

Zaman Tanım Alanında Analiz Yöntemi Kullanılarak Binalardaki A3 Düzensizliğinin İncelenmesi

Mehmet Emin ÖNCÜ^{1*}, Burak YÖN², Zülfü Çınar ULUCAN²

¹Dicle Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü / DİYARBAKIR

²Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü / ELAZIĞ

Alınış tarihi: 16.09.2008, Kabul tarihi:02.06.2009

Özet: Depreme dayanıklı yapı tasarımları için farklı yöntemler kullanılmaktadır. En güncel yöntemlerden biri de Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizdir. Bu yöntemle sismik analizler yapılırken daha önce meydana gelmiş depremlerin ivme kayıtları kullanılmaktadır. Bu deprem ivme kayıtları değişik kaynaklardan çok farklı yöntemlerle elde edilir. Bunlar: Tasarım ivme spektrumu uyumlu yapay kayıtlar, benzeştirilmiş kayıtlar ve deprem esnasında kaydedilen kayıtlardır (Fajhan, 2008). Bu kayıtlar kullanılırken farklı bölgelerdeki zemin özellikleri de dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelikte belirtilen Zaman Tanım Alanında Analiz yöntemi ile doğrusal olmayan analizi yapılan A3 düzensizliğine sahip belli tip yapılar incelenmiştir. Önce üç deprem ivme kaydı alınarak Türk Deprem Yönetmeliğinde ifade edilen elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiştir. Elde edilen maksimum ivme kaydı, daha sonra A3 düzensizliğine sahip bu tip yapılara uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre yapıların zemin kat kolonlarındaki kesme kuvvetleri bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Zaman Tanım Alanında Analiz, A3 Düzensizliği, Deprem İvme Kaydının Ölçeklendirilmesi.

Investigation of Effect of A3 Irregularity at Building Using Time History Analysis

Abstract: Structures in high seismic risk regions must be designed as earthquake resistant structures essentially. Several design methods are used for these designs. One of them, the most recent method is Nonlinear Time History Analysis. There are three different kinds of records of ground acceleration (actual and synthetic records as well as spectrum compatible artificial records) for this design method (Fajhan, 2008). Soil characteristic of different regions must be also considered while these records are being used. In this study, A3 irregularity defined by Turkish Seismic Code-2007 is investigated by Nonlinear Time History Analysis. Three records are scaled in according to the elastic spectrum given by the Turkish Seismic Code-2007, first. Then one of them (which has maximum peak acceleration) is applied to all structures (ones which has A3 irregularities as well as regular one) involved. According to the results of analysis shear forces of first floor columns are found.

Keywords: Time History Analysis, A3 Irregularity, Earthquake Acceleration Records Scaling.

Giriş

Yatay yük olarak tanımlanan deprem etkisi, deprem yönetmeliklerinde ve günlük tasarımlarda genellikle eşdeğer statik bir kuvvet gibi düşünülmektedir. Fakat bu yaklaşım genelde hatalıdır. Depremi temsil etmek üzere alınan bu yatay kuvvetler gerçekteki deprem ivmelerinden doğan kuvvetin 1/4 ~ 1/8 i kadardır. Deprem hareketi, tersinir bir etkidir. Bu nedenle yapıyı sadece dayanım açısından güçlü yapmak, yapıyı tasarlamak için yeterli değildir. Yapının, deprem etkisiyle yapıda oluşan rölatif yer değiştirmeleri gerekli dayanım ile karşılayabilecek şekilde tasarlanması gerekmektedir (Celep, 2004; Doğangün, 2005).

Türk Deprem Yönetmeliği TDY-98 ve DBYBHY-2007, yapıların planda ve düşeydeki düzensizlik durumlarına göre çeşitli analiz yöntemleri önermektedir. Eski deprem yönetmeliklerinde tek analiz yöntemi olarak verilen Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemine ek olarak Mod Birleştirme ve Zaman Tanım Alanında Hesap yöntemleri önermektedir. Bu yöntemlerin hepsinde üç boyutlu analiz yapılması

zorunluluğu getirilmiştir. Yönetmelik Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin uygulanabilmesi için belirli sınırlandırmalar getirirken diğer iki yöntemde böyle sınırlamalar bulunmamaktadır. Bu çalışmada Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri üzerinde durulacaktır. Bu yöntemde bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için, yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketleri kullanılabilir (DBYBHY, 2007).

Fajhan (2008) Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY-2007) tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi konusunda bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada zaman tanım alanında ölçekleme yöntemleri kullanılarak, bu gerçek kayıtların her biri önce önerilen tasarım ivme spektrumlarıyla eşleştirilmeye çalışılmış ve farklı zemin tipleri için en iyi uyumu sağlayan gerçek kayıtlar seçilmiştir. Benzer bir

*oncume@dicle.edu.tr

çalışma kapsamında, El Centro, San Francisco ve California deprem ivmeleri kullanılarak deprem hareketlerinin benzeştirilmesi üzerine bir rapor hazırlanmıştır (Jennings vd., 1968). Ayrıca, yapay dinamik deprem hareketlerinin benzeştirilmesi ve analizi hakkında yapılan bir çalışmada benzeştirilmiş deprem ivmelerinin boyutunu doğrulamak için gerçek deprem ivmeleri kullanılmıştır (Nau vd., 1980).

Aydınoglu ve Fahjan (2003) mevcut yöntem ile inelastik sismik talep analizi için P-delta etkilerinin de dikkate alınmasını içeren bir formülasyon oluşturmuşlardır. Özdemir ve Fahjan (2007) tarafından gerçek deprem kayıtlarının tasarım spektrumlarına uygun olarak zaman ve frekans tanım alanlarında ölçekleme yöntemlerinin karşılaştırılması konusunda bir çalışma yapılmış ve elde edilen ölçeklenmiş kayıtlar kullanılarak tek serbestlik dereceli sistemin doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan davranışları karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada ise deprem kayıtlarının seçilmesi ile ilgili genel yöntemler değerlendirilmiştir. Yapılan analizler için Marmara Depreminin üç farklı istasyondan alınan deprem ivme kayıtları kullanılarak DBYBHY-2007'ye göre ölçeklendirme yapılmış ve maksimum deprem ivme kaydı elde edilmiştir. Yapılan ölçeklendirmede deprem bölgeleri ve zemin sınıfları için ifade edilen tasarım ivme spektrumuna uygun kayıtlar belirlenmiştir. Burada depremin büyüklüğü ve zemin koşulları dikkate alınmıştır. Elde edilen yeni deprem ivme kaydı A3 düzensizliğine sahip yapılara uygulanmıştır.

Materyal ve Metot

Yeni binaların tasarımı için Deprem Yönetmeliği'nde (DBYBHY-2007) 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem esas alınmaktadır. Bu deprem düzeyine ek olarak, mevcut binaların değerlendirilmesinde ve güçlendirme tasarımında kullanılmak üzere iki farklı deprem düzeyi de tanımlanmıştır. Bunlar:

Minimum Deprem: 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları, tasarım spektrumunun ordinatlarının yarısı olarak alınmaktadır.

Maksimum Deprem: 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları, tasarım spektrumunun ordinatlarının yaklaşık 1.5 katı olarak kabul edilmektedir.

Deprem spektrumunda hareketi ifade etmek için zemin sınıfları da dikkate alınarak yönetmelikte

$$A(T)=A_0 I S(T) \quad (1)$$

denklemleri verilmektedir. Burada;

$A(T)$: Spektral ivme katsayısını,

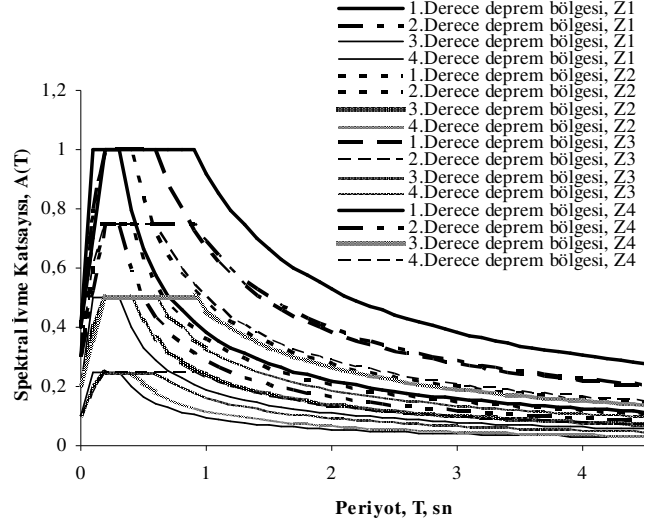
A_0 : etkin yer ivmesi katsayısını,

I : bina önem katsayısını,

$S(T)$: spektrum katsayısını

ifade etmektedir.

Spektral ivme katsayısı zemin sınıflarına göre Şekil 1'de verilen grafiğe göre değişim göstermektedir.



Şekil 1. Deprem bölgeleri ve zemin sınıflarına göre elastik tasarım ivme spektrumları

DBYBHY-2007'ye Göre Kayıtların Seçilme Koşulu

Kullanılacak yer hareketi kayıtları aşağıda verilen şartları sağlamalıdır.

- (1) Kullanılacak deprem ivme kaydının kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmamalıdır.
- (2) Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması $A_0.g'$ den daha küçük olmamalıdır.
- (3) Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için, $S_{ac}(T)$ elastik spektral ivme değerlerinin %90'ından daha az olmamalıdır.

Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi

Kayıtların seçilmesinde ve ölçeklendirilmesinde izlenecek adımlar aşağıda verilmiştir.

1. Deprem kayıtları veri bankalarından seçilir. Kayıtlarda faylanma mekanizması, büyüklük, mesafe ve zemin özelliklerine göre PEER veri bankasından Marmara Depremi için üç adet kayıt alınmıştır.

2. %5'lik sönüme göre Excel programı kullanılarak kayıtların yatay bileşenlerin her biri için tepki spektrumu (deplasman –zaman) diyagramı oluşturulmuştur.
3. Elde edilen tepki spektrumu S_a-S_d (spektral ivme-spektral deplasman) formatına dönüştürülmüştür. Burada tepki spektrumundan elde edilen deplasmanların mutlak değerlerinin maksimumları o periyota ait spektral deplasmanı vermektedir. Spektral ivme değerleri ise spektral deplasmanların w_n^2 ile çarpılmasıyla elde edilmiştir.
4. Kayıtların tepki spektrumları zemin sınıfına göre gruplandırılır. Kullanılacak zemin sınıfına ait tasarım spektrumu Denklem 2' ye göre ölçeklendirilir.

$$\alpha_{ST} = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gercek}(T) S_a^{hedef}(T))}{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gercek}(T))^2} \quad (2)$$

5. Denklem 2' den bulunan α_{ST} 'den faydalanarak $A(T)$ 'ye ait ölçeklendirme katsayısı α_{AT} Denklem 3'den elde edilir.

$$\alpha_{AT} = A_0 \cdot I \cdot \alpha_{ST} \quad (3)$$

Burada;

- S_a^{hedef} : hedef ivme davranış spektrumu,
- S_a^{gercek} : gerçek deprem kaydının ivme spektrumu,
- α_{ST} : $S(T)$ ye ait spektrum ölçekleme katsayısı,
- α_{AT} : $A(T)$ ye ait spektrum ölçekleme katsayısı,
- w_n : doğal açısal frekans,
- T_A : ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının alt sınırı,
- T_B : ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının üst sınırıdır.

DBYBHY–2007 de Verilen A3 Düzensizlik Durumları

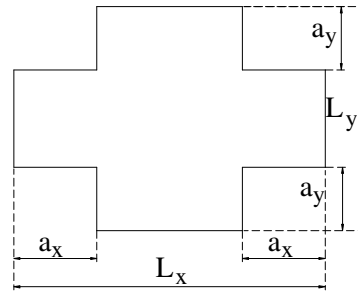
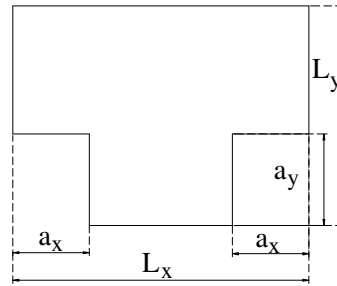
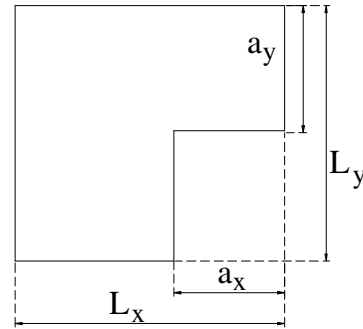
Yapılardaki A3 düzensizliği, kat planlarında çıkıntı bulunan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20' sinden daha büyük olması durumudur.

Sayısal Uygulama

Çalışmada, doğrusal olmayan analizde elastoplastik malzeme modeli kullanılmıştır. Tasarlanan taşıyıcı sistemler, x doğrultusunda 7 açıklıklı, y doğrultusunda 5 açıklıklı olarak seçilmiştir (Ercömert, 2007). Taşıyıcı sistemler, zemin+7 normal katlı olarak seçilmiş, tüm

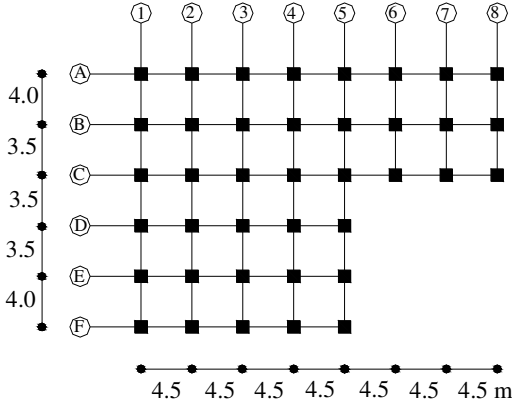
katların yükseklikleri 3.5 m olarak alınmıştır. Sistemlerin x yönündeki açıklıkları 4.5 m; y yönünde ise, kenar açıklıklar 4 m ve iç açıklıklar 3.5 m olarak belirlenmiştir. Tüm katlarda döşeme kalınlıkları 12 cm, giriş boyutları 25x60 cm, kolon boyutları; ilk dört katta 55x55 cm, diğer katlarda ise 45x45 cm olarak seçilmiştir. Binaların beton sınıfı C25, donatı türü ise S420'dir. Binalar 1. derece deprem bölgesinde, $I = 1.5$ bina önem katsayısına sahip, etkin yer ivmesi $A_0 = 0.4$ ve zemin sınıfı Z2 şeklinde tasarlanmıştır. Yükleme durumları; sistemin her katında ölü yük $G = 450 \text{ kg/m}^2$ ve hareketli yük $Q = 500 \text{ kg/m}^2$ olarak alınmıştır.

Göz önüne alınan biri düzenli dördü ise A3 düzensizliğine sahip toplam beş binada rijit diyafram kabulü yapılmıştır (Şekil 3-7). Binaların zaman alanında doğrusal olmayan analizlerinde Marmara Depreminin üç farklı istasyondan kaydedilen ivme kayıtları alınarak yukarıda ifade edilen yöntemle ölçeklendirilmiş ve yapılara uygulanmıştır. Marmara depremi ivme kaydı ile aynı depremin ölçeklenmiş ivme kaydı sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir. Yapıların analizleri SAP 2000 programı yardımıyla yapılmıştır (CSI, 2004). Yapılar için toplam 24 mod seçilmiştir.

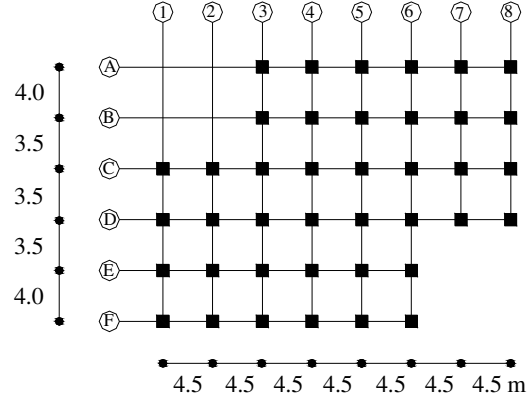


$$a_x > 0.20L_x \text{ ve aynı zamanda } a_y > 0.20L_y$$

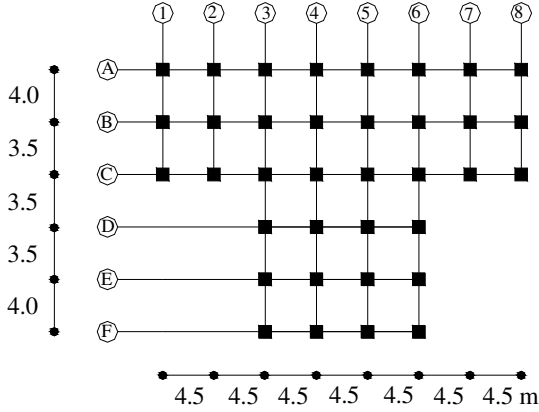
Şekil 2. A3 düzensizlik durumları



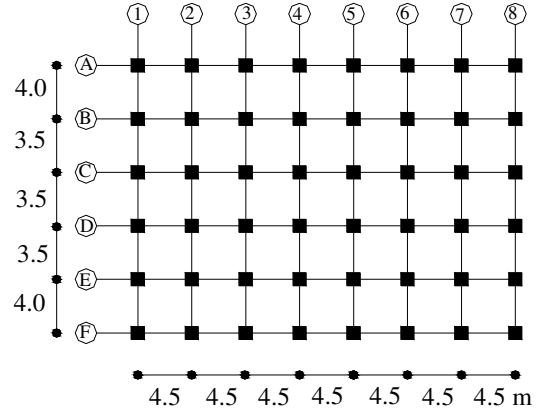
Şekil 3. A3-1 Düzensizlik Durumu-Kat Planı



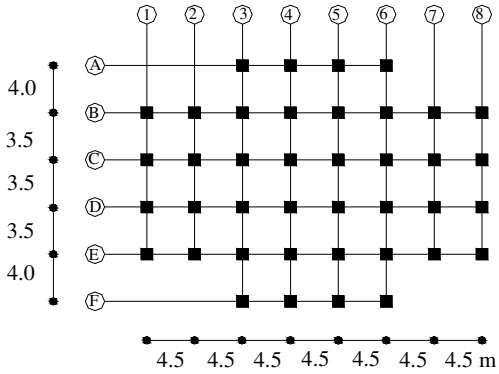
Şekil 6. A3-4 Düzensizlik Durumu- Kat Planı



Şekil 4. A3-2 Düzensizlik Durumu-Kat Planı

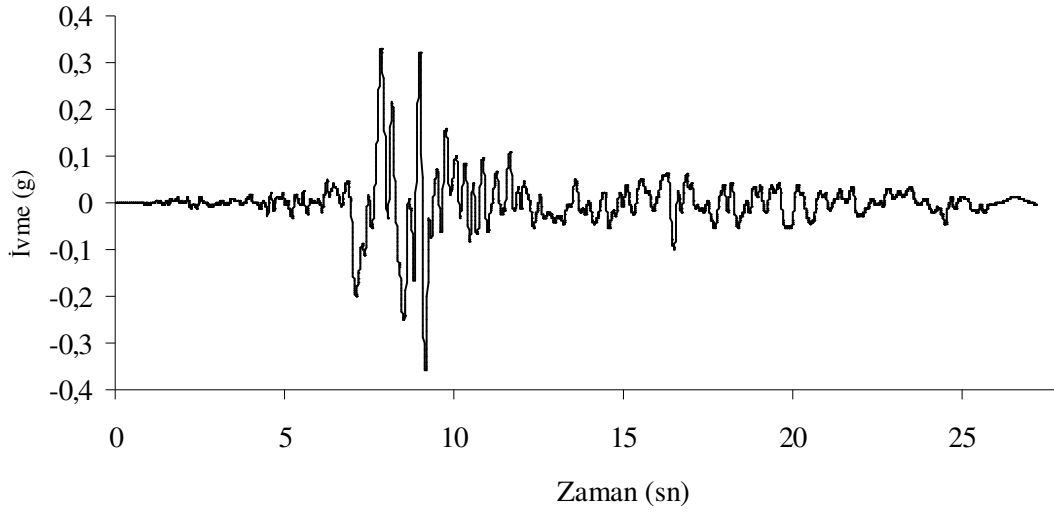


Şekil 7. Düzenli (Referans) Yapının Kat Planı

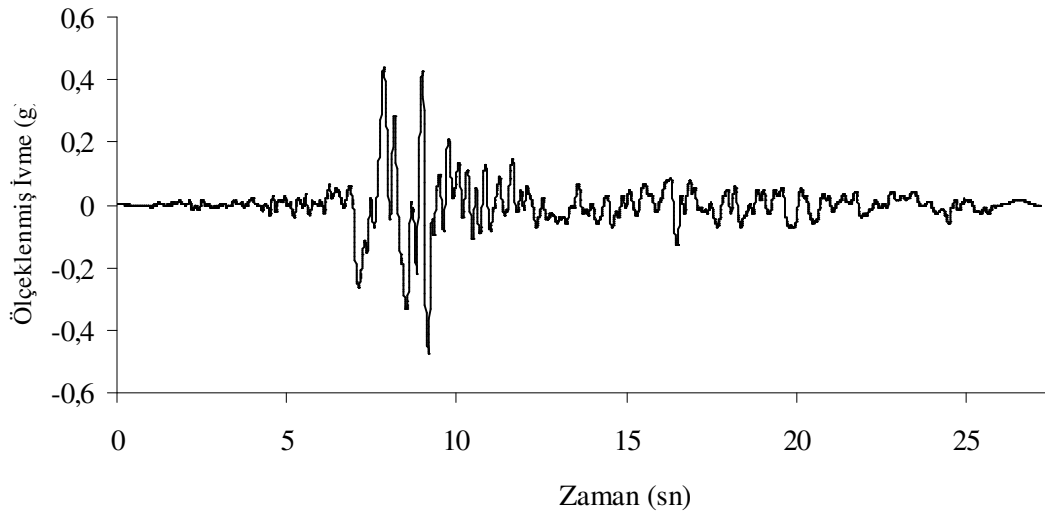


Şekil 5. A3-3 Düzensizlik Durumu- Kat Planı

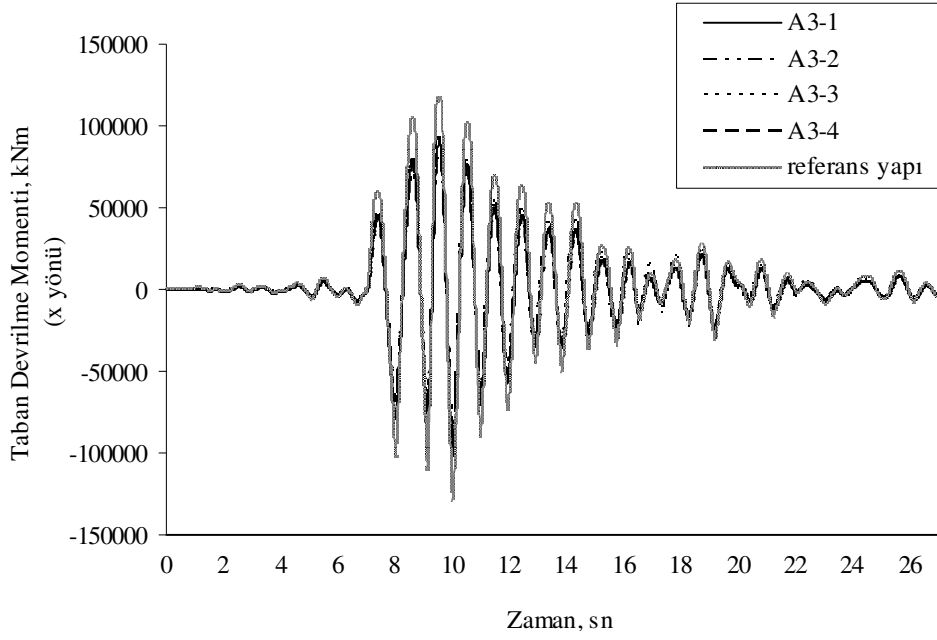
A3 düzensizliğinin, rijit diyafram kabulüne göre analizleri sonucunda bulunan taban devrilme momentleri x yönü için Şekil 10'da, y yönü için Şekil 11'de, taban burulma momentleri Şekil 12'de, taban kesme kuvvetleri x yönü için Şekil 13'de, y yönü için Şekil 14'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ayrıca maksimum değerler Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre maksimum moment ve kesme kuvveti değerleri yapının rijitliği oranında değişmekte asıl sorun ise burulma momentinin etkisinde görülmektedir. Düzensiz yapılar arasında taban burulma momentlerinin en büyük değeri A3-4 modelinin analizinden bulunmuş, bunu büyükten küçüğe, sırasıyla, A3-3, A3-2 ve A3-1 modellerinden bulunan burulma momentleri değerleri izlemiştir. Düzenli bir geometriye sahip olan referans yapıda birim ağırlığa karşılık gelen burulma momentleri, devrilme momentleri ve kesme kuvveti değerleri düzensiz yapı modellerine göre daha düşük çıkmıştır (Tablo 2).



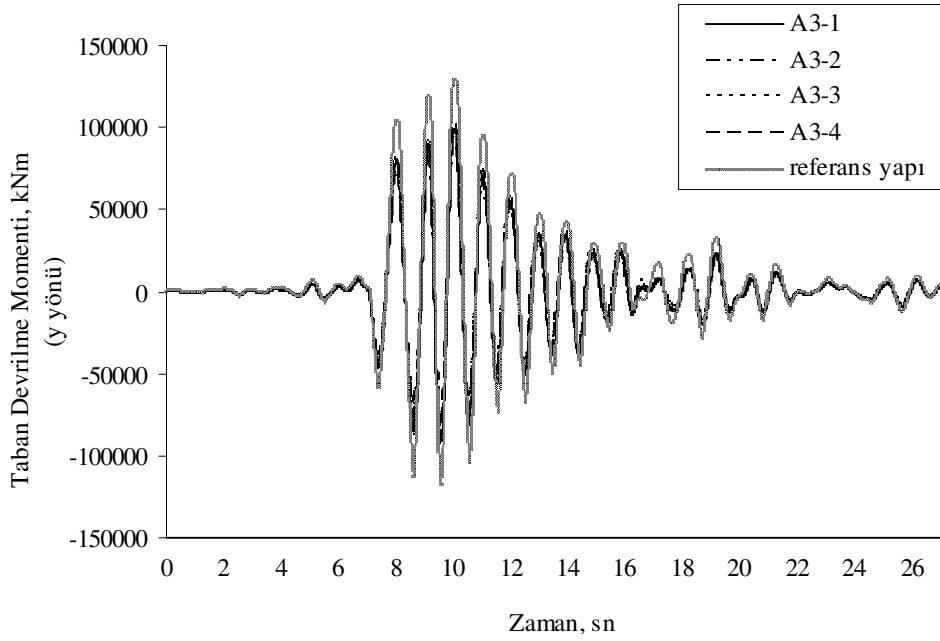
Şekil 8. Marmara Depremi İvme Kaydı (DZC270)



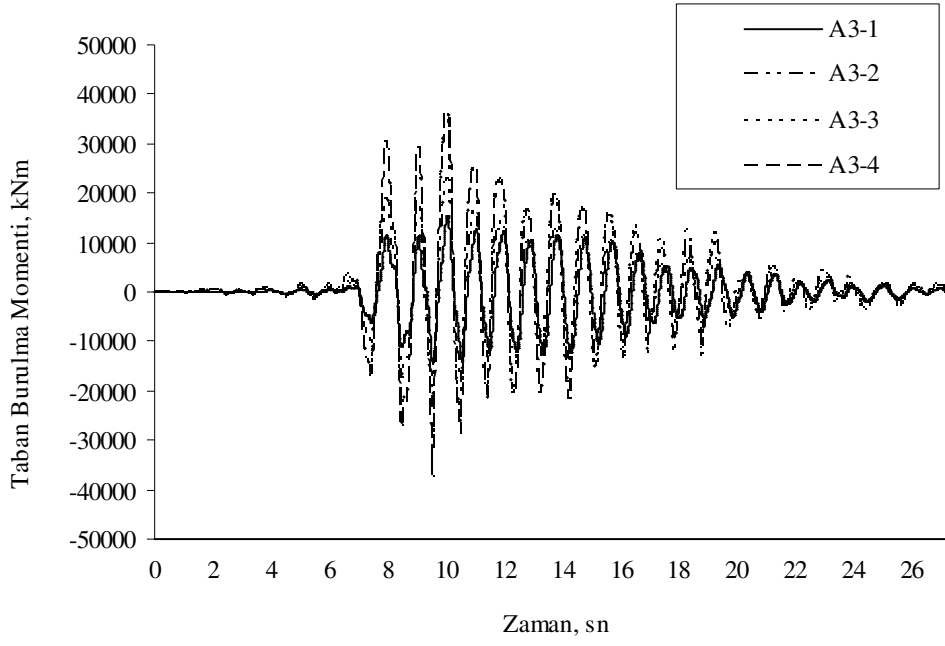
Şekil 9. Marmara Depreminin Ölçeklenmiş İvme Kaydı (A₀=0.4, I=1.5, Z₂)



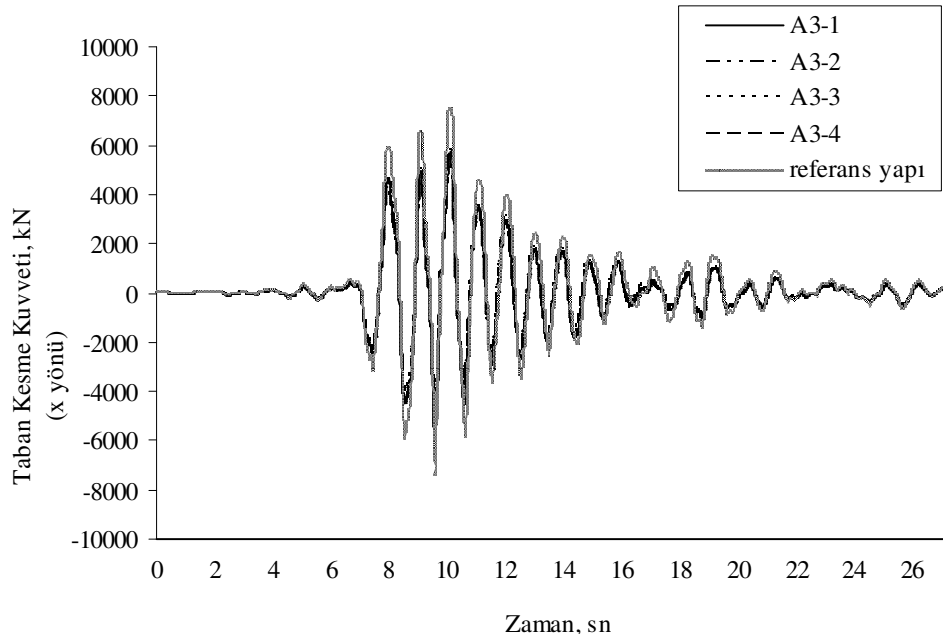
Şekil 10. Taban Devrilme Momentlerinin Karşılaştırılması (X)



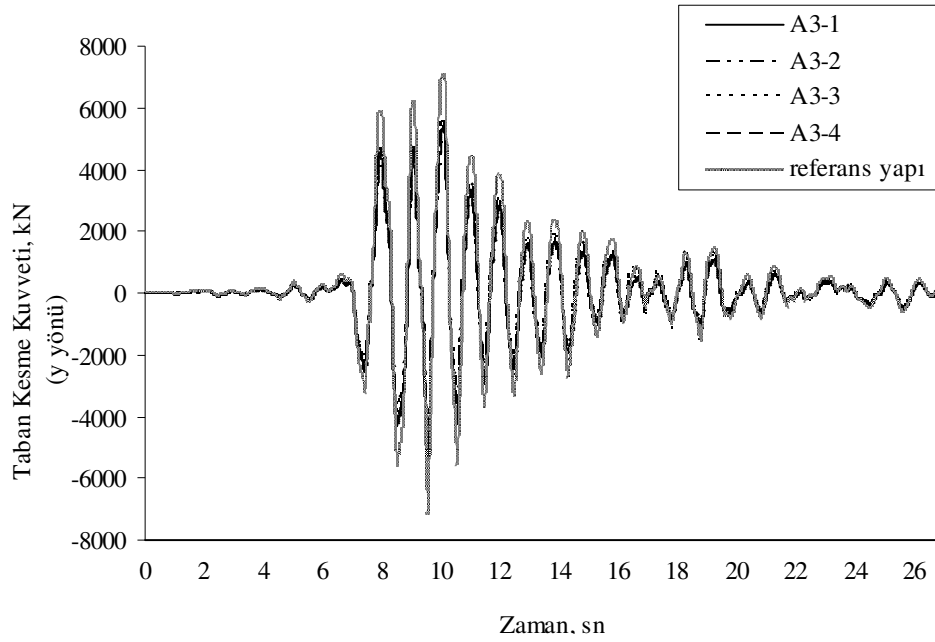
Şekil 11. Taban Devrilme Momentlerinin Karşılaştırılması (Y)



Şekil 12. Taban Burulma Momentlerinin Karşılaştırılması



Şekil 13. Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması (X)



Şekil 14. Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması (Y)

Tablo 1. A3 Düzensizliği Olan Yapılarda Oluşan Maksimum Moment ve Kesme Kuvveti Değerleri

Yapı Modeli	Taban Burulma Momenti (kNm)	Taban Devrilme Momenti (kNm) X yönü	Taban Devrilme Momenti (kNm) Y yönü	Taban Kesme Kuvveti (kN) X yönü	Taban Kesme Kuvveti (kN) Y yönü
A3-1	15378	98356	99513	5700	5497
A3-2	23272	89457	89949	5113	4963
A3-3	36429	100463	101658	5772	5542
A3-4	37357	102276	102653	5853	5660
Referans Yapı	375	113900	114500	6695	6307

Tablo 2. A3 Düzensizliği Olan Yapılarda Birim Ağırlığa Düşen Değerler

Yapı Modeli	Taban Burulma Momenti (kNm)	Taban Devrilme Momenti (kNm) X yönü	Taban Devrilme Momenti (kNm) Y yönü	Taban Kesme Kuvveti (kN) X yönü	Taban Kesme Kuvveti (kN) Y yönü
A3-1	0.635	4.06	4.11	0.235	0.227
A3-2	1.065	4.09	4.12	0.234	0.227
A3-3	1.478	4.08	4.13	0.234	0.224
A3-4	1.500	4.11	4.12	0.235	0.227
Referans Yapı	0.012	3.64	3.66	0.214	0.202

Sonuç

Bu çalışmada, önce, eski depremlerin ivme kayıtlarının DBYBHY-2007'de öngörülen tasarım ivme spektrumuna göre nasıl ölçeklendirileceği anlatılmıştır. Daha sonra, Marmara Depreminin üç farklı istasyondan alınan bazı deprem ivme kayıtları ölçeklendirilmiş ve maksimum ivmeye sahip olan kayıt kullanılmıştır. Elde edilen ölçeklendirilmiş bu ekstrem kayıt, A3 düzensizliğine sahip 4 yapı ile düzenli bir yapıya uygulanmıştır (Şekil 2-7). Her bir yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi de bu ölçeklendirilmiş ekstrem kayıta göre yapılmıştır. Bu

analizler sonrasında, bu beş yapının taban devrilme momenti, taban burulma momenti, taban kesme kuvveti değerleri bulunmuştur. Düzensiz yapılardaki taban burulma momentlerinin en büyük değeri A3-4 modelinin analizinden, en küçük değeri de A3-1 modelinin analizinden bulunmuştur. Dolayısıyla, A3 düzensizliğinin oluşturulduğu yapıların plandaki düzenlerine göre değişen büyüklüklerde burulma momentlerinin oluşabildiği görülmüştür. Düzensiz yapılarda oluşan birim ağırlığa karşılık gelen değerlerin referans yapının değerlerinden büyük çıkması, A3 düzensizliği bulunan yapılarda burulma momenti etkisinin göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Çalışmada analizi yapılan yapılarda, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarmasını önleyecek türde bir sorun oluşmamıştır. Ancak, bu tür bir sorunun oluşabileceği A3 düzensizlik durumu bulunan farklı yapıların incelenmesi sonraki çalışmalarda amaçlanmaktadır.

Kaynaklar

- Aydinoğlu, M.N., Fahjan, Y.M. 2003. A Unified Formulation of the Piecewise Exact Method for Inelastic Seismic Demand Analysis Including the P-Delta Effect. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 32: 871–890
- Celep, Z., Kumbasar, N. 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. Beta Dağıtım, İstanbul, 700 s.
- CSI SAP 2000 V9.0.1, 2004. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures. Computer and Structures Inc. Berkeley, California.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik. 2007. T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi.
- Doğangün, A. 2005. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı. Birsan Yayınevi, İstanbul, 836s.
- Ercömert, M. 2007. A2 ve A3 Yapısal Düzensizliklerinin Çok Katlı Yapıların Deprem Davranışına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 65s. Y.Lisans Tezi.
- Fahjan, Y.M. 2008. Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY–2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 292, 4423–4444.
- Jennings, P.C., Housner, G.V., Tsai, N.C. 1968. A Report on Research Conducted Under a Grant From the National Science Foundation. Pasadena, California, 55 pps.
- Nau, R.F., Oliver, R.M, Pister, K.S. 1980. Simulating and Analyzing Artificial Non-Stationary Earthquake Ground Motions. *Earthquake Engineering Research Center*. California, Berkeley, 53 pps.
- Özdemir, Z., Fahjan, Y.M. 2007. Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 435-446.
- Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center 2006, PEER Strong Motion Database, <http://peer.berkeley.edu/smcat>(Eriş. Tar.:07.07.2008)