

ÜRETİM SÜREKLİLİĞİ OLAN BİR ENDÜSTRİ YAPISININ SİSMİK SÖNÜMLEYİCİLER İLE GÜÇLENDİRME ÇALIŞMASININ YAPILMASI

N. Göktuğ Aşık¹, Ali Mahdavi¹, Suat Yıldırım¹, Barış Erkuş², Yüksel İ. Tonguç¹

¹ İnşaat Yük. Müh., PROMER Müş. Müh. A.Ş.

² Dr. Öğr. Üyesi, İnşaat Müh. bölümü İstanbul Teknik Üniversitesi
E-mail: syildirim@promerengineering.com.tr

ÖZET:

Deprem, yapısal kapasitesi yetersiz konut ve iş merkezleri gibi yapılarda oluşturduğu hasarlar dışında ülke ekonomisini ayakta tutan endüstriyel yapılarda can kaybının yanında üretime engel olabilecek hasarlar oluşturmaktadır. Endüstriyel yapılardaki hasar ve iş durması deprem sonrası iyileşme sürecini önemli ölçüde etkileyen bir faktördür. Bu nedenle mevcut endüstriyel yapıların deprem öncesi performansının değerlendirilmesi ve gerekli ise güçlendirilmesi gerekmektedir. Ancak endüstriyel yapıların içinde yer alan mevcut ekipman ve tesislerin birçoğu sürekli aktif halde bulunmakta ve tesislerin çalışmasının durması ciddi maddi kayıplara sebep olmaktadır. Bu nedenle endüstriyel tesislerin büyük çoğunluğu mevcut yapılarının depreme karşı performansının değerlendirilmesini üretimin engellenmesi kaygısı ile geri plana atmaktadırlar.

Bu çalışma, Tekirdağ'da yer alan sürekli üretim halinde ve çalışır durumda ağır hareketli ekipmanlar içeren endüstriyel bir tesisin üretim hattı durdurulmadan imalat ve montajı yapılabilecek şekilde, sismik sönümleyiciler kullanılarak güçlendirme yöntemini kapsamaktadır. Çalışma kapsamında ASCE-7 'ye göre lineer yöntemler kullanılarak ön tasarım yapıp etkin rijitlikler kullanılarak eşdeğer viscos sönüm oranı belirlenmiştir. Ön tasarımda belirlenen sönümleyici kapasiteleri ve yerleşiminin yeterli olduğunun tespiti amacıyla, sismik sönümleyiciler ve yapı elemanları doğrusal olmayan davranış özellikleri tanımlanarak zaman tanım alanında analiz yöntemi ile TBDY 2018 yönetmeliği kriterlerine göre yapı performansı değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada, üretimin uzun aralıklarda durmasına sebep olan diğer klasik güçlendirme yöntemleri de (güçlendirme perdesi eklenmesi, kolon mantolama vb.) çalışılmış, uygulama süresi ve diğer maliyetleri bakımından karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte, sismik sönümleyiciler ile güçlendirme tekniği uygulamasının endüstriyel yapıların özellikle üretim sürekliliği açısından diğer yöntemlere göre oldukça avantajlı olduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELELER: Sismik sönümleyici, endüstriyel yapı, efektif sönüm

STRENGTHENING OF AN INDUSTRIAL STRUCTURE USING SEISMIC DAMPERS WITHOUT STOPPING PRODUCTION CONTINUITY

ABSTRACT:

Apart from the damage caused by the earthquake to structurally weak commercial structures and dwelling, earthquake causes the industrial buildings that sustain the country's economy not only loss of life but also damages that might hinder production. Damage to industrial structures and hinder of work is an important factor affecting the recovery process after earthquake. That is why, the performance of existing industrial structures should be evaluated and strengthened if necessary. However, many of the existing equipment and facilities in industrial structures are constantly active and the stopping operation of the facilities and working, causes serious financial losses. For this reason, the majority of industrial plants are postponing the evaluation of the performance of the existing buildings against earthquake with the concern of stopping production.

This study covers the method of reinforcement using seismic dampers in a continuous production and operational state of a plant in Tekirdağ. Within the scope of the study, pre-design was performed by using linear methods according to ASCE-7 and effective damping ratios were determined. In order to determine the adequate damping capacities and configuration, the nonlinear behavior characteristics of the seismic dampers and structural elements were defined and the structure performance was evaluated according to the ASCE-41 by the time history analysis method. In the study, other classical strengthening methods (addition of shear walls , column jacketing, etc.) which cause production to stop at long intervals were studied and compared in terms of application time and other costs. However, the retrofitting technique with seismic dampers has been found to be very advantageous especially in terms of production continuity compared to other methods.

KEY WORDS: Seismic Damper, industrial structure, effective damping

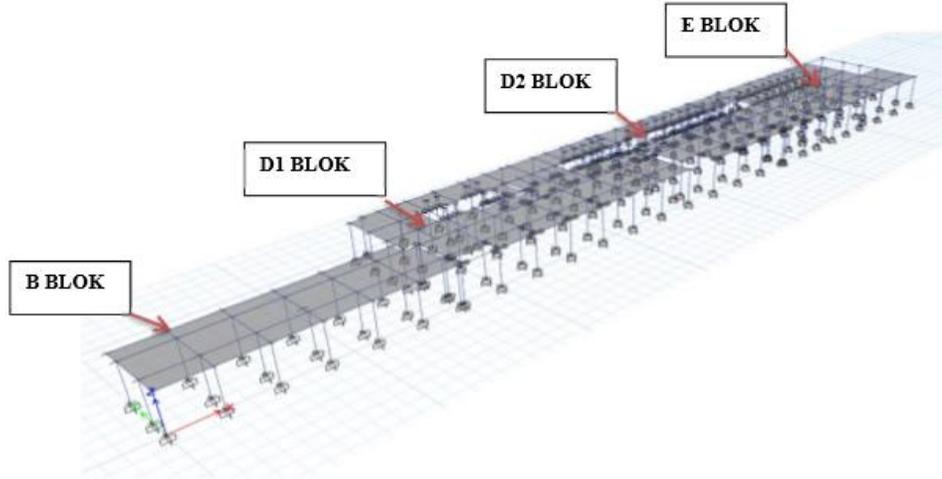
1. GİRİŞ

Güçlendirme çalışmasına konu olan endüstriyel yapı toplamda 14 bloktan oluşmaktadır. Bu bloklar içinde üretim yapan ana makine B, D1, D2, E ve G blokların oluşturduğu holde yer almıştır. Makinanın titreşim üreten bölümleri D1,D2,E bloklar üzerine yerleşmiştir. B,D1,D2,E bloklar için saha ivmeölçer kayıtları farklı bloklarda farklı süreler olmak üzere ortalama 14 gün süre ile alınmıştır. Titreşim içeren bu bloklar için yapılan analizler benzerlik göstermesi sebebi ile anlatımda tekrara düşmemek amacı ile makalede yalnızca E blokta yapılan çalışmalar verilmiştir.

Her bir blok için öncelikle klasik güçlendirme (B/A perde ve B/A manto) çalışması da yapılmıştır. Ancak sürekli çalışan makine hollerinde klasik güçlendirme yöntemleri uygulanabilir bulunmamıştır.

2. YAPI GENEL BİLGİLERİ

Güçlendirme çalışması yapılacak yapı, sürekli çalışır durumda bulunan ekipmanın mesnetlendiği dilatasyonlu tek katlı betonarme çerçeve sistemi ve üstünde ekipman ile birlikte bu yapıyı kapatan çelik kolon ve makas sisteminden oluşmaktadır. (Şekil-1) Bu çalışmada incelemesi yapılacak E blok yapısının temel üstü yüksekliği yaklaşık 6.5 m (1.5 mt si zemin altı) ve toplam alanı 859 m² dir. Yapıdan alınan karot numunelerinin değerlendirilmesi neticesinde beton basınç dayanımının 12.5 MPa olduğu tespit edilmiş, yapılan sıyırma işlemleri sonucunda da donatı kalitesinin STIII donatı çeliği olduğu görülmüştür. Sıyırma işlemleri ve röntgen işlemleri neticesinde betonarme elemanlarda tespit edilen donatı adetleri ve eleman boyutları Tablo-1’de verilmiştir. Mevcut yapı bilgisayar modeli Şekil-1’de gösterilmiş ve yapı periyotları X yönünde 0.992 sn, Y yönünde 0.92 sn olarak belirlenmiştir. Güçlendirme çalışması sonucunda öngörülen performans 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem durumunda Kontrollü Hasar Performans Düzeyidir. Mevcut durumda yapı bu performansı sağlamamaktadır.



Şekil 1: Betonarme yapı bloğu

Tablo-1: Yapı kolon donatı bilgileri

	Eleman Tipi-Boyutu	Boyuna	Boyuna Donatı	Enine	Enine Donatı-
B, D1, D2, D3, E1 ve E2 BLOK	Kolon 40X40	STIII	8 ϕ 20	STIII	ϕ 8 / 15 /10
	Kolon 50X40	STIII	10 ϕ 20	STIII	ϕ 8 / 15 /10
	Kolon 50x50	STIII	12 ϕ 20	STIII	ϕ 8 / 15 /10
	Kolon 60X30 (D5 AKSI)	STIII	18 ϕ 20	STIII	ϕ 8 / 15 /10
	Kolon 60X30 (E2 AKSI)	STIII	12 ϕ 20	STIII	ϕ 8 / 15 /10
	Kolon 60X40	STIII	14 ϕ 20	STIII	ϕ 8 / 15 /10
	Kolon 60X50	STIII	14 ϕ 20	STIII	ϕ 8 / 15 /10
	Kolon 60X60	STIII	16 ϕ 20	STIII	ϕ 8 / 15 /10
Kolon 100X50	STIII	20 ϕ 20	STIII	ϕ 8 / 15 /10	

3. GÜÇLENDİRME YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ

Endüstri yapılarında güçlendirme çalışması sebebi ile ekipman, boru hatları, elektrik hatları vb. elemanların deplase edilmesi veya aktif halde çalışıyor ise durdurulması tesisler açısından olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. İncelediğimiz yapıda da benzer şekilde sürekli çalışan bir karton üretim hattı ve birçok cihaz bulunmaktadır. Konvansiyonel güçlendirme teknikleri düşünüldüğünde betonarme perde ilavesi veya kolon mantolaması gibi işlemler geniş çalışma alanları gerektirir. Yapı ile ilgili güçlendirme yönteminin belirlenmesinde yerinde tespit çalışmaları, tesis sorumlularından ekipmanlarla ilgili kısa süreli durdurma veya deplase edilebilme durumu gibi bilgiler alınarak değerlendirme yapılmıştır. Şekil-3’de görülen ekipman sürekli aktif halde hassasiyeti yüksek derecede çalışmakta ve incelenen yapı üzerine mesnetlenmektedir. Yapı üzerinde çalışılan tüm klasik güçlendirme senaryolarında ekipman kaydırma, yer değiştirmesi ve makine çalışmasının işletme için uzun sayılabilecek sürelerde durdurulması zorunluluğu görülmüştür (Şekil-2a, Şekil 2b). Tüm bu tespit çalışmaları sonucunda, ön çalışması da yapılan konvansiyonel güçlendirme yöntemlerinin uygulanması tesis açısından maliyet ve çalışılabilirlik açısından olumsuz değerlendirilmiştir. Çelik sistem ile birlikte yapıya bağlanan sismik sönümleyiciler ile güçlendirme yöntemi tercih edilmiştir.



Şekil-2a Ekipmanlar



Şekil-2b Karton üretim hattı

3.1. Tasarım Esasları

Betonarme yapı üzerinde bulunan çelik yapı her iki yönde de çelik konsol kolon sisteminde çalışmaktadır. Kısa yönde çatı makası basit mesnetli olarak bağlanmıştır. Altta betonarme yapı çerçeve sistemindedir.

Çelik yapının güçlendirme tasarımında yapı her iki yönde de çerçeve oluşturacak şekilde makas ve giriş bağlantıları sağlanmıştır. Mevcutta zayıf olan çelik kolon betonarme zemin bağlantısı sabit mesnet sağlayacak şekilde iyileştirilmiştir. Yetersizlik gösteren bazı çelik arakat kolonları da güçlendirilmiştir. Güçlendirilmiş çelik yapı tasarım depremi (475 yıl periyoda sahip) için doğrusal kalacak ve maksimum öngörülen deprem (2475 yıl periyoda sahip) altında da doğrusala yakın ($R=2$) deprem yükleri altında sağlayacak şekilde tasarım kontrolleri yapılmıştır. Birleşim bölgeleri yine 2475 yıllık deprem altında doğrusal davranacak şekilde kontrol edilmiştir.

4. SİSMİK SÖNÜMLEYİCİLER İLE YAPININ GÜÇLENDİRİLMESİ

4.1. Sismik Sönümleyicilerin Çalışma Prensipleri

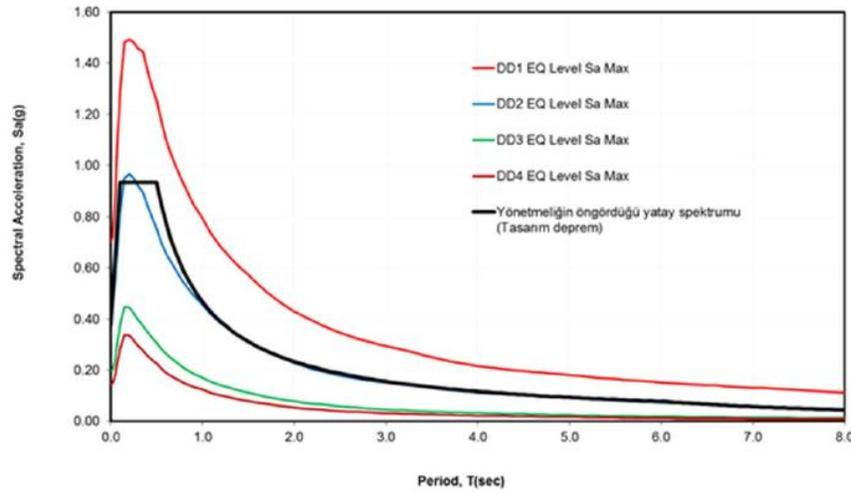
Yapılara etkiyen deprem etkileri yapının iç mekanizması içinde ve yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışları ile sönümlenmeye çalışılır. Gelen etkinin büyüklüğüne bağlı olarak da yapı elemanlarında hasarlar oluşur. Sismik sönümleyiciler, yapılara gelen deprem etkilerinin bir kısmını sönümleyerek yapı elemanlarına gelen etkileri azaltma prensibine dayalı olarak geliştirilmiştir. Viskoz, akma/çevrimsel veya sürtünme mekanizmaları kullanarak sönümleme yapabilen bu ürünlerin çalışma tiplerine göre de hıza veya yer değiştirmeye bağlı olarak farklı tasarım yöntemleri izlenmektedir.

Bu çalışmada, sürtünme mekanizmasına dayalı sismik sönümleyiciler kullanılarak güçlendirme çalışması yapılmıştır.

4.2 Analiz Çalışmaları

Ülkemizdeki mevcut yönetmeliklerde sönümleyici kullanılarak yapı tasarımı ile ilgili herhangi bir bölüm olmaması ve yine TBDY 2018 yönetmeliğinin yönlendirmesi ile sönümleyici tasarımı ve yapıdaki etkilerinin hesaplanması amacıyla ASCE 7-16 yönetmeliği, sönümleyici yapı tasarımı sonrası yapı durumunun belirlenmesi için TBDY-2018 yönetmeliği referans alınarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Analiz çalışmalarına esas olacak davranış spektrumunun belirlenmesi amacı ile Gebze Teknik Üniversitesi tarafından yapının bulunduğu sahaya özel deprem tehlike analizi yapılmıştır. Yapılan sahaya özel deprem tehlike analizi mevcut AFAD deprem haritasından elde edilen spektrum ile karşılaştırılmıştır. Sahaya özel yapılan deprem tehlike analiz spektrumunun yönetmelik spektrumunun altında kalması sebebiyle yönetmelik spektrumu analiz çalışmalarında dikkate alınmıştır (Şekil-3).



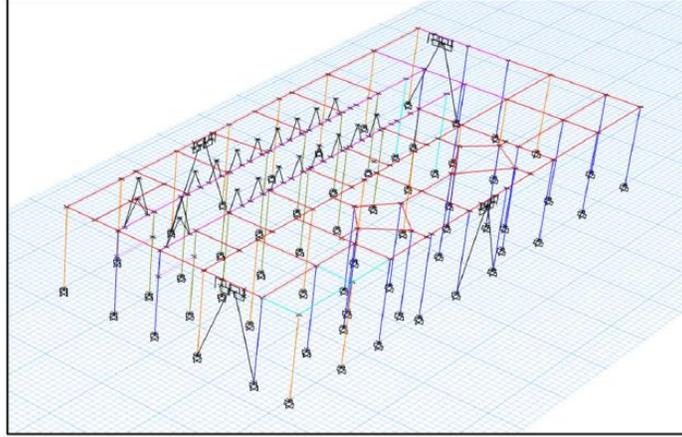
Şekil 3: Sahaya özel ve TBDY 2018 spektrum grafikleri

4.2.1 Davranış Spektrumu ile Doğrusal Hesap Yöntemi

Birinci aşamada doğrusal model içinde etkin rijitlikler kullanılarak modellenmiş sönümleyiciler için eşdeğer viscous sönüm oranları hesaplanmıştır (ASCE 7-16 bölüm 18). Yapılan çalışmalarda X doğrultusunda %24 oranında ilave sönüm, Y doğrultusunda %23 oranında ilave sönüm oranı hesaplanmıştır. Hesaplanan eşdeğer sönüm oranı ile spektrum indirgeme katsayısı yine ASCE 7-16 bölüm 18'e göre hesaplanmıştır. (Tablo-2) İndirgenmiş spektrum ile yapı performansı TBDY 2018'e göre değerlendirilerek sönümleyici ön tasarımının yeterli olduğu teyit edilmiştir. Ön tasarım sonrasındaki aşama olan doğrusal olmayan itme analizine geçilmiştir.

Tablo 2: Eşdeğer viscous sönüm hesabı (Çevrimsel Döngü Ayarlama Katsayısı : 0,5)

Yön	Başlangıç Periyot (sn)	Etkin Periyot (sn)	Eşdeğer Süneklik	Ek Sönüm Oranı	Toplam Sönüm Oranı	İndirgeme Katsayısı	İndirgeme Çarpanı
X	0,38	0,891	0,18189	0,241342	0,291342	1,795	0,56
Y	0,39	0,85	0,21052	0,232897	0,282897	1,772	0,56



Şekil-3: Betonarme yapı bilgisayar modeli

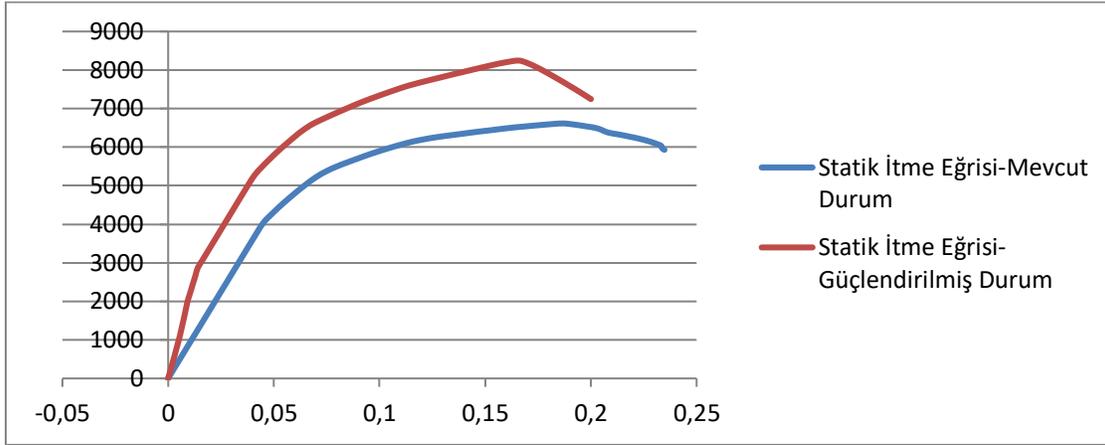
4.2.2 Tek Modlu Doğrusal Olmayan İtme Analizi

TBDY 2018 bölüm 5.6.2’de sabit tek modlu itme analizi yönteminin kriterleri verilmiştir. Buna göre yapının, burulma düzensizliği katsayısının 1.4’den küçük olması ve göz önüne alınan deprem doğrultusunda hakim titreşim moduna ait etkin kütle katılım oranı %70’den fazla olması (**Tablo-3**) sebebi ile tek modlu itme analizi yöntemi uygulanmıştır.

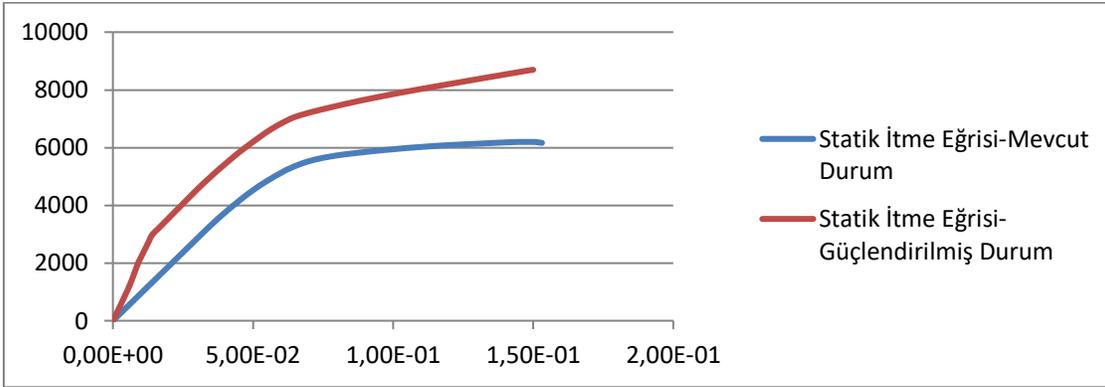
Tablo-3.Yapı Modal Kütle Katılım Oranları

Analiz	Mod	Periyot (saniye)	UX	UY
Modal	1	0.891	0.7351	0.2155
Modal	2	0.849	0.309	0.772
Modal	3	0.72	0.0758	0.1109
Modal	4	0.203	0	0.0001
Modal	5	0.181	4.15E-06	0.0007
Modal	6	0.171	2.5E-05	1.23E-05
Modal	7	0.11	0	0.0002
Modal	8	0.104	0	0.0006
Modal	9	0.087	0	0

Tek modlu itme analizi yöntemi uygulanırken, bilgisayar hesap modelinde yapı elemanları ve sismik sönmüleyicilerin doğrusal olmayan davranış özellikleri tanımlanmıştır. Yapıya her iki yönde itme analizi uygulanarak yapı statik itme diyagramları elde edilmiştir (Şekil-4, Şekil-5).



Şekil-4: Mevcut Durum-Güçlendirilmiş Durum Statik İtme Diyagramları (X-Doğrultusu)



Şekil-5: Mevcut Durum-Güçlendirilmiş Durum Statik İtme Diyagramları (Y-Doğrultusu)

TBDY-2018 Bölüm-5'te belirtilen hesap yöntemlerine uygun olarak hedef deplasman değerleri hesaplanmış ve yapıya bu hedef deplasman değerine kadar itme analizi uygulanmıştır (Tablo-4).

Tablo 4: Hedef deplasman hesabı

										hedef deplasman (m)
Tx	Sae(T)/g	Sae(T)	Sae(T)/Sde (m)	ay1	Ry1	CR1	Sdi1			uxN1
	0,89	0,37	3,60	0,37	0,07	3,29	1,09	1,00	0,07	0,07
Ty	Sae(T)/g	Sae(T)	Sae(T)/Sde (m)	ay1	Ry1	CR1	Sdi1			uyN1
	0,85	0,38	3,77	0,38	0,07	3,43	1,10	1,00	0,07	0,07

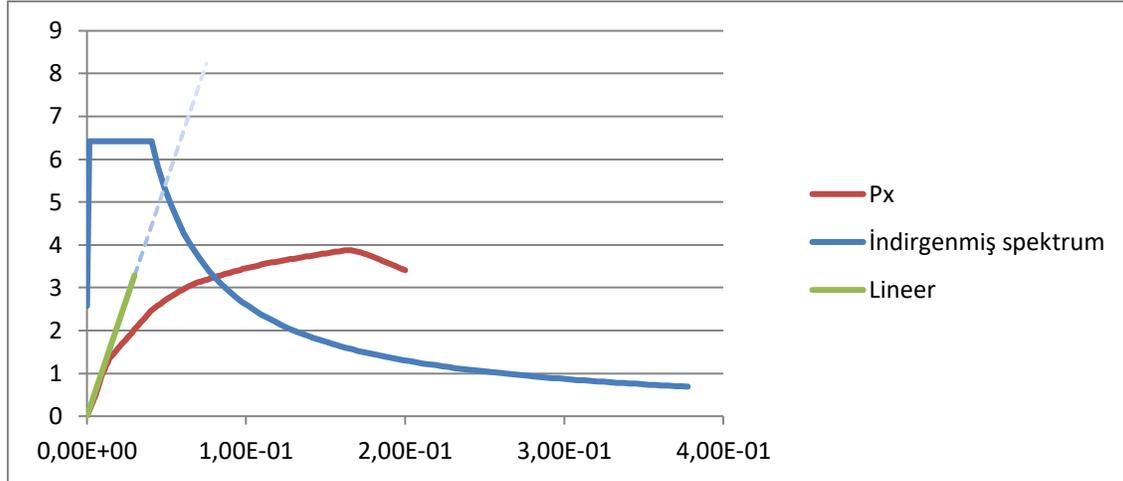
Sae(T) : Elastik spektral ivme (m/s²)

Sde (m): İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme

ay1 : Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi

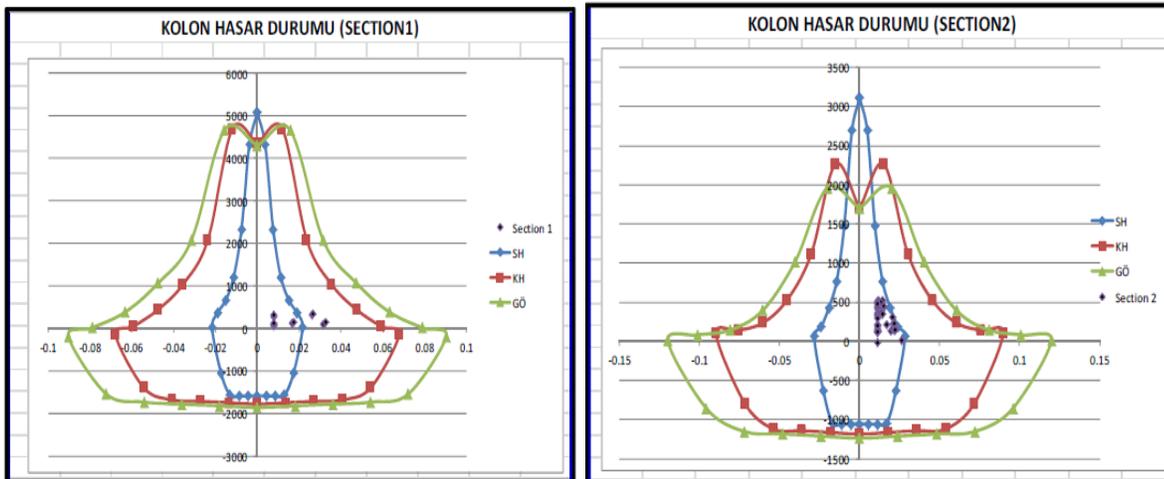
Ry1 : Birinci moda ait Dayanım Azaltma katsayısı

- CR1 : Birinci moda ait spektral yerdeğiştirme oranı
Sdi1 : Birinci moda ait doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme
ux/yN1: Binanın tepesinde X/Y deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirme istemi



Şekil-6: Hedef Deplasman Parametreleri ve Hesabı

Hedef deplasman değerlerine kadar itme analizi uygulanan yapı modelinde tanımlanan plastik mafsallar için hesaplanmış dönme değerleri TBDY-2018 Bölüm-15'e göre hesaplanan kesit hasar sınırlarına göre karşılaştırılarak eleman hasar durumları tespit edilmiştir. Şekil-7'de eksenel yük-eğrilik sınır eğrileri yöntemi kullanılarak iki farklı kesit için kolon hasar sınırları ve eleman hasar durumunun hangi bölgede içerisinde yer aldığı gösterilmiştir.



Şekil-7: Kolon Hasar Sınırları

Yapılan itme analizi sonucunda tüm yapı kolonlarında oluşan hasar düzeyleri öngörülen performans düzeyini sağlamıştır. Ayrıca eleman kesme kapasiteleri ve görelî öteleme kontrolü TS500 ve TBDY-2018 yönetmelikleri doğrultusunda kontrol edilmiş ve sınır değerlerin aşılmadığı gösterilmiştir.

Tablo-5: Eleman Kesme Kapasitesi Kontrolü

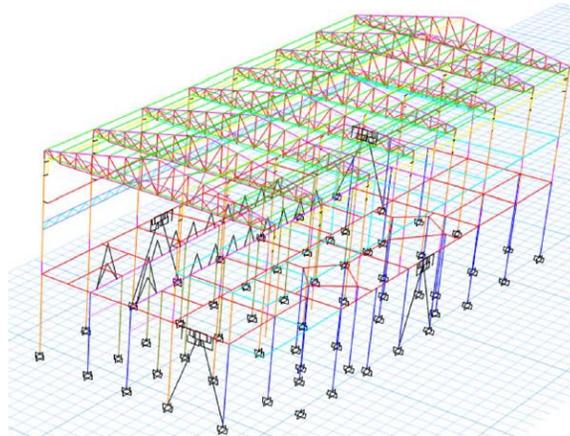
Frame	Case	Mü	Ma	Ve	Vd	Vmin	Nd	0.05 Acfck	V _{capacity} (TS500)	V _{capacity} (TBDY 2018)	Results	Ve/ (bwdfctm)
C116	PUSH X	238.00	238.00	73.23	62.88	62.88	369.44	100.00	369.92	480.83	Capacity is Enough	0.32

Tablo-6: Güçlendirilmiş Yapı Görelî Öteleme Kontrolü

TBDY-2018 Drift Check													
I	1,00				DD2	DD3		Sae(Tx)	0,52	0,22	λ_x	0,41	
R	1,00				Sds	0,935	0,408	Sae(Ty)	0,55	0,23	λ_y	0,41	
Tx	0,890				Sd1	0,467	0,192	K	1				
Ty	0,850				Ta	0,100	0,094						
					Tb	0,499	0,471						
					X-DIRECTION				Y-DIRECTION				
		u(m)	Δ (m)	δ (m)	h(m)	$\lambda*\delta/h$	CHECK	u(m)	Δ (m)	δ (m)	h(m)	$\lambda*\delta/h$	CHECK
	KAT1	0,080	0,080	0,08	6,50	0,00506	OK	0,070	0,070	0,07	6,50	0,004428	OK

4.2.3 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Tek modlu itme analizi ile sismik sönümleyicili betonarme yapının performansı TBDY 2018'e göre değerlendirilmiş ve öngörülen düzeye ulaştığı bir önceki bölümde gösterilmiştir. Ancak doğrusal olmayan sismik sönümleyicilerin çevrimsel davranışını görmek ve betonarme yapının üzerindeki çelik yapı ile birlikte davranışını belirlemek amacıyla tüm yapı (betonarme +çelik) zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile incelenmiştir.



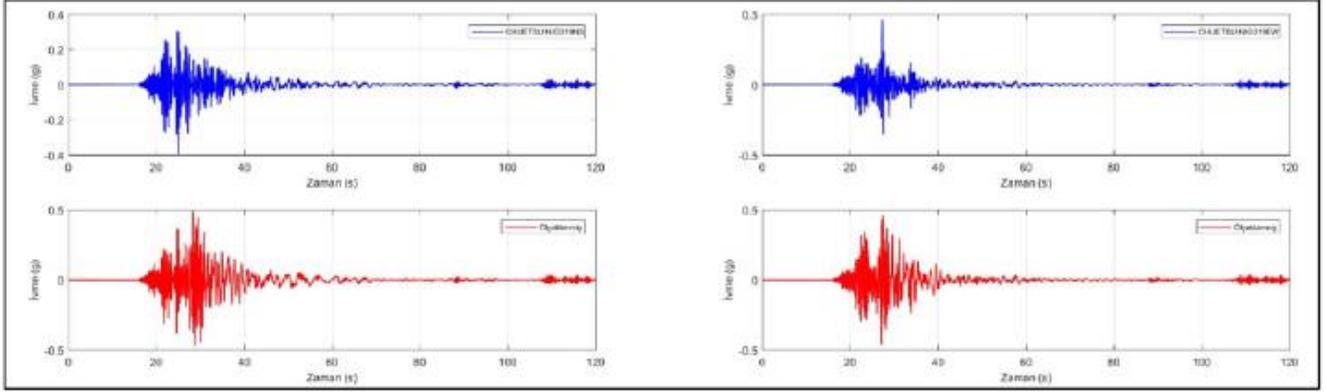
Şekil-8: Betonarme+Çelik Yapı Bilgisayar Modeli

Bu çalışmada amaç performans analizi olmaması sebebi ile 11 deprem için ayrı ayrı doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yapılmamıştır. Bunun yerine daha özet bir yöntem benimsenmiştir. 11 adet DD1 (50 Yılda gerçekleşme olasılığı %2 olan deprem) düzeyinde ivme kaydı ele alınmıştır. 11 adet ölçeklenmiş ivme kaydı doğrusal modellenmiş yapıya uygulanarak her birisi için ayrı ayrı maksimum-minimum taban kesme kuvvetleri

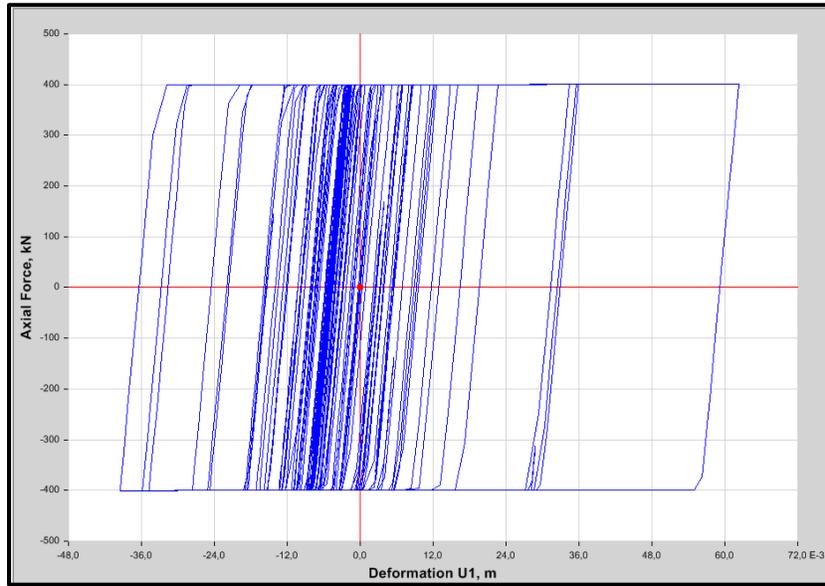
belirlenmiş ve 11 depremin ortalama taban kesme kuvveti değerine en yakın olan deprem ivme kaydı doğrusal olmayan yöntem ile yapıya uygulanmıştır (Tablo-7 ve Şekil-9).

Tablo-7: Kullanılan Deprem Kayıtları ve Taban Kuvvetleri

OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
KOBE-X	LinModHist	Max	15847.862	17417.426	87.659	151905.8271	145151.1445	2043742.372
KOBE-X	LinModHist	Min	-16308.128	-14611.026	-100.811	-143695.944	-150032.057	-1763650.09
KOBE-Y	LinModHist	Max	13389.132	16063.272	91.994	160410.1111	117710.1434	1909449.615
KOBE-Y	LinModHist	Min	-12882.3	-17859.847	-97.819	-153057.676	-119885.553	-2131478.88
HECTOR-X	LinModHist	Max	17649.729	17598.42	65.577	160521.5306	165620.8121	2220271.934
HECTOR-X	LinModHist	Min	-16858.46	-18116.562	-88.452	-166019.75	-159914.083	-2155894.3
HECTOR-Y	LinModHist	Max	15182.315	18882.746	65.972	160955.8954	137947.1389	2305548.126
HECTOR-Y	LinModHist	Min	-18316.529	-18188.208	-81.105	-178615.339	-151196.736	-2126310.35
CHUETSU-NIG019-X	LinModHist	Max	15496.232	14616.393	65.416	155092.7858	122836.0384	1759613.146
CHUETSU-NIG019-X	LinModHist	Min	-13219.613	-17609.676	-88.36	-137468.97	-109638.383	-2029518.82
CHUETSU-NIG019-Y	LinModHist	Max	15829.567	19031.403	132.325	162892.1932	135740.399	2372971.314
CHUETSU-NIG019-Y	LinModHist	Min	-14943.675	-18262.198	-87.339	-173017.471	-147018.053	-2284759.36
CHUETSU-NIG024-X	LinModHist	Max	12504.811	18827.728	95.625	182329.5725	98906.7972	2384766.604
CHUETSU-NIG024-X	LinModHist	Min	-14965.94	-18296.083	-117.177	-166923.536	-131201.331	-2265827.35
CHUETSU-NIG024-Y	LinModHist	Max	14742.519	14333.583	78.978	137012.5184	145727.1492	1663957.953
CHUETSU-NIG024-Y	LinModHist	Min	-15290.678	-14125.184	-85.356	-123086.02	-140810.563	-1638499.33
IWATE-54026-X	LinModHist	Max	13137.585	17031.521	122.828	149464.4722	121452.1262	2074795.216
IWATE-54026-X	LinModHist	Min	-14356.317	-14793.668	-120.351	-164378.897	-123659.43	-1891217.19
IWATE-54026-Y	LinModHist	Max	14239.517	15074.413	112.569	162142.7282	133789.1912	1910103.526
IWATE-54026-Y	LinModHist	Min	-12825.674	-17337.457	-93.315	-152019.809	-110226.809	-2214037.43
IWATE-55441-X	LinModHist	Max	18915.809	18942.917	79.417	155293.7291	169028.9671	2308149.875
IWATE-55441-X	LinModHist	Min	-18720.692	-17224.626	-98.935	-183065.781	-169450.523	-2044425.54
IWATE-55441-Y	LinModHist	Max	15288.387	26140.647	110.83	240303.6652	148506.4201	3210271.16
IWATE-55441-Y	LinModHist	Min	-16143.392	-25496.418	-101.55	-245911.571	-130768.96	-3100252.9
SIERRA-FMO-X	LinModHist	Max	19561.597	17729.042	162.436	144164.7606	164212.4526	2219599.172
SIERRA-FMO-X	LinModHist	Min	-18455.481	-15721.252	-100.567	-175967.946	-163190.996	-1897721.22
SIERRA-FMO-Y	LinModHist	Max	13681.283	20749.581	101.165	189480.9117	137002.9755	2587188.925
SIERRA-FMO-Y	LinModHist	Min	-15588.072	-20354.29	-103.864	-195742.867	-144638.015	-2526623.49
SIERRA-2027B-X	LinModHist	Max	16853.367	20131.863	118.581	152466.9527	164981.2109	2498020.707
SIERRA-2027B-X	LinModHist	Min	-13821.587	-17220.746	-109.061	-178209.003	-133734.18	-2170329.29
SIERRA-2027B-Y	LinModHist	Max	12744.78	19788.018	135.054	156392.5262	127742.5517	2454996.901
SIERRA-2027B-Y	LinModHist	Min	-12532.967	-17003.082	-124.279	-163399.789	-111707.696	-2112439.4
DARFIELD-HVS-X	LinModHist	Max	14340.823	24617.269	97.923	254925.2687	137308.7663	2955089.668
DARFIELD-HVS-X	LinModHist	Min	-15164.743	-28194.462	-107.701	-238082.501	-139329.726	-3414767.2
DARFIELD-HVS-Y	LinModHist	Max	17919.793	20688.904	103.689	189856.5752	187530.2232	2611263.008
DARFIELD-HVS-Y	LinModHist	Min	-16688.693	-21043.157	-109.122	-202505.744	-162337.751	-2634816.37
DARFIELD-SBR-X	LinModHist	Max	13416.248	17662.328	126.839	137680.3114	123438.4875	2174235.561
DARFIELD-SBR-X	LinModHist	Min	-13012.293	-15068.895	-109.039	-164711.388	-130683.182	-1779630.25
DARFIELD-SBR-Y	LinModHist	Max	15354.295	18403.439	117.706	163066.9464	139671.5802	2185090.728
DARFIELD-SBR-Y	LinModHist	Min	-16510.279	-16919.848	-85.252	-169228.065	-143964.942	-2019155.97
DARFIELD-SPE-X	LinModHist	Max	15462.906	18879.938	99.75	187470.9013	142821.0132	2361248.025
DARFIELD-SPE-X	LinModHist	Min	-16448.474	-21222.298	-93.213	-186503.145	-151705.06	-2623573.29
DARFIELD-SPE-Y	LinModHist	Max	13785.176	22007.092	115.197	209294.2355	120658.2328	2791931.983
DARFIELD-SPE-Y	LinModHist	Min	-13744.385	-23355.897	-121.84	-202638.847	-121461.716	-2809819.61

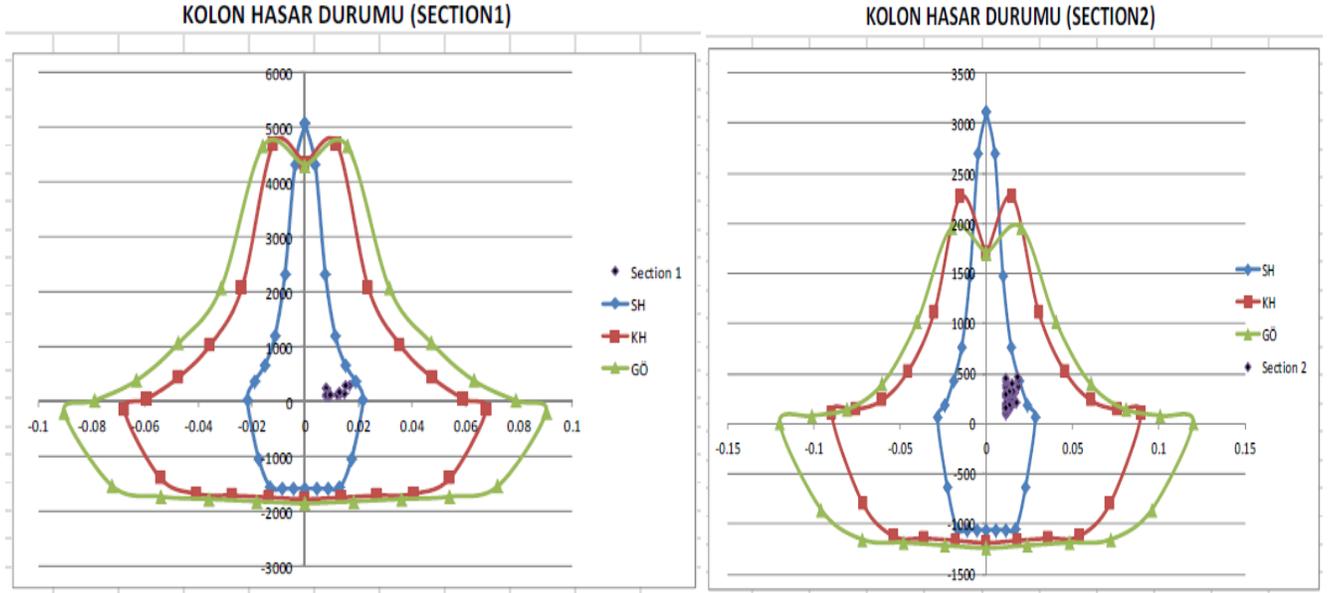


Şekil-9: Yapıya Uygulanan Deprem Kaydı



Şekil-10: Deprem Kaydı Altında Sismik Sönümleyici Davranışı

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda her bir sönümleyicinin histerik davranış eğrileri alınarak çalışma performansları gözlenmiştir (Şekil 10). İlave olarak yapı modeli üzerinde tanımlanan plastik mafsalların üzerlerindeki dönme değerleri TBDY-2018 Bölüm-15'e göre hesaplanan kesit hasar sınırlarına göre karşılaştırılarak eleman hasar durumları tespit edilmiştir. Şekil-11 'de iki farklı kesit için kolon hasar sınırları ve eleman hasar durumunun hangi bölge içerisinde yer aldığı gösterilmiştir.

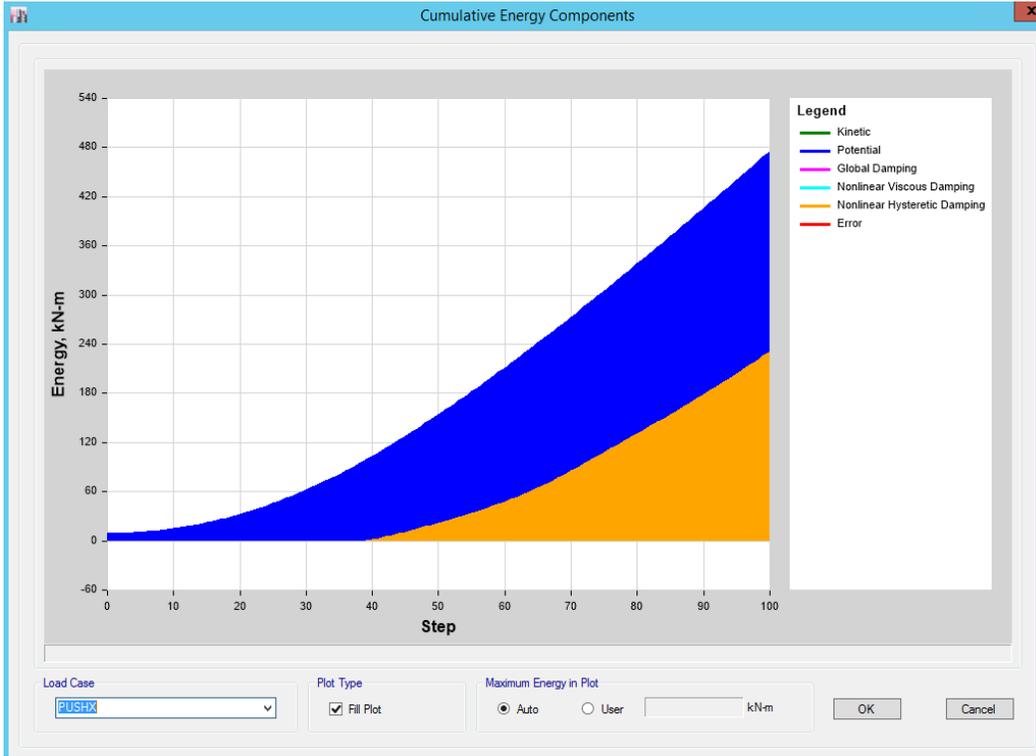


Şekil-11: Kolon Hasar Sınırları

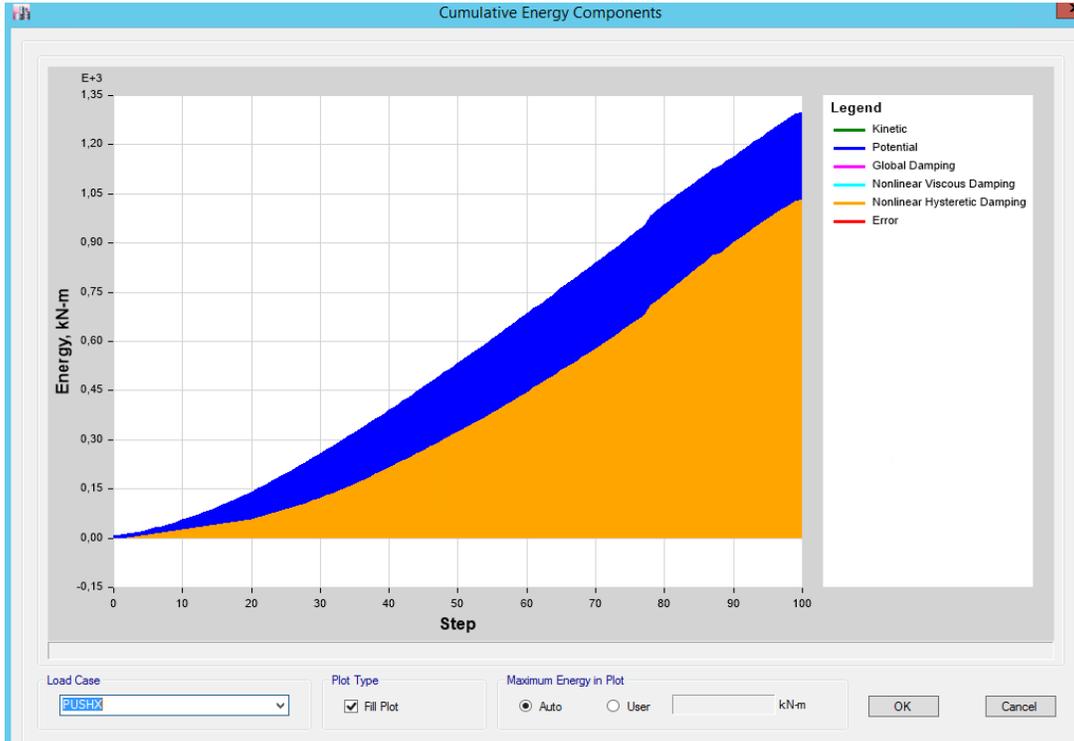
5.SONUÇ

Yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1- Yapılar boşaltılmadan veya aktif halde işlevlerine devam ederken sismik sönümleyici uygulaması ile güçlendirme çalışmaları yapıp istenilen performans seviyesine ulaştırılabilir. Bu durum özellikle endüstriyel tesislerdeki üretim kaybının ve olası zararların önleyecektir.
- 2- Mevcut yapıda sınır değerleri aşan görelî öteleme oranı sismik sönümleyici kullanılarak yapılan güçlendirme çalışmasında sınır değerler içinde kalmıştır.
- 3- Öngörülen performans düzeyini sağlamayan mevcut yapı sismik sönümleyiciler ile güçlendirme uygulaması ile istenilen performans düzeyine ulaştırılmıştır.
- 4- Şekil-12 ve Şekil-13 de görüldüğü gibi mevcut yapıda görülen doğrusal olmayan histerik enerji sönümü düşük mertebelerde iken sismik sönümleyici ilavesi ile yapı yaklaşık 4 kat fazla miktarda doğrusal olmayan enerji sönümlemesi gerçekleştirmektedir. Aradaki bu fark sismik sönümleyicilerin verimli şekilde enerji sönümlediğini göstermektedir.



Şekil-12: Mevcut Yapı Enerji Sönüm Grafiği



Şekil-13: Güçlendirilmiş Yapı Enerji Grafiği

6. KAYNAKLAR

1. TBDY-2018: “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği” Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018, Ankara.
2. “TS 500: Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları”, Türk Standardları Enstitüsü, 2000, Ankara.
3. “TS 498: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri”, Türk Standardları Enstitüsü, 1997, Ankara.
4. “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik” Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016, Ankara.
5. TS EN 13791, (2010). “Basınç Dayanımının Yapılar ve Öndökümlü Beton Bileşenlerde Yerinde Tayini”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
6. TS EN 12504-1-1 (2002). “Yapıda Beton Deneyleri, Bölüm 1: Karot Numuneler – Karot Alma, Muayene ve Basınç Dayanımının Tayini”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
7. FEMA 356 – Federal Emergency Management Agency, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Kasım 2000.
8. ASCE 7-16. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures