

Tuğla Dolgu Duvarların Lifli Polimerler İle Güçlendirilmesi İle Yapılan Bina Güçlendirmesi: ÖRNEK UYGULAMA

Şevket Özden¹, Onur Ertaş^{2*}, Özlem İmren³, Sinan Çetin⁴

¹Prof. Dr., OTS Proje Müşavirlik Ltd. Şti.

²Dr. Müh., OTS Proje Müşavirlik Ltd. Şti.

³İnş. Yük. Müh., OTS Proje Müşavirlik Ltd. Şti.

⁴İnş Müh., OTS Proje Müşavirlik Ltd. Şti.

*onur.ertas@otsproje.com.tr

Özet

Mevcut yapıların güçlendirilmesi çalışmalarında, özellikle ofis veya endüstri türü yapılarda, imalat süresi ve güçlendirme sonrası fonksiyonellik büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle güçlendirme projelerinde iki unsur öne çıkmaktadır. Bunlardan birincisi yapının gerçek davranışını ve dayanımını en gerçekçi şekilde öngörebilecek analiz yönteminin seçimi, ikincisi ise hedeflere uygun olarak seçilecek güçlendirme yöntemidir. Genelde Türkiye'deki güçlendirme projeleri sisteme betonarme perdelerin eklenmesi ve bununla birlikte lokal kolon ve kirişlerde betonarme, karbon lifli polimer ve çelik ile müdahaleler şeklinde tasarlandığı görülmektedir. Buna karşın 3-4 katı aşmayan az katlı yapılarda sistemin geometrisine bağlı olmak şartı ile yeni yöntemler kullanılarak çok daha hızlı ve ekonomik çözümler üretmek mümkündür.

Bu çalışmada İstanbul İli, Beyoğlu İlçesinde yer alan 1980'li yıllarında inşa edilmiş üç katlı betonarme bir ofis-idari binanın deprem yüklerine karşı 2010 yılında yürütülen projelendirme aşamasından imalat sürecinin sonuna kadar izlenen yol ve yöntemler sunulmuştur.

Bahsi geçen yapının etkin kütle katılımları her iki doğrultuda da %70'i geçtiği için doğrusal elastik olmayan yöntemler ile deprem etkileri altında taşıyıcı elemanlarda oluşacak iç kuvvetler, plastik şekil değiştirmeler ve yer değiştirmeleri belirlemek amacıyla yapısal sistemin üç boyutlu modeli kurulup performans analizi yapılmıştır. Yapı performans hedefi, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem düzeyi için seçilmiştir.

Yapıya uygulanan güçlendirme müdahalesi 2010 yılında gerçekleştiği için yapının performans analizi DBYBHY-2007 kapsamında irdelenmiştir. Binada 50x25 cm ve 100x25 cm boyutlarında iki tip kolon, 25/50 cm boyutlarında da tek tip kiriş bulunmaktadır. Bu elemanların doğrusal elastik olmayan analizi için yayılı plastik davranış modeli kullanılmıştır.

Yapılan analiz sonucunda zemin katta bulunan kolonların %72'sinin ileri hasara geçtiği, 1. Normal kattaki kolonların ise %36'sının ileri hasara geçtiği görülmüştür. Bu hasarların tamamı beton basınç birim şekil değiştirmesi izin verilen sınır değerini geçilmesi sonucu gerçekleşmiştir. Kirişlerde ise herhangi bir hasar durumu oluşmamıştır.

Yapılan analiz sonucunda müdahale yöntemi olarak taşıyıcı olmayan dolgu duvarların lifli polimerler ile güçlendirilerek, taşıyıcı sisteme entegre edilmesi yöntemi seçilmiştir. Bu yöntem ile yapının kısa doğrultusunda iki adet dolgu duvar ve uzun doğrultusunda da ise dört adet dolgu duvarların güçlendirilmesine karar verilmiştir. Güçlendirilecek olan bu duvarların matematiksel analiz modeline yansıtılmıştır. Modelde lifli polimer şeritleri tanımlamak için fiktif çubuk elemanlar girilmiştir. Bu çubuk elemanların basınç ve çekme rijitlikleri DBYBHY-2007 kapsamında hesaplanarak yapısal analiz modele yansıtılmıştır.

Güçlendirilmiş olan yapısal analiz modelin sonuçlarına bakıldığı zaman zemin katta ve 1. normal kat kolonlarında oluşan ileri seviyedeki hasarların, minimum hasar seviyesinde kaldığı aynı zamanda lifli polimer şeritlerin basınç ve çekme kapasitelerini geçmediği görülmüştür.

Dolgu duvarların lifli polimer ile güçlendirilmesinin yanı sıra korozyonlu kirişlerde ayrıca düşey yükler için karbon lamine uygulaması, kolon-kiriş birleşim bölgelerinin iyileştirilmesi yapılarak tüm imalat üç hafta gibi çok kısa sürede tamamlanmıştır. Bu uygulama, az katlı yapıların hızlı ve ekonomik yöntemler ile güçlendirilebileceğinin gösterildiği örnek bir uygulama olduğu düşünülmektedir.

Keywords: Karbon lifli polimer, güçlendirme, dolgu duvar, artımsal itme, yığılı plastik mafsallık

Giriş

Geçmişten günümüze ülkemizde meydana gelen orta boyutlu ve büyük boyutlu depremlerde yapı performans hedeflerinin can güvenliği düzeyini geçtiği ve birçok can kaybına yol açtığı görülmüştür. Deprem anında depreme karşı dayanıksız, hatalı veya kusurlu imal edilmiş, güncel yönetmeliklere uymayan birçok yapının hasar görme riski bulunmaktadır ve bu riskleri ortadan kaldırmak için çeşitli güçlendirme tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu güçlendirme metotlarında yapının depreme karşı öncelikle can güvenliğini sağlaması ve yapının minimum hasar görerek göçmesinin engellenmesi hedeflenmektedir. Ülkemizde bulunan birçok betonarme yapının büyük bir bölümünü kolon, kiriş dışında dolgu duvarlar oluşturmaktadır. Dolayısıyla yapıya yapılacak güçlendirme yöntemlerine bakıldığı zaman, dolgu duvarların güçlendirilme yöntemi diğer yöntemlere göre önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Bunlardan biride lifli polimer ile güçlendirme yöntemidir. Bu yöntem diğer yöntemler ile kıyaslandığında hızlı ve az katlı yapılarda ekonomik olması yönüyle öne çıkmaktadır. “Hız” ve “Ekonomi” yönünden yola çıktığımızda Haliç Altın Boynuz da bulunan idari binanın hızlı ve ekonomik bir şekilde güçlendirilmesi temel hedefiydi. Söz konusu yapının güçlendirme projesi hazırlanırken DBYBHY-2007 ile Ozden vd. (2011) ve Ozden vd. (2012) makalelerine temel oluşturan çalışmalarından yararlanılmıştır. Toplamda iki hafta gibi bir sürede saha çalışmaları ve analizler tamamlanması, akabinde üç haftalık süreçte ise güçlendirme uygulamaları ile birlikte, toplamda beş haftalık bir süreçte proje ve uygulamaları tamamlanmıştır.

Saha Çalışmaları

Yapı zemin kat ve 2 adette normal kattan oluşmaktadır. Kat yükseklikleri zemin katta 3 m, 1. Normal katta 3.40 m ve son katta ise 2.90 m’dir. Yapının uzun doğrultusunda 3 m ile 4 m arası değişken toplam 7 açıklık bulunurken Y yönünde ise yaklaşık 6 m ve 4,5 m olmak üzere iki açıklıktan oluşmaktadır. Yapıda 25x50 cm, 25x100 cm boyutlarında iki tip kolon, 25/50 cm boyutlarında kirişler ve 15 cm kalınlığında döşemeler bulunmaktadır (Şekil 1 ve 2).

Betonarme elemanlardan alınan karot numuneleri sonucunda değerlendirme sonrası yerinde ortalama 13 MPa basınç dayanımı tespit edilmiştir. Donatılar ise S220 kalitesindedir. Donatı tespitleri sonrası (Şekil 3 ve 4), kolon donatı oranları yaklaşık % 1.00, Kiriş donatıları oranlarının ise yaklaşık % 0.8 olduğu görülmüştür.



Şekil 1. Yapının Dış Görünüşü



Şekil 2. Yapının İçten Görünüşü



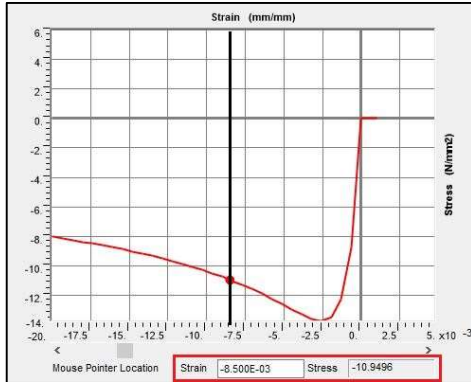
Şekil 3. Mevcut Kolon Sıyırması



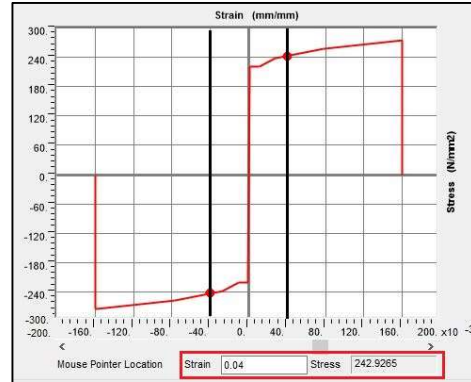
Şekil 4. Mevcut Kiriş Sıyırması

Taşıyıcı Sistem Deprem Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler İle Değerlendirilmesi

Mevcut yapının kullanım amacının idari ve ofis binası olmasından dolayı performans değerlendirmesi için DBYBHY-2007'ye göre öngörülen performans hedefi 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem düzeyi için "Can Güvenliği" olarak seçilmiştir. Seçilmiş olan deprem düzeyi için nümerik analiz modelinde sargısız beton, sargılı beton ve donatı çeliği için malzeme modelleri tanımlanmıştır. (Şekil 5 ve 6). Kolon ve kirişler fiber model olarak tanımlanmıştır. Kesitte tanımlanan fiberlerdeki her bir nokta o alandaki sargılı, sargısız ve donatı çeliğinin alanını temsil etmektedir. Böylelikle kolonun veya kirişin en uç lifinde bulunan donatı ve betonda oluşacak birim kısalmayı daha detaylı görülebilmektedir (Şekil 7 ve 8).



Şekil 5. Sargılı Beton Malzeme Modeli



Şekil 6. S220 Donatı Çeliği Malzeme Modeli

Fiber	Area	Coord3	Coord2	Material
1	1.131E-04	0.209	-0.084	S220
2	1.131E-04	0.0697	-0.084	S220
3	1.131E-04	-0.0697	-0.084	S220
4	1.131E-04	-0.209	-0.084	S220
5	1.131E-04	-0.209	0	S220
6	1.131E-04	-0.209	0.084	S220
7	1.131E-04	-0.0697	0.084	S220
8	1.131E-04	0.0697	0.084	S220
9	1.131E-04	0.209	0.084	S220
10	1.131E-04	0.209	0	S220
11	3.958E-03	0.1585	-0.1127	C13_Unconfined
12	3.958E-03	0	-0.1127	C13_Unconfined
13	3.958E-03	-0.1585	-0.1127	C13_Unconfined
14	4.346E-03	0.1396	-0.0844	S25x50_C
15	4.346E-03	0	-0.0844	S25x50_C

Şekil 7. S25x50 Kolon Fiber Model

Fiber	Area	Coord3	Coord2	Material
1	2.011E-04	0.082	-0.257	S220
2	2.011E-04	0	-0.257	S220
3	2.011E-04	-0.082	-0.257	S220
4	2.011E-04	-0.082	0	S220
5	2.011E-04	-0.082	0.257	S220
6	2.011E-04	0	0.257	S220
7	2.011E-04	0.082	0.257	S220
8	2.011E-04	0.082	0	S220
9	2.813E-03	0.0565	-0.288	C13_Unconfined
10	2.813E-03	-0.0565	-0.288	C13_Unconfined
11	2.751E-03	0.0417	-0.2583	S25x50_C
12	2.751E-03	-0.0417	-0.2583	S25x50_C
13	7.648E-03	0.0213	-0.1593	S25x50_C
14	7.648E-03	-0.0213	-0.1593	S25x50_C
15	7.188E-03	0.1127	0.1438	C13_Unconfined

Şekil 8. K25/50 Kiriş Fiber Model

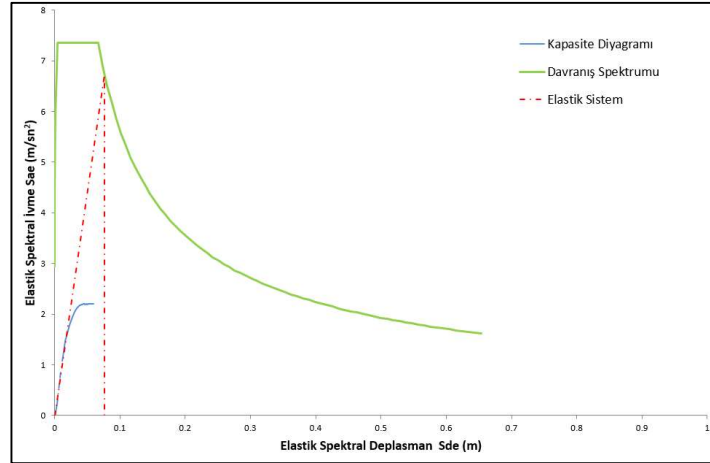
Deprem yönetmeliğinde tanımlandığı şeklide eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlatılmış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri ile analiz edilmiştir. Yapının her iki yönündeki kütle katılım oranı %70'i sağladığı için analiz yöntemi olarak doğrusal elastik olmayan artımsal itme analiz yöntemi uygulanmıştır. (Tablo 1) Yapının deplasman talebi DBYBHY-2007 Bölüm 7' ye göre hesaplanmıştır (Şekil 9) her iki yön için 13.5 cm çıkmıştır (Denk. 1a / Denk. 1b).

$$S_{di1} = C * S_{de1} \quad (1a)$$

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (1b)$$

Tablo 1. Yapı Kütle Katılım Oranları

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.847933	0.85499	3.187E-07	1.404E-09	0.85499	3.187E-07
MODAL	Mode	2	0.708122	0.00221	0.06247	5.434E-08	0.8572	0.06247
MODAL	Mode	3	0.669779	0.00029	0.705	2.731E-07	0.85749	0.72258



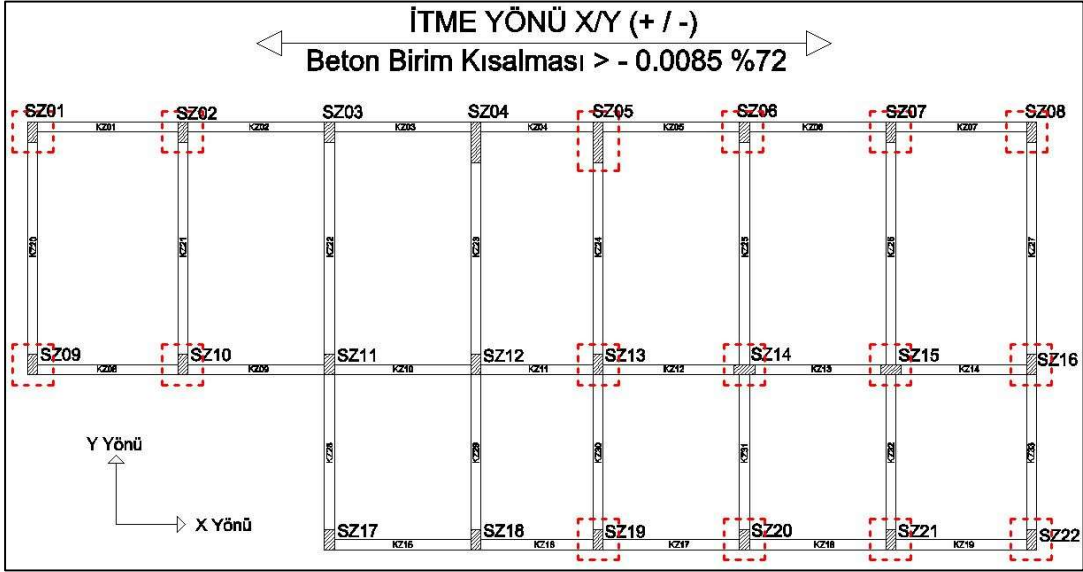
Şekil 9. Her İki Yön İçin Hedeflenen Spektral Yer Değiştirme Oranı (13.5 cm)

Analiz sonucunda, zemin katta bulunan kolonların %72'si, 1. normal kattaki kolonların ise %36'sı ileri hasar seviyesine geçmektedir. Beton ve donatının birim şekil değiştirme kapasiteleri DBYBHY-2007 göre aşağıda verilen denklemler çerçevesinde (Denk. 2) incelenmiş ve söz konusu değerlere bakıldığı zaman, kolonlarda betonun basınç sınırını (0.0085) aştığı, donatıların ise maksimum uzama sınırı olan 0.04 seviyesini geçmediği görülmüştür. Kolonlarda ve kirişlerde enine donatının hacimsel oranı (ρ_s/ρ_{sm}) 0.5 olarak tespit edilmiştir. Şekil 10 ve 11 de ileri hasar bölgesine geçen kolonlar gösterilmiştir. Tüm kirişlerin ise minimum hasar seviyesin de kaldığı görülmüştür.

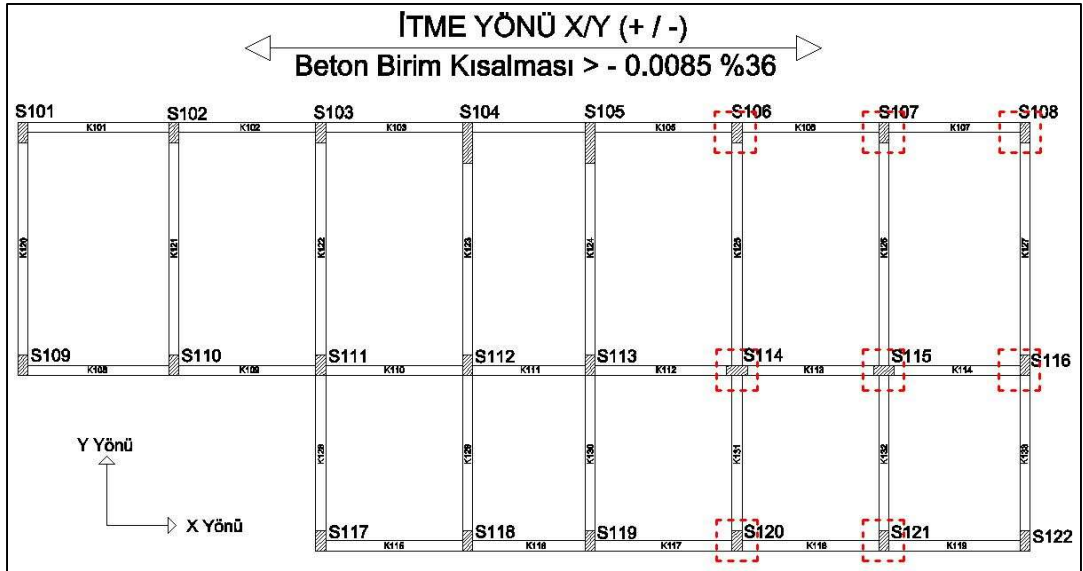
$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (2)$$

Mevcut Yapının Güçlendirilmesi

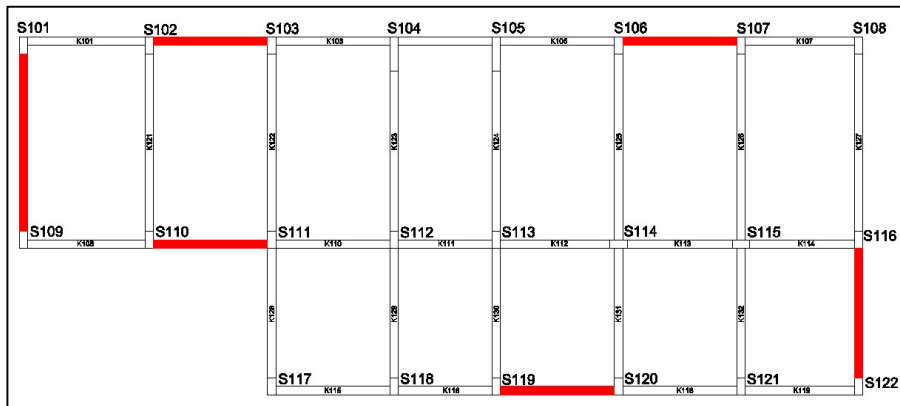
Yapının yanal dayanımda ve rijitliğinde ihmal edilen dolgu duvarlara lifli polimer uygulanarak, dolgu duvarlarında yapı rijitliğine katılmasıyla birlikte deplasman talebinin geriye çekilmesi hedeflenmiştir. Yapı rijitliğine katkı sağlaması için seçilecek olan bu duvarların, hem yapının davranışını bozmaması için hem de yapı kullanımını olumsuz etkilememesi için uzun doğrultuda toplam dört açıklığa ve kısa doğrultuda da toplamda iki açıklığa uygulanmıştır (Şekil 12).



Şekil 10. Analiz Sonrası Zemin Katta İleri Hasara Geçen Kolonlar



Şekil 11. Analiz Sonrası 1. Normal Katta İleri Hasara Geçen Kolonlar



Şekil 12. Lifli Polimer Güçlendirmesi İçin Seçilen Dolgu Duvarlar

Uygulanacak olan lifli polimer şeritler nümerik modele fiktif çubuklar ile girildikten sonra DBYBHY-2007 Bölüm 7-F'ye göre çubukların rijitlikleri hesaplanarak nümerik modele aktarılmıştır (Tablo 2). Duvarın her iki yüzünden lifli polimer şeritlerin uygulanacağı bölgelerde 2.5 cm yapısal tamir harcı kullanılarak bu bölgelerde duvar kalınlığı arttırılmıştır. FRP teknik özellikleri için BASF firmasının MasterBrace FIB lifli polimer kumaşından yararlanılmıştır. Lifli polimer şeridin basınç hesabı ve çekme hesabı için aşağıda verilen Denk 03 ve 04 kullanılmıştır.

$$k_{duvar} = \frac{a_{duvar} \times t_{duvar} \times E_{duvar}}{r_{duvar}} \quad (3)$$

$$k_t = \frac{w_f \times t_f \times E_f}{r_{duvar}} \quad (4)$$

Tablo 2. Güçlendirilmiş Dolgu Duvar Özellikleri

Mevcut Duvar		Duvar Özellikleri		FRP Bilgileri	
tDuvar	200	R_Duvar	4495	wf	750
Duvar_E	1000	T_Duvar	250	tf	0.166
Duvar_Fk	1	H_Duvar	2400	Ef	230000
Tamir Harcı		θ	32	Katman	2x2
tHarç	50	FRP Basınç Şeridi			
Harç_E	28500	L_Duvar	4000		
Harç_Fk	20	T_Duvar	0.30		

Güçlendirme sonrasında yapının X ve Y yönündeki kütle katılım oranı %80'i sağladığı görülmüş ve deplasman talebi 6 cm seviyelerine gelmiştir. (Tablo 3)

Tablo 3. Güçlendirme Sonrası Yapı Kütle Katılım Oranları

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.366	0.004	0.815	0.000018	0.0043	0.815
MODAL	Mode	2	0.320	0.814	0.007	0.000004	0.8189	0.822

Güçlendirme sonrası zemin kat ve 1. normal kattaki kolonlarda hasar seviyelerinin minimum hasar düzeyini geçmediği görülmüştür. Aşağıdaki şekilde "GC" ile başlayanlar güçlendirme sonra kolonlarda oluşan maksimum beton basınç değerlerini göstermektedir, "Değerlendirme" ile gösterilenler ise yapının güçlendirilmemiş haldeki kolonlarında oluşan maksimum beton basınç değerlerini göstermektedir. Aşağıdaki grafikte görüldüğü üzere DBYBHY-2007'ye göre can güvenliğinin sağlanabilmesi için beton basınç sınırı olan 0.0085 seviyesinin geçilmediği görülmüştür. (Şekil 13). Donatılardaki birim şekli değiştirmeler ise 0.040 değerinin altında kaldığı hesaplanmıştır.

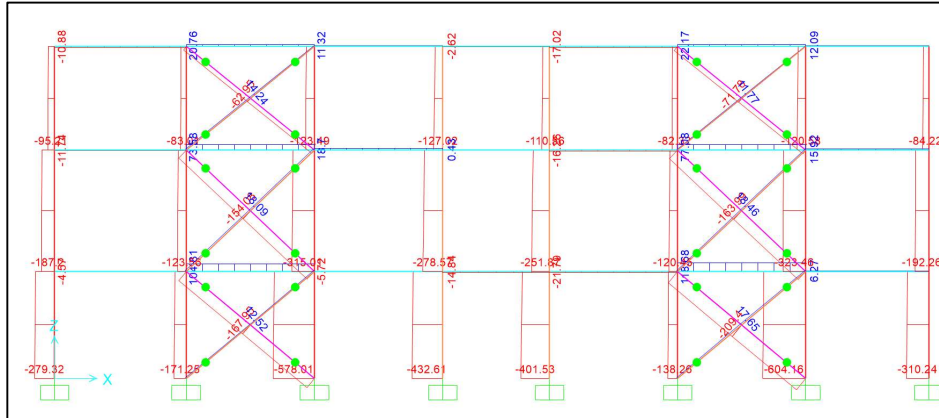
Nümerik modelde tanımlanan lifli polimer şeritlere etkiyen çekme ve basınç kuvvetleri irdelenmiştir. (Şekil 14). Yapıya uygulanan her iki yöndeki doğrusal elastik olmayan analizlerde lifli polimer şeritlere gelen maksimum kuvvetlerin, çekme ve basınç kapasitelerini geçmediği görülmüştür. Kapasiteler DBYBHY-2007 de belirtilen ve aşağıda gösterilen Denk. 5 ve 6 göre hesaplanmıştır.

$$V_{duvar} = A_{duvar} (\tau_{duvar} + f_{yd}\rho_{sh}) \leq 0.22 A_{duvar} F_{duvar} \quad (5)$$

$$T_f = 0.003E_f x w_f x t_f \quad (6)$$



Şekil 13. Değerlendirme ve Güçlendirme Sonrası Kolonlarda Oluşan Maksimum Beton Basınç Birim Şekil Değiştirme Değerleri



Şekil 14. Lifli Polimer Şeritlerde Oluşan Maksimum Basınç ve Çekme Kuvvetleri

Mevcut Yapıya Güçlendirme Uygulaması

Yukarıda teorik yaklaşımı verilen yapının 2010 yılında dolgu duvarlarına, betonarme kirişlerine ve kolon-kiriş düğüm bölgelerine yapılan lifli polimer uygulamaları üç hafta gibi kısa bir sürede tamamlanmıştır. Uygulamaya başlamadan önce birinci adım olarak duvar altlarına temel ile entegre olacak şekilde betonarme temel kirişi yapılmıştır. İkinci adımda duvar her iki yüzden tuğla yüzeyin üstüne 2.5 cm yüksek dayanımlı tamir harcı ile sıvanmıştır. Tamir harcındaki nem uygun bir seviye ye düştükten sonra karbon uygulaması yapılacak yüzeylerde önce epoksi astar uygulaması akabinde karbon lifli polimer uygulamasına geçilmiştir (Şekil 15 ve 16). Karbon lifli polimer uygulamaya başlamadan önce ise DBYBHY-2007 detaylarında ve gösterildiği gibi hem düğüm noktalarında hem de gövdelerinde uygun ankraj delikleri açılmıştır. Lifli polimer uygulamasından sonra hem köşelerdeki yamalar hem de ankrajlar uygulanmıştır. (Şekil 17). Kolon ve kiriş birleşim bölgelerinde ise Boğaziçi Üniversitesi'nin 2005~2010 yıllarında Kaya (2010) ve Altay (2010) tarafından yapılan çalışmalar baz alınarak lifli polimer ile düğüm bölgesi iyileştirmeleri yapılmıştır. (Şekil 18)



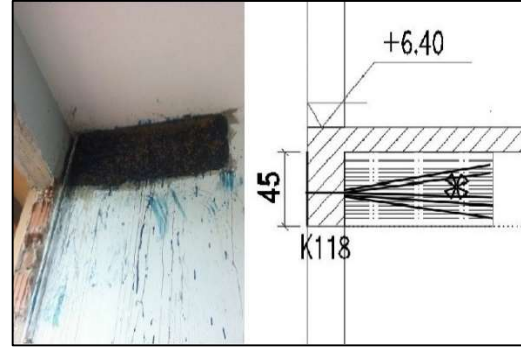
Şekil 15. Yapılan Uygulama – Uzun Doğrultu



Şekil 16. Yapılan Uygulama – Kısa Doğrultu



Şekil 17. Ankraj Uygulama Detayı



Şekil 18. Düğüm Noktası İyileştirme

Sonuç

Detayları ve uygulama adımları yukarıda verilen örnek uygulamada az katlı ve kısmen düzenli bir geometriye sahip yapıların klasik yöntemlerden farklı olarak dolgu duvarların karbon lifli polimerler ile kısa sürede ve ekonomik olarak güçlendirilebileceği gösterilmiştir. Buna benzer yaklaşımlarla, az katlı ve genel olarak düzenli bir geometriye sahip idari binaların, laboratuvarlar yapılarının, sosyal tesislerin kısa süre içinde örnekte verilen yöntem veya buna benzer farklı yeni yaklaşımlar ile kısa sürede güçlendirilebileceği; bu yöntemlerin, sisteme betonarme perde eklenmesi, kolon mantolanması gibi çok zahmetli ve uzun süren imalatlara karşın iyi bir alternatif olduğunu düşünülmektedir.

Referanslar

- Altay S (2010) Experimental investigation and 3D cyclic finite element simulation of R/C exterior beam-column joints retrofitted with CRFP composite materials, Ph.D. Thesis, Boğaziçi Üniversitesi, Türkiye
- DBYBHY 2007 – Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
- Kaya O (2010) Seismic retrofitting of RC beam-column joints using composite materials, Ph.D. Thesis, Boğaziçi Üniversitesi, Türkiye
- Ozden S; Akguzel U ve Ozturan T (2011) “Seismic Strengthening of Infilled Reinforced Concrete Frames with Composite Materials” *ACI Structural Journal*, 108 (4): 414-422
- Ozden S; Atmaca S ve Karakoc C (2012) “Strengthening of Brick Infilled RC Frames with Different Aspect Ratios by Means of CFRP Overlays” *Science and Engineering of Composite Materials*, 19(1) :29-44