

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 viscous 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 KELİMELER: Sismik sönümleyici, endüstriyel yapı, efektif sönüm

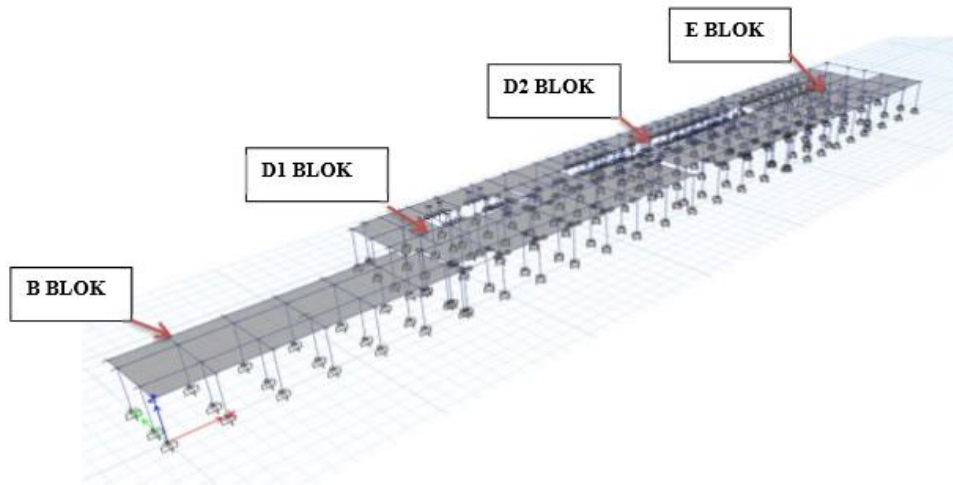
1. GİRİŞ

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 12.5MPa 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, D.1, 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 ekipman 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, 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 Ekipman-1



Şekil-2b Ekipman-2

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. Alttaki 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 Prensibi

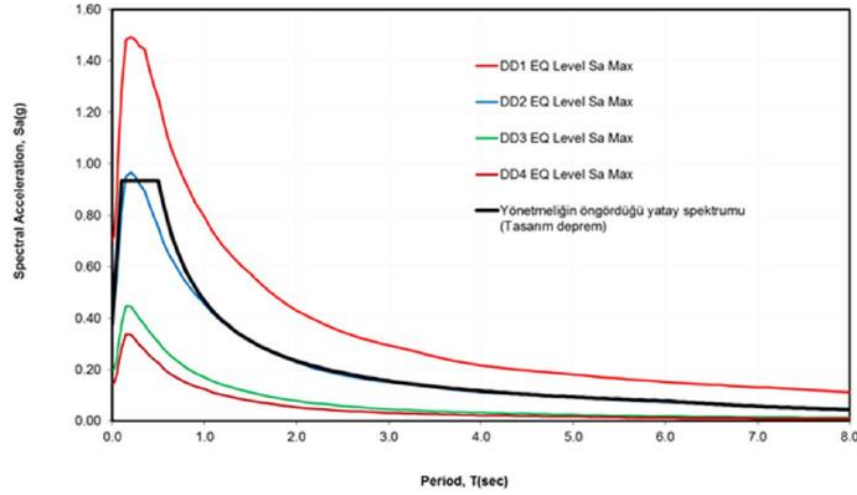
Yapılara etkiyen deprem etkileri yapının iç mekanizması içinde ve yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışları ile sönümlenmeye çalışılır. Gelen etkinin büyüklüğüne bağlı olarak da yapı elemanlarında hasarlar oluşur. Sismik sönümleyiciler, yapılara gelen deprem etkilerinin bir kısmını sönümleyerek yapı elemanlarına gelen etkileri azaltma prensibine dayalı olarak geliştirilmiştir. Viskoz, akma/çevrimsel veya sürtünme mekanizmaları kullanılarak 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

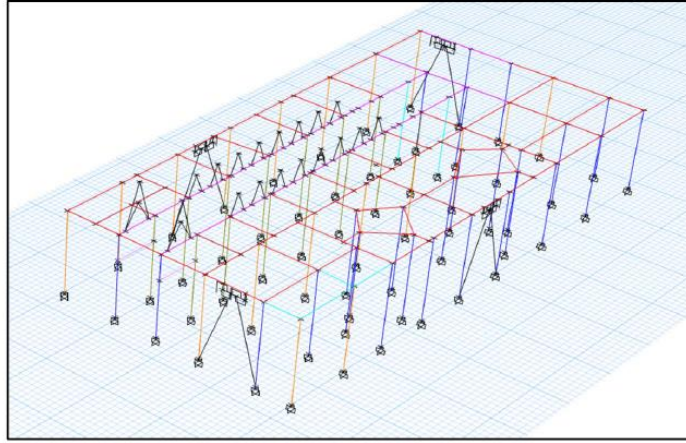
4.2.1 Davranış Spektrumu ile Doğrusal Hesap Yöntemi

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

| 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 |

Çevrimsel Döngü Ayarlama Katsayısı : 0,5



Şekil-3: Betonarme yapı bilgisayar modeli

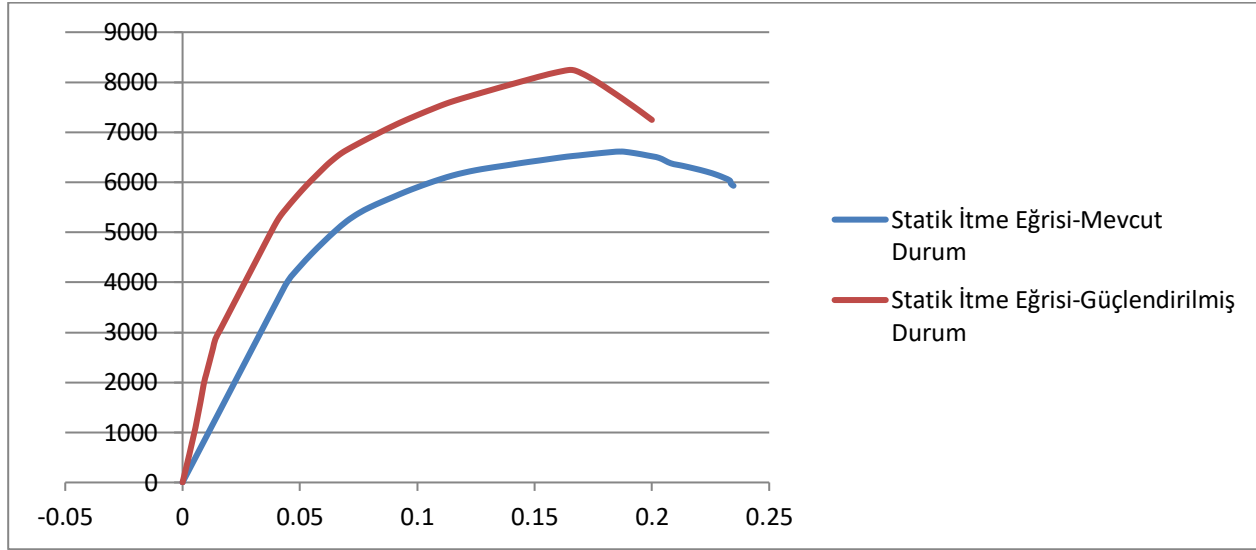
4.2.2 Tek Modlu Doğrusal Olmayan İtme Analizi

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.

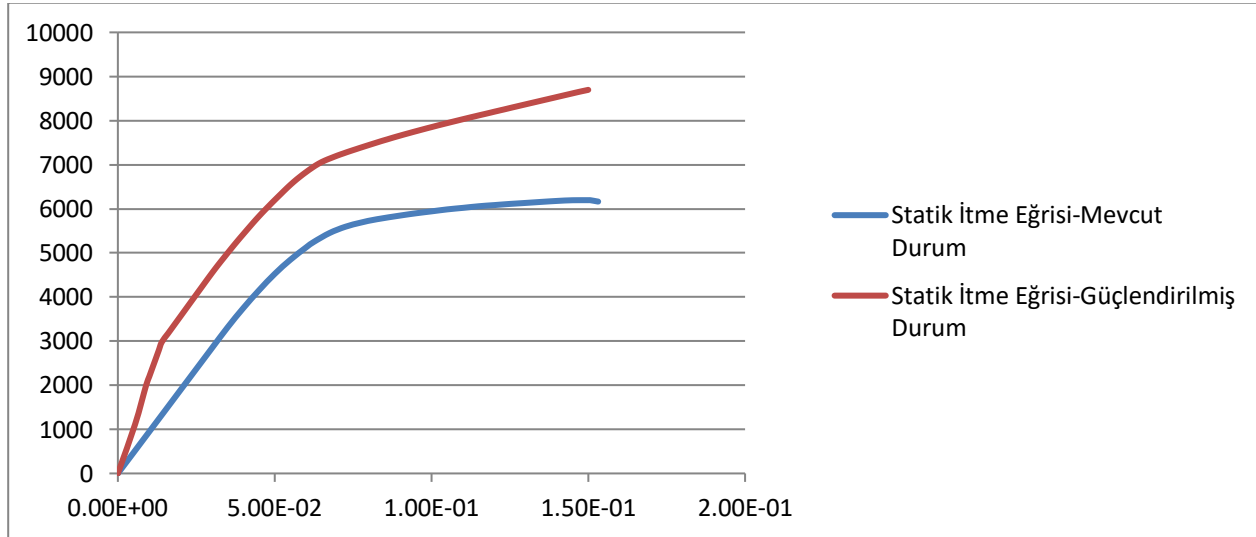
| TABLE: Modal Participating Mass Ratios | | | | |
|--|------|--------|----------|----------|
| Case | Mode | Period | UX | UY |
| | | sec | | |
| Modal | 1 | 0.891 | 0.7351 | 0.2155 |
| Modal | 2 | 0.849 | 0.309 | 0.772 |
| Modal | 3 | 0.72 | 0.0758 | 0.1109 |
| Modal | 4 | 0.203 | 0 | 0.0001 |
| Modal | 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 |

Tablo-3.Yapı Modal Kütle Katılım Oranları

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)



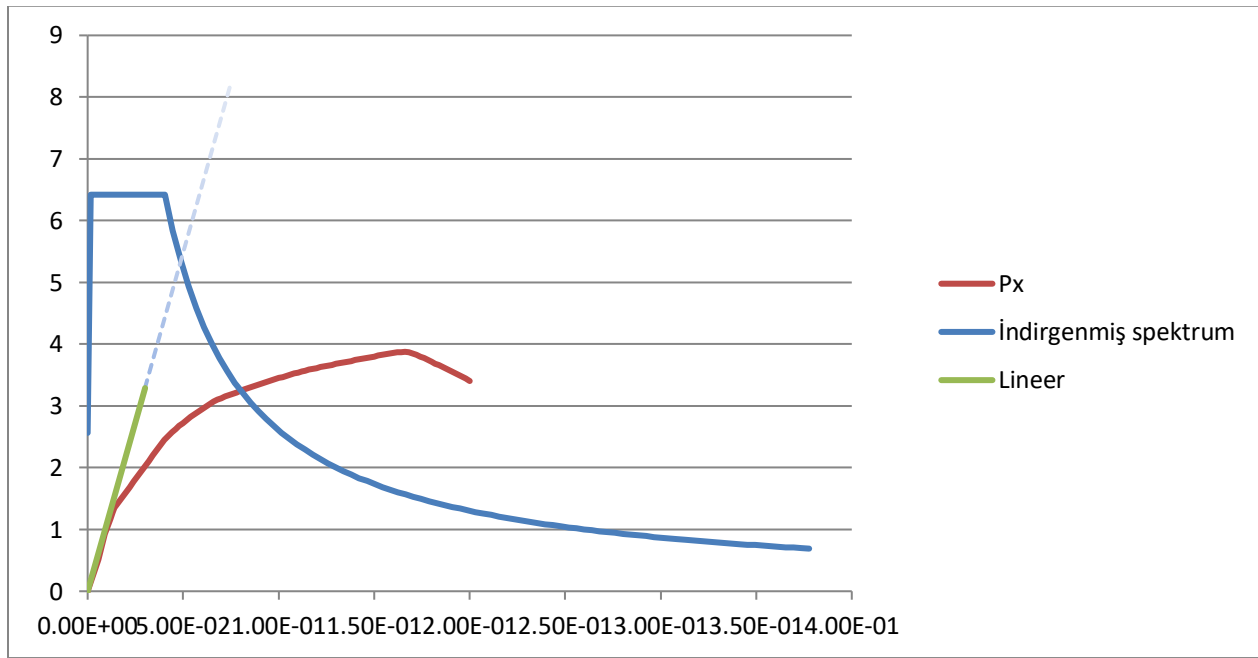
Şekil-5: Mevcut Durum-Güçlendirilmiş Durum Statik İtme Diyagramları (Y-Doğrultusu)

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

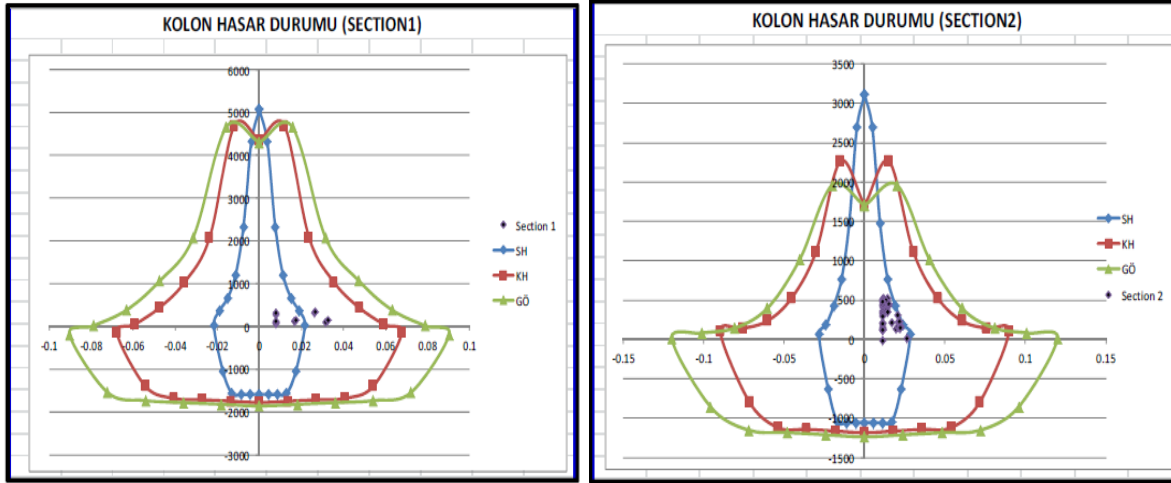
| | | | | | | | | | Hedef deplasman (m) |
|----------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|------------|------------|------------|-------------|---------------------|
| T_x | S_{ae}(T)/g | S_{ae}(T) | S_{ae}(T)/g | S_{de} (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 |
| T_y | S_{ae}(T)/g | S_{ae}(T) | S_{ae}(T)/g | S_{de} (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 | 0.05Acfck | Vcapacity (TS500) | Vcapacity (TBDY2018) | Results | Ve/(bwdfctm) |
|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-----------|-------------------|----------------------|--------------------|--------------|
| C116 | PUSHX | 238.00 | 238.00 | 73.23 | 62.88 | 62.88 | 369.44 | 100.00 | 369.92 | 480.83 | Capacity is Enough | 0.32 |

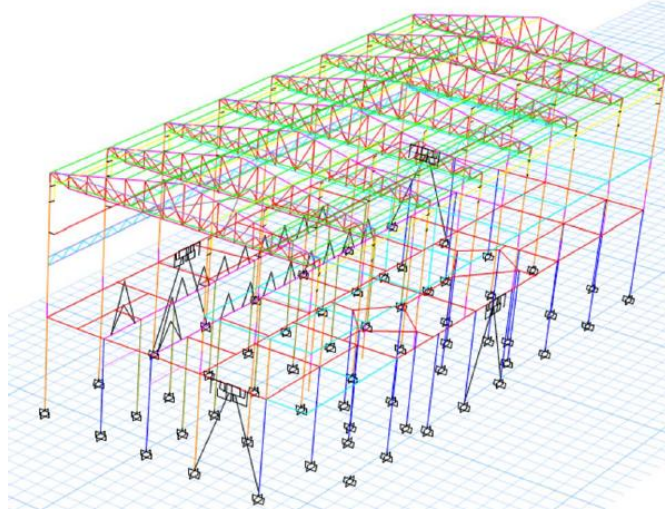
Tablo-6: Güçlendirilmiş Yapı Görelî Öteleme Kontrolü

| TBDY-2018 Drift Check | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------|-------|------|------|---------|-------|-------------|-------|------|------|----------|-------|
| I | 1.00 | | | | | | | | | | | |
| R | 1.00 | | | | | | | | | | | |
| Tx | 0.890 | | | | | | | | | | | |
| Ty | 0.850 | | | | | | | | | | | |
| | DD2 | DD3 | | | | | | | | | | |
| Sds | 0.935 | 0.408 | | | | | | | | | | |
| Sd1 | 0.467 | 0.192 | | | | | | | | | | |
| Ta | 0.100 | 0.094 | | | | | | | | | | |
| Tb | 0.499 | 0.471 | | | | | | | | | | |
| Sae(Tx) | 0.52 | 0.22 | λx | 0.41 | | | | | | | | |
| Sae(Ty) | 0.55 | 0.23 | λy | 0.41 | | | | | | | | |
| K | 1 | | | | | | | | | | | |
| | X-DIRECTION | | | | | | Y-DIRECTION | | | | | |
| | u(m) | Δ(m) | δ(m) | h(m) | λ*δ/h | CHECK | u(m) | Δ(m) | δ(m) | h(m) | λ*δ/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 |

Sayfa 1

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.

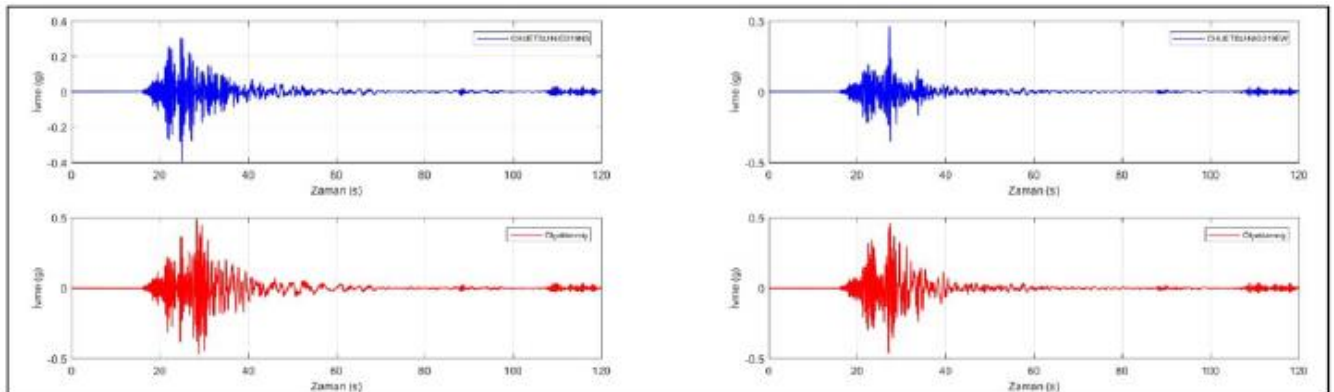


Şekil-8: Betonarme+Çelik Yapı Bilgisayar Modeli

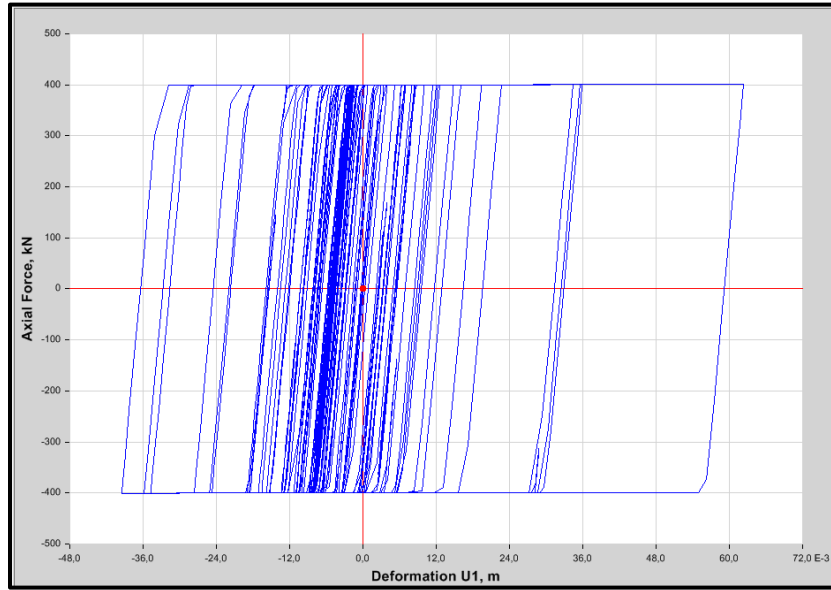
Bu çalışmada amaç performans analizi olmaması sebebi ile 11 deprem için ayrı ayrı doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yapılmamıştır. Bunun yerine daha özet bir yöntem benimsenmiştir. 11 adet DD1 (50 Yılda gerçekleşme olasılığı %2 olan deprem) düzeyinde ivme kaydı ele alınmıştır. 11 adet ölçeklenmiş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

| TABLE: E BLOK MODAL TIME HISTORY Base Reactions | | | | | | | | |
|---|------------|----------|------------|------------|----------|-------------|-------------|-------------|
| 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 | 2305548.176 |
| 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 | 13137.589 | 17031.521 | 122.828 | 149464.4722 | 121452.1262 | 2074795.216 |
| IWATE-54026-X | LinModHist | Min | -14356.317 | -14793.669 | -120.351 | -164378.897 | -123659.43 | -1891217.19 |
| IWATE-54026-Y | LinModHist | Max | 14239.517 | 15074.413 | 112.569 | 162142.7282 | 133789.1912 | 1910103.576 |
| 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 | 155793.7791 | 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-EMO-X | LinModHist | Max | 19561.597 | 17729.042 | 162.436 | 144164.7606 | 164212.4576 | 2219599.172 |
| SIERRA-EMO-X | LinModHist | Min | -18455.481 | -15721.252 | -100.567 | -175967.946 | -163190.996 | -1897721.22 |
| SIERRA-EMO-Y | LinModHist | Max | 13681.283 | 20749.581 | 101.165 | 189480.9117 | 137002.9755 | 2587188.925 |
| SIERRA-EMO-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 | -17270.746 | -109.061 | -178209.003 | -133734.18 | -2170329.29 |
| SIERRA-2027B-Y | LinModHist | Max | 12744.78 | 19788.019 | 135.054 | 156392.5262 | 127742.5517 | 2454996.901 |
| SIERRA-2027B-Y | LinModHist | Min | -12532.967 | -17003.082 | -124.279 | -163399.789 | -111702.696 | -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 | 13416.249 | 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-SPF-X | LinModHist | Max | 15462.906 | 18879.938 | 99.75 | 187470.9013 | 142821.0132 | 2361248.025 |
| DARFIELD-SPF-X | LinModHist | Min | -16448.474 | -21222.299 | -93.213 | -186503.145 | -151705.05 | -2623573.29 |
| DARFIELD-SPF-Y | LinModHist | Max | 13785.176 | 22007.092 | 115.197 | 209794.2355 | 120658.2329 | 2791931.983 |
| DARFIELD-SPF-Y | LinModHist | Min | -13744.385 | -23355.897 | -121.84 | -202638.847 | -121461.716 | -2809819.61 |

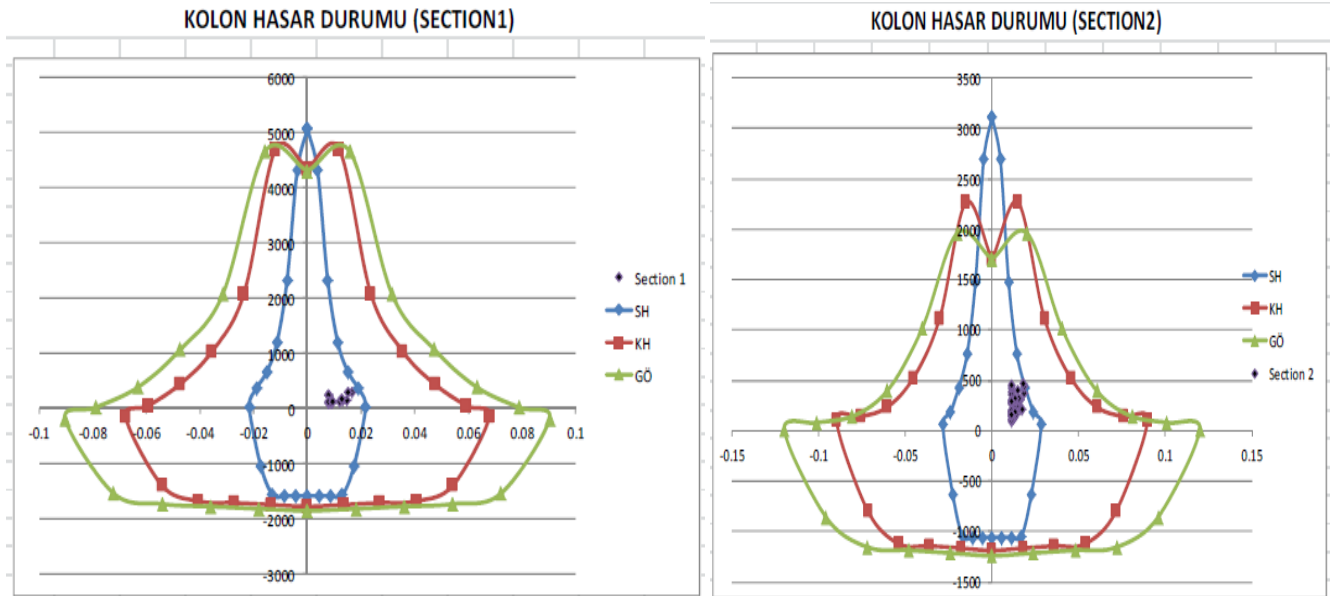


Şekil-9: Yapıya Uygulanan Deprem Kaydı



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.

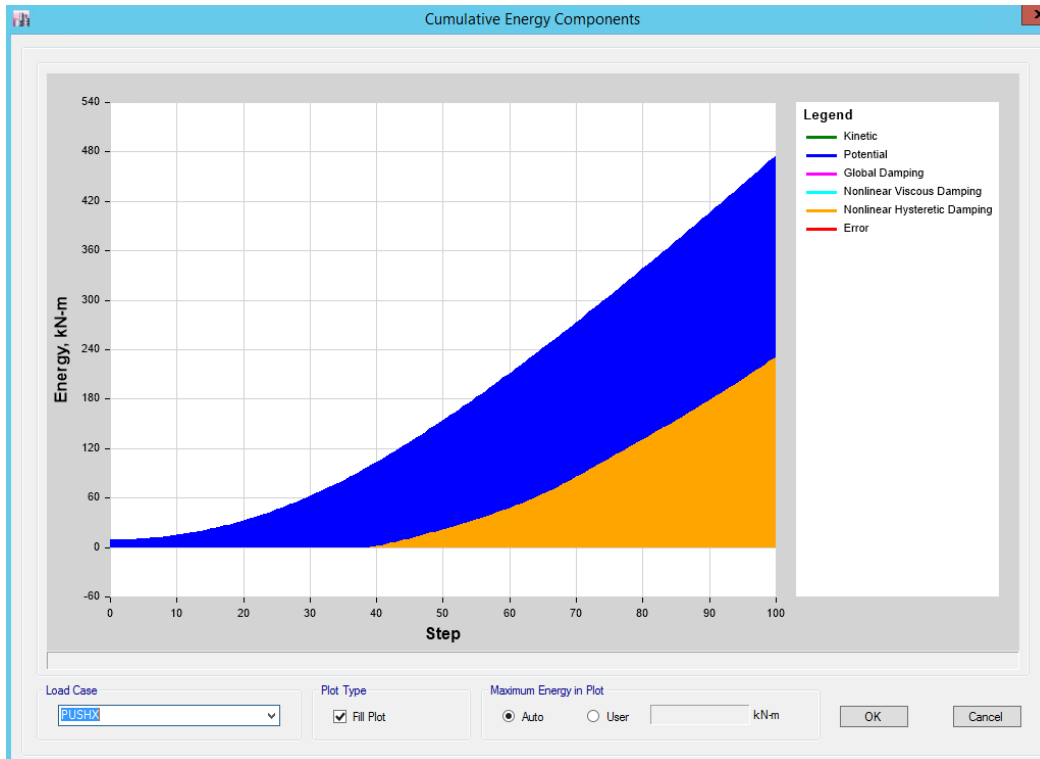


Şekil-11: Kolon Hasar Sınırları

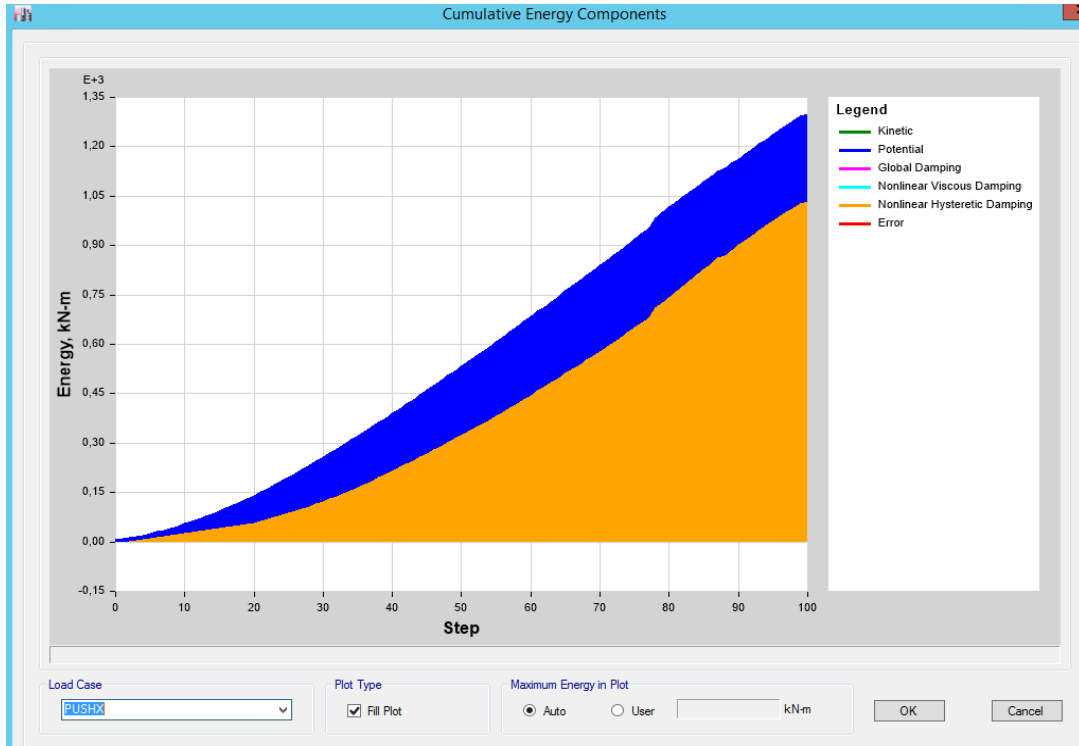
5.SONUÇ

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 Deneyle, 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