



Akışkan viskoz sönümleyicilerin bir konut binasının performansı üzerindeki etkileri

The effect of fluid viscous dampers on performance of a residential building

Esra ÖZER^{1*}

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Tokat, Türkiye.
esra.ozar@gop.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 09.03.2023
Kabul Tarihi/Accepted: 23.10.2023

Düzeltilme Tarihi/Revision: 23.09.2023

doi: 10.5505/pajes.2023.39345
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada, burulma düzensizliğine sahip orta yükseklikteki geleneksel betonarme bir binada, doğrusal ve doğrusal olmayan akışkan viskoz sönümleyiciler (FVD) kullanılarak sismik performansın değişimi incelenmiştir. Analizlerde kullanılan betonarme bina modelleri üç boyutlu(3B) ve beş katlı olarak tasarlanmıştır. Modellerin yapısal elemanlarında doğrusal elastik olmayan davranış dikkate alınmıştır. Spektrum uyumlu 11 adet gerçek ivme kayıt takımı kullanılarak toplam 66 adet çift yönlü doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz yapılmıştır. Akışkan viskoz sönümleyicilerin doğrusal ve doğrusal olmayan sismik davranışları, ankastre mesnetli model ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar, tepe yer değiştirme oranları, katlar arası göreceli öteleme oranları, burulma düzensizlik katsayısı ve mutlak ivme parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bina yüksekliği boyunca çapraz olarak uygulanan FVD sönümleyiciler, ankastre mesnetli modele göre sismik talepleri ciddi oranda azaltmıştır. Ayrıca, yapısal eksantrisiteden kaynaklanan burulma düzensizliği FVD kullanımı ile ihmal edilebilecek düzeye indirgenmiştir. En iyi sismik performans doğrusal elastik olmayan akışkan viskoz sönümleyicinin (NFVD) kullanıldığı modelde elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Akışkan Viskoz Sönümleyici-FVD, Burulma Düzensizliği, Zaman Tanım Alanında Analiz

Abstract

In this study, the change of seismic performance was investigated by using linear and nonlinear fluid viscous dampers (FVD) in a mid-rise conventional reinforced concrete (RC) building with torsional irregularity. Analysis models were designed as three-dimensional (3D) and 5-story. In the structural elements of the models, nonlinear behavior was taken into account. A total of 66 bi-directional nonlinear time history dynamic analyzes were performed using 11 spectrum-compatible real earthquake record sets. Linear and nonlinear seismic behavior of fluid viscous dampers were compared with the fixed-base model. These comparisons were made using roof drift ratios, interstory drift ratio, torsion irregularity coefficient and absolute acceleration parameters. The FVD dampers applied diagonally through the height of the building significantly reduced seismic demands compared to the fixed-base model. In addition, the torsional irregularity caused by structural eccentricity was reduced to negligible level by using FVD. The best seismic performance was obtained using nonlinear fluid viscous damper (NFVD).

Keywords: Fluid Viscous Damper-FVD, Torsion Irregularity, Time-History Analysis

1 Giriş

Yüzyılın afeti ile yaşadığımız can ve mal kayıpları, mevcut yapı stokumuzda ve yeni yapılacak yapılarda sismik performans iyileştirici alternatif teknolojik sistem arayışını arttırmıştır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'nde [1] yapıların tasarımı, can güvenliği performans düzeyi esas alınarak yapılsa da depremden hemen sonra kullanıma devam etmesi gereken köprü, hastane, telekomünikasyon vb. yapılar için farklı önem katsayıları ve teknolojilerle kesintisiz kullanım performans düzeyinde bir tasarım mümkün kılınmaktadır. Bu teknolojilerin başında sismik izolatörler ve pasif enerji dağıtıcı cihazlar yer almaktadır [2-4]. Sismik izolatörlerin tasarımı ve uygulama esaslarına yönelik hükümler ülkemiz yönetmeliklerinde ilk defa TBDY-2018'de yer alırken [5], pasif enerji dağıtıcı cihazlar için detaylı bir başlık henüz bulunmamaktadır. Dünyada oldukça yaygın olarak kullanılan bu teknolojilerin, ülkemizde kullanımı oldukça kısıtlıdır. Pasif sistemlerin (izolatör ve pasif enerji dağıtıcı cihazlar) prototip testlerinin ülkemizde yapılamaması, üretim fabrikalarında imal edilebilen cihaz türlerinin kısıtlı olması veya üretilenlerde de yük taşıma, yer değiştirme ve sönüm kapasitelerinde

kısıtların olması ülkemizde kullanımın yaygınlaşmama nedenleri arasında görülmektedir. Ancak, mevcut yapıların güçlendirilmesinde ve yeni yapıların tasarımında pasif sistemlerin kullanımı sismik performans üzerinde oldukça etkili olup, önemli bir teknolojik alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır [6]. Özellikle pasif enerji dağıtıcı cihazlar, sismik izolatörlere göre daha kolay tasarım, üretim, tedarik ve monte sürecine sahip olduğu için kullanıcılara hızlı bir çözüm sunmaktadır.

Pasif enerji dağıtıcı cihazlar kendi içinde pek çok türe ayrılır. Bunlardan akışkan viskoz sönümleyiciler (FVD), burkulması önlenmiş çaprazlar (BRB), sürtünme sönümleyiciler, akma sönümleyiciler, visko-elastik sönümleyiciler (VED), viskoz duvar sönümleyiciler (VWD) ve ayarlı kütle sönümleyiciler (TMD) en çok bilinenler arasındadır [7-8]. Bu cihazlardan; yapının baskın titreşim modunu önemli ölçüde değiştirmeden yapıdaki talepleri azaltması, depremin frekans içeriğine ve sıcaklığa daha az duyarlı olması, konum, konfigürasyon ve boyut seçimi açısından tasarımcıya daha fazla esneklik sağlaması nedeniyle, çalışmada akışkan viskoz sönümleyici (FVD) kullanımı tercih edilmiştir [9].

*Yazışılan yazar/Corresponding author

Akışkan viskoz sönümleyici kullanarak yapılan çalışmalar incelendiğinde, Kandemir vd. [10], eski Japon deprem yönetmeliğine göre tasarlanan betonarme bir köprünün, FVD sönümleyiciler kullanılarak sismik performansının iyileştirilmesi üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Köprünün dinamik analizinde Hyogoken Nanbu deprem ivme kaydı kullanılmıştır. FVD tip sönümleyicinin kullanıldığı ve kullanılmadığı durum için performans değerlendirmesi yapılmıştır. Sonuç olarak FVD tip sönümleyicilerin mevcut köprülerin deprem performansını iyileştirmede oldukça etkili olduğu ifade edilmiştir. Martinez-Rodrigo ve Romero [11], çok katlı düzenli bir çelik yapıda doğrusal (LFVD) ve doğrusal olmayan (NFVD) akışkan viskoz sönümleyici kullanarak, geleneksel binaya göre FVD ile güçlendirilmiş yapının sismik performansını karşılaştırmışlardır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile analizler ölçeklendirilmiş 6 adet deprem ivme kaydının bir yatay bileşeni kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda doğrusal FVD geleneksel binaya göre sismik performansı önemli ölçüde iyileştirmiştir. Ancak doğrusal FVD'lerde hesaplanan kuvvet büyük olduğu için bu kuvvetleri daha makul bir düzeyde tutma amacıyla doğrusal olmayan FVD tasarımı yapılmıştır. Doğrusal olmayan FVD kullanımının, doğrusal FVD kullanımına göre performansı en az %35 iyileştirdiği sonucuna varılmıştır. Guo vd. [12], mevcut yapıların, yapısal bozulma, kullanım amacındaki değişiklik, artan performans gereksinimleri veya değiştirilmiş sismik yönetmelikler nedeniyle doğabilecek sismik iyileştirmeye ihtiyacı düşüncesiyle bir çalışma yürütmüşlerdir. Mevcut 21 katlı betonarme bir binada, yapıya önemli oranda bir ağırlık ve rijitlik katmadan, yapısal performansı iyileştiren FVD'lerin kullanımını tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, binaya sınırlı sayıda ve sadece belirli katlarda uygulanmış FVD'lerin, üst katların sismik tepkileri önemli ölçüde azaltabildiğini göstermiştir. Bu durum, binanın üst katlarının dekorasyonuna zarar vermeden, kısa sürede ve ekonomik olarak binanın güçlendirmesinin yapılabileceğini göstermiştir. Hiçılmaz vd. [13], geri çekme düzensizliğine (set back irregularities) sahip iki çelik çerçeve üzerinde optimum sönüm dağılımına sahip FVD kullanarak araştırma yürütmüşlerdir. Çelik çerçeveler üzerinde, spektrum uyumlu toplam 7 deprem ivme kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal analizler yapılmıştır. Optimum viskoz sönümleyici dağılımını belirlemek için basitleştirilmiş sıralı arama algoritması kullanılmıştır. Sayısal çalışma sonucunda, toplam sönüm büyüklüğü değişmese de optimum sönüm dağılımının sismik performansının sabit sönüm dağılımına göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Karimi ve Genes [14] yaptıkları çalışmada, yakın fay depreminde rezonansa bağlı olarak etkisi azalan izolatörlerin sismik performansını incelemiştir. Orta ve yüksek katlı doğrusal elastik ve simetrik çelik binalar için yakın fay etkisinde rezonans oluşturacak şekilde yapay deprem ivme kayıtları türetilmiştir. Deprem ivme kayıtlarının yalnızca bir yatay bileşeni kullanılmıştır. Özellikle yüksek katlı binanın taban kotunda, doğrusal olmayan LRB tip izolatörle birlikte doğrusal FVD kullanımının rezonans etkisini azalttığı ifade edilmiştir. Deringol vd. [15], düşük ve orta yükseklikteki simetrik çelik binaların doğrusal olmayan davranışını incelemek için doğrusal olmayan taban izolatör sistemi ve doğrusal ya da doğrusal olmayan FVD tip sönümleyicilerin bir arada kullanıldığı sistemler üzerinde çalışma yürütmüşlerdir. Farklı rijitlik değerlerine sahip izolatörlerin tek başına kullanılması durumunda elde edilen talep değerleri, farklı sönüm üssüne sahip FVD'lerle birlikte kullanıldığında elde edilen talep değerleri ile karşılaştırılmıştır. Özellikle taban kotunda düşük rijitlikli izolatörlerin, üst yapı boyunca doğru bir

konfigürasyona sahip FVD'ler ile birlikte kullanımının, sismik talepleri önemli oranda düşürebildiği sonucuna varılmıştır. Deringöl ve Güneyisi tarafından yapılan iki farklı çalışmada ise, sadece sönümleyici ya da sadece izolatör kullanılması durumunda sistem performans düzeyinin her zaman hemen kullanılan performans düzeyinde kalmadığı [16], LRB tipi izolatörlerin yetersiz kaldığı durumlarda eklenen FVD sönümleyicilerin oldukça etkili olduğu [17] ifade edilmiştir. Mokhtari ve Naderpour [18] altı katlı çok bloklu betonarme bir sağlık merkezinin belirli bir kısmını doğrusal elastik olmayan yapı elemanları ile iki boyutlu olarak modellemiştir. Sisteme eklenen diyagonal, simetrik ve doğrusal elastik olmayan akışkan viskoz sönümleyicilerin yapısal ve yapısal olmayan bileşenlere yönelik sismik hasarları azaltmak için potansiyel olarak yararlı olduğu sonucuna varılmıştır. Gıdaris ve Tafladanis [19] üç katlı betonarme bir bina üzerinde akışkan viskoz sönümleyicilerin optimum hizmet ömrü boyunca maliyetine dayalı tasarımının yanı sıra bunun alternatif, basitleştirilmiş tasarım yaklaşımlarıyla karşılaştırılması üzerine odaklanmıştır. Genel olarak sonuçlar, yapının akışkan viskoz sönümleyicilerle sismik olarak iyileştirilmesinin, tüm deprem durumları için hizmet ömrü boyunca maliyetinde önemli bir azalma sağladığını göstermiştir.

Akışkan viskoz sönümleyici cihazlar ve bu cihazların kullanımı ile ilgili daha önce birçok çalışma yapılmasına rağmen, bu çalışmalar genel olarak simetrik ve düzenli çelik bina modelleri kullanılarak yürütülmüştür. Ayrıca üst yapı ve akışkan viskoz sönümleyici cihazlarda doğrusal olmayan davranış nadiren dikkate alınmıştır. Bununla birlikte yapılan çalışmalarda kullanılan deprem ivme kayıtlarının sınırlı sayıda olduğu veya pek çok kaydın kullanıldığı çalışmalarda ise bu kayıtların belirli bir bölgeye ait veya bir depremin farklı istasyonlarından seçildiği tespit edilmiştir.

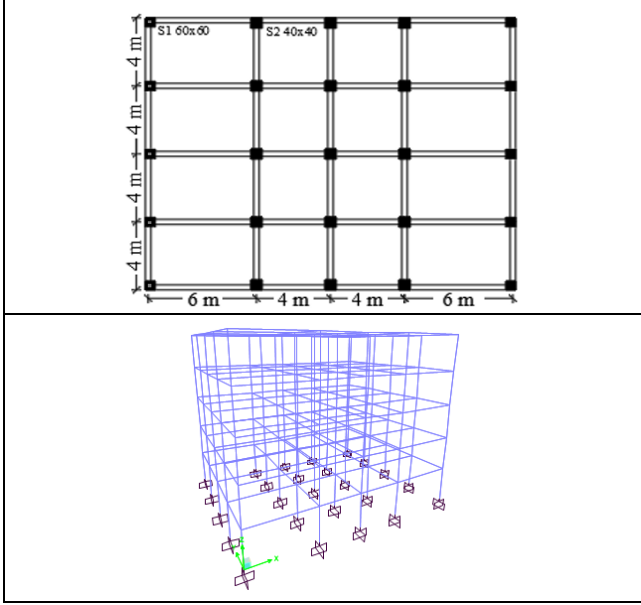
Bu çalışmada, güncel yönetmeliğe göre yeni olarak tasarlanan ve burulma düzensizliğine sahip geleneksel betonarme bir konut binasına, LFVD ve NFVD tip sönümleyicilerin simetrik ve diyagonal olarak yerleştirilmesiyle sismik davranıştaki değişimin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. 5 katlı olarak modellenen konut binasının yapısal elemanlarında doğrusal elastik olmayan davranış dikkate alınmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile analizler SAP2000[20] programında gerçekleştirilmiştir. Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanından (PEER Ground Motion Database) [21] spektrum uyumlu olarak seçilen 11 adet ivme kayıt takımının her biri modellere çift yönlü olarak aynı anda etkilmiştir. Çalışmadan elde edilen bulguların, yeni yapılacak veya güçlendirilecek mevcut binalar için doğrusal (LFVD) veya doğrusal olmayan (NFVD) akışkan viskoz sönümleyici kullanımının, burulma düzensizliği ve doğrusal elastik olmayan üst yapı davranışı dikkate alınarak, sismik performans üzerindeki etkisini ortaya koyacağı ve tasarım mühendislerine önemli bir öngörü sağlayacağı düşünülmektedir.

2 Modelleme detayları

2.1 Ankastre mesnetli model

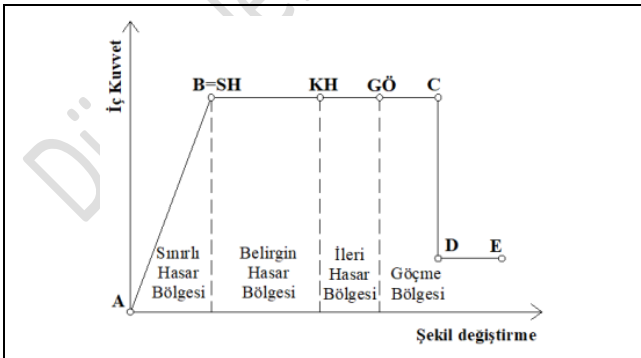
Yapılan çalışmada, üç boyutlu 5 katlı geleneksel betonarme bir konut modeli kullanılmıştır. Betonarme çerçeve sistemden oluşan taşıyıcı sistem perde eleman içermemektedir. Tüm kat planları aynı olup Şekil 1'de verilmiştir. Binanın X ve Y doğrultusundaki plan ölçüleri sırasıyla 20 m ve 16 m'dir. Kat yüksekliği 3.2 m olarak dikkate alınmıştır. Binanın kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasında, X doğrultusundaki

uzunluğunun (L) %20'si kadar mesafe (0.2L) bulunmaktadır. Bu nedenle geleneksel model tek bir doğrultuda (X) %20 statik eksantrisite oranına sahip olup, burulma düzensizliği içermektedir. Model düşeyde herhangi bir düzensizlik içermemektedir. Kiriş elemanlar 30x50, kolon elemanlar 40x40 ve 60x60 cm boyutundadır. Beton sınıfı ve donatı sınıfı sırasıyla C30 ve S420 olarak seçilmiştir.

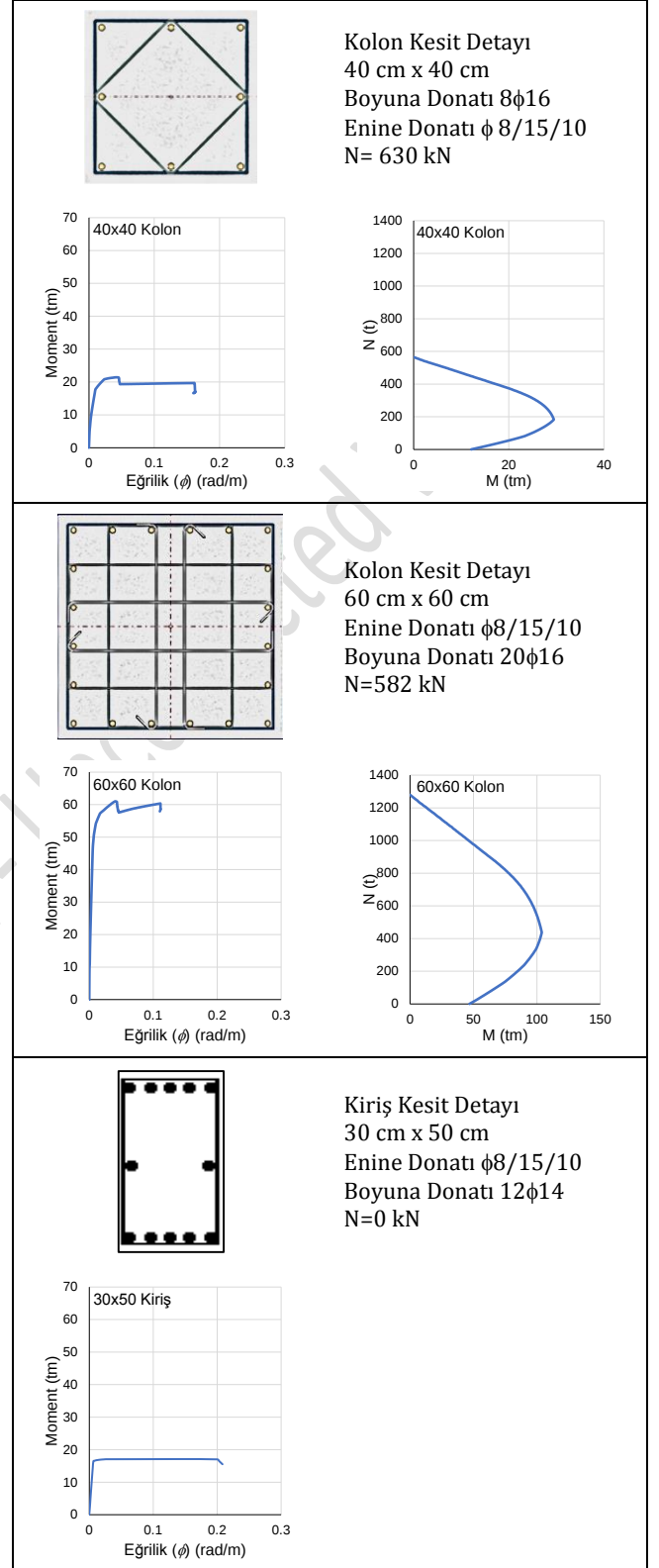


Şekil 1. Modele ait kat planı ve 3B görünüm.
Figure 1. Floor plan and 3D view for the model.

Tasarım ve sismik performans değerlendirme aşamalarında TBDY-2018 hükümleri dikkate alınmıştır. ZC zemin sınıfı üzerinde konumlandığı varsayılan binanın tasarımı, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem düzeyine (DD-2) göre yapılmıştır [1]. Yapısal elemanların doğrusal elastik olmayan davranışı yığılı plastik davranış modeline göre kolon ve kiriş eleman uçlarında tanımlanan plastik mafsallar aracılığıyla modele yansıtılmıştır. Plastik mafsallı boyu, TBDY-2018'de belirtildiği gibi ilgili kesit yüksekliğinin yarısı ($h/2$) olarak hesaplanmıştır. Plastik mafsallı tipik dayanım-deformasyon ilişkisi ve kesit hasar bölgeleri Şekil 2'de verilmiştir. Kesit hasar bölgelerine ve ayırım noktalarına ait detaylı bilgiler Fardis ve Biskinis tarafından yapılan çalışmada ve TBDY-2018'de yer almaktadır [1], [22]. Kesitlere ait moment-eğrilik analizleri Mander sargılı beton modeli için Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı'nda (SEMAp) [23] yapılmıştır.



Şekil 2. Tipik dayanım-deformasyon ilişkisi.
Figure 2. Typical strength-deformation relation.



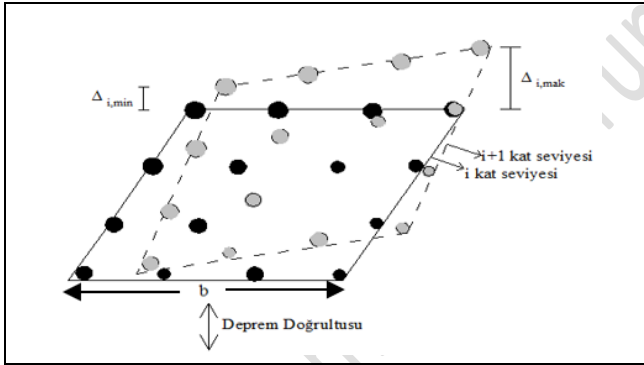
Şekil 3. Kesit detayları.
Figure 3. Details of section.

Moment-eğrilik analiz sonuçları üzerinde malzeme dayanımı, kesit eksenel yük oranı, enine ve boyuna donatı miktarı etkili parametrelerdir. Tipik kesitlere ait donatı konfigürasyonları, moment-eğrilik grafikleri ve etkileşim diyagramları Şekil 3'te verilmiştir. Elde edilen eğrilik değerleri kullanılarak dönme değerleri hesaplanmış ve bu değerler SAP2000 [20]

programında kullanıcı tanımlı mafsalları atamasında kullanılmıştır. Analizler, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile çift yönlü olarak yapıldığından kolon elemanlarındaki plastik mafsallar M2-M3 etkileşimi dikkate alınarak uygulanmıştır. Kolon ve kiriş kesitleri için etkin eğilme rijitlikleri sırasıyla 0.70 ve 0.35 olarak dikkate alınmıştır.

2.2 Burulma düzensizliği

Kütle merkezi (KM) ile rijitlik merkezi (RM) arasındaki mesafeden (e_x) kaynaklanan burulma düzensizliği yapıda istenmeyen sismik davranışa neden olabilir (Şekil 4). Bu nedenle, pek çok yönetmelikte [24], [25] olduğu gibi TBDY-2018'de de binanın bu iki merkezi arasındaki mesafenin mümkün olduğunca birbirine yakın tasarlanması gerektiği ifade edilmektedir. Ancak bunun sağlanamadığı durumlar için yönetmeliklerde çeşitli kısıtlama ve kontrol parametreleri geliştirilmektedir. TBDY-2018'de ise göreceli kat yer değiştirme değerlerine (Δ_i) dayalı burulma düzensizlik katsayısı (η_{bi}) hesaplaması geliştirilmiştir. Burulma düzensizlik katsayısı ve ortalama göreceli kat yer değiştirmesi Denklem (1) ve Denklem (2)'de yer alan formüller kullanılarak hesaplanır (TBDY-2018). İlgili denklemlerde ve Şekil 4'teki $\Delta_{i,max}$, $\Delta_{i,min}$ ve $\Delta_{i,ortalama}$ parametreleri sırasıyla i . kat seviyesindeki maksimum, minimum ve ortalama göreceli kat yer değiştirmelerini temsil etmektedir. Hesaplanan burulma düzensizlik katsayısı 1.2 sınır değerinin üzerinde ise binada burulma düzensizliği vardır ve binadaki hareketli yüklerin değişimine bağlı olarak dikkate alınması gereken %5 ek dışmerkezlik oranı belirli bir katsayı ile artırılmalıdır. Hesaplanan burulma düzensizlik katsayısının 2'den büyük olması durumunda ise bina tasarımında kullanılan hesap yönteminde değişiklik gerektirebilmektedir [1].



Şekil 4. Burulma düzensizliği (TBDY-2018).
Figure 4. Torsion irregularity (TBEC-2018).

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{mak}}{(\Delta_i)_{ortalama}} > 1.2 \quad (1)$$

$$(\Delta_i)_{ortalama} = \frac{(\Delta_i)_{mak} - (\Delta_i)_{min}}{2} \quad (2)$$

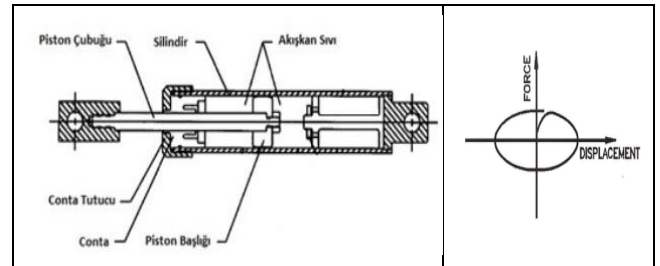
Çalışmada kullanılan modelin kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasında x doğrultusunda %20 oranında tek yönlü statik eksantrisite ($e_x=0.2b$) bulunmaktadır. TBDY-2018'de ankastre mesnetli geleneksel üst yapılar için burulma düzensizliği ile ilgili kısıtlamalar olmasına rağmen, pasif sisteme sahip modellerin tasarımında herhangi bir kısıtlama yoktur. Bu nedenle pasif enerji dağıtıcı cihazların kullanıldığı modellerde literatürdeki genel kurallara dikkate alınmıştır. Pasif enerji dağıtıcı cihazların burulma düzensizliğine neden olmaması için bina kütle merkezinin her iki yanından eşit uzaklıkta ve her iki yönde (x ve y yönü) bina yüksekliği boyunca simetrik bir

dağılıma sahip olacak şekilde [26] konumlandırılmasına dikkat edilmiştir. Böylece, akışkan viskoz sönümleyicinin kullanıldığı modellerde, bina kütle merkezi ile pasif enerji dağıtıcı sistemin rijitlik merkezi çakıştırılmıştır [26-30].

2.3 Akışkan viskoz sönümleyici özellikleri

Akışkan viskoz sönümleyiciler sismik performansın iyileştirilmesi için yeni yapıların tasarımında ve mevcut yapıların güçlendirilmesinde güvenilir ve hızlı çözümler sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, aktif hale gelmesi için bir güç kaynağına ihtiyaç duymaması, rijitlik bileşeni olmayan frekanstan bağımsız cihazlar olması, yapıya eklendiğinde bina periyodunda önemli değişiklik oluşturmaması, düzenli bakım gerektirmemesi, sıcaklık değişimlerinde ve kullanımlarda performansında bozulma olmaması gibi özelliklerinden ötürü diğer pasif enerji dağıtıcı cihazlara göre ön plana çıkmaktadır [24].

Tipik bir akışkan viskoz sönümleyiciyi oluşturan temel bileşenler ve sönümleyiciye ait histeretik çevrim modeli Şekil 5'te verilmiştir. Ana basınç odası silindirik olarak adlandırılmaktadır. Hazneler tamamen sıvı ile doludur. Amortisör (piston) dinamik bir olay sırasında ileri geri hareket ederken, yapıyla bağlantıyı sağlayan çatal, piston mili ve piston başı tek bir bileşen olarak hareket eder. Diğer tüm parçalar sabit kalır. Akışkan viskoz sönümleyiciler, yalnızca hareket halindeyken bir direnç kuvveti sağlayarak çalışır. Yapıya rijitlik katmazlar ve herhangi bir statik yük taşımazlar. Sönümleyicinin ileri-geri hareketi sırasında pistonda bulunan özel delikler sayesinde her iki yanında bulunan akışkan, piston kafasındaki deliklerden geçmeye zorlanır ve hızla değişken bir basınç kuvveti oluşturulur. Hız ne kadar büyük olursa, üretilen direnç kuvveti de o kadar büyük olur ve bu ilişki Denklem 3'e göre karakterize edilir [31]. α parametresine sönüm üssü denir ve binalardaki sismik uygulamalar için yaygın olarak 0.3 ila 0.5 aralığındaki değerler dikkate alınır. Sönüm üssünün 1 olarak dikkate alınması durumunda sönümleyici doğrusal bir davranış gösterir [26]. Bu çalışma için sönüm sabiti (C) 100 kips-(sn/in) ve yay sabiti (K) 2000 kips (sn/in) olarak hesaplanmıştır. NFVD ve LFVD sönümleyiciler için sönüm üssü (α) sırasıyla 0.5 ve 1 olarak dikkate alınmıştır [26]. FVD'leri modellemek için Maxwell yöntemi tercih edilmiştir [32].



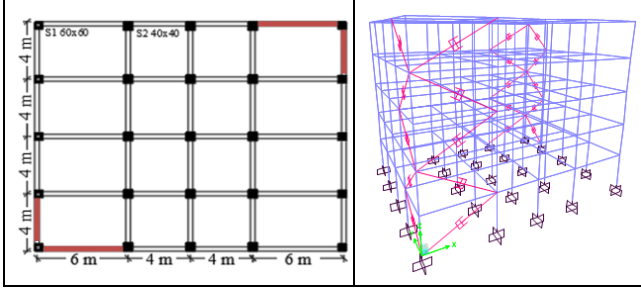
Şekil 5. FVD'nin tipik görünümü ve idealize histeretik çevrim modeli (Taylor devices inc., 2020) [26].

Figure 5. Typical view and idealized hysteretic loop model of FVD (Taylor devices inc., 2020) [26].

$$\text{Sönüm Kuvveti} = \text{Sönüm Sabiti } (C) * \text{Hız}^\alpha \quad (3)$$

Bina yüksekliği boyunca çapraz(diyagonal) olarak aynı aks aralığında kullanılan FVD'lerin kat planındaki lokasyonu Şekil 6'da kırmızı ile işaretlenmiştir. FVD'ler, KM'ye eşit uzaklıkta ve KM'nin her iki tarafında her iki asal eksen boyunca plan görünümünde burulma düzensizliği oluşturmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Viskoz elemanların yerleşiminde taban alanı

ve rijitliğe göre oransal bir değerlendirme yapılmamıştır. Akışkan viskoz sönümleyiciler bina periyodunu değiştirmede için çalışmada kullanılan tüm modellerin periyot değerleri aynı olup, ilk üç moda ait periyot değerleri (T_1 , T_2 ve T_3) sırasıyla 0.84, 0.80 ve 0.68 s.'dir. T_1 ; x doğrultusundaki periyot değerini, T_2 ; y doğrultusundaki periyot değerini ve T_3 burulma periyotunu ifade etmektedir.



Şekil 6. Akışkan viskoz sönümleyicilerin lokasyonu.
Figure 6. Location of the fluid viscous dampers.

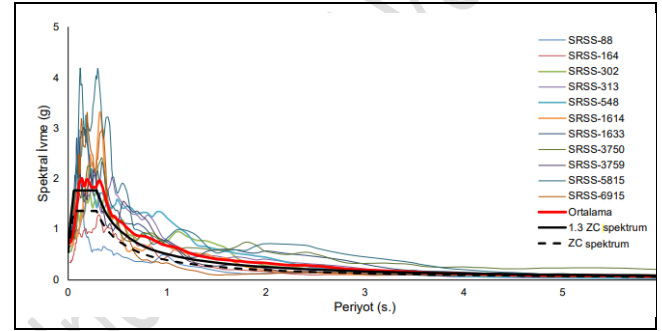
3 İvme kaydı seçimi ve analiz detayları

Çalışmada kullanılan deprem ivme kayıtlarının seçiminde ve ölçeklendirilmesinde TBDY-2018 koşulları dikkate alınmıştır. TBDY-2018 hükümlerine göre; 3B modeller için en az 11 çift deprem ivme kaydı kullanılmalı ve deprem ivme kaydının her iki yatay bileşeni de aynı ölçek faktörü ile ölçeklendirilmelidir. Çalışmada kullanılan tasarım spektrumu, binanın konumuna göre elde edilen ve tekrerrür süresi 475 yıl olan tasarım depremi için hesaplanmıştır. Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) ve 1.0 s periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{D1}) kullanılarak kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_S) ve 1.0 s periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_I) hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda S_{DS} , S_{D1} , S_S ve S_I sırasıyla 1.135, 0.658, 1.135, 0.261 olarak belirlenmiştir.

Tüm seçim ve ölçeklendirme işlemleri Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi'nin (PEER) Yer Hareketi Veritabanı kullanılarak yapılmıştır [21]. Daha az deprem ivme kayıt çifti ile daha gerçekçi sonuçlar elde etmeyi sağlayan spektral eşleştirme yönteminin kullanımı tercih edilmiştir [33-36].

TBEC-2018'de deprem ivme kayıt takımlarının seçimi aşamasında bir depremin en fazla 3 istasyonundan deprem ivme kaydı alınabileceği belirtilmiştir. Ayrıca ölçeklendirme aşamasında, ölçekli deprem ivme kayıtlarının kareleri toplamının karekökü (SRSS) olarak elde edilen ortalama spektrumun, model türüne göre belirlenen belirli bir aralık için tasarım spektrumunun 1.3 katından az olmaması

gerekmektedir. Kullanılan model ankastre mesnetli ise; bu aralık, ilgili modelin periyot değerinin (T_p) 0.2 ile 1.5 katı aralığına karşılık gelmektedir. Ortalama spektrumla ilgili diğer bir koşul ise, sahaya özgü deprem ivme kaydı spektrumlarının koordinatlarının tasarım spektrumunun %90'ından az olmamasıdır. Ayrıca doğrusal olmayan üç boyutlu analizler, çift yönlü (bidirectional) olarak yapılmalıdır. Bunların yanı sıra ivme kaydı seçim sürecinde deprem büyüklüğü (M_w) ve kırılma yüzeyi (R_{rup}) sırasıyla 6.0-7.5 ve 10-30 km aralığında seçilmiştir. İncelenen binaların TBDY-2018'de tanımlanan ZC zemin sınıfı üzerinde yer aldığı ve FEMA-450[37]'deki tasarım hedefleri için C zemin sınıfına benzer olduğu varsayıldığından kayma dalgası hızı (V_{s30}) da 360-760 m/s olarak seçilmiştir. Ayrıca seçilen ivme kayıtlarında fay tipi belirtilmemiştir ve deprem ivme kayıt takımları ileri yönlennmeli hareket içermemektedir.



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

Figure 7. Elastic acceleration spectrum for 5% damping of earthquake acceleration records used in the study.

Seçilen kayıtların %5 sönüm oranı için elastik ivme spektrumları ve deprem ivme kayıtlarının ortalama spektral ivmesi Şekil 7'de verilmiştir. Aynı şekil üzerinde tasarım ivme spektrumu da çizilmiştir. Seçilen kayıtların saçılımı yüksek olsa da ortalama değerler TBDY-2018 tasarım spektrumuna (tasarım spektrumunun 1.3 katı) çok yakındır. Kullanılan deprem ivme kayıtlarının özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan deprem ivme kayıtları ve özellikleri [21].
Table 1. Earthquake acceleration records and properties used in the study [21].

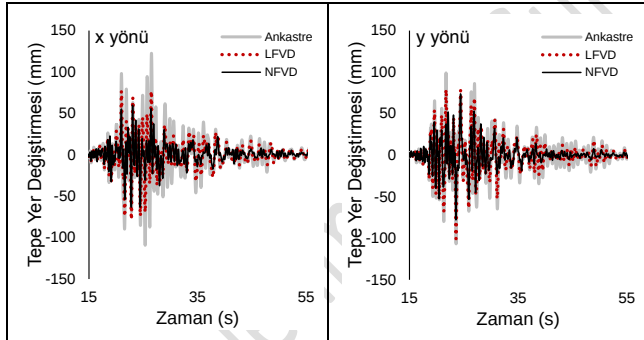
No	RSN	Deprem Adı	Yıl	İstasyon	Mw	Bileşen H ₁ -H ₂	PGA (g)	Vs30 (m/s)	Ölçek
1	88	San Fernando	1971	Santa Felita Dam	6.6	000-090	0.387	389.0	2.5
2	164	Imperial Valley-06	1979	Cerro Prieto	6.5	000-090	0.252	471.5	1.5
3	302	Irpina_ Italy-02	1980	Rionero In Vulture	6.2	000-270	0.399	574.9	4.0
4	313	Corinth_ Greece	1981	Corinth	6.6	000-090	0.592	361.4	2.0
5	548	Chalfant Valley-02	1986	Benton	6.2	270-360	0.733	370.9	3.5
6	1614	Duzce_ Turkey	1999	Lamont 1061	7.1	E-N	0.525	481.0	4.0
7	1633	Manjil_ Iran	1990	Abbar	7.4	000-090	0.617	724.0	1.2
8	3750	Cape Mendocino	1992	Loleta Fire Station	7.0	270-360	0.531	515.7	2.0
9	3759	Landers	1992	Whitewater T.Farm	7.3	180-270	0.494	425.0	4.0
10	5815	Iwate_ Japan	2008	Yuzawa	6.9	EW-NS	0.791	655.5	4.0
11	6915	Darfield_ N.Zealand	2010	Heathcote V. PS	7.0	000-090	0.930	422.0	1.2

4 Analiz sonuçları

Burulma düzensizliğine sahip ankastre mesnetli model referans alınarak, LFVD ve NFVD tip akışkan viskoz sönümleyicilerin sismik performans üzerindeki etkilerinin değerlendirildiği çalışmada, toplam 66 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile analiz yapılmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen yer değiştirme talepleri, göreceli kat ötelemesi oranları, burulma düzensizlik katsayıları ve mutlak maksimum ivmeler 4 farklı bölümde değerlendirilmiştir.

4.1 Yer değiştirme talepleri

Binada oluşacak muhtemel hasarın önemli bir göstergesi olan yer değiştirme talepleri değerlendirilirken, öncelikle her bir ivme kaydında yer değiştirme taleplerinin zamana bağlı değişimi elde edilmiştir. Deprem ivme kayıtlarına göre talep değerlerinde değişkenlik olmasına rağmen modeller arasında davranışsal olarak benzer eğilimler görülmüştür. Bu nedenle çatı katında zamana bağlı yer değiştirme taleplerinin modellere göre değişimi kıyaslanırken tüm deprem kayıtlarını temsilen tek bir örnek kayıt seçilmiştir. Seçilen RSN-5815 örnek kaydı için çatı katında zamana bağlı yer değiştirme taleplerinin değişimi modellere göre Şekil 8'de karşılaştırılmıştır. Deprem kaydı boyunca yapılan kıyaslama, geleneksel ankastre mesnetli modelin mutlak değerce maksimum yer değiştirme yaptığı an için ayrıca detaylandırılmıştır. Öyle ki geleneksel ankastre mesnetli model maksimum 122.5 mm yer değiştirme yaptığından LFVD modeli 73.7 mm ve NFVD modeli 39.4 mm yer değiştirme yapmıştır. İvme kaydı boyunca genel bir değerlendirme yapıldığında da ankastre mesnetli modellerin tepe yer değiştirme taleplerinin diğer modellere göre daha büyük hesaplandığını söylemek mümkündür. Sönümleyicilerin kullanıldığı modellerde ise yer değiştirme taleplerini azaltmada NFVD sönümleyicilerin, LFVD sönümleyicilere göre daha efektif olduğu görülmektedir.

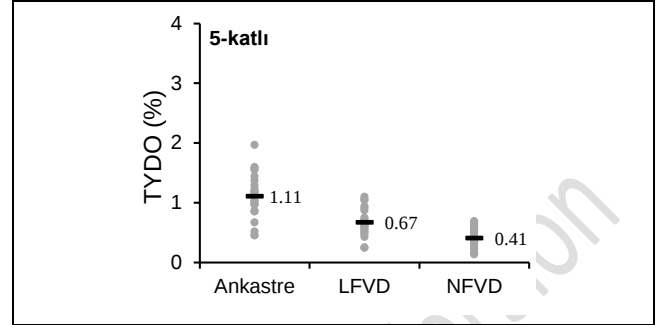


Şekil 8. RSN-5815-0 kaydı için modellerin tepe yer değiştirilmesi.

Figure 8. Roof displacement of models subjected to the RSN-5815-0 ground motion record.

Yer değiştirme taleplerinin değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer parametre maksimum tepe yer değiştirme oranlarıdır (TYDO). Analizler sonucunda hesaplanan maksimum yer değiştirme talepleri bina yüksekliği ile normalize edilerek tepe yer değiştirme oranı elde edilmiş olur. Şekil 9'da modellere göre maksimum yer değiştirme talepleri kullanılarak hesaplanan TYDO değerleri ve bu değerlerin ortalamaları verilmiştir. FVD kullanımı, ankastre mesnetli modele göre TYDO değerlerini en az LFVD modelde %40 oranında ve en çok NFVD modelde %63 oranında azaltmıştır. Standart sapma değerleri de benzer şekilde FVD'nin kullanıldığı modellerde daha az hesaplanmıştır. Ayrıca, doğrusal olmayan davranışa

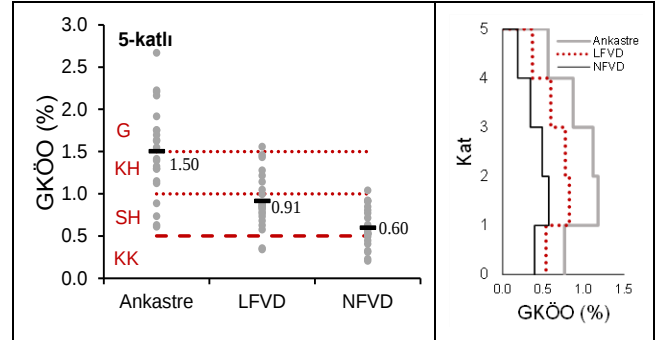
sahip NFVD tip sönümleyici, doğrusal davranışa sahip LFVD tip sönümleyiciye göre ortalama maksimum yer değiştirme taleplerini %38.8 oranında daha çok azaltmıştır.



Şekil 9. Maksimum tepe yer değiştirme oranı.
Figure 9. Maximum roof displacement ratio.

4.2 Göreceli kat ötelemesi oranı

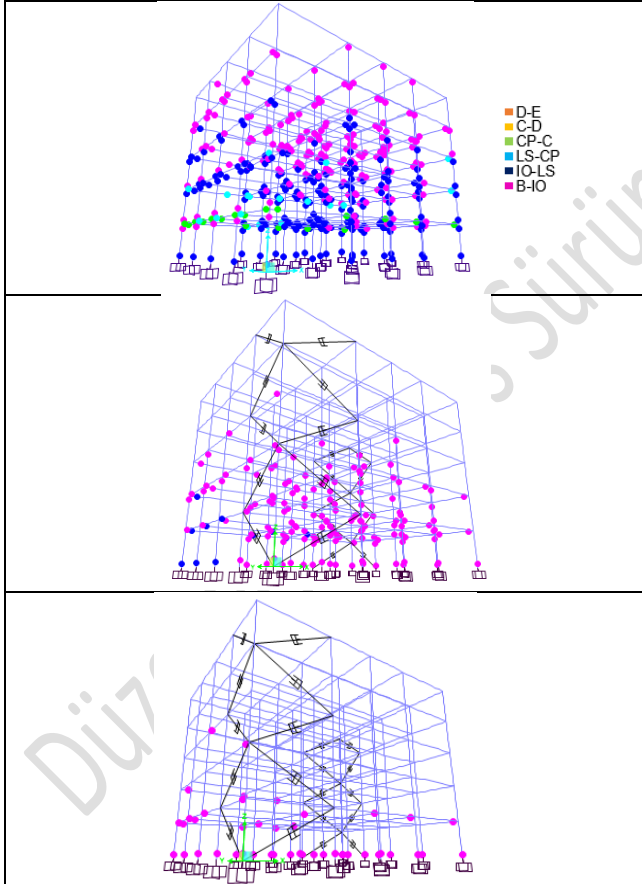
Aynı tepe yer değiştirmesi altında bile, farklı depremler altında binanın yüksekliği boyunca sismik talepler değişebilir. Bu nedenle sadece çatı seviyesindeki yer değiştirme talebini dikkate alarak bir değerlendirme yapmak yanıltıcı olabilir. Göreceli kat ötelemesi oranı (GKÖ), güçlü yer hareketleri altında yapısal hasarla ilgili en önemli parametrelerden biridir [38]. Ardışık iki kat arasındaki göreceli yer değiştirmenin kat yüksekliğine bölünmesiyle elde edilir. Modelleme yaklaşımları arasındaki farkları daha iyi ortaya koyabilmek için, maksimum GKÖ ve katlara göre GKÖ profili Şekil 10' da verilmiştir. TBDY-2018 yönetmeliğine göre izolatörlü modellerin göreceli kat ötelemesi oranlarına bağlı olarak hesaplanan sistem performans sınırları, akışkan viskoz sönümleyicinin kullanıldığı bu çalışmada da bir öngörü sağlaması için kullanılmıştır. Kesintisiz Kullanım, Sınırlı Hasar, Kontrollü Hasar ve Göçme performans düzeyleri sırasıyla KK, SH, KH ve G ile ifade edilmiştir [1].



Şekil 10. Maksimum göreceli kat ötelemesi oranı.
Figure 10. Maximum interstory drift ratio.

En büyük GKÖ'ları, yer değiştirme taleplerine benzer şekilde büyükten küçüğe doğru sırasıyla ankastre mesnetli, LFVD ve NFVD modellerinde hesaplanmıştır. Öyle ki ankastre mesnetli modele göre LFVD modelin ortalama GKÖ %39.3 daha az hesaplanırken, bu oran NFVD modeli için %60 olarak belirlenmiştir. Sisteme eklenen sönümleyicilerin GKÖ değerlerini düşürmesi, yapıyı depremlerin yıkıcı etkisinden göreceli ötelenmeleri sınırlandırarak uzaklaştırdığının bir göstergesidir [39]. Ayrıca ortalama değerler dikkate alınarak sismik performans açısından sonuçlar irdelendiğinde, ankastre mesnetli modellerin G performans sınırında olduğu, LFVD ve NFVD modellerinin ise SH performans düzeyinde olduğu görülmektedir. Ancak her bir deprem ivme kaydına göre bir irdeleme yapıldığında ankastre mesnetli modellerin %50'sinin

G performans düzeyinde, LFVD modellerin %31.8'inin KH ve G performans düzeyinde, NFVD modellerin ise %4.5'inin KH performans düzeyinde olduğu söylenebilir. Bu nedenle az sayıda deprem ivme kaydı kullanılarak bir değerlendirme yapılması yanıltıcı olabilmektedir. Bununla birlikte, GKÖ'ü azaltan akışkan viskoz sönümleyicilerin, GKÖ profiline bakılarak katlar arasındaki ötelenme farkını da azalttığını söylemek mümkündür. Daha detaylı bir irdeleme yapmak için modellerin analiz sonunda oluşan hasar dağılımlarının ve hasar düzeyinin belirlenmesi gerekir. Her bir deprem durumu için hasar dağılımları değişmesine rağmen, aynı deprem kaydı için modeller kıyaslandığında benzer trend yakalanmıştır. Bu nedenle örnek olarak seçilen tek bir deprem kaydı (RSN-5815-0) için hasar dağılımları Şekil 11'de verilmiştir. Sistem performans sınırlarına ait ölçekte yer alan IO, LS ve CP Kesintisiz Kullanım, Kontrollü Hasar ve Göçmenin Önlenmesi performans sınırlarına karşılık gelmektedir. Genel bir değerlendirme yapıldığında kolon elemanlara göre kiriş elemanların daha çok sayıda ve kolonlara göre daha ileri düzeyde hasar alması güçlü kolon zayıf kiriş davranışının bir göstergesidir. Model türünden bağımsız olarak hasarlı eleman sayısı üst katlara doğru azalmıştır. Sönümleyici kullanımı ankastre mesnetli geleneksel modele göre hasar alan eleman sayısını ve hasar düzeyini önemli oranda azaltmıştır. Özellikle NFVD kullanımı, LFVD kullanımına göre hasar oluşumunu daha fazla engellemiştir.

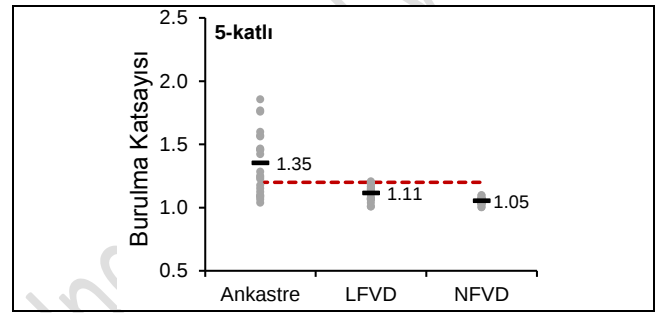


Şekil 11. Modeller için burulma düzensizlik katsayısı.
Figure 11. Torsion irregularity coefficient for models.

4.3 Burulma düzensizliği katsayıları

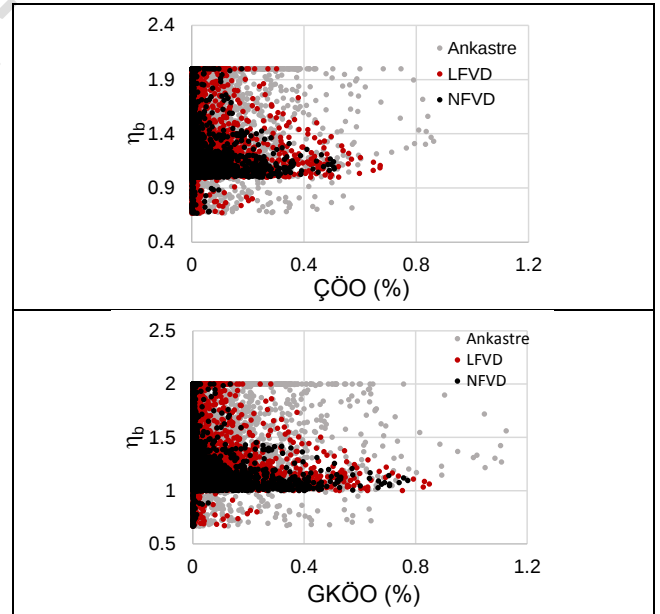
Akışkan viskoz sönümleyicilerin bina sismik performansı üzerindeki etkisini incelemek için kullanılan bir diğer parametre burulma düzensizliği katsayısıdır. Burulma

düzensizlik katsayıları TBDY-2018'e göre GKÖ' larının maksimum olduğu an için hesaplanmıştır. Modellere göre maksimum burulma düzensizlik katsayıları Şekil 12'de verilmiştir. Ankastre mesnetli modeller için, ortalama maksimum burulma düzensizlik katsayıları düzensizlik sınırı olarak yönetmelikte yer alan 1.2 değerinin üzerindeyken, FVD kullanımında ortalama burulma düzensizlik katsayıları en az %17.8 oranında LFVD modelde, en çok %22.2 oranında NFVD modelde azalarak, düzensizlik durumunu ortadan kaldırmıştır. Sadece LFVD modelinde bir deprem durumu için düzensizlik durumu söz konusu iken FVD'nin kullanıldığı diğer tüm model ve durumlarda düzensizlik söz konusu değildir. Özellikle NFVD kullanımı burulma düzensizlik katsayılarını hem ortalama değerler açısından hem de standart sapma değerleri açısından ciddi oranda düşürmüştür. Geleneksel modelin sahip olduğu %20 statik eksantrisite oranı dikkate alındığında, FVD'nin burulma düzensizliği davranışı üzerindeki etkisi aşikardır.



Şekil 12. Modeller için burulma düzensizlik katsayısı.

Figure 12. Torsion irregularity coefficient for models.



Şekil 13. RSN-5815-0 kaydı için burulma düzensizlik katsayısı dağılımı.

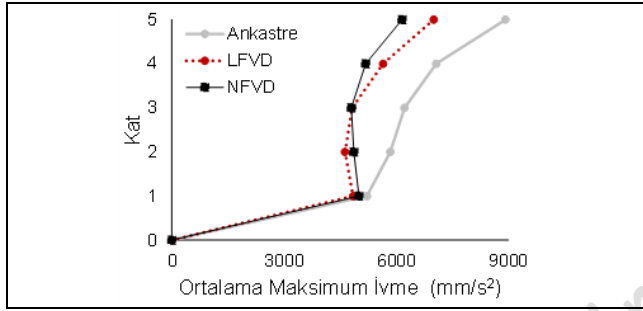
Figure 13. Torsion irregularity coefficient scatter for RSN-5815-0 record.

Ankastre mesnetli modele eklenen FVD sönümleyicilerin yapının burulma davranışı üzerindeki etkisini daha detaylı olarak incelemek için, örnek olarak seçilen RSN-5815-0 kaydı boyunca hesaplanan burulma düzensizlik katsayısı ile TYDO ve GKÖ arasındaki ilişki Şekil 13'te incelenmiştir. FVD sönümleyicinin geleneksel modele eklenmesiyle, hesaplanan maksimum değerlere yaklaşan burulma düzensizlik

katsayılarının sıklığı önemli ölçüde azalmıştır. Burulma düzensizliği nedeniyle bozulan yapısal davranış, FVD sönümleyicilerin etkisiyle sınırlı düzeye indirgenmiştir. Özellikle NFVD sönümleyiciler, burulma düzensizliğine sahip yapının sismik performansının iyileştirilmesinde oldukça etkili olmuştur.

4.4 İvme talepleri

Binaya gelen sismik talepler kat kütlelerine göre bina yüksekliği boyunca dağılım gösterir. Bu nedenle kat ivme profili önem arz eden bir diğer parametre olarak karşımıza çıkar. Şekil 14'te modellere göre katlarda hesaplanan maksimum ivme taleplerinin ortalaması alınarak binaya ait ivme profili çıkarılmıştır. İvme taleplerinin en fazla hesaplandığı ankastre mesnetli modelde, katlar arasındaki ivme talepleri de oldukça değişkenlik gösterirken, LFVD modelde ve özellikle NFVD modelde azalan ivme taleplerinin katlar arası değişimi de azalmıştır. Ortalama maksimum ivme talepleri geleneksel mesnetli ankastre mesnetli modele göre LFVD modelde %21.5, NFVD modelde %31.0 azalmıştır. NFVD sönümleyiciler ortalama maksimum ivme taleplerini LFVD sönümleyicilere göre %13.7 daha fazla sönümlemiştir.



Şekil 14. Modellerin ortalama maksimum ivme profili.

Figure 14. Models average maximum acceleration profile.

5 Sonuçlar

Bu çalışma, LFVD ve NFVD tip akışkan viskoz sönümleyicinin burulma düzensizliğine sahip geleneksel ankastre mesnetli binanın sismik davranışı üzerindeki etkisini araştırmayı amaçlamaktadır. Analiz modellerinde yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışları dikkate alınmıştır. Modellerin sismik performansları tepe yer değiştirme oranları, katlar arası öteleme oranları, burulma düzensizlik katsayıları ve mutlak maksimum ivme değerleri açısından karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, deprem ivme kaydına ve modelleme yaklaşımına bağlı olarak incelenen parametrelerde önemli farklılıklar olduğunu açıkça göstermektedir. Dikkat çekici sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Genel olarak, ankastre mesnetli model, akışkan viskoz sönümleyicinin kullanıldığı modellere göre daha yüksek tepe yer değiştirme oranı, görel kat öteleme oranı, ivme ve burulma düzensizlik katsayısı tahmin etme eğilimindedir.
- FVD kullanımı, tepe yer değiştirme oranlarını ankastre mesnetli modele göre en az %40, en fazla %63 oranında azaltmıştır.
- NFVD, ortalama maksimum yer değiştirme taleplerini LFVD'den %38.8 daha fazla azaltmıştır.
- Ortalama katlar arası görel öteleme oranlarına göre ankastre mesnetli modeller Kontrollü Hasar-Göçme performans sınırında, LFVD ve NFVD modeller ise Sınırlı Hasar performans düzeyindedir.

• FVD kullanımı, ankastre mesnetli modele göre burulma düzensizliği katsayılarını en az %17.8 oranında azaltarak, burulma etkilerini ortadan kaldırmıştır.

• LFVD, NFVD'ye kıyasla burulma etkilerine karşı daha hassastır.

• NFVD'nin kullanılması, yüksek yapısal eksantrisite oranına rağmen, yer değiştirme taleplerini ve burulma düzensizliğini azaltmada en etkili yöntemdir.

• Elde edilen sonuçlar, tüm modeller için münferit deprem ivme kayıtlarının yer değiştirme talep değerlerinde önemli bir saçılma olduğunu göstermektedir. Sınırlı sayıda deprem ivme kaydının kullanılması, sismik taleplerin yanlış tahmin edilmesine yol açabilir.

6 Conclusions

This study aims at investigating the effect of LFVD and NFVD type fluid viscous damper on seismic behavior of conventional fixed-base building with torsional irregularity. Nonlinear behavior of structural members was considered in analysis models. The seismic performance of the models was compared for roof drift ratios, interstory drift ratios, absolute maximum acceleration values and torsion coefficients. The obtained results apparently show that there are significant variations in investigated parameters depending on ground motion record, modeling approach. The remarkable outcomes are summarized below:

- In general, the fixed-base model tends to estimate higher roof drift ratio, interstory drift ratio, acceleration, and torsion coefficient respect to models with FVD.
- The use of FVD reduced the roof drift ratios by at least 40% and at most 63% compared to the fixed-base model.
- The NFVD reduced the average maximum displacement demands 38.8% more than the LFVD.
- According to the average interstory drift ratios, the fixed-base models were at the Controlled Damage-Collapse performance limit, while the LFVD and NFVD models were at the Limited Damage performance level.
- The use of FVD eliminated torsional effects by reducing the torsional irregularity coefficients by at least 17.8% compared to the fixed-base model.
- The LFVD are more sensitive to torsional effects compared to NFVD.
- The use of NFVD is the most effective method in reducing displacement demands and torsional irregularity, despite high structural eccentricity.
- The obtained results indicate that significant scatter exists in displacement demand values of individual ground motion records for all models. Using limited number of ground motion records may lead to inaccurate predictions of seismic demands.

7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Yazar 1 fikrin oluşması, literatür taraması, tasarım ve analizlerin yapılması, sonuçların değerlendirilmesi, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuştur.

8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

9 Kaynaklar

- [1] TBDY-2018. "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği". Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Ankara, Türkiye, 30364, 2018.
- [2] Deringöl AH, Güneyisi EM. "Effect of lead rubber bearing on seismic response of regular and irregular frames in elevation". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(6), 1076-1085, 2020.
- [3] Çerçevik AE, Avşar Ö. "Doğrusal sismik izolasyon parametrelerinin karga arama algoritması ile optimizasyonu". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(3), 440-447, 2020.
- [4] Özçelik R. "Burkulması engellenmiş çelik çaprazlar". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(3), 160-170, 2016.
- [5] Özer E, İnel M. "Sismik izolatörlerin betonarme konut binasının performansı üzerindeki etkileri". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(3), 303-311, 2021.
- [6] Özer E. Geleneksel ve Taban İzolatörlü Betonarme Binaların Sismik Davranışlarının Karşılaştırılması. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2022.
- [7] Castaldo P. *Integrated seismic design of structure and control systems*. New York, Springer International Publishing, 2014.
- [8] Constantinou MC, Symans MD. *Experimental study of seismic response of buildings with supplemental fluid dampers*. 2nd ed. New York, USA, Wiley, 1993.
- [9] Ras A, Boumechra N. "Seismic energy dissipation study of linear fluid viscous dampers in steel structure design." *Alexandria Engineering Journal*, 55(3), 2821-2832, 2016.
- [10] Kandemir EC, Mazda T, Nurui H, Miyamoto H. "Seismic retrofit of an existing steel arch bridge using viscous damper". *Procedia Engineering*, 14, 2301-2306, 2011.
- [11] Martinez-Rodrigo M, Romero ML. "An optimum retrofit strategy for moment resisting frames with nonlinear viscous dampers for seismic applications". *Engineering Structures*, 25(7), 913-925, 2003.
- [12] Guo T, Xu J, Xu W, Di Z. "Seismic upgrade of existing buildings with fluid viscous dampers: Design methodologies and case study". *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 29(6), 04014175, 2015.
- [13] Hıcyılmaz M, Doğan M, Gönen H. "Investigation of optimum viscous damper distribution in steel frames with set-back irregularities". *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 24(6), 1024-1029, 2018.
- [14] Karimi MRB, Genç MC. "Effectiveness of FVD-BIS for protecting a base-isolated high-rise building against resonance". *Earthquakes and Structures*, 21(4), 351-370, 2021.
- [15] Deringöl AH, Güneyisi EM, Hansu O. "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.
- [16] Deringöl AH, Güneyisi EM. "Single and combined use of friction-damped and base-isolated systems in ordinary buildings". *Journal of Constructional Steel Research*, 174, 106308, 2020.
- [17] Deringöl AH, Güneyisi EM. "Influence of nonlinear fluid viscous dampers in controlling the seismic response of the base-isolated buildings". In *Structures*, 34, 1923-1941, 2021.
- [18] Mokhtari M, Naderpour H. "Seismic Vulnerability Assessment of Reinforced Concrete Buildings Having Nonlinear Fluid Viscous Dampers." *Bulletin of Earthquake Engineering*, 20(13), 7675-7704, 2022.
- [19] Gidaris I, Taflanidis AA. "Performance Assessment and Optimization of Fluid Viscous Dampers Through Life-Cycle Cost Criteria and Comparison to Alternative Design Approaches." *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13, 1003-1028, 2015.
- [20] SAP2000 V-20 CSI. "Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual". Berkeley, USA, 2020.
- [21] PEER. "PEER Ground Motion Database". <http://peer.berkeley.edu> (09.09.2019).
- [22] Fardis MN, Biskinis DE. Deformation of RC Members, as Controlled by Flexure or Shear. Editor: Shiohara H. Performance-based Engineering for Earthquake Resistant Reinforced Concrete Structures: a Volume Honoring Shunsuke Otani, University of Tokyo, 515-530, Otani, Tokyo, 2003.
- [23] SEMAp. "Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı". Ankara, Türkiye, Tubitak Proje No: 105M024, 2008.
- [24] FEMA P-1051. *2015 NEHRP Recommended Seismic Provisions: Design Examples*, 1051, Chapter 15, USA, Washington DC, 2016.
- [25] Uniform Building Code(UBC). *International building code*. International Code Council, USA, 1997.
- [26] Taylor devices inc, *Fluid Viscous Dampers General Guidelines For Engineers Including A Brief History*, 1st ed. New York, USA, Taylor devices inc, 2020.
- [27] Nagarajaiah S, Reinhorn AM, Constantinou MC. "Torsion in base-isolated structures with elastomeric isolation systems". *Journal of Structural Engineering*, 119(10), 2932-2951, 1993.
- [28] Tena-Colunga A, Zambrana-Rojas C. "Dynamic torsional amplifications of base-isolated structures with an eccentric isolation system" *Engineering Structures*, 28(1), 72-83, 2006.
- [29] EN 1998-2. *Eurocode 8: design of structures for earthquake resistance - Part 2: bridges*. 1st ed. Brussels, Belgium European Committee for Standardization, 2005.
- [30] Seguin CE, de la Llera JC, Almazán JL. "Base-structure interaction of linearly isolated structures with lateral-torsional coupling". *Engineering Structures*, 30(1), 110-125, 2008.
- [31] Lee D, Taylor P. "Viscous Damper Development and Future Trends", *Taylor Devices Inc*. North Tonawanda, N.Y.
- [32] Akcelyan S, Lignos DG, Hikino T. "Adaptive numerical method algorithms for nonlinear viscous and bilinear oil damper models subjected to dynamic loading". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 113, 488-502, 2018.
- [33]
- [34] Kayhan AH, Korkmaz KA, Irfanoglu A. "Selecting and scaling real ground motion records using harmony search algorithm". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(2011), 941-953, 2011.
- [35] Ozmen HB, Yilmaz H, Yildiz H. "An acceleration record set for different frequency content, amplitude and site classes". *Research on Engineering Structures & Materials*, 5(3), 321-333, 2019.
- [36] Karakutuk O. Effects of Ground Motion Selection on Seismic Response of Buildings. A thesis Submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2015.

- [37] NEHRP. Selecting and Scaling Earthquake Ground Motions for Performing Response-history Analyses, NIST GCR 11-917-15, the NEHRP Consultants Joint Venture for the National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, 2011.
- [38] American Society of Civil Engineers (ASCE) FEMA-P-450. Nohrp Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures. In, Washington DC, USA 2003.
- [39] Yang D, Pan J, Li G. "Interstory Drift Ratio of Building Structures Subjected to Near-Fault Ground Motions Based on Generalized Drift Spectral Analysis." *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(11), 1182-1197, 2010.
- [40] Ras A, Boumechra N. "Study of nonlinear fluid viscous dampers behaviour in seismic steel structures design." *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39, 8635-8648, 2014.

Düzenlenmemis Sürüm - Uncorrected Version