BETONARME BİNALARIN PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMESİNDE ŞEKİLDEĞİŞTİRME ESASLI YÖNTEMLERİN UYGULANMASI

C. Karageyik[1] ve H. Sucuoğlu[2]

[1] *İnşaat Yük. Müh., PROTA Mühendislik, Ankara*
[2] *Profesör, İnşaat Müh. Bölümü, ODTÜ, Ankara*
Email: sucuoglu@ce.metu.edu.tr

ÖZET:

Bu çalışmada sünek olmayan orta yükseklikteki betonarme çerçeveli binaların güçlendirmesinde şekildeğiştirme esaslı bir yöntem önerilmektedir. Mevcut kolonların şekildeğiştirme kapasitesi güçlendirme tasarımını kontrol etmektedir. Her iki yönde sisteme eklenen minimum miktardaki perde duvarlar ile genellikle alt katlarda bulunan kritik kolonların şekildeğiştirme kapasitelerinin aşılmaması sağlanmaktadır. Kat arası ötelenme oranları ve eleman uçlarındaki kord dönmeleri temel performans parametreleri olarak kullanılmaktadır. Önerilen şekildeğiştirme esaslı güçlendirme yöntemi, diğer binalara oranla daha yüksek deprem performansı gerektiren okul binalarına uygulanmıştır

ANAHTAR KELİMELER : Şekildeğiştirme esaslı tasarım, şekildeğiştirme talebi, şekildeğiştirme kapasitesi, kat arası ötelenme, uç dönmesi, güçlendirme, gevrek çerçeve, perde duvar.

1. GİRİŞ

Deprem dayanımı yetersiz gevrek betonarme binaların güçlendirmesi deprem risklerinin azaltılması kapsamında bütün dünyada öncelikli bir konudur. Bu tür binaların perdelerle güçlendirilmesi sonucunda taban kesme kuvveti kapasiteleri ve yatay dayanımları artmakta, böylece deprem sırasında yapı elemanlarındaki şekildeğiştirme talepleri azalmaktadır.

Sünek olmayan betonarme çerçevelerin kuvvet esaslı güçlendirme tasarımında önce mevcut sisteme belirli oranda perde eklenerek bir ön tasarım yapılır. Sonra deprem yönetmelikleri uyarınca bir yük azaltma katsayısı seçilir (ICC, 2006; ASCE, 2005; CEN, 2003; NZS, 2008; TDY, 2007) ve eleman iç kuvvetleri azaltılmış deprem yükleri ve düşey yüklerin ortak etkileri altında hesaplanır. Mevcut yapısal elemanların kuvvet kapasiteleri bu etkiler altında kontrol edilir ve yeterli bulunmazsa eleman düzeyinde yapılan güçlendirme uygulamaları ile arttırılır. Sisteme yeni eklenen elemanlar ise azaltılmış deprem yükleri ve düşey yük etkileri altında tasarlanır. Tasarım kesme kuvvetleri kapasite tasarımı uyarınca eğilme kapasitesi ile uyumlu olarak hesaplanır. Sonuç olarak tasarımda kullanılan yük azaltma faktörünün gerektirdiği sünekliğin uygulanan özel deprem detaylandırması ile sağlandığı varsayılır.

Deprem güçlendirmesi için alternatif yaklaşım şekildeğiştirme esaslı güçlendirme tasarımıdır. Şekildeğiştirme esaslı tasarımın yeni binalarda uygulanması deprem mühendisliğinde son yıllarda oldukça ilgi gören bir alandır (Moehle, 1992; Kowalsky, 1994; Panagiotakos ve Fardis, 1999; Priestley v.d., 2007; Thjin v.d., 2007). Hatta bu konuda bir yönetmelik taslağı da yayınlanmıştır (Calvi ve Sullivan, 2009). Ancak şekildeğiştirme esaslı tasarım yöntemlerinin güçlendirme alanındaki uygulamaları hayli sınırlıdır (Thermou v.d., 2006; Baros ve Dritsos, 2008).

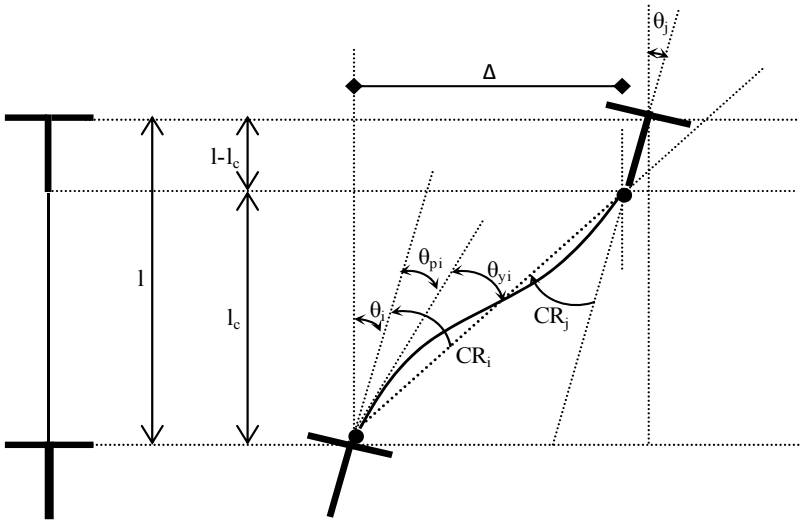
Bu çalışmada önerilen şekildeğiştirme esaslı güçlendirme tasarımı yöntemi de, kuvvet esaslı yöntemlerde olduğu gibi sisteme eklenen perdelerin seçimi (ön tasarım) ile başlar. Sisteme her iki yönde perde eklenerek kat arası ötelenme oranlarının kritik kolonlar tarafından belirlenen hedef değerin altında tutulması amaçlanır. Sisteme eklenen perde duvarlar yönetmeliklerce belirlenen minimum gövde donatısı ile tasarlanır. Daha sonra güçlendirilmiş sistemde ve sistem elemanlarında oluşan şekildeğiştirme talepleri doğrusal olmayan statik itme analizi ile hesaplanır (ASCE, 2000; CEN, 2003; TDY, 2007). Hesaplanan talepler mevcut ve yeni eklenen elemanların şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılar. Yetersiz kalan elemanların şekildeğiştirme kapasiteleri belirli güçlendirme müdahaleleri ile istenen düzeye yükseltilir. Ayrıca kesme kapasitesi yetersiz olan tüm elemanlar kuvvet esaslı konvansiyonel yöntemler kullanarak yeterli duruma getirilir.

2. ŞEKİLDEĞİŞTİRME ESASLI GÜÇLENDİRME TASARIMI YÖNTEMİ

Güçlendirme tasarımı, performans sınır durumlarının belirlenmesi ve mevcut yapının şekildeğiştirme esaslı performans değerlendirmesi ile başlar. Her katın kat arası ötelenme kapasitesi bu kattaki kolonların şekildeğiştirme kapasitelerine bağlı olarak hesaplanır ve deprem etkisi altında oluşan kat arası ötelenme talebi ile karşılaştırılır. Eğer ötelenme talepleri kapasiteleri aşıyorsa talepleri azaltmak amacıyla sisteme perde duvar eklenir. Burada özetlenen yöntem FEMA 356'nın genel felsefesi ile uyumludur.

2.1. Şekildeğiştirme Parametreleri

Tipik bir kolon elemanının çift eksenli eğilme altındaki oluşan elastik ötesi şekildeğiştirme parametreleri Şekil 1'de gösterilmektedir. Burada l_c net kolon boyunu, Δ kat arası ötelenme oranını, θ_i ve θ_j uç dönmeleri, CR_i ve CR_j uçlardaki kord dönmelerini temsil etmektedir. θ_{yi} ve θ_{pi} ise i ucundaki akma ve plastik dönme değerleridir.



Şekil 1. Her iki ucunda akma oluşan bir kolonun şekildeğiştirme parametreleri

Eleman şekildeğiştirmeleri doğrusal elastik sınırlar içinde olduğu durumda kolonun i ucundaki kord ve uç dönmeleri ile bu kattaki kat arası ötelenme oranı arasındaki ilişki Denklem (1) ile verilmektedir.

$$CR_i = \Delta / l_c - \theta_i \tag{1}$$

Bir kolonun i ucundaki kord dönmesi, bu uçta akma (varsa) akma dönmesi ve plastik dönmenin toplamına eşittir.

$$CR_i = \theta_{yi} + \theta_{pi} \tag{2}$$

Dolayısıyla Denklem (1) ve (2)'den aşağıdaki ilişki türetilir.

$$\Delta = l_c \, (\theta_i + \theta_{yi} + \theta_{pi}) \tag{3}$$

Her ne kadar Denklem (3) Şekil 1'den doğrudan elde edilebilirse de, Denklem (1) ve (2) önerilen tasarım yöntemini eşdeğer doğrusal analiz yöntemlerini içerecek şekilde genelleştirmektedir. Kord dönmeleri eşdeğer doğrusal analiz yöntemleri kullanarak doğrudan elde edilebilmektedir (Kosmopoulos ve Fardis, 2007; Günay ve Sucuoğlu, 2010).

Akma durumundaki bir kolon ucundaki dönmeler ve eğrilikler aşağıdaki denklemler ile ifade edilmektedir (Priestley v.d., 2007).

$$\theta_{yi} = \varphi_{yi} \bullet l_v/3 \tag{4.a}$$

$$\theta_{pi} = \varphi_{pi} \bullet L_p \tag{4.b}$$

Denklem (4)'de l_v kesme açıklığıdır ve iki eksenli eğilme altındaki bir kolon için yaklaşık olarak $l_c/2$ değerine eşittir. L_p plastik mafsal boyu, φ_{yi} ve φ_{pi} ise sırasıyla i ucundaki akma ve plastik eğrilik değerleridir. θ_{yi} and θ_{pi} değerleri Denklem (4.a, 4.b)'den Denklem (3)'e konulduğunda, kat arası ötelenme oranı i ucundaki dönme ve eğrilik cinsinden elde edilir.

$$\Delta = l_c \, [\theta_i + \varphi_{yi} \bullet l_v/3 + \varphi_{pi} \bullet L_p] \tag{5}$$

2.2. Şekildeğiştirme Kapasitesi

Denklem (5) kat arası ötelenme oranını doğrudan o kattaki bir kolonun i ucunun dönme kapasitesi ile ilişkilendirmektedir. Esasında bu ilişki her kolon için farklıdır zira denklemin solundaki kat arası ötelenme oranı değeri sabittir, ancak sağındaki değerler her kolon için farklıdır. Dolayısıyla dönme kapasitesi en az olan kolon o katın kat arası ötelenme kapasitesini belirleyecektir. Böylece Denklem (5) güçlendirme tasarımı amacıyla kullanılabilir. Bir katta her kolon için Denklem (5)'ten kat arası ötelenme oranı hesaplanır ve en küçük olan değer o katın kat arası ötelenme kapasitesi Δ_{cap} olarak alınır.

$$\Delta_{cap} = min \, \{l_c \, [\theta_i + \varphi_{yi} \bullet l_v/3 + \varphi_{pu,\,i} \bullet L_p]\} \tag{6}$$

Eğer analizden elde edilen kat arası ötelenme talebi bu değerin altında ise, bu kattaki tüm kolonların şekildeğiştirme performans kriterini sağladığı anlaşılır.

Denklem (6)'nın sağ tarafındaki şekildeğiştirme değerleri kesitteki beton ve çeliğin birim şekildeğiştirme sınır değerleri kullanılarak hesaplanır. Türkiye Deprem Yönetmeliğinde (TDY, 2007) önerilen birim şekildeğiştirme sınır değerleri Tablo 1'de verilmektedir. Burada ρ_s and ρ_{sm} mevcut ve minimum yatay donatı oranlarıdır. Plastik dönme sınır durumlarının malzeme birim şekildeğiştirme sınır değerleri cinsinden ifadesi için kolon uç kesitinin moment-eğrilik ilişkisinin elde edimesi gereklidir. Eurocode 8-Part 3 (CEN, 2003) ve ASCE 41 (2007) kesitlerdeki performans sınır değerlerini doğrudan plastik dönme sınırları cinsinden vermektedir. Bu durumda performans değerlendirmesinde Denklem (6) yerine daha basit bir ifade olan Denklem (4.b) kullanılabilmektedir. Acun ve Sucuoğlu (2010), TDY ve Eurocode-8-Part 3'de verilen sınır değerlerin deneysel kolon gözlemleri ile uyumlu olduğunu göstermişlerdir. ASCE 41 sınırları biraz daha tutucu yönde kalmaktadır.

Tablo 1. Betonarme eleman kesitleri için malzeme birim şekildeğiştirme sınır değerleri

Performans Düzeyi	**ε_c (beton birim şekildeğiştirme)**	**ε_s (çelik birim şekildeğiştirme)**
Minimum Hasar	0.0035 (dış lif)	0.01
Belirgin Hasar	$0.0035+0.01(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.0135$ (etriye seviyesi)	0.04
Ağır Hasar	$0.004+0.014(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.018$ (etriye seviyesi)	0.06

2.3. Güçlendirme Tasarımı

Güçlendirme tasarımında ilk adım sisteme eklenecek perde duvarların ön tasarımıdır. İlk deneme olarak her iki yönde yerleştirilecek minimum orandaki perde duvarların yerleri tespit edilir ve minimum gövde donatısı ile deteylandırılır. Sonra güçlendirilen sistemin tasarım depremi altında doğrusal olmayan statik itme analizi yapılır ve kat arası ötelenme oranı talepleri hesaplanır (ASCE, 2005; TDY, 2007). Eğer her katta elde edilen ötelenme oranı talebi bu katların Denklem (6) ile hesaplanan kapasitelerinden az ise güçlendirme tasarımı yeterlidir. Değilse perde duvar oranı arttırılarak yukarıdaki işlem tekrarlanır. Burada, Denklem (6)'daki plastik dönme kapasitesi $\varphi_{pu,i}$'nin hesaplanmasında gerekli olan eksenel yük ile gene Denklem (6)'daki θ_i değerinin, ön tasarımı yapılan güçlendirilmiş sistemin analizinden elde edileceği göz önünde tutulmalıdır.

Sistemin güçlendirilmesi ile azalan kat arası ötelenme oranı talepleri, mevcut kolonlar tarafından Denklem (6) uyarınca dikte edilen kat arası ötelenme oranı taleplerini bazı kolonlar için aşabilir. Belirli durumlarda bu tasarım da yeterli olarak kabul edilebilir, zira kolon güçlendirmesi (mantolama) çok tercih edilen bir müdahale türü değildir. Karar tasarımcıya bırakılmalıdır. En son olarak kesme dayanımı yetersiz olan elemanlar kapasite tasarımı uyarınca güçlendirilmelidir.

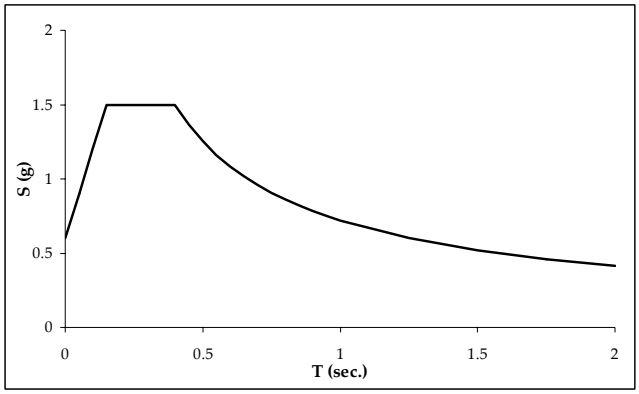
3. ÖNERİLEN ŞEKİLDEĞİŞTİRME ESASLI GÜÇLENDİRME YÖNTEMİNİN UYGULANMASI: DÖRT KATLI OKUL BİNASININ GÜÇLENDİRMESİ

Okul binasının tipik kat planı Şekil 4'te görülmektedir.İlk üç katta kolon kesit boyutları 300x600 mm , dördüncü katta ise 300x600 mm'dir. Tüm kiriş kesit boyutları 300x700 mm'dir. Kat yükseklikleri ilk üç katta 3.15 m, dördüncü katta 3.10 m'dir. Mevcut malzeme dayanımları saha deneylerinden elde edilmiştir. Ortalama beton dayanımı 12 MPa, çelik akma dayanımı 220 MPa ve kolonlarda boyunan donatı oranı %1.7 olarak ölçülmüştür. Kirişlerde boyuna donatı oranı çekmede % 0.9, mesnetlerde basınç bölgesinde % 0.6'dır. Yatay donatı tüm kesitlerde 200 mm aralıklı 8 mm çapında ve 90 derece bükülmüş etriyelerden meydana gelmektedir. Bu özellikler ülkemizdeki deprem dayanımı yetersiz binaların tipik özellikleridir.

Doğrusal olmayan statik itme analizi için 3 boyutlu bir model oluşturulmuştur. Doğrusal olmayan kesit özellikleri yığılı plastisite modeli ile tanımlanmıştır. Çerçeve elemanlarının doğrusal elastik kesit özellikleri TDY ve FEMA 356 çatlamış kesit etkisi tanımları göz önüne alınarak tanımlanmıştır.

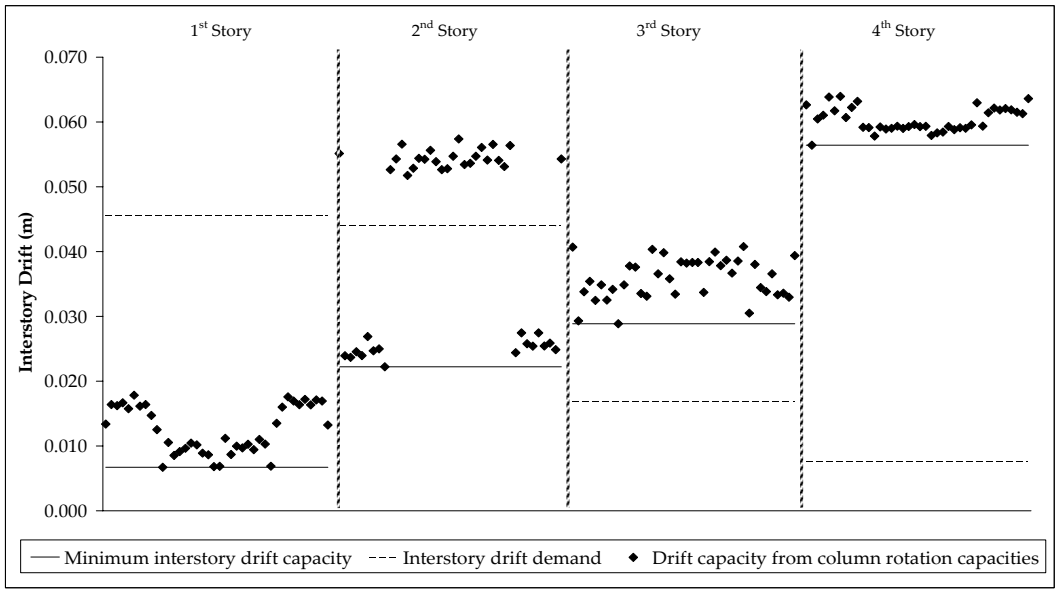
3.1. Mevcut Okul Binasının Performans Değerlendirmesi

Mevcut okul binası Türkiye Deprem Yönetmeliği (2007) performans kriterleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Okul binasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem etkisi altında Can Güvenliği performans düzeyini sağlaması gerekir. Deprem etkisi 1. Derece deprem bölgesi ve Z3 tipi zemin için Şekil 2'de tanımlanmıştır.



Şekil 2. 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem spektrumu (Z3)

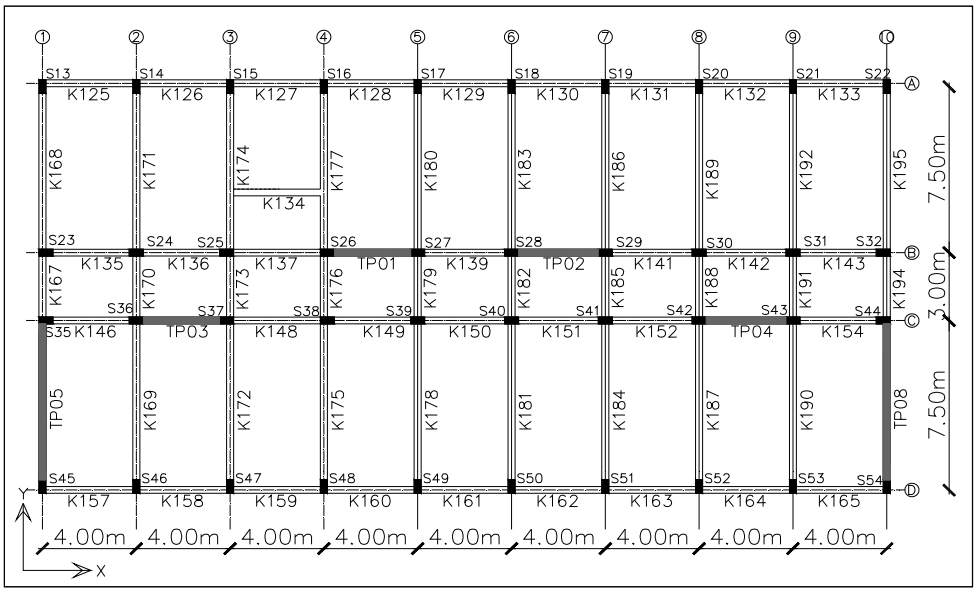
Kolonların şekildeğiştirme kapasitelerine bağımlı olarak hesaplanan kat arası ötelenme kapasiteleri ve doğrusal olmayan statik itme analizinden elde edilen kat arası ötelenme talepleri Şeki 3'te X- yönü için her iki itme doğrultusunda verilmektedir. İlk iki katta ötelenme talepleri, kolonlar tarafından belirlenen kapasiteleri önemli miktarda aşmaktadır.



Şekil 3. Mevcut okul binasının X yönünde Can Güvenliği performans sınır durumundaki kat arası ötelenme kapasiteleri ve ötelenme talepleri

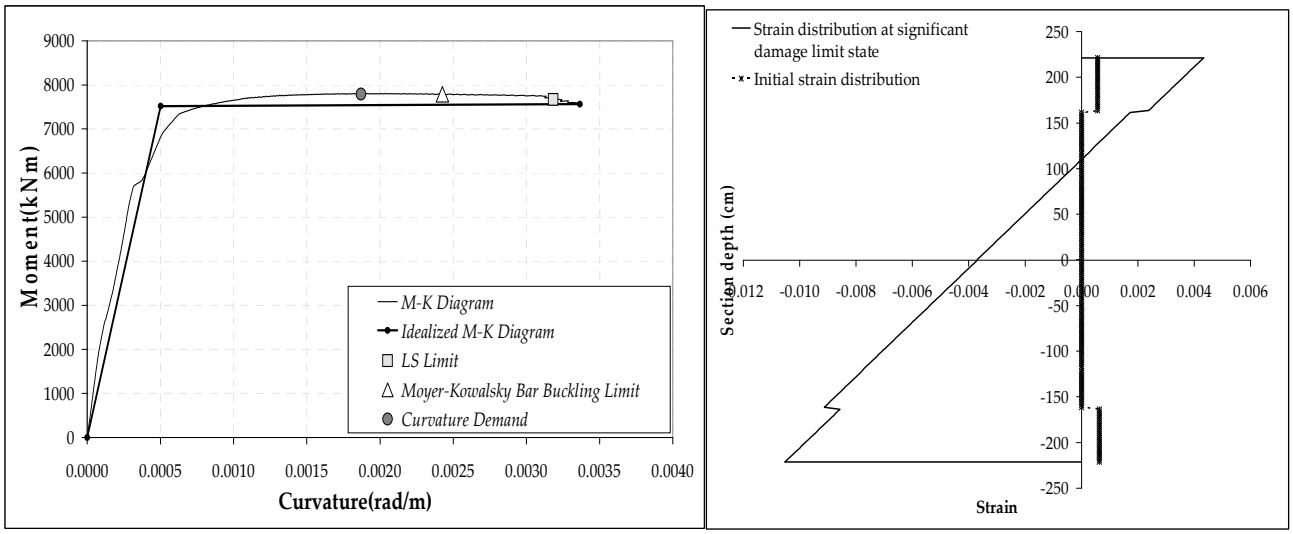
3.2. Güçlendirme Tasarımı

Yetersiz çerçeveye X yönünde dört, Y yönünde iki perde duvar eklenmiştir (Şekil 4). Güçlendirilmiş binanın duvar alanlarının kat alanına oranı X yönünde yüzde 0.8, Y yönünde ise yüzde 0.7 olmaktadır. Duvar gövdelerine minimum oranda donatı yerleştirilmiştir (ρ_v ; ρ_h = 0.0025). Sisteme eklenen dolgu duvarlar mevcut çerçeveye 400 mm aralıklı, 400 mm uzunluğunda ve 20 mm çapında ankraj çubukları ile bağlanmıştır.



Şekil 4. Mevcut ve güçlendirilmiş okul binasının tipik kat planı (sisteme eklenen perde duvarlar gri gölgelidir)

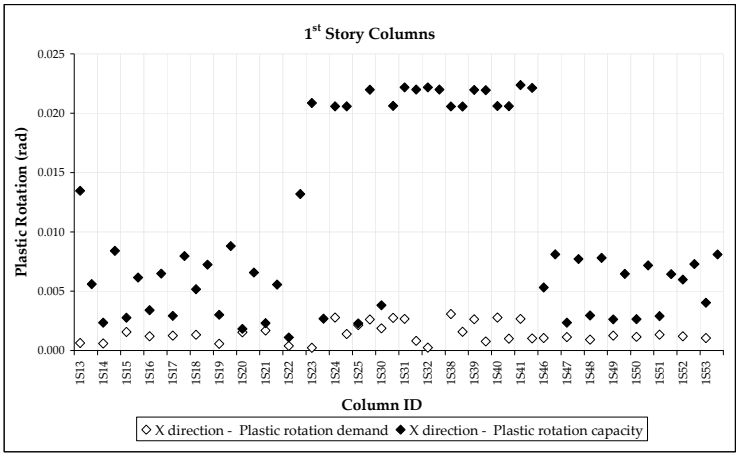
X yönündeki TP01 duvarının moment-eğrilik eğrisi ve kompozit duvar kesitinin Can Güvenliği sınır durumundaki birim şekildeğiştirme dağılımı Şekil 5'te gösterilmektedir. Birim şekildeğiştirme profilinde süreksizliğe neden olan eksenel yük kaynaklı birim şekildeğiştirmeler de şekilde görülmektedir. Can Güvenliği ve çubuk burkulması sınır düzeylerine karşılık gelen eğrilikler ve doğrusal olmayan statik itme analizinden hedef çatı ötelenmesi değerinde elde edilen eğrilikler de şekilde gösterilmiştir. Perdenin bağlandığı kolonlarda çubuk burkulması kompozit kesitin şekildeğiştirme kapasitesini kontrol etmektedir, zira bu değer Can Güvenliği sınır durumundaki eğrilikten daha düşüktür. Ancak tasarım depremi altında hesaplanan eğrilik talebi bu kapasitenin altındadır.



Şekil 5. TP01 duvarının moment-eğrilik ilişkisi ve kompozit duvarın Can Güvenliği sınır durumunda birim şekildeğiştirme dağılımı

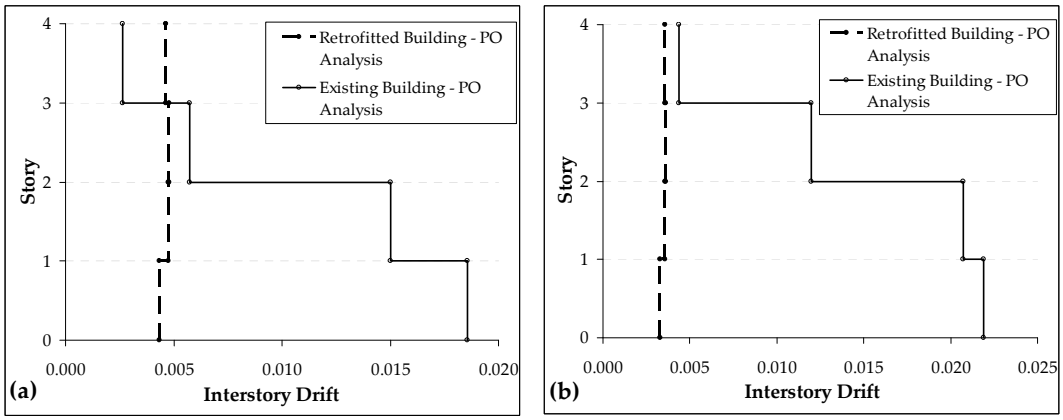
3.3. Güçlendirme Tasarımının Doğrulanması

Sisteme eklenen perde duvarların şekildeğiştirme kapasitelerinin talepleri sağladığını belirledikten sonra, önerilen tasarım yönteminin sağlaması ayrıca kolonlar için yapılmıştır. Bu amaçla kolon uçlarının Can Güvenliğ sınır durumundaki plastik dönme kapasiteleri, statik itme analizinden elde edilen dönme talepleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma Şekil 6'da X yönünde birinci kat kolonları için verilmektedir. Sonuçlar en kritik yük doğrultusu içindir (+X veya -X). Görüldüğü gibi tüm kolonlar Can Güvenliği performans sınırını sağlamaktadır.



Şekil 6. Birinci katta X yönü kolonlarının Can Güvenliği sınır durumu için plastik dönme kapasitelerinin plastik dönme talepleri ile karşılaştırması

Güçlendirme öncesi ve sonrasında tasarım depremi altında X ve Y yönlerinde yapılan statik itme analizlerinden elde edilen kat arası ötelenme oranları Şekil 7'de görülmektedir. Güçlendirilmiş binanın tüm katlarında yaklaşık olarak eşit ötelenme oranları elde edilmektedir ve ötelenme oranları yüzde 0.5'in altındadır. Mevcut binadaki aşırı ötelenme talepleri perde güçlendirmesi ile belirgin biçimde azaltılmıştır. Bu denli düşük ötelenme talepleri altında perdeler için özel deprem detaylandırmasına gerek yoktur. Perde ucundaki kolonlarda beton maksimum birim şekildeğiştirme değeri 0.004 olmaktadır (Şekil 5). Kolonlardaki mevcut (sıklaştırılmamış) yatay donatı, bu denli düşük birim şekildeğiştirme değerlerinde Şekil 5'deki moment-eğrilik ilişkisinin elde edilmesi için gerekli olan sargılama etkisini sağlamaya yeterlidir.

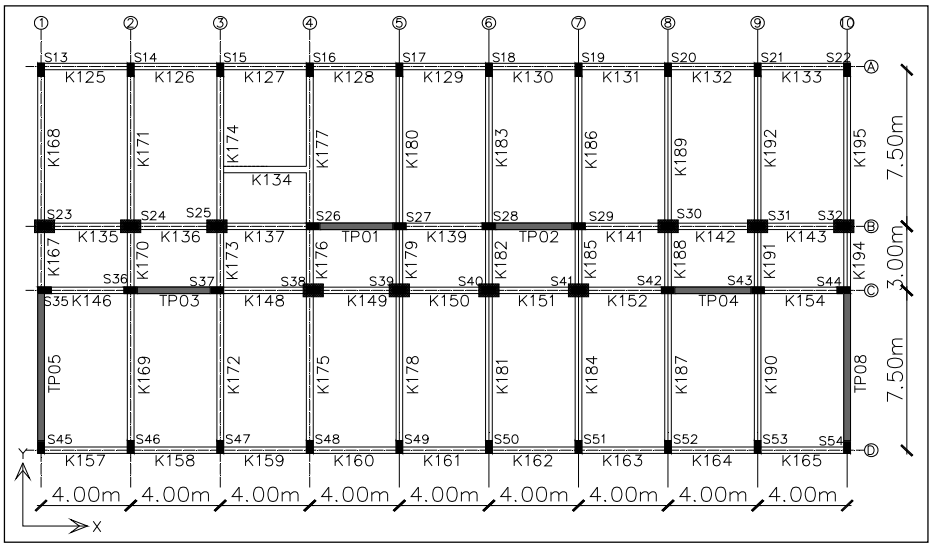


Şekil 7. Güçlendirme öncesi ve sonrasında tasarım depremi altında statik itme analizi ile elde edilen kat arası ötelenme oranı taleplerinin karşılaştırması. a) X yönü, b) Y yönü.

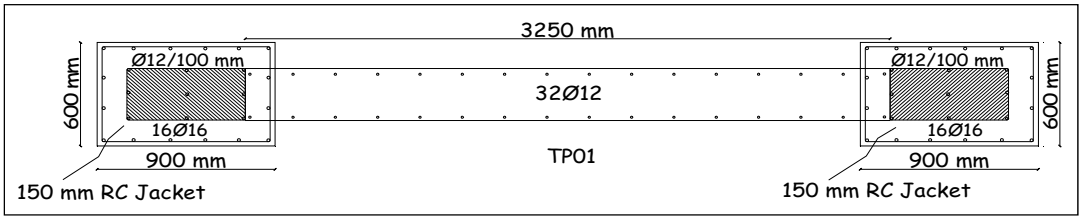
3.4. Şekildeğiştirme ve Kuvvet esaslı Güçlendirme Çözümlerinin Karşılaştırması

Bu çalışmada incelenen okul binası evvelce 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliği'nin kuvvet esaslı yöntemi kullanılarak güçlendirilmiş ve güçlendirme sahada uygulanmştır. Bu tasarımda, karma sistemler için geçerli olan (sünek olamayan çerçeve, sünek perde) yük azaltma katsayısı R=4.5 kullanılmıştır.

Kuvvet esaslı güçlendirme çözümü Şekil 8'de birinci kat planı üzerinde gösterilmektedir. Bu çözümde, eğilme kapasitesi bakımından yetersiz bulunan on adet birinci kat kolonuna mantolama yapılmıştır. Daha küçük kesit boyutuna sahip TP01-04 perdeleri eğilme perdesi sınıfına girmektedir. Dolayısıyla 3.5 m kritik perde yüksekliği boyunca bu perdelerde sargılanmış uç bölge oluşturmak amacıyla perdelerin bağlandığı sınır kolonlara mantolama uygulanmıştır. Bu perdeler için gerekli olan boyuna ve enine donatı oranları 0.010 ve 0.0072 olarak hesaplanmıştır. TP01 perdesinin detayları Şekil 9'da sunulmaktadır.



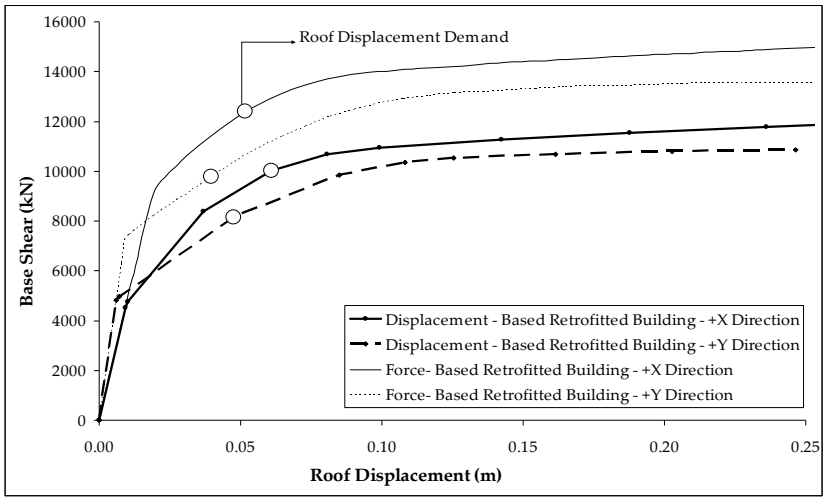
Şekil 8. Kuvvet esaslı güçlendirme çözümünden elde edilen birinci kat planı



Şekil 9. Kuvvet esaslı güçlendirme çözümünü sağlayan TP01 duvarı boyutları ve donatı detayları

Şekildeğiştirme ve kuvvet esaslı güçlendirme çözümlerinin karşılaştırılması sonucunda, kuvvet esaslı çözümde birinci katta on adet kolonun mantolanması gerekirken şekildeğiştirme esaslı çözümde birinci katta sadece iki kolona düşey yük kapasitesini arttırmak amacıyla lifli polimer sargı yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Kuvvet esaslı çözümde eğilme perdelerinde gereken gövde donatı miktarı, şekildeğiştirme esaslı çözümde gereken miktarın yaklaşık üç katıdır. Şekildeğiştirme esaslı güçlendirme çözümünde dört adet eğilme perdesi için sargılanmış uç bölge oluşturulmasına, dolayısıyla sınır kolonlara mantolama yapılmasına gerek olmazken kuvvet esaslı çözümde bu bir zorunluluktur.

Her iki güçlendirme çözümünden elde edilen güçlendirilmiş sistemlerin statik itme analizi ile elde edilen kapasite eğrileri Şekil 10'da her iki yönde karşılaştırılmıştır. Kuvvet esslı çözümüm aşırı tutucu yaklaşımı sonucunda bu çözüm ile şekildeğiştirme esaslı çözüme oranla yaklaşık %20 daha yüksek taban kesme kuvveti kapasitesi elde edilmektedir. Bu durumda perde temelleri de %20 daha fazla kesme kuvveti için tasarlanmak zorundadır. Ancak taban kesme kapasitesindeki bu artış ötelenme talebinde çok küçük bir azaltma yaratmaktadır. Bu talep zaten yüzde 0.4 gibi çok küçük bir değerdedir ve yaklaşık olarak doğrusal elastik sınır içerisindedir.



Şekil 10. Şekildeğiştirme ve kuvvet esaslı yöntemlerle güçlendirilen okul binasının kapasite eğrilerinin ve hedef tepe ötelenmelerinin karşılaştırması

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ

Sunulan çalışma sonucunda, ülkemizde perde duvar eklenerek güçlendirilen okul binaları hakkında aşağıda özetlenen görüşler elde edilmiştir.

1. Mevcut okul binalarının deprem bakımından temel zayıflığı, alt katlarda kolonların yüksek eksenel yük ve düşük beton dayanımı etkisiyle ortaya çıkan yetersiz şekildeğiştirme kapasiteleridir. Sisteme eklenen güçlendirme perdeleri bu kolonlar üzerindeki şekildeğiştirme taleplerini önemli oranda azaltmakta, mevcut kapasitelerinin altına indirmektedir. Güçlendirme perdeleri en fazla alt katlarda etkili olmaktadır.

2. Güçlendirilmiş sistemde eğilmede şekildeğiştirme kapasitesi bakımından yetersiz kalan elemanlara sadece şekildeğiştirme kapasitesini arttırma amacıyla müdahale edilmelidir. Bunun için lifli polimer sargılama en pratik çözümü sağlamaktadır ve genellikle yeterli olmaktadır.

3. Perde eklenerek yapılan şekildeğiştirme esaslı güçlendirmede kuvvet kapasitesinin arttırımı sadece kesme bakımından yetersiz olan elemanlarda gereklidir.

4. Şekildeğiştirme esaslı güçlendirmede yaklaşımı ile perde temellerinde kuvvet esaslı güçlendirme yaklaşımına oranla daha düşük tasarım kuvvetleri oluşmaktadır.

5. Şekildeğiştirme esaslı güçlendirmede yaklaşımında tasarımda hedeflenen performans ile elde edilen performans arasındaki ilişki son derece açıktır, kuvvet esaslı yaklaşımda olduğu gibi dolaylı değildir.

KAYNAKLAR

Acun, B. ve Sucuoğlu, H. (2010). Performance of Flexure-Controlled Concrete Columns under Severe Displacement Cycles. *ACI Structural Journal*, **107(3)**, 364-371.

American Society of Civil Engineers. (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Report No. FEMA-356, Washington, D.C.

ASCE/SEI 7-05. (2005). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers, Virginia.

ASCE/SEI 41. (2007). Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.

Baros D.K. ve Dritsos, S.E. (2008). A Simplified Procedure to Select a Suitable Retrofit Strategy for Existing RC Buildings Using Pushover Analysis. *Journal of Earthquake Engineering* **12(6),** 823 - 868.

Calvi G.M. ve Sullivan T.J., Editors. (2009). A model code for the Displacement-Based Seismic Design of Structures, DBD09 – Draft Issued for Public Enquiry, IUSS Press, Pavia, 80 pages.

CEN- European Committee for Standardization. (2003). Eurocode 8. Design of Structures for Earthquake Resistance—Parts 1 and 3. Brussels.

Günay, M.S. ve Sucuoğlu, H. (2010). An improvement to linear elastic procedures for seismic performance assessment. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **39**, 907-931.

ICC (2006). International Building Code 2006. International Code Council, Virginia.

Kosmopoulos, A. ve Fardis, M.N. (2007). Estimation of inelastic seismic deformations in asymmetric multistory RC buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **36(9),** 1209-1234.

Kowalsky M.J. (1994). Displacement-based design-A methodology for seismic design applied to RC bridge columns. Master's Thesis, University of California at San Diego, La Jolla, California.

Ministry of Public Works and Settlement (2007). Turkish Earthquake Code: Specifications for Buildings to be Constructed in Earthquake Zones, Ankara.

Moehle, J.P. (1992). Displacement-Based Design of RC Structures Subjected to Earthquakes. *Earthquake Spectra* **8(3),** 403-428.

Moyer, M.J. ve Kowalsky, M.J. (2003). Influence of Tension Strain on Buckling of Reinforcement in Concrete Columns. *ACI Structural Journal*, **100 (1),** 75-85.

NZS 1170- Standards New Zealand (2008). Structural Design Actions, Wellington.

Panagiotakos, T. B. ve Fardis, M. N. (1999). Estimation of Inelastic Deformation Demands In Multistorey RC Frame Buildings. *Journal of Earthquake Engineering* **3(4),** 495-518.

Priestley, M.J.N., Calvi, G.M. ve Kowalsky, M.J. (2007). Displacement-Based Seismic Design of Structures. IUSS Press, Pavia.

Thermou, G.E., Pantazopoulou, S.J. ve Elnashai, A.S. (2007). Design Methodology for Seismic Upgrading of Substandard Reinforced Concrete Structures. *Journal of Earthquake Engineering* **11(4),** 582 - 606.

Tjhin, T.N., Ascheim, M.A. ve Wallace, J.W. (2007). Yield displacement-based seismic design of RC wall buildings. *Engineering Structures*, **29,** 2946-2959.