

ALL SCIENCES ACADEMY



Proceeding Book of 5th International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2024

August 25-26, 2024: Konya, Turkey



PROCEEDING BOOK OF
5TH INTERNATIONAL
CONFERENCE ON
ENGINEERING AND
APPLIED NATURAL
SCIENCES ICEANS 2024

PROCEEDING BOOK OF 5TH ICEANS 2024:

25-26 August 2024

Konya, Turkey

Publication date: 03.09.2024

Publisher: All Sciences Academy

All Sciences Academy

<https://www.allsciencesacademy.com/>

Proceeding Book of 5th International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2024:
edited by All Sciences Academy.

ISBN: 978-625-6314-30-6

Kurşun Çekirdekli Yapılarda Giren Enerjinin Araştırılması

Osman SEVİNDİK^{1*} ve Ali Erdem ÇERÇEVİK²

^{1*} İnşaat Mühendisliği Bölümü/ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Türkiye

² İnşaat Mühendisliği Bölümü/ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Türkiye

*(ossevindik@hotmail.com)

Özet – Kurşun çekirdekli kauçuk izolasyon sistemleri, üst yapının zeminle ile bağlantısını kesen sistemlerdir. Zeminle bağlantısı kesilen yapı deprem esnasında da az ivme ve kuvvet talep etmektedir. Bu sayede üst yapı ve bileşenleri deprem kuvvetlerinden daha az zarar görmektedir. Bu çalışmada taban katına kurşun çekirdekli sismik izolatörler yerleştirilmiş 3 katlı çelik bir yapı hazırlanmıştır. Kurşun çekirdekli sismik izolatörler doğrusal olmayan analiz metodu ile modellenmiştir. Yapı sistemi zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile analiz edilmiştir. Analizler, gerçek bir ivme kaydı olan Tabas ivme kaydı kullanılarak yapılmıştır. Üst yapı, analiz metodu ve ivme kaydı sabit tutulurken kurşun çekirdekli sismik izolatör parametreleri değiştirilmiştir. Doğrusal olmayan kurşun çekirdekli sismik izolatör parametreleri için önemli değişkenler karakteristik dayanım/ağırlık ve periyot göz önünde bulundurulmuştur. Karakteristik dayanım/ağırlık 0.06 ve 0.12 ve izolasyon periyodu 2, 3 ve 4 saniye olacak şekilde seçilmiştir. Bu sayede farklı parametrelere sahip kurşun çekirdekli sismik izolatörlerin çelik bir yapıda oluşturduğu enerji farkları ortaya konulmuştur. Farklı parametrelere sahip kurşun çekirdekli sismik izolatörlü yapı tepkileri birbirleri ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kurşun çekirdekli kauçuk izolasyonlu yapıya giren enerjinin ankastre tabanlı yapıya giren enerjiden oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Giren enerjinin en düşük bulunduğu izolatör parametreleri 0.06 karakteristik dayanım/ağırlık oranı ve 4 saniye izolasyon periyodu olarak bulunmuştur. Ayrıca karakteristik dayanım/ağırlık oranı ve izolasyon periyodunun artmasıyla enerji seviyesinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler – Çelik Yapılar, Sismik İzolasyon, Giren Enerji, Tasarım, Analiz

I. GİRİŞ

Depremler dünyanın her yerinde görülebilen yapılar için büyük yıkıcı sonuçları olan yer hareketleridir. Belirli periyodlarla meydana gelen bu depremler can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Bu can ve mal kayıplarının çoğunluğunun ana sebebi deprem değil depreme dayanıklı olmayan yapılardır. Yapıların depreme dayanıklı olarak yapılması fikri bu sebeple ortaya çıkmıştır. Bu amaçla depreme dayanıklı yapı tasarımı belirli kurallar çerçevesinde geliştirilmeye devam etmektedir.

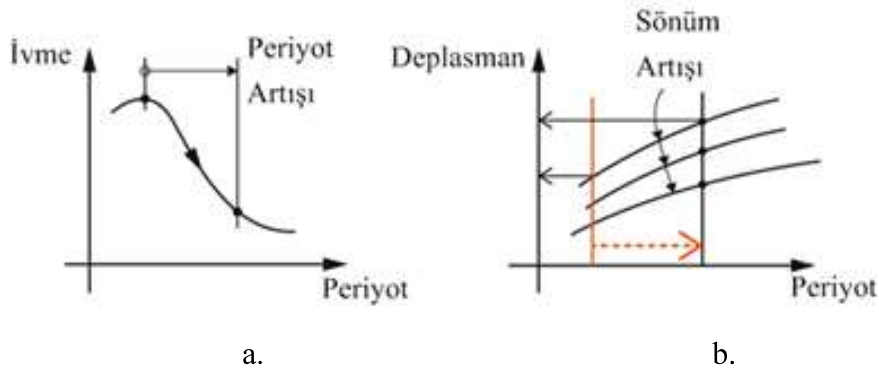
Ekonomik ölçüler doğrultusunda deprem etkisi altında kalan binalar için depreme dayanabilmesi adına farklı çözüm yöntemleri mevcuttur. Konvansiyonel yapılarda büyük deprem kuvvetlerinin gelmesi neticesinde yapının taşıyıcı sisteminin elastik deplasman limitlerine ve hatta plastik deformasyona maruz kalmaktadır. Her yapının deprem etkisi altında elastik şekil değiştirme sınırları içerisinde inşa edilmesi ekonomik açıdan mümkün değildir. Yapıya gelen yükün düzgün dağıtılması ve talep edilen deplasmanların yapılabilmesi gerekir. Düşük deprem yükü etki eden yapılarda elastik şekil değişikliği beklenirken yüksek deprem yükü etki eden yapılarda taşıyıcı elemanların plastik şekil değişikliği yaparak yapının yıkılmaması ve bu durumda da yapının tahliyesini mümkün kılması beklenir. Bu tip tasarımlarda yapının süneklik koşuluna uyulması gerekir. Süneklik bir malzemenin plastik deformasyonunu sürdürebilme kapasitesi olarak tanımlanır. Bu sayede elastik kısmın ötesine geçilerek plastik kapasitenin

kullanılması sağlanır [1]–[3]. Dünya genelinde uygulanan yönetmelikler bu tasarım yöntemini temel almaktadır [4]–[7]. Bu şekilde tasarlanan yapılarda göçme olmadan bir miktar hasar almasına izin vermesi kontrollü hasar yaklaşımıdır. Elastik dışı tasarımda kontrollü hasara izin verilebilmesi için oluşma olasılığı da dikkate alınmalıdır. Hasara bağlı olarak hesap sonuçlarını da dahil ederek performansa dayalı deprem mühendisliği olarak adlandırılır.

Depremden etkisiyle yapıya gelen yüksek enerjinin yapının taşıyıcı elemanlarına doğru dağılması ve bu elemanlarla sönümlenmesi performansa dayalı tasarım olarak adlandırılabilir. Performansa dayalı tasarımda yapıya gelen enerji; kinetik enerji, potansiyel enerji, sönümleme enerjisi, elastik enerji ve histeretik enerji olarak yapı tarafından karşılanmayı amaçlar [8]–[10]. Burada kinetik enerji ve sönümleyici enerji deprem yükünü karşılayamazsa yapı şekil değiştirerek histeretik enerji ile bertaraf etmeye çalışır. Bu şekilde de yetersiz kalırsa göçme gerçekleşir. Bu hasarın düzeyini, yapı tasarımı ve ek sönümleyiciler ile kontrol altına alınabilir.

Yapılarda ek sönümleyicilerin başında sismik izolasyon sistemleri gelmektedir. Sismik izolasyon sistemleri kullanıldıkları yapı tipine göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada kurşun çekirdekli kauçuk izolasyon sistemleri incelenmiştir. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler düşeyde sağladıkları yüksek dayanım ve yatayda yüksek esneklik kabiliyetleri ile yapıları zeminden ayırarak deprem koruması sağlarlar. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerde kullanılan malzeme kauçuk ve çelik olması sebebi ile düşük maliyetlerle deprem koruması sağlayabilirler [11].

Yapılarda sismik izolasyon sistemi kullanılmasıyla yapı temel katında yüksek deplasman yapma kapasitesine sahip olmaktadır. Bu sayede yapı salınım periyodu uzayarak yapıya gelen ivmeler azaltılmaktadır (Şekil 1a). Azalan ivme üst yapıya daha az deprem kuvveti ve enerjisi geçmesini sağlamaktadır. Bu sayede üst yapıda daha az plastik deformasyonlar meydana gelmekte yapı depreme karşı güvenli davranış sergilemektedir. Ayrıca sismik izolasyon sistemlerine sağladığı fazladan sönüm sayesinde yapıda daha az deplasman talebi oluşmaktadır (Şekil 1b).



Şekil 1. Sismik izolasyon sistemlerinin spektral ivme (a) ve spektral deplasmanda (b) oluşturduğu etki [12]

Sismik izolasyon tasarımında farklı birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler genellikle yapı tepkilerini göz önünde bulundurarak izolatör mekanik özelliklerini tekrarlı çözümler ile belirlemeye çalışan yöntemlerdir [13]–[16]. Bu yöntemler izolatör deplasmanı, yapı ivmesi, görel kat ötelemesi yapı taban kesmesi gibi parametreleri tasarım ögesi olarak değerlendirmektedir.

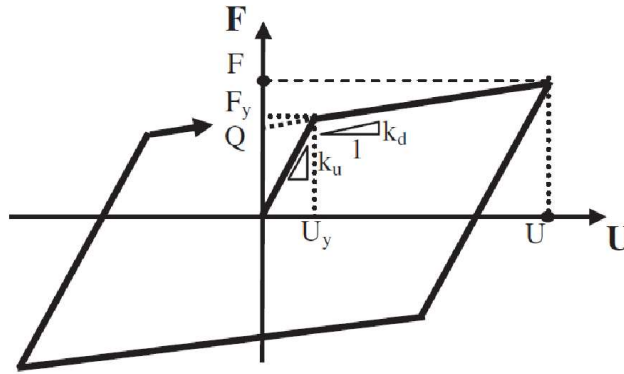
Bu çalışmada, tabanına kurşun çekirdekli sismik izolatör yerleştirilmiş 3 katlı çelik bir çerçevenin yapı tepkileri ve giren enerji değişimleri araştırılmıştır. Karakteristik dayanım/ağırlık 0.06 ve 0.12 ve izolasyon periyodu 2, 3 ve 4 saniye seçilen farklı izolatör sistemleri, doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilerek yapı geneline giren enerji değişimlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca tabanı ankastre model ile sismik yalıtımlı model arasındaki enerji değişimleri belirlenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında kurşun çekirdekli sismik izolatörlü 2 boyutlu moment aktaran 3 katlı çelik bir çerçevenin farklı izolatör parametreleri ile oluşan yapı tepkileri ve giren enerji seviyeleri incelenmiştir. Bu amaçla bir örnek model hazırlanarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Analizler, gerçek yapı modeli tepkileri ile sayısal model sonuçlarının birbirine uyumlu olduğu kanıtlanmış SAP2000 programında gerçekleştirilmiştir [17], [18].

A. Sismik İzolatör Modeli

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler, amaçları gereği düşeyde oldukça rijit yatayda ise esnek hareket ederek yapılara deprem kuvvetlerini en az iletmek amacıyla tasarlanırlar. Ancak yapı yatayda sınırsız hareket edemeyeceği için yatayda tersinir tekrarlanır hareketler ile yapının stabilitesini korurlar. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin idealize edilmiş çift doğrultulu tersinir tekrarlanır hareketi Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekil 2’de belirtilen k_u izolatöre ait akma öncesi başlangıç (elastik) rijitliğini, k_d ise akma sonrası ikincil (elastik ötesi) rijitliğini, F_y akma dayanımını, Q karakteristik dayanımı, U_y akma deplasmanını, F maksimum izolatör y deplasmanına karşılık gelen yatay kuvveti, U maksimum izolatör deplasmanını ve k_{eff} maksimum izolatör deplasmanına karşılık gelen etkin rijitliği ifade etmektedir [19].



Şekil 2. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler için çift doğrultulu kuvvet-deplasman ilişkisi [19]

Kurşun çekirdekli izolatörlü yapı tasarımında Şekil 2’de de görülebileceği gibi k_e , k_d , U_y ve Q ’dur. Bu değişkenler izolasyon periyodunu ve yapı tepkilerini değiştiren izolatör parametreleridir. İzolasyon periyodu (T_0) k_d ’ye bağlı olarak denklem 1’deki gibi bulunur [20]:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_d \cdot g}} \quad (1)$$

burada W yapı ağırlığı ve g yer çekim ivmesidir. Akma dayanımı (F_y) denklem 2 ve akma deplasmanı (U_y) denklem 3’teki gibi bulunur:

$$F_y = Q + k_d \cdot U_y \quad (2)$$

$$U_y = \frac{F_y}{k_u} \quad (3)$$

Çalışma kapsamında akma yerdeğiştirmesini (U_y) sabit ve 10 mm [21], değişken parametreler karakteristik dayanım (Q) ve izolasyon periyodu (T_0) olarak alınmıştır. Denklem 1 ile akma sonrası ikincil rijitlik, denklem 2 ve 3 ile de akma dayanımı (F_y) ve akma öncesi rijitlik (k_u) elde edilmiştir. Bu

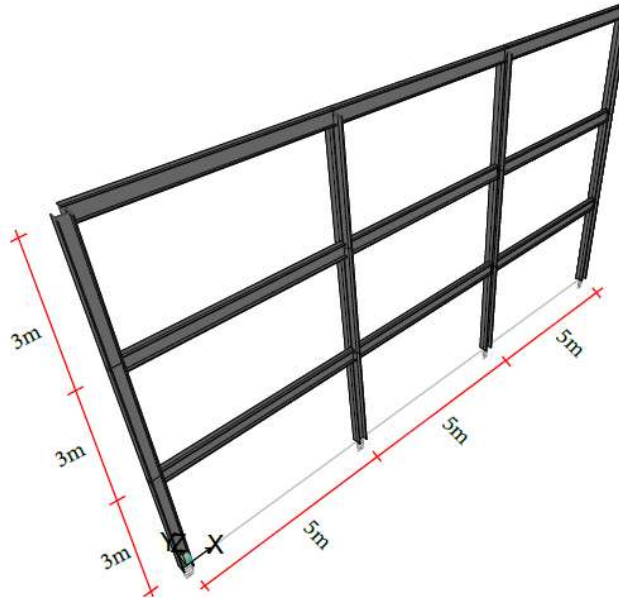
parametreler kullanılarak SAP2000 programında kurşun çekirdekli sismik izolatör tanımlaması yapılmış, analizler tamamlanmıştır. Analizler sonucunda izolatör deplasmanı (U) belirlenmiş, denklem 4 ve 5 yardımı ile efektif rijitlik (k_{eff}) ve efektif sönüm oranı (β_{eff}) bulunmuştur.

$$k_{eff} = \frac{Q}{U} + k_d \quad (4)$$

$$\beta_{eff} = \frac{4 \cdot Q \cdot (U - U_y)}{2\pi \cdot k_{eff} \cdot U^2} \quad (5)$$

B. Örnek Üst Yapı Modeli

Üst yapı modeli moment aktaran 3 katlı, 3 açıklıklı, 2 boyutlu bir model önceki çalışmadan alınarak bu çalışmada kullanılmıştır [22]. Örnek modelin kat yükseklikleri 3 metre açıklıkları ise 5 metredir (Şekil 3). Yapısal çelik sınıfı olarak S235 çeliği ve kiriş kesitleri IPE330, kolon kesitleri ise HE240B olarak modellenmiştir. Üst yapı modelinin tabana ankastre analiz sonuçlarına göre birinci titreşim periyodu 0.73 saniye olarak belirlenmiştir.



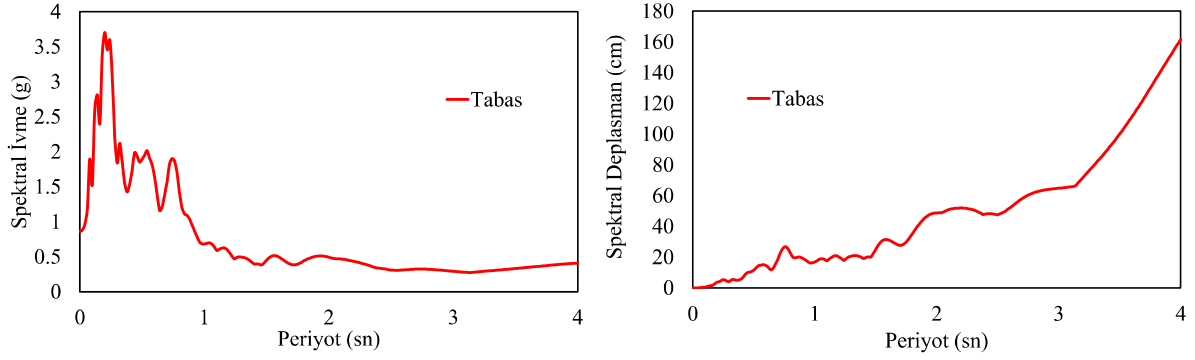
Şekil 3. Sismik izolasyonlu yapının 3 boyutlu modeli ve ölçüleri

C. Kullanılan Deprem İvme Kaydı

Çalışmada giren enerji ile yapı tepkileri ilişkisini daha iyi incelemek amacıyla görece güçlü etkileri olan Tabas ivme kaydı kullanılmıştır. Tabas ivme kaydı, yakın saha ivme kaydı olarak yapıya yüksek ivme ve yüksek enerji verdiği öngörülerek seçilmiştir. İvme kaydı verileri PEER Kuvvetli Yer Hareketi Veritabanı'ndan alınmıştır [23]. Çalışmada kullanılan Tabas ivme kaydının verileri Tablo 1'de ivme ve deplasman spektrumları Şekil 4'te sunulmuştur.

Tablo 1. Tabas İvme Kaydı verileri [23]

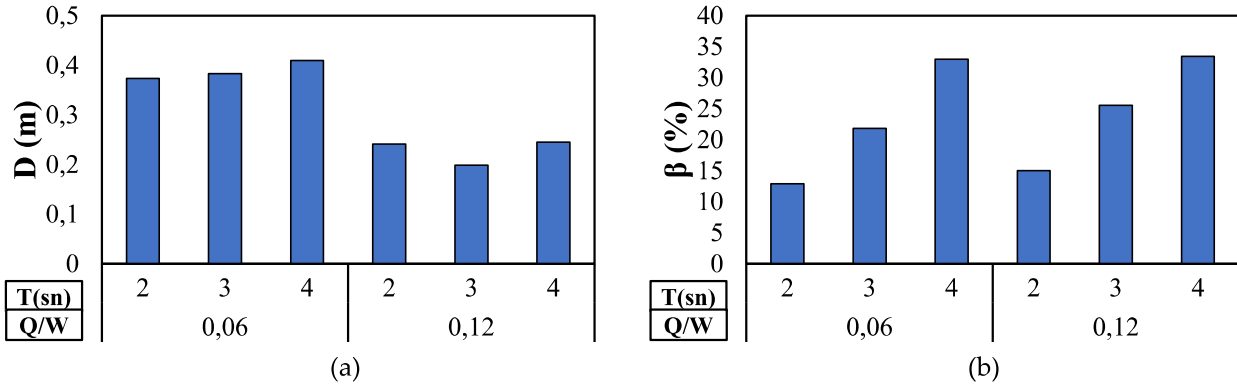
İvme Kaydı	Tabas
Tarih	1978
İstasyon	9101Tabas
Kayıt Kodu	TAB-TR
PGD(cm)	93.6
PGV(cm/s)	123.4
PGA(g)	0.861



Şekil 4. Tabas ivme kaydı ait %5 sönümlü ivme ve deplasman spektrumları (PEER, 2019)

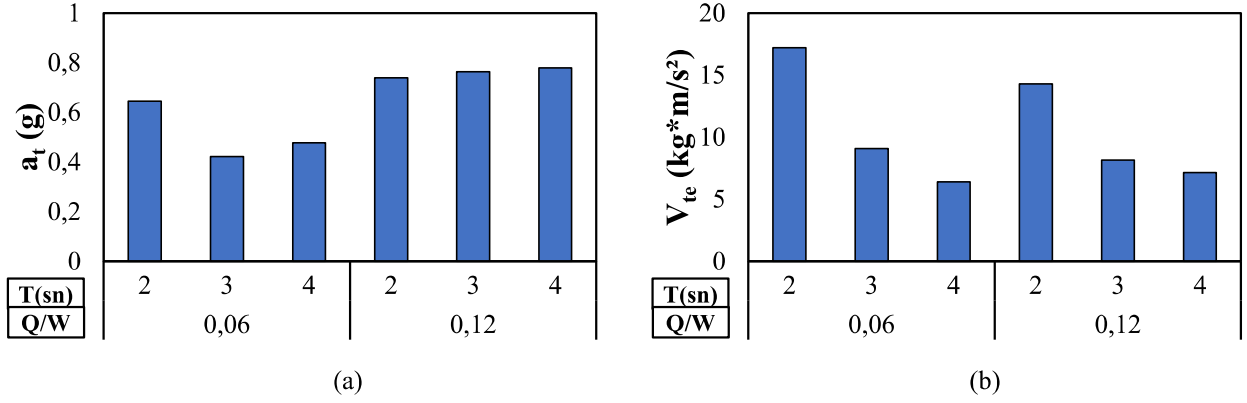
III. BULGULAR

Çalışma kapsamında sismik yalıtımlı yapılar için önemli tasarım değişkenleri olan Q/W ve T_0 parametreleri göz önüne alınarak 6 farklı izolatör sistemi ile analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda izolasyon sistemi ve yapı tepkileri incelenmiş, giren enerji değişimleri referans ankastre tabanlı yapı ile karşılaştırılarak tartışılmıştır. Q/W ve T_0 parametrelerinin değişimlerine bağlı izolatör deplasmanları (D) ve Efektif Sönüm (β_{eff}) Değerleri Şekil 5'te verilmiştir.



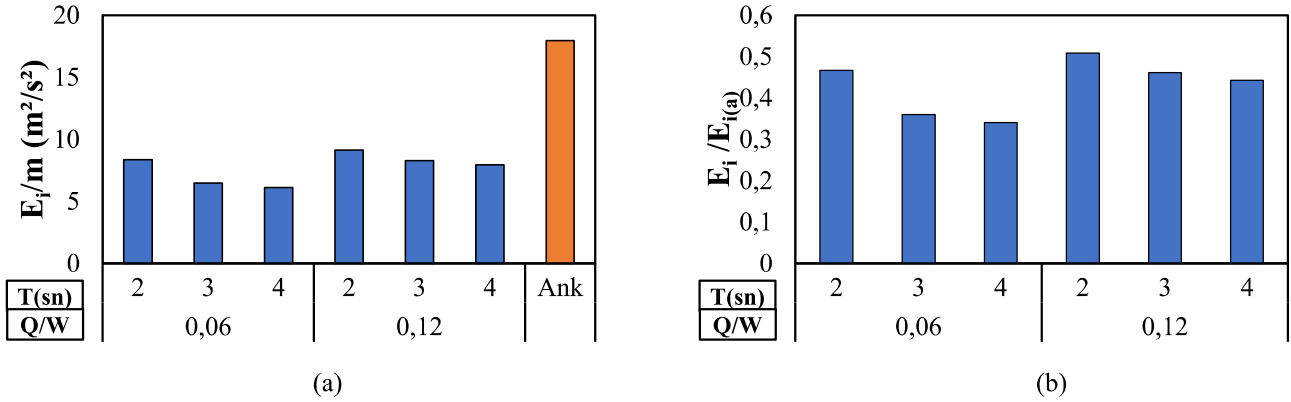
Şekil 5. T_0 ve Q/W parametrelerine göre (a) izolatör deplasmanları (D) ve (b) Efektif Sönüm (β_{eff}) Değerleri

Şekil 5a'ya göre izolasyon deplasmanı (D), Q/W ve T_0 parametrelerine göre incelendiğinde 0.12 Q/W olan sistemler daha düşük deplasmanlar vermektedir. Karakteristik dayanımın artışı ve periyot artışı ile deplasman değerlerinin genellikle azaldığı görülmektedir. Şekil 5b'de Q/W oranı arttıkça sönüm oranının da arttığı, Q/W oranından bağımsız olarak periyot değerinin artması da sönüm oranını büyük ölçüde arttırmıştır. Q/W oranı 0.06 iken 2 saniye periyodunda %12.8, 3 saniye periyodunda %21.8 değeri, 4 saniye periyodunda %33.0 değeri olduğu görülmüştür. Periyot arttıkça sönüm kapasitesinin arttığı belirlenmiştir. Sismik izolasyonlu yapıların davranışının incelenmesi amacıyla yapı tepe ivmesi ve taban kesme kuvveti incelenerek Şekil 6'da sunulmuştur. Yapı tepe ivmesi (a_t) yerçekimi (g) ve taban kesme kuvveti (V_{te}) ise kütleyle (m) oranlanarak yapı davranışı verilmiştir.



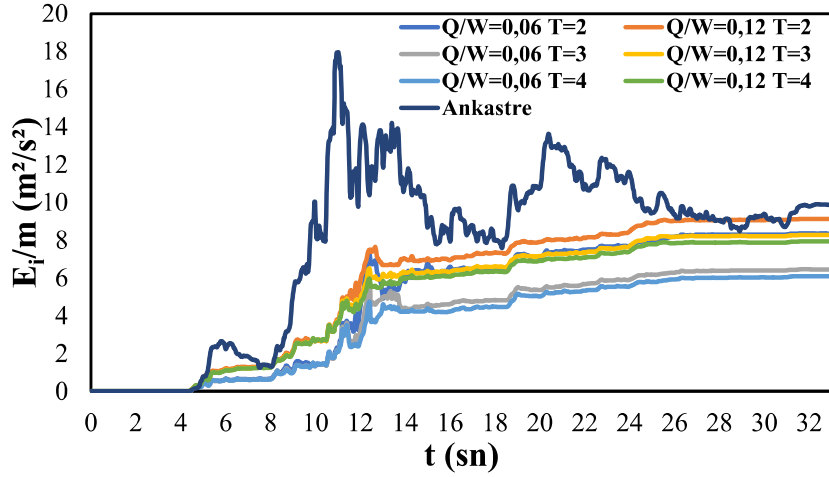
Şekil 6. T ve Q/W parametrelerine göre (a) Yapı tepe ivmesi (a_t) ve (b) Taban kesme (V_{te})/ kütle (m) oranları

Şekil 6a'da Q/W oranlarının değişiminin deprem ivmesi üzerinde etkin bir rol oynadığı, periyodu aynı olan sistemlerde Q/W oranının artması durumunda deprem ivmelerinin de arttığı görülmüştür. Q/W oranı 0,06 ve 3 saniye periyodunda en düşük ivme değeri vermesi izolator parametrelerinin seçiminde önemli bir veri olarak belirlenmiştir. Şekil 6b'de periyot değerlerinin artması ile birlikte taban kesme değerlerinde ciddi oranda azalma olduğu görülmüştür. Çalışmanın temel araştırma hedefi olan örnek modellere giren enerji miktarları ve ankaste sisteme oranları Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 7. T ve Q/W parametrelerine göre (a) Giren Enerji / kütle (E_i/m), (b) İzolasyonlu sistemlere giren enerji / ankaste sisteme giren enerji (E_i/E_{i(a)}) oranları

İzolatorlu modellerde periyodunun artması durumunda giren enerjinin azaldığı Şekil 7a'da görülmüştür. Aynı zamanda Q/W oranının arttığı fakat periyotların aynı kaldığı durumlarda da giren enerjinin artmıştır. Yapı ağırlığının değişmediği bu iki durumda, ankaste olarak tasarlanan yapıda depremden dolayı oluşan birim kütle başına giren enerji 18,3 m²/s², izolatorlu yapıda Q/W oranı 0,06 olan sistemlerde ortalama 7,1, Q/W oranı 0,12 olan sistemlerde ortalama 8,6 m²/s² değeri geldiği görülmüştür. Bu durum deprem izolatoründen dolayı yapıya etki eden depreme bağlı birim kütle başına giren enerjinin ankaste yapıya göre önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. Şekil 7b'de Q/W oranı 0,06 olan sistemlerde %61, Q/W oranı 0,12 olan sistemlerde ise %53 oranında bir azalmıştır. Şekil 8'de giren enerjinin depremin etki ettiği süre boyunca giren enerjinin kütleyle oranı-zaman değişimi verilmiştir.



Şekil 8. Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız sistemler giren enerji

Şekil 8'den ankastre sistemde depremden dolayı yapıda oluşan giren enerji, izolatörlü sistemlere kıyaslandığında daha yüksek olduğu görülmüştür. İzolatörlü yapılar arasında ise Q/W 'nun 0.06 ve periyodun 4 saniye olduğu modelde en düşük enerji girişi olduğu tespit edilmiştir.

IV. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yapılara giren enerjini belirlenmesi enerji bazlı yapı tasarımı için önemli bir başlangıç noktasıdır. Yapılara giren enerji seviyesinin düşmesi, yapı elemanlarının daha az zorlanması ve plastik şekil değişimine uğraması anlamına gelmektedir. Sismik izolasyon sistemleri yapıların tabanda esnek harekete olanak sağlamaları ile yapıları deprem etkilerinden korumaktadır.

Yapılan bu çalışmada 3 katlı çelik bir çerçeveye farklı mekanik özelliklere sahip kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler yerleştirilerek Tabas ivme kaydı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Karakteristik dayanımın aksenal yüke oranı (Q/W) ile izolasyon periyodu (T) değişiminin sismik izolatör ve yapı davranışa etkisi ile giren enerji (E_i) değişimlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple Q/W değerleri 0.06 ve 0.12, izolasyon periyodu ise 2, 3 ve 4 saniye olacak şekilde parametrik bir araştırma matrisi hazırlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda; farklı izolatör mekanik özelliklerinin yapıya giren enerji, ile yapı davranışı arasındaki korelasyon incelenmiştir. Bulunan sonuçlar izleyen maddelerde verilmiştir.

- İzolasyon deplasmanı karakteristik dayanımın artışı ile azalmaktadır. Karakteristik dayanım, izolasyon sisteminin ilk rijitliği ile bağlantılı olup yatayda rijitliği artırmaktadır. 0.12 Q/W değerine sahip izolasyon sistemleri içinde periyodun 3 saniye kombinasyonunda ise en düşük izolasyon deplasman değerleri bulunmuştur.
- Efektif sönüm Q/W oranının değişiminden çok etkilenmemiş periyot artışı ile artış göstermiştir.
- Sismik izolasyonlu yapıların önemli bir yapı davranış değeri olan tepe ivmesi, izolasyon tasarımında incelenen bir değerdir. Yapı tepe ivmeleri arasında en düşük değeri veren izolasyon parametreleri kombinasyonu 0,06 Q/W ve 3 saniye periyotlu sistemdir.
- Taban kesme değerleri genel anlamda periyodun artması ile azalmakta, Q/W oranının değişimi ile belirgin değişim göstermemektedir.
- Giren enerji sismik izolasyonlu yapıların kullanım amacına uygun şekilde izolasyonlu sistemlerde ankastre sisteme göre önemli ölçüde azalım göstermektedir. Düşük Q/W oranına sahip sistemler ve yüksek periyoda sahip sistemlerde giren enerji azalmaktadır.
- Q/W oranı 0,06 ve 4 saniye periyoda sahip sistemde ankastre sisteme giren enerjinin %33 seviyesinde giren enerji belirlenmiştir. Q/W oranı 0.06 ve 3 saniye periyoda sahip sistemde ise bu

%36 seviyesinde bulunmuştur. Özellikle bu iki sistem en düşük tepe ivmesi ve taban kesme kuvvetlerine; en yüksek deplasman ve sönüm oranına sahip sistemlerdir.

Enerji esaslı yapısal tasarım her geçen gün daha çok araştırılmaya artan bir hızla devam etmektedir. Enerji esaslı yapısal tasarımda belirlenmesi gereken ilk konu yapı sistemine deprem kaynaklı ne kadar enerjinin girdiğinin bulunmasıdır. Çünkü giren enerji seviyesi düşük yapısal sistemlerin depremden daha az etkilenecekleri değerlendirilmektedir. Bu çalışma da sismik izolasyonlu çelik bir çerçevenin yapı tepkileri giren enerji arasındaki korelasyonu ortaya koymuştur. Sismik izolasyonlu yapıların tasarımında öncelikle incelenen deplasman, yapı tepe ivmesi ve sönüm oranının yanında giren enerjinin de izolatör mekanik özelliklerini belirlemede kullanışlı olduğu değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] O. Diaz, E. Mendoza, and L. Esteva, "Seismic Ductility Demands Predicted by Alternate Models of Building Frames," *Earthq. Spectra*, 1994, doi: 10.1193/1.1585785.
- [2] N. Lam, J. Wilson, and G. Hutchinson, "The ductility reduction factor in the seismic design of buildings," *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 1998, doi: 10.1002/(SICI)1096-9845(199807)27:7<749::AID-EQE761>3.0.CO;2-L.
- [3] S. Abtahi, M. Mahsuli, and M. A. Ghannad, "Probabilistic Evaluation of Strength Demands for Multistory Shear Buildings," *J. Struct. Eng.*, 2018, doi: 10.1061/(asce)st.1943-541x.0002153.
- [4] European Committee for Standardization, "Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1 : General rules, seismic actions and rules for buildings," *Eur. Comm. Stand.*, 2004.
- [5] FEMA, "FEMA P440 - Effects of Strength and Stiffness Degradation on Seismic Response," *Fema P440a*, 2009.
- [6] "ASCE," *Minim. Des. loads Build. other Struct.*, 2005.
- [7] TBDY, "Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı," 2018.
- [8] M. Bruneau and N. Wang, "Some aspects of energy methods for the inelastic seismic response of ductile SDOF structures," *Eng. Struct.*, 1996, doi: 10.1016/0141-0296(95)00099-X.
- [9] J. Shen and B. Akbas, "Seismic energy demand in steel moment frames," *J. Earthq. Eng.*, 1999, doi: 10.1080/13632469909350358.
- [10] H. N. Li, F. Wang, and Z. H. Lu, "Estimation of hysteretic energy of MDOF structures based on equivalent SDOF systems," in *Key Engineering Materials*, 2007. doi: 10.4028/0-87849-433-2.435.
- [11] W. H. Robinson, "Lead-rubber hysteretic bearings suitable for protecting structures during earthquakes," *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, vol. 10, no. 4, pp. 593–604, 1982, doi: 10.1002/eqe.4290100408.
- [12] M. C. Constantinou, A. S. S. Whittaker, Y. Kalpakidis, D. M. Fenz, and G. P. Warn, "Performance of seismic isolation hardware under service and seismic loading," *Tech. Rep. No. MCEER-07-0012*, 2007.
- [13] J. M. Kelly, "Aseismic base isolation: review and bibliography," *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, vol. 5, no. 4, pp. 202–216, 1986, doi: 10.1016/0267-7261(86)90006-0.
- [14] P. Pan, D. Zamfirescu, H. Kashiwa, N. Nakayasu, and M. Nakashima, "Base-Isolation Design Practice in Japan: Introduction To the Post-Kobe Approach," *J. Earthq. Eng.*, vol. 9, no. 1, pp. 147–171, 2008, doi: 10.1080/13632460509350537.
- [15] N. Vaiana, R. Capuano, S. Sessa, F. Marmo, and L. Rosati, "Nonlinear dynamic analysis of seismically base-isolated structures by a novel opensee hysteretic material model," *Appl. Sci.*, 2021, doi: 10.3390/app11030900.
- [16] Y. Peng, Y. Ma, T. Huang, and D. De Domenico, "Reliability-based design optimization of adaptive sliding base isolation system for improving seismic performance of structures," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, 2021, doi: 10.1016/j.ress.2020.107167.
- [17] J. Scheller, M. C. Constantinou, and K. Hall, "Response History Analysis of Structures with Seismic Isolation and Energy Dissipation Systems : Verification Examples for Program SAP2000 by," *Mceer*, vol. 14260–4300, 1999.
- [18] SAP2000, "SAP2000 Version 20," *Structural Analysis Program: Static and Dynamic Finite Element Analysis of*

Structures, vol. Version: 1. 2019.

- [19] J. S. Hwang and J. M. Chiou, "An equivalent linear model of lead-rubber seismic isolation bearings," *Eng. Struct.*, vol. 18, no. 7, pp. 528–536, 1996, doi: 10.1016/0141-0296(95)00132-8.
- [20] F. Naeim and J. Kelly, *Design of seismic isolated structures: from theory to practice*. John Wiley & Sons., 1999. Accessed: Mar. 28, 2019. [Online]. Available: https://www.google.com/books?hl=tr&lr=&id=2Gqi9A29H_4C&oi=fnd&pg=PR13&dq=Design+of+Seismic+Isolated+Structures:+From+Theory+to+Practice+&ots=GZpIDFjmgs&sig=7u4WKrYJDFIKbC3GCLby5BALLiI
- [21] K. L. Ryan and A. K. Chopra, "Estimation of Seismic Demands on Isolators Based on Nonlinear Analysis," *J. Struct. Eng.*, vol. 130, no. 3, pp. 392–402, 2004, doi: 10.1061/(asce)0733-9445(2004)130:3(392).
- [22] A. H. Deringöl and E. M. Güneyisi, "Effect of friction pendulum bearing properties on behaviour of buildings subjected to seismic loads," *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, vol. 125, 2019, doi: 10.1016/j.soildyn.2019.105746.
- [23] PEER, "Ground Motion Database," Shallow Crustal Earthquakes in Active Tectonic Regimes, NGA-West2. [Online]. Available: <http://ngawest2.berkeley.edu/>