

Yetersiz Betonarme Kolonlar için Lifli Polimer Güçlendirme Tasarım Kurallarının İrdelenmesi[†]

Nahit KUMBASAR ve Alper İLKİ'nin katkıları *

Giriş

Çalışmanın başlığı, öz bölümündeki ifadeler ve verilen sonuçlar dikkate alındığında, yazarların Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) [1] tarafından betonarme kolonlar için önerilmiş olan lifli polimer (LP) güçlendirme kurallarının irdelendiği ve buna yönelik yeni bir tasarım yaklaşımı önerdikleri anlaşılmaktadır. Yoğun bir emeğin ürünü olduğu anlaşılan, ancak sınırlı sayıda deney numunesi dikkate alınarak yapılan çalışma neticesinde önerilen ampirik bağıntılar ile yapılacak tasarım sonucunda, bilinen temel betonarme ilkeleri doğrultusunda yapılacak olan tasarıma göre, hem daha güvenli hem daha ekonomik tasarım koşullarının sağlandığı öne sürülmüştür.

Tartışma

Öncelikle makalenin en önemli sayılabilecek iki bölümü olan “Öz” ve “Sonuçlar” arasında kullanılmış olan ifadeler arasındaki çelişki giderilmelidir. “Öz” bölümünde, söz konusu makalede sunulmuş olan incelemeler sonucunda DBYBHY [1] tarafından LP ile sargılanmış kolonlar için verilmiş olan performans limitlerinin “oldukça güvenli” tarafta kaldığı ve “ekonomik olmayan” tasarımlara yol açtığı tespit edildiği belirtilmiştir. Makalenin “Sonuçlar” bölümünde ise DBYBHY [1] kullanılarak elde edilen sonuçların “aşırı güvenli” olduğu, kendi önerdikleri yaklaşımın “daha ekonomik ve güvenilir” tasarım koşulları sağladığının ortaya konmuş olduğu belirtilmiştir. Aşağıda açıklanan nedenlerle ancak bazı durumlarda doğruya yakın çözümler verebilecek bir yaklaşım olduğu gösterilmiş olan yaklaşım ile elde edilecek sonuçların DBYBHY [1] tarafından tanımlanana göre aynı anda hem daha ekonomik, hem daha güvenilir olması çelişir görünmektedir.

Aşağıda verilen gerekçeler ile yazarlar tarafından önerilmiş olan tasarım yönteminin sakıncalar içerdiği düşünülmektedir.

- 1) Yazarların olumsuz görüşünün aksine, yönetmelikler “oldukça güvenli” tarafta kalmalıdır. Bütün yönetmelikler belli düzeyde güvenlik içerirler ve ekonomi sağlamak amacı ile bu güvenlikten taviz verilmesi doğru olmaz.
- 2) Yazarlar önerdikleri yöntemi sadece belli özel durumları temsil eden az sayıda deney numunesi için elde edilen sonuçlara dayandırmaktadırlar. Betonarme gibi davranışında pek çok değişkenin etkin olduğu yapı sistemlerinde üstelik bu elemanların davranışını

[†] Okan ÖZCAN, Barış BİNİCİ, Güney ÖZCEBE, Teknik Dergi, Cilt 21, Sayı 4, Ekim 2010, 5219-5239

* İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - ailki@itu.edu.tr

Tartışma

daha da karmaşık duruma getiren güçlendirme sonrasında bu düzeyde sınırlı deney sonucu ile elde edilen sonuçları genellemek doğru görülmemektedir.

- 3) Çalışma kapsamında 10 adet kolon deneyi yapılmış ve literatürden derlenen 18 adet kolon deneyi ile bir veritabanı oluşturulmuştur. Bu veritabanı kullanılarak oluşturulan ampirik bağıntıların geçerliliği gene aynı veritabanı kullanılarak kontrol edilmiş ve bekleneceği gibi önerilen bağıntılar iyi sonuç vermiştir. Oldukça başarılı ve güvenli sonuç verdiği ifade edilen bu bağıntılar farklı bir veritabanı kullanılarak doğrulanmamıştır. Bağıntıların çıkarıldığı ve doğrulandığı veritabanı aynı olduğundan zaten önerilen bağıntıların başarısız olması mümkün olmayacaktır.
- 4) Makalede çeşitli maddi hatalar bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri; Denklem 1’de bulunan hata ve 6. Ek başlığı altında sunulan tasarım örneğinde yapılan işlem hatasıdır. Mevcut yönetmelik ve önerilen iki farklı yaklaşım için karşılaştırmalı olarak hazırlanan tasarım örneğinde, mevcut yönetmelik için hesap yapılırken $\epsilon_{cc}=0.024$ değeri için gerekli etkin yanal sargı basıncının (f_t) 25.24 MPa olması gerektiği belirtilmiştir. Halbuki, ϵ_{cc} için yönetmelikte verilen ifade $f_t=25.24$ MPa için kullanılırsa ϵ_{cc} şekildeğiştirmesi 0.024 değil 0.038 bulunmaktadır. Bu hata, yönetmelik tarafından önerilen yaklaşım ile elde edilen tüm sonuçları etkilemektedir.
- 5) Betonarme bir kesitin davranışını büyük eksenel kuvvetin ve yüksek donatı oranının olumsuz etkilediği bilinmektedir. Örneğin Alman ve Amerikan Betonarme Şartnameleri eksenel kuvvet durumunda güvenlik katsayısını değiştirirken TS500 [2], sadeliği koruma amacı ile, eksenel kuvvete bir üst sınır getirmekle yetinmektedir. Yapılan öneride DBYBHY [1] tarafından önerilen LP ile sargılanmış kolonlar için verilmiş olan performans limitleri eleştirilmekle birlikte, yazarlar aslında genel olarak (güçlendirilmiş veya güçlendirilmemiş) betonarme kolonların tasarım yaklaşımını tümünden değiştiren ampirik bir yaklaşım önermektedirler. Çünkü önerilen denklemlerin lifli polimer ile ilgili değerlerin “sıfır” (ya da “çok küçük”) alınması sınır durumunda elde edilen davranış özelliklerinin güçlendirilmemiş (ya da “çok az” güçlendirilmiş”) kolonlar için geçerli olması gereklidir. Oysa, önerilen bağıntılarda güçlendirme etkisi kaldırıldığında betonarme için kullanılan hesap değerlerine ulaşamamaktadır. Yapılmış olan öneri, tamamen sınırlı sayıda, eğilme etkisinde test edilmiş, güçlendirilmiş betonarme kolonların davranışlarından yararlanarak elde edilen ampirik bağıntılara dayanmaktadır. Dolayısı ile yapılan öneri bilinen ve yıllardır kullanılagelen betonarme taşıma gücü ilkeleri yerine ampirik bazı ifadelerin kullanılmasını içermektedir. Eğer yazarlar tamamen deneysel sonuçlara dayalı ampirik ifadelerin yıllardır kullanılan betonarme teorisinden daha geçerli olduğunu düşünüyorsa (ki güçlendirilmiş kolonlar için yapılan budur), bu öncelikle davranışı daha basit olan güçlendirilmemiş kolonlar üzerinde yapılmalıdır. DBYBHY [1] herhangi bir betonarme hesap algoritması tanımlamamakta ve betonarme hesapların bilinen betonarme tasarım ilkeleri ile yapılacağını kabul etmektedir. Yönetmelik sadece sargılı beton dayanımı ve buna karşı gelen şekildeğiştirmeyi tanımlamaktadır. Sadece betonun basınç etkileri altındaki gerilme-şekildeğiştirme ilişkisini tanımlayan bu iki değer hesabı sonrasında DBYBHY [1] herhangi farklı bir hesap yaklaşımı tanımlamamakta, doğal olarak bilinen betonarme ilkeleri ile tasarımın yapılacağını kabul etmektedir. Dolayısı ile yönetmelik yaklaşımı olarak nitelenen ve makalede eleştirilen algoritma aslında bilinen, denge denklemleri, uygunluk şartları ve diğer temel kabuller ile yapılan

betonarme hesap esaslarıdır. Bilinen temel betonarme hesap esaslarına göre çok önemli yaklaşım farklılığı içeren önerinin spesifik olarak lifli polimer ile sargılanmış kolonlar üzerinde tartışılması anlamlı görülmektedir. Böyle iddialı ve köklü farklılık içeren bir tasarım yaklaşımının geçerliliği normal olarak öncelikle güçlendirilmemiş sıradan betonarme kolonlar için ispatlanmalı, bunda başarılı olunursa, daha spesifik durumlar için geçerliliği teyit edilmelidir.

- 6) Yapılan öneride ve ek olarak verilen örneklerde, kullanılan karbon lifli polimer malzemelerin üretici tarafından yapılan aksel çekme deneyinde ulaşılan dayanıma ulaşılabilmesi kabul edilmiştir (kopma uzaması x elastisite modülü). Öncelikle yapılan çok sayıda deneysel çalışma, enine sargılama durumunda hiç bir zaman lifli polimerin aksel çekme deneyinde ulaşılan dayanımlara ulaşamadığını, ancak bu değerlerin belli bir oranına ulaşılabilmesini göstermiştir (örneğin; Lam ve Teng [3]). Kaldığı deneysel olarak ulaşılmış olan bu ortalama değerlerin yönetmeliklerde belli bir güvenlikle (daha da küçültülerek) kullanılması gerektiği açıktır. Yazarların ekonomik sonuçlar elde etmesinin en önemli nedenlerinden biri lifli polimer için güvenli olmayacak düzeyde büyük bir çekme dayanımı dikkate almalarıdır. Özellikle lifli polimer malzemeler gevrek malzemeler olduğu için bu konuda daha da dikkatli davranılmalı, tasarımda malzemenin tam kapasitesinin yeterince altında kalınmalıdır. Bu konuda DBYBHY [1] tarafından tanımlanmış olan sınır dünyadaki diğer tasarım dökümanlarında da (örneğin; ACI 440 2R-08 [4]) aynı düzeydedir. Lifli polimer malzeme etkin uzaması için getirilmiş olan bu sınırlama yazarlar tarafından “aşırı güvenli tasarıma neden olmaktadır” şeklinde yorumlanmış, önerdikleri ampirik bağıntılarda malzemelerin kopma uzamasına ulaştığında karşılayabileceği çekme kuvveti dikkate alınmıştır.
- 7) Yukarıda açıklanandan gerekçeden farklı olarak, betonarme elemanların kesme etkileri altındaki davranışı dikkate alınarak, betonarme elemanların enine şekil değiştirmelerinin sınırlandırılması istenir. Buna yönelik olarak enine doğrultuda büyük deformasyonlara izin verilmez. Bu anlamda lifli polimerlerin güvenli olarak kullanılacak maksimum birim uzaması 0.004 değeri ile sınırlandırılmıştır (ACI 440 2R-08 [4]). Yazarlar bu sınırı da dikkate almamış, lifli polimerlerin 0.015 düzeyinde uzayabildiği kabulü ile ekonomik ama güvenli olmayan bir tasarım algoritması önermişlerdir. Verilmiş olan yük-yerdeğiştirme ilişkileri dikkate alındığında, yazarların dikkate aldığı kolonlarda kesme etkilerinin önemli düzeyde olmadığı anlaşılmaktadır. Kesme etkilerinin kritik olduğu elemanlarda ise lifli polimer 0.015 uzamasına ulaşmadan, kolonun kesme etkileri ile gevrek şekilde hasar görme olasılığı yüksektir. Yönetmelik açısından güvenli tarafta kalma kaygısının taşınması ve bu nedenle yönetmeliğin hazırlandığı dönemdeki bilgi düzeyi referans alınarak sınırlamalar getirilmesi doğaldır. Söz konusu sınırlama yalnızca DBYBHY [1] yönetmeliğimiz tarafından getirilmemiştir. LP sargı en büyük birim uzaması için Amerikan ACI 440 2R-08 [4], İtalyan CNR-DT 200/2004 [5] ve Kanada CAN/CSA-S806-02 [6] yönetmelik ve kılavuzlarında da benzer sınır değerler verilmiştir.
- 8) Yazarlar karşılaştırılmaması gereken iki yaklaşımı karşılaştırmaktadır. Önerdikleri iki ampirik metoddan ikincisi beton birim kısalması için deneylerden yararlanarak elde edilmiş bağıntılara dayanmaktadır. Bu methodda plastik mafsallı boyu için bir kabul yapılmıştır. Benzer şekilde yazarlar tarafından DBYBHY [1]’e göre değerlendirme olarak tanımlanmış yöntemde de plastik mafsallı boyu kabulü yapılması gerekmektedir.

Tartışma

Bilindiği gibi bu kabul davranış üzerinde çok büyük etkiye sahiptir. Dolayısı ile iki yaklaşımı karşılaştırırken plastik mafsal boyu ile ilgili kabulün aynı olması gereklidir. Oysa yazarlar kendi önerileri olan metod 2’de plastik mafsal boyunu kolon derinliğine eşit kabul etmiş (h), DBYBHY [1]’e göre değerlendirme olarak tanımladıkları yaklaşımda ise plastik mafsal boyunu (0.5h) kabul etmiştir. Böyle bir karşılaştırmaya dayalı değerlendirmelerin doğru olmayacağı açıktır. Sadece bu kabulün doğru yapılması durumunda (aynı plastik mafsal boyları dikkate alınması durumunda), yazarların önerdikleri yöntem ile yazarlarca DBYBHY [1]’e göre değerlendirme olarak tanımlanan yöntem arasındaki fark belirgin şekilde azalacak ve yazarların deyimi ile DBYBHY [1] kullanılarak elde edilen sonuçların “aşırı güvenli” olma durumu ortadan kalkacaktır. Ya da bu kabulün doğru yapılması durumunda (aynı plastik mafsal boyları dikkate alınması durumunda), yazarların önerdikleri yöntemin de “aşırı güvenli” sonuçlar verdiği görülecektir.

- 9) Yazarların önermiş oldukları ampirik bağıntılarda da tutarsızlıklar bulunmaktadır. Örneğin (7a) ve (7b) bağıntılarında hem ϕ , hem de ρ nun aynı oranda artması durumunda ε_{cc} değişmemektedir. Oysa çoğu kez olduğu gibi denge altı donatılı durumlarda ρ nun artmasının sümeklik üzerindeki olumsuz etkisi, yanal sargı basınç donatısı oranının artmasının olumlu etkisinden çok daha az olacaktır. Buradan da, önerilmiş olan ampirik bağıntıların ancak belli durumlarda gerçeğe yakın sonuçlar verebileceği anlaşılmaktadır.
- 10) Gerek (6), gerekse (7) denklemlerinde öteleme kapasiteleri ve izin verilen maksimum beton birim kısalması aksel kuvvet ve boyuna donatı ile ters orantılıdır. Her iki değer küçük (ya da bunlardan birinin çok küçük) olması durumlarında gerçekçi olmayan öteleme kapasiteleri ve maksimum beton birim kısaltmaları elde edilecektir. Boyuna donatı oranının minimum donatı oranının altında olabileceği özel durumlarda ise denklemin geçerliliği bütünü ile ortadan kalkacaktır (burada söz konusu olan mevcut yapılar olduğu için, kolonların minimum donatıdan daha az donatıya sahip olması durumu da gözardı edilmemelidir).

Sonuç

Söz konusu çalışmada önerilmiş olan yaklaşımlarda ve kullanılmış olan ifadelerde bazı çelişkiler olduğu ve önerilmiş olan ampirik bağıntıların ancak bazı özel durumlarda geçerli olabileceği ortaya konmuştur. **Yazarlar çalışmalarında önerdikleri denklemlerin geçerli olduğu sınırları açık şekilde belirtmemişlerdir. Bunun neticesinde, normal şartlarda okuyucular önerilen bağıntıların daima söylendiği gibi “güvenli ve ekonomik” sonuçlar verdiği yanılısına düşeceklerdir.** Önerilen yöntem esas olarak DBYBHY [1] tarafından lifli polimer ile yapılan güçlendirme ile ilgili prensipler ile değil, daha genel bakıldığında, kolon betonarme hesaplarına yönelik ampirik bir algoritma içermektedir. Kolonların lifli polimer ile sargılanmış olması, önerilen yöntem içinde nispeten önemsiz ağırlıktadır. Yazarlar önerdikleri yaklaşımın genel olarak geçerliliğine inanıyorlarsa, bu yaklaşımın güçlendirilmemiş kolonlara uygulanması, çalışmanın ilk önce yapılmış olması gereken adımı olarak görülmektedir. Önerilen yöntemlerin yayınlanmış olduğu şekli ile uygulamada kullanılması durumunda yukarıda açıklanmış olan nedenler ile güvenlikten

taviz verilmiş olacağı açıktır. Bu konudaki güvenlik düzeyinin aşırı olduğunu gösterecek sayıda deneysel çalışmanın ve bilgi birikiminin oluştuğu henüz söylenemez.

Verilen sayısal örnekte yapılmış olan işlem hatası sayısal sonuçların hatalı olmasına yol açmıştır.

Yazarların bu değerli çalışmasının, yapılacak yeni ve daha gerçekçi deneysel çalışmalarla zenginleşeceği ümit edilmektedir.

Kaynaklar

- [1] DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [2] TS500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara, 2000.
- [3] Lam, L., Teng, J.G., Ultimate Condition of Fiber Reinforced Polymer-Confined Concrete, ASCE Journal of Composites for Construction, 8(6), 539-548, 2004.
- [4] ACI 440 2R-08, Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA, 2008.
- [5] CNR-DT 200/2004, Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures, Advisory Committee on Technical Recommendations for Constructions, Rome, 2004.
- [6] CAN/CSA-S806, Design and Construction of Building Components with Fiber-Reinforced Polymers, Canadian Standards Association (CSA), Ottawa, 2002.

YAZARLARIN YANITI

Tartışmacılar makalede sunulan deneysel ve tasarıma yönelik bulgularımıza bir dizi eleştiri yöneltmişlerdir. Yöneltilen eleştirilere ilişkin görüşlerimiz aşağıda sunulmaktadır:

- 1- Eksenel kuvvet ve yatay ötelemeye maruz kalan yetersiz betonarme kolonların Lifli Polimerler (LP) ile sargılanarak güçlendirilmesi tasarımlarında, DBYBHY (2007) [1] Bölüm 7 ilkeleri aşırı güvenli tarafta kalmaktadır. Makale Ek'inde sunulan tasarım örneğinde de görüldüğü üzere DBYBHY (2007) [1] Bölüm 7 ilkeleri, gerçekçi ve ekonomik olmayan LP miktarlarının kullanımını gerektirmektedir. Yazarlar tarafından önerilen iki ayrı yöntem “yeterince” güvenli ve daha ekonomiktir. Önerilen yöntem sonuçlarının güvenli olduğu makalede Şekil 8 ve 9’da ispatlanmıştır. Bu bağlamda, önerilen yöntem Deprem Yönetmeliğinin [1] tanımladığı güvenlik sınırlarını her yönden

Tartışma

sağladığı gibi ekonomik açıdan da lifli polimerlerin bu amaçla kullanımını anlamlı kılmaktadır. Yürürlükteki yönetmeliğimizde, oldukça maliyetli bir malzeme olan LP için tasarımda bu derece güvenli tarafta kalınmakta, kolon güçlendirmelerinde LP kullanımını caydırılmaktadır. Betonarme araştırmaların amacı, deneysel veriler ışığında güvenlikten feragat etmeden daha ekonomik tasarım yöntemleri geliştirmektir. Makale bu yaklaşıma bir örnektir.

- 2- Tartışmacıların, önerilen yöntem için “belli özel durumları temsil eden az sayıda deney numunesi” kelimeleri ile ne kastettikleri anlaşılmamıştır. Bazı araştırmacılar tarafından izlenen, sadece eksenel yük altında sargı etkisini incelediği küçük ölçekli deneylerden kolon performansı belirleme yaklaşımının aksine, bu çalışmanın sonuçları mümkün olduğunca gerçek boyut ve yükleme koşullarını temsil eden tam ölçekli tersinir yüklemeli 28 adet kolon deney sonuçlarına dayanmaktadır. Benzer özelliklere sahip kolonları içeren veri tabanları pek çok diğer kolon araştırmalarında da yer almıştır [2]. Oluşturulan veri tabanında yazarlar tarafından ulaşılan tüm sağlıklı deneyler kullanılmıştır. Yeni deneysel çalışmalar ışığında önerilen yöntemlerin sınanması gelecekte mümkündür. Geçmişte önerilmiş yöntemler gibi elbette ki bu çalışmada önerilen yöntemlerde yeni verilen ışığında geliştirilmeye açıktır.
- 3- Tartışmacılar tarafından fark edilen maddi hata yönetmelik tarafından önerilen LP birim kısalma limiti (0.004) ile birlikte kullanıldığında, kolon sünekliğinin istenen seviyeye artırılması için muazzam bir LP ihtiyacı doğuracağı sonucunu desteklemektedir. Orijinal makaledeki maddi hata ile ilgili düzeltmeler aşağıda sunulmaktadır:

$$\Delta_u = \frac{\kappa_y L^2}{3} + (\kappa_u - \kappa_y) L_p \left(h - \frac{L_p}{2} \right)$$

$$\Delta_u = \frac{9.8 \times 10^{-6} \times 2000^2}{3} + (\kappa_u - 9.8 \times 10^{-6}) \frac{350}{2} \left(2000 - \frac{350}{4} \right) = 65 \text{ mm}$$

$$\kappa_u = 165.0 \text{ rad / km} \rightarrow \varepsilon_{cc} = 0.024 \text{ (akma ve nihai değerler standart kesit analizi ile hesaplanmıştır)}$$

$$\varepsilon_{cc} = 0.002 \left(1 + 15 \left(\frac{f_l}{f_c} \right)^{0.75} \right) = 0.002 \left(1 + 15 \left(\frac{f_l}{20} \right)^{0.75} \right) = 0.024 \rightarrow f_l = 13.23 \text{ MPa}$$

$$f_l = \frac{(b+h) E_j \varepsilon_r t_j}{bh} \kappa_a = \frac{(350+350) 230000 \times 0.004 \times t_j}{350 \times 350} \cdot \left(1 - \frac{2(350-2 \times 30)^2}{3 \times 350^2} \right) = 13.23 \text{ MPa}$$

$$t_j = 4.64 \text{ mm} \rightarrow \frac{4.64}{0.165} = 28.1 = 29 \text{ kat (LP kalınlığı 0.165 mm olarak alınmıştır)}$$

Ayrıca Denklem 1'deki yazım hatası da aşağıdaki şekilde düzeltilmelidir:

$$f_{cc} = f_{cm} \left(1 + 2.4 \left(\frac{f_l}{f_{cm}} \right) \right) \geq 1.2 f_{cm} \quad (1)$$

- 4- Tasarım için önerilen birim kısalma limiti (Denklem 7.b) incelendiğinde, sıfır sargı etkisi için limit değerini, betonarme tasarımında kullanılan sargısız beton birim kısalma limit değerine (0.004) eşit olduğu görülmektedir. Bu sebeple, yazarlar önerdikleri yöntem ile betonarme mekaniğini yeni baştan düzenleme niyetinde değildir. Ayrıca, makalede üzerine basarak söylendiği üzere önerilen denklemler sadece LP tasarımı için türetilmiştir. Mevcut kolonların performans değerlendirilmesi için **kullanılmamalıdır**. Kat ötelemesi (veya plastik dönme) tabanlı yaklaşım ise zaten ilgili Amerika ve Avrupa şartnamelerinde mevcuttur. Yazarlar, irtibatla oldukları uluslararası uzmanlardan benzer denklemlerin güçlendirilmiş yapı elemanları için çok yakın bir gelecekte Amerika Birleşik Devletleri yönetmeliklerinde de yer alacağı bilgisini almış bulunmaktadır. Bu bilgi mevzu bahis makalenin değerini bir kat daha artırmaktadır.
- 5- Yazarlar, tartışmacıların bahsettiği temeli ara yüz ayrışmasına dayanan etkin kopma uzaması kavramının farkındadırlar ve etkin birim uzama limitlerinin önerildiği bilimsel yayınları da bulunmaktadır [3, 4]. Ancak bu çalışmada, tasarımcının üreticiden aldığı kopma uzama değerini doğrudan kullanması ve tüm güvenlik payının Denklem 7 ve 8 içine ilştirilmesi yolu seçilmiştir. Bu yaklaşımın tasarımda kolaylık getireceği düşünülmektedir. Seçilen yol, önerilen yöntemin bütünüyle birlikte ele alındığında, seçilebilecek herhangi bir diğer yol kadar meşrudur. Tartışmacıların başka bir yolu tercih etmesi kendi şahsi tercihleri olup makalede izlenmiş olan yaklaşımı herhangi bir şekilde kuşku altında bırakamaz, bırakmamalıdır. Makale dikkatli incelenecek olursa yapılan çalışmada yalnızca eğilme göçmesi baskın kolonlarda LP güçlendirilmesi konusu ele alınmaktadır. Yüksek kesme istemleri altında olan elemanlarda önerilen denklemlerin kullanılmasının uygun olmayacağı açıktır. Bu ayrıntının tartışmacıların dikkatinden kaçmış olabileceğini düşünerek bu konuya burada bir kez daha altını çizerek vurgu yapmak isteriz.
- 6- Bilindiği üzere DBYBHY (2007) [1] uyarınca betonarme eleman değerlendirme ve güçlendirmelerinde plastik mafsal boyu kesit derinliğinin yarısı ($h/2$) olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca plastik dönmeler, plastik mafsal içindeki elastik ötesi eğrilik kullanılarak donatı kayması dikkate alınmadan hesaplanmaktadır. Yazarların görüşüne göre bu yaklaşım başlı başına hata içermekte ve ötelenme kapasitesini aşırı güvenli tarafta hesaplanmasına sebep olabilmektedir. Buna ek olarak, bazı deneysel verilerle uyuşmayan $h/2$ plastik mafsal boyu kullanıldığında, DBYBHY (2007) [1] kullanılarak yapılan ötelenme tahminleri oldukça yetersiz kalmaktadır. Önerilen metotta (metot 2) donatı kayması sebepli ötelenme dikkate alınmamakta, ancak plastik mafsal boyu daha gerçekçi olabileceği deneylerde gözlemlenmiş [5-7] “h” değerinde kabul edilmektedir. Ayrıca, DBYBHY (2007) Bölüm 7.E.3’e [1] göre LP ile sargılı beton basınç dayanımı sargısız beton basınç dayanımının %20 fazlası olmak zorundadır. Bu koşul eksenel güçlendirme için makul olsa dahi LP ile sargı etkisi yaratma açısından aşırı güvenli tarafta kalmaktadır. Deneysel çalışmalarımız, eğilme etkisi altında olan kolonlarda böyle bir dayanım artışının zorunlu olmadığı ve daha düşük sargı miktarları ile de oldukça sünek bir kolon eğilme davranışı elde edilebileceğini göstermiştir. Mevcut DBYBHY (2007) [1] LP güçlendirme tasarım kurallarının, bu önerimizin (plastik mafsal boyunun “h” olarak kabul edilmesi) dikkate alınması ile deneysel sonuçlarla ne ölçüde örtüşebileceği makale kapsamında araştırılmamıştır. İsteyen araştırmacılar derlediğimiz veri tabanını kullanarak bu parametrenin etkisini inceleyebilirler.

Tartışma

- 7- Önerilen ampirik bağıntılardaki eğilimler tamamen deneysel verilere dayanmakta olup deneylerde incelenen kolon boyutu, boyuna ve enine donatı oranı ve eksenel yük miktarı aralıkları için bilimsel olarak doğru kabul edilmek durumundadır. Aksinin ispatı veya özel durumlarda davranışın nasıl değişebileceği, ancak yeni deneysel verilerin ortaya konması ile gerçekleşebilir. Tartışmacıların belirtmiş olduğu uygulanabilirlik aralığı deneysel verilere göre şu şekildedir: Önerilen denklemler LP sargı oranı (ϕ) olarak 0.050 – 0.7, eksenel yük oranı (n) olarak 0.27 – 0.56 ve boyuna donatı oranı (ρ) olarak %0.81 – %2.7 limitleri arasında geçerlidir. Bu limitlerin pratik durumlar için geçerliği olduğu düşünülmektedir.
- 8- Tartışmacıların makalenin tüm betonarme hesaplama yöntemini değiştirme iddiasında olduğu yazarlar tarafından kabul edilemez. Makale daha dikkatli okunduğunda odak noktasının süreklilik düzeyi artırmak maksadıyla LP ile kolon güçlendirmesi tasarım metodu geliştirilmesi olduğu anlaşılacaktır. Çalışmanın sonuçlarının güçlendirememiş kolonların performanslarının belirlenmesi ile uzaktan yakından bir ilgi bulunmamaktadır. Önerilen yöntem deneysel veriler ışığında güvenli tarafta kalmakta olup; DBYBHY (2007)'nin [1] LP ile güçlendirilecek bu tür kolonlar için tariflediği makul olmayan ve uygulanması zor çözümleri yerine, ekonomik, uygulanması kolay ve daha da önemlisi mümkün olan mühendislik çözümleri üretmektedir.

Kaynaklar

- [1] DBYBHY 2007, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik”, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007.
- [2] Pacific Earthquake Engineering Research Center, “Structural Performance Database” <http://nisee.berkeley.edu/spd/>, University of California, Berkeley, 2004.
- [3] Camli, U.S., Binici, B., “Strength of Carbon Fiber Reinforced Polymers Bonded to Concrete and Masonry.” *Construction and Building Materials*, 21-7, 2007, pp. 1431-1446.
- [4] Binici, B., Ozcebe, G., Ozcelik R. “Analysis and Design of FRP Composites for Seismic Retrofit of Infill Walls in Reinforced Concrete Frames.” *Composites Part B: Engineering*, 38, 5-6, 2007, pp. 575-583.
- [5] Ozcan, O., Binici, B., Ozcebe, G., “Improving Seismic Performance of Deficient Reinforced Concrete Columns using Carbon Fiber-Reinforced Polymers.” *Engineering Structures*, 30-6, 2008, pp. 1632-1646.
- [6] Bousias, S.N., Triantafillou, T.C., Fardis, M.N., Spathis, L., O’Regan, B.A., Fiber-Reinforced Polymer Retrofitting of Rectangular Reinforced Concrete Columns with or without Corrosion, *ACI Structural Journal*, 101-4, 2004, pp. 512-520.
- [7] Iacobucci, R.D., Sheikh, S.A., Bayrak, O., Retrofit of Square Concrete Columns with Carbon Fiber-Reinforced Polymer for Seismic Resistance, *ACI Structural Journal*, 100(6), 785-794, 2003.