



Araştırma Makalesi / Research Article

Farklı tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem kayıtları etkisindeki TSD sistemlerin yapısal tepkilerinin ve giren enerjilerinin değerlendirilmesi

*Evaluation of structural response and input energies of SDOF systems subjected to earthquake records scaled according to different design spectra*İbrahim Özgür DEDEOĞLU^{1*}, Yusuf CALAYIR²¹ Batman Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Batman, iozgur.dedeglu@batman.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5356-6655² Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, ycalayir@firat.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6387-5360

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 31 Aralık 2020
Düzeltilme: 16 Mart 2021
Kabul: 16 Mart 2021

Anahtar kelimeler:

Enerji esaslı tasarım, TBDY (2018), DBYBHY (2007), Giren Enerji, TSD Sistemler

ÖZET

Enerji tabanlı sismik tasarım yaklaşımında, yapılara enerji girişi olarak deprem yer hareketi dikkate alınmaktadır. Deprem sırasında sisteme giren enerji, yapı sisteminde oluşan kinetik enerji, sönümlenme enerjisi, elastik şekil değiştirme enerjisi ve histeretik enerji bileşenlerinin toplamına eşittir. Bu yüzden sisteme giren enerjinin miktarının ve ne şekilde tüketildiğinin bilinmesi önemlidir. Bu çalışmada, Elazığ il merkezinde bulunduğu varsayılan 3 adet tek serbestlik dereceli (TSD) oluşturulmuş ve bu yapı sistemlerin, DBYYHY (2007) ve TBDY (2018)'nin zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem ivme kayıtları altındaki davranışları değerlendirilmiştir. Bu amaçla beş farklı deprem ivme kaydı seçilmiştir. Bu ivme kayıtları, yapıların bulunduğu bölge dikkate alınarak, her iki yönetmeliğin dört zemin sınıfı için oluşturulan tasarım spektrumlarına göre ayrı ayrı ölçeklendirilerek kullanılmıştır. Yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışı için iki-doğrulu (non-lineer) model dikkate alınmıştır. TSD modellerin hareket denklemleri Newmark ortalama ivme yöntemi kullanılarak zaman tanım alanında çözülmüştür. Her bir yapı modeline ait yer değiştirmeler zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerden belirlendikten sonra, deprem etkisiyle TSD sistemlere giren toplam enerji miktarları hesaplanmıştır. Yapısal sistemlerinde oluşan yer değiştirmeler, kesme kuvvetleri ve enerji girdileri birbirleri arasında karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.851068

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 31 December 2020
Revised: 16 March 2021
Accepted: 16 March 2021

Keywords:

Energy based design, TBDY (2018), DBYBHY (2007), Input Energy, SDOF Systems

ABSTRACT

In the energy-based seismic design approach, earthquake ground motion is taken into account as input energy to structures. This energy entering the system during the earthquake is equal to the sum of the kinetic energy, damping energy, elastic strain energy and hysteretic energy components formed in the structure system. Therefore, it is important to know the value of the energy entering the system and how it is consumed. In this study, 3 single degree of freedom (TSD) models, which are assumed to be located in Elazığ city center, were formed. Then, the behavior of these structural systems under earthquake acceleration records scaled according to the design spectra of the soil classes of DBYYHY (2007) and TBDY (2018) were evaluated. For this purpose five different earthquake records were selected. These acceleration records were used by scaling separately according to the design spectra for the four soil classes of both regulations, taking into account the area where the buildings are located. For the nonlinear behavior of structural elements, bi-linear model is considered. The motion equations of SDOF models are solved in the time domain using the Newmark average acceleration method. After determining the displacements of each system by using nonlinear dynamic analysis in the time domain, the total input energies of SDOF systems with the earthquake were calculated. The displacements, shear forces and energy inputs in the structures models were compared with each other and the results were evaluated.

* Sorumlu yazar / Correspondence
İbrahim Özgür Dedeoğlu
✉ iozgur.dedeglu@batman.edu.tr

Giriş

Günümüzde yapı sistemlerinin depreme dayanıklı tasarımında; yapı sistemlerinin az şiddetli depremlerde hasar görmemesi, orta şiddetli depremlerde onarılabılır hasar görmesi ve şiddetli depremlerde göçmeden ayakta kalabilmesi felsefesi dikkate alınmaktadır. Tasarım aşamasında yönetmeliklerde deprem yükü hesabında kuvvet (dayanım) tabanlı ve şekil değiştirme esaslı yöntemler kullanılmaktadır. Kuvvet esaslı yöntemlerde; yapı taşıyıcı sistemine etkiyen düşey ve yatay yük etkileri altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan iç kuvvetlerin, bu elemanların taşıma gücü değerlerini aşmaması esası dikkate alınmakta ve yapı tasarımı buna göre gerçekleştirilmektedir. Diğer bir yaklaşım olan şekil değiştirme esaslı yöntemler ise, yapı sistemlerinin doğrusal olmayan şekil değiştirme ve davranış özelliklerini dikkate alan yapısal güvenlik değerlendirme ya da performans dayalı tasarım yöntemleridir. Her iki yöntemde, tasarım aşamasında özellikle maksimum kuvvet, şekil ve yer değiştirme değerleri dikkate alınarak yapı tasarımı yapılmaktadır.

Ancak yukarıda sözü edilen tasarım yöntemlerinde yapı sisteminin tekrarlı yükler altındaki davranışı ve yapı elemanlarının doğrusal olmayan yer değiştirmedeki histeretik çevrimsel davranışı dolaylı olarak dikkate alınmakta ve birikimli hasar ise hemen hemen hiç göz önüne alınmamaktadır. Depreme dayanıklı tasarımda, yapının deprem yükleri altında yapısal hasarını tanımlamanın bir diğer yolu yapı sisteminin enerji esaslı değerlendirilmesidir. Son yıllarda yapılan bazı çalışmalar ise, henüz mevcut deprem yönetmeliklerine doğrudan girmemiş olan enerji esaslı yöntemlerin yapısal tasarım ve değerlendirme açısından diğer tasarım yöntemlerine göre daha akılcı ve güvenilir olabileceğini göstermektedir [1]-[7].

Enerji kavramının yapı tasarımında bir seçenek olarak kullanılması ilk kez Housner tarafından 1. Dünya Deprem Mühendisliği Konferansı'nda önerilmiştir. Çalışmada, belirli depremlerin hız spektrumlarının geniş bir periyod aralığında sabit kalma eğiliminin olduğu gösterilmiştir. Yapı

sistemlerine depremle birlikte giren enerjinin hız spektrumuna bağlı olarak tanımlanması, yapı tasarımına yeni bir bakış açısı getirmiş ve birçok araştırmaya ışık tutmuştur [8]. Bir depremin şiddeti genellikle yer hareketinin maksimum yer ivmesi esas dikkate alınarak değerlendirilir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki depremin maksimum yer ivmesi ile yapı hasarı arasında doğrudan bir ilişki olmadığı gözlenmiştir [9]. Enerji ve enerji parametreleri orta ve şiddetli depremlere maruz yapıların tasarımında umut veren önemli parametrelerdir [10]. Yapı sistemleri, deprem etkidiği esnada yapıya giren enerjiyi tüketmek zorundadırlar. Bu deprem enerjisinin bir kısmı elastik ve kinetik olarak depolanmaktadır, kalan enerji ise yapısal ve yapısal olmayan yapı elemanlar tarafından sönüm ve doğrusal olmayan davranış yolu ile tüketilmektedir [11].

Enerji esaslı deprem mühendisliğinde cevabı aranan en temel soru deprem etkisindeki yapı sistemlerine giren enerjinin belirlenmesidir. Yapılara enerji girişi ile ilgili literatürde öncü çalışmalar mevcuttur. Bu öncü çalışmalar depreme dayanıklı yapı tasarımında yeni bakış açıları göstermişlerdir. Hafif şiddetli depremlerde giren enerji yapıda elastik enerji ve sönüm enerjisi olarak tüketilirken, orta şiddetli ve güçlü yer hareketlerinde bu enerjinin büyük bir çoğunluğu doğrusal olmayan davranış yoluyla (histeretik, plastik enerji olarak) tüketilmektedir. Enerji esaslı tasarım yöntemi, yapı sistemini meydana getiren elemanların elastik ve elastik ötesi davranışta tüketileceği toplam enerji kapasitesinin deprem sırasında yapıya girecek olan enerji (talep edilen enerji) ile karşılaştırması esasına dayanmaktadır [12-29].

Yapılan bu çalışmada, Elazığ il merkezinde bulunduğu varsayılan 3 adet TSD yapı sisteminin DBYYHY (2007) ve TBDY (2018)'nin zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem yer hareketleri altındaki davranışları değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, yapı sistemlerinde oluşan yer değiştirmeler ve kesme kuvvetleri gibi yapısal tepkileri ile deprem esnasında sisteme giren enerji miktarları irdelenmiştir.

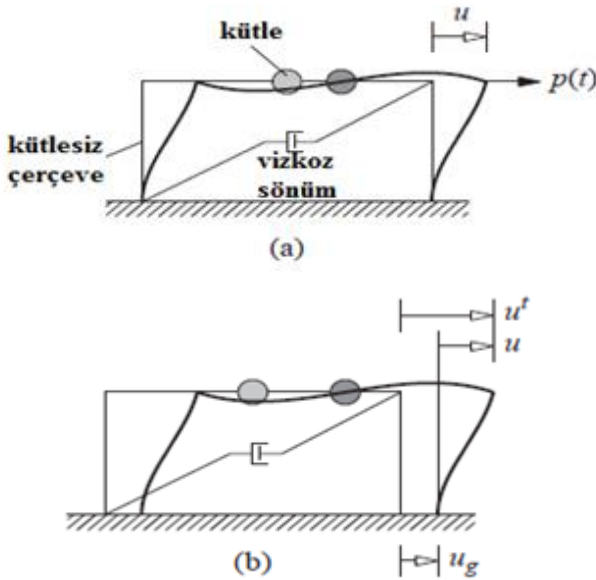
Sismik enerji bileşenleri

Yatay bir yer hareketi etkisindeki viskoz sönümlü TSD bir sistem Şekil 1'de verilmiştir [30]. TSD sistemin hareket denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$m\ddot{u}_t(t) + c\dot{u}(t) + f_s(t) = 0 \quad (1)$$

Burada m kütle, c sönüm katsayısı, f_s yay kuvveti (doğrusal bir sistem için $f_s = k * u$), u kütle için yere göre rölatif yer değiştirmesi, u_g yer hareketi yer değiştirmesi ve $u_t = u + u_g$ olmak üzere toplam yer değiştirmedir. Eğer deprem etkisi, tabana ankastre bir sisteme etkileyen bir dış yük olarak düşünülürse, Denklem 1 aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + f_s(u(t), \dot{u}(t)) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (2)$$



Şekil 1. TSD sistem a) Tabana ankastre eşdeğer sistem b) Hareket edebilen sistem

Enerji esaslı tasarımda deprem anında yapıya giren enerji; sistemin kinetik, sönüm, elastik şekil değiştirme enerjisi ve doğrusal olmayan şekil değiştirme (histeretik) enerjilerinin toplamı olarak tariflenmektedir. Enerji bağıntısı Denklem 2'de verilen temel yapı dinamiği denkleminin yer değiştirmeye bağlı olarak integrasyonuna dayanmaktadır [30].

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

Denklem 3'ün sağ tarafında yer alan ifade; yapıya giren toplam enerjiyi, E_I göstermektedir.

$$E_I = - \int_0^u m \ddot{u}_g(t) du$$

Denklem 3'ün sol tarafında yer alan ilk terim; kütle için yere göre göreceli hareketiyle ilişkili olan kinetik enerjiyi, E_K göstermektedir.

$$E_K = \int_0^u m \dot{u}(t) du = \int_0^u m \dot{u}(t) d\dot{u} = \frac{m\dot{u}^2}{2}$$

Denklem 3'ün sol tarafında yer alan ikinci terim; viskoz sönüm yoluyla tüketilen sönüm enerjiyi, E_D göstermektedir.

$$E_D = \int_0^u c \dot{u}(t) du$$

Denklem 3'ün sol tarafında yer alan üçüncü terim ise; sistemin elastik ve elastik ötesi olan doğrusal olmayan davranış yoluyla tüketilen toplam enerjiyi, E_a göstermektedir. Elastik birim şekil değiştirme enerjisi, E_s :

$$E_s = \frac{[f_s(t)]^2}{2k}$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada k doğrusal olmayan sistemin başlangıç rijitliğini göstermektedir. Sistemin akması sonucu doğrusal olmayan davranışa geçerek tükettiği enerji ise E_p :

$$E_p = \int_0^u f_s(u(t), \dot{u}(t)) du - \frac{[f_s(t)]^2}{2k}$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bu enerji terimleri göz önüne alınarak TSD bir sistemin enerji dengesi yeniden yazılırsa aşağıdaki ifade edilir.

$$E_K(t) + E_D(t) + E_s(t) + E_p(t) = E_I(t)$$

Çalışma kapsamında, enerji denklemlerinin elde edilmesinde tabana ankastre ve büyüklüğü $-m\ddot{u}_g(t)$ olan deprem kuvveti bir dış yüklemeye maruz TSD sistem modeli kabul edilmiştir.

Ayrıca denklemlerdeki enerji terimleri toplam hareket sonucu oluşan değil, kütlelerin yere göre göreceli hareket enerjisini ifade etmektedir. Toplam enerji E_I , yer hareketi sonucu yapının temelinde oluşan toplam kesme kuvvetinin yaptığı işe göre de mutlak enerji şeklinde ifade edilebilir.[31].

Ancak bir yapıda iç kuvvetlere ve şekil değişimlerine yol açan etkilerin göreceli yer değiştirmeler ve hızlar olduğu göz önüne alındığında, göreceli yer harekete göre yazılan enerji terimlerinin mutlak hız ve yer değiştirmelere göre yazılan terimlerden daha anlamlı olduğu görülmektedir [32].

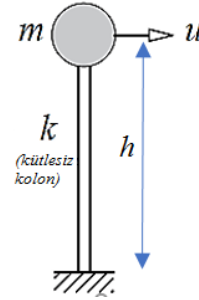
Sayısal çalışma

Model tanıtımı ve yer hareketlerinin özellikleri

Çalışma kapsamında 3 adet TSD yapı modeli oluşturulmuş ve bunların Elazığ ili merkez üniversite mahallesinde bulunduğu varsayılmıştır. Yapı modellerinin periyodları her iki deprem yönetmeliğinin zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarının köşe periyod değerleri olan T_A ve T_B değerleri göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Buna göre, Model 1'e ait periyodun tüm zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarının T_A değerlerinden küçük kalması, Model 2'ye ait periyodun tüm zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarının T_A ve T_B değerleri arasında olması ve Model 3'e ait periyodun tüm zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarının T_B

değerlerinden büyük olması durumu sağlanmıştır. Oluşturulan yapı modellerinin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

TSD modellerde kütlelerin tepede toplandığı ve taban ucunda plastik mafsalın olduğu ideal göçme mekanizması esas alınmıştır. Şekil 2'de TSD model örneği gösterilmiştir.



Şekil 2. TSD sistem modeli

DBYYHY (2007) [33] yönetmeliği için Z1, Z2, Z3 ve Z4 zemin sınıfları ve TBDY (2018) [34] yönetmeliği için ZA, ZB, ZC ve ZD zemin sınıfları dikkate alınarak ölçeklendirilen 5 gerçek deprem ivme kaydı kullanılmıştır. Elazığ il merkezi üniversite mahallesi için 4 zemin sınıfı dikkate alınarak oluşturulan her iki deprem yönetmeliğine ait tasarım spektrumları birlikte Şekil 3-6'da gösterilmiştir. Çalışma kapsamında, Z1-ZA, Z2-ZB, Z3-ZC ve Z4-ZD zemin sınıflarının yaklaşık eşdeğer olduğu kabul edilmiştir. Tasarım spektrumlarının karakteristik özellikleri, Tablo 2-3 'de verilmiştir.

Tablo 1. TSD Yapı modellerinin yapısal özellikleri

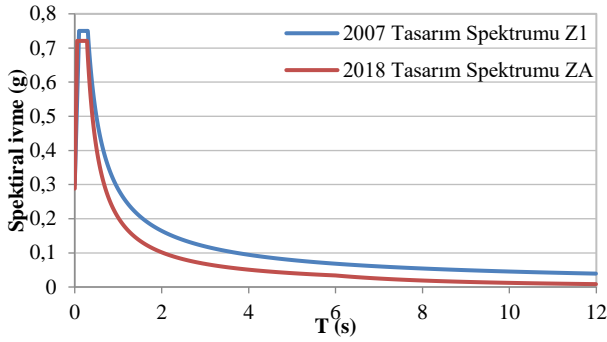
	Kolon kesiti (m ²)	Kütle (t)	Kolon Yüksekliği (m)	Boyuna Donatı	Etriye çapı /Aralık (mm)	Periyod (s)	Beton ve Donatı Çeliği Sınıfı
Model 1	0.50x0.50	0.8	3	16 Φ 16	Φ 10/100	0.045	C30/B420C
Model 2	0.70x0.70	35	4.5	20 Φ 18	Φ 10/100	0.276	C30/B420C
Model 3	0.80x0.80	340	6	24 Φ 22	Φ 10/100	1.017	C30/B420C

Tablo 2. 2007 Tasarım spektrumlarının karakteristik özellikleri

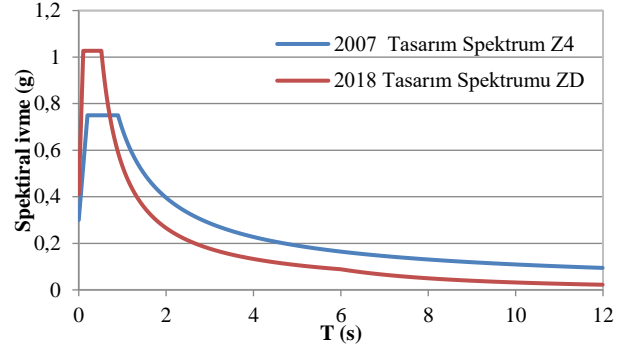
Zemin Sınıfı	Etkin yer ivme katsayısı	T_A	T_B
Z1	0.3	0.10	0.30
Z2	0.3	0.15	0.40
Z3	0.3	0.15	0.60
Z4	0.3	0.2	0.90

Tablo 3. 2018 Tasarım spektrumlarının karakteristik özellikleri

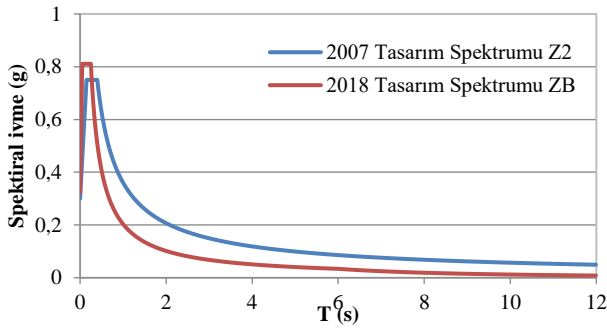
Zemin Sınıfı	S_{DS}	S_{D1}	T_A	T_B
ZA	0.721	0.282	0.056	0.282
ZB	0.811	0.203	0.050	0.251
ZC	1.081	0.381	0.070	0.352
ZD	1.027	0.531	0.104	0.518



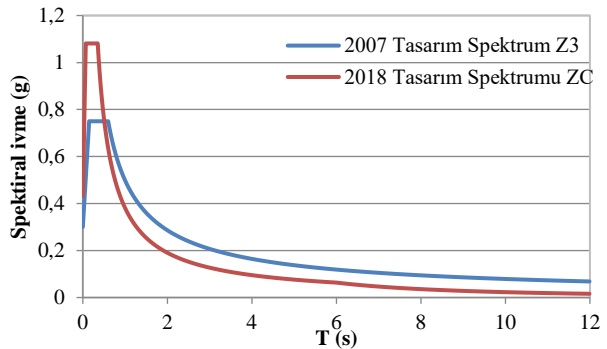
Şekil 3. Z1 ve ZA zemin sınıfına ait spektrumlar



Şekil 6. Z4 ve ZD zemin sınıfına ait spektrumlar

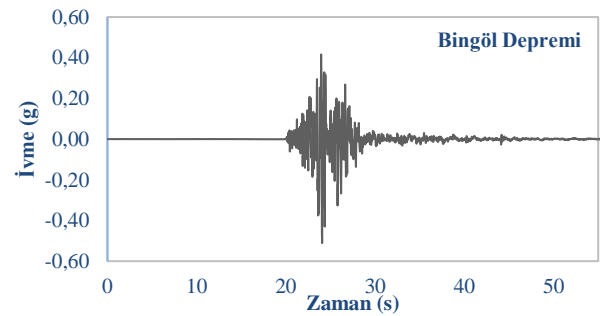


Şekil 4. Z2 ve ZB zemin sınıfına ait spektrumlar

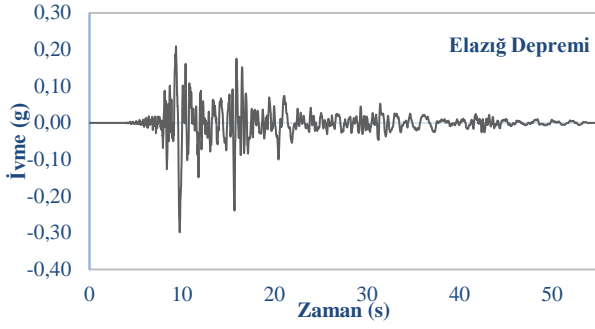


Şekil 5. Z3 ve ZC zemin sınıfına ait spektrumlar

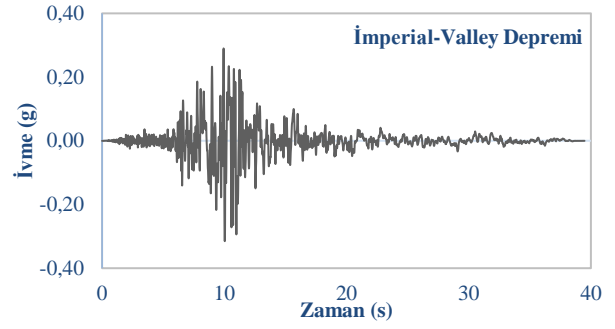
Çalışma kapsamında, Kocaeli, Bingöl, Elazığ Elcentro ve Imperial-Valley depremleri seçilmiştir. Bu deprem kayıtlarına ait özellikler Tablo 4'de verilmiştir. Deprem ivme kayıtlarının ölçeklenmemiş zaman geçmişi grafikleri Şekil 7-11'de sırasıyla gösterilmiştir. SeismoMatch 2020 [35] programı kullanılarak zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi ile bu seçilen deprem ivme kayıtları ölçeklenmiştir.



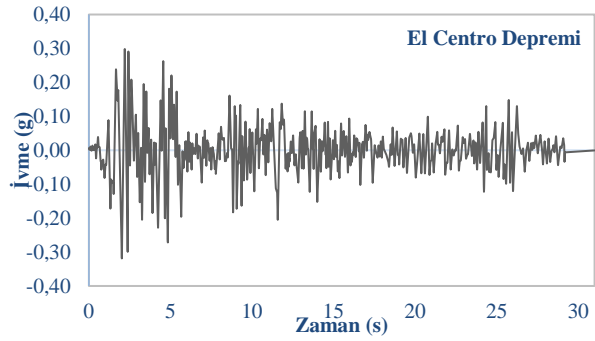
Şekil 7. Bingöl deprem ivme kaydı zaman geçmişi



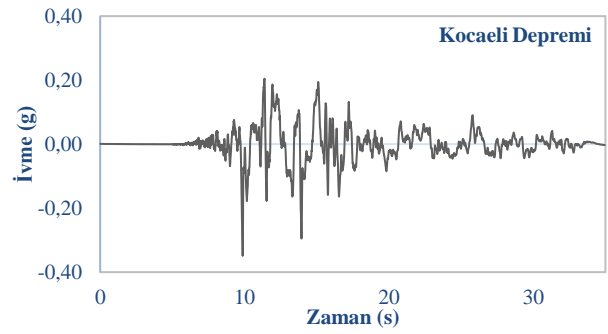
Şekil 8. Elazığ deprem ivme kaydı zaman geçmişi



Şekil 10. İmperial-Valley deprem ivme kaydı zaman geçmişi



Şekil 9. El Centro deprem ivme kaydı zaman geçmişi



Şekil 11. Kocaeli deprem ivme kaydı zaman geçmişi

Tablo 4. Deprem kayıtlarının özellikleri

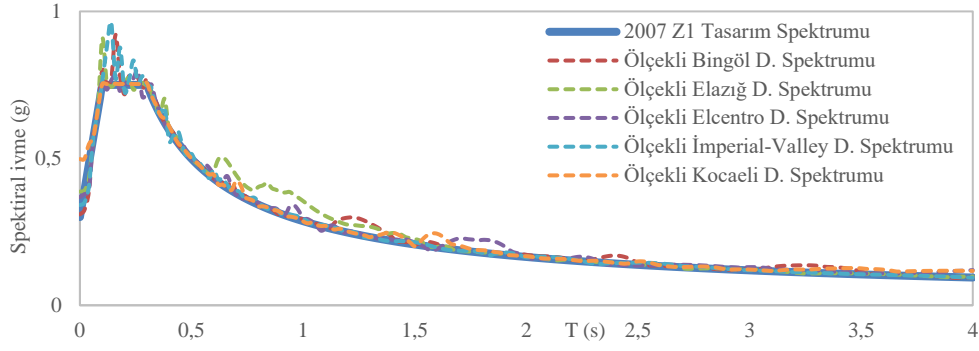
Kayıt adı	Deprem & Yıl	İstasyon	M _w	V _{s30} (m/s)	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
Merkez (Bingöl) *	Bingöl, 2003	1201	6.30	529	0.5109	37.21	15.74
Sivrice (Elazığ)*	Sivrice, 2020	2308	6.80	450	0.2986	45.34	10.99
Imperial Valley-06**	İmperial Valley, 1979	El Centro	6.53	163	0.3152	31.49	14.12
Imperial Valley-02**	El Centro, 1940	El Centro	6.95	213	0.3188	36.15	21.35
Kocaeli **	Kocaeli, 1999	Yarımcı	7.51	297	0.3490	62.18	51.30

*[36] numaralı kaynaktan alınmıştır.

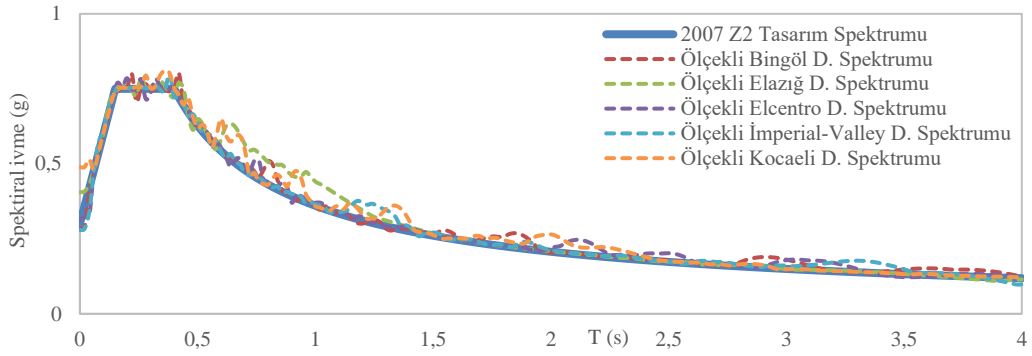
**[37] numaralı kaynaktan alınmıştır.

DBYYHY (2007) ve TBDY (2018) deprem yönetmeliklerinin zemin sınıflarına ait tasarım

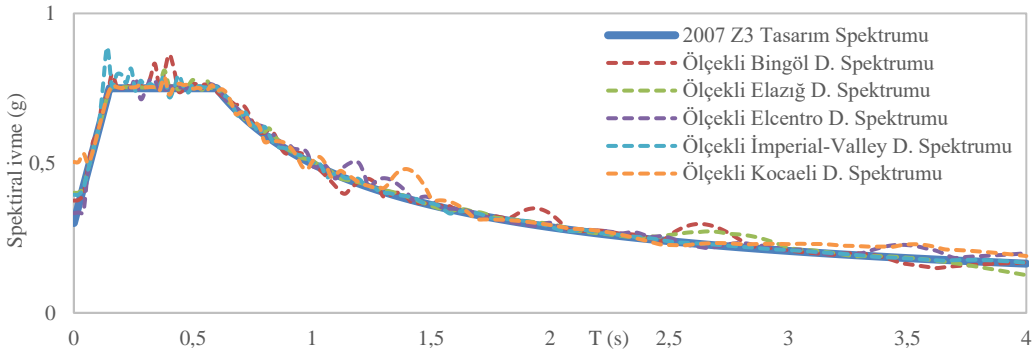
spektrumları ve bu spektrumlara göre ölçeklenmiş depremlerin tepki spektrumları Şekil 12-19'da verilmiştir.



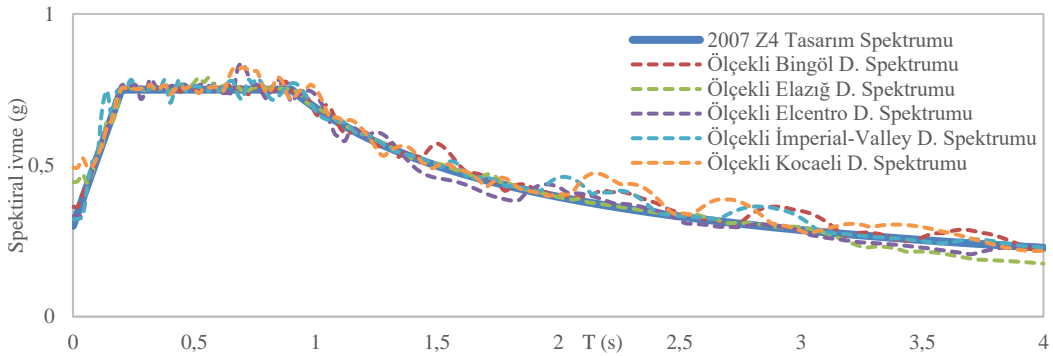
Şekil 12. DBYBHY (2007) Z1 Tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş depremlerin tepki spektrumları



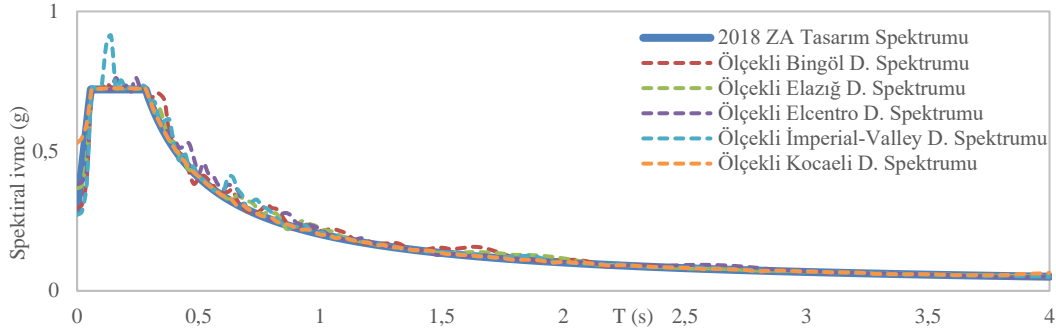
Şekil 13. DBYBHY (2007) Z2 Tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş depremlerin tepki spektrumları



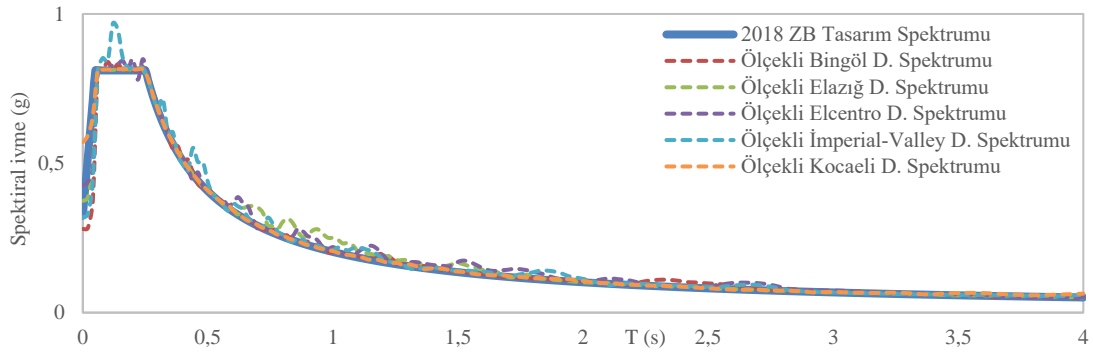
Şekil 14. DBYBHY (2007) Z3 Tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş depremlerin tepki spektrumları



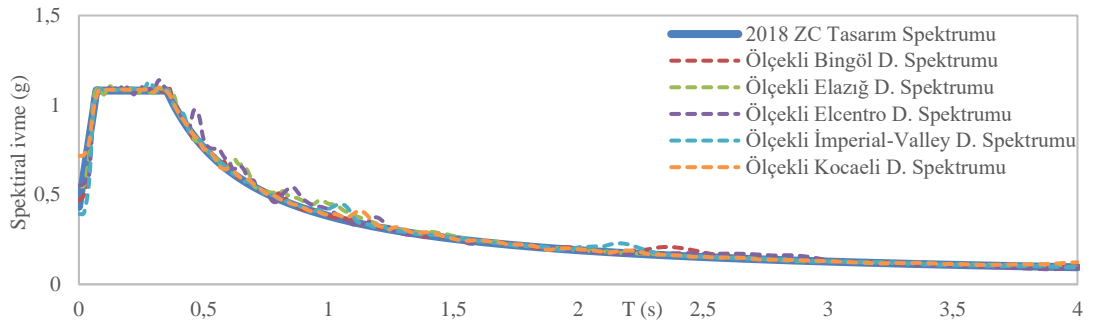
Şekil 15. DBYBHY (2007) Z4 Tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş depremlerin tepki spektrumları



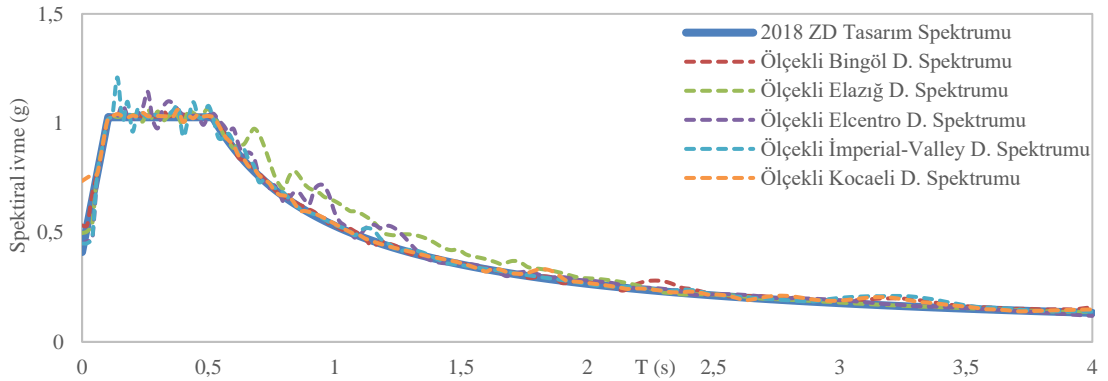
Şekil 16. TBDY (2018) ZA Tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş depremlerin tepki spektrumları



Şekil 17. TBDY (2018) ZB Tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş depremlerin tepki spektrumları



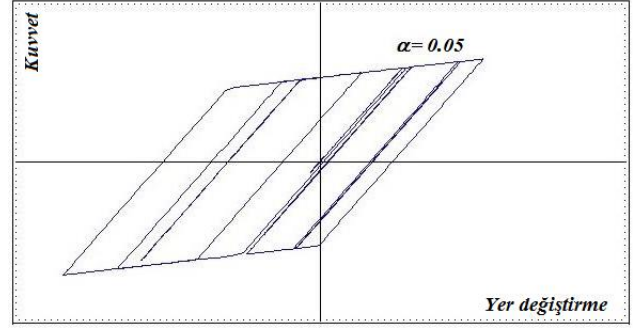
Şekil 18. TBDY (2018) ZC Tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş depremlerin tepki spektrumları



Şekil 19. TBDY (2018) ZD Tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş depremlerin tepki spektrumları

Materyal Method

Öncelikle, TSD yapı modellerinin sismik enerji bileşenleri bölümünde verilen hareket denklemi oluşturulmuştur. Dinamik etki olarak, seçilen depremlerin ölçeklenmiş ivme kayıtları kullanılmıştır. TSD sistemlerin hareket denklemi Newmark ortalama ivme yönetimi kullanarak nümerik olarak çözülmüştür. Her bir yapı modeline ait yer değiştirmeleri zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerden belirlenmesinin ardından, depremle birlikte TSD sistemlere giren toplam enerji miktarları hesaplanmıştır. Yapısal elemanların lineer olmayan davranışı için iki doğrusal lineer (non-linear) model kullanılmıştır. Bu modelin çevrimsel yüklemdeki davranış biçimi Şekil 20’de gösterilmiştir. Akma sonrası rijitlik başlangıç rijitliğinin % 5’i oranında olduğu kabul edilmiştir. Yapı modellerinin çözümleri için yazarlar tarafından Matlab [38] ortamında hazırlanan bir program kullanılmıştır.

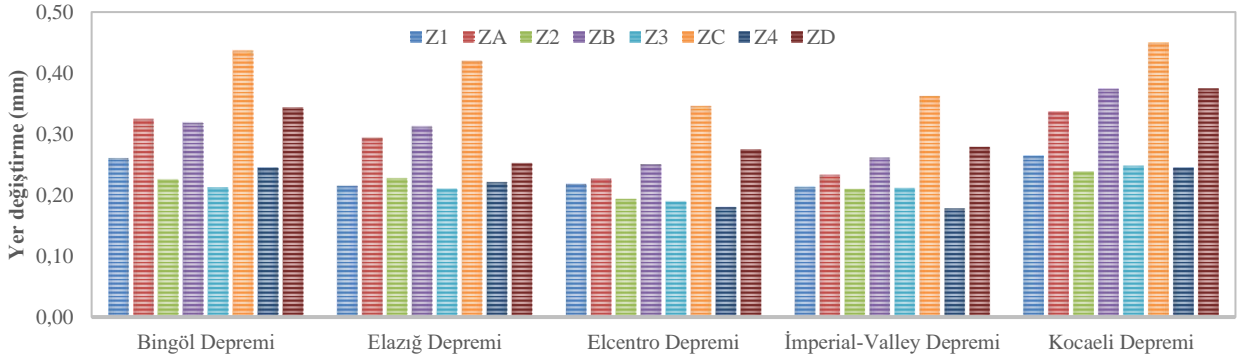


Şekil 20. Yapısal elemanlar için iki-doğrusal (nonlinear) davranış modeli

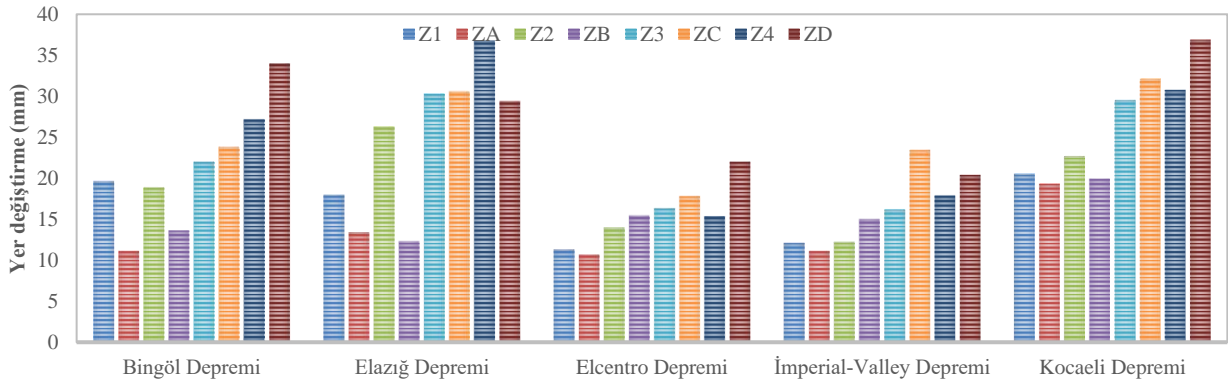
Analiz Sonuçları

Yapı sistemlerinin çözümlerinden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

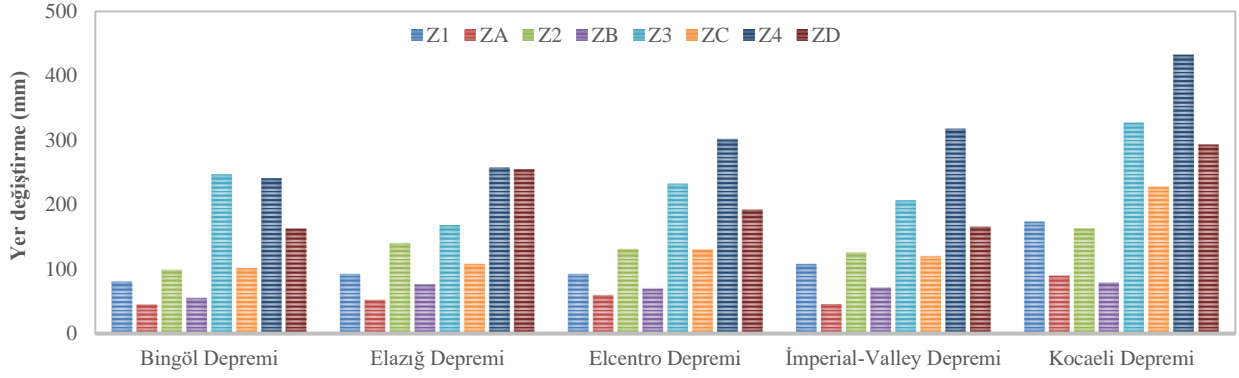
TSD modellerin, DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 deprem yönetmeliklerinin zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem yer hareketleri altındaki çözümlerinden elde edilen maksimum yer değiştirmeler her bir model için ayrı ayrı olmak üzere Şekil 21-23’de verilmiştir.



Şekil 21. Model 1’de elde edilen maksimum yer değiştirmeler



Şekil 22. Model 2’de elde edilen maksimum yer değiştirmeler



Şekil 23. Model 3'de elde edilen maksimum yer değiştirmeler

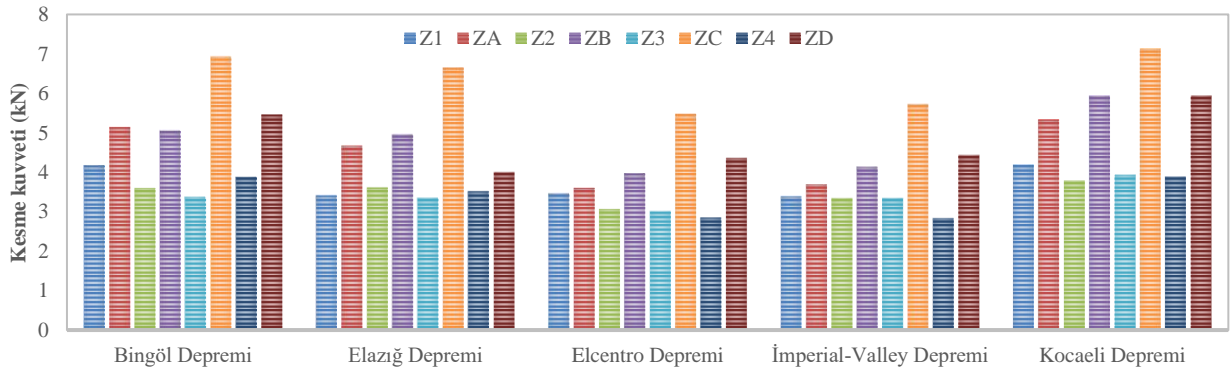
TSD modellerin beş deprem yer hareketi altındaki yer değiştirme çözümleri her iki yönetmeliğin yaklaşık eşdeğer zemin sınıfları açısından incelendiğinde;

- Model 1'in Z1-Z4 zemin sınıflarına ait maksimum yer değiştirmeleri, aynı modelin ZA-ZD zemin sınıflarına ait maksimum yer değiştirmelerine göre daha küçük elde edilmiştir. Küçük değer temel alınarak yapılan karşılaştırmalarda % 106'ya varan farklar ortaya çıkmıştır.
- Model 2'in çözümlerinde, eşdeğer zemin sınıflarına ait maksimum yer değiştirmeler arasındaki ilişki deprem yer hareketlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenlik küçük değer temel alınarak karşılaştırıldığında % 53'e varan farklara ulaşabilmektedir.
- Model 3'ün Z1-Z4 zemin sınıflarına ait maksimum yer değiştirmeleri, ZA-ZD zemin sınıflarına ait maksimum yer

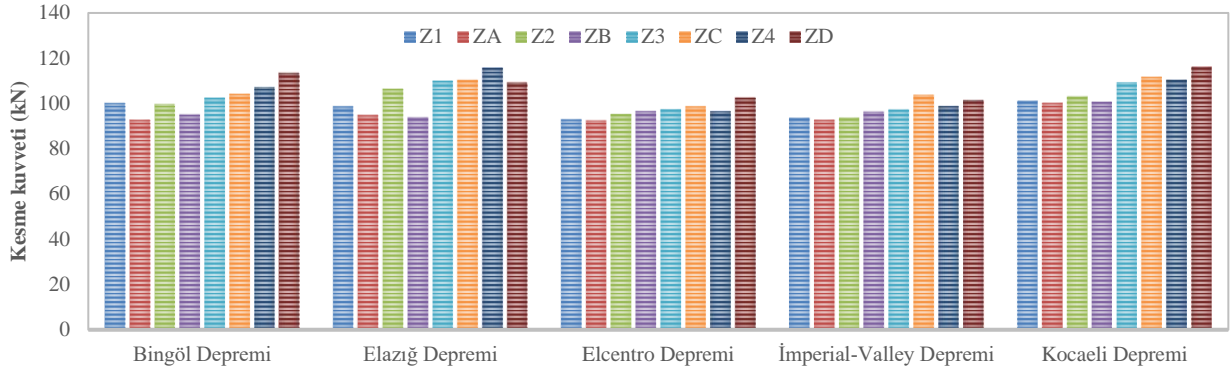
değiştirmelerine göre daha büyük elde edilmiştir. Küçük değer temel alınarak yapılan karşılaştırmalarda % 143'e varan farklar gözlenmiştir.

- Çalışmada özellikle Model 2 ve Model 3 için, ölçeklenmiş deprem yer hareketi kayıtlarının kullanılmasıyla gerçekleştirilen dinamik analizlerin değerlendirilmesinde, zemin durumu daha zayıf olan tasarım spektrumuna göre ölçeklenmiş kayıtların verdiği maksimum yer değiştirme değerlerinin genellikle daha büyük olduğu görülmüştür.

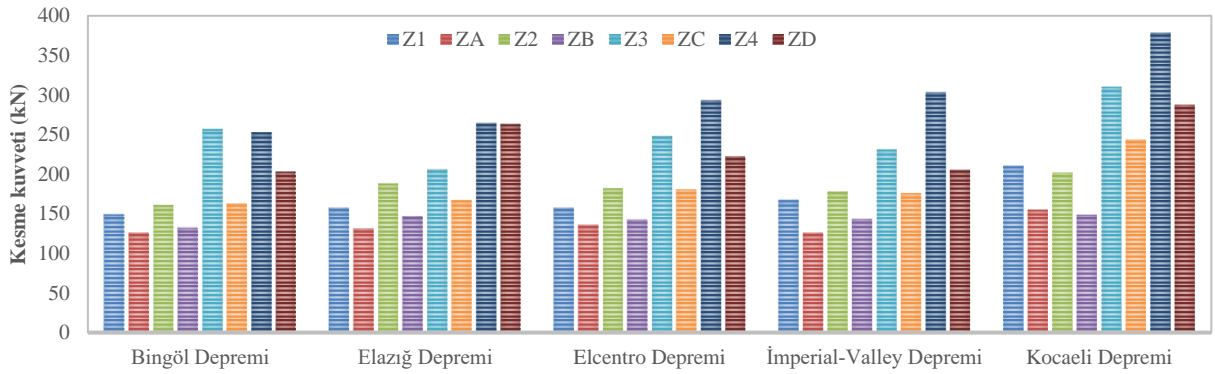
TSD modellerin, DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 deprem yönetmeliklerinin zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem yer hareketleri altındaki çözümlerinden elde edilen maksimum kesme kuvvetleri her bir model için ayrı ayrı olmak üzere Şekil 24-26 arasında gösterilmiştir.



Şekil 24. Model 1'de elde edilen maksimum kesme kuvvetleri



Şekil 25. Model 2'de elde edilen maksimum kesme kuvvetleri



Şekil 26. Model 3'de elde edilen maksimum kesme kuvvetleri

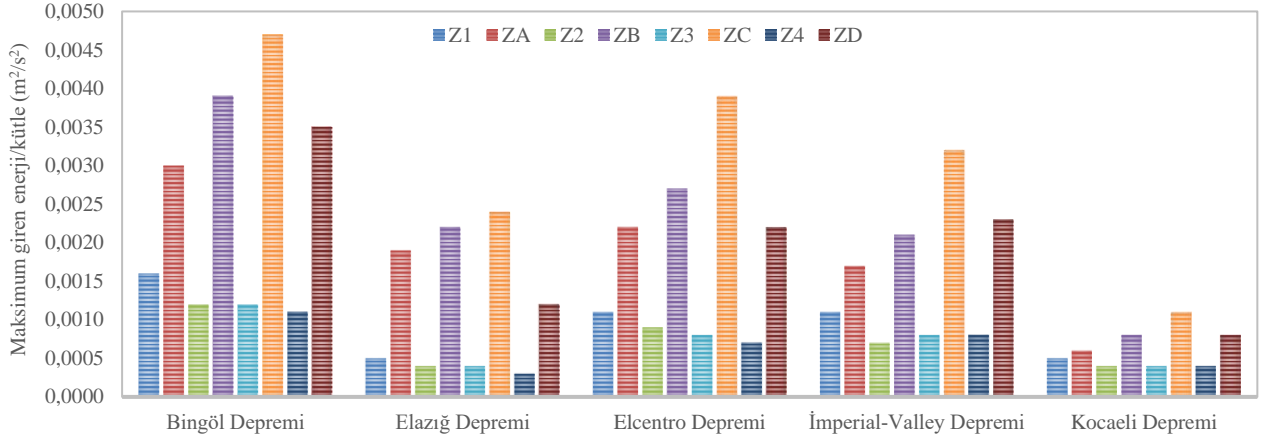
TSD modellerin, beş deprem yer hareketi altındaki kesme kuvveti çözümleri her iki yönetmeliğin yaklaşık eşdeğer zemin sınıfları açısından incelendiğinde;

- Model 1'in Z1-Z4 zemin sınıflarına ait maksimum kesme kuvvetleri, aynı modelin ZA-ZD zemin sınıflarına ait maksimum kesme kuvvetlerine göre daha küçük elde edilmiştir. Küçük değer temel alınarak yapılan karşılaştırmalarda % 106'ya varan farklar ortaya çıkmıştır.
- Model 2'in çözümlerinde, eşdeğer zemin sınıflarına ait maksimum kesme kuvvetleri birbirine yakın çıkmıştır.
- Model 3'ün Z1-Z4 zemin sınıflarına ait maksimum kesme kuvvetleri, ZA-ZD zemin sınıflarına ait maksimum kesme kuvvetlerine göre daha büyük elde edilmiştir. Küçük değer temel alınarak

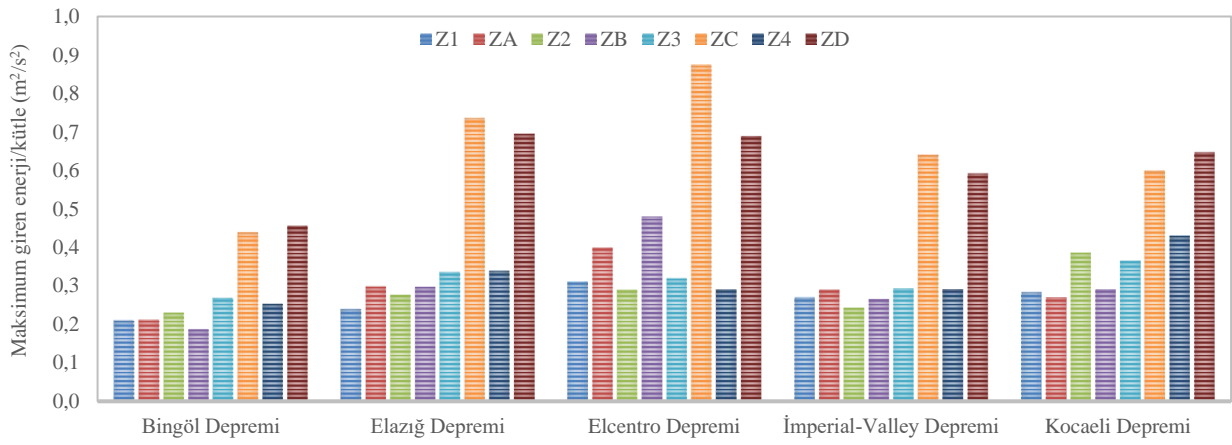
yapılan karşılaştırmalarda % 58'e varan farklar gözlenmiştir.

- Çalışmada Model 3 için, ölçeklenmiş deprem yer hareketi kayıtlarının kullanılmasıyla gerçekleştirilen dinamik analizlerin değerlendirilmesinden, zemin durumu daha zayıf olan tasarım spektrumuna göre ölçeklenmiş kayıtların verdiği maksimum kesme kuvveti değerlerinin genellikle daha büyük olduğu görülmektedir.

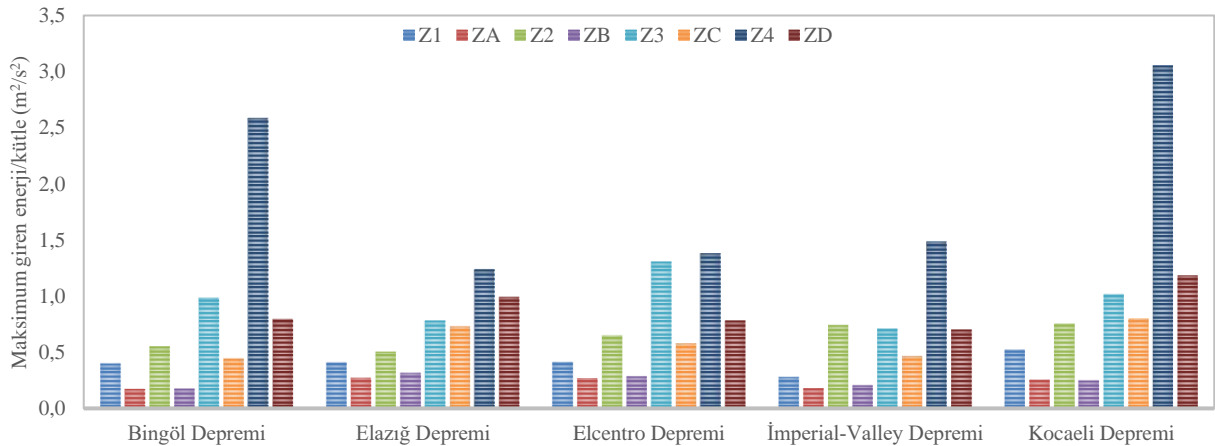
TSD modellerin, DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 deprem yönetmeliklerinin zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem yer hareketleri altındaki çözümlerinde yapı sistemine giren maksimum enerji miktarı, yapı kütlesine bölünerek birim kütleye giren maksimum enerji olarak her bir model için ayrı ayrı olmak üzere Şekil 27-29 arasında sunulmuştur.



Şekil 27. Model 1 'de birim kütleye giren maksimum enerji miktarları



Şekil 28. Model 2 'de birim kütleye giren maksimum enerji miktarları



Şekil 29. Model 3 'de birim kütleye giren maksimum enerji miktarları

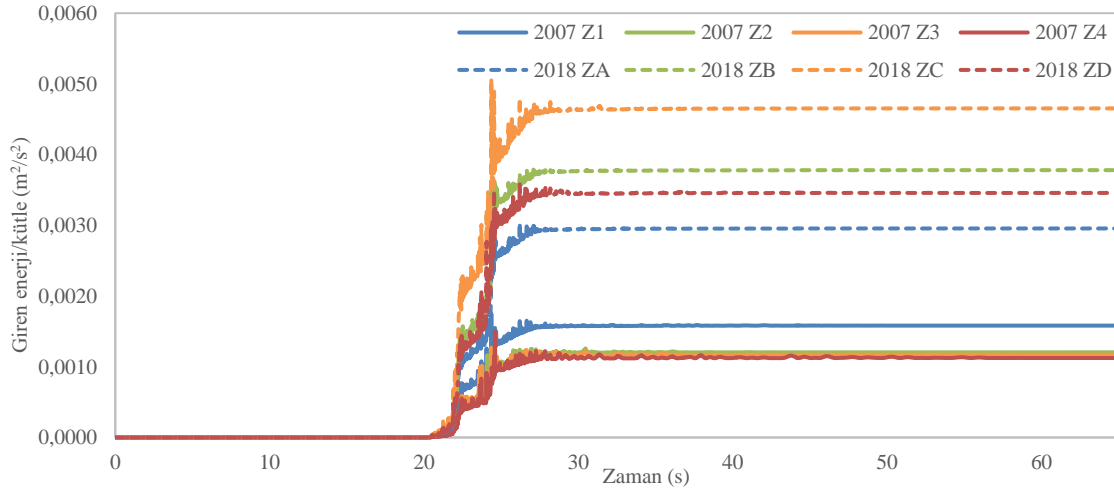
TSD modellerin, beş deprem yer hareketi yönetmeliğin yaklaşık eşdeğer zemin sınıfları altındaki sisteme giren enerji miktarları her iki açısından incelendiğinde;

- Model 1'in Z1-Z4 zemin sınıflarında birim kütle giren maksimum enerji miktarları ZA-ZD zemin sınıflarında birim kütle giren maksimum enerji miktarlarına göre daha küçük elde edilmiştir. Enerji oranları arasında küçük değer temel alınarak yapılan karşılaştırmalarda 5 kata varan farklar ortaya çıkmıştır.
- Model 2'in çözümlerinde birim kütle giren maksimum enerji miktarları arasındaki ilişki deprem kayıtlarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenlik küçük değer temel alınarak karşılaştırıldığında % 175'e varan farklara ulaşabilmektedir.
- Model 3'ün Z1-Z4 zemin sınıflarında birim kütle giren maksimum enerji miktarlarına ZA-ZD zemin sınıflarında birim kütle giren maksimum enerji miktarları göre daha büyük elde edilmiştir. Enerji oranları arasında küçük değer

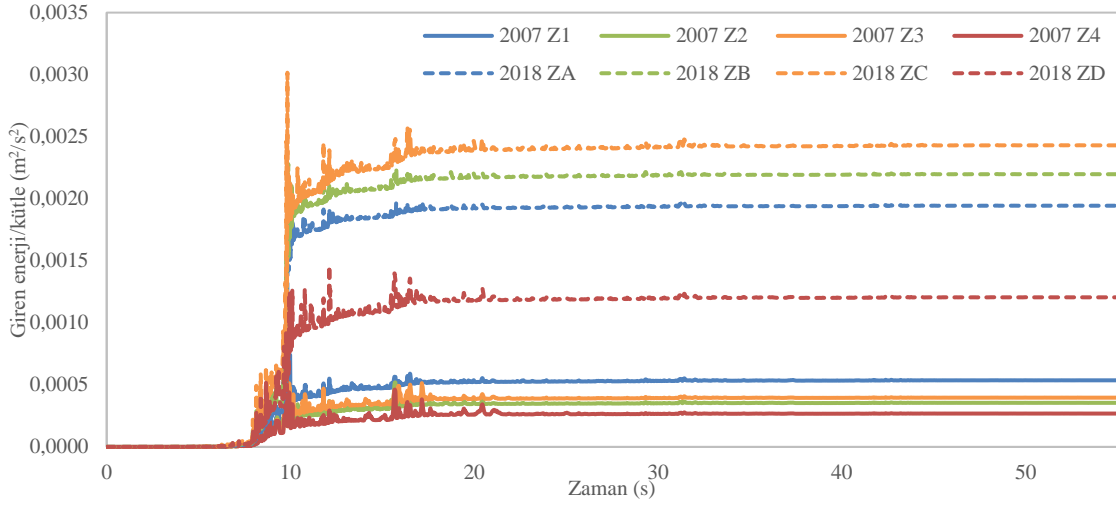
temel alınarak yapılan karşılaştırmalarda 2.5 katı aşan farklar ortaya çıkmıştır.

- Çalışmada, ölçeklenmiş deprem yer hareketi kayıtlarının kullanılmasıyla gerçekleştirilen dinamik analizlerin değerlendirilmesinden, zemin durumu daha zayıf olan tasarım spektrumuna göre ölçeklenmiş kayıtlarında birim kütle giren maksimum enerji miktarlarının genellikle daha büyük olduğu görülmüştür.

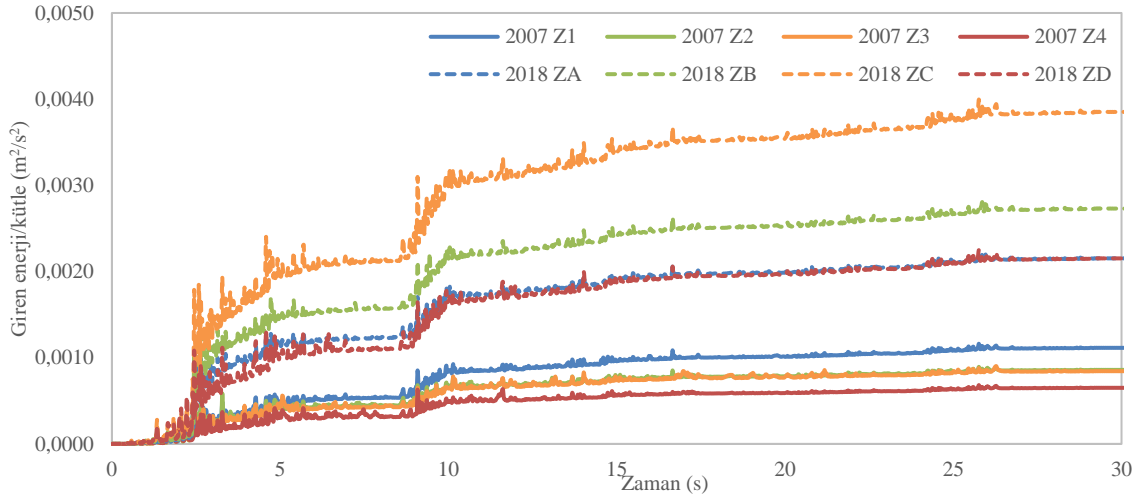
TSD modellerin, DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 deprem yönetmeliklerinin zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem yer hareketleri altındaki çözümlerinde elde edilen birim kütle başına giren birikimli enerji miktarlarının zaman geçişine bağlı grafiksel gösterimleri Şekil 30-44'de sunulmuştur. Bu grafikler incelendiğinde; sisteme giren enerjinin, zemin sınıfının etkisi yanında, depremin genlik ve frekans içeriğine bağlı olarak da değişim gösterdiği görülmüştür.



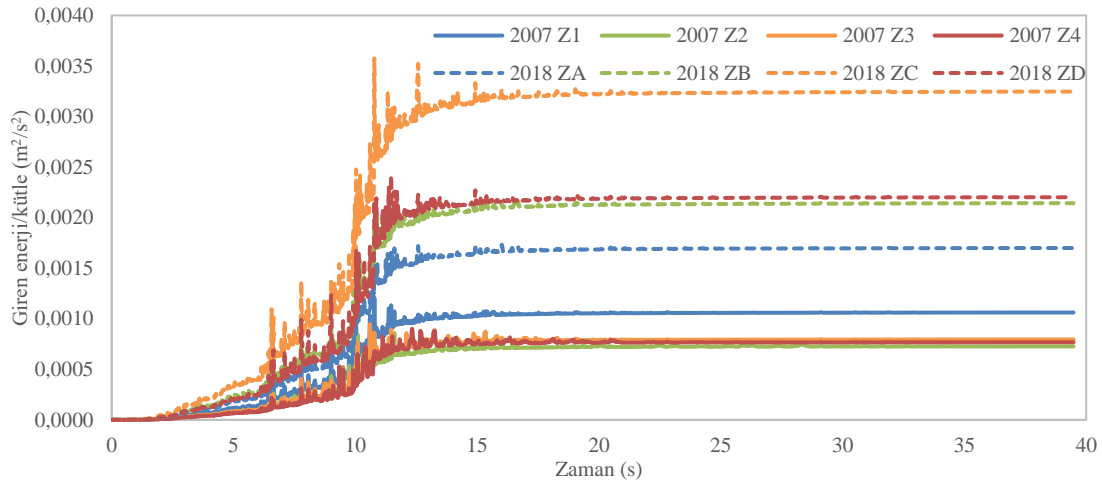
Şekil 30. Bingöl deprem yer hareketinde Model 1'de birim kütle giren birikimli enerji miktarları



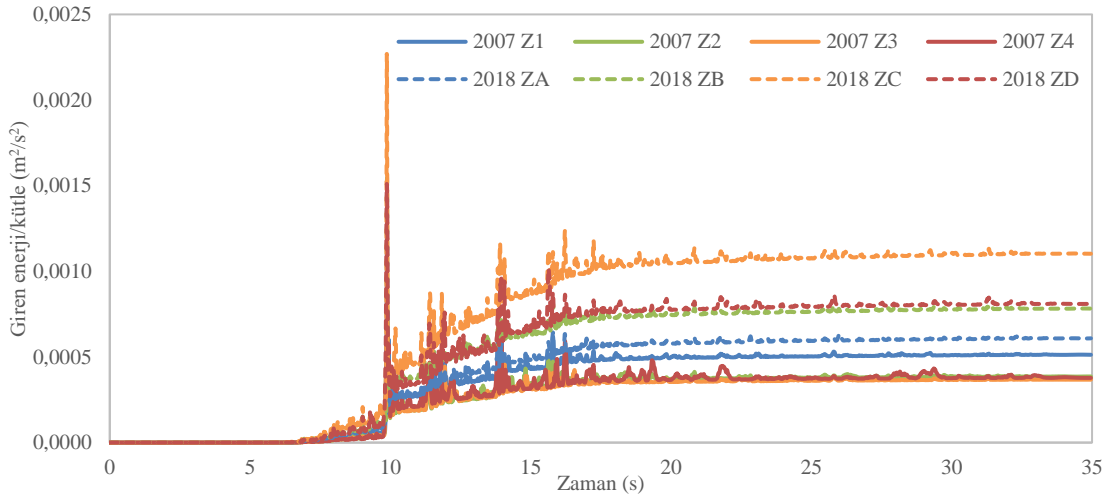
Şekil 31. Elazığ deprem yer hareketinde Model 1’de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



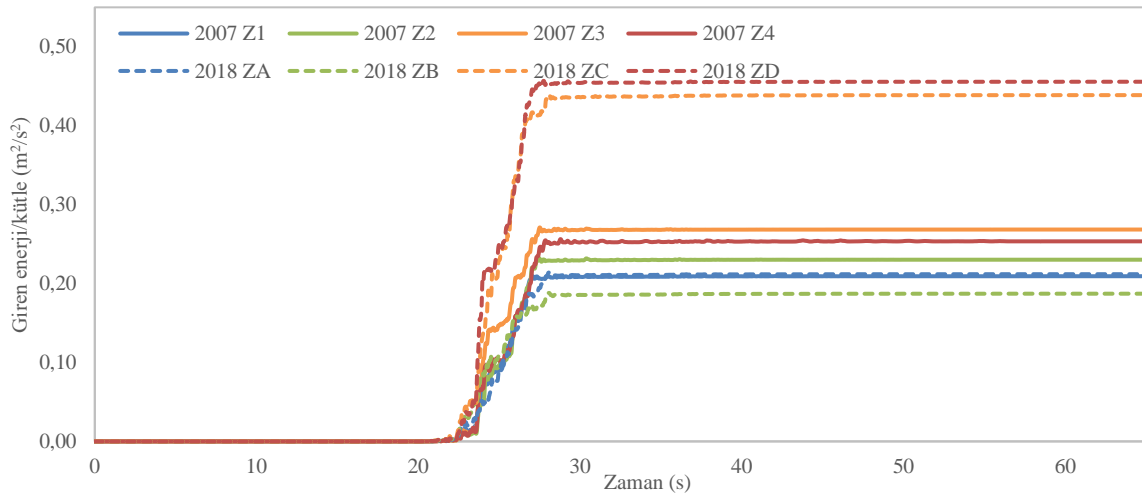
Şekil 32. Elcentro deprem yer hareketinde Model 1’de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



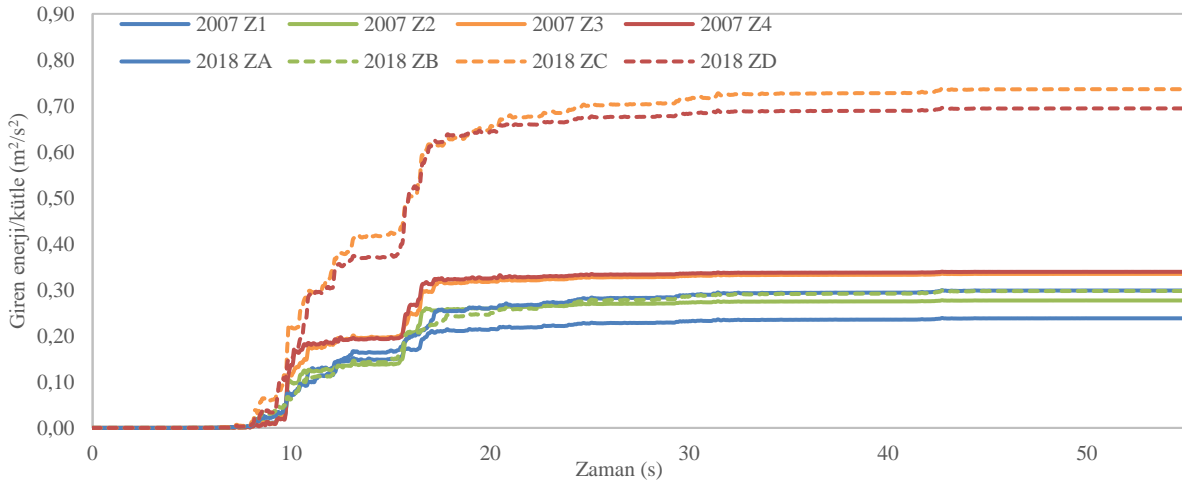
Şekil 33. İmperial-Valley deprem yer hareketinde Model 1’de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



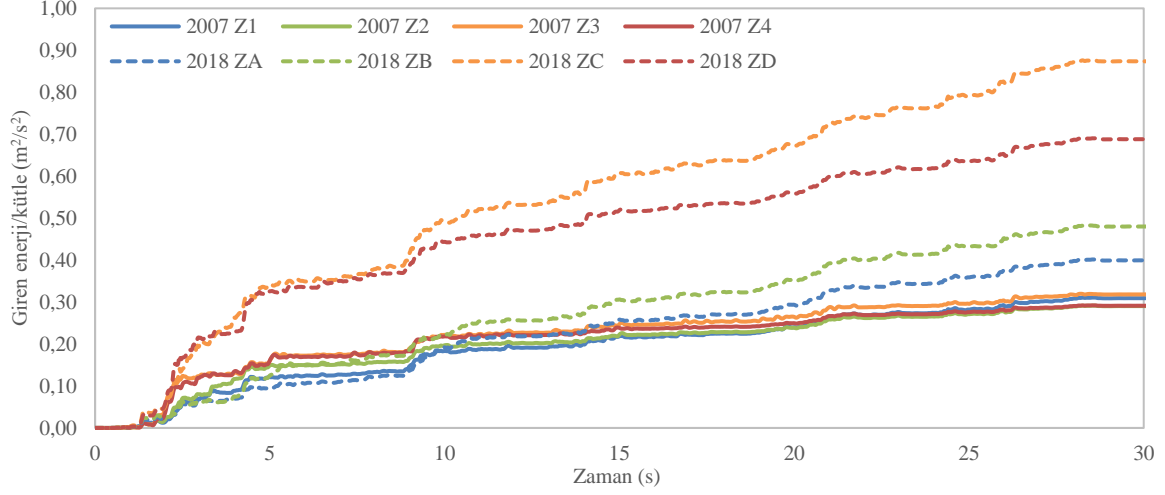
Şekil 34. Kocaeli deprem yer hareketinde Model 1’de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



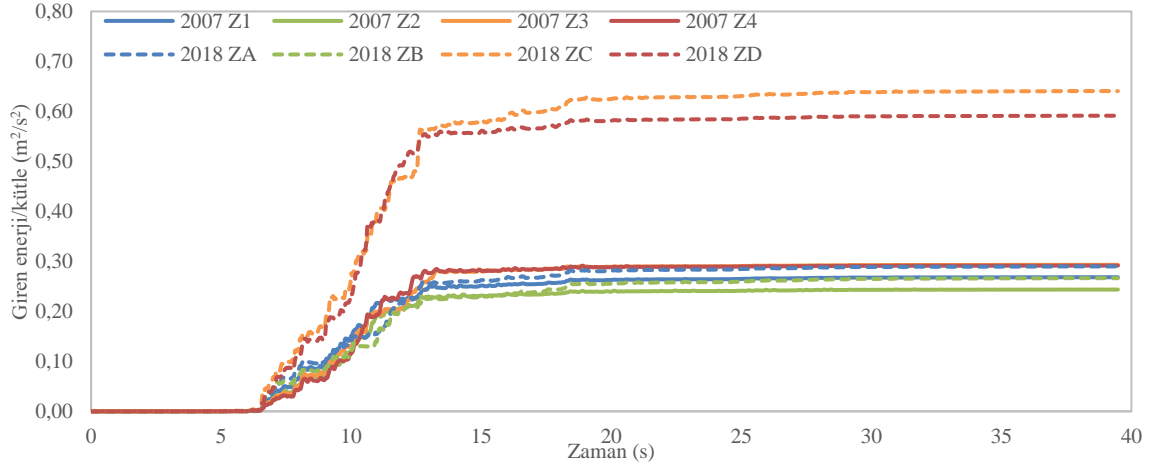
Şekil 35. Bingöl deprem yer hareketinde Model 2’de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



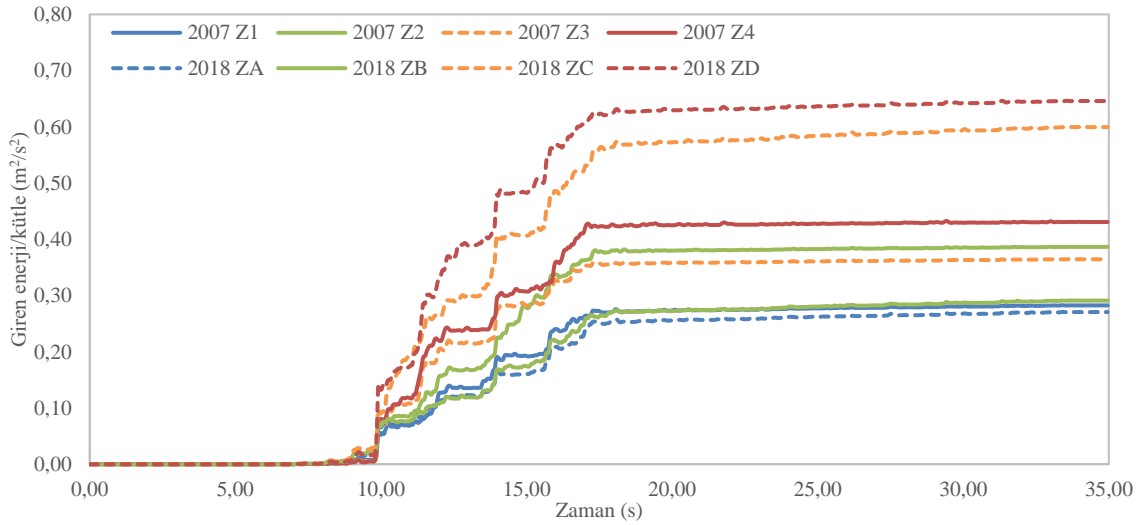
Şekil 36. Elazığ deprem yer hareketinde Model 2’de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



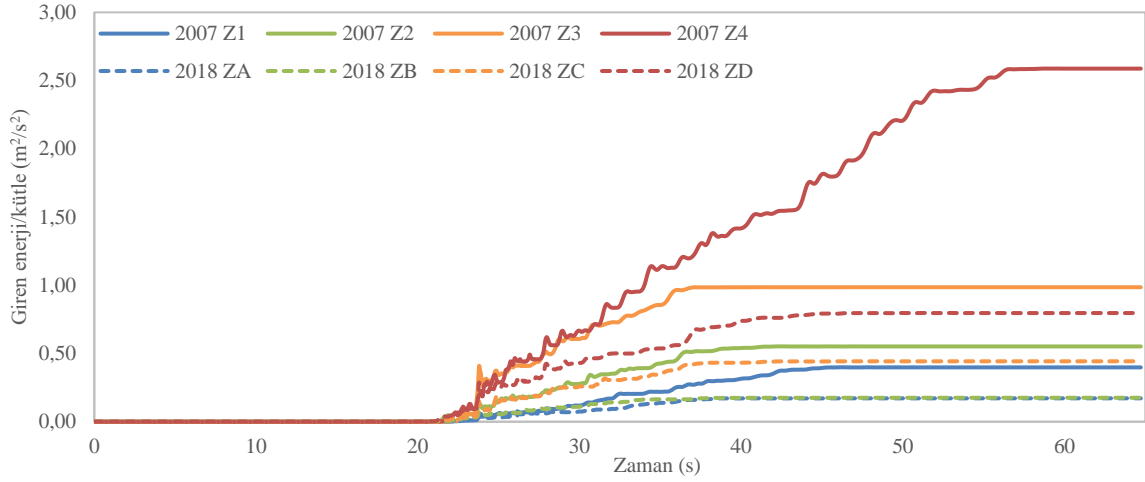
Şekil 37. Elcentro deprem yer hareketinde Model 2'de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



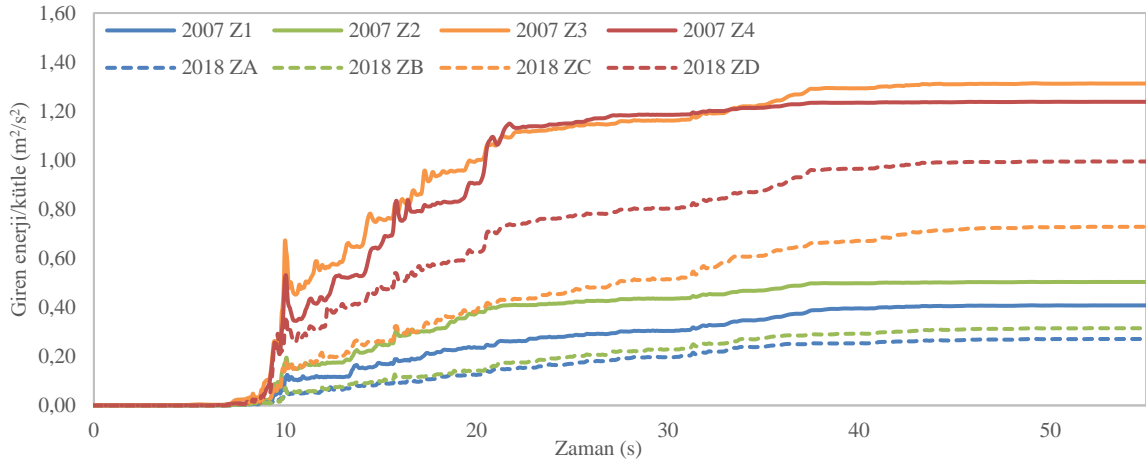
Şekil 38. İmperial-Valley deprem yer hareketinde Model 2'de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



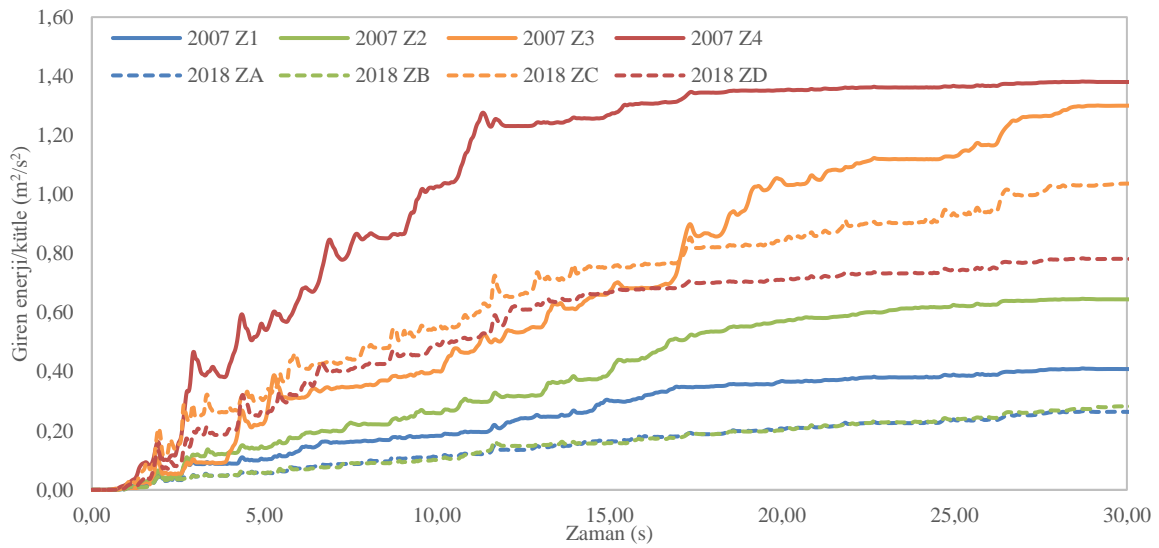
Şekil 39. Kocaeli deprem yer hareketinde Model 2'de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



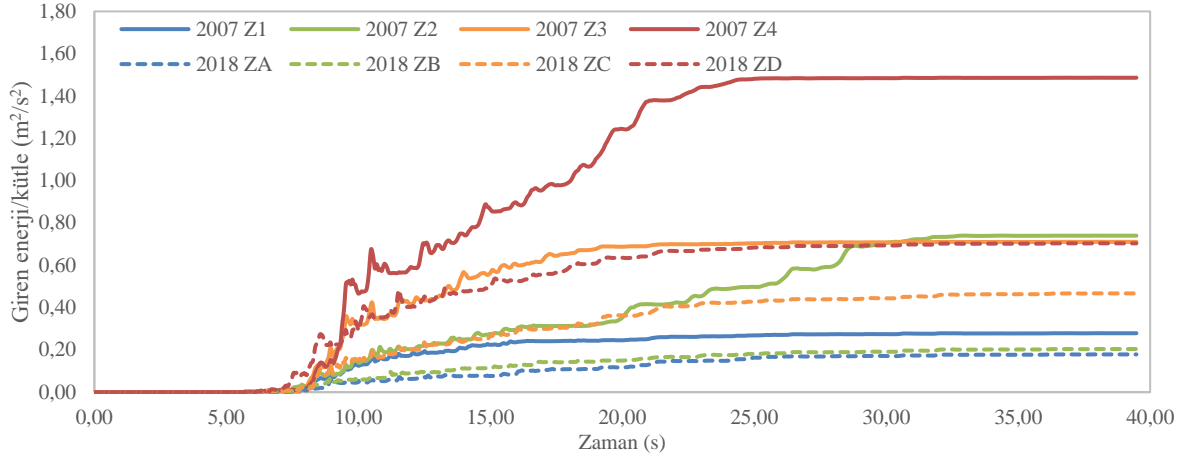
Şekil 40. Bingöl deprem yer hareketinde Model 3’de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



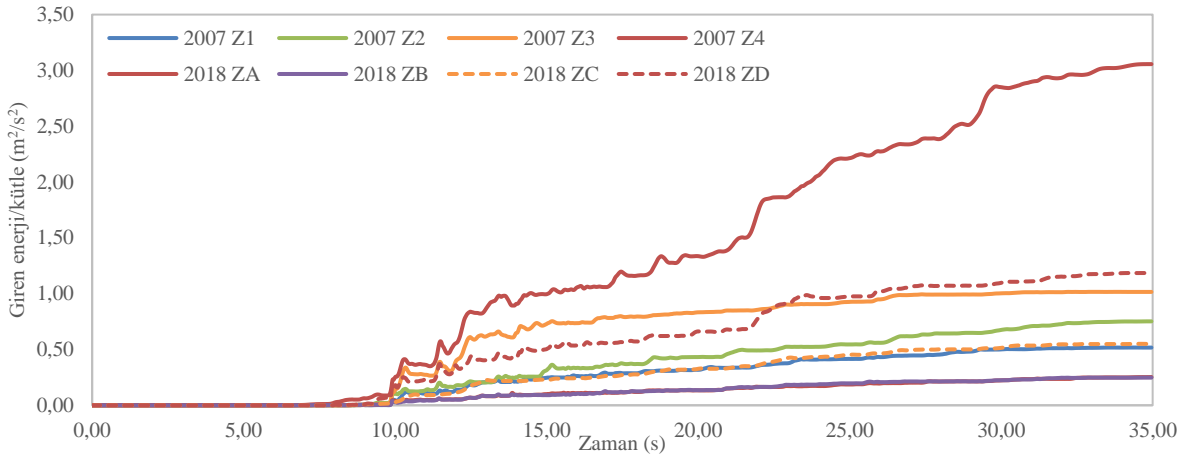
Şekil 41. Elazığ deprem yer hareketinde Model 3’de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



Şekil 42. Elcentro deprem yer hareketinde Model 3’de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



Şekil 43. İmperial-Valley deprem yer hareketinde Model 3'de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



Şekil 44. Kocaeli deprem yer hareketinde Model 3'de birim kütleye giren birikimli enerji miktarı

Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışmada, Elazığ il merkezi üniversite mahallesinde bulunduğu varsayılan TSD yapı modellerinin DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) tasarım ivme spektrumlarına göre (Z1, Z2, Z3, Z4 ve ZA, ZB, ZC, ZD'ye göre) ayrı ayrı ölçeklenmiş deprem yer ivme kayıtları altında yapısal tepkileri ve sisteme giren enerji değerleri irdelenmiştir.

Analizlerden elde edilen sonuçlar ışığında; yapı sistemlerinde oluşan maksimum yer değiştirme ve maksimum kesme kuvvetleri ile birim kütle başına sisteme giren maksimum enerji miktarları iki deprem yönetmeliğinin yaklaşık eşdeğer kabul edilen zemin sınıfları bakımından

karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma dâhilinde elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler aşağıda sıralanmıştır.

- Yapı sisteminin periyodunun çok kısa olduğu (T_A-T_B sahanlığının gerisinde) durumda tüm zemin sınıflarında DBYBHY (2007)'ye göre ölçeklenmiş depremler ait maksimum yer değiştirmeler TBDY (2018)'e göre ölçeklenmiş depremler ait maksimum yer değiştirmelere göre daha küçük elde edilirken, yapı periyodunun uzun olduğu (T_A-T_B sahanlığının ilerisi) durumda ise aksi durum gözlenmiştir. Yapı sisteminin periyodunun nispeten orta değerde sayılabilecek (T_A-T_B sahanlığının aralığında) olduğu durumda ise

maksimum yer değiştirmeler deprem zemin sınıfı ve yer hareketinin özelliğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

- Yapı sisteminin periyodunun çok kısa olduğu (T_A - T_B sahanlığının gerisinde) durumda tüm zemin sınıflarında DBYBHY (2007)'ye göre ölçeklenmiş depremler ait maksimum kesme kuvvetleri TBDY (2018)'e göre ölçeklenmiş depremlere ait maksimum kesme kuvvetleri göre daha küçük elde edilirken, yapı periyodunun uzun olduğu (T_A - T_B sahanlığının ilerisi) durumda ise aksi durum gözlenmiştir. Yapı sisteminin periyodunun nispeten orta değerde sayılabilecek (T_A - T_B sahanlığının aralığında) olduğu durumda ise maksimum kesme kuvvetleri birbirlerine yakın elde edilmiştir.
- Yapı sisteminin periyodunun çok kısa olduğu (T_A - T_B sahanlığının gerisinde) durumda tüm zemin sınıflarında DBYBHY (2007)'ye göre ölçeklenmiş depremlere ait birim kütle başına sisteme giren maksimum enerji miktarları TBDY (2018)'e göre ölçeklenmiş depremlere ait birim kütle başına sisteme giren maksimum enerji miktarlarına göre daha küçük elde edilirken, yapı periyodunun uzun olduğu (T_A - T_B sahanlığının ilerisi) durumda aksi durum gözlenmiştir. Yapı sisteminin periyodunun nispeten orta değerde sayılabilecek (T_A - T_B sahanlığının aralığında) olduğu durumda ise birim kütle başına sisteme giren toplam enerji miktarları zemin sınıfı ve deprem kaydının karakteristiklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.
- Deprem yer hareketlerine maruz yapı sistemlerinde, zemin zayıfladıkça sistemde oluşan maksimum yer değiştirmeler, maksimum kesme kuvvetleri ve özellikle deprem esnasında sisteme giren maksimum enerji miktarlarında oldukça artış olduğu gözlenmiştir.
- Her iki yönetmeliğin esaslarına göre ölçeklenmiş deprem ivme kayıtları altında yapı sistemlerine birim kütle

başına giren birikimli enerji miktarlarının zamana bağlı değişimleri zemin sınıfının etkisi yanında, depremin genlik ve frekans içeriğinden de oldukça etkilendiği görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] B. Akbaş, ve J. Shen, “Depreme dayanıklı yapı tasarımı ve enerji kavramı”, Türkiye İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, 14(2), pp. 2877-2901, 2003.
- [2] S. Leelataviwat, S. C. Goel, ve B. Stojadinović, “Energy-based seismic design of structures using yield mechanism and target drift”, Journal of Structural Engineering, vol. 128, no. 8, pp. 1046–1054, 2002.
- [3] A. Teran-Gilmore, E. Avila, ve G. Rangel, “On the use of plastic energy to establish strength requirements in ductile structures”, Engineering Structures, vol. 25, no. 7, pp. 965–980, 2003.
- [4] P. Khashae, B. Mohraz, F. Sadek, H. S. Lew ve J. L. Gross. “Distribution of earthquake input energy in structures,” The National Institute of Standards and Technology (NIST), Building and Fire Research Laboratory, NISTIR 6903, USA, 2003.
- [5] P. Fajfar, T. Vidic ve M. Fischinger “On the energy input into structures”, Proceedings of the Pacific Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 20-23 November 1991.
- [6] S. Leelataviwat, W. Saewon, ve S. C. Goel, “Application of Energy Balance Concept in Seismic Evaluation of Structures,” Journal of Structural Engineering, vol. 135, no. 2, pp. 113–121, 2009.
- [7] G. W. Housner, “Limit design of structures to resist earthquakes”, The First World Conference on Earthquake Engineering, Berkeley, California, 12-15 June 1956.
- [8] T. F. Zahrah ve W. J. Hall, “Earthquake energy absorption in SDOF structures”, Journal of Structural Engineering, vol. 110, no. 8, pp. 1757–1772, 1984.
- [9] H. Akiyama, Earthquake-resistant limit-state design for buildings. Tokyo: University of Tokyo Press, 1985.
- [10] V.V. Bertero ve A. Teran-Gilmore, “Use of Energy Concepts in Earthquake-Resistant Analysis and Design: Issues and Future Directions”, Advances in Earthquake Engineering Practice, Short Course in Structural Engineering, Architectural and Economic Issues, University of California, Berkeley, 1994.
- [11] G. V. Berg ve S. S. Thomaidis, “Energy consumption by structures in strong-motion earthquakes”, Proceeding of the Second World Conference on Earthquake, Tokyo and Kyoto, 681-697, 1960
- [12] H. Kuwamura ve T. V. Galambos, “Earthquake load for structural reliability”, Journal of Structural Engineering, vol. 115, no. 6, pp. 1446–1462, 1989.

- [13] P. Fajfar ve T. Vidic, "Consistent inelastic design spectra: Hysteretic and input energy", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 23, no. 5, pp. 523-537, 1994.
- [14] A. Benavent-Climent, L. G. Pujades, ve F. López-Almansa, "Design energy input spectra for moderate-seismicity regions", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 31, no. 5, pp. 1151-1172, 2002.
- [15] A. Benavent-Climent, F. López-Almansa, ve D. Bravo-González, "Design energy input spectra for moderate-to-high seismicity regions based on Colombian earthquakes", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 30, no. 11, pp. 1129-1148, 2010.
- [16] J. Bai, ve Ou J. "Plastic limit-state design of frame structures based on the strong-column weak-beam failure mechanism", 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisboa, Portugal, 24-28 September 2012.
- [17] P. Léger ve S. Dussault, "Seismic-energy dissipation in MDOF structures," *Journal of Structural Engineering*, vol. 118, no. 5, pp. 1251-1269, 1992.
- [18] B. Akbaş, ve A. N. Çetiner, "Tek serbestlik dereceli sistemlerde enerji parametreleri", *Kocaeli Üniversitesi Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 23-25 Mart, 637-646, 2005.
- [19] Bülent Akbaş, "Energy-based earthquake resistant design of steel moment resisting frames", Phd. Thesis, Graduate College of Illinois Institute of Technology, Illinois, USA, 1997.
- [20] Onur Merter, "Çok katlı betonarme çerçeve sistemlerin deprem etkileri altında göçme güvenliğinin enerji esaslı yöntemle belirlenmesi", Doktora Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2014.
- [21] Baykal Hancıoğlu, "Yapıların Deprem davranışının enerji esaslı analizi", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- [22] Ahmet Anıl Dindar, "Enerji esaslı yöntemlerle betonarme kolonların analizi ve tasarımı", Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- [23] A. A. Dindar, C. Yalçın, E. Yüksel, H. Özkaynak, ve O. Büyükoztürk, "Development of earthquake energy demand spectra," *Earthquake Spectra*, vol. 31, no. 3, pp. 1667-1689, 2015.
- [24] O. Merter, T. Uçar, ve M. Düzgün, "Determination of earthquake safety of RC frame structures using an energy-based approach", *The Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 19, No. 6, pp. 689-699, 2017.
- [25] O. Merter, ve T. Uçar, "Yapıların plastik enerji dengesine göre sismik tasarımı", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (3), pp. 350-361, 2018.
- [26] O. Merter, ve T. Uçar, "İdeal göçme mekanizması için enerji esaslı yapı taban kesme kuvvetinin belirlenmesi," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, Cilt: 7, Sayı: 3, pp. 409-420, 2016.
- [27] V. Ozsarac, S. Karimzadeh, M.A. Erberik ve A. Askan, "Energy-based response of simple structural systems by using simulated ground motions", *Procedia Engineering*, 199, pp. 236-241, 2017.
- [28] T. Uçar ve O. Merter, "Effect of design spectral shape on inelastic response of RC frames subjected to spectrum matched ground motions", *The Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 69, No. 3, pp. 293-306, 2018.
- [29] O. Merter, ve T. Uçar, "Hysteretic Energy Demand in SDOF Structures Subjected to an Earthquake Excitation: Analytical and Empirical Results," *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, 22 (2), pp. 364-374, 2018.
- [30] A. K. Chopra, *Dynamics of structures = Theory and applications to earthquake engineering*. New York, NY: Prentice-Hall, 1995.
- [31] H. Sucuoğlu ve A. Nurtuğ, "Earthquake ground motion characteristics and seismic energy dissipation", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 24, no. 9, pp. 1195-1213, 1995
- [32] C. M. Uang ve V. V. Bertero, "Use of Energy as a Design Criterion in Earthquake Resistant Design", *Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, USA, UCB/EERC-88/18*, 1988.
- [33] DBYBHY, (2007). "Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik", *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [34] TBDY, *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Türk Standartları Enstitüsü, 2018
- [35] SeismoMatch, *Earthquake Software for Response Spectrum Matching*, Seismosoft, 2020.
- [36] PEER. Pacific Earthquake Engineering Research Center Strong Ground Motion Database. <http://ngawest2.berkeley.edu/>, Erişim zamanı; Mayıs, 20, 2020).
- [37] AFAD. Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, <https://tadas.afad.gov.tr/>, Erişim zamanı; Şubat ,2, 2021).
- [38] MATLAB, (R2018a). Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.; 2018