

MEVCUT BETONARME HASTANE BİNASININ FARKLI ZEMİN SINIFLARINDA BURULMA DAVRANIŞI

Ali DEMİR^{1*}, Muhiddin BAĞCI¹, Duygu Dönmez DEMİR²

¹Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa

²Celal Bayar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, 45140 Manisa

Özet: Bu çalışmada mevcut betonarme bir hastane binasının farklı zemin sınıflarında burulma davranışının değişimi incelenmiştir. Hastane binasının deprem analizi Türk Deprem Yönetmeliği-2007’ de bahsedilen Eşdeğer Deprem Yüğü, Mod Birleştirme ve Zaman Tanım Alanında Hesap yöntemleri ile dört farklı yerel zemin sınıfı için yapılmıştır. Zaman Tanım Alanında Hesap yöntemi için 1999 Kocaeli depreminin ivme kayıtları kullanılmış ve her bir yerel zemin sınıfı için ölçeklenmiştir. Ölçeklenmiş deprem kayıtlarının yapının çeşitli davranışları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Analizler sonucunda, deprem hesap yöntemlerinin ve yerel zemin sınıflarının burulma düzensizliği katsayıları, toplam burulma momentleri, görelî kat ötelemeleri ve yumuşak kat düzensizliği katsayıları üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Burulma Davranışı, Yerel Zemin Sınıfı, Zaman Tanım Alanında Analiz, Ölçekleme*

TORSIONAL BEHAVIOR OF AN EXISTING HOSPITAL BUILDING IN DIFFERENT SITE CLASSES

Abstract: In this study, torsional behavior of an existing RC hospital building was investigated in different local site classes according to Turkish Seismic Code-2007. Equivalent Seismic Load Method, Mode Superposition Method, Linear Time History Method were used in different local site classes for seismic analysis. The records of 1999 Kocaeli earthquake were selected for Time History analyses. The records were scaled for all of site classes. . It was investigated that the scaled records effect on various behaviors of structure. The effects of seismic analysis methods and local site classes were determined on torsional irregularity and soft story irregularity coefficients, torsional moments, interstory drifts

Keywords: *Torsional Behavior, Local Site Classes, Time History Analysis, Scaling*

***Sorumlu yazar**

ali.demir@bayar.edu.tr

1.GİRİŞ

Yüzyıllardır meydana gelen depremlerde yaşanan önemli kayıplar sebebi ile ülkelerin deprem yönetmelikleri oluşturulmuştur. Bu depremlerden öğrenilen bilgiler ışığında da bu yönetmelikler revize edilmektedir. Deprem kuşağında bulunan ülkemizin son yıllarda yaşadığı 1992 Erzincan, 1995 Dinar, 1998 Adana-Ceyhan, 17 Ağustos 1999 Marmara, 12 Kasım 1999 Düzce, 2002 Afyon-Sultandağı ve 2003 Bingöl depremlerinde büyük kayıplar yaşanmıştır.

Yapıların depreme karşı tasarımları yapılırken sadece yatay deprem kuvvetleri etkisini göz önüne almak eksik bir yaklaşımdır. Yapının planında mevcut olan düzensizlikler sebebi ile oluşan ek burulma momentlerini de göz önüne almak gerekmektedir. Çağdaş deprem yönetmeliklerinde, en çok göz önüne alınan düzensizlik türü, “Planda Burulma Düzensizliğidir”. Bu yönetmeliklerin birçoğunda burulma düzensizliği için önlem ve yaptırımlar vardır.

Burulma düzensizliği belirlenmesi, önlem ve yaptırımları ile Türk Deprem Yönetmeliğinde de yerini almıştır. Türk Deprem Yönetmeliği-2007’de (TDY2007) burulma düzensizliği, $\eta_{b(i)}$ burulma düzensizliği katsayısına bağlıdır. Burulma düzensizliği katsayısı, herhangi bir katta en büyük görel kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görel ötelemeye oranı olarak ifade edilmektedir.

$$\eta_{b(i)} = \frac{(\Delta_i)_{\max}}{(\Delta_i)_{\text{ort}}} \quad (1)$$

Burulma düzensizliği katsayısının, 1,20 ve 2,00 değerleri arasında olduğu durumlarda yapıda burulma düzensizliği meydana gelmektedir. Bu durumda, burulma düzensizliği bulunan katta uygulanan $\pm\%5$ ek dışmerkezlilik, her iki deprem doğrultusu için D_i katsayısı ile çarpılarak büyütülür ve taşıyıcı sistemin daha fazla zorlanması sağlanır.

$$D_i = \left(\frac{\eta_{b(i)}}{1,20} \right)^2 \quad (2)$$

$\eta_{b(i)}$ katsayısının 2,00 üst sınır değerini aştığı durumlarda ise, TDY2007’de bulunan dinamik hesap yöntemlerinin uygulanması öngörülmektedir [1].

DBYBHY 2007’de birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i’inci kattaki ortalama görel kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görel kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} ’nin 2.0’ den fazla olması durumunda yumuşak kat düzensizliği olduğu ifade edilmektedir [1].

Yapıların düzensizlikleri, deprem davranışları ve yönetmelik maddelerinin değerlendirilmesi konusunda son yıllarda birçok çalışma yapılmış ve kapsamlı bir şekilde irdelenmiştir[2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Özmen [2], rijitlik dağılımının burulma düzensizliği üzerindeki etkisini araştırmıştır. Plan geometrisi dikdörtgen olan iki yapıdan biri rijitlik bakımından düzensiz, diğeri düzenli olarak tasarlanmıştır. Yapıların burulma düzensizliği katsayıları bulunarak karşılaştırmaları yapılmıştır. Daha sonra rijitlik düzensizliği düzeltilen yapının η_b katsayısındaki değişim incelenmiştir. Lucchini vd. [3] planda asimetrik, düşeyde düzenli çok katlı betonarme yapının deprem altında burulma davranışını lineer ve lineer olmayan dinamik analiz yöntemleri ile OPCM3431 ve Eurocode8 yönetmeliklerine göre belirlemiştir. Cosenza vd.[4] betonarme yapıların burulma tepkisini Eurocode–8 ve Uniform Building Code-97 yönetmeliklerine göre incelemiştir. Zavoni ve Barrionuevo [5] tarafından, yer hareketlerinin yatay bileşenlerinin sert ve yumuşak zemin şartlarında burulma düzensizliğine sahip rijit ve esnek sistemlerdeki lineer etkisi incelenmiştir. Bunun için bir katlı iki açıklıklı simetrik olmayan bir yapı kullanılarak deprem hareketlerine maruz bırakılmıştır. Buna göre yumuşak zeminler

üzerine inşa edilmiş yapıların burulma etkisi bakımından daha hassas olduğu belirlenmiştir. Demir vd. [6] çok katlı, plan geometrileri ve buldukları yerel zemin sınıfları farklı olan betonarme yapıların deprem etkisi altında burulma davranışını eşdeğer deprem yükü ve mod birleştirme yöntemleri ile belirlemiştir. Burulma davranışını etkileyen en önemli faktör plan geometrisi iken en az etkili olan faktörün yerel zemin sınıfları olduğu görülmüştür.

Bu çalışma da mevcut betonarme bir hastane binasının TDY2007' de bulunan eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal elastik hesap yöntemi ile burulma davranışı incelenmiştir. Hastane binasının TDY2007' de Z1, Z2, Z3, Z4 olarak tanımlanan yerel zemin sınıflarında bulunduğu varsayılmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal elastik hesap için 1999 Kocaeli depreminin ivme kayıtları kullanılmıştır. Bu deprem her bir yerel zemin sınıfı için ölçeklenmiştir. Analizler sonucunda, deprem hesap yöntemlerinin ve yerel zemin sınıflarının burulma düzensizliği katsayıları, yumuşak kat düzensizliği, toplam burulma momentleri ve görelî kat ötelemeleri üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

2.MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

Çalışma kapsamında 2006 yılında projesi hazırlanan 2007 yılında inşaatına başlanan zemin+5 katlı mevcut hastane binası ele alınmıştır. Yapı çerçeve ve perdelerden oluşmaktadır. Kolon, kiriş, perde yerleşimleri ve eleman boyutları şekil 1' de gösterilmiştir. Hastane binası 1.derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Bina önem katsayısı 1.5, süneklik katsayısı 7' dir. Kat yükseklikleri sırasıyla 4.00 m, 3.95 m, 3.65 m, 3.65 m, 4.50 m, 3.15 m' dir. Yapılan karot ve çelik testleri sonucunda, betonun mukavemeti 45 MPa, donatının akma mukavemeti 420 MPa olarak belirlenmiştir. Yapı zemini sınıflandırma sistemine göre C grubuna girmektedir ve yerel

zemin sınıfı Z3' tür. Döşemelerde hareketli yük 3.5 kN/m^2 dir. Yapı 1. mod periyotları x yönünde 0.51 sn, y yönünde 0.62 sn' dir.

2.2 Yöntem

Mevcut hastane binasının deprem hesabı için eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi, zaman tanım alanında doğrusal hesap yöntemi kullanılmıştır. Yapısal analizler SAP2000 V14 [7] programı ile yapılmıştır. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin uygulanabileceği binalar Tablo 1' de özetlenmiştir. Tablo 1' in kapsamına girmeyen binaların deprem hesabında, dinamik hesap yöntemleri kullanılmaktadır.

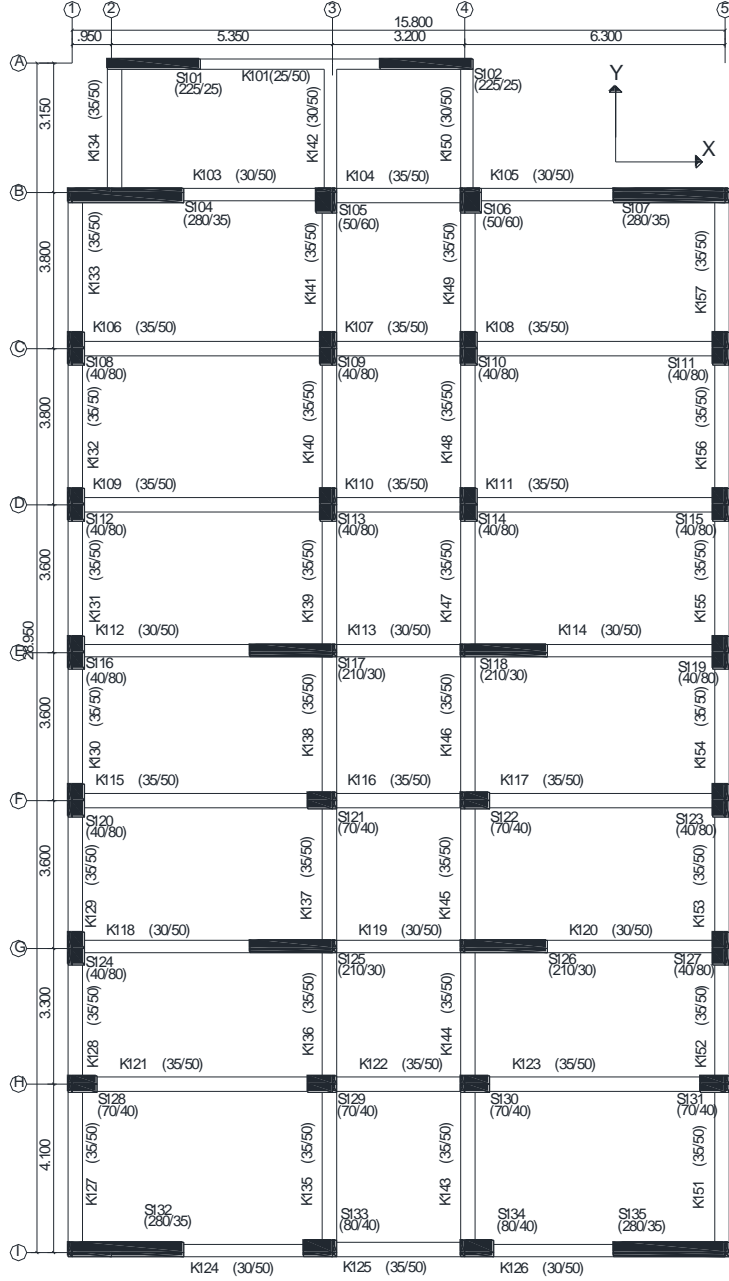
Yapıların farklı zeminlerde analizi TDY2007' koşullarına göre Z1, Z2, Z3, Z4 olarak tanımlanan 4 farklı yerel zemin sınıfı kullanılarak yapılmıştır. Z1 sınıfı zeminler, kayalar, sıkı kum, çakıl, katı ve siltli kilden oluşurken, Z4 sınıfı zeminler, yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak tabakalar, gevşek kum, kalın alüvyon tabakalarından oluşmaktadır. Bu nedenle Tablo 2' de gösterildiği gibi sert zemini temsil eden Z1' den yumuşak zemini temsil eden Z4' e doğru zemin periyotları artmaktadır [1].

2.2.1 Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Deprem kayıtları, yapay kayıtlar, benzeştirilmiş (simüle edilmiş) kayıtlar ve gerçek depremler olmak üzere üç farklı kaynaktan elde edilebilir. Deprem kayıtlarının yönetmeliklerde belirlenen şartları sağlayacak şekilde seçilip tasarım ivme spektrumu ile uyusacak şekilde ölçeklenmesi gerekir. Gerçek deprem kayıtlarının tasarım ivme spektrumuna uygun olacak şekilde ölçeklenmesi için pek çok yöntem mevcuttur. Bu yöntemler, zaman tanım alanındaki yöntemler ve frekans tanım alanındaki yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır. Zaman tanım alanındaki ölçekleme yöntemlerinde kaydın frekans içeriği değiştirilmeksizin sadece kaydın genliği ile oynanır. Kayıtların davranış spektrumları

zemin türüne göre gruplandırılır ve ilgili zemin tipine ait tasarım spektrumu kullanılarak Denklem 3'den kaydın ölçekleme katsayısı α

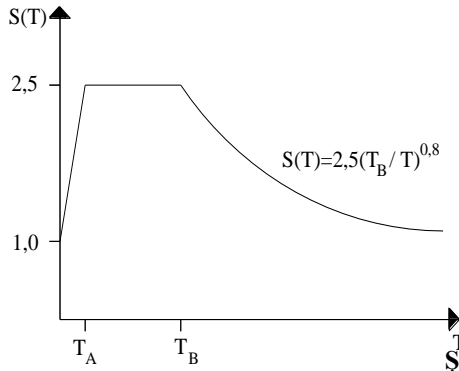
hesaplanır [8]. Bu ölçekleme yöntemi ile ilgili daha geniş bilgi [8]' da verilmiştir.



Şekil 1. Mevcut hastane binasının 1.kat planı

Tablo 1. Eşdeğer Deprem Yüğü yönteminin uygulanabileceği binalar

Deprem Bölgesi	Bina Türü	Toplam Yükseklik Sınırı
1,2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{b(i)} \leq 2$ koşulunu sağladığı binalar	$H_N \leq 25$ m
1,2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{b(i)} \leq 2$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	$H_N \leq 40$ m
3,4	Tüm binalar	$H_N \leq 25$ m



Şekil 2. Spektrum

Tablo 2. Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A, T_B)

Yerel Zemin Sınıfları	T_A (sn)	T_B (sn)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

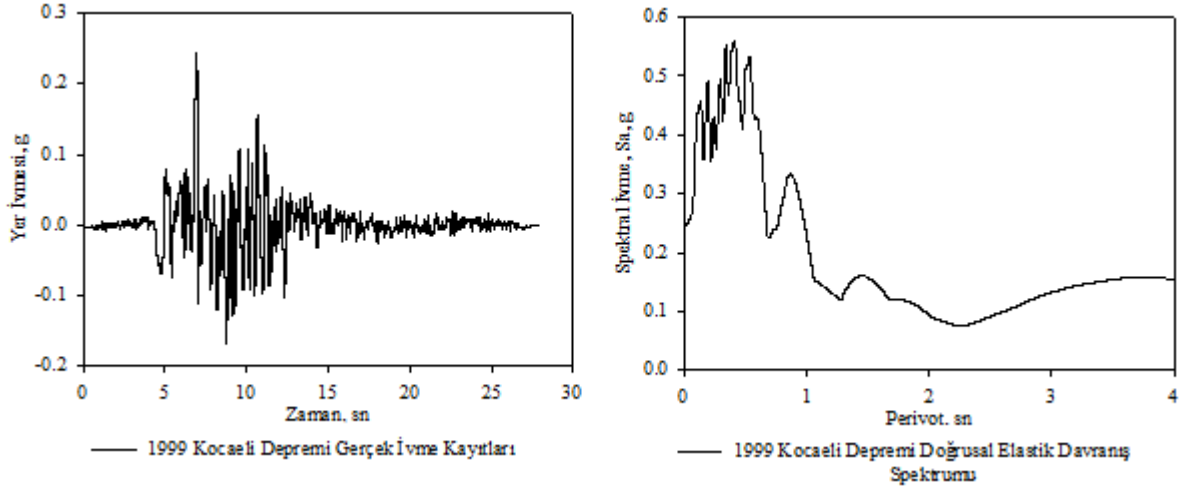
Katsayısı Grafiği

$$\alpha = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B} S_a^{\text{gerçek}}(T) S_a^{\text{hedef}}(T)}{\sum_{T=T_A}^{T_B} S_a^{\text{gerçek}}(T)^2} \quad (3)$$

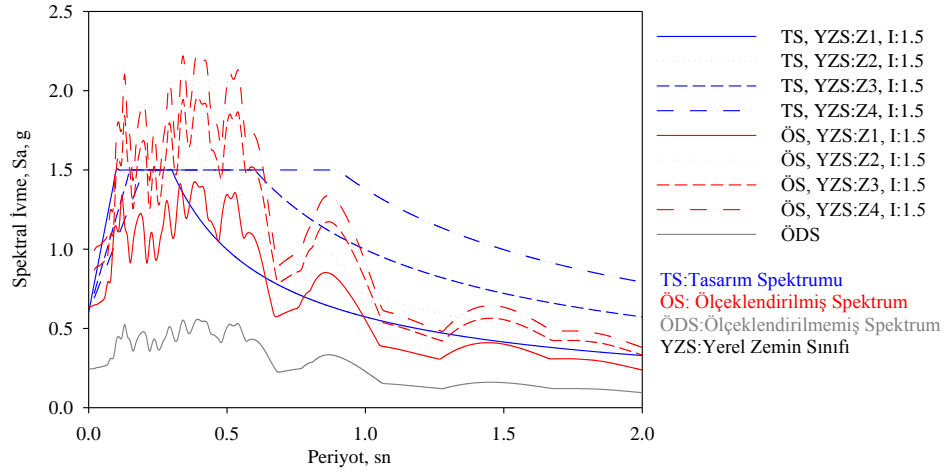
- S_a^{hedef} : hedef ivme davranış spektrumu,
 $S_a^{\text{gerçek}}$: kullanılacak gerçek deprem kaydının ivme spektrumu,
 α : doğrusal ölçekleme katsayısı,
 T : salınım periyodu,
 T_A : ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının alt sınırı,
 T_B : ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının üst sınırıdır.

Çalışma kapsamında kullanılan 1999 Kocaeli depreminin Gebze istasyonundan elde edilen

gerçek deprem ivme kayıtları PEER veri bankasından alınmıştır[9]. Deprem ivme kayıtları Şekil 3' te gösterildiği gibi doğrusal elastik davranış spektrumuna dönüştürülmüştür. Ölçeklendirilmemiş davranış spektrumu, deprem bölgesi, bina önem katsayısı ve yerel zemin sınıflarının her biri için zaman tanım alanındaki ölçekleme yöntemi ile ölçeklendirilmiştir. Şekil 4' te gösterildiği gibi her bir yerel zemin sınıfı için hedef tasarım spektrumları çizilmiştir. Kocaeli depreminin spektrum grafiği farklı zemin etkilerini göz önüne alabilmek için her bir yerel zemin sınıfı için ölçeklendirilmiştir.



Şekil 3. 1999 Kocaeli depreminin gerçek ivme kayıtları ve davranış spektrumu



Şekil 4. Kocaeli depreminin zaman tanım alanında ölçeklenmiş doğrusal elastik ivme davranış spektrumları

3. BULGULAR

Mevcut hastane binasının statik ve dinamik analizleri farklı zemin etkileri göz önüne alınarak yapılmıştır. Eşdeğer deprem yükü, mod birleştirme ve zaman tanım alanında doğrusal hesap yöntemlerine göre mevcut hastane binasının burulma düzensizliği katsayıları, görelî kat ötelemeleri, toplam burulma momentleri ve yumuşak kat düzensizlikleri hesaplanarak aşağıda gösterilmiştir.

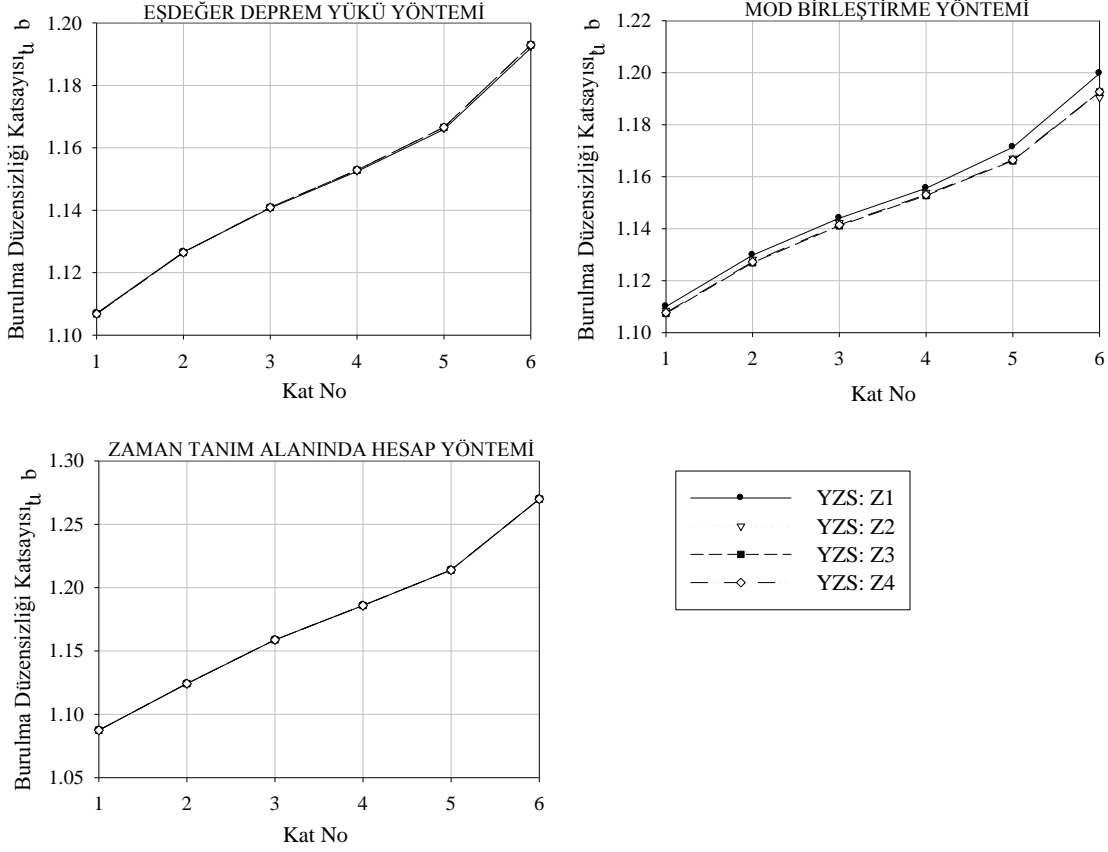
Mevcut hastane binasının farklı yöntemler ile analizi sonucunda oluşan burulma düzensizliği katsayıları üzerinde yerel zemin sınıflarının önemli bir etkisinin olmadığı Şekil 5 den

anlaşılmaktadır. Zaman tanım alanında hesap yöntemi ile hesaplanan burulma düzensizliği katsayılarının diğer yöntemlere göre ortalama %6 daha büyük sonuç verdiği görülmektedir. Hesaplanan toplam taban burulma momentlerinin yerel zemin sınıfı etkisi ile arttığı Şekil 6' da görülmektedir. En büyük burulma momentleri ölçeklendirilmiş zaman tanım alanı yönteminde oluşmaktadır.

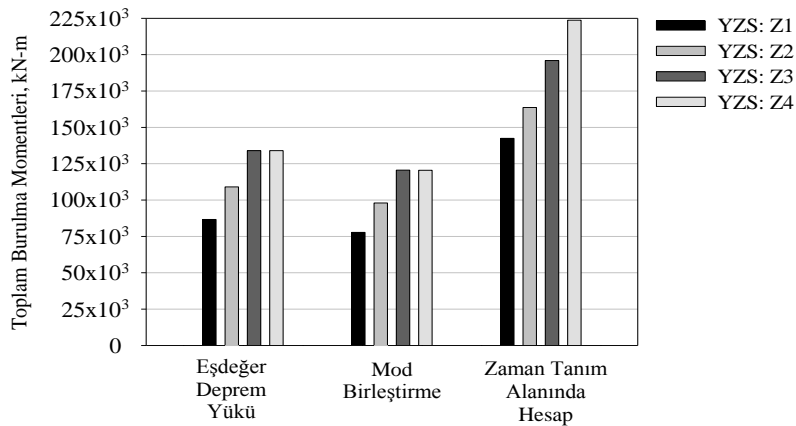
Tüm hesap yöntemleri ile belirlenen görelî kat ötelemesi değerleri Şekil 7' de gösterilmektedir. Değerler incelendiğinde TDY2007' de [1] sınır değer olarak verilen 0,02 değerinin aşılmadığı anlaşılmaktadır.

Ölçeklendirilmiş zaman tanım alanında hesap yöntemi ile yapıda oluşan göreceli ötelemelerin en büyük değerleri aldığı Şekil 7’ de görülmektedir. Farklı zemin sınıflarının

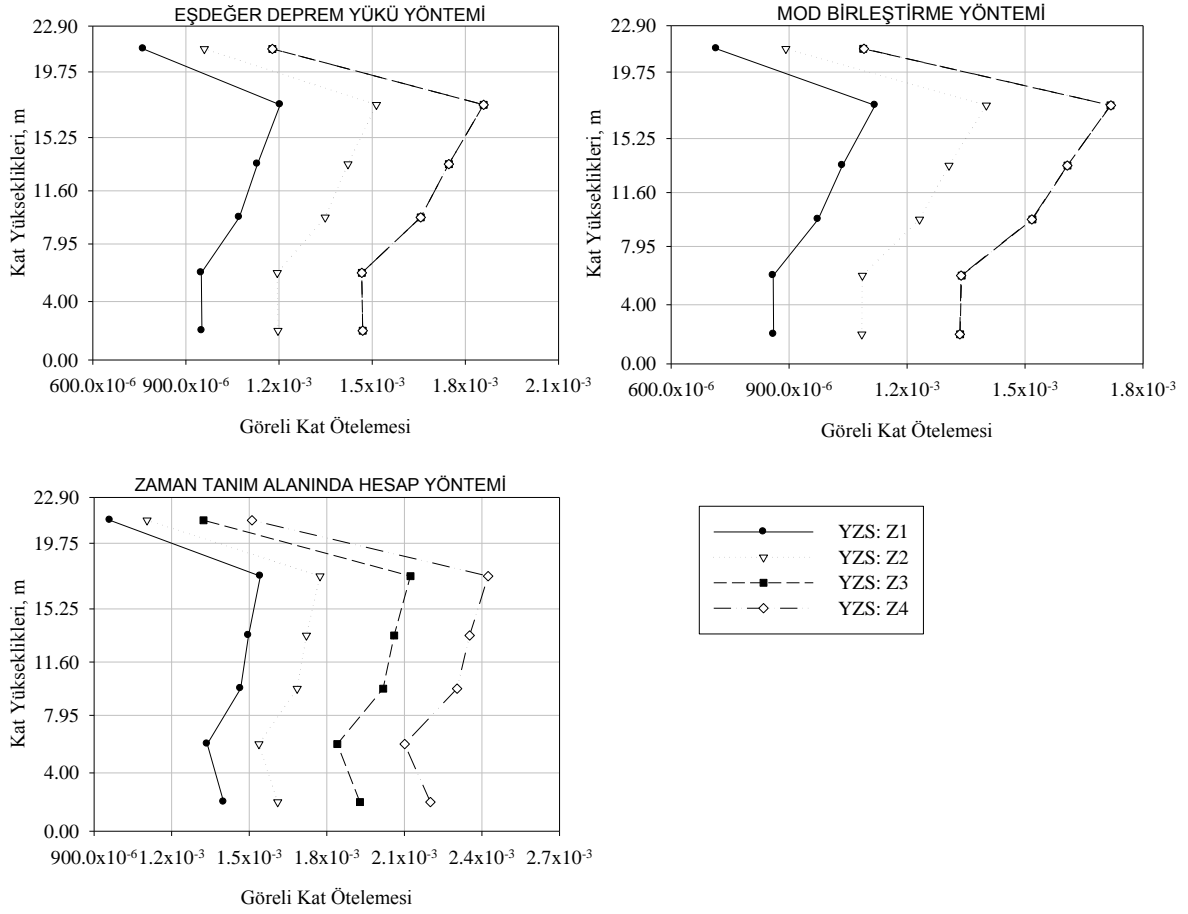
yumuşak kat düzensizliği üzerindeki etkisi ihmal edilecek düzeydedir (Tablo 3). TDY2007’ de [1] sınır değer olarak verilen 2 değerinin aşılmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 5. Yerel zemin sınıflarının burulma düzensizliği katsayıları üzerindeki etkisi



Şekil 6. Yerel zemin sınıflarının burulma momentleri üzerindeki etkisi



Şekil 7. Yerel zemin sınıflarının görel kat ötelemesi üzerindeki etkisi

Tablo 3. Yumuşak Kat Düzensizlikleri

Kat No	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (Z1, Z2, Z3, Z4 için)	Mod Birleştirme Yöntemi (Z1, Z2, Z3, Z4 için)	Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi (Z1, Z2, Z3, Z4 için)
1	0.51	0.51	0.54
2	1.96	1.95	1.86
3	1.15	1.15	1.10
4	1.06	1.04	1.09
5	1.22	1.21	1.25
6	0.82	0.83	0.79

Ayrıca hesap yönteminin yumuşak kat düzensizliğine etkisinin ihmal edilecek seviyede olduğu Tablo 3' te görülmektedir.

4.SONUÇLAR

Bu çalışmada mevcut hastane binasının burulma davranışı TDY2007' de bulunan statik ve dinamik hesap yöntemleri ile farklı yerel zemin sınıfları için belirlenmiştir. Zaman tanım alanında hesap yöntemi için Kocaeli depreminin ivme kayıtları her bir yerel zemin

sınıfı için zaman tanım alanındaki ölçekleme yöntemi ile ölçeklenmiştir. Farklı deprem yöntemleri ile elde edilen burulma düzensizliği katsayıları Şekil 5' te, toplam taban burulma momentleri Şekil 6' da, görel kat ötelemeleri Şekil 7' de ve yumuşak kat düzensizlikleri Tablo 3' te verilmiştir.

Yerel zemin sınıflarının $\eta_{b(i)}$ katsayılarını göz ardı edilecek kadar küçük seviyelerde etkilediği Şekil 5' te gösterilmiştir. Eşdeğer

deprem yükü, mod birleştirme ve zaman tanım alanında hesap yöntemi için en büyük $\eta_{b(i)}$ katsayısının sırasıyla 1.193, 1,200, 1.270 değerlerini aldığı görülmüştür.

Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen toplam taban burulma momentlerinin mod birleştirme yönteminden elde edilenlere göre yaklaşık %10 daha fazla değerler aldığı görülmüştür. Zaman tanım alanında hesap yöntemi ile elde edilen sonuçlar eşdeğer deprem yükü yöntemine göre ortalama %57 daha büyük sonuçlar vermiştir. Zemin sınıflarının taban burulma momentleri üzerindeki etkisi daha belirgindir. Sert zeminlerden yumuşak zeminlere doğru taban burulma momentlerinin artışı Şekil 6' da gösterilmiştir. Zemin sınıfının incelenen mevcut hastane binasının burulma momentlerini büyük oranlarda değiştirdiği tespit edilmiştir. Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, binaların tasarımında ve değerlendirilmesinde zemin sınıfının etkisinin dikkate alınması ve oluşacak ek burulma momentlerinin hesaba katılması gerekmektedir. Bu sebep ile yapıların inşa edileceği bölgelerin zemin özelliklerinin deneysel çalışmalar ile belirlenmesi çok önemlidir.

Görelî kat ötelemelerinin değerleri eşdeğer deprem yükü yöntemi ile farklı zemin sınıflarında 952×10^{-6} - 1178×10^{-6} , mod birleştirme yöntemi ile farklı zemin sınıflarında 0.000861-0.00109, zaman tanım alanında hesap yöntemi ile farklı zemin sınıflarında 0.000962-0.002424 arasında değişen değerler almıştır (Şekil 7). TDY2007' de belirtilen sınır değerini aşmadığı görülmüştür.

Yerel zemin sınıflarının ve hesap yöntemlerinin yumuşak kat düzensizliği üzerinde ihmal edilecek düzeyde etkilerinin olduğu gözlenmiştir. Yapıda yumuşak kat düzensizliğine hiçbir durumda rastlanmamıştır.

5. ÖNERİLER

TDY2007' de $\eta_{b(i)}$ katsayısının 2 üst sınır değerini aştığı durumlarda dinamik hesap yöntemleri olan mod birleştirme ve zaman tanım alanında hesap yöntemlerinin kullanılması önerilmektedir. Aşırı burulma yapan yapılar için öngörülen dinamik hesap uygulamasının gerçekçi bir yaklaşım olmadığı kaynak [2, 6,]' de daha önce belirlenmiştir. Bu çalışmada da Şekil 5, 6 ve 7 göz önüne alındığında mod birleştirme yönteminin bir yaptırım olmadığı, zaman tanım alanında hesap yönteminin ise bir yaptırım olabileceği anlaşılmaktadır. Fakat zaman tanım alanında hesap yönteminin kullanılması yapıda aşırı burulma momentlerine sebep olmaktadır. Bu durum yapı tasarımını ekonomik olmaktan çıkarmaktadır. Bu sebeplerden dolayı deprem yönteminin değiştirilmesi yerine taşıyıcı sistemin değiştirilmesinin daha gerçekçi ve ekonomik olacağı düşünülmektedir. Ayrıca zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılırken deprem ivmelerinin yapının üzerinde bulunduğu yerel zemin sınıfları için ölçeklenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara.
- [2] Özmen, G., "Rijitlik Dağılımının Burulma Düzensizliğine Etkisi" Türkiye Mühendislik Haberleri, Yıl:46/2001-Sayı:411, Ankara.
- [3] Lucchini, A., Monti, G., Kunnath, S., "Investigation on the Inelastic Torsional Response of Asymmetric-plan Buildings" Fifth European Workshop on the seismic behavior of Irregular and Complex Structures, 27-39, (2008).
- [4] Cosenza, E., Manfredi, G., Realfonzo, R., "Torsional Effects And Regularity Conditions in RC Buildings" 12 WCEE, 2551, (2000).
- [5] Zavoni, E.H. and Barrionuevo, R.M., "Response to -Orthogonal Components of Ground Motion and Assessment of Percentage Combination Rules" Earthquake Engineering Structural Dynamics, 33: 271-284 (2004).
- [6] Demir, A., Donmez Demir, D., Erdem, R.T., Bagci, M., "Torsional Irregularity Effects of Local

Site Classes In Multiple Storey Structures” International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences(IJRRAS), Si2010Issue1, 38-43, EISSN: 2076-7366, August, (2010).

[7] SAP2000, Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual, Computers and Structures Inc. Berkeley (CA, USA).

[8] Özdemir, Z., Fahjan, Y.M., Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 435-446 (2007).

[9] Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center, PEER Strong Motion Database., <http://peer.berkeley.edu>

Geliş Tarihi: 09/03/2011

Kabul Tarihi: 03/06/2011