



## TBDY 2018 İLE UYUMLU GERÇEK İVME KAYITLARI KULLANILARAK TSD SİSTEMLERE GİREN ENERJİNİN İNCELENMESİ

Ahmet DEMİR\*

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bolu, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Giren Enerji,  
Gerçek İvme Kaydı,  
Dinamik Analiz,  
Tek Serbestlik  
Dereceli Sistem,  
Tasarım Spektrum.*

### Öz

Yapılara giren enerjinin belirlenmesi enerji esaslı deprem mühendisliğinin en temel konusudur. Yer hareketi esnasında yapıya giren enerji histeretik enerji, kinetik enerji, elastik şekil değiştirme enerjisi ve sönümlenme enerjisinin toplamını oluşturmaktadır. Enerjiye dayalı tasarımda yer hareketi ile elde edilen enerji talebinin yapının enerji tüketme kapasitesinden daha düşük olması gerekmektedir. Bu yüzden yapıya giren enerjinin gerçekçi olarak belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada, farklı tasarım spektrumlarının sisteme giren enerji taleplerine etkisinin değerlendirilmesi amacıyla, tek serbestlik dereceli (TSD) sistemlerin doğrusal olmayan dinamik analizleri yapılmıştır. Bu amaçla toplamda 72 farklı TSD sistem dikkate alınmıştır. Farklı spektrumların etkisini incelemek amacıyla Türkiye’de bulunan 4 farklı konum ve bu konumlar ile uyumlu 3 farklı yerel zemin sınıfı dikkate alınmıştır. 12 farklı tasarım spektrumunun her biri ile uyumlu 4 farklı ivme kaydı seti elde edilmiş, toplamda ise 48 adet ivme kaydı seti doğrusal olmayan dinamik analizler için kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında maksimum giren enerji taleplerinin ortalaması ile bu taleplere ait saçılımlar karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde; farklı düzeyde tasarım spektrumu dikkate alındığında sisteme giren enerji taleplerinin de değiştiği görülmüştür. Ayrıca aynı tasarım spektrumu ile uyumlu farklı ivme setlerinden elde edilen maksimum giren enerji taleplerinin ortalaması birbirlerine yakındır. Son olarak, giren enerji taleplerinin set içerisindeki saçılımlarının yüksek olduğu ve buna karşılık setler arası saçılımın ise düşük olduğu görülmüştür.

## INVESTIGATION OF THE INPUT ENERGY OF THE SDOFS USING REAL GROUND MOTION RECORD ACCORDING TO TBEC 2018

### Keywords

*Input Energy,  
Real Ground Motion Record,  
Dynamic Analysis,  
Single Degree of  
Freedom System,  
Design Spectrum.*

### Abstract

Determination of the input energy for the structures is the most basic subject of energy-based earthquake engineering. The input energy of the structure during earthquakes motion constitutes the sum of hysteretic energy, kinetic energy, elastic deformation energy and damping energy. In energy-based design, the energy demand obtained by earthquake motion should be lower than the energy consumption capacity of the building. Thus, it is important to realistically determine the input energy of the structure. In this study, nonlinear dynamic analyses of single degree-of-freedom (SDOF) systems were performed in order to evaluate the effect of different design spectra on the input energy demands of the structures. For this purpose, a total of 72 different SDOF systems were considered. In order to examine the effect of different spectra, 4 different locations in Turkey and 3 different local soil classes compatible with these locations were taken into account. 4 different sets of ground motion records were obtained, compatible with each of the 12 different design spectra, and a total of 48 sets of ground motion records were used for nonlinear dynamic analysis. In the analysis results, the mean of the maximum input energy demands and the scattering of these demands were compared. When the analysis results are examined, considering the design spectrum at different levels, it has been observed that the input energy demands of the structures also change. In addition, the mean of the maximum input energy demands obtained from different acceleration sets compatible with the same design spectrum is close to each other. Finally, it has been seen that the scattering of the input energy demands within the set is high, while the scattering between the sets is low.

\* İlgili yazar / Corresponding author: ahmetdemir@ibu.edu.tr, +90-374-254-10-00/5877

**Alıntı / Cite**

Demir, A., (2023). TBDY 2018 İle Uyumlu Gerçek İvme Kayıtları Kullanılarak TSD Sistemlere Giren Enerjinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 1018-1029.

**Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)**

A. Demir, 0000-0002-3526-0764

**Makale Süreci / Article Process**

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	05.10.2022
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	06.02.2023
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	11.04.2023
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	28.09.2023

## INVESTIGATION OF THE INPUT ENERGY OF THE SDOFS USING REAL GROUND MOTION RECORD ACCORDING TO TBEC 2018

Ahmet Demir<sup>†</sup>

Bolu Abant İzzet Baysal University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Bolu, Türkiye

**Highlights**

- The effect of different design spectra on the input energy demands of the structures were evaluated.
- A total of 72 different SDOF systems with different periods and lateral strength ratio were considered.
- 4 different sets of ground motion records were obtained, compatible with each of the 12 different design spectra, and a total of 48 sets of ground motion records were used.

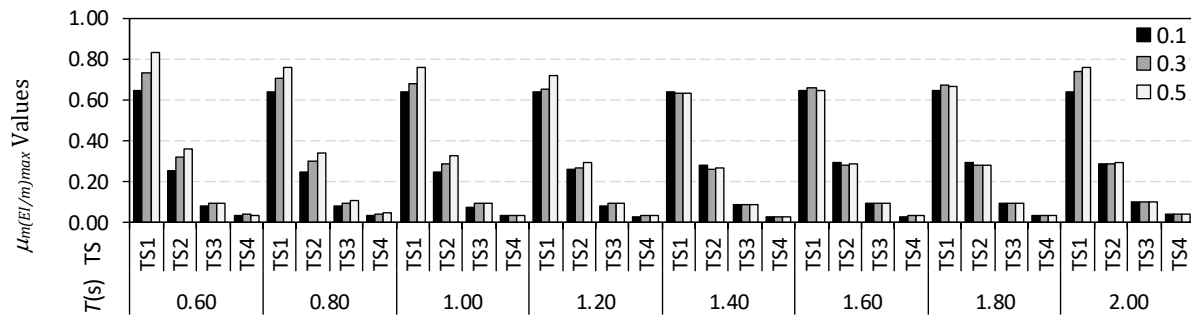
**Graphical Abstract**

Figure.  $\mu_m(EI/m)_{max}$  Values for ZB soil class and design spectra

**Purpose and Scope**

The input energy of the structure during earthquakes motion constitutes the sum of hysteretic energy, kinetic energy, elastic deformation energy and damping energy. In this study, nonlinear dynamic analyses of single degree-of-freedom (SDOF) systems were performed to evaluate the effect of different design spectra on the input energy demands of the structures.

**Design/methodology/approach**

A total of 72 different SDOF systems were considered. To examine the effect of different spectra, 4 different locations in Turkey and 3 different local soil classes compatible with these locations were considered. 4 different sets of ground motion records were obtained, compatible with each of the 12 different design spectra, and a total of 48 sets of ground motion records were used for nonlinear dynamic analysis. In the analysis results, the mean of the maximum input energy demands and the scattering of these demands were compared.

**Findings**

The mean of the maximum input energy demands obtained from different acceleration sets compatible with the same design spectrum is close to each other. It has been seen that the scattering of the input energy demands within the set is high, while the scattering between the sets is low.

**Originality**

Determination of the input energy for the structures is the most basic subject of energy-based earthquake engineering. In energy-based design, the energy demand obtained by earthquake motion should be lower than the energy consumption capacity of the building. Thus, it is important to realistically determine the input energy of the structure. Considering the design spectrum at different levels, it has been observed that the input energy demands of the structures also change.

<sup>†</sup> Corresponding author: ahmetdemir@ibu.edu.tr, +90-374-254-10-00/5877

## 1. Giriş (Introduction)

Binaların sismik tasarımı ve/veya değerlendirilmesi için performans dayalı tasarım/değerlendirme yöntemleri son dönemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tasarım ve/veya değerlendirme kriterleri yapı öngörülen sismik tehlikeye maruz kaldığında dikkate alınan performans seviyesine ulaşma açısından ifade edilir. Bu nedenle performans dayalı tasarım/değerlendirme yönteminin; a) performans hedefi, b) yapıya etkiyen sismik taleplerin belirlenmesi ve c) performans değerlendirmesi olmak üzere üç temel adımı bulunmaktadır. Performansa dayalı tasarım ile ilgili ilk önemli çalışma olan SEAOC Vision 2000 belgesinde (SEAOC 2000, 1995) yer değiştirmeye dayalı tasarım, enerji tabanlı tasarım ve dirençlilik esaslı tasarım olmak üzere çeşitli performans dayalı yaklaşım yöntemlerine yer vermiştir. Yer değiştirmeye dayalı yaklaşım günümüzde yaygın olarak benimsenmiş ve bu yaklaşımla yapıların maksimum ötelenme, maksimum görelî kat ötelenmesi vb. gibi maksimum tepki parametrelerine göre tasarımı ve/veya değerlendirilmesi yapılmaktadır (Priestley vd., 2007; Demir ve Kayhan 2016; Palancı vd., 2018; Dilmaç vd., 2018; Kayhan vd., 2018; Kumbasaroğlu, 2020; Palancı vd., 2021). Bu parametreler çeşitli performans seviyelerini veya sınır durumlarını tanımlamak için de kullanılmaktadır. (ATC-40, 1996; FEMA-440, 2005).

Yer değiştirmeye dayalı yaklaşımda yapının deprem etkisi altındaki davranışı ve yapıya ait elemanların doğrusal olmayan davranışı maksimum değerlerle ilişkilendirilmekte ve birikimli hasar dikkate alınmamaktadır. Yapısal elemanların hasar düzeyleri sismik taleplerin maksimum değerleri ile birlikte yüklemenin geçmişine de bağlıdır (Alıcı ve Sucuoğlu, 2016). Son yıllarda performans dayalı tasarım ve/veya değerlendirme yöntemlerinden biri olan enerji esaslı yöntemler yapıların tasarımı ve/veya değerlendirilmesi için kullanılmaya başlanmış ve bu yaklaşımın da güvenilir olabileceği gösterilmiştir (Fajfar vd., 1991; Akbaş ve Shen, 2003; Dindar, 2009; Merter, 2014; Dindar vd., 2015; Merter vd., 2017; Merter ve Uçar, 2018). Bu yüzden enerji esaslı tasarım ve/veya değerlendirme gelecek yıllarda daha çok kullanılmaya başlanacak ve sismik kodlarda da yer alacaktır.

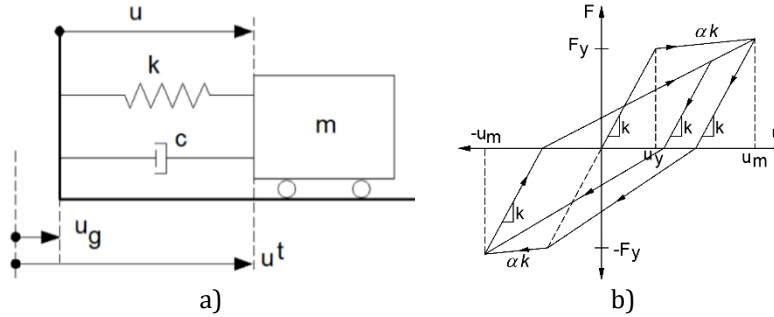
Enerji esaslı tasarım ve/veya değerlendirmede yapı sistemlerine giren enerjinin gerçeğe yakın olarak belirlenmesi en temel adımdır. Genel olarak yapıya giren enerji hafif şiddetli depremlerde yapıda sönüm ve elastik enerji olarak tüketilirken orta ve şiddetli depremlerde histeretik enerji ile büyük bir kısmı tüketilmektedir. Enerjiye dayalı tasarımda yer hareketi ile elde edilen enerji talebinin yapının enerji tüketme kapasitesinden daha düşük olması gerekmektedir. Yapıya giren enerjinin belirlenmesi ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır (Alıcı ve Sucuoğlu, 2018; Onur Merter, 2019; Uçar, 2020; Dedeoğlu ve Çalayır, 2021). Örneğin, Merter (2019), sabit sönüm oranı ve periyodu 0.1s ile 3.0s olan elastik TSD sistemler için doğrusal zaman tanım alanında analizler yapmış ve maksimum giren enerjiyi hesaplamıştır. Çalışmada 100 gerçek ivme kaydı içeren bir ivme kaydı seti kullanmıştır. Çalışma sonucunda maksimum giren enerjiye karşı maksimum spektral hız grafikleri elde etmiş ve literatürdeki bazı çalışmalar ile karşılaştırmıştır. Dedeoğlu ve Çalayır (2021), 3 adet TSD sistem dikkate alarak (TSD sistemlerin Elazığ il merkezinde olduğu varsayılmış) DBYYHY (2007) ve TBDY (2018)'nin zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem ivme kayıtları altındaki davranışlarını değerlendirmiştir. Yönetmeliklerdeki zemin sınıfları ile uyumlu ölçeklendirilen 5 gerçek deprem ivme kaydı kullanılmıştır. Sonuçlarda, TSD sistemlerdeki kesme kuvvetleri, yer değiştirmeler ve enerji girdileri birbirleri arasında karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, TBDY'de tanımlanan farklı tasarım spektrumlarının TSD sisteme giren enerjiye etkisinin sayısal olarak değerlendirilmesidir. Bu amaçla, 4 farklı konum ve üç farklı yerel zemin sınıfı ile uyumlu olmak üzere 12 adet tasarım spektrumu elde edilmiştir. Her bir tasarım spektrumu ile uyumlu 4 farklı ivme kaydı seti dikkate alınmış ve toplamda 48 adet ivme kaydı seti oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, geniş bir yapı aralığını taramak için 72 adet (8 farklı periyot değeri 0.6s-2.0s (0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 ve 2.0) ve 9 farklı yatay dayanım oranı 0.10-0.50 (0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50)) TSD sistem dikkate alınmıştır. TSD sistemlerin dinamik analizleri yapılarak yapı sistemine giren maksimum enerji talepleri elde edilmiştir. Maksimum giren enerji taleplerinin her bir set için ortalaması ve saçılımı hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan tasarım spektrumlarındaki farklılığın yapı sistemine giren maksimum enerji değerleri üzerindeki etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## 2. TSD Sistemler Ve Giren Enerjinin Hesaplanması (SDOF Systems and Calculation of the Input Energy)

3 boyutlu yapısal modeller literatürde bulunan uygun yöntemler kullanılarak TSD sistemlere dönüştürülebilir (ATC-40 1996). Bu amaçla 3 boyutlu binalara ait kapasite eğrisi ve modal özelliklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgiler ile 3 boyutlu binalarda itme (pushover) analizi yapılarak kapasite eğrisi, modal analiz yapılarak ise modal özellikleri elde edilmektedir. Tek serbestlik dereceli sistemin hareket halindeki konumu tek parametre ile belirlenebilmektedir. TSD sistemin matematiksel modeli Şekil 1a'da görülmektedir. Şekil 1a'da görülen parametreler,  $u$ ,  $k$ ,  $c$ ,  $m$ ,  $u_g$  ve  $u_t$  sırasıyla zamana bağlı yer değiştirme, rijitlik, sönüm katsayısı, kütle, yerin deplasmanı ve toplam deplasmanı ifade etmektedir. Denklem 1'de TSD sistemin dış kuvvet altındaki dinamik

davranışına ait formülasyon gösterilmiştir. Denklemde verilen  $m\ddot{u}_g(t)$  terimi, titreşime sebep olan yer hareketini belirtmektedir. Bu çalışmada TSD sistemin doğrusal olmayan davranışını dikkate almak için literatürde sık kullanılan Modifiye Clough (MC) çevrimsel davranış modeli kullanılmıştır (Clough ve Johnston,1966). Modifiye Clough (MC) çevrimsel davranış modeli Şekil 1b’de görülmektedir. Şekil 1b’de elastik davranışın sonunda  $F_y$ ’ye (akma dayanımı) ve akma deplasmanına ( $u_y$ ) ulaşmakta ve bu noktadan sonra rijitlik artışı veya rijitlik artışı olmadan elastik deplasmanların yanında kalıcı plastik deplasmanlar da meydana gelmektedir. Bu çalışmada MC çevrimsel modelde  $F_y$  anından sonra  $\alpha$  değeri sıfır ( $\alpha=0$ ) yani akma noktasından sonra rijitlik artışı olmadığı kabul edilmiştir. Ayrıca Şekil 1b’de görüldüğü gibi MC modelde rijitlik değişimini de dikkate almaktadır. TSD sistemin sönüm değeri 0.05 (%5) olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 1. a) TSD sistemin matematiksel modeli, b) MC çevrimsel davranışı  
(a) Mathematical model of a SDOF system, b) MC hysteretic model

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

Enerji esaslı tasarımda doğrusal olmayan TSD sistemine giren enerji, diğer enerji terimlerinin (elastik şekil değiştirme enerjisi ve doğrusal olmayan şekil değiştirme enerjisi, sönüm enerjisi ve histeretik enerji) toplamıdır. Denklem 2’de verilen enerji bağıntısı, Denklem 1’in yer değiştirmeye bağlı olarak integralinin alınması ile elde edilmektedir (Chopra, 1995).

$$\int_0^{u(t)} m\ddot{u}(t) du + \int_0^{u(t)} c\dot{u}(t) du + \int_0^{u(t)} ku(t) du = - \int_0^{u(t)} m\ddot{u}_g(t) du \quad (2)$$

Denklem (2)’de TSD sistem kinematiğinde uygulanan  $\frac{du}{dt} = \dot{u}(t)$  ilişkisinden faydalanılarak,  $du$  terimi yerine  $\dot{u}(t)dt$  yazılarak denklem deprem hareketinin süresi ile ilişkilendirebilir. Buna göre, doğrusal olmayan TSD sistemin enerji dengesi Denklem 3’teki gibi elde edilir.

$$\int_0^t m\ddot{u}(t) \dot{u}(t) dt + \int_0^t c\dot{u}(t) \dot{u}(t) dt + \int_0^t ku(t) \dot{u}(t) dt = - \int_0^t m\ddot{u}_g(t) \dot{u}(t) dt \quad (3)$$

Denklem 3’te, eşitliğin sol tarafındaki ilk üç terim sırasıyla; kinetik enerji ( $E_K$ ), sönüm enerjisi ( $E_D$ ) ve elastik şekil değiştirme enerjisi ile sistemin akması sonucu plastik şekil değiştirme enerjisinin toplamını ( $E_A$ ) göstermektedir. Doğrusal olmayan TSD sisteme yer hareketi ile aktarılan toplam enerji ( $E_I$ ) ise Denklem 3’ün sağ tarafındaki ifade ile gösterilmiştir. Bu durumda; Denklem 3, Denklem 4’teki gibi gösterilebilir.

$$E_K + E_D + E_A = E_I \quad (4)$$

Bu çalışmada TSD sistemler farklı periyot ve yatay dayanım oranı dikkate alınarak temsil edilmiştir. Çalışmada periyot değeri 0.6s ile 2.0s arasında değişmekte olup 0.2s artışlarla (0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 ve 2.0s) 8 farklı TSD sistem periyodu dikkate alınmıştır. TSD sistemin yatay dayanım oranı yani yatay yük kapasitesinin ( $V_t$ ) sismik ağırlığına ( $W$ ) oranı olan ( $V_t/W$ ) ise 0.10 ile 0.50 arasında 0.05 artışla (0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50) değişmektedir. Sonuç olarak doğrusal olmayan TSD sisteme giren enerjinin incelenmesi için 8 farklı  $T(s)$  değeri ile 9 farklı  $V_t/W$  ile toplamda 72 farklı TSD sistem dikkate alınmıştır. Doğrusal olmayan TSD sistemine giren enerjinin hesabı için Bispec (Hachem, 2004) programı kullanılmıştır.

### 3. Gerçek İvme Kaydı Setleri (Real Ground Motion Record Sets)

#### 3.1. TBDY'ye Göre İvme Kaydı Seçimi (Ground Motion Record Selection According to TBEC)

Doğrusal olmayan dinamik analiz için kullanılan ivme kayıtlarının seçimi, özellikleri TBDY Madde 2.5'de belirtilen, deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu olarak yapılmıştır. Buna göre; deprem büyüklükleri, fay uzaklığı ve yerel zemin koşulları gibi parametreler dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında TSD sistemler kullanıldığından TBDY 2018'de bir boyutlu analiz için ivme kaydı seçimi ve ölçeklendirilmesi ile ilgili kurallar uygulanmıştır. TBDY'de ivme kaydı için belirtilen koşullar dikkate alınarak her bir sette 11 adet ivme kaydı ve aynı depremden en fazla üç kayıt seçilmiştir. Ayrıca,  $0.2T_p$  ile  $1.5T_p$  ( $T_p$ , binanın ilgili doğrultudaki hakim doğal titreşim periyodu) aralığında setteki kayıtların spektral ivme değerlerinin ortalaması yatay elastik tasarım spektrumu değerlerinden daha büyüktür.

#### 3.2. Dikkate Alınan Tasarım Spektrumlar (Considered Design Spectra)

TBDY'de tasarım ve/veya performans değerlendirmesi deprem yer hareketi düzeyine (DD) göre tanımlanmıştır. DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 olarak tanımlanan yer hareketi düzeyleri sırasıyla; çok seyrek [50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl)] seyrek [50 yılda aşılma olasılığı sırasıyla %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl)], sık [50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl)] depremleri ve servis [50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl)] depremlerini temsil etmektedir. Bu çalışmada DD-2 yani 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem yer hareketi düzeyi dikkate alınmıştır.

TBDY'ye göre Türkiye'de her bir farklı konum için farklı tasarım spektrumu elde edilmektedir. Bunun için öncelikler deprem düzeyi ile uyumlu spektral ivme haritaları dikkate alınmaktadır (AFAD, Akkar vd. 2018). Türkiye Deprem Tehlike Haritalarında verilen harita spektral ivme katsayıları referans zemin koşulu dikkate alınarak %5 sönüm oranı için harita spektral ivmelerinin yerçekimi ivmesine bölünmesi ile boyutsuz olarak tanımlanmıştır. Haritalarda kısa periyot bölgesi için  $S_S$  katsayısı ve 1.0 saniye periyot için  $S_I$  katsayısı verilmiştir.  $S_S$  ve  $S_I$  katsayıları, Denklem 5 kullanılarak  $S_{DS}$  (kısa periyot bölgesi) ve  $S_{D1}$ 'e (1.0 saniye periyot) yani tasarım spektral ivme katsayılarına dönüştürülmektedir. Denklem 5'te  $F_S$  ve  $F_I$  yerel zemin etki katsayılarını ifade etmektedir. Denklem 6'da yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$ , doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden verilmiştir. Denklemde,  $T_A$  ve  $T_B$  yatay elastik tasarım spektrumun köşe periyotları olup  $T_B$  değeri  $S_{D1}$ 'in  $S_{DS}$ 'e oranına,  $T_A$  ise bu oranın 0.2 katına eşittir. Denklemde  $T_L$  (sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu) TBDY 2.2.4.1'de de belirtildiği gibi 6s olarak dikkate alınmıştır.

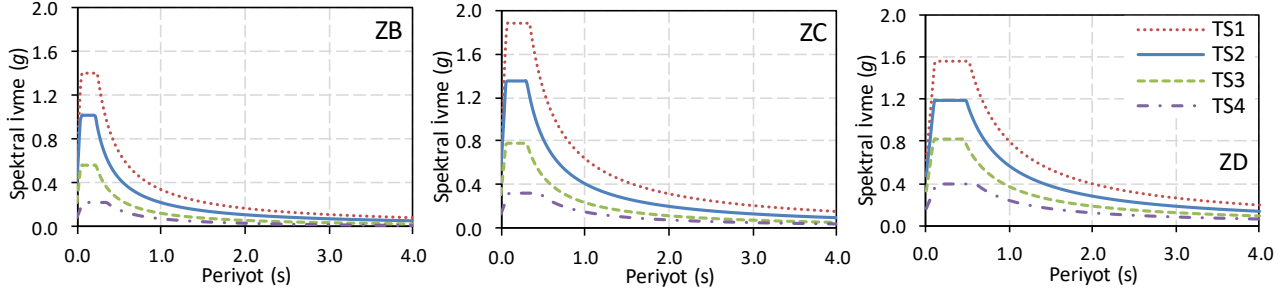
$$\begin{aligned} S_{DS} &= S_S F_S \\ S_{D1} &= S_I F_I \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\ S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T) \end{aligned} \quad (6)$$

Bu çalışmada, tasarım spektrumu farklılığının doğrusal olmayan TSD sistemine giren enerji ( $E_I$ ) üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla Türkiye'de farklı konumlarda bulunan 4 farklı şehir merkezine ait tasarım spektrumu seçilmiştir. Dikkate alınan şehirler, çalışmada kullanılan tasarım spektrumlarının her birinin belirli bir düzeyde olduğu ve geniş bir aralığın taranabilmesi amacıyla özellikle Sakarya (Tasarım Spektrumu1 (TS1), İzmir (TS2), Van (TS3) ve Şanlıurfa (TS4) olarak seçilmiştir. Başka konumlar için elde edilen tasarım spektrumlarının söz konusu şehirlere yaklaşık ve/veya farklı elde edilebileceği gerçeğinden dolayı, çalışmada şehirlerden bahsedilmemiştir ve tasarım spektrumları (TS) olarak dikkate alınmıştır. TBDY'de tanımlı farklı yerel zemin sınıflarının etkisinin de incelenmesi amacıyla; ZB, ZC ve ZD olmak üzere 3 farklı yerel zemin sınıfı dikkate alınmıştır. Böylece, araştırma kapsamında, 4 farklı konum ve 3 farklı yerel zemin sınıfı olmak üzere 12 farklı tasarım spektrumu dikkate alınmıştır.

Şekil 2'de çalışma kapsamında kullanılan yerel zemin sınıflarına ait toplamda 12 farklı tasarım spektrumu verilmiştir. Şekil 2'den de anlaşıldığı üzere en yüksek tasarım spektrum değerleri TS1 için elde edilmiş iken en düşük tasarım spektrum değerleri ise TS4 için elde edilmiştir. TS1'den TS4'e doğru, tasarım spektrumlarına ait spektral ivme değerleri azalmaktadır. Bu araştırma bulgusu tüm yerel zemin sınıfları için geçerlidir. Örneğin, ZB zemin sınıfında  $T=0.6s$ 'de elde edilen spektral ivme değerleri TS1'den TS4'e doğru sırasıyla 0.57, 0.37, 0.21 ve

0.13g iken  $T=2.0s$ 'de ise 0.17, 0.11, 0.06 ve 0.04g olarak elde edilmiştir. ZC zemin sınıfında  $T=1.0s$ 'de elde edilen spektral ivme değerleri TS1'den TS4'e doğru 0.64, 0.41, 0.24 ve 0.15g'dir. ZD zemin sınıfında ise  $T=1.0s$ 'de elde edilen spektral ivme değerleri TS1'den TS4'e doğru sırasıyla 0.80, 0.57, 0.37 ve 0.24g'dir. Tasarım spektrumları, ZB ve ZC zemin sınıfı için periyot aralığı, 0.6s ile 2.0s arasında (çalışmada dikkate alınan TSD sistemlerin periyot aralığı) karşılaştırıldığında, TS1 için elde edilen tasarım spektral ivme değerlerinin, TS2'ye göre 1.55 katına kadar yükselmektedir. ZB ve ZC zemin sınıfında TS1'in TS4'e ait spektral ivme değerlerine oranı ise 4.37'dir. ZD zemin sınıfında ise TS1'in TS2'ye oranı 1.42 iken TS1'in TS4'e oranı ise 3.41 katına kadar yükselmektedir.



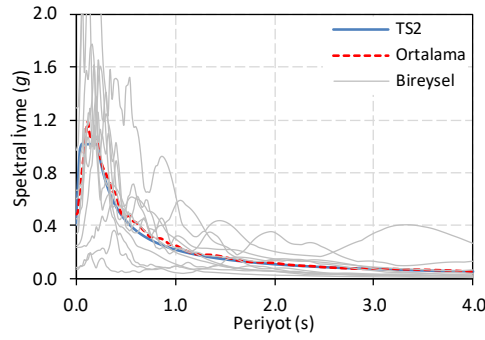
**Şekil 2.** Çalışmada dikkate alınan farklı düzeylerdeki tasarım spektrumları  
(Design spectra at different levels considered in this study)

12 adet tasarım spektrum kullanılarak TBDY ile uyumlu ivme kaydı seçimi için kullanılan ivme kayıtları, üç farklı yer hareketi veri tabanından temin edilmiştir (Ambraseys vd., 2004, Akkar vd., 2014, Ancheta vd., 2014). Bilindiği gibi ivme kayıtları yer hareketi veri tabanlarında depremin büyüklüğü ( $M_w$ ), kayıtların kaydedildiği istasyonun faya olan uzaklığı ( $R$ ) ve kayıtların kaydedildiği istasyonların zemin sınıfı gibi birçok parametreye göre sınıflandırılmaktadır. Çalışmada ivme kayıtları sözü edilen parametrelere göre ayarlanmıştır. Bu parametrelerin; 1-  $M_w$  değerinin en az 5.0 olması, 2-  $R$  değerinin 10 ile 60 km arasında olması ve çalışmada kullanılan zemin sınıflarına ait  $(V_S)_{30}$  değerlerinin dikkate alınması koşullarına göre, ZB zemin sınıfında 406 adet ivme kaydı, ZC zemin sınıfında 2016 adet ivme kaydı ve ZD zemin sınıfında ise 1564 adet ivme kaydı ilgili veri tabanları kullanılarak indirilmiş ve doğrusal olmayan dinamik analizlerde ivme kaydı seçimi için kullanılmıştır.

İvme kaydı setlerinin elde edilmesinde SpeCRS (Kayhan vd., 2022) programı kullanılmıştır. İvme kaydı seçiminde TBDY'de belirtilen şartlarla beraber bu çalışmada ilave kriterler de dikkate alınmıştır. Birincisi, ivme kaydı setlerinde herhangi bir yer hareketinin iki yatay bileşeninden yalnızca birinin yer alması sağlanmıştır. İkincisi, kayıtlara uygulanan ölçeğin 0.25-4.00 arasında olması sağlanmıştır. Tablo 2'de maksimum ölçek katsayısı 3.908 ve minimum ölçek katsayısı 0.381'dir. Ayrıca, TBDY'de ilgili periyot aralığında set içerisindeki ivme kayıtlarına ait ortalama spektrumun tasarım spektrumundan daha büyük olması (en az 1.00; en fazla 1.20) koşulu için, çalışmada üst sınır dikkate alınmıştır ve analizlerde, ortalama spektrum ile tasarım spektrum arasındaki uyumun artırılması amacı ile 1.20 oranı kullanılmıştır. Şekil 3'te, Tablo 2'de verilen ZB zemin sınıfı ve TS2 için 1. sete ait bireysel spektrumlar, ortalama spektrum ve tasarım spektrumu verilmiştir. Şekil 3'te, tasarım spektrum ile sete ait ortalama spektrum arasında ( $0.2T$  ile  $1.5T$  aralığında oran 1.00 ile 1.20 arasındadır) iyi bir uyum sağlandığı görülmektedir.

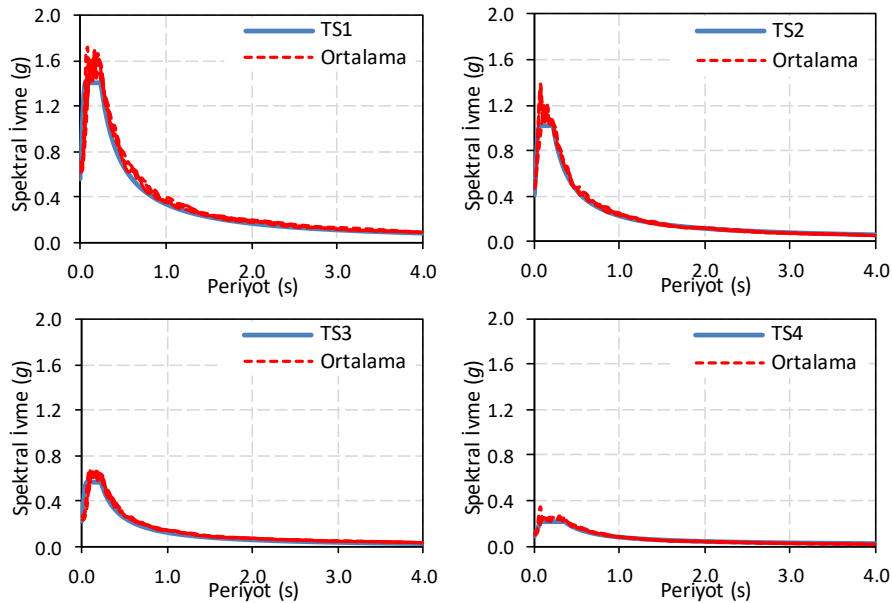
**Tablo 1.** ZB zemin sınıfı ve TS2 için 1. sete ait bilgiler (Information of the first set for ZB soil class and TS2)

Kayıt Sıra	Kayıt No	Bileşen	Ölçek
1	142	5819X	3.733
2	218	9071X	3.908
3	310	766Y	1.786
4	95	1228X	2.809
5	221	196X	0.381
6	398	6267Y	2.946
7	229	367X	3.571
8	228	366X	3.132
9	302	649Y	3.572
10	422	7142Y	1.379
11	466	360Y	3.797



**Şekil 3.** ZB zemin sınıfı ve TS2 için 1. Sete ait tasarım, ortalama ve bireysel spektrumlar (Target, mean and individual spectra of Set1 for soil class ZB and TS2)

ZB sınıfı zemin ile uyumlu olarak elde edilen (4 farklı ivme kaydı seti) ortalama ve tasarım spektrumları Şekil 4'te verilmiştir. ZC ve ZD zemin sınıfları için de her bir tasarım spektrum ile uyumlu 4 farklı ivme kaydı seti elde edilmiş ve toplamda bu zeminler için 32 adet ivme kaydı seti kullanılmıştır. Bu çalışmada tekrara düşmemek için ZC ve ZD zemin sınıfları ile uyumlu ivme kaydı setlerine ait bilgiler verilmemiştir.

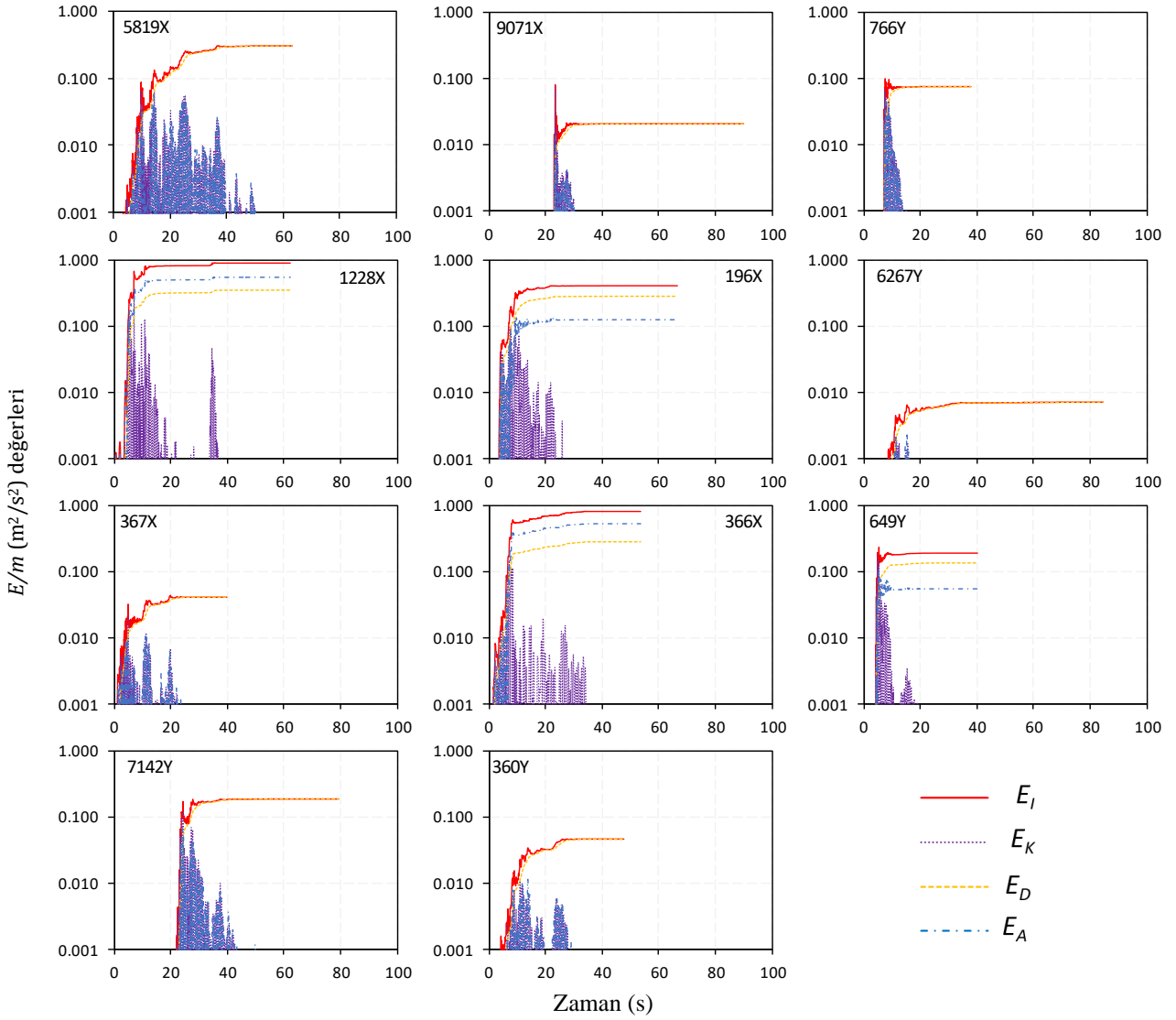


**Şekil 4.** ZB zemin sınıfı için setlere ait ortalama ve tasarım spektrumları (Mean and target spectra of sets for soil class ZB)

#### 4. Analiz Sonuçları (Analysis Results)

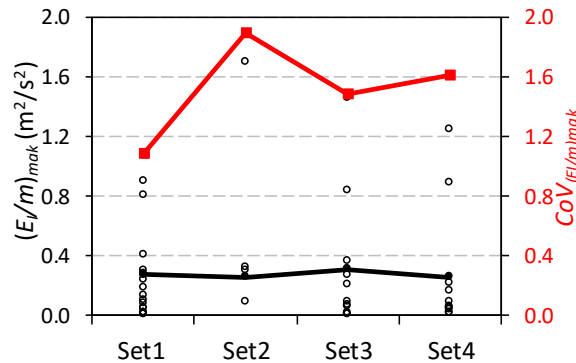
Bu çalışmada, 48 adet ivme kaydı seti (11 adet ivme kaydı her bir set içerisinde bulunmakta) ve 9 farklı  $V_t/W$  ve 8 farklı  $T$  olmak üzere 72 farklı TSD sistem kullanılarak, toplamda  $48 \times 11 \times 72 = 38,016$  adet doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Doğrusal olmayan dinamik analizler sonucunda ivme kaydı seti içerisinde bulunan her bir kayıt için maksimum giren enerji/kütle  $(E_I/m)_{mak}$  değerleri elde edilmiştir. TBDY'ye göre 11 veya daha fazla ivme kaydı kullanıldığında yapısal tepkilerin ortalaması dikkate alınmaktadır. Bu sebeple, çalışma kapsamında kullanılan her bir set için giren enerjinin ortalama  $(m^{(E_I/m)_{mak}})$  değerleri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında aynı tasarım spektrumuyla uyumlu 4 farklı ivme kaydı seti kullanıldığından karşılaştırma yapmak için dört farklı  $m^{(E_I/m)_{mak}}$  değerinin ortalaması yani  $(\mu_{m^{(E_I/m)_{mak}}})$  değerleri hesaplanmıştır.

Şekil 5'te ZB zemin sınıfı ve TS2 için 1. settteki ivme kayıtlarına ait  $E_K/m$ ,  $E_D/m$ ,  $E_A/m$  ve  $E_I/m$  değerlerinin zamana bağlı değişimleri  $T=1.0s$  ve  $V_t/W=0.25$  olan TSD sistem için elde edilmiştir. Bu çalışmada doğrusal olmayan TSD sistemlere giren enerji incelendiğinden karşılaştırmalar giren enerji/kütle  $E_I/m$  üzerinden yapılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi farklı ivme kayıtları kullanıldığında elde edilen  $E_I/m$  değerleri de değişmektedir. Sözgelimi,  $(E_I/m)_{mak}$  değerleri 5819X No'lu kayıt için  $0.30 \text{ m}^2/\text{s}^2$  olarak elde edilmiş olup, 9071X, 766Y, 1228X, 196X, 6267Y, 367X, 366X, 649Y, 7142Y ve 360Y No'lu kayıtlar için sırasıyla 0.08, 0.10, 0.90, 0.40, 0.01, 0.04, 0.81, 0.23, 0.19 ve  $0.05 \text{ m}^2/\text{s}^2$  olarak hesap edilmiştir. Dolayısıyla 1. Sete ait elde edilen 11 farklı  $(E_I/m)_{mak}$  değerinin ortalaması yani  $m^{(E_I/m)_{mak}}$  değeri  $0.28 \text{ m}^2/\text{s}^2$  olarak elde edilmiş ve Şekil 6'da içi dolgulu siyah çizgi ile Set1'de gösterilmiştir.



**Şekil 5.** ZB zemin sınıfı ve TS2 için 1. settteki ivme kayıtlarına ait  $E/m$  değerleri ( $T=1.0s$ ,  $V_t/W=0.25$ ) ( $E/m$  values of ground motion records in the 1<sup>st</sup> set for ZB soil class and TS2 ( $T=1.0s$ ,  $V_t/W=0.25$ ))

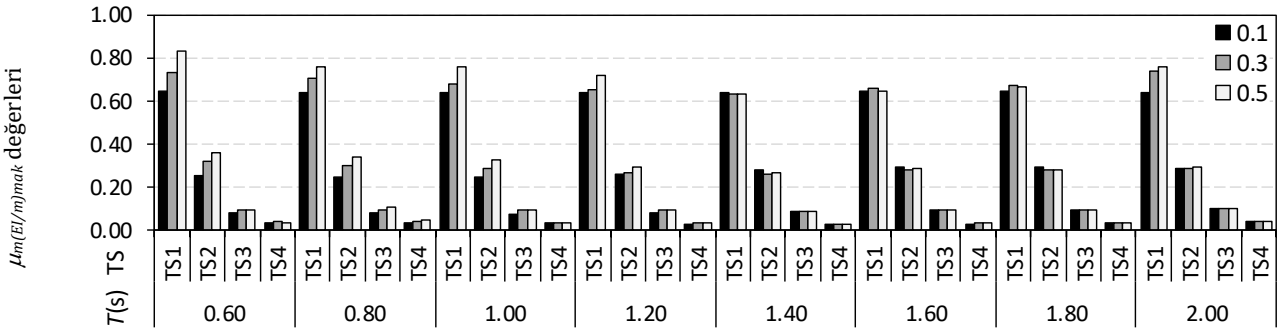
Şekil 6'da  $T=1.0s$  ve  $V_t/W=0.25$  olan TSD sistem için ZB zemin sınıfında dört farklı ivme kaydı setine (Set1, Set2, Set3 ve Set4) ait  $(E_I/m)_{mak}$  değerleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, her bir set ortalamalarına ait  $m_{(E_I/m)_{mak}}$  değerleri (Set1, Set2, Set3 ve Set4 için sırasıyla; 0.28, 0.26, 0.31 ve 0.26  $m^2/s^2$ ) birbirlerine oldukça yakındır. Dört setten elde edilen  $\mu_{m(E_I/m)_{mak}}$  değerleri dört farklı  $m_{(E_I/m)_{mak}}$  değerinin ortalaması yani 0.28  $m^2/s^2$   $((0.28+0.26+0.31+0.26)/4)$  olarak elde edilmiştir. Şekil 6'da her bir  $m_{(E_I/m)_{mak}}$  değeri için  $CoV_{(E_I/m)_{mak}}$  değerleri de verilmiştir.  $CoV_{(E_I/m)_{mak}}$  değerleri her bir set için sırasıyla, 1.09, 1.89, 1.48 ve 1.61 olarak elde edilmiştir. Dört setin  $CoV_{(E_I/m)_{mak}}$  değerlerinin ortalaması ( $\mu_{CoV_{(E_I/m)_{mak}}}$ ) 1.52 olarak hesap edilmiştir. Çalışmanın bundan sonraki kısımları için  $\mu_{m(E_I/m)_{mak}}$  ve  $\mu_{CoV_{(E_I/m)_{mak}}}$  değerleri üzerinden karşılaştırma yapılmıştır.



**Şekil 6.** ZB zemin sınıfında farklı ivme kaydı setleri için  $(E_I/m)_{mak}$  ve  $CoV_{(E_I/m)_{mak}}$  değerleri ( $T=1.0s$ ,  $V_t/W=0.25$ ) ( $(E_I/m)_{mak}$  and  $CoV_{(E_I/m)_{mak}}$  values ( $T=1.0s$ ,  $V_t/W=0.25$ ) for different sets in ZB soil class)

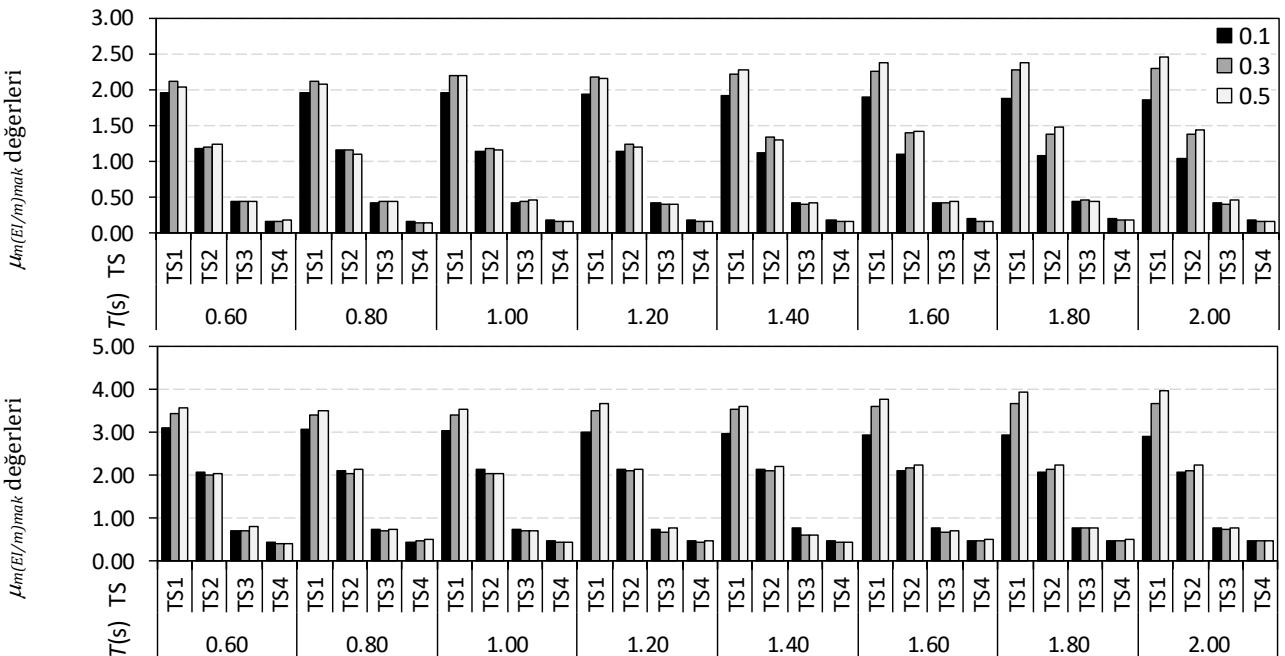


ZB zemin sınıfında tasarım spektrumları, periyot ve yatay dayanım oranları 0.10, 0.30 ve 0.50 olan TSD sistemler için  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerleri Şekil 7’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi en yüksek  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerleri TS1’de elde edilmiştir. En düşük  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerleri ise TS4’de elde edilmiştir. TS1’den TS4’e doğru  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerleri azalma eğilimindedir. Bu sonucun sebebi, Bölüm 3’te belirtildiği üzere TBDY’ye göre tanımlanan tasarım spektrumlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Sözelimi,  $T=1.0s$  ve  $V_t/W=0.10$  için  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerleri TS1’den TS4’ doğru sırasıyla 0.64, 0.25, 0.08 ve 0.03  $m^2/s^2$  olarak elde edilmiştir. Bu durum, tüm periyot ve yatay dayanım oranları için geçerlidir. TSD sistemlerin periyot değerleri arttıkça  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerleri üzerindeki etkisinin az olduğu söylenebilir. Bu durum,  $V_t/W=0.30$  için  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerlerinin TS1’de  $T=0.6s$ ’den  $T=2.0s$ ’ye doğru sırasıyla 0.74, 0.70, 0.68, 0.65, 0.64, 0.66, 0.67 ve 0.70  $m^2/s^2$  olarak elde edilmesi ile doğrulanmaktadır. Bu değerler TS2 için 0.32, 0.30, 0.29, 0.27, 0.26, 0.28, 0.28 ve 0.29  $m^2/s^2$ ’dir. Yatay dayanım oranları özellikle TS1, TS2 ve TS3 üzerinde ve düşük periyot değerlerinde etkili olurken, TS4 üzerinde etkisinin düşük olduğu görülmektedir. Şöyle ki;  $T=0.6s$ ’de TS1 için  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerleri  $V_t/W$  değerleri 0.10, 0.30 ve 0.50 olduğunda 0.65, 0.74 ve 0.84  $m^2/s^2$  iken, TS4’te ise bu değerler 0.035, 0.040 ve 0.038  $m^2/s^2$ ’dir.  $T=2.0s$ ’de TS2 için  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerleri  $V_t/W$  değerleri 0.10, 0.30 ve 0.50 olduğunda 0.290, 0.288 ve 0.294  $m^2/s^2$  iken, TS3’te ise bu değerler 0.099, 0.101 ve 0.101  $m^2/s^2$ ’dir.



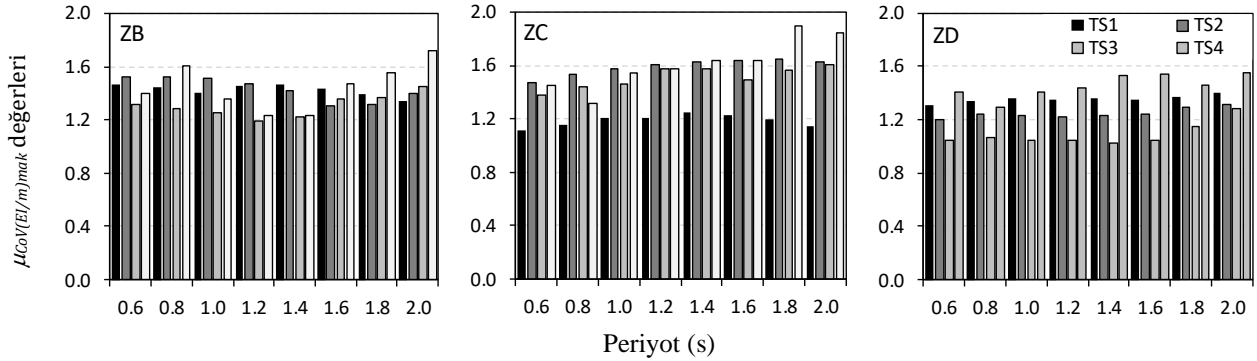
Şekil 7. ZB zemin sınıfı ve tasarım spektrumları için  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerleri  
( $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  values for ZB soil class and design spectra)

Şekil 8’de sırasıyla ZC ve ZD zemin sınıfında tasarım spektrumları, periyot ve yatay dayanım oranları 0.10, 0.30 ve 0.50 olan TSD sistemler için  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerleri verilmiştir. Her iki şekilde de görüldüğü gibi en yüksek  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerleri TS1 için elde edilmiş iken, en düşük  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerleri ise TS4 için elde edilmiştir. TS2 için elde edilen  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerleri TS1’den daha düşük iken TS3’ten daha büyüktür. Her iki zemin için de farklı TS’ler için elde edilen  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerlerinin birbirlerinden farklı olması TBDY’ye göre tanımlanan tasarım spektrumlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. TS1 ve TS2 için yatay dayanım oranları ZC zemin sınıfında etkili iken, ZD zemin sınıfında ise yalnız TS1 için etkilidir. Periyot değeri değişiminin  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerleri üzerinde etkisinin az olduğu ZC ve ZD zemin sınıfları için de söylenebilmektedir.



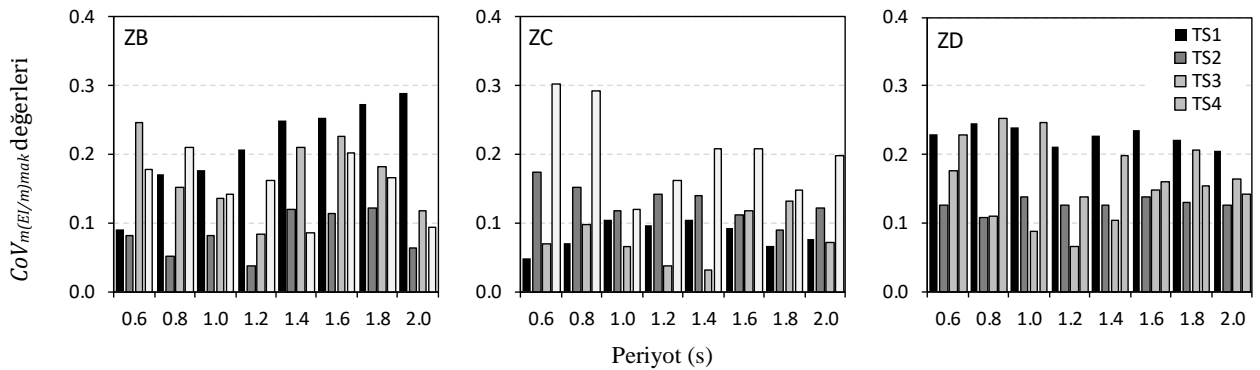
Şekil 8. ZC (üst) ve ZD (alt) zemin sınıfı ve tasarım spektrumları için  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerleri  
( $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  values for ZC (upper) and ZD (lower) soil class and design spectra)

Şekil 7-8 birlikte incelendiğinde, ZB, ZC ve ZD zemin sınıflarında, TS1 için elde edilen  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerlerinin TS2 için elde edilen  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerlerine oranı sırasıyla 2.5, 1.8 ve 1.7 olarak hesap edilmiştir. TS1'in TS4'e göre hesap edilen oranı ise sırasıyla 19.5, 15.5 ve 8.6 katına kadar artmıştır. Ayrıca,  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerlerinin ZB zemin sınıfından ZD zemin sınıfına doğru arttığı da görülmüştür. Bu sonuç tüm periyot, tasarım spektrumları ve yatay dayanım oranları için geçerlidir. Şöyle ki; periyodu 0.6s ve  $V_t/W$  değeri 0.10 olduğunda TS1 için  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  değerleri ZB zemin sınıfında  $0.65 \text{ m}^2/\text{s}^2$  iken, ZC ve ZD sınıfında ise  $1.96$  ve  $3.10 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 'dir. TS3 için bu değerler ZB, ZC ve ZD zemin sınıfında sırasıyla  $0.08$ ,  $0.43$  ve  $0.72 \text{ m}^2/\text{s}^2$  iken TS4'te ise  $0.035$ ,  $0.16$  ve  $0.44 \text{ m}^2/\text{s}^2$  olarak elde edilmiştir.



Şekil 9. Tüm tasarım spektrumları için set içi  $\mu_{CoV(EI/m)_{mak}}$  değerleri ( $V_t/W=0.25$ )  
( $\mu_{CoV(EI/m)_{mak}}$  values of in the set for all design spectra ( $V_t/W=0.25$ ))

Şekil 9'da çalışma kapsamında dikkate alınan tüm tasarım spektrumları, zemin sınıfı ve yatay dayanım oranı 0.25 olan TSD sistem için elde edilen  $\mu_{CoV(EI/m)_{mak}}$  değerleri verilmiştir. Şekil 9'da görüldüğü gibi,  $\mu_{CoV(EI/m)_{mak}}$  değerleri tüm tasarım spektrumları (TS1, TS2, TS3 ve TS4) için oldukça yüksektir. Şöyle ki;  $\mu_{CoV(EI/m)_{mak}}$  değerlerinin tüm zemin sınıflarında 1.00'den büyük olduğu görülmektedir. Yüksek  $\mu_{CoV(EI/m)_{mak}}$  değerleri set içerisinde yer alan ivme kayıtlarından elde edilen  $(EI/m)_{mak}$  değerlerinin, sete ait  $m(EI/m)_{mak}$  değeri etrafındaki saçılımın yüksek olduğunu göstermektedir. Şöyle ki;  $\mu_{CoV(EI/m)_{mak}}$  değerleri, tüm tasarım spektrumlarında ZB zemin sınıfında 1.19-1.72 arasında iken, ZC ve ZD zemin sınıfları için ise 1.11-1.89 ve 1.03-1.56 arasındadır. Çalışmada her bir set için saçılıma ek olarak ivme kaydı setleri arasındaki saçılımlar da incelenmiştir. Buna göre; dört farklı ivme kaydı setinden elde edilen dört farklı  $m(EI/m)_{mak}$  değerlerinin,  $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$  etrafındaki saçılımları ( $CoV_{m(EI/m)_{mak}}$ ) hesaplanmıştır ve Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10'da,  $CoV_{m(EI/m)_{mak}}$  değerleri, tüm periyot ve zemin sınıflarında 0.30 veya daha düşük olarak ölçülmüştür. Şöyle ki;  $CoV_{m(EI/m)_{mak}}$  değerleri, tüm tasarım spektrumlarında ZB zemin sınıfında 0.04-0.29 arasında iken, ZC ve ZD zemin sınıfları için ise 0.03-0.30 ve 0.07-0.35 arasındadır.



Şekil 10. Tüm tasarım spektrumları için setler arası  $CoV_{m(EI/m)_{mak}}$  değerleri ( $V_t/W=0.25$ )  
( $CoV_{m(EI/m)_{mak}}$  values between sets for all design spectra ( $V_t/W=0.25$ ))

## 5. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada, TBDY dikkate alınarak tanımlanan tasarım spektrumları arasındaki farklılığın, doğrusal olmayan dinamik analizlerden elde edilen enerji/kütle  $(EI/m)_{mak}$  değerleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, TBDY'ye göre 12 tasarım spektrumu belirlenmiştir. Belirlenen 12 farklı tasarım spektrumunun her biri ile uyumlu dörder adet ivme kaydı seti olmak üzere, toplamda 48 ( $12 \times 4$ ) ivme kaydı seti elde edilmiştir. TBDY ile uyumlu  $48 \times 11 \times 72 = 38,016$  ( $12 \times 4 = 48$  adet ivme kaydı seti, her bir sette bulunan kayıt sayısı 11 ve 72 adet TSD sistem) adet doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmıştır ve enerji/kütle  $(EI/m)_{mak}$  değerleri hesap edilmiştir. Sunulan mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenebilir:

- Doğrusal olmayan dinamik analizler sonucunda, set içerisindeki farklı ivme kayıtlarından, farklı  $(E_I/m)_{mak}$  değerleri elde edilmiştir. 11 farklı  $(E_I/m)_{mak}$  değerlerinin ortalamasından elde edilen  $m_{(E_I/m)_{mak}}$  değerleri farklı setler için birbirlerine oldukça yakın hesap edilmiştir. Yani dikkate alınan tasarım spektrumları ile uyumlu farklı ivme kaydı setleri kullanıldığında elde edilecek  $m_{(E_I/m)_{mak}}$  değerleri birbirlerine yakın olacaktır.
- Farklı setlerin  $m_{(E_I/m)_{mak}}$  değerlerinin ortalaması olan  $\mu_{m_{(E_I/m)_{mak}}}$  değerleri zemin sınıfı değiştiğinde yani ZB zemin sınıfından, ZD zemin sınıfına doğru artmıştır.
- $\mu_{m_{(E_I/m)_{mak}}}$  değerleri üzerinde TSD sistemlerin periyot değerlerindeki değişimin etkisi düşük elde edilmiş ve bu sonuç çalışmada dikkate alınan tüm zemin sınıfları için de geçerli olduğu görülmüştür
- Yatay dayanım oranının  $(F_y/W)$  özellikle TS1, TS2 ve TS3 üzerinde ve düşük periyot değerlerinde etkili olurken, ST4 üzerinde etkisinin az olduğu görülmektedir.
- Set içi saçılım dikkate alındığında,  $\mu_{CoV_{(E_I/m)_{mak}}}$  değerleri tüm tasarım spektrumları, zemin sınıfı ve yatay dayanım oranları için yüksek olarak elde edilmiştir.
- İvme kaydı setler arası saçılım incelendiğinde  $CoV_{m_{(E_I/m)_{mak}}}$  değerleri tüm periyot ve zemin sınıflarında 0.30 veya daha düşüktür.

### Veri Kullanılabilirliği Bildirimi (Data Availability Statement)

Bu çalışmanın bulgularını destekleyen veriler, makul talep üzerine ilgili yazardan temin edilebilir. Data and findings of this study are available from the author upon reasonable request.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

### Kaynaklar (References)

- Akbaş, B., Shen, J., 2003. Depreme dayanıklı yapı tasarımı ve enerji kavramı, Türkiye İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, 14(2), 2877-2901.
- Akkar, S., Sandıkkaya, M.A., Senyurt, M., Sisi, A.A., Ay, B.Ö., Traversa, P., Douglas, J., Cotton, F., Luzi, L., Hernandez, B., Godey, S., 2014. Reference database for seismic ground-motion in Europe (RESORCE). Bulletin of Earthquake Engineering, 12(1), 311-339.
- Ambraseys, N.N., Douglas, J., Rinaldis, D., Berge-Thierry, C., Suhadolc, P., Costa, G., Sigbjornsson, R., Smit, P., 2004. Dissemination of European strong-motion data. CD-ROM Collection, Engineering and Physical Sciences Research Council, 1-80.
- Ancheta, T.D., Darragh, R.B., Stewart, J.P., Seyhan, E., Silva, W.J., Chiou, B.S.J., Wooddell, K.E., Graves, R.B., Kottke, A.R., Boore, D.M., Kishida, T., Donahue, J.L., 2014. NGA-West2 database. Earthquake Spectra, 30(3), 989-1005.
- ATC-40., 1996. Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, 1-2. Applied Technology Council, California.
- Alici, F.S., Sucuoğlu, H., 2016. Prediction of input energy spectrum: attenuation models and velocity spectrum scaling. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 45(13), 2137-2161.
- Alici, F.S., Sucuoğlu, H., 2018. Elastic and inelastic near-fault input energy spectra, Earthquake Spectra, 34(2), 611-637.
- Chopra, A.K., 1995. Dynamics of structures = Theory and applications to earthquake engineering. Prentice-Hall, New York.
- Clough, R.W., Johnston, S.B., 1966. Effect of stiffness degradation on earthquake ductility requirements. Japan Earthquake Engineering Symposium, 1, 227-232.
- Dedeoğlu, İ.E., Calayır, Y., 2021. Farklı tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem kayıtları etkisindeki TSD sistemlerin yapısal tepkilerinin ve giren enerjilerinin değerlendirilmesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 12(2), 411-430.
- Dilmac, H., Ulutas, H., Tekeli, H., & Demir, F. 2018. The investigation of seismic performance of existing RC buildings with and without infill walls. Computers and Concrete, 22(5), 439-447.
- Dindar, A.A., 2009. Enerji esaslı yöntemlerle betonarme kolonların analizi ve tasarımı, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Dindar, A.A., Yalçın, C., Yüksel, E., Özkaynak, H., Büyüköztürk, O., 2015. Development of earthquake energy demand spectra, Earthquake Spectra, 31(3), 1667-1689.
- Fajfar, P., Vidic, T., Fischinger, M., 1991. On the energy input into structures, Pacific Conference on Earthquake Engineering, 1, 81-92.
- FEMA-440., 2005. Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures. Federal Emergency Management Agency, Washington DC.
- Hachem, M., 2004. BISPEC: Interactive Software for the Computation of Unidirectional and Bidirectional Nonlinear Earthquake Spectra, Structures, 1-12.
- Kayhan, A.H., Demir, A., 2016. Statistical evaluation of drift demands of RC frames using code-compatible real ground motion record sets. Structural Engineering and Mechanics, 60(6):953-977.
- Kayhan, A.H., Demir, A., Palanci, M., 2018. Statistical evaluation of maximum displacement demands of SDOF systems by code compatible nonlinear time history analysis. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 115:513-530.

- Kayhan, A.H., Demir, A., Palanci, M., 2022. Multi-functional solution model for spectrum compatible ground motion record selection using stochastic harmony search algorithm. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 20, 6407–6440.
- Kumbasaroglu, A., 2020. Effect of anchor bars on seismic behavior of infilled walled frames. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(10), 2980-2992.
- Merter, O., 2014. Çok katlı betonarme çerçeve sistemlerin deprem etkileri altında göçme güvenliğinin enerji esaslı yöntemle belirlenmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Merter, O., Uçar, T., Düzgün, M., 2017. Determination of earthquake safety of RC frame structures using an energy-based approach, *Structural Engineering and Mechanics*, 19(6), 689-699.
- Merter, O., 2019. An investigation on the maximum earthquake input energy for elastic SDOF systems. *Earthquakes and Structures*, 16(4), 487-499.
- Palanci, M., Kayhan, A.H., Demir, A., 2018. 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(11), 5453–5488.
- Palanci, M., Demir, A., Kayhan, A.H., 2021. 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.
- Priestley, M.J.N., Calvi, G.M., Kowalsky, M.J., 2007. *Displacement Based Seismic Design of Structures*. IUSS Press, Pavia, Italy.
- SEAOC Vision 2000 Committee., 1995. *Performance-based seismic engineering*, Report Prepared by Structural Engineers Association of California, Sacramento, California, (1995).
- TBDY., 2018. *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- Uçar, T., Merter, O., 2018. Effect of design spectral shape on inelastic response of RC frames subjected to spectrum matched ground motions, *Structural Engineering and Mechanics*, 69(3), 293-306.
- Uçar, T., 2020. Computing input energy response of MDOF systems to actual ground motions based on modal contributions. *Earthquakes and Structures*, 18(2), 263-273.