



# Akışkan viskoz sönümleyicilerin bitişik nizamlı betonarme binalarda gerekli boşluk mesafesine etkisi

## The effect on required gap distance in adjacent reinforced concrete buildings of fluid viscous dampers

Esra Özer<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup> Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 60250, Tokat Türkiye

### Öz

Çalışmada bitişik nizamlı betonarme binalarda akışkan viskoz sönümleyici (FVD) kullanımı ile geleneksel ankastre mesnetli modellere göre gerekli derz mesafesinin değişimi incelenmiştir. Ayrıca Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) hükümlerine göre önerilen gerekli derz mesafesinin yeterliliği irdelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda 3 ve 7 katlı geleneksel ankastre mesnetli ve FVD sönümleyiciye sahip bitişik nizamlı konut binaları modellenmiştir. Yapısal elemanların ve FVD sönümleyicilerin doğrusal olmayan davranışı dikkate alınmıştır. Toplam 44 adet zaman tanım alanında dinamik analiz, spektrum uyumlu olarak seçilen 11 adet kayıt takımı kullanılarak ankastre mesnetli geleneksel model ve FVD sönümleyiciye sahip bitişik nizamlı modeller için toplam 44 adet zaman tanım alanında dinamik analiz yapılmıştır. Analizler sonucunda, FVD sönümleyici kullanımının gerekli derz mesafesini ankastre mesnetli modele göre ortalama %43.6 azalttığı görülmüştür. Ayrıca geleneksel ankastre mesnetli binalar için TBDY-2018'de önerilen boşluk mesafesinin %32.7 yetersiz kalırken, FVD kullanımı ile %42.2 güvenli tarafta kaldığı belirlenmiştir. Bu yönüyle yeni yapılacak veya güçlendirilecek mevcut bitişik nizamlı binalar için FVD sönümleyici kullanımının çekiçleme etkilerinin önlenmesi veya azaltılması için efektif bir alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Akışkan viskoz sönümleyici, Bitişik nizam, Gerekli derz mesafesi, Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz

### 1 Giriş

Özellikle kent merkezlerinde yetersiz boşluk mesafesine sahip pek çok betonarme bina mevcuttur [1]. Bitişik nizamlı binalar arasında yeterli boşluk mesafesinin bırakılmaması deprem etkileri altında bu binaların birbiriyle çarpışarak kısmen veya tamamen göçme durumuna ulaşmasına neden olabilmektedir [2-4]. Nitekim geçmiş depremlerin ardından hasarlı binalarda yapılan incelemelerde, çekiçleme etkilerinin diğer hasar nedenleri arasında önemli bir paya sahip olduğu raporlanmıştır [5-7]. Bu nedenle ulusal ve uluslararası yönetmeliklerde, bu etkiyi önlemek veya azaltmak amacıyla bitişik nizamlı binalar arasında bırakılması gereken minimum boşluk mesafesinin

### Abstract

In the study, the change in the required gap distance with the use of fluid viscous damper-(FVD) in adjacent reinforced concrete buildings compared to traditional fixed-base models was examined. Additionally, the adequacy of the required gap distance recommended respect to the provisions of the Turkish Building Earthquake Code-(TBEC-2018) was examined. For this purpose, 3- and 7-story residential buildings with conventional fixed-base and FVD dampers were modelled. Nonlinear behavior for structural elements and FVD dampers was considered. A total of 44 nonlinear time history analysis was carried out for the conventional model with fixed-base and with FVD dampers adjacent model, using 11 ground motion pairs selected as spectrum compatible. As a result of the analysis, it was calculated that the use of FVD damper reduced the required gap distance by average of 43.6% compared to the fixed-base model. Additionally, it was determined that while the gap distance recommended in TBDY-2018 was 32.7% insufficient for fixed base buildings, was 42.2% remained on the safe side with the use of FVD. In this respect, it has been concluded that the use of FVD dampers can be an effective alternative to prevent or reduce the effects of pounding for existing or new adjacent buildings.

**Keywords:** Fluid viscous damper, Adjacent building, Required gap distance, nonlinear time-history analysis

belirlenmesi için çeşitli öneri ve formulüzyasyonlar geliştirilmiştir. Ancak yapılan çalışmalarda yönetmeliklerde belirtilen boşluk mesafelerinin de yetersiz kalabildiği durumlar görülmüştür [8-11]. Bu nedenle mevcut hesap yöntemleri geliştirilmeye çalışılırken daha farklı alternatif arayışlarına da devam edilmektedir.

Kat deplasmanlarını sınırlandırarak, bina sismik performansını iyileştirme özelliğine sahip olan pasif enerji dağıtıcı cihazlar, çekiçleme etkilerinin engellenmesi veya azaltılmasında da önemli bir teknolojik alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır [12]. Ülkemizde kullanımının giderek yaygınlaşması ile yeni binaların tasarımında ve mevcut binaların güçlendirilmesinde yer alan pek çok pasif enerji

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: esra.ozer@gop.edu.tr (E. Özer)

Geliş / Received: 11.06.2024 Kabul / Accepted: 02.08.2024 Yayımlanma / Published: 15.10.2024

doi: 10.28948/ngumuh.1499280

dağıtıcı türü mevcuttur. Bunlar arasında özellikle akışkan viskoz sönümleyiciler (FVD) erişim, üretim ve montaj kolaylığı ile ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, bu sönümleyicilerin bina periyotunu önemli ölçüde değiştirmeden yapının deplasman taleplerini azaltması, depremin frekans içeriğine ve sıcaklığa duyarlılığının az olması, mevcut yapının kullanımına devam edilirken kurulumunun gerçekleştirilebilmesi, konum, konfigürasyon ve boyut seçimi açısından tasarımcıya daha fazla esneklik sağlaması gibi özellikleri görece daha çok tercih edilmesini sağlamaktadır [13].

Çekiçleme davranışı ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, genellikle yetersiz boşluk mesafeli bitişik nizamlı binaların salınım periyotlarının farklı olması durumunda çekiçlemenin görülebileceği vurgulanmaktadır [14-15]. Bunlarla birlikte bina ağırlığı, yüksekliği, binaların düzenli olup olmaması ve düzensizlik durumunda birbirlerine göre eksantrisite durumlarının çekiçleme davranışı üzerinde etkili olduğu ifade edilmiştir [16]. Özellikle çekiçleme ve burulma etkilerinin bir arada görüldüğü ve bina rijitlik merkezlerinin birbirlerine göre aynı doğrultu ve yönde olduğu durumlarda yapısal hasarın daha kritik olduğu vurgulanmıştır [17]. Binaların çekiçleme davranışı altında birbirlerine etkime noktası ise döşemeden döşemeye veya döşemeden kolona olarak iki farklı başlık altında irdelenmektedir. Özellikle döşemeden kolona etkime durumunda kolon elemanların kapasitesinin üzerinde kesme kuvvetine ve süneklik talebine maruz kalarak bu durumun kolon elemanda veya sistemde kısmen veya tamamen göçmeye neden olabileceği ifade edilmiştir [16, 18].

Bunlardan farklı olarak, bitişik nizamlı yapılar arasında bırakılması gereken boşluk mesafesi konusunda çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda genellikle tek serbestlik dereceli sistemler üzerinde yoğunlaşarak çok serbestlik dereceli sistemler için de uygulanabilir yöntem önerileri sunulmuştur [19, 20]. Üç boyutlu binalar üzerinde Favvata tarafından yapılan çalışmada aynı ve farklı kat yüksekliklerine sahip betonarme binalar arasında bırakılması gereken minimum boşluk mesafesinin, dikkate alınan görelî ötelenme sınır koşuluna ve sismik tehlike seviyesine bağlı olduğu belirtilmiştir [21]. Flenga ve Favvata, yapısal elemanların elastik olmayan lokal taleplerinin olasılıksal değerlendirmesine dayanan başka bir yaklaşım geliştirmiştir [22]. Bu amaçla doğrusal ve çoklu doğrusal regresyon analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar betonarme 8 katlı bir binanın narinlik eğrileri ile sınırlı olsa da bu alanda yapılan ilk gerçekçi olasılıksal çalışma olmuştur. Aynı ve farklı kat yüksekliklerine sahip bitişik nizamlı binalarda, yapı elemanlarının lokal elastik olmayan davranışları eş zamanlı olarak dikkate alınmış ve olasılıksal olarak değerlendirilmiştir. Doğrusal olmayan davranışın göz ardı edilmesinin güvenli olmayan tasarım ya da değerlendirme yapılmasına neden olabileceği ifade edilmiştir [23].

Akışkan viskoz sönümleyici ile yapılan çalışmalar irdelendiğinde doğrusal olmayan özelliğe sahip sönümleyicilerin, doğrusal sönümleyicilere göre sismik performansı daha fazla iyileştirdiği görülmüştür [24-26]. Guo vd. mevcut yapıların güçlendirilmesinde FVD kullanımının oldukça efektif bir yöntem olduğunu

vurgulamıştır [27]. Yapılan diğer çalışmalarda ise, FVD sönümleyici kullanımının burulma ve geri çekme düzensizlik etkilerini ihmal edilebilir düzeye indirgeceği ifade edilmiştir [24, 28].

Akışkan viskoz sönümleyici ve çekiçleme etkilerinin birlikte değerlendirdiği çalışmalar irdelendiğinde ise, Elwardany vd. bitişik nizamlı çelik binalarda FVD kullanımını 3 deprem kaydı kullanarak incelemiştir [29]. Çekiçleme etkilerinin azaltılmasında binalarda kullanılan FVD sönümleyicilerin oldukça etkili olduğu ifade edilmiştir. Rayegani ve Nouri taban kotunda sismik izolatörlerle birlikte ilave sönümleyici kullanımının bitişik nizamlı yapılarda muhtemel çekiçleme etkilerini önemli oranda azalttığı, belirli boşluk mesafeleri için de çekiçleme oluşumunu tamamen engellediği sonucuna ulaşmıştır [30]. Kandemir [31] tarafından yapılan çalışmada yer değiştirmeyi sınırlayarak çekiçleme kuvvetini sıfıra indirgeyen minimum doğrusal viskoz sönümleyici kapasitesi optimizasyon yoluyla hesaplanmıştır. Bu çalışmada ilk defa dalgacık dönüşümü analizi ile çarpışmanın olduğu ve olmadığı durumlar arasında uyum katsayıları hesaplanmıştır. Uyum katsayısı 1'e yakınsayana kadar sisteme eklenmesi gereken ek sönüm oranı kademeli olarak artırılıp optimum sönümleyici kapasitesi hesaplanmıştır. Hesaplanan sönüm sisteme eklendiğinde çarpışmanın olmadığı görülmüştür. Kandemir başka bir çalışmada [32], alternatif optimum viskoz sönümleyici hesabı önermiştir. Bu çalışmada dalgacık uyumu yöntemi hem darbe durumlarının tahmini hem de optimum viskoz sönümleyici boyutunun belirlenmesinde kullanılmıştır. Oldukça efektif bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Kandemir-Mazanoğlu ve Mazanoğlu optimum viskoz sönümleyici kapasitesini ve sayısını araştırmıştır [33]. Bu amaç doğrultusunda modellere ait kat sayısı ve rijitlik parametreleri değiştirilerek, hesaplanan darbe kuvvetleri ve optimum viskoz sönümleyici kapasitesindeki değişim karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Bu çalışmada ise; gerekli derz mesafesinin belirlenmesinde, FVD sönümleyici kullanımının, geleneksel ankastre mesnetli modele göre etkisi araştırılmıştır. Ayrıca Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY-2018) [34] bitişik nizamlı yapılar için önerilen boşluk mesafesinin yeterliliği ankastre mesnetli bitişik nizamlı geleneksel betonarme bina modeli ve akışkan viskoz sönümleyiciye sahip bitişik nizamlı modeller için irdelenmiştir. Üç boyutlu modellerin yapısal elemanlarında ve akışkan viskoz sönümleyicilerde doğrusal elastik olmayan davranış dikkate alınarak gerçekçi bir yaklaşım geliştirilmeye çalışılmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler 11 adet spektrum uyumlu kayıt takımı kullanılarak SAP2000 [35] programında yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulguların olası yönetmelik değişiklikleri için önemli bir altlık oluştururken, güvenilir ve hızlı kentsel dönüşüm çalışmalarında tasarım/uygulama mühendislerine de farklı bir bakış açısı kazandıracakı düşünülmektedir.

## 2 Materyal ve metot

### 2.1 Geleneksel ankastre mesnetli modeller

Ülkemiz bina stokunun düşük ve orta yükseklikli betonarme binalardan oluştuğu bilinmektedir [36-38].

Ayrıca muhtemel çekiçleme etkilerinin farklı bina yüksekliği, ağırlık ve periyot değerine sahip farklı dinamik karakteristikteki yapılar arasında görülmesinin kuvvetli muhtemel olduğu ifade edilmektedir [39-41]. Bu nedenle çalışma kapsamında ülkemiz yapı stokunu temsilen farklı dinamik karakteristiğe sahip 3 ve 7 katlı tipik betonarme konut binaları seçilmiştir. İlgili binaların modellenmesi TBDY-2018 [31] hükümleri dikkate alınarak yapılmıştır. Beton sınıfı ve donatı sınıfı sırasıyla C30 ve S420 olarak seçilmiştir. Yapısal elemanlara ait tipik kesitlerde; boyut ve donatı detayları Tablo 1’de verilmiştir. Kiriş kesitlerine ait alt (a) ve üst montaj (ü) donatıları ayrıca belirtilmiştir. Çerçeve taşıyıcı sisteme sahip olan binalarda perde eleman kullanılmamıştır. Kat döşemelerinin münferit ağırlıkları ve üzerine gelen yükler hesaplanarak, bağlı oldukları kirişlere düzgün yayılı yük olarak etki ettirilmiştir, döşemeler ayrıca modellenmemiştir. Benzer şekilde duvar yükleri TS-498’e uygun olarak belirlenmiş ve bağlı oldukları kirişlere düzgün yayılı yük olarak etki ettirilmiştir [42]. Modellemede rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Yatayda ve düşeyde hiçbir düzensizlik içermeyen modellerin kalıp plan görünüşleri Şekil 1’de verilmiştir. Bina modellerinin Denizli il sınırları içerisinde ZC zemin sınıfı üzerinde konumlandığı varsayılmıştır. Binaların tasarımı 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremi düzeyinde (DD-2) gerçekleştirilmiştir.

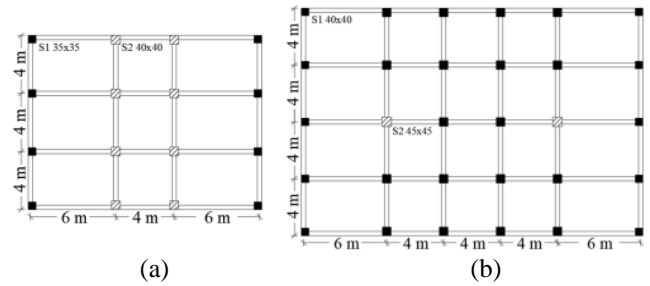
**Tablo 1.** Kesit özellikleri

Model	Kesit Boyutu (cmxcm)	Kesit Türü	Boyuna Donatı	Enine Donatı	Eksenel Yük (t)
3-katlı	35x35	Kolon	8φ16	2φ8/15/10	39.2
3-katlı	40x40	Kolon	8φ16	2φ8/15/10	62.3
3-katlı	30x50	Kiriş	3φ14 (ü) 3φ14 (a)	2φ8/20/10	0
7-katlı	40x40	Kolon	8φ16	2φ8/15/5	100.3
7-katlı	45x45	Kolon	12φ16	3φ8/15/10	267.2
7-katlı	30x50	Kiriş	3φ14 (ü) 3φ14 (a)	2φ8/20/10	0

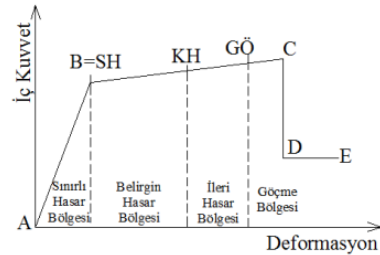
Yapısal elemanlara doğrusal olmayan davranış, kolon ve kiriş eleman uçlarında tanımlanan yığılı plastik mafsallar aracılığıyla modele yansıtılmıştır. Plastik mafsallı boyu, TBDY-2018 [34] hükümlerinde ifade edildiği gibi ilgili kesit yüksekliğinin yarısı (h/2) olarak dikkate alınmıştır. Plastik mafsallın tipik dayanım-deformasyon ilişkisi ve kesit hasar bölgeleri Şekil 2’de verilmiştir. Kesit hasar bölgelerine ve sınırlarına ait detaylı bilgiler ilgili yönetmelik hükümlerinde yer almaktadır. Kesitlere ait moment-eğrilik analizleri Mander sargılı beton modeli [43] için Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı’nda (SEMAP) [44] yapılmıştır. Elde edilen eğrilik değerlerinden dönme değerleri hesaplanarak sismik analizlerin yapılacağı SAP2000 [35] programında kullanıcı tanımlı plastik mafsallı arayüzünde kullanıma hazır hale getirilmiştir. Kolon ve kiriş kesitleri için etkin eğilme rijitlikleri sırasıyla 0.70 ve 0.35 olarak dikkate alınmıştır.

## 2.2 Akışkan viskoz sönümleyiciler

Deprem mühendisliğindeki teknolojik çalışmalar, sismik performansı iyileştirici ve mevcut yöntemlere göre daha ekonomik ve fizibilitesi daha yüksek yöntem, teknik, malzeme, cihaz vb. arayışını sürdürmektedir. Mevcut yapıların güçlendirilerek tarihi dokunun korunması, sürdürülebilir kent ve hayat anlayışı ile depreme dayanıklı şehirlerin kurulması özellikle deprem kuşağında bulunan ülkemiz için oldukça kritik bir hâl almıştır. Bu yönüyle akışkan viskoz sönümleyiciler; erişilebilirlik, tasarım kolaylığı, işlevsellik ve tahliye gerektirmeden kurulum kolaylığı ile belirli yönetmelik standartlarına sahip güçlendirilebilir mevcut binalar ve yeni tasarlanacak binalar için oldukça efektif bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

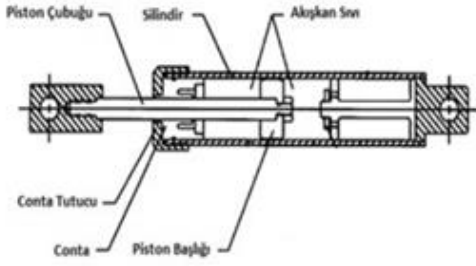


**Şekil 1.** Modellerin ait plan görünüşleri (a) 3 katlı, (b) 7 katlı



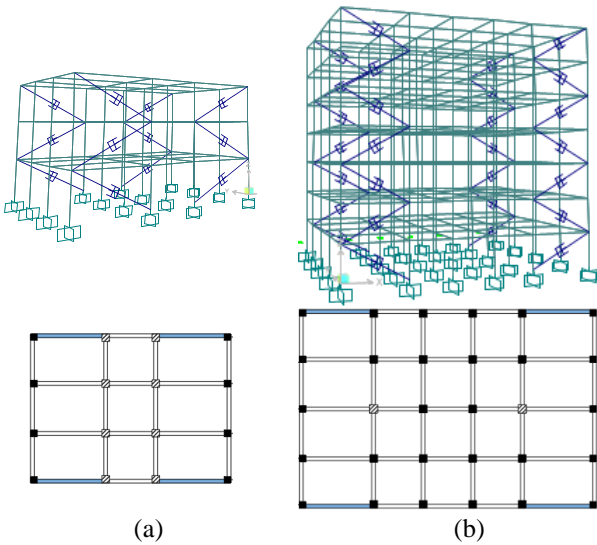
**Şekil 2.** Tipik dayanım-deformasyon ilişkisi

Tipik bir akışkan viskoz sönümleyici; piston, silindir odası ve özel bir sıvıdan oluşur (Şekil 3). Yapıyla sönümleyicinin bağlantısını sağlayan sabit ve hareketli iki farklı kısım bulunur. Herhangi bir dinamik etki anında pistonun ileri ve geriye doğru hareketi, piston kafasında bulunan delikler ile özel sıvının silindir odasında hıza bağlı hareketini sağlar. Bu hareket silindir odasında ana basıncı meydana getirir. Yalnızca hareket halinde hıza bağlı oluşan direnç kuvveti yapıya rijitlik katmadan ve herhangi bir statik yük taşımadan FVD sönümleyicilerin çalışma prensibini oluşturur. Oluşan direnç kuvvetinin büyüklüğü hızla doğru orantılı olup Denklem (1)’deki gibi formülize edilir.



**Şekil 3.** Akışkan viskoz sönümleyici bileşenleri [13]  
Sönüm Kuvveti = Sönüm Sabiti (C) \* Hız<sup>α</sup> (1)

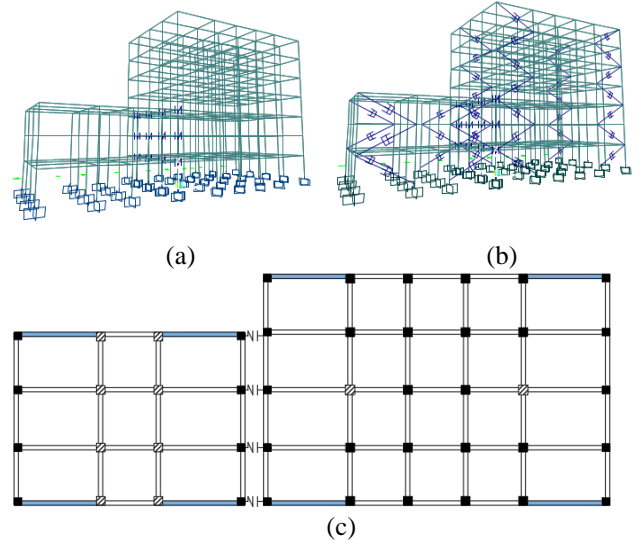
Bu çalışma için sönüm sabiti (C) 100 kips-(sn/in), yay sabiti (K) 2000 kips (sn/in) ve sönüm üssü (α) 0.5 olarak dikkate alınmıştır. İlgili parametreler detaylı ve çok aşamalı bir ön tasarımdan ziyade üretici firmaların tasarım kataloglarında yer alan ve genel kıstasları sağladığı düşünülen sönümleyiciler arasından seçilmiştir [36]. Ankastré mesnetli geleneksel modellere sönümleyiciler Maxwell yöntemi ile dahil edilmiştir. Bina yüksekliği boyunca diyagonal olarak muhtemel çarpışma doğrultusunda (X doğrultusu) yerleştirilen sönümleyicilerin kalıp planındaki ve üç boyutlu (3B) görünümdeki lokasyonu Şekil 4’te verilmiştir. FVD elemanların lokasyon seçiminde, mevcut yapılar arasında FVD yerleşimi için yeterli boşluk mesafesi olmadığı düşünülerek bina yüksekliği boyunca bir yerleşim planı uygulanmıştır [1, 45]. Ancak daha önce yapılan çalışmalar dikkate alındığında, binalar arasında sönümleyici kullanımının da oldukça efektif bir çözüm sunduğunu söylemek mümkündür [46]. Bina yüksekliği boyunca sönümleyici yerleşiminde ise literatürde sıkça yer alan bina köşe noktalarında, burulma düzensizliğine neden olmayacak şekilde kütle ve rijitlik merkezlerine göre simetrik bir dağılım planlanmıştır [24, 47]. FVD elemanların yerleşiminde taban alanı ve rijitliğe göre oransal bir değerlendirme yapılmamıştır.



**Şekil 4.** FVD sönümleyicilerin lokasyonları (a) 3 katlı ve (b) 7 katlı

### 2.3 Bitişik nizamlı modeller ve link elemanlar

Oluşturulan ankastré mesnetli modeller kendi içinde ve FVD sönümleyiciye sahip modeller de kendi içinde olmak üzere bitişik nizamlı modeller türetilmiştir. İlgili modeller link elemanlar aracılığıyla birbirine bağlanmıştır. Aynı kat yüksekliğine sahip modeller için döşemeden döşemeye bir bağlantı kurulmuştur (Şekil 5). Kullanılan link elemanda Kelvin modeli benimsenmiştir (Şekil 6). Bu modele göre link eleman, doğrusal bir yay, viskoz sönüm ve bitişik nizamlı binalar arasındaki boşluk mesafesi ile tanımlanabilmektedir. Binalar arasında bir kuvvet (F) aktarımının gerçekleşebilmesi için tanımlanan boşluk mesafesinin (g<sub>p</sub>) yetersiz olması (iki bina arası deplasman farkından (u<sub>1</sub>-u<sub>2</sub>) büyük olması) gerekmektedir. Çünkü ilgili link eleman modeli Denklem (2)’deki gibi sadece sıkışma (basınç) durumunda bir kuvvet oluşturup, çekme durumunda kuvvet oluşturmamaktadır. Gerekli derz mesafesinin belirlenmesinde, binalar arasında çarpışma etkilerinin görülmemesi için binalar arasındaki boşluk mesafesi 1 metre olarak dikkate alınmıştır.



**Şekil 5.** Bitişik nizamlı model görünümü (a) 3B-Ankastré model (b) 3B-FVD model ve (c) Link detayı

Bitişik nizamlı binaların aynı kat yüksekliğine sahip olması nedeniyle olası çarpışmalar kat seviyelerinde meydana gelmektedir. Her iki bina da rijit diyaframlara sahip olduğundan çarpışmanın iki rijit cisim arasında meydana geldiği varsayılmaktadır. Bu nedenle yay rijitliğinin (K<sub>k</sub>), çarpışan katların eksenel rijitliklerinin toplamından büyük olması gerekir. Beton-beton çarpışmasını konu alan analitik ve deneysel çalışmalarda yay rijitlikleri yaklaşık 10<sup>10</sup> N/m ile 10<sup>11</sup> N/m arasında alınmıştır. Bu çalışmada rijitlik değeri 10<sup>10</sup> N/m olarak seçilmiştir. Binalar arasında çarpışma olmayacağı düşünüldüğünde belirlenen/seçilen link eleman rijitliğinin analizler sonucunda elde edilen deformasyonlar üzerinde etkisi olmayacağını söylemek mümkündür. Denklem 2-4’te, c<sub>k</sub>, K<sub>k</sub>, e, m<sub>1</sub> ve m<sub>2</sub> sırasıyla bağlantı elemanının viskoz sönüm katsayısını, yay rijitliğini, enerji verimlilik katsayısını ve bitişik binaların kütlelerini temsil etmektedir. Birçok çalışmada beton-beton çarpışması için e

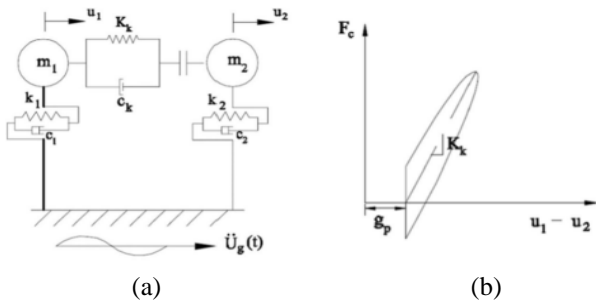


katsayısı 0,65 olarak alınmıştır. Bu katsayının sönüm oranı değeri ( $\xi$ ) 0,136 olarak elde edilmiştir. 3 katlı ve 7 katlı binaların sismik ağırlıkları sırasıyla 4623.6 kN ve 19885.5 kN olarak hesaplanmıştır. Bu ağırlıklar için tüm link eleman özellikleri belirlenmiştir.

$$F = \begin{cases} K_k(u_1 - u_2 - g_p) + c_k(\dot{u}_1 - \dot{u}_2), & (u_1 - u_2) \geq g_p \\ 0, & (u_1 - u_2) < g_p \end{cases} \quad (2)$$

$$c_k = 2\xi \sqrt{K_k \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}} \quad (3)$$

$$\xi = - \frac{\ln(e)}{\sqrt{\pi^2 + (\ln(e))^2}} \quad (4)$$

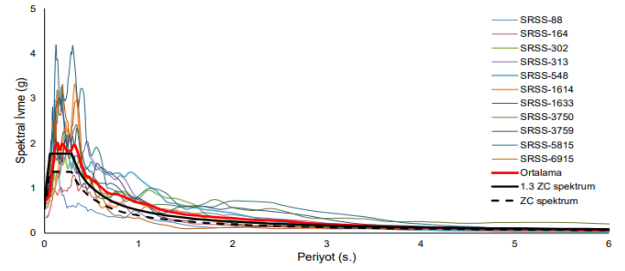


Şekil 6. (a) Kelvin modeli ve (b) kuvvet-deformasyon ilişkisi [48]

### 3 İvme kaydı seçimi ve analiz detayları

Çalışmada kullanılan bina modellerinin Denizli ilinde kayma dalgası hızı ( $V_{s30}$ ) 360-760 m/s olan ZC zemin sınıfı üzerinde yer aldığı varsayılmıştır. İlgili lokasyonda tekrarlanma süresi 475 yıl olan deprem düzeyine (DD-2) göre kısa periyot için harita spektral ivme değeri ( $S_s$ ) ve 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme değeri ( $S_I$ ) sırasıyla 1.135, 0.261 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde kısa periyot tasarım spektral ivme değeri ( $S_{Ds}$ ) ve 1.0 s. periyot için tasarım spektral ivme değeri ( $S_{DI}$ ) ise sırasıyla 1.135, 0.658 olarak belirlenmiştir. Elde edilen katsayılar aracılığıyla TBDY-2018'e göre tasarım spektrumu oluşturulmuştur.

İlgili yönetmelik hükümlerince 3B binalar, spektrum uyumlu en az on bir adet kayıt takımı kullanılarak zaman tanım alanında dinamik analize tâbi tutulmalıdır. Seçilen kayıt takımlarının her iki yatay bileşeni aynı ölçek katsayısı ile ölçeklendirilerek karelerinin toplamının karekökü (SRSS) ortalama değerleri belirli periyot aralığı için tasarım spektrumunun 1.3 katından az olmaması gerekmektedir. Ayrıca belirli bir deprem için en fazla üç farklı kayıt istasyonundan kayıt kullanılabilir. İlgili gereklilikler göz önünde bulundurularak seçim ve ölçeklendirme işlemlerinin tümü PEER Ground Motion Database [49] veri tabanında gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılmak üzere seçilen ve ölçeklendirilen deprem kayıtlarına ait özellikler Özer [17] tarafından yapılan çalışmada detaylı olarak verilmiştir. Şekil 7'de ise tüm deprem kayıtlarının SRSS olarak elde edilen ortalama spektrum eğrileri, tasarım spektrumu ve hedef spektrum (tasarım spektrumunun 1.3 katı) eğrisi verilmiştir.



Şekil 7. Kullanılan deprem ivme kayıtlarının %5 sönüm için elastik ivme spektrumları

### 4 Analiz sonuçları

Çalışma kapsamında yapılan zaman tanım alanında dinamik analizler, TBDY-2018 hükümlerine uygun olarak seçilen ve ölçeklendirilen kayıt takımlarının her iki yatay bileşeni 3B modellere aynı anda birbirine ortogonal olacak şekilde uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Ankastre mesnetli ve FVD sönümleyiciye sahip modeller için toplam 44 adet zaman tanım alanında dinamik analiz yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen link deformasyon değerleri kullanılarak ankastre mesnetli ve FVD sönümleyiciye sahip modeller için gerekli derz mesafesi hesaplanmıştır. Böylece, FVD sönümleyicinin gerekli derz mesafesi üzerindeki etkisi kolaylıkla yorumlanabilmektedir. Ayrıca TBDY-2018 hükümlerince önerilen derz mesafesinin yeterliliği, analizler sonucunda hesaplanan gerekli derz mesafesine göre tartışılmıştır.

#### 4.1 Dinamik analizler ile hesaplanan gerekli derz mesafesi

Zaman tanım alanında dinamik analizler sonucunda elde edilen gerekli derz mesafelerinin modellere göre minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 2'de her bir deprem kaydı için ayrı ayrı verilmiştir. Modeller için gerekli derz mesafesi oranları da tabloda yer almaktadır. Tablodaki veriler ışığında ortalama gerekli derz mesafesi ankastre mesnetli modelde 74.6 mm, FVD sönümleyiciye sahip modelde ise 34.1 mm olarak hesaplanmıştır. FVD kullanımı gerekli derz mesafesini ortalama %43.6 oranında azaltmıştır. Gerekli derz mesafesi FVD kullanımı ile minimum 1.1 kat, maksimum 4.6 kat azalmıştır. Ankastre mesnetli modellerde ivme kayıtlarına göre gerekli derz mesafesi en fazla 87.5 mm olarak hesaplanırken FVD sönümleyiciye sahip modelde en fazla 65.7 mm olarak hesaplanmıştır. Gerekli derz mesafesinin modellere göre ortalama değerleri önemli oranda farklılık gösterirken, standart sapma değerleri arasında ihmal edilebilir düzeyde bir farklılık gözlemlenmiştir. Her iki model içinde standart sapma değerleri yaklaşık  $\pm 14.5$  olarak hesaplanmıştır.

#### 4.2 TBDY-2018'e göre binalar arasında gerekli derz mesafesinin belirlenmesi

TBDY-2018 hükümlerince; sadece deprem etkisi için mevcut ve yeni yapılacak bitişik nizamlı binalar arasında bırakılması gereken derz mesafesi, aşağıda verilen 3 farklı koşula göre tanımlanıp en elverişsiz duruma göre belirlenmektedir.

- i) Her bir kat için komşu blok veya binalarda elde edilen azaltılmış yer değiştirmelerin karelerinin toplamının karekökü ile deprem derz boşlukları için kullanılan ampirik  $\alpha$  katsayısının çarpımı sonucunda bulunan değerden az olmayacaktır. Komşu binaların veya bina bloklarının kat döşemelerinin bütün katlarda aynı seviyede olmaları durumunda  $\alpha = 0.25$  (R / I) alınacaktır.
- ii) Mevcut eski bina için hesap yapılmasının mümkün olmaması durumunda eski binanın yer değiştirmeleri, yeni bina için aynı katlarda hesaplanan değerlerden daha küçük alınmayacaktır.
- iii) Bırakılacak minimum derz boşluğu, 6 m yüksekliğe kadar en az 30 mm olacak ve bu değere 6 m'den sonraki her 3 m'lik yükseklik için en az 10 mm eklenecektir.

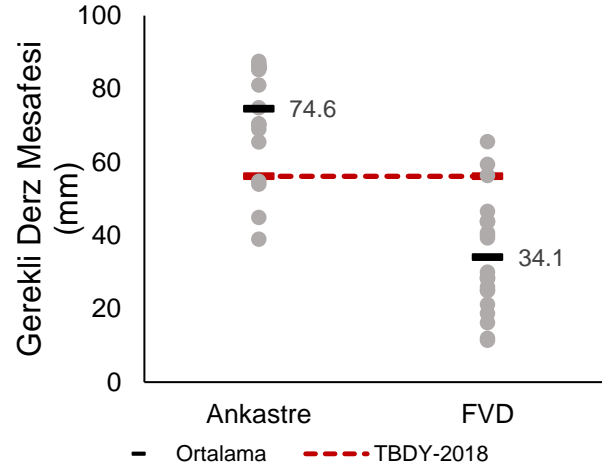
İlgili yönetmelik hükümleri göz önünde bulundurulacak çalışmada kullanılan 3.2 m kat yüksekliğine, çerçeve taşıyıcı sisteme (R=8) sahip 3 ve 7 katlı konut (I=1) binaları için gerekli derz mesafesi verilen üç madde için sırasıyla 50.4, 56.2 ve 42.0 mm olarak hesaplanmıştır. En elverişsiz durum dikkate alındığında 3 ve 7 katlı binalar için bırakılması gereken derz mesafesi 56.2 mm olarak belirlenmiştir. TBDY-2018'de yer alan derz mesafe hesapları ankastre mesnetli modeller için verilmiş olup, pasif enerji dağıtıcıya sahip modeller için herhangi bir hüküm yer almamaktadır. Bu nedenle ankastre mesnetli model için hesaplanan derz mesafeleri, FVD sönümleyiciye sahip modeller için de geçerli kabul edilmiştir.

**Tablo 2.** Dinamik analizler sonucunda hesaplanan gerekli derz mesafeleri

Deprem Kaydı	Link Deformasyonu (mm)		Ankastre/FVD
	Ankastre Model	FVD Model	
RSN-88-0	54.8	12.0	4.6
RSN-88-90	39.0	11.5	3.4
RSN-1614-0	65.6	18.8	3.5
RSN-1614-90	70.4	25.1	2.8
RSN-1633-0	70.2	40.0	1.8
RSN-1633-90	86.0	43.8	2.0
RSN-164-0	69.1	16.3	4.2
RSN-164-90	70.6	21.2	3.3
RSN-302-0	86.5	46.6	1.9
RSN-302-90	86.1	28.3	3.0
RSN-313-0	85.6	26.1	3.3
RSN-313-90	86.0	59.4	1.4
RSN-3750-0	54.0	25.0	2.2
RSN-3750-90	85.8	28.6	3.0
RSN-3759-0	85.6	39.4	2.2
RSN-3759-90	74.9	28.3	2.6
RSN-548-0	87.5	56.4	1.6
RSN-548-90	86.1	65.7	1.3
RSN-5815-0	86.9	43.8	2.0
RSN-5815-90	85.2	43.9	1.9
RSN-6915-0	81.1	30.0	2.7
RSN-6915-90	45.0	40.8	1.1
Maksimum	87.5	65.7	1.1
Minimum	39.0	11.5	4.6
Ortalama	74.6	34.1	2.5
Standart Sapma	14.5	14.7	-

#### 4.3 TBDY-2018'de önerilen derz mesafesinin yeterliliğinin tartışılması

Gerekli derz mesafesinin hesaplanmasında TBDY-2018'de önerilen derz mesafesi (56.2 mm), analizler sonucunda elde edilen ortalama derz mesafeleri ile Şekil 8'de karşılaştırılmıştır. Yönetmelikte önerilen derz mesafesi, ankastre mesnetli model için %32.7 yetersiz kalırken, FVD sönümleyiciye sahip model için %42.2 oranında güvenli tarafta kalmıştır. Analizler sonucunda ankastre mesnetli modellerin sadece üç deprem durumu için yönetmelik şartlarını sağladığı görülürken, FVD sönümleyiciye sahip modellerde sadece üç deprem durumu için yönetmelik sınırının aşıldığı belirlenmiştir. Bu durum, yönetmelikte ankastre mesnetli binalar için önerilen derz mesafesinin güvenli olmayan tasarım ve değerlendirmelere yol açabileceğinin bir göstergesi olarak yorumlanmıştır. Ayrıca FVD sönümleyicilerin literatürde ifade edilen deplasman taleplerinde ve görelî kat ötelenmelerindeki azaltıcı etkisinin bitişik nizamlı yapılarda da oldukça önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bu nedenle yeni tasarlanacak veya gerekli standartları sağlayan ve güçlendirilmesi planlanan bitişik nizamlı mevcut yapıların FVD sönümleyicilerle olası çekişleme etkilerini önemli oranda azaltarak sismik performansını iyileştirilebileceğini söylemek mümkündür. Bu yönüyle FVD sönümleyicilerin hızlı ve güvenli bir kentsel dönüşüm için gerekli koşulları sağlayan mevcut ve yeni tasarlanacak binalarda iyi bir alternatif olabileceği düşünülmektedir.



**Şekil 8.** Gerekli derz mesafelerinin karşılaştırılması

## 5 Sonuçlar

Yapılan çalışmada bitişik nizamlı geleneksel ankastre mesnetli binalar arasında bırakılması gerekli derz mesafesinin, FVD kullanımı ile değişimi irdelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda öncelikle 3 ve 7 katlı geleneksel ankastre mesnetli modeller oluşturulmuştur. Ardından akışkan viskoz sönümleyiciler modellere eklenmiştir. Son olarak, oluşturulan ankastre mesnetli modeller kendi içinde, FVD sönümleyiciye sahip modeller kendi içinde olmak üzere Kelvin link elemanı kullanılarak bitişik nizamlı modeller türetilmiştir. Yapısal elemanlarda ve FVD sönümleyicilerde doğrusal olmayan davranış dikkate

alınarak toplam 44 adet zaman tanım alanında dinamik analiz yapılmıştır.

Analizlerden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde geleneksel ankastre mesnetli modelde FVD kullanımı ortalama gerekli derz mesafesini %43.6 azaltmıştır. Yine ortalama değerler açısından hesaplanan gerekli derz mesafeleri TBDY-2018 yönetmeliğinde önerilen derz mesafesine göre ankastre mesnetli model için %32.7 yetersiz kalırken, FVD sönümleyiciye sahip model için %42.2 oranında güvenli tarafta kalmıştır. Bu yönüyle FVD sönümleyicilerin bitişik nizamlı yeni binaların tasarımında ve güçlendirilmesi planlanan binalarda sismik performansın iyileştirilmesi amacıyla efektif bir çözüm sunabileceği düşünülmektedir. İleride yapılacak çalışmalar için model çeşitliliğinin artırılarak sonuç güvenilirliğinin artırılması önerilmektedir.

#### Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

**Benzerlik oranı (iThenticate):** %17

#### Kaynaklar

- [1] M. Doğan ve A. Günaydın, Pounding of adjacent RC buildings during seismic loads. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi. 22(1), 129-145, 2009.
- [2] M. Miari, K.K. Choong and R. Jankowski, Seismic pounding between adjacent buildings: Identification of parameters, soil interaction issues and mitigation measures. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 121, 135-150, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.02.024>.
- [3] E. Rosenblueth and R. Meli, The 1985 Mexico earthquake. Concrete International, 8:23–34, 1986.
- [4] M.R. Degg, Some implications of the 1985 Mexican earthquake for hazard assessment. In Geohazards: Natural and man-made. Dordrecht: Springer Netherlands, 105-114, 1992. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-2310-5\\_11](https://doi.org/10.1007/978-94-011-2310-5_11)
- [5] R. Valles-Mattox and A. Reinhorn, Evaluation, prevention and mitigation of pounding effects in building structures. State University of New York at Buffalo Department of Civil Engineering Buffalo, NY 14260, Technical Report NCEER-97-0001, 20 February 1996.
- [6] S. Anagnostopoulos, Building pounding re-examined: how serious a problem is it. The eleventh world conference on earthquake engineering, pp. 2101-2108, Patras, Greece, 1996.
- [7] S. Anagnostopoulos, Earthquake induced pounding: State of the art. 10th European conference on earthquake engineering, pp. 897–905, Vienna, Austria 28 August-2 September 1995.
- [8] M. Miari and R. Jankowski, Analysis of floor-to-column pounding of buildings founded on different soil types. Bulletin of Earthquake Engineering, 20(13), 7241-7262, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10518-022-01482-0>.
- [9] V. Jeng and W.L. Tzeng, Assessment of seismic pounding hazard for Taipei City. Engineering Structures, 22(5), 459-471, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(98\)00123-0](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(98)00123-0).
- [10] G. Cole, R. Dhakal, A.J. Carr and Bull D, Building pounding state of the art: Identifying structures vulnerable to pounding damage, 2010 New Zealand Society for Earthquake Engineering Conference, pp. 11-19, Napier, New Zealand, 2010.
- [11] E. A. Mavronicola, P.C. Polycarpou and P. Komodromos, Spatial seismic modeling of base-isolated buildings pounding against moat walls: effects of ground motion directionality and mass eccentricity. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 46(7), 1161-1179, 2017. <https://doi.org/10.1002/eqe.2850>
- [12] B. I. Patil, B. B. Biradar and R. Doddamani, Mitigation of seismic pounding observed in adjacent buildings with fluid viscous damper. In Sustainability Trends and Challenges in Civil Engineering: Select Proceedings of CTCS 2020, Springer Singapore, pp. 711-731, 2022. , [https://doi.org/10.1007/978-981-16-2826-9\\_45](https://doi.org/10.1007/978-981-16-2826-9_45)
- [13] Taylor devices inc, Fluid viscous dampers general guidelines for engineers including a brief history, Taylor devices inc., New York, USA, 2020.
- [14] M. Miari, K. K. Choong and R. Jankowski, Seismic pounding between adjacent buildings: Identification of parameters, soil interaction issues and mitigation measures. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 121, 135-150, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.02.024>
- [15] D. Isobe, T. Ohta, T. Inoue and F. Matsueda, Seismic pounding and collapse behavior of neighboring buildings with different natural periods. Natural Science 4: 686-693, 2012. <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2012.428090>
- [16] A. Elgammal, A. Seleemah, M. Elsharkawy and H. Elwardany, Comprehensive review on seismic pounding between adjacent buildings and available mitigation measures. Archives of Computational Methods in Engineering, 1-36, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11831-024-10114-6>
- [17] E. Ozer, Seismic pounding of adjacent buildings considering torsional effects. Bulletin of Earthquake Engineering, 22, 2139–2171, 2024, <https://doi.org/10.1007/s10518-023-01849-x>.
- [18] C. G. Karayannis, and M. C. Naoum, Torsional behavior of multistory RC frame structures due to asymmetric seismic interaction. Engineering Structures, 163, 93-111, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.02.038>
- [19] V. Jeng, K. Kasai, B.F. Maison. A spectral difference method to estimate building separations to avoid pounding. Earthquake Spectra, 8:201–223, 1992. <https://doi.org/10.1193/1.1585>
- [20] M. Barbato, E. Tubaldi, A probabilistic performance-based approach for mitigating the seismic pounding risk between adjacent buildings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 42, 1203-1219, 2013. <https://doi.org/10.1002/eqe.2267>

- [21] M. J. Favvata, Minimum required separation gap for adjacent RC frames with potential inter-story seismic pounding. *Engineering Structures*, 152, 643–659, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.09.025>
- [22] M. G. Flenga, M.J. Favvata, Probabilistic seismic assessment of the pounding risk based on the local demands of a multistory RC frame structure. *Engineering Structures* 245:112789, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112789>
- [23] C.G. Karayannis and M.C. Naoum Torsional behavior of multistory RC frame structures due to asymmetric seismic interaction. *Engineering Structures*, 163:93–111, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.02.038>
- [24] E. Ozer, The effect of fluid viscous dampers on performance of a residential building, early edition process in Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 2023. <https://doi.org/10.5505/pajes.2023.39345>
- [25] M. Martinez-Rodrigoand, M. L. Romero, An optimum retrofit strategy for moment resisting frames with nonlinear viscous dampers for seismic applications. *Engineering Structures*, 25(7), 913-925, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(03\)00025-7](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(03)00025-7)
- [26] A.H. Deringöl, E.M. Güneyisi and O. Hansu, Combined Effect of Bearing Stiffness of the Base Isolator and Damping Characteristics of the Viscous Damper on the Nonlinear Response of Buildings. *International Journal of Steel Structures*, 22(5), 1497-1517, 2022. <https://doi.org/10.1007/s13296-022-00656-5>
- [27] T. Guo, J. Xu, W. Xu, Z. Di, Seismic upgrade of existing buildings with fluid viscous dampers: Design methodologies and case study. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 29(6), 04014175, 2015. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-509.0000671](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-509.0000671)
- [28] M. Hicyilmaz, M. Doğan, H. Gönen, Investigation of optimum viscous damper distribution in steel frames with set-back irregularities. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 24(6),1024-1029, 2018. <https://doi.org/10.5505/pajes.2017.69094>
- [29] H. Elwardany, R. Jankowski, and A. Seleemah, Mitigating the seismic pounding of multi-story buildings in series using linear and nonlinear fluid viscous dampers. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 21(4), 137, 2021. <https://doi.org/10.1007/s43452-021-00249-9>
- [30] A. Rayegani and G. Nouri, Application of smart dampers for prevention of seismic pounding in isolated structures subjected to near-fault earthquakes. *Journal of Earthquake Engineering*, 26(8), 4069-4084, 2022. <https://doi.org/10.1080/13632469.2020.1822230>
- [31] E. Ç. Kandemir, Dalgacık Uyumlu Analizi ile Optimum Viskoz Damper Kapasitesi Hesabı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(1), 115-122, 2022. <https://doi.org/10.31796/ogummf.1003961>
- [32] E. Ç. Kandemir, Alternate approach for calculating the optimum viscous damper size. *Gravevinar*, 75(02.), 153-162,2023. <https://doi.org/10.14256/JCE.3539.2022>
- [33] E. Ç. Kandemir-Mazanoglu, K. Mazanoglu, An optimization study for viscous dampers between adjacent buildings. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 89, 88-96, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2016.06.001>
- [34] TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Ankara, Türkiye, 30364, 2018.
- [35] SAP2000 V-20 CSI. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual. Berkeley, USA, 2020.
- [36] H. B. Ozmen, M. Inel, S. M. Senel , & A. H. Kayhan, Load carrying system characteristics of existing Turkish RC building stock. *International Journal of Civil Engineering*, 13(1),76-91, 2015.
- [37] H. B. Ozmen, M. Inel, Damage potential of earthquake records for RC building stock. *Earthq. Struct*, 10(6), 1315-1330, 2016. <http://dx.doi.org/10.12989/eas.2016.10.6.1315>
- [38] H. B. Ozmen, M. Inel, Effect of rapid screening parameters on seismic performance of RC buildings. *Structural engineering and mechanics: An international journal*, 62(4), 391-399, 2017. <https://doi.org/10.12989/sem.2017.62.4.391>
- [39] C. Zhai, S. Jiang, S. Li, L. Xie, Dimensional analysis of earthquake-induced pounding between adjacent inelastic MDOF buildings. *Earthq Eng and Eng Vib* 14:295–313, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11803-015-0024-3>.
- [40] R. Jankowski, Non-linear FEM analysis of earthquake-induced pounding between the main building and the stairway tower of the Olive View Hospital. *Eng Struct* 31(8):1851–1864, 2009, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.03.024>
- [41] C.G. Karayannis, M.C. Naoum, Torsional behavior of multistory RC frame structures due to asymmetric seismic interaction. *Eng Struct* 163:93–111, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.02.038>
- [42] TS498, Design Loads for Buildings. Turkish Standards Institution. Ankara, Turkey, 1997.
- [43] J. B. Mander, Seismic design of bridge piers. Research report 84-2. Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch (New Zealand), 1984.
- [44] SEMAp Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı, Tubitak Proje No: 105M024 Ankara, Turkey (in Turkish), 2008.
- [45] B.T. Cayci, M. Akpınar, Seismic pounding effects on typical building structures considering soil-structure interaction. In: *Structures*, vol 34. Elsevier, pp 1858–1871, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.08.133>
- [46] E. C. Kandemir & R. Jankowski, Effect of soil on the capacity of viscous dampers between adjacent buildings. *Gravevinar*,75, 329-342, 2023. <https://doi.org/10.14256/JCE.3597.2022>



- [47] M. Mokhtari & H. Naderpour, Seismic vulnerability assessment of reinforced concrete buildings having nonlinear fluid viscous dampers. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 20(13), 7675-7704, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10518-022-01508-7>
- [48] S. Muthukumar, R. Desroches, Evaluation of impact models for seismic pounding. In: 13th world conference on earthquake engineering, Vancouver, BC, Canada, 235, August 1–6, 2004.
- [49] PEER Ground Motion Database <http://peer.berkeley.edu> (09.09.2019).

