

Sismik İzolasyonlu Yapıların Tasarımında Kullanılan Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Hakan ÖZTÜRK^{ID*}

*Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, SAKARYA

(Alınış / Received: 28.01.2022, Kabul / Accepted: 20.04.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 30.04.2022)

Anahtar Kelimeler

Kurşun çekirdekli
kauçuk izolatör,
Betonarme yapı,
İvme-yerdeğiştirme
tepki spektrumu

Öz: Sismik izolasyon sistemi, üst yapı ve temel arasında deprem esnasında oluşan enerjii sönmüleyerek, üst yapıya daha az ivme ve kuvvet talebi iletilmesini sağlamaktadır. Böylece gerek yapının gerekse yapıda bulunan ekipman ve cihazların depremden zarar görmesi engellenmektedir. Bu çalışmada, 4 katlı betonarme bir yapının kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılarak tasarımı, farklı konum ve zemin sınıfı, izolasyon periyodu ve karakteristik dayanım oranı parametreleri TBDY2018'de tanımlanan Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada 3 farklı şehir merkezi, 2 farklı zemin sınıfı, 5 farklı periyot ve 5 farklı karakteristik dayanım oranı dikkate alınmıştır. Gerçekleştirilen parametrik çalışma ile üst yapının doğrusal, sismik izolatörlerin ise doğrusal olmayan davranışı dikkate alınarak izolasyon seviyesinde oluşan yerdeğiştirme, kesme kuvveti ve ivme-yerdeğiştirme tepki spektrumları (taban kesme oranı-yerdeğiştirme) belirlenmiş ve sismik izolatörlerin davranışına etki eden parametreler incelenmiştir.

Comparison of Analysis Methods in the Design of Structures with Seismic Isolation

Keywords

Lead rubber
bearing,
Reinforced
concrete structure,
Acceleration-displacement
response spectra

Abstract: The seismic isolation system absorbs the energy generated during an earthquake between the superstructure and the foundation, ensuring that less acceleration and force demands are transmitted to the superstructure. Thus, both the building and the equipment and devices in the building are prevented from being damaged by earthquakes. In this study, the design of a 4-storey reinforced concrete structure using lead rubber bearings, different location, soil class, isolation period and characteristic strength ratio parameters were examined using the Equivalent Seismic Load Method and Nonlinear Response History Analysis defined in TBDY2018. In the study, 3 different city centers, 2 different soil classes, 5 different periods, and 5 different characteristic strength ratios were taken into consideration. With the parametric study carried out, the displacement, shear force, and acceleration-displacement response spectra (base shear ratio-displacement) formed at the isolation level, taking into account the linear behavior of the superstructure and the nonlinear behavior of the seismic isolators, were determined, and the parameters affecting the behavior of seismic isolators were examined.

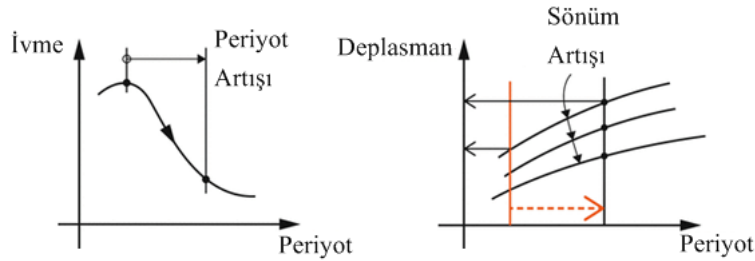
*İlgili Yazar, email: hakanozturk@sakarya.edu.tr

1. Giriş

Geleneksel olarak yapıların tasarımı, deprem yüklerine karşı yapıda yeterli rijitliği perde, çerçeve ve/veya çelik çaprazlarla güçlendirilmiş çerçeveler kullanarak sağlamak konseptine dayanmaktadır. Ancak bu geleneksel yöntemler rijit yapılarda büyük ivme değerleri ile esnek yapılarda ise büyük kat deplasmanları meydana getirebilmektedir. Bu nedenle yapısal ve yapısal olmayan elemanlar büyük bir deprem etkisinde önemli derece hasar görebilir. Bu durum bazen içerdiği ekipmanlar binanın kendisinden daha pahalı olan hastane binası, yüksek hassasiyetli üretim fabrikaları, telekomünikasyon merkezleri, polis ve itfaiye istasyonları gibi yapılar için tolere edilemez. Ayrıca bu tür yapıların depremden hemen sonra kullanılabilir olması gerekmektedir [1,2]. Bu amaçla kullanılan sismik izolasyon tekniği, deprem kuvvetlerinin yıkıcı etkilerine karşı yapıları korumak ve yapının deprem sırasındaki davranışını iyileştirmek amacıyla kullanılan pasif kontrol sistemlerinden birisidir. Sismik izolasyon aracılığı ile depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlar ile yapı içerisindeki önemli ekipmanlar deprem kuvvetlerine karşı korunmuş olmaktadır [3,4].

Sismik izolasyon sisteminin temel prensibi, yapının ve deprem ivmesinin özellikleri dikkate alınarak izolasyon seviyesinde yapı rijitliğinin azaltılması, periyot ve sönümünü artırarak yapıda daha küçük deprem kuvvetlerinin oluşmasının sağlanması ve yapıda depremde oluşabilecek hasarının önlenmesi veya en aza indirgenmesidir. Bu amaçla taşıyıcı sistemin doğal titreşim periyodu uzatılmakta ve/veya enerji tüketme kapasitesi artırılmaktadır. Bu durum yapısal ve yapısal olmayan hasarları azaltmaya ve yapı içerisindeki önemli ekipmanları korumaya yardımcı olmaktadır [4].

Sismik izolasyon sistemi kullanılmasıyla yapılarda yapı salınım periyodu uzatılarak yapıya etkiyecek olan ivmeler dolayısıyla kesme kuvvetleri ve görel kat ötelemeleri azaltılmaktadır. Bu etkiler yapı titreşim periyodu önemli bir ölçüde artırıldığında istenilir seviyeye ulaştırılır. Böylece yapı performansı önemli ölçüde artırılmaktadır. Şekil 1’de sismik izolasyonlu bir yapıda oluşabilecek periyot artışına bağlı olarak ivme, sönüm ve yerdeğiştirme değişimi temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Sismik izolasyon kavramı a) Spektral ivmede azalma ve b) Spektral yerdeğiştirmede artış [5]

Ankastre mesnetli yapıda deprem nedeniyle ortaya çıkan enerji, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapı elemanları tarafından sönümlenmektedir. Bu durumda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapı elemanları hasar görebilmektedir. Sismik izolasyonlu yapıda ise yapı salınım periyodunun artmasıyla birlikte depremden dolayı yapıya etkiyecek olan ivme değerleri önemli ölçüde azalmaktadır. Periyodun artması ile yapının izolasyon seviyesinde yerdeğiştirme talebi de artmaktadır. Yerdeğiştirme talebini karşılayabilmek için izolasyon sisteminin yeterli sönüme sahip olması gerekmektedir [4].

Sismik izolasyonlu yapılarda deprem etkisi nedeni ile talep edilen yerdeğiştirme izolasyon seviyesinde gerçekleşmektedir. Böylece üst yapı tek serbestlik dereceli bir sistem davranışı göstererek rijit bir kütle gibi hareket etmektedir. Sismik izolasyon sisteminin avantajı, yapı ve yapı bileşenlerinin güvenliğini sağlamak amacıyla yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarları azaltarak yapıya aktarılacak ivme değerlerini en aza indirilmesidir. Bu avantaj önemli yapılar ile birlikte hastane, veri merkezi, nükleer santraller, köprüler vb. yapılar için kullanılabilir [1].

Sismik izolasyonlu yapılar üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, Yolcu vd. [6], tarafından DD1 ve DD2 deprem yer hareketi düzeyleri ile iki farklı zemin sınıfı dikkate alınmış ve doğrusal olmayan ivme-yerdeğiştirme tepki spektrumları ölçeklenmiş deprem kayıtları kullanılarak elde edilmiştir. Whittaker ve Jones [7], tarafından D tipi zeminde 7 farklı deprem kaydı kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde 3 farklı periyot ve 4 farklı karakteristik dayanım oranı dikkate alınmış ve doğrusal olmayan ivme-yerdeğiştirme tepki spektrumları elde edilmiştir. Elde edilen ivme-yerdeğiştirme tepki spektrumlarının sismik izolatörlü yapıların ön tasarımı için etkili bir araç olduğu belirtilmiştir. Erdoğan vd. [8], tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik (DBYBHY2007) [9] ve Türkiye bina deprem yönetmeliği (TBDY2018) [10] kriterleri dikkate alınarak sismik izolatörlü bir yapının iki farklı zemin sınıfında maksimum izolatör deplasman değerleri, Eşdeğer deprem yükü yöntemi (EDYY) ve Zaman tanım alanında doğrusal olmayan (ZTADO) hesap yöntemleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Özdemir ve Constantinou [11], tarafından iki farklı zemin tipi dikkate alınarak 3 katlı sismik izolatörlü betonarme bir yapının maksimum izolatör deplasman değerleri ve taban kesme oranları eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemleri ile belirlenmiş ve

karşılaştırılmıştır. Zaman tanım alanında hesaplar için toplam 22 adet yakın saha deprem kaydı dikkate alınmış ve ölçekleme yapılmıştır. Jones vd. [12], Türkiye, Kaliforniya ve Yeni Zelanda'da sahaya özgü ölçeklenmiş deprem kayıtları kullanarak, farklı zemin sınıflarında, farklı periyot ve karakteristik dayanım değerleri dikkate alarak ivme-yerdeğiştirme tepki spektrumlarını elde etmişlerdir. Elde edilen spektrumların, belirli bir bölge için etkili olması muhtemel izolasyon parametrelerine (periyot, karakteristik dayanım vb.) bağlı olarak sismik izolatör tasarımının hızlı bir şekilde belirlenmesinde değerli bir sezgisel araç olduğu vurgulanmıştır.

Bu çalışmada ise, TBDY2018 kriterleri dikkate alınarak, 4 katlı, 16m yüksekliğinde, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü betonarme bir yapının ön tasarımı yapılmış olup lokasyon, zemin sınıfı, karakteristik dayanım oranı (Q/W) ile periyot (T) değişiminin sismik izolatör davranışa etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapı ve yalıtım sisteminin tasarımı TBDY2018'de tanımlanan EDYY ve ZTADO hesap yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, 3 farklı şehir merkezi (Ankara, İzmir ve Van), 2 farklı zemin sınıfı (ZC ve ZD), 5 farklı periyot ($T=2.0s, 2.5s, 3.0s, 3.5s$ ve $4.0s$) ve 5 farklı karakteristik dayanım oranı ($Q/W=0.050, 0.075, 0.100, 0.125$ ve 0.150) dikkate alınmıştır. Yalıtım birimi için doğrusal olmayan, üst yapı için ise doğrusal davranış kabulü yapılmıştır. İki farklı deprem yer hareketi düzeyi (DD1 ve DD2) dikkate alınarak izolasyon seviyesinde oluşan yerdeğiştirme, kesme kuvveti ve ivme-yerdeğiştirme tepki spektrumları belirlenmiş ve sismik izolatörlerin davranışına etki eden parametreler incelenmiştir. Böylece çalışmada kullanılan sismik izolatörlü yapının davranışını gözlemleyebilmek amacıyla tek serbestlik dereceli sistemler için geliştirilmiş olan ivme-yerdeğiştirme tepki spektrumları elde edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

TBDY2018'de sismik izolatörlü yapıların tasarımı için 3 farklı hesap yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler Etkin Deprem Yükü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemidir. Etkin deprem yükü yöntemine göre yapı ZA, ZB, ZC veya ZD zemin sınıfında olup, yalıtımlı binanın DD-1 deprem yer hareketi etkisi altındaki etkin periyodu 4.0 saniyeden küçük olmalıdır. Bina kat sayısı en fazla 4 olup toplam bina yüksekliği en fazla 20m olmalıdır. Yalıtım birimlerinde kalkma veya çekme oluşmamalı ve yalıtım sistemine ait etkin sönüm oranı %30 değerinin altında olmalıdır. Bina burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 2$ koşulu sağlanmalı, B2 türü düzensizlik bulunmamalıdır. Binaya ait düşey titreşim periyodu $T_v \leq 0.1s$ olmalıdır [10].

Çalışmada, TBDY2018 kriterleri kapsamında sismik izolatörlerin kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi belirlenmiştir. Isınma etkisi nedeniyle sismik izolatörlerde meydana gelebilecek olan dayanım kayıpları dikkate alınmamış olup, yaşlanma, çevresel etkiler, yükleme hızı ve ısınma etkilerini dikkate almak amacıyla TBDY2018'de belirtilen alt ve üst sınır değerler kullanılmıştır. Yalıtım sistemi için en büyük yerdeğiştirme değeri DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım birimlerine ait parametrelerin alt sınır değerleri ile üstyapıya etkileyen en büyük yatay kuvvet ise DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım birimlerine ait parametrelerin üst sınır değerleri ile belirlenmiştir [10].

Çalışma kapsamında, 3 farklı lokasyon için, zemin etkisini belirleyebilmek amacıyla ZC ve ZD olmak üzere 2 farklı zemin sınıfı, karakteristik dayanımın aksel yük oranı (Q/W) için 0.050, 0.075, 0.100, 0.125 ve 0.150 olmak üzere 5 farklı oran dikkate alınmıştır. Ayrıca farklı periyotlara sahip izolatörleri dikkate almak amacıyla 2.0s, 2.5s, 3.0s, 3.5s ve 4.0s olmak üzere 5 farklı sismik izolasyon periyodu dikkate alınmıştır. Bu parametreler göz önüne alınarak yalıtım birimi ve üst yapıda meydana gelen tepkiler incelenmiştir. EDYY ve ZTADO analizler yardımıyla maksimum izolatör yerdeğiştirmesi ve üst yapıya etkileyen kesme kuvveti belirlenmiştir. Böylece tek serbestlik dereceli sistemler için geliştirilmiş olan ivme-yerdeğiştirme tepki spektrumları elde edilmiştir. İvme-yerdeğiştirme tepki spektrumları, sismik izolatörlü yapılar için taban kesme oranı ve maksimum izolatör deplasmanı ilişkisini görsel olarak bir arada sunmakta olup tasarım aşamasında gerçek davranışa yakın sonuçlar elde etmeyi sağlamaktadır.

3. Sismik İzolatörlü Yapı Modeli

Sismik izolatörlü yapıların tasarımında yalıtım birimi seviyesinde doğrusal olmayan davranış kabul edilirken, yalıtım biriminin üst kısmında yer alan üst yapının ise elastik sınırlar içinde kaldığı ve rijit bir davranış gösterdiği kabul edilmektedir. Üst yapıda kabul edilen rijit davranış nedeniyle izolatör seviyesinde meydana gelen kuvvet ve yerdeğiştirme değerlerini belirlemek amacıyla analizler sadece yalıtım birimi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Böylece yalıtım birimi tek serbestlik dereceli sistem (TSDS) olarak modellenmiş ve OpenSees [13] analiz programındaki "Zero Length Element" isimli bağlantı elemanı aracılığı ile tanımlanmıştır. Her ne kadar yalıtım birimi TSDS olarak modellenmiş de EDYY ve ZTADO analizlerde ihtiyaç duyulan üst yapı modeli ve sismik izolatör sistemine ait bilgiler aşağıda sunulmuştur.

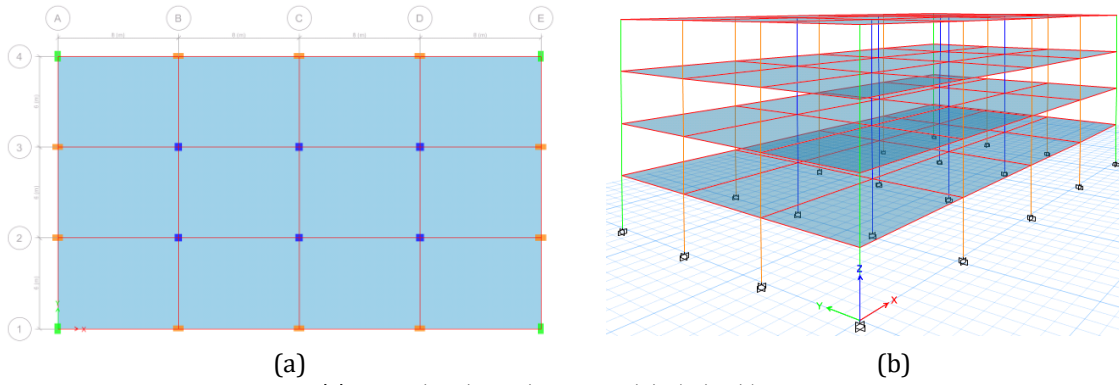
3.1. Üst Yapı Modeli

Çalışma kapsamında incelenen yapı 4 katlı ve kat yükseklikleri 4m olup toplam 16m yüksekliğindedir. Yapıya ait malzeme özellikleri beton için C30/37, donatı için S420 (B420C) olarak dikkate alınmıştır. Yapı, 3 farklı lokasyonda olup şehir merkezlerine ait deprem parametreleri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Türkiye Deprem Tehlike Haritası aracılığı ile alınmıştır [14]. Çalışmaya konu olan 3 farklı şehre ait enlem ve boylam bilgileri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Şehirlere ait enlem ve boylam bilgileri

	Ankara	İzmir	Van
Enlem	39.92	38.43	38.50
Boylam	32.88	27.16	43.40

Yapıya ait plan ve 3D görünümü Şekil 2’de verilmiştir. Yapı X yönünde 4, Y yönünde 3 açıklığa sahip olup X ve Y doğrultularında sırasıyla 8m ve 6m açıklıklara sahiptir. Taşıyıcı sistemde 3 farklı kolon tipi (C40x70, C70x40 ve C50x50) kullanılmıştır. Döşeme kalınlığı 20cm olarak belirlenmiş olup, taşıyıcı sistemde bulunan tüm kirişler (30x60) boyutlarındadır.



Şekil 2. Sismik izolasyonlu yapı modeli a) Plan b) 3D görünüm

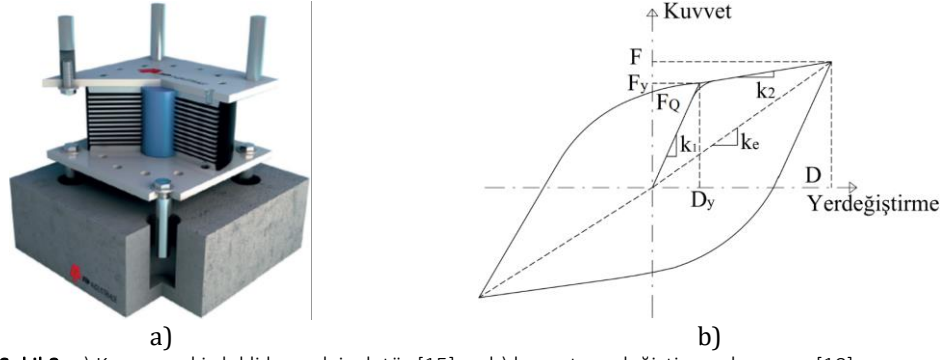
Türkiye Deprem Tehlike Haritası kullanılarak, dikkate alınan 3 farklı şehre ait spektral ivme değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Şehirlere ait tasarım spektral ivme katsayısı değerleri

		Ankara		İzmir		Van	
		ZC	ZD	ZC	ZD	ZC	ZD
DD1	SDS	0.859	0.871	2.584	2.153	1.512	1.26
	SD1	0.319	0.463	0.798	0.963	0.466	0.619
DD2	SDS	0.454	0.531	1.351	1.182	0.792	0.821
	SD1	0.182	0.285	0.414	0.565	0.245	0.371

3.2. Sismik İzolatör Sistemi

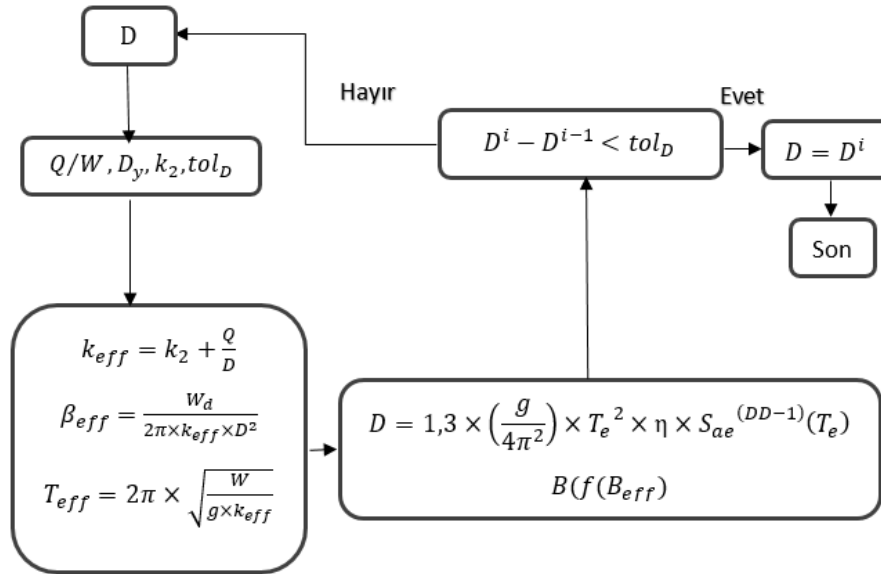
Çalışma kapsamında kullanılan kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler (LRB) ve bu izolatörler için idealize edilmiş kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 3a ve 3b’de sırasıyla verilmiştir. Şekil 3b’de belirtilen k_1 izolatöre ait akma öncesi başlangıç (elastik) rijitliğini, k_2 ise akma sonrası ikincil (elastik ötesi) rijitliğini, D_y etkin akma yerdeğiştirmesini, F_y etkin akma dayanımını, Q karakteristik dayanımı (TBDY2018’de F_Q şeklinde belirtilmektedir), D maksimum izolatör deplasmanını, F maksimum izolatör yerdeğiştirmesine karşılık gelen yatay kuvveti ve k_e maksimum izolatör yerdeğiştirmesine karşılık gelen etkin rijitliği ifade etmektedir [10].



Şekil 3. a) Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör [15] ve b) kuvvet-yerdeğiştirme davranışı [10]

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör için verilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi dayanım kaybı göstermeyen iki doğrusal (bilineer) eğriler ile temsil edilmektedir. Yaşlanma, çevresel etkiler, yükleme hızı ve ısınma etkilerini dikkate almak için TBDY2018'de tasarımda kullanılmak üzere alt ve üst sınır değerlerin belirlenmesi amacıyla katsayılar verilmektedir. İzolatörlerde meydana gelebilecek olan dayanım kayıpları içerisinde yukarıda belirtilen sebeplerden en etkili olanının kurşun çekirdekte meydana gelen sıcaklık artışı olduğu gerçekleştirilen çalışmalarla ortaya konulmuştur [2, 4, 16- 22]. Bu çalışma kapsamında, izolatörlerin ömrü boyunca karşılaşılabileceği en olumsuz durumları dikkate alabilmek amacıyla TBDY2018'de verilen alt ve üst sınır değerler kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir [23-26].

TBDY2018'de, belirli koşullar altında EDYY kullanılarak sismik izolatörlerin ön tasarımı iteratif (yinelemeli) olarak gerçekleştirilmektedir. Söz konusu iteratif yöntem OpenSees yapısal analiz programına entegre edilmiş ve bu yöntemle ait işlem adımları Şekil 4'de sunulmuştur. Bu yöntemde Şekil 3'de bilineer olarak tanımlanan kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi kullanılmaktadır. Yöntemin iteratif olması nedeniyle başlangıçta bazı varsayımların kabul edilmesi gerekmektedir. Bunlar; D: başlangıç izolatör deplasmanı, Q/W: izolatör karakteristik dayanımının aksel yüke oranı, T: periyot ve D_y: akma deplasmanıdır. Yapılan varsayımların ardından k_{eff}: etkin rijitlik, T_{eff}: etkin periyot ve β_{eff}: etkin sönüm oranı değerleri hesaplanmaktadır. Etkin sönüm oranı kullanılarak B sönüm azaltma katsayısı belirlenir. B sönüm azaltma katsayısı, %5 sönüm kullanılarak hazırlanmış olan spektrum eğrisi için bir azaltma çarpanı olarak dikkate alınmaktadır [3, 4, 10, 27]. Etkin periyot T_{eff} ve sönüm azaltma katsayısı kullanılarak izolatöre ait maksimum yerdeğiştirme değeri iteratif olarak hesaplanmaktadır. Yöntem iteratif olduğundan belirlenen bir kritere göre (deplasman toleransı) iterasyona devam edilir. Bu çalışma kapsamında akma deplasmanı değeri D_y: 25 mm olarak kabul edilmiştir [21, 28-30]. İteratif çözümde deplasman toleransı çok küçük bir değer (tol_D) olacak şekilde 0.001 mm olarak seçilmiştir. Tasarımı yapılan sismik izolatörlerde ED bir çevrim hareketi süresince sönümlenen enerjiyi, B_{eff} etkin sönüm oranını ve k_{eff} ise etkin rijitliği göstermek üzere, kauçuk tabaka kalınlığı 10mm ve çelik plaka kalınlığı 3mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. İteratif çözüm akış şeması

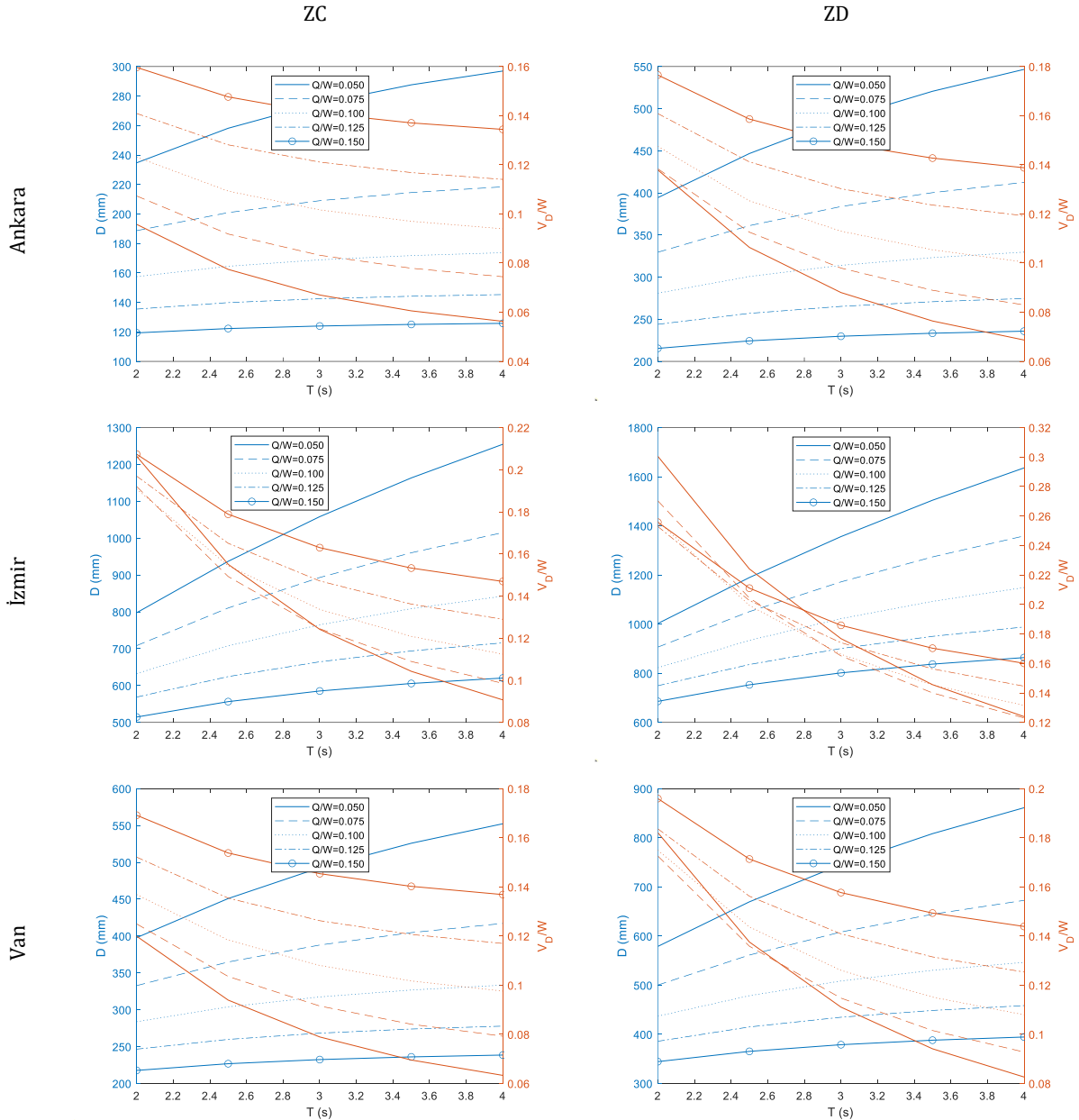
ZTADO analizler için seçilen lokasyonlarda ZD zemin sınıfı dikkate alınarak dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Dinamik analizler için TBDY2018 kriterleri dikkate alınarak her bir lokasyona ait spektrum eğrileri ile uyumlu 11 adet deprem kaydı

seçilmiş ve ölçeklendirilmiştir [10]. Seçilen deprem kayıtları yalıtım birimi modeline eş zamanlı olarak uygulanmıştır. Analizler OpenSees yapısal analiz programı aracılığı ile gerçekleştirilmiştir [13].

4. Bulgular

Beş farklı periyot (T) ve karakteristik dayanım oranı (Q/W) göz önüne alınarak sismik izolatörlerin yapabileceği maksimum yerdeğiştirme DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde alt sınır değerler ile üst yapıya etkiyen en büyük yatay kuvvet ise DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde üst sınır değerler ile belirlenmiştir.

3 farklı şehir için ZC ve ZD zemin sınıflarında, 5 farklı karakteristik dayanım oranı dikkate alınarak elde edilen en büyük yerdeğiştirme ve taban kesme oranı sonuçları periyoda bağlı olarak Şekil 5’de sunulmuştur. Şekil 5’de sol ve sağ düşey eksenler sırasıyla yerdeğiştirme ve taban kesme oranını, yatay eksen ise izolasyon periyodunu göstermektedir.

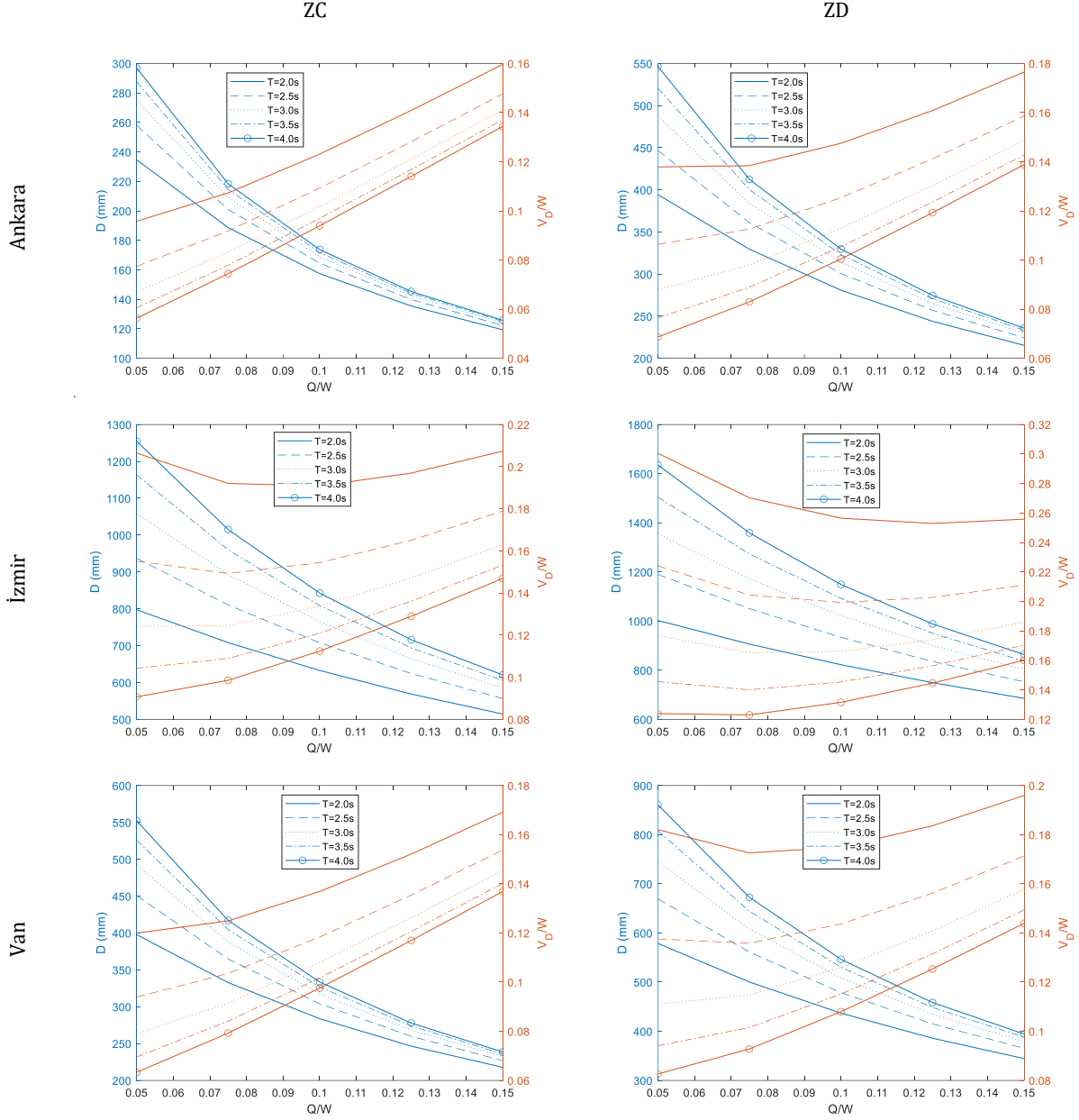


Şekil 5. Periyoda bağlı izolatör deplasmanı ve taban kesme oranı değişimi

Şekil 5’deki sonuçlar incelendiğinde her bir lokasyon için, ZD zemin sınıfında elde edilen deplasman ve taban kesme oranı değerlerinin, ZC zemin sınıfında elde edilen değerlerden daha fazla olduğu görülmektedir. Her iki zemin türünde periyot değeri arttıkça deplasman değeri artarken karakteristik dayanım değeri azalmaktadır. Küçük periyot değerlerinde farklı karakteristik dayanım oranlarından elde edilen deplasman ve taban kesme oranı değerleri arasındaki farkın, büyük periyot

değerlerinde farklı karakteristik dayanım oranlarında elde edilen deplasman ve taban kesme oranı değerleri arasındaki farktan daha az olduğu görülmektedir.

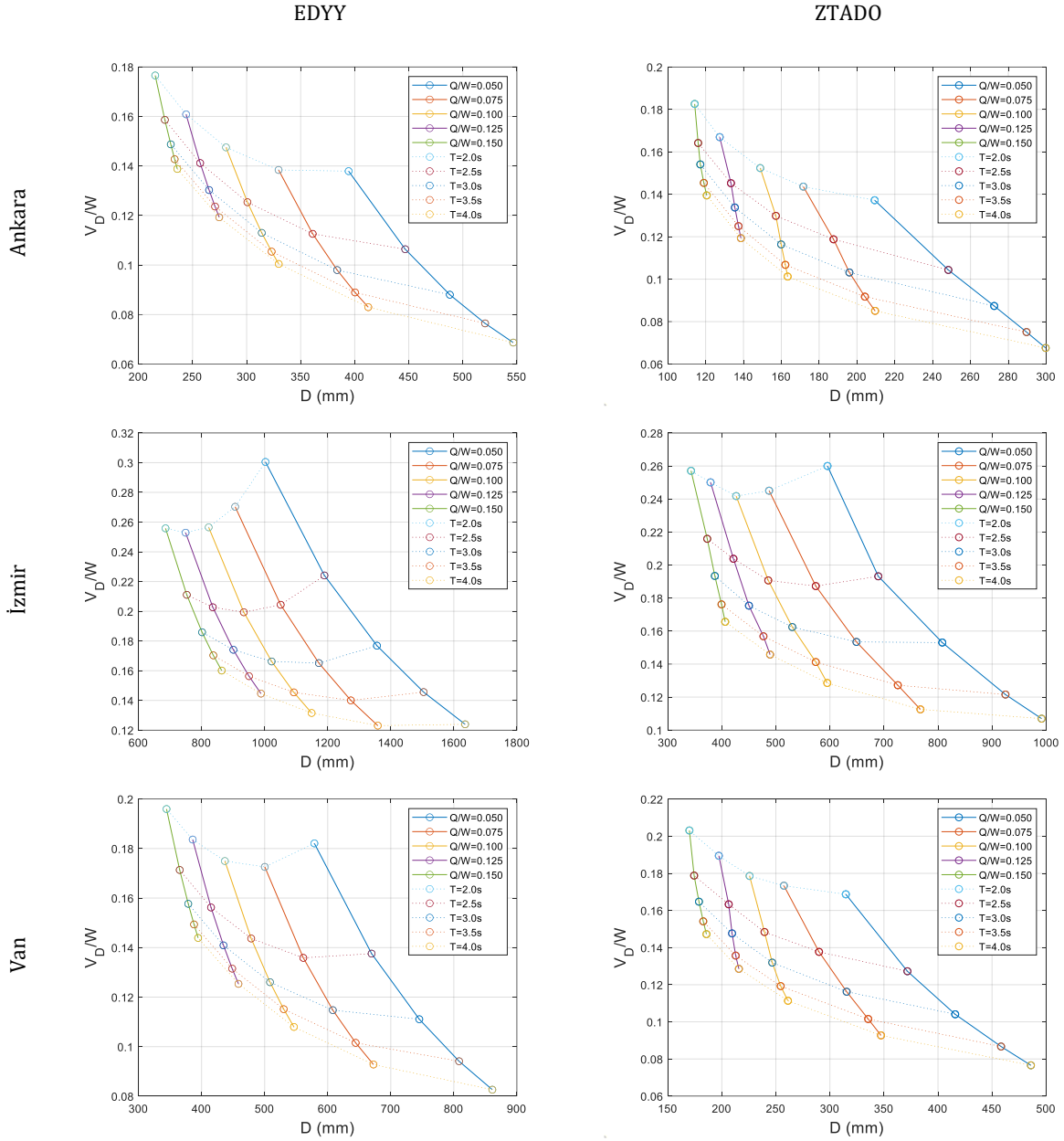
3 farklı şehir için ZC ve ZD zemin sınıflarında, 5 farklı periyot dikkate alınarak elde edilen en büyük yerdeğiştirme ve taban kesme oranı sonuçları karakteristik dayanım oranına bağlı olarak Şekil 6'da sunulmuştur. Şekil 6'da sol ve sağ dikey eksenler sırasıyla yerdeğiştirme ve taban kesme oranını, yatay eksen ise karakteristik dayanım oranını göstermektedir.



Şekil 6. Karakteristik dayanım oranına bağlı izolatör deplasmanı ve taban kesme oranı değişimi

Şekil 6'daki sonuçlar incelendiğinde her iki zemin türünde karakteristik dayanım oranı arttıkça deplasman değeri azalırken taban kesme oranının arttığı gözlenmektedir. Küçük karakteristik dayanım oranlarında farklı periyotlarda elde edilen deplasman ve taban kesme oranı değerleri arasındaki farkın, büyük karakteristik dayanım oranlarında farklı periyotlarda elde edilen deplasman ve taban kesme oranı değerleri arasındaki farktan daha fazla olduğu görülmektedir.

Sismik izolasyonlu yapıların davranışını etkileyen periyot (2.0s, 2.5s, 3.0s, 3.5s, ve 4.0s) ve karakteristik dayanım oranı (0.050, 0.075, 0.100, 0.125 ve 0.150) parametreleri kullanılarak EDYY ve ZTADO hesap yöntemi ile elde edilen taban kesme oranı-yerdeğiştirme sonuçları ZD zemin sınıfı için farklı deprem seviyeleri (DD-1, DD-2) dikkate alınarak Şekil 7'de karşılaştırılmıştır. Deplasman verileri elde edilirken DD-1 deprem seviyesinde alt sınır değerler, üst yapıya etkileyen kuvvet verileri elde edilirken ise DD-2 deprem seviyesi ve üst sınır değerler dikkate alınmıştır.



Şekil 7. ZD zemin sınıfı için taban kesme oranına bağlı izolatör deplasmanı değişimi

Her bir lokasyon için ZD zemin sınıfında deplasmana bağlı olarak taban kesme oranı (V_D/W) değişiminin verildiği Şekil 7'deki sonuçlar incelendiğinde, periyot değerinin artması ile taban kesme oranı azalırken, karakteristik dayanım oranının artması ile taban kesme oranı artmaktadır. En büyük deplasman değerleri, en büyük periyot ve en küçük karakteristik dayanım oranında elde edilmiştir. Bunun yanı sıra Ankara ve Van için en büyük taban kesme oranı en küçük periyot ve en büyük karakteristik dayanım oranında elde edilirken İzmir için en büyük taban kesme oranı en küçük periyot ve en küçük karakteristik dayanım oranında elde edilmiştir. Bu durum şehirlere ait farklı spektral değerler nedeniyle değişiklik göstermektedir. En büyük taban kesme oranı EDYY için 0.30, ZTADO hesap yöntemi için 0.26 ile İzmir şehir merkezinde meydana gelmiştir. En büyük deplasman değeri EDYY için 1635mm, ZTADO hesap yöntemi için 995 ile yine İzmir şehir merkezinde meydana gelmiştir. TBDY2018'de tanımlanan alt ve üst sınır değerlerin kullanılması nedeniyle gerçekleştirilen tüm analizler sonucunda elde edilen ve izolatör tasarımında en önemli parametrelerden biri olan yerdeğiştirme değerlerinin EDYY'de ZTADO hesap yöntemine kıyasla oldukça büyük olduğu görülmektedir [25, 31, 32]. Ayrıca her iki yöntemden elde edilen taban kesme oranı sonuçları karşılaştırıldığında izolasyon periyodu ve karakteristik dayanım oranlarına bağlı olarak farklılaşmalar meydana gelmektedir.

5. Tartışma ve Sonuç

Gerçekleştirilen bu çalışmada, TBDY2018 kriterleri dikkate alınarak, 2 farklı zemin sınıfında, 16m yüksekliğinde, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü 4 katlı betonarme yapının tasarımı yapılmıştır. Karakteristik dayanımın eksenel yüke oranı (Q/W) ile periyot (T) değişiminin sismik izolatör ve yapı davranışa etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada 2 farklı zemin sınıfının (ZC ve ZD) yanı sıra karakteristik dayanımın oranı (Q/W) için 0.05, 0.075, 0.100, 0.125 ve 0.150 olmak üzere 5 farklı oran dikkate alınmıştır. Ayrıca farklı periyotlara sahip izolatörleri dikkate almak amacıyla 2.0s, 2.5s, 3.0s, 3.5s ve 4.0s olmak üzere 5 farklı sismik izolasyon periyodu incelenmiştir.

TBDY2018 kriterleri dikkate alınarak, sismik izolatörlerin kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi belirlenmiştir. Yaşlanma, çevresel etkiler, yükleme hızı ve ısınma etkilerini dikkate almak için TBDY2018’de tanımlanan alt ve üst sınır değerler kullanılmıştır. Yalıtım sistemi için en büyük yerdeğiştirme değeri DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım birimlerine ait parametrelerin alt sınır değerleri ile üstyapıya etkileyen en büyük yatay kuvvet ise DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım birimlerine ait parametrelerin üst sınır değerleri ile belirlenmiştir. EDYY ve ZTADO hesap yöntemleri kullanılarak maksimum izolatör yerdeğiştirmesi ve üst yapıya etkileyen kesme kuvveti belirlenmiştir. Böylece tek serbestlik dereceli sistemler için geliştirilmiş olan taban kesme oranı-yerdeğiştirme tepki spektrumları elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında incelenen zemin sınıfları içerisinde en büyük taban kesme oranı ve en büyük yerdeğiştirme değerleri ZD zemin sınıfında elde edilmiştir. Zemindeki kötü koşullara bağlı olarak taban kesme oranı ve yerdeğiştirme değerlerinde önemli artışlar meydana gelmiştir. Her bir şehir için, 3.0s ve üzeri periyot değerleri ile 0.100 karakteristik dayanım oranı incelendiğinde taban kesme oranı ve yerdeğiştirme değerlerinde çok küçük farklar meydana gelmektedir. Ancak 3.0s’den daha büyük periyot ve 0.100’den daha küçük karakteristik dayanım oranları dikkate alındığında taban kesme oranı ve yerdeğiştirme değerlerinde önemli farklılıklar meydana gelmektedir.

Sonuçlar genel olarak incelendiğinde periyot değerinin artmasıyla taban kesme oranındaki değişim miktarı azalmaktadır. Bununla birlikte karakteristik dayanım oranının artışına bağlı olarak yerdeğiştirme değerleri azalmaktadır. Her iki zemin sınıfı için azalan periyot etkisi ile taban kesme oranındaki artış miktarı artmaktadır. Karakteristik dayanım oranının etkisi küçük periyot değerlerinde daha belirgin olup yerdeğiştirme aralığı uzamakta, büyük periyot değerlerinde ise kısalmaktadır.

Gerçekleştirilen çalışma ile sunulan ivme-yerdeğiştirme tepki spektrumları (taban kesme oranı-yerdeğiştirme grafikleri) kullanılarak tasarım aşamasında sismik izolatörlü yapıların ivme, yerdeğiştirme, kuvvet vb. talepleri hızlı bir şekilde belirlenebilir. Sunulan taban kesme oranı-yerdeğiştirme eğrileri, yapı tasarımı için seçilecek periyot (T) ve karakteristik dayanım oranları (Q/W) göz önünde bulundurularak, üst yapıya etkileyecek kuvvet ve yalıtım biriminde oluşacak yerdeğiştirme taleplerinin hızlı bir şekilde belirlenmesine imkan sağlayacak ve tasarımcıya ön tasarım aşamasında yol gösterici olacaktır.

Analizler sonucunda EDYY ve ZTADO hesap yöntemleri, elde edilen yerdeğiştirme değerleri açısından kıyaslandığında, TBDY2018’de tanımlanan ve bu çalışma kapsamında kullanılan alt ve üst sınır değerler ve yöntem için tanımlanan diğer hesaplama kriterleri nedeniyle EDYY’nin güvenli tarafta kaldığı görülmektedir.

6. Öneriler

Gelecek çalışmalarda çevrimsel hareket sonucu kurşun çekirdekte ısınmaya bağlı olarak meydana gelen dayanım kaybı dikkate alınarak analizler tekrarlanabilir. Farklı tip ve yükseklikteki yapılar modele dahil edilerek izolasyon seviyesinde meydana gelen tepkilerin yanı sıra yapısal tepkilerde belirlenebilir. Ayrıca bu çalışmada dikkate alınan kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin yanı sıra sürtümlü sarkaç tipi izolatörler kullanılarak analizler gerçekleştirilebilir.

Kaynakça

- [1] Chen, W.F., Scawthorn. C., 2013. Earthquake Engineering Handbook, CRC Press.
- [2] Alhan C., Şahin, F., 2011. Protecting vibration-sensitive contents: an investigation of floor accelerations in seismically isolated buildings, Bulletin of Earthquake Engineering, c. 9, s. 4, ss. 1203-1226.
- [3] Naeim, F., Kelly, J.M., 1999. Design of Seismic Isolated Structures, John Wiley Sons, Inc.
- [4] Çavdar, E., 2019. Deprem Etkime Açısının Kütle Dış Merkezliliği Olan Sismik İzolasyonlu Yapı Davranışı Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, LEE, Eskişehir.
- [5] Constantinou, M.C., Whittaker, A.S., Kalpakidis, Y., Fenz, D.M., Warn, G.P., 2007b. Performance of seismic isolation hardware under service and seismic loading, Technical Report MCEER-07-0012.
- [6] Yolcu, A., Tanırcan, G., Tüzün, C., 2019. Türkiye'deki deprem yalıtım sistemlerinin tasarımında doğrusal olmayan tepki spektrumlarına dayalı bir yöntem, 5. International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (SICEES).
- [7] Whittaker, D., Jones, L., 2014. Displacement and Acceleration Design Spectra for Seismic Isolation Systems in Christchurch, N.Z. NZSEE Annual Technical Conference, Wellington, N.Z.
- [8] Erdoğan, H., Çavdar, E., Özdemir, G., 2019. 2007 ve 2018 Türkiye deprem şartnamelerinin kıyaslanması: Sismik taban izolasyonlu bir yapı tasarımı, 5. International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (SICEES).
- [9] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 2007.
- [10] TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2018.
- [11] Özdemir, G., Constantinou, M.C., 2010. Evaluation of equivalent lateral force procedure in estimating seismic isolator displacements, Soil Dynamics and Earthquake Engineering (Soil Dyn. Earthquake Eng.), c. 30, s. 10, ss. 1036-1042.
- [12] Jones, L., Aiken, I., Black, C., Whittaker, D., Sadan, B., 2015. Nonlinear response spectra for isolation system design: case studies in Turkey, California and New Zealand, 3rd Turkish Conference on Earthquake Engineering and Seismology (3TDMSK).
- [13] Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSees), 2021. Version: 3.3.0, Software, University of California, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, California, 2021. <http://opensees.berkeley.edu>
- [14] Türkiye Deprem Tehlike Haritası, AFAD, <https://tdth.afad.gov.tr>
- [15] Charleson, A., Guisasola, A., 2017. Seismic Isolation for Architects, Routledge, Taylor & Francis Group.
- [16] Robinson, W.H., 1982. Lead-rubber hysteretic bearings suitable for protecting structures during earthquakes, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 10, ss. 593-604.
- [17] Kalpakidis, I.V., Constantinou, M.C., 2008. Effects of heating and load history on the behavior of lead rubber bearings, Technical Report MCEER-08-0027.
- [18] Kalpakidis, I.V., Constantinou, M.C., 2009a. Effects of heating on the behavior of lead-rubber bearing. I:Theory, Journal of Structural Engineering, c. 135, s. 12, ss. 1440-1449.
- [19] Kalpakidis, I.V., Constantinou, M.C., 2009b. Effects of heating on the behavior of lead-rubber bearing II:Verification of Theory, Journal of Structural Engineering – ASCE, 135, ss. 1450-1461.
- [20] Özdemir, G., Avsar, Ö., Bayhan, B., 2011. Change in response of bridges isolated with LRBs due to lead core heating, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, c. 31, s.7, ss. 921-929.
- [21] Özdemir, G., Dicleli, M., 2012. Effect of lead core heating on the seismic performance of bridges isolated with LRB in near-fault zones, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, c. 41, s. 14, ss. 1989-2007.
- [22] Özdemir, G., 2014. Lead core heating in lead rubber bearings subjected to bidirectional ground motion excitations in various soil types, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, c. 43, s.2, ss. 267-285.
- [23] McVitty, W.J., Constantinou, M.C., 2015. Property modification factors for seismic isolators: Design guidance for buildings, Technical Report MCEER-15-005.
- [24] McVitty, W.J., Constantinou, M.C., 2017. Seismic isolation bounding analysis: property modification factor approach of ASCE 7-2016 and ASCE 41-2017, 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago Chile, 16WCEE.

- [25] Özdemir, G., Avşar, Ö., 2017. Use of bounding analyses to estimate the performance of a seismically isolated structure, *Anadolu University Journal of Science and Technology A- Applied Sciences and Engineering*, c. 18, s. 1, ss. 161-177.
- [26] Erdik, M., Ülker, Ö., Şadan, B., Tüzün, C., 2018. Seismic isolation code developments and significant applications in Turkey, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 115, ss. 413-437.
- [27] Özdemir, G., 2010. Response Of Isolated Structures Under Bi-Directional Excitations Of Near-Field Ground Motions, *Doktora Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, FBE.
- [28] Özdemir, G., Avşar, Ö., 2013. Response of seismic-isolated bridges in relation to intensity measures of ordinary and pulse-like ground motions, *Journal of Bridge Engineering*, 18, ss. 250-260.
- [29] Çavdar E., Özdemir, G., 2018. Ölçeklendirilen yakın saha deprem kayıtlarının farklı doğrultularda etkimesi durumunda yalıtım birimi maksimum yer değiştirmelerinde gözlenen değişim, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* c. 33, s. 2, ss. 585-598.
- [30] Kitayama, S., Constantinou, M.C., 2021, Implications of strong earthquake ground motion duration on the response and testing of seismic isolation systems, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, c. 50, s. 2, ss. 290–308.
- [31] Erdoğan, H. , Çavdar, E. & Özdemir, G. 2021. Türk Deprem Yönetmelikleri (DBYBHY ve TBDY) Spektrum Tanımlarının Deprem Yalıtım Sistemi Tasarımı Özelinde Karşılaştırılması. *Teknik Dergi*, 32 (5) , 11127-11152. DOI: 10.18400/tekderg.713068
- [32] <http://www.dis-inc.com> (Erişim Tarihi: 10.08.2021).