

Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi

Yasin M. FAHJAN*

ÖZ

Yapısal analiz ve hesaba dayalı olanaklardaki hızlı gelişmeler sonucu zaman tanım alanında hesap yöntemleri, sismik analizde ve yapıların tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler kullanılırken ortaya çıkan en önemli sorunlardan biri, yönetmelik gereksinimlerini karşılayan deprem kayıtlarının teminidir. Deprem ivme kayıtları üç kaynaktan elde edilebilir: 1) Tasarım ivme spektrumu uyumlu yapay kayıtlar, 2) Simule edilmiş (benzeştirilmiş) kayıtlar ve 3) Deprem esnasında kaydedilen ivme kayıtlarıdır. Mevcut olan kuvvetli yer hareketi veri bankalarının her geçen gün zenginleşmesi ve bunlara ulaşmanın ilerleyen teknoloji ile birlikte daha da kolaylaşması, gerçek depremlerden alınan kayıtların kullanılması ve ölçeklenmesini en güncel araştırma konularından biri haline getirmiştir. Bu çalışmada, uygun kuvvetli yer hareketi kayıtlarının seçilmesi için önerilen temel yöntemler ve kriterler ortaya konulmaktadır. Türkiye Deprem Yönetmeliğinde (DBYBHY, 2007) tanımlanan uyum kriterlerine ve yerel zemin sınıflarına göre seçilen kayıtlar, zaman tanım alanında ölçekleme yöntemleri kullanılarak önerilen tasarım ivme spektrumlarıyla eşleştirilmeye çalışılmakta ve farklı zemin tipleri için en iyi uyumu sağlayan gerçek kayıtlar seçilmektedir.

ABSTRACT

Selection and Scaling of Real Earthquake Accelerograms to Fit the Turkish Design Spectra

Due to rapid developments in structural analysis and computational facilities, nonlinear time-history analysis is becoming more common in seismic analysis and design of structures. One of the crucial issues of such analysis is the selection of acceleration time histories to satisfy design code requirements and soil type at a specific site. In literature, there are three sources of acceleration time histories: design response spectrum compatible artificial records, synthetic records obtained from seismological models and accelerograms recorded in real earthquakes. Due to the increase of available strong ground motion database, using and scaling real recorded accelerograms is becoming one of the most

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 27.06.2006 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2008 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Deprem ve Yapı Anabilim Dalı, Kocaeli - fahjan@gyte.edu.tr

contemporary research issues in this field. In this study, basic methodologies and criteria for selecting strong ground motion time histories are discussed and summarized. The time domain scaling procedure is utilized to scale the available real records to match the proposed elastic design spectrum given in the Turkish earthquake code (DBYBHY, 2007) for different seismic regions and soil types. The best fitted ground motion time histories are selected and classified taken into account the earthquake magnitude, focal mechanism and site conditions.

1. GİRİŞ

Geleneksel olarak, yapılara etkiyen sismik yüklerin hesabı “Eşdeğer Statik Deprem Yüğü Yöntemi” ve “Mod Birleştirme Yöntemi” ile yapılmaktadır. Son dönemlerde yapısal analizde ve teknolojiye sağlanan gelişmelerle birlikte, zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi yapıların tasarım ve analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. 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 bahsetmek mümkündür: yapay yollar kullanılarak oluşturulan tasarım ivme spektrumu uyumlu kayıtlar (örneğin Abrahamson [2] tarafından geliştirilen RSPMATCH programı ile), kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş (simüle edilmiş) kayıtlar (örneğin Boore [3] tarafından geliştirilen SMSIM programı yardımı ile) ve gerçek depremlerden elde edilen kayıtlar. 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.

Belirli bir bölgedeki tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek kuvvetli yer hareketi kaydının seçilebilmesi için kullanılan kriterler jeolojik ve sismolojik şartları içermelidir. Deprem büyüklüğü, faylanma tipi, çalışma alanının faya olan mesafesi, yırtılma yönü, yerel zemin koşulları ve kaydın spektral içeriği bu şartların en önemlilerini teşkil etmektedir.

Eşleştirme için kullanılacak kriterler belirlendikten sonra, gerçek kayıtlara uygulanacak ölçeklemelerin yapılması için yöntem belirlenmeli ve yeterli yaklaşıklığın sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmelidir. Doğrusal ölçekleme faktörünün elde edilmesinde spektral genlik kullanılabileceği gibi, bazı özel çalışmalarda çevirim sayısını arttırmadan frekans içeriğini ve süreyi değiştiren zaman ekseninde ölçekleme de yapılabilir [4]. Ölçekleme sonucunda elde edilecek kayıtlarda dikkat edilecek en önemli hususlardan bir tanesi gerçek kayıttaki genlik ve şiddet özelliklerinin korunmasıdır.

Bu çalışmada, deprem kayıtlarının seçilmesi ile ilgili genel yöntemler ve kriterler ayrıntılı olarak değerlendirilmektedir. DBYBHY (2007)'de [1] yer alan her bir sismik bölge ve zemin sınıfı için belirlenen tasarım ivme spektrumuna uygun kayıtlar seçilirken depremin büyüklüğü, faylanma tipi ve zemin koşulları dikkate alınmaktadır. Seçilen gerçek deprem kayıtlarından, tek serbestlik dereceli doğrusal bir sistemin spektrumu %5 sönüme sahip olacak şekilde hesaplanmaktadır. Sonuçta elde edilen spektrum, tasarım ivme spektrumuna ölçeklenerek belirli zemin sınıfına karşı gelen en uygun 10 kayıt seçilmektedir.

2. DEPREM KAYIT KAYNAKLARI

Üç farklı deprem kayıt kaynağından bahsetmek mümkündür: Yapay kayıtlar, benzeştirilmiş (simüle edilmiş) kayıtlar ve gerçek depremlerden elde edilen kayıtlar.

2.1. Yapay Olarak Üretilmiş Deprem Kayıtları

Geniş bir periyod aralığında, tepki spektrumu elastik tasarım spektrumuna aynen benzeyen yapay kayıtlar üretilebilir. Sadeleştirilmiş tepki spektrumundan güç spektral yoğunluk fonksiyonu bulunur ve bu fonksiyon ile rastgele faz açıları birleştirilerek sinüzoidal sinyaller türetilir. Bu sinüzoidal hareketler toplanarak yapay kayıt elde edilmiş olur. Tasarım spektrumuyla eşleşmeyi iyileştirmek için iteratif bir yöntem kullanılır. Bu yöntemde, seçilen frekanslarda gerçek tepki spektrumu ve hedef tasarım spektrumu ordinatları arasındaki ölçekleme katsayısı hesaplanır ve güç spektral yoğunluk fonksiyonu bu ölçekleme katsayısının karesi ile ayarlanarak kayıt düzeltilir. Bu işlemler sonucunda yeni hareket elde edilmiş olur.

Tasarım spektrumuna uyumlu yapay kayıtların diğer özelliklerini öğrenmek için, beklenen depremle ilgili tepki spektrumunun yanında hareketin süresi gibi başka tamamlayıcı bilgilere de ihtiyaç vardır. Yapay kayıtları kullanmaktaki en büyük zorluk, çok sayıda kaydedilmiş hareketin ortalamasını simgeleyen tasarım spektrumuna uygun tek bir kayıt elde etmeye çalışmaktır [5]. Tasarım spektrumu, genellikle, pek çok sismik kaynağın etkisini eş zamanlı olarak gözönüne alan istatistiksel bir analizin sonucu olduğundan, farklı periyotlara karşı gelen spektrum ivme değerleri de değişik kaynaklarda oluşan depremlerden elde edilmiş olabilir [6, 7]. Ayrıca, yapay kayıtlardaki temel problem, kuvvetli yer hareketindeki çevrim sayısının artması sonucunda, gerçeğe aykırı olacak kadar büyük miktarda enerjinin açığa çıkmasıdır.

2.2. Simüle Edilmiş (Benzeştirilmiş) Deprem Kayıtları

Bu tür kayıtlar yayılım ortamı ve zemin özelliklerini dikkate alan sismolojik kaynak modellerinden elde edilir. Buradaki en büyük zorluk uygun kaynak, yayılım ortamı ve zemin özelliklerinin tanımlanmasıdır. Kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş (simüle edilmiş) kayıtları elde etmekte kullanılan analizlerde, inceleme yapılacak alan için, senaryo depreminin büyüklük ve mesafeye bağlı olarak tanımlanmış olması gerekir. Özellikle sismik tasarım yönetmelikleri kullanıldığı durumlarda, bu bilgilerin çoğu genellikle mevcut değildir [8].

2.3. Gerçek Depremlerden Elde Edilen Kayıtlar

Gerçek deprem kayıtları, yer sarsıntısının doğası ve belli başlı özellikleri (genliği, süresi, faz özellikleri ve frekans muhteviyatı) hakkında sağlıklı bilgiler içerir. Ayrıca, kayıtları etkileyen kaynak, yayılım ortamı ve zemin gibi bütün faktörleri de yansıtır. Bu yüzden sahanın sismolojik parametrelerini de göz önünde bulundurarak bu tür kayıtların seçilmesi diğer alternatiflere göre büyük üstünlük sağlar.

Mevcut olan kuvvetli yer hareketi kayıtlarının artması sebebiyle, depremlerde kaydedilmiş ivme kayıtlarının kullanılması ve ölçeklenmesi bu alandaki en güncel araştırma konularından biri haline gelmektedir. Sürekli artan kuvvetli yer hareketi veri tabanlarına rağmen, büyüklük, yırtılma mekanizması, kaynakla saha arasındaki mesafe ve zemin sınıfı gibi deprem parametrelerine bağlı pek çok kombinasyon oluşturulabileceğinden, bazı hallerde duruma uygun kayıt bulmada zorluklarla karşılaşılabilir [8].

3. GERÇEK DEPREM KAYITLARININ SEÇİLMESİ

Gerçek deprem kayıtları, yer hareketinin belli özelliklerini temsil etmesi için genellikle ya tasarım spektrumuna veya büyüklük, mesafe ve zemin sınıfı gibi minimum parametreleri verilen deprem senaryosuna dayandırılarak seçilir. Sismik tasarım yönetmeliklerinde, uygun gerçek kayıtların nasıl seçileceği ile ilgili verilen yönlendirmeler çoğunlukla sismolojik parametreler yerine tepki spektrumuna uygunluğa odaklanır. Böylece kayıtlar en büyük yer ivmesi gibi kuvvetli yer hareketi parametrelerine göre bir tasarım tepki spektrumuna uyacak şekilde seçilir. Belirli bir bölge için seçilecek kayıtlar hem yapılan Sismik Tehlike Analizi sonucunda ortaya çıkan tepki spektrumuyla uyumlu hem de jeolojik ve sismolojik şartları sağlamalıdır.

Deprem büyüklüğü, yer hareketinin frekans içeriğini ve süresini güçlü bir şekilde etkilediği için uygun büyüklüğe sahip kayıtların seçilmesi çok önemlidir. Seçilecek kayıtların deprem büyüklüklerinin hedef olarak belirlenen büyüklüğe ± 0.25 yaklaşıklıkta olması istenir [9]. Özellikle faya yakın olan bölgelerde yapılacak olan çalışmalarda seçilecek kayıtların uygun fay-saha mesafesine sahip olması önemlidir. Çünkü, yakın fay yer hareketlerinin özellikleri diğerlerine nazaran çok farklıdır. Diğer bir etken olan zemin koşullarının ise kuvvetli yer hareketinin özellikleri üzerinde çok önemli etkileri vardır. Yer hareketleri yumuşak zeminlerde büyütülmesine rağmen içeriğindeki yüksek frekanslı hareketler azalır. Büyütmenin yer hareketi üzerindeki etkileri, genellikle kaydın ivme spektrumunun orta ve yüksek periyotlu bölgelerinde fark edilebilir.

4. YER HAREKETİNİ ÖLÇEKLEME YÖNTEMLERİ

Gerçek deprem kayıtları, verilen bir tasarım ivme spektrumuna uyumlu olarak zaman tanım alanında veya frekans tanım alanında ölçeklenebilir.

4.1. Yer Hareketinin Zaman Tanım Alanında Ölçeklenmesi

Bu yöntemde, yer hareketi kaydı aynı miktarda yukarı veya aşağı yönde ölçeklenerek (1 'den büyük veya 1 'den küçük ve sabit bir katsayı ile çarpılarak), istenilen periyot aralığında, hedef tasarım ivme spektrumuna en uygun eşleştirme yapılır. Bu işlem kaydın frekans içeriğini değiştirmez. 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.

4.2. Tek Bir Deprem Kaydı için Genel Yöntem

Bu yöntem, en küçük kareler tekniği kullanılarak, ölçeklenmiş hareketin davranış spektrumu ile tasarım ivme spektrumu arasındaki farkın küçültülmesi esasına dayanır. Bu çalışmada kullanılan yöntemde, “Fark” ölçeklenmiş ve hedef tasarım spektrumu genlikleri arasındaki farkın karesinin entegrasyonu olarak tanımlanmış ve aşağıda verilen eşitlikle hesaplanmıştır [10]:

$$|Fark| = \int_{T_A}^{T_B} \left[\alpha S_a^{gercek}(T) - S_a^{hedef}(T) \right]^2 dT \quad (1)$$

Burada;

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

Fark miktarının küçülmesi için “Fark” fonksiyonunun doğrusal ölçekleme katsayısına göre türevi sıfır olmalıdır:

$$\min |Fark| \Rightarrow \frac{d |Fark|}{d \alpha} = 0 \quad (2)$$

Denklem 1’deki “Fark” fonksiyonunun $d\alpha$ ’ya göre türevi alınıp sifıra eşitlenir (Denklem 2). Denklem 1’deki integraller ayrık forma çevrilerek T_A ’dan ΔT artımlarla T_B ’ye kadar devam eden toplam haline dönüştürülür. Buradaki ΔT periyot adım miktarıdır. Böylece, Denklem 3 elde edilir:

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

4.3. Birden Çok Deprem Kaydı için Genel Yöntem

Birden fazla deprem kaydı kullanarak ölçekleme yapılmak istenmesi durumunda uygulanabilecek yöntemler aşağıdaki gibi özetlenebilir [10]:

Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun ...

- (a) Bütün kayıtlar için tek bir ölçekleme katsayısı kullanılarak (N) adet deprem kaydının ortalaması tasarım spektrumuna eşleştirilmeye çalışılır. Üretilen ortalama spektrum, tasarım spektrumu ile oldukça iyi eşleşse de, bütün kayıtlar aynı katsayı ile ölçeklenmiş olur.
- (b) Tek bir kayıt için kullanılan yöntem (Bölüm 4.2), (N) adet kaydın herbiri için tek tek uygulanır ve ölçeklenmiş kayıtların ortalamaları alınır. Herbir hareket tek başına en iyi şekilde ölçeklenmiş olmasına rağmen sonuçta alınan ortalama tasarım spektrumu ile mükemmel şekilde eşleşmez.
- (c) (N) adet kaydın spektrumunun ortalaması tasarım spektrumuna eşleştirilmeye çalışılır. (N) defa türev alınarak “Fark” fonksiyonu minimize edilir. Elde edilen (N) adet doğrusal cebirsel denklem çözülerek (N) adet optimum ölçekleme katsayısı bulunur. Bu yöntemde kayıtlar en optimum şekilde ölçeklenmiş olmasına rağmen çıkan ölçekleme katsayıları çok küçük veya çok büyük hatta negatif değerler olabilir.

4.4. Yer Hareketinin Frekans Tanım Alanında Ölçeklenmesi

Bu yöntemde de, deprem esnasında kaydedilmiş ivme kayıtlarından tasarım ivme spektrumuna uyan kayıtlar türetilir. Frekans tanım alanında yapılan ölçekleme esnasında deprem hareketi fiziksel özelliklerini yitirmedeği için klasik yapay deprem kaydı üretme metotları ile karşılaştırıldığında daha etkili bir yöntemdir [10]. Frekans tanım alanında yapılan ölçekleme yöntemi kullanılarak tasarım spektrumu ile bire bir eşleşen kayıtlar elde etmek mümkündür. Fakat, bu kayıtlar yapıların doğrusal olmayan deprem hesaplamalarında kullanılırken yerdeğiştirmeye hassas bölgede eşit yerdeğiştirme kuralını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir [11].

5. GERÇEK KAYITLARIN TÜRKİYE DEPREM YÖNETMELİĞİ (DBYBHY, 2007) TASARIM SPECTRUMUNA UYGUN SEÇİLMESİ VE ÖLÇEKLENMESİ

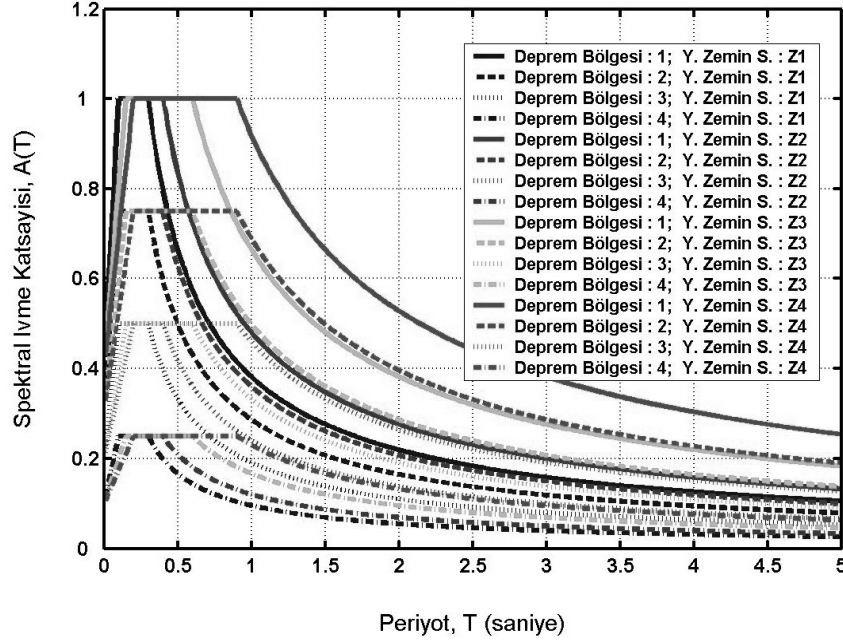
5.1. DBYBHY (2007) Tasarım Spektrumu

Türk yönetmeliğinde tasarıma esas deprem, aşılma olasılığı 50 yıllık süre için %10 (dönüş periyodu 475 yıl) olan yer hareketi olarak kabul edilmektedir. Bu hareketi göstermek için yerel zemin sınıflarına bağlı olarak % 5 sönüm oranındaki spektrum katsayıları, $S(T)$, tanımlanmıştır. Yerel zemin sınıflarının tasarım spektrumu üzerinde yarattığı farklılık spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B) sayesinde yansıtılmaktadır. Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde, tanımlanan dört zemin sınıfına karşı gelen karakteristik periyotlar verilmiştir. Analizlerde kullanılacak elastik spektral ivme katsayısı, $A(T)$; yapının periyoduna karşı gelen spektrum katsayısı, $S(T)$, bölgedeki deprem tehlikesini gösteren etkin yer ivmesi katsayısı, A_o , ve binanın kullanım türüne göre değişen bina önem katsayısı, I , çarpılarak bulunur:

$$A(T) = A_o I S(T) \quad (4)$$

Deprem yönetmeliğimizde verilen zemin sınıfları ve deprem bölgeleri için çizilen elastik spektral ivme katsayıları Şekil 1'de gösterilmiştir. Etkin Yer İvmesi Katsayısı, A_o , mevcut faylar ve daha önceki depremlere ait kayıtlar gönüne alınarak belirlenmiş ve Türkiye beş

deprem bölgesine ayrılmıştır [12]. Birinci bölge tehlikesi en çok olan kısımları gösterirken, beşinci bölge deprem tehlikesinin bulunmadığı kabul edilen alanları kapsamaktadır. Bina önem katsayısı, I, ise binanın kullanım amacı veya türüne göre 1.0 ile 1.5 arasında değişmektedir.



Şekil 1. Türkiye Deprem Yönetmeliği (2007) elastik tasarım ivme spektrumlarının 4 farklı deprem bölgesi ve değişik yerel zemin sınıfları için gösterimi

5.2. Elastik Spektral İvme Ölçekleme Katsayısı Tanımı

DBYBHY (2007)'de tanımlanan spektral ivme katsayısı $A(T)$ 'nin en önemli özelliği, etkin yer ivmesi katsayısı, A_o , ve bina önem katsayısının, I, spektrum katsayısı, $S(T)$, ile lineer olarak çarpılmasıyla elde edilmesidir. Bu çalışmada, bu özellik kullanılarak sadece $S(T)$ için kayıtlar seçilip ölçekleme yapılmakta ve bu işlemde bulunan ölçekleme katsayısı α_{ST} olarak adlandırılmaktadır. Spektral ivme katsayısı $A(T)$ 'ye ait ölçekleme katsayısı, α_{AT} , $S(T)$ 'ye ait spektrum ölçekleme katsayısı α_{ST} , A_o ve I çarpılarak elde edilir:

$$\alpha_{AT} = A_o I \alpha_{ST} \quad (5)$$

5.3. Ölçekleme Katsayıları ile ilgili Sınırlamalar

Gerçek deprem kayıtlarının genliğine yapılacak ölçekleme miktarları, çıkan hareketin kullanılacağı problemin türüne göre belirli limitleri aşmaması önerilir. Yapılan çalışmalarda

[13], [14] yapıların doğrusal elastik analizlerinde üst limit olarak 4'ün kabul edilebileceği, fakat doğrusal elastik olmayan analizlerde ölçekleme katsayısı (α_{AT}) 0.5 ile 2 arasında sınırlandırılması gerektiği belirtilmiştir. Sıvılaşma için ise 2'den büyük ölçekleme katsayısı (α_{AT}) kullanılmaması tavsiye edilir.

5.4. DBYBHY (2007) 'ye göre Kayıtların Seçilme Koşulları

Deprem yönetmeliğinde, 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 verilmektedir. Kullanılacak deprem kayıtlarının aşağıda verilen özellikleri taşınması istenir:

- Deprem kaydının kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- Kullanılacak deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{0g} 'den daha küçük olmayacaktır.
- Kullanılacak ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, gözönüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için, yönetmelikte tanımlanan elastik spektral ivme değerlerinin %90'ından daha az olmayacaktır.
- Zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır.

5.5. Veri Bankası

Bu çalışmada, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center [15], <http://peer.berkeley.edu/smcat>) kuvvetli yer hareketi veri bankasında bulunan deprem kayıtları kullanılmaktadır. Burada, dünyanın çeşitli yerlerinde aktif tektonik faaliyet gösteren bölgelerde meydana gelen 92 sığ kabuksal depremden alınan 4 062 kayıt mevcuttur.

5.6. Gerçek Deprem Kayıtlarını Seçmek ve Ölçeklemek için Uygulanan Yöntem

Zaman tanım alanında yapılacak hesaplamalarda kullanılacak kayıtları elde etmek için bu çalışmada uygulanan yöntem aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. PEER veri bankasında bulunan kayıtların büyüklük, faylanma mekanizması, mesafe ve zemin koşulları gibi özellikleri listelenir.
2. Tam Artımsal Yöntem (Piecewise Exact Method) [16] kullanılarak, tek serbestlik dereceli doğrusal bir sistemin %5 sönüme sahip olacak şekilde tepki spektrumunu hesaplamak için hazırlanan MatLab Programı kullanılarak kayıtların yatay bileşenlerinin herbiri için tepki spektrumları oluşturulur.

3. Kayıtların tepki spektrumları zemin türüne göre gruplandırılır ve ilgili zemin tipine ait tasarım spektrumu kullanılarak Denklem 3'den herbir kaydın ölçekleme katsayısı hesaplanır (Bu çalışmada ölçekleme yöntemi olarak "Tek Bir Deprem Kaydı İçin Genel Yöntem" başlığı altında verilen bölümdeki yöntem kullanılmıştır).
4. Ölçekleme katsayıları, α_{ST} , 20'den büyük ve 1/20 'den küçük olan kayıtlar elenir.
5. Ölçekleme katsayısı ile çarpılan kayıtlar için MatLab Programı kullanılarak tepki spektrumları oluşturulur.
6. Bu tepki spektrumlarının içinden süre ve genlikleri bakımından yönetmeliğimizde (DBYBHY, 2007) verilen şartları sağlamayan kayıtlar elenir.
7. Her bir kayıt için tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş kayda ait tepki spektrumunun genlikleri arasındaki farklar, $T_A=0.01$ saniye – $T_B=5$ saniye periyot aralığında, Denklem 6'da tanımlanan "Toplam Göreceli Hata" formülü ile hesaplanır:

$$|Toplam\ Göreceli\ Hata| = \sum_{T_A}^{T_B} \left| \left[(\alpha S_a^{gerçek}(T) - S_a^{hedef}(T)) / S_a^{hedef}(T) \right] \right| \quad (6)$$

Bulunan "Toplam Göreceli Hata" Denklem 7'ye yerleştirilerek hata miktarı yüzde olarak bulunur:

$$|Oransal\ Göreceli\ Hata\ (%)| = \frac{1}{k} |Toplam\ Göreceli\ Hata| \times 100 \quad (7)$$

Burada;

k kaydın tepki spektrumu çizdirilirken kullanılan periyot adım (ΔT) sayısıdır.

$$k = (T_B - T_A) / \Delta T \quad (8)$$

8. Zemin türlerine göre gruplanmış kayıtların içinden ölçekleme katsayıları, α_{ST} , ve "Oransal Göreceli Hataları (%)" en küçük olan ilk 50 kayıt alınır ve bunlardan tasarım spektrumuyla en iyi eşleşen 10 adet kayıt seçilir.

5.7. Kayıtların Etkin Süresinin Belirlenmesi

Sismik moment veya depremin büyüklüğünün fonksiyonu olan yer hareketinin süresi, fay kırığının fay yüzeyi boyunca yayılması için gereken zaman ile ilişkilidir. Depremin süresini belirlemek için, ölçülen büyüklüğe göre değişiklik gösteren, "Zarf Süre (Bracketed Duration)", "Düzenli Süre (Uniform Duration)" ve "Anlamlı Süre (Significant Duration)" gibi pek çok adlandırma yapılmıştır [17]. "Zarf Süre (Bracketed Duration)" belirli bir eşik ivme değerinin (genellikle 0.05 g) ilk ve son aşılması arasındaki geçen süre olarak tanımlanır [18]. İvme kaydındaki belirli miktardaki enerjinin boşalması için geçen süreyi gösteren "Anlamlı Sürenin (significant duration)" hesabında referans olarak kullanılan büyüklük, doğal olarak, ivme kaydındaki enerji miktarını (hasar potansiyelini) gösteren Arias yoğunluğu (AI)'dur:

$$AI = \frac{\pi}{2g} \int_0^{T_s} a^2(t) dt \quad (9)$$

Burada;

$a(t)$ t anında deprem kaydındaki ivme genlikleri değerleri,
 T_s kaydın toplam süresidir.

Arias Yoğunluğunun (AI) [19] zamanla değişimini (artışını) yüzde olarak gösteren eğri “Husid Plot” olarak adlandırılır. Bu eğri üzerinden Arias Yoğunluğunun (AI) %5 ve %95 oluşumu arasında geçen süre “Anlamli Süre (significant duration)” olarak tanımlanır [20].

Bu çalışmada, yönetmelikte alt sınırı verilen deprem kaydının kuvvetli yer hareketi kısmının süresini belirlemek için hem “Zarf Süre (Bracketed Duration)” hem de Anlamli Süre (significant duration)” hesaplanmıştır. Ancak, Zarf Süre bulunurken ölçeklenmiş kayıt kullanıldığı için Tablo 1, 2, 3 ve 4’te verilen değerler 2. derece deprem bölgesinde bulunan ve bina önem katsayısı 1 olan yapılara aittir. Ayrıca, bu tablolardan “Kayıt süresi” (Record duration) ile zarf ve anlamli sürenin uzunluklarının oldukça farklı olduğu görülmektedir.

5.8. Ölçekleme Sonuçlarının Yorumlanması

Deprem yönetmeliğimizde (DBYBHY, 2007) yeralan zemin sınıfları için tanımlanan spektrum katsayılarının, $S(T)$, herbirine 0.01 ve 5 saniyelik periyot aralığında en iyi uyum gösteren 10 adet gerçek deprem kaydı seçilmiş ve bu kayıtlara ait tepki spektrumları tasarım spektrumları ile birlikte Şekil 2, 3, 4 ve 5’te sırasıyla Z1, Z2, Z3 ve Z4 için gösterilmiştir. Şekillerde spektrumları çizilen deprem kayıtlarına ait detaylar, ölçekleme katsayıları ve hata oranları ile birlikte Tablo 1, 2, 3 ve 4’te verilmiştir.

Tablo 1, 2, 3 ve 4’te verilen ölçekleme katsayıları $S(T)$ ’ye ait spektrum ölçekleme katsayıları olan α_{ST} ’lerdir. Bu tablolarda yeralan kayıtlarla ölçekleme yapmak için kullanılması gereken ölçekleme katsayısı Denklem 5’ten elde edilen spektral ivme katsayısı $A(T)$ ’ye ait ölçekleme katsayısı, α_{AT} , olması gerektiğine dikkat edilmelidir. Yani Z1, Z2, Z3 ve Z4 zemin sınıflarına göre sırasıyla Tablo 1, 2, 3 ve 4’ten seçilen uygun kayıtların herbiri için kullanılacak olan ölçekleme katsayısı Denklem 5’ten bulunan değerdir.

Türkiye’nin genel fay yapısı doğrultu atımlı (strike-slip) olduğundan ölçekleme yapmak için genellikle doğrultu atımlı fayların oluşturduğu deprem kayıtları seçilmiştir. Fakat, diğer fay türlerine ait her zemin cinsi için de en az iki tane kayıt ölçeklenmiştir. Yakın fay bölgesinde yer hareketlerinin özellikleri diğerlerine nazaran çok farklı olduğu için kayıtların hem yakın fay hem de uzak fay bölgelerini kapsayacak şekilde seçilmesine özen gösterilmiştir. Ölçekleme yapılırken kaydın her iki bileşeninin tepki spektrumu ayrı ayrı ele alınmış ve ayrı ayrı ölçekleme katsayısı hesaplanmıştır. Kayıtlar seçilirken herbir kayda ait tek bir bileşen (N-S veya E-W) seçilmiş olmasına dikkat edilmiştir. Fakat, tasarım ivme spektrumuna daha iyi uyum sağlayan kayıtların bulunamadığı durumlarda her iki yatay bileşen de kullanılmıştır.

Tablo 1. Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z1 olan bölgelerde kullanılabilen deprem kayıtları ve ölçümleme katsayıları (α_{ST})

Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt	Fay Kırığına en yakın mesafe	Kayıt Süresi	Anılamlı Süre	Zarf Süre	Faylanma Mekanizması	Ölçümleme Katsayısı (α_{ST})	Oransal Göreceli Hata (%)
P0856	Landers	28.06.1992	21081 Amboy	ABY090	69.20	50	25.2	32.8	SS	5.08	17.29
P0969	Northridge	17.01.1994	24611 LA - Temple & Hope	TEM090	32.30	40	14.6	20.5	RN	6.46	27.17
P0859	Landers	28.06.1992	32075 Baker Fire Station	BAK140	88.50	50	19.9	30.9	SS	7.86	26.45
P1108	Kocaeli, Turkey	17.08.1999	Mecidiyekoy	MCD000	62.30	44	16.3	23.9	SS	19.98	27.96
P0740	Loma Prieta	18.10.1989	57064 Fremont - Mission San Jose	FRE090	43.00	39.9	16.7	20.1	RO	8.07	34.56
P0903	Northridge	17.01.1994	24157 LA - Baldwin Hills	BLD090	31.30	40	16.6	17.9	RN	4.29	23.87
P0988	Northridge	17.01.1995	90009 N. Hollywood - Coldwater Can	CWC270	14.60	21.9	16.4	18.4	RN	3.36	24.84
P1100	Kocaeli, Turkey	17.08.1999	Goyruk	GYN090	35.50	25.5	10.4	20.8	SS	7.21	30.96
P0763	Loma Prieta	18.10.1989	1686 Fremont - Emerson Court	FMS180	43.40	39.7	17.9	22.3	RO	6.45	31.73
P0818	Landers	28.06.1992	5070 North Palm Springs	NPS000	24.20	70	36.3	43.1	SS	6.54	31.20

Tablo 2. Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z2 olan bölgelerde kullanılabilen deprem kayıtları ve ölçümleme katsayıları (α_{ST})

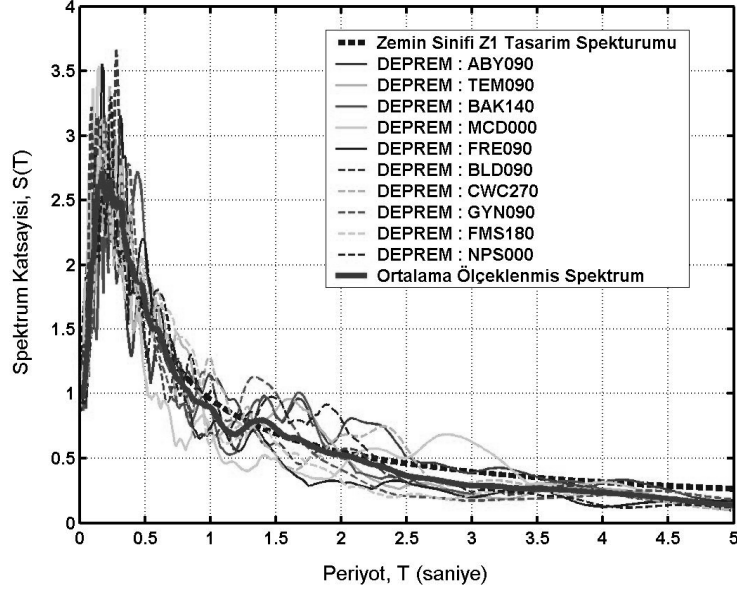
Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt	Fay Kırığına en yakın mesafe	Kayıt Süresi	Anılamlı Süre	Zarf Süre	Faylanma Mekanizması	Ölçümleme Katsayısı (α_{ST})	Oransal Göreceli Hata (%)
P0017	Imperial Valley	15.10.1979	931 El Centro Array #12	H-E12230	18.20	39.0	19.4	27.8	SS	8.31	10.68
P0012	Imperial Valley	15.10.1979	931 El Centro Array #12	H-E12140	18.20	39.0	19.1	23.4	SS	7.01	14.65
P0730	Superstition Hills(B)	24.11.1987	11369 Westmorland Fire Sta	B-WSM090	13.30	40	19.6	32.5	SS	5.10	15.87
P0898	Northridge	17.01.1994	90066 El Monte - Fairview Av	FAI095	47.4	35	20.9	24.6	RN	8.99	16.87
P0856	Landers	28.06.1992	21081 Amboy	ABY090	69.2	50	25.2	35.5	SS	5.76	16.07
P0967	Northridge	17.01.1994	24612 LA - Pico & Sentous	PI090	32.7	40	20.2	25.1	RN	9.34	20.81
P0003	Imperial Valley	15.10.1979	952 El Centro Array #5	H-E05140	1.00	39.3	8.2	10.4	SS	2.39	22.97
P0020	Imperial Valley	15.10.1979	5060 Brawley Airport	H-BRA315	8.50	37.8	14.0	12.2	SS	4.58	22.70
P0859	Landers	28.06.1992	32075 Baker Fire Station	BAK140	88.5	50	19.9	31.0	SS	8.97	29.35
P0051	Imperial Valley	15.10.1979	5061 Calipatria Fire Sta	H-CAL315	23.80	39.5	23.3	28.0	SS	12.14	17.25

Tablo 3. Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z3 olan bölgelerde kullanılabilen deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları (α_{st})

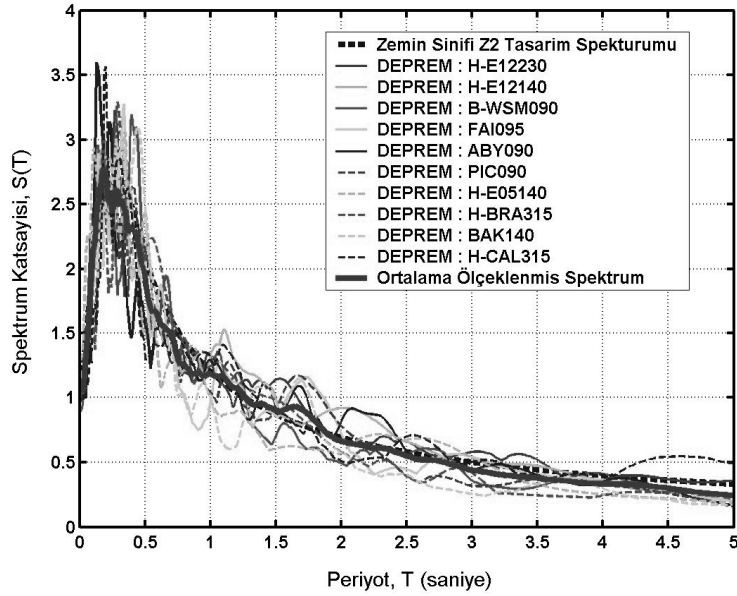
Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt	Fay Kırğına en yakın mesafe	Kayıt Süresi	Anılamlı Süre	Zarf Süre	Faylanma Mekanizması	Ölçekleme Katsayısı (α_{st})	Oransal Göreceli Hata (%)
P0164	Taiwan SMARTI(45)	14.11.1986	30 SMARTI 001	45001EW	39.00	44	21.9	31.4	RN	6.60	16.55
P0989	Northridge	17.01.1994	24586 Neenach - Sacatara Ck	NEE090	53.20	48	26.2	35.5	RN	16.92	15.90
P0876	Landers	28.06.1992	23542 San Bernardino-E & Hospitalit	HOS180	80.50	120	38.5	52.2	SS	9.85	13.90
P1096	Kocaeli, Turkey	17.08.1999	Duzce	DZC180	12.70	27.2	11.7	14.7	SS	3.53	21.36
P0012	Imperial Valley	15.10.1979	931 El Centro Array #12	H-E12140	18.20	39.0	19.0	28.7	SS	8.46	16.60
P0778	Loma Prieta	18.10.1989	47179 Salinas - John & Work	SIW160	32.60	39.9	21.4	32.5	RO	13.72	23.33
P0752	Loma Prieta	18.10.1990	1652 Anderson Dam (L Abut)	ADL340	21.40	39	12.7	16.2	RO	14.82	24.02
P0013	Imperial Valley	15.10.1979	6605 Delta	H-DL1262	43.60	99.9	51.0	80.8	SS	4.46	23.14
P0967	Northridge	17.01.1994	24612 LA - Pico & Sontos	PICO90	32.70	40	20.2	28.2	RN	11.16	27.64
P0105	Taiwan SMARTI(45)	14.11.1986	62 SMARTI 101	45101NS	39.00	44	21.6	30.7	RN	5.97	24.45

Tablo 4. Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z4 olan bölgelerde kullanılabilen deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları (α_{st})

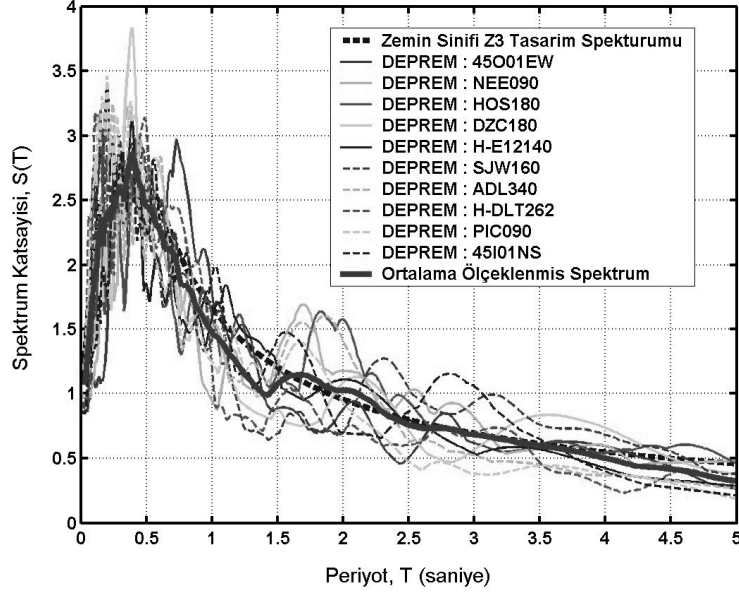
Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt	Fay Kırğına en yakın mesafe	Kayıt Süresi	Anılamlı Süre	Zarf Süre	Faylanma Mekanizması	Ölçekleme Katsayısı (α_{st})	Oransal Göreceli Hata (%)
P0175	Imperial Valley	15.10.1979	5028 El Centro Array #7	H-E07230	0.60	36.8	4.8	8.3	SS	2.69	15.17
P0843	Landers	28.06.1992	90023 LA - W 70th St	W70000	167.80	48	24.5	35.6	SS	19.02	18.07
P0872	Landers	28.06.1993	90080 LB - Orange Av	OR2010	164.50	52.7	27.6	33.6	SS	19.67	15.77
P0869	Landers	28.06.1994	90083 Huntington Boh - Waikiki	WAI290	153.50	42.1	22.4	28.5	SS	16.41	21.77
P1093	Kocaeli, Turkey	17.08.1999	Bursa Tofas	BUR000	62.70	138.5	41.0	57.2	SS	11.63	21.92
P0225	Taiwan SMARTI(45)	14.11.1986	68 SMARTI O12	45012EW	39.00	40	23.3	31.3	RN	6.93	24.41
P0722	Supersittin Hills(B)	24.11.1987	5210 Wildlife Liquef. Array	B-IVW360	24.40	44	28.7	35.7	SS	4.50	19.42
P0832	Landers	28.06.1992	90002 Fountain Valley - Euclid	EUC292	148.80	52.4	26.2	38.5	SS	16.16	26.10
P0864	Landers	28.06.1992	90078 Compton - Castlegate	CAS270	161.20	46.3	21.7	28.2	SS	14.15	28.22
P0226	Taiwan SMARTI(45)	14.11.1986	61 SMARTI 107	45107NS	39.00	44	21.4	29.5	RN	7.40	27.31



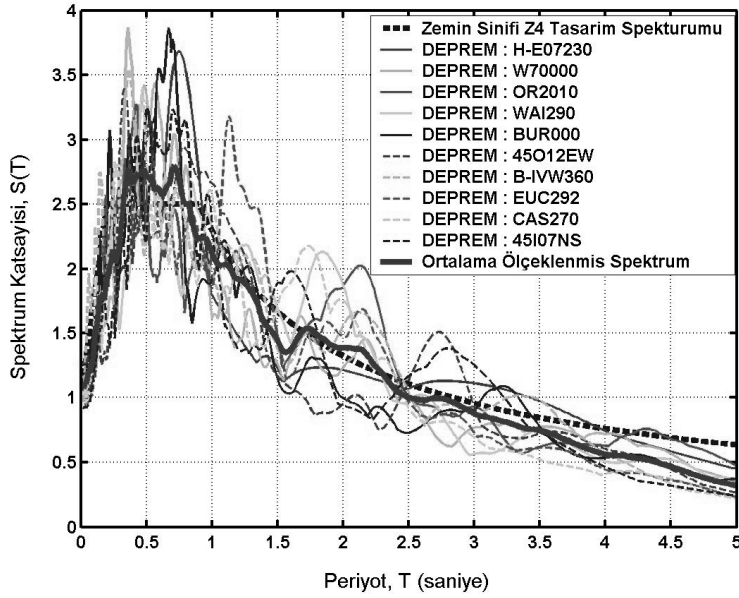
Şekil 2. DBYBHY (2007) elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş deprem kayıtlarının tepki spektrumları (Yerel Zemin Sınıfı Z1)



Şekil 3. DBYBHY (2007) elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş deprem kayıtlarının tepki spektrumları (Yerel Zemin Sınıfı Z2)



Şekil 4. DBYBHY (2007) elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş deprem kayıtlarının tepki spektrumları (Yerel Zemin Sınıfı Z3)



Şekil 5. DBYBHY(2007) elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş deprem kayıtlarının tepki spektrumları (Yerel Zemin Sınıfı Z4)

5.9. Azatılmış Spektral İvme Spektrumunun Ölçeklenmesi

Zaman tanım alanında yapılan doğrusal elastik analizlerde, Deprem Yönetmeliği'nde (DBYBHY, 2007) önerilen azatılmış tasarım ivme spektrumu kullanıldığında, ölçeklenmiş kayıtların bu azatılmış spektruma uyması gerekir. Bu durumda Denklem (5)'te verilen ölçekleme katsayısı, α_{AT} , taşıyıcı sistem davranış katsayısına (R) bölünür:

$$\alpha_{AT} = \frac{A_0 I \alpha_{ST}}{R} \quad (10)$$

6. UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Bu bölümde, belirli bir zemin sınıfı üzerinde inşa edilecek bir yapının deprem hesabında kullanılacak deprem kaydının elde edilmesi iki örnek üzerinde açıklanmaktadır. Yapının bulunduğu deprem bölgesi (A_0) ve bina önem katsayısı (I) kullanılarak seçilen bir kayıt α_{AT} ölçekleme katsayısı ile ölçeklenmektedir. Ölçeklenmiş kaydın spektral ivme katsayıları ile Yönetmeliğimizde (DBYBHY, 2007) tanımlanmış olan ilgili zemin sınıfına ait tasarım spektral ivme katsayıları, $A(T)$, karşılaştırılmaktadır.

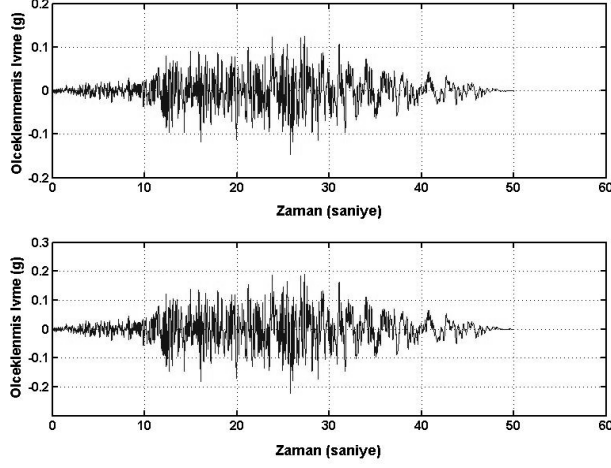
6.1. Örnek 1

Bu örnekte Z1 zemin sınıfı üzerinde yapılacak yapının 2. derece deprem bölgesinde ($A_0 = 0.3$) yer aldığı ve bina önem katsayısının (I) 1 olduğu varsayılmıştır. Z1 zemin sınıfı için kullanılabilir kayıtların bulunduğu Tablo 1'den örnek olarak 28 Haziran 1992'de meydana gelen Landers Depremi'ne ait P0856 numaralı kayıt (ABY090) seçilmiştir. Tabloda bu kaydın Deprem Yönetmeliği'nde (DBYBHY, 2007) Z1 zemin sınıfı için tanımlanmış tasarım ivme spektrumu ile uyumunu sağlamak için gereken α_{ST} katsayısının 5.08 olduğu görülmektedir. Denklem 5 vasıtasıyla:

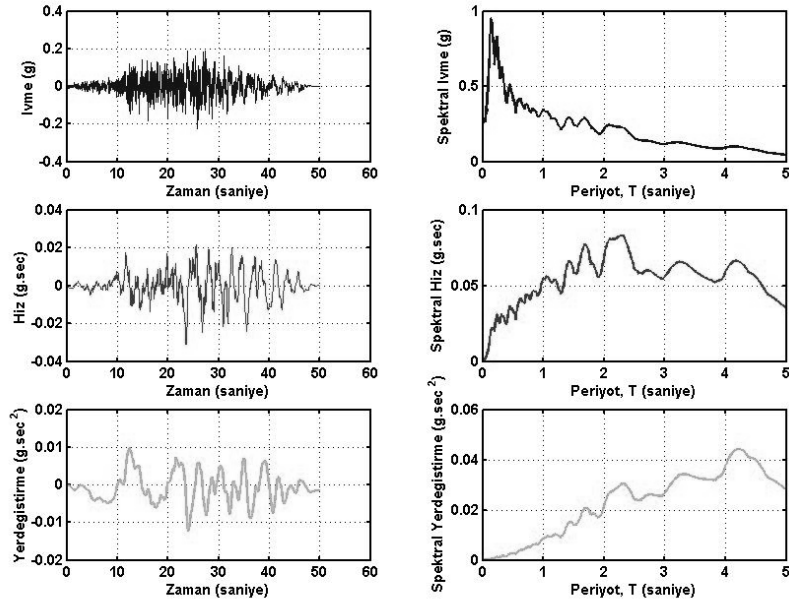
$$\alpha_{AT} = A_0 I \alpha_{ST} = 0.3 \times 1 \times 5.08 = 1.524 \quad (11)$$

olarak bulunur. Seçilen deprem kaydının genlikleri, α_{AT} ölçekleme katsayısı ile doğrusal olarak çarpılarak ölçeklenmiş kayıt elde edilir.

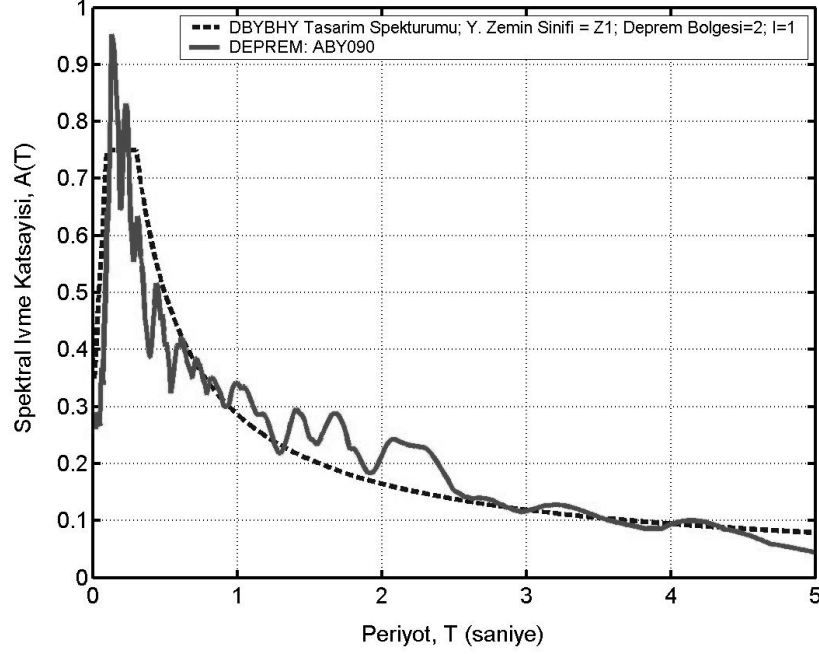
Landers Depremi'ne ait P0856 numaralı ölçeklenmemiş kayıt ve α_{AT} katsayısı ile ölçeklenmiş kayıt Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 7'de bu depreme ait ölçeklenmiş kaydın ivme, hız, yerdeğiştirme, spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirme şekilleri gösterilmiştir. Seçilen depreme ait α_{AT} ile ölçeklenmiş kayıt için tek serbestlik dereceli doğrusal sistem için %5 sönüme sahip ivme tepki spektrumu ve tasarım spektrumu Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8'den görüldüğü gibi ölçeklenmiş kayıt, Bölüm 5.4'te bahsedilen Yönetmeliğimizde (DBYBHY, 2007) öngörülen ölçeklenmiş kayıtların seçilme koşullarını sağlamaktadır.



Şekil 6. Landers Depremi'ne ait P0856 numaralı orijinal kayıt (ABY090) ve α_{AT} katsayısı ile ölçeklenmiş kayıt



Şekil 7. Landers Depremi'ne ait P0856 numaralı ölçeklenmiş kaydın (ABY090) ivme, hız, yerdeğiştirme, spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirme şekilleri



Şekil 8. Türkiye Deprem Yönetmeliği (2007) elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş Landers Depremi'ne ait P0856 numaralı kaydın (ABY090) tepki spektrumu

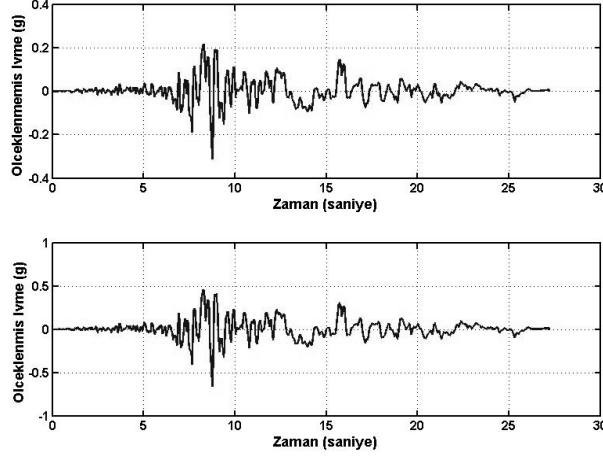
6.2. Örnek 2

İkinci örnekte ise 1. derece deprem bölgesinde ($A_0 = 0.4$) ve Z3 zemin sınıfı üzerinde yapılacak, bina önem katsayısı (I) 1.5 olan bir yapının deprem hesabında kullanılacak kayıt elde edilecektir. Bunun için, Tablo 2'de verilen kayıtlar arasından Kocaeli Depremi sırasında Düzce istasyonundan alınan P1096 numaralı kayıt (DZC180) ve buna karşı gelen α_{ST} katsayısı (3.53) seçilmiştir. Denklem 5 kullanılarak:

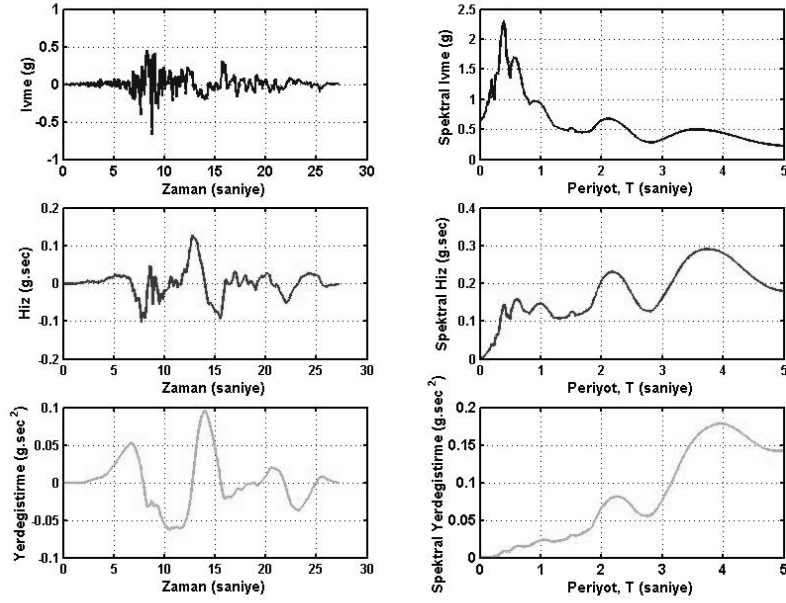
$$\alpha_{AT} = A_0 I \alpha_{ST} = 0.4 (1.5) 3.53 = 2.118 \quad (12)$$

bulunur. Seçilen deprem kaydı α_{AT} ölçekleme katsayısı ile ölçeklenerek, zaman tanım alanında yapılacak hesaplarda kullanılabilir.

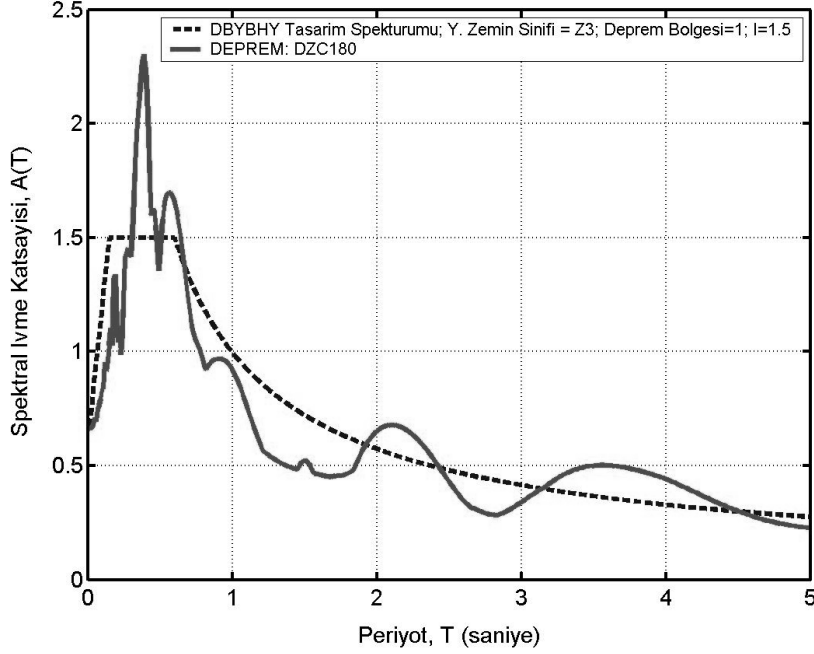
Kocaeli Depremi'ne ait P1096 numaralı orijinal kayıt (DZC180) ve α_{AT} katsayısı ile ölçeklenmiş kayıt Şekil 9'da verilmiştir. Ayrıca, P1096 numaralı ölçeklenmiş kayda ait ivme, hız, yerdeğiştirme, spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirmelerinin zamanla değişimi Şekil 10'da gösterilmiştir. Ölçeklenmiş kayıt için tek serbestlik dereceli doğrusal sistem için %5 sönüme sahip ivme tepki spektrumu ve yönetmeliğimizde tanımlanan spektral ivme katsayılarının, $A(T)$, karşılaştırması Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 9. Kocaeli Depremi'ne ait P1096 numaralı orijinal kayıt (DZC180) ve α_{AT} katsayısı ile ölçeklenmiş kayıt



Şekil 10. Kocaeli Depremi'ne ait P1096 numaralı ölçeklenmiş kaydın (DZC180) ivme, hız, yerdeğiştirme, spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirme şekilleri



Şekil 11. Türkiye Deprem Yönetmeliği (2007) elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş Kocaeli Depremi'ne ait P1096 numaralı kaydın (DZC180) tepki spektrumu

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kuvvetli yer hareketi kayıt kaynaklarından başlanarak, deprem yönetmeliklerde tanımlanan tasarım ivme spektrumlarına eşleştirmek üzere seçilecek kayıtların taşınması gereken özellikler ve ölçekleme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi [15] veri bankasında bulunan kayıtlar Türkiye Deprem Yönetmeliğindeki (DBYBHY, 2007) zemin sınıflarına göre ayrılmıştır. Tasnif edilen bu kayıtlara $T_A=0.01$ saniye – $T_B=5$ saniye periyot aralığında zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi uygulanmıştır. Yönetmeliğimizde belirtilmiş seçilecek kayıtların taşınması gereken özellikler göz önünde bulundurularak, her bir zemin tipi için tanımlanan tasarım ivme spektrumuna en iyi uyumu sağlayan 10'ar adet gerçek kayıt seçilmiştir. Zemin sınıfı, deprem bölgesi ve bina önem katsayısı belirlenen iki örnek üzerinde kayıtların ölçeklenmesi detaylı olarak açıklanmıştır.

Semboller

$A(T)$: Elastik spektral ivme katsayısı
A_I	: Arias yoğunluğu
A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı

Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun ...

$a(t)$: t anında deprem kaydındaki ivme genlikleri değerleri
fark	: Ölçeklenmiş ve hedef spektrum genlikleri arasındaki farkın karesinin
g	: Yer çekimi ivmesi
I	: Bina önem katsayısı
k	: Kaydın tepki spektrumu çizdirilirken kullanılan periyot adım (ΔT) sayısı
N	: Deprem kaydı adedi
$S(T)$: Spektrum katsayısı
S_a^{hedef}	: Hedef ivme davranış spektrumu
S_a^{gercek}	: Kullanılacak gerçek deprem kaydının ivme spektrumu
T_s	: Kaydın toplam süresi
T	: Salınımın periyodu
T_A	: Ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının alt sınırı
T_B	: Ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının üst sınırı
T_1	: Birinci (hakim) periyod
$Z1, Z2, Z3$ ve $Z4$: Türkiye Deprem Yönetmeliğinde [1] yer alan yerel zemin sınıfları
α	: Doğrusal ölçekleme katsayısı
α_{AT}	: Spektral ivme katsayısı $A(T)$ 'ye ait ölçekleme katsayı
α_{ST}	: Spektrum katsayısı $S(T)$ 'ye ait spektrum ölçekleme katsayı
ΔT	: Periyot adım miktarı

Teşekkür

Bu çalışma kullanılan verilerin işlenmesinde ve analizlerin gerçekleştirilmesinde büyük katkısı olan doktora adayı Zuhal Özdemir'e şükranlarımı sunarım.

Kaynaklar

- [1] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, <http://www.deprem.gov.tr>, 2007.
- [2] Abrahamson, N. A., Non-Stationary Spectral Matching Program RSPMATCH, User Manual, July 16, 1993.

- [3] Boore, D. M., 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, 2000.
- [4] Kramer, S. L., Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, 1996.
- [5] Naeim, F., Kelly, J. M., Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice, John Wiley & Sons, 1999.
- [6] Reiter, L., Earthquake Hazard Analysis: Issues and Insights, Columbia University Press, 1990.
- [7] Bommer, J. J., Scott, S. G., Sarma, S. K., Hazard-Consistent Earthquake Scenarios, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 19, 219-231, 2000.
- [8] Bommer, J. J., Acevedo, A. B., Douglas, J., The Selection and Scaling of Real Earthquake Accelerograms for Use in Seismic Design and Assessment, Proceedings of ACI International Conference on Seismic Bridge Design and Retrofit, American Concrete Institute, 2003.
- [9] Stewart, J. P., Chiou, S. J., Bray, J. D., Graves, R. W., Somerville, P. G., Abrahamson, N. A., Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design, PEER Report 2001/09, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 2001.
- [10] Nikolaou, A. S., A GIS Platform for Earthquake Risk Analysis, Ph.D. Dissertation, State University of New York at Buffalo, 1998.
- [11] Özdemir, Z., and Fahjan, Y. M., Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [12] Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, <http://www.deprem.gov.tr>, 2006.
- [13] Vanmarcke, E. H., State-of-the-Art for Assessing Earthquake Hazards in the United States: Representation of Earthquake Ground Motions – Scaled Accelerograms and Equivalent Response Spectra, Miscellaneous Paper S-73-1, Report 14, US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 1979.
- [14] Krinitzky, E. L., Chang F. K., Specifying Peak Motions for Design Earthquakes, State-of-the-Art for Assessing Earthquake Hazards in the United States, Report 7, Miscellaneous Paper S-73-1, US Army Corps of Engineers, 1977.
- [15] Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center, PEER Strong Motion Database, <http://peer.berkeley.edu/smcat/>, 2006.
- [16] Aydınoglu, M. N., Fahjan, Y. M., A Unified Formulation of the Piecewise Exact Method for Inelastic Seismic Demand Analysis including the P-Delta Effect, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32, 6, 871-890, 2003.
- [17] Bommer, J. J., Martínez-Pereira, A., The Effective Duration of Earthquake Strong Motion, Journal of Earthquake Engineering, 3, 127-172, 1999.

Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun ...

- [18] Bolt, B. A., Duration of Strong Motion, Proceedings 4th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, 1304-1315, 1969.
- [19] Arias, A., A., Measure of Earthquake Intensity in Seismic Design for Nuclear Power Plants, Ed. By R. Hansen, Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1969.
- [20] Trifunac, M. D., A. G. Brady, A Study on the Duration of Strong Earthquake Ground Motion, The Bulletin of the Seismological Society of America (BSSA), 65, 581-626, 1975.