



ÇELİK YAPILARIN GÜÇLENDİRİLMESİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZLERLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Armağan KORKMAZ*, Zeki AY, Ömer UYSAL

Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh-Mim Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

ÖZET

Çelik yapıların deprem güvenliklerinin artırılması ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan çelik yapıların güçlendirilmesine yönelik pratik uygulamalar çalışma kapsamında incelenmiştir. Günümüzde kullanılan güçlendirme tipleri ele alınarak doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre karşılaştırmaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları grafiksel olarak verilerek yöntemlerin değerlendirilmesi sunulmuştur. Farklı şekillerde gerçekleştirilen uygulamaların oldukça farklı deprem güvenilirlikleri sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çelik yapıların güçlendirilmesi; Perde elemanlarla güçlendirme; Çapraz çelik elemanlarla güçlendirme; Çelik levhalarla güçlendirme; Güçlendirme tiplerinin doğrusal olmayan analizlerle değerlendirilmesi.

EVALUATION OF STRUCTURAL RETROFIT METHODOLOGIES FOR STEEL STRUCTURES USING NONLINEAR ANALYSES

ABSTRACT

In present study, practical applications to increase of earthquake resistance and retrofit of the steel structures are evaluated. Evaluation of recent retrofit types for steel structures is realized by conducting nonlinear structural analyses. The analyses results are given in graphs and evaluation is conducted regarding with the analytical results. It is seen that, different applications cause different earthquake resistance.

Keywords: Retrofit of Steel Structures; Retrofit with Shear walls; Retrofit with Steel Bracings; Retrofit with steel plate; Comparison of structural retrofit with nonlinear analyses.

*E- posta: armagan@mmf.sdu.edu.tr

1.GİRİŞ

Son yıllarda meydana gelen, 1994 Northridge (M:6.7), 1995 Kobe (M:7.2), 2004 Güney Asya (M:8.9) ve ülkemizde meydana gelen 1999 Marmara (M:7.4) ve Düzce (M:7.2) depremleri sonucunda hasar gören yapıların incelenmesiyle, deprem yönetmeliklerindeki sismik tasarım yöntemlerinin yetersiz kaldığı görülmüştür. Depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda yapılan yeni çalışmalar ve son depremler sonrası edinilen tecrübelerle, yeni yaklaşımlar ortaya konulmuştur. Gelişen bu yeni bakış açısı ile günümüzde mühendisler, performansa bağlı tasarım yaklaşımını kullanarak, yapının herhangi bir etki altında kendisinden beklenen dayanımı gösterme düzeyini belirlemeye çalışmaktadırlar. Bu düzey de o yapının o etki karşındaki performansı olarak ifade edilmektedir. Bir yapının sismik etkiler altında sağlaması gereken koşullara bağlı olarak tasarımının yapılması da performansa bağlı tasarım olarak tanımlanmaktadır. Günün koşullarına uygun olarak yeniden düzenlenen deprem yönetmeliği (A.B.Y.Y.H. 2007) yapı güçlendirme projelerinin yapım kural ve standartlarını içermektedir [1]. Yeni yönetmelikle birlikte, güçlendirme projelerine bir standart gelmiş ve güçlendirme tiplerinde belirli bir yaklaşım yakalanmış olacaktır.

Günümüzde mevcut yapıların güçlendirilmesi oldukça önemli bir hale gelmiştir. Mevcut yapıların güçlendirilmesinde günümüzde uygulanan çelik çapraz elemanlarla ve betonarme perdelerle yapılan güçlendirmeler oldukça önemlidir [2]. Çalışma kapsamında bu yöntemlerin yanısıra, çelik levhalarla güçlendirme yöntemi ve birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi hali ele alınmıştır. Bu dört yöntemin çelik yapılara uygulanması sonucunda elde edilen doğrusal olmayan deprem davranışlarının incelenmesi ve karşılaştırılması amaçlanmıştır.

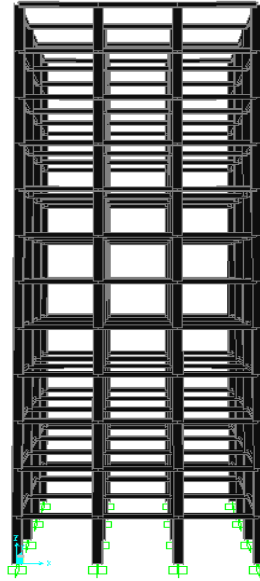
2. GÜÇLENDİRME İÇİN YAPI MODELLEMESİ VE DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

Çalışmanın amacı doğrultusunda uygulamada kat yüksekliği 3m olan 12 katlı çelik yapı modeli ele alınmıştır. Modeller öncelikle Eşdeğer Statik Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak, birinci deprem bölgesi, Z4 yerel zemin sınıfı için doğrusal elastik analizleri yapılarak boyutlandırılmıştır. Tüm modeller üzerinde, elastik ötesi davranışlarının incelenmesi amacı ile doğrusal olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizde, her bir model için, taban kesme kuvveti (toplam eşdeğer deprem yükü), tek deprem bölgesi ve tek zemin sınıfına göre hesaplanmıştır. Taban kesme kuvveti hesabında yapının serbest titreşim analizi yapılarak hesaplanan birinci mod doğal titreşim periyodu kullanılmıştır. Yapı ağırlıkları, doğrudan, SAP 2000 programı tarafından doğrusal elastik analiz sonuçlarında alınmıştır [3]. Süneklik düzeyi normal alınmıştır. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı her iki tip için 5 alınmıştır. Buna

göre Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ($R_a(T)$) hesaplanmıştır. Taban kesme kuvvetleri, kat ağırlıkları ve rijitlekle orantılı olarak kat seviyesinde kolon uçlarına tekil kuvvetler olarak dağıtılmıştır.

Şekil 1’de analizlerde kullanılan yapı modeli verilmiştir. Yapı modelinde SAP 2000 programında mevcut olan HEA, IPE, kutu profiller kullanılmıştır. Tablo 1’de, kullanılan profiller verilmiştir. Doğrusal olmayan analizler SAP 2000 programıyla gerçekleştirilmiştir. Analizler gerçekleştirilirken plastik mafsallar yapı üzerindeki tüm elemanlara çalışma şekline ve özelliklerine bağlı olarak tanımlanmıştır. Kolonlara, P-M2-M3, kirişlere M3 mafsalları tanımlanmıştır. Diyafram etkisi döşeme hareketini gerçeğe en uygun halde göstermek için tüm katlarda tanımlanmıştır. Yüklemeler tüm katlara, kolon kat noktalarından deprem kuvvetleri üçgen yük dağılımı kullanılarak yüklenmiştir. Modele etkitilen yükler SAP2000 programında yükleme türü olarak tanımlanmış ve fonksiyonları girilmiştir. Ayrıca bu yüklemelere dayanak oluşturulan yüklem kombinasyonları, tanımlanmıştır [3].

Doğrusal olmayan statik itme analizleri temel olarak, yapının yatay kuvvetler altındaki dayanımını ifade eden yatay kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimi bakımından elde edilmesine ve bunun değerlendirilmesine dayanmaktadır. Statik itme analizinde elde edilen yatay kuvvet- yer değiştirme eğrisi ile, yapının zayıf elemanları ve yerleri, olabilecek kısmi veya toptan göçme mekanizması durumları, tüm yapının ve elemanların yer değiştirme talepleri belirlenebilmektedir (chintanapekdee ve Chopra, 2003). Analizlerde, deprem boyunca sismik talep eğrisinin geçtiği maksimum değerini amaçlanan yer değiştirme değerine ulaşıldığı anda olacağı kabul edilmiştir. Ayrıca Analizlerde P- Δ etkisi de dikkate alınmıştır.



Şekil 1. Analizlerde Kullanılan Yapı Modeli.

Tablo 1.

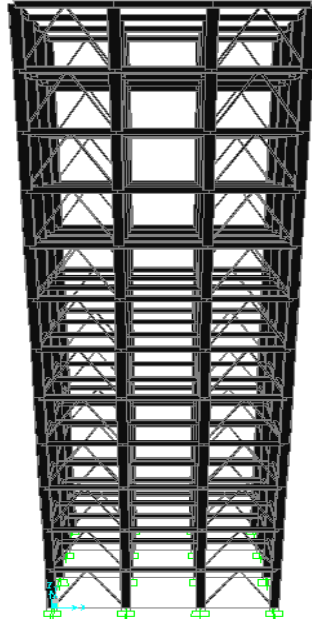
Mevcut Çelik Yapı İçin Kullanılan Profiller

Eleman	Malzeme	Profil
Kirişler	Çelik	IPE 270
Kolonlar	Çelik	HEA 260

3. ÇELİK ÇAPRAZ ELEMANLARLA GÜÇLENDİRME

Çalışmada ele alınan yapı geometri bakımından her iki düzlemde rijit, yatayda ve düşeyde düzenli bir çerçeve sisteme sahiptir. Model “y” düzleminde çelik çaprazlı perdelerle desteklenmiş ve analizler yapılmıştır. Kat ağırlıkları SAP 2000 bilgisayar programı tarafından alınmış, hareketli yük ise 0,005 t/cm olarak döşemelere esktilmiştir. Serbest titreşim analizleri SAP 2000 bilgisayar programı ile yapılarak 1. mod doğal titreşim periyotları belirlenmiş, deprem yönetmeliğine göre taşıyıcı sistem davranış katsayısı 5 alınmıştır. Katsayı seçimi yapılırken süneklik düzeyi normal sistem kabulü yapılmıştır.

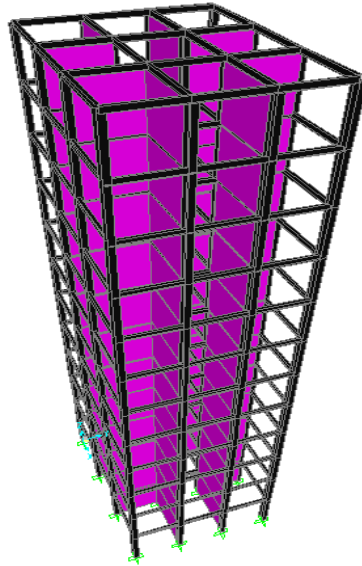
Çapraz elemanlı yapı süneklik düzeyi yüksek kabul edilmiş ancak bu modelde de $R=5$ alınmıştır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı seçimi için deprem yönetmeliğinden katsayı belirlenmiştir. Buna göre eşdeğer deprem yükü hesaplanarak kat ağırlıkları ve yüksekliklerle orantılı olarak kat seviyelerine tekil kuvvetler olarak dağıtılmıştır. Şekil 2’de çelik çapraz elemanlarla güçlendirilen yapı modeli verilmiştir.

**Şekil 2.** Çelik Çapraz Elemanlarla Güçlendirilen Yapı Modeli.

4. PERDE ELEMANLARLA GÜÇLENDİRME

Betonarme deprem perdelerinin ilavesi mevcut bir yapıyı deprem davranışını iyileştirmek bakımından oldukça kullanılan bir güçlendirme yöntemidir. Bu uygulamada genellikle perdeler yerinde dökülür nadiren de olsa püskürtme ile yapıldıkları da olabilir. Yeni deprem perdelerinin teşkili için ön döküm (prefabrike) elemanlar kullanılabilir. Fakat detayları son derece kritik ve istenilen davranışın elde edilmesi zordur. Monolitik betonarme deprem perdeleri ya binanın çevresinde veya içinde olabilirler [4,5,6].

Perdelerin mevcut yapıya güçlendirme amacıyla ilave edilmesi halinde binanın oda ve diğer hacimlerinin bölümlendirilmesini bozmayacağından çok kere daha kolaydır. Fakat binanın görünüşünde ve pencere durumunda değişikliklere neden olabilir ve problemler çıkartabilir. Bu halde, eğilme momenti için perde ucundaki düşey ana donatı ve kesme kuvveti için gövde donatısı perdenin tüm yüksekliğince devam eder. Yeni deprem perdelerinin döşeme ve çatı diyaframlarıyla ve temellerle uygun ve yeterli bir birleşim ve bağlantısının temin edilmesi oldukça önemli bir noktadır. Bu bağlantı mevcut döşeme veya çatı ile yeni yapılan deprem perdesi arasındaki kesme kuvvetlerini aktarmalıdır. Birleşim ve bağlantı planda köşegen olarak yerleştirilmiş bağ çubuklarının döşemeye ankre edilmesi ile veya deprem perdelerinde oluşturulan ve yerinde dökme ek bir betonarme döşeme ile döşeme sistemine ankre edilen kirişlerle yapılabilir. Bu yeni döşemenin mevcut döşemeye bağlanması betonarme dübellerle gerçekleştirilir [7,8]. Şekil 3’de perde elemanlarla güçlendirilen yapı modeli verilmiştir



Şekil 3. Betonarme Perdelerle Güçlendirilen Yapı Modeli.

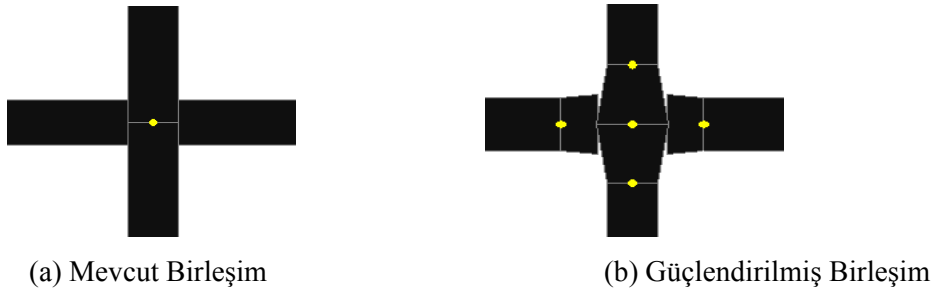
5. ÇELİK LEVHA İLE GÜÇLENDİRME

Güçlendirme için çelik levha ile donatma yeni bir tekniktir ve esas itibariyle statik yüklere maruz olan kirişlerin kesme mukavemetini ve/veya açıklıkta eğilme mukavemetini arttırmak için kullanılabilir. Bu yöntemde çelik levhalar betonarme elemanların beton yüzlerine epoksi reçineleri ile dıştan yapıştırılırlar. Epoksinin sertleşme süresince çelik levhalar mengenerlerle sıkıştırılıp beton yüzeye bastırılmalıdırlar. Çelik levhaların ya betona çakılmış çivilerle veya ankraj civataları ile ankre edilmesi tavsiye olunur (gereğinde kama veya epoksi kullanılır). Genellikle çelik levhalar 2–10 mm kalınlıkta olurlar. Kalınlığı 3 mm den fazla olan levhalar halinde kiriş yüzü ince bir genleşen çimento harcı ile düzlenmelidir. Bu halde kama ankraj civataları kullanılmalıdır. Korozyon ve yangına karşı korunmasına özel dikkat gösterilmelidir.

250° C'nin üzerindeki sıcaklıklarda epoksi reçinelerinin mukavemetlerinin tamamını kaybetme ihtimallerinin yüksek olduğuna özellikle dikkat etmek gereklidir. Bu yöntemin depremlerden ileri gelen değişken yüklere maruz kirişlere uygulanması tavsiye edilmez. Bulonlu bağlantı yapılması durumunda daha iyi bir sıkıştırma olanağı sağlanır. Bu tür çelik çerçeveler betonarme perdelerle oranla daha az dayanıklı olur. Aynı zamanda da maliyetleri daha yüksektir. Ancak kısa sürede yapılabilmeleri bir deprem sonrasında acil olarak yapı hasarlarının giderilmesi ve yapının hasar görmüş bölümünün desteklenmesi için bu tür uygulamaların üstün tarafları da vardır.

6. BİRLEŞİM BÖLGELERİNİN GÜÇLENDİRİLMESİ

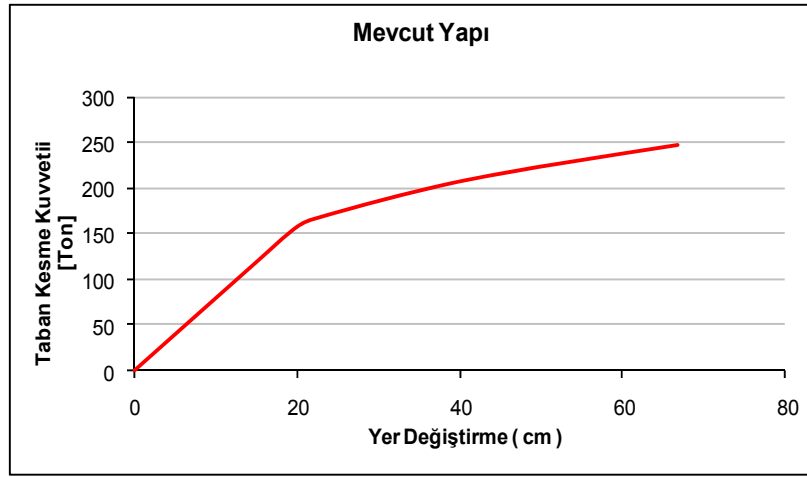
Deprem sırasında yapıda meydana gelen zorlamaların birleşim bölgelerinde yoğun olarak hissedileceğinden hareketle birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi yoluna gidilmiştir. Birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi Sap 2000 programında modellenmiştir [3]. Ülkemizde üretilen St37 yapı çeliği kullanılarak ve TDY 2006, TS 648, TS498 çelik yapılarla ilgili yönetmelikler esas alınarak tasarlanmış, çelik yapıların, doğrusal olmayan deprem davranışları incelenmiştir. Şekil 4'de yapı birleşim noktalarının mevcut durumu ve güçlendirme yapılmış hali gösterilmektedir.



Şekil 4. Kiriş-kolon birleşim bölgesi.

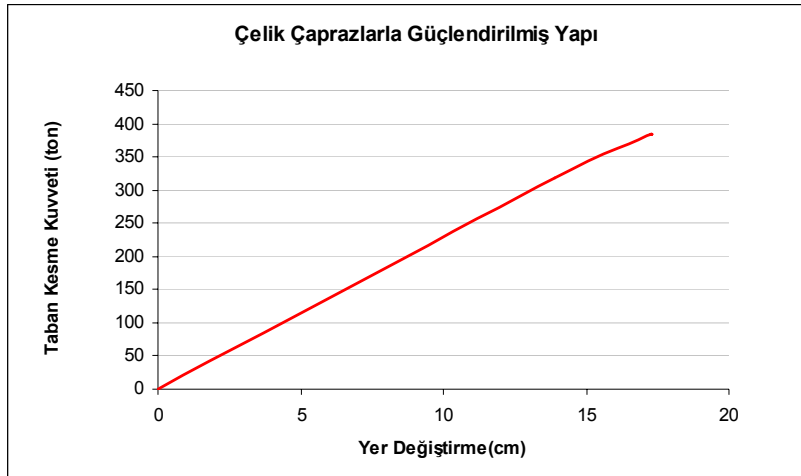
7. DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ SONUÇLARI

Çalışma kapsamında mevcut, çelik çaprazla, betonarme perdelerle güçlendirilen ve birleşim bölgesi güçlendirilmiş yapı modelinin SAP 2000 analiz programıyla doğrusal olmayan statik itme analizi yapılmıştır. Bu modeller için elde edilen sonuçlar grafikler halinde verilmiştir. Mevcut yapı modeli için uygulanan doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen kapasite eğrisi Şekil 5’de sunulmuştur.



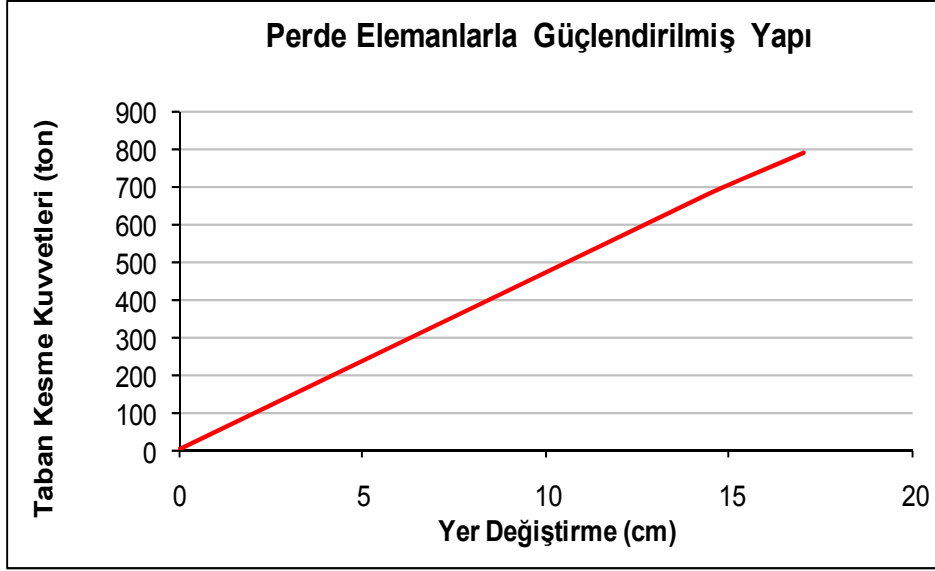
Şekil 5. Mevcut Yapı İçin Elde Edilen Kapasite Eğrisi.

Şekil 6’da çapraz elemanlarla güçlendirilmiş yapının doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen kapasite eğrisi verilmiştir.



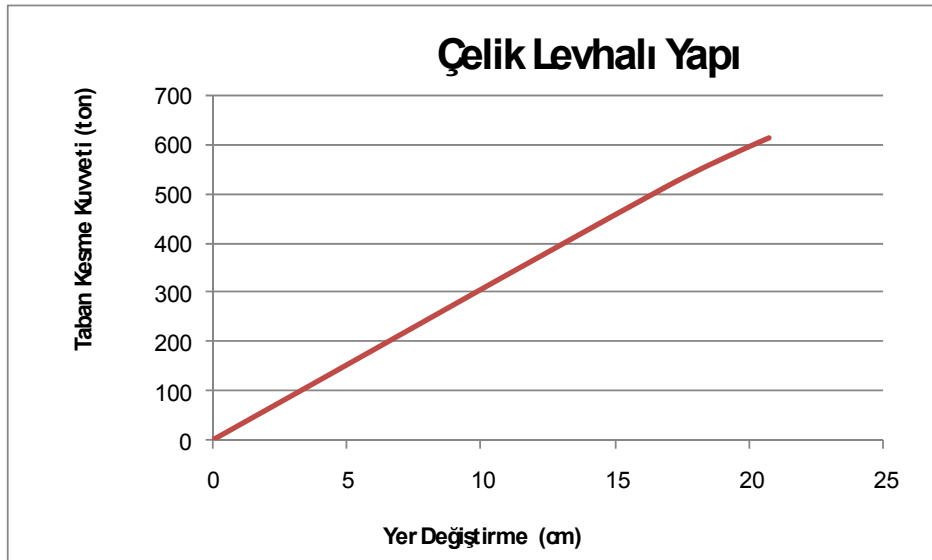
Şekil 6. Çelik Çapraz Elemanlarla Güçlendirilmiş Yapı İçin Elde Edilen Kapasite Eğrisi.

Çalışma kapsamında ele alınan diğer güçlendirme yöntemi olan perde elemanlarla güçlendirme için yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen kapasite eğrisi Şekil 7’de verilmiştir.



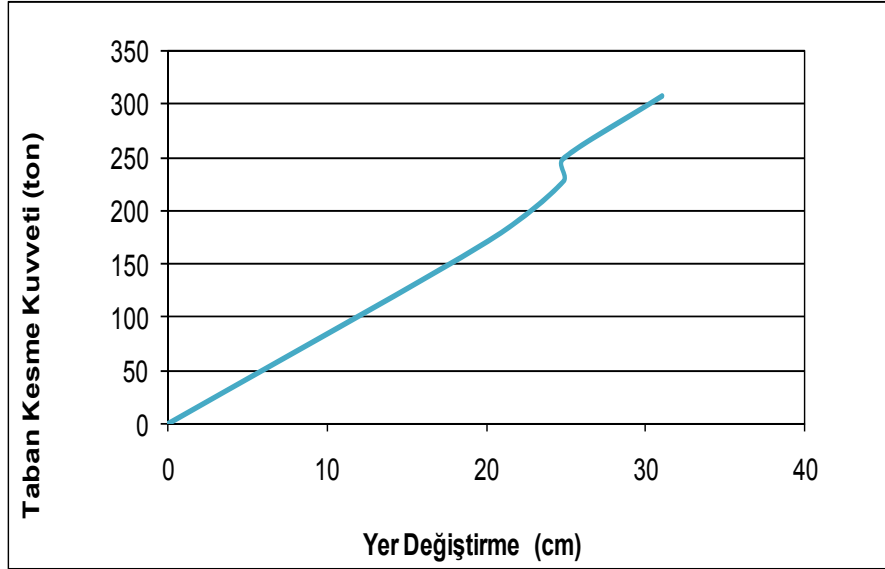
Şekil 7. Perde Elemanlarla Güçlendirilmiş Yapı Modeli İçin Elde Edilen Kapasite Eğrisi.

Çelik levhalarla güçlendirme için yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen kapasite eğrisi Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Çelik Levha Elemanlarla Güçlendirilmiş Yapı Modeli İçin Elde Edilen Kapasite Eğrisi.

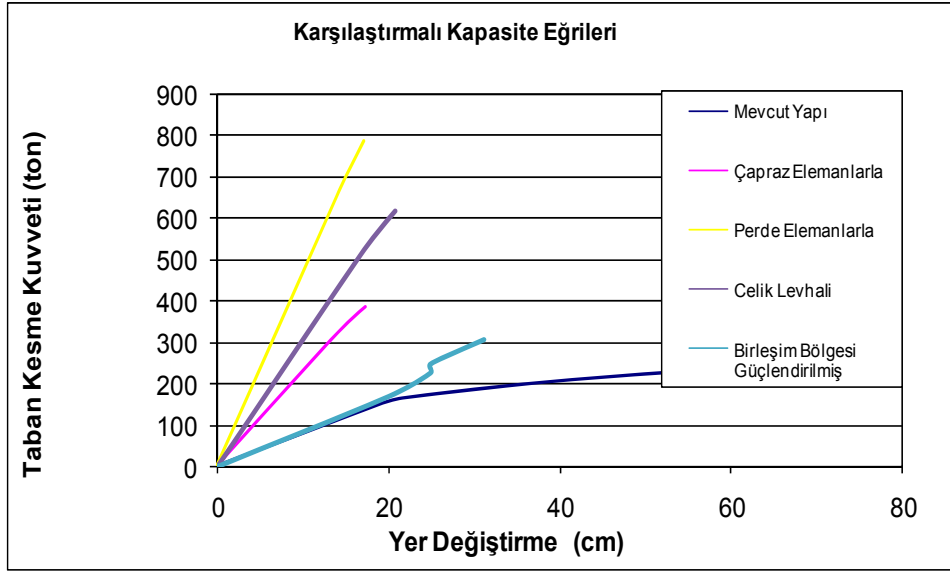
Birleşim Bölgelerinin güçlendirilmiş hali için yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen kapasite eğrisi Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. Birleşim Bölgelerinin Güçlendirilmiş Hali İçin Elde Edilen Kapasite Eğrisi.

7. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında günümüzde kullanımı ve imalatı hızla artan çelik yapıların güçlendirilmesiyle ilgili detaylı bir çalışma ortaya konulmuştur. Çelik yapıların güçlendirilmesinde kullanılan iki ana yöntem ele alınarak açıklanmış ve yapının mevcut haline göre elde edilen kapasite artışları grafikler halinde sunulmuştur. Şekil 5, 6, 7, 8 ve 9’da ayrı ayrı verilen kapasite eğrileri, Şekil 10’da mevcut ve güçlendirilen modeller için tek şekil üzerinde verilmiştir [9,10]. Böylelikle yapılan güçlendirmeye göre elde edilen kapasite artışı değerlendirilmiştir. Şekil 10’dan görüldüğü üzere, perde elemanlar kullanılarak yapılan güçlendirme sonrasında elde edilen kapasite artışı çapraz elemanlar kullanılarak, birleşim bölgesi güçlendirme ve çelik levhalı güçlendirme sonucu elde edilen kapasite artışlarına göre daha fazla olmuştur. Bunun başlıca sebebi yapının perdelerle daha rijit hale getirilmiş olmasıdır. Bu açıdan betonarme perdelerle güçlendirme yapılması yapının kapasitesinin arttırılması açısından daha iyi sonuçlar vermiştir. Ancak betonarme perde elemanların eklenmesi yapının ağırlığını ve dolaylı olarak da yapıya gelen yanal deprem yüklerini de arttırabilir. Bu olumsuz durumdan kaçınmak için yapının rijitliğini veya sürekliliğini arttırmak bakımından çerçeve boşlukları arasına çelik çapraz elemanlar konularak destek sağlanabilir. Farklı şekillerde güçlendirme yapılırken planda rijitlik merkezinin ağırlık merkezi ile çakışık olmasına dikkat edilmeli ve bu hususa göre güçlendirme yapılmalıdır.



Şekil 10. Yapıların Kapasite Eğrilerinin Karşılaştırılması.

Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki çelik çaprazlarla güçlendirme yapının kapasitesini betonarme perdelerle oranla daha az arttırmaktadır. Aynı zamanda da maliyetleri daha yüksektir. Ancak kısa sürede yapılabilmeleri bir deprem sonrasında acil olarak yapı hasarlarının giderilmesi ve yapının hasar görmüş bölümünün desteklenmesi için bu tür uygulamaların üstün tarafları da olduğu bir gerçektir.

KAYNAKLAR

1. ABYYHY-2007, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik., 2007.
2. A. Ghobarah, Performance - Based Design in Earthquake Engineering: State of Development, 23 (2001) 878.
3. E. Wilson A. Habibullah, 2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual, Berkeley.
4. FEMA (Federal Emergency Management Agency) 273, Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings, (1997)
5. FEMA (Federal Emergency Management Agency) 356, Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings - 2000.
6. ATC (Applied Technology Council) 40, Seismic Evaluation And Retrofit of Concrete Buildings
7. S. Bayılı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, (2002) 145.

8. D. E. Beskos, S. A. Anagnostopoulos, Computer Analysis and Design of Earthquake Resistant Structures A Handbook, (1997) 549.
9. E. A. Carlson, Three – Dimensional Nonlinear Inelastic Analysis of Steel Moment – Frame Buildings Damaged By Earthquake Excitations, report no. EERL 99-02 (1999).
10. P. Fajfar, M. EERI, Earthquake spectra, 16(3) (2000) 573.