ÖLÇEKLENMİŞ GERÇEK DEPREM KAYITLARI İLE YAPILARIN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK ANALİZLERİ

Yasin M. FAHJAN[1], Selçuk VATANSEVER[2] ve Zühal ÖZDEMİR[3]

[1] *Doçent Dr., Deprem ve Yapı Müh Anabilim dalı, Gebze Yüksek Teknoloji Enst., Gebze, 41400, Kocaeli*
[2] *Y. Lisans Öğrencisi, Deprem ve Yapı Müh Anabilim dalı, Gebze Yüksek Teknoloji Enst., Gebze, 41400, Kocaeli*
[3] *Dr., Kandilli Rasathanesi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul*
Email: fahjan@gyte.edu.tr

ÖZET:

Yapısal analiz alanındaki hızlı gelişmeler sonucunda zaman tanım alanında hesap yöntemleri yapıların sismik analizi ve tasarımında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemler kullanılırken ortaya çıkan en önemli sorunlardan biri, yönetmelik gereksinimlerini karşılayan deprem kayıtlarının teminidir. Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde (DBYBHY, 2007) bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan deprem hesabı için yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketi kayıtlarının kullanımına izin verilmiştir. Bu çalışmada, DBYBHY (2007)'de tanımlanan uyum kriterlerine ve yerel zemin sınıflarına uygun olarak seçilip zaman tanım alanında ölçekleme yöntemleri kullanılarak hedef tasarım ivme spektrumlarıyla eşleştirilmiş on adet gerçek deprem kaydı bulunmuştur. Bu kayıtlar oniki katlı betonarme bir yapının zaman tanım alanımda doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizlerinde kullanılmıştır. Analizler sonucunda, yapıda oluşan deplasmanlar ve göreli kat ötelemeleri gibi yapı tepki parametreleri elde edilmiştir. DBYBHY (2007)'de zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalamasının tasarım için esas alınması tavsiye edilmiştir. Gerçekleştirilen on adet doğrusal ve on adet doğrusal olmayan analizden, doğrusal ve doğrusal olmayan analizler için ayrı ayrı olmak üzere, yerdeğiştirme ve göreli kat ötelemesi için yedi deprem hareketinden elde edilen sonuçların ortalaması, rastgele üç yer hareketinden elde edilen sonuçların maksimumu ve ilave olarak minimum üç sonucun maksimumu karşılaştırılarak yönetmeliğin bu kriteri irdelenmiştir. Hem doğrusal hem de doğrusal olmayan analiz sonuçları göstermiştir ki, rastgele seçilen üç yer hareketinden elde edilen sonuçların maksimumunun kullanılması konservatif tasarımlara sebep olmaktadır. Rastlantısal olarak minimum üç sonucu veren üç yer hareketinin seçilerek sonuçların maksimumunun kullanılması ise sistemin tepkisinin gerçekten daha küçük olarak tahmin edilmesine sebep olmaktadır. Bu yüzden, zaman tanım alanındaki analizler için en az yedi deprem kaydı kullanılarak sonuçların ortalamasının alınması daha doğru olacaktır.

ANAHTAR KELİMELER : Doğrusal ve doğrusal olmayan yapısal analiz, zaman tanım alanında ölçekleme

1. GİRİŞ

Geleneksel olarak, yapılara etkiyen sismik yüklerin hesabı "Eşdeğer Statik Deprem Yükü Yöntemi" ve "Mod Birleştirme Yöntemi" ile yapılmaktadır. Son dönemde yapısal analiz ve teknolojideki gelişmelerle birlikte, zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik hesap yöntemleri, yapıların tasarım ve analizinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Statik analiz metodları (örneğin, Eşdeğer Statik Deprem Yükü Yöntemi), yüksek mod etkilerinin önemli olmadığı düzenli ve yüksek olmayan binalar için uygundur. Fakat, burulma düzensizliği olan yapılar, yüksek

binalar, tarihi binalar ve ortogonal olmayan yapılar için dinamik analiz gereklidir. Zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemleri, deprem yüklerinin binaya doğrudan etkitilerek gerçekleştirilmesi nedeniyle, yapı davranışının en doğru şekilde modellendiği analizlerdir. Yapı ve deprem hareketinin özelliklerine göre zaman tanım alanındaki dinamik analizler doğrusal veya doğrusal olmayan analizler olarak gerçekleştirilebilir.

Zaman tanım alanında doğrusal dinamik analizde yapı çok serbestlik dereceli sistem olarak doğrusal elastik rijitlik matrisi ve viskoz sönüm matrisi ile gösterilir. Deprem ivmesinin zamanla değişimi olarak tanımlanan sismik hareket sisteme girdi olarak verilir. Sistemin diferansiyel hareket denklemi adım adım doğrudan integre edilerek her bir zaman artımında deprem hareketine karşı gelen sistemin iç kuvvetleri ve yerdeğiştirmeleri doğrusal elastik analizle bulunur. Böylece, yapıda meydana gelen yüksek modların etkileri gözönüne alınır. Zaman tanım alanında yapılan dinamik analizlerde depremin tersinir etkiside dikkate alınır. Sistemin tepkisi zaman tanım alanında sadece doğrusal özellikler varsayılarak hesapladığı için bu yöntem yapının doğrusal veya doğrusala yakın olarak davrandığı yer hareketi seviyeleri için uygulanabilir. Fakat, ekonomik sebeplerden ötürü, yönetmeliklerde yapıların orta şiddetteki depremler altında bile yapısal ve yapısal olmayan elemanlarında sınırlı düzeyde de olsa hasar oluşmasına izin verildiği için doğrusal dinamik analizin yapıların sismik analizi için uygulama alanı kısıtlıdır. Böyle durumlarda, yapıların zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik yöntemler kullanılarak analiz edilmesi gerekir. Doğrusal olmayan dinamik analizde, yapının doğrusal olmayan özellikleri zaman tanım alanında analizin bir parçası olarak düşünülür. Bu analiz, yer hareketleri kayıtları ile detaylı yapı modelini içerdiği için elde edilen sonuçlar diğer metotlara kıyasla daha küçük oranlarda hata içerir. Fakat, zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan analizle elde edilen yapının tepkisi analizlerde kullanılan kaydın özelliklerine çok duyarlı olduğundan, yapının tepkisinin güvenilir olarak tahmini için değişik deprem kayıtlarının kullanıldığı pek çok analizin gerçekleştirilmesi gerekir. Örneğin, deprem yönetmeliğimizde (DBYBHY, 2007) zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalamasının tasarım için esas alınması istenmiştir.

Bu çalışmada, yönetmelikte verilen bu kriterin incelenmesi için oniki katlı betonarme bir yapının doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapının Z2 ve Z4 olmak üzere iki farklı yerel zemin sınıfı üzerine inşa edildiği varsayılmıştır. Analizlerde, zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi kullanılarak hedef tasarım ivme spektrumu ile eşleştirilmiş gerçek deprem kayıtları kullanılmıştır. Doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizler sonucunda yapının yerdeğiştirme ve göreli kat ötelemeleri elde edilerek yönetmelik kriterlerine göre sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. GERÇEK DEPREM KAYITLARININ ZAMAN TANIM ALANINDA ÖLÇEKLENMESİ

Zaman tanım alanında doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan analizlerin gerçekleştirilmesinde en önemli konu, uygun sismik kayıtların seçilmesi ve bunların ölçeklenmesidir. Deprem kayıtlarının elde edilebileceği üç farklı kaynaktan bahsedilebilir. Bunlar; yapay yollar kullanılarak oluşturulan tasarım ivme spektrumu uyumlu kayıtlar (örneğin Abrahamson (1993) tarafından geliştirilen RSPMATCH programı ile), kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş (simüle edilmiş) kayıtlar (örneğin Boore (2000) tarafından geliştirilen SMSIM programı yardımı ile) ve gerçek depremlerden elde edilen kayıtlardır. Deprem esnasında alınan kayıtların sayısının gün geçtikçe artması ve bunlara erişimin gelişen veri transfer teknolojisi ile birlikte kolaylaşması zaman tanım alanında yapılacak hesaplarda, gerçek kayıtları en çok tercih edilen seçenek haline getirmektedir. Fakat, analizlerde kullanılacak kayıtlar yapının yapılacağı alandaki depremin büyüklüğü, faylanma tipi, çalışma alanının faya olan mesafesi, yırtılma mekanizması, yerel zemin koşulları ve kaydın spektral içeriği gibi yer hareketinin belli özelliklerini temsil etmesi gerektiğinden genellikle duruma uygun kayıt bulmada zorluklarla karşılaşılabilir. Böyle durumlarda gerçek deprem kayıtları, verilen bir tasarım ivme spektrumuna uyumlu olarak zaman tanım alanında veya frekans tanım alanında ölçeklenebilir.

Bu çalışmada, kaydın frekans içeriğini değiştirmediği için zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi ile elde edilen kayıtlar örnek yapının zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinde kullanılmıştır. Bu yöntemde, yer hareketi kaydı aynı miktarda yukarı veya aşağı yönde ölçeklenerek (1.0'den büyük veya 1.0'den küçük ve sabit bir katsayı ile çarpılarak), istenilen periyot aralığında, hedef tasarım ivme spektrumuna en uygun eşleştirme yapılır. Birden fazla deprem kaydı kullanılmak istendiğinde ise, her bir kayıt için ayrı ayrı ölçekleme işlemi yapılabileceği gibi hedef tasarım ivme spektrumuna en iyi uyan kayıtların ortalaması da kullanılabilir (Fahjan, 2008).

3. ANALİTİK ÇALIŞMA

Bu çalışmada kullanılan örnek yapı oniki katlı bir iş merkezidir. Yapıdaki kolon, perde duvar ve kiriş boyutları ve döşeme kalınlıkları Tablo 1'de özetlenmiştir. Düşey taşıyıcı yapı elemanlarının kesitleri yükseklik boyunca sabittir. Binanın kat yükseklikleri 3.0 m'dir. Yapının üç boyutlu modeli Şekil 1'te gösterilmiştir. Yapının beton sınıfı C25'dir. Yapı elemanlarında donatı çeliği sınıfı olarak S420 kullanılmıştır. Kat kütleleri zati ağırlıkları (G) ve hareketli yükün (Q) %30'u alınarak hesaplanmıştır. Binanın kütle merkezi her düğüm noktasındaki kütle dağılımı baz alınarak hesaplanmıştır. Bina, birinci derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Yapının önce Z2 daha sonrada Z4 yerel zemin sınıfı üzerine inşa edildiği varsayılmıştır. Bina önem katsayısı (I) 1.0 olarak seçilmiştir. Tasarım ivme spektrumu, Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) esaslarına göre hesaplanmıştır. Yapısal model ve taşıyıcı sistem elemanlarının plastik davranış özelliklerinin tanımlanması PROBİNA 15.1 (2010) programı kullanılarak yapılmış, daha sonra yapısal modeller SAP 2000 V14.1 (2010) programına aktarılmıştır.

Tablo 1. Örnek binanın eleman boyutları ve donatı oranları

Kolon Ebatları (mm)	300x1500; L1250x1750
Kolon Donatı Oranı	Boyuna donatı: 18ø20, 32ø20; Etriye: ø 10/15
Kiriş Ebatları (mm)	300x500
Kiriş Donatı Oranı	Üst donatı %0.8, Alt donatı %0.4
Döşeme Kalınlığı (mm)	120

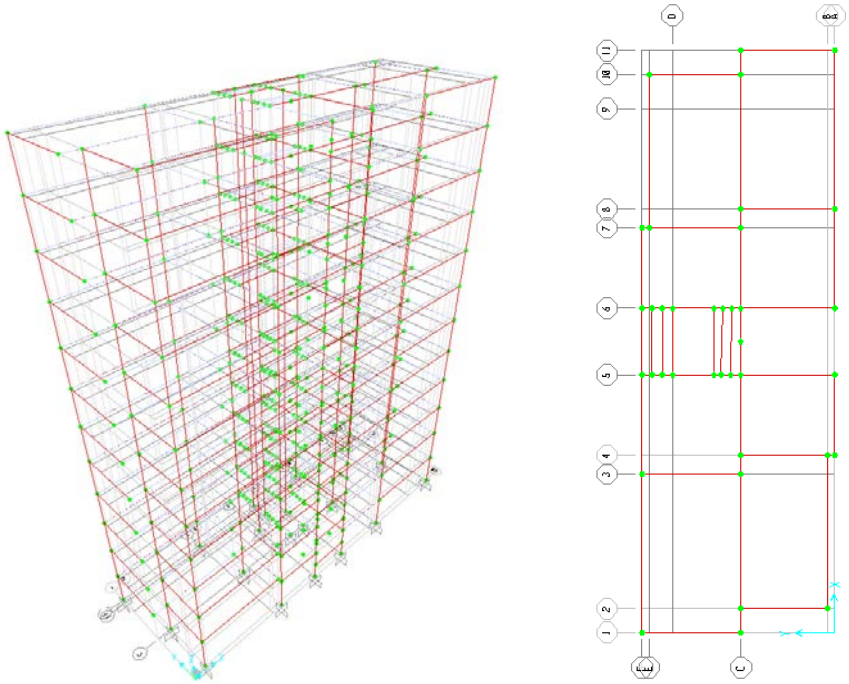
3.1. Zaman Tanım Alanında Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analizlerde Kullanılan Deprem Kayıtları

Fahjan (2008) tarafından daha önce gerçekleştirilen bir çalışmada DBYBHY (2007)'de belirtilmiş analizlerde kullanılacak kayıtların taşıması gereken özellikler göz önünde bulundurularak, her bir zemin tipi için tanımlanan tasarım ivme spektrumuna en iyi uyuşumu sağlayan onar adet gerçek kayıt Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER, 2006) veri bankasında bulunan kayıtlar arasından seçilerek ölçeklenmiştir. Z2 ve Z4 zemin sınıfları için Fahjan (2008) tarafından tasarım spekturumlarına uygun olarak ölçeklenmiş bu kayıtlar bu çalışmadaki örnek yapının zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri için kullanılmıştır. Bu kayıtlara ait tepki spektrumları hedef tasarım ivme spektrumu ile birlikte Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2'de spektrumları çizilen deprem kayıtlarına ait detaylar, ölçekleme katsayıları ve hata oranları orijinal çalışmada (Fahjan, 2008) bulunabilir.

3.2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Analizler

Örnek yapının zaman tanım alanında doğrusal dinamik analizleri seçilen on adet deprem kaydı altında gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonuçlarını karşılaştırmak için yapının kat yer değiştirmeleri ve göreli kat ötelemeleri spektral analizle de ayrıca belirlenmiştir. İncelenen yapıya ait modal etkin kütleler Tablo 2'de verilmiştir. Yapının yerel zemin sınıfı Z2 üzerine inşa edilmesi durumunda X ve Y yönündeki kat yer değiştirmeleri ve göreli kat ötelemeleri sırasıyla X ve Y yönü depremleri için Şekil 3 ve 4'te verilmiştir. Benzer

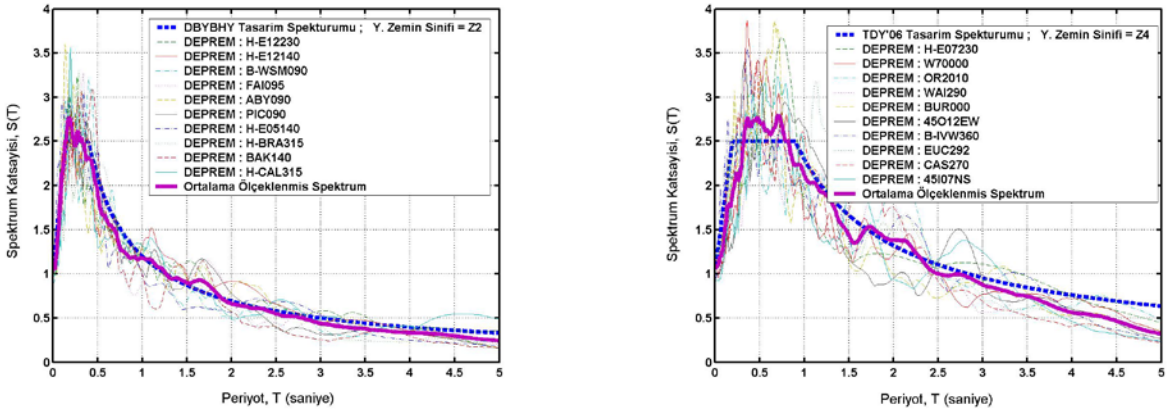
şekilde yapının Z4 yerel zemin sınıfı üzerine inşa edilmesi durumunda yapının X ve Y yönündeki kat yer değiştirmeleri ve göreli kat ötelemeleri sırasıyla X ve Y yönü depremleri için Şekil 5 ve 6'da verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, yapı Y yönünde daha büyük deplasmanlar yapmaktadır. Bunun sebebi, yapının Y yönünde daha esnek olmasıdır. Yapının Z4 zemin sınıfının üzerine inşa edilmesi durumunda Z2 zemin sınıfına göre daha büyük yerdeğiştirmelere maruz kalmaktadır. Ayrıca, spektral analizle bulunan kat yer değiştirmeleri ve göreli kat ötelemeleri ile zaman tanım alanında doğrusal hesapla bulunan yedi yer hareketinden elde edilen sonuçların ortalaması birbirine oldukça yakın çıkmaktadır. İki analiz sonucu arasında farkın %1-5 olduğu görülmüştür. Fakat, rastgele üç yer hareketi kullanılarak sonuçların maksimumu alınması durumunda elde edilen sonuçlar spektral analiz sonuçlarından yaklaşık %20-40 daha fazladır. Ayrıca, rastlantısal olarak minimum üç sonucu veren üç yer hareketinin seçilerek sonuçların maksimumunun kullanılması ise sistemin tepkisinin gerçekten daha küçük (%20-30) olarak tahmin edilmesine sebep olmaktadır.



Şekil 1. Örnek binanın 3 boyutlu analitik modeli ve tipik kat planı

Tablo 2. Modal etkin kütleler

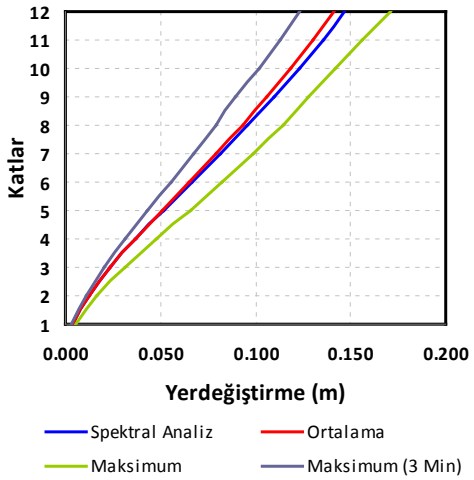
Mod	Periyot (sn)	Ux	Uy	ΣUx	ΣUy	Rz	ΣRz
1	1.17	0.03	0.69	0.03	0.69	0.45	0.45
2	1.04	0.28	0.03	0.31	0.72	0.00	0.45
3	0.96	0.41	0.01	0.72	0.72	0.28	0.73
4	0.58	0.00	0.00	0.72	0.72	0.00	0.73
5	0.39	0.00	0.00	0.72	0.72	0.00	0.73
6	0.33	0.01	0.12	0.73	0.85	0.08	0.81



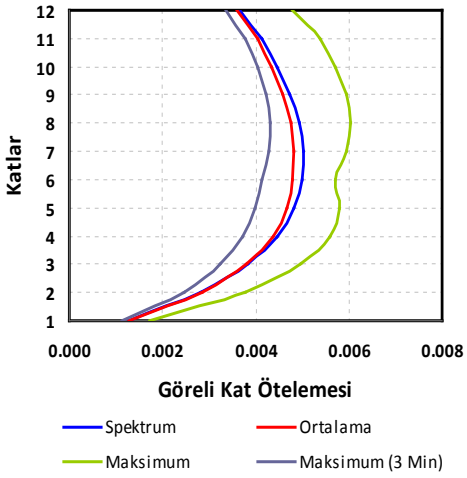
(a) (b)

Şekil 2. DBYBHY (2007) özel tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş deprem kayıtlarının tepki spektrumları: (a)Yerel Zemin Sınıfı Z2 ve (b) Yerel Zemin Sınıfı Z4

(a)

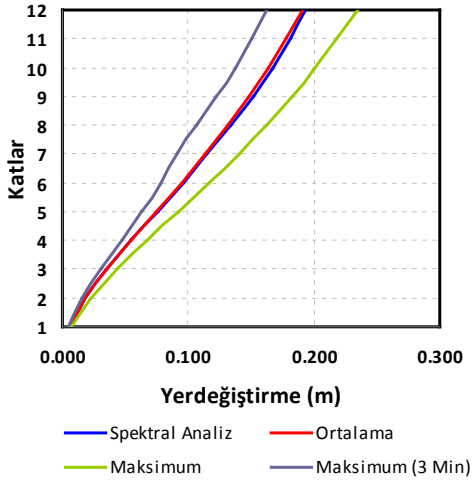


(b)

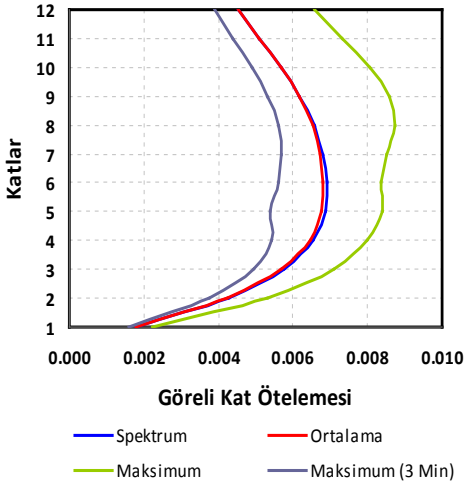


Şekil 3. Yapının yerel zemin sınıfı Z2 üzerine inşa edilmesi durumunda X yönü depremi için zaman tanım alanında doğrusal analiz ile bulunan X yönü (a) kat yer değiştirmeleri ve (b) göreli kat ötelemeleri

(a)

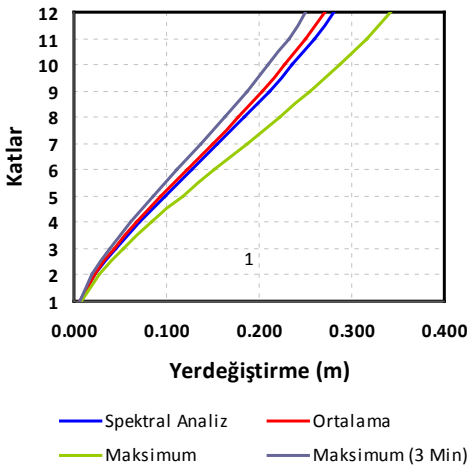


(b)

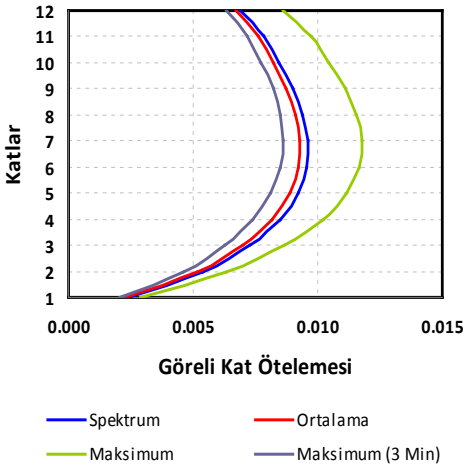


Şekil 4. Yapının yerel zemin sınıfı Z2 üzerine inşa edilmesi durumunda Y yönü depremi için zaman tanım alanında doğrusal analiz ile bulunan Y yönü (a) kat yer değiştirmeleri ve (b) göreli kat ötelemeleri

(a)

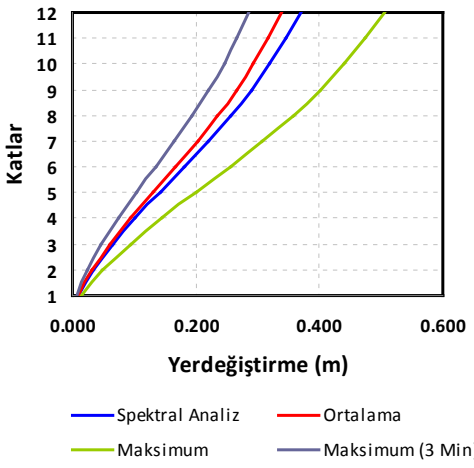


(b)

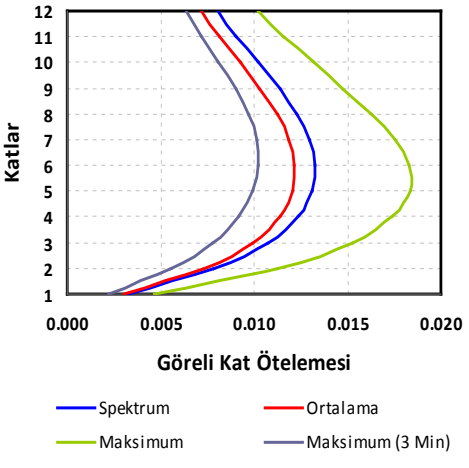


Şekil 5. Yapının yerel zemin sınıfı Z4 üzerine inşa edilmesi durumunda X yönü depremi için zaman tanım alanında doğrusal analiz ile bulunan X yönü (a) kat yer değiştirmeleri ve (b) göreli kat ötelemeleri

(a)



(b)



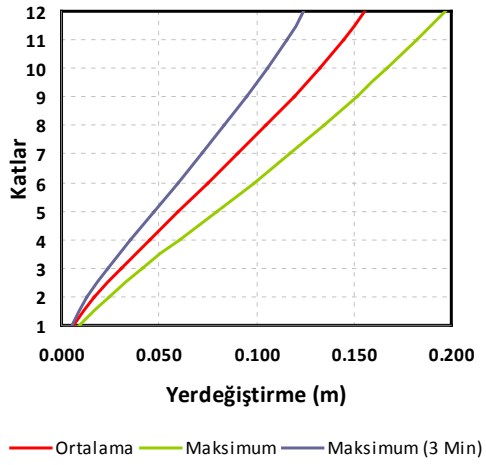
Şekil 6. Yapının yerel zemin sınıfı Z4 üzerine inşa edilmesi durumunda Y yönü depremi için zaman tanım alanında doğrusal analiz ile bulunan Y yönü (a) kat yer değiştirmeleri ve (b) göreli kat ötelemeleri

3.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizler

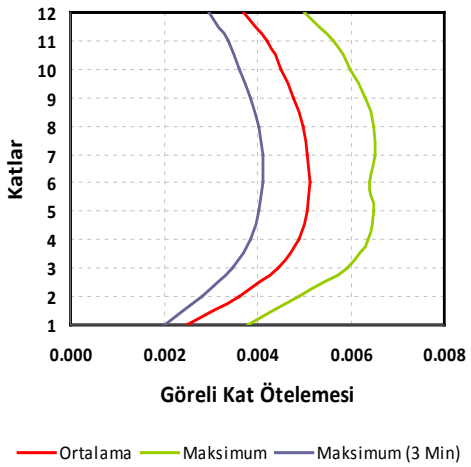
Zaman tanım alanında doğrusal dinamik analizde kullanılan kayıtlar, doğrusal olmayan dinamik analizde de kullanılarak yapının dinamik tepkisi incelenmiştir. Yapının yerel zemin sınıfı Z2 üzerine inşa edilmesi durumunda zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizle bulunan X ve Y yönündeki kat yer değiştirmeleri ve göreli kat ötelemeleri sırasıyla X ve Y yönü depremleri için Şekil 7 ve 8'de verilmiştir. Benzer şekilde yapının Z4 yerel zemin sınıfı üzerine inşa edilmesi durumunda yapının X ve Y yönündeki kat yer değiştirmeleri ve göreli kat ötelemeleri sırasıyla X ve Y yönü depremleri için Şekil 9 ve 10'da verilmiştir. Doğrusal analizde olduğu gibi doğrusal olmayan analizde de yapı Y yönünde daha büyük deplasmanlar yapmaktadır. Benzer olarak, yapı Z4 zemin sınıfının üzerine inşa edildiğinde Z2 zemin sınıfına göre daha büyük yerdeğiştirmeler ortaya çıkmaktadır. Doğrusal olmayan analizlerden bulunan yerdeğiştirmeler doğusal analizden

elde edilenlerden daha büyüktür. Hem Z2 hem de Z4 yerel zemin sınıfları için yedi yer hareketinden elde edilen sonuçların ortalaması ile rastgele üç yer hareketi kullanılarak sonuçların maksimumunun karşılaştırılması durumunda ortalama %25-30 fark ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, rastlantısal olarak minimum üç sonucu veren üç yer hareketinin seçilerek sonuçların maksimumunun alınması ile bulunan sonuç yedi yer hareketinden elde edilen sonuçların ortalamasına göre daha küçük (%10-20) olmaktadır. Bu fark Z2 zemin sınıfı için daha fazladır. Böylece, zaman tanım alanındaki doğrusal olmayan analizler için de en az yedi deprem kaydı kullanılarak sonuçların ortalamasının kullanılması daha doğru olacaktır.

(a)

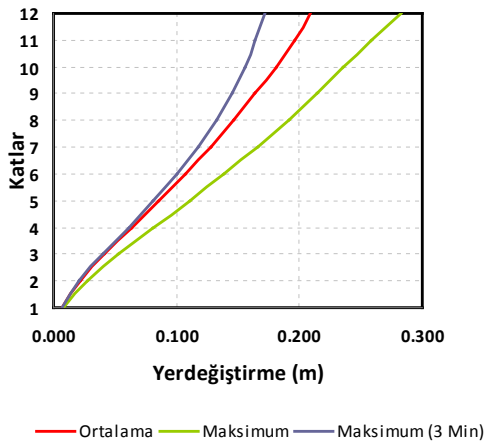


(b)

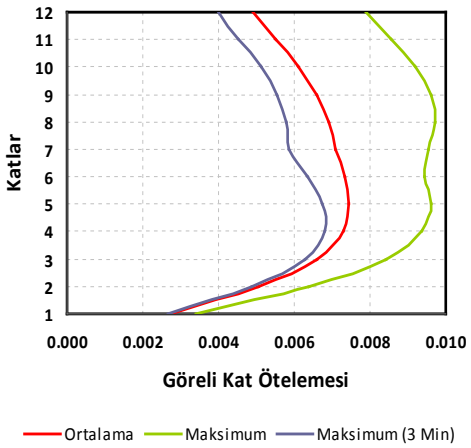


Şekil 7. Yapının yerel zemin sınıfı Z2 üzerine inşa edilmesi durumunda X yönü depremi için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile bulunan X yönü (a) kat yer değiştirmeleri ve (b) göreli kat ötelemeleri

(a)

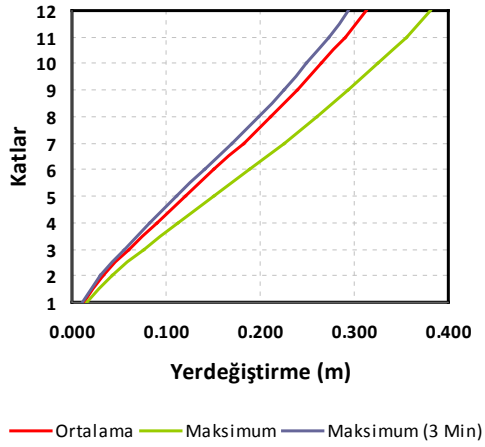


(b)

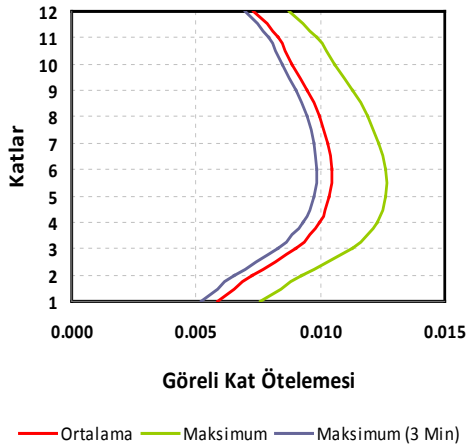


Şekil 8. Yapının yerel zemin sınıfı Z2 üzerine inşa edilmesi durumunda Y yönü depremi için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile bulunan Y yönü (a) kat yer değiştirmeleri ve (b) göreli kat ötelemeleri

(a)

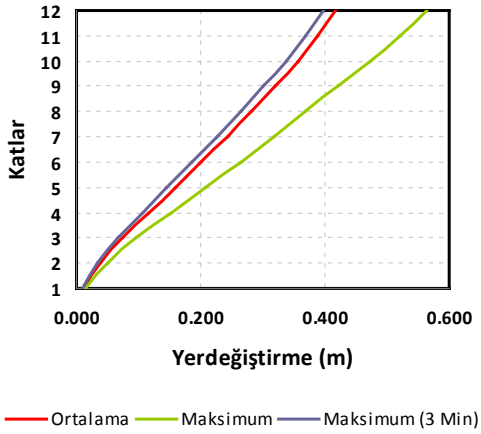


(b)

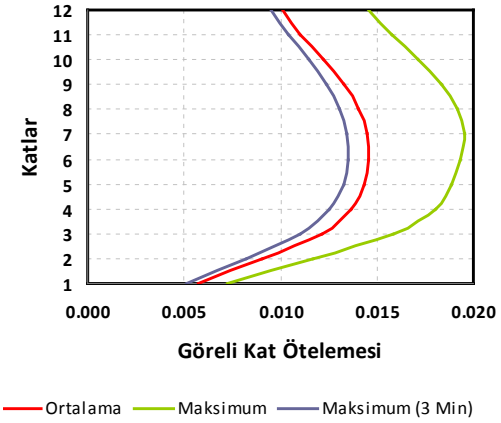


Şekil 9. Yapının yerel zemin sınıfı Z4 üzerine inşa edilmesi durumunda X yönü depremi için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile bulunan X yönü (a) kat yer değiştirmeleri ve (b) göreli kat ötelemeleri

(a)



(b)



Şekil 10. Yapının yerel zemin sınıfı Z4 üzerine inşa edilmesi durumunda Y yönü depremi için zaman tanım alanında doğrusal analiz ile bulunan Y yönü (a) kat yer değiştirmeleri ve (b) göreli kat ötelemeleri

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, oniki katlı betonarme bir yapının zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi kullanılarak hedef tasarım ivme spektrumu ile eşleştirilmiş on adet gerçek deprem kaydı kullanılmıştır. Yapının Z2 ve Z4 olmak üzere iki farklı yerel zemin sınıfı üzerine inşa edildiği varsayılmıştır. Analizler sonucunda yapının yerdeğiştirme ve göreli kat ötelemeleri elde edilmiştir. Deprem yönetmeliğimize (DBYBHY, 2007) göre zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalamasının tasarım için esas alınması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları kullanılarak yönetmeliğimizin bu kriteri incelenmiştir. Gerçekleştirilen analizler göstermiştir ki, zaman tanım alanında doğrusal hesapla bulunan yedi yer hareketinden elde edilen sonuçların ortalaması ile spektral analiz sonuçları birbirine oldukça yakın çıkmaktadır. Hem doğrusal hem de doğrusal olmayan analiz için rastgele seçilen üç yer hareketinden elde edilen sonuçların maksimumunun kullanılması konservatif tasarımlara

sebep olmaktadır. Analizlerde, rastlantısal olarak minimum üç sonucu veren yer hareketlerinin seçilerek sonuçların maksimumunun kullanılması ise sistemin tepkisinin gerçekten daha küçük olarak tahmin edilmesine yol açmaktadır. Bu yüzden, zaman tanım alanındaki doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizler için en az yedi deprem kaydı kullanılarak sonuçların ortalamasının alınması daha doğru olacaktır.

KAYNAKLAR

Abrahamson, N. A. (1993). Non-Stationary Spectral Matching Program RSPMATCH, User Manual, July 16.

Boore, D. M. (2000). SMSIM – Fortran Programs for Simulating Ground Motions from Earthquakes: Version 2.0 – A Revision of OFR 96-80-A, USGS Open File Report OF 00-509.

Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center. (2006). PEER Strong Motion Database, http://peer.berkeley.edu/smcat/.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY). (2007). T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, http://www.deprem.gov.tr.

Fahjan, Y. (2008). Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY), (2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi" IMO Dergi.

CSI (2009). SAP2000: Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures 14.0, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California.

PROBİNA 15.1 (2010) Probina Orion, Bina Tasarım Sistemi, Prota Bilgisayar, Ankara, Türkiye