

## SİSMİK SÖNÜMLEYİCİ VE KLASİK GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRIŞMASI

S. Yıldırım<sup>1</sup>, G. Aşık<sup>1</sup>, B. Erkuş<sup>2</sup>, Y.İ. Tonguç<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İnş. Yük. Müh., Promer Müş. Müh. Ltd. Şti., Ankara

<sup>2</sup> Yrd. Doç. Dr., İTÜ İnşaat Müh. Böl. Yapı Dalı, İstanbul

Email: info@promerengineering.com.tr

### ÖZET:

Bu çalışma 8 katlı betonarme bir yapıda iki farklı güçlendirme tekniğinin karşılaştırılmasını kapsamaktadır. Karşılaştırılan yöntemler, yapılara ilave elemanlar eklenmesi yolu ile yapılan klasik tarzda kapasite artırmasına yönelik güçlendirme teknikleri ile yapıya gelen etkilerin azaltılması amaçlı yöntemlerden birisi olan sürtünme türü sismik sönümleyici uygulamasıdır. Bu amaçla, İstanbul Zeytinburnu'nda bulunan 8 katlı betonarme bir yapı seçilmiştir. İlk yöntemde yapı, perde eklenmesi, kolon mantolaması, temel takviyesi teknikleri ile DBYBHY 2007 yönetmeliğinin gereklerini karşılar hale getirilmiştir. Bu aşamada mod birleştirme yöntemi çözümleme için kullanılmıştır. İkinci yöntemde, aynı yapı sürtünme türü dairesel yüzeyli sismik sönümleyiciler ve çelik takviyesi ile ASCE 41-06 yönetmeliğine göre güçlendirme çalışması yapılmıştır. Bu aşamada yapının kendisi için doğrusal ve sönümleyiciler için doğrusal olmayan bir model oluşturulmuş ve zaman tanım aralığında çözümleme yapılmıştır. Her iki çalışmanın sonuçları farklı yönlerden karşılaştırılmıştır. Bu çalışmayla, sismik sönümleyici ile güçlendirme yönteminin maliyet ve uygulama açısından daha avantajlı olduğu görülmüştür. Buna karşılık, sismik sönümleyici ile ilgili çözümleme ve tasarım yöntemleri, klasik yöntemlere göre biraz daha karmaşık olduğu görülmüştür.

**ANAHTAR KELİMELER :** güçlendirme, sismik sönümleyici, betonarme yapı, sürtünmeye dayalı sönümleme

### 1. GİRİŞ

1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinden sonra Türkiye'deki mevcut yapı stoğunun değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi konusunda gerek bilimsel ortamda gerekse özel firmalar bazında birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların büyük çoğunluğu klasik güçlendirme yöntemleri üzerine olup, dünyada özellikle gelişmiş ülkelerde kullanılan sismik sönümleyicilerin ülkemizde uygulaması henüz bulunmamaktadır. Bunun nedenlerinden bazıları, klasik güçlendirme yöntemlerinin birçok durumda maliyet ve bina dayanımı açısından yeterli olması, klasik güçlendirme tahkiklerinin nispeten daha bilinir olması, klasik yöntemleri uygulayabilecek tecrübe yüklenici firmaların çokluğu ve sönümleyicilerin ülkemizde üretilmemesi sayılabilir. Uygulamaya özel bazı durumlarda ise, sönümleyici ile güçlendirme yöntemi klasik yöntemlere göre birçok anlamda daha çekici olabilmektedir. Buna örnek olarak sönümleyici montajının klasik yöntemlere göre daha kolay ve temiz olması ve montaj işlemlerinin bina kullanımına devam edilmesine olanak sağlaması gösterilebilir.

Bu makalede, betonarme bir yapı için klasik güçlendirme yöntemleri ile sismik sönümleyicili güçlendirme yöntemleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Söz konusu bina yoğun bir şekilde kullanılan bir kamu hizmet binası olup İstanbul Sismik Riskin Azaltılması ve Acil Durum Hazırlık Kapasitesinin Arttırılması Projesi (İSMEP) kapsamında güçlendirilmesi düşünülmektedir. Benzer kamu binalarında önceden yapılan klasik güçlendirmelerde, çalışanların binayı geçici olarak boşaltması gerekmiş, bu işlemlerin maliyeti güçlendirme

maliyetini artırmıştır. Aynı zamanda bilgisayar sistemleri gibi hassas donanımların ve diğer evrakların taşınması oldukça problemli olduğu gözlemlenmiştir. Bu deneyimlerden dolayı, söz konusu binayı kullanan kamu personeli, güçlendirme çalışması sırasında binayı terk etmek istememektedir. İlk aşamada klasik mantolama ve perde ekleme yöntemleri ile bir güçlendirme çalışması yapılmıştır. Ancak bu yöntemin bina kullanımında aksaklık yaratabileceği düşüncesi ile sismik sönümleyicili güçlendirme seçeneği de incelenmiştir. Bu ikinci yöntem ile ilgili yapılan ön değerlendirmelerin olumlu sonuç vermesi üzerine ileri çözümlenmelerle güçlendirme tahkikleri yapılmıştır. Bu makalede, önce yapı hakkında özet bilgi ve klasik güçlendirme yöntemi ile hazırlanan çalışma anlatılmıştır. Sonra, sismik sönümleyici ile yapılan güçlendirme çalışması açıklanmış, bu noktada sönümleyici özellikleri, çalışma prensipleri ve tasarım yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Son bölümde ise iki güçlendirme yöntemi karşılaştırılmıştır.

## 2. GÜÇLENDİRİLECEK YAPI HAKKINDA BİLGİ

Güçlendirme için incelenen yapı ikisi bodrum kat, biri çatı katı olmak üzere 10 katlı betonarme bir binadır. Yapısal sistem tipik çerçeve kolon-kiriş sistemi ve perde duvarlardan oluşmuştur. Yapılan incelemeler neticesinde, perde duvarların rijitliklerinin oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bundan dolayı, yapı perde duvarlı tipik betonarme binalara göre daha esnektir. Tablo 1’de kat bilgileri verilmiştir. Alınan karotlar neticesinde kullanılan beton özellikleri şu şekildedir.  $f_{cm} = 16.5$  MPa,  $f_{ctm} = 1.42$  MPa,  $E_{cm} = 27202$  MPa. Donatı bilgisi ise Tablo 2 ile özetlenmiştir. Mevcut yapı için oluşturulan bilgisayar modeli Şekil 1’de gösterilmiştir. Yapı periyotları, X-yönünde 1.712 saniye, Y-yönünde 1.496 saniyedir. ASCE 41-06 ya göre Güçlendirme performans kriterleri özetle, tasarım depreminde hemen kullanım, ve en yüksek depremde göçme öncesidir.

Tablo 1. Kat bilgileri

Kat	Adet	Yükseklik	Alan
Bodrum	2	3.50 m	677 m <sup>2</sup>
Zemin	1	3.50 m	441 m <sup>2</sup>
Normal	6	3.15 m	538 m <sup>2</sup>
Çatı	1	3.15 m	350 m <sup>2</sup>

Tablo 2. Donatı bilgileri

Ebatlar (cm x cm)	Boyuna Donatı		Enine Donatı	
	Çeşidi	Adet	Çeşidi	Donatı/Aralık
Kolon 50 x 50	STI	12 - $\Phi$ 16	STI	$\Phi$ 10/25
Kolon 20 x 120	STI	14 - $\Phi$ 12	STI	$\Phi$ 10/25
Kiriş 40 x 60	STI	2 - $\Phi$ 16	STI	$\Phi$ 8/25
Kiriş 20 x 60	STI	2 - $\Phi$ 16	STI	$\Phi$ 8/25

## 3. KLASİK GÜÇLENDİRME

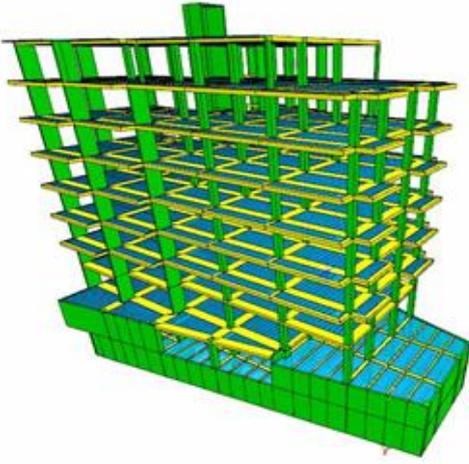
Yapıya klasik güçlendirme yöntemi kapsamında yapılan yapısal müdahaleler ana hatları ile aşağıda listelenmiştir. Bu uygulamalar ile yapı 2007 Türk Deprem Şartnamesi ve İSMEP 2008 performans kriterlerini sağlar hale gelmiştir.

- Yapıya yetersiz yatay rijitliğini artırmak amacı ile rijitlik ve kütle merkezlerini de yakınsamaya dikkat ederek yeni betonarme perdeler yerleştirilmiştir.
- Moment kapasitesi veya eksenel yük kapasitesi yeterli olmayan kolonlara betonarme mantolama yapılmıştır.
- Kesme kapasitesi yetersiz olan düşey taşıyıcı elemanlara FRP sargı uygulanmıştır.
- Yapıda genel bir korozyon problemi yoktur ancak görülen yerel korozyon problemlerine korozyon koruma yöntemi uygulanmıştır.
- Yeni ilave edilen perdeler sebebiyle temelde oluşan ilave etkileri alabilmek için temel takviyesi uygulanmıştır.

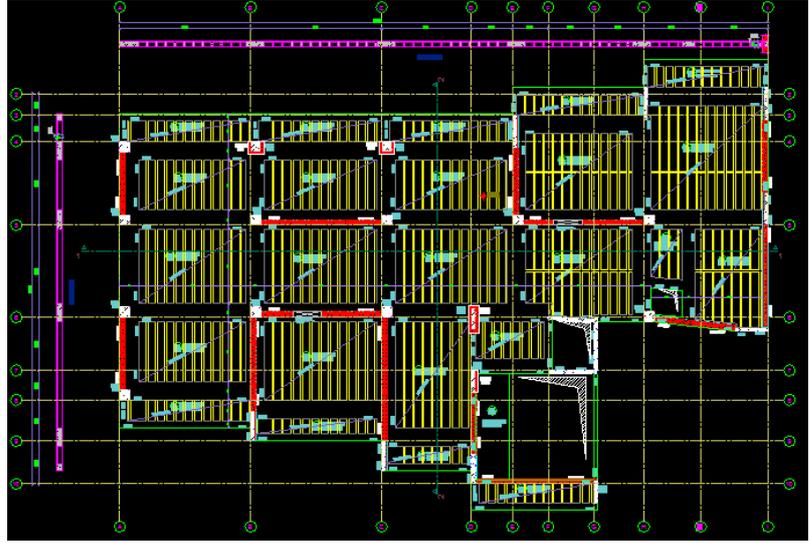
Tipik güçlendirilmiş kat planında (Şekil 2) genel hatları görülen güçlendirme ile ulaşılan performans verileri bir sonraki bölümde verilmiştir. Klasik güçlendirmede yapıya ilave edilen betonarme perdeler sebebi ile mimari fonksiyonlarda değişiklikler yapılması ve dolayısı ile iç mimarının yeniden tasarlanmak zorunluğu oluşmuştur. Yapının giriş üstüne gelen sol cephesindeki kapalı konsollar takviye perdelerinin ulaşımı kapatması sebebiyle klasik güçlendirme projesinde tamamen kırılarak kaldırılmıştır.

İç mimarının yeniden tasarlanması, yapı statğine yapılan kapsamlı müdahaleler ve ilave yeni betonarme elemanlar maliyeti yükseltmesinin yanında inşaat süresini ve yapının kullanılmama süresini artırmıştır. Bu

sebepler ve ayrıca giriş bölümünde bahsedilen taşınacak bina bulma zorluğu ve taşınma maliyetleri kullanıcıları zor durumda bıraktığı gibi idareyi ve proje müellifini farklı metod arayışlarına yönlendirmiştir.



Şekil 1. Mevcut yapının bilgisayar modeli



Şekil 2. Tipik güçlendirilmiş kat planı

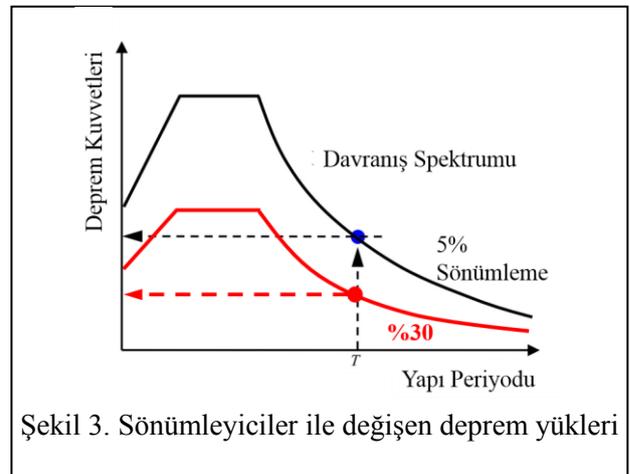
#### 4. SİSMİK SÖNÜMLEYİCİ KULLANARAK YAPI GÜÇLENDİRME

Klasik güçlendirme nedeni ile oluşabilecek olumsuzlukları ortadan kaldırmak için sismik sönümleyiciler ile güçlendirme yöntemi incelenmiştir.

##### 4.1. Sismik Sönümleyiciler

Sismik sönümleyicilerin çalışma prensibi deprem yükleri ile yapıya aktarılan enerjinin sönümlenmesi üzerinedir. Sönümleyicisiz bir yapı sismik enerjii içsel mekanizmalarla ve yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışı ile sönümler. Yapının gösterdiği davranış gelen enerjinin büyüklüğüne orantılı olarak binada hasara neden olur. Sönümleyiciler, sismik enerjinin bir miktarını sönümleyerek, normalde yapı tarafından sönümlenmesi gereken enerjiyi azaltırlar ve bu şekilde bina hasarı azalmış olur. Yapısal tasarım bakımından bakıldığından bu çalışma prensibini modal sönümleme oranının artması ve neticesinde yapısal elemanlar üzerindeki deprem yüklerini azalması şeklinde düşünülebilir. Örnek olarak göstermek gerekirse, normalde %5 içsel sönümlemesi olan bir yapı, eklenen sönümleyiciler ile %30'luk modal sönümlemeye ulaştığı bir durumda tasarım spektrumu Şekil 3 te gösterildiği gibi alınabilir.

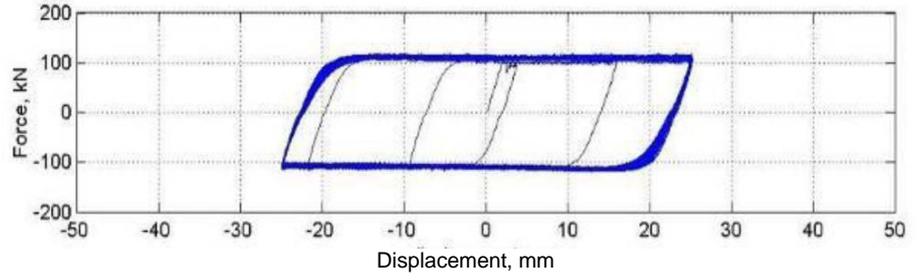
Sismik sönümleyiciler, değişik fiziksel yollarla enerji sönümlemesi gerçekleştirebilirler. Bunlardan bazıları, viskoz davranış, akma/çevrimsel mekanizmaları ve sürtünmeye dayalı sönümlenmelerdir. Modelleme açısından bu mekanizmalar iki değişik modelle tanımlanabilir. Viskoz sönümleme gibi bir durumda, bu davranış tamamen hıza bağlı bir sönümlemedir. Akma/çevrimsel ve sürtünme mekanizmaları ise yer değiştirmelere bağlı olan doğrusal olmayan bir davranış gösterirler. Bu iki model için, tasarım sırasında iki farklı yol izlenmektedir.



Şekil 3. Sönümleyiciler ile değişen deprem yükleri



Şekil 4. Örnek Damptech sönümleyici



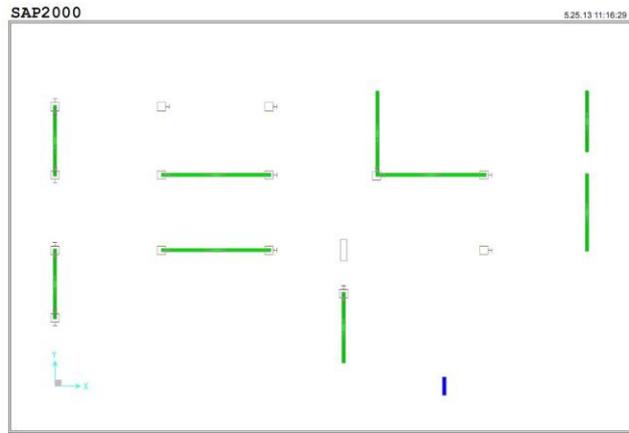
Şekil 5. Sönümleyici davranışı

Bu çalışmada kullanılan sönümleyicilerin, sürtünmeye dayalı sönümleyiciler olduğu öngörülmüştür. Sönümleyici model parametreleri için Damptech firmasının ürettiği sönümleyiciler için verilen parametreler kullanılmıştır. Bu sönümleyicilerin tipik kuvvet-yerdeğiştirme davranışı Şekil 4'te görüldüğü gibidir.

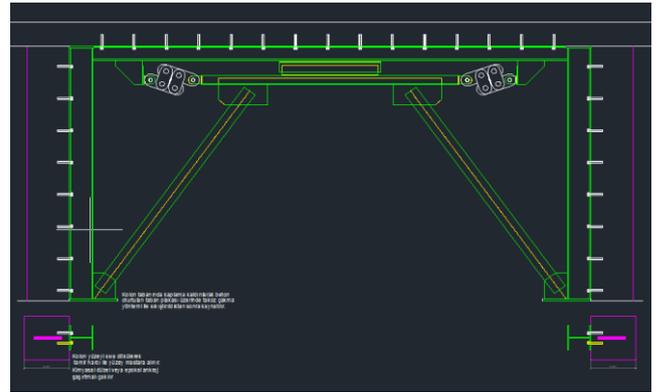
#### 4.1. Güçlendirme

Bu çalışmada, yönetmelik olarak ASCE 41-06 kullanılmış. Performans kriterleri, bir önceki çalışmada yakalanan performanslar seviyesinde tutulmuştur. ASCE 41-06 yönetmeliğinin seçilme nedeni, ülkemizdeki deprem ve yapı yönetmeliklerinde sönümleyiciler ile ilgili bir bölüm olmamasıdır.

Bu çalışma iki aşamadan oluşmuştur. Birinci aşamada, davranış spektrumu ile ön tasarım yapılmış, verilen bir sönümleyici sayısı ver yerleştirilmesi için ne kadar ek sönümleme elde edileceği incelenmiştir. Bu çalışma neticesinde, mimari yapıya uygun olan yerlere sönümleyiciler yerleştirmek sureti ile değişik yerleşimler denenmiş, Şekil 6 da gösterilen yerleşim yeterli oranda sönümleme sağlanacağı ve performans kriterlerinin sağlanacağı düşünülmüştür. Bu noktada, sönümleyicilerin bağlantı noktaları ve elamanları incelenmiş ve buldukları çerçeveler Şekil 7'de gösterildiği gibi çelik elamanlarla güçlendirilmiştir. Sonuç itibarı ile her bir çerçeve sisteminin için 2 şer adet sönümleyici yerleştirilmiştir. 7 kat ve 1 yarım kattan oluşan yapının ilk 5 katına sismik sönümleyici yerleştirilmesi uygun görülmüştür. Bu aşamada sönümleyicilerin yaklaşık olarak %22 eşdeğer modal sönümleme sağladığı görülmüştür.



Şekil 6. Tipik sismik sönümleyici yerleşim kat planı

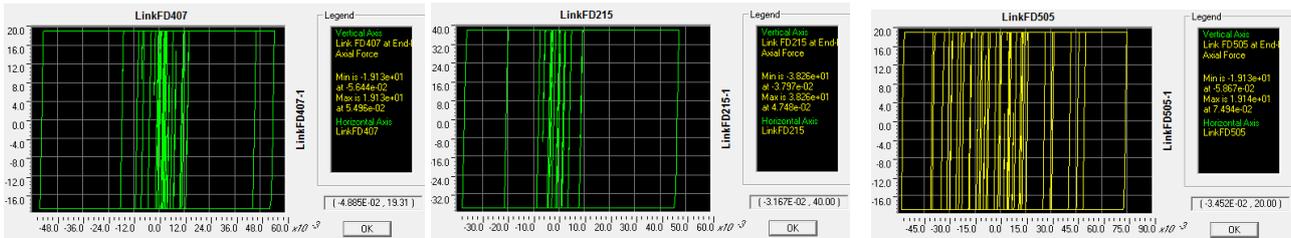


Şekil 7. Sönümleyici iç çerçeve güçlendirmesi

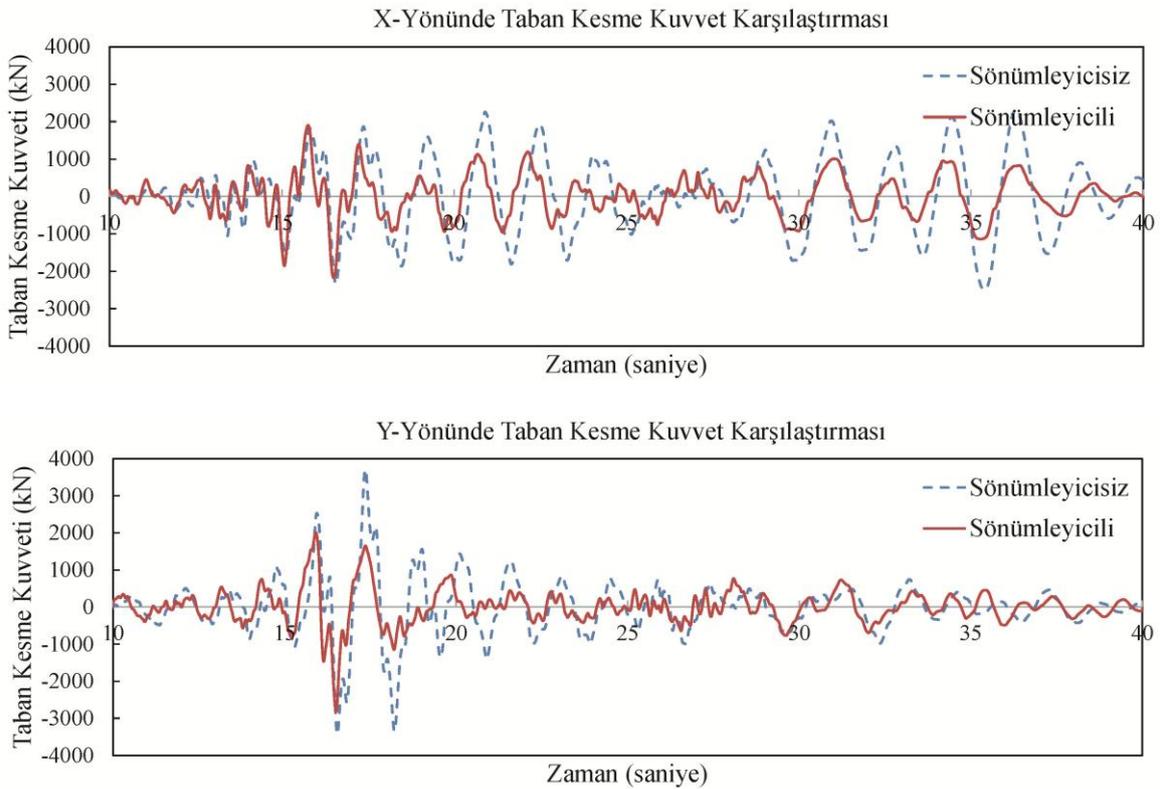
İkinci aşamada zaman tanım aralığında çözümlenmelerle ilk aşamada seçilen güçlendirme kontrol edilmiştir. Bu noktada tasarım deprem spektrumuna ve en yüksek deprem spektrumuna ölçeklendirilmiş 1999 Düzce (Tofaş istasyonu) verilen deprem kaydı kullanılmıştır. Yapısal modelde sönümleyiciler dışındaki yapısal elemanlar doğrusal ve sönümleyiciler doğrusal olmayan davranış modeli ile modellenmiştir. Bu aşamada yapısal elemanların performans değerlendirmesi ve temel bağlantı tahkikleri yapılmıştır. Aynı zamanda bina yerdeğiştirmeleri, sönümleyici davranışları yapısal olmayan elemanların olası davranışları incelenmiştir.

Çalışma neticesinde, seçilen sistemin performans kriterlerini sağladığı görülmüştür. Ayrıca sönümleyicilerin etkin bir şekilde davranarak enerji sönümlediği tespit edilmiştir (Şekil 8). Aynı zamanda, bina yanal yerdeğiştirmelerin yönetmeliklerde belirtilen sınırlar içerisinde kaldığı görülmüştür.

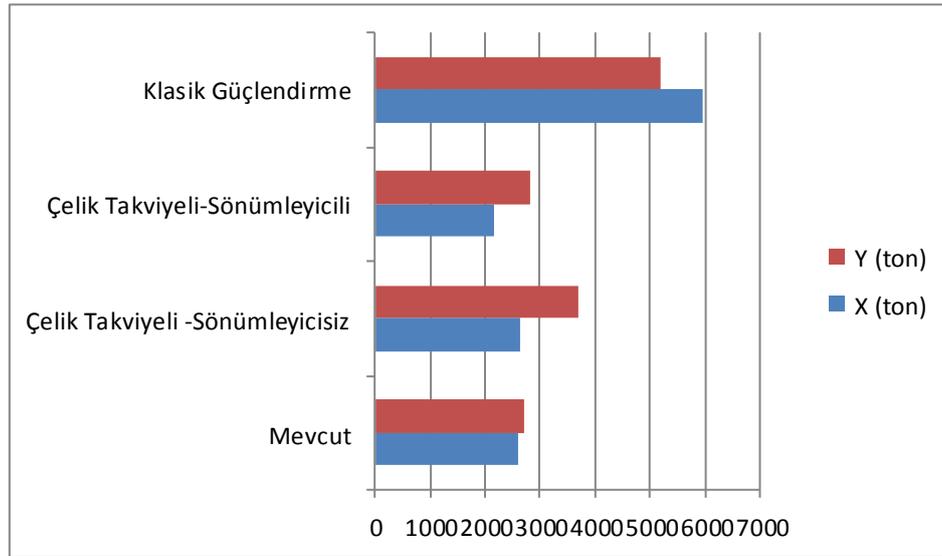
Yapılan çalışmanın daha iyi anlaşılabilmesi ve salt sönümleyicinin etkisini görebilmek amacıyla çelik çerçeve uygulanmış yapının sönümleyici monte edilmiş ve monte edilmemiş durumu karşılaştırılmıştır (Şekil 9). İki model arasındaki tek fark sönümleyicinin olması ve olmaması durumudur. Ayrıca, bu iki yapı arasında performans değerlendirmesi de Tablo 3. de verilmiştir.



Şekil 8: Örnek sönümleyici davranışları



Şekil 9. Sönümleyicili ve sönümleyicisiz yapıda taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması



Şekil 10. Taban Kesme Kuvveti

Tablo 3. ASCE 41'e göre Sismik Sönümleyicili Yapının Performans Değerlendirmesi

Kat	SÖNÜMLEYİCİSİZ YAPI			SÖNÜMLEYİCİLİ YAPI		
	Kolon Sayısı	Can Güv. Aşan Kolon	Göçme Önc. Aşan Kolon	Kolon Sayısı	Can Güv. Aşan Kolon	Göçme Önc. Aşan Kolon
Zemin	16	4	12	16	0	0
1. Kat	16	3	5	16	0	0
2. Kat	16	5	3	16	1	0
3. Kat	16	9	2	16	0	0
4. Kat	16	5	4	16	1	0
5. Kat	16	2	5	16	4	0
6. Kat	16	3	1	16	4	0
7. Kat	12	3	5	12	10	0
<b>Toplam</b>	<b>124</b>	<b>34</b>	<b>37</b>	<b>124</b>	<b>20</b>	<b>0</b>

## 5. GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRMELER

Yapılan iki güçlendirme çalışması aşağıda değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır.

- 1- Sismik sönümleyici uygulanan yapıda artan sönümleme (% 22-23) sonucu yapıda taban kesme kuvveti X yönünde % 13.02 ve Y yönünde % 24.01 azalmıştır.
- 2- Şekil 10'da görüldüğü üzere Mevcut durumunda 2600 ton mertebesinde olan taban kesme kuvvetleri çelik takviyesi durumunda X yönü için % 5, Y yönü için % 37 artış göstermiştir. Buna sönümleyici uygulanması ile yapının mevcut durumuna göre X yönü için % 19 azalma ve Y yönü için % 4 artma durumuna gelmiştir. Burada hatırlanması gereken konu mevcut durumda deprem performans kriterlerini sağlamayan yapı sönümleyici durumda deprem performansını sağlar duruma gelmiştir. Diğer önemli bir gözlem ise klasik tarzda yapılan güçlendirme ile taban kesme kuvvetleri yapının mevcut durumuna göre X yönü için % 230 ve Y yönü için % 191 artarak 5000-6000 ton mertebelerine ulaşmıştır. Bu durum klasik güçlendirmenin yapıyı aşırı rijitleştirmesi sonucu meydana gelmiştir.

- 3- Sönümleyicili yapıda mevcut durumda ASCE 41'e göre yeterli deprem performansı olmayan yapı çelik takviyesi ve sismik sönümleyici ilavesi ile sağlar hale gelmiştir.
- 4- Sönümleyicili yapıda İstenilen deplasman ve görelî kat ötelemesi oranlarına indirgenmiş durumda sismik sönümleyicilerin sağladığı sönümleme yapı performansının yeterli hale gelmesini sağlayacak mertebededir.
- 5- Sismik sönümleyici uygulamasında Islak Beton imalatı olmaması ve yapı taşıyıcı elemanlarına fazlaca zarar verilmemesi sebebiyle bina boşaltılmadan kısmi çalışmalar ile güçlendirme yapılabilir durumdadır.
- 6- Bu hali ile klasik yöntemler ile güçlendirme statik ve zorunlu mimari maliyetler ile beraber 970.000 TL hesaplanırken, Çelik takviyeli sismik sönümleyici uygulama maliyeti 930,000 TL hesaplanmıştır. Bu rakamlarda yapısal güçlendirme sebepli zorunlu onarımlar dahil ancak fonksiyon bozukluklarının yeniden düzenlenmesi, iç mimarinin yeniden düzenlenmesi gibi maliyetler ve klasik güçlendirme yapılması durumunda zorunlu olan kullanıcıların taşınması giderleri dahil değildir. Yapının boşaltılmayacağı ve zaman kaybı hesaba katıldığında sismik sönümleyici çok daha ekonomik olmaktadır. Mevcut yapı beton kalitesinin çelik takviyesine gerek olmadan direk uygulanabilmesini sağlayacak değerde olması durumunda sönümleyici uygulamasının çok daha ekonomik olacağı açıktır.

## KAYNAKLAR

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007,

Tabeshpour, M.R.& Ebrahimian, H. (2010). Seismic retrofit of existing structures using friction dampers. *Asian Journal of Civil Engineering (Building&Housing)* **Vol.11, No.4** 509-520.

Ay, B.Ö.& Akkar, S. (2012). A procedure on ground motion selection and scaling for nonlinear response of simple structural systems. *Earthquake Engineering&Structural Dynamics*

Mualla, I.H. , Nielsen L.O. , Viviani, M. , Briseghella, L. ( ). Dynamic response of RC frame with a new friction damper device. *Technical University of Denmark*.

ASCE 41-06. (2006), Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. *American Society of Civil Engineers*.

FEMA 273. (1997), Guidelines to the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. *Federal Emergency Management Agency*.

FEMA 356. (2000), Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. *Federal Emergency Management Agency*.