



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Sismik İzolatörlü Yapıların Tasarımına Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi

 Esra ALASAF^a,  Hakan ÖZTÜRK^{b,*}

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

^b İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: hakanozturk@sakarya.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1089421

ÖZ

Bu çalışmada, yalıtım sisteminin tasarımı, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de (TBDY-2018) tanımlanan Etkin Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. TBDY-2018 kriterleri dikkate alınarak, 4 katlı betonarme bir yapı altında kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün tasarımı yapılmış olup farklı zemin sınıfları için karakteristik dayanım oranı (Q/W) ile izolasyon periyodu (T) değişiminin sismik izolatör davranışa etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, fay hattından uzaklığın etkisi incelenmiş, bu amaçla Sakarya ilinde biri fay hattına yakın (Arifiye), diğeri fay hattından uzak (Karasu) olmak üzere iki lokasyon seçilmiştir. Sismik izolasyon seviyesinde oluşan yerdeğiştirme, kesme kuvveti ve ivme-yerdeğiştirme tepki spektrumları belirlenmiştir. Tasarımcıların izolasyon sisteminin tasarım parametrelerini hızlı bir şekilde belirlemelerini sağlamak amacıyla taban kesme oranı-deplasman grafikleri elde edilmiştir. Araştırmada, fay hattından uzaklığın, zemin sınıfının, izolasyon periyot değerinin ve karakteristik dayanımının, maksimum izolatör deplasmanı ve maksimum izolatör kuvveti değerlerini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sismik izolasyon, Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör, Taban kesme oranı-deplasman grafikleri

Investigation of the Factors Affecting the Design of Seismic Isolated Structures

ABSTRACT

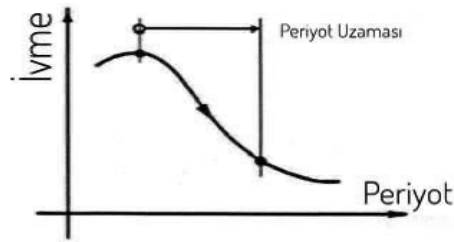
In this study, the design of the isolation system was carried out using the Effective Earthquake Load Method defined in Turkish Building Earthquake Code 2018 (TBEC-2018). Taking into account the TBEC-2018 criteria, a lead rubber isolator was designed for a 4-storey reinforced concrete structure and it was aimed to determine the effect of characteristic strength ratio (Q/W) and isolation period (T) variation on seismic isolator behavior for different soil classes. In addition, the effect of the distance from the fault line was examined, and for this purpose, two locations were selected in Sakarya, one close to the fault line (Arifiye), and the other far from the fault line (Karasu). Displacement, shear force and acceleration-displacement response spectra at the seismic isolation level were determined. Base shear ratio-displacement graphs were obtained in order to enable the designers to quickly determine the design parameters of the isolation system. In the research, it was concluded that the distance from the fault line, soil class, isolation period value and characteristic strength significantly affect the maximum isolation displacement and maximum isolation force values.

Keywords: Seismic isolation, Lead-rubber isolator(LRB), Base shear ratio-displacement graphics

I. GİRİŞ

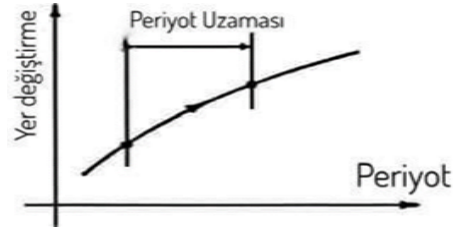
Sismik yalıtım, bir deprem sırasında gelen enerjiyi sönümleyen ve bir yapının üst kısımlarına zarar gelmesini önleyen pasif kontrol sistemleri olarak tanımlanmaktadır. Bu teknik, yıkıcı sismik kuvvetlere maruz kalan önemli yapıların davranışını iyileştirmeyi, böylece hem yapısal hem de yapısal olmayan elemanları korumayı amaçlamaktadır [1].

Sismik izolasyon sisteminin temel prensibi, 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 tüketim kapasitesi artırılmaktadır. Yapı periyodundaki bu artış, Şekil 1'de gösterildiği gibi yapıyı etkileyecek ivme değerlerinde önemli bir azalmaya ve yapıda yatay hareket kabiliyetinde bir artışa yol açmaktadır. Buna ek olarak, aynı zamanda taban kesme kuvvetlerinde de bir azalmaya yol açan nedendir. Bu kuvvetlerin azalma miktarı, esas olarak depremin doğasına ve yalıtımlı ve yalıtımsız yapının periyoduna bağlıdır [1], [2].



Şekil 1. Sismik izolasyon sayesinde elde edilen periyot uzamasının ivme üzerindeki etkisi (ivme tepki spektrumu)[2].

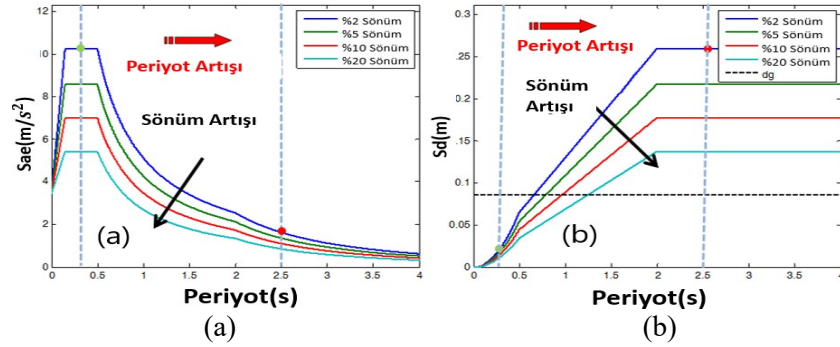
Öte yandan, periyot ile ivme arasındaki ilişki, periyot ile yerdeğiştirme arasındaki ilişkinin tam tersidir. Yani periyottaki artış, Şekil 2'de gösterildiği gibi yatay deplasman değerinde önemli bir artışa yol açacaktır [1], [2].



Şekil 2. Sismik izolasyon sayesinde elde edilen periyot uzamasının yerdeğiştirmeye etkisi (Yer değiştirme tepki spektrumu ve yapı yer değiştirmesi) [2].

Sönüm, yapısal bir sistemin hareketine karşı koyan, sistemi tekrar hareketsiz hale getirme eğiliminde olan bir özelliğidir. Yalıtım sistemleri için, sönüm genellikle viskoz (hıza bağlı) veya hysterik (yer değiştirmeye bağlı) olarak sınıflandırılmaktadır. Yalıtım seviyesinde yapıya büyük ilave sönümleyici elemanlar (damperler, hidrolik piston gibi) eklenmesiyle görece ötelemeler kontrol edilebilmektedir. Ayrıca, sönümlenme büyük bir hysterik enerji kaybı sağlamanın en etkili yollarından biridir. Periyot uzaması etkisi genellikle ivmeyi azaltmakta ve yerdeğiştirmeleri artırmakta iken, sönümlenme her zaman hem ivmeyi hem de yerdeğiştirmeyi azaltmaktadır. Hem periyodu hem de sönümü artırmak, istenen performans elde etmenin en etkili yoludur. Ne var ki standartlarda tanımlanan tepki spektrumları neredeyse her zaman %5 sönümlenme içindir [2], [3].

Şekil 3.a ve Şekil 3.b'de geleneksel bir yapının deprem yalıtım sistemi kullanılarak dinamik davranışının değişimi ile elde edilebilecek kazanımlar deprem davranış spektrumlarında gösterilmiştir [4].



Şekil 3. (a) Spektral ivme değişimi, (b) Spektral yerdeğiştirme değişimi [4], [5].

Sismik izolasyonlu bir binanın izolasyon periyodunun uzatılmasının, izolasyon sistemindeki etkin sönümü arttırmaktan daha faydalı olduğu, sadece sismik taleplerini azaltmak için değil, aynı zamanda üst yapı tepkisinin değişkenliğini azaltmak için de daha faydalı olduğu sonucuna varılabilir [6].

II. MATERYAL VE METOT

Yalıtım sisteminin tasarımı TBDY-2018’de tanımlanan Etkin Deprem Yükü Yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, TBDY-2018 kriterleri dikkate alınarak, 4 katlı betonarme bir yapı altında kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün tasarımı yapılmıştır. Sismik izolatörlü yapı tasarımında 2 farklı zemin sınıfı (ZC, ZD), 5 farklı periyot ($T= 2.0, 2.5, 3.0, 3.5$ ve 4.0) ve 5 farklı karakteristik dayanım oranı ($Q/W=0.05, 0.075, 0.100, 0.125$ ve 0.150) parametreleri dikkate alınmıştır.

Yukarıda belirtilen parametrelere ek olarak, sismik izolasyonlu yapılarda fay hattından olan uzaklığın izolatörün yatay yer değiştirmesine ve üst yapıya etki eden yatay kuvvete etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, Sakarya’da biri fay hattına yakın, diğeri fay hattından uzak olmak üzere iki lokasyon seçilmiş ve bu lokasyonların fay hattına olan uzaklığının sismik tepki üzerindeki etkisi karşılaştırılarak incelenmiştir.

Çalışmada, izolatörlerin yapıldığı malzemelerin özelliklerindeki farklılıkları ve izolatörlerin ömrü boyunca mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri dikkate almak için iki farklı durumda hesaplamalar yapılmıştır. Birinci durumda, üst sınır ($\lambda_{üst}$) için yüksek rijitliğe sahip ve ikinci durumda ise alt sınır (λ_{alt}) için düşük rijitliğe sahip izolatör özellikleri dikkate alınmıştır. Daha sonra bu sınır değerlerin izolatörün yatay yer değiştirmesi ve üst yapıya etki eden yatay kuvvet üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, izolasyon seviyesinde oluşan yerdeğiştirme, kesme kuvveti ve yerdeğiştirme tepki spektrumları belirlenmesi ve sismik izolatörlerin davranışına etki eden parametreler incelenmesi amaçlanmıştır.

A. KURŞUN ÇEKİRDEKLİ KAUÇUK İZOLATÖR TASARIMI

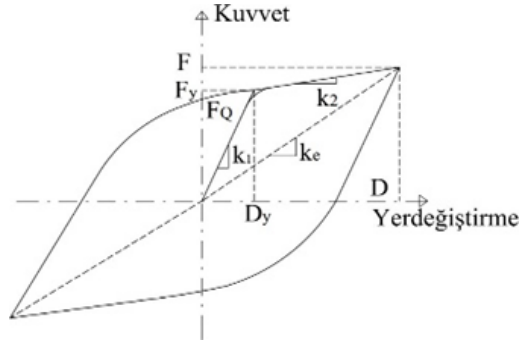
İzolatör tasarımı, izolatörün maksimum yer değiştirmesi ve kesme kuvvetinin belirlenmesine dayanan yinelemeli bir yöntemdir. Sismik yalıtım sistemi tasarlanırken kullanılan analiz yöntemi ne olursa olsun yerdeğiştirme ve tasarım kesme kuvvetlerinin minimum seviyesini belirlemek için statik analiz yapılması gerekmektedir. Ayrıca statik analiz gerektiğinde izolasyon sisteminin ön tasarımı için kullanışlı olup özel durumlarda kullanımına izin verilmektedir. Etkin yeprem yükü yöntemi, zaman tanım alanında doğrusal olmayan (ZTADO) dinamik analiz yönteminin sonuçlarını kontrol eden yöntemdir [6]. Üst yapı ve alt yapının tasarımında etkin deprem yükü yönteminin kullanılabilirliği için TBDY-2018’de belirtilen tüm koşulların sağlanması gerekmektedir. Bu tasarımda öncelikle karakteristik dayanım oranı (Q/W) ve izolasyon periyoduna (T) ihtiyaç duyulmaktadır.

Tasarım spektrumları, her bir tasarım seviyesinde, iki deprem yer hareketi düzeyi (en büyük deprem yer hareketi düzeyi (DD-1) ve tasarım deprem yer hareketi düzeyi (DD-2)) ve iki zemin sınıfı (ZC ve ZD)

kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında kullanılan lokasyonların özellikleri, AFAD web sitesi, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları (TDTH) aracılığı ile elde edilmiştir [8].

A. 1. Yalıtım Sistemini Belirleyen Parametrelerin Hesaplanması

Analiz yöntemlerinde sismik izolatörlerin modellenmesi için idealize edilmiş kuvvet-deplasman ilişkisi Şekil 4'te gösterilen bilineer eğri ile temsil edilmektedir. Grafikte gösterilen F_y etkin akma kuvveti, D_y etkin akma yerdeğiştirmesi, D en büyük izolatör yerdeğiştirmesi, F en büyük izolatör kuvveti, k_e izolatöre ait etkin rijitlik, k_1 ve k_2 ise sırasıyla izolatöre ait akma öncesi ve akma sonrası yatay rijitliği göstermektedir.



Şekil 4. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün idealleştirilmiş kuvvet- yerdeğiştirme ilişkisi [7].

Akma deplasmanı D_y , izolatör akma dayanımının (F_y) elastik rijitliğe (k_1) bölünmesi ile belirlenir. D_y , literatürde 10 ile 25 mm arasında değişen bir değer olarak tanımlanmaktadır [9]. Bu çalışmada, bahsi geçen yöntem için akma deplasmanı (D_y) 25 mm olarak seçilmiştir. Yukarıdaki şekilde gösterilen akma sonrası yatay rijitlik (k_2) değeri, Denklem 1 kullanılarak hesaplanır.

$$k_2 = G_r(A_r/T_r) \quad (1)$$

A_r tek bir elastomer katmanının alanını, T_r toplam elastomer kalınlığını ve G_r elastomer malzemenin kayma modülünü ifade etmektedir. Dairesel kesitli kurşun çekirdekli izolatörler için (A_r) (Denklem 2) ile elde edilmektedir [7].

$$A_r = (\pi/4)(B^2 - B_l^2) \quad (2)$$

B çelik plaka ile yapışmış elastomer levha çapı, B_l ise kurşun çekirdek çapını ifade etmektedir. Bir yükleme döngüsünde tüketilen enerji değerinin (W_d) hesaplaması için TBDY-2018'de verilen (Denklem 3) kullanılmıştır.

$$W_d = 2\pi \times k_e \times \xi \times D_{max}^2 \quad (3)$$

k_e , D yerdeğiştirmesine karşılık gelen etkin rijitliği, D yalıtım birimi için en büyük yerdeğiştirme değerini, ξ etkin sönüm oranını ifade etmektedir. Etkin rijitlik değeri denklem 4 ile hesaplanmaktadır.

$$k_e = k_2 + \frac{F_0}{D_{max}} \quad (4)$$

k_2 elastomer yalıtım biriminin ikincil (elastik ötesi) rijitliğini, F_0 yalıtım biriminin karakteristik dayanımını ifade etmektedir. Etkin sönüm oranı değerinin ξ hesaplaması için TBDY-2018 tarafından belirlenen Denklem 5 kullanılmıştır.

$$\xi = W_d / (2\pi \times k_e \times D_{max}^2) \quad (5)$$

W_d bir yüklemeye döngüsünde tüketilen enerji değerini, ifade etmektedir. Sismik izolasyonun etkin periyodu (T_e) Denklem 6 ile hesaplanmıştır.

$$T_e = 2\pi \times \sqrt{(W / (g \times k_e))} \quad (6)$$

W binanın toplam kütleyle karşı gelen ağırlığını, g yer çekimi ivmesini ifade etmektedir. Sönüm ölçeklendirme katsayılarının (η) hesaplanabilmesi için Denklem 7 kullanılmıştır.

$$\eta = \sqrt{(10 / (5 + \xi))} \quad (7)$$

ξ etkin sönüm oranını ifade etmektedir. Sönüm ölçeklendirme katsayısı, (η) ve etkin periyot değeri, (T_e) hesaplandıktan sonra tasarlanan izolatörün maksimum yerdeğiştirme değeri (D) Denklem 8 ile hesaplanmıştır.

$$D_M = 1.3 \times \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) T_M^2 \times \eta_M \times S_{ae}^{(DD-1)}(TM) \quad (8)$$

η_M sönüm ölçeklendirme katsayısını, T_e izolasyonun etkin periyodunun değerini, $S_{ae}^{(DD-1)}(TM)$ en büyük deprem yer hareketi seviyesinde T_M periyodundaki spektral ivmeyi ifade etmektedir. Tasarlanan izolatör için maksimum yerdeğiştirme değeri (D) hesaplandıktan sonra, üst yapı ile izolatör sistemi arasındaki burulma sonucu oluşan toplam yer değıştirme değeri (D_{TM}) Denklem 9 ile hesaplanmıştır.

$$D_{TM} = D_M \times \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2}\right) \quad (9)$$

D_M en büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yerdeğiştirmeyi, y izolasyon sisteminin rijitlik merkezi ile deprem yükünün dik yönünde ilişkili eleman arasındaki mesafeyi, d yapının en uzun plan boyunu, b yapının en kısa plan boyunu, e bileşke dış merkezliği ifade etmektedir.

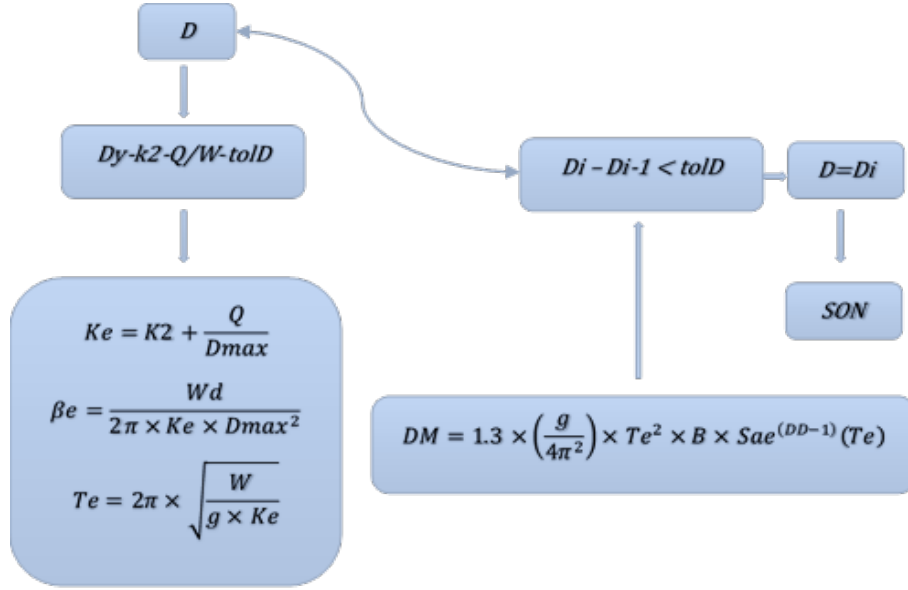
TBDY-2018'e göre, tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için, üstyapıya etkileyen kuvvetin hesaplanabilmesi için Denklem 10 kullanılmıştır.

$$V_D = \frac{S_{ae}^{(DD-2)}(T_D) \times W \times \eta_D}{R} \quad (10)$$

R deprem yükü azaltma katsayısını, $S_{ae}^{(DD-2)}(T_D)$ tasarım deprem yer hareketi seviyesinde T_D periyodundaki spektral ivmeyi ifade etmektedir.

A. 2. Sismik İzolatör Tasarımının İteratif Akış Şeması

Gerekli hesaplamaların yapılmasında kullanılan denklemlerin eksiksiz sunumu tamamlandıktan sonra, hesaplamalarda kullanılan iteratif yöntemin bir özeti burada sunulmuştur. Genel olarak, bu iteratif yöntem, sismik yalıtım sisteminin maksimum yer değıştirme değerini ve en büyük kesme kuvvetini göstermeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda yalıtımın periyodunun değeri (T), yalıtımın üzerindeki eksenel yükün oranı (Q/W) ve yalıtımın maruz kaldığı en büyük yer değıştirme (D) gibi bir takım varsayımlar üzerinden hesaplamalara başlanmaktadır. Ayrıca, bahsi geçen kurşun çekirdekli kauçuk izolatlara ait akma deplasmanı (D_y) 25 mm olarak seçilmiştir. İteratif yöntem ile elde edilen en büyük izolatör yerdeğiştirmesi değeri (D), hesaplamaların başında verilen değer ile karşılaştırılır. Değerler önceden tanımlanmış bir aralığa yakınsa değer kabul edilir ve çözüm durdurulur. Ters durumda ise ortaya çıkan değer farz edilen değere yaklaşıncaya kadar hesaplamalar yeniden hesaplanmaktadır. Aşağıda, izolatör tasarımının adımlarını gösteren bir iteratif akış şeması bulunmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. İzolatör tasarımı için kullanılan iteratif çözüme ait akış şeması [10].

A. 3. Sismik İzolatör Tasarımında Kullanılacak Alt ve Üst Sınır Değerler İçin Referanslar

İzolasyon birimi parametrelerinin nominal değerleri (F_Q ve k_2) elde edildikten sonra bu değerler sırasıyla üst ve alt sınırlar ($\lambda_{üst}$ ve λ_{alt}) ile çarpılarak hesaplamalarda kullanılacak olan izolasyon birimi parametrelerinin üst ve alt sınır değerleri elde edilir. Üst ve alt limitlerin değerlerini hesaplamak için sırasıyla Denklem 11 ve Denklem 12 kullanılır.

$$\lambda_{üst} = \left(1 + 0,75(\lambda_{ae,üst} - 1)\right) * \lambda_{deney,üst} * \lambda_{spek,üst} \quad (11)$$

$$\lambda_{alt} = (1 - 0,75(1 - \lambda_{ae,alt})) * \lambda_{deney,alt} * \lambda_{spek,alt} \quad (12)$$

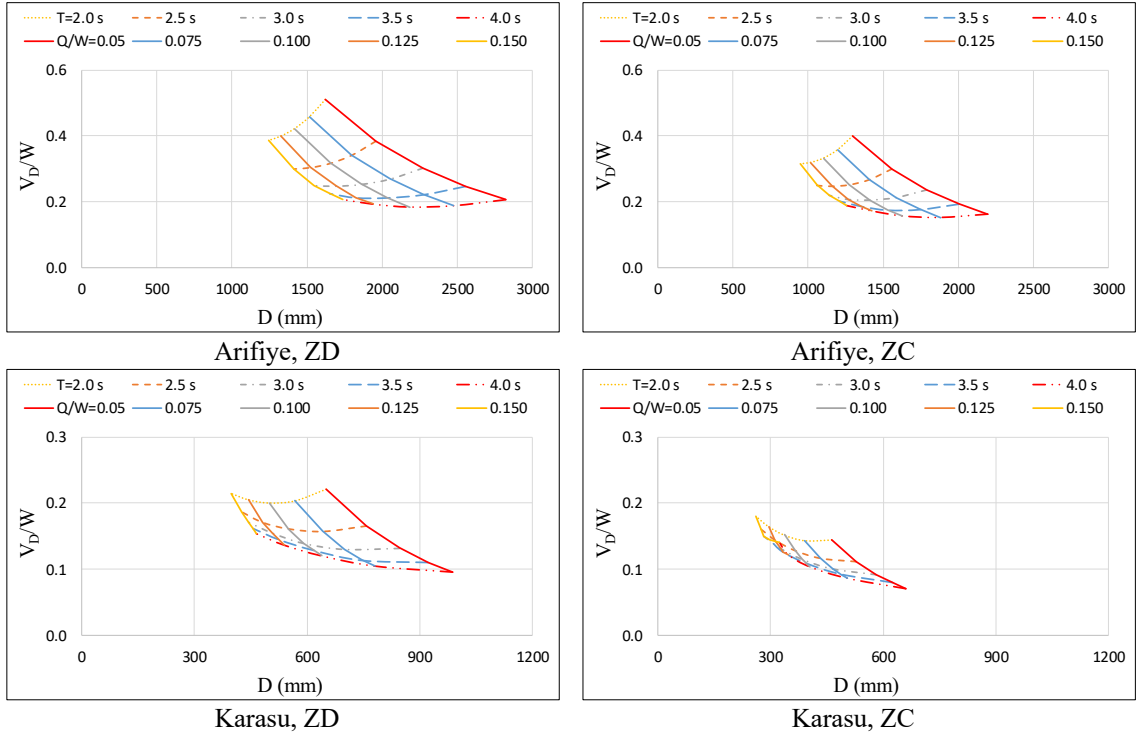
λ_{ae} yaşlanma ve çevresel etkiler, λ_{deney} yükleme hızı ve ısınma gibi etkiler, λ_{spek} üretimdeki değişkenlikler nedeni ile kullanılacak olan çarpanları ifade etmektedir.

III. BULGULAR

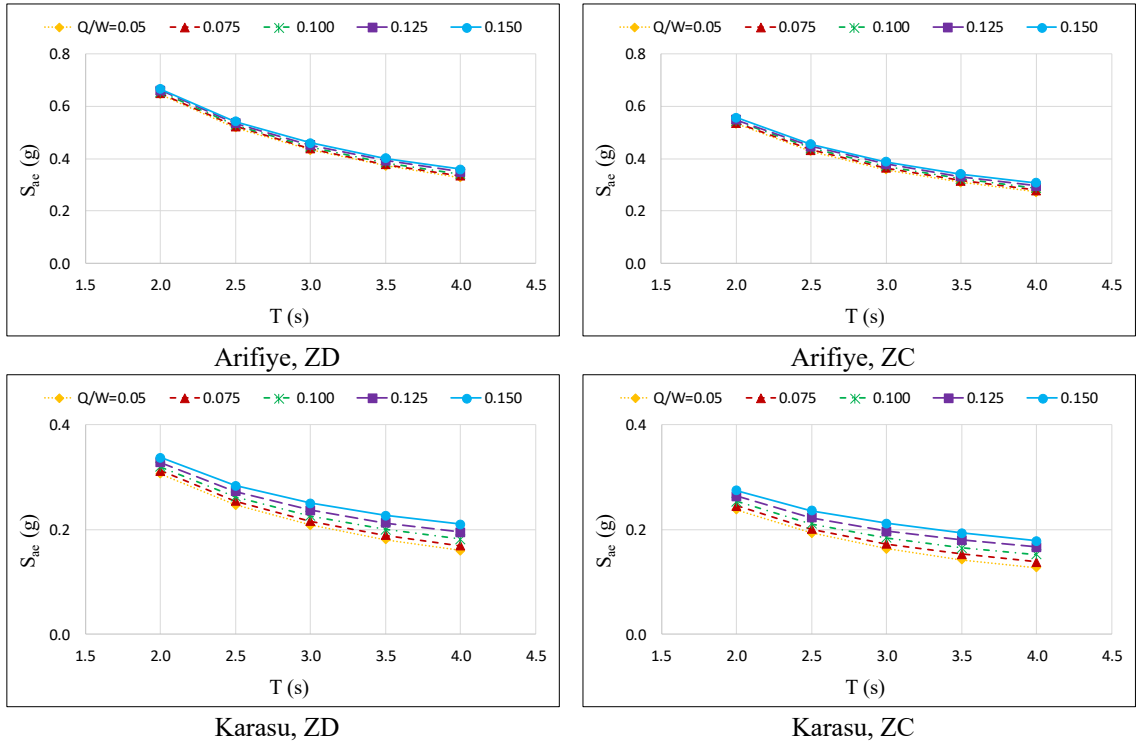
Bu bölümde, bulgular üç şekilde sunulmuştur. Şekil 6.'da, iki zemin sınıfı (ZD-ZC) için, biri fay hattına uzak (Karasu) diğeri fay hattına yakın (Arifiye) olan iki lokasyon için taban kesme oranı-deplasman grafikleri verilmiştir.

Şekil 7.'de, yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$ ile izolatörün periyodu arasındaki ilişki, fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı (ZD-ZC) dikkate alınarak gösterilmiştir.

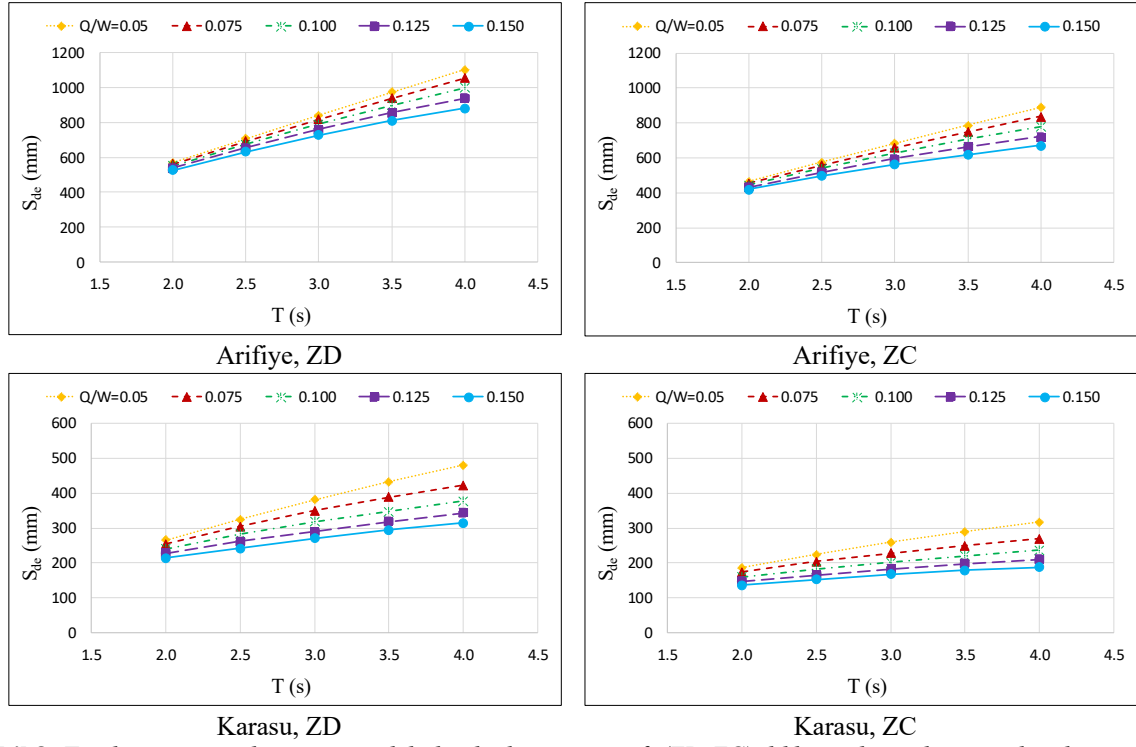
Şekil 8.'de ise, yatay elastik tasarım spektral yer değiştirmeleri $S_{de}(T)$ ile izolatörün periyodu arasındaki ilişki, fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı (ZD-ZC) dikkate alınarak gösterilmiştir.



Şekil 6. Fay hattına en yakın ve en uzak bölgede iki zemin sınıfı (ZD-ZC) dikkate alınarak tasarlanan izolatörün yatay yerdeğiştirmesi (D) ile taban kesme oranı (V_D/W) arasındaki ilişki.



Şekil 7. Fay hattına en yakın ve en uzak bölgede iki zemin sınıfı (ZD-ZC) dikkate alınarak yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$ ile izolatör periyodu (T) arasındaki ilişki.



Şekil 8. Fay hattına en yakın ve en uzak bölgede iki zemin sınıfı (ZD-ZC) dikkate alınarak yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri $S_{de}(T)$ ile izolatör periyodu (T) arasındaki ilişki.

Şekil 6'da görüldüğü üzere taban kesme oranı-deplasman grafiklerinin fay hattından uzaklığa göre iki bölüme ayrılmaktadır. Birinci bölüm fay hattına yakın (Arifiye) lokasyondan oluşmaktadır. Bu lokasyonda ZD için en kısa periyot ($T=2.0s$) ve $Q/W=0.050$ için taban kesme oranı V_D/W en büyük, en uzun periyot ($T=4.0s$) ve $Q/W=0.100$ için taban kesme oranı V_D/W en küçük değerindedir. ZC zemin sınıfı için en kısa periyot ($T=2.0s$) ve $Q/W=0.050$ için taban kesme oranı V_D/W en büyük, en uzun periyot ($T=4.0s$) ve $Q/W=0,075$ için taban kesme oranı V_D/W en küçük değerindedir. İkinci bölüm fay hattından uzak (Karasu) lokasyondan oluşmaktadır. Bu lokasyonda ZD için en kısa periyot ($T=2.0s$) ve en küçük karakteristik dayanım oranı ($Q/W=0.050$) çifti için V_D/W oranı en büyük, en uzun periyot ($T=4.0s$) ve $Q/W=0.075-0.050$ için V_D/W oranı en küçük değerindedir. ZC zemin sınıfı için en kısa periyot ($T=2s$) ve en büyük karakteristik dayanım oranı ($Q/W=0.150$) çifti için V_D/W oranı en büyük, en uzun periyot ($T=4.0s$) ve en küçük karakteristik dayanım oranı ($Q/W=0.050$) için V_D/W oranı en küçük değerindedir. Tüm durumlarda sistem yer değiştirmesinin, en kısa periyot ($T=2.0s$) ve en büyük akma oranında ($Q/W=0.150$) en küçük, en uzun periyot ($T=4.0s$) ve en küçük akma oranında ($Q/W=0.050$) en büyük değerinde olduğu gözlenmiştir.

Şekil 7'de görüldüğü üzere, yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$ ile izolatörün periyodu arasında ters bir ilişki olup, $S_{ae}(T)$ değeri, izolatörün periyodundaki artışla azalmaktadır. Şekil 8'de ise yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri $S_{de}(T)$ ile izolatörün periyodu arasında doğrudan bir ilişki olup, $S_{de}(T)$ değeri, izolatörün periyodundaki artışla artmaktadır.

IV. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında yürütülen analizlerde dikkate alınan temel parametreler şu şekildedir: i) Fay hattından uzaklığın sismik izolatörlerin davranışı üzerindeki etkisini incelemesi, ii) İzolatörün periyodundaki (T) ve karakteristik dayanımındaki (Q/W) değişimin sismik izolatörlerin davranışı üzerindeki etkisinin incelenmesi, iii) Zemin sınıfındaki değişimin sismik izolatörlerin davranışı üzerindeki etkisini incelemesi.

Bu çalışmanın en önemli amaçlarından biri taban kesme oranı-deplasman grafiklerini elde etmektir, çünkü bu grafikler sismik izolasyonun ön tasarımında etkili ve önemli bir araçtır. Daha önceki çalışmalarda da bu grafiklerin önemi vurgulanmıştır. Taban kesme oranı-yerdeğiştirme grafikleriyle, sistemin talepleri ve genel davranış gözlemlenebilir ve hızlı bir değerlendirme sağlayabilir. Bu grafikler tüm tipik sismik yalıtım sistemleri için kullanılabilir. Farklı sistemlerin karşılaştırılması aynı grafikte yapılabilir ve bu özellik karar verme sürecinde tüm alternatifleri değerlendirmeyi daha uygun hale getirir. Bu çalışmada, fay hattından uzaklık ve zemin sınıf değişimi ile bu grafiklerdeki değişime odaklanılmıştır. Gerçekleştirilen parametrik çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Farklı zemin sınıfının sismik izolasyon sistemi üzerindeki etkisini göstermek için, ZC zemin sınıfını temsil eden grafikler, ZD zemin sınıfını temsil eden grafiklerle karşılaştırılmıştır. Zemin daha sert olduğunda, Arifiye bölgesinde (fay hattına en yakın bölge) maksimum yer değiştirme azalırken, bu değer fay hattından uzaklaştıkça (fay hattından en uzak bölgede) düşmektedir. Fay hattına yakın bölgelerde zemin sertliğinin etkisinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Zemin daha sert olduğunda, izolatörün maksimum yer değiştirmesinin, taban kesme oranının (V_D/W), tasarım spektral ivmesinin $S_{ac}(T)$ ve tasarım spektral yer değiştirmesinin $S_{dc}(T)$ azaldığını belirlenmiştir.

Fay hattından uzaklığın sismik izolasyon sistemine etkisini göstermek için fay hattından uzak lokasyonu temsil eden grafik, fay hattına yakın lokasyonu temsil eden grafiklerle karşılaştırılmıştır. Taban kesme oranı-deplasman grafikleri karşılaştırıldığında, (ZD) zemin sınıfı için maksimum yer değiştirme değerlerinin fay hattına en yakın ve en uzak bölge arasındaki farkının yaklaşık %65 ve (V_D/W) değerlerinin farkının yaklaşık %56,9 olduğu görülmüştür. Bununla birlikte (ZC) zemin sınıfı için maksimum yer değiştirme değerlerinin fay hattına en yakın ve en uzak bölge arasındaki farkın yaklaşık %70 ve (V_D/W) değerlerinin farkının yaklaşık %55 olduğu görülmüştür. Diğer bir deyişle, fay hattına yaklaştıkça, izolatörün maksimum yer değiştirmesinin, taban kesme oranının (V_D/W), tasarım spektral ivmesinin $S_{ac}(T)$ ve tasarım spektral yer değiştirmesinin $S_{dc}(T)$ arttığı belirlenmiştir.

İzolatörün yer değiştirmesi (D) ile periyodu (T) arasında doğrudan bir ilişki olup, izolatörün yatay yer değiştirme değeri, periyot değerindeki artışla birlikte artmaktadır. Diğer taraftan, izolatörün maksimum yer değiştirme değeri, karakteristik dayanım oranının (Q/W) değeri azaldıkça artmaktadır. Artan (Q/W) oranları ile maksimum yer değiştirmesinde meydana gelen azalma, (Q/W) oranındaki artışla izolatör sisteminin nispeten rijit hale gelmesinden kaynaklanmaktadır. Periyot değeri arttığında, izolatörün maksimum yer değiştirmesinin ve tasarım spektral yer değiştirmesinin $S_{dc}(T)$ arttığı, taban kesme oranının (V_D/W) ve tasarım spektral ivmesinin $S_{ac}(T)$ azaldığı bulunmuştur.

Arifiye'de (fay hattına en yakın bölge) izolatörün en büyük yer değiştirme değeri (ZD) zemin sınıfı için 2824mm, (ZC) zemin sınıfı için 2197mm'dir. Bu değerler çok büyük ve üretim açısından kabul edilemez seviyede olduğundan fay hattına yakın bölgelerde zemin iyileştirilmesi yapılması öneri olarak sunulabilir. Bu durumda dahi yerdeğiştirme değerleri makul seviyelere gelmemesi durumunda sismik izolasyonlu yapı için sismik izolatör tipinin veya lokasyonun değiştirilmesi gerekmektedir. Yönetmelikte sınır analizler için önerilen değerlerin çok güvenli tarafta olduğu, bu nedenle daha büyük yer değiştirme ve daha büyük kesme kuvveti ortaya çıktığı görülmüştür.

Taban kesme oranı-deplasman grafikleri, etkili ve görsel bir araç olarak sismik izolasyonlu yapıların ön tasarımında kullanılabilir. Bu araç tasarımcıya, sismik izolasyonlu yapıya etki eden parametrelerin özelliklerini kapsamlı bir şekilde sunmakta olup en iyi tasarıma ulaşılmasını sağlayabilmektedir.

Araştırmada elde edilen bulgulara göre, fay hattından uzaklığın, zemin sınıfının, izolatör periyot değerinin ve karakteristik dayanımının maksimum izolatör deplasmanı ve maksimum izolatör kuvveti değerini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır.

V. KAYNAKLAR

- [1] T.E. Kelly, Base Isolations Of Structures, Design Guidelines, Holmes Consulting Group Ltd., New Zeland, 2001.
- [2] A. B. M. Saiful Islam, M. Jameel and M. Z. Jumaat, “Seismic isolation in buildings to be a practical reality: Behavior of structure and installation technique”, Journal of Engineering and Technology Research vol. 3, no. 4, pp. 99-117, April 2011.
- [3] F. Naeim, J.M. Kelly, Design of seismic isolated structures: From theory to practice, Wiley, New York, 1999.
- [4] C. Yenidođan, “Karma Deprem Yalıtım Sistemlerinin Deneysel Performans Deđerlendirmesi,” DEÜ FMD, c. 23, s. 69, ss. 767-779, 2021.
- [5] C. Yenidogan, “Earthquake-Resilient Design of Seismically Isolated Buildings: A Review of Technology ,” Vibration, vol. 4, no. 3, pp. 602-647, 2021.
- [6] R. Deepak , “Influence of scaling of different types of ground motions on analysis of code-compliant four-story reinforced concrete buildings isolated with elastomeric bearings,” Engineering Structures, vol. 135, pp. 53-67, 2017.
- [7] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, (TBDY), 2018. Afet ve Acil Durum Başkanlığı, Ankara, Türkiye
- [8] Türkiye Deprem Tehlike Haritası. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018. (<https://tdth.afad.gov.tr>)
- [9] N. Makris and S.P. Chang, “Effect of viscous, viscoplastic and friction damping on the response of seismic isolated structures”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol. 29, no. 1, pp. 85-107, 2000.
- [10] K.L. Ryan and A.K. Chopra, “Estimation of seismic demands on isolators based on nonlinear analysis,” Journal of Structural Engineering, vol. 130, no. 3, pp. 392-402, 2004.
- [11] A. Yolcu, G. Tanırcan, C. Tüzün, “Türkiye’deki Deprem Yalıtım Sistemlerinin Tasarımında Doğrusal Olmayan Tepki Spektrumlarına Dayalı Bir Yöntem,” 5.International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (5ICEES), Metu Ankara, Turkey, 2019.