

YÜKSEK YAPILARIN PERFORMANSA DAYALI TASARIMINDA KULLANILAN DEPREM SEV YELER

S. Engin¹, F. Okay² ve K. Beyen²

¹ Ar. Gör. Dr., İnşaat Müh. Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, İzmit, Kocaeli

² Doç. Dr., İnşaat Müh. Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, İzmit, Kocaeli

Email: serkanenginr@yahoo.com

ÖZET

Yapıların performansa göre tasarımı son yıllarda yaygın olarak uygulanan bir yöntemdir. Bu tasarım yönteminde öncelikle belli deprem seviyeleri tanımlanmakta ardından da bu seviyelerin belli performansla sınırlanması beklenmektedir. Öte yandan yüksek yapıların inşaatı da günden güne artmakta ve çoğu zaman yönetmeliklerde bu yapıların zaman tanım alanında doğrusal olmayan bir analizinin yapılması istenmektedir. Zaman tanım alanında analiz yönteminin, en güvenilir analiz yöntemi olduğu kabul edilmesine rağmen bu yöntemin güvenilirliği kullanılacak deprem kaydının içeriğine oldukça fazla bağlıdır. Oluşan her deprem ile birlikte mevcut deprem kayıtlarının sayısı ve çeşitliliği artmasına rağmen, hala hangi depremin ne tür binayı nasıl etkilediği henüz tam olarak bilinmemektedir. Bu çalışmada, öncelikle yüksek yapılar konusunda yayınlanmış olan üç farklı referans dokümanında performansa göre tasarım için tanımlanan deprem seviyeleri irdelenmiştir. Sonrasında yakın sahadan kaydedilmiş farklı zemin sınıfındaki (zemin dalgası kayma hızı V_s de V_s en) depremlerden iki ayrı deprem seti oluşturulmuş ve setlerde yer alan deprem kayıtları tasarım için tanımlanan en olumsuz tasarım spektrumuna göre ölçeklenmiştir. Ölçeklenen deprem kayıtları kullanılarak tipik bir betonarme yüksek yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda yapının her bir katında oluşan kesme kuvveti, eğilme momenti ve göreceli kat ötelemeleri elde edilmiştir. Elde edilen iç kuvvetler kıyaslandığında, zemin dalgası kayma hızı daha düşük olan zemin sınıfından alınan kayıtlarda oluşan yapı iç kuvvetlerinin daha büyük olduğu belirlenmiştir. Çalışmada son olarak, hasarın oluşum mekanizması ortaya konularak hasarın yaygın olduğu yapı bölgelerine vurgu yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Yüksek yapı, performansa dayalı tasarım, yakın saha, zaman tanım alanında analiz

1. GİRİŞ

Zaman tanım alanında analiz (ZTAA) yönteminde kullanılacak deprem kayıtlarının, analizi yapılacak yapı ve yapının inşaatı için uygun özellikler taşıması analiz için güvenilir sonuçlar vermesi açısından son derece önemlidir (Celep ve Kumbasar, 1996). Oluşan her bir depremin de V_s ik pek çok karakteristik özelliği bulunmakta ve farklı deprem hareketlerinden elde edilen tepe yer ivmesi (PGA), tepe yer hızı (PGV), tepe yer deplasmanı (PGD) gibi pek çok özellik de farklı olabilmekte ve bahsedilen bu farklı deprem özelliklerinin de yapının vereceği tepkiyi ne şekilde etkilediği hala tam olarak bilinmemektedir (Bommer ve Acevedo, 2004). İlk deprem kaydının gerçekleştirildiğinden bu yana dünya çapında pek çok yerden kaydedilmiş kayıtların sayısı binlerle ifade edilen rakamlara ulaşmıştır. Araştırmacılar, kaydedilen bu yer PGA, PGV, PGD ve frekans içeriği gibi pek çok, deprem karakteristik özelliklerini, yaratacağı olası hasar potansiyeline göre gruplandırmışlardır. Bu gruplandırmaya rağmen deprem kaydının hangi özelliğinin ne tür yapıda nasıl bir etki yaratacağına ilişkin bir genelleme yapılması henüz mümkün olamamaktadır. Bu sebeple analizi yapılacak bir yapının niteliğine göre

deprem kaydının seçilebilmesi için saha ve yapıya özel çalımların yapılmasını gerektirmektedir (Anderson ve Bertero, 1987, Applied Technology Council (ATC), 1978). Günümüzde yapıların analiz ve de erlendirmesinde performansa göre tasarım yaklaşımının uygulanması giderek yaygınlaşmaktadır. Bu yöntemin temel yaklaşımı, yapı için öncelikle belli bir deprem seviyesinin tanımlanması ve bu deprem seviyesinde de belli yer de i tirme veya dönme limitinin alınması ko ulunun sağlanmasıdır. Günün güne yaygınlaşan bu yaklaşımın uygulanması için son yıllarda bazı yönetmelik veya da teknik dokümanlar yayınlanmaktadır. Bununla birlikte, günümüze gelindi inde yüksek yapıların da tasarım ve in asının giderek yaygınlaşması görülmekte ve bu tür yapıların tasarımında bazı özel ko ulların sağlanması istenmektedir. Yakın tarihe gelindi inde göze çarpan bir di er de i iklik ise geli en teknoloji ile birlikte zaman tanım alanında do rusal olmayan analiz yöntemi ile analizlerin uygulanabilirli inin artmasıdır. Performansa göre tasarım yaklaşımı, yüksek yapılar ile ilgili yaygınlaşan uygulamalar ve zaman tanım alanında do rusal olmayan analiz yönteminin yaygınlaşması durumu bir arada de erlendirildi inde yüksek yapıların performansa göre tasarımı için çe itli dokümanların yayınlandı ı görülmektedir. Yayınlanan dokümanlar genel olarak yüksek yapıların tasarımı veya de erlendirilmesi için sahaya ili kin deprem risk de erlendirmesi yapılarak farklı deprem düzeyleri için zemin ba ımlı deprem tasarım spektrumları elde edilmesini talep etmektedir (Fahjan vd., 2011). Çalımanın bu bölümünde yüksek yapıların tasarım ve de erlendirmesi için yayınlanan üç adet kaynak dokümanda yer alan performansa dayalı tasarım deprem seviyeleri irdelenmi tir. Ülkemizde 2008 yılında taslak olarak stanbul Büyük ehir Belediyesi tarafından stanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeli i (YBDY) yayınlanmı tir. Bu yönetmelik taslak olarak yayınlanmı olmasına ra men Türkiye’de yüksek yapılar ile ilgili analiz ve tasarım ko ullarını içeren ilk yönetmelik olması açısından önemlidir. Bu önemi açısından bu bölümde YBDY’nin ivme kayıtları ile ilgili kısımlarına yer verilmi tir. YBDY’nde yüksekli i 60 metreyi a an yapılar yüksek yapı kabul edilmi ve yönetmelikte yüksek yapıların analiz ve de erlendirmesi için Tablo 1’de verilen “D1”, “D2” ve “D3” olmak üzere üç farklı deprem düzeyi tanımlanmı tir. D1 deprem düzeyi depremin, 50 yılda a ılma olasılı ı %50, buna kar ı gelen dönü periyodu ise 72 yıl, D2 düzeyi depremin 50 yılda a ılma olasılı ı %10, dönü periyodu ise 475 yıl, D3 düzeyi depremin ise 50 yılda a ılma olasılı ı %2, buna kar ı gelen dönü periyodu ise 2475 yıl olarak belirtilmi tir.

Tablo 1. YBDY’ne göre deprem düzeyleri

Deprem Düzeyi	A ılma Olasılı ı	Dönü Periyodu
D1	50 yılda %50	72 yıl
D2	50 yılda %10	475 yıl
D3	50 yılda %2	2575 yıl

Los Angeles Bölgesinde Bulunan Yüksek Yapıların Sismik Anazli ve Tasarımı için Alternatif Yöntem Mutabakat Dokümanı (YYMD) (An Alternative Procedure for Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located in The Los Angeles Region), Los Angeles Yüksek Yapılar Yapısal Tasarım Birli i (Tall Buildings Structural Design Council) tarafından daha önce yayınlanmı olan dokümanların en güncel hali olarak 2011 yılında yayınlanmı tir. YYMD’nda yüksekli i 48,76 m’den fazla olan binalar yüksek bina olarak tanımlanmı tir. Bu dokümanda yapıların hesabı için tanımlanan deprem düzeyleri Tablo 2’de verilmi tir. Tabloda, “Sık Depremler” olarak tanımlanan depremin 30 yılda asılma olasılı ı %50, buna kar ı gelen dönü periyodu ise 43 yıl, “Çok Seyrek Depremler” olarak belirtilen depremin 50 yılda asılma olasılı ı %2, buna karşı gelen dönü periyodu ise 2475 yıl olarak ifade edilmi tir. Yüksek yapıların tasarım ve de erlendirilmesi için yönetmelik hazırlanması çalımaları kapsamında ana esasların belirlenmesi amacıyla Uygulamalı Teknoloji Konseyi

(Applied Technology Council, ATC) ile Pasifik Deprem Mühendisli i Ara tırma Merkezi (Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER) tarafından yürütölen bir çalı ma sonucunda, PEER/ATC72-1 Yüksek yapıların sismik tasarım ve analizi için modelleme ve kabul kriterleri (Modeling and acceptance criteria for seismic design and analysis of tall buildings) adlı rapor hazırlanarak Ekim-2010 tarihinde yayınlanmı tur.

Tablo 2. YYMD’na göre deprem düzeyleri

Deprem Düzeyi	A ılma Olasılı ı	Dönü Periyodu
Sık Depremler	30 yılda %50	43 yıl
Çok Seyrek Depremler	50 yılda %2	2475 yıl

Kasım-2010 tarihinde ise bu raporu temel alan TBI-Yüksek Binaların Performansa Dayalı Tasarım Esasları (TBI-YBTE) (Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings) adlı doküman PEER, Yüksek Binalar Giri imi (Tall Buildings Initiative, TBI) grubu tarafından yayınlamı tur. Yayınlanan bu dokümanda yüksek yapıların tasarım, hesap ve de erlendirilmesine ili kin ayrıntılı bilgiler sunulmu tur. Bu dokümanda hakim periyodu 1,0 saniyeden fazla olan yapılar yüksek yapı olarak nitelendirilmemi tir. Dokümanda yapıların hesabı için “Servis Düzeyi Depremi” ve “Maksimum De erlendirme Depremi” olmak üzere iki farklı deprem düzeyi tanımlanmı ve tanımlanan bu deprem düzeyleri a a ıda yer alan Tablo 3’de sunulmu tur. Tabloda göröldü ü üzere TBI-YBTE dokümanında 30 yılda a ılma olasılı ı %50, dönü periyodu 43 yıl olan deprem “Servis Düzeyi Depremi”, 50 yılda a ılma olasılı ı %2, dönü periyodu 2475 yıl olan deprem ise “Maksimum De erlendirme Depremi” olarak tanımlanmı tur.

Tablo 3. TBI-YBTE Dokümanına göre deprem düzeyleri

Deprem Düzeyi	A ılma Olasılı ı	Dönü Periyodu
Servis Düzeyi Depremi	30 yılda %50	43 yıl
Maksimum De erlendirme Depremi	50 yılda %2	2475 yıl

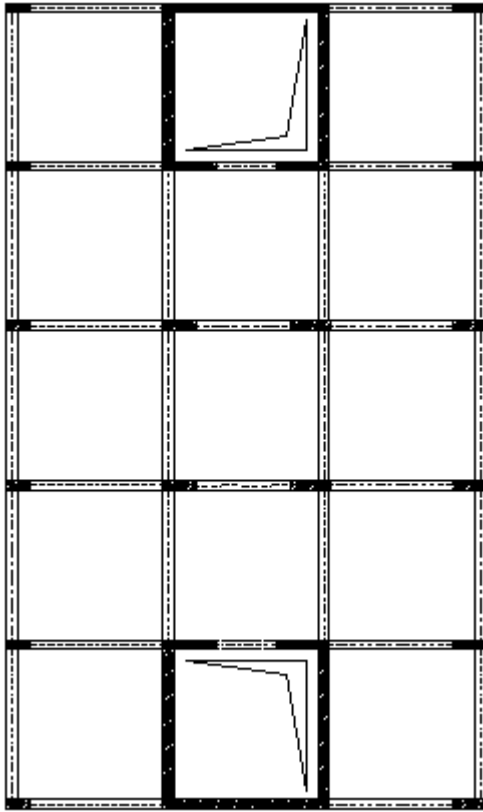
Yüksek yapılar ile ilgili yayınlanan bahsedilen dokümanlardaki deprem seviyelerine bakıldı ında her üç kaynaktada en olumsuz deprem seviyesinin 50 yılda a ılma olasılı ı %2 olan deprem düzeyi oldu u görölmektedir. Yapılan bu çalı mada yakın sahadan kaydedilmemi , zemin kayma dalgası hızı (zemin grubu) de i en iki farklı kayıt seti olu turulmu tur. Sette yer alan bu kayıtlar belli bir periyot aralı ında, yüksek yapılarla ilgili en olumsuz deprem seviyesinde olan 50 yılda a ılma olasılı ı %2 olan depreme göre ölçeklenmi ve ölçekleme katsayıları elde edilmemi tir. Ölçeklenen setlerde yer alan deprem kayıtları kullanılarak tipik bir betonarme yüksek yapının zaman tanım alanında do rusal olmayan analizleri gerçekle tirilmemi tir. Analizler sonucunda yapının her bir katında olu an toplam kesme kuvveti, e ilme momenti ile göreceli kat ötelemesi de erleri elde edilmemi tir. Zemin kayma dalgası hızı de i en her bir setten elde edilen sonuçlar birbiri ile kıyaslandı ında depremin kaydedildi i zeminin kayma dalgası hızı azaldıkça yapıda olu an kat toplam kesme kuvveti, e ilme momenti ve göreceli kat ötelemesi de erlerinin arttı ı gözlemlenmi tir.

2. ANAL T K ÇALI MA

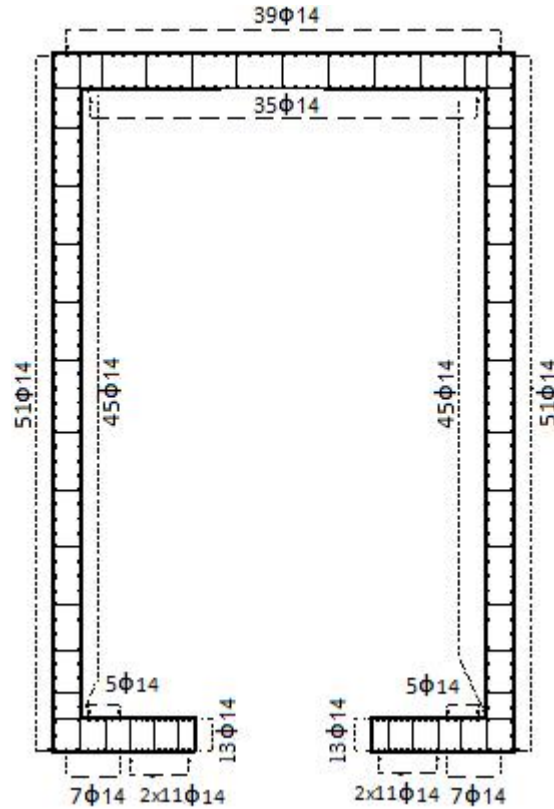
2.1. Yapı Analitik Modelinin Olu turulması

Çalı ma için tipik bir ereve ve perde duvarlardan olu an betonarme bina seçilmemi tir. Bu tipik binanın beton basınç dayanımı $f_{ck}=40$ MPa, boyuna ve enine donatı akma dayanımı $f_y=420$ MPa olarak alınmı tur. Binanın önem katsayısı $I=1$, deprem yükü azaltma katsayısı $R=6$, etkin yer ivmesi katsayısı $A_o=0,40$ ve zemin karakteristik periyotları $T_A=0,15$, $T_B=0,40$ (Z2 zemin sınıfı) alınarak kolonların dü ey yük de erlerini elde etmek amacıyla do rusal bir

dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizde, $3,00 \text{ kN/m}^2$ olarak alınan zati yüklerle (G), $7,50 \text{ kN/m}^2$ olarak alınan hareketli yüklerin (Q) %30'u eklenerek elde edilen arttırılmış yük, döşemeler üzerine etki ettirilmiştir. Çalı ma yapılarının kat adedi 25, her bir katın yüksekliği $h_f=4 \text{ m}$, yapının kısa kenar (x doğrultusu) açıklığı üç adet, bu doğrultudaki akslar arası mesafe $7,5 \text{ m}$, uzun kenar (y doğrultusu) açıklığı beş adet, bu doğrultudaki akslar arası mesafe 9 m , döşeme kalınlığı $0,22 \text{ m}$, 1-15. katlardaki kiriş boyutları $b_w=0,50 \text{ m}$, $h_k=0,80 \text{ m}$, 1-15. katlardaki kolon boyutları $b=2,00 \text{ m}$, $h=0,50 \text{ m}$, 16-25. katlardaki kiriş boyutları $b_w=0,50 \text{ m}$, $h_k=0,75 \text{ m}$, 16-25. katlardaki kolon boyutları $b=1,60 \text{ m}$, $h=0,50 \text{ m}$ ve çekirdek perdesinin uzun doğrultusunun kalınlığı $0,30 \text{ m}$, kısa doğrultusunun kalınlığı ise $0,50 \text{ m}$, perde etriye aralığı $0,20 \text{ m}$ olarak alınmıştır. Yapının kat planı ekil 1'de, perde kesitlerin donatı yerleşimi ekil 2'de, kolon ve kiriş kesitlerin donatı yerleşimi ekil 3'de verilmiştir. Bu koşullar altında gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda binanın dikey elemanlarına gelen eksenel yükler elde edilmiş ve binanın iki doğrultusundaki hakim periyotları $T_x=2,15 \text{ sn}$, $T_y=2,14 \text{ sn}$ olarak bulunmuştur. Beton davranışı için sargılı ve sargısız Mander beton modeli (Mander vd., 1988, 1998), betonarme kesitlerde yer alan donatılar için ise Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) 2007'de tanımlanmış olan donatı çeliği davranış modeli kullanılmıştır.

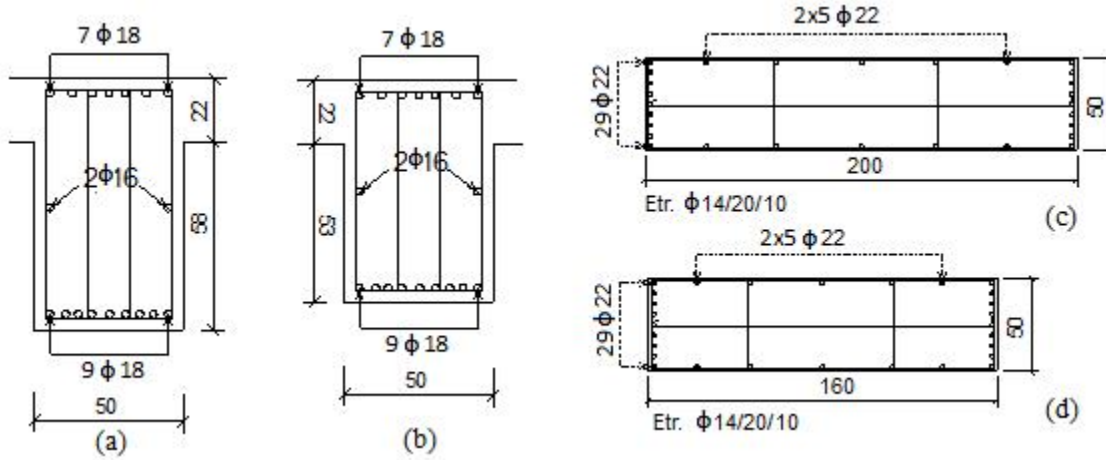


ekil 1. Çalı ma binasının kat planı



ekil 2. Bina perdeleri donatı yerleşimi

Bahsedilen kesit analizleri sonucunda yapı elemanlarının akma ve göçme eğilimi ile akma momenti değerleri belirlenmiştir. Tüm bu veriler ile SAP2000NL analiz programında yapının analitik modeli oluşturulmuştur. Kolon, kiriş ve perde elemanlar analitik modelde çubuk elemanlar olarak tanımlanmış, tanımlanan farklı tipteki her bir elemanın kapasite diyagramları (XTRACT, 2013) kesit analiz programı ile belirlenmiştir. Kesit analizi için gerekli olan kolon ve perde eksenel yükleri lineer dinamik analiz sonucunda elde edilmiştir. Yapı modelinde perdeler çubuk eleman kabul edildiği için, kesit analizinde perdelerin kapasite diyagramları bu kabule göre hesaplanmıştır. Kirişlerde kapasite eğrisi eksenel yük sıfır alınarak belirlenmiştir.



ekil 3. (a) 1-15. kat; (b) 16-25. kat kiri donatıları; (c) 1-15. kat; (d) 16-25.kat kolon donatıları yerleimi
(Uzunluklar: cm)

2.2. Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklenmesi

National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP)'e göre zeminler en üst 30 m profilindeki ortalama kayma dalgası hızına göre sınıflandırılmaktadır. Buna göre bu profildeki kayma dalgası hızı 180 m/sn ile 360 m/sn arasında ise zeminler, D sınıfında, 360 m/sn ile 760 m/sn arasında ise C sınıfında kabul edilmektedir. Çalı mada D ve C zemin sınıfından seçilen depremlerden iki set olu turulmu tur. D zemin sınıfından seçilen kayıtlar, Tablo 4'de, C zemin sınıfından seçilen kayıtlar ise Tablo 5'de verilmi tir. Seçilen kayıtları üreten depremlerin moment büyüklü ü M_w , 6,5 ile 7,6 arasında, kayıt yeri ile kaynak noktası arasındaki mesafe R ise 0-20 km aralı nda de i mektedir. Seçilen kayıtlar öncelikle 50 yılda a ılma olasılı ı %2 olan tasarım spektrumuna göre ölçeklenmi , ardından kayıtların karelerinin toplamının karekökünün (SRSS), hedef spektrumun 1,3 katının (yüksek yapılar için gerekli olan ko ul) altına dü memesi ko ulu sa lanmak üzere bir ölçekleme daha yapılmı tur. Bu ölçeklemeler sonucunda Tablo 4 ve Tablo 5'in son sütununda verilen ölçekleme katsayıları elde edilmi tir.

Tablo 4. D zemin sınıfından seçilen deprem kayıtları

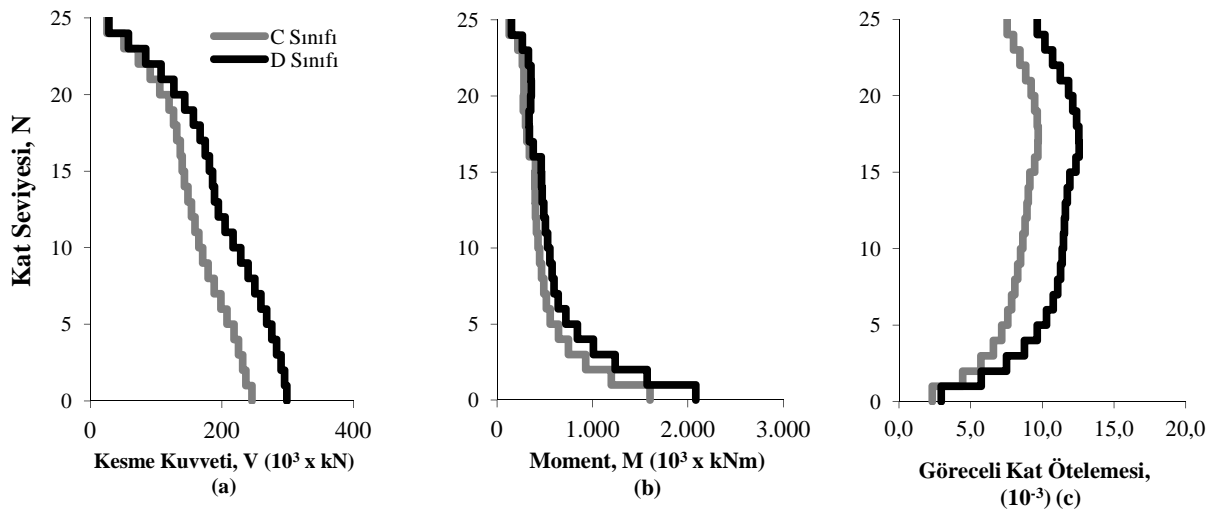
Deprem	stasyon	Bile en	Zemin Sınıfı	M_w	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)	Ölç. Kats.
Düzce (D-B)	Bolu	090	D	7,1	0,82	62,1	13,60	1,12
Northridge (N-NWPC)	Newhall WPC	46	D	6,7	0,45	92,8	56,60	1,59
Chi-Chi (CC-CHY101)	CHY101	N	D	7,6	0,44	115,0	68,80	1,52
Chi-Chi (CC-TCU101)	TCU101	E	D	7,6	0,20	67,9	75,40	3,30
Northridge (N-CCWLC)	Canyon Co. WLC	270	D	6,7	0,48	44,9	12,50	1,31
Erzincan (E-E)	Erzincan	EW	D	6,9	0,49	64,3	22,80	1,55
Imperial Val (IV-ECD)	El Centro Dif.	360	D	6,5	0,48	40,8	14,00	1,49
Imperial Val(IV-ECA5)	El Centro Arr#5	230	D	6,5	0,38	90,5	63,10	1,75
Imperial Val(IV-ECA7)	El Centro Arr#7	230	D	6,5	0,46	109,3	44,70	1,35
Düzce (D-D)	Düzce	270	D	7,1	0,53	83,5	51,60	1,36

Tablo 5. C zemin sınıfından seçilen deprem kayıtları

Deprem	stasyon	Bileşen	Zemin Sınıfı	M_w	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)	Ölç. Kats.
Northridge (N-PKC)	Pacoima Kag. C.	360	C	6,7	0,43	51,50	7,21	1,40
Chi-Chi (CC-TCU68)	TCU068	E	C	7,6	0,57	176,70	324,30	1,18
Loma Prieta (LP-SWVC)	Saratoga W Val.C	0	C	7,0	0,25	42,40	19,50	2,20
Chi-Chi (CC-CHY28)	CHY028	N	C	7,6	0,82	67,00	23,30	0,80
Loma Prieta (LP-C)	Carrolitas	090	C	7,0	0,48	45,20	11,30	1,28
ImperialVall (IV-HPO)	Hostville Post Off	315	C	6,5	0,22	49,80	31,90	2,68
Cape Mendo (CM-P)	Petrolia	0	C	7,0	0,59	48,40	21,91	1,25
Cape Mendo (CM-CM)	Cape Mendo	0	C	7,0	1,50	127,40	41,01	0,83
Chi-Chi (CC-TCU103)	TCU103	E	C	7,6	0,13	61,90	87,60	3,53
Loma Prieta (LP-SAA)	SaratogaAlohaA	090	C	7,0	0,48	42,60	27,60	1,96

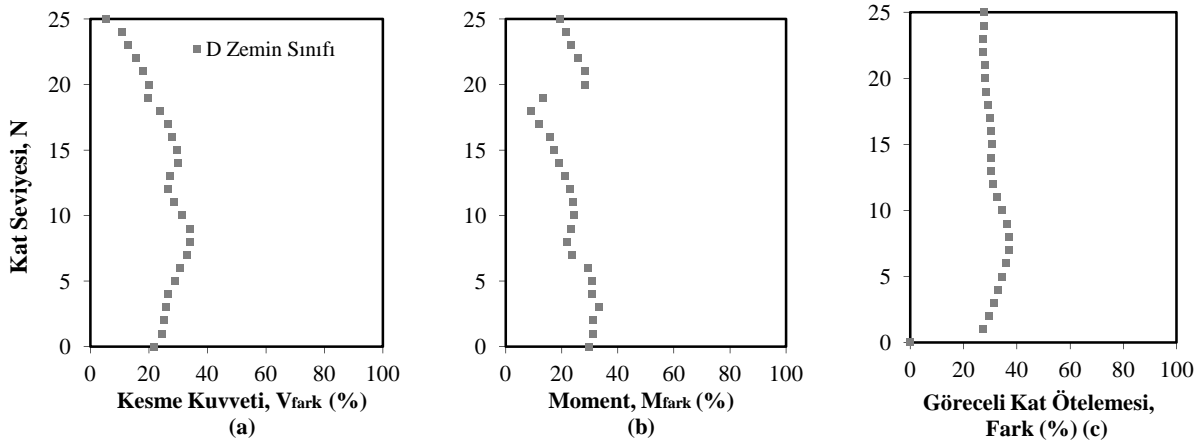
3. ELDE EDİLEN VERİLER VE DEĞERLENDİRMELER

Oluşturulan yapı analitik modeli üzerinde, önceki bölümde yer alan deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir ve yapı katlarındaki kesme kuvveti, eğilme momenti ve göreceli kat ötelemesi değerleri elde edilmiştir. Bu analizde doğrusal olmayan malzeme ve geometri değişimleri dikkate alınarak kesit hasarlarının kesit uç bölgelerindeki mafsallarda biriktiği kabul edilmiştir. Farklı zemin gruplarından elde edilen sonuçların kıyaslaması ekil 4’de verilmiştir. ekildeki grafiklerde açık renkli eğriler C zemin sınıfından, koyu renkli eğriler ise D zemin sınıfından elde edilen sonuçları göstermektedir. ekil 4(a)’da verilen eğrilerden kesme kuvvetlerinin, ekil 4(b)’de verilen eğrilerden momentlerin, ekil 4(c)’de verilen eğrilerden göreceli kat ötelemelerinin D zemin sınıfından elde edilen gruplarda daha büyük geçtikleri görülmektedir.



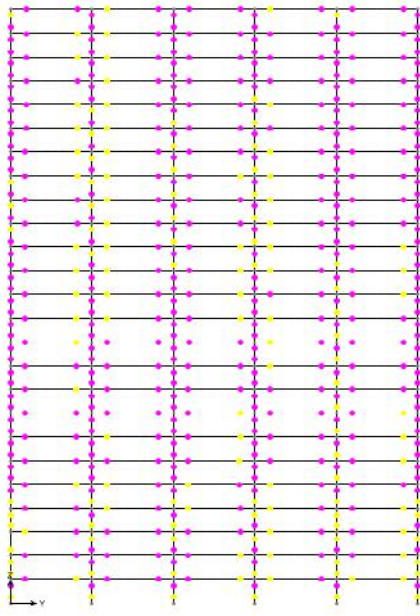
ekil 4. Zemin sınıfına göre (a) Kesme Kuvveti; (b) Moment; (c) Göreceli Kat Ötelemeleri

Her iki gruptan elde edilen sonuçların kıyaslanmasına ilişkin olarak sunulan ekil 4’de yer alan grafiklerden D zemin sınıfından elde edilen iç kuvvet ve göreceli kat ötelemelerinin arttığı görülmekle birlikte, artışın ne düzeyde olduğu ortaya konamamaktadır. Bu sebeple iki grubun sayısal olarak kıyaslanmasına ilişkin grafikler oluşturulmuş ve oluşturulan grafikler ekil 5’de verilmiştir. ekil 5(a)’da D zemin sınıfından elde edilen kesme kuvvetlerinin C sınıfından elde edilenlerle göre 8. katında %34,1, ekil 5(b)’de verilen momentlerin 3. katında %33,3, ekil 5(c)’de verilen göreceli kat ötelemelerinin 8. katında %37,02 oranında daha büyük olmuştur. Diğer katlarda her üç deprem için D zemin sınıfından elde edilen sonuçların C zemin sınıfından farklı oranlarda büyük elde edilmekle birlikte, yukarıda verilen oranlar gruplar arasında elde edilen maksimum farklar olmuştur.

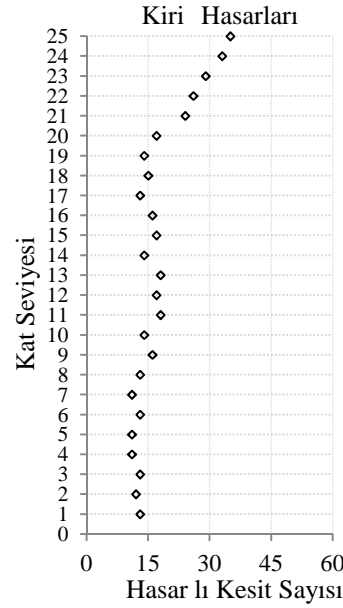


ekil 5. Zemin sınıflarına göre (a) Kesme Kuvveti; (b) Moment; (c) Göreceli Kat Ötelemesi deimleri

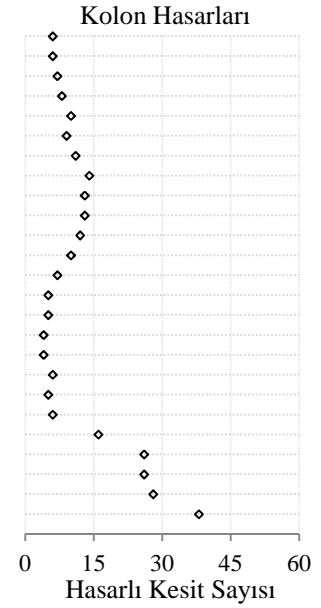
ekil 4 ve ekil 5’de sunulan sonuçlardan yapının özellikle alt katlarında daha büyük kesme kuvveti ve eilme momentlerinin olduğu görülmektedir. Daha büyük düzeyde oluşan iç kuvvetlerin yapıda daha büyük hasarlar oluşmasına açıklık vardır. Ayrıca yer alan ekil 6’da yaklaşık hasar durumunu ortaya koyabilmek için, kayıt setlerinde yer alan örnek bir deprem kaydı kullanılarak yapılan analiz sonucunda oluşan yapı hasar durumu sonuçları gösterilmiştir. ekil 6(a) örnek kayıt kullanılarak yapılan analiz sonucunda yapının uzun doğrultusundaki yine örnek bir aksında oluşan plastik mafsallar gösterilmiştir. ekilde açık renkli gösterilen noktalar plastikleşen noktaları göstermektedir. Buna göre yapının alt katlarında kolonlarda plastikleşmelerin yoğun olduğu, üst katlara doğru plastikleşen kolonlar yine bulunmakla birlikte, plastikleşmelerin daha çok kirişlerde olduğu görülmektedir. ekil 6(b)’de yapının her bir katında kirişlerdeki plastikleşme sayısı grafiği verilmiştir. Buna göre zemin kat kirişlerinde 13 adet plastik mafsallı olduğu görülmektedir. Yapının 4, 5 ve 7. kat kirişlerinde oluşan plastik mafsallı sayısı 11 adet olmuş ve bu tüm katlarda elde edilen en düşük plastik mafsallı sayısı olmuştur. Yapının 20. katından sonraki katlarında oluşan plastik mafsallı sayısının artarak son katta toplam 35 adete ulaştığı görülmektedir. ekil 6(c)’de yapının her bir katında yer alan kolonlardaki plastikleşme sayısı grafiği verilmiştir. Buna göre yapının zemin kat kolonlarında 35 adet plastik mafsallı olduğu anlaşılmaktadır. Yapının 2. katında, 28, 3. ve 4. katlarında 26, 5. katında 16 adet kolon plastik mafsallı olduğu, bu kattan sonra plastik mafsallı sayısı 6’ya düşmüş ve yapının 15. ve 19. katları arasında plastik mafsallı sayısının artması göstermiştir. Yapının 20. katından sonra ise kolonlarda oluşan plastik mafsallı sayısı azalmaya başlamış ve yapının son iki katında 6’ya düşmüştür.



(a)



(b)



(c)

ekil 6. Analiz sonrası yapı durumu (a) uzun kenar doğrultusunda hasar dağılımı; (b) kirişlerde oluşan hasar sayısı; (c) kolonlarda oluşan hasar sayıları

4. SONUÇLAR

Deprem kaydının alındığı zeminin kayma dalgası hızının (zemin sınıfının) depremimin yüksek yapılara etkisinin incelenmesi hedeflenen bu çalışmada zemin dalgası kayma dalgası hızı 180 cm/sn ile 360 cm/sn arasında deprem D zemin sınıfından ve zemin dalgası kayma dalgası hızı 360 cm/sn ile 760 cm/sn arasında deprem C zemin sınıfından olmak üzere iki farklı kayıt seti oluşturulmuştur. Seçilen kayıtlar yüksek yapılar için tanımlanan hedef tasarım spektrumuna uygun olarak ölçeklenmiş ve ölçeklenen bu kayıtlar kullanılarak yapının zaman tanım alanından doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler çerçevesinde, iki grup analizden elde edilen sonuçlar kıyaslandığında, D zemin sınıfından elde edilen kesme kuvvetleri ve eylem momentlerinin %35'e, göreceli kat ötelemelerinin ise %40'a varan oranlarda daha yüksek gerçekleştiği görülmüştür. Analizler sonucunda ayrıca yapının kat seviyelerinde hasarların oluştuğu, kiriş hasarlarının yapının üst katlarına doğru arttığı, kolon hasarlarının ise yapı alt katlarında arttığı gözlemlenmiştir. Yapıda oluşan iç kuvvet ve hasar dağılımları göz önüne alındığında, yüksek yapıların zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizinde kullanılacak deprem kayıtlarının yapının inşaa edileceği alana uygun olarak seçilmesi önem taşıdığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

Anderson JC, Bertero VV, Uncertainties in establishing design earthquakes, *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 1987, **113**(8), 1709-1724.

Applied Technology Council (ATC), Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings, ATC-06, Redwood City, California, 1978.

3. Türkiye Deprem Mühendisli i ve Sismoloji Konferansı
14-16 Ekim 2015 – DEÜ – ZM R



- Bommer JJ and Acevedo AB, The Use of Real Earthquake Accelerograms as Input to Dynamic Analysis, *Journal of Earthquake Engineering*, 2004, **8**(1), 43-92.
- Celep Z, Kumbasar N. (1996), Yapı Dinami i ve Deprem Mühendisli ine Giri , Sema Matbaacılık, stanbul.
- Fahjan Y., Akba B., Siyahi B., Ölçeklenmi Gerçek Deprem Kayıtları ile Yapıların Do rusal ve Do rusal Olmayan Dinamik Analizleri, *1. Türkiye Deprem Mühendisli i ve Sismoloji Konferansı*, 11-14 Ekim 2011, Ankara.
- Mander JB, Priestley MJN and Park R, Observed stress-strain behaviour confined concrete, *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 1988, **114**(8), 1827-1849.
- Mander JB, Priestley MJN and Park R, Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 1998, **114**, 1804-1826.