

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEPREM ALTINDA YIKILMIŞ BİR BİNANIN STATİK İTME VE SİSMİK
ANALİZLER YARDIMIYLA MALZEME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EDANUR ÇAM

161139109

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği Teknolojileri

Bilim Dalı : Mekanik

Danışman: Doç. Dr. Yüksel ESEN

İkinci Danışman: Doç. Dr. Muhammet KARATON

ARALIK-2017

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEPREM ALTINDA YIKILMIŞ BİR BİNANIN STATİK İTME VE SİSMİK
ANALİZLER YARDIMIYLA MALZEME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EDANUR ÇAM

161139109

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:

Tezin Savunulduğu Tarih: 13 Aralık 2017

Tez Danışman: Doç. Dr. Yüksel ESEN

İkinci Danışman: Doç. Dr. Muhammet KARATON

Diğer Jüri Üyeleri: Yrd. Doç. Dr. Tacettin GEÇKİL

ARALIK-2017

ÖNSÖZ

Çalışmalarımın her aşamasında engin bilgisi ve değerli fikirleri ile çok önemli katkılarda bulunan tez danışmanım sayın Doç. Dr. Yüksel ESEN' e ve ikinci tez danışmanım sayın Doç. Dr. Muhammet KARATON' a sınırsız desteğinden dolayı teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamda yardımını gördüğüm değerli arkadaşım Bekir AKTÜRK' e teşekkür ederim.

Yoğun ve stresli çalışmalarımda benden sabrını ve desteğini esirgemeyen aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ayrıca tez çalışmamı destekleyen TEKF. 17.16 kodlu Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) Yönetim Birimine teşekkür ederim.

Edanur ÇAM
ELAZIĞ- 2017

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	X
SEMBOLLER LİSTESİ	XI
1.GİRİŞ.....	1
2.BETON VE ÇELİK İÇİN MALZEME MODELLERİ.....	3
2.1. Mander, Priestly ve Park Beton Modeli	3
2.1.1. Tek Eksenli Yükler Altında Etriyeli Betonun Gerilme-Şekil Değişirme Bağlıları. 3	
2.1.2. Efektif Çevre Basıncı ve Efektif Kısıtlama Katsayısı	5
2.1.3. Dikdörtgen Etriyeli Kesitler için Efektif Kısıtlama Parametresinin Hesaplanması	7
2.1.4. Basınç Dayanımı f_{cc}' (Etriyeli Betonlar İçin).....	9
2.1.5. Monotonik Çekme Yükleme.....	10
2.2. Tekrarlı Yükler Altında Betonun Gerilme-Şekil Değişirme Bağlıları	11
2.2.1. Yükleme/Boşaltma Eğrileri	11
2.2.1.2. Çekme Yük Boşaltma Durumu	13
2.2.3. Tekrar Yükleme Kolları.....	14
2.3. Gerilme-Şekil Değişirme İlişkisi Üzerinde Şekil Değişirme Hızının Etkisi	16
2.3.1. Betonun Dinamik Basınç Dayanımı	16
2.3.2. Betonun Dinamik Elastisite Modülü	17
2.3.3. Maksimum Gerilmeye Karşılık Gelen Dinamik Şekil Değişirme.....	18
2.4. Çeliğin Tek Eksenli Gerilme-Şekil Değişirme Bağlılığı	20

2.4.1. Çelik için Menegotto-Pinto Modeli.....	20
3. STATİK İTME ANALİZİ İLE PERFORMANS TAYİNİ.....	24
3.1. Statik İtme Analizi.....	24
3.1.1. Binanın Kapasite Eğrisinin Belirlenmesi	24
3.1.2. Modal Kapasite Spektrumunun Eldesi	25
3.1.3. Talep Spektrum Eğrisinin Eldesi.....	26
3.1.4. Modal Kapasite ve Talep Spektrumlarının Kesiştirilmesi.....	27
3.1.5. Performans Seviyesinin Uygunluğunun Eldesi	28
3.1.5.1. Bina için Kabul Kriterleri	28
3.1.5.2. Elemanlar için Kabul Kriterleri	28
4. SAYISAL UYGULAMA.....	30
4.1. Binanın Tanımı	30
4.2. Bayram Otelin Statik İtme Analizleri	32
4.3. Bayram Otelin Zaman Tanım Alanındaki Lineer Olmayan Sismik Analizleri	40
4.3.1. Z1 zemin sınıfına Sahip Bayram otelin C12-C20 beton malzemesi ve için lineer olmayan sismik analizleri	42
4.3.2. Z2 zemin sınıfına Sahip Bayram otelin C12-C20 beton malzemesi ve için lineer olmayan sismik analizleri	47
5. SONUÇLAR.....	52
KAYNAKLAR.....	54

ÖZET

Bu çalışmada, 23 Ekim 2011 Van depreminde hasar görmüş ve 9 Kasım 2011' de meydana gelen Van-Edremit depreminde yıkılmış betonarme bir binanın statik itme analizleri yapılmıştır. Betonarme elemanların doğrusal olmayan davranışları için Fibre kiriş-kolon elemanlar kullanılmıştır. Betonarme elemanlarda, beton ve çeliğin doğrusal olmayan davranışları için sırasıyla Mander-Priestly-Park beton modeli ile Menegotto-Pinto çelik modeli seçilmiştir. Statik itme analiz sonuçlarından binanın modal kapasite eğrileri elde edilmiştir. Dört farklı zemin sınıfı için talep spektrum eğrileri ayrıca hesaplanmıştır. 23 Ekim 2011 Van depreminin spektrum ivme grafiği elde edilerek bu eğrilerin karşılaştırılma işlemi yapılmıştır. Bu nümerik sonuçlar yardımıyla binanın malzeme karakteristikleri, yerel zemin sınıfı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Van depremi, Fibre kiriş-kolon elemanlar, Doğrusal olmayan davranış, Statik itme analizleri, binanın malzeme karakteristikleri ve yerel zemin sınıfının belirlenmesi

DETERMINATION OF MATERIAL PROPERTIES OF A COLLAPSED BUILDING UNDER EARTHQUAKE LOADING, BY USING STATIC PUSHOVER AND SEISMIC ANALYSIS

SUMMARY

In this study, static push over analyses of a reinforced concrete building which damaged in October 23, 2011 Van earthquake and, collapsed in 9 November 2011 Van-Edremit earthquake, are obtained. Fibre beam-column elements are used for nonlinear behavior of reinforced concrete elements. In reinforced concrete element, Mander-Priestly-Park concrete model and Menegotto-Pinto steel model are selected for non-linear behavior of concrete and steel, respectively. The modal capacity curves of the building are obtained from the static pushover analysis results. Additionally, the demand spectrum curves of for four different ground types are calculated. Spectrum acceleration graph of October 23, 2011 Van earthquake is obtained and these curves are overlaid. The material characteristics of the building and local ground type are determined by using these numerical results.

Keywords: Van earthquake, Fiber beam-column elements, static pushover analyses, determination of material characteristics and, local ground type of the building.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Etriyeli ve etriyesiz betonda monotonik yükleme için önerilen gerilme-şekil değiştirme modeli [1]	4
Şekil 2.2. Dairesel etriye donatılı kesitlerde etkin etriye çekirdeği.....	5
Şekil 2.3. Dikdörtgen donatılı etriyeler için etkin etriye çekirdeği.....	9
Şekil 2.4. Etriyeli dayanımın dikdörtgen kesitler için belirlenmesi	10
Şekil 2.5. Plastik şekil değiştirme ϵ_{pl} ' nin belirlenmesi	12
Şekil 2.6. Bozulmanın basınç yüklemesinden dolayı betonun çekme gerilmesindeki gösterimi	14
Şekil 2.7. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin tekrarlı yükleme kolları durumu.....	16
Şekil 2.8. Dayanım üzerinde şekil değiştirme hızı etkileri için izin verilen Df dinamik büyütme faktörü.....	17
Şekil 2.9. Elastisite modülü üzerinde şekil değiştirme hızı etkileri için izin verilen DE dinamik büyütme faktörü.....	18
Şekil 2.10. Beton için tekil gerilme-şekil değiştirme ilişkisi üzerine şekil değiştirme hızının etkisi	19
Şekil 2.11. Menegotto-Pinto çelik modeli [28].....	21
Şekil 2.12. Menegotto-Pinto [28] çelik modelinde eğrilik parametresi R ' nin tanımlanması	23
Şekil 3.1. Kapasite ve Modal Kapasite Eğrileri [31].....	26
Şekil 3.2. İvme Spektrumunun Talep Spektrumuna dönüştürülmesi [31].....	27
Şekil 3.3. Modal Kapasite ile Talep Spektrumlarının kesiştirilmesi [31].....	27
Şekil 4.1. Zemin kat kalıp planı	31
Şekil 4.2. Bayram otelin güney cephesinden yıkılma durumu.....	32
Şekil 4.3. Bayram otelin doğu cephesinden yıkılma durumu.....	32
Şekil 4.4. Bayram otelin 3 boyutlu sonlu eleman modeli	33
Şekil 4.5. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Bayram otelin x doğrultusu için a) C12 ve b) C14 beton sınıflarında modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması.....	35

Şekil 4.6.23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Bayram otelin x doğrultusu için a) C16 ve b) C18 beton sınıflarında modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması.....	36
Şekil 4.7. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Bayram otelin x doğrultusu için C20 beton sınıfında modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması.....	37
Şekil 4.8. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Bayram otelin y doğrultusu için C12 beton sınıfında modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması.....	37
Şekil 4.9. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Bayram otelin y doğrultusu için a) C14ve b) C16 beton sınıfında modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması.....	38
Şekil 4.10. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Bayram otelin y doğrultusu için a) C18 ve b) C20 beton sınıfında modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması.....	39
Şekil 4.11. Bayram otelin güncellenmiş sonlu eleman modeli.....	40
Şekil 4.12. 23 Ekim 2011 Van ve 9 Kasım 2011 Van-Edremit depremlerinin ivme bileşenleri	41
Şekil 4.13. Z1 zemini ve C12 beton sınıfı için Bayram otelin 801 nolu düğüm noktasının yer değiştirme-zaman eğrileri.....	43
Şekil 4.14. Z1 zemini ve C14 beton sınıfı için Bayram otelin 801 nolu düğüm noktasının yer değiştirme zaman eğrileri.....	44
Şekil 4.15. Z1 zemini ve C16 beton sınıfı için Bayram otelin 801 nolu düğüm noktasının yer değiştirme-zaman eğrileri.....	45
Şekil 4.16. Z1 zemini ve C18 beton sınıfı için Bayram otelin 801 nolu düğüm noktasının yer değiştirme-zaman eğrileri.....	46
Şekil 4.17. Z1 zemini ve C20 beton sınıfı için Bayram otelin 801 nolu düğüm noktasının yer değiştirme-zaman eğrileri.....	47
Şekil 4.18. Z2 zemini ve C12 beton sınıfı için Bayram otelin 801 nolu düğüm noktasının yer değiştirme-zaman eğrileri.....	48
Şekil 4.19. Z2 zemini ve C14 beton sınıfı için Bayram otelin 801 nolu düğüm noktasının yer değiştirme-zaman eğrileri.....	49

Şekil 4.20. Z2 zemin ve C18 beton sınıfı için Bayram otelin 801 nolu düğüm noktasının yer değiştirme-zaman eğrileri.....	50
Şekil 4.21. Z2 zemin ve C20 beton sınıfı için Bayram otelin 801 nolu düğüm noktasının yer değiştirme-zaman eğrileri.....	51



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Katlar arası yer değiştirmenin kat yüksekliğine oranının sınırı [32].	28
Tablo 4.1. Binada bulunan kolon ve perde elemanların boyut ve sayıları.	30
Tablo 4.2. Farklı malzeme sınıfları için Bayram Otelin x yönüne ait Etkin Kütle ve modal katkı çarpanları	33
Tablo 4.3. Farklı malzeme sınıfları için Bayram Otelin y yönüne ait Etkin Kütle ve modal katkı çarpanları	34
Tablo 4.4. Bayram otelin malzeme özellikleri.	40
Tablo 4.5. Z1 zemin sınıfı ve bayram otelin C12-C20 beton malzeme sınıfları için mutlak maksimum yer değiştirme değerleri.	44
Tablo 4.6. Z2 zemin sınıfı ve bayram otelin C12-C20 beton malzeme sınıfları için mutlak maksimum yer değiştirme değerleri.	49

SEMBOLLER LİSTESİ

- A_c :Dairesel veya spiralli etriyenin merkez hattı ile kapalı bölümünün çekirdek alanı
- A_{cc} :Boyuna çeliğin çevresel spiral veya dairesel etriye dışındaki çekirdek alanı
- A_e : Etkin etriyeli betonun çekirdek alanı
- A_i : Etriyeler seviyesindeki etkin olmayan etriyeli betonun toplam çekirdek alanı
- A_{sp} :Spiral çubuğun alanı
- A_{sx} : x eksenine paralel enine donatının toplam alanı
- A_{sy} : x eksenine paralel enine donatının toplam alanı
- b_c : x yönünde etriye merkezlerinden itibaren beton çekirdek boyutu
- $[C]$:Binanın sönüm matrisi
- D_E :Dinamik yükleme nedeniyle betonun ilk elastisite modülü için dinamik büyütme faktörü
- D_f :Dinamik yükleme nedeniyle beton dayanımı için dinamik büyütme faktörü
- d_c : y yönünde etriye merkezlerinden itibaren beton çekirdek boyutu
- d_s :Spiralin çapı
- E_c :Betonun elastisite modülü
- E_{re} :Beton için tekil gerilme-şekil değiştirme eğrisi üzerinde ki elastisite modülü noktası
- E_{sec} : Etriyeli betonun maksimum gerilmesinin secant modülü
- E_u :Boşalma başlangıcında ki betonun ilk elastisite modülü
- $\{F\}$:Dış kuvvet vektörü
- f_c : Eksenel basınçlı betonun gerilmesi
- f'_{cc} :Etriyeli betonun maksimum basınç dayanımı
- f'_{co} : Etriyesiz betonun maksimum basınç dayanımı
- $(f'_{co})_{dyn}$:Etriyesiz betonun dinamik basınç dayanımı
- f_l :Enine donatılı beton üzerindeki yanal kısıtlayıcı gerilme
- f'_l : Etkin yanal kısıtlama gerilmesi
- f_{lx} :Betonun x yönündeki yanal kısıtlama gerilmesi
- f'_{lx} : x yönündeki etkin yanal kısıtlama gerilmesi

f_{ly}	: Betonun y yönündeki yanal kısıtlama gerilmesi
f'_{ly}	: y yönündeki etkin yanal kısıtlama gerilmesi
f'_{ll}	: Küçük kısıtlayıcı gerilme
f'_{l2}	:Büyük kısıtlayıcı gerilme
f_{new}	: \mathcal{E}_{un} birim şekil değiştirmesi için yeni beton dayanımı
f_{re}	: Tekil gerilme-şekil değiştirme eğrisi üzerindeki gerilme noktası
f_{ro}	: Ters yüklenen betonun gerilmesi
f_s	: Çeliğin gerilmesi
f_{st}	: Boyuna çelik donatının gerilmesi
f_t	: Tekrarlı yükleme nedeniyle betonun değiştirilmiş çekme dayanımı
f'_t	: Betonun çekme dayanımı
f_{un}	: Beton modelinde ters (boşaltma) gerilmesi
f_y	: Çeliğin akma gerilmesi
f_{yh}	: Enine donatının akma dayanımı
$\{F^{int}\}$:İç kuvvet vektörü
g	: Yer çekimi ivmesi
h	: Parçaların toplam derinliği
l	: Atalet momenti
k_e	: Etkin kısıtlama katsayısı
k_1, k_2	: Beton dayanımı ve gerilme büyütme katsayıları
$[M]$: Binanın kütle matrisi
M^*_1	: Birinci moda ait etkin kütle
m_i	: i' inci katın kütlesi
S_a	: Spektral ivme
S_d	: Spektral yer değiştirme
s	: Spiral etriye aralığı
s'	: Spiral yada dairesel etriyenin açık aralığı
T	: Periyot
$\{\bar{U}\}$: Binanın hız vektörü
$\{\bar{U}'\}$: Binanın bağlı ivmesi
u_{N1}	: Her bir statik itme analizi için elde edilen birinci moda ait yer değiştirme
V_{x1}	: Her bir statik itme adımı için birinci moda ait taban kesme kuvveti
W	: Yapının ağırlığı

- w : Dikdörtgen kesitler için boyuna çubuk aralığı
- w'_i : Bitişik boyuna çubuklar arasındaki i 'inci terim enine aralık
- \mathcal{E}_a : Başlangıç teğeti ile plastik boşalma eğiminin kestiği noktada ki ortak birim şekil değiştirme
- \mathcal{E}_c :Eksenel basınçlı betonun birim şekil değiştirmesi
- \mathcal{E}_{cc} : Betonun maksimum gerilmesi f'_{cc} ' ye karşılık gelen birim şekil değiştirme
- \mathcal{E}_{co} : Etriyesiz betonun maksimum gerilmesi f'_{co} ' ye karşılık gelen birim şekil değiştirme
- \mathcal{E}_{cu} : Etriyedeki ilk kırılma ile birim şekil değiştirme olarak tanımlanan basınçlı betonun nihai birim şekil değiştirmesi
- \mathcal{E}_{pl} : Beton modelinin plastik birim şekil değiştirmesi
- \mathcal{E}_{re} : Gerilme – şekil değiştirme eğrisinde birim şekil değiştirme noktası
- \mathcal{E}_{ro} : Ters yüklenen betonun birim şekil değiştirmesi
- \mathcal{E}_s : Çeliğin birim şekil değiştirmesi
- \mathcal{E}_{sf} : Çeliğin çekme kırılma birim şekil değiştirmesi
- \mathcal{E}_{sp} : Beton paspayının tamamen çatlak olduğunun kabul edilmesiyle betonun taşıdığı gerilme altındaki birim şekil değiştirme
- \mathcal{E}_t : Betonun çekme ile oluşan kopma birim şekil değiştirmesi $= f_t / E_c$
- \mathcal{E}_{un} : Beton modelinde ters (boşalma) birim şekil değiştirmesi
- $\dot{\mathcal{E}}_c$: Saniyedeki birim şekil değiştirme hızı
- \mathcal{O}_{i1} : Birinci modun i ' inci katına ait modal yer değiştirmesi
- \mathcal{O}_{N1} : Birinci modun N ' inci kata ait modal yer değiştirmesi
- Γ_1 : Birinci moda ait modal katkı çarpanı
- ρ_{cc} : Kesit çekirdek alanının boyuna çeliğin alanına oranı
- ρ_s : Etriyeli betonun çekirdek hacminin enine çeliğin hacmine oranı
- ρ_t : Kolonun brüt alanının boyuna donatı alanına oranı
- w : Frekans

1. GİRİŞ

Türkiye’ de Doğu Anadolu Fayı (DAF), Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Ege Çöküntü Fayı (EÇF) olmak üzere 3 ana fay sistemi yer almaktadır. Ülkemizde 1900-2012 yılları arasında magnitudü yedi ve üzeri olan toplam 33 adet deprem kaydı yer almaktadır [1]. Bu yıkıcı deremler arasında 23 Ekim 2011 Van ilinde M_w : 7.2 olan yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir. Sonralar birçok artçı deprem meydana gelmişse de 9 Kasım 2011’ de ortaya çıkan Van-Edremit depremi hafif veya orta hasarlı olan birçok binanın yıkılmasına neden olmuştur. Bu deprem sonucunda yıkılan binalardan dolayı 40 kişinin öldüğü ve 30 kişinin enkazdan sağ kurtarıldığı belirtilmiştir [2]. Bu nedenle mevcut binaların ve de yeni inşa edilecek binaların deprem altındaki performans seviyelerinin, yıkılma şekillerinin ve artçı sarsıntılar altındaki davranışlarının gelişmiş tekniklerle belirlenmesi insan hayatı için çok önem arz etmektedir.

Statik itme analizi kullanılarak binaların deprem performanslarının belirlenmesi konusunda birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar içerisinde, Esin [3] Statik itme (Pushover) analizi yardımıyla 4 katlı bir mevcut betonarme binanın depreme dayanıklılık analizleri elde edilmiştir. Çözümlere SAP 2000 ve EPARC programları kullanılarak ulaşılmıştır. Bu nümerik sonuçlara göre yapının güçlendirmesine karar verilmiştir. Güçlendirilen yapının nümerik çözümler yardımıyla göçme yükü tekrar elde edilerek depreme tahkikleri yapılmıştır. Oral [4] Statik İtme Analizi Yöntemi ile 1975 Deprem Yönetmeliğine göre inşa edilmiş mevcut bir betonarme yapının çözümlerini elde etmiştir. Çözüm sonuçlarına göre güçlendirilen yapının tekrar statik itme analizlerini elde etmiş ve her iki durumu birbirleriyle karşılaştırmıştır. Temür [5] çalışmasında, Statik itme analizi kullanılarak yapıların deprem karşısındaki davranışlarını değerlendirmiştir. Aynı zamanda, deprem güvenliği yetersiz olan yapıların güçlendirilmesi konuları hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca Statik itme yöntemini kullanarak mevcut bir betonarme yapının deprem güvenliğini tahkik etmiş ve güçlendirilmiş durumunun performans sonuçları ile karşılaştırmıştır. Dok ve ark. [6], çalışmalarında, 3 açıklıklı ve 8 katlı betonarme bir çerçevenin statik itme analizlerini farklı zemin sınıfları için elde etmişlerdir. Çözümlerinde SAP2000 paket programını kullanılmışlardır. Farklı zemin sınıfları için elde edilen taban kesme kuvveti, tepe noktası yer değiştirmesi, görelî kat ötelemesi ve elemanlardaki iç kuvvet değerleri karşılaştırılarak sonuçlar incelenmiştir.

Bu çalışmada, betonarme binaların doğrusal olmayan davranışı için Fibre eleman yöntemi kullanılarak depremden hasar görüp yıkılmış bir binanın statik itme analizleri yapılmıştır. Bu çözümler yardımıyla binanın malzeme karakteristikleri, yerel zemin sınıfının belirlenmesi için bir yöntem incelenmiştir.



2. BETON VE ÇELİK İÇİN MALZEME MODELLERİ

Bu bölümde, düşük şekil değiştirme hızına sahip tekrarlı yükler altında betonun tek eksenli gerilme-şekil değiştirme bağıntıları için Mander, Priestly ve Park tarafından önerilen model detaylı olarak tanıtılmıştır. Aynı zamanda çeliğin tekrarlı yükler altında gerilme-şekil değiştirme bağıntısı için Menegetto-Pinto modeli kullanılmış olup bu model detaylı olarak tanıtılmıştır.

2.1. Mander, Priestly ve Park Beton Modeli

2.1.1. Tek Eksenli Yükler Altında Etriyeli Betonun Gerilme-Şekil Değiştirme Bağıntıları

Etriyelerle sarmalanmış dikdörtgen veya dairesel en kesitli betonarme elemanlar için gerilme-şekil değiştirme bağıntısının 1984 yılında Mander ve ark. [7] önermişleridir. Bu modelin gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 2.1' de görülmektedir. İlerleyen zamanlarda, Popovics [8] yarı-statik yükler altında tek eksenli betonun boyuna doğrultudaki basınç gerilmesini ,

$$f_c = \frac{f'_{cc} x r}{r - 1 + x^r} \quad (2.1)$$

eşitliği ile hesaplamıştır. Burada f_c , betonun basınç gerilmesini, f'_{cc} , etriyeler ile sargılanmış betonun basınç dayanımını göstermektedir. Burada r ,

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (2.2)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Burada, E_c , betonun başlangıç elastisite modülünü, E_{sec} , ise sekant elastisite modülünü ifade etmektedir. Bu modüller sırasıyla,

$$E_c = 5,000 \sqrt{f'_{co}} \quad (2.3.a)$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\epsilon_{cc}} \quad (2.3.b)$$

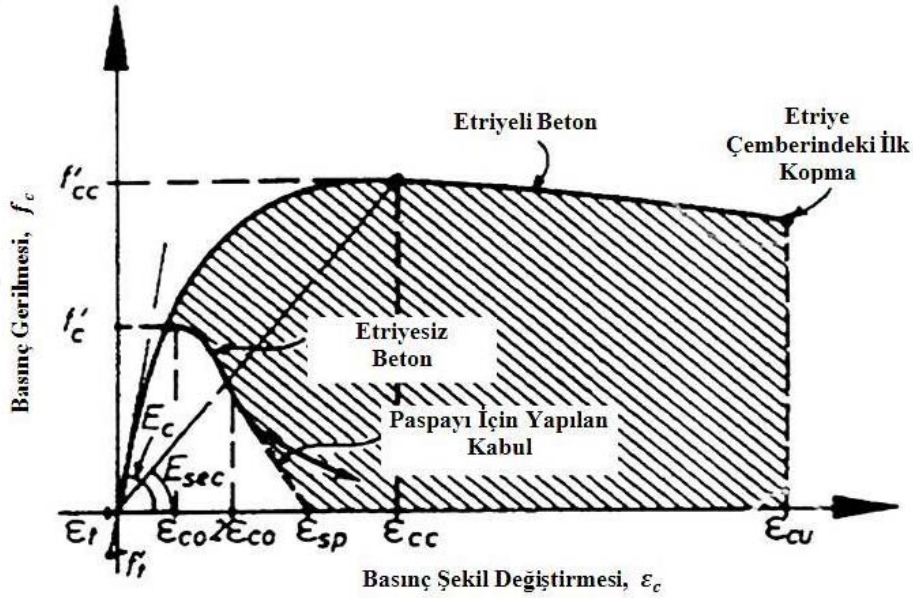
bağıntılarıyla hesaplanmaktadır. Denklem (2.1)' de belirtilen x ise

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.4)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. ε_c , basınç bölgesi için betonun eksenel doğrultudaki şekil değiştirmesi, ε_{cc} ise f'_{cc} beton basınç dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme değerini ifade etmektedir. ε_{cc}

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right] \quad (2.5)$$

olarak hesaplanmaktadır. f'_{co} etriye ile sarmalanmış betonun basınç dayanımını ve ε_{co} ise bu dayanıma karşılık gelen şekil değiştirmeyi ifade etmektedir [9].

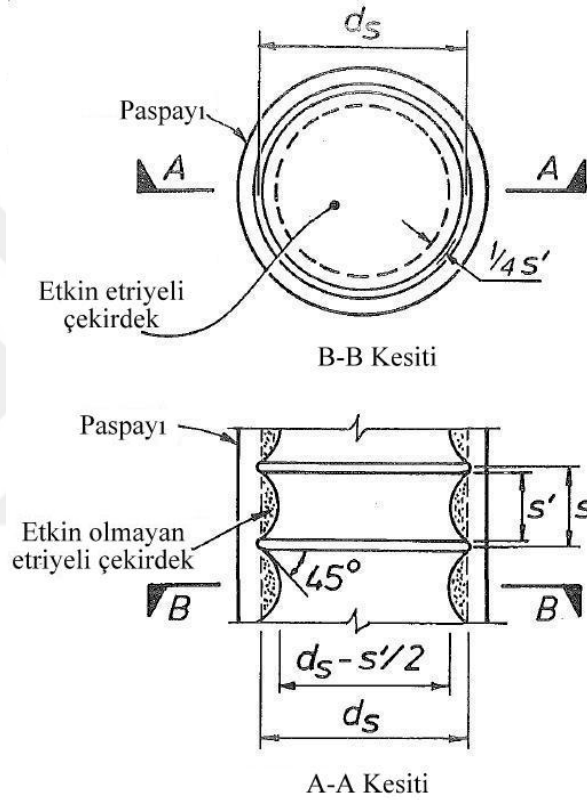


Şekil 2.1. Monotonik yükler altında etriyeli/etriyesiz beton için gerilme-şekil değiştirme bağıntıları [2]

Şekil 2.1' de görüldüğü gibi etriyenin dışındaki örtü betonunun gerilme-şekil değiştirme davranışında $\varepsilon_c > 2\varepsilon_{co}$ değerinden sonraki gerilme değerleri doğrusal bir şekilde azalıp sıfıra ulaşmaktadır. ε_{sp} gerilmenin sıfır olduğu noktadaki şekil değiştirme değeridir.

2.1.2. Efektif Çevre Basıncı ve Efektif Kısıtlama Katsayısı

Şeyh ve Uzumeri [10]' nin çalışmalarında efektif kısıtlama katsayısı, efektif basınç hesaplamak için kullanılmıştır. Bu çalışmada buna benzer bir yol izlenerek betonarme kesitlerde etriyelerin kapadığı alana çekirdek bölgesi adı verilmektedir. Eksenel basınç yükü altında bulunan kolonlar, etriyeleri sayesinde enine doğrultuda kemerlenme bölgelerinin ortaya çıktığı elemanlardır.



Şekil 2.2. Dairesel etriye donatılı kesitlerde etkin etriye çekirdeği

Şekil 2.2 ve 2.3' de hem dairesel hem de dikdörtgen kesitler için kemerlenme bölgeleri verilmiştir. Kemerlenme etkisi ile betonun en kesitinde etkin ve etkin olmayan bölgeler olmak üzere iki bölge meydana gelmektedir. Etkin olmayan bölge, parabol şeklindedir. Bu parabol eğrisinin etriyelerden düşey yönde 45° lik başlangıç açısı ile başladığı kabul edilmektedir. Etriyelerin sarmaladığı bölgenin alanı A_e ile gösterilmekte olup etriye aralığının yarısı kadar bir azaltma yaparak hesaplanmaktadır (Şekil 2.2 ve 2.3). A_c alanı ise etriyelerin ortasından ortasına olan aralık kullanılarak hesaplanmaktadır. A_{cc} ise bu alan yardımıyla,

$$A_{cc} = A_c(1 - \rho_{cc}) \quad (2.6)$$

şeklinde hesaplanabilir. Bu eşitlikte ρ_{cc} boyuna donatının alanının kesit çekirdek alanına oranıdır. Etriyenin sargı etkisiyle oluşan basınç gerilmesi düzgün yayılı kabul edilirse, etriye için efektiflik katsayısı k_e ,

$$k_e = \frac{A_e}{A_{cc}} \quad (2.7)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada belirtilen A_e ve A_{cc} alanları spiral veya dairesel kesitli etriyeler için

$$A_e = \frac{\pi}{4} \left(d_s - \frac{s'}{2} \right)^2 = \frac{\pi}{4} d_s^2 \left(1 - \frac{s'}{2d_s} \right)^2 \quad (2.8.a)$$

$$A_{cc} = \frac{\pi}{4} d_s^2 (1 - \rho_{cc}) \quad (2.8.b)$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. Burada s' etriyeler arası net aralığı d_s ise iki düşey donatının kenarları arasındaki spiralın çapını belirtmekte olup dairesel ve spiral etriyeli kesitler için k_e

$$k_e = \frac{\left(1 - \frac{s'}{2d_s} \right)^2}{1 - \rho_{cc}} \quad (\text{daireseel etriye}) \quad (2.9.a)$$

$$k_e = \frac{1 - \frac{s'}{2d_s}}{1 - \rho_{cc}} \quad (\text{spiral etriye}) \quad (2.9.b)$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır.

Etriyede akma meydana gelirse düzgün yayılı bir çekme gerilmesi ortaya çıkar bu nedende betonun çekirdek bölgesinde üniform bir yanal bir gerilme meydana gelir. Aynı zamanda hem spiral hem de dairesel şekilli etriyeler için yanal kısıtlama basıncı etriyeli gövdenin yarısı dikkate alınarak hesaplar yapılabilir. Böylece, betonarme elemanda oluşacak kuvvetlerin dengesi,

$$2f_{yh}A_{sp} = f_l s d_s \quad (2.10)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Bu eşitlikte, etriye donatısının akma dayanımı f_{yh} , bu donatının alanı A_{sp} ’ dir. f_l , betonun yanal kısıtlama basıncını, s spiral/dairesel etriyelerde merkezden merkeze olan mesafesini ve ρ_s ise etriyeli betonun çekirdek hacminin etriyenin hacmine oranını göstermekte olup,

$$\rho_s = \frac{A_{sp}\pi d_s}{\frac{\pi}{4}d_s^2 s} = \frac{4A_{sp}}{d_s s} \quad (2.11)$$

denklemleri ile elde edilmektedir. (2.10) denklemindeki betonun yanal kısıtlama basıncı,

$$f_l = \frac{1}{2}\rho_s f_{yh} \quad (2.12)$$

eşitlikleri ile hesaplanmakta olup efektif yanal kısıtlama gerilmesi, f'_l , ise

$$f'_l = f_l k_e \quad (2.13.a)$$

$$f'_l = \frac{1}{2}k_e \rho_s f_{yh} \quad (2.13.b)$$

bağıntılarıyla hesaplanmaktadır.

2.1.3. Dikdörtgen Etriye Kesitler için Efektif Kısıtlama Parametresinin Hesaplanması

Şekil 2.3’ de görüldüğü gibi çekirdek bölgesi dışında kalan betonun şekli bir parabol benzemekte olup başlangıç açısı 45° dir. Bu bölge, 2 boyuna donatı arasındaki temiz açıklık w'_i yardımıyla $(w'_i)^2/6$ şeklinde hesaplanmaktadır. Betonun en kesit seviyesinde n tane boyuna donatı çubuğun bulunduğu kabul edilirse, toplam betonun etkin olmayan çekirdek beton alanı, aşağıda gibi hesaplanabilir.

$$A_i = \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6} \quad (2.14)$$

Etkin alan, Denklem (2.14)' de verilen toplam etriyeli etkin olmayan beton çekirdek alanının, toplam alandan farkı alınırsa,

$$A_e = \left(b_c d_c - \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6} \right) \left(1 - \frac{s'}{2b_c} \right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c} \right) \quad (2.15)$$

şeklinde hesaplanabilir. Bu eşitlikte verilen b_c , x yönünde ve d_c , y yönünde bulunan etriyenin boyutlarını belirtmektedir. Ayrıca, çirozlu dikdörtgen etriyeler için efektif kısıtlama katsayısı Denklem (2.6)' da elde edilen A_{cc} yardımıyla aşağıdaki denklem kullanılarak,

$$k_e = \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6b_c d_c} \right) \left(1 - \frac{s'}{2b_c} \right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c} \right)}{(1 - \rho_{cc})} \quad (2.16)$$

şeklinde hesaplanabilir. Denklem (2.11)' de verilen hacimsel oran ifadesi x ve y yönlerinde çalışan farklı etriye miktarına sahip dikdörtgen kesitli betonarme elemanlar için

$$\rho_x = \frac{A_{sx}}{s d_c} \quad (2.17.a)$$

$$\rho_y = \frac{A_{sy}}{s b_c} \quad (2.17.b)$$

olarak kullanılabilir. Bu denklemlerdeki A_{sx} ve A_{sy} sırasıyla x ve y yönlerinde çalışan enine çubukların toplam alanını göstermektedir. Böylece, x ve y yönleri için betonun yanal kısıtlama gerilmeleri,

$$f_{lx} = \frac{A_{sx}}{s d_c} f_{yh} = \rho_x f_{yh} \quad (2.18.a)$$

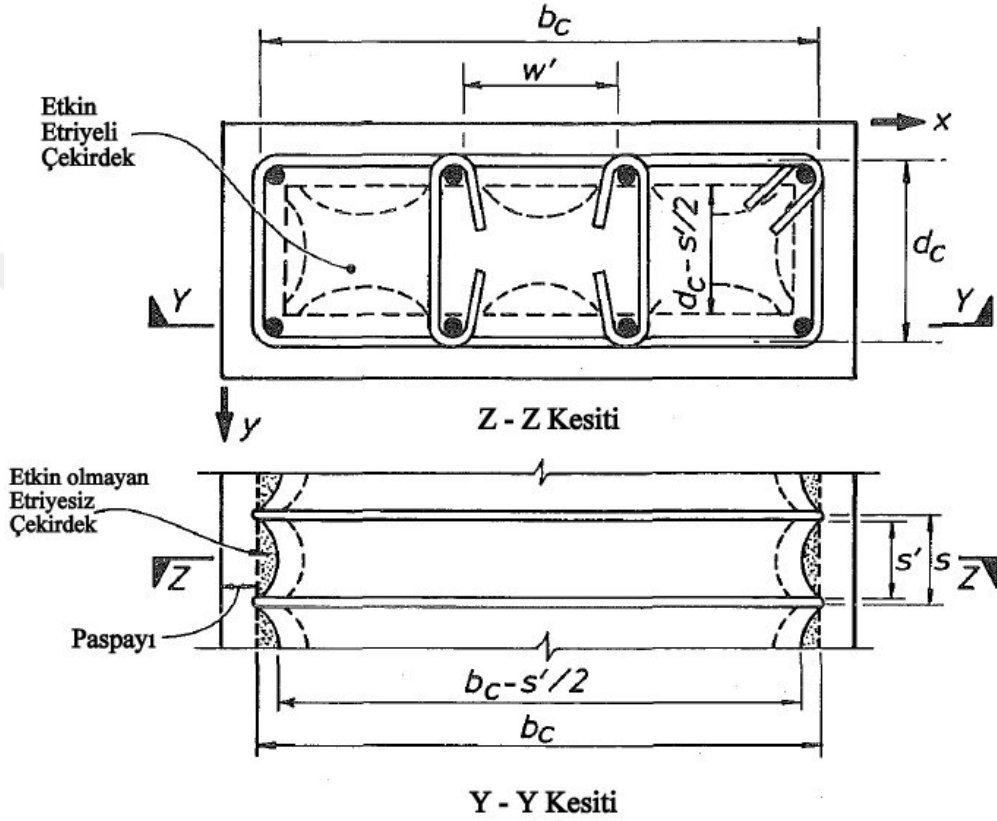
$$f_{ly} = \frac{A_{sy}}{s b_c} f_{yh} = \rho_y f_{yh} \quad (2.18.b)$$

eşitlikleri kullanılarak elde edilebilir. Yukarıda verilen denklemler kullanılarak x ve y yönleri için efektif yanal kısıtlama gerilmeleri,

$$f'_{lx} = k_e \rho_x f_{yh} \quad (2.19.a)$$

$$f'_{ly} = k_e \rho_y f_{yh} \quad (2.19.b)$$

olarak hesaplanabilir.



Şekil 2.3. Dikdörtgen donatılı etriyeler için etkin etriye çekirdeği

2.1.4. Basınç Dayanımı f'_{cc} (Etriyeli Betonlar İçin)

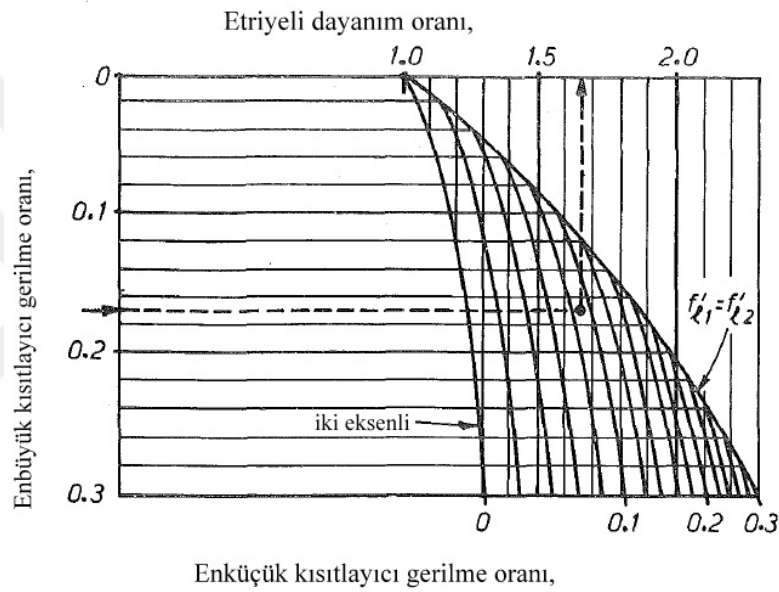
Bu çalışmada, çok eksenli basınç gerilmeleri için önerilen William ve Warnke [11] Beş parametrelili Göçme Yüzeyi Modeli kullanılarak etriyeli betonun basınç dayanımı f'_{cc} hesaplanmaktadır. Bu model üç eksenli test verilerinin iyi bir uyum sağladığı belirlenmiştir. Bu modelin en son dayanım yüzeyi ise Schickert ve Winkler [12]' in üç eksenli testlerine dayanmaktadır. Yüzeyin hesaplama detaylarını ise Elwi ve Murray [13] sunmuştur.

Şekil 2.4' de iki yanal çevresel gerilme altında etriyeli betonun dayanım oranı değerlerine ait eğriler görülmektedir. Beton çekirdek alanı, eşit çevreleme basınç gerilmesi,

f'_l ile üç eksenli basınç gerilmesi etkisi altında olduğu kabul edilirse betonun basınç dayanımı,

$$f'_{cc} = f'_{co} \left(-1,245 + 2,254 \sqrt{1 + \frac{7,94 f'_l}{f'_{co}}} - 2 \frac{f'_l}{f'_{co}} \right) \quad (2.20)$$

denklemleriyle hesaplanabilir. f'_{co} etriyesiz betonun basınç dayanımını ifade ederken, efektif yanal kısıtlama gerilmesi, f'_l ise Denklem (2.13)' den hesaplanmaktadır.



Şekil 2.4. Etriye dayanımının dikdörtgen kesitler için belirlenmesi

2.1.5. Monotonik Çekme Yüklemesi

Çekme dayanımını aşmayan boyuna doğrultudaki gerilmeler için lineer elastik davranış kabul edilmekte aksi durumda çekme dayanımının sıfır olduğu düşünülmektedir. Böylece,

$$f_c < f'_t \text{ için } f_c = E_c \varepsilon_c;$$

$$f_c \geq f'_t \text{ için } f_c = 0$$

denklemleri yazılabilir. Bu denklemde E_c betonun teğet elastisite modülünü göstermekte olup Denklem (2.3.b) ile hesaplanmaktadır. ε_c , betonun boyuna doğrultudaki çekme şekil değiştirmesini ve f_t' ise betonun çekme dayanımını göstermektedir

2.2. Tekrarlı Yükler Altında Betonun Gerilme-Şekil Değiştirme Bağlıları

Monotonik yükleme eğrisi, tekrarlı yükler altında betonun tek eksenli gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin zarfı şeklindedir. Bu eğri, Sinha ve ark. [14] ile Karsan ve Jirsa' nın etriyesiz düzlem beton numuneler üzerinde yaptıkları deneysel çalışmaların sonuçlarına dayandırılmıştır [15]. Bu kabul Mander ve ark. [16] tarafından yapılan deney sonuçları için kabul edilebilir sınırlarda olduğu görülmüştür.

2.2.1. Yükleme/Boşaltma Eğrileri

Betonun yük boşaltma çekme ve basınç gerilmeleri altında ayrı ayrı gerilme-şekil değiştirme eğri kullanılarak hesaplanmaktadır.

2.2.1.1 Basınç Yükleme/Boşaltma Eğrileri

Şekil 2.5' de betonun tek eksenli gerilme-şekil değiştirme eğrisinin bir yükleme/boşaltma eğrileri görülmektedir. Buna göre Denklem (2.1) ile verilen basınç yükleme eğrisi yardımıyla bir geri dönüş gerilme-şekil değiştirme eğrisi kullanılmaktadır. Burada, ε_{pl} plastik şekil değiştirmesinin hesaplanması için yük boşaltma eğrisi üzerinde yer alan $(\varepsilon_{un}, f_{un})$ geri dönüş noktasının koordinatları kullanılmaktadır. Burada kullanılan yöntem Takiguchi ve ark. [17] tarafından kullanılan yöntem benzerdir. Bu yöntem, hem etriyesiz hem de etriyeli betonlar için geliştirilerek rahatlıkla kullanılabilir hale getirilmiştir. Şekil 2.5' de görüldüğü gibi sekant yük boşaltma açısı (E_{sec}) kullanılarak ε_{pl} plastik şekil değiştirme değeri hesaplanmaktadır. Burada, ε_a şekil değiştirmesi, basınç zarf eğrisinin başlangıç teğeti ile secant plastik yük boşaltma eğrisinin kesişim noktası olarak elde edilmektedir. ε_a ,

$$\varepsilon_a = a\sqrt{\varepsilon_{un}\varepsilon_{cc}} \quad (2.21)$$

denklemleri ile hesaplanabilir. Burada a katsayısı,

$$a = \frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{cc} + \varepsilon_{un}} \quad (2.22.a)$$

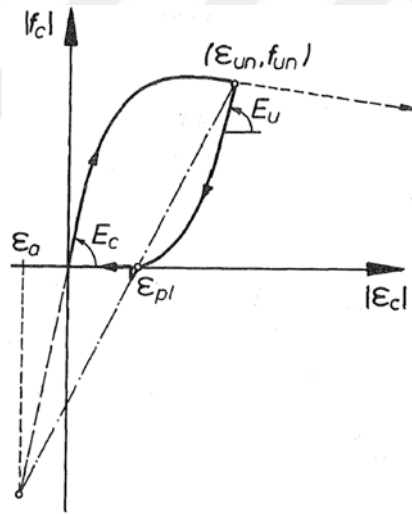
veya

$$a = \frac{0,09\varepsilon_{un}}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.22.b)$$

eşitlikleri ile seçilmesi gerektiği ifade edilmiştir [17]. Plastik şekil değişiminin ε_a ve ε_{un} arasındaki sekant doğrusu üzerinde yer alması için ε_{pl} plastik şekil değişimi,

$$\varepsilon_{pl} = \varepsilon_{un} - \frac{(\varepsilon_{un} + \varepsilon_a)f_{un}}{(f_{un} + E_c\varepsilon_a)} \quad (2.23)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır.



Şekil 2.5. Plastik şekil değişimi ε_{pl} 'nin belirlenmesi

Denklemler (2.1)'de verilen eşitlik Şekil 2.5'de görülen yük boşaltma eğrisi için dikkate alınır,

$$f_c = f_{un} - \frac{f_{un}xr}{r-1+x^r} \quad (2.24)$$

$$r = \frac{E_u}{E_u - E_{sec}} \quad (2.25)$$

$$E_{sec} = \frac{f_{un}}{\varepsilon_{un} - \varepsilon_{pl}} \quad (2.26)$$

$$x = \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_{un}}{\varepsilon_{pl} - \varepsilon_{un}} \quad (2.27)$$

denklemleri yazılabilir. Burada, E_u yük boşaltma eğrisinin başlangıcındaki ilk elastisite modülünü göstermekte olup,

$$E_u = bcE_c \quad (2.28.a)$$

$$b = \frac{f_{un}}{f_{co}} \geq 1 \quad (2.28.b)$$

$$c = \left(\frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{un}} \right)^{0,5} \leq 1 \quad (2.28.c)$$

eşitlikleri ile elde edilmektedir. Etriyeli betonlar için ise Mander ve ark. [16], etriyesiz betonlar için Karsan ve Jirsa [15] ile Sinha ve ark. [14]' nın yaptığı çalışmalardan kullandığımız deneysel eğriler alınmıştır. Eğer yeni bir yükleme durumundan yük boşaltma durumuna geçiş olursa, o anki plastik şekil değiştirme ε_{pl} kullanılmaktadır.

2.2.1.2.Çekme Yük Boşaltma Durumu

Moria ve Kaku [18] basınç yükü altında betonun çekme dayanımı üzerinde ön yüklemenin etkisini incelemişlerdir. Yapılan test sonuçlarına dayalı olarak, basınç şekil değiştirmesinden dolayı çekme dayanımındaki azalma Şekil 2.6' da görüldüğü gibi hesaplanmaktadır. Çekme dayanımındaki azalım,

$$f_t = f_t' \left(1 - \frac{\varepsilon_{pl}}{\varepsilon_{cc}} \right) \quad (2.31)$$

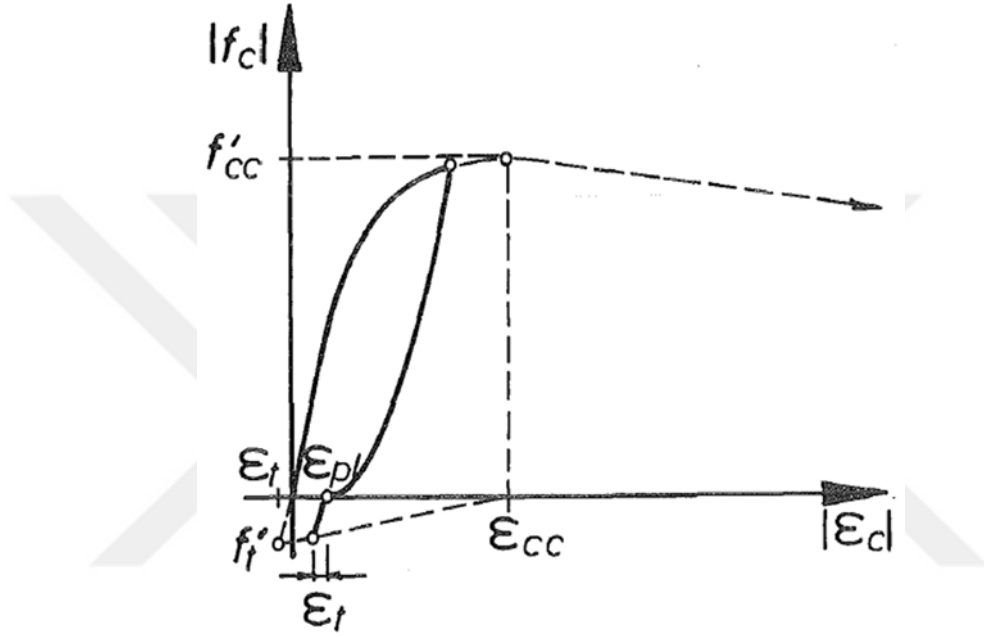
olarak hesaplanabilir. Aynı zamanda Şekil 2.6' da görüldüğü gibi $\varepsilon_{pl} > \varepsilon_{cc}$ olursa $f_t = 0$ olmaktadır. Böylece (2.31) denklemi için,

$$f_t = E_t (\varepsilon_c - \varepsilon_{pl}) \quad (2.32)$$

$$E_t = \frac{f_t}{\varepsilon_t} \quad (2.33)$$

$$\varepsilon_t = \frac{f_t'}{E_c} \quad (2.34)$$

durumları dikkate alınmaktadır. Çekme şekil değiştirme değerinin aşılması durumunda başka bir değişle $\varepsilon_c > (\varepsilon_t - \varepsilon_{pl})$ olduğunda çatlaklar açılır ve betonun çekme dayanımı sonraki tüm yükleme adımları için sıfır kabul edilir.



Şekil 2.6. Bozulmanın basınç yüklemesinden dolayı betonun çekme gerilmesindeki gösterimi

2.2.3. Tekrar Yükleme Kolları

Şekil 2.7' de beton modelinin yükleme ve boşaltma eğrileri görülmektedir. Bu eğri üzerinde tekrar yükleme noktası koordinatları $(\varepsilon_{ro}, f_{ro})$ ya yükün boşaltma eğrisi kullanılarak veya çatlak oluşması halinde $\varepsilon_{ro} = (\varepsilon_{pl} - \varepsilon_t)$ ve $f_{ro} = 0$ eşitlikleri kullanılarak elde edilmektedir (Şekil 2.7). ε_{ro} ve ε_{un} arasında doğrusal bir ilişki olduğu kabul edilmiş olup değiştirilmiş gerilme değeri için yeni bir gerilme noktası hesaplanmakta olup (f_{new}) ,

$$f_{new} = 0,92f_{un} + 0,08f_{ro} \quad (2.35)$$

eşitliği ile bu yeni gerilme değeri hesaplanmaktadır.

Denklem (2.35)' deki katsayılar deneysel veriler yardımıyla elde edilmiştir. Burada yük boşaltma eğrisi ve basınç zarf eğrisi arasında bulunan geçiş eğrisinin doğrusal olduğu kabul edilmektedir. Böylece tekrar yükleme durumunda basınç gerilmesinin değeri ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$f_c = f_{ro} + E_r(\varepsilon_c - \varepsilon_{ro}) \quad (2.36)$$

Buradaki E_r

$$E_r = \frac{f_{ro} - f_{new}}{\varepsilon_{ro} - \varepsilon_{un}} \quad (2.37)$$

bağıntısıyla elde edilmektedir. Betonun basınç iskelet eğrisi üzerine geçiş için Denklem (2.1) ve $(\varepsilon_{re}, f_{re})$ koordinatları kullanılmaktadır. Buradaki parabolik geçiş eğrisi,

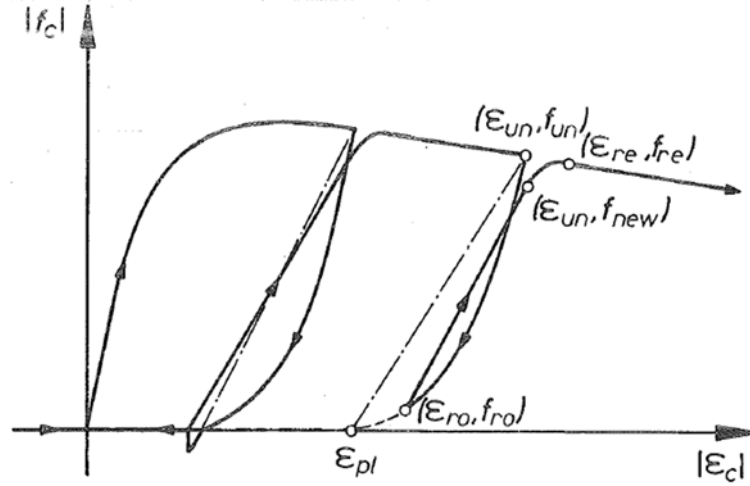
$$f_c = f_{re} + E_{re}x + Ax^2 \quad (2.39)$$

$$x = (\varepsilon_c - \varepsilon_{re}) \quad (2.40)$$

$$A = \frac{E_r - E_{re}}{-4[(f_{new} - f_{re}) - E_r(\varepsilon_{un} - \varepsilon_{re})]} \quad (2.41)$$

$$\varepsilon_{re} = \varepsilon_{un} + \frac{f_{un} - f_{new}}{E_r(2 + \frac{f_{cc}}{f_{co}})} \quad (2.38)$$

eşitlikleri ile elde edilmektedir. Burada E_{re} geri dönüş noktasındaki teğet elastisite modülünü, ε_{re} geri dönüş şekil değiştirmesini, ve f_{re} geri dönüş noktasında elde edilen gerilmeyi ifade etmektedir.



Şekil 2.7. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin tekrarlı yükleme kolları durumu

2.3. Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi Üzerinde Şekil Değiştirme Hızının Etkisi

Artırılmış şekil değiştirme hızı ile yüklenen betonun hem dayanım hem de elastisite modülünde artışlar görülmektedir. Yüksek şekil değiştirme hızları altında betonun davranışı üzerine birçok araştırma yapılmıştır [19-24].

Düşük şekil değiştirme hızları altında betonun gerilme şekil değiştirme bağıntıları Denklem (2.1)-(2.41)' de verilmiştir. Aynı zamanda, bu bağıntılar yüksek şekil değiştirme hızları için etriyesiz betonlara ait f'_{co} , E_c ve E_{co} değişkenleri yardımıyla uygulanacaktır. Bu değişkenler, $\dot{\epsilon}_c$ betonun şekil değiştirme hızıyla ilişkilendirilerek elde edilmektedir. Bu değişkenler deneysel verilere dayandırılarak hesaplanmaktadır [16].

2.3.1. Betonun Dinamik Basınç Dayanımı

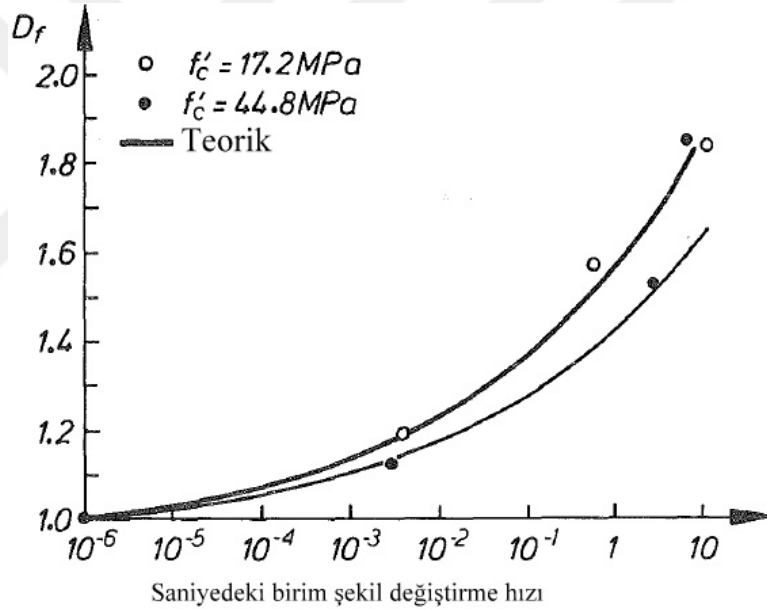
Dinamik yükler altında betonun basınç dayanımı,

$$(f'_{co})_{dyn} = D_f f'_{co} \quad (2.42)$$

eşitliği ile elde edilmektedir. Bu eşitlikte, f'_{co} , betonun yarı-statik basınç dayanımını, D_f ise dinamik büyütme faktörünü belirtmekte olup

$$D_f = \frac{1 + \left[\frac{\dot{\epsilon}_c}{0,035(f'_{co})^2} \right]^{1/6}}{1 + \left[\frac{0,00001}{0,035(f'_{co})^2} \right]^{1/6}} \quad (2.43)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Bu denklemlerde bulunan $\dot{\epsilon}_c$, şekil değiştirme hızını göstermekte olup birimi s^{-1} dir. f'_{co} ' ın birimi ise MPa' dır. Dinamik büyütme faktörü D_f ' e ait (2.43) bağıntısı, farklı dayanıma sahip düzlem beton numuneler üzerinde Watstein [19]' nın yaptığı deneysel sonuçlara eğri uydurularak hesaplanmıştır. İki farklı dayanıma sahip beton için elde edilen deneysel sonuçlarla Denklem (2.43)' e ait eğrinin karşılaştırılması Şekil 2.8' de görülmektedir.



Şekil 2.8. Dayanım üzerinde şekil değiştirme hızı etkileri için izin verilen D_f dinamik büyütme faktörü

2.3.2. Betonun Dinamik Elastisite Modülü

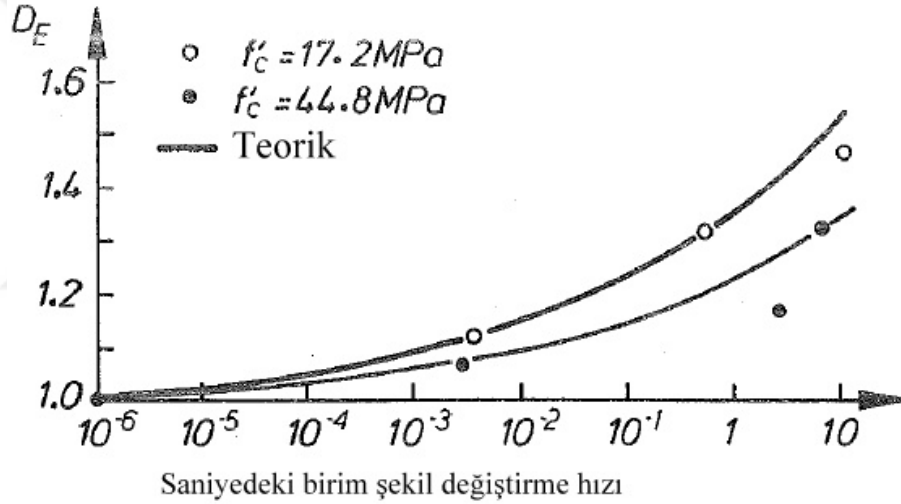
Betonun dinamik elastisite modülü,

$$(E_c)_{dyn} = D_E E_c \quad (2.44)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte D_E , elastisite modülü için dinamik büyütme faktörü, E_c betonun yarı-statik elastisite modülünü belirtmekte olup,

$$D_E = \frac{1 + \left[\frac{\varepsilon_c}{0,035(f'_{co})^3} \right]^{1/6}}{1 + \left[\frac{0,00001}{0,035(f'_{co})^3} \right]^{1/6}} \quad (2.45)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır [19]. İki farklı dayanıma sahip beton için Denklem (2.45)' e ait eğri ile Watstein [19] tarafından elde edilen deneysel sonuçların karşılaştırılması Şekil 2.9' da görülmektedir.



Şekil 2.9. Elastisite modülü üzerinde şekil değiştirme hızı etkileri için izin verilen D_E dinamik büyütme faktörü

2.3.3. Maksimum Gerilmeye Karşılık Gelen Dinamik Şekil Değiştirme

Dinamik yüklere maruz betonun şekil değiştirme sınır değeri

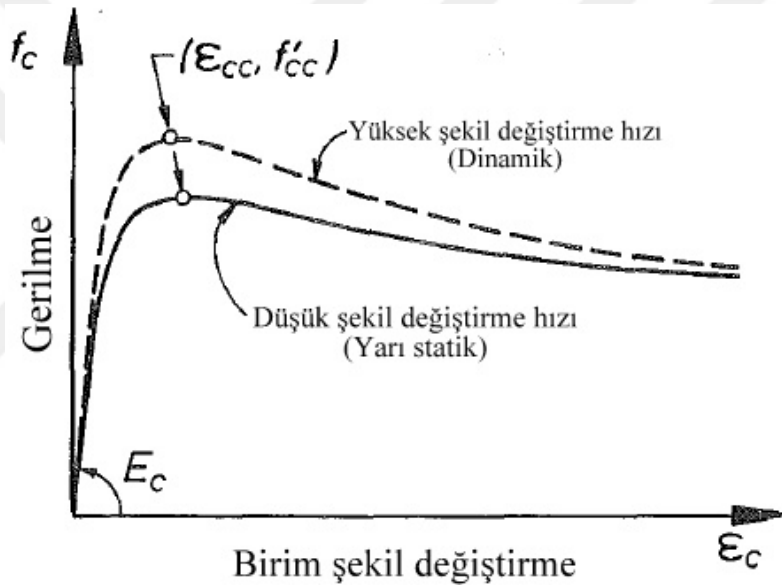
$$(\varepsilon_{co})_{dyn} = D_\varepsilon \varepsilon_{co} \quad (2.46)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte ε_{co} , yarı-statik yükleme altında betonun maksimum basınç gerilmesine karşılık gelen şekil değiştirmesini, D_ε ise şekil değiştirmeye ait dinamik ölçekleme faktörünü belirtmektedir. D_ε ise

$$D_\varepsilon = \frac{1}{3D_f} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{3D_f^2}{D_E}} \right) \quad (2.47)$$

eşitliği ile tanımlanmaktadır.

Farklı araştırmacıların yapmış olduğu deneylerin sonuçlarına göre yüksek şekil değiştirme hızları altında maksimum gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme için herhangi bir uzlaşma elde edilmemiştir. (2.47) eşitliği sabit dayanıma sahip betonlar üzerinde yapılan deneysel çalışmalar yardımıyla elde edilmiştir. Bu deneylerde şekil değiştirme hızı dikkate alınmamıştır. Birçok araştırma sonucu ile Denklem (2.47)' nin uyuştuğu grlmştir.



Şekil 2.10. Beton için tekil gerilme-şekil değiştirme ilişkisi üzerine şekil değiştirme hızının etkisi

(2.42)-(2.47) eşitlikleri kullanılarak betonun yüksek ve düşük şekil değiştirme hızları altındaki gerilme-şekil değiştirme eğrisinin tahmini için elde edilen sonuçlar Şekil 2.10' da grlmektedir. Bu eğrilerden şekil değiştirme hızının artışı ile dayanım (f'_{cc})' da ve başlangıç elastisite modülü (E_c)' de artışlara neden olurken maksimum gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme (ε_{cc}) değerinde azalışa neden olduğu grlmektedir. Ayrıca maksimum gerilmeden sonraki eğri kolunun eğiminde bir artış olduğu belirlenmiştir.

2.4. Çeliğin Tek Eksenli Gerilme-Şekil Değişirme Bağıntısı

Çeliğin gerilme-şekil değiştirme davranışı iki şekilde modellenmektedir. Bunlar iki lineer kollu izotropik ve kinematik pekleşmedir. Bu davranışlarla hesaplanan çözümlerde Bauschinger etkisi dikkate alınmamaktadır. Menegotto ve Pinto [25] ve Ramberg-Osgood [26] gibi çelik malzeme modellerinde Bauschinger etkisi dikkate alınmakta olup genelde donatı çeliğinin davranışı için bu iki model tercih edilmektedir. Bu tez çalışmasında, Menegotto ve Pinto [25] tarafından önerilen çelik modeli detaylı bir şekilde sunulmuştur.

2.4.1. Çelik için Menegotto-Pinto Modeli

Çeliğin lineer olmayan davranışının modellenmesinde Menegotto ve Pinto [25]' nun önerdikleri modelde Bauschinger etkisi dikkate alınmaktadır. Filippou ve ark. [27] Menegotto ve Pinto [25]' nun önerilen bu modeli, izotropik pekleşmeyi de dikkate alacak şekilde geliştirmişlerdir. Bu modelde, yükün boşaltıldığı durumlarda gerilme, plastik şekil değiştirme sınırından sonraki ikinci lineer doğruya asimptotik olarak bir şekilde yaklaşmaktadır. Böylece, Filippou ve ark. [27]' nin önerdiği modelde gerilme-şekil değiştirme arasındaki bağıntı,

$$\sigma^* = b \cdot \varepsilon^* + \frac{(1-b) \cdot \varepsilon^*}{(1+\varepsilon^{*R})^{1/R}} \quad (2.48)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde b teğet modülü, E^{pl} plastik elastisite modülünün, E , başlangıç elastisite modülüne oranı ile elde edilmektedir. R parametresi iki asimptotik nokta arasındaki geçiş eğrisinin eğriliğini etkileyen bir katsayıdır. Ayrıca eşitlikte bulunan σ^* , normalize edilmiş gerilmeyive ε^* , ise normalize edilmiş şekil değiştirmeyi belirtmekte olup,

$$\varepsilon^* = \frac{\varepsilon - \varepsilon_{rev}}{\varepsilon_0 - \varepsilon_{rev}} \quad (2.49)$$
$$\sigma^* = \frac{\sigma - \sigma_{rev}}{\sigma_0 - \sigma_{rev}}$$

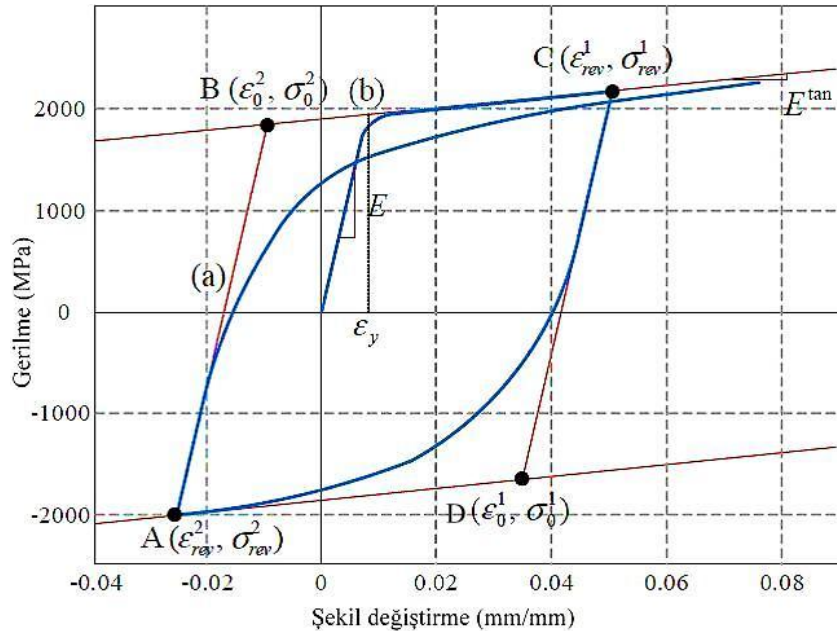
eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. Denklem (2.50)' de ifade edilen E^{tan} (eğri üzerindeki tanjant elastisite modülü) Denklem (2.48) ve (2.49) yardımıyla,

$$E^{tan} = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \frac{\sigma_0 - \sigma_{rev}}{\varepsilon_0 - \varepsilon_{rev}} \cdot \frac{d\sigma^*}{d\varepsilon^*} \quad (2.50)$$

Denklemleri ile hesaplanmaktadır. Burada $d\sigma^*/d\varepsilon^*$ için,

$$\frac{d\sigma^*}{d\varepsilon^*} = b + \left[\frac{1-b}{(1+\varepsilon^{*R})^{1/R}} \right] \cdot \left[1 - \frac{\varepsilon^{*R}}{1+\varepsilon^{*R}} \right] \quad (2.51)$$

eşitliği kullanılmaktadır. Şekil 2.11’ de görüldüğü gibi denklem (2.48) ile E eğimli bir doğrunun A başlangıç noktasından başlayıp başlangıç noktası B olan ve E^{pl} eğimli diğer bir doğruya pürüzsüz bir eğriyle asimptotik yaklaşmaktadır. Bu durum yüklemenin negatiften pozitifte doğru olduğu durum için geçerli olup A noktasına ait koordinatlar σ_{rev} ve ε_{rev} B noktasına ait koordinatlar ise σ_0 ve ε_0 ’ dır. Yüklemenin pozitiften negatife doğru olduğu durumda ise Şekil (2.11)’ de görüldüğü gibi A noktası C noktası olarak B noktası ise D noktası olarak hesaba katılmaktadır. Ayrıca bu noktaların koordinatları her bir yükleme durumu için güncellenmektedir.



Şekil 2.11. Menegotto-Pinto çelik modeli [28].

A , D veya B , C noktalarındaki şekil değiştirmeler arasındaki fark yardımıyla Denklem (2.48)' de belirtilen R parametresi hesaplanmaktadır (Şekil 2.12). Mevcut şekil değiştirmenin artan ya da azalan olup olmadığına bağlı olarak B iki asimptotun kesiştiği noktayı ve C ise önceki maksimum şekil değiştirmenin dönüş noktasını belirtmektedir. Menegotto-Pinto' nun [25] orijinal modelinde R parametresini elde ederken, (2.52) denklemini kullanılmaktadır.

$$R(\xi) = R_o - \frac{cR_1 \cdot \xi}{cR_2 + \xi} \quad (2.52)$$

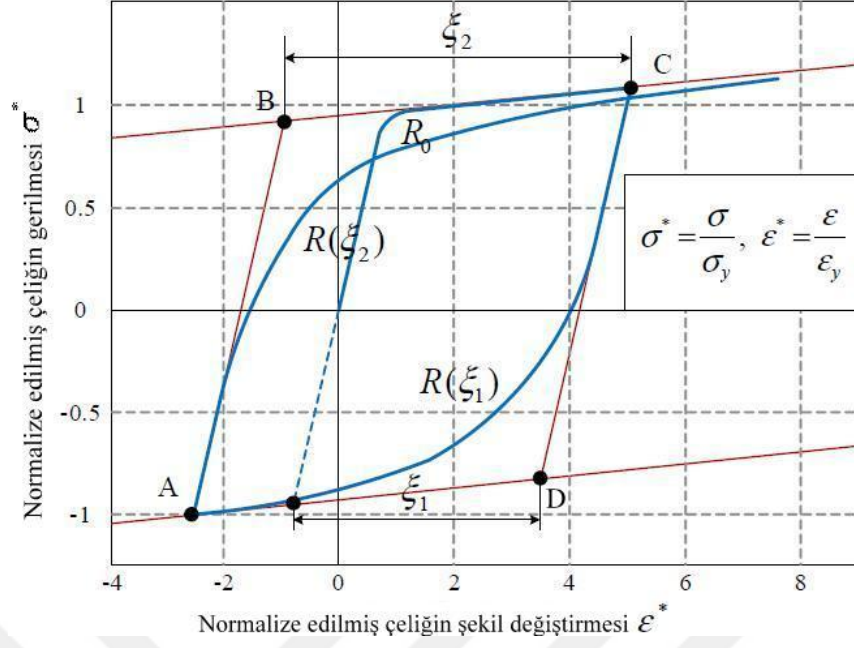
Mazzoni ve ark. [29] ise R parametresi için,

$$R(\xi) = R_o \left(1 - \frac{cR_1 \cdot \xi}{cR_2 + \xi} \right) \quad (2.53)$$

eşitliğini kullanmışlardır. Bu denklemde bulunan R_o başlangıç yüklemesi sırasındaki R katsayısının değerini, cR_1 ve cR_2 ise R_o ile birlikte deneysel olarak belirlenen katsayıları ifade etmektedir. ξ ise,

$$\xi = \left| \frac{\varepsilon^m - \varepsilon_o}{\varepsilon_y} \right| \quad (2.54)$$

denklemini ile elde edilmektedir. Denklem (2.54)' deki, ε^m önceki maksimum veya minimum şekil değiştirmenin artan veya azalan olup olmadığına bağlı olarak dönüş noktasındaki mevcut şekil değiştirmeyi belirtmektedir. Aynı zamanda ε_o , iki lineer doğrunun kesiştiği noktadaki şekil değiştirmeyi ve ε_y ise başlangıç akma şekil değiştirmesini belirtmektedir. Bu eşitliklerdeki ξ değeri her bir yükleme adımında tekrardan güncellenmektedir.



Şekil 2.12. Menegotto-Pinto [28] çelik modelinde eğrilik parametresi R' nin tanımlanması

Modelin doğruluğunu sağlayabilmek için doğru deneysel verilerin kullanılması gerekmektedir. Modelde yük boşaltma ve tekrar yükleme durumlarında E^{pl} eğimli doğrusunu asimptotik değerler tam olarak kesmemektedir.

3. STATİK İTME ANALİZİ İLE PERFORMANS TAYİNİ

3.1. Statik İtme Analizi

Statik itme analizi, yapıların yatay yükler etkisindeki davranış özelliklerinin ve performanslarının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Genel olarak bu analizde yapıya etkiyen yük, yatay olarak adım-adım arttırılarak uygulanmaktadır. Bu etki altında yapının en üst noktasına ait yer değiştirmeye karşılık taban kesme kuvvetinin grafikleri elde edilmektedir. Bu yük-yer değiştirme grafikleri yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışları dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

Statik itme analizi ile yapının performansının belirlenmesi, yapıya ait yük-yer değiştirme eğrisi (Binanın kapasite eğrisi) ile depremin talep eğrisinin kesiştirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde, binanın kapasite eğrisinin belirlenmesi, deprem etkisi talep eğrisinin belirlenmesi, söz konusu iki eğrinin kesiştirilerek binanın performans noktasının belirlenmesi ve bu performans noktasında binaya ait iç kuvvetler ve şekil değiştirme durumunun incelenerek istenen performans hedefinde binanın uygun olup olmadığının belirlenmesi şeklinde olmak üzere farklı adımlardan oluşmaktadır.

3.1.1. Binanın Kapasite Eğrisinin Belirlenmesi

Binanın kapasite eğrisi yani Pushover eğrisi, genellikle taban kesme kuvveti ile binanın tepe noktasının yatay yer değiştirmesi arasındaki bir bağıntıyı ifade etmektedir. “Deplasman Kontrollü” ve “Yük Kontrollü” şeklinde iki farklı hesaplama yöntemi kullanılarak bu analiz gerçekleştirilmektedir. Deplasman Kontrollü çözümlerde, yapının en üst katında seçilen düğüm noktaları için yer değiştirme değerleri sabit artımla istenen yer değiştirme değerine ulaşıncaya kadar binaya yük olarak etki ettirilmektedir. Kuvvet kontrollü yöntemde ise yapıya etkiyen yatay yük sabit bir yük artımıyla büyütülerek istenen yük seviyesine ulaşıncaya kadar yapı yüklenmektedir. Bu her bir yükleme durumu için her bir yapı elemanında ortaya çıkan kuvvet-yer değiştirme veya moment-dönme ilişkileri incelenerek elemanların hasar düzeyleri belirlenmektedir. Böylece hasar görmüş toplam elemanların yardımıyla yapının hasar düzeyi ortaya çıkartılmaktadır.

Bölgenin zemin karakteristikleri kullanılarak deprem etkisinin talep eğrisi için binaların inşa edileceği bölgeye ait spektrum ivme grafikleri çizilmektedir. Binanın kapasite

eğrisi ile deprem talep eğrisinin kesiştirilmesi amacıyla kapasite eğrisi deprem talep eğrisinin eksenlerine dönüştürülmektedir. Bu dönüşümde düşey eksen modal ivme, yatay eksen ise modal yer değiştirme olup dönüştürülen bu yeni eğriye ise “Kapasite Spektrum Eğrisi” veya “Modal Kapasite Eğrisi” adı verilmektedir. Dönüşüm işlemleri aşağıdaki bölümlerde detaylı bir şekilde verilmiştir.

3.1.2. Modal Kapasite Spektrumunun Eldesi

2007 yılında Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki yönetmelik raporundan faydalanılarak aşağıda sıralanan çeşitli adımlardan modal kapasite eğrisinin elde edilmesine ulaşabiliriz [30].

- Statik itme analizinde depremin etki doğrultusunda hakim yani birinci moda ait modal ivme S_a aşağıdaki denklemler kullanılarak elde edilir,

$$S_a = \frac{V_{x1}}{\alpha_1 W} \quad (3.1)$$

$$\alpha_1 = \frac{g}{W} \quad (3.2)$$

$$M_1^* = \frac{\left(\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1} \right)^2}{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}^2} \quad (3.3)$$

Bu denklemlerde verilen S_a spektral ivmeyi ve V_{x1} her bir statik itme adımı için birinci moda ait taban kesme kuvvetini ve M_1^* birinci moda ait etkin kütle belirtmektedir. Ayrıca N katsayısını belirtmekte olup m_i binanın i ' inci katına ait modal kütle, ϕ_{i1} ise birinci modun i ' inci katına ait modal yer değiştirme ve dönmelerini içermektedir. Denklem 3.1 ve 3.2' den görüldüğü gibi boyutsuz S_a spektral ivme değeri, yer çekimi ivmesi ile boyutlu hale getirilmektedir.

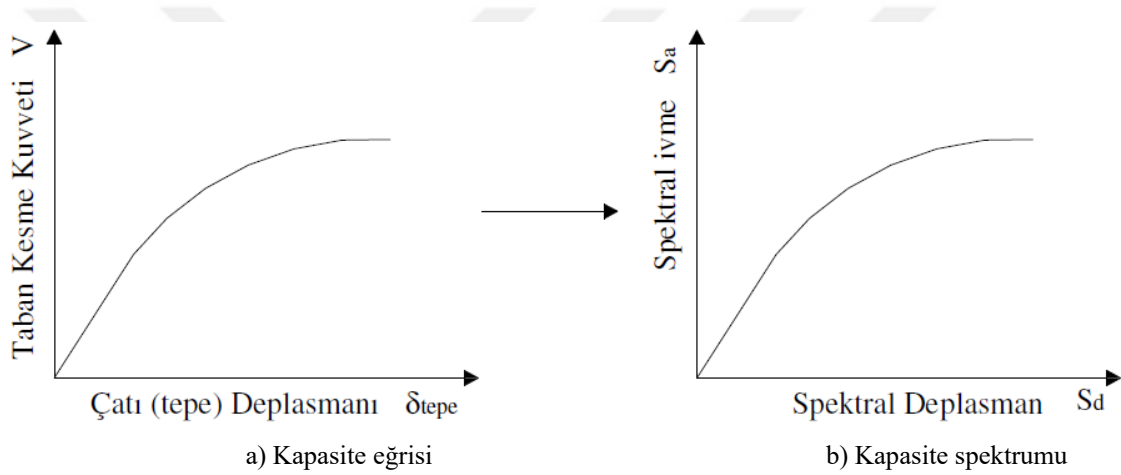
- Statik itme adımında birinci moda ait modal yer değiştirme S_d ,

$$S_d = \frac{u_{N1}}{\phi_{N1} \Gamma_1} \quad (3.4)$$

bağıntısıyla elde edilmektedir. Burada, S_d spektral yer değiştirmeyi ve u_{N1} her bir statik itme analizi için elde edilen birinci moda ait yer değiştirmeleri ve ϕ_{N1} ise birinci modun N . kata ait modal yer değiştirmesini göstermektedir. Γ_1 ise birinci moda ait modal katkı çarpanı olup aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\Gamma_1 = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}}{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}^2} \quad (3.5)$$

Yukarıda tanımlanan eşitlikler yardımıyla; tepe deplasmanı-taban kesme kuvveti eğrisinden spektral deplasman-spektral ivme grafiğinin elde edilmesi Şekil 3.1’ de görülmektedir.



Şekil 3.1. Kapasite ve Modal Kapasite Eğrileri [31].

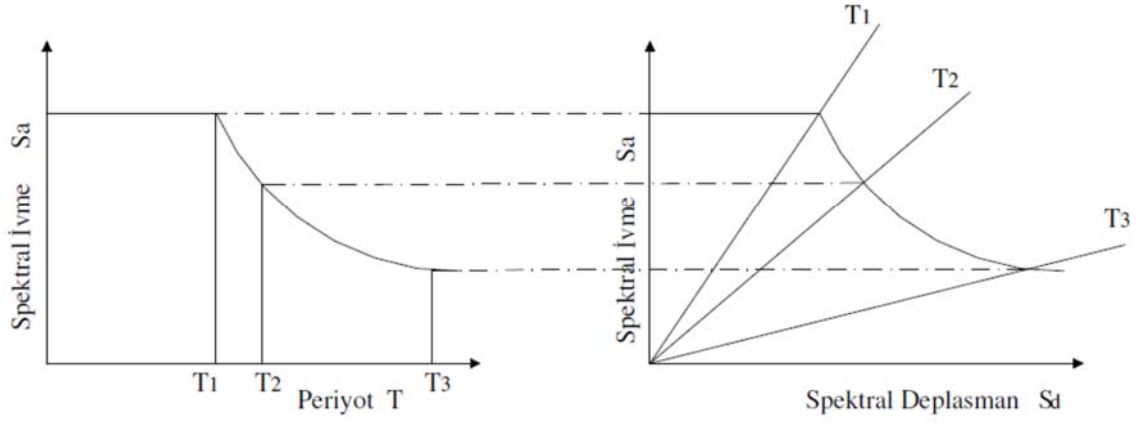
3.1.3. Talep Spektrum Eğrisinin Eldesi

İvme spektrum eğrilerinin yönetmeliklerde periyoda karşılık verilmektedir. Aynı zamanda, ivme spektrumu ile yer değiştirme spektrumu arasında,

$$S_d(T) = \frac{1}{\omega^2} g S_a(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} g S_a(T) \quad (3.6)$$

bağıntısı yazılabilir. Burada, $S_d(T)$ spektral yer değiştirme değerini, $S_a(T)$ ise spektral ivmeyi ifade eder, $S_a(T)$ spektral ivme değerleri ise yönetmelikte g yerçekimi ivmesiyle boyutsuz hale getirilmektedir. Deprem bölge katsayısı değerleri ve yer çekim ivmesi ile bu değerler boyutlu hale getirilmektedir. Yatay eksen için her bir periyot değeri dikkate alınıp spektral yer değiştirme değeri elde edilip bu değerlere karşılık spektral ivme değerlerinin

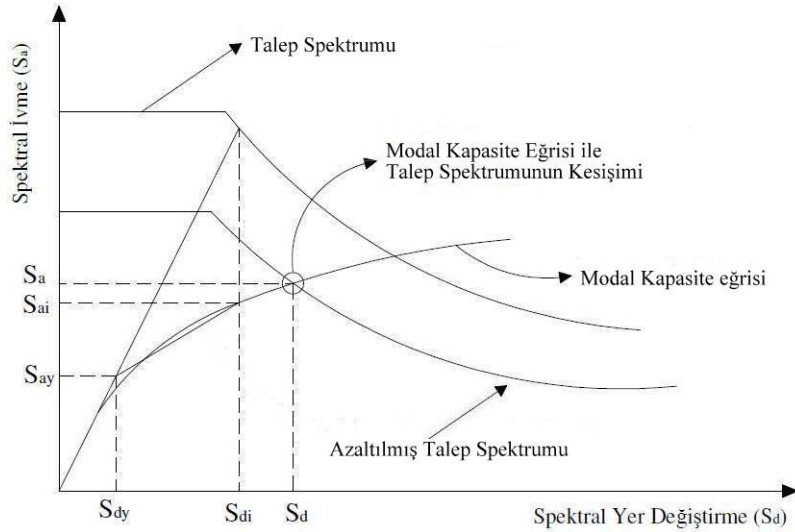
grafikleri çizilirse, “Karşılanması Gerekli Spektrum” veya “Talep Spektrumu” elde edilmiş olur. İvme spektrumunun talep spektrumuna dönüştürülmesi Şekil 3.2’ de görülmektedir.



Şekil 3.2. İvme Spektrumunun Talep Spektrumuna dönüştürülmesi [31].

3.1.4. Modal Kapasite ve Talep Spektrumlarının Kesiştirilmesi

Modal Kapasite ve Talep spektrumlarının kesiştirilmesi ile binanın bir performans noktası elde edilmektedir. Bu nokta, deprem yer hareketine karşılık binada oluşabilecek maksimum yapısal yer değiştirmenin değerini vermekte olup yapılan işlem Şekil 3.3’ te görülmektedir.



Şekil 3.3. Modal Kapasite ile Talep Spektrumlarının kesiştirilmesi [31].

3.1.5. Performans Seviyesinin Uygunluğunun Eldesi

Performans noktasının bulunmasından sonra bu noktanın binanın öngörülen performans seviyesinin koşullarını sağlayıp sağlamadığının tespiti; ilgili seviye için öngörülen sınırların kontrol edilmesiyle bulunmaktadır. Eğer bu sınırlar sağlanmıyorsa, performans seviyesinin değiştirilmesi veya taşıyıcı elemanların dayanımlarının ve rijitliklerinin artırılması gerekmektedir.

3.1.5.1. Bina için Kabul Kriterleri

Bu bölümde bahsi geçecek kriterler 3 kısımda açıklanabilir, bunlar; düşey yük kapasitesi, yatay yük kapasitesi ve katlar arası rölatif öteleme sınırıdır. Binanın performans noktasındaki toplam yatay yük kapasitesinin % 20' den daha fazla azalmaması gerekir. Bu nedenle deprem etkisindeki yükleme tekrarları sonucu oluşan dayanım azalması sınırlandırılmaktadır. Hasarın performans seviyelerine bağlı olarak binanın katlar arası yer değiştirmesinin kat yüksekliğine oranının Tablo 3.1' de verilen değerleri aşmaması gerekmektedir [33].

Tablo 3.1. Katlar arası yer değiştirmenin kat yüksekliğine oranının sınırı [32].

	Performans seviyeleri			
	Hemen kullanım	Hasar kontrolü	Can güvenliği	Yapısal stabilite
Katlar arası yer değiştirme/kat yüksekliği sınırı				
Maksimum toplam oranı	0.01	0.01-0.02	0.02	$0.33V_i/P_i$
Maksimum elastik ötesi yer değiştirme oranı	0.005	0.005-0.015	sınır yok	sınır yok

3.1.5.2. Elemanlar için Kabul Kriterleri

Modal Kapasite Spektrum eğrisi üzerinde elde edilen performans noktası için binadaki her elemanda oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmelerin hesaplanarak kabul edilen performans noktası şartlarını sağlayıp sağlamadığı ve ilgili sınır değerlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilmektedir. Eleman için gerekli olan kabul kriterleri, elemanda güç tükenmesini meydana getirecek olan kritik etkinin çeşidine bağlıdır. Kiriş ve kolonlarda meydana gelecek plastik mafsallı dönmelerinin, kiriş-kolon birleşim bölgelerinde kesme

kuvvetinden dolayı oluşacak kayma açısının ve perdelerdeki plastik mafsal dönmelerinin kabul sınırları dikkate alınarak kontrol edilmesi gerekmektedir [32].



4. SAYISAL UYGULAMA

Bu bölümde, 9 Kasım 2011 Van depreminde yıkılan Bayram otelin Statik İtme (Pushover) analizleri elde edilmiştir. Bu hesaplar yardımıyla Bayram oteline ait muhtemel yerel zemin ve malzeme sınıfları elde edilmiştir.

4.1. Binanın Tanımı

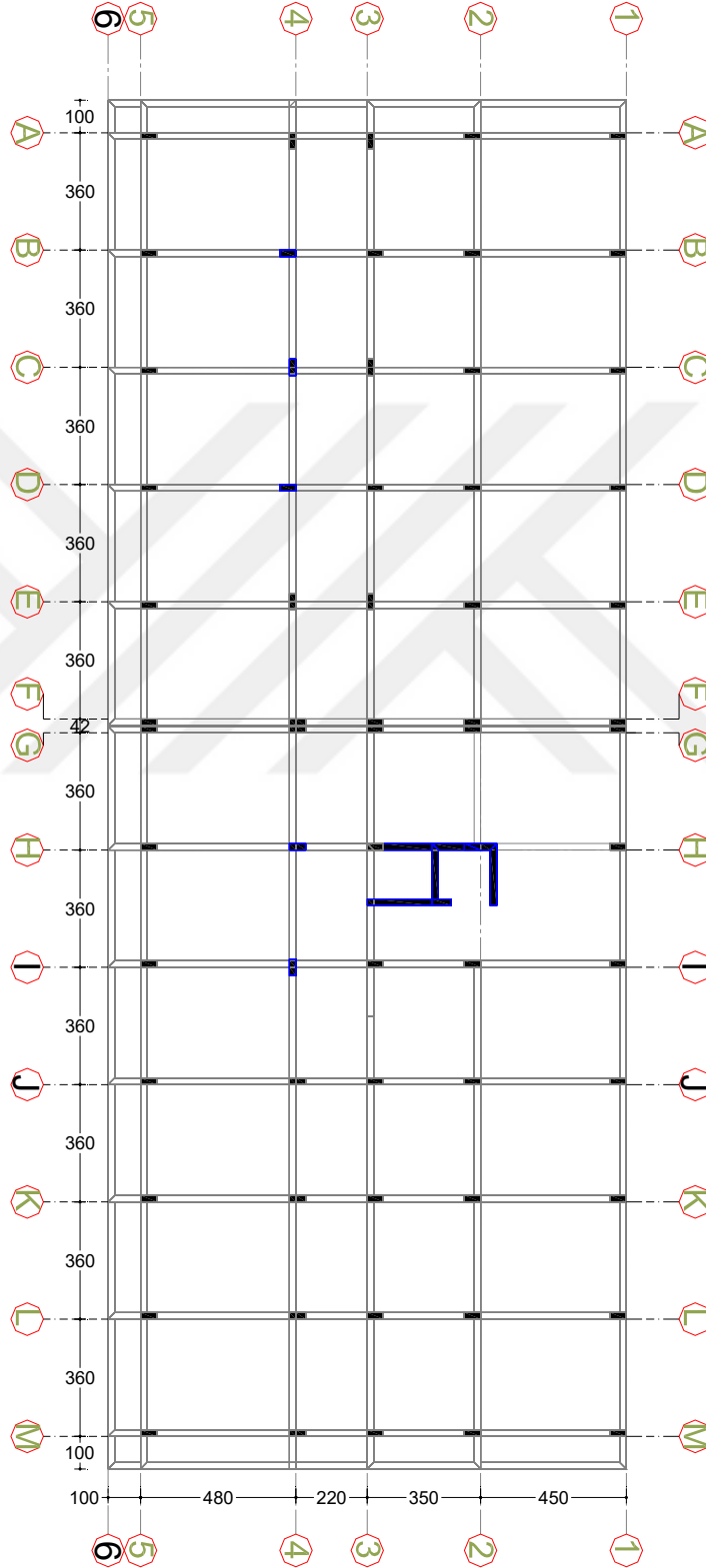
Bayram otel Van ili merkez ilçesi Cumhuriyet Caddesi üzerinde inşa edilmiştir. Bu otel bodrum, zemin ve 4 kattan oluşmaktadır. Şekil 4.1’ de görüldüğü gibi söz konusu bu bina iki kısımda inşa edilmiş olup planda $40(18.2+21.8) \times 15$ m oturma alanına sahiptir. Üst katlarda (1 ve 4’üncü katlar arası) 1m uzunluğunda konsollar yer almaktadır. Aynı zamanda bina, H-I ve 2-3 aksları arasında yer alan bir asansör perdesine sahiptir. Binanın bodrum katı 3 m, zemin katı 3.55 m, 1-4 üncü katlar arası kat yükseklikleri ise 3.10 m olup toplam bina yüksekliği 15.95 m’ dir. Ayrıca, döşeme kalınlıkları her katta 10 cm olup uniformdur. Binanın taşıyıcı sisteminde toplam 64 adet kolon ve 4 adet perde eleman mevcut olup tüm kirişler 20×50 cm ebatlarına sahiptir. Kolon ve perde elemanlarının boyut ve sayıları Tablo 4.2’ de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Binada bulunan kolon ve perde elemanların boyut ve sayıları

Kolon Boyutları	Kolon Sayısı
20×50	64
Perde Boyutları	Perde Sayısı
20×170	1
20×150	1
20×255	1
20×400	1

23 Ekim 2011 günü, Türkiye saati ile 13.41’ de meydana gelen Van depreminden sonra Bayram otel az veya orta hasar görmüştür. Van depreminden sonra 30 Ekim 2011’ e kadar bölgede Richter ölçeğine göre $2.0M_w$ ve üzeri 1561 artçı sarsıntı meydana gelmiştir [33]. Aynı bölgede Van iline bağlı Edremit ilçesinde 9 Kasım 2011 günü Türkiye saati ile 21.23’

de 5.6M_L büyüklüğündeki yeni bir deprem meydana gelmiştir. Bayram otel bu depremin etkisi ile tamamıyla yıkılmıştır (Şekil 4.2 ve 4.3) [34, 35].



Şekil 4.1. Zemin kat kalıp planı



Şekil 4.2. Bayram otelin güney cephesinden yıkılma durumu.

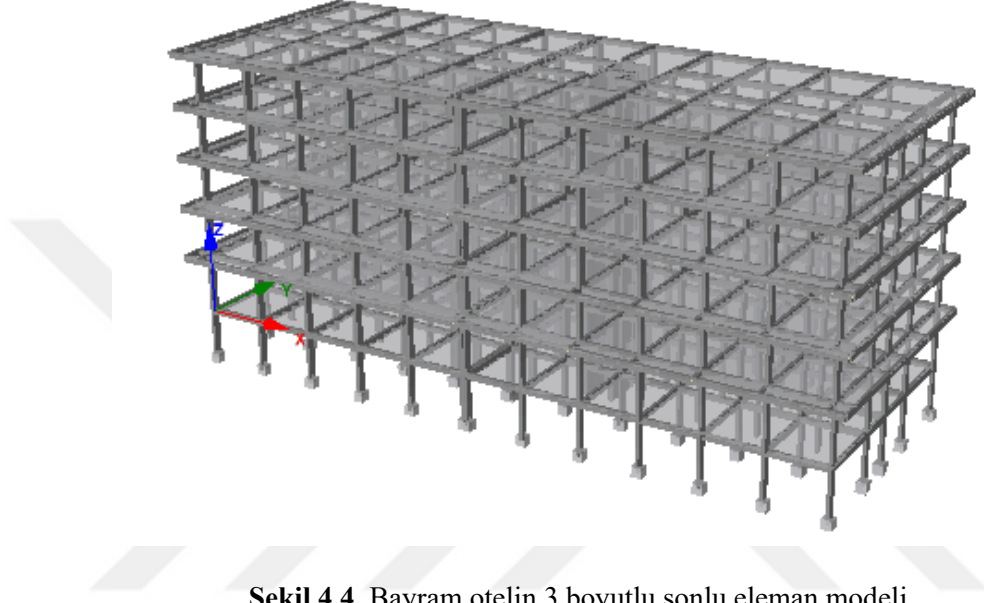


Şekil 4.3. Bayram otelin doğu cephesinden yıkılma durumu.

4.2. Bayram Otelin Statik İtme Analizleri

Bayram Otel' in projesinde malzeme sınıfları, beton için C16 ve çelik için S220 olarak belirtilmiştir [36]. Bu çalışmada, statik itme analizlerinden elde edilen Kapasite spektrum eğrileri, 23 Ekim 2011 tarihindeki ana depremin ve bölge için Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-2007 (ABYYHY-2007)' de 4 farklı zemin sınıfı için belirtilen Talep spektrum eğrileri çizilmiştir. Bu grafikler yardımıyla binanın malzeme ve zemin sınıflarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Statik itme analizleri, rijit temelli Bayram

otelinin betonarme malzemesinde donatı için S220 ve beton için C8, C10, C12, C14, C16, C18 ve C20 sınıfları kullanılmıştır. Binanın kat döşemeleri çözümlerde rijit diyafram olarak kabul edilmiştir. Çerçevelerin statik itme analizinde ölü ve hareketli yükler; kirişlerin üzerine yayılı yük olarak etki ettirilmiştir. Çözümler SeismoStruct bilgisayar programı yardımıyla elde edilmiş olup sonlu eleman modeli Şekil 4.4' de görülmektedir.



Şekil 4.4. Bayram otelin 3 boyutlu sonlu eleman modeli

Tablo 4.2. Farklı malzeme sınıfları için Bayram Otelin x yönüne ait Etkin Kütle ve modal katkı çarpanları

Malzeme Sınıfı	Modal katkı Çarpanı (Γ_1)	Etkin Kütle (M_1^*)
C12	3.2605	495.168
C14	3.2603	493.534
C16	3.2601	492.107
C18	3.2600	490.838
C20	3.2600	489.691

Statik itme analizleri yardımıyla x ve y yönleri için yapının taban kesme kuvvetine karşılık tepe yer değiştirmesi arasındaki doğrusal olmayan grafikler elde edilmiş ve söz konusu bu eğriler yapının etkin modu her iki eksen için dikkate alınıp modal kapasite Spektrum Eğrileri elde edilmiştir. Bayram otelin statik itme analizi sonucunda modal

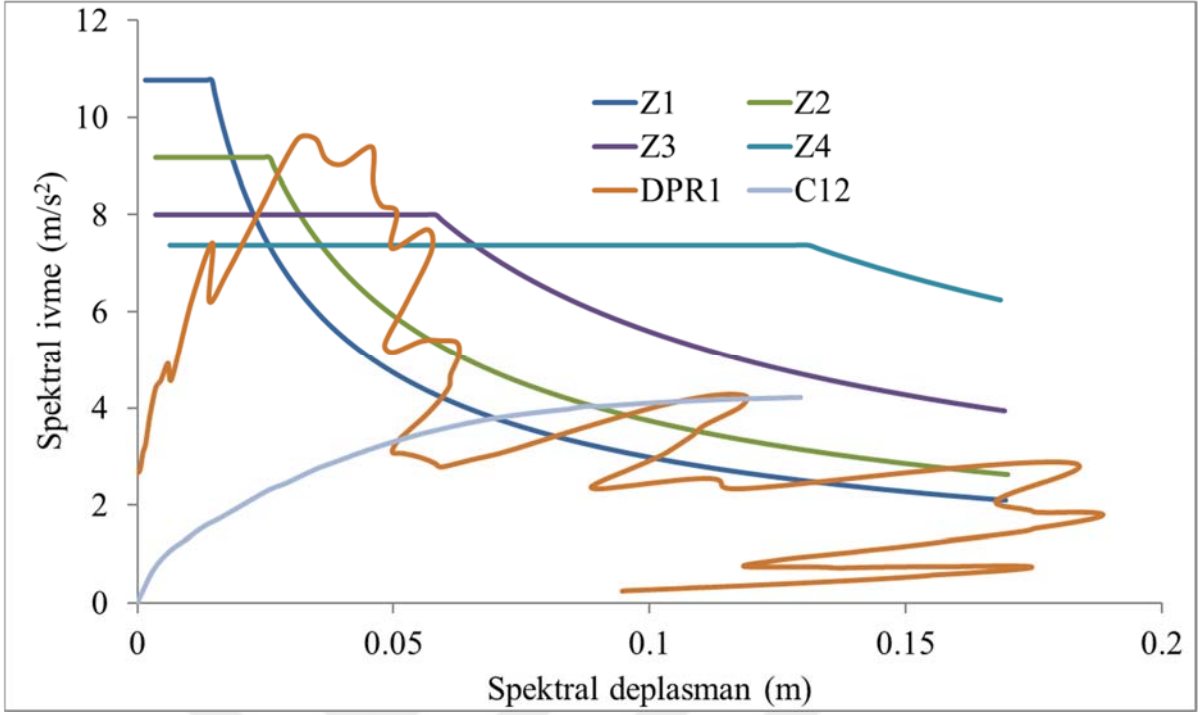
kapasite Spektrum Eğrilerinin elde edilmesi için yapının farklı beton sınıflarına ait modal analizleri yapılmıştır. Tablo 4.3 ve 4.4’ de x ve y yönleri için Bayram otelin modal katkı çarpanları ve Etkin kütle değerleri hesaplanmıştır. Bu otelin x yönü için modal katkı çarpanları ve Etkin kütle değerlerinde azalmalar görülmüştür. Yapının y yönü için modal katkı çarpanlarında artımlar ve Etkin kütle değerlerinde ise azalışlar görülmüştür.

Tablo 4.3. Farklı malzeme sınıfları için Bayram Otelin y yönüne ait Etkin Kütle ve modal katkı çarpanları

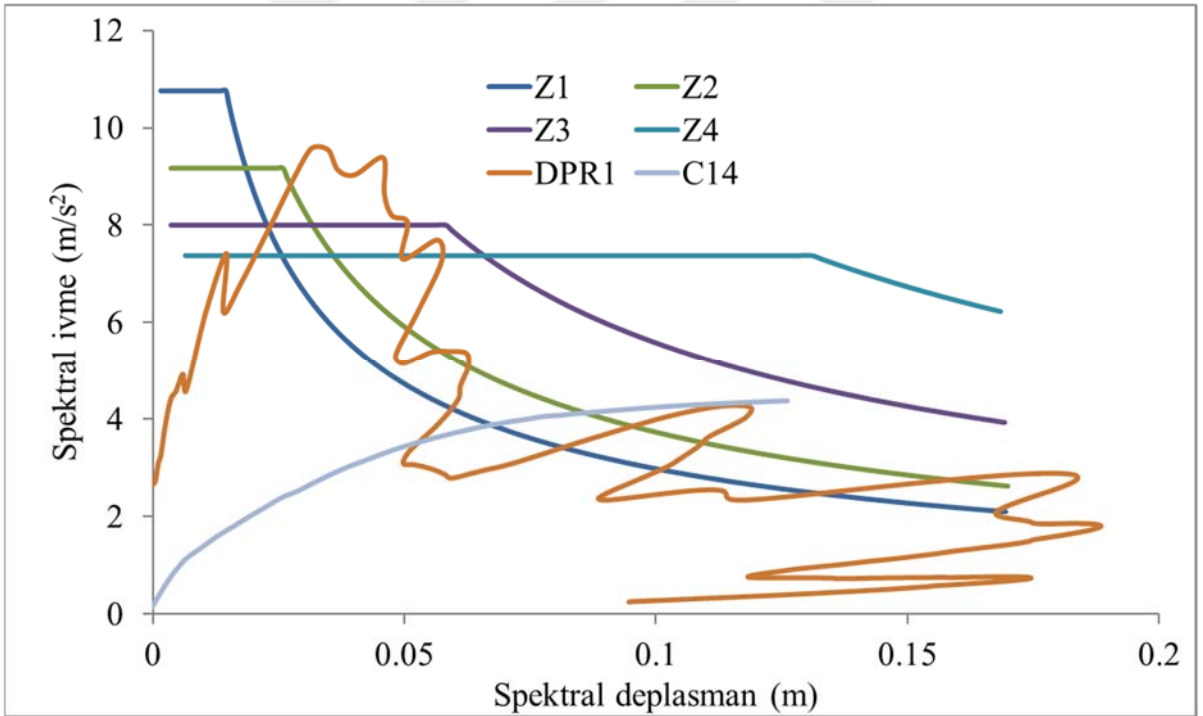
Malzeme Sınıfı	Modal katkı Çarpanı (Γ_3)	Etkin Kütle (M_3^*)
C12	0.945	685.572
C14	0.946	685.556
C16	0.946	685.542
C18	0.946	685.530
C20	0.947	685.519

Bu çalışmada, Bayram otelin C12, C14, C16, C18 ve C20 beton malzeme sınıfları ve S220 çelik sınıfı için statik itme analizleri elde edilmiş ancak C8 ve C10 malzeme sınıfları için statik itme çözümleri hesaplanamamıştır. Binanın söz konusu malzeme sınıfları için modal kapasite eğrileri Denklem (4.1)-(4.5) kullanılarak x yönü için Şekil 4.5-4.7’ de y yönü için ise Şekil 4.8-4.10’ da verilmiştir. Aynı şekiller içerisinde DBYBHY-2007’ de belirtilen ivme spektrum eğrileri, dört farklı zemin sınıfı için elastik olmayan Talep Spektrum Eğrileri şeklinde verilmiştir. Ayrıca, 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen Van depreminin spektrum eğrisi aynı şekiller üzerinde çizilmiştir.

Şekil 4.5-4.7’ deki eğriler incelendiğinde C12, C14, C16, C18 ve C20 beton sınıfları için modal kapasite eğrisi, 23 Ekim 2011 Van depreminin Talep eğrisinin Z1 zemini üzerinde dayanıma sahip bir zemin sınıfının talep eğrisi ile kesişeceği görülmektedir. Aynı zamanda Z2 ve Z3 sınıfları arası bir zemin sınıfı için bu iki eğrinin kesişebileceği belirlenmiştir. Şekil 4.8-4.9’ daki eğriler incelendiğinde C12, C14, C16, C18 beton sınıfları için modal kapasite eğrisi, 23 Ekim 2011 Van depreminin Talep eğrisinin Z1 zemini üzerinde dayanıma sahip bir zemin sınıfının talep eğrisi ile kesişeceği belirlenmiştir. Şekil 4.10’ daki eğriler incelendiğinde C20 beton sınıfı için binanın modal kapasite eğrisi ile Van depreminin Talep eğrisinin Z1 ve Z2 zemin sınıflarının talep eğrileri ile kesiştiği belirlenmiştir.

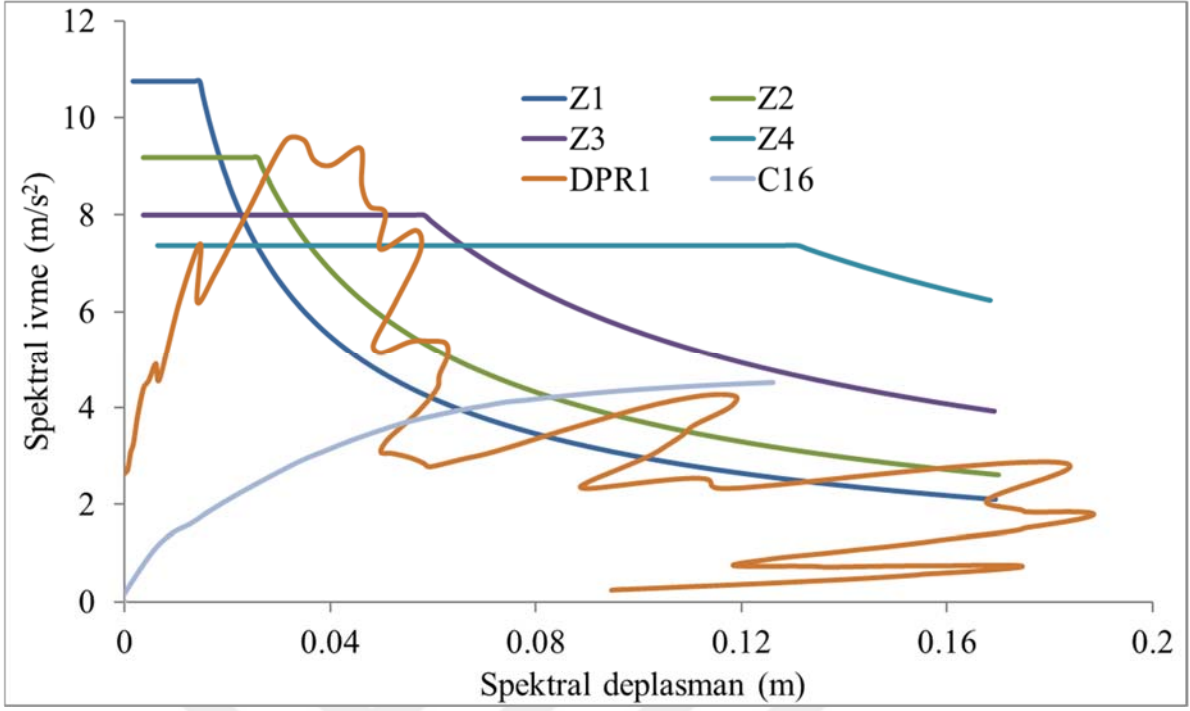


a) C12

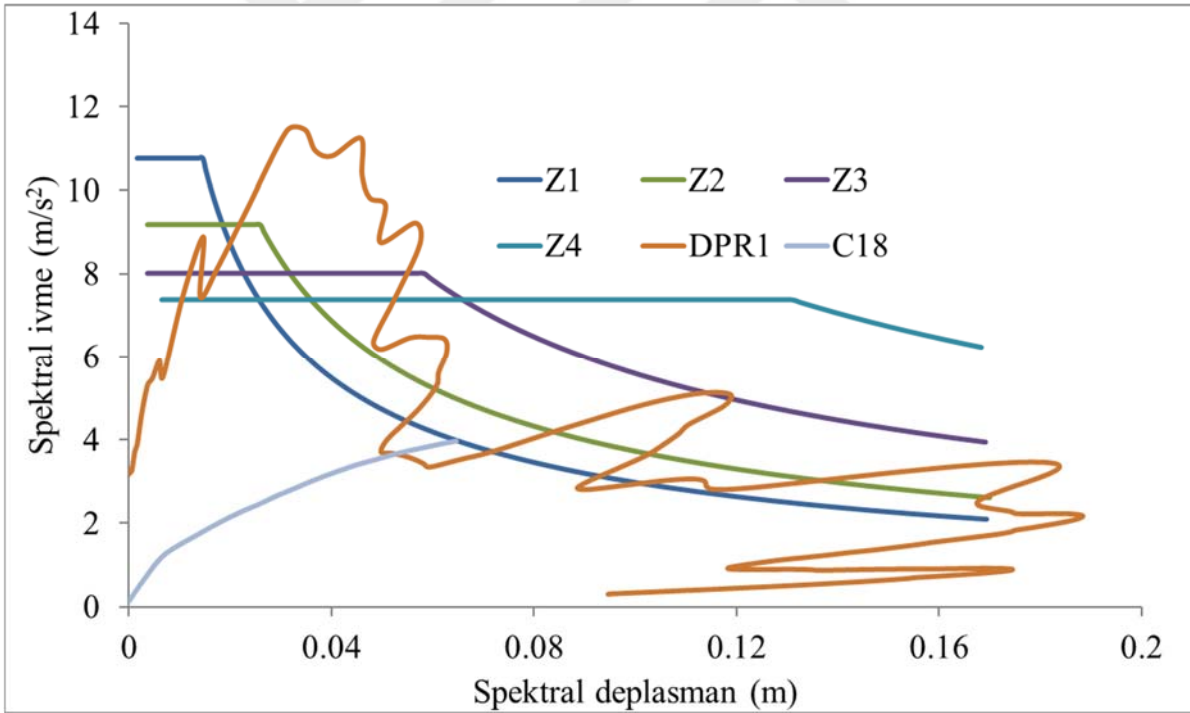


b) C14

Şekil 4.5. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Bayram otelin x doğrultusu için a) C12 ve b) C14 beton sınıflarında modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması.



a) C16

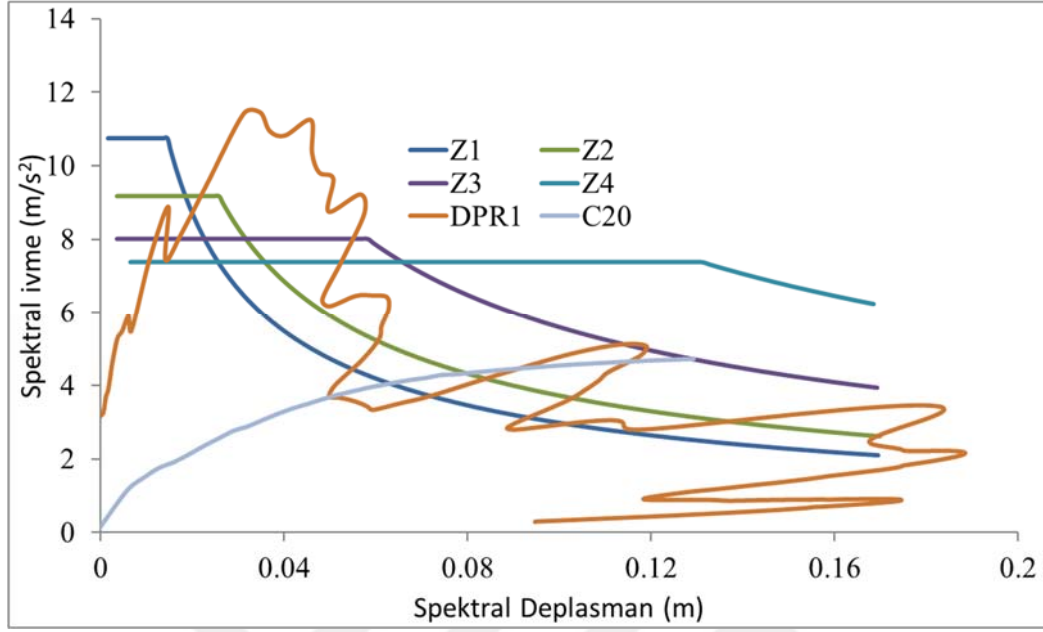


b) C18

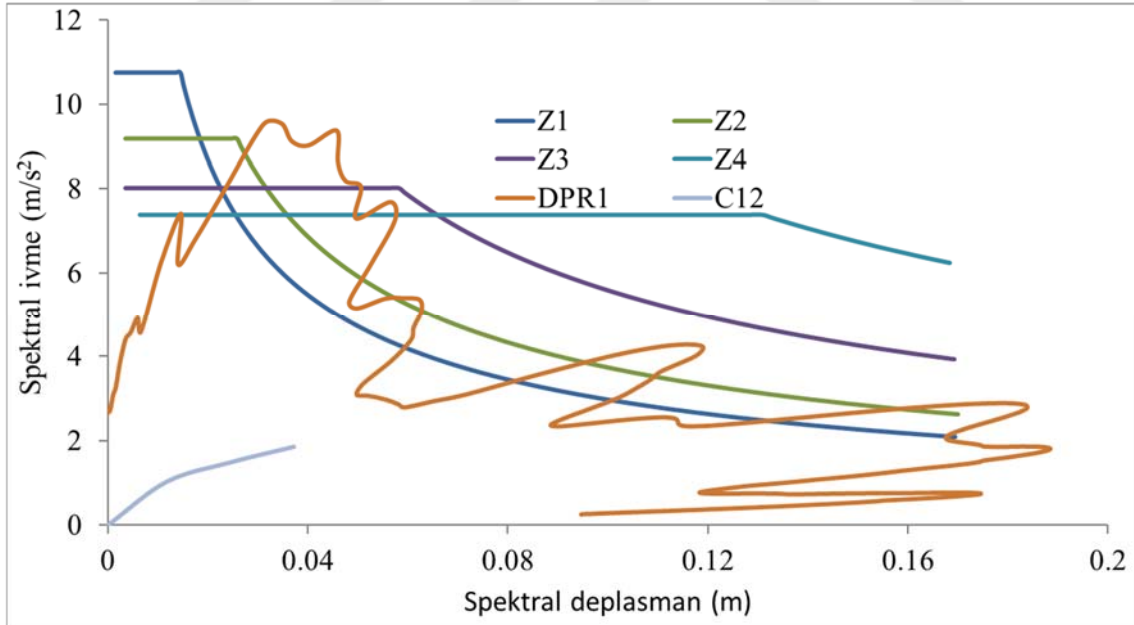
Şekil 4.6.23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Bayram otelin x doğrultusu için a) C16 ve b) C18 beton sınıflarında modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.5-4.10 incelendiğinde hem x hem de y yönleri için tüm malzeme sınıflarında Z1' den büyük dayanıma sahip zemin sınıfının olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Aynı

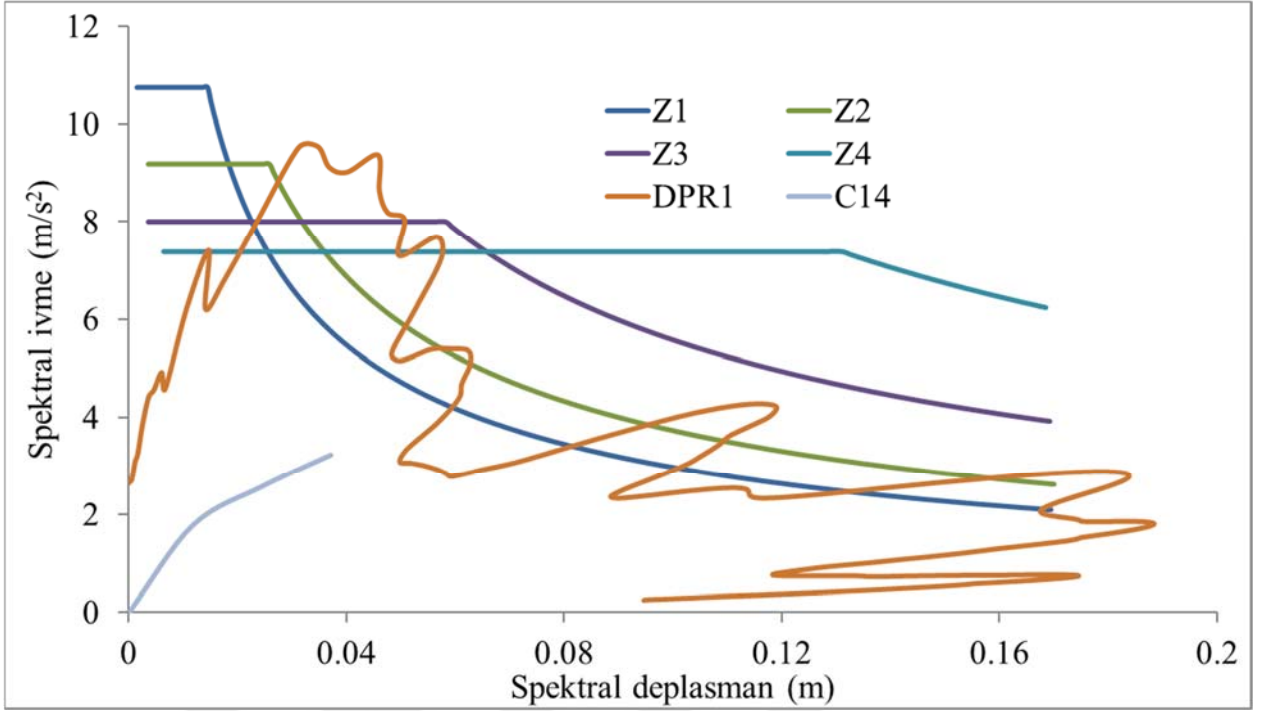
zamanda Bayram otelin C20 beton sınıfında Z2 sınıfı zemin üzerinde yer alması gerektiği belirlenmiştir.



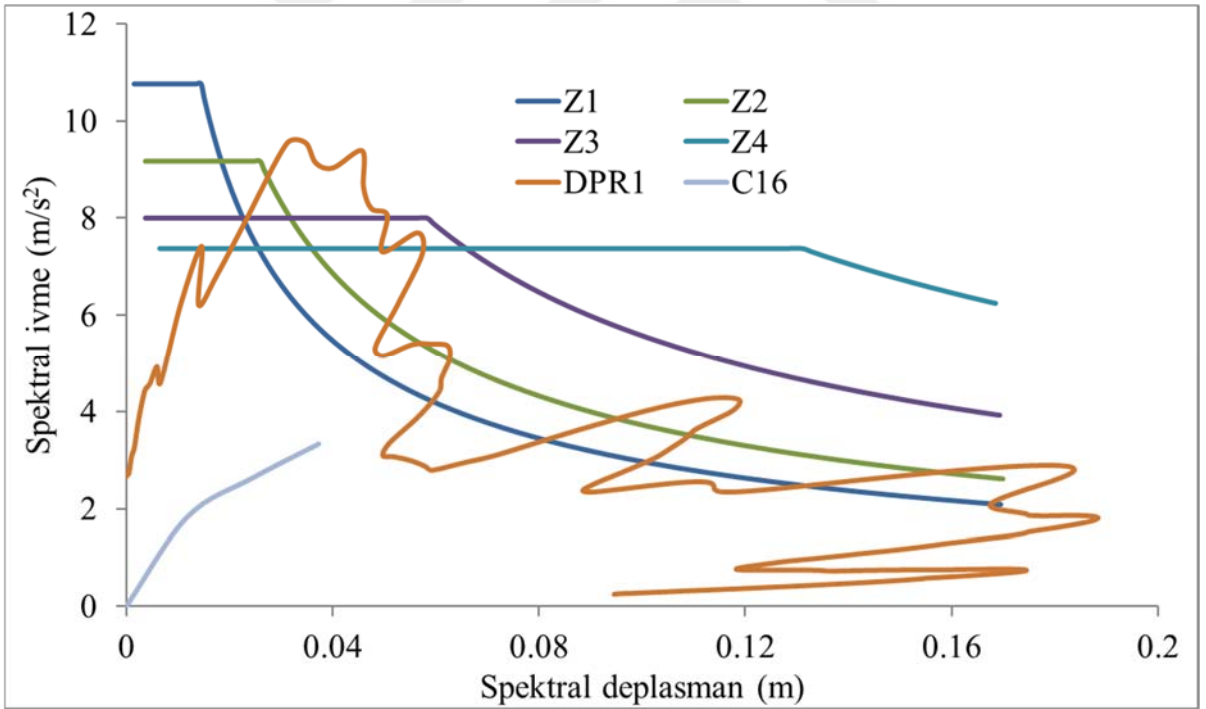
Şekil 4.7. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Bayram otelin x doğrultusu için C20 beton sınıfında modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.8. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Bayram otelin y doğrultusu için C12 beton sınıfında modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması

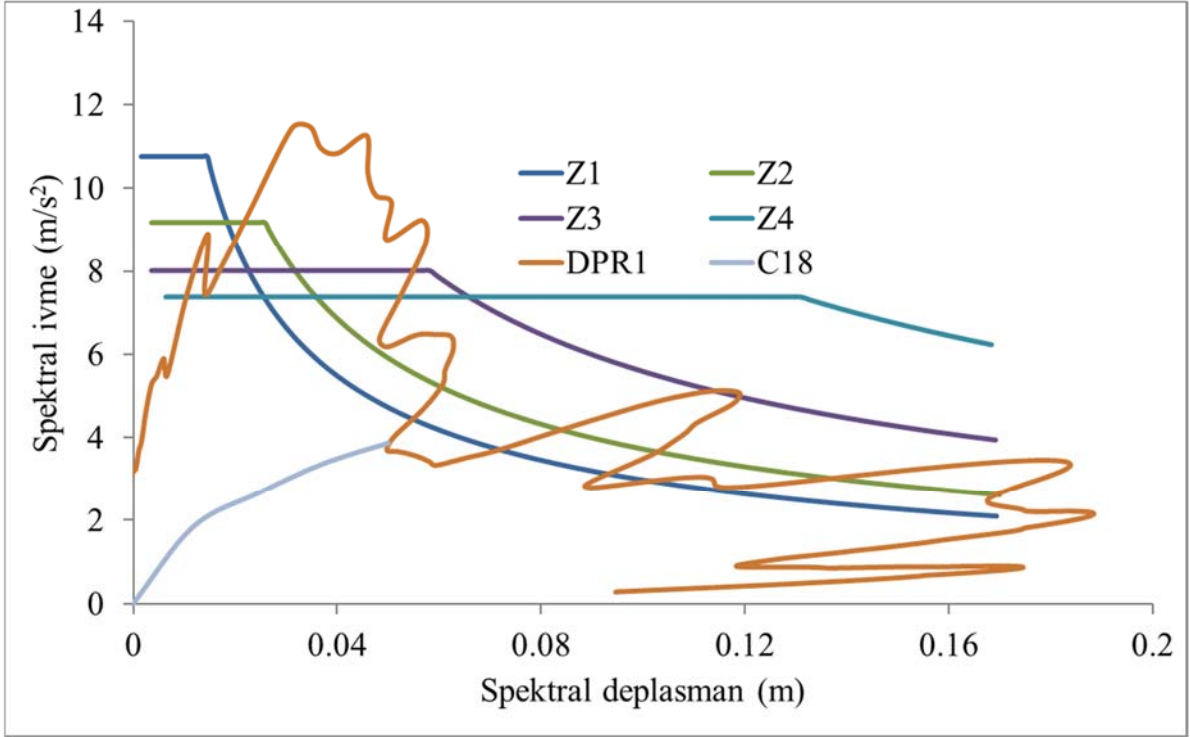


a) C14

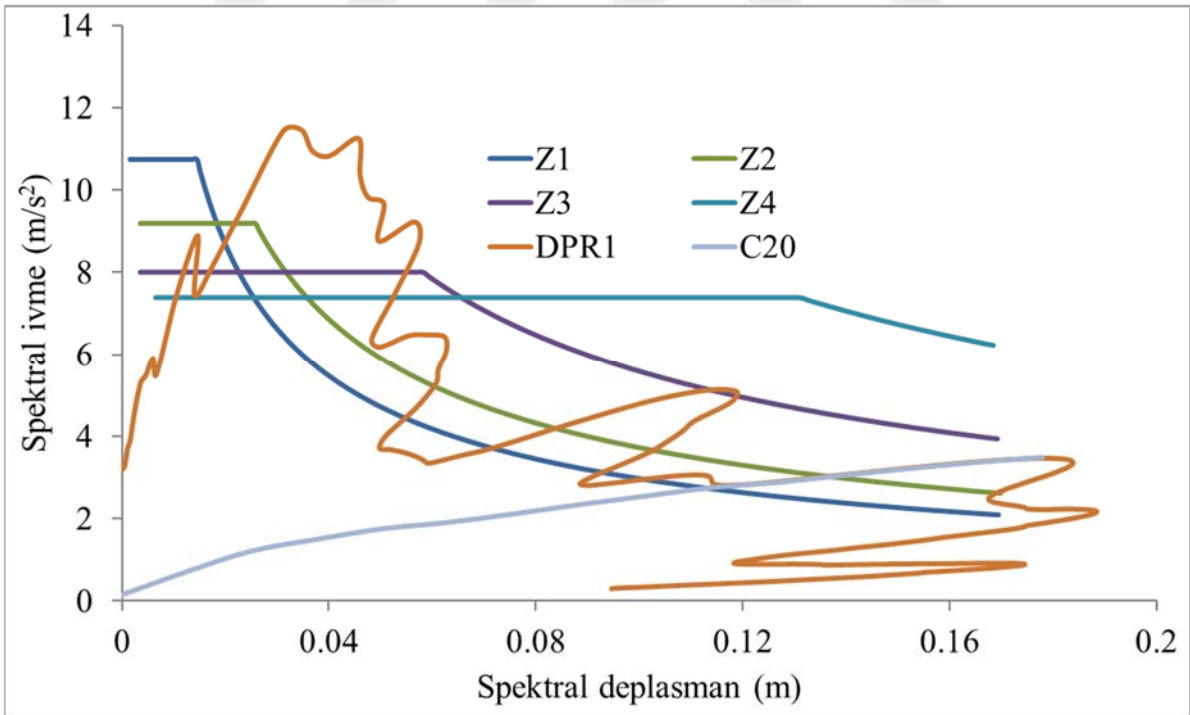


b) C16

Şekil 4.9. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Bayram otelin y doğrultusu için a) C14ve b) C16 beton sınıfında modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması



a) C18

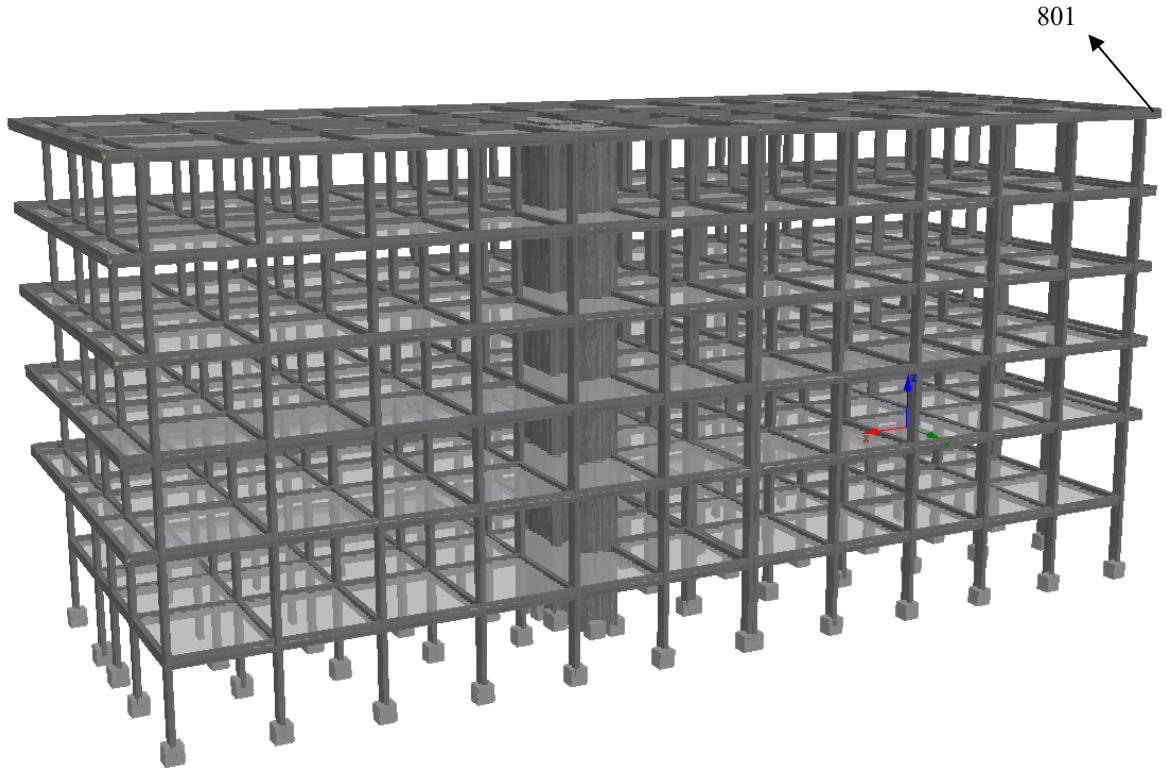


b) C20

Şekil 4.10. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Bayram otelin y doğrultusu için a) C18 ve b) C20 beton sınıfında modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması

4.3. Bayram Otelin Zaman Tanım Alanındaki Lineer Olmayan Sismik Analizleri

Bu bölümde, Bayram otelin zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak lineer olmayan sismik analizleri elde edilmiştir. Binanın temel elemanları proje verileri üzerinden alınmış [36] olup zemin-yapı etkileşimi ise elastik yaylarla temsil edilmiştir. Bayram otelin bu temel özellikleri ve zemin yatak katsayıları dikkate alınarak güncelleştirilen sonlu eleman modeli Şekil 4.11’ de görülmektedir,



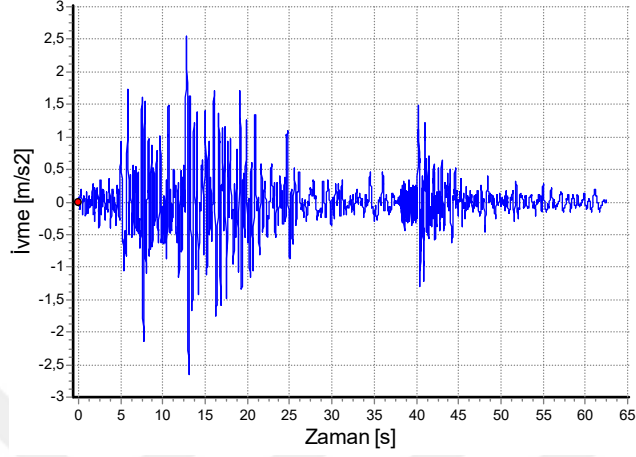
Şekil 4.11. Bayram otelin güncelleştirilmiş sonlu eleman modeli

Tablo 4.4. Bayram otelin malzeme özellikleri

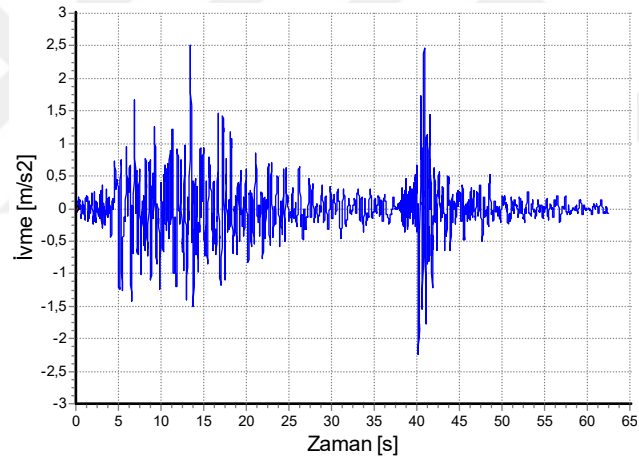
Beton Malzeme Sınıfı	C12	C14	C16	C18	C20
Basınç Dayanımı (kPa)	12000	14000	16000	18000	20000
Çekme Dayanımı (kPa)	1212.44	1309.60	1400.00	1485.00	1565.00
Elastisite Modülü (MPa)	25258.00	26160.00	27000.00	27789.00	28534.00
Poisson Oranı	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Kütle Yoğunluğu (kg/m ³)	2500	2500	2500	2500	2500
Etriye Oranı	%20	%20	%20	%20	%20

Binanın beton malzemesi olarak C8-C20 aralığında bulunan elastik ve elastik olmayan malzeme özellikleri kullanılmıştır. Tablo 4.4’ de Bayram otelin lineer olmayan

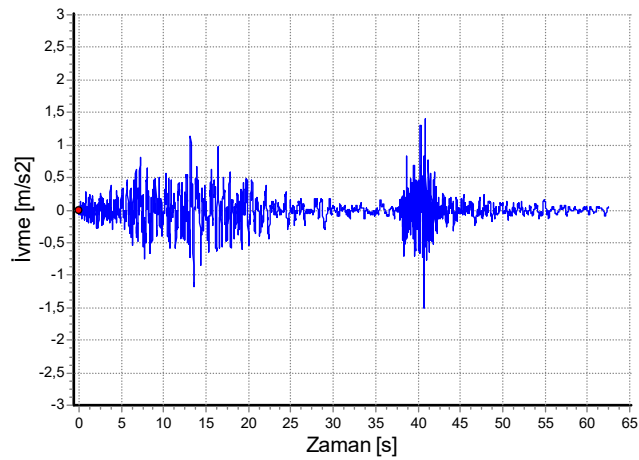
sismik analizlerinde kullanılan beton malzemesine ait mekanik özellikler görülmektedir [37]. Bu tabloda görülen etriye oranı ise %20 olarak seçilmiştir. Kullanılan çelik malzeme sınıfının ise BÇ-I (S220) çeliği olduğu proje verileri üzerinden alınmıştır.



a) KG doğrultusu



b) DB doğrultusu



c) Düşey doğrultusu

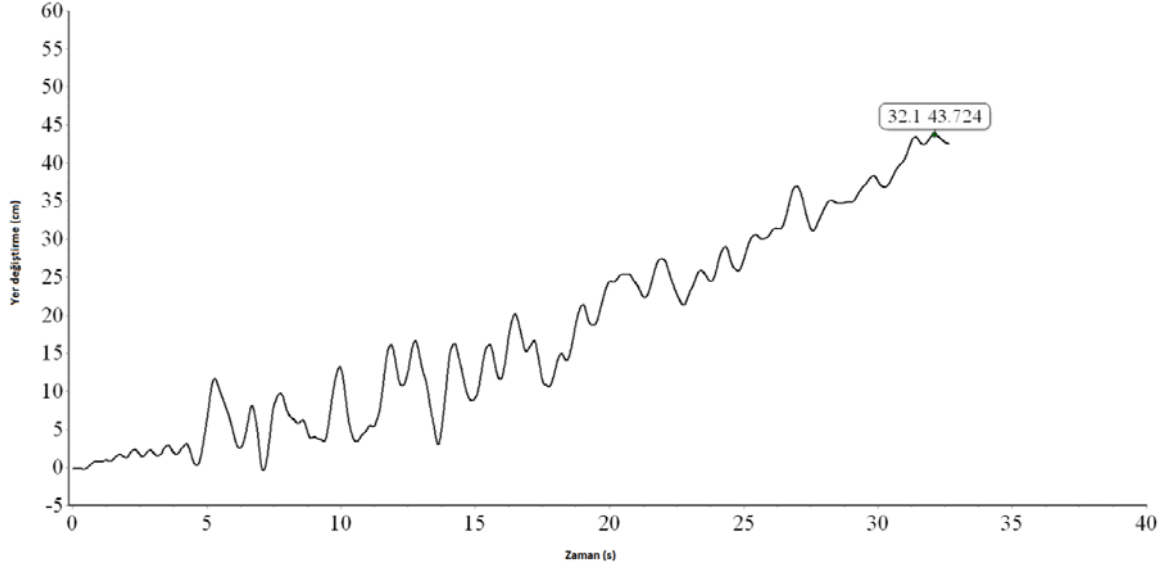
Şekil 4.12. 23 Ekim 2011 Van ve 9 Kasım 2011 Van-Edremit depremlerinin ivme bileşenleri

Zemin yatak katsayısı ise Z1 zemin sınıfı için 20000-500000 kN/m³ olarak verilmekte olup çözümlerde ortalama olarak 350000 kN/m³ ve Z2 zemin sınıfı için ise 10000-200000 kN/m³ olarak verilen değerler için ortalama 115000 kN/m³ seçilmiştir [38]. Bayram otelin C12-C20 beton malzemesi için Z1 ve Z2 zemin sınıfına ait zaman tanım alanı çözümleri elde edilmiştir. Sismik etki olarak, 23 Ekim 2011 Van depreminin ivme genlikleri ile 9 Kasım 2011 Van-Edremit depreminin ivme genliklerinin birleştirilmiş formu kullanılmıştır. Kullanılan bu ivme genlik değerlerinden yalnızca 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen depremin Van-Muradiye istasyonu tarafından ölçülen ivme genliklerinin zaman adımları 0.0078 s olduğundan bu zaman adımı 0.01 olarak “Baseline Correction” yapılarak düzenlenmiştir ve düzenlenen ivme genlikleri 1.48426 katsayısıyla arttırılmıştır [1]. 23 Ekim 2011 Van depreminin düzeltilen bu ivme genlik değerleri ile 9 Kasım 2011 Van-Edremit depreminin ivme genliklerinin birleştirilmiş formuna ait bileşenler her bir eksen için ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Birleştirilen bu ivme genlik değerleri, 0.00-37.44 s zaman aralığı için 23 Ekim 2011 Van depremine; 37.44-62.45 s zaman aralığı için 9 Kasım 2011 Van-Edremit depremine aittir. Depremlerin Doğu-Batı (DB) bileşeni *x* doğrultusunda, Kuzey-Güney (KG) bileşeni *y* doğrultusunda ve Düşey (D) bileşeni ise *z* doğrultusunda etki ettirilmiştir. Çözümler SeismoStruct programı yardımıyla elde edilmiştir.

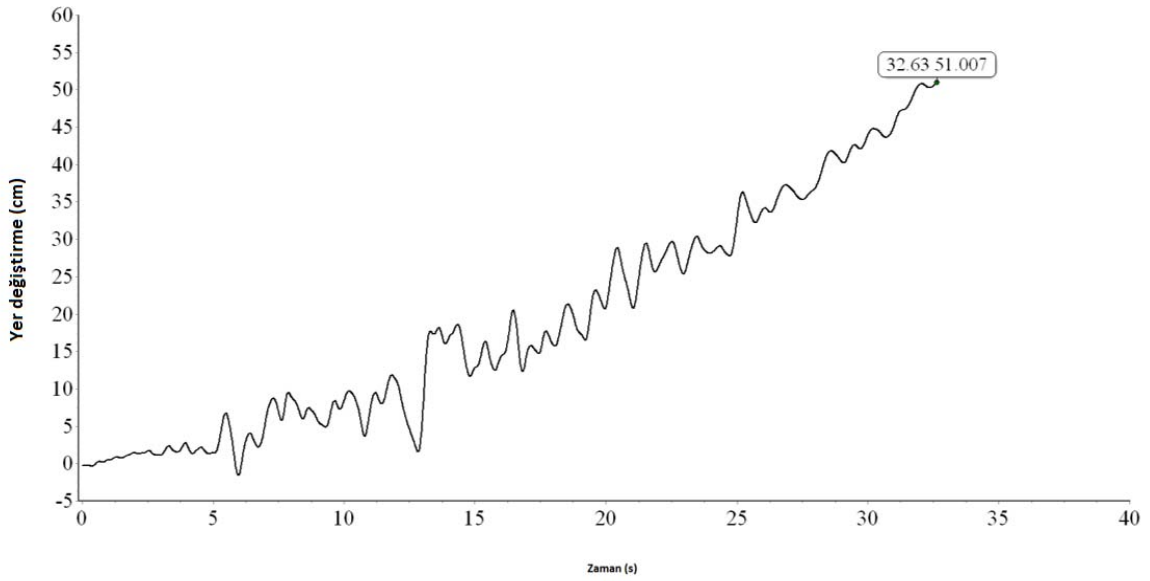
4.3.1. Z1 zemin sınıfına sahip Bayram otelin C12-C20 beton malzemesi ve için lineer olmayan sismik analizleri

Bölüm 4.1’ de Bayram otelin 23 Ekim 2011 tarihindeki ana depremden sonra 9 Kasım 2011 günü Türkiye saati ile 21.23’ de meydana gelen ve 5.6M_L büyüklüğündeki depremin [34, 35] etkisi ile yıkıldığı belirtilmiştir. Şekil 4.13-4.17’ de Z1 zemin sınıfında Bayram otelin beton malzeme sınıfı C12, C14, C16, C18 ve C20 olması hallerinde elde edilen sismik analiz sonuçlarından 801 nolu düğüm noktasının *x* ve *y* eksenlerine ait yer değiştirmenin zamanla değişim grafikleri görülmektedir. Bu grafiklerden C12, C14, C16, C18 ve C20 beton malzemeleri için çözüm zamanları sırasıyla 32.63, 15.89, 45.52, 17.27 ve 47.67 s’ dir. Böylece C16 ve C20 beton malzeme sınıfları için 23 Ekim 2011 Van depremi çözümleri elde edilirken 9 Kasım 2011 Van-Edremit depremi çözümleri hesaplanamamıştır. Diğer malzeme sınıflarında çözümler, sadece 23 Ekim 2011 Van depremi ivme kayıtları için elde edilmiştir. Söz konusu bu malzeme sınıfları için *x* ve *y* yönlerinde elde edilen mutlak maksimum yer değiştirme değerleri Tablo 4.12’ de verilmiştir.

Bu tablodan görüleceği gibi en büyük yer değiştirme değerleri her iki doğrultu için C20 beton malzeme sınıfında elde edilmiştir.



a) x eksenini

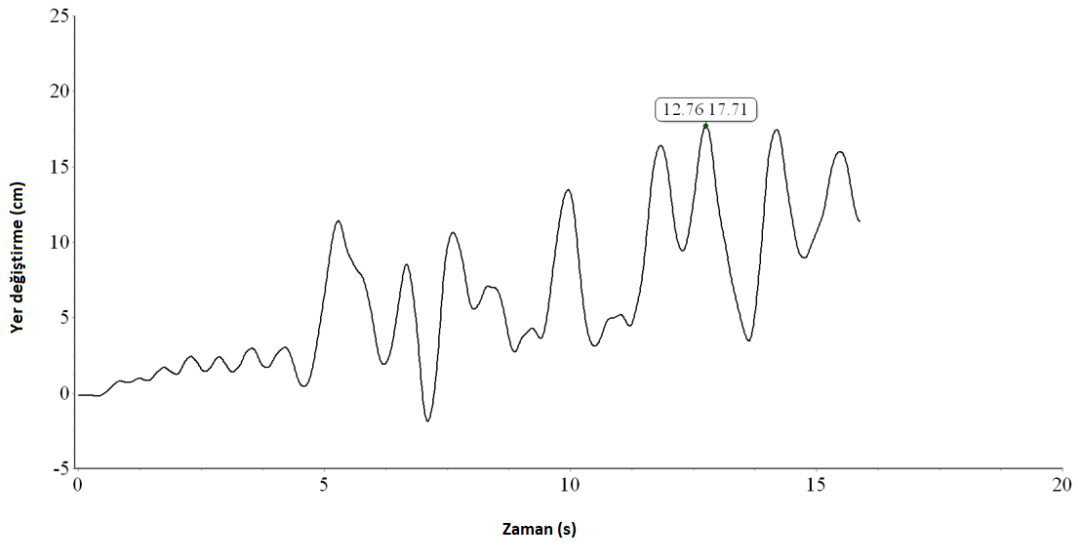


b) y eksenini

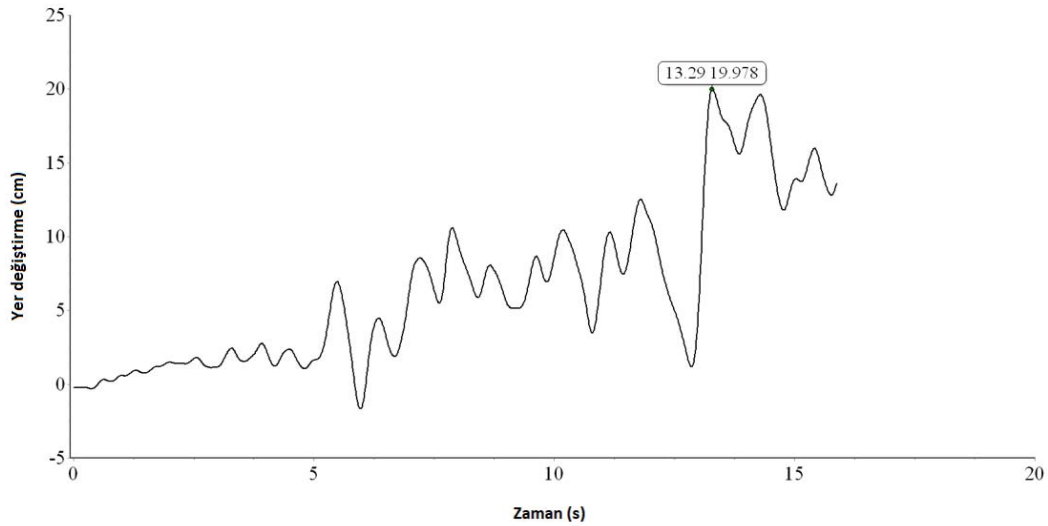
Şekil 4.13. Z1 zemini ve C12 beton sınıfı için Bayram otelin 801 nolu düğüm noktasının yer değiştirme-zaman eğrileri.

Tablo 4.5. Z1 zemin sınıfı ve bayram otelin C12-C20 beton malzeme sınıfları için mutlak maksimum yer değiştirme değerleri.

Beton Malzeme Sınıfı	x (yönü, cm)	y (yönü, cm)
C12	43.724	51.007
C14	17.710	19.978
C16	72.352	91.567
C18	20.997	21.090
C20	73.965	96.968

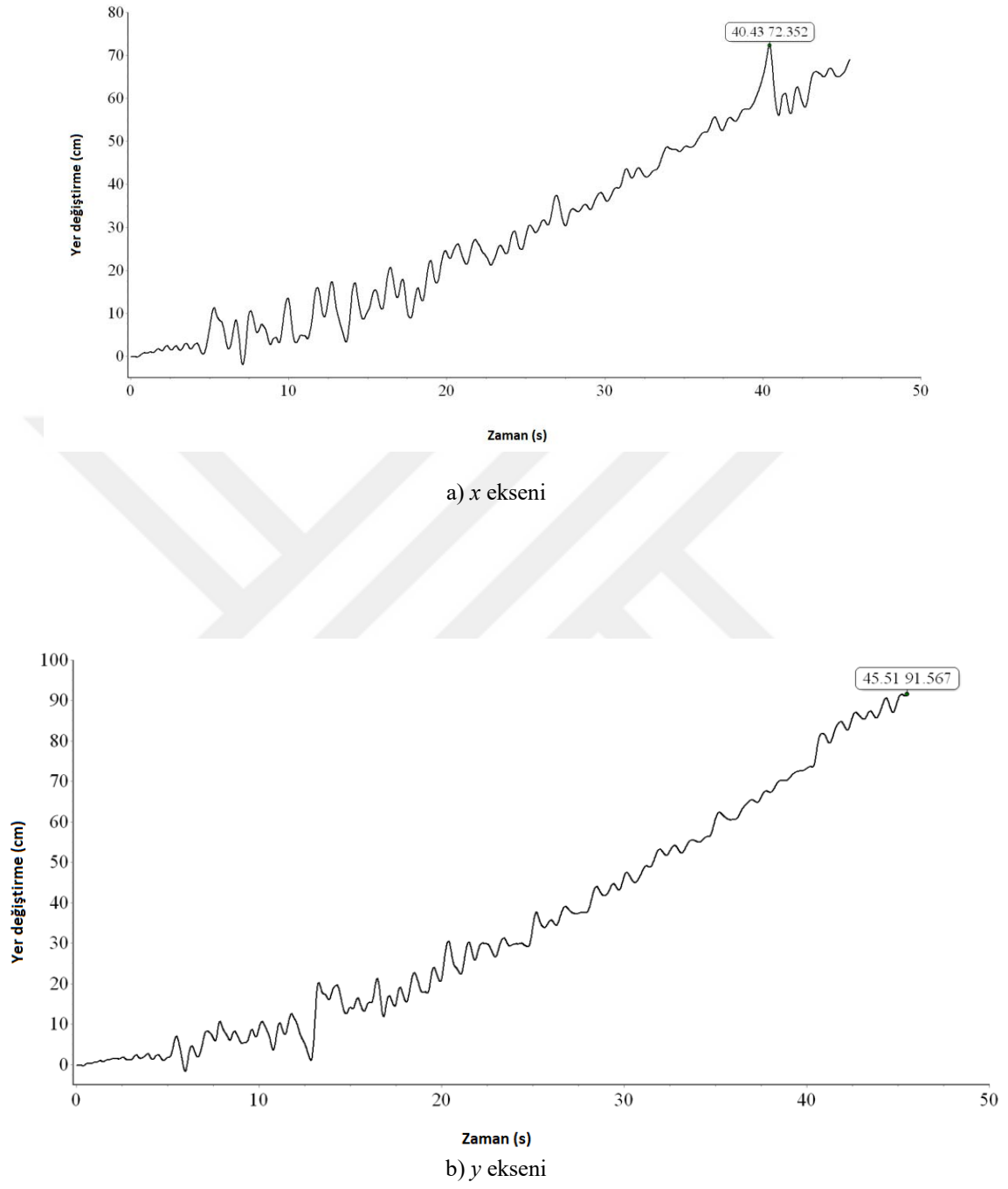


a) x eksenı

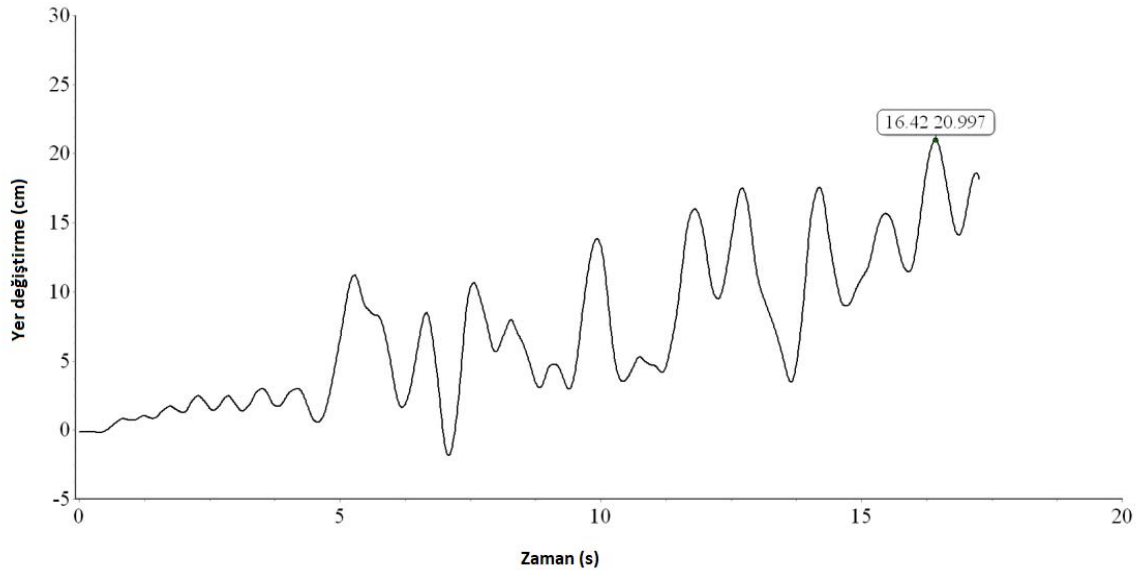


b) y eksenı

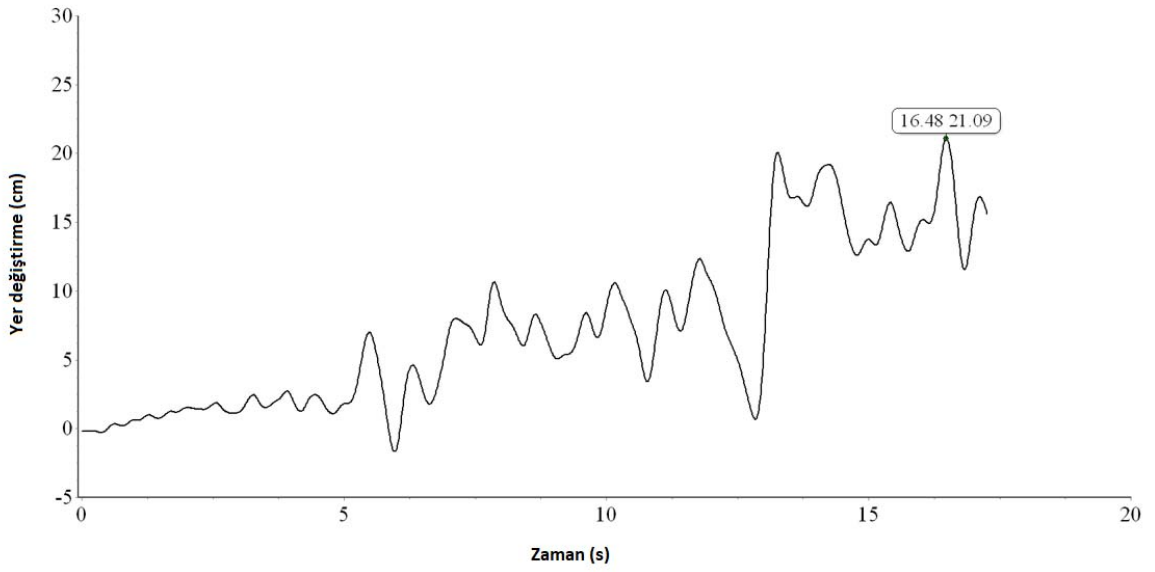
şekil 4.14. Z1 zeminı ve C14 beton sınıfı için Bayram otelin 801 nolu düğüm noktasının yer değiştirme zaman eğrileri.



şekil 4.15. Z1 zemini ve C16 beton sınıfı için Bayram otelin 801 nolu dğđm noktasının yer değiştirme-zaman eğrileri.

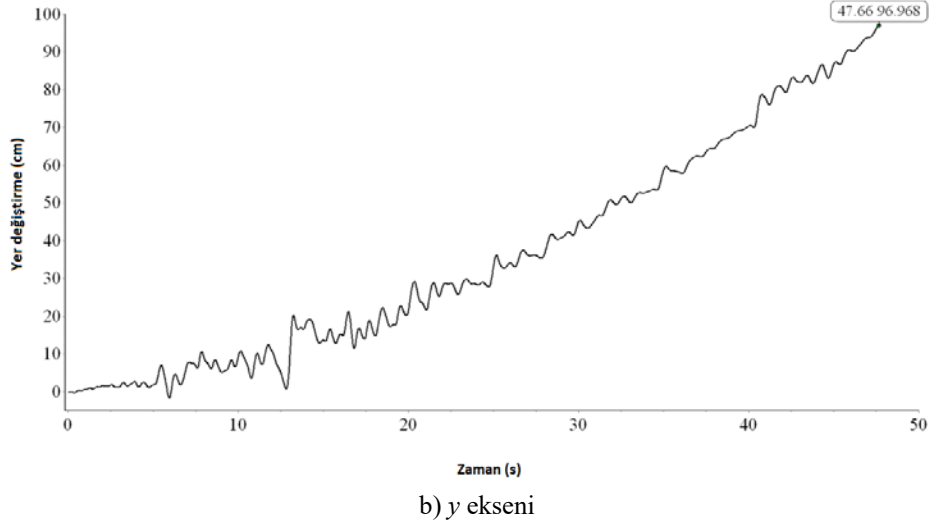
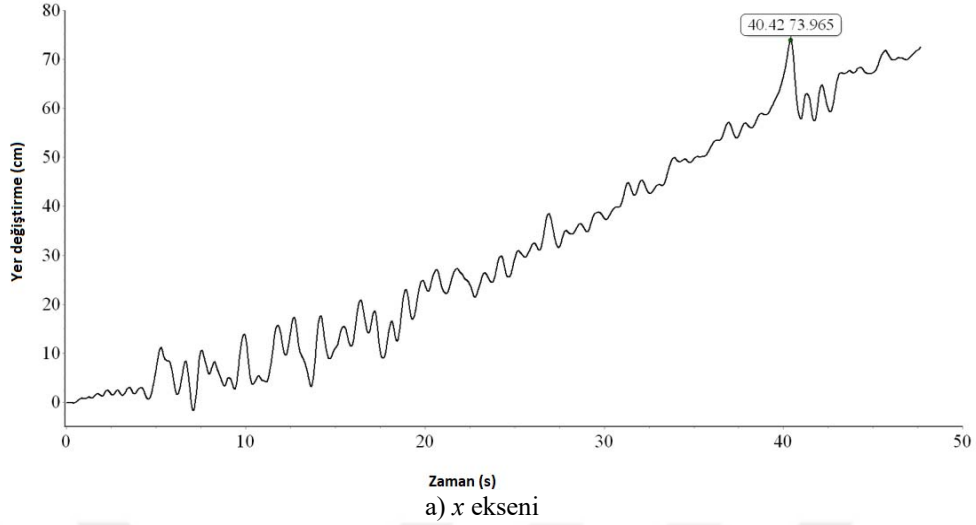


a) x eksenini



b) y eksenini

şekil 4.16. Z1 zemini ve C18 beton sınıfı için Bayram otelin 801 nolu dđęum noktasının yer değiştirme-zaman eğrileri.

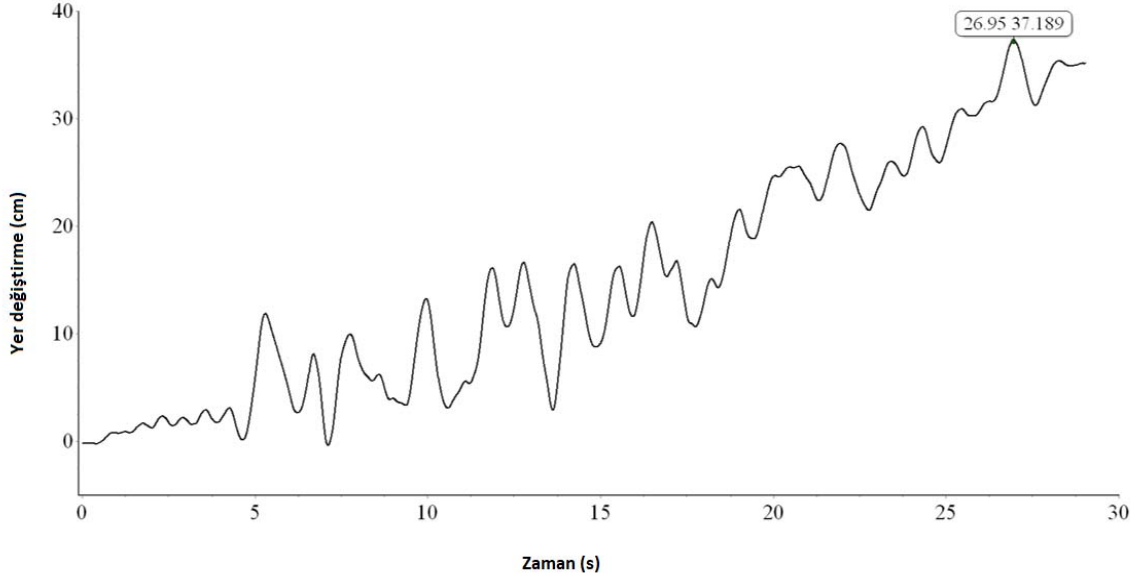


Şekil 4.17. Z1 zemini ve C20 beton sınıfı için Bayram otelin 801 nolu düğüm noktasının yer değiştirme-zaman eğrileri.

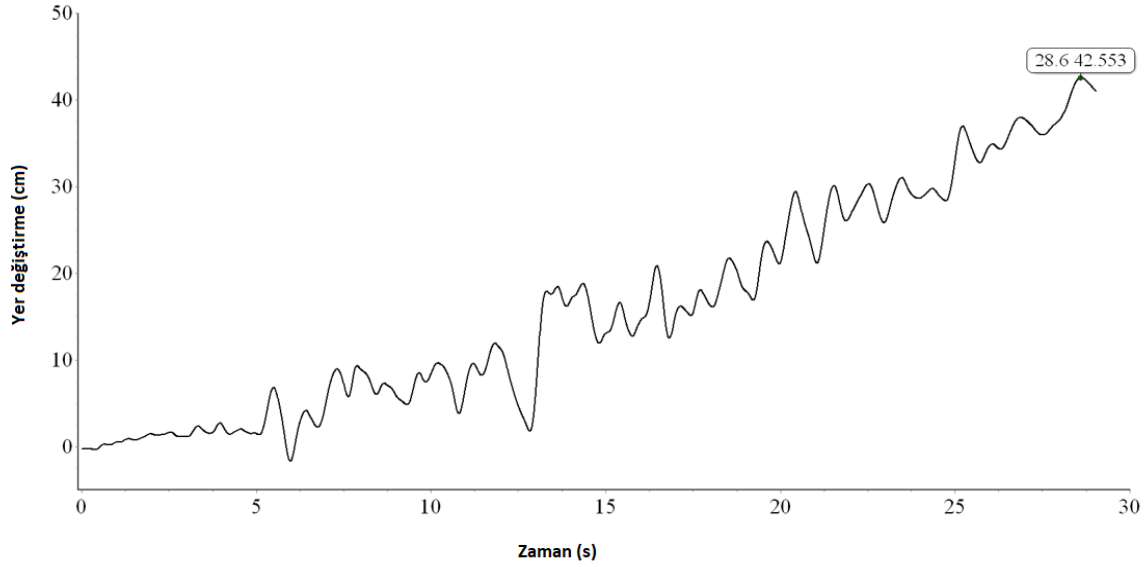
4.3.2. Z2 zemin sınıfına sahip Bayram otelin C12-C20 beton malzemesi ve için lineer olmayan sismik analizleri

Şekil 4.18-4.21' de Z2 zemin sınıfında Bayram otelin beton malzeme sınıfı C12, C14, C18 ve C20 olması hallerinde elde edilen sismik analiz sonuçlarından 801 nolu düğüm noktasının x ve y eksenlerine ait yer değiştirmenin zamanla değişim grafikleri görölmektedir. C16 malzeme sınıfı için adım-adım sismik analiz sonuçları elde edilememiştir. Bu grafiklerden C12, C14, C18 ve C20 beton malzemeleri için çözüm zamanları sırasıyla 29.03, 24.37, 24.87 ve 15.82 s' dir. Tüm beton malzeme sınıfları için çözümler, sadece 23 Ekim 2011 Van depremi ivme kayıtları için elde edilmiştir. Söz konusu bu malzeme sınıfları için x

ve y yönlerinde elde edilen mutlak maksimum yer değiştirme değerleri Tablo 4.6' da görölmektedir. Bu tablodan göröleceği gibi en büyük yer değiştirme değerleri her iki doğrultu için C14 beton malzeme sınıfında elde edilmiştir.

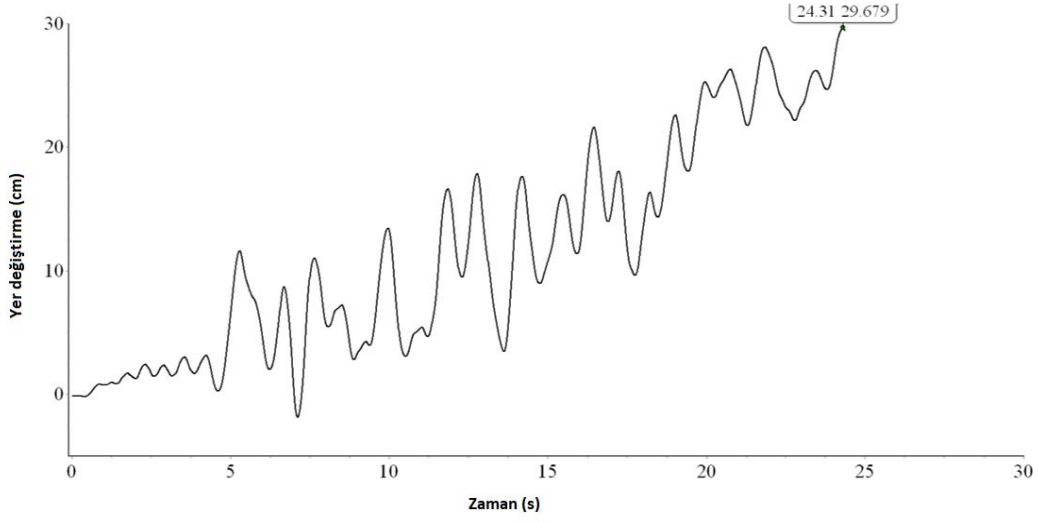


a) x eksenini

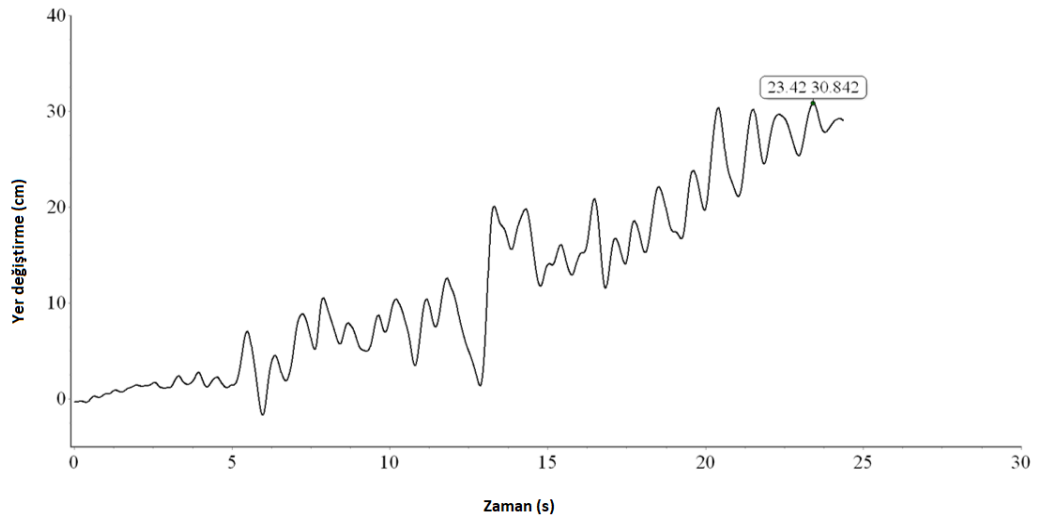


b) y eksenini

şekil 4.18. Z2 zemini ve C12 beton sınıfı için Bayram otelin 801 nolu düğüm noktasının yer değiştirme-zaman eğrileri.



a) x eksenini

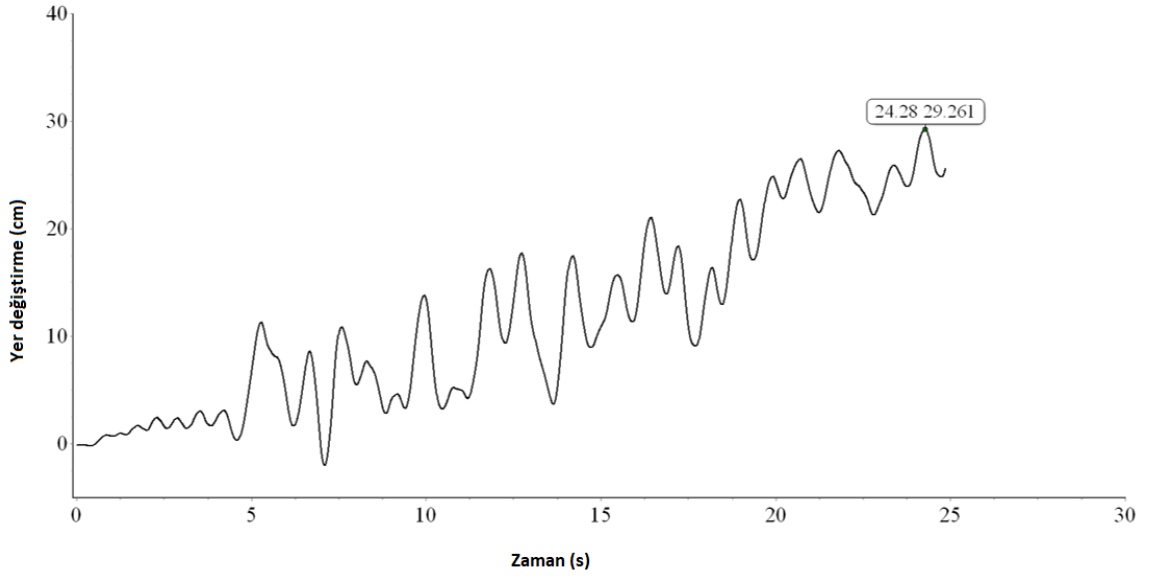


b) y eksenini

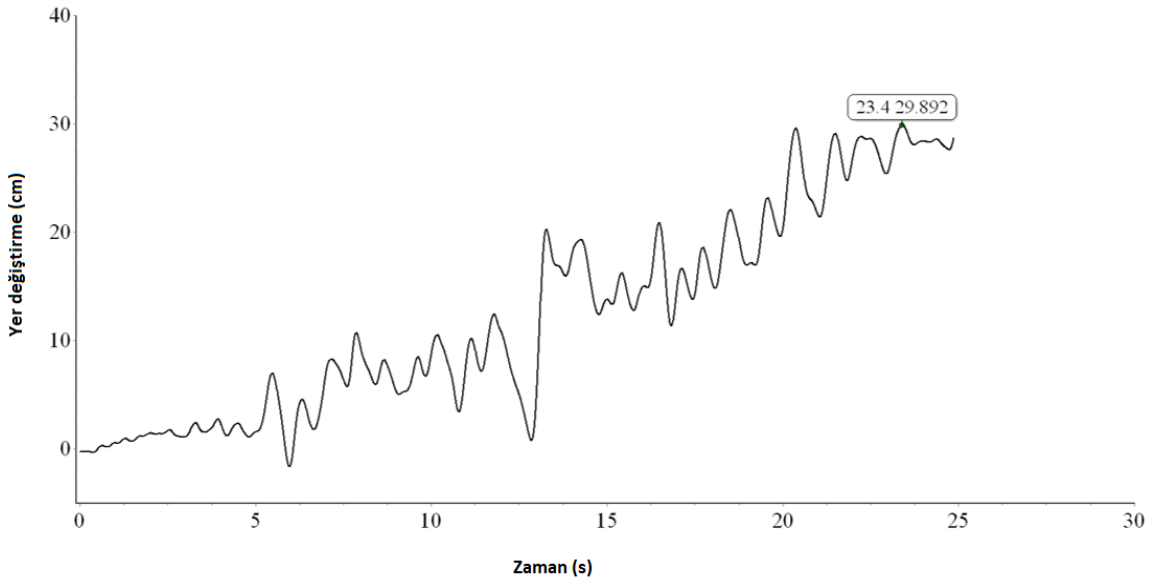
şekil 4.19. Z2 zemini ve C14 beton sınıfı için Bayram otelin 801 nolu dğüm noktasının yer değiştirme-zaman eğrileri.

Tablo 4.6. Z2 zemin sınıfı ve bayram otelin C12-C20 beton malzeme sınıfları için mutlak maksimum yer değiştirme değerleri.

Beton Malzeme Sınıfı	x (yönü, cm)	y (yönü, cm)
C12	37.189	42.553
C14	29.679	30.382
C18	29.261	29.892
C20	17.635	20.280

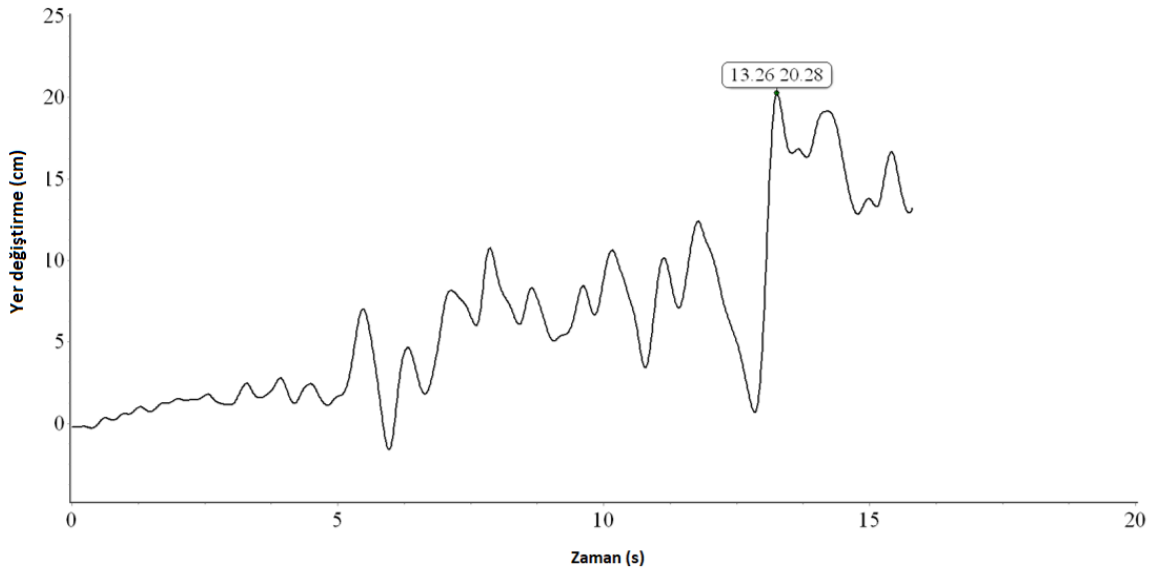
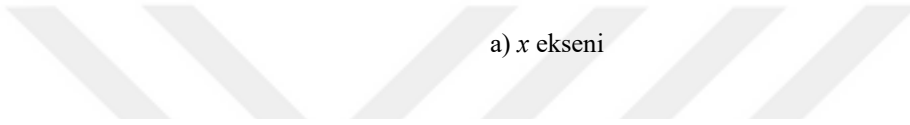
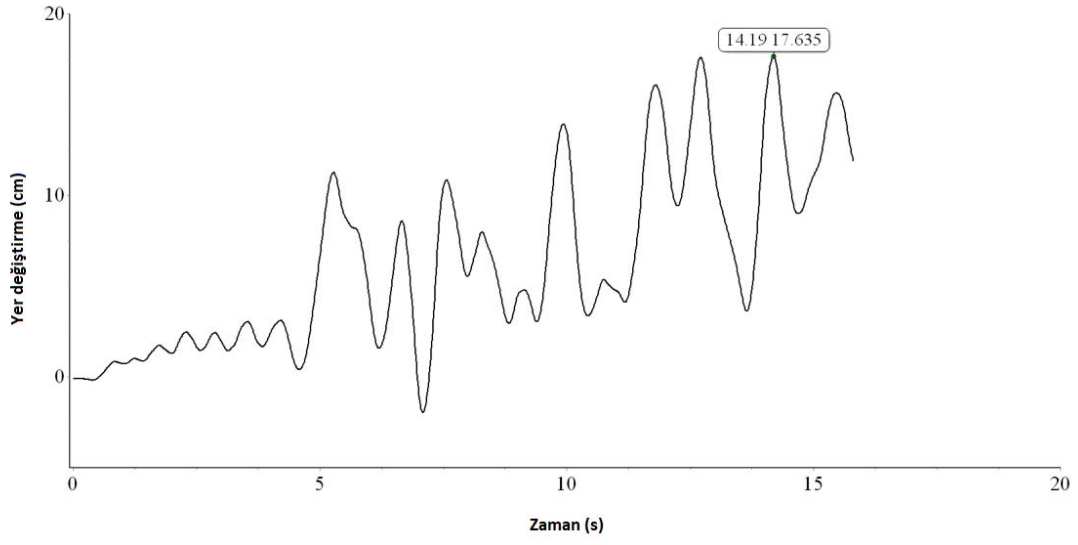


a) x eksenini



b) y eksenini

şekil 4.20. Z2 zemin ve C18 beton sınıfı için Bayram otelin 801 nolu dğđm noktasının yer değiştirme-zaman eğrileri.



b) y eksenini

şekil 4.21. Z2 zemin ve C20 beton sınıfı için Bayram otelin 801 nolu dğüm noktasının yer değiştirme-zaman eğrileri.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 9 Kasım 2011' de meydana gelen Van-Edremit depreminde yıkılmış Bayram otelin statik itme analizleri yapılmıştır. Statik itme analizleri binanın enine (x) ve boyuna (y) doğrultuları için elde edilmiştir. Bu bina betonarme olarak inşa edilmiş olup elemanların doğrusal olmayan davranışları için Fibre kiriş-kolon elemanlar kullanılmıştır. Bu otelin C12, C14, C16, C18 ve C20 beton malzeme sınıfları ve S220 çelik sınıfı için statik itme analizleri elde edilmiş ancak C8 ve C10 malzeme sınıfları için statik itme çözümleri hesaplanamamıştır. Binanın modal kapasite eğrileri statik itme analiz sonuçlarından elde edilmiş ve bölgenin talep spektrum eğrileri dört farklı zemin sınıfı (Z1, Z2, Z3 ve Z4) için ayrıca hesaplanmıştır. Aynı zamanda 23 Ekim 2011 Van depreminin spektrum ivme grafiği elde edilerek bu eğrilerin karşılaştırılma işlemi yapılmıştır.

Binanın x yönündeki çözümlerinden elde edilen eğriler incelendiğinde; C12, C14, C16, C18 ve C20 beton sınıfları için modal kapasite eğrisi, 23 Ekim 2011 Van depreminin Talep eğrisinin Z1 zemini üzerinde dayanıma sahip bir zemin sınıfının talep eğrisi ile kesişeceği görülmüştür. Aynı zamanda Z2 ve Z3 sınıfları arası bir zemin sınıfı için bu iki eğrinin kesişebileceği belirlenmiştir.

Binanın y yönündeki çözümlerinden elde edilen eğriler incelendiğinde; C12, C14, C16, C18 beton sınıfları için modal kapasite eğrisi, 23 Ekim 2011 Van depreminin Talep eğrisinin Z1 zemini üzerinde dayanıma sahip bir zemin sınıfının talep eğrisi ile kesişeceği belirlenmiştir. Aynı zamanda C20 beton sınıfı için binanın modal kapasite eğrisi ile Van depreminin Talep eğrisinin Z1 ve Z2 zemin sınıflarının talep eğrileri ile kesiştiği belirlenmiştir.

Elde edilen tüm statik itme analiz sonuçları incelendiğinde hem x hem de y yönleri için malzeme sınıflarının tamamında zemin sınıfının Z1' den büyük dayanıma sahip olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda Bayram otelin C20 beton sınıfında Z2 sınıfı zemin üzerinde yer alması gerektiği belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında Z1 ve Z2 zemin sınıfları için C12-C20 beton malzeme sınıfına sahip Bayram otelin sismik analizleri elde edilmiştir. Bu analiz için 23 Ekim 2011 Van depreminin ivme genlikleri ile 9 Kasım 2011 Van-Edremit depreminin ivme genliklerinin birleştirilmiş formu kullanılmıştır. Z1 zemin sınıfında Bayram otelin C16 ve C20 beton malzeme sınıfları için 23 Ekim 2011 Van depremi çözümleri elde edilirken 9 Kasım 2011 Van-Edremit depremi çözümleri hesaplanamamıştır.

Diğer malzeme sınıflarında çözümler, sadece 23 Ekim 2011 Van depremi ivme kayıtları için elde edilmiştir. Söz konusu bu malzeme sınıfları için x ve y yönlerinde elde edilen mutlak maksimum yer değiştirme değerleri her iki doğrultu için C20 beton malzeme sınıfında elde edilmiştir. Z2 zemin sınıfında Bayram otelin beton malzeme sınıfı C12, C14, C18 ve C20 olması hallerinde elde edilen sismik analiz sonuçları elde edilirken C16 malzeme sınıfı için çözümler hesaplanamamıştır. Tüm beton malzeme sınıfları için çözümler, sadece 23 Ekim 2011 Van depremi ivme kayıtları için elde edilmiştir. Söz konusu bu malzeme sınıfları için x ve y yönlerinde elde edilen mutlak maksimum yer değiştirme değerleri her iki doğrultu için C14 beton malzeme sınıfında elde edilmiştir. Bu sismik analizlere göre tutarlı sonuçlar elde edilememiştir. Bu nedenle binanın malzeme özelliklerinin belirlenmesi için statik itme analizlerinin kullanılması uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-verileri/depremsellik-haritalari/turkiye_damage/
- [2] Özdemir, M., (2014), “Betonarme Binaların Fiber Eleman Yöntemi İle Statik İtme ve Gerçek Zamanlı Deprem İvme Kayıtları Kullanılarak Sismik Performanslarının Belirlenmesi.”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3] Esin, D., (2005), “Statik İtme Analizi Yöntemiyle Mevcut Bir Betonarme Yapının İncelenmesi Ve Uygulanması.” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [4] Oral, K., (2005), “Statik İtme Analizi Kullanılarak Mevcut Bir Betonarme Yapının İncelenmesi.”Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5] Temür, F., (2007), “Statik İtme (Pushover) Yöntemi Kullanılarak Yapıların Analizi.” Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [6] Dok, G., Öztürk, H., Demir, A., (2015) “Farklı Zemin Koşullarındaki Betonarme Yapıların Davranışının Statik İtme Analizi ile İncelenmesi: 8 Katlı Çerçeve Örneği.” ISITES 2105 3RD International Symposium On Innovative Technologies In Engineering And Science, Universidad Politecnica de Valencia.
- [7] Mander, J. B., Priestley, M. J. N., and Park, R. (1984). "Seismic design of bridge piers." Research Report No. 84-2, Univ. of Canterbury, New Zealand
- [8] Popovics, S. (1973). "A numerical approach to the complete stress-strain curves for concrete." Cement and Concr. Res., 3(5), 583-599.
- [9] Richart, F. E., Brandtzaeg, A., and Brown, R. L. (1928). "A study of the failure of concrete under combined compressive stresses." Bulletin 185, Univ. of Illinois Engineering Experimental Station, Champaign, 111.
- [10] Sheikh, S. A., and Uzumeri, S. M. (1980). "Strength and ductility of tied concrete columns." J. Struct. Div., A.S.C.E., 106(5), 1079-1102.
- [11] William, K. J., and Warnke, E. P. (1975). "Constitutive model for the triaxial behavior of concrete." Proc, International Association for Bridge and Structural Engineering, vol. 19, 1-30.
- [12] Schickert, G., and Winkler, H. (1979). "Results of tests concerning strength and strain of concrete subjected to multiaxial compressive stresses." Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 277, Berlin, West Germany. 1823
- [13] Elwi, A. A. and Murray, D. W. (1979). "A 3D hypoelastic concrete constitutive relationship.", J. Eng. Mech. Div., ASCE, 105(4), 623-641.

- [14] Sinha, B. P., Gerstle, K. H., and Tulin, L. G. (1964). "Stress-strain relation for concrete under cyclic loading." *Am. Concr. Inst. J.*, 61(2), 195-211.
- [15] Karson, I. D., and Jirsa, J. O. (1969). "Behavior of concrete under compressive loadings." *J. Struct. Engrg. Div., ASCE* 95(12), 2543-2563.
- [16] Mander, J. B., Priestley, M. J. N., and Park, R. (1984). "Seismic design of bridge piers." Research Report No. 84-2, Univ. of Canterbury, New Zealand.
- [17] Takiguchi, K., et al. (1976). "Analysis of reinforced concrete sections subjected to biaxial bending moments." *Trans., Architectural Institute of Japan*, 250, 1-8.
- [18] Morita, S., and Kaku, T. (1975). "Cracking and deformation of reinforced concrete beams subjected to tension." *Liege Colloquium Inter-Association*.
- [19] Watstein, D. (1953). "Effect of straining rate on the compressive strength and elastic properties of concrete." *Am. Concr. Inst. J.*, 24(8), 729-744.
- [20] Bresler, B. and Bertero, V. V. (1975). "Influence of high strain rate and cyclic loading on behavior of unconfined and confined concrete in compression." *Proc. 2nd Can. Conf. on Earthquake Engrg., McMaster Univ.*, 1-32.
- [21] Scott, B. D., Park, R., and Priestley, M. J. N. (1982). "Stress-strain behavior of concrete confined by overlapping hoops at low and high strain rates." *Am. Concr. Inst. J.*, 79(1), 13-27.
- [22] Ahmad, S. M. and Shah, S. P. (1982). "Stress-strain curves of concrete confined by spiral reinforcement." *Am. Concr. Inst. J.*, 79(6), 484-490.
- [23] Ahmad, S. M., and Shah, S. P. (1985). "Behavior of hoop confined concrete under high strain rates." *Am. Concr. Inst. J.*, 82(5), 634-647.
- [24] Dilger, W. H., Koch, R., and Kowalczyk, (1984). "Ductility of plain and confined concrete under different strain rates." *Am. Concr. Inst. J.*, 81(1), 73-81.
- [25] Menegotto, M. and Pinto, P. E. (1973), "Method of analysis for cyclically loaded reinforced concrete plane frames including changes in geometry and non-elastic behavior" pp. 15-22.
- [26] Ramberg, W., and Osgood, W. R. (1943). "Description of stress-strain curves by three parameters." Technical Note No. 902, National Advisory Committee For Aeronautics, Washington DC.
- [27] Filippou, F., Popov, E. and Bertero, V. (1983), "Modeling of reinforced concrete joints under cyclic excitations", *ASCE, Journal of Structural Engineering* 109(11).
- [28] Mander, J. B., Priestley, M. J. N., and Park, R. (1988). "Observed stress-strain behavior of confined concrete." *Struct. Engrg., ASCE*, 114(8), 1827-1849.

- [29] Mazzoni, S., McKenna, F., Scott, M. H., Fenves, G. L. and et al.: (2006) “Opensees command language manual, Technical report, The Open System for Earthquake Engineering Simulation, University of California, Berkeley.”
- [30] DBYBHY, (2007), “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara
- [31] Temur F., (2007). “Statik İtme (Pushover) Yöntemi Kullanılarak Yapıların Analizi. ”
- [32] Celep Z., Kumbasar N., (2004) “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı”,
- [33] AFAD, (2011). Van Depremi Raporu Aralık 2011, Deprem Dairesi Başkanlığı
- [34] Kandilli Rasathanesi, “Son Depremler”, 2011, <http://www.koeri.boun.edu.tr>
- [35] United States Geological Survey, USGS, Ekim, 2011. <http://earthquake.usgs.gov>,
- [36] Bayram Otel Proje Paftaları, Van Büyük Şehir Belediyesi İmar Müdürlüğü.
- [37] TS500, “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları.”
- [38] Aka İ., Keskinel F., Çılı F ve Çelik O.C. (2001) “ Betonarme Betonarmeye Giriş, Betonarme Yapı Elemanları, Betonarme Taşıyıcı Sistemler.

ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Elazığ' da doğdum. Eğitimimi Elazığ' da tamamladım. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde eğitime başladım. 2014 yılında lisans eğitimimi tamamladıktan sonra Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Mekanik Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamış olup halen eğitime devam etmekteyim.

