

Betonarme Çok Katlı Sanayi Yapısı Sönümleyici Kullanılarak Güçlendirme

Suat Yıldırım¹, Ali Mahdavi¹, Yüksel İ. Tonguç¹

¹ İnşaat Yük. Müh., PROMER Müh. Müh. AŞ.
Email: syildirim@promerengineering.com.tr

ÖZET

Gıda sektöründe faaliyet gösteren bir endüstri yapısının zemin + 3 katlı betonarme binası TBDY 2018 bölüm 15'e göre yapılan performans analizinde yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Üretim amaçlı kullanılan yapı 3 bloktan oluşmaktadır. Üretimin durdurulmasının mümkün olmadığı yapıda hijyen kriterleri sebebi ile klasik güçlendirme yöntemlerinin uygulanması işveren tarafından uygun bulunmamıştır. Yapılan alternatif güçlendirme çalışmaları içinde enerji sönümleyici kullanılarak güçlendirme yöntemi kabul görmüştür.

3 bloktan oluşan yapı öncelikle davranışın iyileştirilmesi amacı ile birleştirilmiştir. Birleştirilen blokların beton dayanımları sırası ile 24 MPa, 18 MPa ve 22 MPa olarak tespit edilmiştir. S420 donatı özelliğine sahip yapıda etriye sıklaştırması mevcuttur. Göreli olarak iyi durumda olan yapı zemin + 3 katlıdır. Toplamda 18 m. x 48 m taban alanına sahip yapının kat yükseklikleri sırası ile 6.20 m, 4.50 m, 6.10 m ve 6.00 m olarak tespit edilmiştir. Beton ve donatı kalitesi göreli olarak iyi olmasına karşın eksantrik konumda bulunan asansör perdesi dışında perde bulunmaması ve yüksek kat yükseklikleri sebebi ile yüksek göreli öteleme ve kolonlarda eğilme kapasite eksikliği problemine yol açmıştır.

Sönümleyici tasarım kriterleri TBDY 2018'de bulunmaması sebebi ile yapı sönümleyici tasarımında ASCE 41-17 ve ASCE 7-10 standartları kullanılmıştır. Sönümleyici kullanılarak güçlendirilmiş yapı için doğrusal eşdeğer sönüm hesapları sonucu X ve Y yönü için sırası ile yaklaşık % 21 ve % 20 ek sönüm hesaplanmıştır. Bu sönüm oranlarına göre hesaplanmış sırası ile X ve Y yönü için 0.58 ve 0.60 indirgeme katsayıları ile indirgenmiş spektrum kullanılarak yapılan çok modlu itme analizlerini takiben sahaya özel deprensellik çalışması sonucu tespit edilmiş 11 adet deprem ivme kaydı kullanılarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Analizler sonucu güçlendirilmiş yapı için tekrar TBDY 2018 kriterlerine göre performans analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sanayi yapısı güçlendirme, Enerji sönümleme, Sönümleyici.

Yapı Bilgileri ve Mevcut Durum

1980'lerde inşa edilmiş yapı gıda üretim sektöründe faaliyet göstermektedir. Betonarme çerçeve tipi taşıyıcı sisteme sahip zemin + 3 katlı yapı farklı zamanlarda inşaa edilmiş 3 bloktan oluşmaktadır. Yapı zemin sınıfı zemin araştırması ile ve farklı blokların beton dayanımları ise karot numuneleri ile tespit edilmiş ve Tablo 1'de verilmiştir. Yapı tipik kolon ebatları Tablo 2'de, kat yükseklikleri Tablo 3'te, yapı giriş ve donatı özellikleri tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 1. Yapı özet bilgileri

İli	Bursa
Taşıyıcı Sistem	Betonarme 3 Blok
Yapım Yılı	1980'ler
Toplam Kat Sayısı	Zemin + 3
Kat Alanı	864 m ²
Mevcut Beton Sınıfı	A=24 MPa, C=18MPa, C1=22MPa
Zemin Sınıfı	ZD

Tablo 2. Kolon ebatları

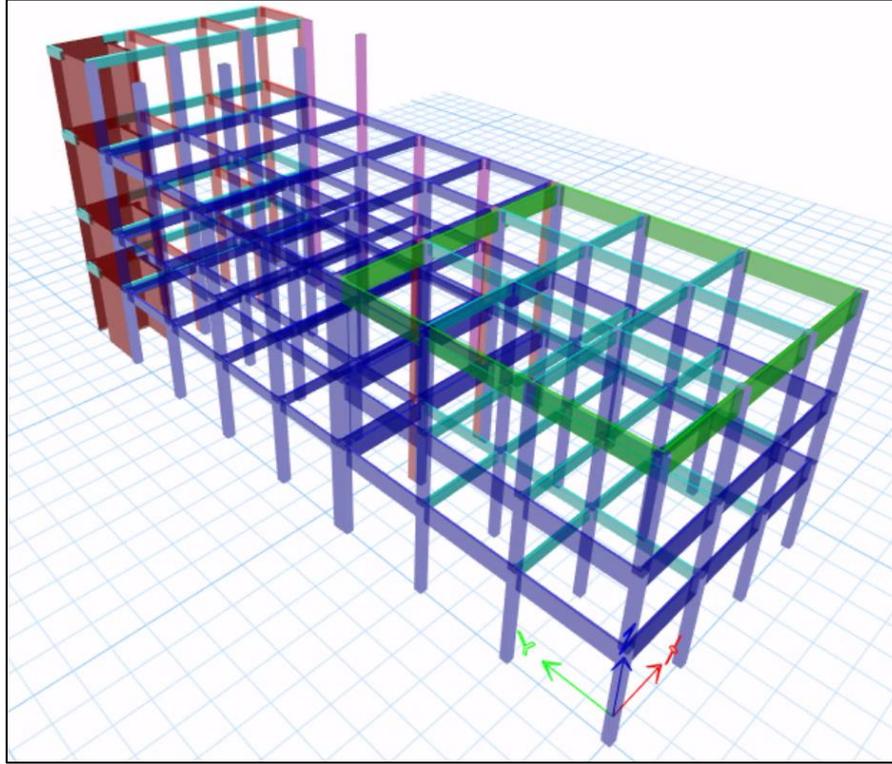
		t3 (m)	t2 (m)
Kesit 1	C50x50 A_2. Kat	0.5	0.5
Kesit 2	C50x50 A_Z,1. Kat	0.5	0.5
Kesit 3	C50x60 C_Z,1.,2. Kat	0.5	0.6
Kesit 4	C60x50 C_Z,1.,2. Kat	0.6	0.5
Kesit 5	C60x60 C_Z,1.,2. Kat	0.6	0.6

Tablo 3. Kat yükseklikleri

Kat No	Yükseklik (m)
3. Kat	6.00
2. Kat	6.10
1. Kat	4.50
Zemin	6.20

Tablo 4. Kiriş ve donatı özellikleri

Kiriş Ebatı	0.3m x 0.6m
Donatı Cinsi	S420
Etriye Sıklaştırması	Var



Şekil 1. Mevcut yapı Etabs modeli 3D

TBDY 2018 kriterleri ile çok modlu itme yöntemi ile yapılan performans analizleri için ETABS yazılımı ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak 3 boyutlu model oluşturulmuştur (Şekil 1). Modelde kolon ve kirişler için çubuk eleman, perdeler için kabuk eleman modellemesi kullanılmıştır. Döşeme yükleri kirişlere aktarılmış ve rijit diyafram modellemesi kullanılmıştır. 3 bloktan oluşan yapıda, yüksek kat yükseklikleri ve ağır ekipman yükleri sebebi ile görelî ötemeler yönetmelik kriterleri üzerinde tespit edilmiştir. Güçlendirme öncesi ayrıık bloklar halinde olan yapıda C1 blokta (Şekil 2) ilave olarak devrilme problemi tespit edilmiştir.

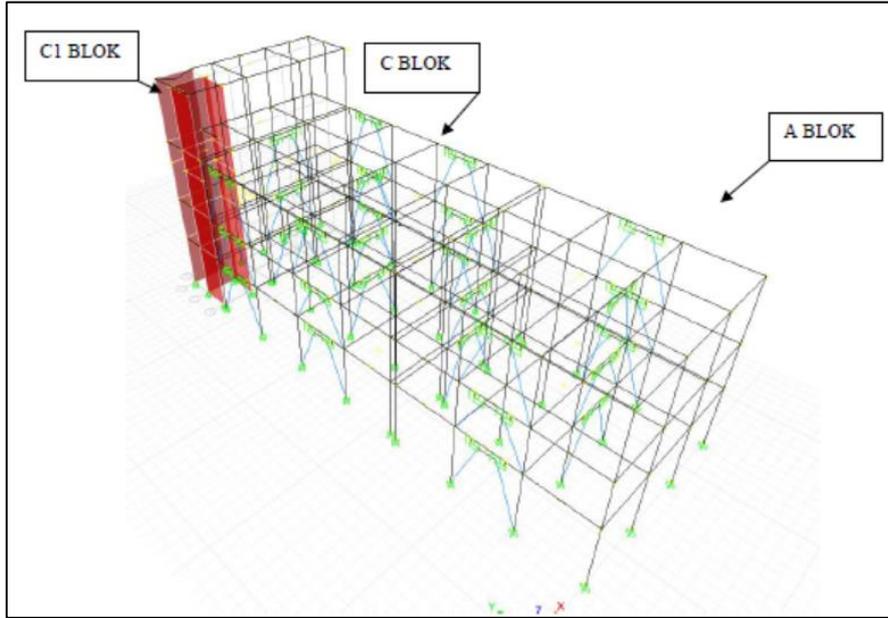
Güçlendirme Çalışmaları

Genel

7/24 çalışma programı olan yapıda tespit edilen problemlerin çözümü için ıslak imalatlar içeren veya tesisin çalışmasını engelleyen güçlendirme yöntemlerinin uygulanması işveren tarafından uygun görülmemiştir. Bu sebep ile yapıda, kullanılmasına engel olmadan ve hijyenik çalışma koşullarını da bozmadan enerji sönümleyiciler kullanılarak güçlendirme yöntemi çalışılmıştır.

Bitişik 3 ayrı blok için ayrı ayrı güçlendirme yapmak uygulanabilir bulunmamıştır. Bu sebep ile öncelikle bloklar birleştirilmiş ve birleştirilmiş model bir bütün halinde tek diyafram modeli ile çalışılmıştır (Şekil 2). Uygulamada blok birleştirilmesi blok arası kesme etkilerini karşılayacak kapasitede tasarlanan delgeç kiriş ankrajları ile sağlanmıştır (Şekil 3).

Yapı güçlendirme analizleri için ETABS programında modellenmiştir. Döşemelere etki eden sabit ve hareketli yükler, eşdeğer yayılı yüke dönüştürülerek kirişler üzerine etkilmiştir. Döşeme davranışı için modelde rijit diyafram özelliği kullanılmıştır. Yapının doğrusal olmayan performansın değerlendirilmesinde eğilmeye çalışan çubuk ve kabuk elemanlarda çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılmıştır. Kolon ve kiriş elemanların doğrusal olmayan davranışı, eleman uçlarında tanımlanan plastik mafsallarla temsil edilmiş, kolonlar için P-M2-M3, kirişler için de M3 plastik mafsalları tanımlanmıştır. Betonarme perdeler için P-M3 Fiber mafsalları tanımlanmıştır.



Şekil 2. Birleştirilmiş, sönümleyici uygulanmış bloklar Etabs modeli



Şekil 3. Kiriş ankrajları

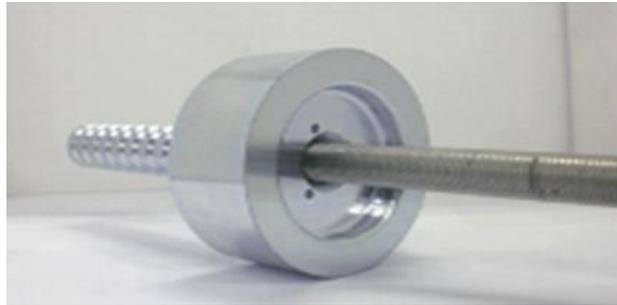
Sönümleyici sistemi için yapı geometrisine uygun olarak ters V (chevron) tipi çapraz sistemi seçilmiştir (Şekil 4). Her iki yönde (X ve Y) yerleştirilen sönümleyicilerin yerleşiminde uygulanabilirlik, tesis çalışmasına ve hijyen ortamına engel olmaması göz önünde bulundurulmuştur. Sönümleyiciyi yapıya bağlayan çelik çerçeve DD-2 deprem seviyesinde doğrusal kalacak kapasitede tasarlanmıştır. İlave olarak çerçeyi yapıya bağlayan ankraj sisteminde imalat sırasında toz çıkarmaması ve normal ankrajlara göre 3 katı kesme kapasitesi bulunması sebebi ile daha az sayıda ankraj kullanımına olanak veren MaSTER DISK[®] tercih edilmiştir (Şekil 5).

Sönümleyiciler, yapıya gelen sismik, rüzgar ya da benzeri dinamik yüklerden oluşan yatay kuvvetleri sürtünme, hidrolik sıvıların akışkanlığı, metallerin akması vb. yöntemler ile ısı enerjisi gibi farklı enerjilere çevirerek yapıya gelen etkileri azaltan sistemlerdir.

Yapılan çalışmada, sönümleyici özellikleri ve sönümleyicinin yapıdaki etkilerinin hesaplanması için ASCE7 – *Seismic Design Requirements for Structures with Damping Systems* bölümü kullanılırken, sönümleyici uygulaması sonucu yapı durumunun belirlenmesi için ASCE41 – *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings* kuralları dikkate alınmaktadır. Analiz sonucunda yapı TBDY 2018'e göre tekrar kontrol edilmiştir.



Şekil 4. Ters V tipi montajı tamamlanmış sürtünme tipi sönümleyici



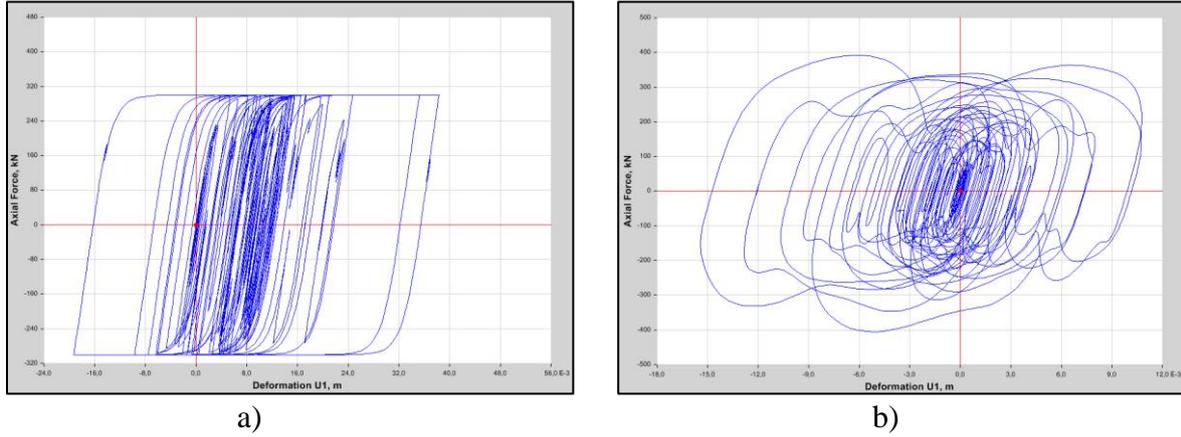
Şekil 5. MaSTER DISK[®]

Sönümleyici Kullanılarak Güçlendirme

Sönümleyicilerin, sürtünme, hidrolik, metalin akmasına dayanan tiplerine ilave olarak sönümleme özelliği de bulunan BÖÇ (Burkulması önlenmiş çapraz) çerçeve gibi türleri mevcuttur. Her bir türün kendine has kullanım yerleri ve birbirlerine göreli olarak avantaj ve dezavantajları vardır. Projede kullanılacak sönümleyici türünün belirlenmesi amaçlı öncelikle bir karşılaştırma çalışması yapılmıştır.

Yapının rijitliğini artırması sebebi ile BÖÇ türü tercih edilmemiştir. Sürtünme ve Hidrolik tiplerinin karşılaştırılması amaçlı seçilen bir deprem için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Karşılaştırma için yapıya özel ölçeklenen RSN176 IMPVALL.H H_EI3140 kodlu deprem kaydı kullanılmıştır. Sürtünme tipi için 300 kN kapasiteli sönümleyici seçilmiştir. Çalışmalar sonucu sürtünme tipi sönümleyici ile elde edilen sönüm oranlarına en yakın sönümleme (X: % 21, Y: % 20) değeri 110 kips (489 kN) kapasiteli hidrolik sönümleyici ile elde edilmiştir. Analizlerde kullanılan hidrolik sönümleyicinin özellikleri: $C:44.8$ Kip*(s/in)^{Cexp=1250} kN*(s/m)^{Cexp}, Damping Exponent=0.3.

Performansları yakın bulunan Şekil 6'da gösterilen sönümleyiciler arasında fayda/maliyet oranları dikkate alınarak müşteri tarafından sürtünme tipi tercih edilmiştir.



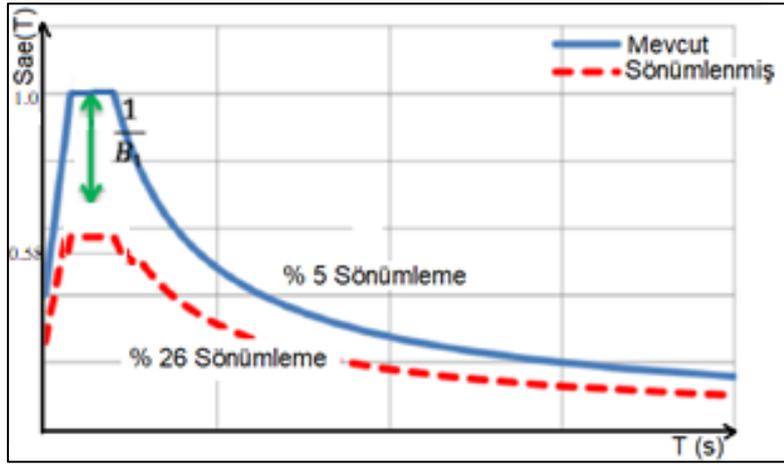
Şekil 6. Sönümleyici zaman tanım alanında analiz altında davranışı a) Sürtünme tipi , b) Hidrolik tipi

Sönümleyicinin yapıya olan etkisinin tespiti için ASCE 7-16'da tanımlanan *Equivalent Lateral Force Procedure (Doğrusal)* yöntemi kullanılarak yapıda gerçekleşen efektif sönüm değeri hesaplanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Sönümleyicili yapı için hesaplanmış eşdeğer hidrolik sönüm analiz sonuçları

Tx (Eşdeğer Rijitlik)	1.04 s
Ty (Eşdeğer Rijitlik)	0.7 s
Ek Sönüm - X	21.2%
Ek Sönüm - Y	19.86%
Toplam Sönüm -X	26.2%
Toplam Sönüm -Y	24.86%
İvme İndirgeme - X	0.58
İvme İndirgeme - Y	0.6
Sönümleyici Deplasmanları	0.026 m -0.059 m

Yapı davranış spektrumu hesaplanan efektif sönüme göre ASCE 7-16'da verilen formül ile azaltılmıştır (Şekil 7). İndirgenmiş spektrum ile TBDY 2018 Ek 5B'ye göre bulunan hedef deplasmanı hesaplanmıştır. Ancak bu noktada birleştirilmiş durumda yapının TBDY 2018 bölüm 5.6.2.2 tek modlu itme analizi ön şartı olan öngörülen etkin modlar için kütle katılım oranları kriterlerini (>0.70) sağlamamış olması (Tablo 6) sebebi ile öncelikle *Çok Modlu İtme Analizi* ile performans analizi yapılması gerekmiştir. TBDY 2018'de tariflenen çok modlu itme analizinin mevcut yazılımlar ile yapılmasının mantıklı zaman aralığında mümkün olmaması sebebi ile bu aşamada yaklaşık bir çok modlu itme yöntemi kullanılmıştır. Bu amaç ile her yönde kütle katılım oranları toplamı % 70'i geçecek şekilde 3 mod için ayrı ayrı hedef deplasman hesaplanmış, her birisi için ayrı ayrı tek modlu itme analizi yapılmış, SRSS (kareler toplamının karekökü) yöntemi ile sonuçlar toplanarak değerlendirme yapılmıştır.

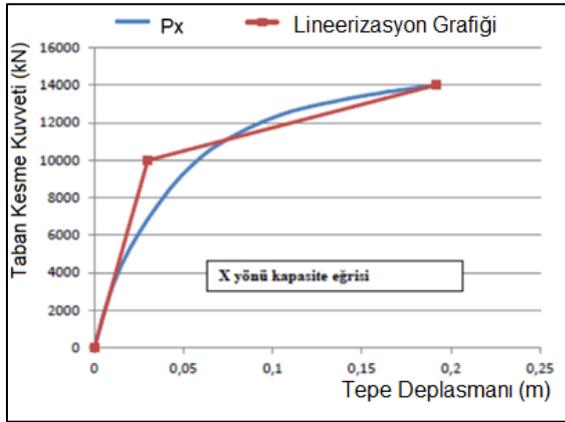


Şekil 7. Sönüm artışı ve spektrum indirgenmesi -X

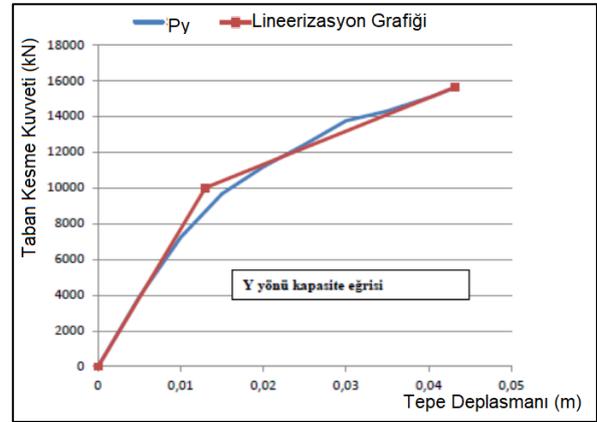
Tablo 6. Birleştirilmiş, Güçlendirilmiş Yapı Periyotları ve Kütle Katılım Oranları

Mod	Periyot (s)	U _x	U _y
1	0.482	0.57	0.04
2	0.353	0.08	0.69
3	0.286	0.17	0.05
4	0.191	0.02	0.04

Burada örnek olarak X ve Y yönleri için yapılmış olan hedef deplasman hesaplanması amaçlı kapasite eğrileri Şekil 8’de görülebilir. İlave olarak yine örnek olması için 1. ve 2. Periyot için sırası ile X ve Y yönleri için hedef deplasman hesaplaması Tablo 7’de verilmiştir.



a)



b)

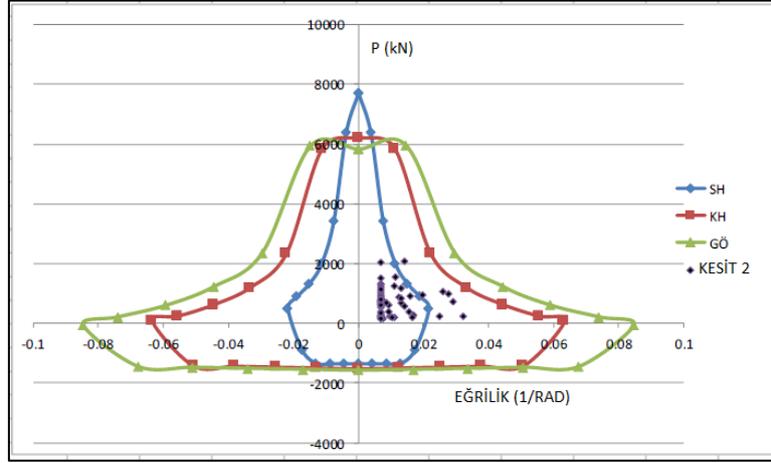
Şekil 8. İtme kapasite eğrileri a) Tek modlu itme kapasite eğrisi -X, b) Tek modlu itme kapasite eğrisi-Y

Tablo 7. X yönü (1. Periyot) ve Y yönü (2. Periyot) için hedef deplasman hesabı

								Hedef Deplasman (m)
T _x	S _{se} (T)/g	S _{ae} (T)	S _{de} (m)	ay1	Ry1	CR1	S _{di} 1	unN1
0.48	1.048	10.28	0.06	2.68	3.83	1	0.06	0.078
T _x	S _{se} (T)/g	S _{ae} (T)	S _{de} (m)	ay1	Ry1	CR1	S _{di} 1	unN1
0.35	1.048	10.28	0.031	2.85	3.60	1.27	0.040	0.046

Yapılan 3 modlu performans analizi sonuçlarını değerlendirmek amaçlı aksel yük-eğrilik sınır grafikleri yöntemi kullanılmıştır. Örnek olarak Kesit 2 (Tablo 2 – 0.50x0.50 kolon) için güçlendirme

sonrası Performans eğrileri Şekil 9’da verilmiştir. Örnekte verildiği şekilde tüm kolonların DD-2 deprem seviyesi için KH (kontrollü hasar) performans sınır değeri altında kaldığı hesaplanmıştır.

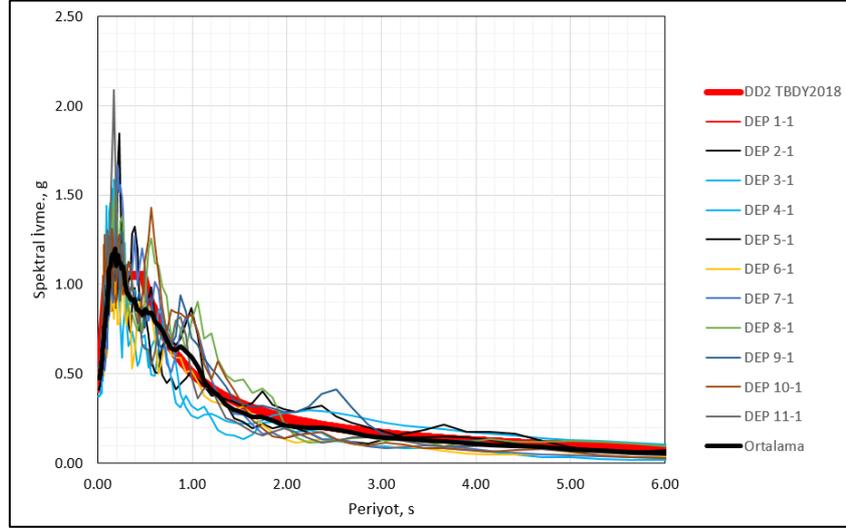


Şekil 9. Kesit 2 kolon hasar durumu-X yönü çok modlu itme sonucu

Şu ana kadar tariflenen performans analizi yöntemleri yaklaşık hesap için yeterlidir. Ancak kullanılan sönümleyicilerin bilinear (iki doğrultulu) doğrusal olmayan davranışları sebebi ve TBDY 2018 tek modlu analiz öngördüğü etkin modlardaki en az % 70 şartını karşılamaması sebebi ile doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerde Tablo 2-4’te listelenen ve proje depremsellik danışmanı tarafından verilmiş olan 11 adet deprem kaydı (Tablo 8) DD-2 deprem seviyesi için AFAD spektrumuna göre ölçeklendirilmiş ve her iki yönde binaya etki ettirilerek 22 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme yapılmıştır. Kullanılan deprem kayıtlarının elastik spektral ivme – periyod diyagramları Şekil 10’da verilmiştir.

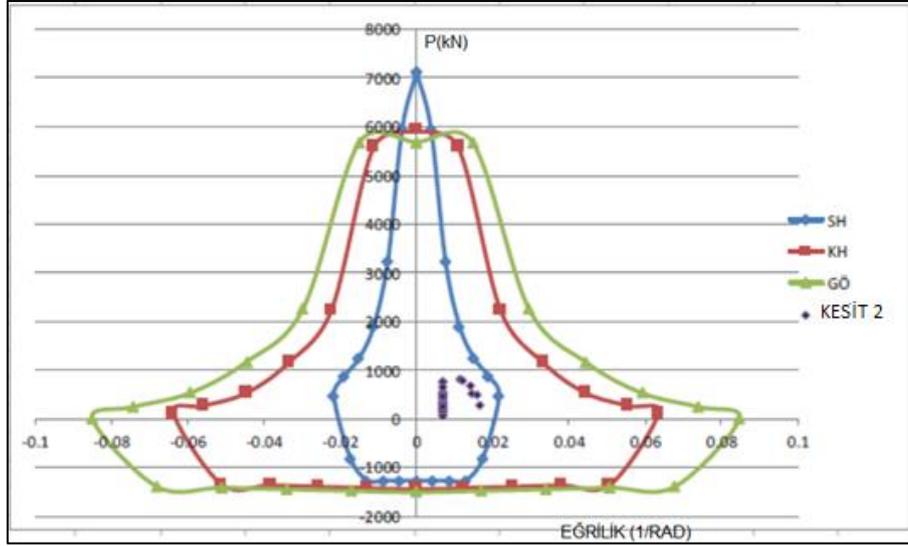
Tablo 8. Zaman tanım alanında analiz için kullanılan 11 adet deprem kaydı.

E-W YÖNÜ		N-S YÖNÜ	
DEPREM İSMİ	KODU	DEPREM İSMİ	KODU
RSN169_IMPVAL.L.H_H-DLT262	DEP 1-1	RSN169_IMPVAL.L.H_H-DLT352	DEP 1-2
RSN176_IMPVAL.L.H_H-E13140	DEP 2-1	RSN176_IMPVAL.L.H_H-E13230	DEP 2-2
RSN184_IMPVAL.L.H_H-EDA270	DEP 3-1	RSN184_IMPVAL.L.H_H-EDA360	DEP 3-2
RSN880_LANDERS_MCF000	DEP 4-1	RSN880_LANDERS_MCF090	DEP 4-2
RSN1100_KOBE_ABN000	DEP 5-1	RSN1100_KOBE_ABN090	DEP 5-2
RSN2714_CHICHI.04_CHY046E	DEP 6-1	RSN2714_CHICHI.04_CHY046N	DEP 6-2
RSN2715_CHICHI.04_CHY047W	DEP 7-1	RSN2715_CHICHI.04_CHY047N	DEP 7-2
RSN3752_LANDERS_FFP210	DEP 8-1	RSN3752_LANDERS_FFP300	DEP 8-2
RSN5827_SIERRA.MEX_MDO000	DEP 9-1	RSN5827_SIERRA.MEX_MDO090	DEP 9-2
RSN6948_DARFIELD_OXZE	DEP 10-1	RSN6948_DARFIELD_OXZN	DEP 10-2
RSN6961_DARFIELD_RKACN14E	DEP 11-1	RSN6961_DARFIELD_RKACS76E	DEP 11-2



Şekil 10. Ortalama elastik spektral İvme-Periyot

DD-2 deprem seviyesine ölçeklenmiş 11 Deprem Kaydı ile yapılan zaman tanım alanında analiz sonuçlarını ortalaması ile kolon ve perdelerin performansları yine aksel yük-eğrilik kapasite eğrileri yöntemi ile kontrol edilmiştir. Şekil 11’de örnek olarak yine aynı kolon, kesit 2 (Tablo 2 - 0.50 m x 0.50 m) için X yönü hesaplanan eğriliklerin sınır değerleri ile karşılaştırılması gösterilmiştir. İlave olarak kesme ve öteleme kontrolleri de yapılmıştır. Şekil 11 ile Şekil 9 kıyaslandığında aynı kolon tipi için 11 depremin ortalaması alınarak hesaplanan eğriliklerin çok modlu itme yöntemine göre daha düşük olduğu görülebilir.



Şekil 11. Kesit 2 kolon hasar durumu- zaman tanım alanında X yönünde 11 deprem ortalaması

Sonuç

7/24 çalışan bir gıda üretim tesis yapısının güçlendirilmesi hem yapı kullanımının aksatılmaması ve hem de hijyenik ortamın bozulmaması için klasik yöntemler ile yapılamamıştır. Enerji sönmüleyiciler kullanılarak yapı TB DY 2018 kriterlerini sağlar duruma getirilmiş ve güçlendirme imalatı tamamlanmıştır. Montaj esnasında toz çıkmasının önüne geçmek ve daha az sayıda ankraj yapılabilmesi için yüksek kesme dayanımı olan ve karot makinası ile montajı yapılan özel bir disk ankraj kullanılmıştır.

Referanslar

ASCE 7-16 (2016) Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-16), American Society of Civil Engineers, USA

ASCE 41-17 (2017) Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, Published by The American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, p. 20191-4382, USA.

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği (2016) , Ankara, Türkiye

EN 1992-4 Design of Fastenings for Use in Concrete, Structural Eurocodes, Eurocode 2, Europe

Design Guideline for Disk Anchorage (2019), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

TBDY 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Resmi Gazete, Tarih: 18 Mart 2018, Sayı: 3036