

BETONARME YÜKSEK YAPILARDA DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

¹Gökhan Dok

*¹Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, Turkey

Özet

Son yıllarda dünyada olduğu gibi Türkiye’de de betonarme yüksek yapıların sayısı giderek artmıştır. Türkiye’deki mevcut deprem riskleri göz önüne alındığında bu tür yapılara ait kapsamlı tasarım ve değerlendirme kurallarının geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu bağlamda tasarımcı mühendislerin de, betonarme yüksek yapıların tasarımı ve deprem yükleri altındaki oluşan yapısal performanslarının belirlenmesi konusunda bilgilendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada ülkemizdeki betonarme yüksek yapı stoğu ve deprem gerçeği düşünülerek 32 katlı betonarme bir yapının doğrusal elastik olmayan deprem performansının belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapının performans düzeyi belirlenirken Sap2000 sonlu elaman analiz programında Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007’de (TDY 2007) tanımlanmış zaman-tanım alanında (ZTA) doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi kullanılmıştır. Zaman-tanım alanında hesap yönteminde yapının bulunduğu zemin koşulları göz önünde bulundurularak ölçeklendirilmiş 3 deprem kaydı ile analizler tamamlanmış ve sonuçlardan elde edilen mutlak değerler en büyük veriler değerlendirmeye alınmıştır. Analizler sonucunda yapının deprem performansı TDY 2007’ye göre geçme düzeyi olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme yüksek yapı, zaman tanım alanında hesap, nonlinear performans analizi

Abstract

The number of reinforced concrete (RC) tall buildings has increased in Turkey as well as around the world in recent years. When the current earthquake risks in Turkey are considered it has become necessary to develop the design and evaluation rules for these type of structures. Therefore the designer engineers to be informed is very important about design and structural performance of RC tall buildings under earthquake loads. In this study, it is aimed to determine the nonlinear structural performance level of 32 stories RC buildings considering the high-rise building stock and earthquake risks. Nonlinear time-history analysis defined in Turkish Earthquake Code 2007 (TEC 2007) is used in Sap2000 finite element analysis program when the structural performance level is determined. In this evaluation method, the numerical analysis are completed with three different earthquake records which are scaled considering soil conditions of structure. According to the analysis results the performance level of structure is identified as failure.

Key words: Reinforced concrete tall building, time-history analysis, nonlinear performance analysis,

1. Giriş

Yapıların performans değerlendirilmesinde, TDY 2007’de tanımlanan yöntemlerden biri de doğrusal elastik olmayan zaman-tanım alanında hesap yöntemidir.[1] Deprem etkileri altında

yapılar lineer davranış göstermediklerinden bu yöntem diğer analiz yöntemlerine kıyasla daha gerçekçi bir yaklaşım sunmaktadır.[2] Bu analiz yöntem taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesi esasına dayanır.[3] Analizlerde her bir zaman adımında taşıyıcı sistemde oluşan yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu değerlerin deprem istemine karşı gelen mutlak değerce maksimum değerleri hesaplanır.[4,5] Zaman tanım alanında hesap yöntemi için, üretilmiş veya daha önceden kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem kayıtları kullanılabilir. Bu hesap yönteminde deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bir deprem kaydının seçilebilmesi için depremin büyüklüğü, fay tipi, faya olan mesafe, yerel zemin koşulları, yırtılma yönü ve kaydın spektral içeriği göz önüne alınmalıdır.[6,7] Bu hesap yönteminde 3 kayıt kullanıldığında elde edilen sonuçların mutlak değerce en büyükleri, 7 kayıt kullanıldığında ise mutlak değerce ortalamaları kullanılarak yapıya ait doğrusal olmayan yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ve iç kuvvet talepleri belirlenerek yapısal performans tespit edilir.[8,9] Bu çalışmada Sap2000 sonlu eleman analiz programında Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007'deki performans kriterleri göz önünde bulundurularak 32 katlı betonarme yüksek yapının yapısal performansı hesaplanmıştır.[10]

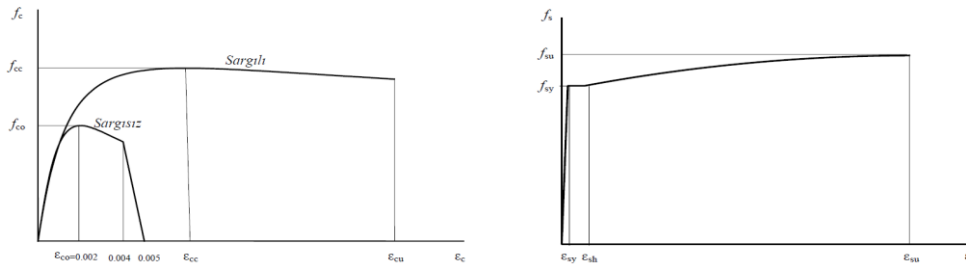
2. Nümerik Çalışma

Bu çalışmada TDY 2007'de tanımlanan zaman-tanım alanında hesap yöntemi ile 32 katlı betonarme bir yapının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem altında yapısal performansı belirlenmiştir. Analizlerde, yapısal elemanların (perde, kolon, kiriş) elastik ötesi dönem ve şekildeğiştirme talepleri bulunarak TDY 2007'de performans seviyelerine ait sargılı, sargısız beton ve donatı çeliğine için belirlenen sınır değerlerle karşılaştırılmıştır. Tablo 1'de performans seviyeleri için tanımlanmış sınır değerler görülmektedir.

Tablo 1. TDY 2007'de performans seviyeleri için sınır şekildeğiştirme değerleri

Kesit Hasar Sınırı	Sargısız Beton		Sargılı Beton	
	Beton birim şekildeğiştirme	Donatı çeliği birim şekildeğiştirme	Beton birim şekildeğiştirme	Donatı çeliği birim şekildeğiştirme
MN	0.0035	0.010	0.0035	0.010
GV	0.0035	0.004	0.0135	0.004
GÇ	0.004	0.060	0.018	0.060

Çalışmada Mander sargılı beton modelinin yanı sıra donatı çeliği için lineer-elastik ideal elastoplastik gerilme şekildeğiştirme ilişkisi kullanılmıştır. Şekil 1'de beton ve donatı çeliği için gerilme şekildeğiştirme ilişkisi görülmektedir.[11]



Şekil 1. Beton ve donatı çeliğine ait gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

Beton sınıfı C35, donatı çeliği S420 olarak projesine uygun olarak tespit edilmiştir. Analizlerde hem malzeme bakımında doğrusal olmayan davranış hem de geometri değişimi bakımında oluşan nonlineerite yani ikinci mertebe (P- Δ) etkiler hesaba katılmıştır. Malzeme bakımında doğrusal olmayan davranış ise plastik mafsallık hipotezi ile hesaba katılmıştır. Burada yığılı plastisite kabulü ile elastik ötesi şekildeğiştirmelerin L_p denilen bir plastik mafsallık boyu boyunca oluştuğu ve diğer kesitlerin elastik davranış gösterdiği kabulü yapılmıştır. L_p plastik mafsallık boyu TDY 2007’de kesit yüksekliğinin yarısı ($0.5h$) olarak tanımlanmıştır.[12] Analizlerde oluşturulan plastik mafsallar kiriş kolon ve uçlarına, perdelerde ise TDY 2007’de adı geçen kritik perde yüksekliğince tanımlanmıştır. Perdelerdeki plastik mafsallar, Sap2000 sonlu eleman programında perdelerin kabuk eleman yerine orta dikme çubuk eleman modeli ile tanımlanarak kullanılmasıyla kritik perde yüksekliği boyunca atanmıştır.[13] Şekil 2’de perdeler için teorik modeller gösterilmektedir.

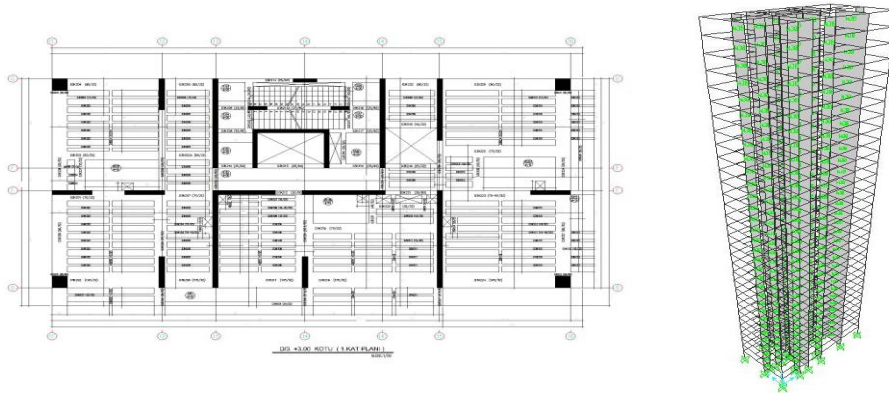


Şekil 2. Perdelerin modellenmesi

Ayrıca plastik mafsallar tanımlanırken yapısal elemanların malzeme modellerine bağlı olarak elde moment-eğrilik ilişkilerinden faydalanılmıştır. Kirişler için eğilme davranışını temsil eden M3 mafsallık, kolon ve perdeler için ise normal kuvvetin de etkili olması göz önünde bulundurularak oluşturulan akma yüzeyleri ve P-M2-M3 mafsallık tanımlanmıştır.

2.1. Yapısal model

Bu çalışmaya örnek yapı 32 katlı betonarme yüksek yapıdır. Kullanım amacı konut olan yapıda, taşıyıcı perde-çerçeve sistem olup yapı yüksekliğimiz 96 m’dir. Yapımızı TDY 2007’de tanımlanan Z2 zemin sınıfı üzerinde inşa edilmiş olup 1. Derece deprem bölgesindedir. Şekil 3’te yapıya ait kat planı ve 3 boyutlu sonlu eleman modeli görülmektedir.



Şekil 3. Yapısal model

Yapıya ait detaylı malzeme bilgisi, proje ve imalat detayları ile zemin raporları mevcut olduğundan TDY 2007’de göre kapsamlı bilgi düzeyi düşünülerek analizler tamamlanmıştır. TDY 2007’ye göre yapının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem altında “Can Güvenliği” performans seviyesini sağlaması beklenmektedir. Taşıyıcı sistem elemanları TDY 2007’deki minimum donatı koşulları göz önünde bulundurularak boyutlandırılmıştır. Tablo 2’de perde donatıları, Tablo 3’te kolon ve kiriş donatıları verilmiştir.

Tablo 2. Perde donatıları

Kesit (cm)	Başlık Kesiti (cm)	Minimum Başlık Donatı Alanı (cm ²)	Minimum Gövde Donatısı Alanı (cm ²)	Seçilen Başlık Donatısı	Seçilen Gövde Donatısı	
Perde	25x250	25X50	12.50	13.56	8 ϕ 16	12 ϕ 12/25
	25x420	25X85	20.00	22.60	12 ϕ 16	20 ϕ 12/25
	30x210	30X50	15.00	13.56	8 ϕ 16	12 ϕ 12/25
	30x345	30X70	21.00	20.34	12 ϕ 16	18 ϕ 12/25
	30x415	30X90	27.00	24.86	12 ϕ 20	22 ϕ 12/25
	30x440	30X90	27.00	27.12	12 ϕ 20	24 ϕ 12/25
	30x600	30X120	36.00	36.16	14 ϕ 20	32 ϕ 12/25
	30x655	30X130	39.00	38.42	16 ϕ 20	34 ϕ 12/25

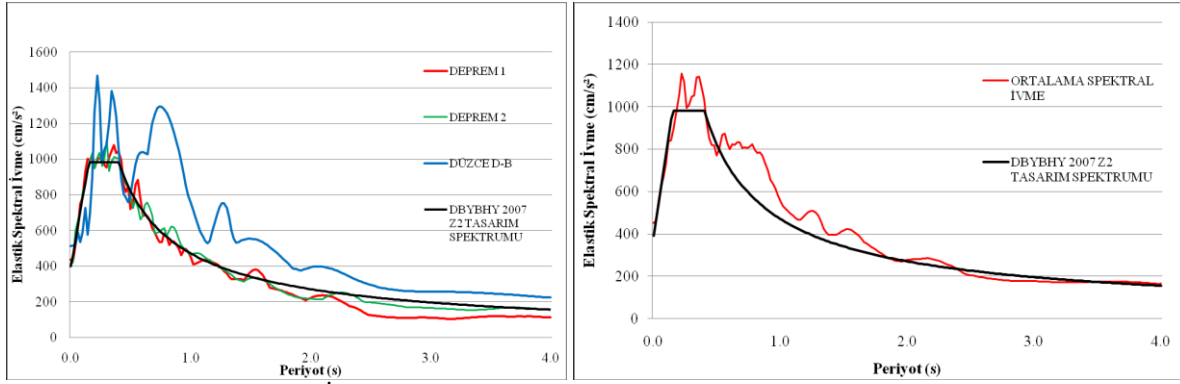
Tablo 3. Kolon ve kiriş donatıları

Kesit(Cm)	Minimum Donatı Alanı (cm ²)	Seçilen Minimum Donatı Alanı (cm ²)	
Kolon	80x80	64.00	32 ϕ 16
	25x100	25.00	14 ϕ 16
	25x125	31.25	16 ϕ 16
Kiriş	15x32	1.49	4 ϕ 12
	25x32	2.48	6 ϕ 12
	35x32	3.47	8 ϕ 12
	40x32	3.97	8 ϕ 12
	55x32	5.46	10 ϕ 12
	57.5x32	5.71	10 ϕ 12
	60x32	5.95	8 ϕ 16
	67x32	6.65	8 ϕ 16
	70x32	6.94	8 ϕ 16
	75x32	7.44	8 ϕ 16
	80x32	7.94	8 ϕ 16
	90x32	8.93	10 ϕ 16
	92.5x32	9.18	12 ϕ 16
	110x32	10.91	12 ϕ 16
	25x60	4.65	8 ϕ 12
	30x60	5.58	8 ϕ 12
40x60	7.44	8 ϕ 16	
30x70	6.51	8 ϕ 16	

TDY 2007 ‘ye göre oluşturulan bu donatı konfigürasyonuna bağlı olarak önce moment-eğrilik ilişkileri oluşturulmuş, elde edilen moment-eğrilik eğrilileri ile de plastik mafsallar tanımlanarak kesitlere atanmıştır. Elde edilen bu verilen sayesinde yapısal modelede doğrusal elastik olmayan davranış tanımlanması tamamlanmıştır.

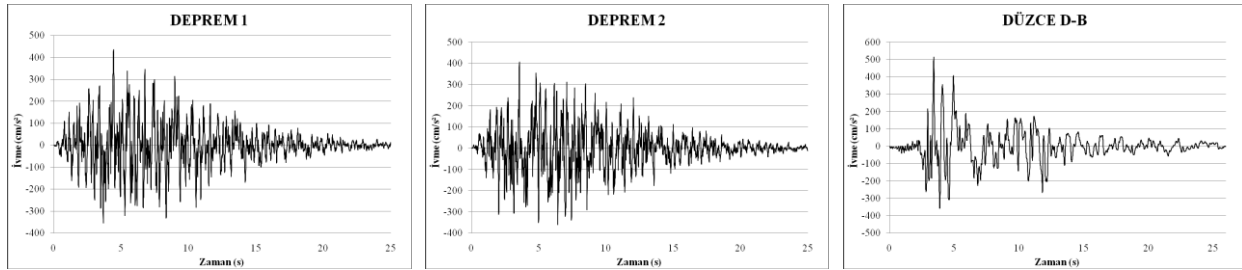
2.2. Zaman-tanım alanında hesap yöntemi

Bu çalışmada 2 adet benzeştirilmiş deprem kaydı ve Düzce deprem kaydının doğu-batı bileşeni TDY 2007'deki Z2 zemin sınıfına göre oluşturulmuş tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilerek kullanılmıştır. Söz konusu deprem kayıtları zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi uygulamak için TDY 2007'de tanımlanan tüm koşulları sağlayacak şekilde düzenlenmiştir. Deprem kayıtlarına ait süreler, tasarım spektrumu ile uyumu ve ivme değerleri göz önüne alındığında TDY 2007'deki tüm düzenlemelerle uyumludur. Şekil 4'te ivme kayıtlarının ve ortalamalarının TDY 2007'deki tasarım spektrumu ile uyumunu gösterilmiştir.



Şekil 4. İvme kayıtlarının TDY 2007'de tasarım spektrumu ile uyumu

Her 3 deprem kaydı da hem x hem de y doğrultusunda uygulanarak toplamda 6 analiz gerçekleştirilmiş elde edilen sonuçlar mutlak değerce maksimumlar kıyaslanarak karşılaştırılmıştır. Deprem kayıtlarına ait ivme-zaman ilişkileri Şekil 5'te gösterilmiştir. Deprem kayıtlarına ait detaylı bilgi Tablo 4'te görülmektedir.



Şekil 5. Deprem kayıtlarına ait ivme-zaman ilişkisi

Tablo 4. Deprem kayıtlarına ait özellikler

Deprem Adı	Süre (s)	Maksimum İvme (cm/s ²)	Maksimum Hız (cm/s)	Maksimum Yerdeğiştirme (cm)	Zaman Aralığı (s)
Deprem 1	25,00	434,95	-42,67	-13,99	0,005
Deprem 2	25,00	406,17	-48,47	24,02	0,005
Düzce D-B	25,97	513,78	-90,80	-423,44	0,005

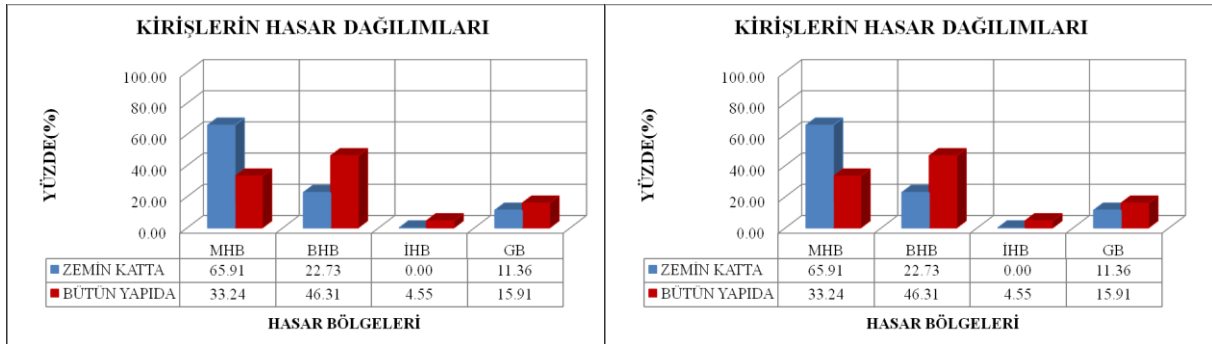
3. Analiz Sonuçları

Zamanım tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak tamamlanan 6 analizden elde edilen verilere göre taban kesme kuvveti, devrilme momenti ve toplam yerdeğiştirme değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

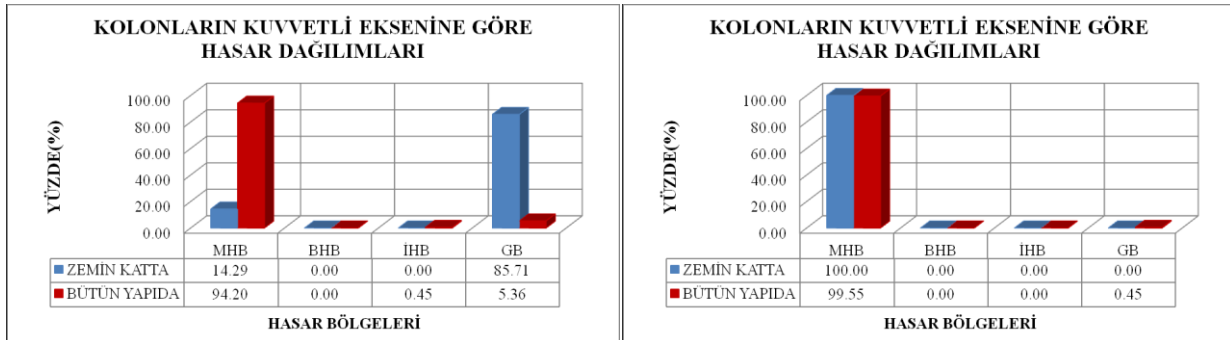
Tablo 5. Deprem kayıtlarına ait özellikler

Kayıt Adı	Taban Kesme Kuvveti		Devrilme Momenti		Yerdeğiştirme	
	X (kN)	Y (kN)	X (10^6 kNm)	Y (10^6 kNm)	X (m)	Y (m)
Deprem 1	10100	12100	1.05	2.1	0.23	0.31
Deprem 2	9900	11900	1.2	2	0.38	0.81
Düzce D-B	10200	18000	1.9	2.1	1.19	0.98

Elde edilen bu veriler doğrultusunda yapıda oluşa plastik dönme talepleri belirlenmiş kolon, kiriş ve perde elemanlarına her iki ucuna da tanımlana plastik mafsal dönme sonuçlarına bakılarak yapısal elemanlara ait şekildeğiştirme istemi elde edilmiştir. Her taşıyıcı siteme elamanda oluşan şekildeğiştirme istemi TDY 2007'de tanımlanan ve yapısal hasarlara ait sınırları tespit eden şekildeğiştirme sınırları ile karşılaştırılarak elemanlara ait kesit hasar durumu belirlenmiştir. Şekil 6'da kirişlere ait hasar dağılımları, Şekil 7'de kolonların kuvvetli eksenlerine göre ve Şekil 8'de hasar dağılımları x ve y deprem doğrultularında olmak üzere sırasıyla solda sağa gösterilmiştir.



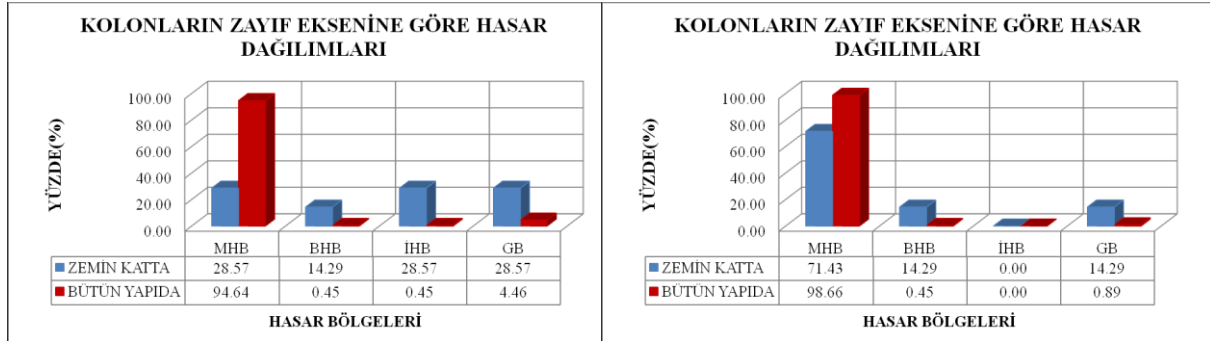
Şekil 6. Kirişlerin sırasıyla x ve y deprem doğrultularındaki hasar dağılımları



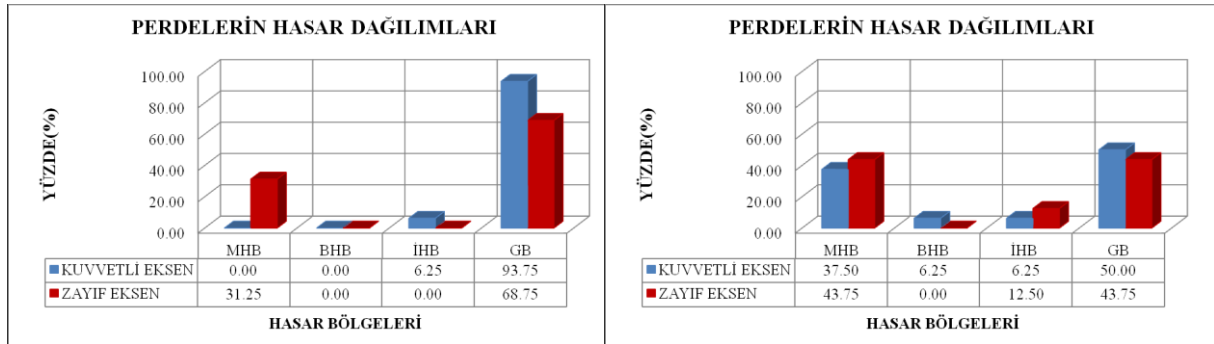
Şekil 7. Kolonların sırasıyla x ve y deprem doğrultularındaki kuvvetli eksenlerine göre hasar dağılımları

Ayrıca kolonların zayıf eksenlerine göre hasar dağılımları Şekil 8'de, perdelerine ait hasar

dağılımları ise Şekil 9'da x ve y deprem doğrultularında olmak üzere sırasıyla solda sağa gösterilmiştir.

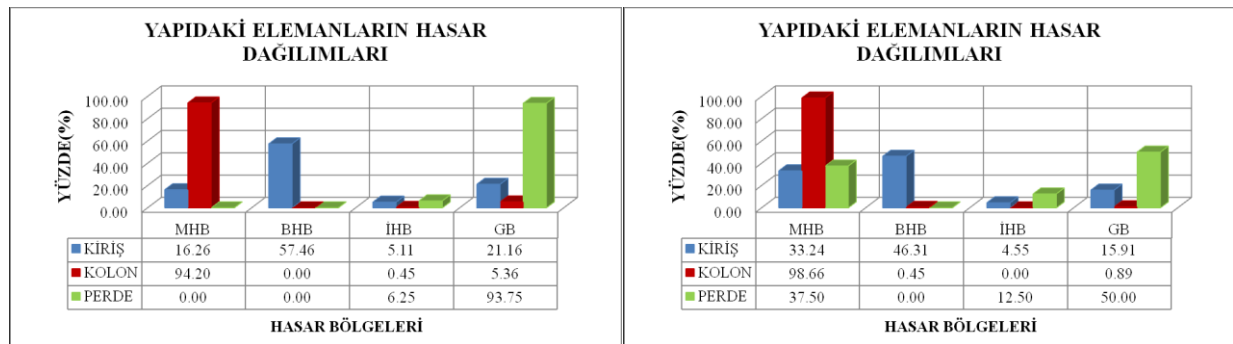


Şekil 8. Kolonların sırasıyla x ve y deprem doğrultularındaki zayıf eksenlerine göre hasar dağılımları



Şekil 9. Perdelerin sırasıyla x ve y deprem doğrultularındaki hasar dağılımları

Yapıda toplamda 1408 adet kiriş, 229 kolon ve 16 adet perde bulunmaktadır. Analiz sonuçlarına göre, x deprem doğrultusunda kirişlerin 229 adedi Minimum, 809 adedi Belirgin Hasar, 72 adedi İleri Hasar, 298 adedi Göçme Bölgesinde; kolonların 211 adedi Minimum Hasar, 1 adedi İleri Hasar, 12 adedi Göçme Bölgesinde; perdelerin 1 adedi İleri Hasar, 15 adedi Göçme Bölgesinde bulunmaktadır. Y deprem doğrultusunda ise kirişlerin 468 adedi Minimum Hasar, 652 adedi Belirgin Hasar, 64 adedi İleri Hasar, 224 adedi Göçme Bölgesinde; kolonların 221 adedi Minimum Hasar, 1 adedi Belirgin Hasar, 2 adedi Göçme Bölgesinde; perdelerin 6 adedi Minimum Hasar, 2 adedi İleri Hasar, 8 adedi Göçme Bölgesinde bulunmaktadır. Tüm yapıdaki hasar durumları x ve y deprem doğrultusu için Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Tüm yapıda sırasıyla x ve y deprem doğrultularındaki hasar dağılımları

Sonuçlar

Bu çalışmada 32 katlı betonarme bir yapının deprem performansı TDY 2007''ye göre zaman tanım alanında hesap yöntemi uygulanarak belirlenmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde çalışmasının başında hedeflenen 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremde Can Güvenliği performans hedefinin sağlanmadığı ve yapının Göçme durumunda olduğu tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen veriler ışığında aşağıdaki tespitler yapılmıştır.

Kesitlere ait değerlendirmelerde ve tüm yapı için hasar durumunun tespiti sırasında en elverişsiz koşullar kabul edilerek yapı deprem performansı tespit edilmiştir. Yapıdaki kirişlerde oluşan plastik dönmeler nedeniyle kesit içerisindeki donatı betonun daha önce şekildeğiştirme sınırlarına ulaşmıştır. Kiriş kesitlerinde oluşan hasarlar öncelikli olarak donatının uzama şekildeğiştirme sınırının aşılması ile oluşmuştur. Yapıdaki kolonlarda yapay olarak üretilen kayıtlara ait analizlerde plastik mafsallık oluşmadığı gözlenmiştir. Ancak Düzce D-B deprem kaydı için yapılan analizlerde kolonlarda özellikle ilk 3 katta önemli şekildeğiştirmeler görülmüş, bu şekildeğiştirmeler bazı durumlarda kesiti göçme durumuna kadar götürmüştür. Diğer katlarda ise plastik dönmeler nedeniyle oluşan şekildeğiştirmeler minimum hasar seviyesinde kalmış veya hiç oluşmamıştır. Kolonlarda özellikle ilk 3 kat seviyesinde görülen eksenel basınç kuvvetleri kolonun moment taşıma kapasitesini etkilemiş ve kolon kesitleri daha düşük moment değerleri altında plastikleşme eğilimi göstermiştir. Bu durum karşılıklı etkileşim diyagramı ile açıklanabilir çünkü kolon ve perdeler bileşik eğilme etkisindeki elemanlar olduğundan eksenel yükün artması kolon moment taşıma kapasitesini düşürmektedir. Bazı istisnai durumlarda ise özellikle eksenel basınç kuvveti çok fazla olduğundan bu kuvvet altında bazı kolonlar moment taşıyamaz hale gelmiştir. Dolayısıyla bu eksenel basınç kuvveti altında kolon kesiti göçmüştür. Yapıdaki perdeler de kolonlarda olduğu gibi kuvvetli ve zayıf eksenlerine göre ayrı ayrı incelenmiştir ve perde için kabul edilen nihai hasar durumu bu iki değerlendirmeden elde edilen en elverişsiz hasar durumudur. Perdelerde her bir kesit için oluşan 4 dönme değerinden bazıları kolonlarda olduğu gibi eksenel çekme ve basınç kuvvetleri altında oluştuğu görülmüştür. Bu eksenel basınç kuvvetleri özellikle ilk kat seviyesinde çok büyük değerlere ulaştığından bazı perde kesitlerinin bu basınç kuvvetleri altında moment taşıma gücünü kaybetmiş ve bu eksenel kuvvetler altında göçmüştür. Aynı zamanda bazı eksenel çekme durumlarında da kesitlerin bu eksenel çekme kuvveti etkisiyle moment taşıyamaz hale gelip göçtüğü tespit edilmiştir. Kesitlerin büyük eksenel çekme ve basınç değerleri altında oluşan bu göçme durumu kesitin hem boyut olarak hemde donatı miktarı olarak yetersiz oluşunun en büyük göstergesidir.

Referanslar

- [1] DBYBHY (2007) Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, 2007
- [2] Chopra A.K., Goel R.K. Modal pushover analysis of sac buildings, California, 2001
- [3] Aydınoglu N. An incremental response spectrum analysis procedure based on inelastic spectral displacements for multi-mode seismic performance evaluation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2003, cilt 1, no. 1.
- [4] Güngör, O. Mevcut bir karayolu köprüsünün doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler ile Performans değerlendirmesi, İ.T.Ü., İstanbul, 2009

- [5] Dok G. 32 katlı betonarme bir yapının deprem performansının zaman tanım alanında hesap yöntemi uygulanarak belirlenmesi, İ.T.Ü., İstanbul, 2011
- [6] Başot T. Betonarme yüksek bir binada dbybhy ile iybby ilkelerinin doğrusal olmayan dinamik çözümleme ile karşılaştırılması İ.T.Ü., İstanbul, 2010
- [7] Fahjan Y. Türkiye Deprem Yönetmeliği Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, 2010, İMO Teknik Dergi, 4423-4444
- [8] PEER, Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center, PEER Strong Motion, 2011 <http://peer.berkeley.edu/smcat/>
- [9] Priestley, M., & Kowalsky, M. Direct displacement-based seismic design of concrete, NZ National Society for Earthquake Engineering, 2000, New Zealand
- [10] SAP2000, Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual, Computers and Structures, 2012, California, USA
- [11] Mander, J.B., Priestly, M.J.N., Park, R. Theoretical stress-strain model for confined concrete, ASCE Journal of Structural Engineering, 1988, Vol.114
- [12] İnel, M., Özmen, H. B. Effects of plastic hinge properties in nonlinear analysis of reinforced concrete buildings, Engineering Structures, 2006, 28, 1494-1502.
- [13] Kubin, J., Fahjan, Y. M., Tan, M. T. Comparison of practical approaches for modelling shearwalls in structural analysis of buildings, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, 2008, Beijing, China.