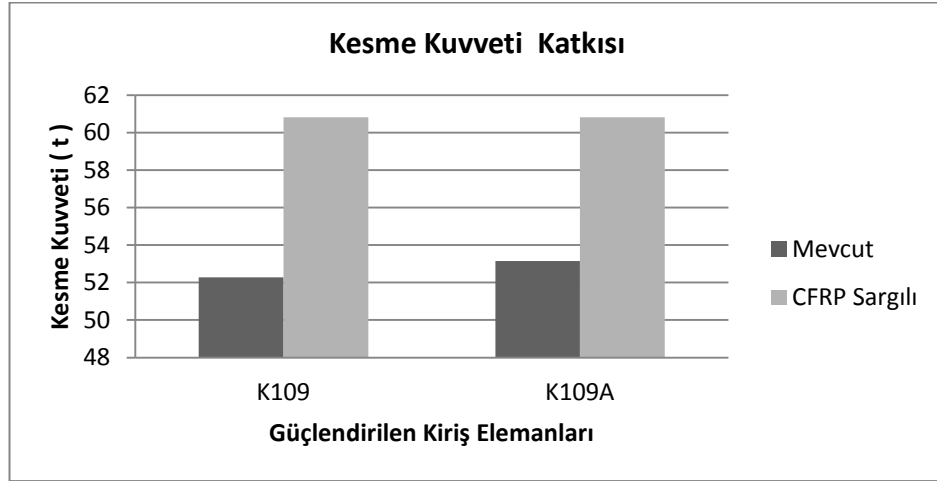
Şekil 7.18. K109 ve K109A (20 / 50) numaralı kirişler için U sargılı CFRP uygulaması grafik sonuçları.



Şekil 7.19. K109 ve K109A (20 / 50) numaralı kirişler için iki yüzeyi sargılı CFRP uygulaması grafik sonuçları.

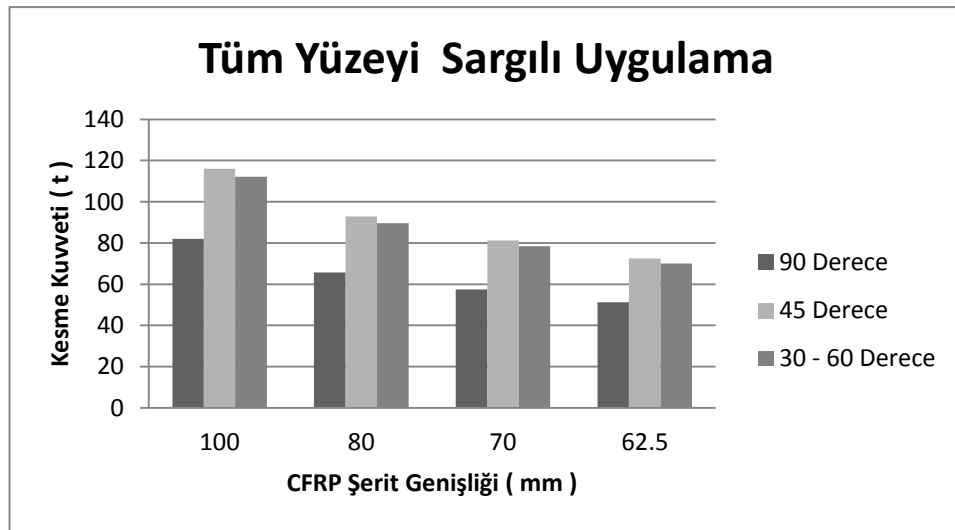
- Tüm yüzeyi sargılı, U sargılı ve iki yüzeyi sargılı uygulama incelendiğinde; tüm yüzeyi sargılı uygulamanın U sargılı ve iki yüzeyi sargılı uygulamadan daha yüksek oranda kesme etkisine katkısı olduğu görülmektedir. Tüm yüzeyi sargılı uygulamada 90, 45, 30 ve 60 derecelik uygulamaların tümü yeterli kesme değerini vermektedir. Ancak uygulama zorluğu açısından tüm yüzeyi sargılı uygulama tavsiye edilmemektedir. İki yüzeyi sargılı uygulama ise kesme kuvvetine az miktarda katkı

sağladığından uygulanmamaktadır. Tüm bu sebepler doğrultusunda U sargılama tercih edilmektedir. U sargılı yöntem içerisinde ise 90 derecelik uygulama hem uygulama kolaylığı hem de kesme katkısı açısından yeterli değerde olduğundan tercih edilmelidir. Farklı şerit genişliklerindeki CFRP malzemesinin tümü kesme kuvveti açısından yeterlidir; ancak 100 mm'lik malzeme uygulama kolaylığı yönünden ve tasarruf sağlayacağından tercih edilmelidir.

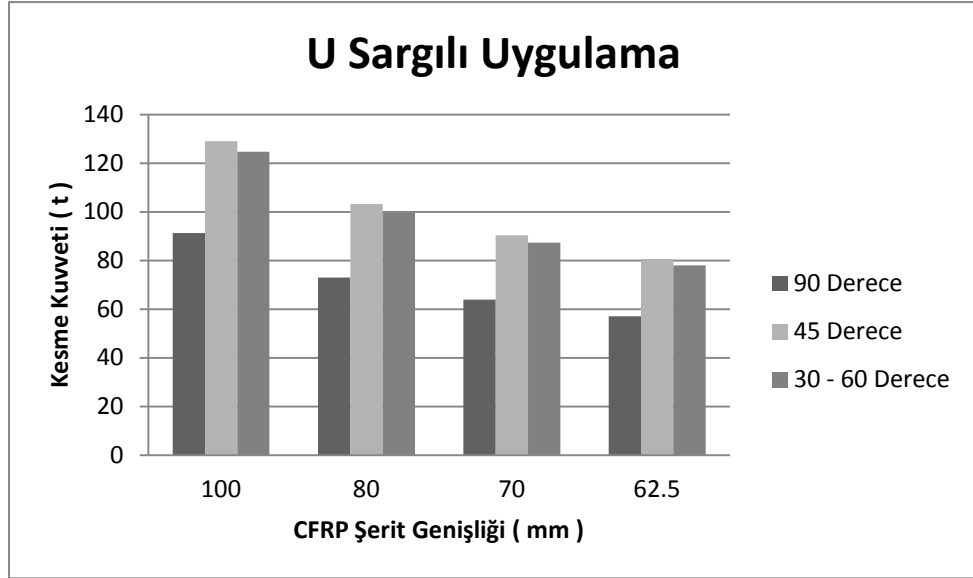


Şekil 7.20. K109 ve K109A (20 / 50) numaralı kirişlerin mevcut kesme kuvvetine CFRP katkısı.

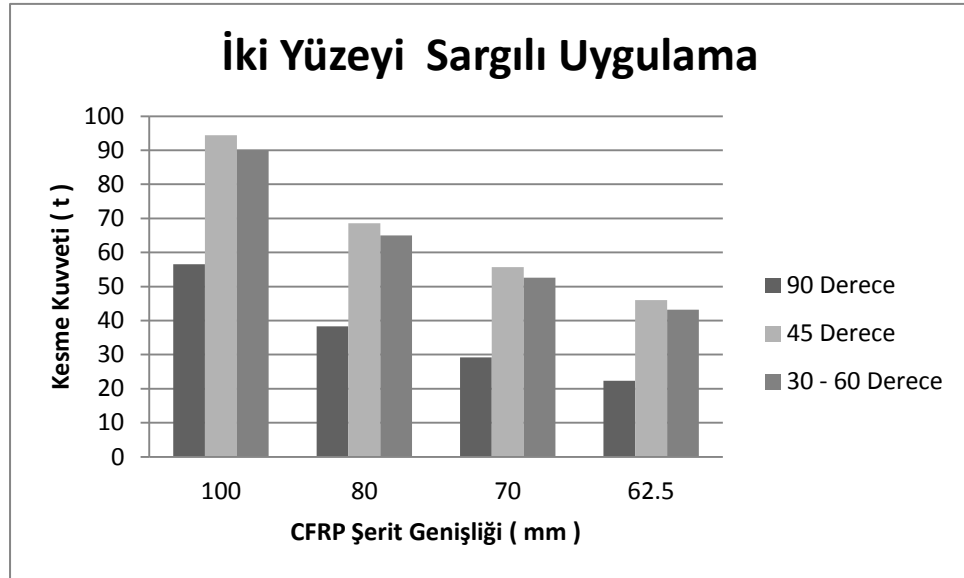
- *K106 ve K106A (20 / 70) numaralı kirişler için grafik sonuçları;*



Şekil 7.21. K106 ve K106A (20 / 70) numaralı kirişler için tüm yüzeyi sargılı CFRP uygulaması grafik sonuçları.



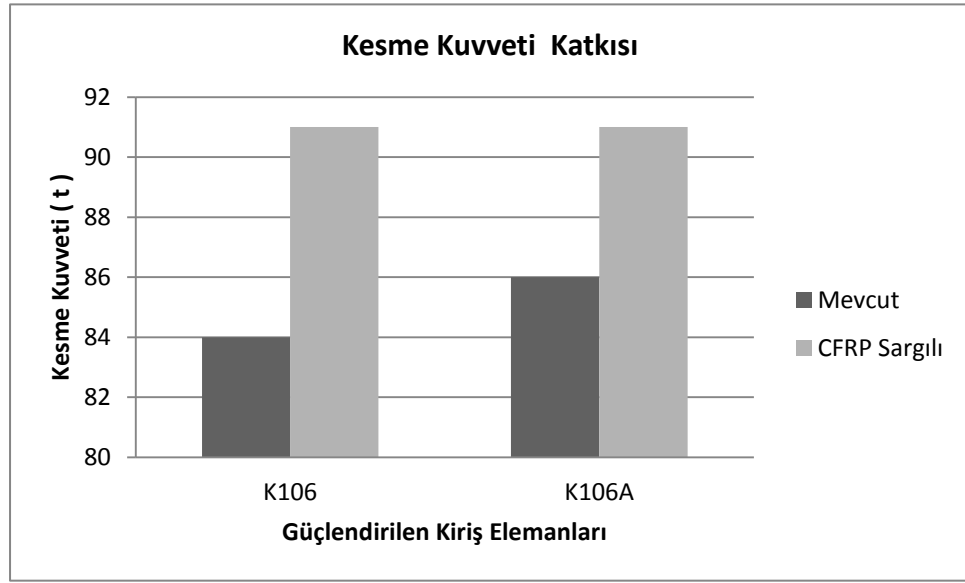
Şekil 7.22. K106 ve K106A (20 / 70) numaralı kirişler için U sargılı CFRP uygulaması grafik sonuçları.



Şekil 7.23. K106 ve K106A (20 / 70) numaralı kirişler için tüm yüzeyi sargılı CFRP uygulaması grafik sonuçları.

- Tüm yüzeyi sargılı, U sargılı ve iki yüzeyi sargılı uygulama incelendiğinde; tüm yüzeyi sargılı uygulamanın U sargılı ve iki yüzeyi sargılı uygulamadan daha yüksek oranda kesme etkisine katkısı olduğu görölmektedir. Tüm yüzeyi sargılı uygulamada 90, 45, 30 ve 60 derecelik uygulamaların tümü yeterli kesme değerini vermektedir. Ancak uygulama zorluğu açısından tüm yüzeyi sargılı uygulama tavsiye

edilmemektedir. İki yüzeyi sargılı uygulama ise kesme kuvvetine az miktarda katkı sağladığından uygulanmamaktadır. Tüm bu sebepler doğrultusunda U sargılama tercih edilmektedir. U sargılı yöntem içerisinde ise 90 derecelik uygulama hem uygulama kolaylığı hem de kesme katkısı açısından yeterli değerde olduğundan tercih edilmelidir. Farklı şerit genişliklerindeki CFRP malzemesinin tümü kesme kuvveti açısından yeterlidir; ancak 100 mm'lik malzeme uygulama kolaylığı yönünden ve tasarruf sağlayacağından tercih edilmelidir.



Şekil 7.24. K106 ve K106A (20 / 70) numaralı kirişlerin mevcut kesme kuvvetine CFRP katkısı.

BÖLÜM SEKİZ

SONUÇLAR

Bu çalışmada, örnek olarak belirlenen mevcut bir binanın DBYBHY 2007 kriterlerine göre performans değerlendirmesi yapılmıştır. Bu amaçla 1975 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre Z3 zemin sınıfında tasarlanmış 5 katlı betonarme çerçeve sistemli bir bina dikkate alınmıştır. Söz konusu bina 1986 yılında İzmir'de inşa edilmiştir. Binaya ait projeler ve hesap raporları arşivlerde bulunmuş ve bazı analiz parametreleri bu veriler ışığında belirlenmiştir. Binanın betonarme betonu sınıfı C16, donatı çeliği sınıfı ise S220'dir. Bina türünün konut olmasından dolayı, 50 yıllık süreç içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan tasarım depremi etkisi altında Can Güvenliği (CG) performans seviyesi hedeflenmiştir.

Mevcut bina için yapılan performans değerlendirmesi sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Her iki doğrultuda gevrek kırılmaya maruz hiçbir taşıyıcı sistem elemanına rastlanmamıştır.
- X doğrultusu için yapılan itme analizi sonucunda İleri Hasar Bölgesinde (İHB) yer alan hiçbir kolon ve kiriş elemanı yer almamıştır. Ancak katlardaki bazı kolonların iki ucunda mafsallaşma gerçekleşmiş ve Minimum Hasar Sınırı aşılmıştır. Söz konusu kolonların taşıdığı kesme kuvvetlerinin tüm kat kesme kuvveti talebine oranı, DBYBHY 2007'de yer alan Bölüm 7.7.3c gereğince verilen üst sınır olan 0.3 oranından büyük olduğu görülmüştür. Bu nedenle binada X doğrultusu depremi altındaki yapısal performans Can Güvenliği Performans Düzeyi'ni sağlamamıştır.
- Y doğrultusu için yapılan itme analizi sonucunda İleri Hasar Bölgesinde (İHB) yer alan hiçbir kiriş elemanı yer almamıştır. Ancak 1. kat kolonlarının %17'si Göçme Bölgesi'nde olduğundan dolayı binada Y doğrultusu depremi altındaki yapısal performans Can Güvenliği Performans Düzeyi'ni sağlamamıştır. Yapılan iki yönlü bina performans analizi sonucunda, binada X ve Y doğrultusu altındaki yapısal

performans Can Güvenliği Performans Düzeyi'ni sağlamamıştır. Binanın güçlendirilmesi kararı verilmiştir.

Binanın deprem performansının artırılması amacıyla bazı elemanların CFRP güçlendirme malzemesi kullanılarak güçlendirilmesine karar verilmiştir. Güçlendirilmiş bina için yapılan performans değerlendirmesi sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Gevrek kırılmaya maruz hiçbir taşıyıcı sistem elemanına rastlanmamıştır.
- X ve Y doğrultusu için yapılan itme analizi sonucunda İleri Hasar Bölgesi'nde (İHB) yer alan hiçbir kolon ve kiriş elemanı yer almamaktadır. Ayrıca herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolon elemanı bulunmamıştır. Sonuç itibariyle yapılan iki yönlü bina performans analizi sonucunda, güçlendirilmiş binada X ve Y doğrultusu altındaki yapısal performans Can Güvenliği Performans Düzeyi'ni sağlamıştır.

Her iki durum için (mevcut bina ve güçlendirilmiş bina) yapılan itme analizlerinin sonuçları incelendiğinde, sistemin yatay yük taşıma kapasitesi ve dayanımının büyü ölçüde arttığı görülmektedir. Tablo 8.1'de, örnek binanın güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrasına ait performans noktasındaki taban kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca sistemin yatay yük taşıma kapasitesi X doğrultusunda % 60 oranındayken bu oran Y doğrultusunda yaklaşık iki kat olmuştur. Mevcut binanın Y doğrultusundaki dayanımının daha zayıf olduğu göz önünde bulundurulursa, güçlendirme işlemi sonucunda binanın Y doğrultusunda büyük bir sayanım artışı sağlaması tutarlı bir sonuç olarak yorumlanabilir.

Tablo 8.1 X ve Y doğrultuları için mevcut ve güçlendirilmiş binaya ait performans noktaları ve bu noktalardaki taban kesme kuvvetleri.

<i>İtme Doğrultusu</i>	Mevcut Bina		Güçlendirilmiş Bina		<i>Taban Kesme Kuvvetleri Oranı</i>
	<i>Performans Noktası (cm)</i>	<i>Taban Kesme Kuvveti (t)</i>	<i>Performans Noktası (cm)</i>	<i>Taban Kesme Kuvveti (t)</i>	
X	6.67	251.8811	5.23	403.0082	1.60
Y	10.32	262.9802	5.01	520.1748	1.98

Bu çalışmada hem mevcut bina hem de güçlendirilmiş binanın dinamik özellikleri hesaplanmış ve Tablo 8.2'de sunulmuştur. Tablo 8.2 incelendiğinde, birinci (hakim) titreşim periyodunun önemli ölçüde kısaldığı görülmektedir. Kütle katılım oranı ve modal katılım faktörleri ise önemli bir değişiklik göstermemektedir. Bunun sebebi binada güçlendirilen elemanların büyük bir kısmının simetrik olmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 8.2 X ve Y doğrultuları için mevcut ve güçlendirilmiş binaya ait birinci (hakim) periyotlar ve kütle katılım oranları ile modal katılım faktörleri.

Karakteristik Özellikler	Mevcut Bina	Güçlendirilmiş Bina
<i>X Yönü 1. Periyod (T_{1x}) (sn)</i>	0.656	0.512
<i>Y Yönü 1. Periyod (T_{1y}) (sn)</i>	0.894	0.601
<i>X Yönü 1. Mod Kütle Katılım Oranı (α_{1x}) (%)</i>	74.59	72.29
<i>Y Yönü 1. Mod Kütle Katılım Oranı (α_{1y}) (%)</i>	79.97	76.88
<i>X Yönü 1. Mod Modal Katılım Faktörü ($PF1_x$)</i>	1.323	1.304
<i>Y Yönü 1. Mod Modal Katılım Faktörü ($PF1_y$)</i>	1.370	1.359

X ve Y deprem doğrultuları için, mevcut ve güçlendirilmiş binalardaki kolon ve kiriş elemanlarında belirlenen hasar oranları sırasıyla Tablo 8.3.a'da ve Tablo 8.3.b'de verilmiştir. Bu oranların incelenmesinden, güçlendirilmiş binanın her iki doğrultusundaki hasarın önemli miktarda azaldığı görülmektedir. Özellikle Y doğrultusunda yapılan performans analizi sonucunda (Bkz. Tablo 8.3.b), mevcut binanın birinci katında İleri Hasar Bölgesi (İHB) ve Göçme Bölgesi (GB) içerisinde yer alan kolonlar, sisteme CFRP malzemesinin uygulanmasıyla Minimum Hasar Bölgesi (MHB) ve Belirgin Hasar Bölgesi (BHB) içerisinde kalmaktadır.

Tablo 8.3.a X doğrultusunda yapılan hesap sonucu kesitlerde oluşan hasar oranları (%)

<i>Kat Sayısı</i>	KESİTLERDE OLUŞAN HASAR ORANLARI (%) (X DOĞRULTUSU İÇİN)							
	Kiriş				Kolon			
	MHB	BHB	İHB	GB	MHB	BHB	İHB	GB
Z_M	88.1	11.9	0	0	70.0	30.0	0	0
Z_G	94.4	5.6	0	0	86.8	13.2	0	0
1_M	95.2	4.8	0	0	94.0	6.0	0	0
1_G	97.9	2.1	0	0	97.2	2.8	0	0
2_M	100	0	0	0	100	0	0	0
2_G	100	0	0	0	100	0	0	0
3_M	100	0	0	0	100	0	0	0
3_G	100	0	0	0	100	0	0	0
4_M	100	0	0	0	100	0	0	0
4_G	100	0	0	0	100	0	0	0

** M = Mevcut Bina, G = Güçlendirilmiş Bina.

Tablo 8.3.b Y doğrultusunda yapılan hesap sonucu kesitlerde oluşan hasar oranları (%)

<i>Kat Sayısı</i>	KESİTLERDE OLUŞAN HASAR ORANLARI (%) (Y DOĞRULTUSU İÇİN)							
	Kiriş				Kolon			
	MHB	BHB	İHB	GB	MHB	BHB	İHB	GB
Z_M	76.2	23.8	0	0	66.0	4.0	13.0	17.0
Z_G	87.8	12.2	0	0	72.4	11.1	8.9	7.6
1_M	83.3	16.7	0	0	69.0	31.0	0	0
1_G	95.0	5.0	0	0	84.7	15.3	0	0
2_M	90	10	0	0	100	0	0	0
2_G	96.1	3.9	0	0	100	0	0	0
3_M	97.5	2.5	0	0	100	0	0	0
3_G	100	0	0	0	100	0	0	0
4_M	100	0	0	0	100	0	0	0
4_G	100	0	0	0	100	0	0	0

** M = Mevcut Bina, G = Güçlendirilmiş Bina.

CFRP sarılarak uygulanan eleman bazında iyileştirme yöntemi, ülkemizde son zamanlarda kullanımı artmakta olan güçlendirme yöntemlerinden birisidir. Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar incelendiğinde, depremde hasar görmemiş ancak deprem performansı düşük olduğu belirlenen elemanlara uygulanan CFRP ile eleman bazında güçlendirme yönteminin deprem performansını önemli ölçüde iyileştirildiği görülebilmektedir. Bunlara ilave olarak eleman iyileştirilmesi yönteminde kullanılan CFRP güçlendirme malzemesinin dezavantajı, her zaman daha iyi ve etkili sonuç vermekte olan sistem iyileştirilmesine kıyasla daha az etkili bir yöntem olması ve yurtdışına bağımlı bir malzeme oluşu sebebiyle fiyatının yüksek oluşudur.

KAYNAKLAR

- ACI 440 (2001). *Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*. Michigan, USA: ACI Committee 440.
- Applied Technology Council. (1996). *ATC 40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings* (V.1). Washington DC.
- Bağcı, M. (2005). *Yapıların Deprem Güvenilirlikleri*. Manisa: Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Balkaya, C. ve Kalkan, E. (2003). *Performance Based Seismic Evaluation of Shear-Wall Dominant Building Structures*. İstanbul: ARI The Bulletin of the İstanbul Technical University.
- Celep, Z. (2007). *Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme*. İstanbul: Beta Dağıtım.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N. (2004). *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*. İstanbul: Beta Dağıtım.
- Chopra, A. K. (1995). *Dynamics of Structures – Theory and Applications to Earthquake Engineering*. Nex Jersey: Prentice Hall.
- Clough, R. W. ve Penzien, J. (1993). *Dynamics of Structures (Second Edition)*. Singapore: McGraw-Hill Inc.
- Çakıroğlu, A. ve Özer, E. (1980). *Malzeme ve geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemler*. Ankara: Ankara Matbaa Teknisyenleri Basımevi.
- Çatal, H. H. (2005). *Yapı ve Deprem Mühendisliğinde Matrisi Yöntemler*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi.

- DBYYHY (2007). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*. Ankara.
- Ersoy, U. (1978). *Beton ve Betonarmenin Doğrusal Elastik Olmayan Davranışı*. Ankara: İMO Yayınları, 1-25.
- Ersoy, U. ve Özcebe, G. (2001). *Betonarme*. İstanbul: Evrim Yayınevi.
- Ersoy, U., Tankut, T., and Suleiman, R. (1993). *Behavior of Jacketed Columns*, *ACI Structural Journal*. American Concrete Inst.
- Federal Emergency Management Agency, (2000). *FEMA 356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington DC.
- Federal Emergency Management Agency, (2004). *FEMA 400 Improvement of Nonlinear Static Analysis Procedures*. Washington DC.
- FEMA 356. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington DC.
- Hasgür, Z. ve Gündüz, A. N. (1996). *Betonarme Çok Katlı Yapılar*. İstanbul: Beta Yayınevi.
- MacGregor, J. G. (1997). *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*. New Jersey: Printice Hall.
- Mander, J. B. (1984). *Seismic Design of Bridge Piers*. PhD Thesis. New Zealand: University of Canterbury.
- Uzsoy, Ş. (2001). *Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliği*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.

EKLER**EK 1. Örnek Binaya Ait Mevcut Kolon Boyutları ve Boyuna Donatıları**

Eleman Adı	Boyutlar (cm)	Kat	Kolon Donatı Miktarı
S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S12, S17, S23	100 / 20	1	10 Ø14
		2	
		3	
		4	
		5	
S8, S11	70 / 30	1	6 Ø16 + 4 Ø18
		2	
	60 / 25	3	8 Ø14
		4	
		5	
S9, S10	20 / 100	1	10 Ø14
		2	
		3	
		4	
		5	
S13, S14, S18, S19, S21, S22	60 / 25	1	8 Ø16
		2	
		3	8 Ø14
		4	
		5	
S15, S16	25 / 70	1	8 Ø16
		2	
		3	
		4	
		5	
S20, S24	20 / 100	1	12 Ø14
		2	
		3	10 Ø14
		4	
		5	

EK 2. Örnek Binaya Ait Mevcut Kiriş Boyutları ve Boyuna Donatıları

Eleman Adı	Boyutlar (cm)	Kat	Kiriş Donatı Miktarı				
			Üst Sol	Üst Sağ	Orta	Alt Sol	Alt Sağ
K101	20 / 60	1	4Ø12 + 3Ø16	6Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		2	4Ø12 + 3Ø16	6Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		3	4Ø12 + 3Ø16	6Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		4	4Ø12 + 3Ø16	6Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		5	3Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
K101A	20 / 60	1	6Ø12 + 2Ø16	4Ø12 + 3Ø16		2Ø12	2Ø12
		2	6Ø12 + 2Ø16	4Ø12 + 3Ø16		2Ø12	2Ø12
		3	6Ø12 + 2Ø16	4Ø12 + 3Ø16		2Ø12	2Ø12
		4	6Ø12 + 2Ø16	4Ø12 + 3Ø16		2Ø12	2Ø12
		5	4Ø12	3Ø12		2Ø12	2Ø12
K102	20 / 60	1	4Ø12 + 2Ø16	4Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		2	4Ø12 + 2Ø16	4Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		3	6Ø12 + 2Ø16	4Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		4	6Ø12 + 2Ø16	4Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		5	4Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
K102A	20 / 60	1	4Ø12 + 2Ø16	4Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		2	4Ø12 + 2Ø16	4Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		3	4Ø12 + 2Ø16	6Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		4	4Ø12 + 2Ø16	6Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		5	4Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
K103	20 / 60	1	4Ø12 + 2Ø16	4Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		2	4Ø12 + 2Ø16	4Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		3	4Ø12 + 2Ø16	4Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		4	4Ø12 + 2Ø16	4Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		5	4Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
K104	20 / 60	1	2Ø12 + 2Ø14	3Ø12 + 2Ø14+2Ø16		2Ø12 + 2Ø16	2Ø12
		2	2Ø12 + 2Ø14	3Ø12 + 2Ø14+2Ø16		2Ø12 + 2Ø16	2Ø12
		3	2Ø12 + 2Ø16	3Ø12 + 2Ø14+2Ø16		2Ø12 + 2Ø14	2Ø12
		4	2Ø12 + 2Ø16	3Ø12 + 2Ø14+2Ø16		2Ø12 +	2Ø12

						2Ø14	
		5	4Ø12	5Ø12 + 1Ø14		2Ø12 + 2Ø14	2Ø12
K104A	20 / 60	1	3Ø12 + 2Ø14+2Ø16	2Ø12 + 2Ø14		2Ø12	2Ø12 + 2Ø16
		2	3Ø12 + 2Ø14+2Ø16	2Ø12 + 2Ø14		2Ø12	2Ø12 + 2Ø16
		3	3Ø12 + 2Ø14+2Ø16	2Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12 + 2Ø14
		4	3Ø12 + 2Ø14+2Ø16	2Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12 + 2Ø14
		5	5Ø12 + 1Ø14	4Ø12		2Ø12	2Ø12 + 2Ø14
K105	20 / 60	1	3Ø12 + 2Ø14+2Ø16	2Ø12 + 2Ø14		2Ø12	2Ø12
		2	3Ø12 + 2Ø14+2Ø16	2Ø12 + 2Ø14		2Ø12	2Ø12
		3	3Ø12 + 2Ø14+2Ø16	2Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		4	3Ø12 + 2Ø14+2Ø16	2Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		5	5Ø12 + 1Ø14	4Ø12		2Ø12	2Ø12
K105A	20 / 60	1	2Ø12 + 2Ø14	3Ø12 + 2Ø14+2Ø16		2Ø12	2Ø12
		2	2Ø12 + 2Ø14	3Ø12 + 2Ø14+2Ø16		2Ø12	2Ø12
		3	2Ø12 + 2Ø16	3Ø12 + 2Ø14+2Ø16		2Ø12	2Ø12
		4	2Ø12 + 2Ø16	3Ø12 + 2Ø14+2Ø16		2Ø12	2Ø12
		5	4Ø12	5Ø12 + 1Ø14		2Ø12	2Ø12
K106	20 / 70	1	5Ø12 + 1Ø16	5Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		2	5Ø12 + 1Ø16	5Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		3	5Ø12 + 1Ø16	5Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		4	5Ø12 + 1Ø16	5Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		5	4Ø12	4Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
K106A	20 / 70	1	5Ø12	5Ø12 + 1Ø16	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		2	5Ø12	5Ø12 + 1Ø16	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		3	5Ø12	5Ø12 + 1Ø16	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		4	5Ø12	5Ø12 + 1Ø16	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		5	4Ø12	4Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
K107	20 / 70	1	5Ø12	4Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		2	5Ø12	4Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		3	5Ø12	4Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12

		4	5Ø12	4Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		5	4Ø12	4Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
K107A	20 / 70	1	4Ø12	5Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		2	4Ø12	5Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		3	4Ø12	5Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		4	4Ø12	5Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		5	4Ø12	4Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
K108	20 / 50	1	3Ø12	5Ø12		2Ø12	2Ø12
		2	3Ø12	5Ø12		2Ø12	2Ø12
		3	4Ø12	4Ø12	2Ø12	3Ø12	3Ø12
		4	4Ø12	4Ø12	2Ø12	3Ø12	3Ø12
		5	4Ø12	4Ø12	2Ø12	3Ø12	3Ø12
K108A	20 / 50	1	5Ø12	3Ø12		2Ø12	2Ø12
		2	5Ø12	3Ø12		2Ø12	2Ø12
		3	4Ø12	4Ø12	2Ø12	3Ø12	3Ø12
		4	4Ø12	4Ø12	2Ø12	3Ø12	3Ø12
		5	4Ø12	4Ø12	2Ø12	3Ø12	3Ø12
K109	20 / 50	1	5Ø12	6Ø12		2Ø12	2Ø12
		2	5Ø12	6Ø12		2Ø12	2Ø12
		3	4Ø12	6Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		4	4Ø12	6Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		5	4Ø12	6Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
K109A	20 / 50	1	6Ø12	5Ø12		2Ø12	2Ø12
		2	6Ø12	5Ø12		2Ø12	2Ø12
		3	6Ø12	4Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		4	6Ø12	4Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		5	6Ø12	4Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
K110	20 / 70	1	2Ø16	2Ø14 + 2Ø16		2Ø12 + 2Ø14	2Ø12
		2	2Ø16	2Ø14 + 2Ø16		2Ø12 + 2Ø14	2Ø12
		3	2Ø16	2Ø14 + 2Ø16		2Ø12 + 2Ø14	2Ø12
		4	2Ø16	2Ø14 + 2Ø16		2Ø12 + 2Ø14	2Ø12
		5	2Ø16	2Ø14 + 2Ø16		2Ø12 + 2Ø14	2Ø12

K110A	20 / 70	1	2Ø14 + 2Ø16	2Ø16		2Ø12	2Ø12 + 2Ø14
		2	2Ø14 + 2Ø16	2Ø16		2Ø12	2Ø12 + 2Ø14
		3	2Ø14 + 2Ø16	2Ø16		2Ø12	2Ø12 + 2Ø14
		4	2Ø14 + 2Ø16	2Ø16		2Ø12	2Ø12 + 2Ø14
		5	2Ø14 + 2Ø16	2Ø16		2Ø12	2Ø12 + 2Ø14
K111	20 / 70	1	4Ø12 + 2Ø16	6Ø12		2Ø12	2Ø12
		2	4Ø12 + 2Ø16	6Ø12		2Ø12	2Ø12
		3	4Ø12 + 2Ø16	6Ø12		2Ø12	2Ø12
		4	4Ø12 + 2Ø16	6Ø12		2Ø12	2Ø12
		5	3Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
K111A	20 / 70	1	6Ø12	4Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		2	6Ø12	4Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		3	6Ø12	4Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		4	6Ø12	4Ø12 + 2Ø16		2Ø12	2Ø12
		5	4Ø12	3Ø12		2Ø12	2Ø12
K112	20 / 70	1	6Ø12	6Ø12		2Ø12	2Ø12
		2	6Ø12	6Ø12		3Ø12	3Ø12
		3	6Ø12	6Ø12		3Ø12	3Ø12
		4	6Ø12	6Ø12		3Ø12	3Ø12
		5	4Ø12	4Ø12		3Ø12	3Ø12
K112A	20 / 70	1	6Ø12	6Ø12		3Ø12	3Ø12
		2	6Ø12	6Ø12		3Ø12	3Ø12
		3	6Ø12	6Ø12		3Ø12	3Ø12
		4	6Ø12	6Ø12		3Ø12	3Ø12
		5	4Ø12	4Ø12		3Ø12	3Ø12
K113	20 / 70	1	6Ø12	6Ø12		2Ø12	2Ø12
		2	6Ø12	6Ø12		2Ø12	2Ø12
		3	6Ø12	6Ø12		2Ø12	2Ø12
		4	6Ø12	6Ø12		2Ø12	2Ø12
		5	4Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
		1	6Ø12	6Ø12		2Ø12	2Ø12
		2	6Ø12	6Ø12		2Ø12	2Ø12

K113A	20 / 70	3	6Ø12	6Ø12		2Ø12	2Ø12
		4	6Ø12	6Ø12		2Ø12	2Ø12
		5	4Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
K114	20 / 60	1	4Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
		2	4Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
		3	4Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
		4	4Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
		5	4Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
K114A	20 / 60	1	4Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
		2	4Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
		3	4Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
		4	4Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
		5	4Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
K115	20 / 60	1	4Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
		2	4Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
		3	2Ø12	2Ø12		2Ø12	2Ø12
		4	2Ø12	2Ø12		2Ø12	2Ø12
		5	2Ø12	2Ø12		2Ø12	2Ø12
K115A	20 / 60	1	4Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
		2	4Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
		3	2Ø12	2Ø12		2Ø12	2Ø12
		4	2Ø12	2Ø12		2Ø12	2Ø12
		5	2Ø12	2Ø12		2Ø12	2Ø12
K115 AB	20 / 60	1	4Ø12	6Ø12		2Ø12	2Ø12
		2	4Ø12	6Ø12		2Ø12	2Ø12
		3	Kiriş yok	Kiriş yok		Kiriş yok	Kiriş yok
		4	Kiriş yok	Kiriş yok		Kiriş yok	Kiriş yok
		5	Kiriş yok	Kiriş yok		Kiriş yok	Kiriş yok
K115 AB-2	20 / 60	1	4Ø12	6Ø12		2Ø12	2Ø12
		2	4Ø12	6Ø12		2Ø12	2Ø12
		3	Kiriş yok	Kiriş yok		Kiriş yok	Kiriş yok
		4	Kiriş yok	Kiriş yok		Kiriş yok	Kiriş yok
		5	Kiriş yok	Kiriş yok		Kiriş yok	Kiriş yok
K116	20 / 60	1	6Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
		2	6Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
		3	2Ø12 + 1Ø14 + 3Ø16	2Ø12 + 1Ø14 + 3Ø16		2Ø12	2Ø12

		4	2Ø12 + 1Ø14 + 3Ø16	2Ø12 + 1Ø14 + 3Ø16		2Ø12	2Ø12
		5	3Ø12	3Ø12		2Ø12	2Ø12
K116A	20 / 60	1	6Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
		2	6Ø12	4Ø12		2Ø12	2Ø12
		3	2Ø12 + 1Ø14 + 3Ø16	2Ø12 + 1Ø14 + 3Ø16		2Ø12	2Ø12
		4	2Ø12 + 1Ø14 + 3Ø16	2Ø12 + 1Ø14 + 3Ø16		2Ø12	2Ø12
		5	3Ø12	3Ø12		2Ø12	2Ø12
K117	25 / 70	1	2Ø12 + 3Ø14	2Ø12 + 3Ø14	2Ø12	2Ø14	2Ø14
		2	2Ø12 + 3Ø14	2Ø12 + 3Ø14	2Ø12	2Ø14	2Ø14
		3	2Ø12 + 3Ø14	2Ø12 + 3Ø14	2Ø12	2Ø14	2Ø14
		4	2Ø12 + 3Ø14	2Ø12 + 3Ø14	2Ø12	2Ø14	2Ø14
		5	2Ø12 + 2Ø14	2Ø12 + 2Ø14	2Ø12	2Ø12	2Ø12
K117A	25 / 70	1	2Ø12 + 3Ø14	2Ø12 + 3Ø14	2Ø12	2Ø14	2Ø14
		2	2Ø12 + 3Ø14	2Ø12 + 3Ø14	2Ø12	2Ø14	2Ø14
		3	2Ø12 + 3Ø14	2Ø12 + 3Ø14	2Ø12	2Ø14	2Ø14
		4	2Ø12 + 3Ø14	2Ø12 + 3Ø14	2Ø12	2Ø14	2Ø14
		5	2Ø12 + 2Ø14	2Ø12 + 2Ø14	2Ø12	2Ø12	2Ø12
K118	20 / 70	1	2Ø12 + 1Ø14	2Ø12 + 1Ø14	2Ø12	2Ø14	2Ø14
		2	2Ø12 + 1Ø14	2Ø12 + 1Ø14	2Ø12	2Ø14	2Ø14
		3	2Ø12 + 1Ø14	2Ø12 + 1Ø14	2Ø12	2Ø14	2Ø14
		4	2Ø12 + 1Ø14	2Ø12 + 1Ø14	2Ø12	2Ø14	2Ø14
		5	3Ø12	3Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
K118A	20 / 70	1	2Ø12 + 1Ø14	2Ø12 + 1Ø14	2Ø12	2Ø14	2Ø14
		2	2Ø12 + 1Ø14	2Ø12 + 1Ø14	2Ø12	2Ø14	2Ø14
		3	2Ø12 + 1Ø14	2Ø12 + 1Ø14	2Ø12	2Ø14	2Ø14
		4	2Ø12 + 1Ø14	2Ø12 + 1Ø14	2Ø12	2Ø14	2Ø14
		5	3Ø12	3Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12
K119	20 / 60	1	2Ø12 + 1Ø14 + 1Ø16	2Ø12 + 1Ø14 + 1Ø16		2Ø14	2Ø14
		2	2Ø12 + 1Ø14 + 1Ø16	2Ø12 + 1Ø14 + 1Ø16		2Ø14	2Ø14
		3	2Ø12 + 1Ø14 + 1Ø16	2Ø12 + 1Ø14 + 1Ø16		2Ø14	2Ø14
		4	2Ø12 + 1Ø14 + 1Ø16	2Ø12 + 1Ø14 + 1Ø16		2Ø14	2Ø14
		5	3Ø12	3Ø12		2Ø14	2Ø14
K119A	20 / 60	1	2Ø12 + 1Ø14 + 4Ø16	2Ø12 + 1Ø14 + 1Ø16		2Ø14	2Ø14
		2	2Ø12 + 1Ø14 + 4Ø16	2Ø12 + 1Ø14 + 1Ø16		2Ø14	2Ø14
		3	2Ø12 + 1Ø14 + 4Ø16	2Ø12 + 1Ø14 + 1Ø16		2Ø14	2Ø14
		4	2Ø12 + 1Ø14 + 4Ø16	2Ø12 + 1Ø14 + 1Ø16		2Ø14	2Ø14
		5	3Ø12	3Ø12		2Ø12	2Ø12
K120	20 / 60	1	2Ø12 + 1Ø14 + 4Ø16	2Ø12 + 3Ø14		2Ø12	2Ø12
		2	2Ø12 + 1Ø14 + 4Ø16	2Ø12 + 3Ø14		2Ø12	2Ø12
		3	2Ø12 + 1Ø14 + 4Ø16	2Ø12 + 3Ø14		2Ø12	2Ø12
		4	2Ø12 + 1Ø14 + 4Ø16	2Ø12 + 3Ø14		2Ø12	2Ø12

		5	3Ø12+1Ø14	2Ø12+1Ø14		2Ø12	2Ø12
K120A	20 / 60	1	2Ø12+1Ø14+4Ø16	2Ø12+3Ø14		2Ø12	2Ø12
		2	2Ø12+1Ø14+4Ø16	2Ø12+3Ø14		2Ø12	2Ø12
		3	2Ø12+1Ø14+4Ø16	2Ø12+3Ø14		2Ø12	2Ø12
		4	2Ø12+1Ø14+4Ø16	2Ø12+3Ø14		2Ø12	2Ø12
		5	3Ø12+1Ø14	2Ø12+1Ø14		2Ø12	2Ø12
K121	20 / 70	1	2Ø12+2Ø14+4Ø16	2Ø12+2Ø14+4Ø16	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		2	2Ø12+2Ø14+4Ø16	2Ø12+2Ø14+4Ø16	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		3	2Ø12+2Ø14+4Ø16	2Ø12+2Ø14+4Ø16	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		4	2Ø12+2Ø14+4Ø16	2Ø12+2Ø14+4Ø16	2Ø12	2Ø12	2Ø12
		5	4Ø12+1Ø16	4Ø12+1Ø16	2Ø12	2Ø12	2Ø12

EK 3. Örnek Binaya Ait CFRP Uygulaması Raporları

- Tüm Yüzeyi Sargılı CFRP Uygulaması

- S9, S10, S20, S24 (20 / 100) numaralı kolonlar için datalar girilip ACI 440 ‘a göre hesaplandığında;

wf (mm)	sf (mm)	Toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ε _{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özellliği)	β	V _{cfrp}
100	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	90	127.72
80	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	90	102.17
70	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	90	89.402
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	90	79.823

wf (mm)	sf (mm)	Toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ε _{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özellliği)	β	V _{cfrp}
100	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	45	180,62
80	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	45	144,50
70	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	45	126,43
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	45	112,89

wf (mm)	sf (mm)	Toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	30 - 60	174,47
80	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	30 - 60	139,57
70	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	30 - 60	122,13
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	30 - 60	109,04

- S17 (100 / 20) numaralı kolon için datalar girilip ACI 440 'a göre hesaplandığında;

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	90	5.92
80	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	90	4.73
70	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	90	4.14
62.5	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	90	3.7

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	45	8,37
80	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	45	6,69
70	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	45	5,86
62.5	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	45	5,23

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	30 - 60	8,08
80	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	30 - 60	6,46
70	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	30 - 60	5,66
62.5	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	30 - 60	5,05

- S8 ve S11 (30 / 70) numaralı kolonlar için datalar girilip ACI 440 'a göre hesaplandığında;

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	90	82.04
80	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	90	65.63
70	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	90	57.43
62.5	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	90	51.28

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	45	116,02
80	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	45	92,82
70	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	45	81,22
62.5	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	45	72,52

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	112,07
80	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	89,66
70	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	78,45
62.5	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	70,04

- S18 (25 / 60) numaralı kolon için datalar girilip ACI 440 'a göre hesaplandığında;

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	90	66.817
80	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	90	53.453
70	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	90	46.772
62.5	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	90	41.76

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	45	94,49
80	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	45	75,59
70	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	45	66,15
62.5	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	45	59,06

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	91,27
80	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	73,02
70	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	63,89
62.5	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	57,05

- K101, K101A, K111, K111A, K120 ve K120A (20 / 60) numaralı kirişler için datalar girilip ACI 440 'a göre hesaplandığında;

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	90	66.817
80	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	90	53.453
70	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	90	46.772
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	90	41.76

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	45	94,49
80	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	45	75,59
70	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	45	66,15
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	45	59,06

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	91,27
80	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	73,02
70	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	63,89
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	57,05

- K109 ve K109A (20 / 50) numaralı kirişler için datalar girilip ACI 440 ‘a göre hesaplandığında;

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	90	51.591
80	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	90	41.273
70	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	90	36.114
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	90	32.245

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	45	72,96
80	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	45	58,37
70	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	45	51,07
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	45	45,60

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	30 - 60	70,48
80	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	30 - 60	56,38
70	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	30 - 60	49,33
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	30 - 60	44,05

- K106 ve K106A (20 / 70) numaralı kirişler için datalar girilip ACI 440 ‘a göre hesaplandığında;

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	90	82.042
80	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	90	65.633
70	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	90	57.429
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	90	51.276

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	45	116,02
80	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	45	92,82
70	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	45	81,22
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	45	72,52

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	112,07
80	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	89,66
70	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	78,45
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	70,04

- İki Yüzeyi Sargılı CFRP Uygulaması

- S9, S10, S20, S24 (20 / 100) numaralı kolonlar için datalar girilip ACI 440 'a göre hesaplandığında;

wf (mm)	sf (mm)	Toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	90	41.86
80	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	90	30.1
70	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	90	21.88
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	90	18.75

wf (mm)	sf (mm)	Toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	45	50.92
80	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	45	44.5
70	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	45	36.99
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	45	27.05

wf (mm)	sf (mm)	Toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	30 - 60	46.46
80	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	30 - 60	39.56
70	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	30 - 60	30.13
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	960	10.7	30 - 60	23.85

- S17 (100 / 20) numaralı kolon için datalar girilip ACI 440 'a göre hesaplandığında;

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	90	4.11
80	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	90	3.4
70	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	90	2.86
62.5	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	90	2.25

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	45	6,75
80	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	45	5,93
70	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	45	5,01
62.5	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	45	4,38

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	30 - 60	7,13
80	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	30 - 60	6,09
70	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	30 - 60	5,22
62.5	100	0.12	1000	231000	0.017	160	10.7	30 - 60	4,67

- S8 ve S11 (30 / 70) numaralı kolonlar için datalar girilip ACI 440 ‘a göre hesaplandığında;

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	90	55.21
80	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	90	38.80
70	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	90	30.60
62.5	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	90	24.45

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	45	89.19
80	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	45	65.99
70	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	45	54.39
62.5	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	45	45.69

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	85.24
80	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	62.83
70	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	51.62
62.5	100	0.12	300	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	43.21

- S18 (25 / 60) numaralı kolon için datalar girilip ACI 440 'a göre hesaplandığında;

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	90	35.39
80	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	90	22.02
70	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	90	15.34
62.5	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	90	10.33

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	45	63.06
80	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	45	44.16
70	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	45	34.72
62.5	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	45	27.63

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	59.84
80	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	41.59
70	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	32.46
62.5	100	0.12	250	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	25.62

- K101, K101A, K111, K111A, K120 ve K120A (20 / 60) numaralı kirişler için datalar girilip ACI 440 'a göre hesaplandığında;

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	90	41.33
80	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	90	26.12
70	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	90	18.52
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	90	12.81

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	45	60.69
80	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	45	39.18
70	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	45	28.42
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	45	20.36

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	57.02
80	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	36.25
70	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	25.86
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	18.07

- K109 ve K109A (20 / 50) numaralı kirişler için datalar girilip ACI 440 'a göre hesaplandığında;

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	90	39.78
80	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	90	27.62
70	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	90	21.54
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	90	16.98

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	45	64.97
80	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	45	47.77
70	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	45	39.17
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	45	32.72

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	30 - 60	62.04
80	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	30 - 60	45.43
70	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	30 - 60	37.12
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	30 - 60	30.89

- K106 ve K106A (20 / 70) numaralı kirişler için datalar girilip ACI 440 ‘a göre hesaplandığında;

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	90	56.57
80	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	90	38.32
70	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	90	29.20
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	90	22.35

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	45	94.38
80	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	45	68.56
70	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	45	55.66
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	45	45.98

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	89.98
80	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	65.05
70	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	52.58
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	43.23

• **U Sargılı CFRP Uygulaması**

- K101, K101A, K111, K111A, K120 ve K120A (20 / 60) numaralı kirişler için datalar girilip ACI 440 ‘a göre hesaplandığında;

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	90	76,04
80	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	90	60,83
70	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	90	53,23
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	90	47,52

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	45	107,54
80	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	45	86,03
70	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	45	75,27
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	45	67,21

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	103,87
80	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	83,10
70	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	72,71
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	560	10.7	30 - 60	64,92

- K109 ve K109A (20 / 50) numaralı kirişler için datalar girilip ACI 440 ‘a göre hesaplandığında;

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	90	60,81
80	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	90	48,65
70	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	90	42,57
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	90	38,01

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	45	86,00
80	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	45	68,80
70	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	45	60,20
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	45	53,75

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	30 - 60	83,07
80	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	30 - 60	66,46
70	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	30 - 60	58,15
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	460	10.7	30 - 60	51,92

- K106 ve K106A (20 / 70) numaralı kirişler için datalar girilip ACI 440 ‘a göre hesaplandığında;

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	90	91,264
80	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	90	73,011
70	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	90	63,885
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	90	57,04

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	45	129,07
80	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	45	103,25
70	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	45	90,35
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	45	80,67

wf (mm)	sf (mm)	toplam tf	bw	Ef (Gpa)	ϵ_{fu} (Mpa)	d (mm)	fcd(beton özelliği)	β	Vcfrp
100	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	124,67
80	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	99,74
70	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	87,27
62.5	100	0.12	200	231000	0.017	660	10.7	30 - 60	77,92