

PREFABRİKE BETONARME YAPILARDA SİSMİK SÖNÜMLEYİCİLER KULLANILARAK GÜÇLENDİRME YAPILMASI

S. Yıldırım¹, A. Kalyoncuoğlu², B. Erkuş³, Y.İ. Tonguç⁴

¹ Promer Mühendislik ve Müşavirlik, İstanbul

² Promer Mühendislik ve Müşavirlik, İstanbul

³ Yrd. Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

⁴ Promer Mühendislik ve Müşavirlik, Ankara
Email: syildirim@promerengineering.com.tr

ÖZET:

Bu makalede, Türkiye'deki ilk uygulanmış sönümleyici kullanılarak güçlendirme projesi hakkında bilgiler verilmiştir. Söz konusu uygulamada, klasik güçlendirme yöntemleri ile (örnek: kolon mantolaması) güçlendirilmesi oldukça zor olan tek katlı betonarme prefabrik yapılar deprem etkileri indirgenmesi için çelik sürtünmeli tip sönümleyiciler ile güçlendirilmiştir. İlk önce, güçlendirme projesi hesaplarında izlenen yol özet bilgi olarak verilmiştir. Sönümleyici ile güçlendirme Deprem Yönetmeliğimiz kapsamında olmaması sebebi ile tasarımda ASCE41-06 kullanılmıştır. Güçlendirmede performans hedefleri 500 yıllık deprem için hemen kullanım, 2500 yıllık deprem için ise göçmenin önlenmesidir. Hesaplar genel olarak iki aşamadan oluşmaktadır. (i) Davranış spektrumu analizi ile elastik öntasarım ve (ii) Zaman tanım aralığı elastik ötesi analizleri ile tasarımın teyit edilmesi. İlk aşamada verilen sönümleyici yerleşim ve kapasiteleri için eşdeğer sönümleme hesaplanmış, eşdeğer sönümleme ile azaltılan tasarım spektrumu kullanılarak güçlendirme projesi geliştirilmiştir. Geliştirilen proje 7 adet hedef 2500 yıllık deprem spektrumuna ölçeklendirilmiş deprem kayıtları ile zaman tanım aralığında analizlerle teyit edilmiştir. Makalede ikinci olarak uygulama hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Uygulama sırasında, prefabrik yapıların hali hazırdaki durumlarının incelenmesi nedeni ile elde edilen daha gerçekçi bilgiler eşliğinde güçlendirme hesapları kontrol edilmiştir. Son olarak, proje hesapları ve uygulama aşamalarına genel bakış ile elde edilen tecrübe ve hesap/uygulama önerileri verilmiştir. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlarda, güçlendirme projesi ile yapısal sisteminde önemli sorunlar bulunan prefabrik yapılar, davranışı daha rahat tanımlanabilen yapısal sistemlere kavuşmuş, sönümleyiciler ile hedeflenen performans seviyeleri yakalanmış ve sönümleyicili güçlendirme uygulaması ön görüldüğü gibi klasik güçlendirmeye göre çok daha hızlı, kolay ve sorunsuz gerçekleştirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER : Prefabrike, Betonarme, Güçlendirme, Sürtünmeli Sismik Sönümleyici, Deprem

1. GİRİŞ

Türkiye'de endüstriyel yapılar içinde prefabrike yapılar önemli bir oran teşkil etmektedir. Prefabrike yapılarda bulunan yapısal elemanlar, fabrika da üretilerek sahada montaj yapıldığından endüstriyel yapıların inşasına hız ve ekonomiklik katmaktadırlar. Ayrıca prefabrike sistemlerde beton dökümü fabrikada kontrollü olarak gerçekleştirildiğinden, uygulamadaki beton kalitesi yerinde döküm betona göre daha yüksek olmaktadır. Bu sebeplerden, prefabrike betonarme yapılar endüstriyel tesislerin yapımında sıklıkla uygulanan bir yapı çeşididir.

Prefabrike yapı sistemlerinde kolonlar çoğunlukla tekil temellerle mesnetlenirken, kolon ana kiriş birleşimleri mafsalı olarak tasarlanmaktadır. Mafsalı bağlantıların yük aktarım mekanizmaları ve tasarımları, yapıya gelen deprem yüklerini elemanlara uygun şekilde aktaracak kapasitede olmalıdır. Bağlantı tasarımlarının uygunsuz olması durumunda oluşan farklı ve yüksek yer değiştirmeler yapısal elemanlarda büyük hasar oluşturmaktadır. Prefabrike betonarme yapılarda oluşan bu tip problemler nedeniyle 1998 Ceyhan, 1999 Düzce ve 1999 Kocaeli depremlerinde bu tip yapılar büyük hasarlar almışlardır. Yapıların sanayi yapıları olması dolayısıyla can

kayıplarına ilave olarak üretim durması kaynaklı büyük ekonomik kayıplar ortaya çıkmıştır. Yıkılan yapıların yanısıra güçlendirilmesi zaruri olan yapılarda üretim devam ettiğinden ya hiç güçlendirme yapılamamış veya uzun süreli klasik güçlendirme yöntemleri sebebi ile üretimlerde aksamalar ve ekonomik kayıplar oluşmuştur. Klasik güçlendirme yöntemleri olarak yapıya çelik, betonarme, elemanlar eklenmesi, yapı elemanlarının kapasitelerinin artırılması ve bağlantı noktalarının iyileştirilmesi sayılabilir. Bahsedilen tüm bu güçlendirme methodları yapının güçlendirilmesini sağlamakla beraber üretimleri aksatmakta güçlendirme maliyeti düşük olsada üretimin durması kaynaklı toplam maliyetleri yükseltmektedirler.

Buna ek olarak, depremlerde o ya da bu sebeple hasar görmemiş yada depremlerin ardından inşaa edilmiş fakat 2007 deprem yönetmeliğine uygun olmayan büyük bir prefabrike betonarme yapı stoğu bulunmaktadır. Bu yapılar, yönetmeliğin şart koştuğu uygun bir mühendislik ve uygulama hizmeti almadıklarından olası bir depremde oluşabilecek mal ve can kaybı riski çok yüksektir. Bu tip yapıların güçlendirilmesi için ekonomik, uygulaması basit ve yapıyı ve işleyişi minimum seviyede rahatsız edecek bir yöntem gerekliliği bulunmaktadır.

Sismik sönümleyiciler yer değiştirme yaparak yapıya gelen etkileri azaltan elemanlar olarak dünyada bir çok yapıda kullanılmaktadırlar. Sismik sönümleyicilerin bir çok tipi olmakla beraber bu çalışmada da kullanılan sürtünmeli sönümleyiciler yapıya gelen dinamik yüklerin enerjisini ısı enerjisine çevirerek yapıdaki etkilerini azaltılmaktadır. Yapı ne kadar yer değiştirme yaparsa, sönümleyicilerde o kadar çalışmakta bu şekilde hem yapıda oluşan yer değiştirmeler azaltılmakta, hareket yavaşlamakta, hem de enerji sönümlenerek elemanlarda oluşan etkiler azaltılmaktadır. Klasik güçlendirme yöntemleri eleman kapasitelerini artırmaya bağlı olarak yapıldığından, artan kapasiteyle beraber genellikle hem yapı rijitliği hemde yapı kütlesi artmakta, buna bağlı olarak yapıya etkiyen deprem yükleri artmaktadır. Sismik sönümleyici kullanımında ise yapı rijitliğinde büyük bir değişiklik yapılmazken, yapıya etkiyen deprem kuvvetleride azaltılmaktadır. Ayrıca klasik güçlendirme işlemleri yapıda işlerin aksamasına ve durmasına sebep olurken, sismik sönümleyicilerin uygulaması çok kolaylıkla yapılabilen, güçlendirme sırasında herhangi bir aksama ya da iş durmasına gerek olmamaktadır. Bu sebeplerden sismik sönümleyiciler prefabrike betonarme yapıların güçlendirilmesinde çok avantajlı elemanlar olarak karşımıza çıkmaktadırlar.

Bu çalışmada sismik sönümleyici ile güçlendirme yapılmış 12 adet beton prefabrik yapı içinden örnek olarak seçilmiş 9 açıklıklı prefabrik betonarme bir yapının sismik sönümleyiciler kullanılarak güçlendirilmesi anlatılmaktadır. Çalışmanın ilk bölümünde mevcut yapının durum tespiti ve güçlendirme şekli lineer hesap yöntemleri kullanılarak anlatılmakta, ikinci bölümünde lineer hesapların, lineer olmayan hesaplarla doğruluğu kontrol edilmekte, son bölümünde ise güçlendirme uygulaması fotoğraflarla gösterilmektedir. Yapıda yer alan tüm güçlendirme işlemleri 1.5 ay gibi bir sürede tamamlanmış, tüm uygulamalar sırasında yapıda herhangi bir boşaltma ya da iş aksaması yapılmamıştır.

2. MEVCUT YAPI DURUM TESPİTİ

Çalışmaya konu olan yapı 14.6m x 67.5m boyutlarında, 3.17m yüksekliğinde 9 açıklıklı üstten mafsallı tek katlı prefabrike bir betonarme yapıdır. Yapı genel cephe görünüşleri aşağıda verilmiştir(Fotoğraf 1). Yapı geometrisi Şekil 1 de verilmiştir.



a)



b)



c)

Fotoğraf 1. Yapı cephe görünüşleri

çıkan bulgular sonucunda, bina kolonlarının etki kapasite oranları ASCE41-06'da hedeflenen performans durumları için hesaplanmış ve Tablo 2'de verilmiştir. Bu tablodan da incelenebileceği üzere yapı kolonları, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için hemen kullanım ve 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem için göçme öncesi performans düzeylerini sağlamamaktadırlar.

Tablo 1. Mevcut Yapı Dinamik Analiz Sonuçları

	Tx (sn.)	Ty (sn.)
Duvarlı Yapı	0.2624	0.1181
Duvarsız Yapı	0.4029	0.5354

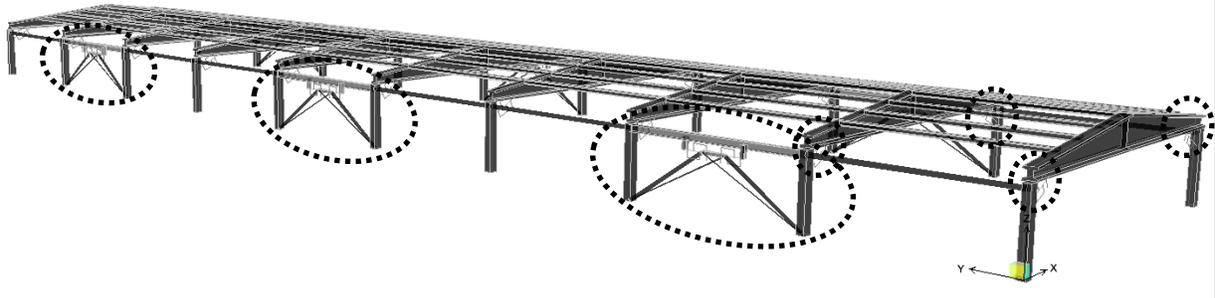
Tablo 2. Performans Analizi Sonuçları

	500 Yıllık Deprem		2500 Yıllık Deprem	
	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
Hemen Kullanım Seviyesi	6	0	6	0
Can Güvenliği	4	16	0	0
Göçme Öncesi Seviyesi	10	4	4	0
Göçme Durumu Seviyesi	0	0	10	20

3. YAPININ SİSMİK SÖNÜMLEYİCİLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

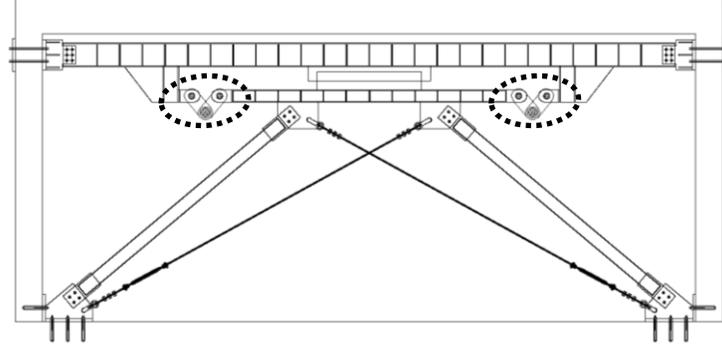
Prefabrike betonarme yapılar, tasarımlarında yer alan problemler nedeniyle güçlendirmesi en zor yapı tiplerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Klasik mantolama ya da yeni taşıyıcı eleman ekleme gibi güçlendirme yöntemleri betonarme yapılarıdaki mafsallı tasarım sistemine uygun olmadığından kullanılamamakta, kullanılsa dahi elemanların güçlendirilmesi ve düğüm noktalarının sağlamlaştırılması konusunda ekonomik olmayan sonuçlar çıkmaktadır. Bu nedenle bu yapının güçlendirilmesinde sürtünmeli sismik sönmüleyici elemanlar kullanılmıştır. İlave olarak yapı yükleri ve deprem etkilerinin sönmüleyici sistemine problemsiz aktarımı için ilave çelik elemanlar kullanılmıştır. Ayrıca çatı ana kirişlerinin devrilmesini engellemek amacıyla ek birleşim önlemleri alınmıştır.

Sürtünmeli sismik sönmüleyiciler yapıda dinamik analiz sonucu ortaya çıkan mod şekillerine bağlı olarak deplasmanın en yüksek olduğu yerlere konulmaktadır. Bu sayede ortaya çıkan yer değiştirme ile sönmüleyiciler şekil değiştirmeye başlayacak, ortaya çıkan sismik enerji ısı enerjisine dönüştürülerek yapı elemanlarından uzaklaştırılacaktır. Sürtünmeli sönmüleyicilerin yerleşim ve kapasite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla bir çok farklı konfigürasyon çalışması yapılmıştır. Sönmüleyicilerin efektif eş değer sönmü oranlarının belirlenmesinde ASCE7-10 kullanılmıştır. Ardından elde edilen eş değer sönmüme bağlı olarak tasarım spektrumunda ASCE41-06'nın öngördüğü indirgemeler yapılmıştır. Bu bulgular sonucunda belirlenen sönmüleyici yerleşimleri ve kesit görüntüleri Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmiştir.

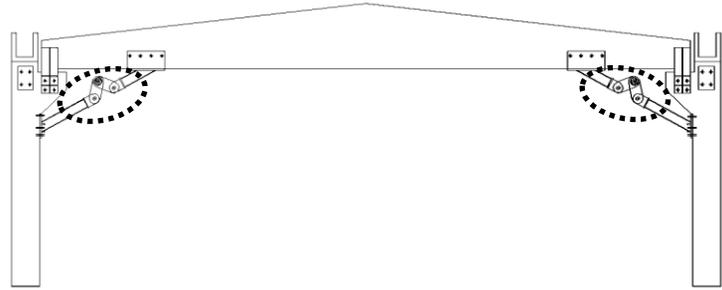


Şekil 3. Sönmüleyici yerleşimleri, SAP2000 Modeli

Şekil 4 ve Şekil 5’de görüldüğü üzere yapı Y yönünde ters V tipi sismik sönümleyiciler kullanılırken, X yönünde hem ana giriş ve kolon birleşimini sağlayacak hem de yatay hareketi düzenleyecek bir sismik sönümleyici yerleşimi uygun görülmüştür.



Şekil 4. Ters V tipi sürtümlü sismik sönümleyici yerleşimi



Şekil 5. Köşe birleşim sürtümlü sismik sönümleyici yerleşimi

Sönümleyici tasarımı sırasında davranış spektrumu yöntemine göre 500 yıllık tasarım depremi ve 2500 yıllık göz önüne alınan maksimum deprem bilgilerine göre güçlendirilmiş yapının performansı değerlendirildiğinde yapıya yerleştirilen X ve Y doğrultularındaki sönümleyiciler sayesinde yapı performansının arttığı gözlemlenmiştir. Güçlendirilmiş yapıda yapılan dinamik analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

Tablo 3. Güçlendirilmiş Yapı Dinamik Analiz Sonuçları

	Tx (sn.)	Ty (sn.)
Duvarlı Yapı	0.2067	0.138
Duvarsız Yapı	0.3293	0.2789

Eklenen sönümleyiciler neticesinde elde edilen ek sönümlenme kapasiteleri ASCE7-10’da verilen denklem 1 ile hesaplanmıştır.

$$\beta_H = q_H \times (0.64 - \beta_1) \times \left(1 - \frac{1}{\mu}\right) \quad (1)$$

Denklem 1’de, q_H çevrimsel düzenleme katsayısı, β_1 yapının kendisine ait sönümlenme oranı, μ ise depreme karşı dayanıklı sistemin efektif süneklik talebidir. Ek sönümlenme kapasitelerinin kullanımıyla davranış spektrumu azaltılmıştır. Davranış spektrumunda yapılan azaltma ASCE41-13’de verilen denklem 2 ile gerçekleştirilmiştir. Denklem 2’de B_1 azaltma katsayısı, β ise eşdeğer sönümdür.

$$B_1 = 4/[5.6 - \ln(100 \times \beta)] \quad (2)$$

Tablo 4. Güçlendirilmiş Yapı Ek Sönümleme Kapasiteleri

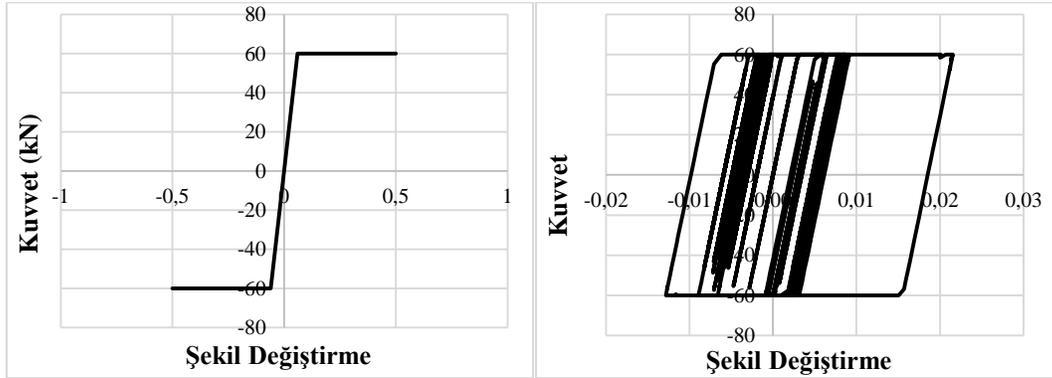
	X Yönü	Y Yönü
Duvarlı Yapı	0.50%	5.46%
Duvarsız Yapı	9.10%	12.38%

Tablo 4’de görülen duvarlı yapıda sönümlemenin azaldığı görülmektedir. Bunun kaynağı duvarların önemli hasar görene kadar önemli miktarda kesme kuvveti alması ve deplasmanı limitlemesidir. Bu davranış 5. Bölümdeki elastik ötesi zaman tanım aralığında analizlerde daha net görülmektedir.

Tablo 5. Güçlendirilmiş Yapı Performans Analizi Sonuçları

	500 Yıllık Deprem		2500 Yıllık Deprem	
	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
Hemen Kullanım Seviyesi	18	20	19	20
Can Güvenliği	2	0	1	0
Göçme Öncesi Seviyesi	0	0	0	0
Göçme Durumu Seviyesi	0	0	0	0

Yapılan hesaplamalar sonucunda yapı, sürtülmeli sismik sönümleyiciler kullanılarak istenilen performans seviyesine getirilmiştir. Sismik sönümleyici olarak 60 kN kapasiteli sönümleyiciler kullanılmış olup, sönümleyici histeretik davranışı Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Sönümleyici histeresis davranışı

4. DOĞRUSAL YÖNTEMLERLE YAPILAN HESAPLARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ZAMAN TANIM ALANINDA KONTROLÜ

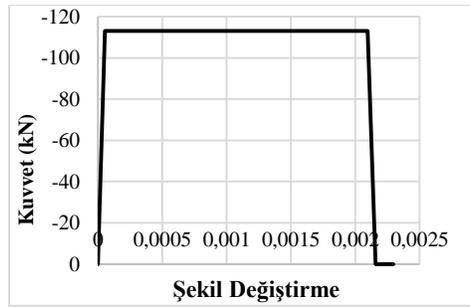
Son olarak yapıda kullanılan sönümleyici sisteminin çalışmasının kontrolü zaman tanım alanında yapılan hesaplamalarla kontrol edilmiştir. Bu bölümde yapılan hesaplamalarda kolon ve kirişlerin doğrusal davranış göstermesi istendiğinden öncelikle elemanların doğrusal kaldıkları yapılan davranış spektrumu hesabında önceki bölümde kontrol edilmiştir. Eklenen sismik sönümleyiciler ve duvarlar doğrusal olmayan şekilde modellenmişlerdir.

Zaman tanım alanında yapılacak hesap için 7 adet deprem kaydı DBYBHY’de verilen davranış spektrumuna uyacak şekilde yapı periyoduyla uyumlu bir şekilde ölçeklenmişlerdir. Kullanılan deprem kayıtları Tablo 6’da verilmiştir

Tablo 6. Kullanılan deprem kayıtları

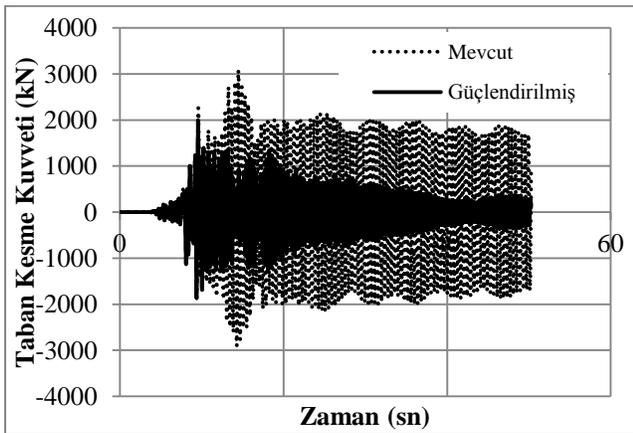
	İstasyon	Büyüklik
Düzce (1999)	Bolu	7.2
Düzce (1999)	Düzce	7.2
Erzincan (1992)	Erzincan	7.8
Hector (1999)	Hector Mine	7.1
Kobe (1995)	Shinosaka	6.9
Kocaeli (1999)	İzmit	7.6
Landers (1992)	Joshuatree	7.3

Duvarların davranışı için ASCE41-06'da verilen dolgu duvar doğrusal olmayan davranış mevcut durum tespiti tabloları dikkate alınmıştır. Duvar tip davranış grafiği Şekil 7'de verilmiştir. Duvarlar sadece basınç kuvveti alacak şekilde modellenmiş, kapasitesine ulaşan duvarın hasar görüp dağıldığı kabul edilmiştir.

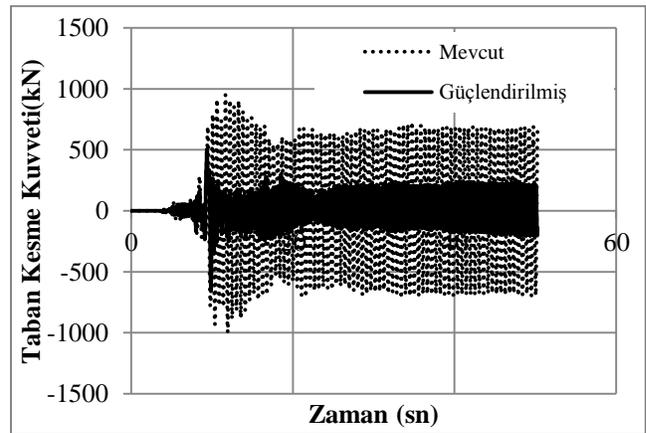


Şekil 7. Duvar davranışı

Zaman tanım alanında hesap hem duvarlı hem duvarsız model için 7 farklı deprem kaydıyla gerçekleştirilmiştir. Yükleme her yükleme faya paralel ve faya dik deprem verileri kullanılarak iki farklı yön içinde gerçekleştirilmiştir. Toplamda 14 farklı kayıt yapılarına etki ettirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda ortaya çıkan Kolon taban kesme kuvveti – Zaman ve Öteleme Oranı – Zaman grafikleri sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 9'da örnek olarak verilmiştir. Detaylı maksimum Kolon taban kesme kuvveti ve öteleme oranı değerleri Duvarsız yapı için Tablo 7'de, Duvarlı yapı için Tablo 8'de verilmiştir.

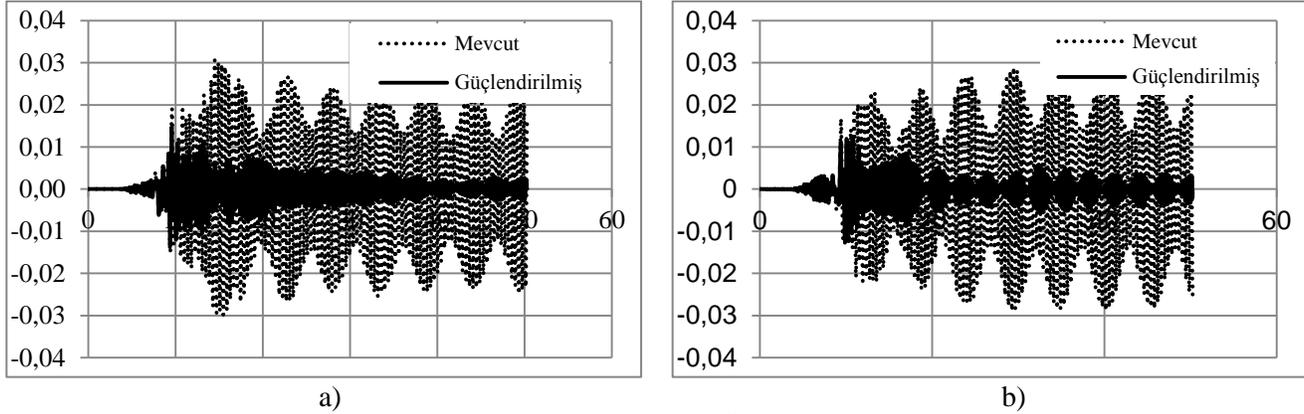


a)



b)

Şekil 8. Duvarsız Model Düzce – Bolu (1999) depremi Taban Kesme Kuvveti – Zaman grafiği (a. X Yönü, b. Y Yönü)



Şekil 9. Duvarsız Model Düzce – Bolu (1999) depremi Kat Öteleme Oranı – Zaman grafiği (a. X Yönü, b. Y Yönü)

Tablo 7. Duvarsız yapı için Kolon Taban Kesme Kuvveti ve Öteleme oranının güçlendirilmiş ve mevcut durum için karşılaştırılması

	Kolon Taban Kesme Kuvveti (kN)				Öteleme Oranı (%)			
	X Yönü		Y Yönü		X Yönü		Y Yönü	
	Mevcut	Güçlendirilmiş	Mevcut	Güçlendirilmiş	Mevcut	Güçlendirilmiş	Mevcut	Güçlendirilmiş
Düzce-Bolu (1999)-1	3581.83	1928.95	2560.45	1257.47	3.56%	0.97%	5.77%	0.82%
Düzce-Bolu (1999)-2	3013.16	1980.20	1371.96	523.89	3.95%	1.38%	3.52%	1.34%
Düzce-Düzce (1999)-1	3083.68	1995.17	997.07	658.02	4.25%	1.02%	6.21%	0.85%
Düzce-Düzce (1999)-2	2293.97	1889.53	1432.96	606.60	3.06%	1.47%	2.89%	1.27%
Erzincan-Erzincan (1992)-1	1912.30	1737.34	654.30	642.24	1.55%	1.23%	3.12%	0.98%
Erzincan-Erzincan (1992)-2	2373.16	1935.80	1470.21	649.89	2.75%	1.37%	2.32%	0.98%
Hector-Hector Mine (1999)-1	3340.91	2095.21	1030.97	407.76	3.68%	1.50%	5.80%	0.66%
Hector-Hector Mine (1999)-2	1973.64	1765.95	869.62	585.28	2.35%	1.28%	5.52%	0.90%
Kobe-Shinosaka (1995)-1	2599.81	2058.29	3641.38	707.74	2.39%	1.45%	5.27%	1.01%
Kobe-Shinosaka (1995)-2	3030.28	1654.80	2950.83	652.65	3.58%	1.44%	4.20%	1.03%
Kocaeli-İzmit (1999)-1	2616.34	1818.15	2499.68	468.69	2.97%	1.52%	3.55%	0.70%
Kocaeli-İzmit (1999)-2	1964.03	1723.49	3204.09	424.79	1.76%	1.16%	4.57%	0.69%
Landers-Joshuatree (1992)-1	4577.98	1975.44	4274.99	495.26	5.26%	1.41%	5.72%	0.76%
Landers-Joshuatree (1992)-2	3846.57	1906.45	1782.31	548.70	2.18%	1.42%	2.53%	0.78%

Tablo 8. Duvarlı yapı için Kolon Taban Kesme Kuvveti ve Öteleme oranının güçlendirilmiş ve mevcut durum için karşılaştırılması

	Kolon Taban Kesme Kuvveti (kN)				Öteleme Oranı (%)			
	X Yönü		Y Yönü		X Yönü		Y Yönü	
	Mevcut	Güçlendirilmiş	Mevcut	Güçlendirilmiş	Mevcut	Güçlendirilmiş	Mevcut	Güçlendirilmiş
Düzce-Bolu (1999)-1	3027.00	1842.00	2631.00	1163.00	3.06%	1.13%	3.77%	0.74%
Düzce-Bolu (1999)-2	2290.00	1732.00	4468.00	1201.00	3.10%	1.03%	3.08%	0.76%
Düzce-Düzce (1999)-1	2926.00	1800.00	2663.00	1249.00	3.85%	1.10%	3.79%	0.86%
Düzce-Düzce (1999)-2	2917.00	1681.00	3905.00	1110.00	3.59%	1.01%	5.51%	0.65%
Erzincan-Erzincan (1992)-1	1809.00	1691.00	2381.00	1255.00	1.46%	1.01%	3.25%	0.89%
Erzincan-Erzincan (1992)-2	1982.00	1790.00	1691.00	1194.00	2.61%	1.07%	2.43%	0.70%
Hector-Hector Mine (1999)-1	2360.00	1769.00	4174.00	1134.00	5.84%	1.03%	2.97%	0.71%
Hector-Hector Mine (1999)-2	4095.00	1701.00	3863.00	1110.00	1.91%	1.02%	5.26%	0.72%
Kobe-Shinosaka (1995)-1	2475.00	1842.00	3422.00	1290.00	2.22%	1.14%	4.82%	0.93%
Kobe-Shinosaka (1995)-2	3118.00	1459.00	2756.00	1253.00	3.88%	0.85%	4.06%	0.87%
Kocaeli-İzmit (1999)-1	2537.00	1737.00	2513.00	1134.00	3.01%	1.02%	3.57%	0.70%
Kocaeli-İzmit (1999)-2	1926.00	1657.00	2990.00	1061.00	1.86%	0.98%	4.34%	0.62%
Landers-Joshuatree (1992)-1	4160.00	1811.00	3917.00	1089.00	5.13%	1.08%	5.40%	0.66%
Landers-Joshuatree (1992)-2	1926.00	1546.00	1662.00	1172.00	1.26%	0.90%	2.45%	0.80%

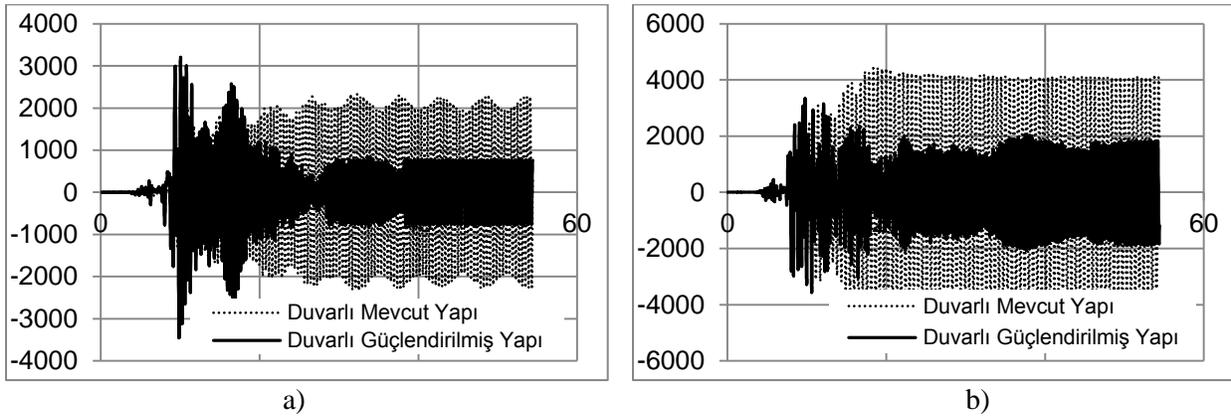
Zaman tanım alanında analiz sonuçlarına bakıldığında;
Duvarsız yapı için,

- Güçlendirilmiş yapıda maksimum kolon taban kesme kuvveti değerinin güçlendirilmemiş duruma göre X yönünde %30, Y yönünde %60 azaldığı,
- Güçlendirilmiş yapıda maksimum öteleme oranlarının X yönünde %52, Y yönünde %76 azalarak can güvenliği sınırına geldiği,

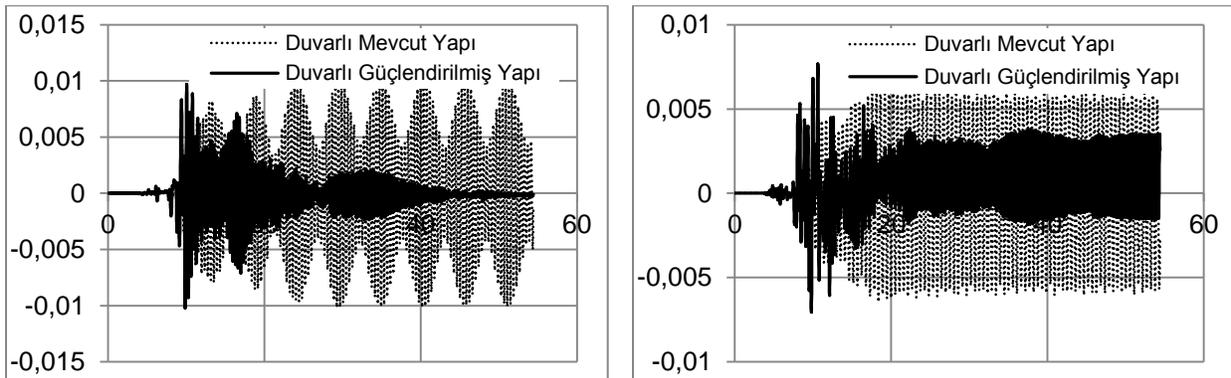
Duvarlı yapı için,

- Güçlendirilmiş yapıda maksimum kolon taban kesme kuvveti değerinin güçlendirilmemiş duruma göre X yönünde %32, Y yönünde %58 azaldığı,
- Güçlendirilmiş yapıda maksimum öteleme oranlarının X yönünde %56, Y yönünde %79 azalarak can güvenliği sınırına geldiği belirlenmiştir.

Duvarlı yapıda Şekil 10 ve Şekil 11’de görülen Kolon taban kesme ve Kat Öteleme grafiklerine bakıldığında, duvarlı yapıda güçlendirme yapıldığında depremin ilk zamanlarında duvarın yer değiştirmeyi engellemesi sebebiyle sönümleyicilerin çalışmadığı bu nedenle yüksek taban kesme kuvvetleri elde edildiği, sonrasında duvarların hasar görmesinin ardından sönümleyicilerin çalışmasıyla beraber yapıda oluşan taban kesme kuvveti ve yer değiştirmelerin sönümlendiği görülmektedir.



Şekil 10. Duvarlı Model Düzce – Bolu (1999) depremi Kolon Taban Kesme Kuvveti – Zaman grafiği (a. X Yönü, b. Y Yönü)



Şekil 11. Duvarlı Model Düzce – Bolu (1999) depremi Kat Öteleme Oranı – Zaman grafiği (a. X Yönü, b. Y Yönü)

Şekil 8,9,10 ve 11 de görülen bir diğer etki de güçlendirme öncesinde yapının aslında bir yapı davranışı göstermediği ve hiç sönümleme olmaması sebebi ile rezonansa benzer bir durum ortaya çıktığıdır. Güçlendirilmiş yapıda ise davranış daha fazla yapıya benzemektedir ve sönümleme net bir şekilde gözlemlenmektedir. Bu davranış düzelmesinde sönümleyicinin yanında sistememe eklenen basınç çubuklarının da etkisi vardır. Çerçeve davranışına yaklaşan sistem daha düzgün hareket etmektedir.

5. GÜÇLENDİRME AŞAMALARI

Bu bölümde Güçlendirme aşamaları imalat fotoları ile verilmiştir.

- Çalışma konusu betonarme prefabrik yapının 2. Bölümdeki mevcut durum incelemesinde detayları verilen teknikler ile yapının geometrisi, malzeme ve zemin bilgileri toplanmıştır.
- Elde edilen veriler ile SAP 2000 analiz programı kullanılarak mevcut durum analizleri yapılmış ve mevcut performans durumu 2. Bölümde tablolar ile sunulmuştur.
- 3. Bölümde detayları verilen sürtünme tipi sönümleyiciler ile yapının güçlendirme çalışması ve güçlendirilmiş durum analizleri yapılmış ve yapının ASCE 41-06 performans seviyelerini yakaladığı görülmüştür.
- Tasarlanmış sönümleyicilerin üreticinin laboratuvarında izleme heyeti eşliğinde testleri yapılarak öngörülen performansları sağladığı tutanak altına alınmıştır. Sürtünme tipi sönümleyicilerin % 100 testlerdeki başarı oranı da performans güvenilirliği konusunda güven vermiştir.
- Tasarıma uygun imal edilmiş ve testleri yapılmış sürtünme tipi sönümleyicilerin 3 no fotolarda görüldüğü şekilde montajları yapılmıştır. Montajlar için sadece montaj noktalarında duvarlar açılmış ve montaj sonrası fotoğraf 4 de görüldüğü şekilde kapatılmıştır. Çalışma konusu yapı için sahadaki çalışma 1 hafta söküm, kesim, 2 hafta kadar da montaj zaman almıştır. Boya ve mimari kapamalar ile birlikte 45 gün gibi bir sürede güçlendirme işlemi tamamlanmıştır.
- Güçlendirme /Yeniden yapım oranı mimari onarımlar dahil yaklaşık % 27 olmuştur. Bu oran Klasik güçlendirmede Mimari onarımlar dahil edildiğinde % 40-70 ler mertebesinde olmaktadır.
- Gerek imalat süresi, gerek ise maliyet olarak verimli bir çalışma olmuştur. Bu çalışmadan edinilen tecrübe ile iyileştirilecek noktalar da tesbit edilmiştir.



Fotoğraf 3. Uygulama sırasındaki dış cephe fotoğrafları



Fotoğraf 4. Uygulama sonrasındaki dış ve iç sönümleyici fotoğrafları

6. SONUÇ

Deprem Yönetmeliğimizde direk olarak sönümleyici ile yapı tasarımı olmaması ve yine yönetmeliğimizin imkan vermesi sebebi ile ASCE 41-06 kullanılarak tasarım yapılmış ve sönümleyici ile güçlendirilen yapının ASCE 41-06 performans kriterlerini sağladığı gösterilmiştir. Lineer Elastik spectrum ön tasarımları lineer olmayan zaman tanım aralığında yapılan analizler ile teyit edilmiştir. Tasarlanmış sönümleyicilerin üreticinin laboratuvarında izleme heyeti eşliğinde testleri yapılarak öngörülen performansları sağladığı tutanak altına alınmıştır. Montaj sonrası kontrolleri yapılarak yine tutanak altına alınmıştır.

Betonarme / Çelik ilave elemanlar veya eleman kapasitelerini yükseltmek yolu ile yapı rijitliğini artıran klasik güçlendirme yöntemleri ile kıyaslandığında daha süratli, daha ekonomik ve yapı boşaltma zorunluluğu olmayan sönümleyici ile yapı güçlendirme uygulaması başarı ile ve kullanıcı memnuniyeti sağlanarak tamamlanmıştır. Söz konusu proje Türkiye’de sönümleyici kullanılarak yapılmış ve imalatı tamamlanmış ilk proje olması sebebi ile önemlidir. Sönümleyici tasarım kriterlerinin netleştirilmesi, sönümleyici tasarım, test, montaj, saha kontrolleri pratiklerinin geliştirilmesi için öğretici ve belirleyici bir çalışma olmuştur.

KAYNAKLAR

American Concrete Institute(ACI)(2014). Building Code Requirements for Structural Concrete, Farmington Hills, Michigan, USA.

American Society of Civil Engineers (ASCE)(2006). Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, USA.

American Society of Civil Engineers (ASCE)(2010). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, USA.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Türkiye.

Mainstone, R. J. (1971). On the stiffness and strengths of infilled frames. Proceedings, *Institution of Civil Engineers*, **Supplement IV**, 57–90.

SAP2000, Integrated Structural Analysis and Design Software, Computers and Structures, Inc.

Türk Standartları TS498(1997). Yapısal Tasarım için Yüklerin Hesabı, Ankara.