

SÖNÜMLEYİCİLİ YAPILARIN SİSMİK TASARIMI, BÖLÜM II: TÜRKİYE UYGULAMALARI İÇİN TASARIM ESASLARI ÖNERİSİ

Erkuş B.¹, Yıldırım S.², Güler M.D.³, Özer C.⁴, Sütçü F.⁵ ve Alhan C.⁶

¹Dr. Öğr. Üye., İnşaat Müh. Böl., İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

²Yük. Müh. Promer Müh. ve Müh., İstanbul

³Yük. Müh., Neosis Müh., İstanbul

⁴Yük. Müh., Statica Müh., İstanbul

⁵Dr. Öğr. Üye., Deprem Müh. ve Afet Yön. Enst., İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

⁶Prof. Dr., İnşaat Müh. Böl., İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, İstanbul

E-Posta: syildirim@promerengineering.edu.tr

ÖZET:

Bu bildirinin ikinci bölümünde, ülkemizde henüz bir yönetmeliği ya da bir tasarım kılavuzu bulunmayan sönümleyici sistemler içeren yapıların sismik tasarımı için ülkemizdeki uygulamalara yönelik olarak tasarım esasları, analiz yöntemleri ve temel yapı ve sönümleyici tasarımı konularını içeren bir öneri sunulmuştur. Dünyada hem yeni yapıların sismik tasarımı, hem de mevcut yapıların sismik güçlendirmesi amacı ile sönümleyici kullanılan 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. Ülkemizde ise sönümleyici uygulamaları sınırlı seviyede kalmış olmakla beraber, son yıllarda mühendislik uygulamalarında özellikle mevcut yapıların deprem etkileri altında performansının geliştirilmesinde sönümleyici sistemlerin kullanımı yapı mühendisleri tarafından değerlendirilmektedir. Doğru ve etkin şekilde uygulandığında, sismik performans, maliyet ve saha uygulaması açısından konvansiyonel güçlendirme yöntemlerine göre önemli bir alternatif olan sönümleyici sistemlerin ülkemizdeki uygulamaları sınırlı seviyede kalmasının farklı nedenleri mevcut olup, bunların en başında, ülkemizdeki yapı tiplerine, mühendislik uygulamalarına mevcut deprem ve yapı yönetmeliklerine uyumlu bir yönetmeliğin, bir tasarım kılavuzunun ya da buna benzer, uygulamada mühendisler tarafından kullanılabilir bir kaynağın bulunmayışı gelmektedir. Bu çalışma ile kısa vadede mühendislerin sönümleyici sistemleri içeren yapıların tasarımında kullanımlarına yardımcı olunması, uzun vadede ise hazırlanması olası bir ulusal yönetmelik için bir öneri/altlık oluşturulması hedeflenmektedir. Bildirinin ikinci bölümünde, Türkiye’de sönümleyici uygulamalarında izlenmesi olası yöntemler ve tasarım yaklaşımları, Türk Yönetmeliklerinin sönümleyici tasarımı ile ilgili olabilecek bölümleri ve tasarımı veya hem tasarımı hem de inşası tamamlanmış projeler de incelenerek belirlenmiştir. Tüm çalışma sonunda sönümleyici sistemleri içeren yapıların Türkiye’deki uygulamaları için bir tasarım esasları önerisi sunulmuştur. Bu çalışmadan sonra, tasarım esaslarının daha detaylı hale getirilmesi, bu esaslar kullanılarak proje örnekleri hazırlanması ve yorum ve öneriler için mühendislere ve akademik camiaya sunulması hedeflenmektedir. Bu çalışmanın, ülkemizde sönümleyici sistemlerin uygulamalarında karşılaşılan önemli bir eksikliği kapatacağı düşünülmektedir.

ANAHTAR KELİMELELER: sönümleyici, deprem, yönetmelik, tasarım esasları.

SEISMIC DESIGN OF STRUCTURES WITH DAMPERS, PART II: A PROPOSAL FOR DESIGN BASIS FOR APPLICATIONS IN TURKEY

ABSTRACT:

In the second part of this paper, a proposal for the design basis, analysis methods and basic structure and damper design of structures with damping systems considering applications in Turkey, where a relevant structural design code or guideline is currently not available. There are many examples of structures in the world, where dampers are used in new structures or seismic retrofit of existing structures. In the literature, there are structural codes that are widely accepted, design recommendations and example projects regarding

the analysis, design and detailing of such structures and academic work that supports this literature. In Turkey, although actual applications are still limited, utilization of damping systems are increasingly being evaluated by structural engineers, particularly for seismic performance improvement of existing structures. There are several reasons for the limited applications of damping systems in Turkey although these systems can be a sound alternative, in terms of performance, economy and applicability, to conventional retrofit schemes. One of the most important of these reasons is that there are no structural code, design guide or similar technical resource compatible with current Turkish seismic and structural code that can be used by practicing engineers. This study aims to support the engineers for the design of buildings with damping systems in short term and aims to set a proposal/template for a possible future design standard that can be amended to the Turkish Seismic Code. In the second part of this paper, methods for damper applications and design approaches that can possibly be applied in Turkey considering the relevant sections of current Turkish Seismic Code and investigating the Turkish projects that are both completed or only designed. In overall, a design basis is proposed for the structures with damping systems in Turkey. After this study, further detailing and development of the proposed design basis, preparation of project design examples using this basis and presentation of the complete study to the engineering community and academia is considered. It is believed that this paper will fill an important void regarding the application of damping systems in Turkey.

KEYWORDS: dampers, earthquakes, code, design principles.

1. GİRİŞ

Bu çalışmanın ilk bölümünde, uluslararası yönetmelikler incelenmiş ve sönümleyicili yapıların deprem tasarımı için kullanılan tasarım esasları, izlenen yöntemler ve temel kriterler özetlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, hem bu yönetmeliklerin ışığında hem de yazarların Türkiye'deki uygulama tecrübelerine dayanarak (Yıldırım vd. 2013, 2015a, 2015b, Özer 2014) tasarım esasları önerilmiştir.

2. GENEL TASARIM YAKLAŞIMI

Sönümleyici yönetmelikleri incelendiğinde, temel olarak iki farklı yaklaşımdan söz etmek mümkündür. Birinci yaklaşımda sönümleyici sistemi, belli bir deprem performansı göstermesi beklenen ve yönetmeliklere göre tasarlanıp detaylandırılan sünek ana deprem taşıyıcı sistemine ek sönümleme katkısında bulunmaktadır ve sönümleyicinin katkısı sınırlandırılmıştır. Bir başka deyişle, sönümleyici olmadan da yapının “yeterli performansa yakın” bir performans göstermesi beklenebilir ve sönümleyici bir tür performans artırıcı vazifesi göstermektedir. Amerikan yönetmeliklerindeki yaklaşım bu şekildedir. Yeni yapılacak sönümleyicili yapılarda ana deprem taşıyıcı sisteminin, deprem taleplerinin en az %75'ine denk gelen dayanıma sahip olması ve yeni ve mevcut yapılar için ana taşıyıcısı sisteminin iyi tanımlanmış yük yoluna sahip olması şartları açıkça bu yönde bir tasarımı gerektirmektedir.

Yukarıda açıklanan yaklaşım hem Avrupa yönetmeliklerinde hem de Japon yönetmeliklerinde bulunmamaktadır. Özellikle Japonya'da sönümleyici uygulamalarında tümleşik yapının yönetmelikleri sağlaması yeterli olmaktadır. Buna örnek olarak Japonya'daki bazı yüksek bina uygulamaları gösterilebilir. Yüksek bina sınıfına girebilecek bazı yapılarda (örnek: 50 katlı betonarme yapılar) moment taşıyıcı çerçeve sisteminin ana deprem taşıyıcı sistem olarak kullanıldığı, bu sisteme ek olarak kat kayma yerdeğiştirmeleri altında etkin çalışan sönümleyicilerin uygulandığı bilinmektedir. Yapının sönümleyicisiz halinin (çerçeve sistem) tek başına deprem yükleri altında etkin bir sistem olmayacağı açıktır. Benzer bir yapının diğer yaklaşım ile tasarlanması durumunda bir perde sistemi kullanılması nerede ise zorunlu olacaktır.

Ülkemiz için bu yaklaşımlardan ilkinin daha uygun olduğu düşünülmektedir. Sönümleyicili yapıların hem tasarımı hem de inşası konvansiyonel yapılara göre daha zordur. Ülkemizde mühendislik hizmetleri ve uygulamadaki inşaat kalitesi gelişmiş ülkelere göre nispeten daha düşüktür. Ülkemizde sönümleyiciler üzerine deneysel, nümerik ve analitik akademik araştırmalar yok denecek kadar azdır. Ayrıca, ülkemizde sönümleyici üreticileri bulunmamaktadır ve buna bağlı olarak dışa bağımlılık mevcuttur. Bu nedenlerden dolayı ana deprem taşıyıcı sisteminin iyi tanımlanmasının ve sönümleyicisiz olması durumunda da belli bir dayanıma sahip olacak şekilde tasarlanmasının ülkemiz için daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Bu bakış açısının sonucu olarak yeni yapılarda ana deprem taşıyıcı sistemi en az, öngörülen bir dayanım seviyesine göre tasarlanmalı ve sönümleyici tarafından sağlanan katkı sınırlandırılmalıdır. Ana deprem taşıyıcı sistemi sönümleyicisiz durumda düzensizlik şartlarını sağlamalı ve sönümleyiciler düzensizlikleri gidermek için kullanılmamalıdır. Sönümleyiciler yapının rijitliğinde, periyodunda ve bunlara bağlı olarak ana deprem taşıyıcı sisteminin davranışında büyük değişikliklere neden olmamalıdır. Sonuç olarak sönümleyicilerin ana amacı, ana taşıyıcı sistemin bir elemanı olmaktan çok, yapıya ek sönümleme katkısında bulunmak olmalıdır.

Benzer şekilde mevcut yapıların güçlendirilmesinde, mevcut yapının dayanım ve sünekliği çok düşük seviyede ise yapının dayanım ve sünekliği konvansiyonel yöntemler ile artırılarak öngörülen bir seviyeye çıkarılmalıdır. Böyle bir durumda sönümleyiciler ile yüksek sönümleme değerleri elde etmek sureti ile deprem kuvvetlerine azaltarak, çok düşük dayanım ve sünekliğe sahip bir yapının yönetmeliklerde öngörülen performans hedeflerini sağlamasına izin verilmemelidir.

Bu amaçla mevcut yapıların güçlendirilmesinde, yeni yapılara benzer olarak bazı temel prensiplerin sağlanması önerilmektedir. İlk olarak, mevcut yapı taşıyıcı sistemdeki olası temel sorunlar giderilmelidir. Bunlara örnek olarak, zayıf düğüm noktaları, korozyon, düzensizlik, ana taşıyıcı elemanlarında yerleşimde yetersizlikler gösterilebilir. Benzer şekilde, dayanım ve rijitlik açısından yetersizlikler giderilmelidir. Bu amaçla yeni yapılarda olduğu gibi, yapının doğrusal kaldığı öngörülen bir deprem seviyesinde ana deprem taşıyıcı sistem dayanımının en az, toplam talebin belli oranı seviyesinde olması önerilmektedir. Benzer şekilde sönümleyici sisteminin yaptığı sönümleme katkısı da sınırlandırılmalıdır.

Sönümleyicili yapı tasarım ve güçlendirme projesinin hazırlanmasında doğrusal hesaplar kullanılırken, hem yapının hem de sönümleyicilerin performansı teyit edilmelidir. Bu amaçla en büyük deprem seviyesinde yapının en az göçme öncesi performans gösterdiği, sönümleyicilerin etkin çalıştığı ve sönümleyici bağlantılarının hasar almadığı gösterilmelidir. Sönümleyicilerin yapı içerisinden yayılı olması, özellikle hıza bağlı sönümleyicilerin gerçek davranışının en etkin dinamik analizler ile anlaşılıyor olması gibi nedenlerden dolayı en büyük deprem seviyesinde yapılacak çalışmaların doğrusal olmayan zaman-tanım analizleri ile yapılıyor olması önerilmektedir.

Yeni ve mevcut yapılarda yukarıda özetlenen temel prensipleri sağlamak için iki aşamalı bir yaklaşım uygun olmaktadır. İlk aşamada, yapının doğrusal kaldığı bir deprem seviyesinde yapının tasarımı yapılması veya güçlendirme projesinin hazırlanması, ancak bunları yaparken ana deprem taşıyıcı sistem ve sönümleme katkısı ile ilgili olarak yukarıda açıklanan şartların sağlanması önerilmektedir. İkinci aşamada ise en büyük deprem seviyesinde tasarımın ya da güçlendirme projesinin en az göçme öncesi performans gösterdiği, sönümleyicilerin etkin çalıştığı ve sönümleyici bağlantılarının ve benzeri kuvvet kontrollü elemanların hasar almadığı doğrusal olmayan zaman-tanım alanı analizleri ile gösterilmelidir. Bildirinin sonraki bölümlerde bu iki aşamalı yaklaşım yeni yapıların tasarımı ve mevcut yapıların güçlendirilmesi için açıklanmıştır.

3. YENİ YAPILARIN SÖNÜMLEYİCİLER İLE SİSMİK TASARIM ÖNERİSİ

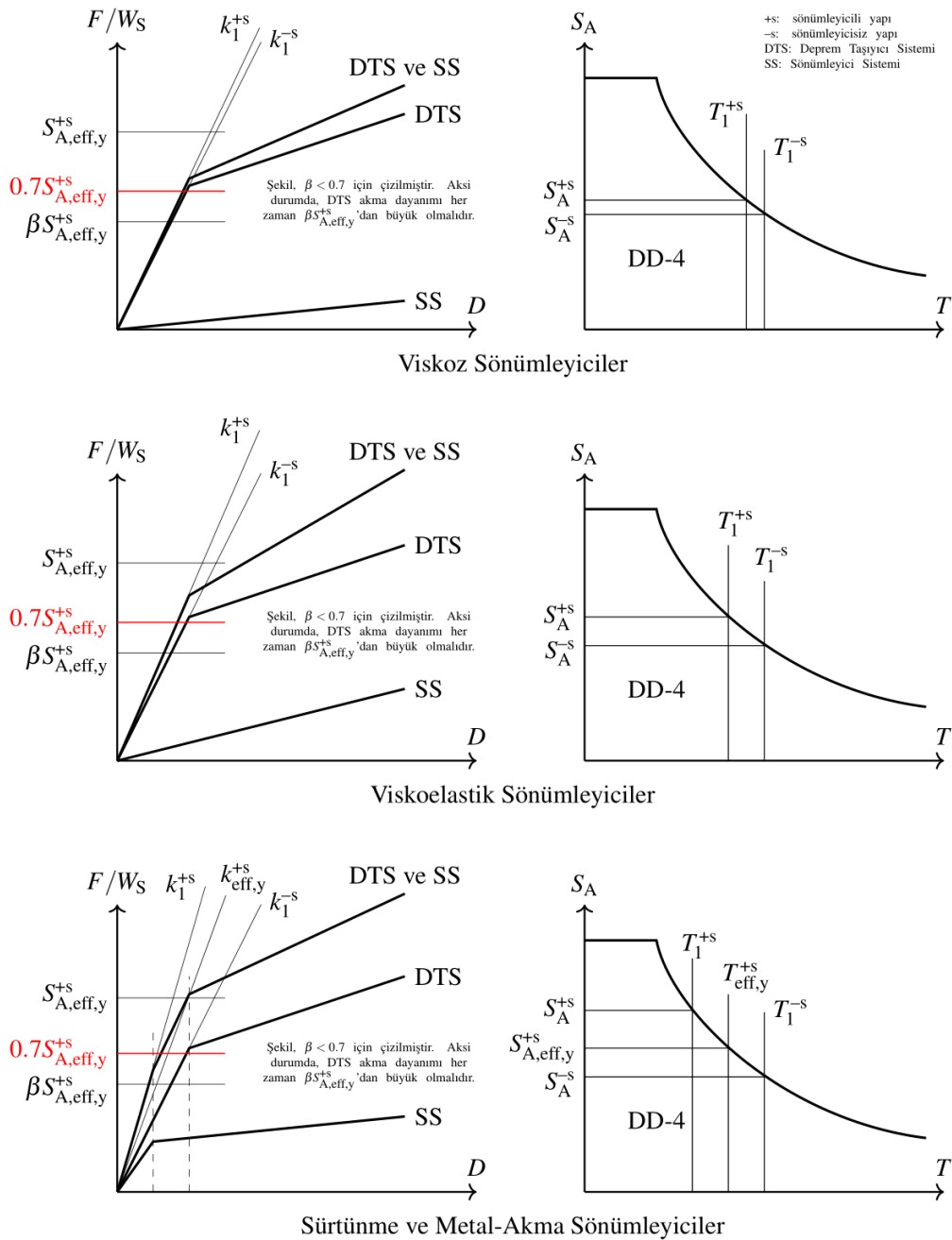
Sönümleyicili yeni yapıların tasarımı için önerilen tasarım aşamaları bu bölümde açıklanmış ve ilgili konular Şekil 1’de kuvvet-yerdeğiştirme ve ivme spektrumu üzerinden gösterilmeye çalışılmıştır.

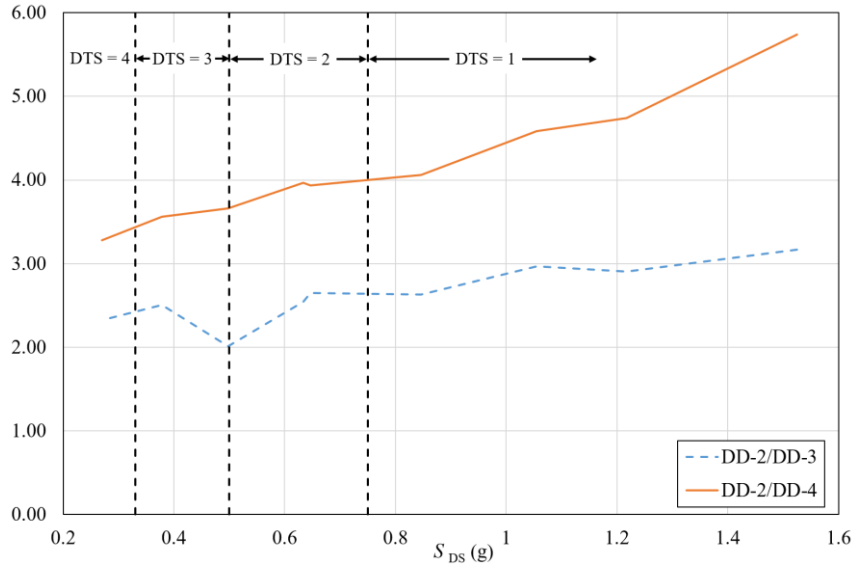
3.1. Birinci Aşama – Tasarım

Sönümleyicisiz yapı tasarımında (boyutlandırma ve detaylandırma) kullanılan ve yapının doğrusal davrandığı kabul edilen kuvvet seviyeleri, DD-2 deprem seviyesi kuvvetlerinin deprem azalma katsayısına bölünmesi ile bulunmaktadır. ASCE 7 yönetmeliği sönümleyici yapıların tasarımında kullanılacak ve yapının doğrusal kaldığı kabul edilen kuvvet seviyelerinin hesabı için de DD-2 seviyesini baz almaktadır. Ancak deprem azaltma katsayıları kullanılmamakta, kapasite spektrum yöntemi kullanılarak doğrusal kuvvetler bulunmaktadır. Bu yöntem, doğrusal analizleri ve sönümleyici davranışını çok karmaşık bir hale getirmektedir. Bundan dolayı ilk aşamada DD-2 deprem seviyesi ve kapasite spektrum yaklaşımı yerine, yapının doğrusala yakın davranış gösterdiği bir deprem seviyesinin doğrudan kullanımının daha uygun olacağı düşünülmektedir. Yapının doğrusal analizlerinde kullanılması için TBDY 2018’de tanımlanan deprem seviyelerinden DD-4 seviyesi önerilmektedir. DD-4 deprem seviyesinin yapının doğrusal davrandığı bölgeyi ifade etmesinin uygunluğu hakkında iki gözlem yapılmıştır. Birincisi TBDY 2018’de Tablo 3.4 (b)’de DD-4 deprem seviyesinde Deprem Tasarım Sınıfının (DTS) 1, 2, 3, 3a ve 4a olduğu yüksek yapılar için yapı performans

seviyesi Kesintisiz Kullanım (KK) olarak tanımlanmıştır. KK seviyesi yapının doğrusala yakın davranış gösterdiği seviyedir ve dayanıma göre tasarım (DGT) yöntemlerinin takip edilmesi durumunda bu hedefin sağlandığı kabul edilmektedir.

Diğer bir gözlem DD-4 deprem seviyesinin DD-2 deprem seviyesi ile karşılaştırılması ile yapılmıştır. (Şekil 2). Bu şekilde verilen bir bölgede DD-2 deprem seviyesi spektral ivme değerleri DD-4 seviyesine oranı bulunmuştur (benzer çalışma birden fazla bölge için yapılmış olup, benzer sonuçlar elde edildiğinden sadece bir şekil gösterilmiştir). Bu oranlar, yaklaşık olarak TBDY 2018 farklı taşıyıcı sistem deprem azaltma katsayıları ile karşılaştırılabilir. Görüldüğü üzere örnek olarak DTS = 1 bölgesi için DD-2/DD-4 oranı 4 ile 6 arasında değişmektedir. Bu ise süneklik düzeyi karma sistemlere denk gelmektedir. Birinci aşamada yapı ile ilgili dayanım şartları düşünüldüğünde (deprem taşıyıcı sistemin doğrusal deprem kuvvetlerinin en az %70'ini sağlaması ve sünek elemanlar için EKO (etki-kapasite oranı) < 1.5 olması) deprem azaltma katsayılarının TBDY 2018 ile uyumlu olduğu görülmektedir. DD-4 deprem seviyesinin yapının doğrusal davranışını yansıtması açısından farklı taşıyıcı sistemlere ne kadar uygun olduğu ayrıca araştırılmalıdır.





Şekil 2. Farklı deprem seviyeleri için spektral ivme değerlerinin oranı

Birinci aşamada dayanıma göre tasarım yapılması önerilmektedir. Bundan dolayı yük kombinasyonları ve ortalama eksi bir standart sapma dayanımı ve malzeme faktörleri kullanılmalıdır. Dayanım kontrolü için kirişlerde $EKO < 1.5$, kolonlarda $EKO < 1.0$, kuvvet kontrollü elemanlarda $EKO < 1.0$ sağlanmalıdır.

Sönümleyiciler için nominal değerlerin kullanılması önerilmektedir. Normalde sönümleyici üst ve alt limitlerin kullanılması önerilebilir ancak ilk aşamada tasarımın kolaylığı açısından nominal değerlerin kullanılması, üst ve alt limitlerin ikinci aşamada kullanılması önerilmiştir.

Bu öneride birinci aşamada bina deprem taşıyıcı sistem dayanımının doğrusal kuvvetlerin en az %70'i kadar olması önerilmiştir. Yapıda TBDY 2018'de belirtilen A1, B1, B2 düzensizliklerinin olması durumunda %70 değeri %90'a çıkarılmalıdır. Bu oranlar ASCE 7'de sırası ile %75 ve %100'dür. %70 ve %90 değerleri, sonraki bölümde açıklanacağı üzere ikinci aşamada doğrusal olmayan zaman-tanım analizlerinin (DOZTA) zorunlu olması ve yukarıda açıklandığı üzere DD-4 deprem seviyesinin kullanılması nedeni ile önerilmektedir. ASCE 7'de bu analizlerin belli yapı tipleri için yapılma zorunluluğu bulunmamaktadır.

Bu hesaplar yapılırken, tümleşik yapının efektif rijitliği kullanılacaktır. Betonarme yapılar için deprem taşıyıcı sistemin rijitliği için servis durumundaki çatlamış kesit rijitliği kullanılabilir. Hıza bağlı sönümleyicilerde bu rijitlik tümleşik yapının rijitliğidir, ancak yerdeğiştirmeye bağlı sönümleyicilerde sekant rijitliktir. Tümleşik yapının rijitliği ya da efektif sekant rijitliği hıza bağlı sönümleyiciler (HBS) de dahil olmak üzere her tür sönümleyici için hesaplanmalıdır. Viskoz sönümleyicilerde sönümleyicinin kendisinde de rijitlik etkisi bulunmaktadır. Ayrıca sönümleyici bir çapraz ya da benzeri elemanlar üzerinden yapıya bağlı ise bu elemanların sönümleyici kuvveti altında yapıya rijitlik katkısı olacaktır. Bu katkı her ne kadar düşük seviyede de olsa, bazı yapılar için (örnek: yüksek yapılar) önemli olabilir ve modellenmelidir.

Bu aşamada eşdeğer sönüm hesabı konvansiyonel eşdeğer sönüm formülü ile yapılabilir. Ancak yapının içsel sönümlemesi %2 alınmalıdır. Ayrıca sönümleyicilerin yaptığı eşdeğer sönüm katkısı %30 oranını, sönüm azaltma katsayısı ise 1.8'i geçmemelidir. Sönüm azaltma katsayıları için ASCE 7'de ilgili bölümde verilen değerler kullanılabilir. Sönüm oranının sınırlandırılmasının nedeni, eşdeğer sönüm oranlarının düşük deprem seviyelerinde hassaslaşmasıdır. Dikkat edilirse, 1.8 oranı %55 oranında azalma denk gelmektedir ve bu değer %70'den büyüktür. Burada ek sönüm yapının ikinci aşamada daha yüksek performans göstermesine ve kat ötelemelerinin azalmasına katkıda bulunmaktadır.

İlk modlarda kütle katılım oranlarının yüksek olduğu yapılarda ilk mod için hesaplanan eşdeğer sönüm tüm modlar için kullanılabilir. Tavsiye edilen ilk mod katılım oranı %60 ve üstüdür. Aksi durumda her mod için ayrı ayrı eşdeğer sönüm hesabı yapılmalı ve spektral ivmeler her mod periyodu için ayrı ayrı azaltılarak hesaba dahil edilmelidir. Efektif rijitlik hesapları mod birleştirme analizleri sonucunda elde edilen yerdeğiştirmeler üzerinden yapılmalıdır. Her iki yönde farklı sönümleme değerleri elde edilmesi normal bir durumdur ve bu iki sönümleme için iki ayrı spektrum hesaplanmalı ve yönetmeliklerde izin verilen yöntemler ile yönsel mod birleştirme hesapları yapılmalıdır.

Yapıda düzensizlik kontrolleri deprem taşıyıcı sisteminin sönümleyicili ve sönümleyicisi halleri için ayrı ayrı yapılmalı ve her iki durum için tüm düzensizlik şartları sağlanmalıdır. Sönümleyiciler yapı düzensizliğini gidermek maksadı ile kullanılmamalıdır. Sönümleyici yerleşimi her katta ilgili yönde en az iki adet olmalı ve rijitlik merkezinin her iki tarafında eşit sayıda yerleştirilmelidir.

Sönümleyicilerin yapıya yaptığı rijitlik katkısı ve periyot etkileri sınırlandırılmalıdır. Bu amaçla sönümleyicisiz yapı periyodunun sönümleyicili yapı periyoduna oranının en fazla 1.5 olması önerilmektedir. Benzer şekilde, sönümleyicili yapıda her katın efektif rijitliği sönümleyicisiz yapı kat rijitliğinin 2.5 katını geçmemesi önerilmektedir. Rijitlik şartı periyot anlamında yaklaşık olarak 1.58 katsayısına denk gelmektedir. YBSlere sahip yapılarda her katta ilgili yönde sönümleyici akma kuvvetleri, kat dayanımının en fazla %50'si olması önerilmektedir. YBSlerde yapı ilk rijitliğine denk gelen periyotlar ile elde edilecek deprem kuvvetleri için sönümleyici bağlantı elemanları ve kuvvet kontrollü elemanlar kontrol edilmelidir.

3.2. İkinci Aşama – Yapı Performansının Teyit Edilmesi

İkinci aşamada DOZTA analizleri ile yapının göçme öncesi performans hedefini sağladığı gösterilmelidir. Bu amaçla, TDBY 2018’de belirtilen yöntemler ile deprem kayıtları seçilecektir. Bu kurallara ek olarak ölçekleme için kullanılacak periyot aralığı, sönümleyici üst sınır özellikleri kullanılmış olan $0.2T_{eff, ek}$ ve sönümleyici alt sınır özellikleri kullanılmış $1.5T_{eff, eb}$ kullanılmalıdır. Burada $T_{eff, ek}$ ve $T_{eff, eb}$ her iki deprem yönü için göz önüne alınan ve sönümleyici üst ve alt sınır özelliklerine denk gelen en küçük ve en büyük efektif periyotlardır.

Ortalama malzeme değerleri kullanılacaktır. Sönümleyici üst ve alt sınır değerler için değerlendirme ile ilgili olarak, yöntemin daha uygulanabilir olması amacı ile her iki sınır değer için kapsamlı analizler ve performans değerlendirmesi yapılmaması önerilmektedir. Önerilen alt veya üst sınır değerlerden birini seçilerek, hedef performansa ulaşıldığının gösterilmesi, diğer sınır değerlerin ise daha güvensiz bir durum yaratmadığının gösterilmesi yeterlidir. Bu amaçla en az iki deprem için ana taşıyıcı elemanlardan (kolon, perdelerden, bağ kirişlerinden çapraz) en düşük performansa sahip olanlardan birer adet kontrol edilmesi önerilmektedir.

HBS’den sıvı viskoz sönümleyiciler mekanik cihaz olduklarından üst ve alt limitler, sıvı özellikleri, sıcaklık etkisi, frekansa bağlılık ve sızıntı gibi nedenlerden dolayı belirlenmektedir ve (0.8, 1.25) değerleri önerilmiştir. Elastomer viskoelastik sönümleyicilerde üst ve alt limitler çevrim sayısına bağlılık, sıcaklığa bağlılık ve zamana bağlı olarak malzemede oluşabilecek etkiler gibi nedenlerden dolayı kullanılmaktadır ve (0.8, 1.25) olarak önerilmiştir. Hıza bağlı sönümleyicilerde bu değerler sönüm katsayısına ve rijitliğe uygulanacaktır.

YBS’deki olası davranış belirsizlikleri nispeten daha azdır. Metal-akma sönümleyicilerde çevrimsel davranış ve mekanik özellikleri çok iyi bilinen konvansiyonel çelik kullanılmış ve davranış deneyler ile çok iyi incelenmiş ve raporlanmış ise, bu çalışma neticesinde elde edilen değerler kullanılabilir, aksi takdirde (0.9, 1.1) değerleri önerilmektedir. Benzer şekilde sürtünmeye bağlı sönümleyiciler için eğer sönümleme davranış kararlı olduğu (örnek, çevrim sayısına, sıcaklığa, hıza ve frekansa ve yaşlanmaya az bağlılık) deneyler ile gösterilen özel teflon ya da polimer bazlı malzeme sürtünmesi ile elde ediliyor ise, davranıştaki belirsizlikler az olacaktır ve korozyon, yaşlanma etkiler gibi etkileri değerlendirmek için (0.9, 1.1) önerilmektedir. Çelik malzeme sürtünmesine dayalı sönümleyicilerin kullanılmasına, bu tip sürtünmenin ve elde edilen çevrimsel davranışın oldukça kararsız olmasından dolayı izin verilmemelidir.

DOZTA analizlerinde tüm sönümleyiciler davranışlarını en etkin yansıtan matematiksel modeller ile modellenmelidirler. Yapı sönümlemesi için %3 önerilmektedir. Modal ya da Rayleigh sönümleme kullanılabilir. Rayleigh sönümleme kullanılacaksa, kütle katılım oranının %90 olduğu mod seçilerek birinci mod ve o mod için ikinci mertebe Rayleigh sönümlemesi kullanılarak hesap yapılabilir.

İkinci aşamada DOZTAların zorunlu olması ile beraber, TDBY 2018’e uyumlu olması açısından bazı basitleştirmeler yapılması önerilmektedir. Bina yükseklik sınıfının, $BYS > 5$ olduğu durumlar için ve düzenli yapılarda (A1, B1, B2 düzensizliklerinin oluşmaması durumu), her iki yönde etkin salınım modlarının kütle katılım oranının %80’i geçmemesi, birinci ve ikinci modların öteleme modları olması ve yönetmelikte öngörülen diğer şartların da sağlanması durumunda itme analizlerine bağlı performans değerlendirmesi yapılabilir. Bu durum önemli yapılar için de geçerli olmakla beraber, düzensizlik ve ilk mod katılımı ile ilgili kriterler ile ilgili bazı ek şartlar konulabilir. Ancak TDBY 2018’den farklı olarak sönümleyicilerin etkin çalıştığını göstermek, sönümleyici bağlantı elemanlarının ve kuvvet kontrollü elemanların göçmediğinin daha etkin irdelenmesi için aşağıda belirtilecek yöntem ile seçilecek iki deprem kaydı kullanılarak itme analizlerine ek olarak DOZTA ile performans değerlendirmesi yapılması önerilmektedir. Bu değerlendirmenin 11 adet deprem kaydı ile yapılacak değerlendirmeden tek farkı, değerlendirmenin depremler için ayrı ayrı yapılacak

olması ve en büyük değerlerin ortalamasının kullanılmıyor olmasıdır. Bunun dışındaki tüm tahkikler normalde yapıldığı gibi yapılmalıdır (tüm yapıda performans değerlendirilmesi ve sönümleyici bağlantılarının ve kuvvet kontrollü elemanların kontrolü gibi tüm kontrollerin yapılması). Hedef performansın sağlanmaması ve yapıda değişiklikler yapılması durumunda ilk aşamadan itibaren tüm hesaplar tekrarlanmalıdır.

İtme analizlerine ek olarak yapılacak DOZTA için iki deprem kaydının şu şekilde belirlenmesi önerilmektedir: DD1 deprem seviyesine ölçeklendirilmiş ya da uygunlaştırılmış 11 adet deprem kaydı ile doğrusal zaman tanım alanında analizler yapılacaktır. Bu analizler modal zaman-tanım analizleri olabilir; bu yüzden analizlerin mühendise ek bir yük getirmeyeceği düşünülmektedir. Bu analizlerde yapı efektif rijitliği kullanılacaktır. 11 deprem ile yapılacak doğrusal analizler ile her iki yönde ortalama taban kesme kuvveti bulunacaktır. Bu taban kesme kuvvetinin ve efektif rijitlik DD-1 spektrumunun kullanımı ile elde edilecek taban kesme kuvvetinin en büyük değeri her iki yön için seçilecektir. Doğrusal analizlerde taban kesme kuvveti en az bu değerler olan iki adet deprem kaydı (Tablo 1) seçilecektir. Bu seçim yapılırken ilgili yöne dik yöndeki taban kesme kuvveti o yönde hesaplanan taban kesme kuvvetinin en az %85'i olmalıdır (Tablo 1).

Tablo 1. DOZTA'nda kullanılacak deprem kayıtları için taban kesme oranı kriterleri

Deprem No	X-Yönü	Y Yönü
1	% 100	% 85
2	%85	%100

DOZTA ile yapılacak performans değerlendirmesinde, kuvvet kontrollü elemanlar, gevrek elamanlar, sönümleyici bağlantıları ve sönümleyicilerin ana deprem taşıyıcı sistemine taşınmasından sorumlu ve ana taşıyıcı sistemin bir parçası olmayan ve doğrusal kalması zorunlu olan elemanların kontrolünde analizlerden gelen kuvvetlerin 1.2 katı kullanılmalıdır. Ancak, akma sonrası kuvvetlerin pekleşme ya da benzeri bir davranış ile artmayacağı deneyler ile gösterilen sönümleyicilerde (örnek sürtünmeye dayalı sönümleyiciler) bu değer 1.1 olabilir.

Sönümleyicilerin hız ve yerdeğiştirme kapasiteleri, DOZTA ile elde edilen ortalama hız ve yerdeğiştirmelerin %30'undan fazla olmalıdır. Yapıda TBDY 2018'de belirtilen A1, B1, B2 düzensizlikleri olması durumunda bu değer %100 olmalıdır. Ötelemeler ikinci aşamada kontrol edilmelidir. Öteleme kontrolünde kullanılacak limit değerler, yönetmelikte verilen limitler değerlerin efektif periyotta DD-1 deprem spektral ivmesinin DD-2 deprem seviyesi oranı ile çarpılarak elde edilmelidir. ASCE yönetmeliğinde bu oran 1.5'dir ve ötelemenin en fazla 0.03 olması şartı ile beraber bazı ek şartlar vardır.

İkinci aşama DD-1 deprem seviyesinde yapılacak olan DOZTA ile yeterli performans gösteren eleman boyut ve detayları sadece bu analiz sonuçlarına göre güncellenmemelidir. Eğer eleman boyut ve detaylarında güncelleme/optimizasyon yapılacaksa, tüm hesaplar birinci aşamadan itibaren tekrarlanmalıdır.

3.3. Önemli Yapılar için Sönümleyiciler ile Sismik Tasarım Önerisi

Önemli yapılar ya da TBDY 2018'ye uyumlu olarak belirlenecek yapı grubu için daha yüksek performans kullanılmalıdır. Bu yapı tipleri için birinci aşamada DD-4 deprem seviyesi yerine DD-3 deprem seviyesi önerilmektedir. Birinci aşama ile ilgili yukarıda açıklanan şartlar ve yöntemlerde bir değişiklik olmayacaktır. İkinci aşamada ise DD-1 depreminde kontrollü hasar hedefi önerilmektedir ve birinci aşamada olduğu gibi yukarıda açıklanan şartlar ve yöntemlerde bir değişiklik olmayacaktır. Ancak, itme analizlerinin yapılmasına imkan tanıyan düzensizlik ve ilk mod koşullarında bazı sıkılaştırma yapılabilir.

4. MEVCUT YAPILARIN SÖNÜMLEYİCİLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Mevcut yapıların sönümleyiciler ile güçlendirilmesinde yukarıda açıklanan iki aşamalı yaklaşımın uygulanması bazı zorlukları içermektedir. İlk olarak, sönümleyici kullanımı konvansiyonel güçlendirme yöntemlerinden bazı farklılıklar içermektedir. Konvansiyonel güçlendirme yöntemlerinde (perde ekleme, mantolama, v.b.) hem yapı dayanımı hem de rijitliği artmaktadır. Ancak, sönümleyici ile amaç ana deprem taşıyıcı sistemin dayanımını, rijitliğini ve sünekliğini artırmaktan çok mevcut ve belli bir deprem

performansına sahip iyi durumdaki bir taşıyıcı sisteme ek sönümleme kabiliyeti katarak performansını arttırmaktır. Sönümleyiciler yapıya ek rijitlik katıyor olsalar da bu katkı bir güçlendirme katkısı değildir. Ancak, mevcut yapılarda sadece sönümleyicilerin kullanılması da, mevcut literatür ile uyumlu olması açısından, bu bildiri kapsamında “güçlendirme” olarak adlandırılmıştır.

İki aşamalı yaklaşımın mevcut yapılardaki uygulanmasındaki en önemli belirsizlik güçlendirilmiş mevcut yapının doğrusal davranışını tanımlayan dayanım kuvvetlerinin hangi mertebelerde olması gerektiğinin bilinmemesidir. Örnek olarak TBDY 2018’de mevcut yapılar için hedef performans DD-2 için KH olarak tanımlanmıştır. Ancak güçlendirme projesinin hazırlanmasında kullanılacak doğrusal analizler için herhangi bir deprem seviyesi önerilmemiştir. Bunun nedeni çok farklı süneklik özellikleri gösteren yapılarda bu seviyenin çok farklı olacağı, bu tip doğrusal analizler, n bir tür ön hesap olarak kullanılacağından, mühendisin tecrübesine bağlı olarak seçilebileceği, ancak güçlendirilmiş yapının en son halinin DD-2 deprem seviyesinde KH performans hedefini sağladığı doğrusal olmayan analizler ile gösteriliyor olması gerekmektedir.

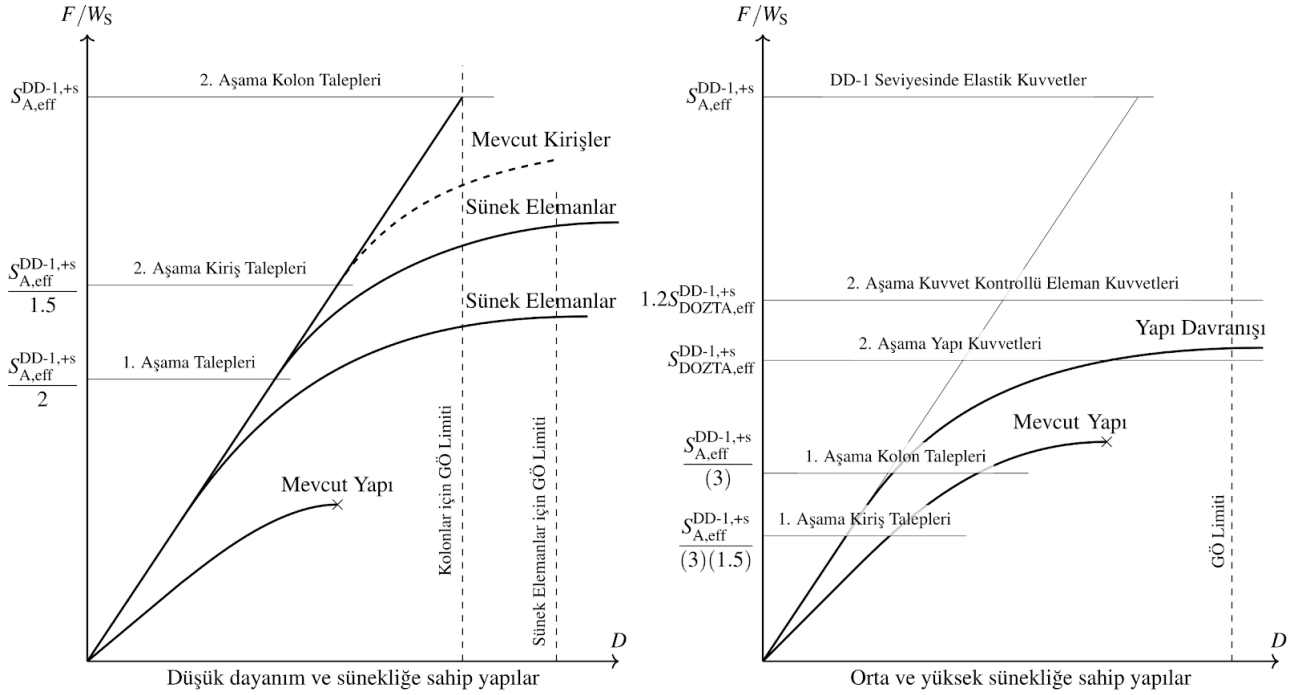
Sönümleyici yapılarda durum farklıdır. Ana deprem taşıyıcı sisteminde önemli problemler olan mevcut bir yapı hesaplar ile çok yüksek sönümlemeye sahip olacak şekilde bir tasarım yapılabilir. Yüksek sönüm sayesinde büyük oranda azalan deprem kuvvetleri altında yapının yönetmeliklerde öngörülen performans hedeflerini sağlandığı gösterilebilir. Ancak böyle bir yaklaşım uygun değildir ve uygulanmasına izin verilmemelidir. Ana deprem taşıyıcı sisteminde önemli problem olan mevcut bir yapıda sönümleyici kullanılacak ise, ilk önce ilgili problemler giderilmeli ve mevcut yapının sönümleyicisiz halinin yeni yapılara benzer şekilde belli bir performans göstermesi sağlanmalıdır. Ancak hangi deprem seviyesinde yapının doğrusal kalacağı ve bu kontrollerin yapılması gerektiği güçlendirilmiş mevcut yapılarda çok değişken olacağından tek bir deprem seviyesi önermek doğru olmayacaktır.

Bu konuya yönelik olarak Türkiye’deki mevcut yapı stoğu göz önünde bulundurularak doğrusal analizlerin ve ilgili tahkiklerin yapılacağı deprem seviyesinin belirlenmesi için bir sınıflandırma yaklaşımı önerilmiştir (Şekil 3, Tablo 2). Burada amaç, bu seviyedeki tahkikler ile mevcut yapının belli bir dayanım ve rijitlik seviyesine getirilmesini sağlamak, ancak bundan sonra sönümleyici uygulanmasına izin vermektir. Burada önerilen sınıflandırma ve yapıların doğrusal kalacağı kabul edilen deprem seviyeleri, yazarların ülkemizde yapmış olduğu sönümleyiciler ile güçlendirme çalışmalarında elde ettikleri tecrübelerle dayanılarak önerilmiştir ve daha detaylı çalışmalar ile teyit edilecek ve güncellenecektir. Benzer şekilde, burada belirtilen sınıflandırma için süneklik şartları detaylı olarak açıklanmamıştır ve ayrıca yapılacak bir çalışma ile önerilecektir.

Önerilen ilk sınıf yapı tipi dayanımı ve sünekliği düşük olan yapılardır. Ülkemizde mevcut yapı stoğunun önemli bir bölümünün betonarme, düşük süneklik detaylarına sahip, beton dayanımının nispeten düşük olduğu yapılar olduğu bilinmektedir. Bu yapıların konvansiyonel güçlendirmesinde perde eklenmesi, mantolama gibi yöntemler uygulanmaktadır. Ancak tüm yapı sünekliğinin büyük oranda artması mümkün olmamaktadır. Bu tip yapılarda ayrıca deprem taşıyıcı sisteminde problemler olabilir. Bu yapı sınıfı için ikinci aşamada DD-1 deprem seviyesi için GÖ performans hedefi sağlanmalıdır. İlk aşamada doğrusal analizler ile yapılacak değerlendirmeler için kullanılacak deprem seviyesinin DD-1 deprem seviyesinin yarısı olması önerilmektedir. Bu hesaplarda kullanılacak efektif periyot için (DD-1)/2 seviyesindeki deprem yüklerine denk gelen yerdeğiştirmeler kullanılmalıdır; ancak istenirse DD-1 seviyesine denk gelen efektif periyot ta kullanılabilir.

Önerilen ikinci sınıf yapılar, ilk sınıftaki yapılara göre daha sünek detayların kullanıldığı ancak TBDY 2018’de belirtilen yapı sınıflarına dahil olamayacak yapılardır. Bu yapılar için efektif rijitiğe denk gelen DD-1 deprem seviyesi kuvvetlerinin üçte birinin ve DD-4 deprem seviyesi kuvvetlerinin en büyüğü kullanılması önerilmektedir. Bu hesaplarda kullanılacak efektif periyot için (DD-1)/3 ve DD-4 deprem seviyelerinin en büyüğüne denk gelen yerdeğiştirmeler kullanılmalıdır; ancak istenirse DD-1 seviyesine denk gelen efektif periyot ta kullanılabilir.

Önerilen üçüncü sınıf yapı tipi DBYHY 2007 yönetmeliğine ya da TBDY 2018’e göre tasarlanmış yapılardır. Çeşitli nedenlerden dolayı bu yapılardan bazıları mevcut halleri ile yönetmelikleri sağlamamaktadır (örnek: düşük inşaat kalitesi). Bu yapıların ilk aşamada kullanılacak doğrusal analizler ve ilgili tahkikler için DD-4 deprem seviyesi önerilmektedir. Bu hesaplarda kullanılacak efektif periyot için DD-4 seviyesindeki deprem yüklerine denk gelen yerdeğiştirmeler kullanılmalıdır; ancak istenirse DD-1 seviyesine denk gelen efektif periyot ta kullanılabilir.



Şekil 3. Farklı süneklilik ve dayanıma sahip yapıların için önerilen davranış şekilleri

Tablo 2. Doğrusal analizlerde kullanılacak deprem seviyeleri ve efektif periyot hesapları

	Düşük Dayanım ve Süneklığe Sahip Mevcut Yapılar	Orta Dayanım ve Süneklığe Sahip Mevcut Yapılar	2007 ve 2018 yönetmeliklerine göre tasarlanmış yapılar
Doğrusal Hesaplar için Önerilen Deprem Seviyesi	(DD-1)/2	(DD-1)/3 ve DD-4'ün en büyüğü	DD-4
Efektif Periyot Hesabında Kullanılacak Yerdeğiştirmeler	(DD-1)/2 ya da DD-1 seviyesi yerdeğiştirmeleri	(DD-1)/3 ve DD-4 seviyelerinin en büyüğü ya da DD-1 seviyesi yerdeğiştirmeleri	DD-4 seviyesi ya da DD-1 seviyesi yerdeğiştirmeleri

Aşağıda ilk önce tüm mevcut yapılar için gerekli olmasının uygun olacağı düşünülen şartlar belirtilmiştir. Sonra yukarıda kısa açıklamaları verilen üç farklı mevcut yapı tipinde sönümleyiciler ile güçlendirme/performans artımı ile ilgili önerilen yöntem ve şartlar sunulmuştur. Tüm mevcut yapıların sönümleyiciler için güçlendirilmesinde uygulanması önerilen kurallar şunlardır:

- Betonarme yapılarda TBDY 2018'deki kriterlere ve yöneme göre hesaplanmış beton ortalama eksi bir standart sapma dayanımının en az 10 MPa olması önerilmektedir. Bundan daha düşük beton dayanımı için özellikle ankrajların kullanımı uygun olmamakta, ayrıca çaprazlı sönümleyici sistemi kullanılması durumunda kolon eksenel yükleri yüksek kalmaktadır.
- Betonarme yapılarda sönümleyici sisteminden betonarme elemanlara yapılan ankraj hesapları kapsamlı olmalıdır. Yapılması gereken ankraj hesapları ile ilgili olarak ayrıca bir çalışma yapılacaktır. Aşağıda belirtildiği üzere, sahadaki ankraj uygulamalarında, belli sayıda ankrajların çekme ve kayma için servis göçme dayanımları ölçülmeli ve hesaplarda yapılan kabuller teyit edilmelidir.
- Betonarme kolon ve perde eksenel yükleri sınırlandırılmalıdır. Deprem yüklü kombinasyonlar için $0.5A_c f_{ck}$ perdeler için $0.4A_c f_{ck}$ önerilmektedir.
- Ana deprem taşıyıcı sistemi sadece konsol kolonlardan oluşmuş yapılarda, her iki yönde diyafram etkisi yaratacak bir sistem kullanılmalı ve tüm kolonların üst noktaları bir diyaframa bağlanmalıdır. Bu diyaframın ya da diyaframların rijit davranış gösterecek mertebede rijitliği olması gerekmemektedir. Diyafram gerçek düzlem içi rijitliği ile modellenerek bu model ile elde edilen kuvvetlere göre DD-1'de kuvvet kontrollü eleman kabulü ile doğrusal kalacak şekilde tasarlanmalıdır. Diyafram tasarımı (boyutlar ve detaylar) uygulanabilirlik açısından makul değil ise, her iki yönde konsol kolonların bir bölümü çerçeve ya da benzer bir sistem ile üst noktalarından bağlanmalıdır. Bu

durumda, tüm çatı elemanları (örnek: aşıklar), birbirine üst noktalarından bağlı olan konsol kolon gruplarının görelî yerdeğıştirmeleri nedeni ile oluşacak kuvvetlere göre kontrol edilmelidir.

- Önüretimli betonarme yapılarda, bu yapılara özgün olan tüm yapısal problemler giderilmelidir (örnek, kolon kiriş bağlantılarında basit pin bağlantı kullanılması, diyafram kullanılmaması, kirişlerde devrilme problemleri)
- Çelik yapılarda, deneyleri yapılmak sureti ile sünek olduğu gösterilen bağlantılar dışında tüm bağlantıların kuvvet-kontrollü olduğu kabul edilmelidir. Çelik güçlendirme yapılacaksa, kullanılacak bağlantı detayları TBDY 2018’de verilen detay şartlarını sağlamalıdır.
- Temel tahkikleri her iki aşamada da yapılmalıdır.
- Betonarme yapılar için ilk aşamada deprem taşıyıcı sistemin rijitliği için servis durumundaki çatlamış kesit rijitliği kullanılabilir. İkinci aşamada ise doğrusal olarak modellenmiş elemanlarda DD-1 deprem seviyesine denk gelen daha düşük çatlamış kesit rijitliği kullanılabilir.

4.1. Düşük Süneklik ve Düşük Dayanıma Sahip Yapılar

Bu yapılara örnek olarak sünekliği çok düşük olan betonarme yapılar gösterilebilir (Şekil 3). Bu yapılarda etriye aralığı çok düşük olan kolon kirişlerin kullanılmıştır. Benzer şekilde TBDY208’de verilen sünek detaylara uyumlu olmayan ve çevrimsel/tersinir davranış altında sünekliği hakkında bilgi bulunmayan bağlantılara sahip çelik yapılar da bu sınıfa girmektedir.

4.1.1 İlk Aşama - Güçlendirme

Bu yapılar için DD-1 deprem seviyesi 2’ye bölünerek doğrusal istem bulunacaktır. Bu hesapta ilk başlarda sönümleyicisiz yapı periyodu kullanılabilir; ancak ilk aşama sonunda efektif periyotun kullanılmış olması gerekmektedir. Yapılacak doğrusal analizler, tahkikler ve sönümleyiciler ile ilgili tüm şartlar yeni yapıda belirtilen şartları sağlamalıdır. Yeni yapılardan farklı olarak, malzeme dayanımları ortalama eksi bir standart sapma dayanımı olmalı ve malzeme faktörleri kullanılmamalıdır. Bu şartlar kısaca aşağıda özetlenmiştir:

- Betonarme yapılarda TBDY 2018’deki kriterlere ve yöntemle göre hesaplanmış beton ortalama eksi bir standart sapma dayanımının en az 10 MPa olması önerilmektedir.
- Yapı en az hesaplanan doğrusal istemin %70’ini alacak şekilde güçlendirilmelidir. Düzensiz yapılarda bu oran %90 olmalıdır. Ortalama eksi bir standart sapma dayanımı malzeme faktörleri olmadan kullanılmalıdır. Kirişler için $EKO < 1.5$, kolonlar için $EKO < 1.0$, kuvvet kontrollü elemanlar için $EKO < 1.0$ olmalıdır.
- En büyük toplam eşdeğer sönümleme %30, sönüm azaltma katsayısı en fazla 1.8 (ya da $1/1.8 = 0.55$) olmalıdır.
- Hesaplarda efektif rijitlik kullanılmalıdır. Sönümleyiciler için nominal değerler kullanılabilir.
- Yapının sönümleyicisiz hali düzensizlik şartlarını sağlamalıdır.
- Sönümleyicisiz yapı periyodunun, efektif rijitliğe sahip yapı periyoduna oranı en fazla 1.5 olmalıdır.
- Sönümleyicili yapı kat efektif rijitliği, sönümleyicisiz yapı kat rijitliğinin 2.5 katını geçmemelidir.
- YBSlerde bir katta ilgili yönde sönümleyici akma kuvveti en fazla yapı kat dayanımının %50si olabilir.

4.1.2 İkinci Aşama – Yapı Performansının Teyit Edilmesi

Bu aşamada yeni yapılara benzer olarak DD-1 deprem seviyesine uygunlaştırılmış deprem kayıtları ile DOZTA kullanılması önerilmektedir. Ancak yapının düzenli olması durumunda yeni yapılar bölümünde açıklanan ve TBDY 2018’de izin verilen itme analizleri ve buna ek olarak iki deprem kaydı için DOZTA ve değerlendirmenin yapıldığı yöntem da kullanılabilir.

Sünekliği düşük olan mevcut elemanların doğrusal modellemesi uygun olabilir. Bu elemanlar için dayanım ve EKO üzerinden değerlendirme yapılmalıdır. Bu özellikteki kirişler için $EKO < 1.5$, kolonlar için $EKO < 1.0$ ve kayma gibi kuvvet-bazlı kuvvetler ve doğrusal kalması beklenen kuvvet kontrollü elemanlar için $EKO < 1.0$ olması önerilmektedir. Modellerde ortalama malzeme dayanımı kullanılmalıdır.

Sonradan eklenen ya da güçlendirilen elemanlarda süneklik kabiliyeti var ise bu elemanların doğrusal olmayan modellemesi ile plastik şekil değıştirmeler üzerinden konvansiyonel değerlendirme yapılabilir. Bu durumda bu elemanlar GÖ performansını göstermelidir. Bu aşamada çıkan kuvvet değerlerine bakılarak eleman boyut

ve detaylarında güncelleme ve optimizasyon yapılmamalı, ilk aşamadan itibaren tüm tasarım tekrarlanmalıdır. Yapı içsel sönümleme oranı %3 alınmalıdır.

4.2. Orta Sünekliliğe Sahip Yapılar

Bu yapılara örnek olarak plastik mafsallı bölgelerindeki etriye sıklığı nispeten yüksek olan ancak yapıldığı dönem itibarı ile beton dayanımı günümüz yapılara göre daha düşük olan betonarme yapılar gösterilebilir. Betonarme yapılarda TBDY 2018'deki kriterlere ve yöntemlere göre hesaplanmış beton ortalama eksi bir standart sapma dayanımının en az 10 MPa olması önerilmektedir. Benzer şekilde, detayları TBDY 2018'de verilen sünek detayları sağlamamakla beraber orta seviyede de olsa sünek davranış gösterebilecek çelik yapılarda bu sınıfta olduğu düşünülmüştür.

4.2.1 İlk Aşama - Güçlendirme

Bu yapı grubu için yapının doğrusal olması önerilen deprem seviyesi için DD-1 deprem seviyesi 3'ye bölünerek elde edilen değer ile DD-4 deprem seviyesinin yapının sönümleyicisiz halinin periyoduna denk gelen spektral ivmelerin en büyüğünün seçilmesi önerilmektedir. Bu hesaplarda ilk başta sönümleyicisiz yapı modeli kullanılabilir ancak aşama sonunda efektif rijitliğe denk gelen kuvvetler kullanılmalıdır. Yapı en az belirtilen istemin %70'ini alacak şekilde güçlendirilmelidir. Düzensiz yapılarda bu oran %90 olmalıdır. Ortalama eksi bir standart sapma dayanımı malzeme faktörleri olmadan kullanılmalıdır. Kirişler için $EKO < 1.5$, kolonlar ve perdeler için $EKO < 1.0$, kuvvet kontrollü elemanlar için $EKO < 1.0$ olmalıdır. Düşük sünekliliğe sahip mevcut yapılar için yukarıda özetlenen tüm şartlar bu yapı tipi için de önerilmektedir ve burada ayrıca verilmeyecektir.

4.2.2 İkinci Aşama – Yapı Performansının Teyit Edilmesi

Bu aşamada tüm yapının ve sönümleyicilerin doğrusal olmayan modeller ile modellenerek DOZTAlerine ve şekil değiştirmelere bağlı olarak performans değerlendirilmesine tabi tutulacaktır. Önceki bölümlerde açıklandığı gibi ilk modun çok etkin olduğu yapılarda itme analizleri ve buna ek olarak iki deprem kaydı için DOZTA ve değerlendirmenin yapıldığı yöntem de kullanılabilir. Bu aşamada TBDY 2018'deki yöntem ve kriterlere göre hesaplanmış ortalama malzeme dayanımları kullanılmalıdır.

4.3. Yüksek Sünekliliğe ve Dayanıma Sahip Yapılar

Üçüncü mevcut yapı tipi olan bu yapıların 2007 ve 2018 Deprem yönetmeliklerine göre boyutlandırılıp detaylandırıldığı kabul edilmiştir. Ancak farklı nedenlerden dolayı yapının bu yönetmelikleri sağlamadığı kabul edilmiştir. Betonarme yapılarda TBDY 2018'deki kriterlere ve yöntemlere göre hesaplanmış beton ortalama eksi bir standart sapma dayanımının en az 15 MPa olması önerilmektedir.

4.3.1 İlk Aşama - Güçlendirme

Bu aşamada yapının doğrusal davranış göstermesi beklenen deprem seviyesinin DD-4 olması önerilmiştir. Bu seviye, yeni yapılar için önerilen seviyedir. Yapı en az belirtilen istemin %70'ini alacak şekilde güçlendirilmelidir. Düzensiz yapılarda bu oran %90 olmalıdır. Ortalama eksi bir standart sapma dayanımı malzeme faktörleri olmadan kullanılmalıdır. Kirişler için $EKO < 1.5$, kolonlar ve perdeler için $EKO < 1.0$, kuvvet kontrollü elemanlar için $EKO < 1.0$ olmalıdır.

4.3.2 İkinci Aşama – Yapı Performansının Teyit Edilmesi

Bu aşamada tüm yapı ve sönümleyiciler doğrusal olmayan modeller ile modellenerek DOZTAlerine ve şekil değiştirmelere bağlı olarak performans değerlendirilmesine tabi tutulacaktır. Önceki bölümlerde açıklandığı gibi ilk modun çok etkin olduğu yapılarda itme analizleri ve buna ek olarak iki deprem kaydı için DOZTA ve değerlendirmenin yapıldığı yöntem de kullanılabilir. Bu aşamada ortalama malzeme dayanımları kullanılmalıdır.

5. MUHTELİF KONULAR

Sönümleyicili yapı tasarım ve güçlendirilmesinde aşağıda özetlenen konular hakkında görüş bildirilmiştir:

- Mevcut yapıların güçlendirilmesinde, sönümleyicilerin daha etkin çalışmasını sağlamak maksadı ile mevcut hiçbir eleman yapıdan kaldırılmamalıdır. Ancak, konvansiyonel yöntemler ile yapılan bazı güçlendirme projelerinde yapıdaki olumsuz davranış özelliklerini gidermek maksadı ile bazı düzenlemelerin yapıldığı bilinmektedir. Yapısal sistemin daha düzenli olmasını ve daha etkin bir davranış göstermesini sağlayan bu tür düzenlemelere izin verilebilir.
- Betona ankraj yapılması durumunda bu bağlantılar kuvvet kontrollü olarak kabul edilmelidir. Belli sayıda ankrajlar çekme ve kayma kuvvetleri için sahada teste tabi tutulmalı, bu testlerin bir bölümünde en büyük kapasitenin anlaşılması için göçmeye kadar kuvvet uygulanmalıdır.
- Sönümleyicilerin prototip ve kalite kontrol testleri ile ilgili öneriler ayrıca çalışılacak ve sunulacaktır.
- Tüm tasarım ve değerlendirme aşamaları, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Tasarım Gözetmenliği kurulunca uygun görülmüş uzmanlar tarafından kontrol edilmelidir.
- Rijitliği çok yüksek olan burkulması önlenmiş çelik çaprazlar (BÖÇÇ) TBDY 2018’de verilen kurallar çerçevesinde ana deprem taşıyıcı sistem olarak tasarlanacaktır. Bu bildiride açıklanan şartları sağlayan ve rijitliği düşük olan BÖÇÇler sönümleyici olarak tasarlanabilir. Ancak bu durumda deprem taşıyıcı sistem olarak TBDY 2018’de verilen bir sistem seçilmeli ve uygulanmalıdır.

6. SONUÇ

Bu bildiride henüz Türkiye’de uygulamaya yönelik bir yönetmelik ve tasarım kılavuzu bulunmayan sönümleyicili yapıların deprem tasarımı ile ilgili olarak tasarım esasları ve bu esaslara bağlı olarak analiz yöntemleri ve tasarım kriterleri önerisi sunulmuştur.

KAYNAKLAR

- ASCE 7-16 (2016). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. ASCE/SEI 7-16. American Society of Civil Engineers. Reston, Virginia.
- ASCE 41-17 (2017). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, ASCE/SEI 41-17. American Society of Civil Engineers. Reston, Virginia.
- BSL-1981 (1981), The Building Standard Law Enforcement Order, Ministry of Land, Infrastructure, Transport, and Tourism, Japan.
- DBYBHY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- EN 15129 (2018). Anti-seismic Devices. European Committee For Standardization. Brussels, Belgium.
- JSSI Manual, (2003) Design and Construction Manual for Passively Controlled Buildings, Japan Society of Seismic Isolation (JSSI), Japan.
- Özer C. (2014) Maltepe Plaza Sönümleyici Cihazlar ile Yapısal Güçlendirme Projesi, Yapısal Hesap Raporu, Statica Mühendislik, İstanbul.
- TBDY (2018). Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Yıldırım S, Aşık G, Erkuş B, ve Tonguç YI (2013) “Sismik Sönümleyici ve Klasik Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması.” 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konf., Hatay, Türkiye, Eylül 25-27.
- Yıldırım S, Kalyoncuoğlu A, Erkuş B, ve Tonguç YI (2015a) 1Betonarme Prefabrike Yapıların Sönümleyiciler ile Sismik Güçlendirme Uygulaması.” 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konf., İzmir, Türkiye, Ekim 14-16.
- Yıldırım S, Kalyoncuoglu A, Erkuş B, ve Tonguc YI (2015b) “Seismic Retrofit of Industrial Precast Concrete Structures Using Friction Dampers: Case Study from Turkey.” 2nd ATC-SEI Conference on Improving the Seismic Performance of Existing Buildings and Other Structures, San Francisco, California, December 10-12.