

Maksimum ve kalıcı yer değiştirme talepleri açısından TBDY 2018 ve DBYBHY 2007 deprem yönetmeliklerinin karşılaştırılması

Comparisons of TBEC 2018 and TEC 2007 seismic codes by means of maximum and residual displacement demands

Ahmet DEMİR^{1*} 

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, Türkiye.
ahmetdemir@ibu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 12.09.2022
Kabul Tarihi/Accepted: 07.11.2022

Düzeltilme Tarihi/Revision: 29.10.2022

doi: 10.5505/pajes.2022.11268
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Deprem yönetmelikleri, yapılan bilimsel çalışmalar sonucunda elde edilen bilgiler ve meydana gelen depremler sonrasında yapı davranışı ile ilgili gözlemler dikkate alınarak güncellenmektedir. Türkiye’de, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) yerine 2019 yılından itibaren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) yürürlüğe girmiştir. Her iki yönetmelikte de yapıların tasarım ve/veya değerlendirilmesi için doğrusal olmayan dinamik analiz ile ilgili tanımlamalar bulunmaktadır. Bununla birlikte, TBDY’de hem tasarım spektrumunun tanımı ve hem de Türkiye’de bulunan herhangi bir konum için tasarım spektrumunun elde edilmesi amacıyla kullanılan spektral parametreler değişmiştir. Bu değişikliklerin ötelenme taleplerine etkisinin değerlendirilmesi amacıyla, farklı periyot ve yatay dayanım oranına sahip tek serbestlik dereceli (TSD) sistemlerin doğrusal olmayan dinamik analizleri hem TBDY hem de DBYBHY’ye göre yapılmış ve maksimum ötelenme ve kalıcı ötelenme taleplerinin ortalaması ile bu taleplere ait saçılımlar karşılaştırılmıştır. Bu amaçla toplamda 72 farklı TSD sistem dikkate alınmış, bu sistemlerin analizi amacıyla TBDY ve DBYBHY (farklı deprem bölgesi, zemin sınıfı ve şehirler) ile uyumlu olarak sırasıyla 84 ve 168 adet ivme kaydı seti kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde; a) zemin sınıfına ve şehirlere göre tasarım spektrumlarının değiştiği, b) maksimum ötelenme ve kalıcı ötelenme taleplerinin deprem düzeyi ve zemin sınıfına bağlı olarak değiştiği c) bazı şehirlerde TBDY ile elde edilen taleplerin, bazı şehirlerde ise DBYBHY ile elde edilen taleplerin daha büyük olduğu, d) taleplerin set içerisindeki saçılımların yüksek olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: DBYBHY, TBDY, Tasarım spektrumu, Dinamik analiz, ötelenme talebi.

Abstract

Seismic codes are updated by taking into account the information obtained as a result of scientific studies and the observations after earthquakes about the behavior of the building. In Turkey, the Turkish Building Earthquake Codes (TBEC) has also been published in 2019, instead of the Turkish Earthquake Codes (TEC). Both seismic codes contain definitions for nonlinear dynamic analysis for the design and/or evaluation of structures. However, in TBEC, both the definition of the design spectrum and the spectral parameters used to obtain the design spectrum for any location in Turkey have changed. In order to evaluate the effects of these changes on the drift demands, nonlinear dynamic analyzes of single degree of freedom (SDOF) systems with different periods and lateral strength ratios were made according to both TBEC and TEC. Then, mean of the maximum and residual drift demands and the scattering of these demands were compared. For this purpose, totally 72 different TSD systems were considered. For the analysis of these systems, 84 and 168 ground motion record sets were used according to TEC and TBEC (different earthquake zones, soil classes and cities), respectively. When the results are examined; it is seen that a) the design spectrums change according to the soil classes and cities, b) the maximum and residual drift demands change depending on the earthquake levels and soil classes, c) in some cities, the demands obtained with TBEC, and in some cities, the demands obtained with TBEC are higher, d) drift demands scattering within the set is high.

Keywords: TEC, TBEC, Design spectrum, Dynamic analysis, drift demands.

1 Giriş

Dünyada yaşanan depremler ülkelerin nüfusu yoğun bölgelerini ve endüstriyel alanlarını etkilemiş, büyük can ve mal kayıpları meydana getirmiştir. Türkiye de deprem açısından aktif bir bölgede bulunduğundan geçmişten günümüze büyük depremler meydana gelmiştir [1]-[3]. Yaşanan bu depremler ve yapılan bilimsel araştırmalar sonucunda ülkemizde de deprem yönetmeliklerine ihtiyaç duyulmuş ve 1940 yılından günümüze kadar birçok farklı deprem yönetmeliği kullanılmıştır. Son olarak 1 Ocak 2019 tarihinde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)[4] yürürlüğe girmiştir. TBDY’den önce ise Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007)[5] 2007 yılından 2019 yılına kadar kullanılmıştır. Yönetmeliklerin

güncellenmesinin amacı ise yapılan bilimsel çalışmalar ışığında ve araştırmacıların deprem sonrası gözlemlerinden yararlanılarak yapıların deprem performansının değerlendirilmesi ve tasarımına ait bilgileri yenilemektir.

Doğrusal olmayan dinamik analiz hem yeni yapıların sismik tasarımı hem de mevcut yapıların sismik performansını belirlemek için kullanılan ve yapı davranışını gerçeğe en yakın olarak tahmin etmeye olanak sağlayan analiz yöntemidir. TBDY ve DBYBHY’de doğrusal olmayan dinamik analizler için bilgiler tanımlanmakta ve analizler için uygun ivme kaydı setlerinin seçimine yönelik koşullar ifade edilmektedir. Dinamik analizler için TBDY’ye göre 11 adet ivme kaydı veya ivme kaydı takımı, DBYBHY’ye göre ise 7 adet ivme kaydı kullanılmakta ve analiz sonuçlarından elde edilen taleplerin ortalaması tasarım veya değerlendirme için dikkate alınmaktadır. İvme kayıtlarının

*Yazışılan yazar/Corresponding author

seçiminde, yapının bulunduğu bölgenin depremselliğine ve zemin sınıfına bağlı olarak tanımlanan tasarım spektrumları ile uyum gözetilmektedir. Tasarım spektrumlarının tanımı için DBYBHY’de 4 farklı deprem bölgesi dikkate alınır iken TBDY’de ise yapının bulunduğu konuma ait spektral ivme katsayıları kullanılmaktadır. Bununla birlikte, tasarım spektrumlarının tanımlanmasına yönelik denklemler de TBDY ve DBYBHY’de farklılık içermektedir. Bu durum, Türkiye’de yer alan herhangi bir konum için kullanılacak tasarım spektrumunun DBYBHY ve TBDY için farklı olmasına yol açmıştır. Bu farklılık ise, tasarım spektrumu ile uyumlu olarak seçilecek ivme kayıtlarını ve bu kayıtlar kullanılarak yapılacak analizler ile elde edilecek yapısal talepleri etkilemektedir.

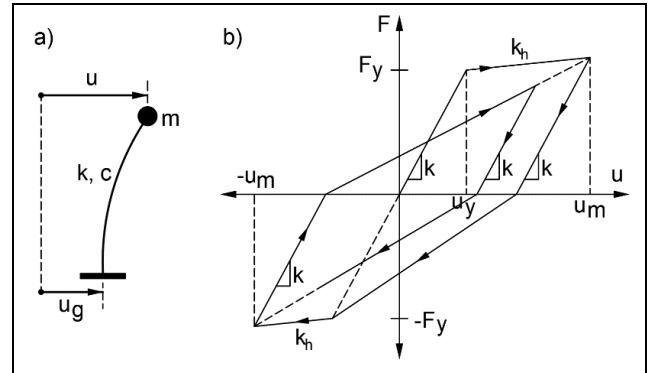
Literatürde, DBYBHY’ye ve TBDY’ye göre yapılan statik veya dinamik analizlerin dikkate alındığı ve iki yönetmelik ile elde edilen sonuçların karşılaştırıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Demir ve Kayhan [6], DBYBHY ve TBDY ile uyumlu farklı setler kullanarak dinamik analizler yapmış ve elde edilen maksimum yer değiştirme taleplerini karşılaştırmıştır. Palancı ve diğ. [7], mevcut binaların DBYBHY ile uyumlu dinamik analizi için 7, 11 ve 15 adet ivme kaydına sahip ivme kaydı setleri kullanmış ve analiz sonuçları üzerindeki ivme kaydı sayısının etkisini değerlendirmiştir. Aksoylu ve Arslan [8], TBDY ile DBYBHY’de bulunan eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemlerini kullanarak elde ettikleri sonuçları karşılaştırmıştır. Özmen ve Sayın [9], beş katlı bir betonarme binaya ait mod şekilleri, titreşim periyodu, taban kesme kuvveti ve yer değiştirme değerlerini TBDY ve DBYBHY’ye göre ayrı ayrı hesaplamış ve karşılaştırmıştır. Tanık ve Eldemir [10], bu iki yönetmelikte tanımlı kesit hasar sınırlarını kullanarak beş farklı mevcut betonarme yapının statik itme analizini yapmış ve elde ettikleri eleman hasar dağılımlarını karşılaştırmıştır. Yön [11], her iki yönetmelik için çalışmada ele alınan betonarme binalara ait kırılma eğrilerini ayrı ayrı elde etmiştir. Çalışmada kullanılan betonarme binaların TBDY’ye göre hasar görme olasılığının DBYBHY’ye göre daha fazla olduğu ifade edilmiştir. Benzer bir sonuç Onat ve Yön [12] tarafından yapılan ve iki farklı betonarme çerçevenin ele alındığı çalışmada da elde edilmiştir. Demir ve diğ. [13], TBDY ile uyumlu farklı ivme kaydı seçim stratejilerini kullanarak elde ettiği ivme setleri ile farklı TSD (tek serbestlik dereceli) sistemlerin doğrusal olmayan dinamik analizlerini yapmış ve sonuçları değerlendirmiştir.

Bu çalışmanın amacı, DBYBHY ve TBDY’de tanımlanan tasarım spektrumlarındaki farklılığın ve bu farklılığın doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarına etkisinin sayısal olarak değerlendirilmesidir. Bu amaçla, DBYBHY’de tanımlanan dört farklı deprem bölgesinin (1., 2., 3. ve 4. derece deprem bölgesi) her birinden iki farklı şehir ele alınmıştır. Her bir şehir için üç farklı zemin sınıfı (Z1, Z2 ve Z3) ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem dikkate alınarak tasarım spektrumları DBYBHY’ye göre elde edilmiştir (dört farklı deprem bölgesi ve üç farklı zemin sınıfı için toplam 12 tasarım spektrumu). Aynı deprem düzeyi ve benzer üç farklı zemin sınıfı (ZB, ZC ve ZD) dikkate alınarak, seçilen şehirlerin merkezini temsil eden konuma ait tasarım spektrumları TBDY’ye göre de elde edilmiştir (sekiz farklı konum ve üç farklı zemin sınıfı için toplam 24 tasarım spektrumu). Elde edilen 36 tasarım spektrumunun her biri ile uyumlu 7’şer ivme kaydı seti elde edilmiş ve dinamik analizler için kullanılmıştır. Geniş bir yapı stoğunu temsil eden TSD sistemlerin ele alınması amacıyla, periyodu 0.6s-2.0s arasında ve yatay dayanım oranı ise 0.10-0.50 arasında değişen TSD sistemler kullanılmıştır. TSD sistemlerin doğrusal olmayan

davranışı, betonarme yapılar için literatürde kullanılan Modifiye Clough (MC) [14] çevrimsel davranış modeli ile dikkate alınmıştır. TSD sistemlerin dinamik analizleri ile maksimum ötelenme talepleri ve kalıcı ötelenme talepleri elde edilmiştir. Bu taleplerin ortalaması ve saçılımı, iki farklı yönetmelik dikkate alınarak elde edilen 36 tasarım spektrumu ile uyumlu ivme kaydı setleri için ayrı ayrı elde edilmiştir. Taleplere ait ortalama ve saçılım değerleri kullanılarak, tasarım spektrumlarındaki farklılığın ötelenme talepleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

2 Tek serbestlik dereceli sistemler ve çevrimsel model

Bir sistemin hareket halindeki konumu tek bir parametre ile belirlenebiliyorsa o sisteme TSD sistem denilmektedir. Şekil 1(a)’da tipik bir TSD sistem modeli görülmektedir. Şekil 1(a)’da u zamana bağlı yer değiştirme, k rijitlik, c sönüm katsayısı, m kütle ve u_g ise yer hareketini yani dış kuvveti göstermektedir. Yer hareketi yani dış kuvvet altındaki TSD sistemin dinamik davranışı Denklem 1’de gösterilmiştir. Denklem sağ tarafındaki $m\ddot{u}_g(t)$ terimi, yapının kütlelerine etkiyerek titreşime sebep olan yer hareketini temsil etmektedir. Bu çalışmada c (sönüm) değeri %5 olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 1(a): Tipik tek serbestlik dereceli sistem ve (b): Modifiye Clough (MC) çevrimsel model.

Figure 1(a): Typical single degree of freedom system and (b): Modified Clough (MC) hysteretic model.

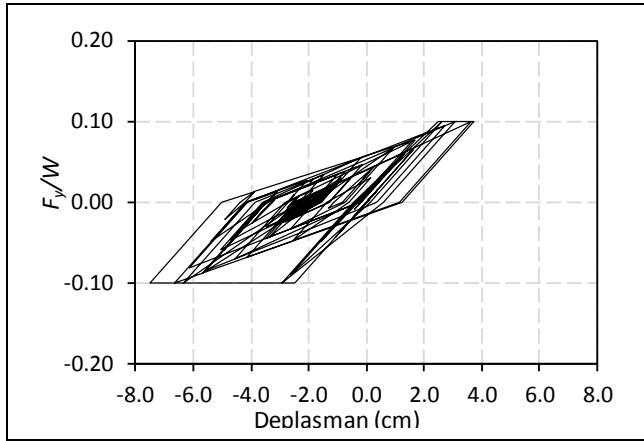
$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (1)$$

Yer hareketi etkisindeki TSD sistemin çevrimler esnasında dayanım ve rijitlik değişimlerini dikkate almak için, betonarme yapıların davranışını temsil etmek amacıyla literatürde kullanılan Modifiye Clough (MC) çevrimsel davranış modeli seçilmiştir [13]-[15]. MC çevrimsel modelin tipik kuvvet-deplasman grafiği Şekil 1(b)’de gösterilmiştir. Şekil 1(b)’de F_y ve u_y , sırasıyla akma anındaki kuvvet ve deplasman değerlerini göstermektedir. Şekil 1(b)’deki k_h ise akma anından sonraki rijitlik değerini göstermektedir. Bu çalışmada akma anından sonraki rijitlik değeri sıfır olarak ele alınmıştır. Yani yapı elastik davranışı sonucunda akma dayanımına ulaştıktan sonra yapıda dayanım artışı görülmezken plastik yer değiştirmeler meydana gelmektedir.

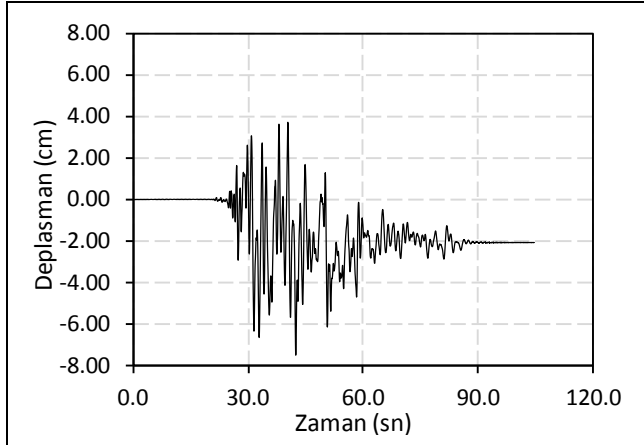
Geniş bir TSD sistem aralığını incelemek için 0.6s ile 2.0s arası (0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 ve 2.0s) değişen periyot değerleri dikkate alınmıştır. TSD sistem periyoduna ek olarak, 0.10 ile 0.50 arasında (0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45 ve 0.50) değişen yatay dayanım oranı (F_y/W , yatay yük

kapasitelerinin deprem hesabına esas ağırlığına oranı) değerleri dikkate alınmıştır. Yani 8 farklı T (periyot) ve 9 farklı F_y/W için toplam 72 farklı TSD sistem ele alınmıştır. Doğrusal olmayan dinamik analizler için Bispec [16] programı kullanılmıştır.

Şekil 2a ve Şekil 2b'de Chi-Chi depremine ait kayıt kullanarak $T=1.0s$ ve $F_y/W=0.10$ değerlerine sahip TSD sistemin yatay dayanım oranı-deplasman ve deplasman-zamana ilişkisi örnek olarak verilmiştir. Şekil 2a'da görüldüğü gibi akma anından sonraki rijitlik değeri sıfır olarak ele alındığından yapı elastik davranışı sonucunda akma dayanımına ($F_y/W=0.10$) ulaşıktan sonra yapıda dayanım artışı görülmemektedir. Şekil 2b'de maksimum deplasman değeri 42.40s'de 7.50 cm iken kalıcı deplasman değeri ise 2.08 cm olarak elde edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2. Chi-Chi (Tayvan, 20/09/1999) depremine ait F_y/W -deplasman (a): ve deplasman-zaman grafiği (b): ($T=1.0s$, $F_y/W=0.10$).

Figure 2. F_y/W -displacement (a): and displacement-time (b): graph for Chi-Chi (Taiwan, 20/09/1999) earthquake ($T=1.0s$, $F_y/W=0.10$).

3 TBDY ve DBYBHY'ye göre ivme kaydı seçimi ve tasarım ivme spektrumların karşılaştırılması

3.1 İvme kaydı seçim koşullarının karşılaştırılması

Zaman tanım alanında yapılacak doğrusal/doğrusal olmayan dinamik analizlerde kullanılacak kayıtlar, yerel zemin koşulları,

kaynak mekanizmaları, fay uzaklıkları vs. gibi özelliklere uygun biçimde göz önüne alınmalıdır. Ayrıca her iki yönetmelikte de deprem hesabı için kaydedilmiş depremler veya benzeştirilmiş yer hareketleri kaynak ve dalga yayılımı özelliklerine uygun olarak kullanılabilir. Doğrusal olmayan dinamik analiz için kullanılacak ivme kayıtlarının özellikleri her iki yönetmelik için de Tablo 1'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. DBYBHY ve TBDY'ye göre bir ve iki boyutlu hesap için ivme kaydı seçim koşullarının karşılaştırılması.

Table 1. Comparison of ground motion record selection conditions for one -two dimensional analysis according to TEC and TBEC.

Koşullar	DBYBHY	TBDY
Analizi için ivme kaydı sayısı	Maksimum tepki=3 ivme kaydı Ortalama tepki=7 ivme kaydı	Ortalama tepki=11 ivme kaydı
Ortalama spektrum ile tasarım spektrumu arasındaki uyum için periyot aralığı	0.2T-2.0T	0.2T-1.5T
Ortalama spektrum ile tasarım spektrumu arasındaki uyum için alt sınır	0.90	1.00
İvme kaydı süresi	5T _i veya 15 sn Ortalama	Koşul yok
Sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme	spektrum>Tasarım spektrumu	Koşul yok
Aynı depremden seçilecek kayıt sayısı	Koşul yok	3

Tablo 1'de görüldüğü gibi, kullanılacak ivme kaydı sayısı TBDY için 11'dir ve elde edilen sonuçların ortalaması tasarım ve/veya değerlendirme için kullanılmaktadır. DBYBHY'ye göre, 3 adet ivme kaydı kullanıldığında sonuçların maksimumu, 7 adet ivme kaydı kullanıldığında ise sonuçların ortalaması tasarım ve/veya değerlendirme için kullanılmaktadır. İvme kaydının süresi DBYBHY'ye göre 15 sn'den ve binanın dikkate alınan doğrultudaki birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından daha kısa olmamalıdır. TBDY'de ivme kaydı süresi ile ilgili bir koşul bulunmamaktadır. Öte yandan, TBDY'de bir ve iki boyutlu hesap için ivme kaydı setleri, üç boyutlu hesap için ise ivme kaydı takımı setleri kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında TSD sistemler kullanıldığı için, Tablo 1'de verilen karşılaştırma bir veya iki boyutlu hesap içindir. Tablo 1'de görüldüğü gibi her iki yönetmelikte de tasarım spektrumları ile analizlerde kullanılacak ivme kayıtlarına ait spektrumlarının ortalaması arasında belli bir uyum istenmektedir.

3.2 DBYBHY ve TBDY ait tasarım ivme spektrumlarının tanımlanması

DBYBHY'ye göre deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan $A(T)$ yani Spektral İvme Katsayısı, Denklem 2 ile verilmiştir. Denklem 2'de yer alan I bina önem katsayısını (bu çalışmada $I=1$ alınmıştır), A_0 etkin yer ivme katsayısını, g yer çekim ivmesini, $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmeyi, $S(T)$ ise spektrum katsayısını belirtmektedir. $S(T)$, Denklem 3 ile verilmiştir. Denklem 3'te T_A ve T_B spektrum karakteristik periyotlarıdır. Bu çalışmada, DBYBHY'de yer alan dört farklı deprem bölgesi (1., 2., 3. ve 4. derece deprem bölgesi) ve üç farklı yerel zemin sınıfı (Z_1 , Z_2 ve Z_3) dikkate alınmıştır. Etkin yer ivme katsayısı birinci derece deprem bölgesi için 0.40, 2., 3. ve 4. derece deprem bölgeleri için ise sırasıyla 0.30, 0.20 ve

0.10'dur. Z1, Z2 ve Z3 zeminler için T_A değerleri sırasıyla 0.10, 0.15 ve 0.15 iken T_B değerleri sırasıyla 0.30, 0.40 ve 0.60'tır.

$$\begin{aligned} A(T) &= A_0 I S(T) \\ S_{ae}(T) &= A(T) g \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} S(T) &= 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\ S(T) &= 2.5 & (T_A \leq T \leq T_B) \end{aligned} \quad (3)$$

$$S(T) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} \quad (T_B \leq T)$$

TBDY'ye göre, belirli bir konuma ait tasarım spektrumlarının elde edilmesi için öncelikle deprem düzeyine bağlı olarak hazırlanmış spektral ivme haritaları dikkate alınmaktadır [17]-[18]. Yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi (g) cinsinden Denklem 4'te verilmiştir. Denklem 4'te yer alan T_A ve T_B yatay elastik tasarım spektrumunun köşe periyotları, T_L sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu ve S_{DS} ve S_{D1} tasarım spektral ivme katsayılarıdır. S_{DS} ve S_{D1} değerleri; kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı (F_S), 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı (F_1), kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_S) ve 1 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısına (S_1) bağlı olarak Denklem 5'te verilmiştir.

$$\begin{aligned} S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\ S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T) \end{aligned} \quad (4)$$

$$S_{DS} = S_S F_S \quad S_{D1} = S_1 F_1 \quad (5)$$

Bu çalışmada, tasarım spektrumu farklılığının etkisini değerlendirmek amacıyla 8 farklı şehir merkezi seçilmiştir. DBYBHY'ye göre dört farklı deprem bölgesinin her biri için iki farklı şehir seçilmesine dikkat edilmiştir. Seçilen şehirlerden, İzmir ve Sakarya birinci derece deprem bölgesinde, İstanbul ve Van ikinci derece deprem bölgesinde, Şanlıurfa ve Kayseri üçüncü derece deprem bölgesinde, Ankara ve Trabzon ise dördüncü derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Bu şehirler için 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem ve yerel zemin sınıfları Z1, Z2 ve Z3 dikkate alınarak tasarım spektrumları (4 farklı deprem bölgesi ve 3 farklı yerel zemin sınıfı için toplam 12 adet tasarım spektrumu) oluşturulmuştur.

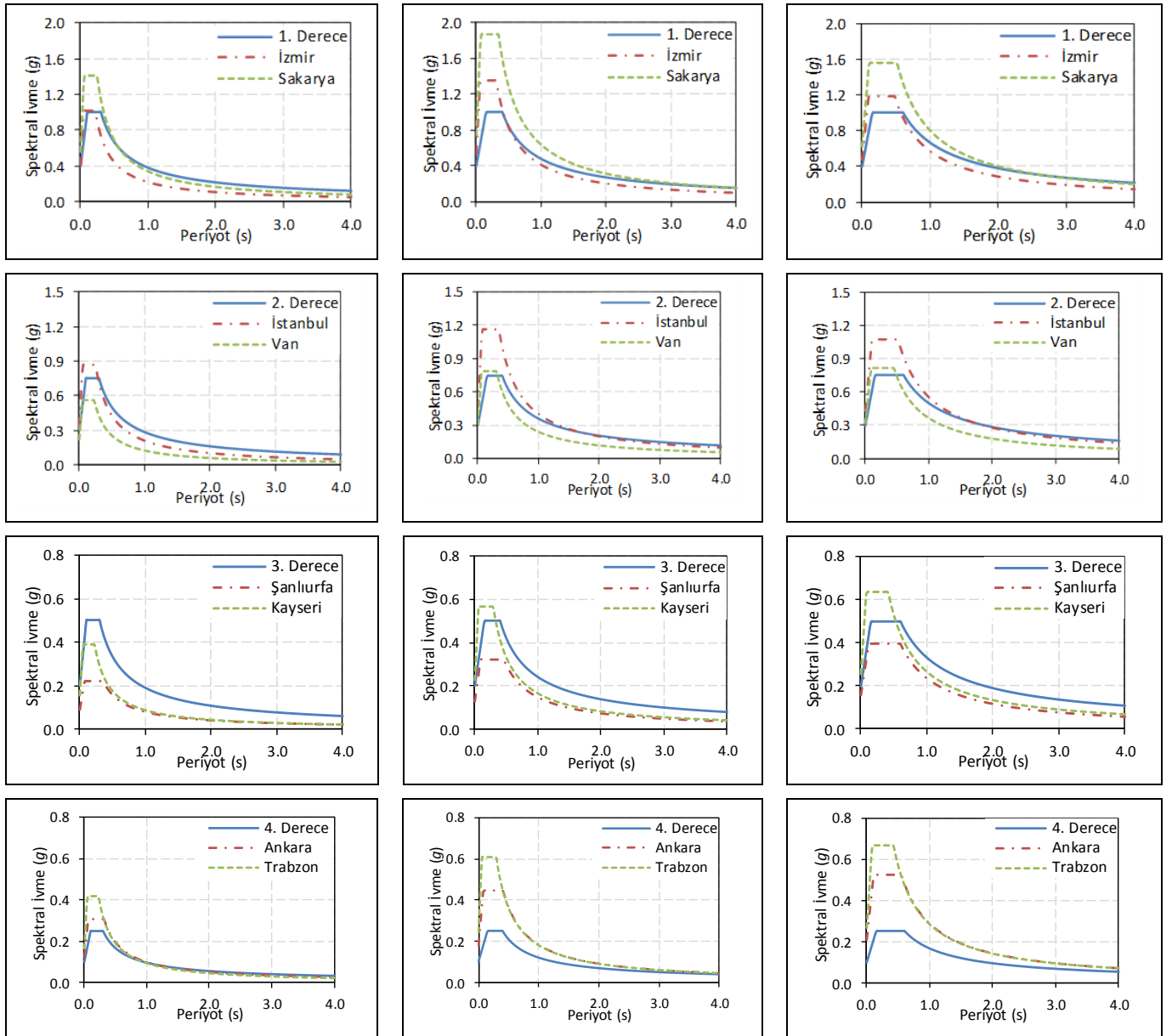
Seçilen şehir merkezleri için, TBDY'ye göre tasarım spektrumlarının belirlenmesine yönelik parametreler Tablo 2'de verilmiştir. Tablodaki PGA , S_S ve S_1 değerleri 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için elde edilmiştir. TBDY'ye göre üç farklı yerel zemin sınıfı dikkate alınmış ve tasarım spektrumunun tanımına ait diğer parametreler belirlenmiştir. Bu parametrelere bağlı olarak toplam 24 adet tasarım spektrumu (8 farklı şehir merkezi ve 3 farklı yerel zemin sınıfı için) oluşturulmuştur. Tasarım spektrumlarının oluşturulması amacıyla dikkate alınacak yerel zemin sınıflarının seçiminde, DBYBHY için dikkate alınan yerel zemin sınıfları ile kayma dalgası hızı (V_{S30}) açısından benzerlik gözetilmiştir. Buna göre Z1 ile uyumlu olarak ZB, Z2 ile uyumlu olarak ZC ve Z3 ile uyumlu olarak ZD yerel zemin sınıfları ele alınmıştır.

Şekil 3'te TBDY'ye göre farklı şehirler ve zemin sınıflarına ait tasarım spektrumları ve DBYBHY göre ise 4 farklı deprem bölgesi ve zemin sınıflarına ait tasarım spektrumları verilmiştir. Şekilde 1., 2., 3. ve 4. derece olarak isimlendirme, DBYBHY'ye göre sırasıyla 1., 2., 3. ve 4. derece deprem bölgeleri için elde edilen spektrumları ifade etmektedir.

Tablo 2. TBDY'ye göre tasarım spektrumlarına ait parametreler.

Table 2. Parameters of design spectra according to TBEC.

Şehir	Zemin	PGA (g)	S_S	S_1	F_S	F_1	S_{DS}	S_{D1}	T_A (s)	T_B (s)
İzmir	ZB	0.460	1.127	0.276	0.900	0.800	1.014	0.221	0.044	0.218
	ZC				1.200	1.500	1.352	0.414	0.061	0.306
	ZD				1.049	2.048	1.182	0.565	0.096	0.478
Sakarya	ZB	0.635	1.562	0.428	0.900	0.800	1.406	0.342	0.049	0.244
	ZC				1.200	1.500	1.874	0.642	0.069	0.343
	ZD				1.000	1.872	1.562	0.801	0.103	0.513
İstanbul	ZB	0.396	0.967	0.268	0.900	0.800	0.870	0.214	0.049	0.246
	ZC				1.200	1.500	1.160	0.402	0.069	0.346
	ZD				1.113	2.064	1.076	0.553	0.103	0.514
Van	ZB	0.266	0.628	0.161	0.900	0.800	0.565	0.129	0.046	0.228
	ZC				1.249	1.500	0.784	0.242	0.062	0.308
	ZD				1.298	2.278	0.815	0.367	0.090	0.450
Şanlıurfa	ZB	0.111	0.246	0.098	0.900	0.800	0.221	0.078	0.071	0.354
	ZC				1.300	1.500	0.320	0.147	0.092	0.460
	ZD				1.600	2.400	0.394	0.235	0.120	0.598
Kayseri	ZB	0.188	0.435	0.110	0.900	0.800	0.392	0.088	0.045	0.225
	ZC				1.300	1.500	0.566	0.165	0.058	0.292
	ZD				1.452	2.380	0.632	0.262	0.083	0.414
Ankara	ZB	0.149	0.344	0.122	0.900	0.800	0.310	0.098	0.063	0.315
	ZC				1.300	1.500	0.447	0.183	0.082	0.409
	ZD				1.525	2.356	0.525	0.287	0.110	0.548
Trabzon	ZB	0.202	0.467	0.120	0.900	0.800	0.420	0.096	0.046	0.228
	ZC				1.300	1.500	0.607	0.180	0.059	0.296
	ZD				1.426	2.360	0.666	0.283	0.085	0.425



Şekil 3. Farklı zemin ve şehirler için tasarım spektrumları.

Figure 3. Design spectra for different local soil classes and cities.

Örneğin İzmir ve Sakarya, DBYBHY'ye göre birinci derece deprem bölgesinde olduğundan, TBDY'ye göre elde edilen spektrumlar da DBYBHY'de 1. Derece deprem bölgesi ile birlikte verilmiştir. Şekilde soldan sağa doğru zemin sınıfı, (DBYBHY için Z1, Z2 ve Z3; TBDY için ZB, ZC ve ZD), yukarıdan aşağıya doğru ise DBYBHY'ye göre deprem bölgesi değişmektedir.

Şekil 3'te görüldüğü gibi çalışmada dikkate alınan tasarım spektrumları deprem bölgesi ve yerel zemin sınıflarına göre değişmektedir. Örneğin, Sakarya için TBDY'ye göre elde edilen tasarım spektrumu, ZB/Z1 zemin sınıfı için 0.6s ile 2.0s arasında (bu periyot aralığı çalışmada TSD sistemlerin periyot aralığıdır) 1. derece deprem bölgesine ait tasarım spektrumuna yakın iken, ZC/Z2 ve ZD/Z3 zemin sınıfı için 1. derece deprem bölgesine ait tasarım spektrumundan daha yüksek değerlere sahiptir. ZC/Z2 ve ZD/Z3 zemin sınıfları için Sakarya tasarım

spektrumu, periyot 0.6s'den 2.0s'ye doğru arttıkça 1. derece deprem bölgesine ait tasarım spektrumuna yaklaşmaktadır. Örneğin, ZC/Z2 zemin sınıfı için $T=0.6s$ 'de Sakarya tasarım spektrumunun 1. derece deprem bölgesine ait tasarım spektrumuna oranı 1.48 iken $T=0.8s$, $T=1.0s$, $T=1.2s$, $T=1.4s$, $T=1.6s$, $T=1.8s$ ve $T=2.0s$ için sırasıyla 1.40, 1.34, 1.29, 1.25, 1.22, 1.19 ve 1.16 olarak elde edilmiştir. İzmir için TBDY'ye göre elde edilen tasarım spektrumu, periyotun 0.6s ile 2.0s aralığında tüm zemin sınıfları için 1. derece deprem bölgesine ait tasarım spektrumundan daha düşüktür. İstanbul şehrine ait tasarım spektrumu, Z1/ZB zemin sınıfı için 2. derece deprem bölgesine ait tasarım spektrumundan daha düşük iken ZC/Z2 ve ZD/Z3 zemin sınıfı için 2. derece deprem bölgesine ait tasarım spektrumuna göre düşük periyot değerlerinde daha yüksek, yüksek periyot değerlerinde daha düşük elde edilmiştir. Örneğin, ZD/Z3 zemin sınıfında $T=0.6s$ 'de İstanbul tasarım spektrumunun 2. derece deprem bölgesine ait tasarım

spektrumuna oranı 1.23 iken $T=0.8s$, $T=1.0s$, $T=1.2s$, $T=1.4s$, $T=1.6s$, $T=1.8s$ ve $T=2.0s$ için sırasıyla 1.16, 1.11, 1.07, 1.04, 1.01, 0.99 ve 0.97'dir. Van için 0.6s ile 2.0s periyot aralığında 2. derece deprem bölgesine ait tasarım spektrumuna göre daha düşük tasarım spektrumu elde edilmiştir. Şanlıurfa ve Kayseri için elde edilen tasarım spektrumları tüm zemin sınıfları için 3. derece deprem bölgesine ait tasarım spektrumundan daha küçüktür. Son olarak Ankara ve Trabzon şehirlerine ait tasarım spektrumları, ZB/Z1 zemin sınıfı için 4. derece deprem bölgesine ait tasarım spektrumu ile nispeten birbirlerine yakın iken ZC/Z2 ve ZD/Z3 zemin sınıfı için 4. derece deprem bölgesine ait tasarım spektrumundan daha büyüktür. Bu şehirlerde, ZC/Z2 ve ZD/Z3 zemin sınıfları için tasarım spektrumları periyot 0.6s'den 2.0s'ye doğru arttıkça 4. derece deprem bölgesine ait tasarım spektrumuna daha da yaklaşmaktadır. Örneğin, ZC/Z2 zemin sınıfı için $T=0.6s$ 'de Ankara tasarım spektrumunun 4. derece deprem bölgesine ait tasarım spektrumuna oranı 1.69 iken $T=0.8s$, $T=1.0s$, $T=1.2s$, $T=1.4s$, $T=1.6s$, $T=1.8s$ ve $T=2.0s$ için bu oran sırasıyla 1.59, 1.53, 1.47, 1.42, 1.39, 1.35 ve 1.33 olarak elde edilmiştir.

4 TBDY ve DBYBHY ait ivme kaydı setleri ve özellikleri

Bu çalışmada, DBYBHY ve TBDY'ye göre ivme kaydı setleri, gerçek yer hareketi kayıtları kullanılarak oluşturulmuştur. Günümüzde gerçek ivme kayıtlarını içeren birçok ivme kaydı veri tabanı bulunmaktadır [19]-[21]. Bu veri tabanlarında ivme kayıtları maksimum yer ivmesi (PGA), deprem büyüklüğü (M_w), depremin kaydedildiği istasyona uzaklık (R) ve kayma dalgası hızı (V_{S30}) gibi sismik parametrelere göre sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada, 3 farklı veri tabanı (PEER [19], ESMD [20] ve RESORCE [21]) kullanılarak gerçek ivme kaydı kataloğu oluşturulmuştur. Katalogdaki kayıtların M_w değeri 5'ten büyük ve R değeri ise 10 km ile 60 km arasındadır. Sonuç olarak katalogta, ZB-Z1 zemin sınıfına ait 406 adet ivme kaydı, ZC-Z2 zemin sınıfına ait 2106 adet ivme kaydı ve ZD-Z3 zemin sınıfına ait 1564 adet ivme kaydı bulunmaktadır.

Tablo 1'de görüleceği gibi DBYBHY'ye göre ivme kaydı setine ait ortalama spektrum ile tasarım spektrumun oranı için alt sınır 0.90 olarak belirtilmiş ancak herhangi bir üst sınır verilmemiştir. Aynı durum TBDY için de geçerlidir. TBDY'ye göre ivme kaydı setine ait ortalama spektrum ile tasarım spektrumun oranı için alt sınır ise 1.00'dir. Bu çalışmada, ortalama spektrumun tasarım spektruma oranı için üst sınır DBYBHY ile uyumlu setler için 1.10, TBDY ile uyumlu setler için 1.20 olarak dikkate alınmış böylece tasarım spektrum ile ortalama spektrum arasındaki uyumun artması sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan TSD sistemlerin periyot değerleri 0.60s-2.0s arasında değiştiği için tasarım spektrum ile ortalama spektrum arasındaki uyumun kontrolü için kullanılacak periyot aralığı DBYBHY için 0.12s-4.00s ($0.2T-2.0T$), TBDY için ise 0.12s-3.00s ($0.2T-1.5T$) olarak dikkate alınmıştır.

Set içerisinde ivme kaydı çeşitliliğini arttırmak için herhangi bir kaydın X bileşeni kullanıldığında Y bileşeni kullanılmamış, Y bileşeni kullanıldığında ise X bileşeni kullanılmamıştır. İvme kaydı setleri elde edilirken ivme kaydı ölçek katsayısı 0.25-4.00 arasında tutulmuştur. İvme kaydı setlerinin üretilmesi için SpeCRS adlı program kullanılmıştır [22]. Tablo 3'te, DBYBHY (Z2 sınıfı zemin ile uyumlu ve 7 ivme kaydına sahip) ve TBDY'ye (ZC sınıfı zemin ile uyumlu ve 11 ivme kaydına sahip) göre İzmir şehri için elde edilen setlere birer örnek verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi her iki set için de ölçeklendirme katsayısı 0.25-4.00 arasındadır. Ayrıca, bir set içerisinde

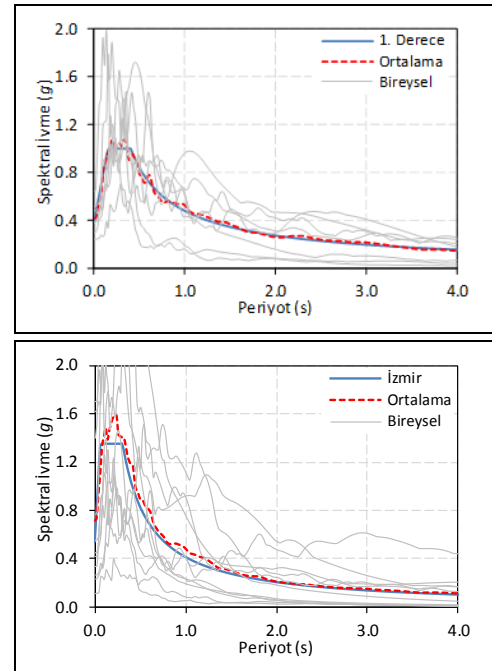
herhangi bir kaydın sadece bir bileşeni bulunmaktadır. Örneğin Z2 uyumlu sette 5813 No.lu kaydın X bileşeni (5813X) bulunurken aynı sette Y bileşeni (5813Y) bulunmamaktadır.

Tablo 3. İzmir için DBYBHY ve TBDY ile uyumlu ilk sette ait ivme kayıtlarının yatay bileşenleri ve ölçek katsayıları.

Table 3. Horizontal components and scaling factors of the first set compatible with DBYBHY and TBDY for Izmir.

Kayıt No	DBYBHY (Z2)		TBDY (ZC)	
	Kayıt	Ölçek	Kayıt	Ölçek
1	5813X	2.492	285Y	2.893
2	3744X	2.318	4858Y	3.697
3	15X	2.460	8709Y	3.489
4	1497X	2.113	5637X	1.878
5	3507Y	2.016	1642X	1.494
6	2655X	2.583	5663X	2.455
7	5267Y	1.404	5813X	1.629
8			4101X	1.747
9			3852Y	2.517
10			4314Y	2.331
11			4103Y	2.821

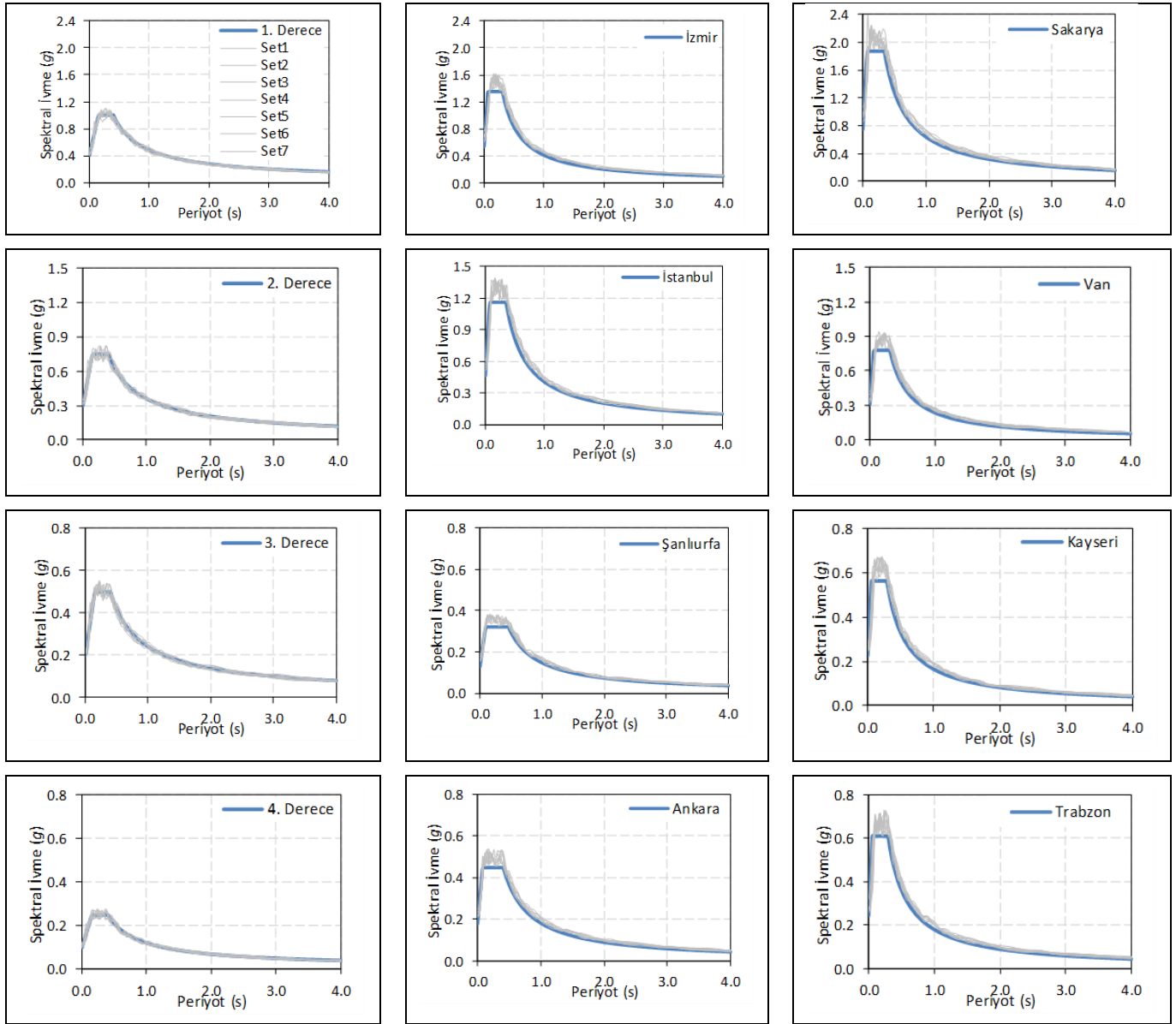
Şekil 4'te, Tablo 3'te verilen setlerdeki kayıtların bireysel spektrumları ile bu spektrumların ortalaması görülmektedir. İzmir şehri DBYBHY'ye göre birinci derece deprem bölgesinde olduğundan, solda verilen ve DBYBHY ile uyumlu tasarım spektrum 1. derece olarak adlandırılmıştır. Sağda görülen TBDY ile uyumlu tasarım spektrum ise İzmir olarak adlandırılmıştır. Her iki set için de ortalama spektrum ile ilgili tasarım spektrumları arasında iyi bir uyum sağlandığı görülmektedir.



Şekil 4. Örnek ivme setlerine ait bireysel ve ortalama spektrumlar.

Figure 4. Individual and mean spectra of sample ground motion record sets.

Şekil 5'te, TBDY için ZC sınıfı zemin ile ve DBYBHY için Z2 sınıfı zemin ile uyumlu olarak elde edilen tüm setlere ait ortalama spektrumlar ve tasarım spektrumlar, örnek olarak verilmiştir. Daha önce bahsedildiği gibi, her bir tasarım spektrum için 7 farklı ivme kaydı seti elde edilmiştir.



Şekil 5. Tüm setlere ait ortalama spektrumlar (Z2-ZC zemin).

Figure 5. Mean spectra of all sets (Z2-ZC local soil class).

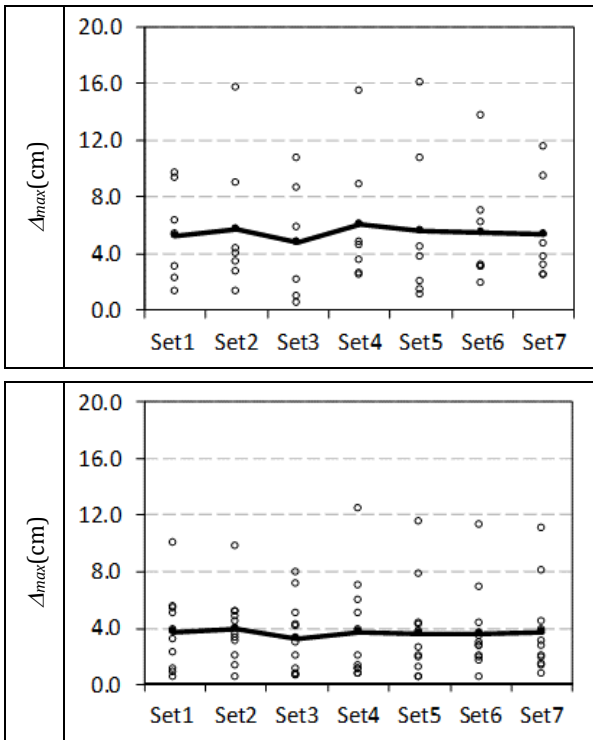
DBYBHY'ye göre ivme setlerinin elde edilmesi amacıyla dikkate alınan tasarım spektrumlar, ilgili şehirlerin hangi deprem bölgesinde olduğunu belirten etiket ile (1. derece, 2. derece, 3. derece veya 4. derece) temsil edilirken, TBDY'ye göre ivme setlerinin elde edilmesi amacıyla dikkate alınan tasarım spektrumları ise şehirlerin adı ile isimlendirilmiştir. Şekil 5'te verilen tüm tasarım spektrumları için, elde edilen ivme setlerine ait ortalama spektrumun ilgili tasarım spektrum ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ortalama spektrumların tasarım spektrumlarına oranı DBYBHY için 0.12s-4.00s periyot aralığında 0.90 ile 1.10 arasında iken TBDY için ise 0.12s-3.00s periyot aralığında 1.00 ile 1.20 aralığındadır. Z1-ZB ve Z3-ZD zemin sınıfları için de ayrı ayrı 7'şer farklı ivme kaydı seti elde edilmiş ancak tekrara düşmemek için bu zemin sınıfları için elde edilen setlere ait spektrumlar verilmemiştir. Ancak okuyucular istediği takdirde yazardan diğer zemin sınıfları için elde edilen setlere ait bilgileri elde edebilirler.

5 Doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları

Bu çalışmada, 8 farklı periyot (T) ve 9 farklı yatay dayanım oranı (F_y/W) için toplam 72 farklı TSD sistem kullanılmıştır. TSD sistemlerin doğrusal olmayan dinamik analizleri için, 36 farklı tasarım spektrumunun (DBYBHY'ye göre dört farklı deprem bölgesi ve üç farklı yerel zemin sınıfı için 12 adet, TBDY'ye göre sekiz farklı şehir ve üç farklı yerel zemin sınıfı için 24 adet) her biri ile uyumlu 7'şer ivme kaydı seti kullanılmıştır. Yani DBYBHY ile uyumlu 84, TBDY ile uyumlu 168 ivme kaydı seti kullanılmıştır. DBYBHY ile uyumlu bir sette yedi ivme kaydı, TBDY ile uyumlu bir sette ise 11 ivme kaydı bulunmaktadır. Buna göre, DBYBHY ile uyumlu $84 \times 7 \times 72 = 42,336$ adet ve TBDY ile uyumlu $168 \times 11 \times 72 = 133,056$ adet doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmıştır.

Analizler ile ivme kaydı setlerinde yer alan her bir ivme kaydı için maksimum ötelenme talebi (Δ_{mak}) ve kalıcı ötelenme talebi (Δ_{res}) elde edilmiştir. DBYBHY ve TBDY'ye göre yapısal tepkilerin sete ait ortalaması dikkate alınmaktadır. Bu nedenle, her bir set için kayıtlardan elde edilen maksimum ve kalıcı ötelenme taleplerinin ortalaması ($m_{(\Delta_{mak})}$ ve $m_{(\Delta_{res})}$) hesaplanmıştır. Son olarak, aynı tasarım spektrumla uyumlu yedi farklı set için hesaplanan $m_{(\Delta_{mak})}$ ve $m_{(\Delta_{res})}$ değerlerinin ortalaması ($\mu_{m(\Delta_{mak})}$ ve $\mu_{m(\Delta_{res})}$) ayrı ayrı hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

Şekil 6'da, seçilen bir TSD sistem ($T=0.6s$ ve $F_y/W=0.5$) için setlerdeki ivme kayıtlarına ait Δ_{mak} değerleri ve setlere ait $m_{(\Delta_{mak})}$ değerleri örnek olarak verilmiştir. Şekil 6'da, İzmir şehri için elde edilen ivme setleri kullanılmıştır. Görüldüğü gibi, her bir set için farklı Δ_{mak} değerleri elde edilmiştir. Örneğin, DBYBHY-Z1 için Set1'e ait Δ_{mak} değerleri 1.38, 3.02, 9.62, 5.32, 2.21, 6.28 ve 9.31 cm olarak elde edilmiş, Δ_{mak} değerlerinin ortalaması ($m_{(\Delta_{mak})}$) ise 5.31 cm olarak hesaplanmıştır. DBYBHY-Z1 için yedi farklı sete ait $m_{(\Delta_{mak})}$ değerleri 5.31, 5.77, 4.77, 6.02, 5.66, 5.44 ve 5.38 cm olarak elde edilmiştir. Bu değerlerin ortalaması da ($\mu_{m(\Delta_{mak})}$) 5.43 cm bulunmuştur. TBDY-ZB için $\mu_{m(\Delta_{mak})}$ ise 3.65 cm hesaplanmıştır.

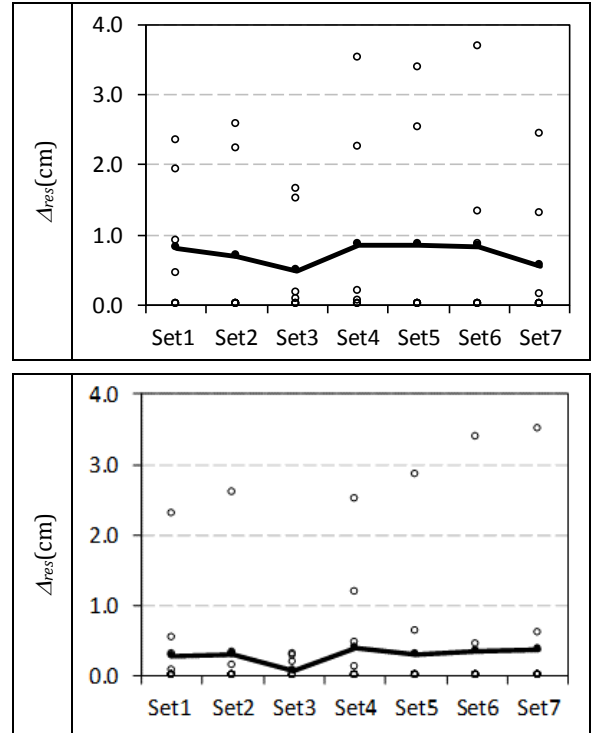


Şekil 6. Seçilen örnek setlere ait Δ_{mak} ve $m_{(\Delta_{mak})}$ değerleri (üst: DBYBHY-Z1 ve alt: TBDY-ZB).

Figure 6. Δ_{max} and $m_{(\Delta_{mak})}$ values of selected sample sets (left: TEC-Z1 and right: TBEC-ZB).

Şekil 7'de, aynı TSD sistem ($T=0.6s$ ve $F_y/W=0.5$) için setlerdeki ivme kayıtlarına ait Δ_{res} değerleri ve setlere ait $m_{(\Delta_{res})}$ değerleri örnek olarak verilmiştir. Şekil 7 için de Şekil 6'da olduğu gibi İzmir şehri için elde edilen ivme setleri kullanılmıştır. Şekil 7'ye göre, kalıcı ötelenme talepleri de her bir set için farklı değerler almaktadır. Bazı ivme kayıtları için kalıcı ötelenmenin gözlenmediği de ($\Delta_{res}=0$) görülmektedir. TBDY-ZB için yedi

farklı sete ait $m_{(\Delta_{res})}$ değerleri 0.29, 0.31, 0.07, 0.39, 0.32, 0.35 ve 0.37 cm olarak elde edilmiştir. Bu değerlerin ortalaması da ($\mu_{m(\Delta_{res})}$) 0.30 cm olarak bulunmuştur. DBYBHY-Z1 için $\mu_{m(\Delta_{res})}$ ise 0.72 cm olarak hesaplanmıştır.

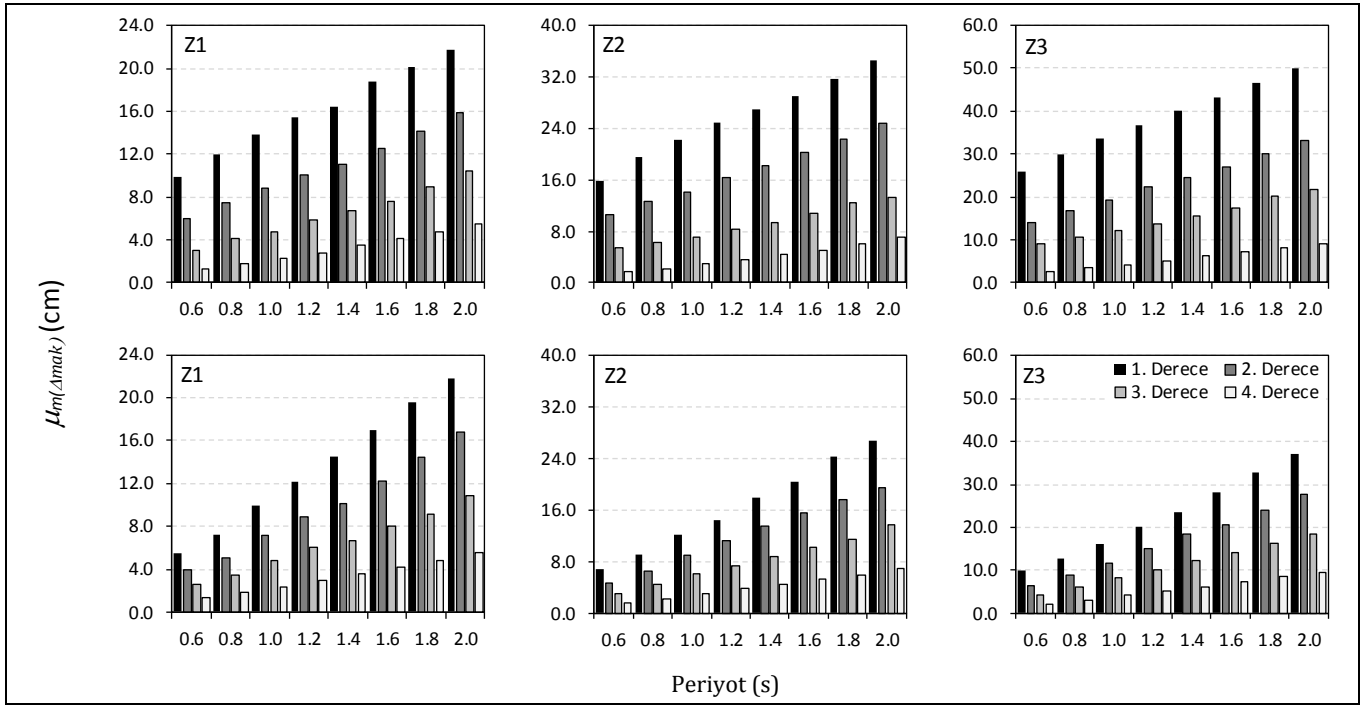


Şekil 7. Seçilen örnek setlere ait Δ_{res} ve $m_{(\Delta_{res})}$ değerleri (Üst: DBYBHY-Z1 ve Alt: TBDY-ZB).

Figure 7. Δ_{res} and $m_{(\Delta_{res})}$ values of selected sample sets (top: TEC-Z1 and bottom: TBEC-ZB).

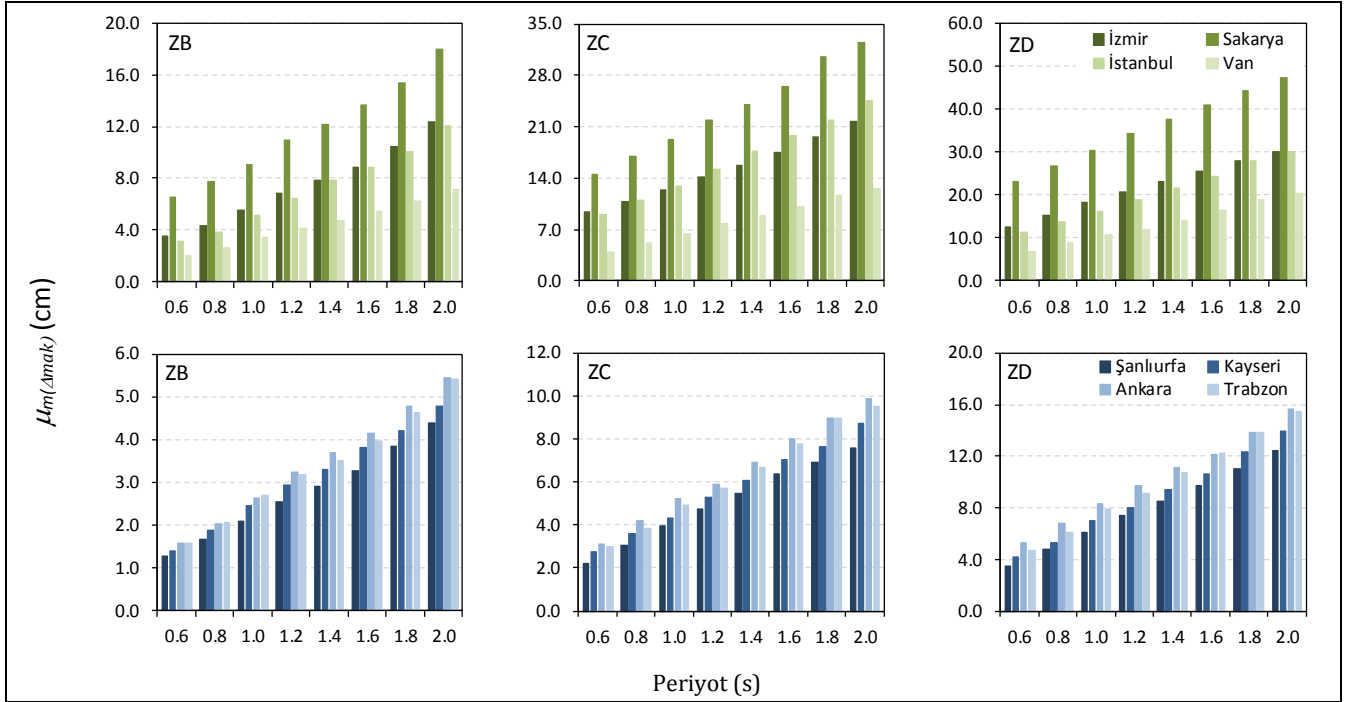
Şekil 8'de DBYBHY ile uyumlu setler kullanılarak elde edilen $\mu_{m(\Delta_{mak})}$ değerleri en düşük ve en yüksek yatay dayanım oranına sahip TSD sistemler için ($F_y/W=0.10$ ve $F_y/W=0.50$) verilmiştir. Görüldüğü gibi, zemin sınıfı Z1'den Z3'e geçtikçe ve periyot arttıkça maksimum ötelenme talepleri artmakta, deprem bölgesi birinci dereceden dördüncü dereceye geçtikçe maksimum ötelenme talepleri azalmaktadır. Örneğin Z1 için, $T=0.6s$ ve $F_y/W=0.10$ olan TSD sisteme ait $\mu_{m(\Delta_{mak})}$ değerleri birinci derece deprem bölgesinden dördüncü derece deprem bölgesine doğru sırasıyla 9.81, 5.94, 3.00 ve 1.28 cm olarak hesaplanmıştır. Aynı zemin sınıfı ve F_y/W için $T=2.0s$ olduğunda bu değerler 21.73, 15.85, 10.38 ve 5.50 cm olmaktadır.

Şekil 9'da TBDY'ye göre 8 farklı şehir için $\mu_{m(\Delta_{mak})}$ değerleri sadece $F_y/W=0.25$ için verilmiştir. Bölüm 3.2'de de belirttiği üzere, DBYBHY'ye göre İzmir ve Sakarya birinci derece deprem bölgesinde, İstanbul ve Van ikinci derece deprem bölgesinde, Şanlıurfa ve Kayseri üçüncü derece deprem bölgesinde ve Ankara ve Trabzon ise dördüncü derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Şekil 9'a göre, İzmir ve Sakarya DBYBHY'ye göre birinci derece deprem bölgesinde olmasına rağmen TBDY'ye göre farklı $\mu_{m(\Delta_{mak})}$ değerleri elde edilmiştir. Bunun sebebi, bu iller için TBDY'ye göre tanımlanan tasarım spektrumlarının farklı olmasıdır. Örneğin, ZB zemin sınıfı için $T=1.0s$ ve $F_y/W=0.25$ olduğunda elde edilen $\mu_{m(\Delta_{mak})}$ değerleri İzmir ve Sakarya için sırasıyla 5.49 ve 9.07 cm'dir. Bu durum tüm periyot ve yerel zemin sınıfları için de geçerlidir.



Şekil 8. DBYBHY ile uyumlu setler için elde edilen $\mu_{m(\Delta mak)}$ değerleri (üstte $F_y/W=0.10$ ve altta $F_y/W=0.50$).

Figure 8. $\mu_{m(\Delta max)}$ values obtained for sets compatible with TEC (Top= $F_y/W=0.10$ and Bottom= $F_y/W=0.50$).



Şekil 9. TBDY ile uyumlu setler için elde edilen $\mu_{m(\Delta mak)}$ değerleri ($F_y/W=0.25$).

Figure 9. $\mu_{m(\Delta max)}$ values obtained for sets compatible with TBEC ($F_y/W=0.25$).

Benzer şekilde, ikisi de DBYBHY'ye göre 2. derece deprem bölgesinde bulunan İstanbul ve Van için elde edilen $\mu_{m(\Delta mak)}$ değerleri de birbirinden farklıdır. Ek olarak, Şanlıurfa ve Kayseri illeri DBYBHY'ye göre 3. derece deprem bölgesinde bulunmasına rağmen elde edilen, bu iller için hesaplanan $\mu_{m(\Delta mak)}$ değerleri, DBYBHY'ye göre 4. derece deprem

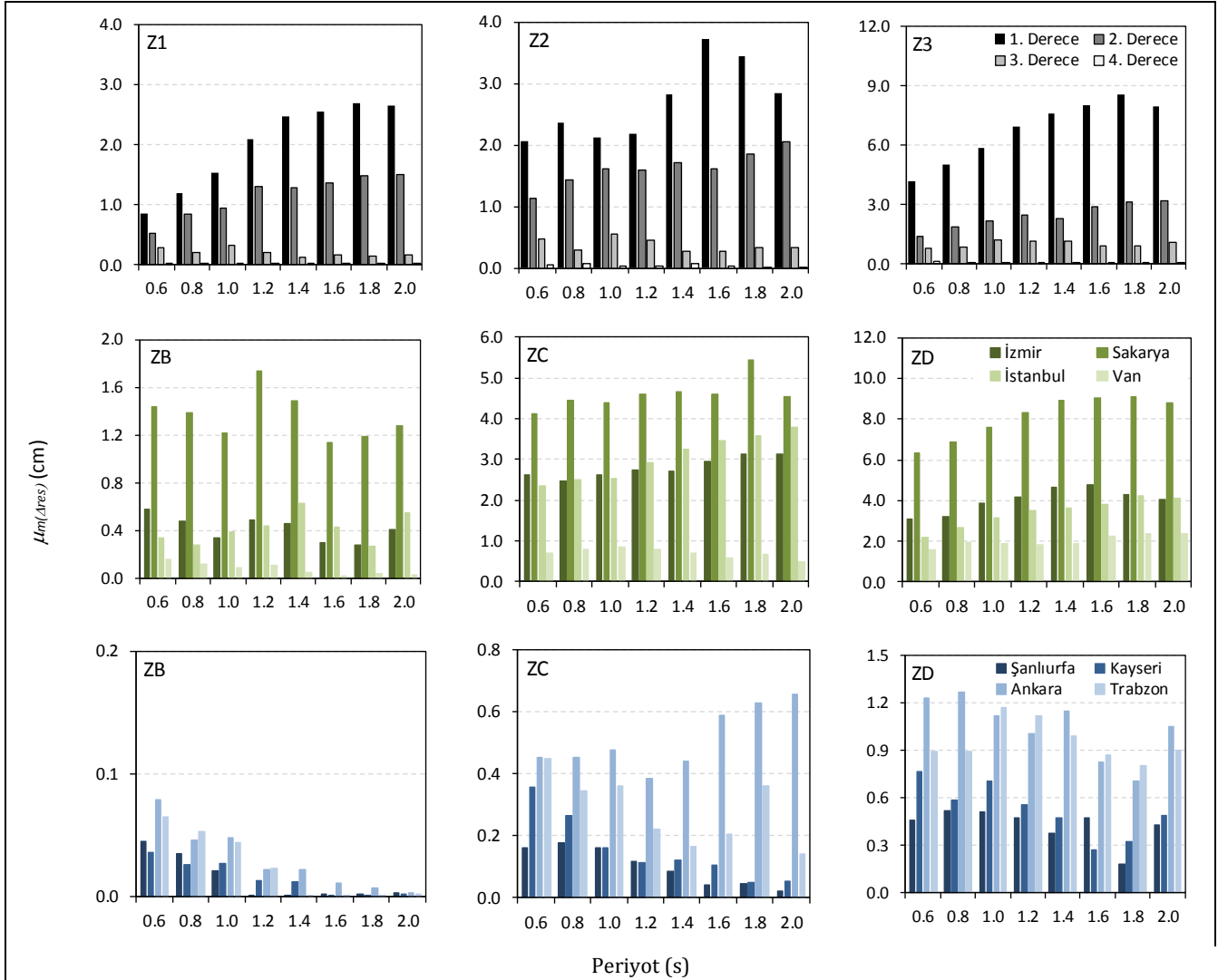
bölgesinde bulunan Ankara ve Trabzon illerine göre daha düşüktür. Bu durum da, tüm periyot ve zemin sınıfı içinde geçerlidir. Bu durum, TBDY'ye göre tasarım spektrumu değişiminin önemli bir etkisidir. Şanlıurfa ile Kayseri ve Ankara ile Trabzon karşılaştırıldığında ise elde edilen $\mu_{m(\Delta mak)}$ değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Örneğin, ZC zemin sınıfı için, $T=1.0s$ ve $F_y/W=0.25$ olduğunda elde edilen $\mu_{m(\Delta mak)}$ değerleri Şanlıurfa ile Kayseri için sırasıyla 3.96 ve 4.35 cm iken Ankara ve Trabzon için sırasıyla 5.20 ve 4.95 cm olarak elde edilmiştir.

Şekil 10'da DBYBHY'ye göre dört farklı deprem bölgesi ve TBDY'ye göre 8 farklı şehir için $\mu_{m(\Delta res)}$ değerleri sadece $F_y/W=0.25$ için verilmiştir. Görüldüğü gibi DBYBHY'ye göre $\mu_{m(\Delta res)}$ değerleri birinci derece deprem bölgesinden 4. derece deprem bölgesine doğru azaldığı görülmektedir. Örneğin Z2 zemin sınıfı için, $T=1.0s$ ve $F_y/W=0.25$ olduğunda elde edilen $\mu_{m(\Delta res)}$ değerleri birinci derece deprem bölgesinden 4. derece deprem bölgesine doğru sırasıyla 1.54, 0.94, 0.32 ve 0.02 cm iken $T=2.0s$ olduğunda elde edilen değerler 2.66, 1.51, 0.16 ve 0.00 cm'dir. DBYBHY için verilen $\mu_{m(\Delta res)}$ değerleri Z1 zemin sınıfından Z3 zemin sınıfına doğru da artmaktadır. Bu sonuçlar tüm periyot ve yatay dayanım oranları için geçerlidir. Benzer şekilde, TBDY'ye göre elde edilen $\mu_{m(\Delta res)}$ değerleri de ZB zemin sınıfından ZD zemin sınıfına doğru artmaktadır. İzmir ve Sakarya illeri DBYBHY'ye göre birinci derece deprem bölgesinde olmasına rağmen, TBDY'ye göre elde edilen $\mu_{m(\Delta res)}$

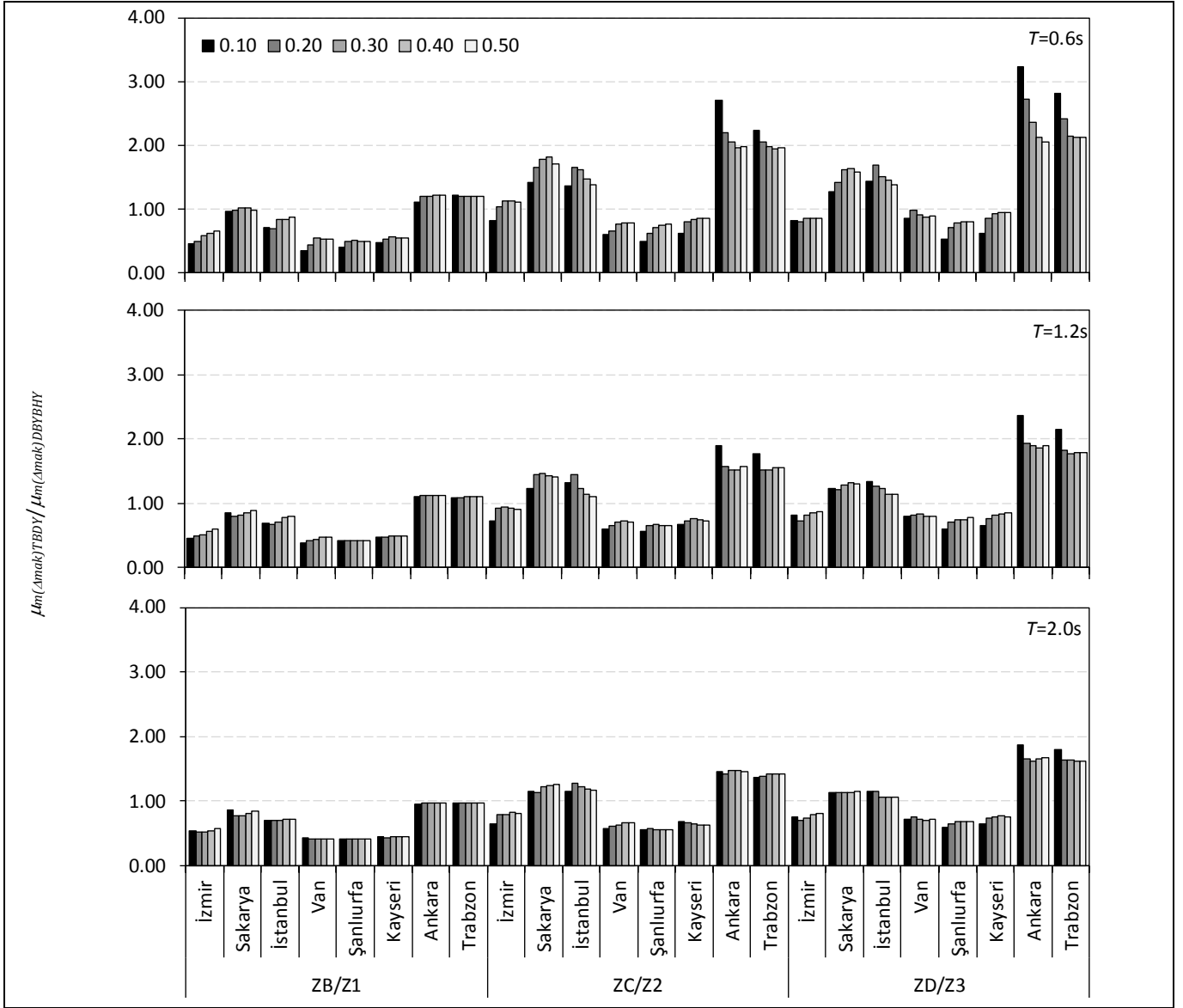
değerleri farklıdır. Örneğin, ZB zemin sınıfı için, $T=1.0s$ ve $F_y/W=0.25$ olduğunda elde edilen $\mu_{m(\Delta)}$ değerleri İzmir ve Sakarya için sırasıyla 0.34 ve 1.21 cm iken $T=2.0s$ olduğunda bu değerler 0.41 ve 1.28 cm olarak elde edilmiştir.

Şekil 11'de TBDY ve DBYBHY için elde edilen $\mu_{m(\Delta mak)}$ değerlerinin birbirine oranı üç farklı periyot değeri için (0.6s, 1.2s ve 2.0s) verilmiştir. Şekil 11'de görüldüğü gibi $\mu_{m(\Delta mak)TBDY}/\mu_{m(\Delta mak)DBYBHY}$ oranları zemin sınıfına, şehirlere ve TSD sistemin periyoduna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. ZB/Z1 zemin sınıfı için bakıldığında, Ankara ve Trabzon şehirleri dışındaki tüm şehirlerde $\mu_{m(\Delta mak)TBDY}/\mu_{m(\Delta mak)DBYBHY}$ oranının 1.00'den düşük olduğu görülmüştür. Yani tasarım spektrumunun tanımındaki farklılık, ötelenme taleplerinin azalmasına yol açmıştır. ZC/Z2 zemin sınıfı dikkate alındığında, periyoda bağlı olarak bazı şehirlerde $\mu_{m(\Delta mak)TBDY}/\mu_{m(\Delta mak)DBYBHY}$ oranının birden büyük, bazı şehirlerde ise birden küçük olduğu görülmüştür. ZD/Z3 zemin sınıfına benzer şekilde, ZD/Z3 sınıfı zemin için de $\mu_{m(\Delta mak)TBDY}/\mu_{m(\Delta mak)DBYBHY}$ oranının bazı şehirler için birden büyük, bazı şehirler için ise birden küçük olduğu gözlenmiştir.



Şekil 10. DBYBHY ve TBDY ile uyumlu setleri için elde edilen $\mu_{m(\Delta res)}$ değerleri ($F_y/W=0.25$).

Figure 10. $\mu_{m(\Delta res)}$ values obtained for sets compatible with TEC and TBEC ($F_y/W=0.25$).



Şekil 11. $\mu_m(\Delta mak)TBDY / \mu_m(\Delta mak)DBYBHY$ oranı değerleri.

Figure 11. $\mu_m(\Delta max)TBDY / \mu_m(\Delta max)DBYBHY$ ratio values.

$\mu_m(\Delta mak)TBDY / \mu_m(\Delta mak)DBYBHY$ oranları, TSD sistemlerin tüm periyot değerleri ile $F_y/W=0.10$ ve 0.50 değerleri için Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde, ZC/Z2 ve ZD/Z3 zemin sınıfları için Ankara ve Trabzon şehirlerine (DBYBHY'ye göre 4. derece deprem bölgesi) ait $\mu_m(\Delta mak)TBDY / \mu_m(\Delta mak)DBYBHY$ oranlarının 1.0'den büyük olduğu görülmektedir. Bu şehirler için ZB/Z1 zemin sınıfı ele alındığında, oranların minimum değeri 0.94 ve maksimum değeri 1.23'tür. Aynı şehirler için ZC/Z2 ve ZD/Z3 zemin sınıfı ele alındığında ise oranların minimum ve maksimum değeri sırasıyla 1.37-2.71 ve 1.58-3.23 olarak elde edilmiştir.

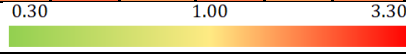
Bölüm 3'te belirttiği üzere Ankara ve Trabzon için, TBDY ve DBYBHY'ye göre elde edilen tasarım spektrumlarının hem zeminler hem de periyotlar için farklı olması, $\mu_m(\Delta mak)TBDY / \mu_m(\Delta mak)DBYBHY$ oranlarının da farklı olmasına yol açmıştır. Ankara ve Trabzon hariç diğer şehirlerde $\mu_m(\Delta mak)TBDY / \mu_m(\Delta mak)DBYBHY$ oranlarının ZB/Z1 zemin sınıfı için 1.0'den düşük olduğu görülmektedir. Ek olarak, ZC-Z2 ve ZD-

Z3 zemin sınıfları için Sakarya ve İstanbul şehirlerine ait $\mu_m(\Delta mak)TBDY / \mu_m(\Delta mak)DBYBHY$ oranları 1.0'den büyüktür. Örneğin, Sakarya ve İstanbul için ZC/Z2 zemin sınıfına ait $\mu_m(\Delta mak)TBDY / \mu_m(\Delta mak)DBYBHY$ oranlarının minimum ve maksimum değeri 1.10 ve 1.57 iken ZD/Z3 zemin sınıfına ait minimum ve maksimum oran ise 1.06 ve 1.59 olarak elde edilmiştir. İzmir, Van, Şanlıurfa ve Kayseri şehirleri için elde edilen $\mu_m(\Delta mak)TBDY / \mu_m(\Delta mak)DBYBHY$ oranları genel olarak 1.0'den küçüktür. Tablo 4'te periyot değerlerinin etkisi incelendiğinde, Ankara ve Trabzon illeri için periyot değeri arttıkça tüm zemin sınıflarında $\mu_m(\Delta mak)TBDY / \mu_m(\Delta mak)DBYBHY$ oranlarının azaldığı, Sakarya ve İstanbul illerinde ZB/Z1 zemin sınıfı dışındaki zemin sınıfları için oranların azaldığı görülmüştür. İzmir, Van, Şanlıurfa ve Kayseri illerinde ise periyodun artmasının $\mu_m(\Delta mak)TBDY / \mu_m(\Delta mak)DBYBHY$ oranları üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

Tablo 4. TSD sistemin farklı T ve F_y/W değerlerine göre $\mu_{m(\Delta mak)TBDY}/\mu_{m(\Delta mak)DBYBHY}$ değerleri.

Table 4. $\mu_{m(\Delta max)TBEC}/\mu_{m(\Delta max)TEC}$ values according to different T and F_y/W values of the TSD system.

Zemin	T	0.6s		0.8s		1.0s		1.2s		1.4s		1.6s		1.8s		2.0s	
	F_y/W	0.10	0.50	0.10	0.50	0.10	0.50	0.10	0.50	0.10	0.50	0.10	0.50	0.10	0.50	0.10	0.50
ZB/Z1	İzmir	0.45	0.67	0.45	0.65	0.45	0.60	0.46	0.60	0.49	0.56	0.50	0.53	0.53	0.54	0.54	0.57
	Sakarya	0.96	0.99	0.92	0.99	0.89	0.93	0.85	0.89	0.86	0.84	0.83	0.83	0.85	0.82	0.86	0.85
	İstanbul	0.72	0.87	0.68	0.87	0.67	0.79	0.69	0.79	0.71	0.79	0.72	0.73	0.71	0.72	0.69	0.72
	Van	0.35	0.54	0.36	0.55	0.37	0.48	0.39	0.48	0.40	0.47	0.41	0.44	0.43	0.43	0.43	0.42
	Şanlıurfa	0.40	0.50	0.38	0.50	0.41	0.44	0.42	0.42	0.42	0.43	0.43	0.41	0.42	0.42	0.41	0.41
	Kayseri	0.47	0.55	0.46	0.55	0.50	0.51	0.47	0.48	0.48	0.49	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44
	Ankara	1.11	1.22	1.08	1.19	1.10	1.10	1.10	1.12	1.02	1.03	0.98	0.98	0.98	1.00	0.95	0.98
	Trabzon	1.23	1.21	1.17	1.16	1.17	1.13	1.09	1.10	1.00	0.99	0.95	0.94	0.97	0.97	0.97	0.97
ZC/Z2	İzmir	0.82	1.12	0.77	1.02	0.75	0.92	0.73	0.91	0.70	0.85	0.69	0.84	0.67	0.79	0.64	0.81
	Sakarya	1.42	1.71	1.33	1.63	1.27	1.45	1.23	1.41	1.22	1.30	1.22	1.30	1.18	1.23	1.15	1.27
	İstanbul	1.37	1.38	1.36	1.30	1.39	1.20	1.32	1.10	1.27	1.10	1.24	1.14	1.20	1.15	1.15	1.17
	Van	0.60	0.78	0.58	0.75	0.59	0.71	0.60	0.71	0.61	0.69	0.62	0.66	0.60	0.66	0.58	0.66
	Şanlıurfa	0.50	0.76	0.52	0.70	0.54	0.66	0.56	0.66	0.58	0.63	0.59	0.63	0.55	0.60	0.56	0.55
	Kayseri	0.62	0.86	0.65	0.81	0.66	0.75	0.67	0.73	0.69	0.70	0.70	0.70	0.67	0.67	0.69	0.63
	Ankara	2.71	1.98	2.43	1.75	2.14	1.68	1.89	1.56	1.74	1.53	1.74	1.49	1.57	1.49	1.46	1.46
	Trabzon	2.24	1.96	2.03	1.69	1.80	1.69	1.76	1.55	1.65	1.51	1.61	1.49	1.45	1.50	1.37	1.42
ZD/Z3	İzmir	0.82	0.86	0.82	0.92	0.81	0.91	0.81	0.88	0.81	0.87	0.79	0.84	0.77	0.84	0.76	0.81
	Sakarya	1.28	1.59	1.26	1.52	1.24	1.39	1.22	1.30	1.20	1.26	1.18	1.22	1.15	1.17	1.13	1.15
	İstanbul	1.45	1.38	1.42	1.30	1.38	1.19	1.33	1.15	1.32	1.06	1.27	1.08	1.21	1.08	1.16	1.06
	Van	0.86	0.90	0.85	0.89	0.83	0.84	0.80	0.79	0.81	0.71	0.79	0.75	0.75	0.75	0.72	0.71
	Şanlıurfa	0.53	0.81	0.56	0.80	0.57	0.77	0.61	0.77	0.60	0.71	0.60	0.69	0.59	0.71	0.59	0.68
	Kayseri	0.62	0.96	0.62	0.89	0.61	0.90	0.65	0.85	0.65	0.79	0.65	0.78	0.63	0.78	0.64	0.76
	Ankara	3.23	2.05	2.84	1.95	2.60	1.91	2.37	1.89	2.17	1.79	1.99	1.72	1.94	1.65	1.88	1.66
	Trabzon	2.82	2.12	2.48	1.97	2.35	1.82	2.15	1.79	1.99	1.71	1.86	1.66	1.82	1.58	1.80	1.61



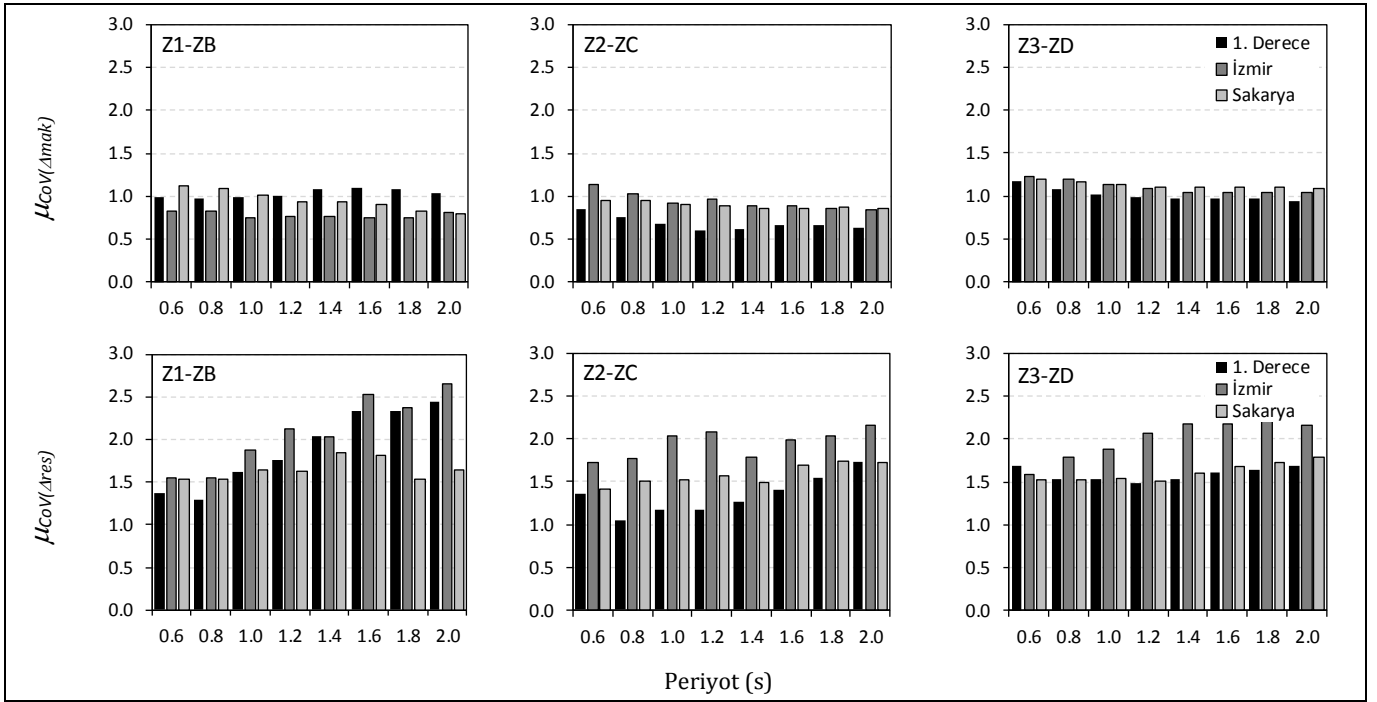
Bu çalışmada, ivme kaydı setleri için elde edilen maksimum ve kalıcı ötelenme taleplerinin saçılımları da karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, her bir ivme kaydı seti için, kayıtlardan elde edilen ötelenme taleplerinin saçılımın temsil eden $CoV_{(\Delta mak)}$ ve $CoV_{(\Delta res)}$ değerleri elde edilmiştir. Daha sonra aynı tasarım spektrumla uyumlu 7 farklı ivme kaydı setine ait $CoV_{(\Delta mak)}$ ve $CoV_{(\Delta res)}$ değerlerinin ortalaması alınarak $\mu_{CoV(\Delta mak)}$ ve $\mu_{CoV(\Delta res)}$ değerleri elde edilmiştir. Şekil 12'de İzmir ve Sakarya şehirleri için DBYBHY (birinci derece deprem bölgesi) ve TBDY'ye ait $\mu_{CoV(\Delta mak)}$ ve $\mu_{CoV(\Delta res)}$ değerleri örnek olarak verilmiştir. Şekil 12'ye göre, $\mu_{CoV(\Delta mak)}$ değerlerinin her iki yönetmelik için de yüksek olduğu görülmektedir. Örneğin, $\mu_{CoV(\Delta mak)}$ değerleri Z1-ZB için 0.75-1.11, Z2-ZC için 0.60-1.14 ve Z3-ZD için ise 0.94-1.23 arasında elde edilmiştir. $\mu_{CoV(\Delta res)}$ değerlerinin ise, $\mu_{CoV(\Delta mak)}$ değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. $\mu_{CoV(\Delta res)}$ değerleri Z1-ZB için 1.29-2.65, Z2-ZC için 1.05-2.16 ve Z3-ZD için ise 1.49-2.22 arasında değişmektedir.

6 Sonuçlar

Bu çalışmada, DBYBHY ile TBDY'de tanımlanan tasarım spektrumları arasındaki farklılık değerlendirilmiş ve bu farklılığın doğrusal olmayan dinamik analizlerden elde edilen sonuçlara etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, DBYBHY'ye göre

dört farklı deprem bölgesi ve üç farklı zemin sınıfı için toplam 12 tasarım spektrumu, TBDY'ye göre sekiz farklı konum ve üç farklı zemin sınıfı için toplam 24 tasarım spektrumu elde edilmiştir. Elde edilen 36 tasarım spektrumunun her biri ile uyumlu 7'şer ivme kaydı seti, toplamda 252 (36x7) ivme kaydı seti elde edilmiş ve dinamik analizler için kullanılmıştır. DBYBHY ile uyumlu $84 \times 7 \times 7 = 42,336$ ($12 \times 7 = 84$ adet ivme kaydı seti, her bir sette bulunan kayıt sayısı 7 ve 72 adet TSD sistem), TBDY ile uyumlu ise $168 \times 11 \times 7 = 133,056$ ($24 \times 7 = 168$ adet ivme kaydı seti, her bir sette bulunan kayıt sayısı 11 ve 72 adet TSD sistem) adet doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- TBDY ile DBYBHY'ye ait tasarım spektrumları karşılaştırıldığında, spektrum değerlerinin hem zemin sınıfına göre hem de şehirlere göre değiştiği görülmüştür. Örneğin, Sakarya, Ankara ve Trabzon için TBDY'ye göre elde edilen tasarım spektrumu DBYBHY'den elde edilen tasarım spektrumuna oranı 1.5'e kadar yükselmektedir. İzmir, Van, Kayseri ve Şanlıurfa illeri için TBDY ile uyumlu spektrumların, DBYBHY ile uyumlu spektrumlardan daha düşük gözlenmiştir,



Şekil 12. İzmir ve Sakarya şehirleri için $\mu_{CoV(\Delta_{max})}$ ve $\mu_{CoV(\Delta_{res})}$ değerleri ($F_y/W=0.25$).

Figure 12. $\mu_{CoV(\Delta_{max})}$ ve $\mu_{CoV(\Delta_{res})}$ values for İzmir and Sakarya cities ($F_y/W=0.25$).

- DBYBHY'ye göre elde edilen maksimum ötelenme ve kalıcı ötelenme talepleri Z1'den Z3'e doğru artmakta ve birinci derece deprem bölgesinden dördüncü derece deprem bölgesine doğru azalmaktadır. TBDY'ye göre 8 farklı şehir için (DBYBHY'ye göre aynı deprem bölgesinde olmasına rağmen) farklı ötelenme talepleri elde edilmiş ve ötelenme taleplerinin ZB'den ZD'ye doğru arttığı görülmüştür,
- TBDY ile elde edilen maksimum ötelenme taleplerinin DBYBHY ile elde edilen maksimum ötelenme taleplerine oranı ($\mu_m(\Delta_{max})_{TBDY} / \mu_m(\Delta_{max})_{DBYBHY}$) zemin sınıfına, dikkate alınan şehire ve TSD sistemin periyot değerlerine göre değişiklik göstermektedir. Örneğin, Ankara ve Trabzon şehirlerine ait ($\mu_m(\Delta_{max})_{TBDY} / \mu_m(\Delta_{max})_{DBYBHY}$ oranı ZB/Z1, ZC/Z2 ve ZD/Z3 zemin sınıfları için maksimum değerleri sırasıyla 1.23, 2.71 ve 3.23 olarak elde edilmiştir. İzmir, Van, Şanlıurfa ve Kayseri şehirleri için ise elde edilen ($\mu_m(\Delta_{max})_{TBDY} / \mu_m(\Delta_{max})_{DBYBHY}$ değerleri genel olarak 1.00'den küçüktür. Özet olarak, ötelenme taleplerindeki artma veya azalma, %50'nin de üzerine çıkabilmektedir,
- Maksimum ötelenme ve kalıcı ötelenme taleplerine ait set içi saçılımlar incelendiğinde hem DBYBHY hem de TBDY için yüksek saçılım değerleri elde edilmiştir. Saçılımı temsil eden varyasyon katsayısının değeri, maksimum ötelenme talepleri için 1.23'e, kalıcı ötelenme talepleri için 2.65'e kadar yükselmektedir.

7 Conclusions

In this study, the difference between design spectra defined in TEC and TBEC was evaluated and the effect of this difference on the results obtained from nonlinear dynamic analyzes was investigated. For this purpose, a total of 12 design spectra were

obtained for four different earthquake zones and three different local soil classes according to TEC, and a total of 24 design spectra for eight different locations in Turkey and also three different soil classes according to TBEC. 7 different ground motion record sets compatible with each of the 36 design spectra were used. A total of 252 (36x7) ground motion record sets were obtained and used for dynamic analysis. 84x7x72=42,336 (12x7=84 ground motion record sets; each set has 7 records and 72 TSD systems) dynamic analysis was conducted according to TEC. 168*11*72=133,056 (24x7=168 ground motion record sets; each set has 11 records and 72 TSD systems) dynamic analyzes were performed according to TBEC. The results obtained in the study can be summarized as follows:

- When the design spectra of TBEC and TEC were compared, it was seen that the spectrum values changed both according to the local soil classes and the cities. For example, for Sakarya, Ankara and Trabzon, the ratio of the design spectrum obtained according to TBDY to the design spectrum obtained from DBYBHY increases up to 1.5. It was observed that the design spectra compatible with TBEC for İzmir, Van, Kayseri and Şanlıurfa cities were lower than the design spectra compatible with TEC,
- According to TEC, the maximum and residual drift demands have increased from Z1 to Z3 and have decreased from the first-degree seismic zone to the fourth-degree seismic zone. According to TBEC, different drift demands were obtained for 8 different cities (although they are in the same earthquake zone according to DBYBHY) and drift demands have increased from ZB to ZD,
- The ratio of the maximum drift demands obtained with TBEC to the maximum drift demands obtained with TEC $\mu_m(\Delta_{max})_{TBEC} / \mu_m(\Delta_{max})_{TEC}$ is varied according to the soil classes, the cities and the period values of the

TSD system. For example, the maximum values of $\mu_{m(\Delta_{max})TBEC}/\mu_{m(\Delta_{max})TEC}$ ratio for Ankara and Trabzon cities were obtained as a 1.23, 2.71 and 3.23 for the ZB/Z1, ZC/Z2 and ZD/Z3 soil classes, respectively. The $\mu_{m(\Delta_{max})TBEC}/\mu_{m(\Delta_{max})TEC}$ values obtained for the cities of İzmir, Van, Şanlıurfa and Kayseri are generally less than 1.00. The increase or decrease in the demands may exceed 50%,

- Coefficient of variation values of maximum and residual drift demands were obtained high for both TEC and TBEC. The value of the coefficient of variation increased up to 1.23 for maximum drift demands and 2.65 for residual drift demands.

8 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Ahmet DEMİR, fikrin oluşması, analizlerin yapılması, analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ve yazımında katkı sunmuşlardır.

9 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır"

10 Kaynaklar

- [1] Selcuk T, Uckan ME, Yilmaz MT, Cuceoglu F, Gumusay MU, Nacaroglu E, Kaya ES, Aksel M. "Performance of hydraulic structures, lifelines and industrial structures during October 30, 2020 Samos-Aegean Sea Earthquake". *Bulletin of Earthquake Engineering*, 20, 7907-7931, 2020.
- [2] Yön B. "Identification of failure mechanisms in existing unreinforced masonry buildings in rural areas after April 4, 2019 earthquake in Turkey". *Journal of Building Engineering*. 43, 1-15, 2021.
- [3] Sahin M, Tari E. "The August 17 Kocaeli and the November 12 Duzce earthquakes in Turkey". *Earth Planets Space*, 52, 753-757, 2000.
- [4] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği". Ankara, Türkiye, Resmî Gazete, 30364, 2018.
- [5] T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı. "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik". Ankara, Türkiye, 26454, 2007.
- [6] Demir A, Kayhan AH. "Deprem yönetmeliği 2007 ve Türkiye bina deprem yönetmeliği ile uyumlu zaman tanım alanında analiz sonuçlarının karşılaştırılması". *4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Eskişehir, Türkiye, 11-13 Ekim 2017.
- [7] Palanci M, Kayhan AH, Demir A. "A statistical assessment on global drift ratio demands of mid-rise RC buildings using code-compatible real ground motion records". *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 5453-5488, 2018.
- [8] Aksoylu C, Arslan MH. "2007 ve 2019 deprem yönetmeliklerinde betonarme binalar için yer alan farklı deprem kuvveti hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması olarak irdelenmesi". *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 13(2), 359-374, 2021.
- [9] Özmen A, Sayın E. "Deprem etkisinde çok katlı betonarme bir binanın TDY-2007 ve TBDY-2018 deprem yönetmeliklerine göre eşdeğer deprem yüklerinin karşılaştırılması". *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(2), 124-133, 2021.
- [10] Çaycı BT, Eldemir O. "TBDY-2018 ve DBYBHY-2007 deprem yönetmelikleri performans seviyelerinin karşılaştırılması". *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(4), 1386-1397, 2021.
- [11] Yön B. "Seismic vulnerability assessment of RC buildings according to the 2007 and 2018 Turkish seismic codes". *Earthquakes and Structures*, 18(6), 709-718, 2020.
- [12] Onat O, Yön B. "A novel inter-story drift limit proposal for TBEC2018 and fragility prognosis with TSC2007". *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics*, 4(2), 68-82, 2022.
- [13] Demir A, Palanci M, Kayhan AH. "Probabilistic assessment for spectrally matched real ground motion records on distinct soil profiles by simulation of SDOF systems". *Earthquakes and Structures*, 21(4), 395-411, 2021.
- [14] Clough RW, Johnston S.B. "Effect of stiffness degradation on earthquake ductility requirements". *2nd Japan Earthquake Engineering Symposium*, Tokyo, Japan, 2-4 April 1996.
- [15] Palanci M, Demir A, Kayhan AH. "The investigation of displacement demands of single degree of freedom models using real earthquake records compatible with TBEC-2018". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(3), 251-263, 2021.
- [16] Hachem, MM. "BISPEC: Interactive software for the computation of unidirectional and bidirectional nonlinear earthquake spectra". *Structures Congress*, Tennessee, USA, 22-26 May 2004.
- [17] İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. "Türkiye Deprem Tehlike Haritası". <https://tdth.afad.gov.tr/> (15.04.2022).
- [18] Akkar S, Azak T, Çan TOLGA, Çeken U, Tümsa MD, Duman TY, Zülfiyar Ö. "Evolution of seismic hazard maps in Turke". *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3197-3228, 2018.
- [19] Ancheta TD, Darragh RB, Stewart JP, Seyhan E, Silva WJ, Chiou BSJ, Wooddell KE, Graves RB, Kottke AR, Boore DM, Kishida T, Donahue JL. "NGA-West2 database". *Earthquake Spectra*, 30(3), 989-1005, 2014.
- [20] Ambraseys NN, Douglas J, Berge-Thierry C, Suhadolc P, Costa G, Sigbjörnsson R, Smit P. "Dissemination of European strong-motion data, Vol. 2". *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, Canada, 1-6 August 2014.
- [21] Akkar S, Sandıkkaya MA, Senyurt M, Sisi AA, Ay BÖ, Traversa P, Douglas J, Cotton F, Luzi L, Hernandez B, Godey S. "Reference database for seismic ground-motion in Europe (RESORCE)". *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12(1), 311-339, 2014.
- [22] Kayhan AH, Demir A, Palanci M. "Multi-functional solution model for spectrum compatible ground motion record selection using stochastic harmony search algorithm". *Bulletin of Earthquake Engineering*, 20, 6407-6440, 2022.