

Depreme Karşı Yapısal Güçlendirmede Enerji Sönümleyicilerin Tasarımı ve Uygulaması

Dr. Öğr. Üyesi Fatih Sütçü
İTÜ İnşaat Fakültesi
İTÜ Afet Yönetimi Enstitüsü

Son dönemde yapılan bilimsel araştırma ve uygulama tecrübelerini esas alarak ülkemizde yapıların depreme dayanıklı tasarımı ve güçlendirilmesinde sönümleyicilerin kullanılması için TBDY 2018 ve ülkemiz mühendislik uygulamaları ile uyumlu olduğu düşünülen temel tasarım esasları hakkında ilgili kamu kurumlarının da desteğiyle bir hazırlık çalışması başlatılmıştır.

Giriş

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremi ve son yıllarda ülkemizde meydana gelen diğer yıkıcı depremler, geleneksel yapı teknolojilerinin hesabı ve uygulamasındaki birtakım eksikleri açığa çıkarırken yenilikçi deprem mühendisliği teknolojilerinin yaygınlaşması gerektiğini bir kez daha ortaya koymuştur. 2018 senesinde yayımlanan ve ülkemizdeki en güncel deprem yönetmeliği olan 'Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği' (TBDY-2018) yapılan güncellemelerle birlikte yüksek binalar ve deprem yalıtımı gibi bölümleri de içermekte olup dünyadaki benzerleri arasında en kapsamlı yönetmeliklerden birisi haline gelmiştir. Bununla birlikte yeni yönetmelikte henüz bina tipi yapıların enerji sönümleyicilerle hesabına yönelik bir bölüm bulunmamaktadır.

Güncellenen yönetmelikler ve mühendislik yöntemlerine bağlı olarak yeni yapılaşmadaki depreme bağ-

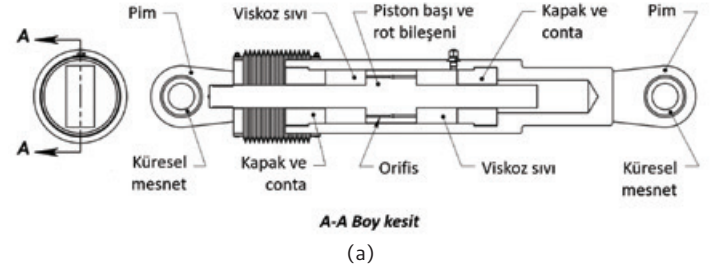
lı hasar riskleri giderek azaltılmaktadır. Buna karşın mevcut birçok yapı, inşa edildikleri dönemde geçerli olan kanunlara uygun olarak tasarlanmalarına rağmen, ilgili yönetmeliklerin yenilenmesi ve çoğu zaman hesap şartlarının ağırlaşması, uygulama hataları veya yapının bulunduğu bölgenin depremselliğindeki artış gibi sebeplerle güncel yönetmeliklerde şart koşulan yapısal güvenlik seviyesini yakalayamamaktadır. Konvansiyonel yöntemlerle yapılan güçlendirme uygulamalarında, neredeyse her zaman, taban kesme kuvvetinin artması nedeniyle mevcut temellerin de takviye edilmesi gerekmektedir; temel ve üst yapıdaki güçlendirme çalışmaları sırasında yapıyı tamamen boşaltmak gerekmektedir. Enerji sönümleyici sistemlerin kullanımı sayesinde, yapısal sönümün artırılması ve birçok durumda yapı kullanım halindeyken güçlendirilmesi mümkündür.

"6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremi ve son yıllarda ülkemizde meydana gelen diğer yıkıcı depremler, geleneksel yapı teknolojilerinin hesabı ve uygulamasındaki birtakım eksikleri açığa çıkarırken yenilikçi deprem mühendisliği teknolojilerinin yaygınlaşması gerektiğini bir kez daha ortaya koymuştur."

Enerji Sönümleyiciler

Sönümleyiciler; prensip olarak, yapıların dış yüklerin etkisi altındaki dinamik davranışını enerji sönümlenmesi yoluyla iyileştirmek için kullanılan cihazlardır. Sönümleyicilerin farklı alanlarda uygulamaları mevcuttur. Örnek olarak yüksek binalarda rüzgâr etkisi altında oluşan salınımın azaltılması için sönümleyiciler kullanılmıştır. Deprem mühendisliği alanında ise sönümleyiciler, yapıların deprem performansının artırılması ve mevcut yapıların güçlendirilmesinde kullanılmaktadır. Sönümleyicileri dinamik davranışlarına bağlı olarak ikiye ayırmak mümkündür: Hıza bağlı sönümleyiciler ve yerdeğiştirmeye bağlı sönümleyiciler.

Hıza bağlı sönümleyiciler; kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisinin büyük oranda sönümleyicideki görelî hıza bağlı olduğu sönümleyicilerdir ve kendi içerisinde de viskoz ve visko-elastik olmak üzere ikiye ayrılır. Viskoz sönümleyiciler, teoride tamamen hıza bağlı bir davranış göstermelerine rağmen uygulamada kullanılan bağlantı elemanla-

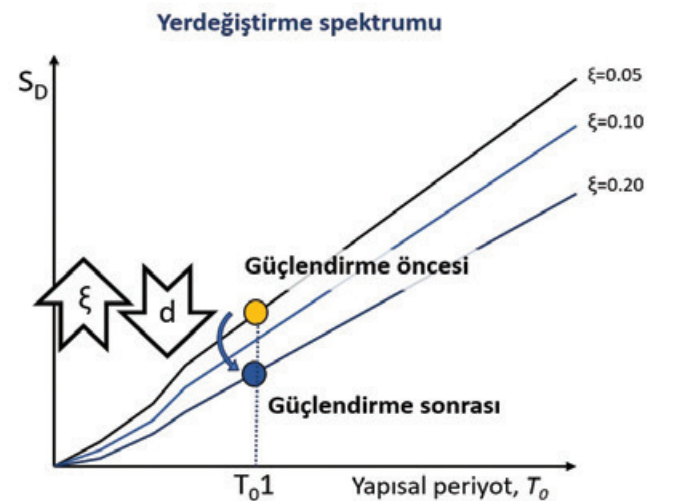
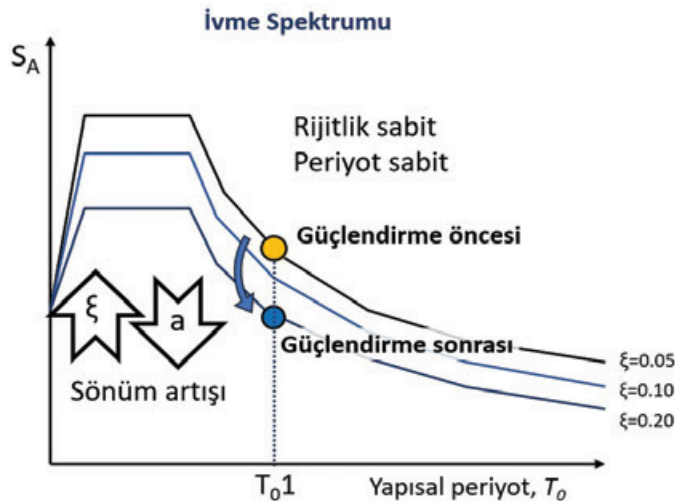


Şekil 1. (a) Viskoz sönümleyici bileşenleri (Taylor, 2022)

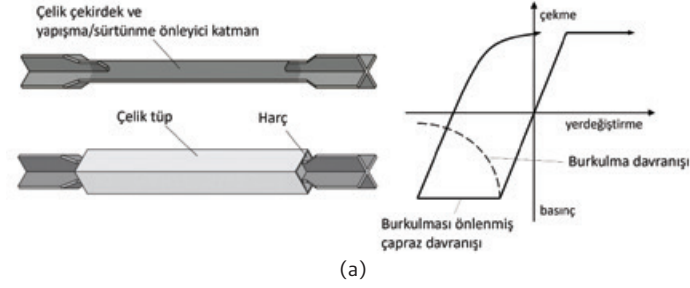
(b) Şevron konfigürasyonu ile viskoz sönümleyicili güçlendirme uygulaması

rından dolayı hıza bağlı davranışa seri bağlı olduğu kabul edilen bir rijitlik sergilerler. Bundan dolayı bu sönümleyiciler kısmen yerdeğiştirmeye bağlılık da gösterebilir.

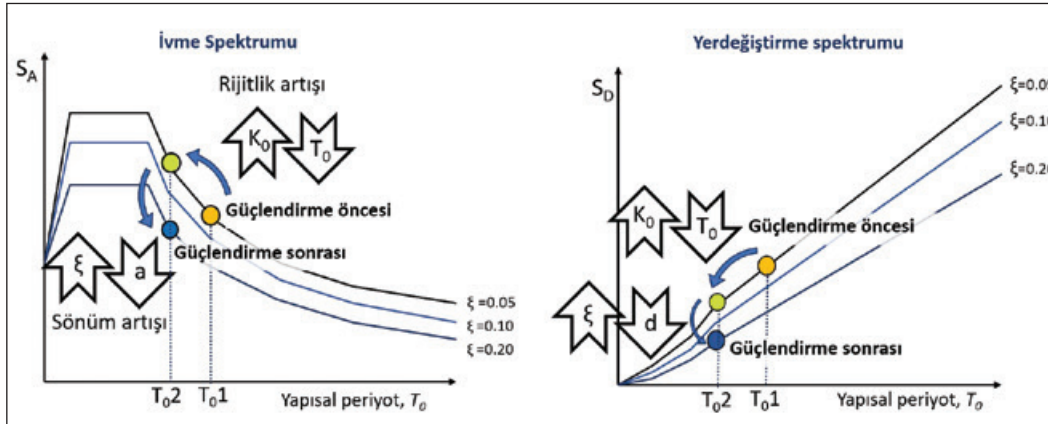
Bir viskoz sönümleyicinin çalışma prensibi, viskoz sıvı ile dolu ve basınç kontrollü bir hazne içerisindeki pistonun hareketi sırasında, viskoz sıvıyı haznenin bir tarafından diğerine, orifis olarak isimlendirilen küçük akış deliklerinden geçmeye zorlaması ve bu sırada kinetik enerjiyi yutarak bunu ısı enerjisine çevirmesine dayanır. Şekil 1'de örnek bir viskoz sönümleyicinin bileşenleri ve şevron



Şekil 2. Viskoz sönümleyicinin yapısal davranışa olan etkisi



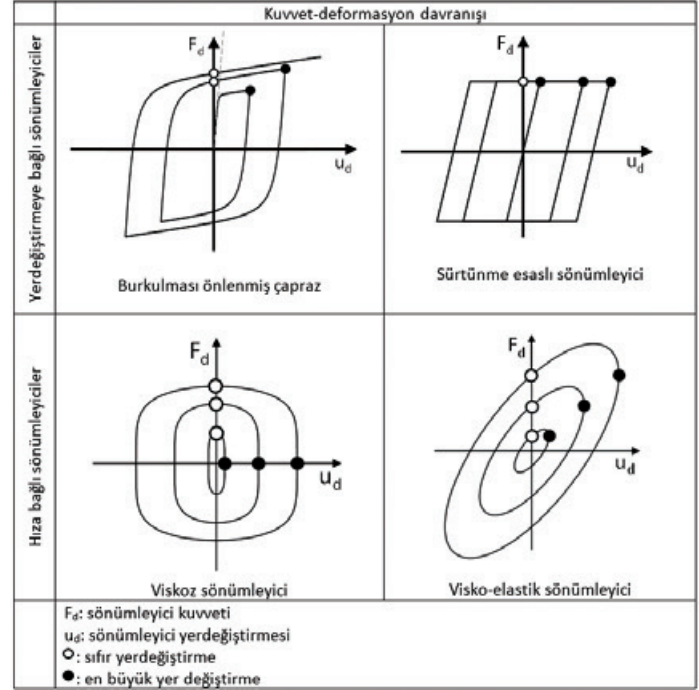
Şekil 3. (a) Burkulması önlenmiş çapraz bileşenleri ve çevrimsel davranışı (b) Çelik yapıda şevron konfigürasyonlu burkulması önlenmiş çapraz uygulaması



Şekil 4. Burkulması önlenmiş çaprazın yapısal davranışa olan etkisi

konfigürasyonlu (V şeklinde çapraz) bir güçlendirme uygulaması görülmektedir.

Bir binanın güçlendirmesinde viskoz sönümleyicinin yalnızca eşdeğer sönüm oranını (ξ) arttırdığı ve hiç rijitlik üretmediği kabulü ile ivme ve yerdeğiştirme tasarım spektrumları üzerindeki güçlendirme öncesi ve sonrasındaki durum Şekil.2'de görülebilir. Rijitliğin değişmemesi durumunda yapısal periyot sabit kalmakta; bu durumda



Şekil 5. Çeşitli sönümleyicilerin kuvvet-yerdeğiştirme davranışları

yalnızca eşdeğer sönüm oranındaki artışa bağlı olarak ilgili spektral ivme ve yerdeğiştirme değerlerinde oluşacak azalmalar kolaylıkla tespit edilebilmektedir.

Yerdeğiştirmeye bağlı sönümleyiciler, kuvvet-değiştirme ilişkisi büyük oranda yerdeğiştirmeye bağlı olan sönümleyici tipidir. Belirgin şekilde bu tür davranış gösteren iki sönümleyici tipi sürtünme esaslı sönümleyiciler

ve metal-çevrimsel esaslı sönümleyiciler olarak sıralanabilir.

Çevrimsel davranış gösteren sönümleyicilere iyi bir örnek olan burkulması önlenmiş çapraz sönümleyiciler uluslararası yönetmeliklerin bazılarında ana taşıyıcı sistemin bir parçası olarak tasarlanmakta ve kullanılmaktadır. Ancak burkulması önlenmiş çaprazlar, akma ve rijitlik değerleri yapı taşıyıcı sistemine göre

çok düşük ise ve yapı taşıyıcı sistemi yönetmeliklerdeki ilgili dayanım şartlarını sağlıyorsa yerdeğiştirmeye bağlı sönümleyici gibi kullanılabilirler. Burkulması önlenmiş çapraz sönümleyicinin tipik bileşenleri ve çevrimsel davranış özellikleri Şekil 3a'da, çelik bir binadaki uygulama örneği ise Şekil 3 b'de görülmektedir.

Burkulması önlenmiş çaprazlar yapıya hem rijitlik hem de sönüm ilave ettiği için ivme ve yerdeğiştirme spektrumu

"Sönümleyici sistemlerin ülkemizdeki uygulamalarının sınırlı sayıda kalmasının birçok nedeni olup bunların en başında, ülkemizdeki yapı tiplerine ve bu yapıların deprem taleplerine uygun bir tasarım yönetmeliğinin ya da uygulamada mühendisler tarafından kullanılabilir bir kılavuzun bulunmayışı gelmektedir."

üzerinde iki farklı değişikliğe neden olur. Öncelikle, artan rijitlikle beraber yapısal periyot küçüleceği için spektral tepkilerde değişiklikler meydana gelir. Yerdeğiştirme tepkileri periyotun küçülmesi ile birlikte mutlaka azalırken ivme tasarım spektrumunda azalan periyot hemen her durumda ivmenin artması anlamına gelmektedir. Bununla birlikte burkulması önlenmiş çaprazların eşdeğer sönüm oranını arttırması, tüm dinamik tepkileri küçültecektir. Sönüm oranındaki artış, özellikle de ivme spektrumunun platosu civarındaki küçük periyot bölgesinde ivmelerde önemli miktarda azalma sağlar. Şekil 4'te burkulması önlenmiş çaprazlı bir güçlendirme uygulamasına ait örnek ivme ve yerdeğiştirme tasarım spektrumları üzerinde, güçlendirme öncesi ve sonrasındaki durum görülebilir.



Şekil 6. Sürtünme esaslı sönümleyicilerle dışarıdan güçlendirme uygulaması

Uygulamada sıkça kullanılan bazı sönümleyici türlerinin teorik kuvvet-yerdeğiştirme grafikleri Şekil 5'te gösterilmektedir.

Depreme karşı güçlendirmede sönümleyiciler

Dünyada hem yeni yapıların deprem tasarımında hem de mevcut yapıların deprem güçlendirmesi amacı ile sönümleyicilerin kullanıldığı birçok yapı örneği bulunmaktadır. Literatürde, bu yapıların analizi, tasarımı ve detaylandırılmasında kullanılmak üzere uluslararası kabul görmüş yönetmelikler, tasarım önerileri, proje örnekleri ve bu kaynakları destekleyen bilimsel çalışmalar mevcuttur.

Yönetmelikler açısından bakıldığında Amerikan ASCE 7-22, ASCE 41-17 standartlarında sırasıyla sönümleyicilerin, yeni yapıların deprem tasarımı ve mevcut yapıların güçlendirilmesi için kullanımı ile ilgili detaylı bölümler mevcuttur. Avrupa EN 15129 standardı deprem yalıtımı ile beraber genel olarak depreme karşı kullanılan tüm cihazların bulunduğu yapıların tasarımına ilişkin temel tasarım esaslarını kapsamaktadır ve ayrıca bu cihazların sağlanması gereken mekanik şartları detaylı olarak içermektedir. Yapısal tasarım ile ilgili esaslar, Amerikan yönetmeliklerine göre daha az detaylı olmakla beraber, söz konusu cihazlar ile ilgili şartlar daha detaylıdır. Avrupa EN 1998-1 standardında sönümleyicili yapıların deprem tasarımı ile ilgili bir bölüm bulunmamaktadır. Japon bina yönetmeliğinde sönümleyiciler hakkında özel bir bölüm bulunma-



Şekil 7. Burkulması önlenmiş çaprazlarla güçlendirme uygulaması

maktadır ancak JSSI Pasif Kontrol Kılavuzu, sönümleyicili binaların tasarım şartları hakkında detaylı bilgi ve örnek uygulamalar içermektedir.

Sönümleyici sistemlerin ülkemizdeki uygulamalarının sınırlı sayıda kalmasının birçok nedeni olup bunların en başında, ülkemizdeki yapı tiplerine ve bu yapıların deprem taleplerine uygun bir tasarım yönetmeliğinin ya da uygulamada mühendisler tarafından kullanılacak bir kılavuzun bulunmaması gelmektedir. Bununla birlikte son yıllarda ülkemizin çeşitli bölgelerinde meydana gelen depremlerin de etkisiyle sönümleyicili güçlendirme uygulamaları hızla artmaktadır. Özellikle de deprem sırasında ve sonrasında faaliyetlerine kesintisiz şekilde devam etmesi beklenen sanayi tesisi, ofis veya sağlık kuruluşu türü binalarda bu tür yenilikçi güçlendirme yöntemleri yaygınlaşmaktadır. Ülkemizdeki bir üretim tesisinin, içerideki faaliyetler aksamadan ve yalnızca dışarıdan ilave edilen sürtünme esaslı sönümleyicilerle güçlendirme uygulaması Şekil 6'da ve yine ülkemizde son zamanlarda gerçekleştirilen bir ofis binasının burkulması önlenmiş çaprazlar ile güçlendirme uygulaması ise Şekil 7'de görülmektedir. Her iki uygulamada da sönümleyiciler ile mevcut yapı sistemi arasındaki bağlantı, özel disk başlıklı ankrajlar ile gerçekleştirilmiştir. Disk başlıklı ankrajların ülkemizdeki yapı stokuna ve uygulamalara uygun şekilde geliştirilmesi amacıyla kesme ve çekme dayanımı konusundaki deneyler, teknolojinin Japon ve Türk ortaklarının girişimiyle, TÜBİTAK destekli bir araştırma projesi olarak İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir (Sütcü F. vd. (2021))

Sonuç ve değerlendirme

Sönümleyiciler, doğru ve etkin şekilde uygulandığında, yüksek deprem performansı, maliyet ve yapının kullanım durumundayken uygulama imkânı tanınması gibi avantajları dolayısıyla konvansiyonel güçlendirme yöntemlerine göre önemli bir alternatif sunmaktadır (Sütcü F. vd. (2020), Takeuchi T. vd. (2017)).

Son dönemde yapılan bilimsel araştırma ve uygulama tecrübelerini esas alarak ülkemizde yapıların depreme dayanıklı tasarımı ve güçlendirilmesinde sönümleyicilerin kullanılması için TBDY 2018 ve ülkemiz mühendislik uygulamaları ile uyumlu olduğu düşünülen temel tasarım esasları hakkında ilgili kamu kurumlarının da desteğiyle bir hazırlık çalışması başlatılmıştır. Bu çalışma kapsamında sönümleyiciler ve sönümleyicili yapıların deprem tasarımında kullanılan temel yöntemler hakkında bilgi derlenmiş, Amerika, Avrupa yönetmelikleri ve Japon tasarım kılavuzunda

"Sönümleyiciler, doğru ve etkin şekilde uygulandığında, yüksek deprem performansı, maliyet ve yapının kullanım durumundayken uygulama imkânı tanınması gibi avantajları dolayısıyla konvansiyonel güçlendirme yöntemlerine göre önemli bir alternatif sunmaktadır."

bulunan tasarım esasları ve yöntemler özet olarak açıklanmıştır. (Yıldırım S. vd. (2019), Erkuş B. vd. (2019)) Bu bilgilere dayalı olarak ülkemizde kullanılması önerilen tasarım esasları ve analiz yöntemleri önerisi sunulmuştur. Deprem yönetmeliğinin yeni iterasyonlarında önerilen temel tasarım esaslarının geliştirilerek kapsamlı bir bölüm halini alması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR:

1. Taylor Devices Inc. (2022), Fluid Viscous Dampers General Guidelines for Engineers, Edition 3.21
2. Sütcü F., Bal A., Fujishita K, Matsui R., Celik O.C., Takeuchi T. (2020) Experimental and Analytical Studies of Sub-standard RC Frames Retrofitted with Buckling-Restrained Braces and Steel Frames. Bulletin of Earthquake Engineering, 18(5), 2389-2410
3. Takeuchi T., Wada A., Matsui R., Sittler B., Lin P.C., Sütcü F., Sakata H., Qu Z., (2017) "Buckling-Restrained Braces and Applications" Published by Japanese Society of Seismic Isolation. ISBN: 978-4-909458-01-8
4. Sutcu F., Keles F., Naruse T. (2021) Experimental Studies on Shear Capacity of Disc Anchors in Low Strength Concrete, 17th World Conference on Earthquake Engineering - 17WCEE, Paper no: 3e-0024, Tokyo, Japan
5. ASCE 7-22 (2016). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. ASCE/SEI 7-22. American Society of Civil Engineers.
6. ASCE 41-17 (2017). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, ASCE/SEI 41-17. American Society of Civil Engineers.
7. EN 15129 (2018). Anti-seismic Devices. European Committee For Standardization. Brussels, Belgium.
8. EN 1998-1 (2004). Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance - Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings. European Committee For Standardization. Brussels, Belgium.
9. JSSI Manual, (2003) Design and Construction Manual for Passively Controlled Buildings, Japan Society of Seismic Isolation (JSSI), Japan.
10. Yıldırım S., Güler M.D., Özer C., Sütcü F., Alhan C. Erkuş B. (2019) Sönümleyicili Yapıların Deprem Tasarımı, Bölüm I: Uluslararası Yönetmeliklerin İncelenmesi International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (5ICEES) 8-11 Ekim 2019, ODTÜ Ankara Türkiye
11. Erkuş B., Yıldırım S., Güler M.D., Özer C., Sütcü F. Alhan C. (2019) Sönümleyicili Yapıların Sismik Tasarımı, Bölüm II: Türkiye Uygulamaları İçin Tasarım Esasları Önerisi International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (5ICEES) 8-11 Ekim 2019, ODTÜ Ankara Türkiye