

## TASARIM SPEKTRUMLARININ PERFORMANSA DAYALI DEPREM MÜHENDİSLİĞİ (PDDM) ve YAKIN MESAFE DEPREMLER YÖNÜNDE İNCELENMESİ

Sinan Akkar<sup>1</sup> ve Polat Gülkan<sup>2</sup>

### ÖZET

Türkçeye tercümesini “Performansa Dayalı Deprem Mühendisliği (PDDM)” diye yapabileceğimiz bina tasarımında, hesap kriteri olarak yapı kapasitesinde ve yer hareketi talebinde yerdeğiştirmeler temel alınır. Bu haliyle PDDM ve buna bağlı uygulama yöntemleri yerdeğiştirmeye bağlı hesap ilkelerini benimserler. Bu makalede yerdeğiştirme temelli hesap yöntemleri için ana araçlardan biri olan tasarım spektrumu son yıllarda adından çok sık söz edilen yakın mesafe depremleri yönünden elastik ve elastik olmayan yapı davranımı için incelenmektedir. Bu amaç için Amerika Birleşik Devletlerinde halen güncelliğini kaybetmemiş Uniform Building Code, Avrupa’da kullanılmakta olan Eurocode 8 ve 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik veya kısaca Türk Deprem Şartnamesi karşılaştırılmaktadır. Makalede yapılan hesaplar ve ortaya çıkan sonuçlar temel deprem mühendisliği bilgileri ışığı altında açıklanmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** *Deprem şartnameleri, tasarım spektrumu, elastik ve elastik olmayan yapı davranımı, yakın mesafe depremler, impulsif dalga formları*

### GİRİŞ

Performansa Dayalı Deprem Mühendisliği (PDDM) ve bu kavrama bağlı hesap yöntemleri özellikle 1994 Northridge, Kaliforniya ve 1995 Kobe, Japonya depremlerinden sonra büyük bir hızla gelişme göstermiş ve deprem mühendisliği uygulamalarında kendilerinden söz ettirmeye başlamışlardır (ATC 40, 1996; BSSC 1997). Büyük yerleşim bölgelerinin çok yakınından geçen fayların meydana getirdiği bu depremlerin ifade ettiği büyük yerdeğiştirme talebi ve buna bağlı olarak gözlemlenen yapısal hasarlar PDDM kavramının önemini araştırmacı ve uygulayıcı çevrelere göstermiştir. En basit ifadesi ile PDDM bina tasarımında yer hareketi talebini ve buna karşılık gelen yapı kapasitesini yerdeğiştirmeyi temel alarak inceler. Bu anlayışa göre binada hasarı meydana getiren temel öge yerdeğiştirmedir. Yer hareketi talebi ve binanın kapasitesi bu öge ile tanımlanmalıdır. Bu haliyle PDDM yerdeğiştirme temelli hesap ilkelerini esas olarak kabul eder. Yerdeğiştirme temelli hesap ilkeleri için en önemli araçlardan biri yer hareketi talebinin (tasarım spektrumunun) elastik ve elastik olmayan yapı davranımı için rasyonel ifadesidir. Performansa dayalı hesap yöntemleri incelendiğinde güvenilir bir tasarım

<sup>(1)</sup> Araştırma Görevlisi, Afet Yönetimi Merkezi ve İnşaat Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi 06531, Ankara.

<sup>(2)</sup> Profesör, Afet Yönetimi Merkezi ve İnşaat Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi 06531, Ankara.

spektrumunun mühendisin bina kapasitesini hesaplamasında da temeli oluşturduğu görülecektir (ATC 40, 1996; BSSC, 1997). Bu metodlar bina yerdeğiştirme kapasitesini genellikle kat arası öteleme veya son kat yerdeğiştirme limitleri ile belirlemede ve bu işlem sırasında spektral değerleri yoğun bir şekilde kullanmaktadır.

Ülkemizde 1999 yılında meydana gelen ve büyük maddi kayba yol açan Marmara Bölgesi depremlerinde elde edilen bazı yakın mesafe yer hareketi kayıtları tıpkı 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinde olduğu gibi yüksek yerdeğiştirme talebi özellikleri göstermektedir (Akkar ve Gülkan, 2000). Türkiye’de aktif olan fay hatları ve bu faylara yakın yerleşim bölgeleri göz önüne alındığında bu tip depremlerin ve buna bağlı olarak yüksek yerdeğiştirme talebinin önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Bu durumda ülkemiz için tıpkı Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya’da olduğu gibi PDDM kavramını, buna bağlı metodları, ve mühendislik uygulamalarını tanıtmak önemlidir.

Bu çalışma Türk Deprem Şartnamesi (TDS, 1998), Uniform Building Code, (ICBO, 1997) ve Eurocode 8, (EC8, 2000) tasarım spektrumlarını PDDM için önemli konulardan biri olan ve yakın mesafe depremleri sonucunda daha da ön plana çıkan yerdeğiştirme talebi özelliklerinin spektral değerlere yansıtılması açısından incelemektedir. Çalışmanın Türk deprem şartnamesinin gelecekte mühendislik hesaplarında ağırlıklı bir şekilde kullanılacağı düşünölen PDDM kavramına uyumunun sağlanması açısından önemli sonuçlar içerdiği düşünölmektedir. Yakın mesafe depremlerinin sismolojik özellikleri de dikkate alınarak yapılan kıyaslamaların şartnamelerin spektral ifadelerinde bu tip yer hareketleri için almaları gereken tedbirlerin vurgulanmasında yararlı olacakları düşünölmektedir. Bu amaçla öncelikle tasarım spektrumunun ana özellikleri özetlenecek ve araştırma sırasında değerlendirilecek konulara kısa bir giriş yapılacaktır. Daha sonra, örnek depremler ve sözü edilen şartnamelerle çalışmanın amaçladığı konular incelenecektir.

## **TASARIM SPEKTRUMU ve TEMEL ÖZELLİKLERİ**

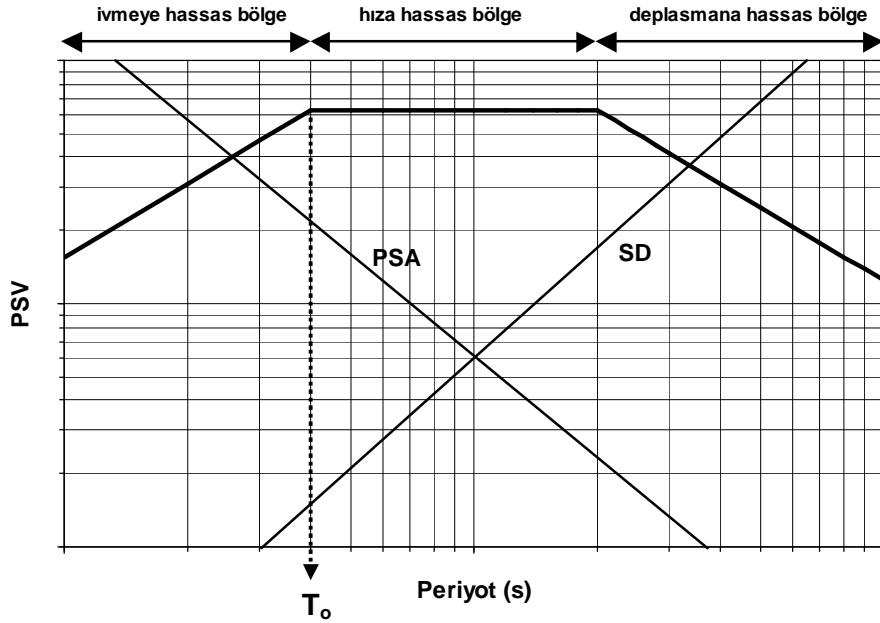
Deprem yönetmelikleri yapı hesabında mühendisin dikkate alması gereken kuvvetli yer hareketini tasarım spektrumu yoluyla tanımlar. Kuvvetli yer hareketi ölçüm cihazlarındaki teknolojik gelişmeler ve aktif fay hatları ile ilgili sismolojik ve mühendislik çalışmaları tasarım spektrumunun gelişmesi üzerinde son yıllarda büyük rol oynamışlardır. Bu çalışmalar genellikle ihtimal hesapları ve azalım ilişkileri çerçevesinde istatistiki metodlar kullanılarak yapılır. Bu tarz çalışmalar sismik tehlike hesapları olarak adlandırılır. Sonuçta ortaya çıkan tasarım spektral değerleri farklı hesap amaçlarına uygun yer hareketi seviyelerini içerir ve belli bir tekrar periyodu aralığında aşılma olasılığı tanımlanmış maksimum hesap değerini gösterir. Bu şekilde tanımlanmış tasarım spektrumları PDDM kavramı içerisinde yer alan güvenilir yer hareketi tanımının gereklerini yerine getirmektedir.

İleri seviyedeki bu çalışmalar, yapı dinamiği yönüyle tepki spektrumunun genel tanımını bozmazlar. Temel olarak tek dereceli elastik bir sistemin kuvvetli yer hareketi altında gösterdiği maksimum tepkinin periyoda (T) bağlı bir fonksiyon şeklinde ifade edilmesine tepki spektrumu denir. Taşıdıkları fiziksel anlamlar

açısından deprem mühendisliğinde en çok kullanılan spektrum tipleri spektral ivme (PSA), spektral hız (PSV) ve spektral yerdeğiştirme (SD). Bu üç kavram birbiriyle Denklem (1)'de görüldüğü gibi ilintilidir. İçlerinden birinin bilinmesi diğerlerinin ifade edilmesini sağlar. Bu yüzden genellikle bu üç spektral değer logaritmik eksenler yardımıyla aynı grafik üzerine çizilirler.

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^{-1} \cdot PSA = PSV = \frac{2\pi}{T} \cdot SD \quad (1)$$

Spektral ivme (PSA) taban kesme kuvvetiyle, spektral hız (PSV) tek dereceli sistemdeki yayın (sistem rijitliğinin) depoladığı enerjiyle ilintilidir. Spektral yerdeğiştirme (SD) ise sistemin yer hareketi karşısında yaptığı maksimum göreceli yerdeğiştirmeyi gösterir. Bu halleriyle bu üç kavram spesifik bir deprem hareketinin yapı üzerindeki temel taleplerini tanımlarlar. Bir önceki paragrafta açıklandığı gibi istatistikî metodlar yardımıyla jeolojik ve jeofizik açıdan ortak özelliklere sahip yer hareketlerinin tepki spektrumlarından tasarım spektrumları elde edilir. Bu durumda elde edilen tasarım spektrumu da Denklem (1)'de ifade edilen kurallara uyacaktır. Şekil 1 tipik bir tasarım spektrumunun logaritmik eksenler üzerinde grafik ifadesini göstermektedir. Burada dikkat edilecek husus spektrumun üç ana bölgeye ayrıldığıdır. Bu bölgeler sırasıyla ivmenin kontrolündeki, hızın kontrolündeki ve yerdeğiştirmenin kontrolündeki bölgeler olarak adlandırılır. Spektrumun ivmeye hassas bölgesi yer hareketinin maksimum ivme (YHMİ) değeriyle direkt bağıntılıdır. Aynı şekilde spektrumun hız ve yerdeğiştirme kontrolündeki bölgeleri sırasıyla yer hareketi maksimum hız (YHMH) ve yerdeğiştirme (YHMD) değerleri ile ilişkilendirilebilir. Bu halleriyle YHMİ değerini kontrol eden ivmeye hassas bölge kısa periyotlu, YHMD değerini kontrol eden yerdeğiştirmeye karşı hassas bölge uzun periyotlu yapıların davranımlarını kontrol ederler. Orta periyotlu yapıların deprem davranımını ise YHMH değerini kontrol eden hız hassas bölge etkiler. Genelde tasarım spektrumu tipik kısa ve orta periyotlu yapıların hesabında kullanıldığı için ivmeye ve hız hassas bölgeler şartnameler için daha önem kazanırlar.



Şekil 1. Temsili tasarım spektrumunun

Özellikle ivme ve hız kontrolündeki spektral bölgeler ve bu iki bölgeyi birbirinden ayıran periyot (çalışmada  $T_0$  ifadesi ile tanımlanacaktır) elastik tasarım spektrumunun tanımı kadar elastik olmayan (doğrusal olmayan) spektral değerler içinde önemlidir. Yapıların ekonomik kısıtlar altında tasarım depremleri gibi şiddetli yer hareketlerine maruz kalmaları halinde elastik davranımlarını beklemek ve buna göre hesap yapmak gerçekçi bir mühendislik yaklaşımı değildir. Bu tip depremlerde yapıların yıkılmayacak ve onarılması mümkün olabilecek şekilde elastik olmayan davranım göstermeleri ve hesabında ona göre yapılması kabul edilen yaklaşımdır. Bu durumda elastik olmayan spektral değerlerin gerçekçi ifadeleri önem kazanmaktadır. Yakın mesafe depremleri gibi büyük yerdeğiştirme talebine sahip yer hareketleri ve PDDM metodları için rasyonel bir doğrusal olmayan yerdeğiştirme talebi tanımı bu bağlamda daha çok önem kazanmaktadır. Tek dereceli sistemler için yapılan çalışmalarda elastik olmayan spektral değerlerin  $T_0$  periyodu civarına kadar (ivmeye hassas bölge içerisinde) elastik olan karşılıtlarına nazaran oldukça büyük değerler aldıkları gözlenmiştir. Bunun fiziksel sebebi logaritmik eksenler üzerine çizilmiş Şekil 1’de gösterilen PSV grafiği ile açıklanabilir. Tek dereceli bir sistemde yayın depoladığı enerji ( $E_{So}$ ) temel dinamik bilgisiyle Denklem (2)’deki gibi ifade edilebilir.

$$E_{So} = \frac{k \cdot SD^2}{2} = \frac{m \cdot PSV^2}{2} \quad (2)$$

Denklem (2)’ye göre ivmeye hassas spektral bölgede PSV değerlerinin artış eğilimi sisteme deprem hareketi dolayısıyla enerji yüklendiğini gösterir. Bu enerjiyi tüketmek için sistem daha fazla şekil değiştirme ihtiyacı hissedecektir. Aynı şekilde doğrusal olmayan davranım gösteren sistemler deprem hareketinden dolayı bu bölgede artan enerji talebini tüketmek için daha fazla yerdeğiştirme yapmak zorunda kalacaklardır. İvmeye hassas ve hıza hassas bölgeleri birbirinden ayıran  $T_0$  periyodundan sonra PSV değerlerinde artış olmaması sistemin enerji yüklenmesi açısından daha durağan hale geldiğini gösterir. Bu bölge için deprem hareketinden dolayı sisteme yüklenen enerjide artış olmaması sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan davranımlarında pratik olarak aynı yerdeğiştirmeyi göstereceklerini anlatmaktadır. Bu gibi gözlemler deprem mühendisliği alanındaki birçok çalışmada kullanılmış ve 1970’li yıllardan itibaren doğrusal ve doğrusal olmayan tasarım spektrumlarının tanımlarında kullanılmaya başlanılmışlardır (Newmark ve Hall, 1982; Shimazaki ve Sözen, 1984; Nassar ve Krawinkler, 1991; Vidic ve diğerleri, 1994).

## **TASARIM SPEKTRUMLARI ve KIYASLAMALARI**

Yukarıda verilen bilgiler ışığı altında Türk Deprem Şartnamesi (TDŞ98), Uniform Building Code (UBC97) ve Eurocode 8 (EC8) tasarım spektrumları incelenecektir. Bu incelemeden önce bu üç şartnemenin tasarım spektrumu kavramları çok kısa bir şekilde özetlenecektir.

Türk deprem şartnamesinde (TDŞ, 1998) tasarım ivme spektrumuna esas şeklini veren spektrum katsayıları aşağıdaki ifadelerde tanımlanmıştır.

$$S(T) = 1 + 1.5 \cdot T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (3.a)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (3.b)$$

$$S(T) = 2.5 \cdot (T_B / T)^{0.8} \quad (T > T_B) \quad (3.c)$$

Bu ifadelerde  $T_A$  ve  $T_B$  spektrum karakteristik periyotları olarak adlandırılmıştır. Bu periyotlar zemin tiplerine göre değer alırlar. Tablo 1  $T_A$  ve  $T_B$  değerlerini farklı zemin tipleri için vermektedir. Denklem (3)'de ifade edilen spektral katsayılar yüzde 5 sönüm için etkin yer ivmesi katsayısı ( $A_0$ ) ve bina önem katsayısı ( $I$ ) ile çarpılarak TDŞ98'de önerilen elastik ivme tasarım spektrumuna ulaşılır. Etkin yer ivmesi katsayıları 1993 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde yürütülen bir çalışma sonucunda elde edilen bölgelendirme haritasına göre tarif edilmektedir (Gülkan ve diğerleri, 1993). Bu çalışma Türkiye'de deprem tehlikesinin en fazla olduğu bölgeler için  $A_0$  değerini 0.4 olarak tespit etmiştir. Deprem tehlikesi az olan bölgelerde  $A_0$  0.1 olarak öngörülmüştür. Bu katsayılar tekrar periyodu 475 yıllık depremleri temsil ederler.

Tablo 1. Türk tasarım spektrumu karakteristik periyotları (TDŞ, 1998)

Yerel Zemin Sınıfı *	$T_A$ (saniye)	$T_B$ (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

(\*) Genel olarak Z1 kayalık zemini, Z2 ve Z3 sert zeminleri, Z4 ise yumuşak zeminleri tanımlar.

Eurocode 8 elastik tasarım ivme spektrumuna ( $S_e$ ) şeklini veren ifadeler Denklem (4)'de verilmiştir.

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2.5 - 1) \right] \quad 0 \leq T \leq T_B \quad (4.a)$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \quad T_B \leq T \leq T_C \quad (4.b)$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] \quad T_C \leq T \leq T_D \quad (4.c)$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \left[ \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \quad T_D \leq T \quad (4.d)$$

Bu ifadelerde  $a_g$  yer hareketi tasarım ivmesini,  $T_B$  ve  $T_C$  ivmeye hassas spektral bölgeye ait periyot sınırlarını,  $T_D$  yerdeğiştirme kontrolündeki spektral bölgenin başlangıç periyodunu,  $S$  zemin parametresini, ve  $\eta$  sönüm faktörünün yüzde 5'ten farklı olması halinde yapılacak olan düzeltmeyi göz önüne alır. Yüzey dalgası büyüklüğü ( $M_s$ ) 5.5 ve üstünde olan yer hareketleri için  $S$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  ve  $T_D$  değişkenlerinin aldığı değerler Tablo 2'de gösterilmiştir. Eurocode 8 tarafından yer hareketi tasarım ivmesi,  $a_g$ , ülkelerin tektonik durumlarına ve depremselliklerine göre konuyla ilgili milli otoritenin kararına bırakılmıştır. Bu konudaki tek kısıtlama  $a_g$  değerinin o ülkedeki tasarım depremi seviyesini gösterir değerler almasıdır. Genelde bu şart tekrar periyodu 475 yıllık depremler için geçerlidir. Bu durumda  $a_g$ 'nin TDŞ98'deki karşılığı  $A_0$ 'dır denilebilir.

Tablo 2. Eurocode 8 elastik tasarım spektrumunda yer alan  $S$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$  değerlerinin zemin sınıflarına göre tarifleri (EC8, 2000)

Yerel Zemin Sınıfı *	S	$T_B$ (saniye)	$T_C$ (saniye)	$T_D$ (saniye)
A	1.00	0.10	0.40	2.0
B	1.10	0.15	0.50	2.0
C	1.35	0.20	0.60	2.0
D	1.35	0.20	0.70	2.0

(\*) Genel olarak A grubu kayalık zemini, B ve C sert zeminleri, D ise yumuşak zeminleri tanımlar.

Amerika Birleşik Devletleri'nde bina tasarımında en çok kullanılan deprem şartnamelerinden biri olan Uniform Building Code'nin 1997 basımı, yakın mesafe deprem etkilerini açık olarak spektral değerlerine yansıtır. Bu şartname yakın mesafe faktörleri  $N_a$  ve  $N_v$  değerlerini ülkenin sismik açıdan en aktif bölgesine (4ncü bölge) uygular. Bu faktörler Kaliforniya eyaleti için olasılık hesapları kullanılarak hazırlanan sismik tehlike haritaları sonucu bulunmuşlardır (Peterson ve diğerleri, 2000). Bu çalışmaya göre  $N_a$  ve  $N_v$  faktörlerinin hesabında deprem hareketini meydana getiren mekanizma (fay hattının aktivitesi, ortaya çıkardığı depremlerin büyüklüğü, vs.) ve bu mekanizmaya olan en yakın mesafe göz önüne alınır. Şartnamede elastik tasarım spektrumunu oluşturan  $C_a$  ve  $C_v$  sabitleri  $N_a$  ve  $N_v$  katsayılarıyla çarpılarak tadil edilir. Bir bakıma UBC97 tasarım spektrumu yakın mesafe deprem etkilerini spektral değerleri artırmak suretiyle karşılar. Bu tasarım spektrumunda  $N_a - C_a$  ivmeye hassas bölgeleri  $N_v - C_v$  hızla hassas bölgeleri kontrol eder. Tasarım spektrumunu oluşturan ifadeler Denklem (5) ile gösterilmiştir.  $N_a$ ,  $N_v$ ,  $C_a$  ve  $C_v$  faktörleri ise Tablo 3-5'de özetlenmiştir. Bu denklemler sonucu oratya çıkan tasarım spektrumu yüzde 5 sönümlü ve tekrar periyodu 475 yıl olan bir depremi temsil eder.

$$S(T) = 1.5 \frac{C_a}{T_a} T + C_a \quad 0 \leq T \leq T_a \quad (5.a)$$

$$S(T) = 2.5 \cdot C_a \quad T_a < T \leq T_s \quad (5.b)$$

$$S(T) = \frac{C_v}{T} \quad T_s < T \quad (5.c)$$

$$T_s = \frac{C_v}{2.5 \cdot C_a}; \quad T_a = 0.2 \cdot T_s \quad (5.d)$$

Denklem (5)'de  $T_a$  ve  $T_s$  ivmeye bağlı spektral bölgenin alt ve üst sınırlarını verir. Bu durumda  $T_s$  ivmeye ve hızla bağlı bölgeleri birbirinden ayıran ve çalışmada  $T_0$  olarak adlandırılan periyoda denk gelir. Denklem (5.d)'de ifade edildiği gibi  $T_s$  peiyodunun  $C_v$  ve  $C_a$  değişkenlerine bağlı olması ve bu değişkenlerin yakın mesafe depremleri için  $N_a$  ve  $N_v$  değerleri yoluyla tadil edilmeleri, faya olan mesafenin azalması durumunda UBC97'nin ivme kontrollu spektral bölgenin sınırlarını arttırdığını gösterir. Bu durum bir önceki bölümde de anlatıldığı gibi yapıların doğrusal olmayan hareketlerinin spektral ifadelerinde önemli bir rol oynar. Makalenin bir sonraki bölümünde daha detaylı bir şekilde sunulacak olan bu saptamayı Şekil 2 temsilen göstermektedir.

Tablo 3. UBC97 tarafından kullanılan sismik  $C_a$  ve  $C_v$  faktörleri (Bachman ve Boneville, 2000)

Lokal Zemin Tipi *	Sismik Bölge Faktörü									
	Z=0.075		Z=0.15		Z=0.20		Z=0.3		Z=0.4	
	$C_a$	$C_v$	$C_a$	$C_v$	$C_a$	$C_v$	$C_a$	$C_v$	$C_a$	$C_v$
$S_A$	0.06	0.06	0.12	0.12	0.16	0.16	0.24	0.24	$0.32N_a$	$0.32N_v$
$S_B$	0.08	0.08	0.15	0.15	0.20	0.20	0.30	0.30	$0.40N_a$	$0.40N_v$
$S_C$	0.09	0.13	0.18	0.25	0.24	0.32	0.33	0.45	$0.40N_a$	$0.56N_v$
$S_D$	0.12	0.18	0.22	0.32	0.28	0.40	0.36	0.54	$0.44N_a$	$0.64N_v$
$S_E$	0.19	0.26	0.30	0.50	0.34	0.64	0.36	0.84	$0.36N_a$	$0.96N_v$
$S_F$	Geoteknik araştırma ve dinamik zemin hesapları gerektirir.									

(\*)  $S_A$  ve  $S_B$  kayalık zeminleri,  $S_C$  ve  $S_D$  sert zeminleri,  $S_E$  yumuşak zemini temsil eder.

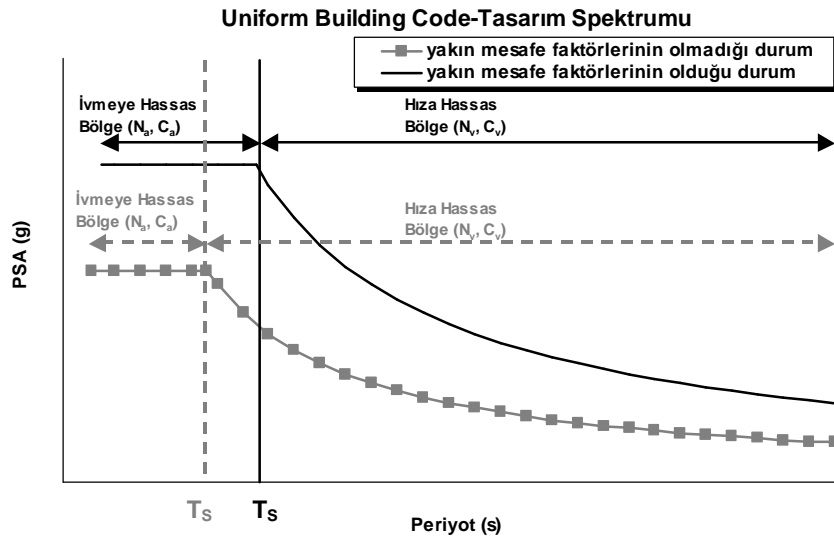
Tablo 4. UBC97 tarafından kullanılan yakın mesafe  $N_a$  faktörü (UBC, 1997)

FAYLANMA TÜRÜ*	FAYLANMAYA OLAN EN YAKIN UZAKLIK		
	< 2 km	5 km	> 10 km
A	1.5	1.2	1
B	1.3	1	1
C	1	1	1

Tablo 5. UBC97 tarafından kullanılan yakın mesafe  $N_v$  faktörü (UBC, 1997)

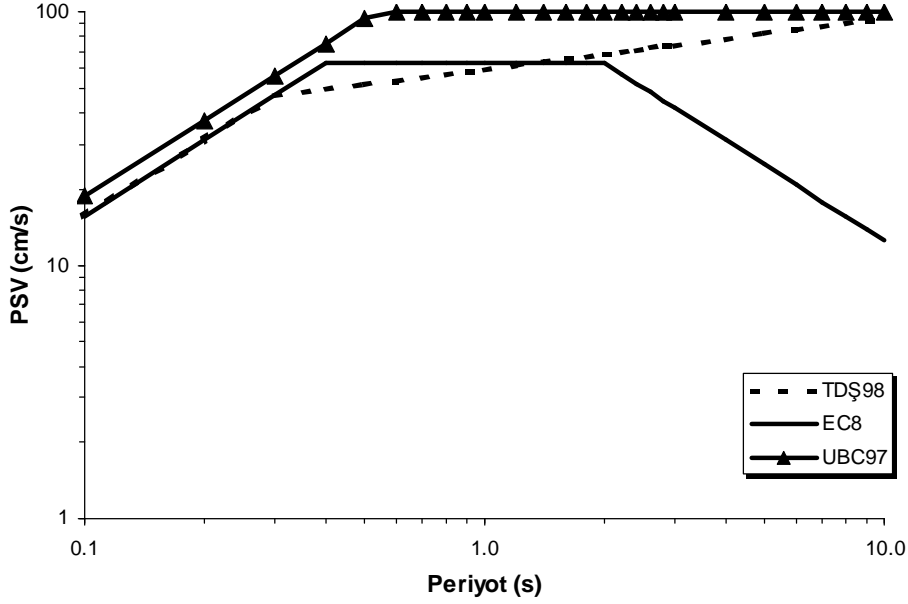
FAYLANMA TÜRÜ*	FAYLANMAYA OLAN EN YAKIN UZAKLIK			
	< 2 km	5 km	10 km	> 15 km
A	2	1.6	1.2	1
B	1.6	1.2	1	1
C	1	1	1	1

\* A tipi faylanma türünü aletsel büyüklüğü ( $M$ ) 7 veya daha büyük depremler üreten ve senelik kayma hızları 5 mm'nin üstünde olan faylar tanımlar. C tipi faylanmayı  $M < 5.5$  büyüklüğünde depremler üreten ve senelik kayma hızı 2 mm'den küçük olan faylar tanımlar. B tipi faylanma A ve C tipleri dışında kalan faylar olarak tanımlanır.



Şekil 2. Uniform Building Code için  $T_s$  periyot değerinin yakın mesafe faktörlerine göre değişiminin temsili gösterimi

Şekil 3’de çalışmaya konu olan bu üç şartnamenin kaya zeminler için tasarım spektrumlarının kıyaslaması yapılmaktadır. Bu şekilde gösterilen UBC97 tasarım spektrumu A tipi faylanma türü ve aktif fay hattından 2 km veya daha yakın bölgeleri temsil eden  $N_a$  ve  $N_v$  değerleri ile hesaplanmıştır. Bu durum, UBC97 için kaya zeminlerde deprem tehlikesinin en fazla olduğu hali göstermektedir.



Şekil 3. Kaya zeminler için tasarım spektrumunu kıyaslamaları

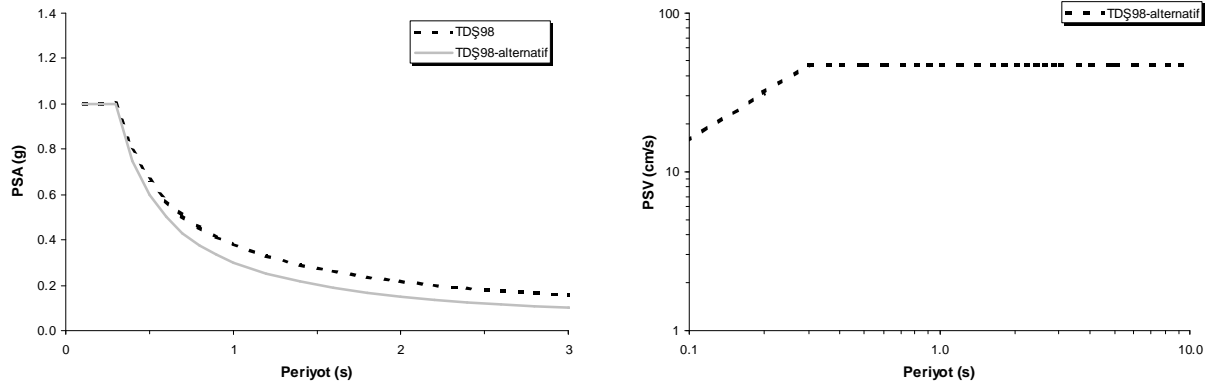
Şekil 3 UBC97 tasarım spektrumunun ivmeye ve hıza hassas spektral bölgeleri tanımladığını, EC8'in ise teorik olarak var olan ve Şekil 1'de gösterilen 3 bölgeyi de tasarım spektrumunun içine aldığını göstermektedir. Yapı dinamiğinin ve spektral ifadelerin tanımlarına TDŞ98 tasarım spektrumunun uymadığı da Şekil 3'de görülmektedir. Bu tasarım spektrumunda ivmeye hassas bölge var gibi gözükse de diğer spektral bölge tanımlarına uyulmadığı ve buna bağlı olarak PSA-PSV-SD arasındaki temel ilişkinin sağlanmadığı anlaşılmaktadır. Bunun sebebi ise TDŞ98 tasarım ivme spektrumuna esas şeklini veren Denklem (3.c)'deki

$\left(\frac{T_B}{T}\right)^{0.8}$  ifadesidir. Bu ifade Denklem (1)'de gösterilen ve tasarım spektrumunun da koruması gereken spektral

tanımlara karşı gelmektedir. Denklem (3.c)'nin alması gereken formda "0.8" sabiti yerini "1" sabiti olması halinde diğer şartnamelerde olduğu gibi hıza hassas spektral bölge TDŞ98 için de tanımlanmış olur. Bu durum Şekil 4'de sağ taraftaki grafikte gösterilmektedir. Genelde "1" sabiti yerine daha küçük bir katsayının kullanılması spektral ivme değerlerinin uzun periyotlar için daha büyük değerler alması anlamına gelir. Bu durum klasik inşaat mühendisliği düşünce yapısı içinde uzun periyotlu binaların daha yüksek deprem kuvvetleri ile hesaplanması ve dha güvenilir bir tasarım elde edilmes anlamına gelebilir. Buna rağmen  $(T_B/T)$  ifadesindeki üssün "1" sabitinden küçük alınması spektral ivme değerleri açısından sanıldığı kadar büyük farklılıklar göstermez. Hesaplamalarda hemen hemen mühendislerin aşına oldukları bina periyot sınırları 0.1-3 saniyeler arasında kabul edilirse  $(T_B/T)$  ifadesindeki üssün "0.8" veya "1" olması durumunda hesaplanan PSA değerleri Şekil 4'de saol taraftaki grafikte gösterilmiştir. Bu farkın çok olmadığı düşünülmektedir. Kaldı ki, diğer şartnamelerde olduğu gibi, azalım ilişkileri sonucu ortaya çıkartılabilecek belli bir katsayı ile  $(T_B/T)$  ifadesi



çarpılarak uzun periyotlara ait spektral değerler daha yukarı bir sınıra çekilebilir. Böyle bir değişim TDŞ98'in diğer şartnameler gibi spektral kavramların tanımına uyumunu sağlar. Dolayısıyla PDDM ve buna bağlı metodların uygulanmaları için daha güvenilir bir hal alır.



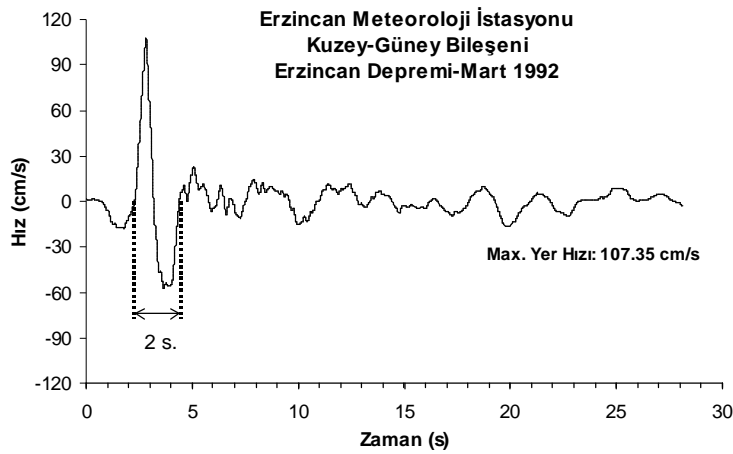
Şekil 4. Türk şartnamesi için alternatif yaklaşım

## TASARIM SPEKTRULARININ YAKIN MESAFE DEPREMLER AÇISINDAN İRDELEMESİ

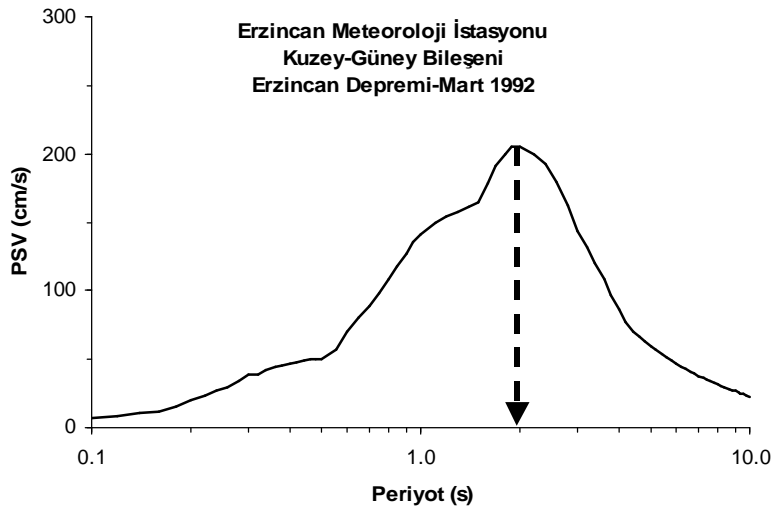
Yakın mesafe deprem hareketleri şimdiye kadar alışlagelmiş depremlerden özellikleri ve yapılaraya verdikleri hasarlar açısından oldukça farklıdır. Neredeyse kesme dalgası hızına eşit yırtılma sırasında impulsif karakterli, büyük genlikli ve yüksek periyotlu yer hareketi hızına sahip bu depremler yapılarda çok büyük lokal yerdeğiştirme (katarası öteleme) talebine yol açmaktadır. Bu tip deprem hareketine en güzel örneklerden biri 13 Mart 1992 Erzincan depremi, Erzincan Meteoroloji İstasyonu kayıdır. Bu kaydın Şekil 5'de gösterilen Kuzey-Güney yönü yer hızı bileşeni yüksek genlikli, impulsif karakterdeki uzun periyotlu dalgayı çok açık bir şekilde göstermektedir. Bu dalganın periyodu ( $T_p$ ) yaklaşık 2 saniyedir ve bu periyot PSV grafiğinde kendini gösterir. Bu durum Şekil 6'da sunulmaktadır. Akkar (2001) impulsif karaktere sahip yakın mesafe depremlerinde bu tip dalga formuna ait  $T_p$  periyodunun PSV grafiklerinde çok rahat seçilebileceğini göstermiştir. Şekil 6 ve Denklem (2) için yapılan açıklamalar göz önüne alındığında yakın mesafe depremlerinin impulsif karakterli dalga formundan dolayı neden yüksek yerdeğiştirme talebine sahip oldukları daha iyi anlaşılır.

Bir önceki bölümde sözü edilen ve elastik-elastik olmayan spektral değerler arasındaki ilişkinin kurulmasında önemli rol oynayan  $T_0$  periyodu yakın mesafe impulsif dalga periyodu ( $T_p$ ) tarafından daha büyük periyot değerlerine doğru kaydırılır. Bu durumu açıklayan en iyi örnekler Şekil 7'de gösterilmektedir. Bu grafikler doğrusal olmayan - doğrusal spektral yerdeğiştirme ( $SD_{e0}/SD_e$ ) oranlarını sırasıyla sert zemin koşullarını temsil eden 1994 Northridge-Olive View, 1999 Marmara-Düzce, ve 1992 Landers-Lucern kayıtları için göstermektedir. Örnek olarak alınan kayıtların  $T_p$  değerleri yaklaşık, Olive View için 2.4 saniye, Düzce için 1.6 saniye ve Lucern için 4.82 saniye olarak bulunmuştur (Akkar, 2001). Bu değerler Şekil 7'de bulunan grafiklerin üstünde gösterilmektedir. Kayıtların A tipi faylanma tarafından meydana getirilen yer hareketleri olduğu kabul edilmiştir. Olive View ve Lucern kayıtları için faya olan en yakın uzaklık mesafeleri sırasıyla 6.4

ve 1.1 km olarak verilmiştir (Somerville ve diğerleri, 1995). Bu uzaklık Düzce kaydı için 8.25 km olarak alınmıştır (Akkar ve Gülkan, 2001). Bu grafiklerin üzerinde UBC97 ve EC8'in önerdiği  $T_0$  değerleri de temsili olarak gösterilmektedir. Grafiklere TDŞ98'e ait periyot değerlerinin katılmaması bir önceki bölümde bahsedildiği gibi TDŞ98'in şimdiki haliyle spektral kavramların tanımına uymadığından ötürüdür. Türk şartnamesinde verilen  $T_B$  periyodunun  $T_0$ 'a karşı geldiği TDŞ98 tasarım spektrumunun şu anki haliyle kesin değildir. Elastik olmayan spektral yerdeğiştirmeler sabit düktilite ( $\mu$ ) oranları için elasto-plastik histeresiz modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplarda yüzde 5 sönüm kabul edilmiştir. Lucern kaydı içerdiği çok uzun impulsif dalga formundan dolayı hesaplamaların yapıldığı 3 saniyeye kadar olan periyot aralığında  $SD_{e0}/SD_e$  oranlar açısından 1 değerinin üzerinde kalmaktadır. Lucern kaydı için bu durum hesapların yapıldığı periyot aralığı için nonlineer spektral yerdeğiştirme sürekli olarak lineer eşleniğinden büyük olduğu anlamına gelir.

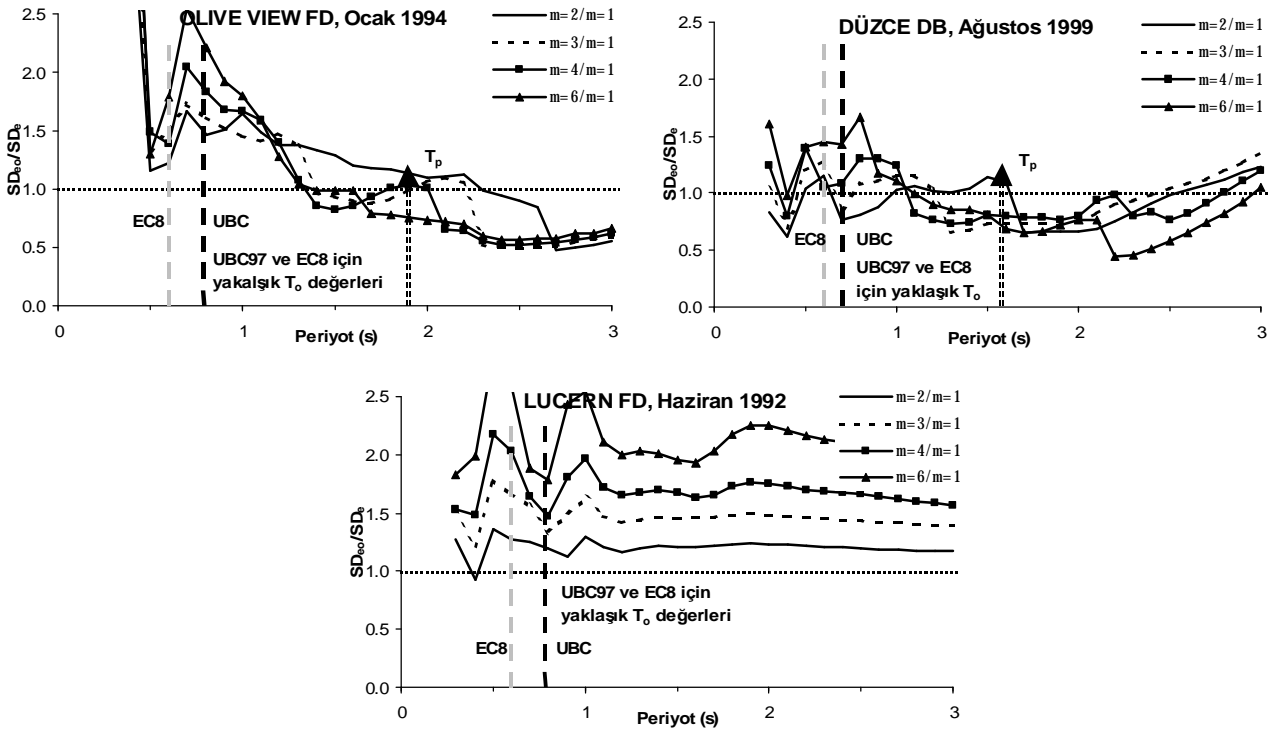


Şekil 5. Erzincan depremi, Kuzey-Güney yönü hız bileşeni

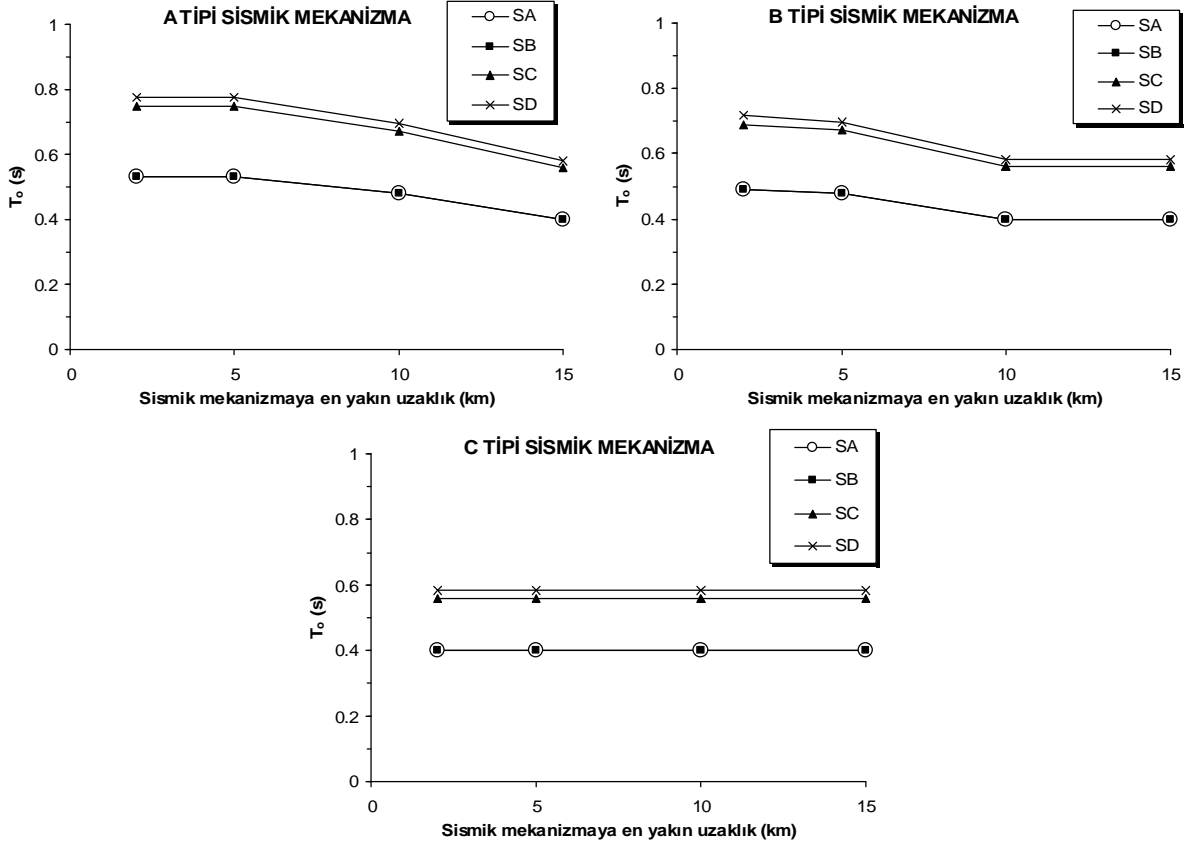


Şekil 6. Erzincan depremi, Kuzey-Güney yönü %5 sönüm için PSV grafiği

Bu grafiklerden anlaşıldığı gibi UBC97 ve EC8  $T_o$  değerini yakın mesafe depremler için güvenilir şekilde tayin edememektedir. Tablo 2 EC8'in tanımladığı  $T_C$  değerleriyle farklı zemin sınıfları için önerdiği  $T_o$  değerlerini göstermektedir. Bu tabloya göre Eurocode  $T_o$  periyot değerleri 0.4 - 0.7 saniyeler arasında değişmektedir. Bu periyotların tanımlarında yakın mesafe etkileri göz önüne alınmamıştır. Daha öncede belirtildiği ve Şekil 2'de gösterildiği gibi UBC97, yakın mesafe depremler için  $T_o$  periyodunu, kayıt alınan bölgenin faya olan uzaklığına göre değiştirmektedir. Bu periyot değerinin faya olan uzaklığa göre değişimi ayrıntılı bir şekilde farklı zeminler için Şekil 8'de gösterilmiştir. Bu şekilden anlaşıldığı gibi C tipi sismik mekanizma için  $T_o$  periyot değeri uzaklığın bir fonksiyonu değildir. Diğer faylanma türleri için  $T_o$  periyot değeri uzaklığa bağlı olarak azalım göstermektedir. Faylanma tipi ne olursa olsun  $S_A$  ve  $S_B$  zeminleri için önerilen  $T_o$  periyot değerleri belli bir uzaklık için aynı değerleri almaktadırlar. Bu durum  $S_C$  ve  $S_D$  zeminler için geçerli olmasa dahi bu zemin grupları için önerilen  $T_o$  periyot değerleri arasındaki fark mühendislik hesapları açısından ihmal edilebilecek düzeydedir. Burada dikkat edilecek bir başka husus ise UBC97'de önerilen en büyük  $T_o$  periyodunun dahi Şekil 7'da gösterilen kayıtlar için  $SD_{e0}/SD_e$  oranlarının 1'in altına indiği periyotlara nazaran küçük kalmasıdır.



Şekil 7. İmpulsif karakterli dalga periyodunun nonlinear davranım üzerindeki etkisi



Şekil 8.  $T_0$  periyot değerlerinin UBC97’de uzaklığa göre değişimleri

## SONUÇ

Performansa Dayalı Deprem Mühendisliği (PDDM) ve bu kavramın uygulama alanlarında önemli yer tutabilecek yakın mesafe depremlerine göre TDŞ98, UBC97 ve EC8 tasarım spektrumları elastik ve elastik olmayan yapı davranımı göz önüne alınarak incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda TDŞ98’de tanımlanan tasarım spektrumunun temel yapı dinamiği prensiplerine uymadığı gözlemlenmiştir. Bu şartnamenin önerdiği spektrum şeklinin, tasarım spektrumlarının tanımı açısından önemli olan spektral bölgeleri göz ardı ettiği anlaşılmıştır. Elastik ve elastik olmayan bina davranımı açısından önemli olan  $T_0$  periyodunun yakın mesafe depremleri için EC8 ve UBC97 tarafından bu deprem özelliklerine uygun bir şekilde tahmin edilemediği görülmüştür. Bu karakteristik periyodun yakın mesafe depremler için faya olan uzaklığa göre değişimini öneren UBC97 kuralları yeterli değildir. Eurocode ise bu konuda yakın mesafe deprem davranışını göz önüne aldığını gösterir bir uygulama yapmamaktadır.

Bu halleriyle incelenen tasarım spektrumları yerdeğiştirme temelli hesap ilkelerini benimseyen PDDM kavramına ve bu kavram altında oluşan bina performansı hesap metodlarına tam manasıyla uyumlu görünmemektedir. Türk şartnamesinin bu konuyla ilgili ciddi bir çalışmaya girmesinin gerekli olduğu bu

makalenin yazarları tarafından önerilmektedir. Diğer şartnameler ise yakın mesafe deprem özelliklerini bina davranımına aksettirecek değişiklikleri tasarım spektrumlarında yapma yoluna gitmelidirler.

## REFERANSLAR

Akkar S., 2001. "Yakın mesafe depremler ve şartnamelere uygulanmaları," Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 06531 Ankara.

Akkar, S. ve P. Gülkan, 2000. "Examination of selected recent ground motion records from Turkey in terms of displacement design procedures," Sixth International Conference on Seismic Zonation (6ICSZ), Bildiri No. 60, California.

Applied Technology Council (ATC 40), 1996. "Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings," Rapor No. ATC 40, Cilt 1, Redwood City, California.

Bachman, R.E. ve D.R. Boneville, 2000. "The seismic provisions of the 1997 Uniform Building Code," Earthquake Spectra, Cilt 16, No.1, sayfa 85-99.

Building Seismic Safety Commission (BSSC), 1997. "NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of the buildings," RaporNo. FEMA 273, Washington, DC.

Eurocode 8 (EC8), 2000. "Design of structures for earthquake resistance," CEN, Rue de Stassart 36, B1050 Brussels.

Gülkan P., Koçyiğit, A., Yücemem, M.S., Doyuran V. ve Başöz N., 1993. "En son verilere göre hazırlanan Türkiye deprem bölgeleri haritası," Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi Rapor No. 93-01, İnşaat Mühendisliği Bölümü orta Doğu Teknik Üniversitesi, 06531 Ankara.

Nassar, A.A. ve H. Krawinkler, 1991. "Seismic demands for sdof and mdof systems," The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Rapor No. 95, Stanford University, California.

Newmark, N.M. ve W.J. Hall, 1982. "Earthquake spectra and design," Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California.

Peterson, M.D., T.R. Topozada, T. Cao, C.H. Cramer, M.S. Reichle ve W.A. Bryant, 2000. "Active fault near-source zones within and bordering the state of California for the 1997 Uniform Building Code," Earthquake Spectra, Cilt 16, No. 1, sayfa 69-83.

Shimazaki, K. ve M. Sözen, 1984. "Seismic drift of reinforced concrete structures," Hazama Gumi Ltd., Teknik Araştırma Raporu, Tokyo.

Somerville, P.G., R. Graves ve C. Saikia, 1995. "Characterization of ground motions during the Northridge earthquake of January 17, 1994," SAC Raporu No. SAC 95-03, Sacramento, California.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik (TDŞ), 1998. Türkiye Cumhuriyeti bayındırlık İmar ve İskan Bakanlığı.

International Conference of Building Officials (ICBO), 1997. Uniform Building Code, Whittier, California.

Vidic, T., P. Fajfar ve M. Fischinger, 1994. "Consistent inelastic design spectra: strength and displacement," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Cilt 23, sayfa 507-521.