

**ISPARTA SANAYİ YAPILARININ
DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

SÜMEYRA ÖZMEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA 2007**

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**ISPARTA SANAYİ YAPILARININ
DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

SÜMEYRA ÖZMEN

DANIŞMAN: YRD. DOÇ. DR. FUAT DEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

ISPARTA, 2007

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Bu çalışma jürimiz tarafından İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd.Doç.Dr.Mustafa TÜRKMEN

Üye : Yrd.Doç.Dr.Fuat DEMİR

Üye : Yrd.Doç.Dr.Şemsettin KILIÇARSLAN

ONAY

Bu tez 26/01/2007 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda, yukarıdaki jüri
üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

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

Prof.Dr.Fatma GÖKTEPE

Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER (KISALTMALAR) DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Afyon Çay Sanayi Sitesi Üzerinde Yapılan Bazı Çalışmalar	3
3. MATERYAL VE METOD	10
3.1. Materyal	10
3.1.1. Çalışmada Esas Alınan Modeller ve Özellikleri	10
3.2. Metod	13
3.2.1. Yapıya Etkiyen Yükler	13
3.2.1.1. Düşey Yükler	13
3.2.1.2. Yatay Yükler	14
3.2.2. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	16
3.2.2.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Temel İlkeler	18
3.2.3. Yapı Sistemlerinin Çözümünde Kullanılan Sonlu Elemanlar Yöntemi	22
3.2.3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi Genel Bağlılıkları	22
3.2.3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi Esas Bağlılıkları	24
3.2.4. Yapıların Performansa Dayalı Sismik Tasarımı	28
3.2.4.1. Hemen Kullanım Durumu	29
3.2.4.2. Can Güvenliği Durumu	30
3.2.4.3. Göçmenin Önlenmesi Durumu	30
3.2.4.4. Göçme Durumu	30
3.2.5. Artımsal Statik İtme Analizi	31
3.2.6. Yapı Elemanlarının Plastik Davranış Özelliklerinin Tanımlanması	33
3.2.7. Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	37
4.1. Artımsal Statik İtme Analizi Uygulanan Çerçeve	37
4.2. Farklı Beton Dayanımlarında Çerçeve Davranışı	41
4.3. Sanayi Yapısının Kesme Dayanımının Belirlenmesi	44
4.4. Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz	45
4.5. Sanayi Yapılarının Güçlendirilmesi	63
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	69
6. KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	74

ÖZET**ISPARTA SANAYİ YAPILARININ DEPREM DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ****Sümevra ÖZMEN**

Türkiye bir deprem ülkesidir. Yüzölçümünün %90' ı ve nüfusun %92'si deprem bölgesi içinde yer almaktadır. Yapılara gelen dış etkiler arasında deprem etkisi çok önemli bir yer tutmaktadır.

Türkiye'de yapılacak büyük açıklıklı sanayi yapılarının tasarımında ve yapısal oluşumunda, deprem faktörü çok önemli bir etkidir. Sanayi yapıları kuruluş ve yapım maliyetleri yüksek olan yapılardır.

Ayrıca üretim programlarında meydana gelen aksama ve duraklamaları hiçbir işletmeci istemez ve bu yönde tedbirlerini alır. Felaketler yapılara hasar verebileceği gibi üretim programını kesintiye uğratarak ta zararlı sonuçlar doğurabilmektedir. Her ülke için milli servet ve istihdam kaynağı olan sanayi yapılarının korunması ve üretimlerinin sürekli olması ekonomiler için çok önemli ve çok değerlidir.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin hemen her yerinde benzer olarak inşa edilmiş sanayi yapılarının deprem güvenliğinin incelenmesi ve bu yapıların mevcut durumlarının değerlendirilmesidir.

Çalışmada, Isparta Petek Sanayi B tipi bloklar mevcut donatı durumu da dikkate alınarak modellenip artımsal statik itme analizleri yapılmıştır. Farklı beton dayanımları göz önüne alınarak yapının davranışının incelenmesi çalışmanın esasını oluşturmaktadır. Çalışmada, Türkiye'de yürürlükte olan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik'teki (1998) birinci derece deprem bölgesi ve Z1 yerel zemin sınıfı için farklı beton sınıfları kullanılarak artımsal statik itme analizi yapılmış, sismik davranışı ve sismik performansı incelenmiştir. Zaman tanım alanında farklı deprem ivmeleri verilerek yapının davranışı incelenmiştir. Bu yapıların güçlendirilmesi için değişik alternatiflerle çözümlenmeler yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Sanayi Yapıları, Artımsal İtme Analizi, Zaman Tanım Alanı, Dinamik Analiz

ABSTRACT**EARTHQUAKE RESPONSE OF INDUSTRIAL BUILDINGS IN ISPARTA****Sümeyra ÖZMEN**

Turkey is an earthquake - prone country. % 90 of its total area and 92 % of its population are included within the range of earthquake zone. Among the outer effects which affect the buildings and structures that of the earthquakes holds a great importance.

Earthquake is a crucial factor in the design and structural posture of the industrial buildings with larger spans which are constructed in Turkey. Industrial buildings are the ones whose organization and construction costs are high.

In addition, no manufacturer wants to suffer from any delay or failure during the production processes, and so they take the required measures. The disasters may damage the buildings and give rise to harmful, undesired results by interrupting the production. The protection of the industrial buildings as well as the sustainability of their productions is crucial and highly valuable for the economy.

The aim of this study is to examine the earthquake safety of the industrial buildings and structures which have been constructed all over Turkey in a similar manner with each other and to assess the current conditions of these structures.

In this study, having also considered their present installations and equipment, Isparta Petek Sanayi B-type blocks were modeled and then their pushover analysis was done. This study is based on analyzing the behavior of the structures by taking their different concrete strengths into consideration. In this thesis, the pushover analysis of the structures which have been constructed in accordance with the Specification for Structures to be Built in Disaster Areas (1998) using the different concrete types designed for the first-degree earthquake zone and local ground class Z1 was done, and then their seismic behavior and seismic performance were studied. The behavior of the structures was examined through different earthquake accelerations applied during the time history. To conclude, different analysis and recommendations for the reinforcement of these structures were made.

KEY WORDS: Industrial Buildings, Pushover Analysis, Time History, Dynamic Analysis

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı bünyesinde gerçekleştirilen bu çalışma da, Isparta sanayi yapılarının deprem davranışları incelenmiştir. Bu yapıların mevcut donatı durumları dikkate alınarak modellenip artımsal statik itme analizleri yapılmıştır. Farklı beton dayanımlarının yapının davranışına olan etkileri araştırılmıştır. Zaman tanım alanında farklı deprem ivmeleri alınarak yapının deprem durumundaki davranışları incelenmiştir. Ayrıca bu yapıların güçlendirilmesi için çözümler sunulmuştur.

Yüksek Lisans çalışması süresince, ilgi ve yardımlarıyla beni destekleyen danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Fuat DEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Eşime, kayınvalidem Günay ÖZMEN'e, aileme ve özellikle kızım İlayda ÖZMEN'e çalışmalarım süresince gösterdikleri anlayış ve manevi desteklerinden dolayı teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

SİMGELER (KISALTMALAR) DİZİNİ

\underline{u}	Düğüm noktası yer değiştirme vektörü
γ_{xy}	Kayma gerilmesi şekil değiştirmesi
\underline{P}	Dış kuvvetleri gösteren vektör
\underline{F}_E	Elastik kuvvetleri gösteren vektör
$d\theta$	Kesitteki görelî açısal değişim
ζ	Sönüm oranı
\underline{F}_V	Viskoz kuvvetleri gösteren vektör
[B]	Şekil değiştirme vektörünü düğüm noktası yerdeğiştirmelerine bağlayan matris
[E]	Eleman elastisite matrisi
[H]	Tranformasyon matrisi
A_0	Etriye kesit alanı
ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
\underline{F}_A	Atalet kuvvetlerini gösteren vektör
b	Kolon enkesit genişliği
d	Faydalı yükseklik
DB	Doğu Batı
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
p_x, p_y	Dış kuvvetler
f_{cd}	Beton tasarım basınç dayanımı
f_{ctd}	Beton tasarım çekme hesap dayanımı
f_{ywd}	Etriye donatısının tasarım akma gerilmesi
G	Öz ağırlık
KG	Kuzey Güney
kN	Kilonewton
KÜSGET	Küçük Sanayi Geliştirme Teşkilatı
\underline{M}	Kütle matrisi
$M(x)$	Kirişin "x" kesitindeki eğilme momenti
n	Yapıda kat adedi

$p(x)$	Yük fonksiyonu
Q	Hareketli yük
R	Taşıyıcı sistemin davranış katsayısı
\underline{K}	Rijitlik matrisi
s	Etriye veya fret aralığı
\underline{C}	Sönüm matrisi
U	Eleman şekil değiştirme enerjisi (Potansiyel enerjisi)
U_N	Taban kesme kuvveti
V	Eleman hacmi
V_B	Yerdeğiştirme
V_c	Beton kesitin kesme kuvveti dayanımına katkısı
V_{cr}	Betonun kesme dayanımı
V_r	Kesitin taşıyabileceği maksimum kesme kuvveti
V_s	Donatının taşıdığı kesme kuvveti
$\{\Delta u\}$	Yanal yer değiştirmelerin artış vektörü
$Z1$	Yerel zemin sınıfı
Δ	Eleman düğüm noktalarındaki yer değiştirme vektörü
$\underline{\varepsilon}$	Eleman şekil değiştirme vektörünü
σ	Eleman gerilme vektörü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Çay sanayi sitesinden hasar görünümleri.....	4
Şekil 2.2. Çay sanayi sitesinde kolon burkulmaları.....	4
Şekil 2.3. Çay Küçük Sanayi Sitesi enkesiti.....	5
Şekil 2.4. Çay Küçük Sanayi Sitesi kolon - kiriş birleşim detayı.....	6
Şekil 2.5. Çay Küçük Sanayi Sitesinin proje ve mevcut durumuna göre itme eğrileri.....	6
Şekil 2.6. Hesapta kullanılan 1 Ekim 1995 ivme spektrumu.....	7
Şekil 2.7. Çay Küçük Sanayi Sitesi mafsallaşma mekanizması.....	7
Şekil 2.8. Çay Küçük Sanayi Sitesinde tipik mafsallaşma mekanizması yıkılma biçimi.....	8
Şekil 2.9. Çay Küçük Sanayi Sitesinde iç aks kolonunda basınç kırılması.....	8
Şekil 2.10. Çay Küçük Sanayi Sitesinde kolon – kiriş birleşim yeri detayı.....	9
Şekil 3.1. Isparta Petek Sanayi B tipi bloklarının taşıyıcı sistemlerinin üç boyutlu görünüşü.....	12
Şekil 3.2. Isparta Petek Sanayi B tipi bloklarının taşıyıcı sistemlerinin kısa yönü görünüşü.....	12
Şekil 3.3. Tip performans seviyeleri ve yük şekil değiştirme eğrisi.....	29
Şekil 3.4. İttirme şekli ve çatı yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti.....	32
Şekil 3.5. Doğrusal olmayan analizde kullanılan statik yaklaşım.....	32
Şekil 3.6. Betonarme elemanın moment - dönme ilişkisi.....	33
Şekil 3.7. Erzincan depremi ivme kaydı.....	35
Şekil 3.8. Düzce depremi ivme kaydı.....	35
Şekil 3.9. Kocaeli depremi ivme kaydı.....	36
Şekil 4.1. Modellenen çerçevenin taban kesme kuvveti - yerdeğiştirme ilişkisi.....	37
Şekil 4.2. Çerçevenin artımsal statik itme analizi grafiği.....	38
Şekil 4.3. Çerçevenin mafsallaşma mekanizması.....	38
Şekil 4.4. Üç boyutlu çerçevenin mafsallaşma mekanizması.....	39
Şekil 4.5. Çerçevenin otomatik mafsal atanmış artımsal statik itme analizi grafiği.....	40
Şekil 4.6. Çerçevenin mafsallaşma mekanizması.....	40
Şekil 4.7. Çerçevenin değişik mafsallı taban kesme kuvveti - yerdeğiştirme eğrisi.....	41
Şekil 4.8. Farklı beton dayanımlarında taban kesme kuvveti - yerdeğiştirme eğrisi.....	42
Şekil 4.9. Farklı beton dayanımlarında taban kesme kuvveti - yerdeğiştirme eğrisi.....	43
Şekil 4.10. Erzincan depremi davranış spektrumu.....	46
Şekil 4.11. Düzce depremi davranış spektrumu.....	46
Şekil 4.12. Kocaeli depremi davranış spektrumu.....	47
Şekil 4.13. Dinar depremi davranış spektrumu.....	47
Şekil 4.14. Çay ilçesinde tümü göçen tek katlı sanayi yapıları.....	48
Şekil 4.15. Çerçevenin Düzce KG depremi taban kesme kuvveti.....	49
Şekil 4.16. Çerçevenin Düzce DB depremi taban kesme kuvveti.....	49
Şekil 4.17. Çerçevenin Kocaeli DB depremi taban kesme kuvveti.....	50
Şekil 4.18. Çerçevenin Erzurum DB depremi taban kesme kuvveti.....	50
Şekil 4.19. Çerçevenin Erzurum KG depremi taban kesme kuvveti.....	51
Şekil 4.20. Çerçevenin İzmir KG depremi taban kesme kuvveti.....	51
Şekil 4.21. Çerçevenin Erzincan DB depremi taban kesme kuvveti.....	52
Şekil 4.22. Çerçevenin Erzincan KG depremi taban kesme kuvveti.....	52
Şekil 4.23. Çerçevenin Dinar DB depremi taban kesme kuvveti.....	53
Şekil 4.24. Çerçevenin Dinar KG depremi taban kesme kuvveti.....	53

Şekil 4.24. Çerçevenin Dinar KG depremi taban kesme kuvveti	53
Şekil 4.25. Çerçevenin Denizli DB depremi taban kesme kuvveti	54
Şekil 4.26. Çerçevenin Denizli KG depremi taban kesme kuvveti.....	54
Şekil 4.27. Modellenen çerçeve elemanlarının düğüm noktası numaraları	56
Şekil 4.28. Çerçevenin Düzce KG depremi tepe noktası yerdeğiştirmesi	56
Şekil 4.29. Çerçevenin Düzce DB depremi tepe noktası yerdeğiştirmesi.....	57
Şekil 4.30. Çerçevenin Kocaeli DB depremi tepe noktası yerdeğiştirmesi	57
Şekil 4.31. Çerçevenin Erzurum DB depremi tepe noktası yerdeğiştirmesi.....	58
Şekil 4.32. Çerçevenin Erzurum KG depremi tepe noktası yerdeğiştirmesi.....	58
Şekil 4.33. Çerçevenin İzmir KG depremi tepe noktası yerdeğiştirmesi.....	59
Şekil 4.34. Çerçevenin Erzincan DB depremi tepe noktası yerdeğiştirmesi.....	59
Şekil 4.35. Çerçevenin Erzincan KG depremi tepe noktası yerdeğiştirmesi	60
Şekil 4.36.Çerçevenin Dinar DB depremi tepe noktası yerdeğiştirmesi.....	60
Şekil 4.37. Çerçevenin Dinar KG depremi tepe noktası yerdeğiştirmesi	61
Şekil 4.38. Çerçevenin Denizli DB depremi tepe noktası yerdeğiştirmesi	61
Şekil 4.39. Çerçevenin Denizli KG depremi tepe noktası yerdeğiştirmesi.....	62
Şekil 4.40. Kolon boyutları büyütölmüş çerçevenin taban kesme kuvveti- yerdeğiştirme grafiği	63
Şekil 4.41. Kolon boyutları büyütölmüş çerçevenin mafsallaşma mekanizması.....	64
Şekil 4.42. Kolon boyutları büyütölmüş çerçevenin kısa yön görünüşü	65
Şekil 4.43. Sanayi yapısında kısa kolon oluşumu görüntüsü	65
Şekil 4.44. Kolon boyutu büyütölmüş yapı taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme grafiği	66
Şekil 4.45. Sanayi yapısında kullanıcı tarafından hasar verilen kiriş	67
Şekil 4.46. Sanayi yapısında kullanıcı tarafından hasar verilen kiriş	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Yapının kesme dayanımı değerleri (kN).....	66
Çizelge 4.2. Deprem ivmeleri etkisinde maksimum taban kesme kuvvetleri (kN) ...	55
Çizelge 4.3. Maksimum taban kesme kuvveti ve düğüm noktaları yerdeğiştirmesi..	62
Çizelge 4.4. Kolon boyutu büyütölmüş deprem kaydı taban kesme kuvvetleri (kN)	66

1. GİRİŞ

Ülkemizde yaşanan yıkıcı depremlerin ardından mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi önemli bir durum haline gelmiştir. Depremde hasar gören veya yıkılan yapılar üzerinde yapılan incelemeler, hasar ve yıkılmanın çeşitli nedenlere dayandığını göstermektedir. Genelde hasar oluşmasına; gerekli zemin etütlerinin yapılmaması, bina geometrisinin ve taşıyıcı sistemin hatalı, kesitlerin yetersiz, detaylandırmanın eksik veya yanlış, yapım kalitesinin kötü olmasının sebep olduğunu söylemek mümkündür (Tekeli, 2003).

Son yıllarda meydana gelen depremler; can ve mal kayıpları dikkate alındığında, tehlikenin büyüklüğünü ve konunun ciddiyetle ele alınması gerektiğini ortaya koymuştur. Bu gibi depremlerde ortaya çıkan kayıplar ülkemizde çok büyük boyutlara ulaşırken, gelişmiş ülkelerde aynı büyüklükteki bir depremde kayıpların çok az olması, üzerinde durulması gereken önemli bir sorundur. Bu sorun; ülkemizdeki yapıların, gelişmiş ülkelerdeki yapılara göre, standartlarının düşük ve kalitesiz olmasından kaynaklanmaktadır.

Betonarme yapıların, düşey yükler yanında yatay yükleri de güvenli bir şekilde taşınması gerektiği bilinmektedir. Deprem ve rüzgar etkileri en önemli yatay yüklerdir. Bu yüklerden yapılara gelen dış etkiler arasında deprem etkisi çok önemli bir yer tutmaktadır. Betonarme yapıların bir kısmını da sanayi tipi yapılar oluşturmaktadır. Bilindiği gibi her ülke için milli servet ve istihdam kaynağı olan sanayi yapılarının korunması ve üretimlerinin sürekli olması ekonomiler için çok önemli ve değerlidir.

Bu yüzden Türkiye’de yapılacak sanayi yapılarının tasarımında ve yapısal oluşumunda, deprem faktörü çok önemli bir etkidir. Sanayi yapıları kuruluş ve yapımının yanı sıra içerdiği makina ve teçhizat bakımından maliyetleri yüksek olan yapılardır. Deprem bu yapılara hasar verebileceği gibi üretim programını kesintiye uğratarak da zararlı sonuçlar doğurabilmektedir. Hiçbir işletmeci üretim programlarında meydana gelen aksama ve duraklamaları istemez ve bu yönde

tedbirler almak ister. 1999 yılında meydana gelen İzmit – Adapazarı – Gölcük – Yalova depreminde sanayi yapılarının büyük oranda zarar görmesi Türkiye ekonomisini uzun süre olumsuz yönde etkilemiştir. Özellikle gelişmiş sanayi tesislerinin deprem açısından en riskli bölgelerde olması ve deprem sonrasında büyük zararlar alması ülke ekonomisini zora sokmaktadır. Bunun için sanayi yapılarının da deprem güvenliğinin sağlanması önemli bir konudur.

Sanayi yapıları, Türkiye'nin hemen her yerinde KÜSGET (Küçük Sanayi Geliştirme Teşkilatı) tarafından benzer şekilde projelendirilmiş tip projelerden oluşmaktadır. Bu sanayi yapılarının deprem güvenliğinin belirlenmesi ve beton dayanımının mevcut sanayi yapılarının doğrusal olmayan davranışına olan etkilerinin incelemesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Isparta Petek Sanayisinin projeleri KÜSGET tarafından yapılmış tip projelerden oluşmaktadır. Modeller mevcut betonarme uygulanan projeleri göz önüne alınarak yapılmıştır. Çözümlemelerde SAP2000 (Three Dimensional Static and Dynamic Finite Element Analysis and Design of Structure) bilgisayar programı kullanılmıştır. Sanayi yapıları Türkiye'de yürürlükte olan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik'teki (1998) birinci derece deprem bölgesi ve Z1 yerel zemin sınıfı için farklı beton sınıfları kullanılarak artımsal statik itki analizleri yapılmış, sismik performansı incelenmiştir

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Afyon Çay Sanayi Sitesi Üzerinde Yapılan Bazı Çalışmalar

Türkiye’de inşa edilen sanayi yapıları, KÜSGET tarafından hazırlanan ve hemen hemen her yerde benzer tipte uygulanan projelerdir. Afyon Çay depremi sonrasında depremin Afyon Çay sanayi yapıları üzerindeki etkileri birkaç araştırmacı tarafından konu edilmiştir.

Sağlamer vd. (2002), yapmış oldukları çalışmada Afyon Sultandağı depremi sonrasında Afyon Çay sanayi sitesinin deprem davranışını incelemişlerdir. Sanayi sitesinin inşaatı 1991-1996 yılları arasında tip proje uygulaması ile gerçekleştirilmiştir. Site kısa doğrultuda dört açıklığı ve boyuna beş açıklığı olan tipik bir bloğun tekrarlanmasıyla oluşturulmuştur. Bloкта her kenar aksta enine doğrultuda bölme duvarları mevcuttur. Taşıyıcı sistemde çatıda ve ara katta betonarme kirişli plaklar bulunmaktadır. Ayrıca kiriş ve kolonların düzgün eksenlerde yerleştirilmesi ile çerçeve oluşturulmuştur. Taşıyıcı sistemin düzgün eksenlerinin bulunması ve kiriş ve kolonların eksenel birleştirilmiş olması olumlu olarak kabul edilebilir. Beton kalitesi çok değişken olmakla beraber, 10~14 MPa arasında bir basınç dayanımı tahmin edilmiştir. Elemanların incelenmesinde donatı olarak düz yüzeyle ve nervürlü donatının birlikte kullanıldığı görülmüştür. Donatı kenetlenme boylarının yetersiz olması, etriye kancalarının 90⁰bükülmesi ve kısa olması başta olmak üzere donatı detaylarına gerekli özenin gösterilmemesi en önemli hasar sebebi olarak görülmüştür. Bunun yanında bölme duvarlarının çok az olması, beton kalitesinin düşük olması ve zemin profilinin, yamaç molozlarının altında kalın ve gevşek yerleşmiş kum - çakıl ile yumuşak - orta katı alüvyon tabakalarından oluşması da ağır hasarın sebepleridir. Deprem sırasında zemin büyütmesi olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 2.1. Çay sanayi sitesinden hasar görünümleri (Sağlamer vd., 2002)

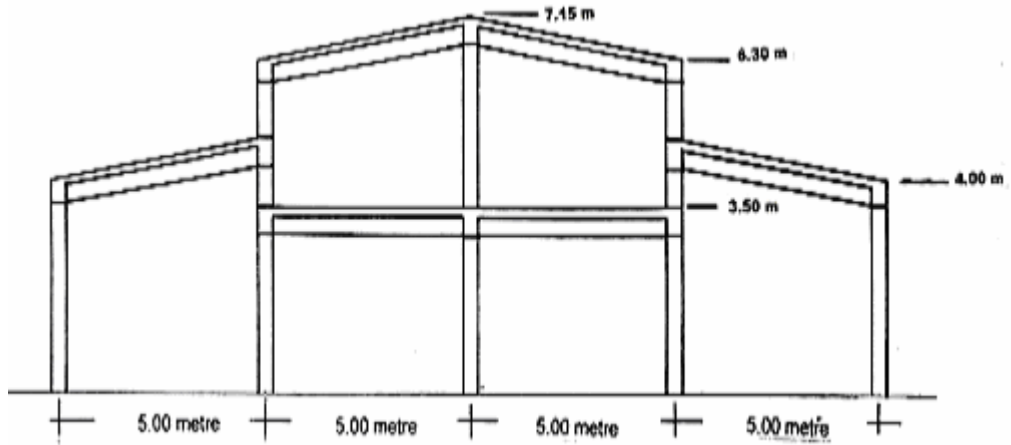


Şekil 2.2. Çay sanayi sitesinde kolon burkulmaları (Sağlamer vd., 2002)

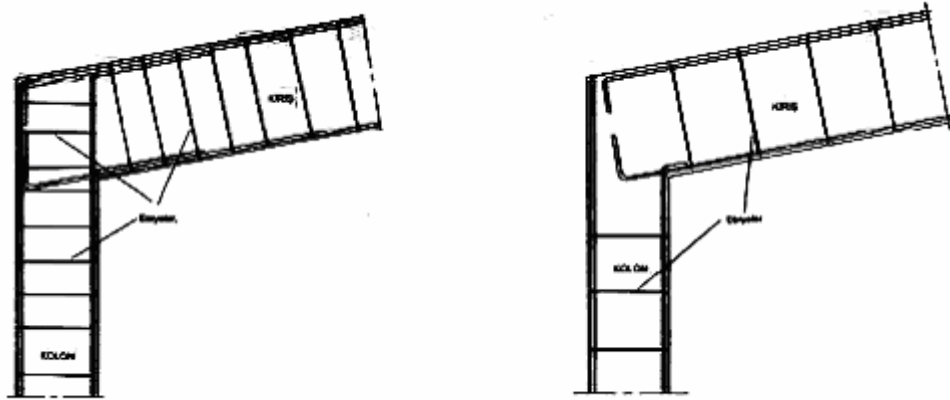
Sonuç olarak betonarme yapılarda, sanayi sitesinde olduğu gibi basit donatı detaylandırma kurallarına uyulmaması ve beton kalitesinin düşük olması önemli hasarların ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

Bayülke vd. (2003), tarafından yapılan çalışmada 3 Şubat 2002 Sultandağı depreminde büyük bölümleri yıkılan Çay Küçük Sanayi Siteleri incelenmiştir. Dikkate alınan sanayi yapısı kesiti Şekil 2.3'te verilmektedir. Bu yapıda özellikle dış aks kolon kiriş birleşimleri çok kötü yapılmıştır (Şekil 2.4). Yapının projesine ve yapılmış durumuna göre yatay yük ötelenme eğrileri itme analizi ile hesaplanmıştır. Yapıdan alınan örneklerden projesine göre 140 kg/cm^2 olması gereken karakteristik

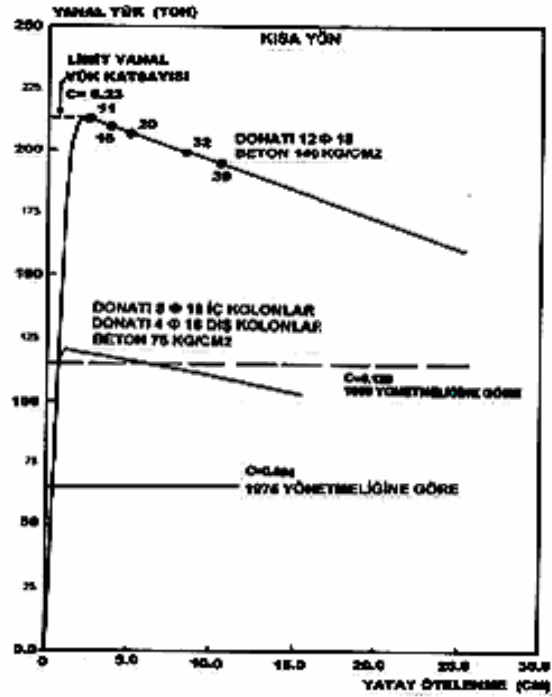
beton basınç dayanımı $70-75 \text{ kg/cm}^2$ bulunmuştur ve yapının projesinde bütün kolonlarda $12\text{Ø}18$ boyuna donatı vardır. Mevcut donatılar ise orta aks kolonlarında $8\text{Ø}18$ dış aks kolonlarında $4\text{Ø}18$ 'dir. Yapının proje ve yapılmış duruma göre SAP2000 ile hesaplanmış yük ötelenme eğrileri Şekil 2.5'te verilmiştir. Bu yapıya yakın bir noktada alınmış deprem ivme kaydı yoktur. 1995 Dinar depreminde, depremin büyüklüğü $M = 6.0$, en büyük ivme 320 cm/sn^2 ve merkez üssünden 3-5 km kadar uzakta alınmıştır. 3 Şubat depreminin Çay'daki ivme kaydı 1995 Dinar depremi gibi olabilir. Şekil 2.6'daki Dinar depremi ivme spektrumuna göre periyodu yaklaşık 0.4 sn olan bu yapıya gelen ivme 700 cm/sn^2 yada 0.72 g 'dir. Yapı projesine göre yapılmış olsaydı $C_{\text{limit}} \times R = C_{\text{elastik}}$ olması için gereken R katsayısının $C_{\text{elastik}} / C_{\text{limit}} = 0.72 / 0.23 = 3.1$ ya da daha büyük olması ile yapı elastoplastik davranarak depreme karşı koyabilecekti. Ancak yapının yapılmış hali ile dayanabildiği yatay yük $C_{\text{limit}} = 0.13$ kadardır. Yapının R katsayısının $C_{\text{elastik}} / C_{\text{limit}} = 0.72 / 0.13 = 5.5$ olması durumunda elastoplastik davranışla deprem enerjisi tüketmesi ve depreme dayanması beklenebilirdi. Kolon boyuna donatıları eksik konulmuş, etriye sıklaştırması olmayan, düğüm noktalarında kiriş ve kolon boyuna demirleri gereken biçimde kenetlenmemiş ve beton dayanımı proje dayanımının çok altında olan bir yapıda $R \geq 5.5$ sağlanamaz. Böyle bir yapıdan elastoplastik davranışla deprem enerjisi tüketimi ve deprem karşı koyma beklenemez ve yapının bu depremde olduğu gibi yıkılması kaçınılmazdır (Bayülke vd., 2003)



Şekil 2.3. Çay Küçük Sanayi Sitesi yapıları en kesiti (Bayülke vd., 2003)



Şekil 2.4. Çay Küçük Sanayi Sitesi kolon - kiriş birleşim detayı (Bayülke vd., 2003)



Şekil 2.5. Çay Küçük Sanayi Sitesinin proje ve mevcut durumuna göre itme eğrileri (Bayülke vd., 2003)



Şekil 2.8. Çay Küçük Sanayi Sitesinde tipik mafsallaşma mekanizması yıkılma biçimi (Bayülke vd., 2003)



Şekil 2.9. Çay Küçük Sanayi Sitesinde iç aks kolonunda basınç kırılması (Bayülke vd., 2003)



Şekil 2.10. Çay Küçük Sanayi Sitesinde kolon – kiriş birleşim yeri detayı (Bayülke vd., 2003)

Sonuç olarak Çay sanayi sitesinin hem yatay yük düzeyinin düşük olması hemde yapım özellikleri nedeni ile R katsayısının çok düşük olması nedeni ile depremde yıkıldığı sonucuna varılmıştır. Sanayi sitesinde boyutları ve donatıları aynı kolonlardan oluşan bir yapıda bütün yatay yük taşıyıcı elemanlar hemen aynı anda kırılmakta ve aynı ötelenme aşamalarında olduğu için yıkılmada bir anda oluşmakta ve bir yatay yük platosu oluşmayan davranış gözlenmektedir (Bayülke vd., 2003).

Demir ve Özmen (2005), tarafından yapılan çalışmada Türkiye'nin hemen her yerinde benzer şekilde yapılmış olan sanayi tipi yapıların davranışı incelenmiştir. Sanayi tipi yapıların farklı malzeme dayanımları dikkate alınarak doğrusal olmayan itki analizleri yapılmıştır. Beton dayanımının sanayi yapılarının doğrusal olmayan yük yerdeğiştirme ilişkisine olan etkisi konu edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışmada Esas Alınan Modeller ve Özellikleri

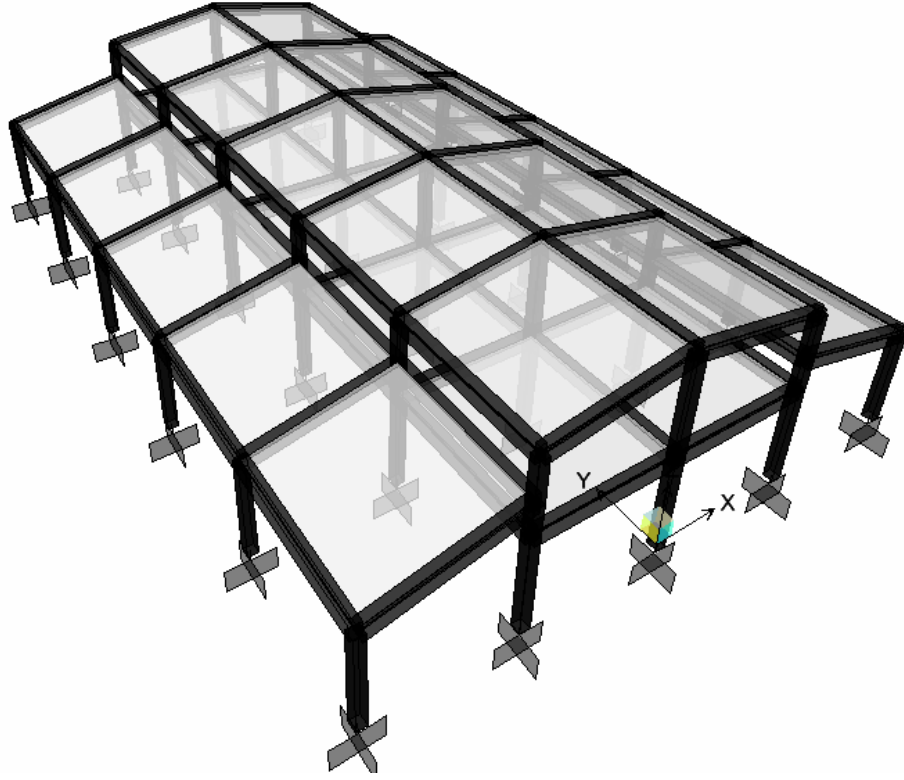
Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin hemen her yerinde benzer olarak inşa edilmiş sanayi yapılarının deprem güvenliğinin incelenmesi ve bu yapıların mevcut durumlarının değerlendirilmesidir. Bunun yanı sıra beton dayanımının doğrusal olmayan davranışa olan etkisinin incelenmesidir.

Çalışmada kullanılan yapıların geometrik özellikleri aşağıda verilmiştir. Çözümler SAP 2000 (Three Dimensionel Static and Dynamic Finite Element Analysis and Design of Structure) bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır.

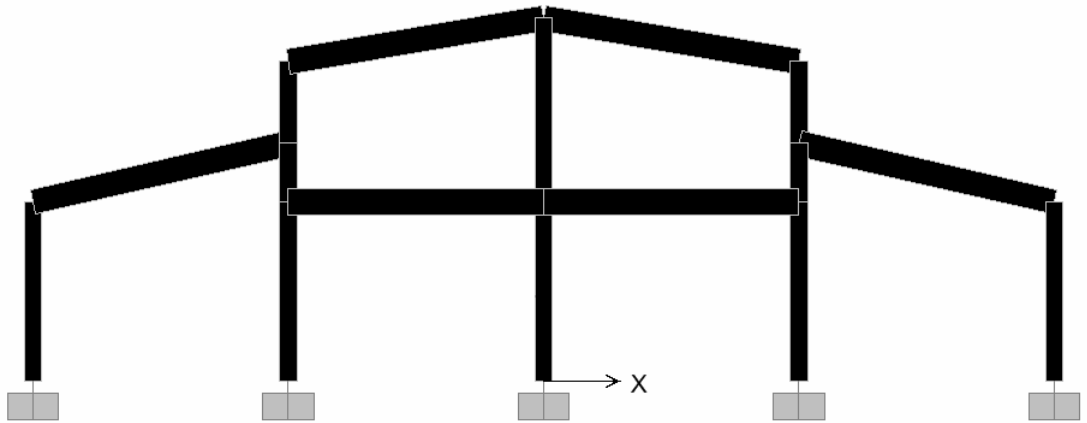
Bu çalışmada, Türkiye'nin hemen her yerinde benzer şekilde inşa edilen sanayi yapılarının deprem güvenliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Örnek olarak, Isparta Petek Sanayi B tipi bloklar mevcut donatı durumu da dikkate alınarak modellenip artımsal statik itki analizleri yapılmıştır. Farklı beton dayanımları göz önüne alınarak yapının davranışının incelenmesi çalışmamızın esasını oluşturmaktadır. Çalışmada, Türkiye'de yürürlükte olan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik'teki (1998) birinci derece deprem bölgesi ve Z1 yerel zemin sınıfı için farklı beton sınıfları kullanılarak artımsal statik itme analizleri yapılmış, sismik davranışı ve sismik performansı incelenmiştir. Performansa dayalı tasarım, deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans seviyesinin ortaya çıkması için kullanılacak yöntemleri verir. Performans kavramı, deprem mühendisliğinde yeni bir kavramdır. Başlangıçta mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilen performansa dayalı tasarım yöntemi, günümüzde yeni yapıların tasarımında da kullanılabilir. Yapının performans seviyesi, depremden sonra yapıda meydana gelecek hasarın miktarı ile ölçülür. Türkiye'de inşa edilen sanayi yapıları, KÜSGET tarafından hazırlanan ve hemen hemen her yerde benzer tipte

uygulanan projelerdir. Bu projelerde yapılar bloklar şeklinde ayrılmış ve her blok planı üzerinde bazı küçük değişiklikler yapılmıştır.

Çalışmada, Isparta Petek Sanayi B tipi bloklar incelenmiş ve dikkate alınan yapı modeli Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiştir. Bu şekilden de görülebileceği gibi her iki yönde simetrik olan yapı, kısa doğrultuda dört ve uzun doğrultuda beş açıklığa sahiptir. Açıklıklar kısa doğrultuda 5 m, uzun doğrultuda ise 6 m olmak üzere 600 m² oturma alanına sahiptir. Kolon yükseklikleri kiriş bağlantı noktalarına göre değişmektedir. Bu yükseklikler ise 3.5 m, 6.3 m ve 7.1 m’dir. Kolonlar her aksta düzgün yerleşmiş olup kolon boyutları 35x35 cm’dir. Kiriş boyutları 35x50 cm’dir. Döşeme kalınlığı 14 cm olarak alınmıştır. Her kolonda 12Ø18 ‘lik donatı kullanılmıştır. Kiriş donatıları açıklıklara göre farklı değerlerde olmasına rağmen yaklaşık aynı miktarlardadır. Yapılan incelemede, projede beton ve çelik dayanımları verilmediği için çelik sınıfı S220, beton sınıfı C10, C14, C16, C20, C25 olarak hesaplarda kullanılmıştır. Analizlerde kolon ve kirişlerin mevcut donatı durumu dikkate alınmıştır. Betonun elastisite modülü için şartnamede verilen ilgili bağıntı her beton sınıfına göre hesaplanarak kullanılmıştır. Yapının artımsal statik itme analizi neticesinde yatay yük taşıma kapasitesi bulunmuştur. Zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi ile yapıya mevcut bazı deprem ivmeleri verilmiş ve yapının bu deprem ivmeleri altında davranışı incelenmiştir. Bu neticeler sonucunda yapının depreme dayanıklı hale gelebilmesi için alternatif çözümler yapılmıştır.



Şekil 3.1. Isparta Petek Sanayi B tipi bloklarının taşıyıcı sistemlerinin üç boyutlu görünüşü



Şekil 3.2. Isparta Petek Sanayi B tipi bloklarının taşıyıcı sistemlerinin kısa yönü görünüşü

3.2. Metod

3.2.1. Yapıya Etkiyen Yükler

Yapılara etkiyen yükler düşey ve yatay olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Yapıya etkiyen düşey yükler genellikle döşemelerden kirişlere, kirişlerden kolonlara, kolonlardan da temellere iletilerek zemine aktarılır. Bu düşey yüklerden ötürü yatay elemanlarda (döşeme ve kirişlerde) eğilme momenti ve kesme kuvveti etkisi, düşey elemanlarda (kolonlarda ve perdelerde) ise normal kuvvet etkisi hakim kesit tesiri durumundadır. Yapılarımıza çok çeşitli düşey yükler (zati yük, kar yükü, amaç yükü vb.) ve yatay yükler (deprem, rüzgar, çarpma, fren vb.) etkimektedir (Kuyucular, 1998).

Yapılar taşıyıcı sistem inşa edilirken başlangıçtan itibaren kendi ağırlığını taşımaya başlar. Sabit yüklerin üstüne gelen düşey faydalı yükler de benzer özelliğe sahiptir. Hareketli yüklerin taşıyıcı sisteme etkimesi de ani olmayıp, belirli sürede gerçekleşir. Bu sürede taşıyıcı sistemde bir kusurun ortaya çıkması durumunda yük boşaltılarak tedbir alma yönüne gidilir. Deprem yükleri ise, çok kısa sürede etkirler ve dinamik özellik gösterirler. Daha önce herhangi bir yatay yük altında kalmayan taşıyıcı sistem, deprem sırasında kısa zamanda önemli bir yatay etki ile zorlanır. Taşıyıcı sistemdeki kusurlar çok kısa zamanda ortaya çıktığı için, herhangi bir tedbir almak ve yüklemeye etkili olmak mümkün olmaz (Celep ve Kumbasar, 2000).

3.2.1.1. Düşey Yükler

Yapılara etkiyen düşey yükler, ölü ve hareketli yükler olmak üzere, iki ana gruba ayrılırlar. Ölü yükler yapı elemanlarının öz ağırlıklarından ve yapıda var olan diğer sabit ağırlıklardan oluşur. Ölü yüklerin özelliği konumlarının ve şiddetlerinin sabit olmasıdır. Hareketli yükler ise, yapıya zaman zaman etkiyen ve şiddet ile konumları değişken yüklerdir. Hareketli yüklerin şiddetleri yük şartnamelerinde sabit değerler olarak verilmektedir ve genellikle bir üst sınırı yansıtmaktadır. Düşey yüklerin işletme değerleri TS 498'de verilmiştir (Atımtay, 2001).

a) Öz Ağırlık

Yapının kolon, kiriş, döşeme, yerdeğiştirmeyen bölme duvarlar, pencereler, kapılar, bunların sıva, kaplama gibi tamamlayıcı kısımları, cephe kaplamaları vb. elemanların toplam ağırlıkları yapının öz ağırlığını oluşturur. Bunlara sabit yüklerde denir. G ya da g ile gösterilir. Birimi t/m^2 , t/m^3 , kg/m^2 , kg/m^3 'tür (Özsen ve Yamantürk, 1991).

b) Hareketli Yükler

Yerdeğiştirebilen yükler 'hareketli yükler' olarak sınıflandırılır. Hareketli yükler yapı üzerindeki insan, mobilya, mekanik aletler ve arabalar gibi yapıya etkiyen fakat taşıyıcı sistemlerin parçası olmayan öz ağırlık sayılamayan diğer yüklere denir. Bu yükler yapı üzerinde sürekli bulunmazlar. Bunlara kullanım yükleri de denir. Q ya da q ile gösterilir. Birimi t/m^2 , t/m^3 , kg/m^2 , kg/m^3 'tür (Özsen ve Yamantürk, 1991).

3.2.1.2. Yatay Yükler

Yapıya gelen yatay yükler rüzgar ve deprem yükleri olarak tanımlanabilir. Rüzgar ve deprem yükleri dinamik yükler olmasına rağmen hesaplarda kolaylık sağlaması açısından şartnamelerde statik yük olarak değerlendirilirler.

a) Rüzgar Yükü

Yerdeğiştiren havanın hızından ve kütesinden dolayı rüzgarlar kinetik enerjiye sahiptirler. Yerdeğiştiren havanın önüne konumu sabit bir cisim çıkarsa, hava akımı ya durur veya yönü sapar. Bu durumda, hareketli havanın sahip olduğu kinetik enerjinin bir kısmı, basınç olarak, potansiyel enerjiye dönüşür. Bir cismin herhangi bir noktasındaki rüzgar basıncının şiddeti, cismin geometrisine, rüzgarın geliş yönüne, rüzgarın hızına ve havanın özgül ağırlığına bağlıdır (Atımtay, 2001).

Rüzgar yükü hesabı, yapının geometrisine bağlıdır ve tipik yapı geometrileri TS 498 de verilmiştir. Basınç, emme ve sürtünme etkileri birleştirilerek hesaba alınır (Atımtay, 2001).

b) Deprem Yükü

Deprem yükleri, zeminin deprem esnasında titreşmesi sonucu yapıda meydana gelen atalet kuvvetleridir. Bu kuvvetler zeminin titreşimine ve yapının titreşim karakteristikleri ile göçmeden büyük şekil değiştirmeleri yapabilme kabiliyetine bağlıdır.

Zeminin titreşim özellikleri (genliği, süresi, maksimum hız ve maksimum ivmesi, vb.) bir memlekette bile bölgeden bölgeye, aynı bir bölgede geçen zaman aralığına, bağlı olarak değişmektedir. Bu hususu yapı ömür süresi ile beraber, boyutlandırma ilkelerinin tespitinde göz önünde bulundurmak icap eder (Özden vd., 1988).

Deprem yükleri dinamik yüklerdir; sürekli değişim halindedir. Depremin oluşturduğu yer hareketinin yatay ve düşey ivmeleri vardır. Depremde yatay ivmelerin meydana getirdiği yatay yük, yapıyı deprem doğrultusunda bir ileri bir geri hareket ettirir. Bu hareket sırasında düşey elemanların herhangi bir kesiti ele alındığında; bir bölgesi çekme, diğer bölgesi ise basınç kuvvetine maruz kalır. Depremin yön değiştirmesiyle kesitin bir önceki aşamada çekme kuvveti ile zorlanan tarafı basınç kuvvetiyle, basınç kuvveti ile zorlanan tarafı ise çekme kuvvetiyle zorlanır. Çekmenin etkisi betonun çatlamasına, bir sonraki aşamada etkiyen basınç kuvveti ise çatlamış olan betonun ezilmesine sebep olur. Bu şekilde bir çekme kuvveti, bir basınç kuvvetiyle tekrarlı olarak zorlanan betonarme elemanlar mafsallaşmayla karşı karşıya kalabilir. Depremde düşey ivmelerin meydana getirdiği düşey yük ise, bir aşamada kolonlara gelen yükü artırırken bir sonraki aşamada azaltır (Bayülke, 1999).

Kolonlardaki düşey yük artışını dikkate almaya gerek yoktur. Çünkü yönetmelik ve şartnamelere uygun olarak projelendirilen betonarme yapılar, düşey yüke göre zaten oldukça emniyetlidir. Bu yüzden depremin düşey etkisi ihmal edilebilir. Asıl önemli

olan yapının yatay deprem yükü altındaki davranışıdır. Yatay yükler kolonda kesme şekil değiştirme oluştururken, normal kuvvetler önemli bir şekil değiştirme meydana getirmez. Dolayısıyla deprem hesabının sadece yatay yüke göre yapılması yeterlidir. Bu düşünce ilk defa 1915'te Prof. Biki Sano tarafından ortaya atılmış olup, günümüzde de halen geçerliliğini korumaktadır (Tekeli, 2003).

3.2.2. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

Yerküre içerisindeki kırık (fay) düzlemleri üzerinde biriken biçim değiştirme enerjisinin aniden boşalması sonucunda meydana gelen yerdeğiştirme hareketinden kaynaklanan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yeryüzünü sarsması olayına deprem denir.

Deprem yükleri yapıya çok kısa sürede etkirler ve dinamik özelliğe sahiptirler. Bundan dolayı yapı taşıyıcı sisteminde zorlamalar meydana gelir. Depreme karşı gösterdiği tepkiyi belirlemesi açısından, taşıyıcı sistemin en önemli özelliği doğal periyodudur. Doğal periyot, yapı kütleline, yanal ötelenme rijitliğine ve sönümlemeye bağlıdır (Atımtay, 2001).

Deprem durumunda bir yapı; deprem yükünü güvenle taşıyabilecek şekilde projelendirilmelidir. Yapı tasarlanırken ani göçmeyi ve can kaybını önlemek maddi hasarları en aza indirmek amaçlanmalıdır. Bu da ancak yapının projelendirme ve uygulama aşamasında depreme dayanıklı olarak tasarlanması ile mümkün olur.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında genel eğilim sünek taşıyıcı sistemlerin teşvik edilmesi şeklindedir. Bunun yanında düşey ve yatay kesitlerde taşıyıcı sistemin seçimi ve elemanların birleşim bölgelerinde gösterilecek özen önemle vurgulanır. Ayrıca, taşıyıcı sistemde yatay yerdeğiştirmeleri sınırlandıracak rijitliğin oluşturulması ve bu suretle taşıyıcı olmayan elemanlarda meydana gelebilecek hasarların azaltılması diğer önemli bir husustur (Celep ve Kumbasar, 1998).

Deprem etkilerinin karşılanması en önemli adım taşıyıcı sistemin seçimini içeren ön projelendirme safhasında bulunur. Basit olarak düzenlenen taşıyıcı sistem, hem davranışının belirlenmesindeki kolaylık hem de taşıyıcı sistem elemanlarının daha az zorlanması bakımından daima tercih edilmelidir. Günümüzde karmaşık taşıyıcı sistemlerde bilgisayar programlarıyla kolayca çözümlenebilmektedir. Ancak, betonarme taşıyıcı sistemde ve yüklemdeki belirsizlik pek çok kabulün yapılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle çözümlenme sonuçlarının ancak sınırlı ölçüde taşıyıcı sistemin davranışını yansıttığı unutulmamalıdır. Karmaşık bir taşıyıcı sistemde olumsuz etkilerin hesaplanması ve bunların karşılanması yerine, ön projelendirme safhasında bunların ortaya çıkmaması için gayret gösterilmesi daha uygundur (Celep ve Kumbasar, 2004).

Bu yüzden yapıların taşıyıcı sistemi belirlenirken, yüklerin en kısa yoldan zemine iletilecek şekilde seçilmesi hedef alınmalı, taşıyıcı sistemde düşey taşıyıcı elemanların eksenleri mümkün olduğu kadar intibak etmelidir. Yapının projelendirme ve imalat aşamalarında hata yapılmadığı kabul edilse bile, yapı dayanımının iyi olması için sadece bunlar yeterli değildir. Yapının malzeme kalitelerinin de çok iyi olması gerekir. Beton kalitesindeki değişiklik riski çelik kalitesindeki değişiklik riskinden çok daha yüksek olduğu için kaliteli beton kullanılmasına dikkat edilmelidir. Betonun basınç dayanımının ve sıkılığının yüksek olması aranan özelliktir.

Yapının projelendirme aşamasında mümkün olduğu nispette, kolon eksenlerinin aynı düzlemde olmasına, planda simetriden ayrılmamaya özen gösterilmelidir. Fakat her yapıda bunu sağlamak mümkün değildir. Özellikle alt katları mağaza olarak planlanmış yapılarda kolonun uzun kenarının, yapının kısa kenarına paralel olacak şekilde projelendirmesi istenir. Bu şekilde planlanmış bir yapının kısa yöndeki çalışması güçlü olsa bile yapının uzun yönündeki davranışı çok zayıf olacağından yapı uzun yönünde yıkılmakla karşı karşıya kalabilir. Bu nedenle yapının her iki yönde birbirine yakın dayanım ve rijitlikte olması önemli bir husustur (Bayülke, 1999).

Sonuç olarak yapının depremde; “Hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın onarılabılır düzeyde olması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesi” istenmektedir.

Yukarıda sözü edilen şiddetli deprem, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremidir. Yani, konut ve işyeri gibi binaların tasarımında kullanılacak olan depremdir. Halkın yoğun olarak bulunduğu sinema, tiyatro, okul, spor tesisleri gibi binalar ile depremden hemen sonra kullanılması gereken binalarda (hastaneler, itfaiye, sağlık ocakları, ulaşım istasyonları, enerji tesisleri vb.) ise bina önem katsayısı kullanılmak suretiyle, söz konusu tasarım depremi büyütülerek kullanılır.

Özet olarak, eğer bir bina, (ABYYHY, 98) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1998’de verilmiş koşullara uyularak tasarlanmış ve inşa edilmiş ise, ve depremler etkisinde yukarıda açıklanan depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkesine uygun bir performans gösteriyorsa, tasarım amacına ulaşmış demektir. Depreme dayanıklı bir yapının, yeterli dayanım (kapasite), yeterli rijitlik ve yeterli sünekliğe sahip olması gerekir (Kırçıl ve Hancıoğlu, 2003).

3.2.2.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Temel İlkeler

Bir bütün olarak deprem yüklerini taşıyan bina taşıyıcı sisteminde ve aynı zamanda taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların her birinde, deprem yüklerinin temel zeminine kadar sürekli bir şekilde ve güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak yeterlikte rijitlik, kararlılık ve dayanım bulunmalıdır. Bu bağlamda döşeme sistemleri, deprem kuvvetlerinin taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarılmasını sağlayacak düzeyde rijitlik ve dayanıma sahip olmalıdır (Afet Yönetmeliği, 1997).

Deprem yükleri ile rüzgar yüklerinin binaya aynı zamanda etkilediği varsayılacak ve her bir yapı elemanının boyutlandırılmasında, deprem yada rüzgar etkisi için hesaplanan büyüklüklerin elverişsiz olanı göz önüne alınacaktır. Ancak, rüzgardan

oluşan büyüklüklerin daha elverişsiz olması durumunda bile; elemanların boyutlandırılması, detaylandırılması ve birleşim noktalarının düzenlenmesinde, bu yönetmelikte belirtilen koşullara uyulması zorunludur (Afet Yönetmeliği,1997).

Yapı elemanlarının dayanımları, taşıyıcı sistemin dayanımı için gerekli olduğu gibi, elemanların birleşim bölgelerinin gerektiği gibi uygun düzenlenmesi de, elemanların öngörülen dayanımlarının ortaya çıkması bakımından önemlidir. Birleşim bölgelerindeki çözümler ve büyük dönmeler; taşıyıcı sistemlerdeki elemanlarda önemli zorlanmalar oluşmadan geçmeyi doğurabilir. Bu amaçla tasarımda aşağıdaki noktalara dikkat edilmesi uygundur (Celep ve Kumbasar, 2004).

a) Geometri

Yapılan gözlemlerden yapı ne kadar basit düzenlenmiş ise, depreme dayanıklılığın bu derecede yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun çeşitli nedenleri göz önüne alarak açıklamak mümkündür. Basit ve düzenli yapıların yapımı da kolaydır ve yapımda hata yapma olasılığı azdır. Karmaşık ve düzensiz yapıları modellemek ve ek olarak ortaya çıkan burulma etkisini göz önüne almak daha uzun işlemler gerektirir (Celep ve Kumbasar, 2004).

b) Süreklilik

Yapının taşıyıcı sistemi oluşturulurken, plan ve düşeyde bulunan elemanların düzgün ve sürekli olarak tasarlanması deprem davranışını olumlu yönde etkiler. Bütün kolonlar ve perdeler temelden çatıya kadar sürekli olmalı ve elemanların birbirine dış merkez mesnetlenmelerinden kaçınılmalıdır. Kolon ve ona mesnetlenen kirişlerin eksenleri arasındaki dışmerkezlikte elden geldiği kadar önlenmeli ve bunların genişliklerinin birbirine yakın olmasına çalışılmalıdır. Böylece betonarme elemanlarda, kesit etkilerinin geçişini sağlayan iyi bir donatı düzeni sağlanabilir. Taşıyıcı sistemde süreklilik ile elemanların birbirine yardım etmesi sağlanırken, elastik davranışın ötesindeki taşıma kapasitesi artırılmış olur (Celep ve Kumbasar, 2000).

c) Rijitlik ve dayanım

Elemanların sürekliliği yanında, rijitliklerinin de ani değişiklikler göstermeden devam etmesine gayret edilmelidir. Yapı elemanlarını rijitliğini uygun seçerek; titreşim periyodunu belirli bir aralığa getirerek deprem etkilerini küçültmek mümkündür. Bunun için ilk yapılacak iş, spektrum eğrisinde bölgenin hakim periyodu ile yapınınkini uzak tutarak rezonans olayını önlemektir (Celep ve Kumbasar, 2004).

Yapının rijitliğini artırarak depremde meydana gelecek şekil ve yerdeğiştirmeleri azaltmak mümkündür. Bu suretle, taşıyıcı sistemle ona bağılı bulunan taşıyıcı olmayan kısımlardaki hasar azaltılabilir. Yapının rijitliği arttıkça, deprem kuvvetinde meydana gelen artış, bilinmesi ve dikkate alınması gereken önemli bir husustur (Celep ve Kumbasar, 2004).

d) Göçme modu

Genel olarak bir birleşim bölgesinde kolon yerine, kirişlerin kesitlerinde plastik mafsallı olarak güç tükenmesinin ortaya çıkması tercih edilir. Ancak, kiriş kesitlerinin katlar arasında fazla değışmemesi, bunun yanında kolon kesitlerinin üst katlara doğru küçülmesi veya açıklıkların büyük olması gibi koşullar bu özelliğın her zaman sağlanmasını engeller. Böyle bir durumda deprem yükleri artırılarak boyutlama yapılması bir çözüm olabilir (Celep ve Kumbasar, 2004).

e) Süneklik

Bir elemanın veya yapının sünek olması onun deprem esnasında ortaya çıkan enerjinin oldukça büyük bir kısmını, büyük amplitütlü, dönüşümlü şekil değıştirmeler altında, elastik sınırın ötesinde elastik olmayan davranışları ile, mukavemetinde esaslı bir kayba uğramadan yutma kabiliyetidir (Özden vd., 1988).

Taşıyıcı sistemin veya elemanların sünekliği, işaret değiştiren ve sistemi elastik sınırın ötesinde zorlayan etkiler altında taşıyıcı elemanların yardımlaşmasını sağlamak yanında enerji yutma sonucunu doğurduğundan, düşey yükler altındaki projelendirilmeden daha çok deprem yüklerinin karşılanmasında önem kazanır. Seyrek meydana gelecek şiddetli deprem etkisini, yapının elastik davranışının üzerinde şekil değiştirerek karşılaması öngörülür (Celep ve Kumbasar, 2004).

Süneklik güç tükenmesi sırasında elastik olmayan büyük şekil veya yerdeğiştirmelerin ortaya çıkması olarak da görülebilir. Bir yapı sünek ise, deprem sırasında zeminden yapıya iletilen enerjinin büyük bir kısmı, elastik sınırın ötesindeki büyük genlikli titreşimler yapının dayanımını önemli bir kayba uğratmadan yutulur. Süneklik sayesinde, yüklemenin aşırı artmasında akmaya ulaşan kesitlerde plastik şekil değiştirmelerle enerji alınırken, iç kuvvetlerin daha az zorlanan kesitlere dağılması sağlanır. İyi düzenlenmiş sünek bir taşıyıcı sistemde deprem enerjisi, kontrollü hasarlarla, göçmeden uzak kalınarak karşılanmış olur. Sünekliğin gereği olan plastikleşme bölgelerinin meydana gelebilmesi için sistemin yüksek mertebeden hiperstatik olması gerekir (Celep ve Kumbasar, 2004).

Çerçeve sistemler, düğüm noktalarında plastik mafsallar oluşması ile sünek olma özelliği kazanırlar. Ancak, yapının tehlikeli ek zorlamalara maruz kalmasına yer vermemek için yapı plastik mafsallar yalnız kiriş uçlarında meydana gelecek şekilde boyutlandırılmalıdır. Yük şiddetinin artması halinde kolonların temelle birleştiği yerlerde plastik mafsalların oluşmasına yer verilebilir.

En tehlikeli durum, yalnız bir katın kolonlarında plastik mafsallar oluşmasıdır. Bu halde istenilen düktiliteyi temin için bu kesitlerde aşırı dönmeler olabilir. Bu ise üst katların alt katlara nazaran aşırı derecede yerdeğiştirme yapmasına ve yapıda çok önemli ilave tesirler doğmasına sebep olur. Bu duruma müsaade edilmemelidir (Özden vd., 1988).

Depreme dayanıklı yapı tasarımında genel eğilim sünek taşıyıcı sistemlerin teşvik edilmesidir. Bunun yanında yatay ve düşey kesitlerde düzenli taşıyıcı

sistemin seçimi ve elemanların birleşim bölgelerinde gösterilecek özen önemle vurgulanır. Ayrıca, taşıyıcı sistemde yatay yerdeğiştirmeleri sınırlandıracak rijitliğin oluşturulması ve bu suretle taşıyıcı olmayan elemanlarda meydana gelebilecek hasarların azaltılması diğer önemli bir husustur.

Sonuç olarak, depreme dayanıklı bir tasarımda aşağıdaki noktalara dikkat etmek gerekir;

- a. Plan ve düşey kesitte yapı, mümkün olduğu kadar basit olmalıdır.
- b. Temel sağlam ve düzgün özellikli zemine oturmalıdır.
- c. Deprem etkisini taşıyacak elemanlar, planda burulma olmayacak şekilde düzenlenmelidir.
- d. Yapı elemanları gerekli yeterli dayanımları yanında sünek olmalıdırlar.
- e. Meydana gelen şekil değiştirmeler ve yerdeğiştirmeler güvenliği zedelememeli ve kullanımı engellenmemelidir.

3.2.3. Yapı Sistemlerinin Çözümünde Kullanılan Sonlu Elemanlar Yöntemi

3.2.3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi Genel Bağınıtları

Sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanan yapı sistemleri, sonlu sayıda, sonlu uzunlukta düğüm noktalarında temas halinde bulunan yapı elemanlarının bir birleşimi olarak dikkate alınır.

Böylece her bir sonlu eleman parçasının davranış denklemlerinin çözülmesi sonucunda tüm taşıyıcı sistemin davranışı belirlenmiş olur. Sonlu elemanlar yönteminde çözümün kesin yakınlığı sistemin veya ortamın bölündüğü eleman sayısına bağlıdır.

Yöntemin uygulanmasında genellikle aşağıdaki sıra takip edilir;

- a) Yapı sistemi ve sürekli ortam, fiktif çizgiler ve yüzeylerle belirli sayıda sonlu

elemanlara ayrılırlar. Elemanların birbirine bağlandığı köşe noktalarına düğüm noktaları adı verilir.

b) Elemanların, sınırlar üzerinde bulunan belirli sayıda düğüm noktasına temas halinde olduğu varsayılır. Her düğüm noktasında, elemanların davranışına uygun olarak tarif edilen düğüm noktası yerdeğiştirmeleri problemin esas bilinmeyen parametrelerini oluşturur.

c) Her sonlu elemanın kendi içindeki yerdeğiştirme durumunu tanımlamak için düğüm noktası yerdeğiştirmeleri ve koordinatlarına bağı polinom tipinde fonksiyonlar seçilir. Bu amaçla seçilecek polinomun terim sayısının düğüm noktaları yerdeğiştirme bileşenleri sayısına (eleman toplam serbestlik derecesi sayısına) eşit olması gerekmektedir. Buradan görülüyor ki bir sonlu elemanda düğüm noktası yerdeğiştirme bileşeni sayısı ne kadar yüksekse yerdeğiştirmeler için seçilecek fonksiyonun derecesi de o kadar yüksek yani çözümdeki kesme hataları o kadar küçük olacaktır.

d) Eleman içindeki şekil değiştirme durumu düğüm noktaları yerdeğiştirmeleri cinsinden tanımlanan seçilmiş yerdeğiştirme fonksiyonu malzemenin elastik özellikleri ile birlikte eleman sınırlarında her noktadaki gerilme durumunu tanımlar.

e) Düğüm noktalarına yoğunlaştırılan dış yükler ile düğüm noktaları yerdeğiştirmeleri arasındaki ilişkiyi kuran eleman rijitlik matrisi elde edilir.

f) Elemanların her birinin rijitlik matrisi elde edildikten sonra bu matrisler birleştirilerek sistemin toplam rijitlik matrisi elde edilir.

g) Toplam rijitlik matrisi yardımıyla sistemi esas davranış denklemleri kullanarak düğüm noktalarının yerdeğiştirmeleri hesaplanır ve yerdeğiştirmelerin türevleri alınmak suretiyle de esas sistemin şekil değiştirme ve gerilme bileşenleri elde edilir (Sivri, 2003).

3.2.3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi Esas Bağlıları

Sonlu elemanlar yönteminde sürekli ortam, belirli boyutlarda sonlu tekil elemanlardan oluşan bir sistemle değiştirilmektedir. Ortaya çıkan ayrık sistemin incelenmesi, yapı mekaniği yöntemlerinin herhangi birinin kullanılmasıyla her zaman mümkün olmaktadır.

Taşıyıcı sistemin tümü veya bir elemanı için genel davranışı gösteren doğrusal esas denklem;

$$\underline{F}_A + \underline{F}_V + \underline{F}_E = \underline{P} \quad (3.1)$$

şeklinde yazılır.

Burada, \underline{F}_A atalet kuvvetini, \underline{F}_V viskoz kuvvetini, \underline{F}_E elastik kuvvetleri ve \underline{P} dış kuvvetleri gösteren vektörlerdir.

(3.1) denklemindeki kuvvetler, \underline{M} kütle, \underline{C} sönüm, \underline{K} rijitlik matrisleri ve \underline{u} düğüm noktası yerdeğiştirme vektörlerine bağlı olarak;

$$\underline{M}\ddot{\underline{u}} + \underline{C}\dot{\underline{u}} + \underline{K}\underline{u} = \underline{P} \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilebilir.

$\ddot{\underline{u}}$ ve $\dot{\underline{u}}$ vektörleri, \underline{u} yerdeğiştirme vektörünün t zamanına bağlı birinci ve ikinci türevleri göstermektedir.

(3.2) denkleminde zamana bağlı dinamik büyüklüklerden, $(\underline{M}\ddot{\underline{u}})$ atalet ve $(\underline{C}\dot{\underline{u}})$ viskoz kuvvetleri kaldıracak olursak;

$$\underline{K}\underline{u} = \underline{P} \quad (3.3)$$

denklemini elde edilir. Burada (3.3) bağıntısı sistemin yada elemanın genel statik davranış denkleminin ifadesidir.

Aynı zamanda eleman rijitlik denklemini adı verilen (3.3) denklemini, incelemede kullanılan Yerdeğiştirme (Rijitlik) Matris Yönteminin genel bir ifadesidir.

(3.3) denkleminin çözümü, K rijitlik matrisinin bilinmesiyle ve yerdeğiştirme yönteminin kullanılmasıyla kolaylıkla mümkün olur.

İncelemede kullanılan yerdeğiştirme yöntemi, sistemin tümü veya bir elemanı için, düğüm noktalarının bilinmeyen yerdeğiştirmelerini, bilinen düğüm noktası kuvvetleri ve rijitlik matrisine bağlı olarak hesaplanmasını sağlar.

Diğer önemli bir adım ise, elemanların ve buna bağlı olarak tüm sistemin rijitlik matrisinin kurulmasıdır. Sonlu elemanlar yöntemiyle, bir elemanın veya sistemin elde edilmesi için analizde;

$$\{u\}=[H]\{\Delta\} \quad (3.4)$$

bağıntısı ile girilir. Burada,

u : Elemanın davranışını belirleyen yerdeğiştirme vektörü,

H : Eleman yerdeğiştirmelerini düğüm noktaları yerdeğiştirmeleri cinsinden tanımlayan ve seçilen şekil fonksiyonunun oluşturduğu transformasyon matrisini,

Δ : Eleman düğüm noktalarındaki yerdeğiştirme vektörünün (düğüm noktalarındaki $\Delta_{ix}, \Delta_{iy}, \Theta_i$) serbestlik derecelerini ifade etmektedir.

Yerdeğiştirme-şekil değiştirme arasındaki uygunluk şartından faydalanarak;

$$\{\varepsilon\}=[B]\{\Delta\} \quad (3.5)$$

denklemini yazılır. Bu denkleminde;

ε : Eleman şekil değiştirme vektörünü,

B: Şekil değiştirme vektörünü düğüm noktası yerdeğiştirmelerine bağlayan matrisi gösterir. B matrisi H transformasyon matrisinin gerekli kısmi türevleri alınarak elde edilir.

Örnek olarak düzlem gerilme problemlerinde, yerdeğiştirme ile şekil değiştirme arasındaki bağıntılar;

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \partial u_x / \partial x \\ \varepsilon_y &= \partial u_y / \partial y \\ \gamma_{xy} &= \partial u_x / \partial y + \partial u_y / \partial x\end{aligned}\quad (3.6)$$

ifadeleri ile elde edilir.

Homojen, izotrop, doğrusal elastik malzemeler için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (Bünye Denklemleri) Hook kanunundan faydalanılarak;

$$\{\sigma\} = [E] \{\varepsilon\} \quad (3.7)$$

şeklinde yazılır. Burada;

σ : Eleman gerilme vektörü

E: Eleman malzeme matrisini gösterir.

Eleman için elastik şekil değiştirme enerjisi,

$$U = \frac{1}{2} * \int \{\varepsilon\}^T \{\sigma\} dV \quad (3.8)$$

şeklinde yazılır. Burada;

U: Eleman şekil değiştirme enerjisi (Potansiyel enerjisi)

V: Eleman hacmini gösterir.

(3.6), (3.7) ve (3.8) denklemlerinden,

$$U = \frac{1}{2} * \int [\Delta]^T [B]^T [E][B][\Delta] dV \quad (3.9)$$

elde edilir.

(3.9) denklemlerinin düzenlenmesiyle,

$$U = \left(\int [B]^T [E] [B] dV \right) \left(\frac{1}{2} [\Delta]^T [\Delta] \right) \quad (3.10)$$

elde edilir.

(3.10) denkleminin $\{ \Delta \}$ yerdeğiştirmesine göre türevi,

$$\partial U / \partial \Delta = \left(\int [B]^T [E] [B] dV \right) \{ \Delta \} \quad (3.11)$$

elde edilir.

Castigliano teoremine göre, $\partial U / \partial \Delta$ ifadesi, eleman düğüm noktalarındaki uç kuvvetlerinin (p_x, p_y kuvvetleri ve m momenti) karşılığdır.

Kuvvet vektörü,

$$\{ P \} = \partial U / \partial \Delta \quad (3.12)$$

ve rijitlik matrisi,

$$[K] = \int [B]^T [E] [B] dV \quad (3.13)$$

olmak üzere (3.11) denklemini,

$$\{ P \} = [K] \{ \Delta \} \quad (3.14)$$

şeklinde yazılır.

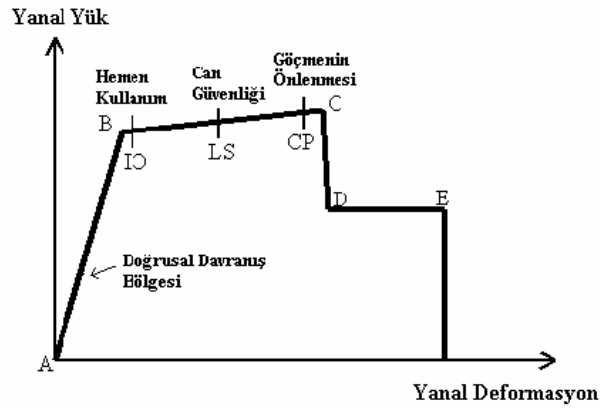
Her bir eleman için elde edilen \underline{K} rijitlik matrisleri ve \underline{P} uç kuvvetleri, tüm sistemin statik davranışını ifade eden (3.3) denklemindeki rijitlik matrisine ve \underline{P} dış kuvvet vektörüne yerleştirilerek düğüm noktalarında oluşan yerdeğiştirme bileşenleri elde edilir (Sivri, 2003).

3.2.4. Yapıların Performansa Dayalı Sismik Tasarımı

Deprem etkisi altında yapıların çoğunun elastik ötesi davranış sergilemesi sonucunda elastik sınır dayanımı aşıldığında, gevrek yapılar depreme karşı koyamayarak ağır hasar görür ve yıkılırken, sünek yapılar şekil değiştirebilme ölçüsünde ayakta kalırlar ve gevrek yapılara göre daha az hasar görürler. Sünek olamayan veya yatay yük dayanımı yüksek olan rijit yapılarda büyük şekil değiştirme beklemek gerçekçi değildir. Bu tür yapıların deprem dayanımı kuvvet esasına göre belirlenirken sünek yapıların deprem dayanımı ise şekil değiştirme esasına göre belirlenmelidir. Kuvvet veya şekil değiştirme esaslı yapı değerlendirmesi farklı yöntemler kullanmayı gerektirmektedir. Şekil değiştirme esaslı yapı dayanımı yöntemleri genel olarak yerdeğiştirmeye dayalı sismik değerlendirme ve dizayn yöntemleri olarak adlandırılmaktadırlar (Durmuş, 2003).

Yapıların performansa dayalı sismik tasarımında dört farklı prosedür bulunmaktadır. Bunlar, doğrusal statik, doğrusal dinamik, doğrusal olmayan statik ve doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleridir. Yapıların depreme göre tasarımında yapıların maksimum yerdeğiştirme davranışını tahmin etmek için, yukarıdaki yöntemlerden doğrusal olmayan yöntemlerin kullanılması son zamanlarda yapı mühendisliği uygulamalarında çok daha fazla yaygın hale gelmiştir. Yapıların deprem dayanım ve güvenliğini belirlemek için kullanılan yerdeğiştirmeye dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemleri FEMA 273 (Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings-1997) ATC-40 (Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings-1996) ve ATC-32 (Improved Seismic Design Criteria for California Bridge) gibi kaynaklarda geniş bir şekilde anlatılmaktadır. Bu yöntemler, Kapasite Spektrum Yöntemi, Yerdeğiştirme Katsayı Yöntemi ve Sekant Yöntemleridir (Durmuş, 2003).

Kuvvete dayalı yöntemlerde yapı davranış olarak elastik bölgede kalır. Bundan dolayı çoğu zaman kuvvete dayalı yöntemlere göre tasarlanan yapıların ekonomik boyutlandırıldıkları söylenemez. Özellikle şiddetli depremlerde yapı elastik ötesi bir davranış sergilemektedir ve elastik analiz ile yapının elastik ötesi davranışını izlemek de mümkün değildir. Bu, ileri elastik ötesi davranışı hesaba katmak için klasik kuvvete dayalı prosedürlerde değişik düzeltmeler yapmak gerektir. Sismik kuvvet indirgeme faktörü “R” dolaylı olarak elastik ötesi davranışı hesaba katar. Elastik kuvvetleri, elastik ötesi kuvvete indirgemek için sismik kuvvet indirgeme faktörü “R” kullanılmıştır. Dünyadaki pek çok deprem standardında olduğu gibi 1998 Türk Deprem Yönetmeliğin’de de bu kavramdan faydalanılmıştır. Performansa dayalı sismik tasarımda FEMA 356 ve FEMA 273’te temel performans seviyeleri aşağıdaki gibi açıklanmaktadır (Durmuş, 2003).



Şekil 3.3. Tip performans seviyeleri ve yük şekil değiştirme eğrisi (Durmuş, 2003).

3.2.4.1. Hemen Kullanım Durumu

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10’u belirgin hasar bölgesine geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü minimum hasar bölgesindedir. Bu durumda bina Hemen Kullanım Durumu’nda kabul edilir. Güçlendirilmesine gerek yoktur (DBYBHY, 2006). (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik)

3.2.4.2. Can Güvenliği Durumu

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si ve kolonların bir kısmı ileri hasar bölgesine geçebilir. Ancak ileri hasar bölgesindeki kolonların, kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi veya belirgin hasar bölgesindedir. Bu durumda bina can güvenliği durumunda kabul edilir. Can güvenliği durumunun kabul edilebilmesi için 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. En üst katta ileri hasar bölgesindeki düşey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Binanın güçlendirilmesine, güvenlik sınırını aşan elemanların sayısına ve yapı içindeki dağılımına göre karar verilir (DBYBHY, 2006).

3.2.4.3. Göçmenin Önlenmesi Durumu

Bu performans seviyesinde ise deprem sonrası, yapı kısmen veya tamamen göçme sınırındadır. Yapıda önemli hasarlar ve kalıcı şekil değiştirmeler oluşmuştur. Yapının onarımı teknik olarak pratik değildir ve tekrar kullanımı güvenli değildir, artçı şoklar göçmeye neden olabilir. Deprem sonrası hemen kullanılmayacak yapılar için seçilen performans seviyesidir (Durmuş, 2003).

3.2.4.4. Göçme Durumu

Bina Göçmenin Önlenmesi Durumu'nu sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binada güçlendirme uygulanmalıdır, ancak güçlendirilmesi ekonomik olarak verimli olmayabilir. Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır (DBYBHY, 2006).

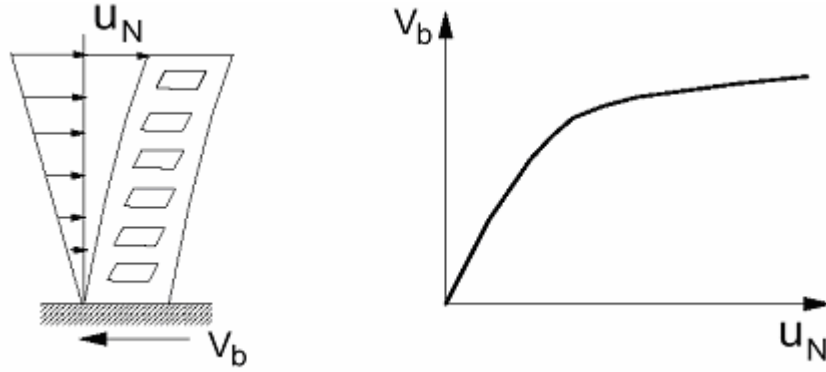
3.2.5. Artımsal Statik İtme Analizi

Artımsal statik itme analizi belli bir yük dağılımı altında bir yapıyı, yapısal sistemin stabilitesi bozulana kadar yanal yatay yük uygulamak olarak tanımlanır. Önceden tanımlanmış bu yük dağılımı binanın yatay deprem kuvvetleri altındaki davranışını yansıtacak şekilde olmalıdır. Yöntemin tanımladığı ATC-40'da, farklı itme şekli önerileri sunulmuştur. Önerilen bu itme şekilleri şunlardır:

- a. Yatay yükün tamamı en üst kat seviyesinden etkililir.
- b. Her kata deprem yönetmeliklerinde yer alan eşdeğer statik yük yönteminden çatıya ilave yük koyulmadan hesaplanan eşdeğer deprem yükleri, yatay yük olarak kat seviyelerine etkililir.
- c. İlk mod şekli ile kat kütlelerinin çarpımının oranları olan yatay yükler kat seviyelerine uygulanır. Böyle bir itme şekli, yapının birinci moduna ait tepkisini elde etmemize yarar. Birinci mod şeklinin baskın olduğu binalarda (genellikle doğal titreşim periyodu 1 saniyeden küçük binalar) kullanılabilir.
- d. Yapıda ilk eleman aksaması görülene dek bir önceki seçenekle aynıdır. Ancak daha sonra, yük dağılımı değişen şekil değiştirme ve davranışa uyacak şekilde düzenlenmelidir. Bu değişken itme şekli, daha çok yumuşak katlı yapılarda kullanılması önerilir.
- e. Önceki iki seçenekte verilen itme şekilleri uygulanır. Ancak yüksek frekanslı modların katkılarını da dikkate almak gerekir. Yüksek yapılarda veya düzensizliklerin bulunduğu yapılarda kullanılması tavsiye edilir (Yılmaz, 2004).

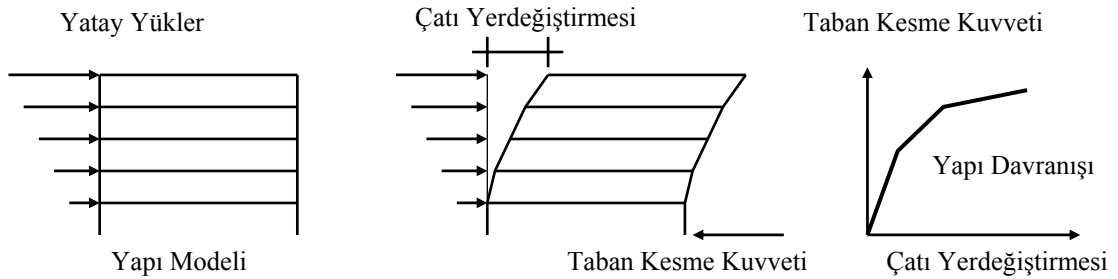
İtme şekli belirlendikten sonra, bina çatı yerdeğiştirme veya istenilen bir düğümün yerdeğiştirme kontrol edilerek, yavaş yavaş itilir. Bu adımlar boyunca yerdeğiştirme ve taban kesme kuvveti kaydedilir. Binanın itildiği her bir adımda önceden belirlenmiş mafsalsal bölgelerinin taşıma kapasitelerine (akma noktalarına) ulaşmış ve ulaşmadığı kontrol edilir. Akma noktasına ulaşmış bölgelerde (plastik mafsalsal) yapısal eleman ikiye bölünerek mafsalsal tanımlanmış bölge düğüm haline getirilir ve bu düğüme plastik mafsalsal elemanını dönme rijitliğini yansıtan bir dönme redörü konularak analize devam edilir. Analiz yapı stabilitesini kaybedinceye kadar devam

eder. Böylece yapının taban kesmesi – çatı yerdeğiştirmesi eğrisi elde edilmiş olur (Yılmaz, 2004).



Şekil 3.4. İttirme şekli ve çatı yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti (Yılmaz, 2004)

Yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi (U_N) ve taban kesme kuvveti V_B arasındaki ilişki grafik olarak çizilir.



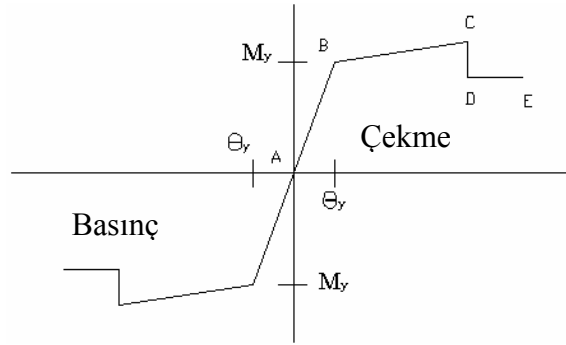
Şekil 3.5. Doğrusal olmayan analizde kullanılan statik yaklaşım (Sivri, 2003)

Analizde yük veya yerdeğiştirmenin her artımı için elemanlarda maksimum iç kuvvetlerin oluşacağı kontrol noktalarında eleman plastik davranış özellikleri verilen noktalarda iç kuvvetler kontrol edilir. Bu kontrol noktalarında iç kuvvetler doğrusal davranış sınırının üzerine çıktığında elemanların rijitlikleri tekrar hesaplanarak analize devam edilir. Analiz, elemanların ve dolayısıyla sistemin göçmesine kadar

devam eder. Göçme yüküne kadar yapının doğrusal ve doğrusal olmayan davranışa ait yanal kuvvet değerleri ile yerdeğiştirmeler belirlenir (Sivri, 2003).

3.2.6. Yapı Elemanlarının Plastik Davranış Özelliklerinin Tanımlanması

Betonarme elemanların moment - dönme ilişkisi, kirişler için M_y ve kolonlar için P-M-M olarak SAP2000 bilgisayar programı ile aşağıdaki gibi belirlenir (şekil 3.6).



şekil 3.6. Betonarme elemanın moment - dönme ilişkisi

Burada;

- B ve C noktaları arasındaki eğim çeliğin toplam gerilmesinin %10'udur.
- C, D ve E noktaları ATC-40 (Applied Technology Council), verildiği şekliyle kullanılmaktadır.
- M_y momenti, kiriş elemanlar için donatı koşuluna ACI 318-95 (American Concrete Institute 318-95)'e göre belirlenir. Donatı verilmemişse minimum donatı miktarı ile kiriş elemanın moment taşıma kapasitesi belirlenir.
- P-M-M eğrisi, kolon elemanlar için ACI 318-95 (American Concrete Institute 318-95)'de tanımlanan karşılıklı etki diyagramıyla hesaplanmaktadır. M_y ve M_x momentleri ile P aksenal kuvvet değerleri etki diyagramından hesaplanan maksimum taşıma kapasiteleridir. Donatı tanımlanmadığında ise bu değerler minimum donatı ile hesaplanır.

Analizde, her elemanın kesit tesirlerinin maksimum olacağı noktalar kontrol noktaları olarak belirlenir. Artımsal statik itme analizi için tanımlanan eleman plastik davranış özellikleri bu kontrol noktalarına atanır. Analizde bu noktalardaki iç kuvvetler ve plastik davranış özellikleri kontrol edilerek elemanların ve sistemin doğrusal olmayan davranışı belirlenir.

Bu çalışmada kontrol noktaları yanal yükleme için elemanlarda maksimum kesit tesirlerinin oluşacağı eleman uç noktaları olarak seçilmiştir (Sivri, 2003).

3.2.7. Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz

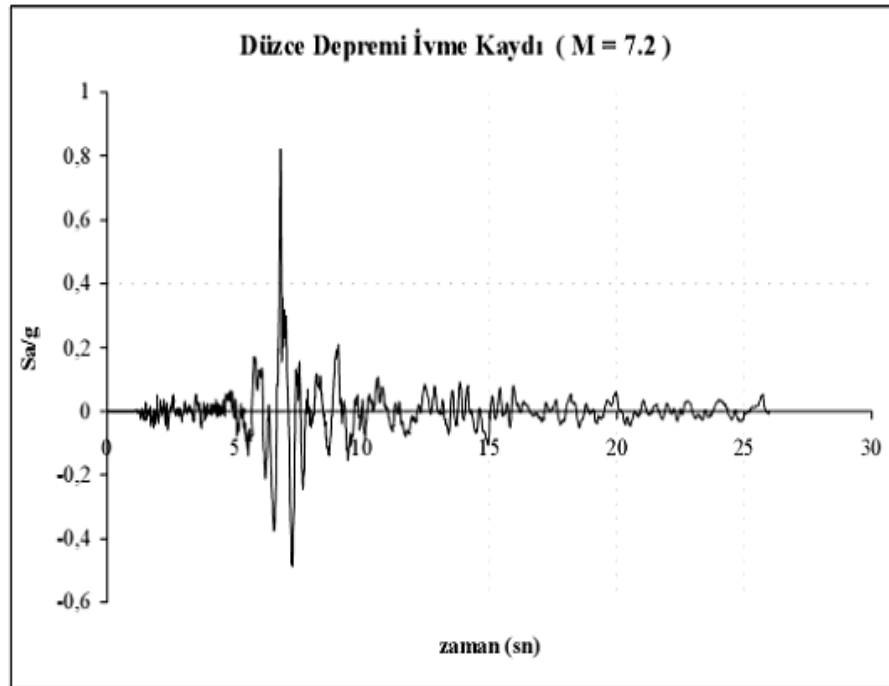
Zaman tanım alanında analiz doğrusal elastik kabullerle yapılabileceği gibi doğrusal ötesi davranışı yansıtacak şekilde de yapılabilir. Bu analizde, ilk yerdeğiştirme, hız ve ivme değerleri bütün düğümler için bilindiğinde, ivme kaydı küçük zaman dilimlerinde nümerik olarak integre edilerek her bir zaman dilimi sonundaki yerdeğiştirme, hız ve ivme değerleri bulunur. Yapısal elemanlardan daha önceden belirlenmiş noktasal mafsallardan herhangi birisi akma sınırına ve göçme sınırına ulaştığında yapıya ait rijitlik matrisi yenilenerek analize devam edilir (Yılmaz, 2004).

Zaman tanım alanı analizi, verilen bir deprem ivme kaydı için yapının elastik sismik davranışı zamana bağlı olarak belirleyen analiz yöntemidir. İvme kaydı için davranış spektrumu, yapı taban kesme kuvveti ve maksimum yerdeğiştirmeler analizle hesaplanabilmektedir.

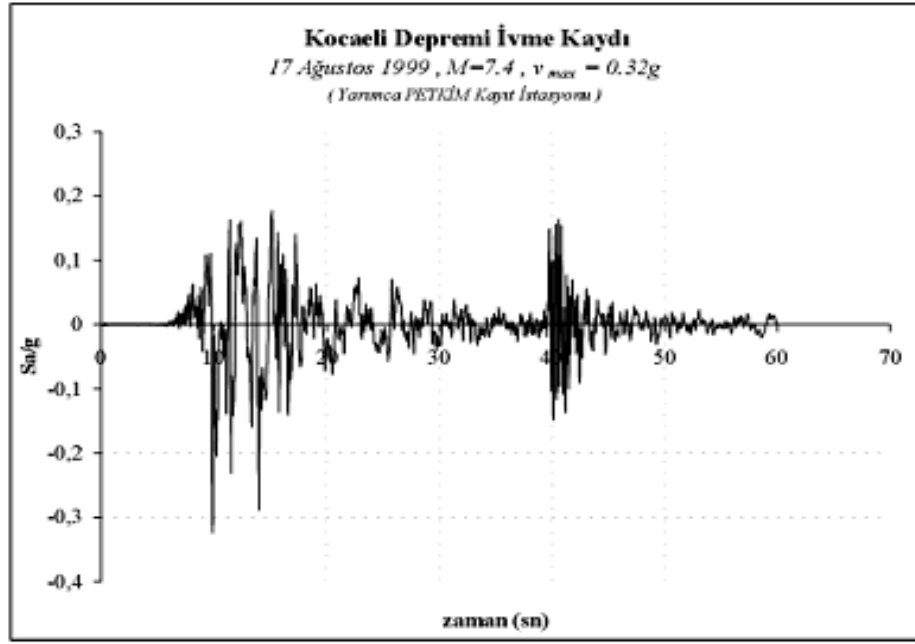
Bu çalışmada kullanılan bazı deprem kayıtlarından örnek olarak Erzincan, Düzce ve Kocaeli deprem ivme kayıtları Şekil 3.7, 3.8 ve 3.9'da verilmiştir. Deprem ivme kayıtları için yapının taban kesme kuvveti, çatı yerdeğiştirmesi ve davranış spektrumu hesabı için Sap2000 bilgisayar programı kullanılmış ve sönüm oranı (ζ) 0,05 olarak alınmıştır.



Şekil 3.7. Erzincan depremi ivme kaydı (Sivri, 2003)



Şekil 3.8. Düzce depremi ivme kaydı (Sivri, 2003)

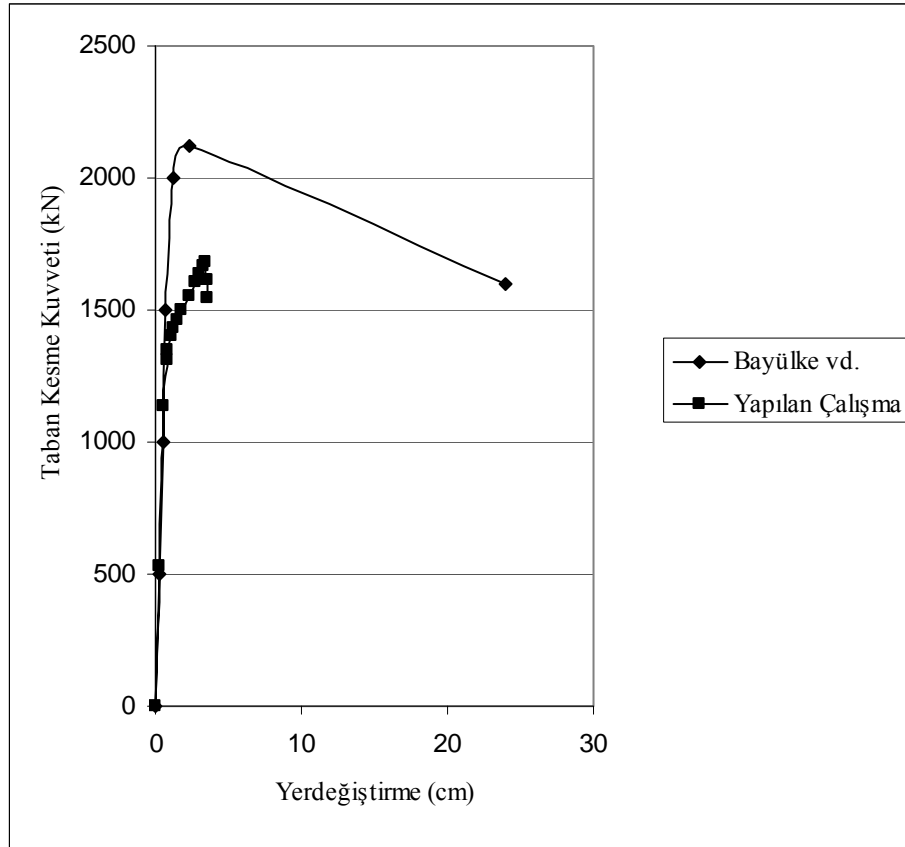


Şekil 3.9. Kocaeli depremi ivme kaydı (Sivri, 2003)

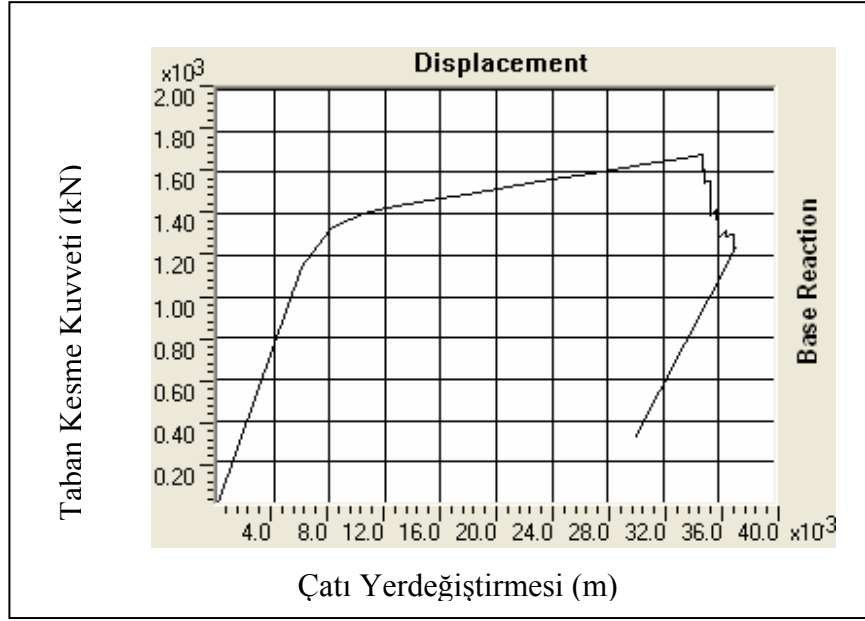
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Artımsal Statik İtme Analizi Uygulanan Çerçeve

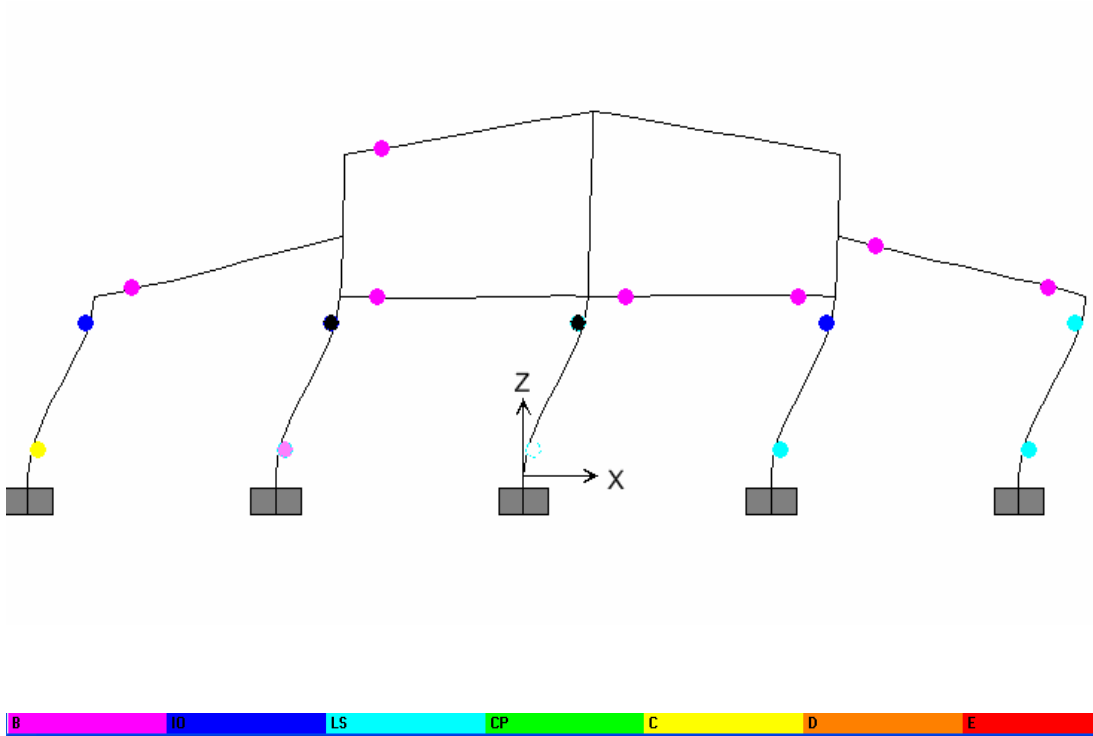
Modellemiş olduğumuz çerçevenin statik itme analizinde çerçevenin taşıyabileceği maksimum yanal yük, Bayülke vd. (2003), tarafından yapılan çalışma ile Şekil 4.1’de karşılaştırılmıştır. Bu şekilden de görülebileceği gibi taban kesme kuvvetlerinin yaklaşık aynı olduğu söylenebilir. Farklılığın önemli bir nedeni ise dikkate alınan yük değerleri, plastik mafsalların tanımlanmasında yapılan kabuller ve kiriş donatılarının ne şekilde dikkate alındığıdır. Analizde bulunan mafsallaşma bölgeleri ve elemanlarda meydana gelen göçme sırası Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Modellenen çerçevenin taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme ilişkisi

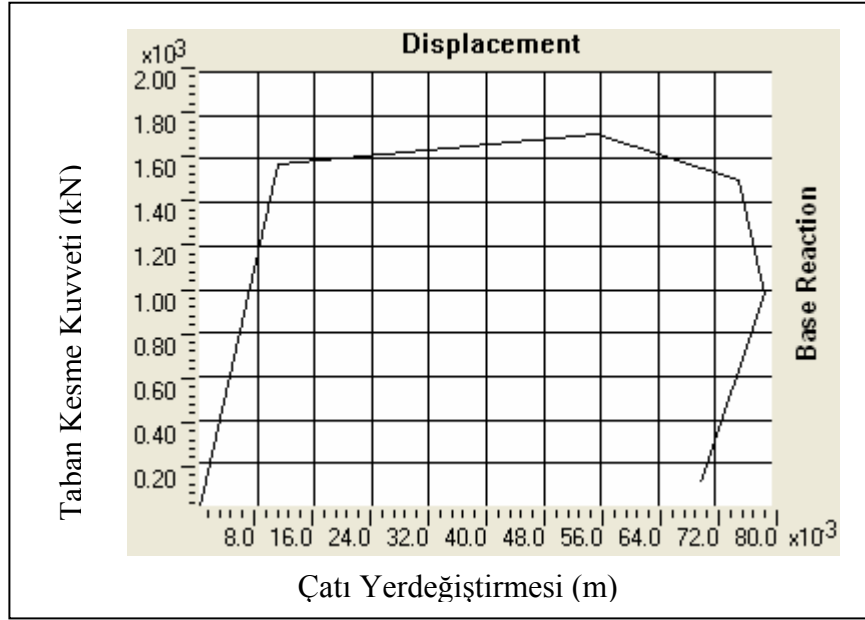


Şekil 4.2. Çerçevenin artımsal statik itme analizi grafiği

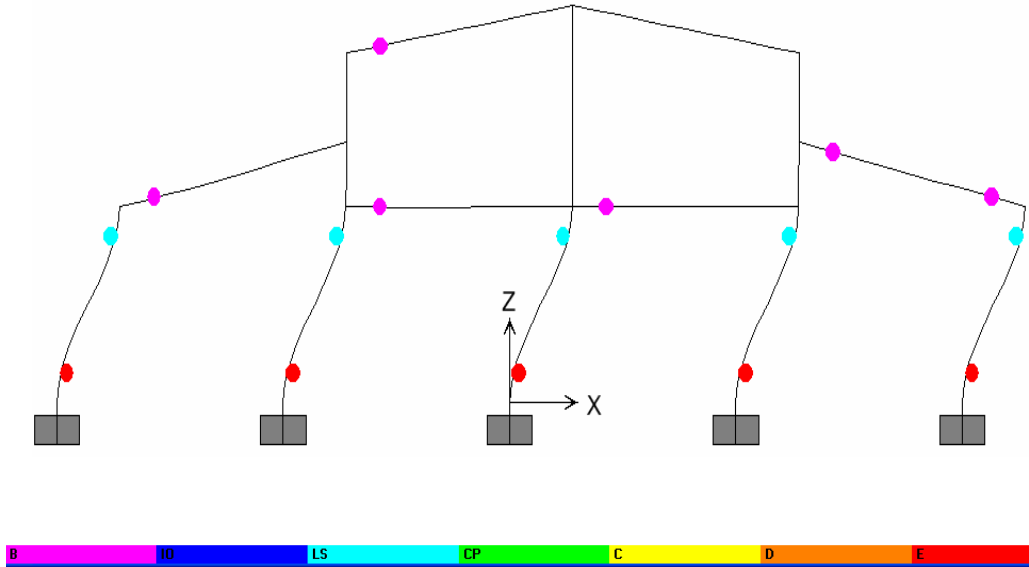


Şekil 4.3. Çerçevenin mafsallaşma mekanizması

durumda meydana gelen kolon hasarları tüm yapının ani göçmesine sebep olmaktadır.

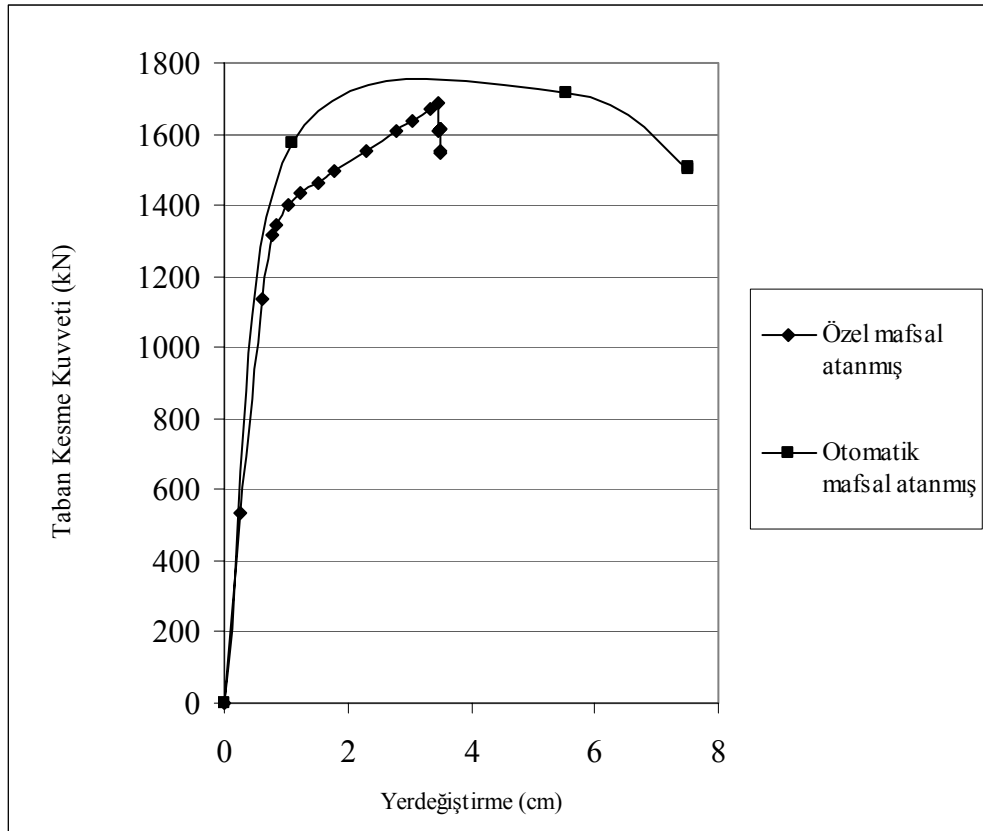


Şekil 4.5. Çerçevenin otomatik mafsallı atanmış artımsal statik itme analizi grafiği



Şekil 4.6. Çerçevenin mafsallaşma mekanizması

Modellenen yapıda daha önce tanımlanmış olan özel mafsallar kaldırılarak ATC ve FEMA da belirtilen esaslar çerçevesinde plastik mafsallar tanımlanmış ve bu durumdaki taban kesme kuvveti - yerdeğiştirme değerlerinin değişimlerine bakılmıştır (Şekil 4.7). Bu model ile normal kuvvet dikkate alınarak atanmış model arasında taban kesme kuvveti - yerdeğiştirme değerlerinde aşırı bir değişikliğe rastlanmamıştır. Otomatik mafsal atanmış modelimizde de güç tükenme durumu yine dış aks kolonlarında oluşmaktadır (Şekil 4.6).



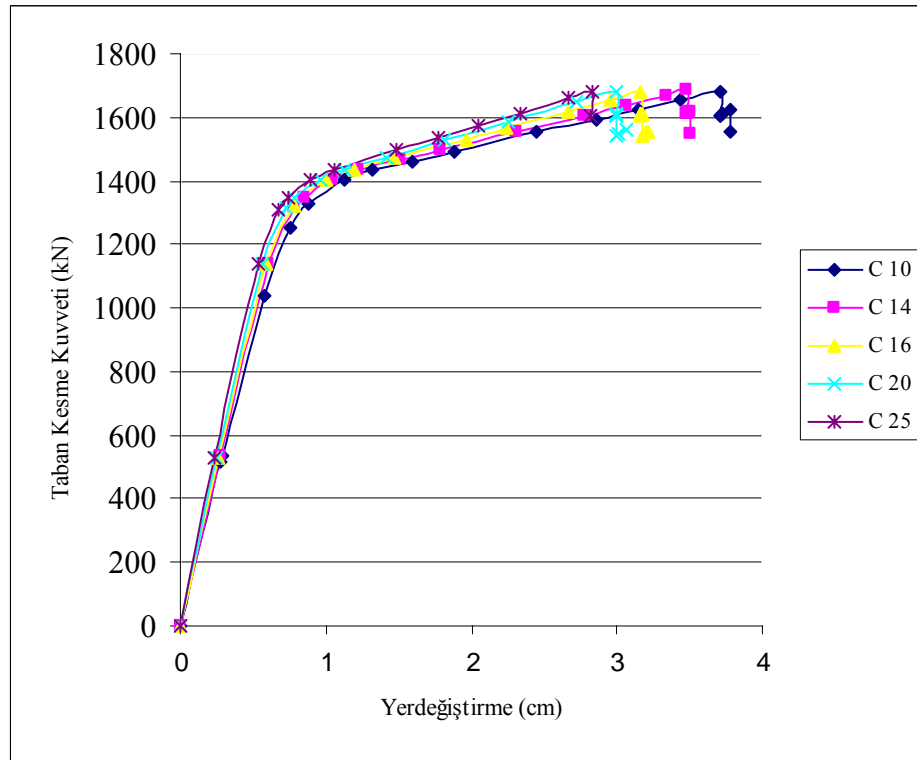
Şekil 4.7. Çerçevenin değişik mafsallı taban kesme kuvveti - yerdeğiştirme eğrisi

4.2. Farklı Beton Dayanımlarında Çerçeve Davranışı

Betonarme yapılarda beton basınç dayanımının yüksek olması ve donatıyla aderansın iyi olması yapının deprem durumunda davranışını olumlu yönde etkiler. Beton basınç dayanımı ne kadar yüksek olursa yapı depreme karşı daha dayanıklı olur. Yapılan modellemede farklı beton dayanımları alınarak artımsal statik itme analizleri yapılmış ve yapı davranışı incelenmiştir. Bu durumda şu sonuç ortaya çıkmıştır;

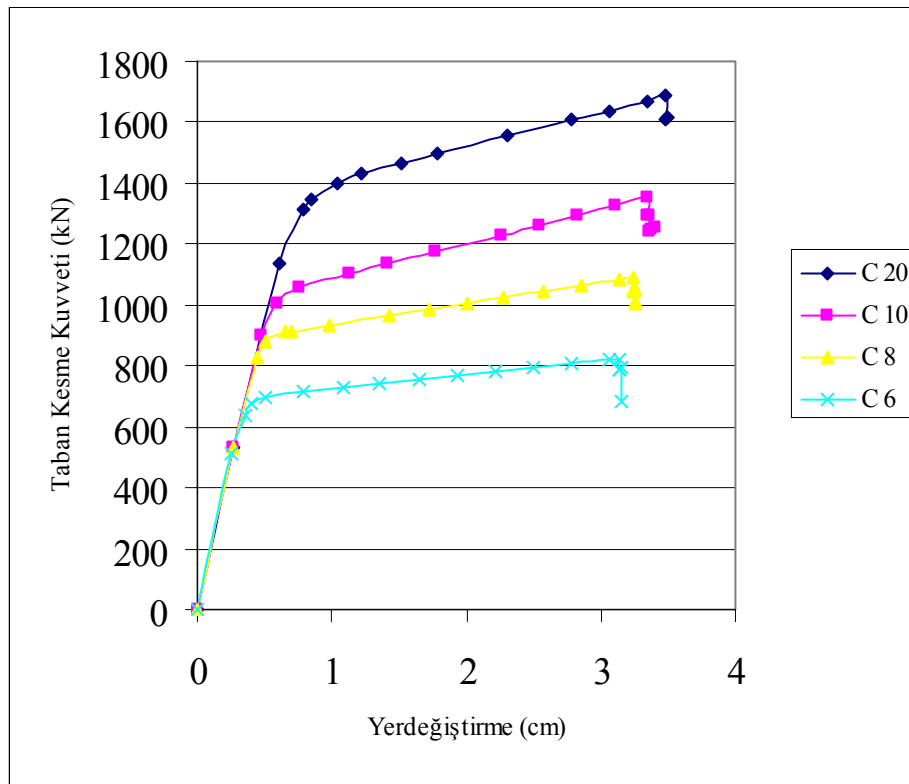
beton dayanımının düşük veya yüksek olması yapının taşıyacağı maksimum taban kesme kuvvetini fazla değiştirmemiştir. Bunun nedeni beton dayanımının moment taşıma kapasitesinde donatı kadar etkili olmamasından kaynaklanmaktadır.

Burada depreme dayanıklı yapı tasarımı açısından beton dayanımının önemi olmadığı gibi bir anlam çıkarılmamalıdır. Yapılan birçok araştırmada depremde hasar gören veya yıkılan binaların en önemli sebeplerinden birisi beton dayanımıdır. Ancak betonarme hesapları ve artımsal statik itme analizleri için verilen bağıntılar beton dayanımının belirli bir alt sınırı için geçerlidir. Birçok ülkede beton dayanımına ait bu alt sınırın sağlanıp sağlanmaması bir problem oluşturmadığı halde yurdumuzda maalesef bu alt sınırın yarısını bile sağlayamayan yapılar mevcuttur. Dolayısıyla ancak betonarme hesapları ve artımsal statik itme analizleri için verilen bağıntıları düşük dayanımlı betonarme binalar için doğru sonuçlar vereceğini kestirmek çok güçtür.



Şekil 4.8. Farklı beton dayanımlarında taban kesme kuvveti - yerdeğiştirme eğrisi

Bunun yanı sıra düşük dayanımlı betonlar için yapılan artımsal statik itme analizi sonuçlarına fazla güvenmemek gerekir. Bunun için beton dayanımının çok düşük olduğu yapılarda aderans beklenen düzeyde olmayacağından dolayı moment taşıma kapasitelerinde belirli bir azalma olacaktır. Bu durumu gösteren moment taşıma kapasiteleri mevcut donatı ve beton dayanımı göz önüne alınarak bulunan moment taşıma kapasitesinin belirli oranda azaltılmasıyla ortaya çıkacağı kabul edilmiştir. Moment taşıma kapasiteleri belirli oranlarda azaltılarak elde edilen artımsal statik itme analizi sonuçları Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9. Farklı beton dayanımlarında taban kesme kuvveti - yerdeğiştirme eğrisi

Bu şekilden de görülebileceği gibi, beton dayanımının azalması ve buna bağlı olarak muhtemel aderans çözümleri ve çatlaklar neticesinde kesit moment taşıma kapasitelerinde azalma olacağı kabul edilmektedir. Bu durumda yatay yük taşıma kapasitesinde azalmalara neden olmaktadır. Beton dayanımının 20 MPa olması durumunda yatay yük taşıma kapasitesi yaklaşık 1600 kN iken, 6 MPa için bu değer

yaklaşık 600 kN değerine düşmektedir. Her ne kadar düşük dayanımlı betonlar için verilen bağıntılar kullanılarak kesit moment taşıma gücü için bu tür sonuçlar bulunsa bile, beton dayanımının depreme dayanıklı yapılar için önemli bir etken olduğu unutulmamalıdır. Bu yüzden özellikle 10 MPa'dan düşük olan beton dayanımları için kesit moment taşıma kapasitesinde bir azaltma yapmak güvenli tarafta kalmak açısından son derece önemlidir.

4.3. Sanayi Yapısının Kesme Dayanımının Belirlenmesi

TS 500'e göre kolon kesme güvenliği için verilen bağıntılar kullanılarak sanayi yapısının kesme güvenliği, f_{ctd} beton tasarım çekme hesap dayanımı, b kolon enkesit genişliği, d faydalı yükseklik, V_{cr} betonun kesme dayanımı, V_c beton kesitin kesme kuvveti dayanımına katkısı, V_s donatının taşıdığı kesme kuvveti, V_r kesitin taşıyabileceği maksimum kesme kuvveti, n yapıda kat adedi, A_0 etriye kesit alanı, f_{ywd} etriye donatısının tasarım akma gerilmesi, f_{cd} beton tasarım basınç dayanımı, s etriye veya fret aralığı, olmak üzere;

$$V_{cr} = 0.65 * f_{ctd} * b * d$$

$$V_c = 0.8 * V_{cr}$$

$$V_s = n A_0 f_{ywd} * d / s$$

$$V_{rt} = V_c + V_s$$

$$V_r = 0.22 b * d * f_{cd}$$

şeklinde hesaplanabilir.

Ayrıca yapının toplam taban kesme kuvveti kapasitesi $V_{yapı}$ ve en fazla taşıyabileceği kesme kuvveti $V_{ryapı}$ ile gösterilerek sanayi yapısının kesme dayanımı Çizelge 4.1'de verilmiştir.

$$V_{\text{yapı}} = \sum V_{\text{rt}}$$

$$V_{\text{ryapı}} = \sum V_{\text{t}}$$

Çok düşük dayanımlı beton dayanımlarında dahi yapının kesme kapasitesi eğilme kapasitesinden büyük olmaktadır (Çizelge 4.1). Bu yüzden kritik çözüm eğilme etkisi kabul edilerek daha sonraki bölümlerde kesme kapasitesi karşılaştırılması yapılmamıştır.

Çizelge 4.1. Yapının kesme dayanımı değerleri (kN)

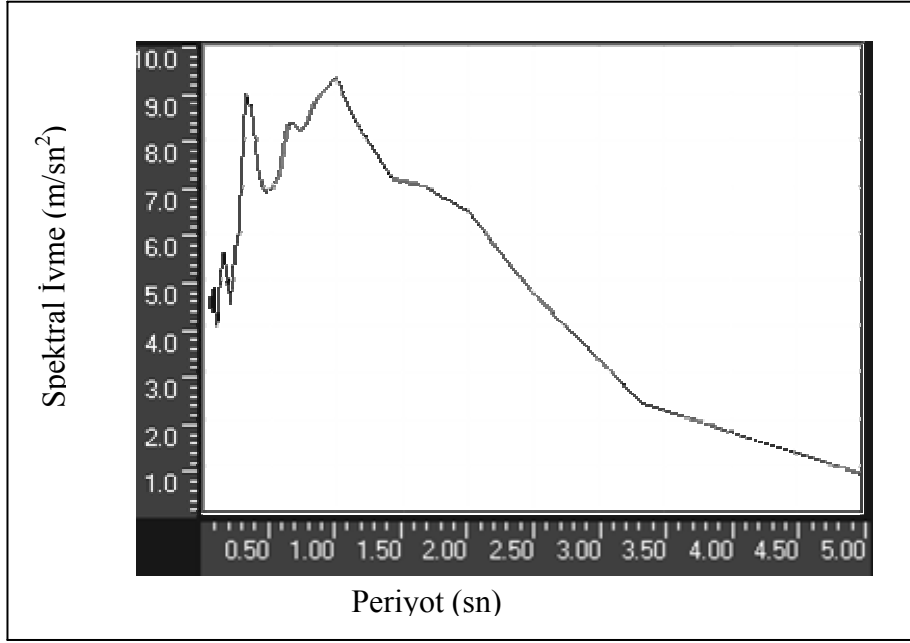
$f_{\text{ck}}(\text{kN})$	V_c	V_s	V_{rt}	V_r	$V_{\text{yapı}}$	$V_{\text{ryapı}}$
6	34.3	31.5	65.8	152.5	1975.3	4573.8
8	39.6	31.5	71.2	203.3	2134.6	6098.4
10	44.3	31.5	75.8	254.1	2274.9	7623.0
12	48.5	31.5	80.1	304.9	2401.8	9147.6
14	52.4	31.5	84.0	355.7	2518.5	10672.2
16	56.1	31.5	87.6	406.6	2627.1	12196.8
18	59.5	31.5	91.0	457.4	2729.1	13721.4
20	62.7	31.5	94.2	508.2	2825.6	15246.0

4.4. Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz

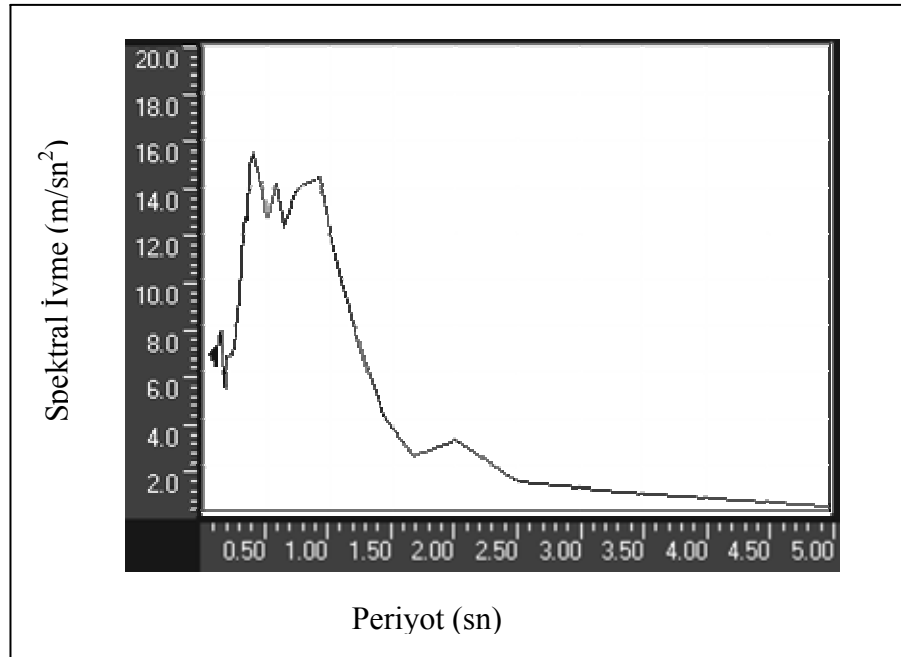
Zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi ile yapılara uygulanan deprem ivmeleri sonucunda yapının deprem durumundaki gerçek davranışı hakkında bilgi sahibi olunur.

Modellenen sanayi yapısına Türkiye’de meydana gelen deprem ivmeleri etkilerek yapı davranışı incelenmiştir. Her farklı deprem ivmesi için yapıda meydana gelen maksimum kesme kuvveti değerleri bulunmuştur. Kullanılan bazı deprem ivmelerinin davranış spektrumları aşağıdaki gibidir.

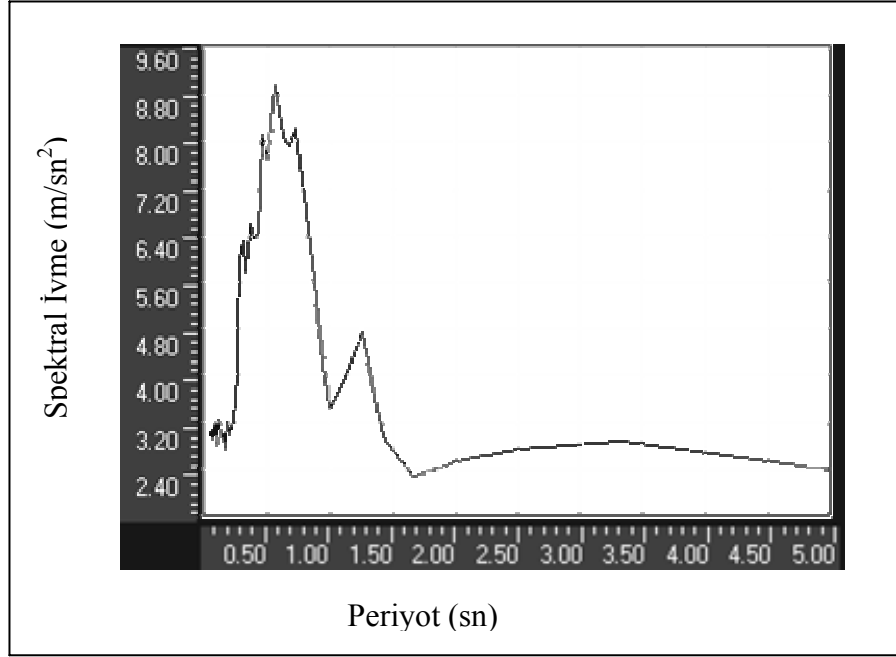
Zaman tanım alanında yapılan incelemelerde deprem ivmeleri yapıya kısa yönde etkilmiştir. Yapıda kısa yönde düzenli bir çerçeve sistemi oluşturulmadığı gibi depreme dayanıklı yapı tasarımı esaslarına çok fazla dikkat edilmediği görülmüştür.



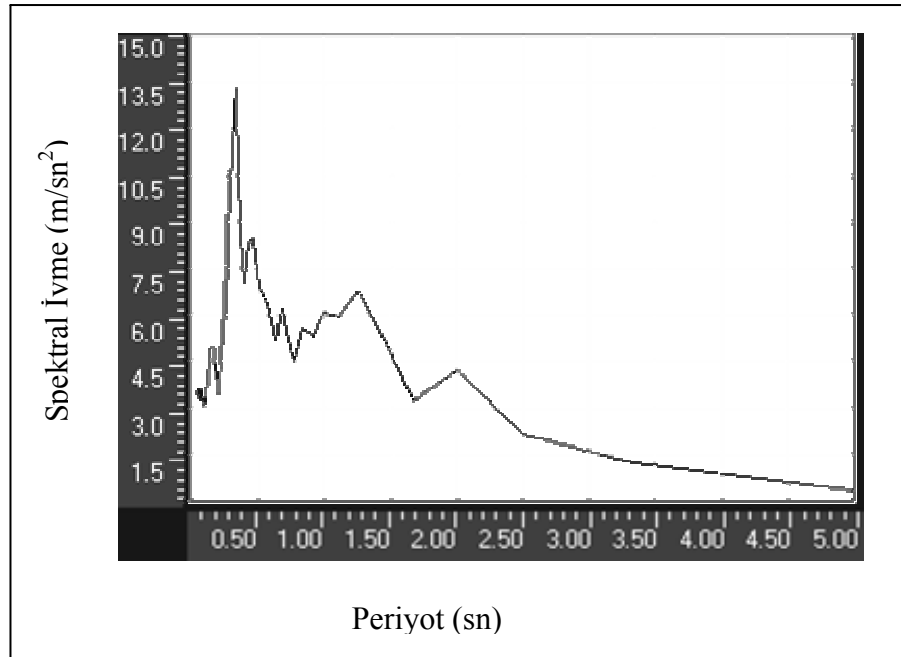
Şekil 4.10. Erzincan depremi davranış spektrumu



Şekil 4.11. Düzce depremi davranış spektrumu



Şekil 4.12. Kocaeli depremi davranış spektrumu



Şekil 4.13. Dinar depremi davranış spektrumu

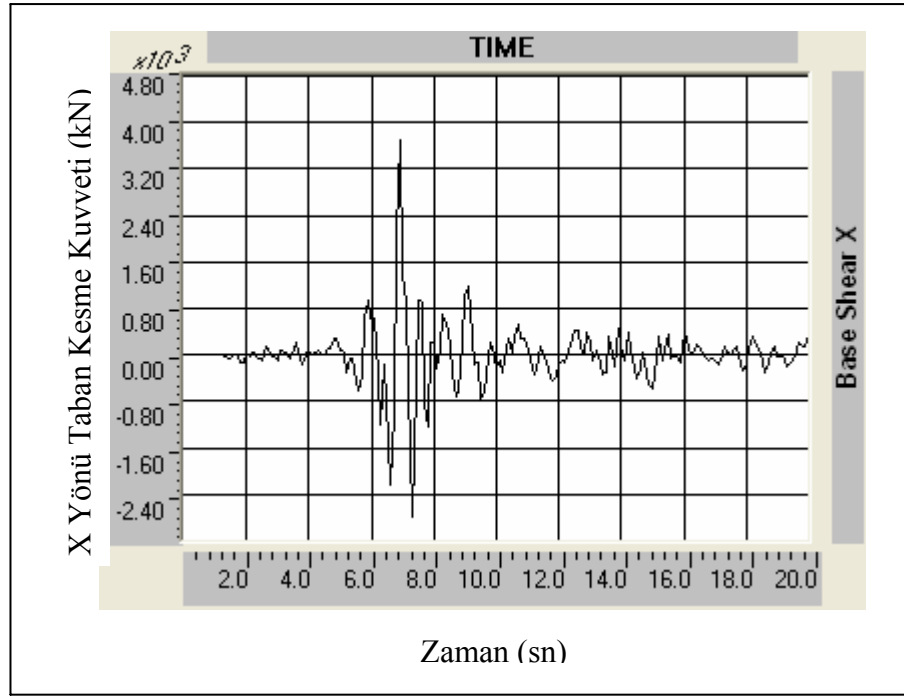


Şekil 4.14. Çay ilçesinde tümü göçen tek katlı sanayi yapıları (Çelebi ve Saatcıoğlu, 2002)

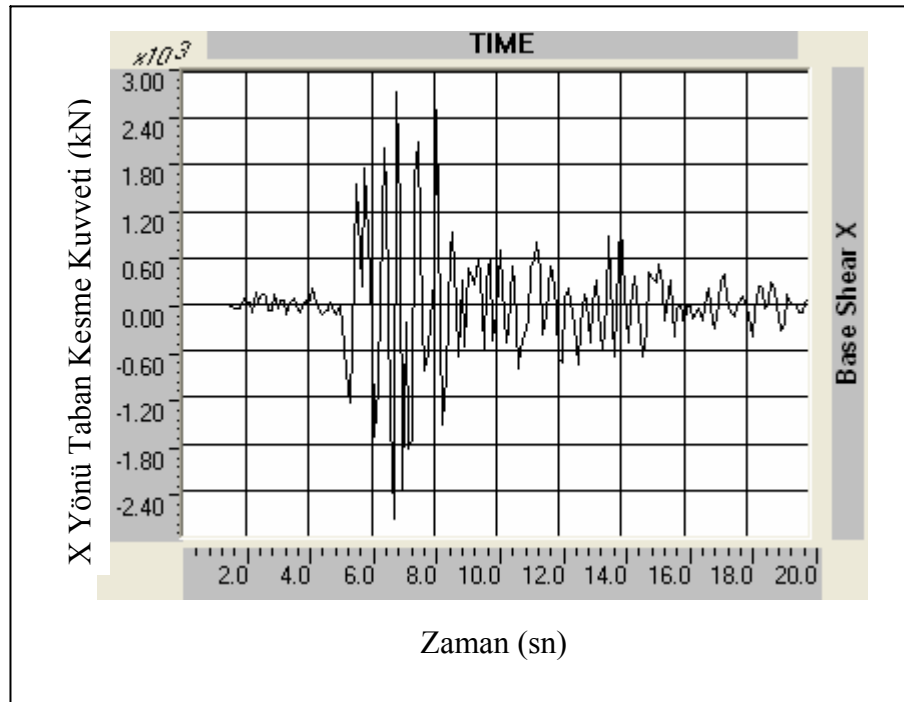
Sanayi yapılarında uygulanan pencere bantları kısa kolon oluşumuna sebep olmuştur. Bu yüzden yapıya uygulanan deprem ivmeleri neticesinde yapının kolon kiriş birleşim yerlerinde aşırı zorlamalar meydana gelmiş ve ani göçmeye sebep olacak mafsallaşmalar oluşmuştur. Afyon depreminde Çay ilçesinde bulunan modelimizdeki tip proje ile aynı sanayi yapıları Afyon Sultandağı depreminde tamamen göçmüştür (Şekil 4.14).

Bazı bloklarda tamamen göçme meydana gelmese bile özellikle kolonlarda meydana gelen hasarlar yapının kullanılamayacak duruma gelmesine neden olmuştur.

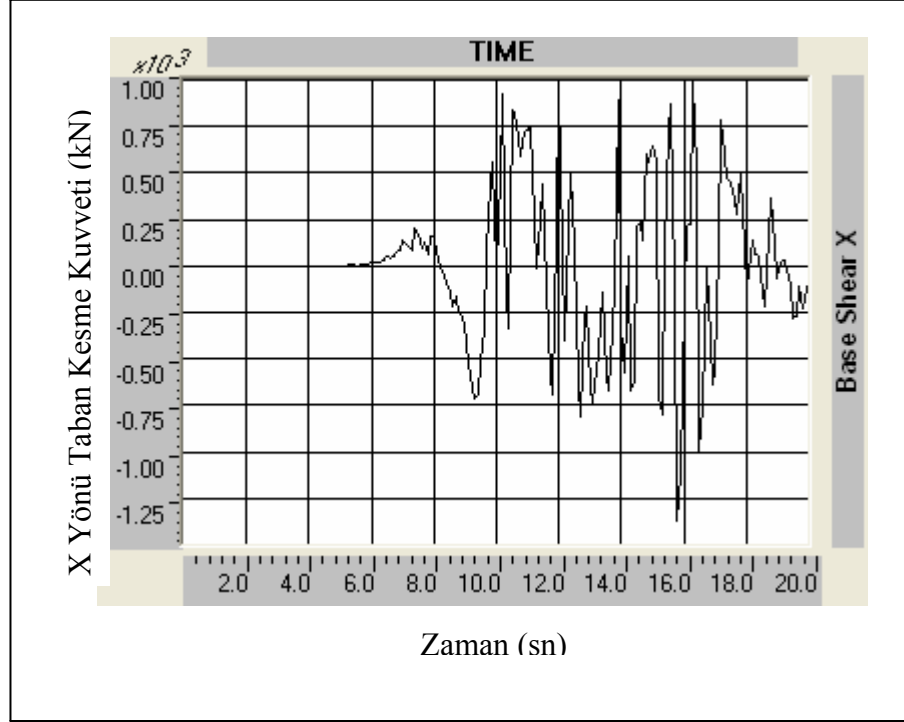
Yapılan çalışmada, yapıya uygulanan deprem ivmeleri neticesinde yapıda meydana gelen maksimum taban kesme kuvvetleri her deprem ivmesi için bulunmuştur (Şekil 4.15 - 4.26).



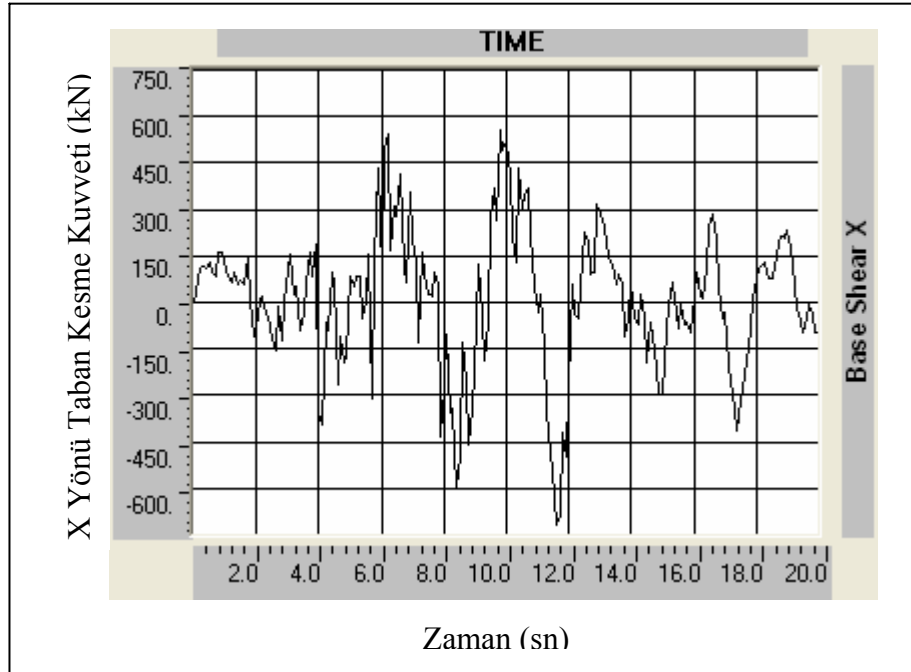
Şekil 4.15. Çerçevenin Düzce KG depremi taban kesme kuvveti



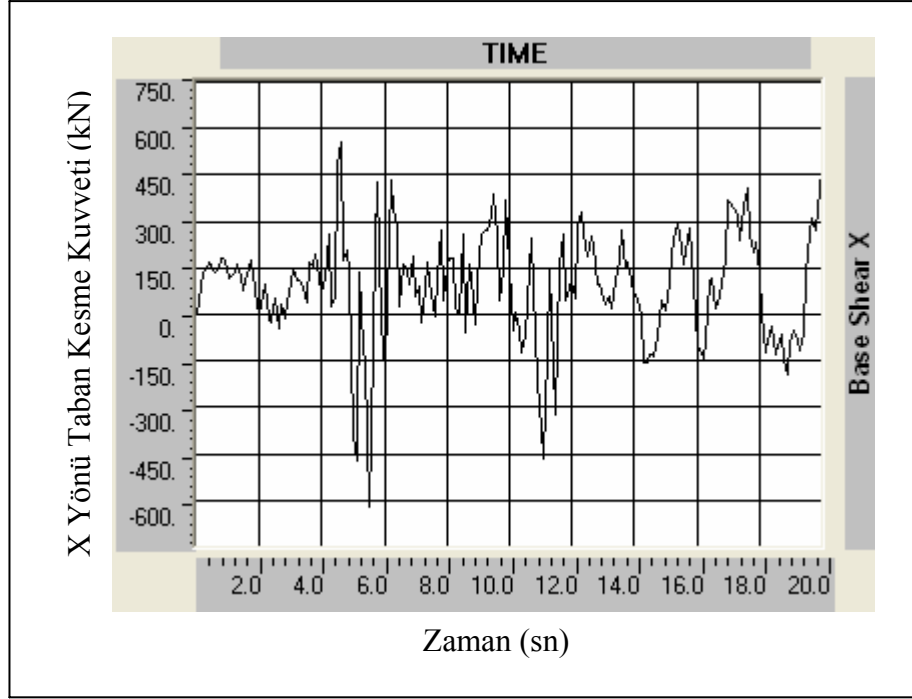
Şekil 4.16. Çerçevenin Düzce DB depremi taban kesme kuvvet



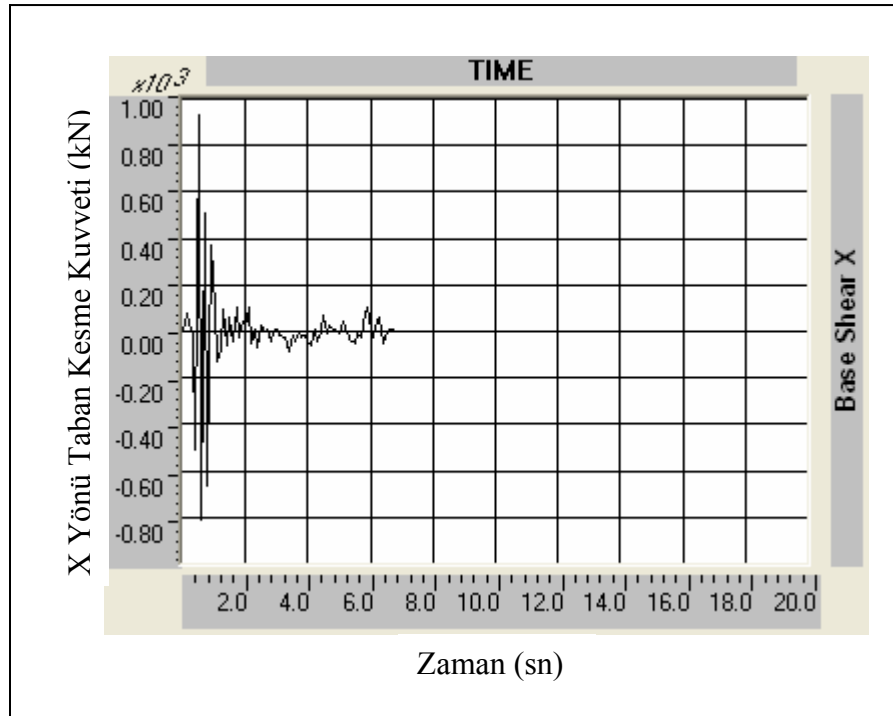
Şekil 4.17. Çerçevenin Kocaeli DB depremi taban kesme kuvveti



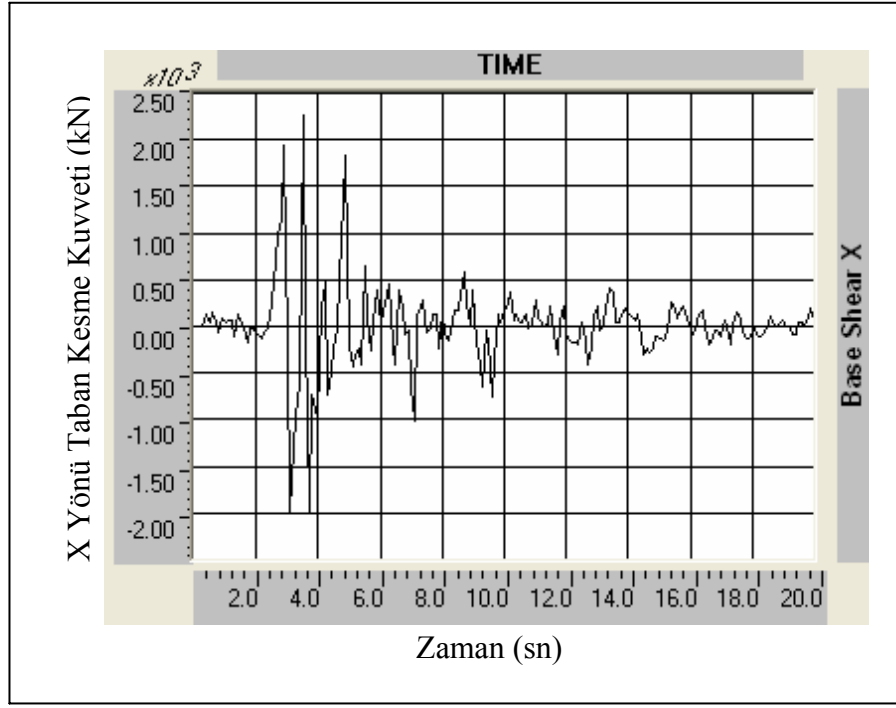
Şekil 4.18. Çerçevenin Erzurum DB depremi taban kesme kuvveti



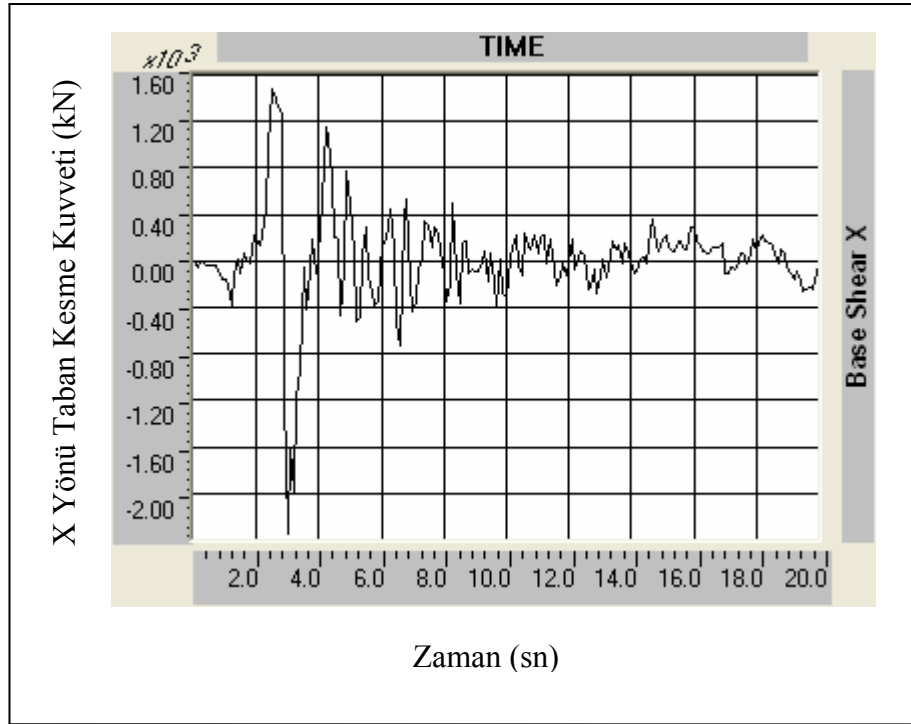
Şekil 4.19. Çerçevenin Erzurum KG depremi taban kesme kuvveti



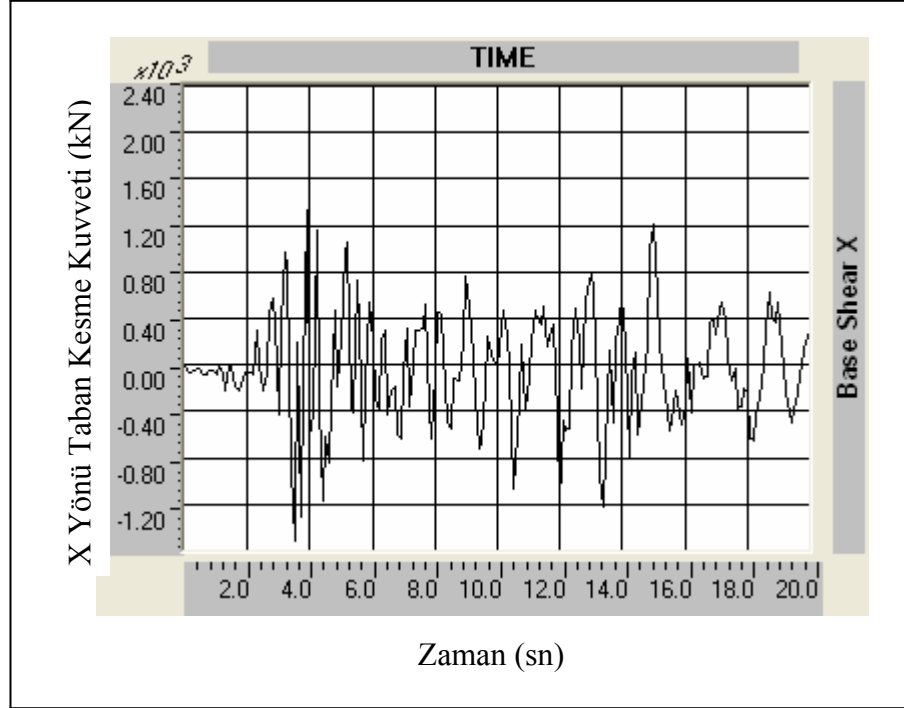
Şekil 4.20. Çerçevenin İzmir KG depremi taban kesme kuvveti



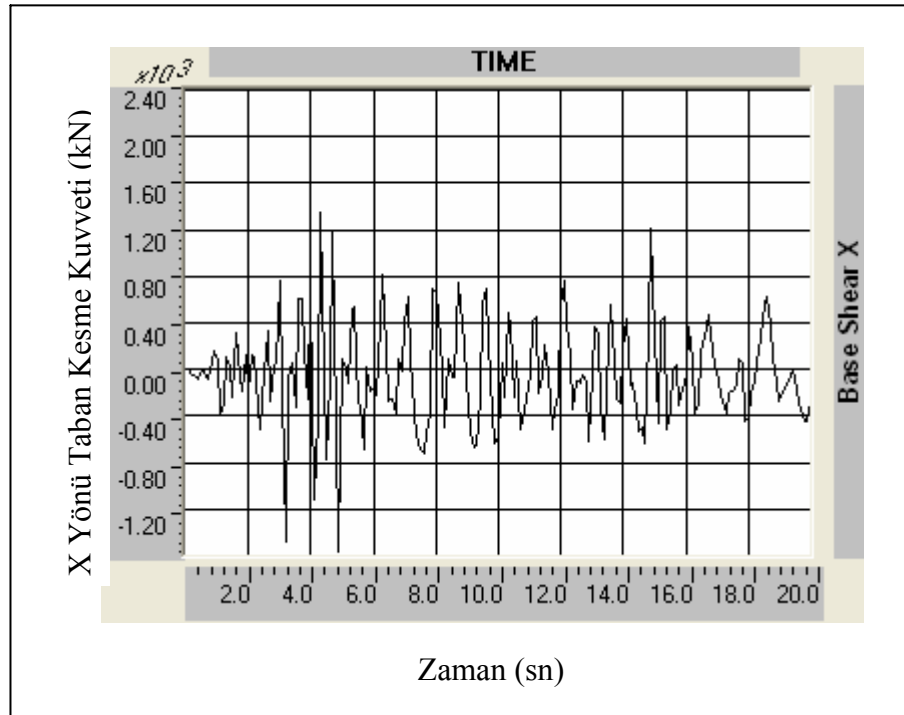
Şekil 4.21. Çerçevenin Erzincan DB depremi taban kesme kuvveti



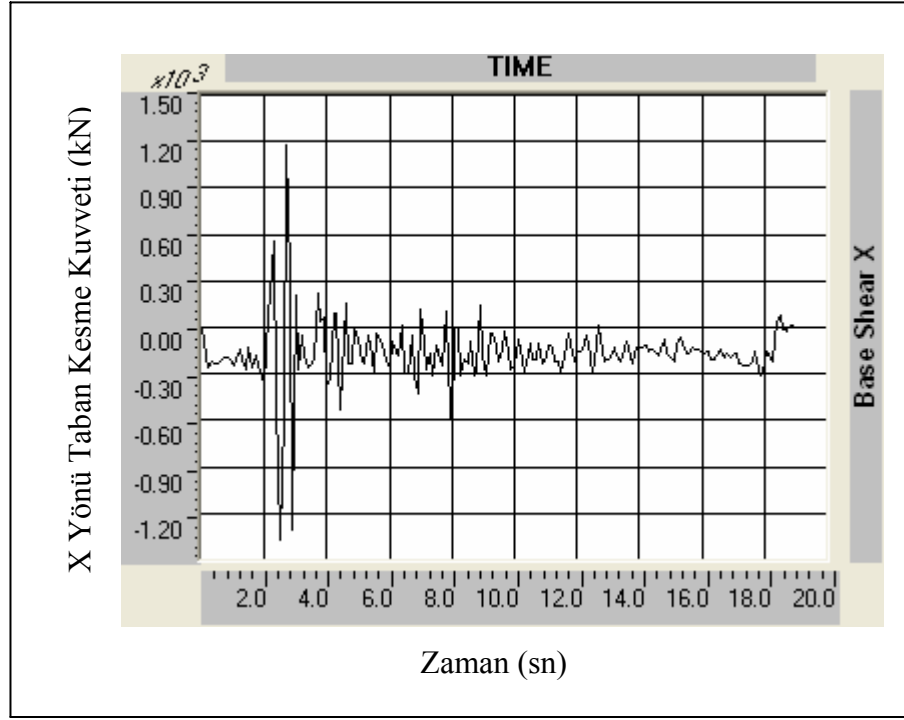
Şekil 4.22. Çerçevenin Erzincan KG depremi taban kesme kuvveti



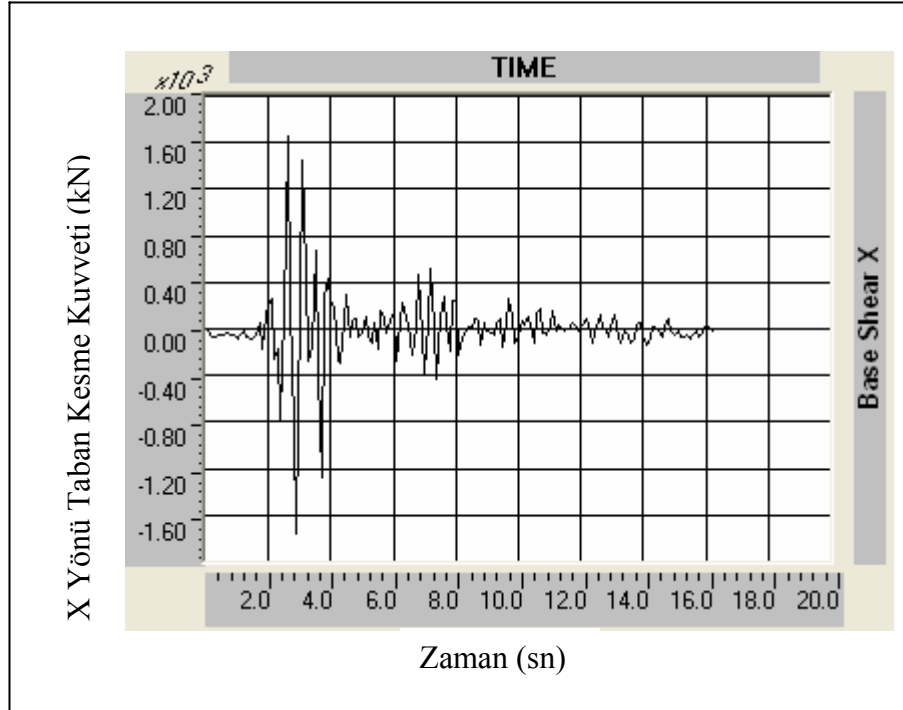
Şekil 4.23. Çerçevenin Dinar DB depremi taban kesme kuvveti



Şekil 4.24. Çerçevenin Dinar KG depremi taban kesme kuvveti



Şekil 4.25. Çerçevenin Denizli DB depremi taban kesme kuvveti



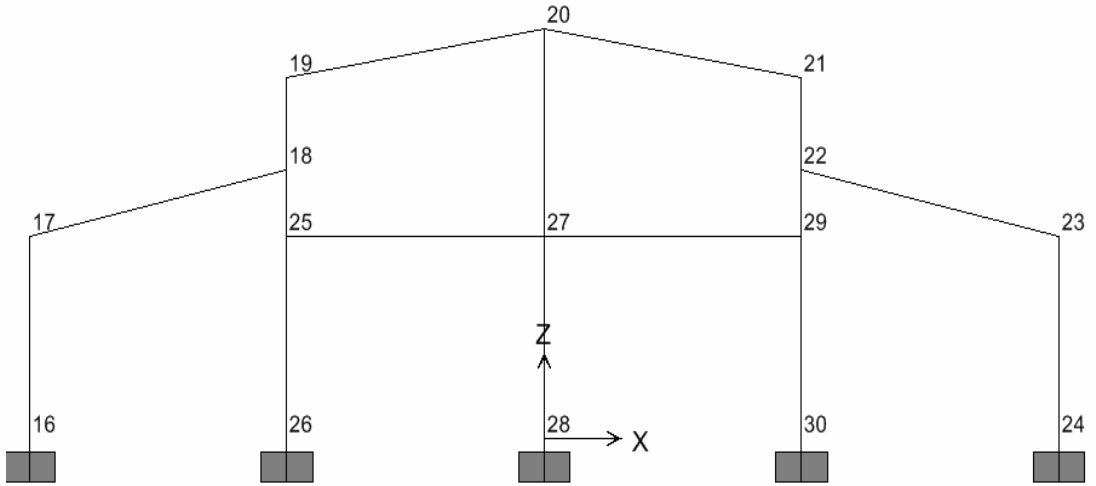
Şekil 4.26. Çerçevenin Denizli KG depremi taban kesme kuvveti

Çizelge 4.2. Deprem ivmeleri etkisinde maksimum taban kesme kuvvetleri (kN)

Depremler	Taban kesmesi (kN)
Düzce Kuzey-Güney	3705
Düzce Doğu-Batı	2772
Denizli Doğu-Batı	1364
Denizli Kuzey-Güney	1751
Dinar Doğu-Batı	1509
Dinar Kuzey-Güney	1558
Erzincan Doğu-Batı	2254
Erzincan Kuzey-Güney	2347
Erzurum Doğu-Batı	718
Erzurum Kuzey-Güney	621
İzmir Kuzey-Güney	932
Kocaeli Doğu-Batı	1375

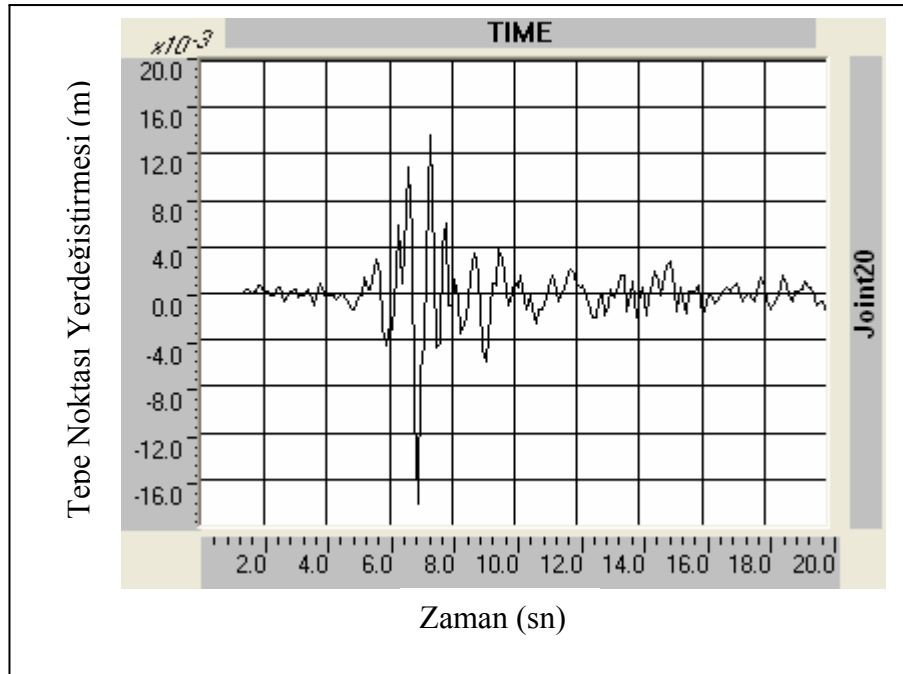
Yapıya uygulanan deprem ivmeleri neticesinde yapıda meydana gelen maksimum taban kesme kuvvetleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Artımsal statik itme analizi sonucunda yapı yatay yük taşıma kapasitesi 1685 kN olarak bulunmuştur. Bu çizelgenin incelenmesi neticesinde yapımıza Düzce depremi, Denizli depremi, Erzincan depremi ivmeleri etkimesi durumunda yapı yatay yük taşıma kapasitesinin aşıldığı görülmektedir.

Diğer depremler neticesinde de yapıda göçme meydana gelmese bile kolonlarda aşırı mafsallaşmalar meydana gelmiştir. Bu mafsallaşmaların kolonlarda ortaya çıkması yapının mekanizma durumuna gelmesinde ve daha sonra kullanılabilmesinde önemli rol oynayacaktır. Böyle bir durum mühendislik açısından istenen bir durum değildir.

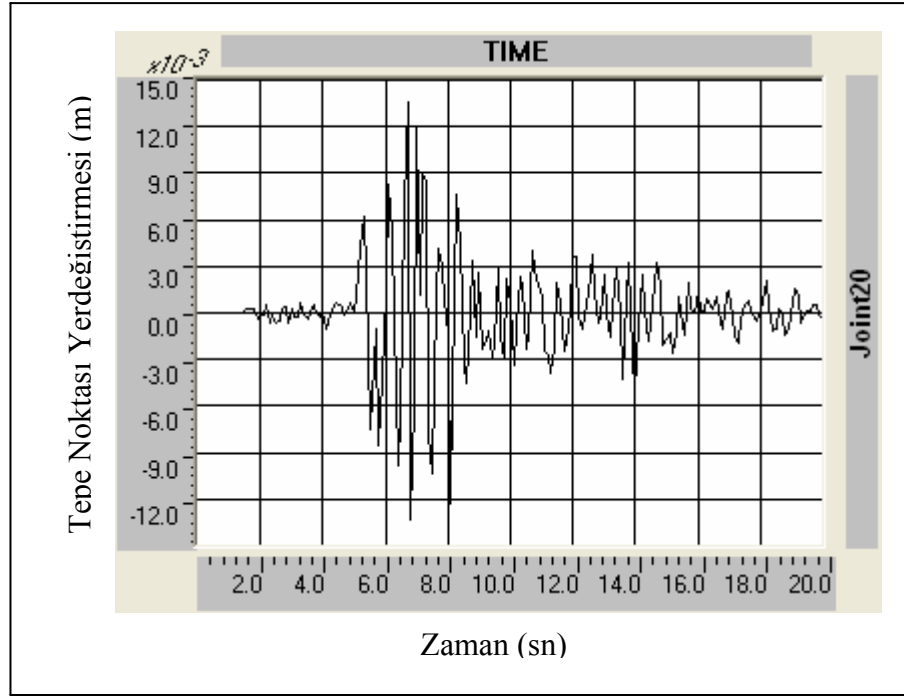


Şekil 4.27. Modellenen çerçeve elemanlarının düğüm noktası numaraları

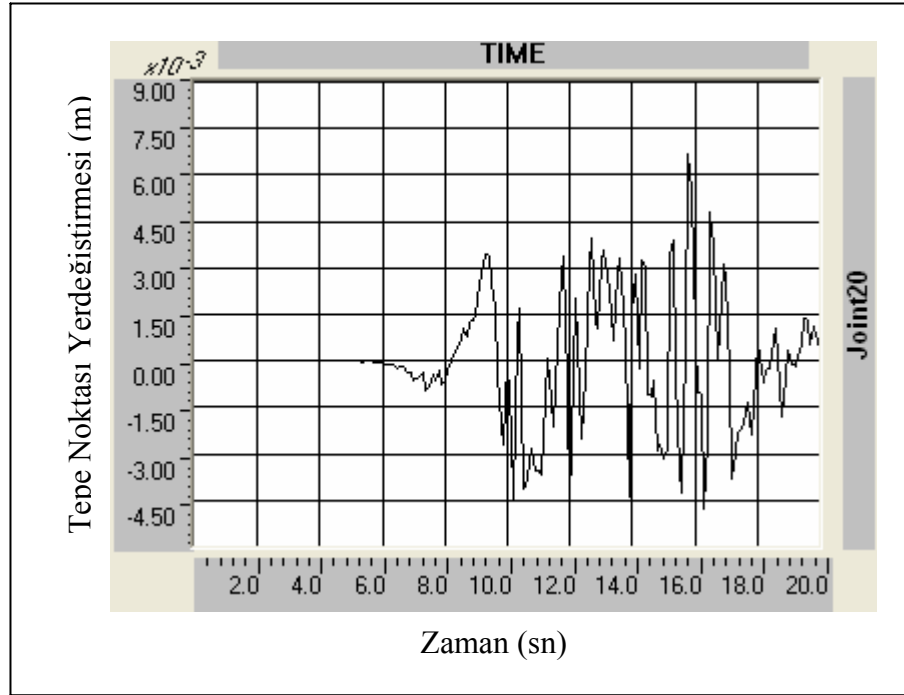
Yapımızın çerçeve elemanlarında deprem ivmelerinin etkimesi sonucu yapıda yerdeğıştirmeler meydana gelmektedir. Bu deprem ivmeleri dikkate alınarak meydana gelen yerdeğıştirme değerleri bulunmuştur.



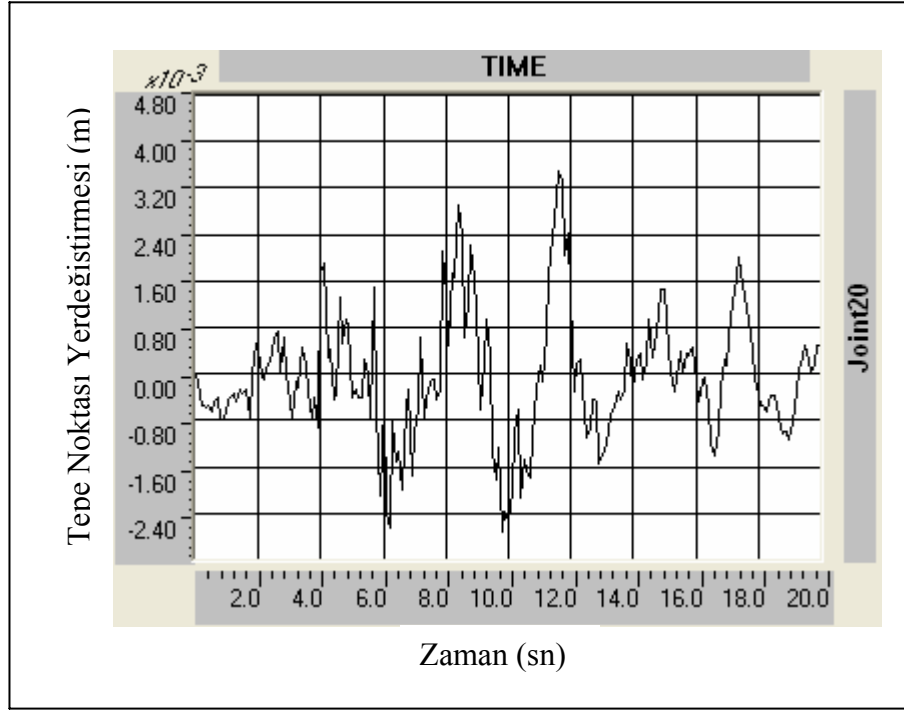
Şekil 4.28. Çerçevenin Düzce KG depremi tepe noktası yerdeğıştirmesi



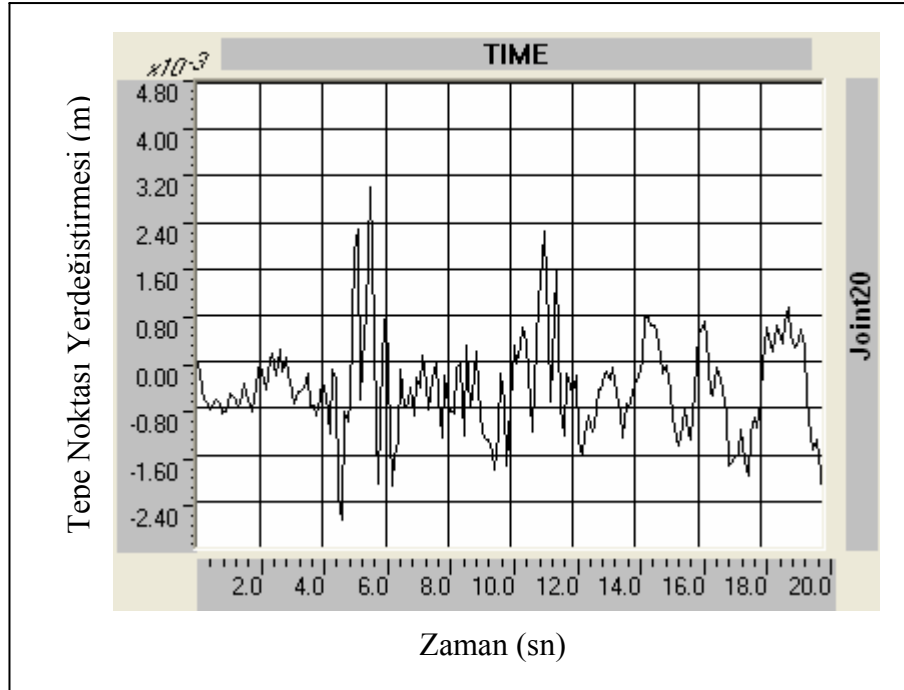
Şekil 4.29. Çerçevenin Düzce DB depremi tepesi noktası yerdeğiştirilmesi



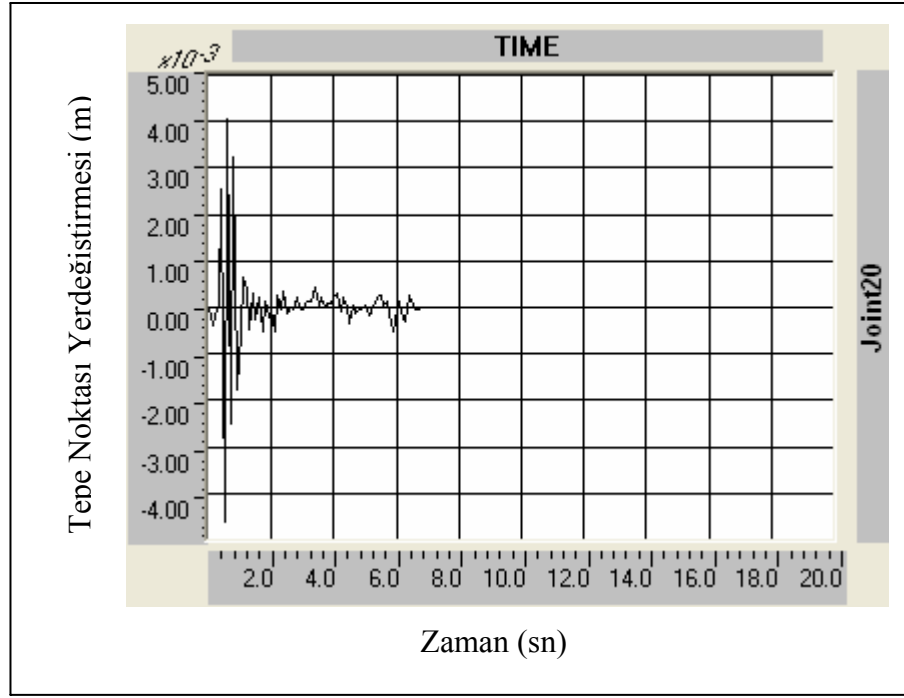
Şekil 4.30. Çerçevenin Kocaeli DB depremi tepesi noktası yerdeğiştirilmesi



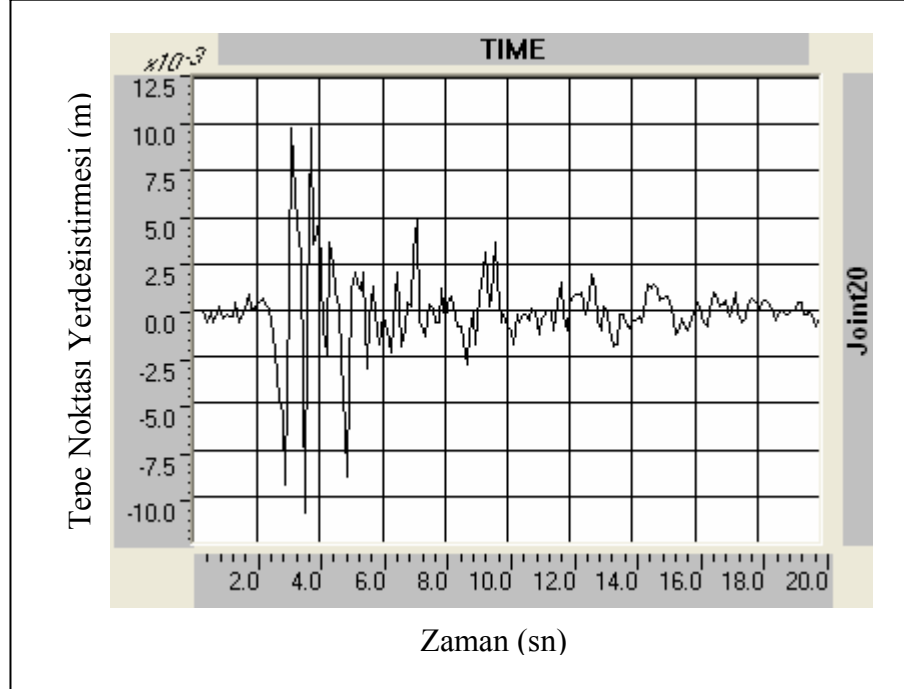
şekil 4.31.Çerçevenin Erzurum DB depremi tepe noktası yerdeğiştirmesi



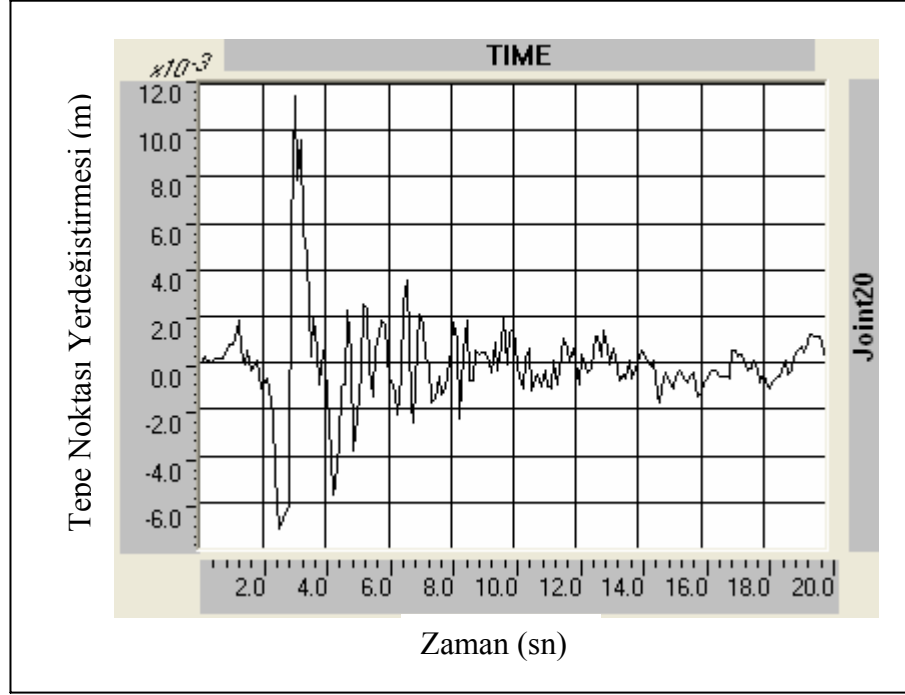
şekil 4.32. Çerçevenin Erzurum KG depremi tepe noktası yerdeğiştirmesi



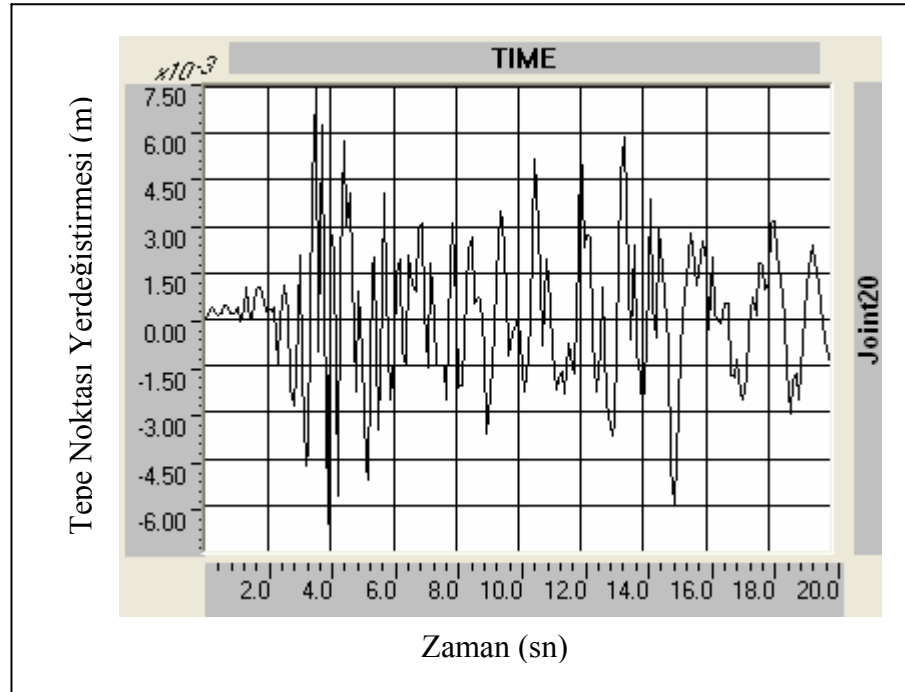
Şekil 4.33. Çerçevenin İzmir KG depremi tepe noktası yerdeğiştirmesi



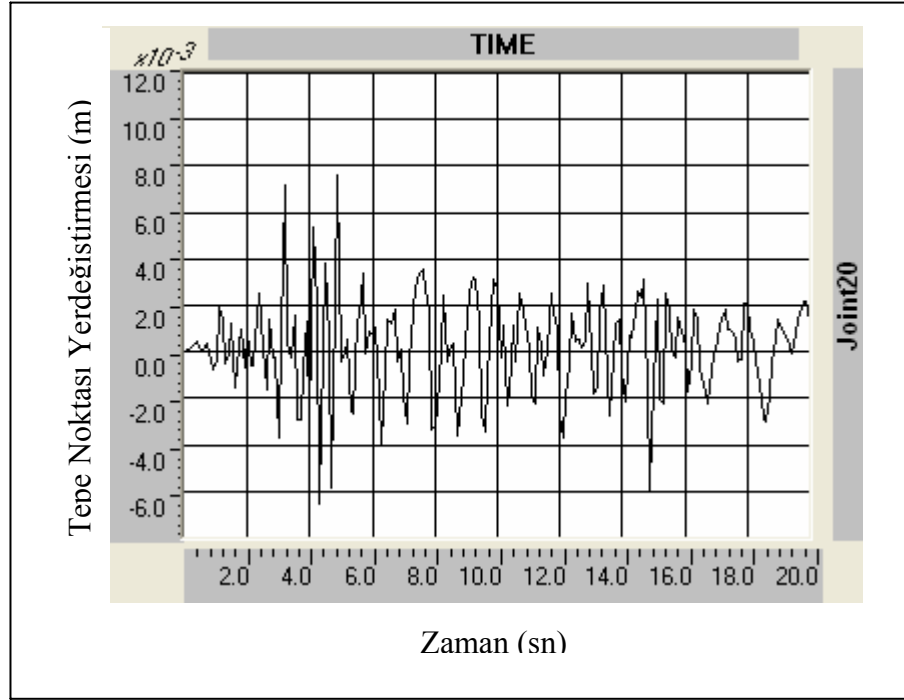
Şekil 4.34. Çerçevenin Erzincan DB depremi tepe noktası yerdeğiştirmesi



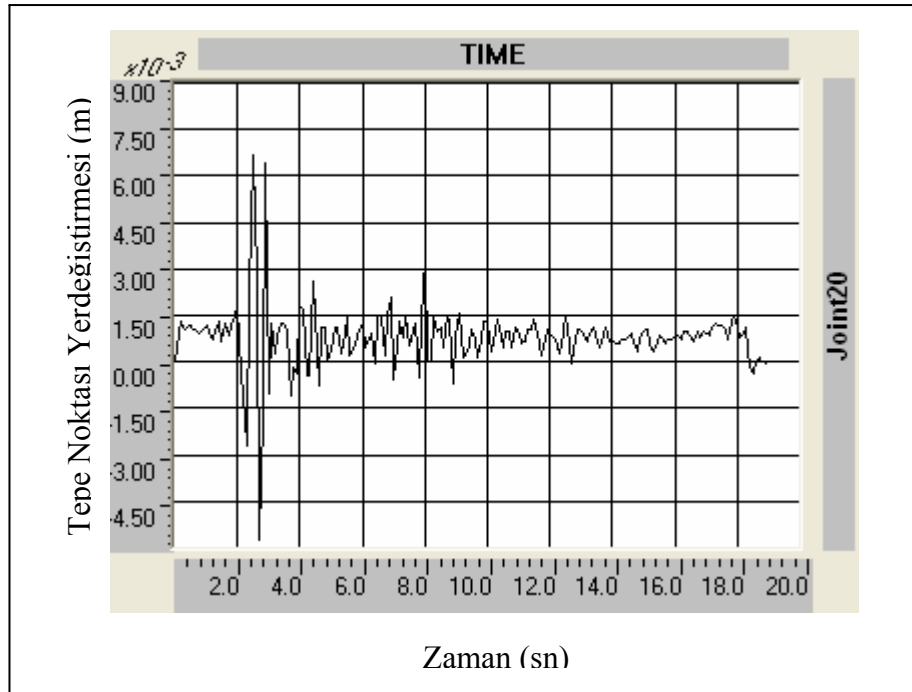
Şekil 4.35. Çerçevenin Erzincan KG depremi tepe noktası yerdeğiştirmesi



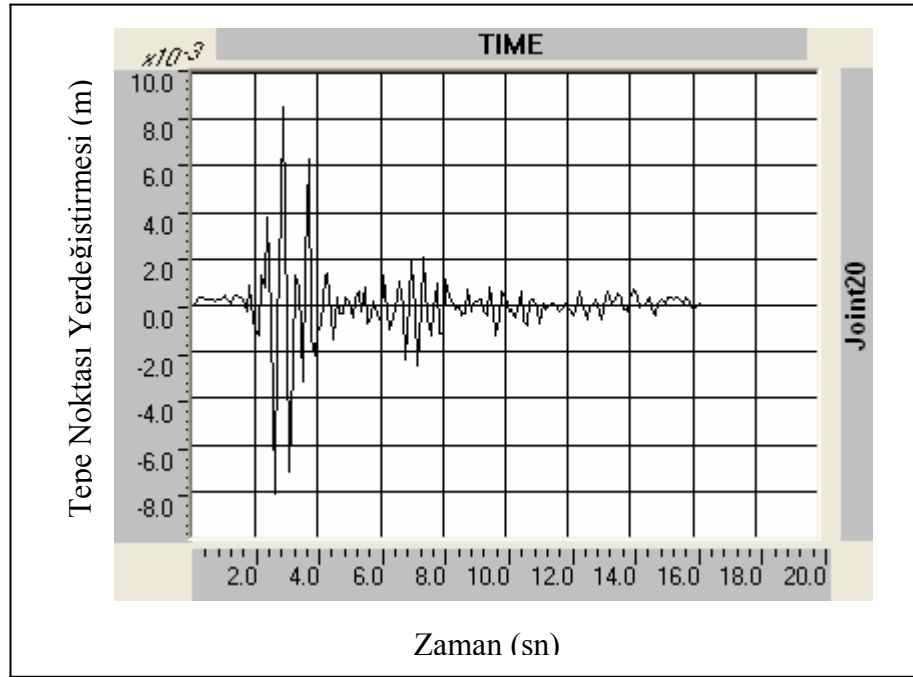
Şekil 4.36.Çerçevenin Dinar DB depremi tepe noktası yerdeğiştirmesi



Şekil 4.37. Çerçevenin Dinar KG depremi tepe noktası yerdeğiştirilmesi



Şekil 4.38. Çerçevenin Denizli DB depremi tepe noktası yerdeğiştirilmesi



Şekil 4.39. Çerçevenin Denizli KG depremi tepe noktası yerdeğiştirilmesi

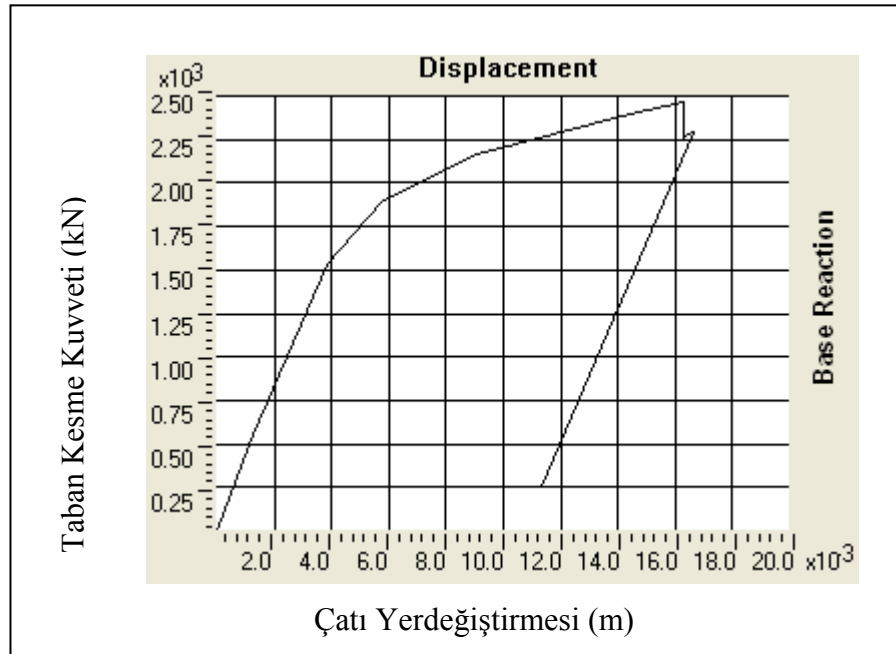
Çizelge 4.3. Maksimum taban kesme kuvveti ve düğüm noktaları yerdeğiştirilmesi

Depremler	Maksimum Taban Kesme Kuvveti (kN)	Düğüm Noktası Yerdeğiştirmeleri (mm)				
		20 (tepe) Noktası	21 Noktası	22 Noktası	23 Noktası	27 Noktası
Düzce Kuzey-Güney	3705	18,11	18,10	16,08	16,03	14,59
Düzce Doğu-Batı	2772	13,60	13,6	12,05	12,00	10,91
Denizli Doğu-Batı	1364	6,64	6,64	5,91	5,89	5,37
Denizli Kuzey-Güney	1751	8,54	8,53	7,59	7,57	6,89
Dinar Doğu-Batı	1509	7,42	7,41	6,56	6,53	5,93
Dinar Kuzey-Güney	1558	7,64	7,63	6,77	6,74	6,13
Erzincan Doğu-Batı	2254	9,82	9,81	9,76	9,73	8,88
Erzincan Kuzey-Güney	2347	11,46	11,45	10,18	10,15	9,24
Erzurum Doğu-Batı	718	3,48	3,48	3,11	3,10	2,83
Erzurum Kuzey-Güney	621	3,01	3,01	2,69	2,68	2,45
İzmir Kuzey-Güney	932	4,63	4,62	4,06	4,05	3,19
Kocaeli Doğu-Batı	1375	6,68	6,69	5,96	5,94	5,42

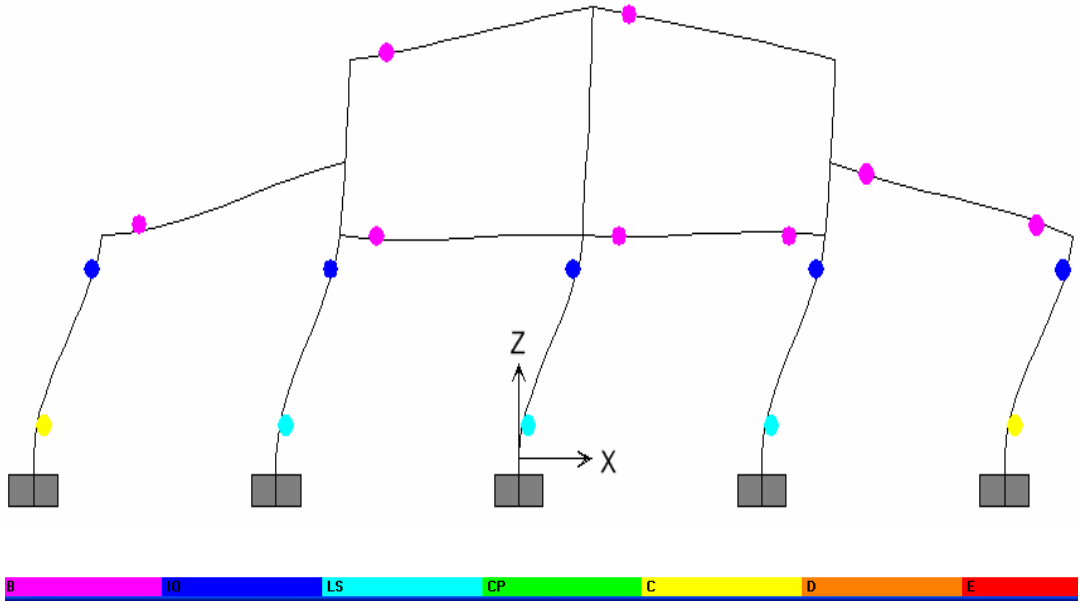
Yapıda en büyük yerdeğiştirme tepe noktasında meydana gelmektedir. Farklı düğüm noktalarına ait yerdeğiştirme değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

4.5. Sanayi Yapılarının Güçlendirilmesi

Mevcut betonarme yapıların yatay yük taşıma kapasitelerinin artırılmasında, genellikle betonarme perdeler kullanılması tavsiye edilmektedir. Ancak incelenen yapının sanayi yapısı olması ve betonarme perdelerle güçlendirilmesi yapının kullanımını olumsuz yönde etkileyeceğinden dolayı kolon kesitlerinin mantolanarak büyütülmesinin daha uygun olacağı düşünülmüştür. Bu amaçla kolon kesitleri büyütülerek incelemeler yapılmıştır.



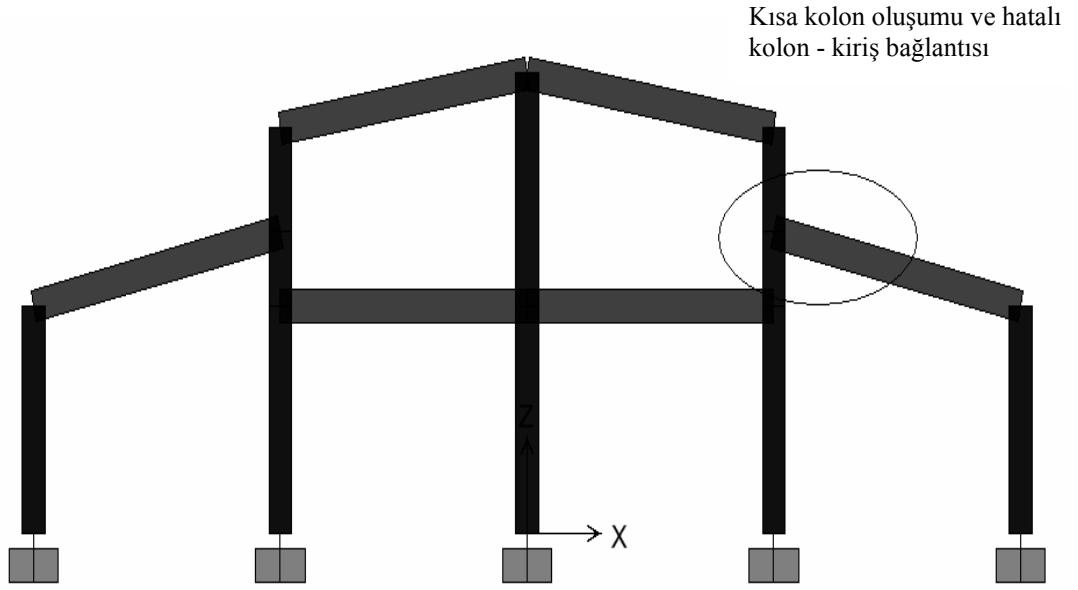
Şekil 4.40. Kolon boyutları büyütülmüş çerçevenin taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme grafiği



Şekil 4.41. Kolon boyutları büyütülmüş çerçevenin mafsallaşma mekanizması

Zaman tanım alanında yapılan incelemeler sonucunda yapıda aşırı mafsallaşmalar meydana gelmiştir. Bu mafsallaşmaların azaltılması ve yapının depreme dayanıklı hale getirilmesi için yapının bütün kolonlarının boyutları mantolanarak büyütülmüştür. Daha önceki kolon boyutları 35x35 cm iken mantolanmış kolon boyutları 45x45 cm olarak dikkate alınmıştır. Kolonda kullanılan donatı miktarı da belirli oranda artırılmıştır.

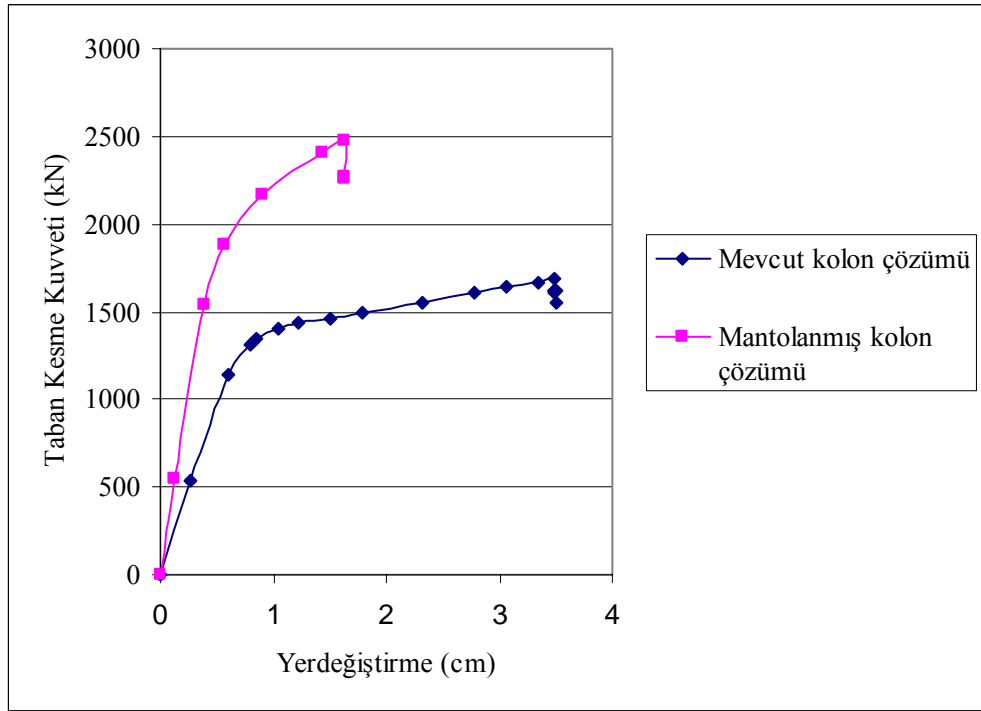
Bu durum sonucunda yapının yatay yük taşıma kapasitesinde artış meydana gelmiştir. Yapı taban kesme kuvveti 1685 kN iken kolon boyutlarının artırılması sonucu 2470 kN'a kadar çıkmıştır (Şekil 4.40). Ayrıca yapıdaki mafsallaşmalarda azalma meydana gelmiştir. Yapıda ani göçmenin meydana gelmesinde en büyük etken Şekil 4.43'de görüldüğü gibi kısa kolon oluşumu ve hatalı kiriş kolon bağlantısıdır. Kolona eğik şekilde bağlanan kirişler kolonda aşırı zorlanmalara sebebiyet vermektedir.



Şekil 4.42. Kolon boyutları büyütülmüş çerçevenin kısa yön görünüşü



Şekil 4.43. Sanayi yapısında kısa kolon oluşumu görüntüsü



Şekil 4.44. Kolon boyutu büyütülmüş yapı taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme grafiği

Çizelge 4.4. Kolon boyutu büyütülmüş deprem kaydı taban kesme kuvvetleri (kN)

Depremler	Taban Kesmesi (kN)
Düzce Kuzey-Güney	3705
Düzce Doğu-Batı	2772
Denizli Doğu-Batı	1364
Denizli Kuzey-Güney	1751
Dinar Doğu-Batı	1509
Dinar Kuzey-Güney	1558
Erzincan Doğu-Batı	2254
Erzincan Kuzey-Güney	2347
Erzurum Doğu-Batı	718
Erzurum Kuzey-Güney	621
İzmir Kuzey-Güney	932
Kocaeli Doğu-Batı	1375

Kolon boyutları büyütülerek ve donatı miktarı artırılarak yapılan artımsal statik itme analizleri neticesinde taban kesme kuvvetinde meydana gelen artış yapının depreme daha dayanıklı bir hale gelmesinde ve bahsedilen düzensizliklerin azaltılmasında oldukça etkili olmuştur.

Bu yatay yük taşıma kapasitesinin artışı neticesinde yapı birçok depremde oluşan kesme kuvvetlerinin üzerinde geçmeye ulaşacağından dolayı depreme daha dayanıklı hale getirilebilir. Kolon boyutları ve donatıları arttırıldığında elde edilen taban kesme kuvvetlerine göre yapı Çizelge 4.4’de görüldüğü gibi sadece Düzce depreminde göçme durumuna gelmektedir.



Şekil 4.45. Sanayi yapısında kullanıcı tarafından hasar verilen kiriş



Şekil 4.46. Sanayi yapısında kullanıcı tarafından hasar verilen kiriş

Çözömlmeleri yapılan bu sanayi yapılarında projede belirtilen kriterler göz önüne alınmıştır. Fakat bu yapılarda yapılan incelemeler neticesinde projedeki donatı miktarlarına, etriye sıkılaştırmalarına ve beton dayanımına uyulmadığı düşünülürse bu yapıların orta şiddetli bir depremde bile hasar görmemiş olması imkansızdır.

Ayrıca Isparta'daki sanayisi yapılarında yapılan incelemeler neticesinde projede belirtilen donatılara uyulmadığı ve esnaflar tarafından kolon ve kirişlere zarar verildiği tespit edilmiştir. Şekil 4.45'de göröldüğü gibi kullanım yüksekliğinin artırılması için kiriş donatıları kesilmiştir. Bu olumsuz etkenleri de sayarsak bu sanayi yapılarının depreme dayanıklılığı tartışılır bir konu haline gelmiştir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Türkiye'deki sanayi yapıları, KÜSGET tarafından projelendirilen benzer yapılardan oluşmaktadır. Halen yeni yapılan bir çok sanayi yapısı yine aynı projeler esas alınarak inşa edilmektedir.

Sanayi yapılarının deprem davranışı özellikle Afyon Çay depreminden sonra birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Yapılan araştırmalar neticesinde sanayi yapılarının deprem performanslarının çok da iyi olmadığı bu depremden sonra daha da iyi anlaşılmıştır. Sanayi yapılarının deprem performanslarının yeterli düzeyde olmamasının sebebi;

- Beton dayanımının projede belirtilen beton dayanımından çok daha düşük olması
- Kolon giriş birleşimlerinde detaylandırmaya dikkat edilmemesi
- Kolon donatılarının projede belirtilen donatı miktarlarından çok daha az olmasından kaynaklanmaktadır.

Bunun yanısıra projelendirmede;

- Özellikle kısa yönde düzenli bir çerçeve sisteminin oluşturulmaması,
- Yapıda uygulanan pencere bantlarının kısa kolon oluşumuna sebep olması,
- Genel olarak depreme dayanıklı yapı tasarımı esaslarına çok fazla dikkat edilmemesi yapı performansının düşük olmasında etkili olmuştur.

Sanayi yapılarının deprem güvenliklerinin belirlenmesi için uygulanan projeleri dikkate alınarak, artımsal statik itme analizi yapılmıştır. Sanayi yapılarının beton dayanımının genellikle düşük olması sebebiyle farklı beton dayanımları için hesaplar yenilenmiştir. Elde edilen sonuçlar grafiklerde karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yapılan incelemelerde farklı beton dayanımları için yapılan hesaplamalar, yatay yük taşıma kapasitesinde önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Bu durum beton dayanımı düşürülerek yapılan statik itme analizlerinde de görülmüştür. Beton

dayanımının çok düşük olması durumunda yapılan hesaplamalarda yatay yük taşıma kapasitesinde önemli bir değişiklik olmamasının nedeni, kesit moment taşıma kapasitesinin hesabında beton dayanımının donatı kadar etkili olmamasından kaynaklanmaktadır. Ancak beton dayanımının düşük olması durumunda istenilen betonarme davranışın olmayacağı ve aderans çözümlerinin daha kolay ortaya çıkacağı da bir gerçektir. Bu yüzden düşük dayanımlı beton durumunun incelendiği sanayi yapısında kesit moment taşıma kapasitesi belirli oranlarda düşürülerek yatay yük taşıma kapasitesine etkisi incelenmiştir.

Zaman tanım alanında yapılan incelemelerde Türkiye’de meydana gelen deprem ivme kayıtları esas alınmıştır. (Düzce Kuzey-Güney, Düzce Doğu-Batı, Denizli Doğu-Batı, Denizli Kuzey-Güney, Dinar Doğu-Batı, Dinar Kuzey-Güney, Erzincan Doğu-Batı, Erzincan Kuzey-Güney, Erzurum Doğu-Batı, Erzurum Kuzey-Güney, İzmir Kuzey-Güney, Kocaeli Doğu-Batı) depremi ivme kayıtları seçilen sanayi yapı modeline etkilerek olabilecek en büyük yerdeğiştirme ve taban kesme kuvvetlerinin zamana bağlı değişimleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar tablolarda karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu sonuçlar neticesinde Düzce, Erzincan ve Denizli depremi ivme kayıtlarında kapasitenin aşıldığı ve göçme meydana geldiği görülmüştür. Diğer depremlerin ivme kayıtları neticesinde göçme meydana gelmese bile kolonların alt noktalarında mafsallaşmalar meydana gelmiştir. Bu mühendislik açısından istenmeyen bir durumdur. Yapıya gelen deprem yükleri neticesinde mafsallaşmaların öncelikle kirişlerde meydana gelmesi en son kolonlarda oluşması istenen bir durumdur. Aksi takdirde yapıda ani göçmeler meydana gelir.

Bu durum ise sanayi yapılarının mevcut durumunun çok da yeterli olmadığını göstermektedir. Beton dayanımının düşük olması, kolon proje donatı detaylarının uygulanmaması, kullanıcı tarafından sanayi yapısı kolon ve kirişlerinde oluşturulan hasarlar orta büyüklükteki bir depremde bile bu yapıların göçmesini kaçınılmaz kılmıştır.

Mevcut betonarme yapıların güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan ve tercih edilen yol, yapının betonarme perdelerle güçlendirilmesidir. Ancak bu yöntem sanayi

yapılarının kullanımını önemli ölçüde azaltacağından daha az tavsiye edilen kolonların mantolanarak güçlendirilmesi tercih edilmiştir. Mevcut kolon boyut ve donatıları artırılarak hesaplar yeniden yapılmıştır. Yapılan hesaplar neticesinde, kolonların mantolanması neticesinde yatay yük kapasitesi % 46 oranında artmıştır. Ayrıca yapının göçmesinde etkili olan kolon mafsallaşmalarında önemli derecede azalmalar olmuştur. Kolon kesme kapasitesi ivme kapasitesinden büyük olduğundan incelemeler daha çok kolonun eğilme davranışı göz önüne alınarak yapılmıştır.

Sonuç olarak;

- Sanayi yapıları için depreme dayanıklı yapı tasarımına daha uygun sistemler seçilmelidir.
- Mevcut projelerin yeni “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” esaslarına göre yenilenmesi faydalı olacaktır.
- Tip projelerin uygulanmaya devam edilmesi durumunda kolon kesitlerinin en az 40 cm*40 cm olması deprem güvenliği açısından yapı davranışını olumlu yönde etkileyecektir.
- Projede verilen donatı miktarlarına uyulmalı ve deprem şartnamesinde verilen minimum beton dayanımlarının sağlanmasına özellikle dikkat edilmelidir.

6. KAYNAKLAR

- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1997. İstanbul.
- Atımtay, E., 2000. Açıklamalarla ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-(Betonarme Yapılar). Cilt I ve II, Bizim Büro, Ankara.
- Atımtay, E., 2001. Betonarme Sistemlerinin Tasarımı Temel Kavramlar ve Hesap Yöntemleri. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Cilt I ve Cilt II, Ankara.
- Bayülke, N., 1999. Betonarme Yapılar Depreme Nasıl Davranacak ya da Depreme Ne Kadar Dayanıkları. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 6. Dönem Çalışma Raporu Sayı:24, 92-106, Antalya.
- Bayülke, N., Kuran, F., Doğan, A., Kocaman, C., Memiş, H., Soyal, L., 2003. Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan İtme Analizleri ve Deprem Hasarı ile Karşılaştırılması. AT-108, İstanbul.
- Celep, Z., Kumbasar, N., 2001. Betonarme Yapılar. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Celep, Z., Kumbasar, N., 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıkları Yapı Tasarımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, 596 s. İstanbul.
- Çelebi, R., Saatçioğlu, N.Ö., 2002. Afyon Depremi ve Düşündürdükleri. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 7(1), Bursa.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2006. İstanbul.
- Durmuş, G., 2003. Çelik Çerçeve Yapıların Doğrusal Olmayan Deprem Davranışı. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 72s, Isparta.
- Özden, K., Kumbasar, N., Sarıakçalı, S., 1988. Betonarme Yüksek Yapılar. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İ.T.Ü. Vakfı Prefabrik Birliği, 209. İstanbul.
- Özsen, E., Yamantürk, E., 1991. Taşıyıcı Sistem Tasarımı. Yıldız Üni.-Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Kuyucular, A., 1998. Betonarme Yapılar (Davranış ve Temel İlkeler). Tuğra Matbaası, 225s. Isparta.
- NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Developed by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency (Report No. FEMA 273), Washington, D.C

NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Developed by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency (Report No. FEMA 356), Washington, D.C.

Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, ATC-40 Report, Applied Technology Council, Redwood City, California.

Sağlamer vd. 2002. 3 Şubat 2002 Afyon Çay Depremi Ön Değerlendirme Raporu. İ.T.Ü.

Sivri, M., 2003. Dolgulu Çerçevelerin Deprem Davranışı. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 75s, Isparta.

Tekeli, H., 2003. Deprem Bölgesi ve Yerel Zemin Sınıflarının Bina Maliyetine Etkileri. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 76s, Isparta.

Yılmaz, S., 2004. Tek Katlı Prefabrik Yapıların Deprem Davranışı ve Türk Deprem Yönetmeliğinin Prefabrik Yapılar Açısından Değerlendirilmesi. P.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 137s, Denizli.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sümeyra ÖZMEN

Doğum Yeri : Atabey

Doğum Yılı : 1980

Medeni Hali : Evli

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise 1993 – 1996 Isparta Şehit Ali İhsan Kalmaz Lisesi

Lisans 1997 – 2001 S.D.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği

Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi:

2004 Serbest çalışma