MEVCUT BETONARME BİR BİNANIN PERDE DUVARLAR KULLANILARAK DEPLASMANA DAYALI YÖNTEMLE GÜÇLENDİRİLMESİ

A. Gürbüz[1] ve M. Tekin[2]

[1] *Araştırma Görevlisi, İnşaat Müh. Bölümü, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize*
[2] *Profesör, İnşaat Müh. Bölümü, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa*
Email: ali.gurbuz@erdogan.edu.tr

ÖZET:

Binaların depreme karşı dayanıklı yapılması ve depreme dayanıksız yapıların ekonomik ve güvenilir bir metotla güçlendirilmesi ülkemizin önemli sorunlarından birisidir. Üretim ve denetim yetersizlikleri sebebiyle yakın zamana kadar inşa edilmiş pek çok yapının deprem performansları yetersiz durumdadır. Riskli yapıların depreme karşı güçlendirilerek güvenli hale getirilmesi önem taşımaktadır. Binaların güçlendirilmesinde ekonomik ve daha güvenilir yöntemlerin seçilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nden önce yapılmış 5 katlı mevcut bir betonarme konut yapısı ele alınmış ve güçlendirmesi deplasmana dayalı yöntemle yapılmıştır. Mevcut yapı ve güçlendirilmiş yapı, doğrusal olmayan statik itme analizi ile değerlendirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Deplasmana dayalı tasarım, betonarme çerçeveler, perde duvarlarla güçlendirme.

1. GİRİŞ

Deplasmana dayalı güçlendirme tekniği; mevcut yapıya mümkün olduğu kadar az perde duvar ekleyerek, şekil değiştirme taleplerini; şekil değiştirme kapasitelerini aşmayacak şekilde ayarlamayı amaçlar. Perde duvar donatıları da, azaltılmış şekil değiştirme taleplerini esas alarak yapılır. Önerilen deplasman esaslı yöntemle, geleneksel kuvvet esaslı yöntemlere nazaran daha ekonomik bir güçlendirme sağlanmış olur. Geleneksel kuvvet esaslı yöntemde; şekil değiştirme istemleri dikkate alınmayarak, kritik kesitler dışında gereksiz yük taşıma kapasitelerine ulaşılmaktadır. (Sucuoğlu ve Karageyik 2010) deplasman esaslı güçlendirme tekniği ile kuvvet esaslı güçlendirme tekniğini karşılaştırdığı çalışmasında, mevcut kolonların betonarme mantolarla sarılmasının ve güçlendirme perdelerinde sarılmış uç bölgesi oluşturulmasının genellikle gereksiz olduğunu belirtmektedir.

Yapı elemanlarının deprem anındaki davranışlarını gerçeğe en yakın şekilde modellemek için elastik ötesi davranışı da dikkate almak gerekir. Elastik ötesi davranışı hesaba katan nonlinear yöntemler içinde, yapının gerçek davranışını en iyi temsil eden, time-history(TH) analizidir(Kappos ve Kyriakaki, 2000), Bardakis ve Dritsos, (2007), Lee D. ve Diğ., 2006), (İnel M ve Diğ., 2008).

Gelişen bilgisayar teknolojileri sayesinde nonlineer yöntemlerin kullanımı kolaylaşmakla birlikte, TH analizi halen uzun zaman alan bir yöntemdirKonuyla ilgili literatürdeki çalışmalar; parametrelerin doğru seçilmesi ve doğru kabuller yapılması durumunda nonlinear statik pushover(NSP) analizinin dinamik analize uygun bir alternatif olduğunu göstermektedir(ATC-40, 1996), (Kappos ve Kyriakaki, 2000). (Saiidi ve Sozen, 1981) çalışmalarında NSP analizinin güvenilirliğini göstermişlerdir. Buna ilave olarak; (ATC 40 1996), (FEMA 273,

1997), (FEMA 356, 2000) ve (FEMA 440, 2004) ve bunlara paralel olarak hazırlanan Türk Deprem Yönetmeliği(TDY-2007)'de benzer şekilde Nonlinear yöntemleri önermektedir[10]. (Bhatt and Bento, 2012) yaptıkları çalışmada beş ve sekiz katlı iki betonarme yapı üzerinde nonlinear yöntemleri karşılaştırmış ve nonlinear statik yöntemlerin dinamik analiz ile kabul edilebilir düzeyde netice verdiğini ortaya koymuştur.

Literatürdeki örnekler ışığında, bu çalışmada da 5 katlı betonarme bir mevcut bina ele alınmıştır. Deplasman esaslı tasarıma göre mevcut binaya yerleştirilen perde duvarlarla oluşturulan güçlendirilmiş bina, nonlinear statik itme analiziyle değerlendirilerek mevcut binadaki performans gelişimleri ortaya konmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada deplasmana dayalı bir güçlendirme yaklaşımı benimsenmiştir. Kullanılan işlem basamakları özetle dört basamaktır:

• Ön Tasarım
• Hedef Yerdeğiştirme Talebinin Hesaplanması
• Eleman Şekil Değiştirme Talepleri ile Kapasitelerinin Karşılaştırılması
• Nihai Tasarım,

Ön Tasarım aşamasında, sisteme eklenecek perde duvarların yeri ve miktarına karar verilmektedir. Yapıya eklenen perde duvarlar minimum beton ve donatı kullanılmak suretiyle gerekli şekil değiştirme talebini karşılamalıdır. Bu çalışmada, güçlendirme perdeleri; mevcut yapının köşelerine ve S27-S28 kolonları arasına ilave edilmiştir.

Hedef yerdeğiştirme talebi, FEMA 356 "Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi ile hesaplanmıştır. Hedef yerdeğiştirme talebinin hesaplanmasında, yapı için seçilen performans seviyesi önemlidir. Tablo 2.1'de Türk Deprem Yönetmeliği 2007'ye göre farklı bina türleri için performans seviyeleri verilmektedir. Bu çalışmada; yönetmeliğe göre 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için "Can Güvenliği" performans seviyesi baz alınmıştır.

Tablo 2.1. Türk Deprem Yönetmeliği 2007'de Bina Türüne Göre Performans Seviyeleri

Bina Kullanım Amacı	**Depremin Aşılma Olasılığı**		
	50 Yılda %50	50 Yılda %10	50 Yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönteim merkezleri v.b	-	**HK**	**CG**
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, v.b	-	**HK**	**CG**
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonu, kültür merkezi, spor tesisi v.b	**HK**	**CG**	-
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	**HK**	**GÖ**
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanıma girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları v.b)	-	**CG**	-

2.1. Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi

Federal Emergency Management Agency tarafından yayınlanan FEMA 356'da önerilen nonlinear statik hesap yöntemidir. Bu yöntemde yapının tasarım depremi altında yapacağı en büyük yerdeğiştirmeyi hesaplayabilmek için önce etkili yatay rijitliği hesaplamak gerekir. Pushover analizi sonucu elde edilen kapasite eğrisi iki adet doğru ile idealize edilir. İki adet doğru ile idealize edilmiş, nonlinear hale getirimli kapasite eğrisi Sekil 2.1'de verilmiştir. Buradaki K_i başlangıçta yapı yatay rijitliğini, K_e idealize edilmiş kapasite eğrisinin ilk doğrusunun eğimi olan etkili yatay rijitliği temsil etmektedir.

Etkili rijitlik; Denklem 2.1'deki formül ile hesaplanır:

$$T_{ef} = T_i\sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \tag{2.1}$$

T_i: Serbest titreşim periyodu
T_{ef}: Etkili periyot
K_i: Yapının başlangıç yatay rijitliği
K_e: Etkili rijitlik

Kat döşemesi rijit diyafram olarak çalışan binalarda hedef yerdeğiştirme, denklem 2.2 ile hesaplanabilir:

δ_T = Tepe noktası yerdeğiştirmesi
C_0 = Modal katılım katsayısı
C_1 = İnelastik yerdeğiştirme dönüşümünü temsil eden düzeltme katsayısı
C_2 = Çevrimsel enerjiyi temsil eden düzeltme katsayısı
C_3 = İkinci mertebe etkileri temsil eden düzeltme katsayısı
S_a = Spektral ivme
T_{ef} = Etkili doğal peryod
g = Yerçekimi ivmesi

olmak üzere:

$$\delta_T = C_0C_1C_2C_3S_a\frac{T_{ef}}{4\pi^2}g \tag{2.2}$$

5 katlı yapılar için C_0 katsayısının yaklaşık değeri; FEMA 356'ya göre "1.4" olarak Tablo 2.2'den alınmıştır.

Tablo 2.2. FEMA 356'ya göre C_0 Katsayısı Yaklaşık Değerleri

Kat sayısı	C_0
1	1.0
2	1.2
3	1.3
5	1.4
10+	1.5

"T_S" Karakteristik periyodu ifade etmek üzere "C_1"değeri denklem 2.3 ve 2.4'e gore hesaplanacaktır.

$$T_E \geq T_S \quad ise; \quad C_1 = 1 \tag{2.3}$$

$$T_E < T_S \quad ise; \quad C_1 = \frac{\left[1+(R-1)\frac{T_S}{T_E}\right]}{R} \tag{2.4}$$

C_2 katsayısı; tasıyıcı sistemin türüne ve seçilen performans seviyesine göre tablo 2.3'den alınır.

Tablo 2.3. Performans Seviyesine Göre C_2 Katsayıları

Performans Seviyesi	T ≤0,1	T≤T_a
Hemen Kullanım	1	1
Can Güvenliği	1,3	1,1
Yapısal Stabilite	1,5	1,2

C3 katsayısı için, idealleştirilmiş kapasite eğrisinin inelastik bölümü pozitif ise denklem 2.5, negatif ise denklem 2.6 kullanılır.

$$C_3 = 1 \tag{2.5}$$

$$C_3 = 1 + \frac{\lfloor\alpha\rfloor+(R-1)^{3/2}}{T_E} \tag{2.6}$$

Denklem 2.6'da "α" idealleştirilmiş kapasite eğrisindeki inelastik eğiminin, elastik eğimine oranı,

"R" ise, dayanım azaltma katsayısıdır. Dayanım azaltma katsayısı "R" denklem 2.7 ile hesaplanır.

$$R = 1 + \frac{S_a}{V_Y/W}\, C_m \tag{2.7}$$

V_Y = Akma noktasındaki taban kesme kuvveti

W = Toplam bina ağırlığıdır.

Fema 356'ya göre; etkili kütle faktörünü ifade eden "C_m" katsayısı ise; 3 kat ve üzeri moment aktaran betonarme çerçeveler için; 0,9 olarak alınabilir.

2.2. Eleman Yerdeğiştirme Talebinin Hesaplanması

Eleman yerdeğiştirme talebinin hesaplanmasında eleman uçlarındaki dönmelerden faydalanılmıştır. Betonarme kolon uçlarındaki dönmelerin hesaplanması için denklem 2.8 kullanılmıştır. Şekil 2.1, lineer elastik yapı elemanları için dönme talebinin hesaplanması şematik olarak görülmektedir.

$$CR_i = \frac{\Delta}{l_C} \pm \theta_i \; ; \;\; CR_j = \frac{\Delta}{l_C} \pm \theta_j \tag{2.8}$$

Fomülde;

CR_i = Betonarme kolonun "i" ucundaki dönme talebi,

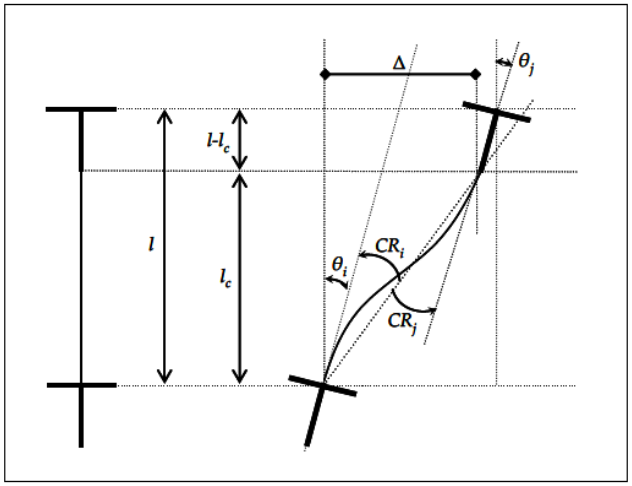
CR_j = Betonarme kolonun "j" ucundaki dönme talebi,

Δ = Katlar arası ötelenme

l_c = Betonarme kolonun temiz uzunluğu

θ_i = "i" noktasındaki dönme açısı

θ_j = "j" noktasındaki dönme açısı



Şekil 2.1. Lineer elastik yapı elamanları için dönme talebinin şematik gösterimi (Karageyik ve Sucuoğlu 2011)

2.3. Eleman Şekil Değiştirme Kapasitesinin Hesaplanması

Eleman yerdeğiştirme kapasitesinin hesaplanmasında, yine eleman uçlarındaki kord dönmelerden faydalanılmıştır. Betonarme kolon uçlarındaki dönme kapasitelerinin hesaplanması için denklem 2.9 kullanılmıştır.

$$CR_{iK} = \frac{\Delta}{l_C} \pm \theta_{yi} + \theta_{pi} \, , \; \theta_{yi} = \emptyset_y \frac{l_y}{3} \; , \;\; \theta_{Pi} = \left(\emptyset_U - \emptyset_y\right) L_P$$

$$CR_{jK} = \frac{\Delta}{l_C} \pm \theta_{yj} + \theta_{pj} \, , \; \theta_{yj} = \emptyset_y \frac{l_C - l_V}{3} \; , \;\; \theta_{Pj} = \left(\emptyset_U - \emptyset_y\right) L_P \tag{2.9}$$

Formülde;

CR_{iK} = Betonarme kolonun "i" ucundaki dönme kapasitesi,

CR_{jK} = Betonarme kolonun "j" ucundaki dönme kapasitesi,

l_c = Betonarme kolonun temiz uzunluğu

l_P = Plastik mafsal uzunluğu

lv = Kesme açıklığı

θ_{yi} = Akma anında, "i" noktasındaki dönme

θ_{yj} = Akma anında, "j" noktasındaki dönme

θ_{pi} = "i" noktasındaki plastik dönme

θ_{yj} = "j" noktasındaki plastik dönme

ϕ_y = Akma eğriliği

ϕ_u = Kopma eğriliği

Kesme açıklığı L_v, iki eksenli eğilme altındaki bir kolon için l_c */2* olarak alınabilir(Sucuoğlu ve Karageyik 2011). Denklem 2.9'dan faydalanarak şekil değiştirme kapasitesi "Δ_{cap}" denklem 2.10'daki gibi hesaplanabilir.

$$\Delta_{cap} = l_C[\theta_i + \emptyset_{yi}\frac{l_y}{3} + \emptyset_{pi}L_P] \quad (2.10)$$

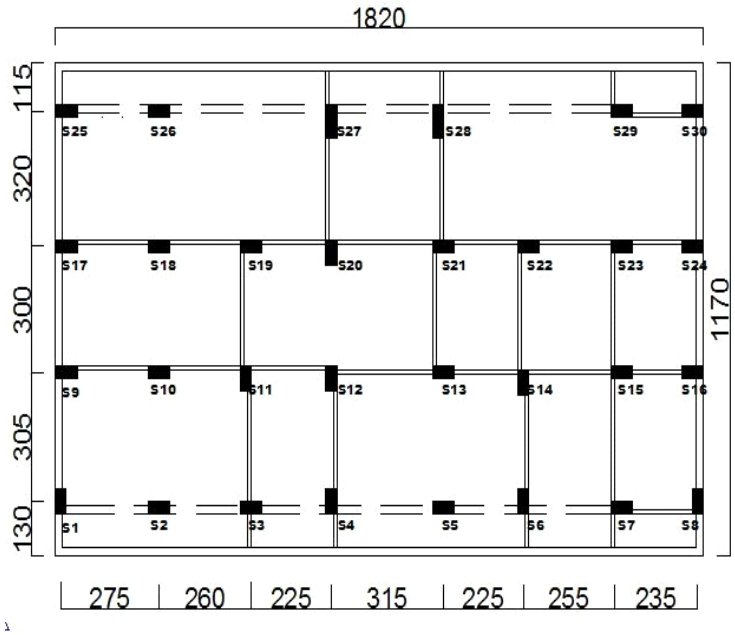
Denklem 2.10 her kolon için farklı çıkacağından, her kattaki en düşük kapasite değeri, o katın şekil değiştirme kapasitesi olarak alınabilir.

2.4. Nihai Tasarım

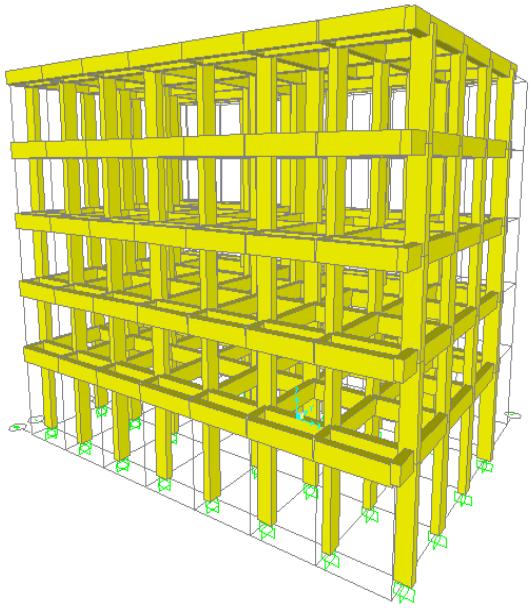
Ön tasarım aşamasında güçlendirilen bina nonlinear statik itme analizi ile analiz edilir. Her bir kolon için şekil değiştirme talepleri ile kapasiteleri karşılaştırılır. Şekil değişti talepleri eleman kapasitelerini aşmıyorsa ön tasarım yeterlidir. Yetersiz görülen kesitlerde donatı veya perde duvar sayıları artırılarak sistem güçlendirilir. Ardından hesap adımları tekrarlanarak yeni sistemin talep ve kapasite kontrolleri yapılır.

3. UYGULAMA

Bu çalışma için 5 katlı asimetrik ve düşey düzensizliğe sahip betonarme bir konut yapısı seçilmiştir. Binanın zemin kat yüksekliği 4.00m, diğer kat yükseklikleri 2,80m'dir. Kolon kesit ölçüleri bina yüksekliği boyunca sabittir. 0.80x0.30m^2 ölçülerinde 2 kolon hariç diğer kolonlar 0.30x0.60m^2 ve 0.60x0.30m^2'dir. Kiriş ölçüleri en üst katta 0.30x0.50m^2, diğer katlarda 0.30x0.60m^2'dir. Kolon ve kirişlerde enine donatı aralığı 20cm, enine donatı çapı 8mm'dir. Kolon kiriş birleşimlerine etriye sıklaştırması yapılmamıştır. Kat ağırlıkları, son kat 220 ton, diğer katlar 278 ton'dur.



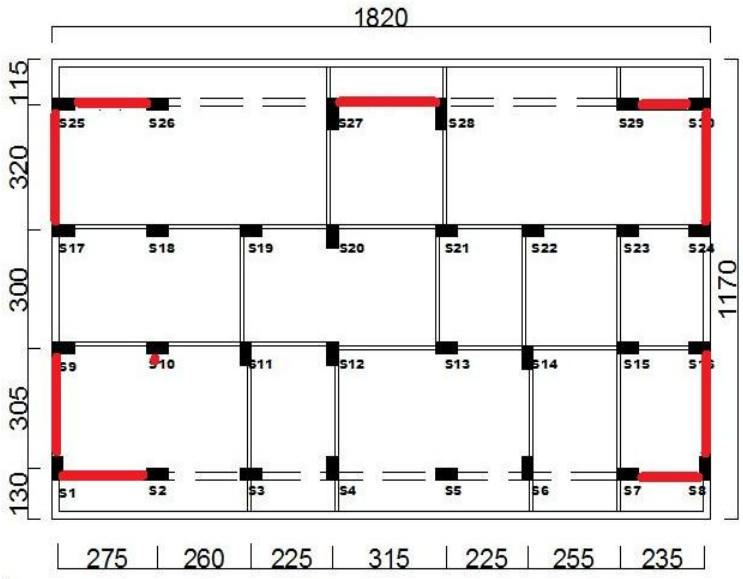
(a) Plan (ölçüler: cm)

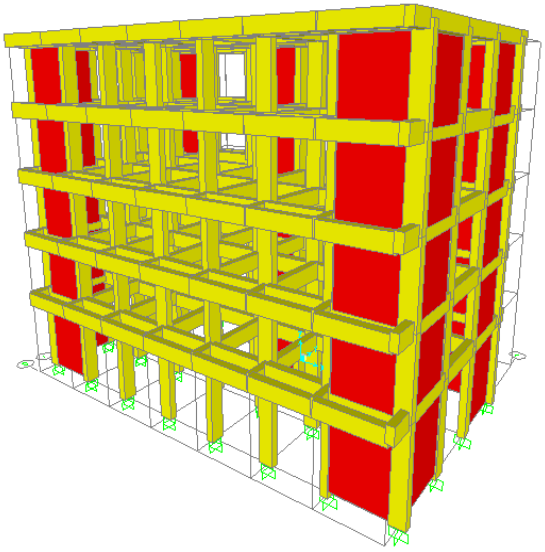


(b) 3-Boyut

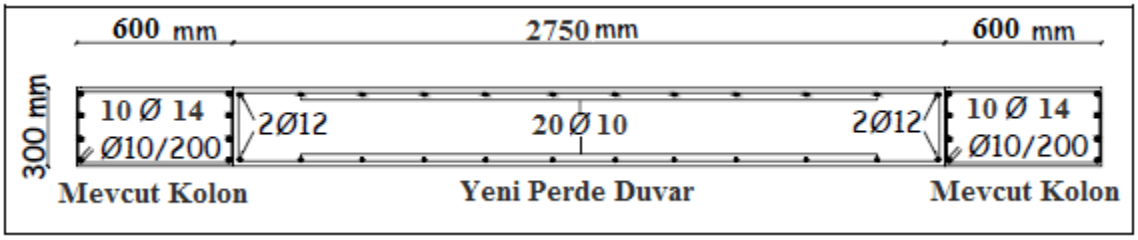
Şekil 3.1. Mevcut Bina Plan ve 3 Boyutlu Modeli.

Mevcut binaya; Şekil 3.2'de plan ve 3 boyutlu model üzerinde kırmızı renkle gösterilen perde duvarlar ilave edilerek güçlendirilmiştir. Şekil 3.3'te SP1 perde duvar kesit ve donatıları görülmektedir.





Şekil 3.2 .Güçlendirilmiş yapıya ait plan ve 3 boyut resmi

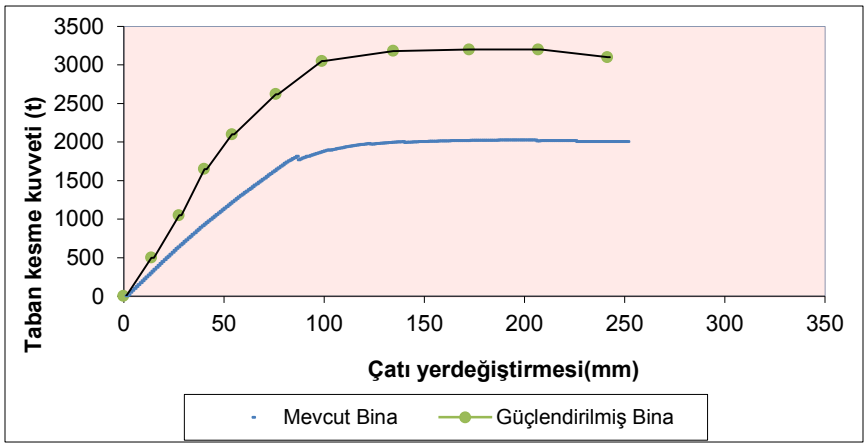


Şekil 3.3. Mevcut Yapıya İlave Edilen SP1 Perde Duvarı Enkesiti

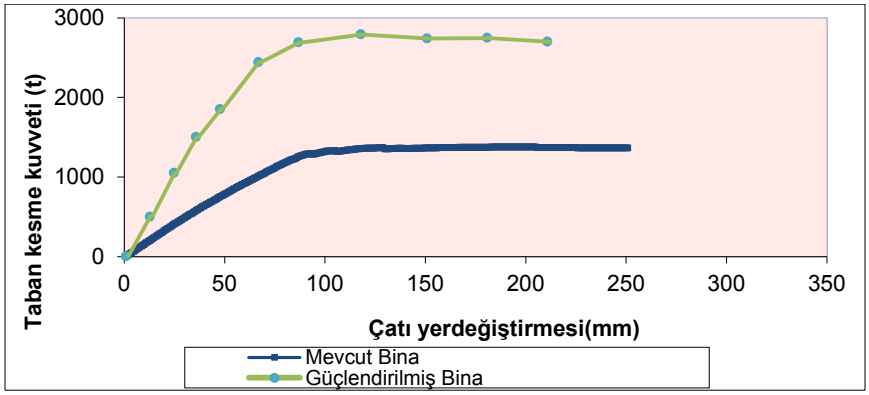
4. SAYISAL SONUÇLAR

Analiz sonuçları; Bina kapasite eğrisi, yanal kat ötelenmeleri ve Akor dönme talepleri bakımından karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.1 ve 4.2'de X ve Y yönlerinde uygulanan NSP analizi sonucu elde edilen yapı kapasite eğrisi, farklı yer hareketi ölçekleri neticesinde elde edilen nonlineer time history analizi sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

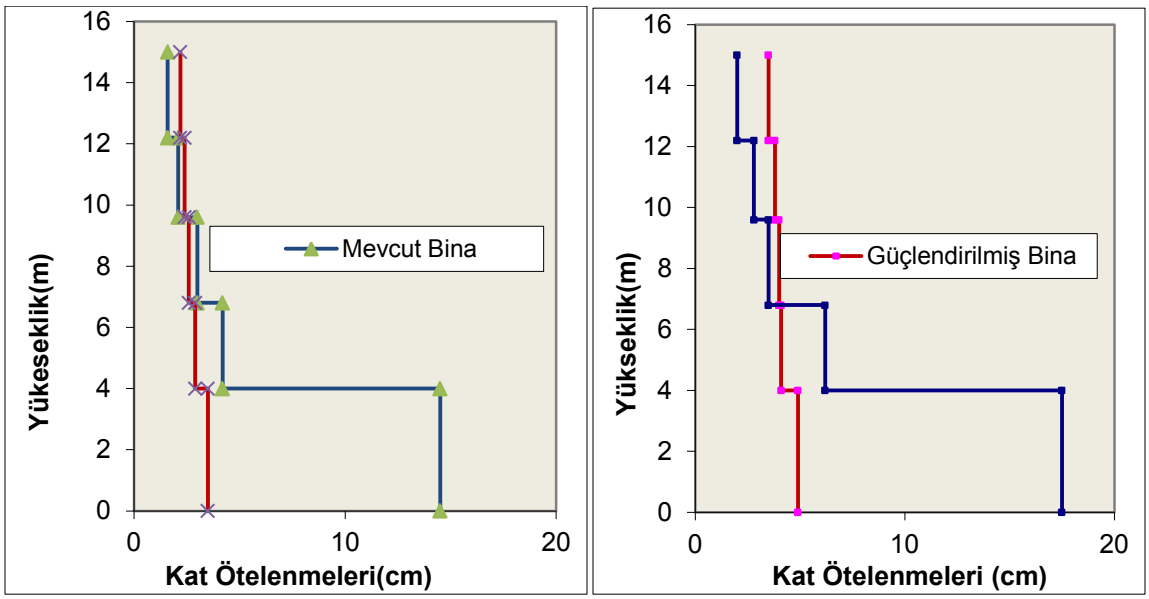


Şekil 4.1. X Yönü Bina Kapasite Eğrileri



Şekil 4.2. Y Yönü Bina Kapasite Eğrileri

Perde duvarlarla güçlendirme sonrasında, özellikle binanın zayıf deprem doğrultusu olan Y yönünde; ciddi bir kapasite artışı gözlenmektedir.

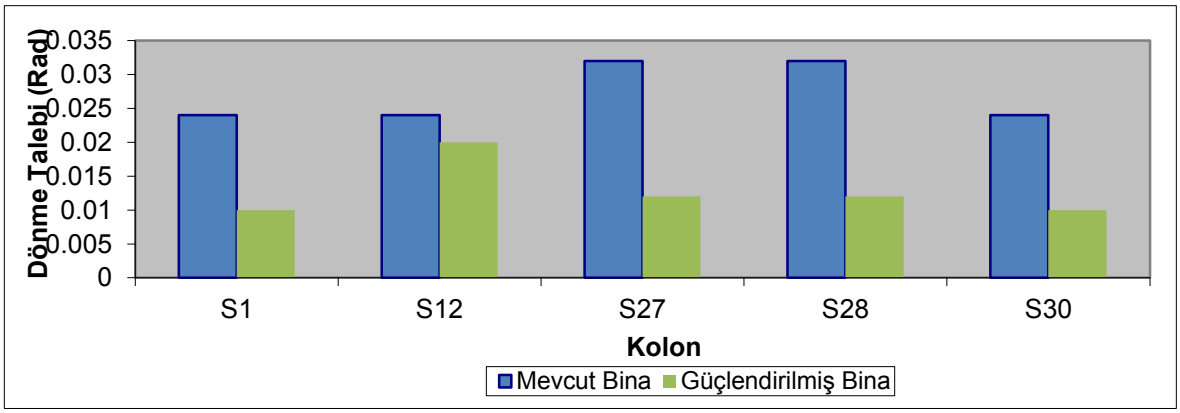


a-) X Yönü, b-) Y Yönü

Şekil 4.3. Kat Ötelenmeleri,

Analiz sonuçları; söz konusu yapının her iki yöndeki kat ötelenmeleri açısından değerlendirildiğinde; sisteme eklenen perde duvarların kat ötelenmelerini önemli ölçüde dengelediği Şekil 4.3'te görülmektedir. Özellikle, mevcut yapıda her iki yönde de çok yüksek olan zemin kat ötelenmesi perde duvar takviyelerinden sonra azalmaktadır.

Mevcut bina ve güçlendirilmiş binanın akor dönme talepleri ise Kritik kolonlar için Şekil 4.4'te grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Mevcut yapıda kritik talep değerlerine sahip olduğu görülen kolonlar, güçlendirme sonrası kapasite değerlerini aşmayacak seviyelere gerilemektedir.



Şekil 4.4. Zemin Kat, Y Yönü, S1, S12, S27, S28 ve S30 Kolonlarının Akor Dönme Talepleri

5. SONUÇLAR

Sonuçlar incelendiğinde; beklendiği gibi perde duvarlarla güçlendirilmiş sistemin, mevcut yapıya oranla çok daha iyi bir deprem performansına sahip olduğu görülmektedir. Mevcut yapının taşıyıcı sistemine bakıldığında; şekil değiştirme taleplerinin genellikle kapasitelerin üzeirnde olduğu görülmektedir. Deplasman kontrollü yöntemle yapılan güçlendirme sayesinde taşıyıcı sistemin şekildeğiştirme talepleri, kapasitelerin altına çekilmiştir.

Deplasman esaslı güçlendirme yöntemiyle sisteme eklenen 9 adet perde duvarla yapının zayıf olan Y yönündeki taban kesme kapasitesinde %90'a varan artış sağlandığı görülmüştür.

Kat ötelenmelerinde mevcut yapının zemin kat deformasyonunun çok büyük olduğu gözlenmiştir. Güçlendirme perdeleri sonrası ötelenme oranı diğer katlara yakın seviyelere inmiştir.

Aynı şekilde, güçlendirme sonrası kolon uçlarındaki akor dönme taleplerinde %100'ü aşan iyileşmeler gözlenmektedir. Güçlendirme öncesi eleman kapasitelerini aşan akor dönme açıları güçlendirme sonrası performans hedefini sağlar seviyeye inmiştir.

KAYNAKLAR

[1]: Kappos A. J. and Kyriakakis, P. (2000), A re-evaluation of scaling techniques for natural records, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 20, 111-123.

[2]: Bardakis V. G. and Dritsos, S. E. (2007), Evaluating assumptions for seismic assessment of existing buildings, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 27, 223–233.

[3]: D. Lee, W. Choi, C. Myung and Kim, D., (2006), Evaluation of seismic performance of multistory building structures based on the equivalent responses, *Engineering Structures* 28, 837–856.

[4]: M. Inel, H. B. Ozmen and H. Bilgin., (2008),Re-evaluation of building damage during recent earthquakes in Turkey, Engineering Structures 30, 412–427.

[5]: Saiidi M. and. Sozen, M. A., (1981), Simple nonlinear seismic analysis of R/C structures. *Journal of the Structural Division*, ASCE 107, 937–51.

[6]: ATC-40, (1996), Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings vols. 1–2. California. Applied Technology Council,

[7]: FEMA 273, (1997), Nehrp Guidelines For The Seismic Rehabilitation Of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, October.

[8]: FEMA-356, (2000), Prestandard and commentary for seismic rehabilitation of buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington.

[9]: FEMA-440, (2004), Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, Washington,

[10]: Turkish Seismic Code(TSC), (2007), Specifications for buildings to be built in seismic areas., Ministry of Public Works and Settlement. Ankara. (Turkey).

[11]: Bhatt, C., Bento, R., (2012), "Comparison of Nonlinear Static Methods for the Seismic Assessment of Plan Irregular Frame Buildings with Non Sesismic Details*", Journal of Earthquake Engineering*, 16:15-39.

[12]: Karageyik, C., Sucuoğlu, H.(2011) "Betonarme Binaların Perdelerle Güçlendirilmesinde Şekildeğiştirme Esaslı Yöntemlerin Uygulanması" *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 11-14 Ekim 2011 – ODTÜ – Ankara.

[13]: Karageyik, C. (2010) Displacement- Based Seismic Rehabilitation Of Non- Ductile Rc Frames With Added Shear Walls. Doktora Tezi, İnşaat Müh. Bölümü, ODTÜ, Ankara.

[14]: SUCUOĞLU, H., KARAGEYİK, C. (2011) "A Displacement Based Approach for the Seismic Retrofitting of Medium rise non-ductile RC Frames With Added Shear Walls", *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 15 No. 6, 959-969.