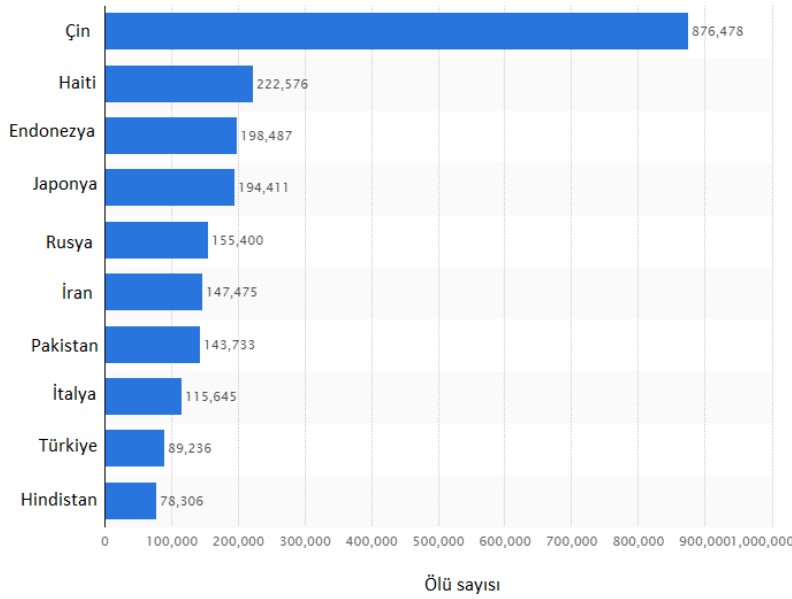


Lifli polimerler ile yapıların depreme karşı güçlendirilmesi, basit hesap teknikleri ve şantiyedeki kalite kontrolü

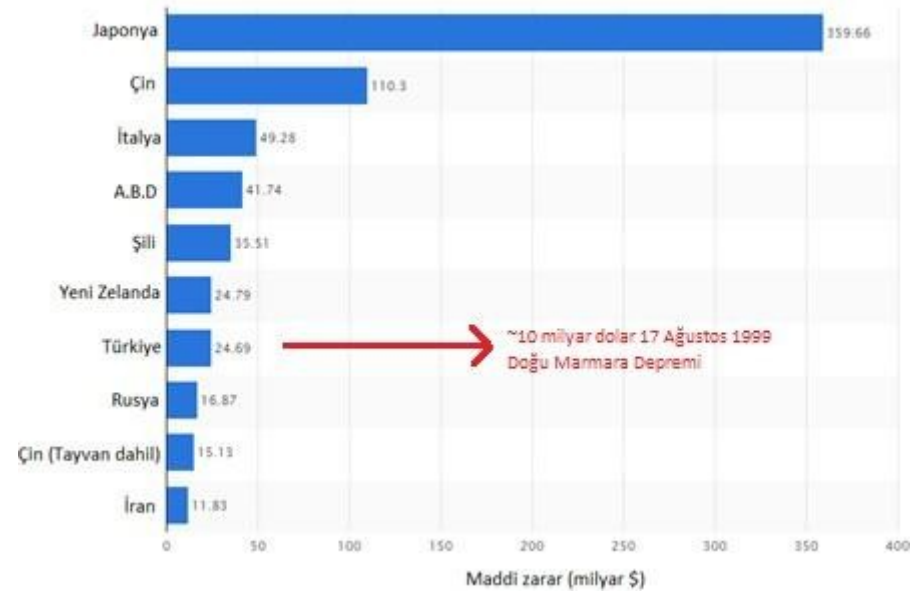
Murat BEŞOĞLU

Depremden neden korkarız?

1900 - 2016 arası gerçekleşen depremlerdeki toplam ölü sayısı



1900-2016 arası gerçekleşen depremlerde yaşanan maddi kayıplar



	2014 ⁽¹⁾		2015	
	Sayı	(%)	Sayı	(%)
Toplam	383 639	100,0	392 429	100,0
Dolaşım sistemi hastalıkları	153 646	40,0	157 965	40,3
İyi huylu ve kötü huylu tümörler (malign ve benign neoplazmlar)	78 074	20,4	78 661	20,0
Solunum sistemi hastalıkları	40 638	10,6	43 566	11,1
Endokrin (iç salgı bezi), beslenme ve metabolizmayla ilgili hastalıklar	19 424	5,1	19 728	5,0
Sinir sistemi ve duyu organları hastalıkları	16 616	4,3	19 035	4,9
Dışsal yaralanma nedenleri ve zehirlenmeler	20 160	5,3	17 696	4,5
Diğer (enfeksiyon ve parazit hastalıkları, mental ve davranışsal bozukluklar, kas-iskelet sistemi ve bağ dokusunun hastalıkları vb.)	55 081	14,4	55 778	14,2

Tablodaki rakamlar, yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir.

⁽¹⁾ 2014 yılı verileri idari kayıtların güncellenmesi nedeniyle revize edilmiştir.

Güçlendirme gerçekten işe yarıyor mu?

1991'de kesme kuvveti kapasitesi lifli polimer ile artırıldı. 1994 Nortridge depreminde bu yol kapanmadı (6.8 Richter, merkez üssünden 14km mesafede köprü)



El Salvador'daki katedral 1986'daki depremde hasar görüp, yığma duvarları lifli polimer ile güçlendirilmiş. 2001'deki 7.6 şiddetindeki depremi hafif hasarlar ile atlattı.



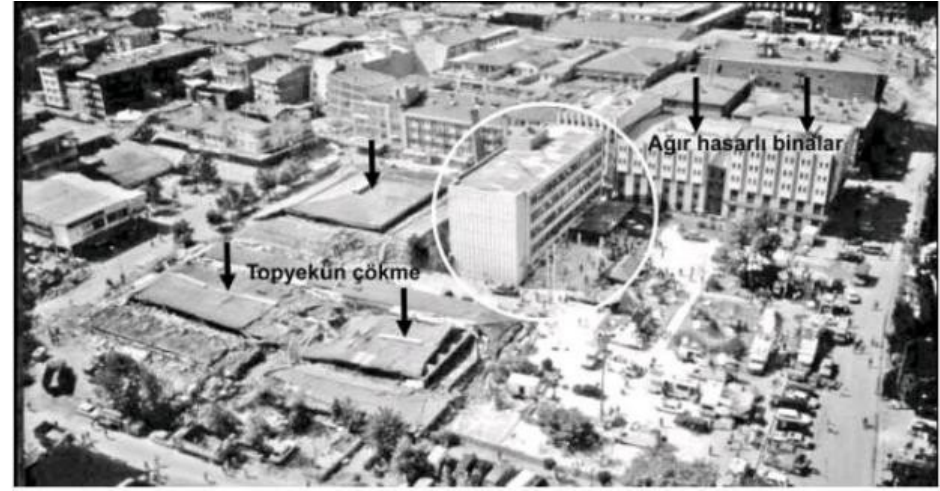
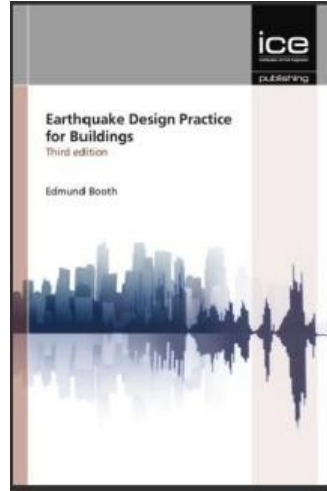
Figure 8. Cathedral in San Salvador that survived three consecutive earthquakes.

Beverly Hills'deki otel 1992 Landers depreminden sonra güçlendirildi. Narin kolonların üzerine binen kısa kolonlarda süneklik artırımı için cam lifli polimer sargı yapıldı. . 1994 Nortridge depreminde bu kolonlar hasar almadı.

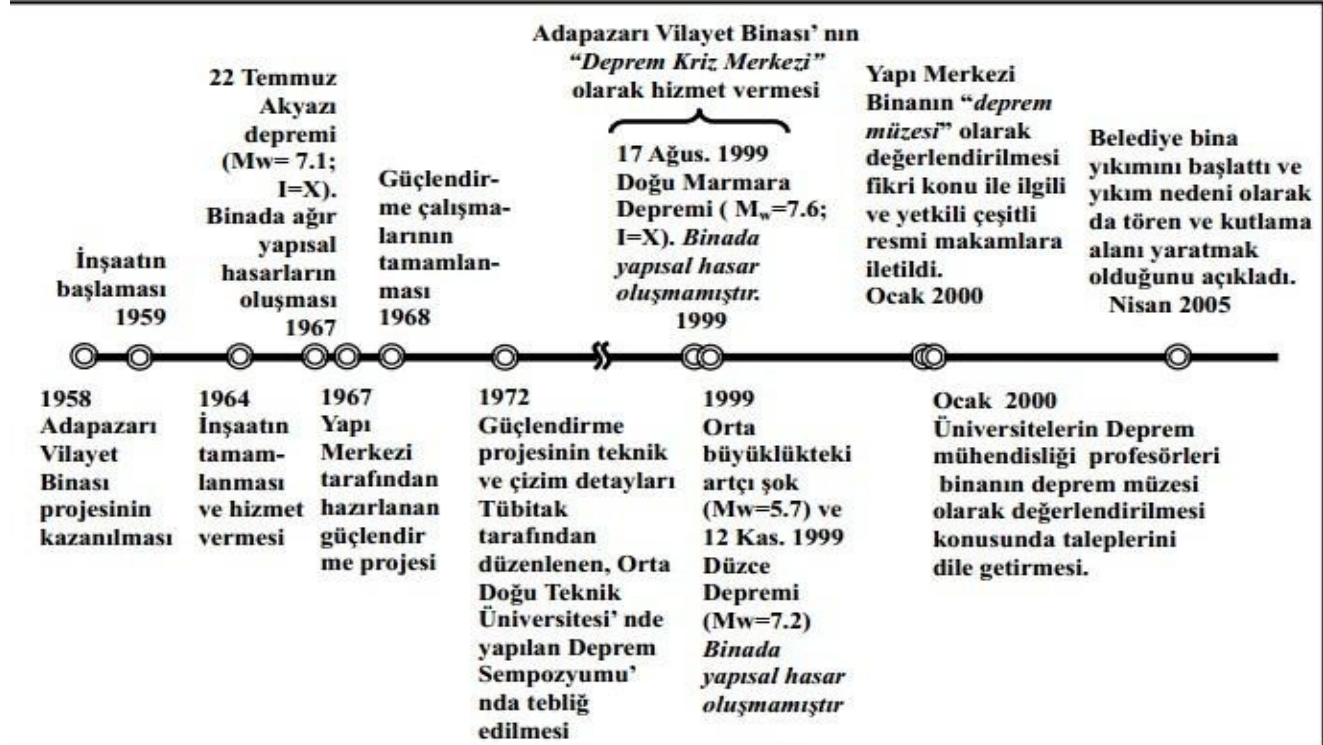


Figure 7. Retrofitted column at Hotel Nikko

Türkiye’den klasik güçlendirmeye başarılı bir örnek...



Kaynak: Uluslararası Deprem Mühendisliği Açısından Önemli Bir Olgu ve Kayıp: “Güçlendirilmiş Adapazarı Vilayet Binası”



25 Nisan 2015 Katmandu Depremi

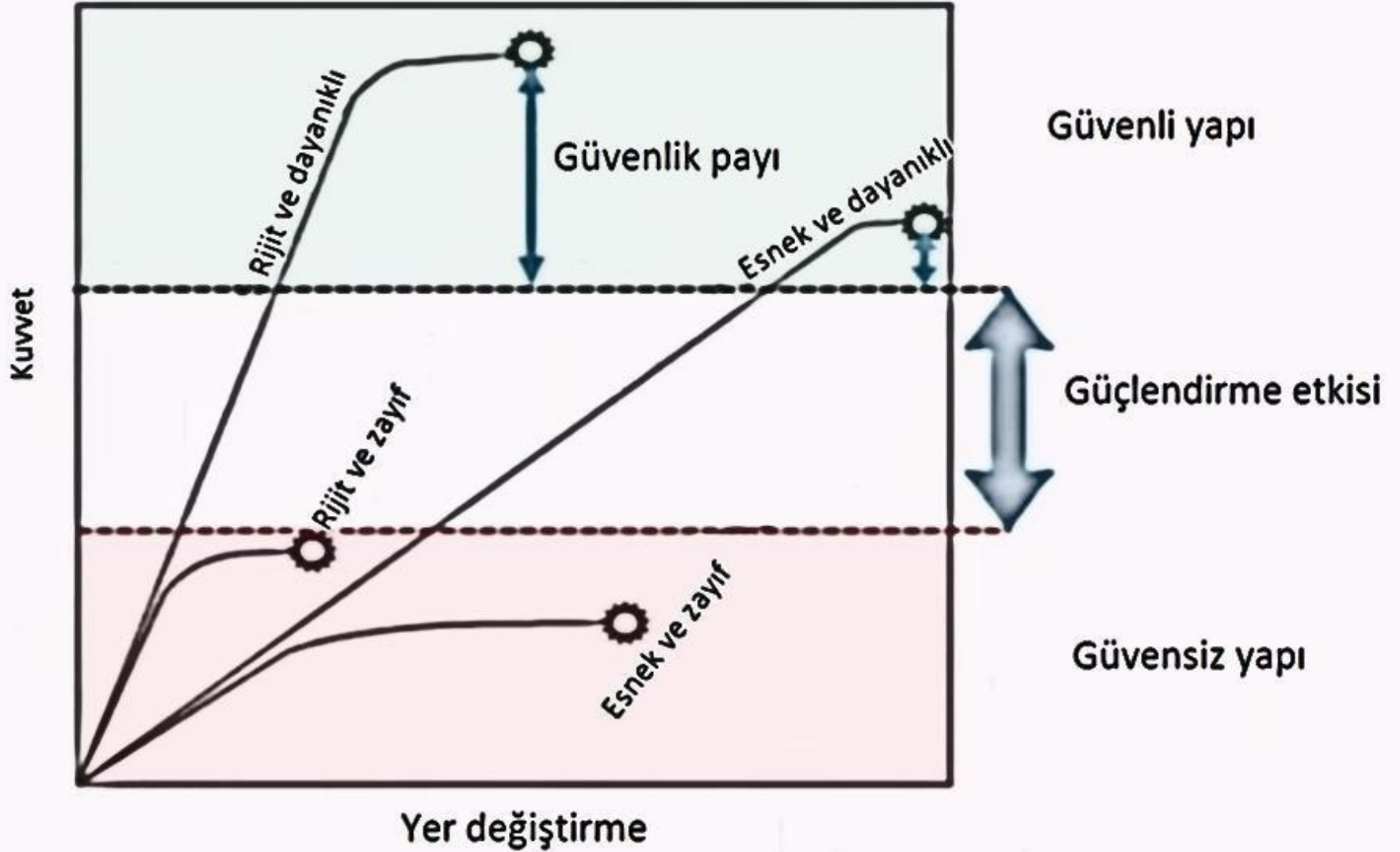
- 25 Nisan 2015 Katmandu depreminde 8,000 kişi hayatını kaybetti, binlerce bina yıkıldı.
- 160 devlet okulu 7.8 şiddetindeki depremde ayakta kaldı. Bunların büyük çoğunluğu Nepal Hükümeti tarafından güçlendirilen okullardı.



Güçlendirme kentsel dönüşümde neden üvey evlat muamelesi görüyor?

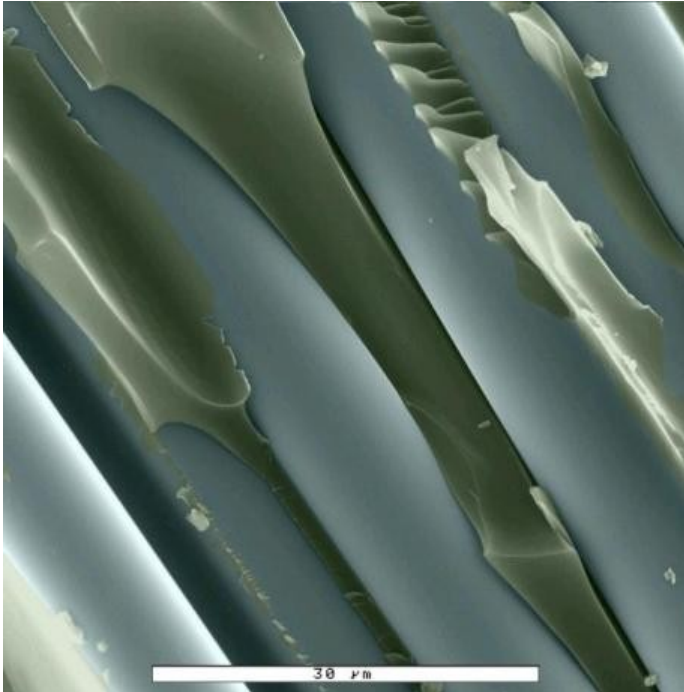
- ❖ Kat malikleri dönüşüm için para vermek istemiyorlar.
- ❖ Güçlendirilen yapının yeni yapılan yapı kadar sağlam olabileceği fikri yaygın değil.
- ❖ 6306 nolu kentsel dönüşüm yasası metni incelendiğinde "yıkma", "yıktırmak" ve benzeri kelimelerin 22 defa geçtiğini görebilirsiniz ancak "güçlendirme" kelimesinin sadece 2 yerde geçiyor.
- ❖ Vatandaşa oturdukları evler için "yıkıp yenisini yapma" fikri empoze ediliyor.
- ❖ Güçlendirilmeye uygun konutların yapısal takviyesi ile kaynaklar (zaman, malzeme, adam-saat vs.) ekonomik bir şekilde kullanıldığı için müteahhitler tarafından genelde tercih edilmiyor.

Güçlendirme sonunda ne elde edilir?



Kompozit malzeme kabaca nasıl tanımlanır?

Benzer olmayan iki ya da daha fazla malzemenin birleştirilmesiyle meydana gelen yeni bir malzeme. Birleşen malzemeler kimliklerini korur ve birbirleri içerisinde çözünmezler ama birlikte hareket ederler. Oluşan yeni malzeme malzemelerden çok daha sağlam ve faydalı olabilir.

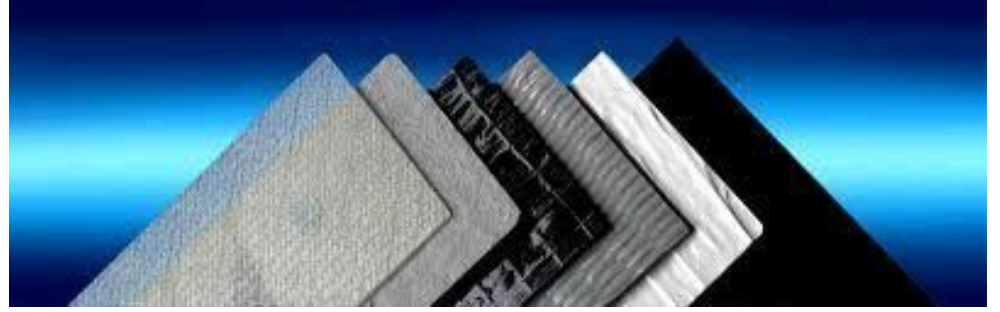
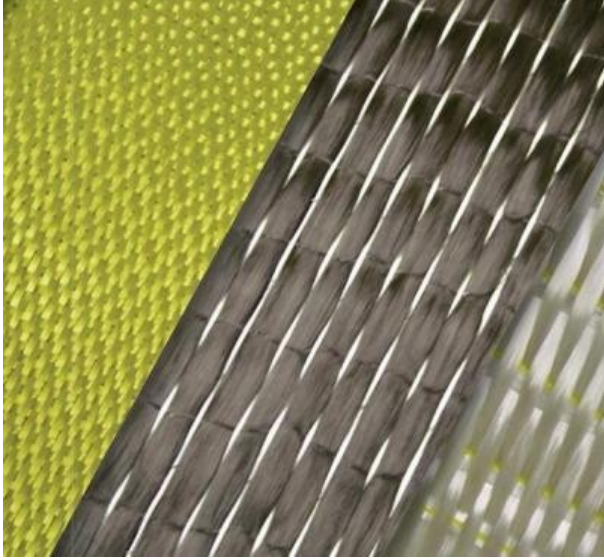


Lifli polimerlerden başka yapı olarak malzemesi kullanılan kompozit malzeme varmı?
Evet, kerpiç ve betonarme elemanlar en klasik örneklerdir. Birincisi toprak ve suyun birleşiminden oluşan çamurun saman, ot veya sazlarla takviyesi ile; ikincisi çimento & su birleşiminin çelik donatı ile güçlendirilmesi ile oluşur.

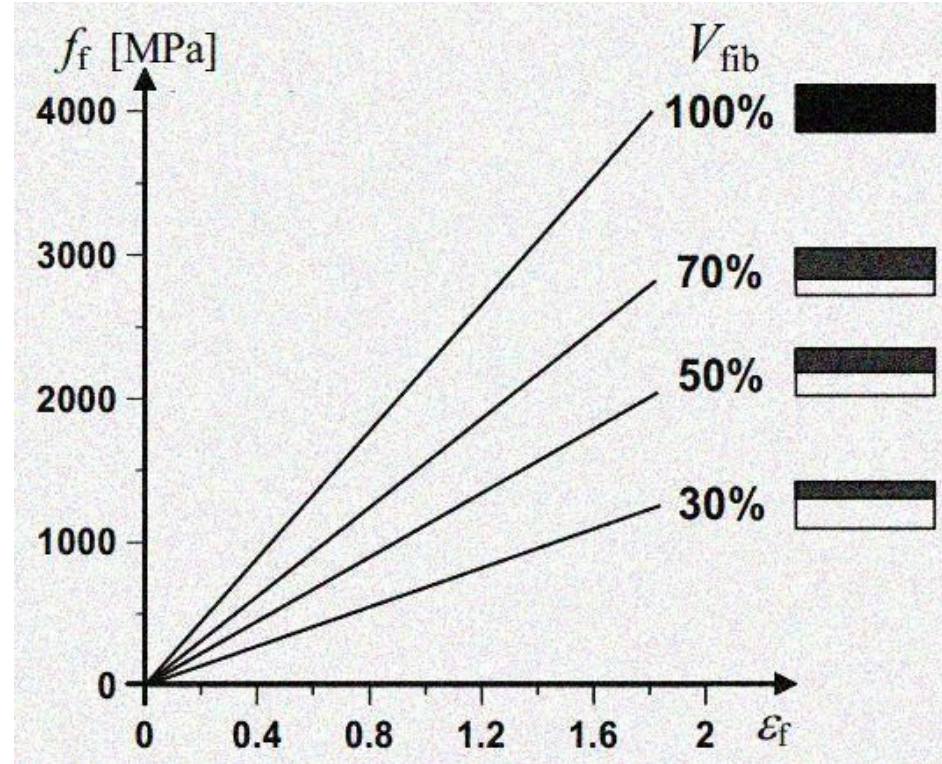
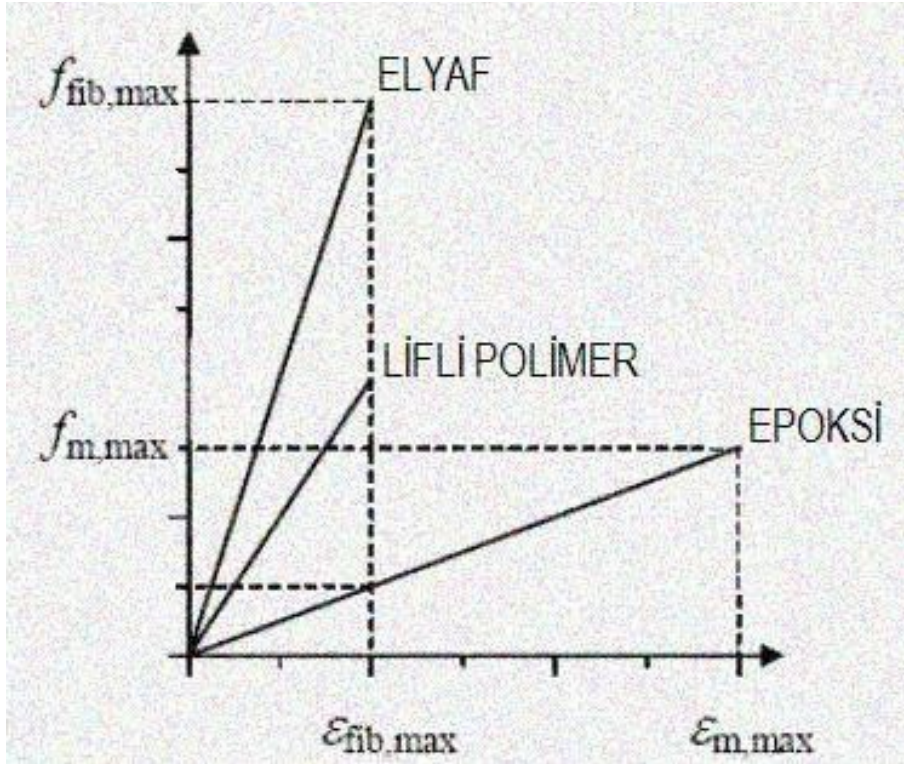


Lifli polimerler hangi tür liflerden ve bağlayıcılardan oluşur?

Aramid, karbon, cam liflerden oluşan takviye elemanları epoksi, polyester, poliüretan vb. reçineler ile birleştirilebilir.



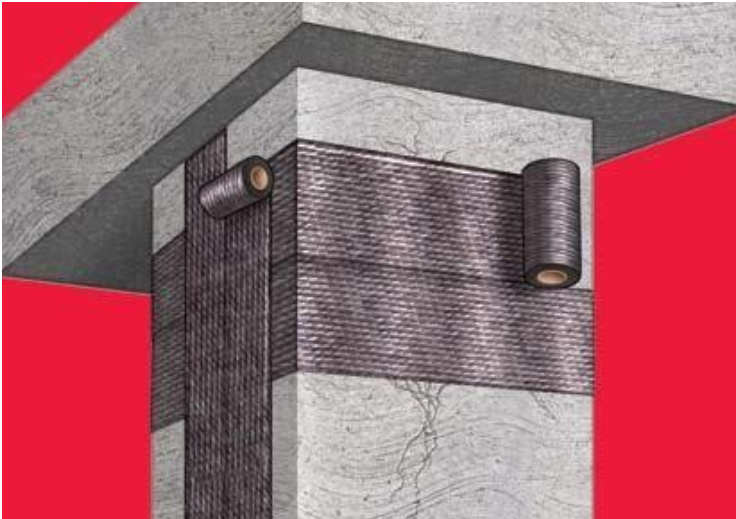
Lifli Polimer Kompozit Davranışı



Lifli polimerler hangi elemanlarda kullanılabilir?

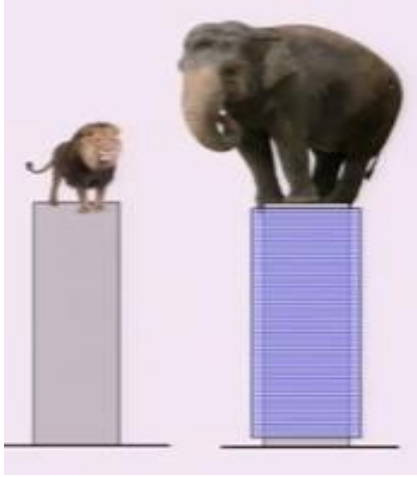


Betonarme kolonlarda etriye olarak kullanılması (sargı ve kesme kapasitesi artırımı)

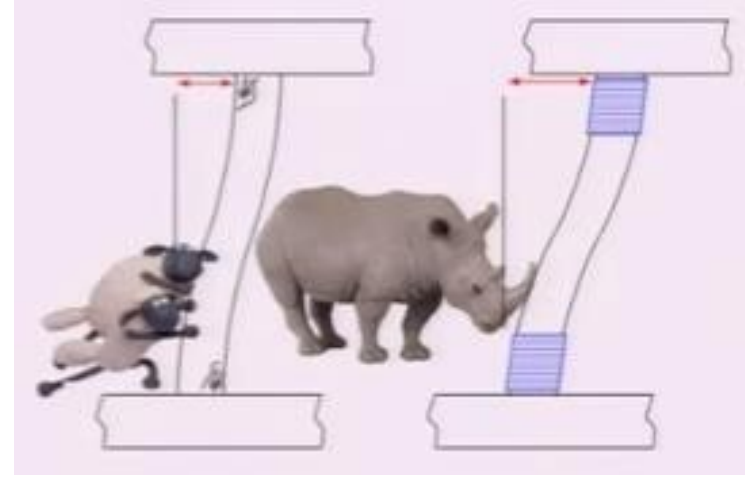


Sadece kolonları sararak ne elde edilebilir?

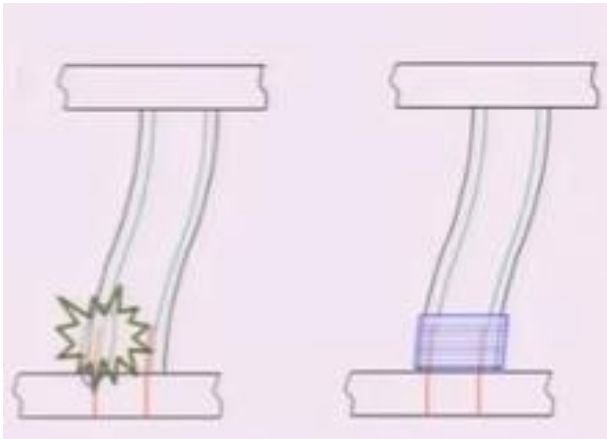
Eksenel yük kapasitesi artar



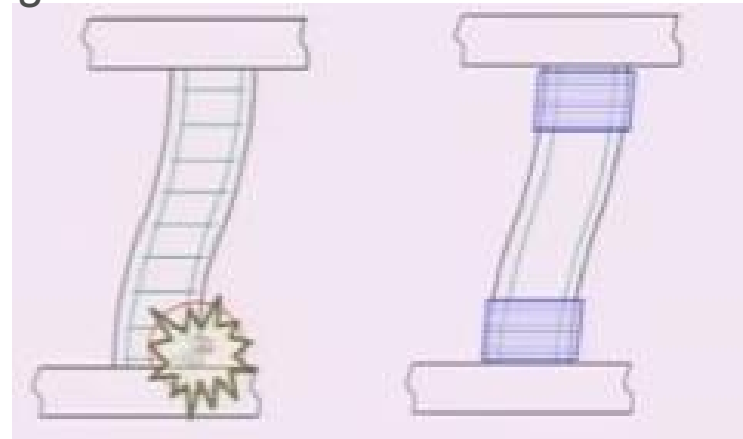
Yanal ötelenme kabiliyeti artar



Yetersiz bindirme boyları telafi edilir.



Boyuna donatıda burkulma geciktirilir



Betonarme perdelerde veya uç bölgelerde etriye olarak kullanılması



Betonarme kirişlerde etriye ve alt/üst donatı olarak kullanılması



Döşemelerde alt/üst donatı olarak kullanılması



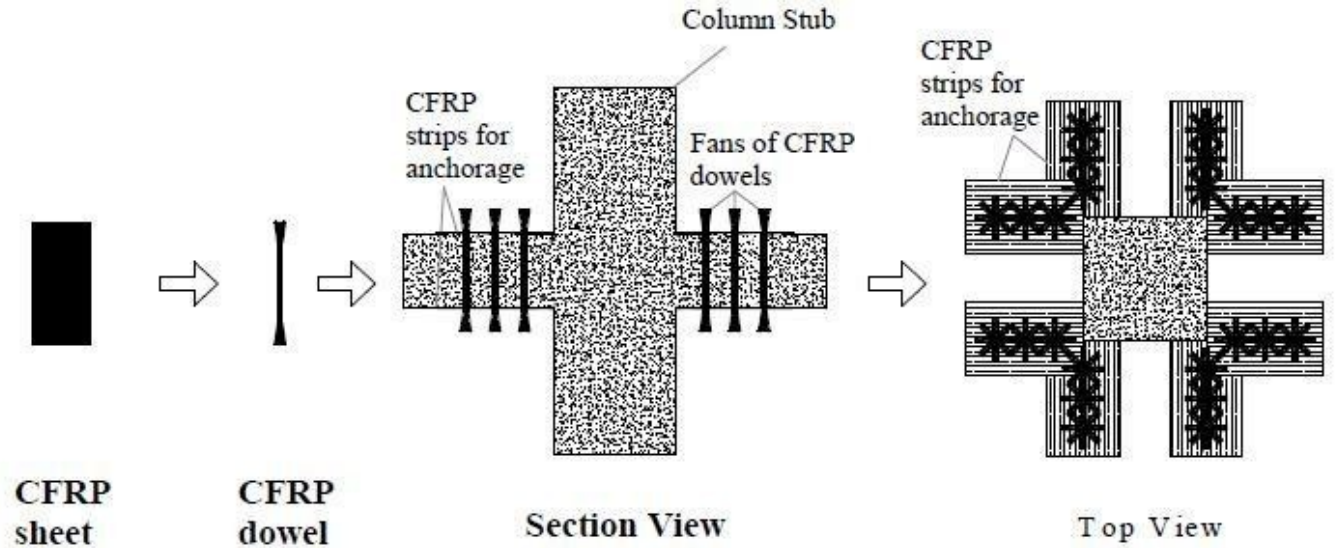
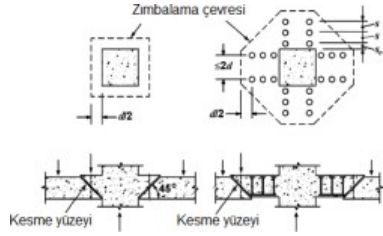
Betonarme döşeme ve perde boşluklarında yırtık donatısı olarak kullanılması



Tarihi yapılarda yığma duvarların ve kubbelerin takviyesinde kullanılması



DÖŞEMELER – ZİMBALAMA



(a)



(b)



(c)

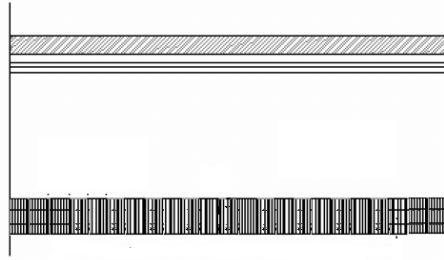
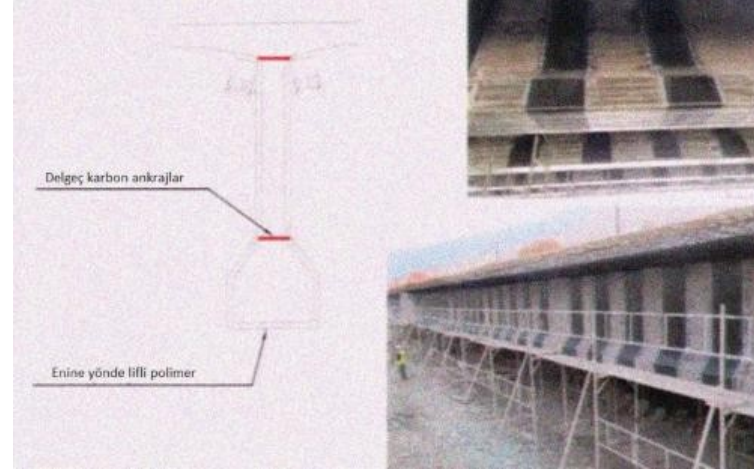
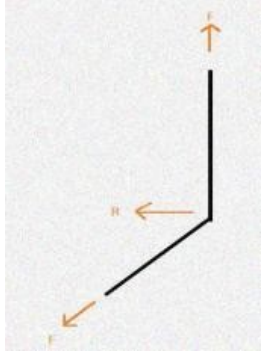


(d)

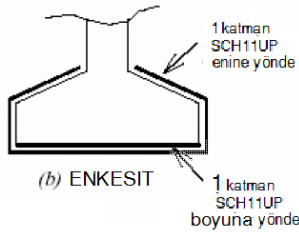
Su ve enerji isale hatları, deniz yapıları vs.



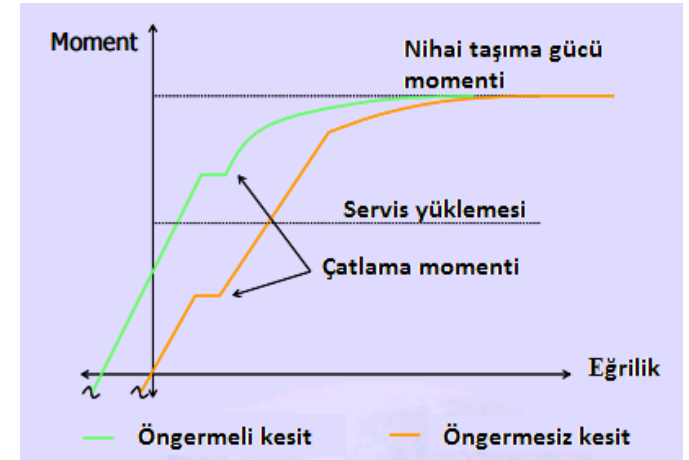
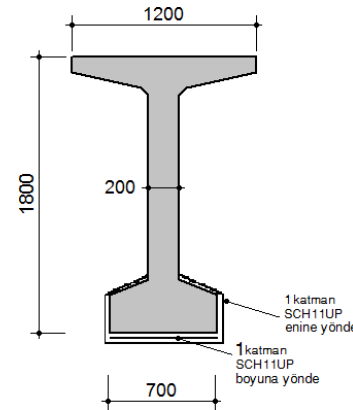
Köprü kirişlerinin güçlendirilmesinde



(a) BOY KESİT



(b) ENKESİT



Başlıca avantajları lifli polimerlerin:

- Çeliğe göre çok daha hafiftir.
- Güçlendirilen elemanın rijitliği artırmaz.
- Paslanmaz, bakım istemez.
- Daha az işçilik gerektirir.
- Betondan daha geçirimsizdir.
- Uygulama süresi kısadır.
- Kullanıcılara yarattığı rahatsızlık azdır.



Şartnameler lifli polimer ile tasarım kurallarını açıklıyor mu?

Mühendislerin kullanabilecekleri çok sayıda şartnameler mevcut:

- DBYBHY, 2007
- CNR-DT 200 R1/2013
- ACI 440.2R-08, 2008
- Eurocode 8, Bölüm 3
- FIB 14, 2001



American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge



S6. TDY 2007'ye göre eksenel basınç dayanımını nasıl artırırım?

C6. Elemanın uzun boyutunun kısa boyutuna oranı ikiden fazla olmadığı durumlarda aşağıdaki formüller geçerlidir:

$$f_{cc} = f_{cm} (1 + 2.4 (f_1 / f_{cm})) \geq 1.2 f_{cm}$$

$$f_1 = \frac{1}{2} \kappa_a \rho_f \varepsilon_f E_f$$

$$\kappa_a = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{Dairesel kesit} \\ \left(\frac{b}{h} \right) & \text{Elips kesit} \\ 1 - \frac{(b - 2r_c)^2 + (h - 2r_c)^2}{3bh} & \text{Dikdörtgen kesit} \end{array} \right\}$$

$$\rho_f = \left\{ \begin{array}{l} (4nt_f / D)(b_f / s) \\ (2nt_f (b + h) / bh)(b_f / s) \end{array} \right.$$

S7. TDY 2007'ye basınç dayanımına karşı gelen birim kısalmayı nasıl artırabilirim?

C7. Elemanın uzun boyutunun kısa boyutuna oranı ikiden fazla olmadığı durumlarda aşağıdaki formüller geçerlidir:

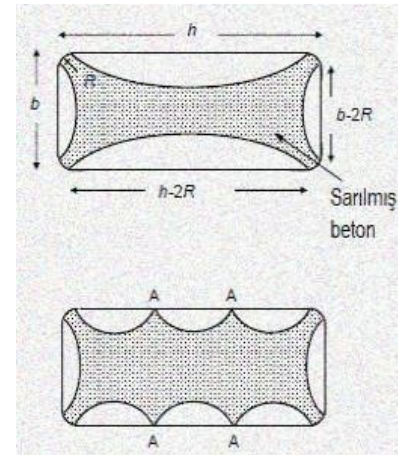
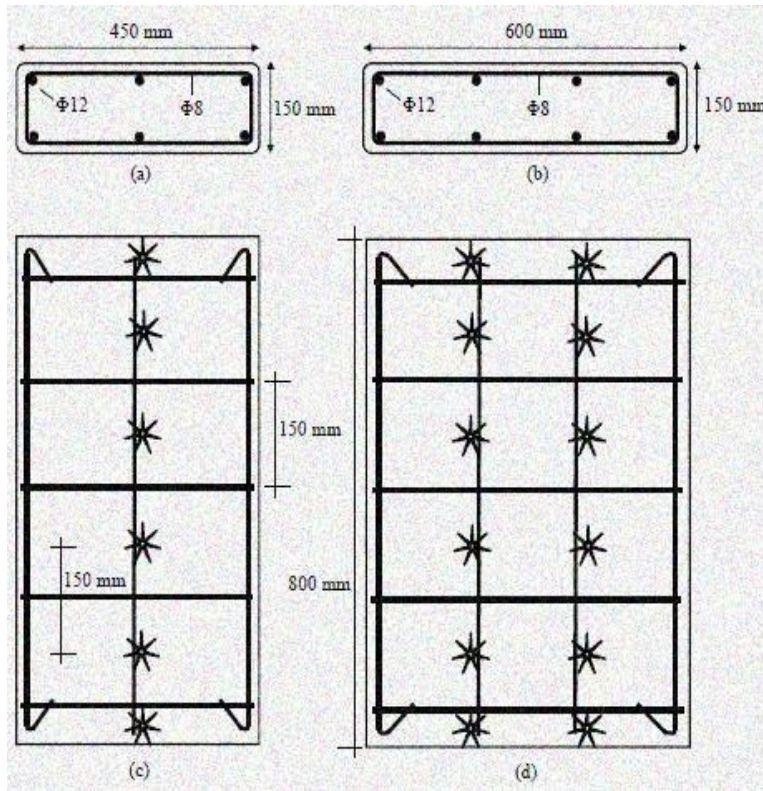
$$\varepsilon_{cc} = 0.002 \left(1 + 15 (f_1 / f_{cm})^{0.75} \right)$$

$$f_1 = \frac{1}{2} \kappa_a \rho_f \varepsilon_f E_f$$

$$\kappa_a = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{Dairesel kesit} \\ \left(\frac{b}{h} \right) & \text{Elips kesit} \\ 1 - \frac{(b - 2r_c)^2 + (h - 2r_c)^2}{3bh} & \text{Dikdörtgen kesit} \end{array} \right\}$$

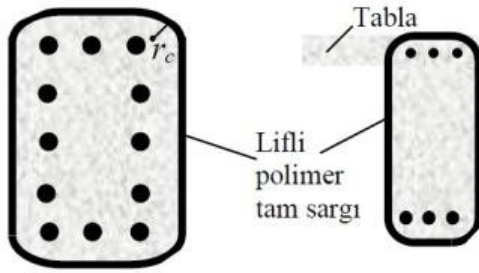
$$\rho_f = \left\{ \begin{array}{l} (4nt_f / D)(b_f / s) \\ (2nt_f (b + h) / bh)(b_f / s) \end{array} \right.$$

Elemanın uzun boyutunun kısa boyutuna oranı ikiden fazla olduğu durumlar için (1/3 hatta 1/4) İTÜ'de ve Patras Üniversitesi'nde başarılı sonuçlar veren (%80 lere varan aksenal yük ya da ciddi süneklik kapasite artışları) deneyler yapıldı:

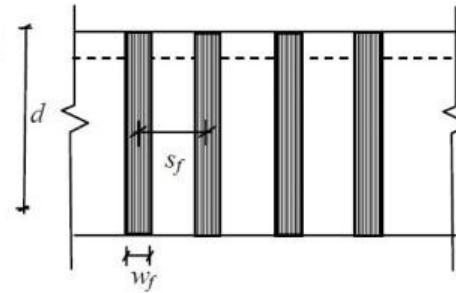


TDY 2007'ye göre kesme dayanımını nasıl artırırım?

TDY 2007 kesit boyunca çepeçevre tam sargı ile ilgili formülasyonları belirtiyor ancak ACI 440.2R-08'de benzer ifadeleri kesit boyunca süreksiz sargılama durumunda kullanmak mümkün:

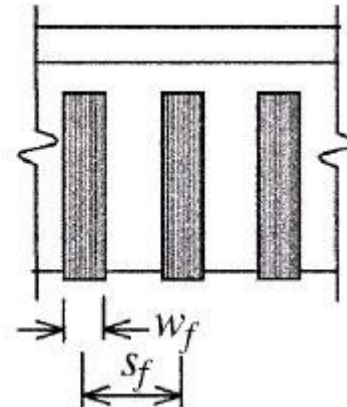
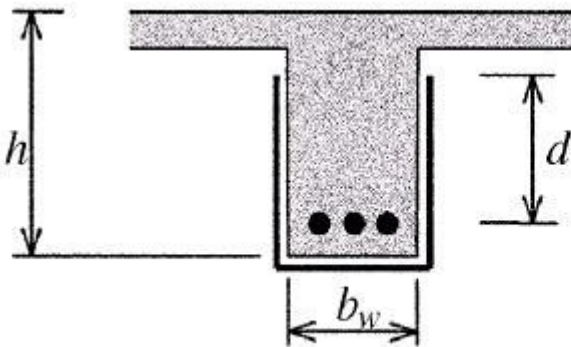


a) Kolonlar



b) Kirişler

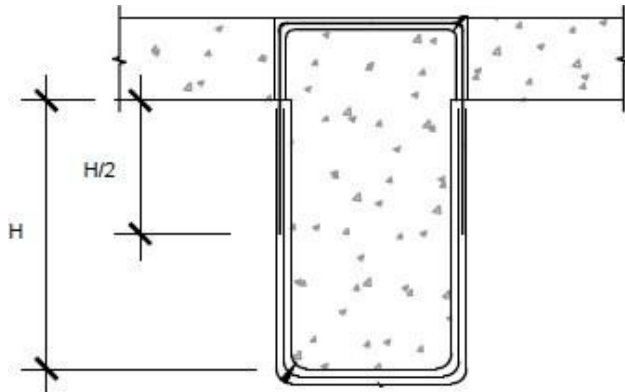
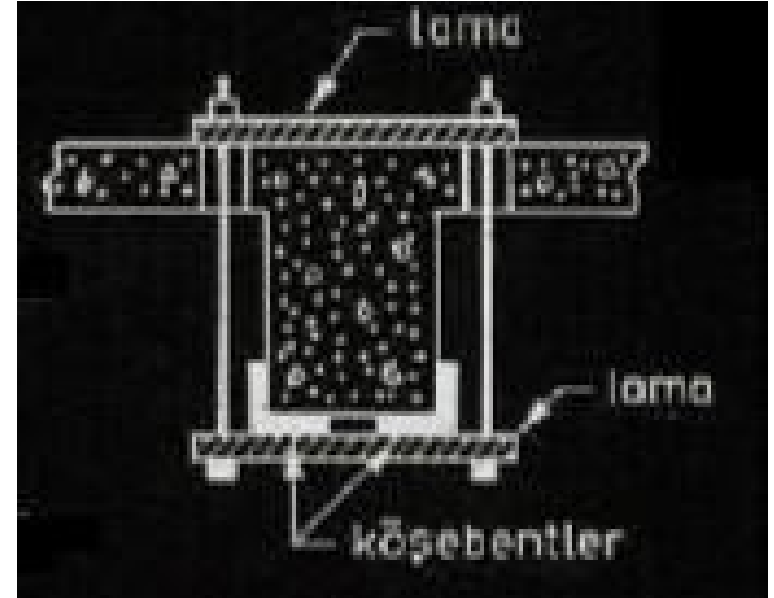
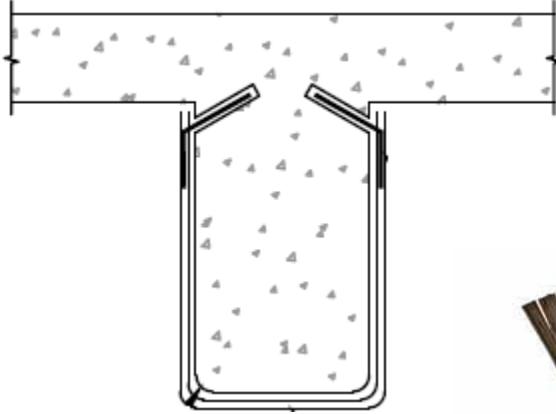
$$V_f = \frac{2 n_f t_f w_f E_f \varepsilon_f d}{s_f}$$



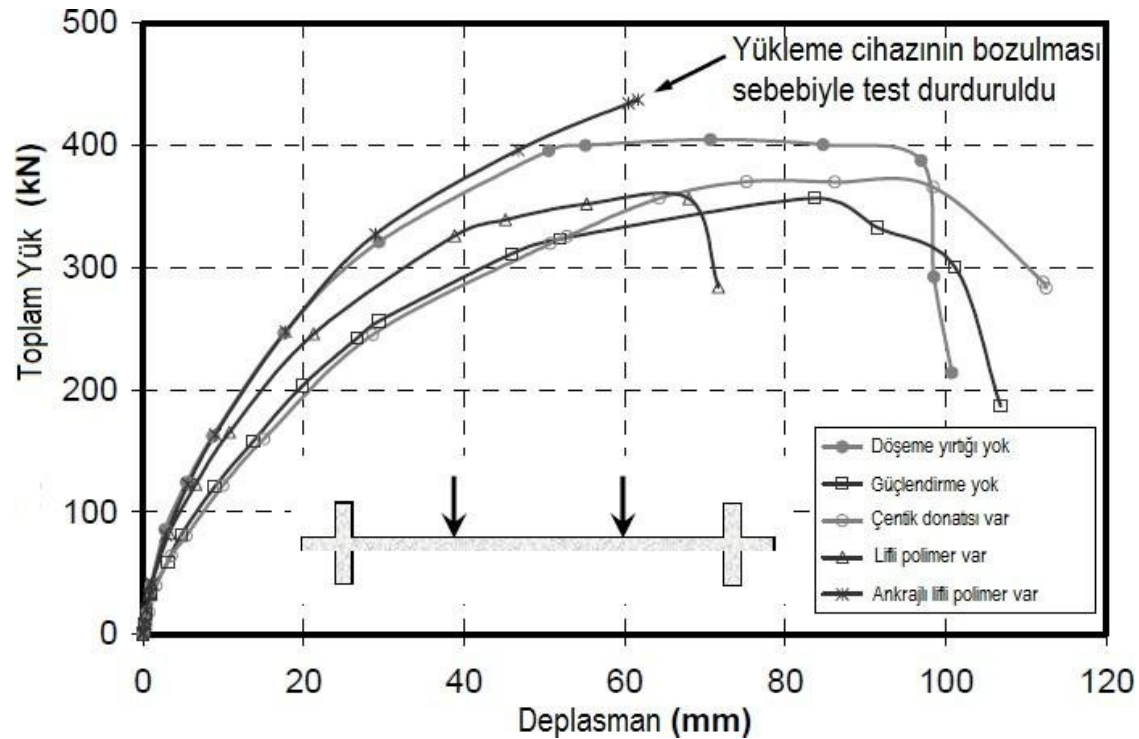
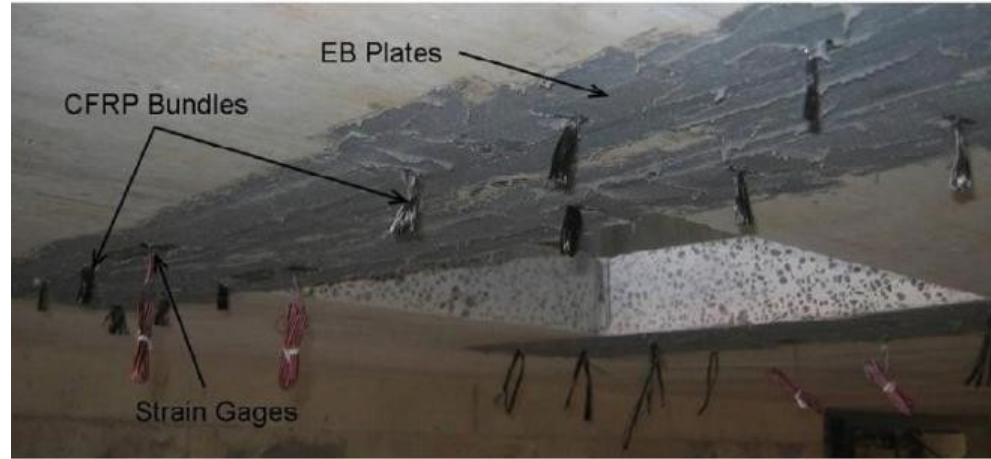
$$\varepsilon_f \leq 0.004$$

$$\varepsilon_f \leq 0.50 \varepsilon_{fu}$$

Etkin birim uzamayı artırmak için ankraj kullanımı



Döşeme yırtığı takviyesinde ankrajlar



S9. TDY 2007'ye göre kolonlarda yetersiz bindirme boyunu nasıl artırırım?

C9. TDY 2007'de belirtilen aşağıdaki formüller geçerlidir:

$$t_f = \frac{500 b_w (f_k - f_{hs})}{E_f} \quad f_k = \frac{A_s f_{ym}}{\left[\frac{p}{2n} + 2(\phi + d') \right] L_s}$$

ϕ donatı çapı

L_s varolan bindirme boyu

n bindirme yapılmış donatı sayısı

b_w kesit genişliği

f_{hs} enine donatıda 0.001 birim uzamaya karşılık gelen gerilme

A_s kolon donatı alanı (tek çubuk için)

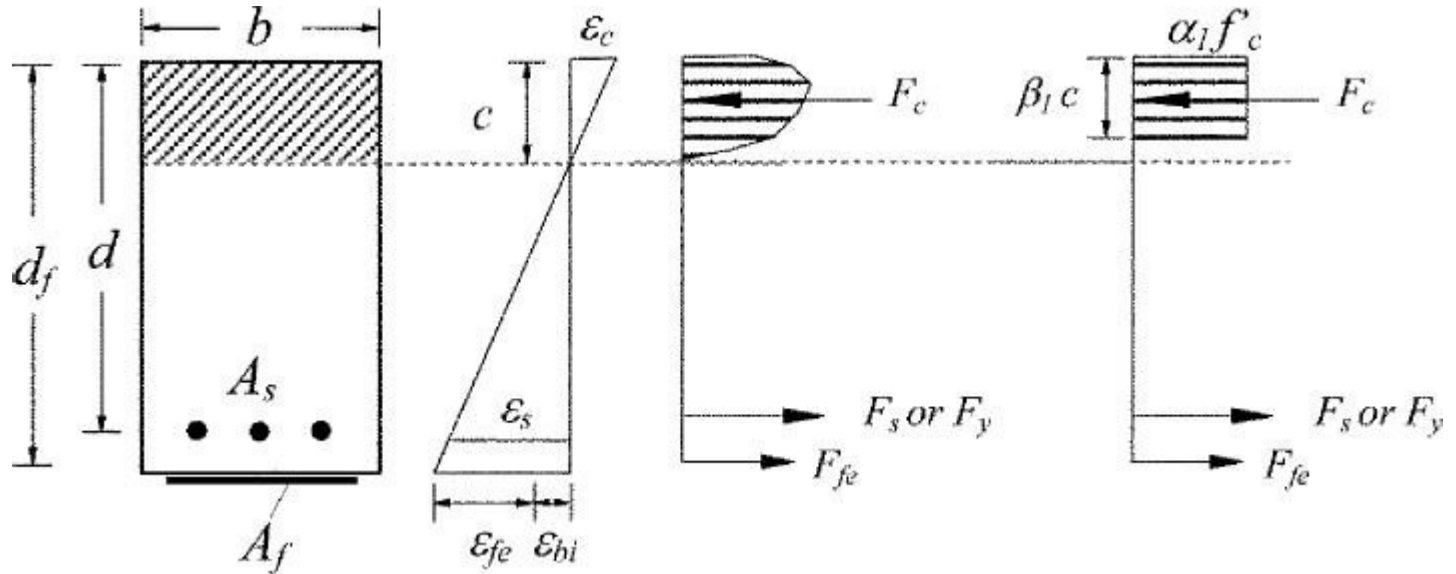
d' pas payı kalınlığı

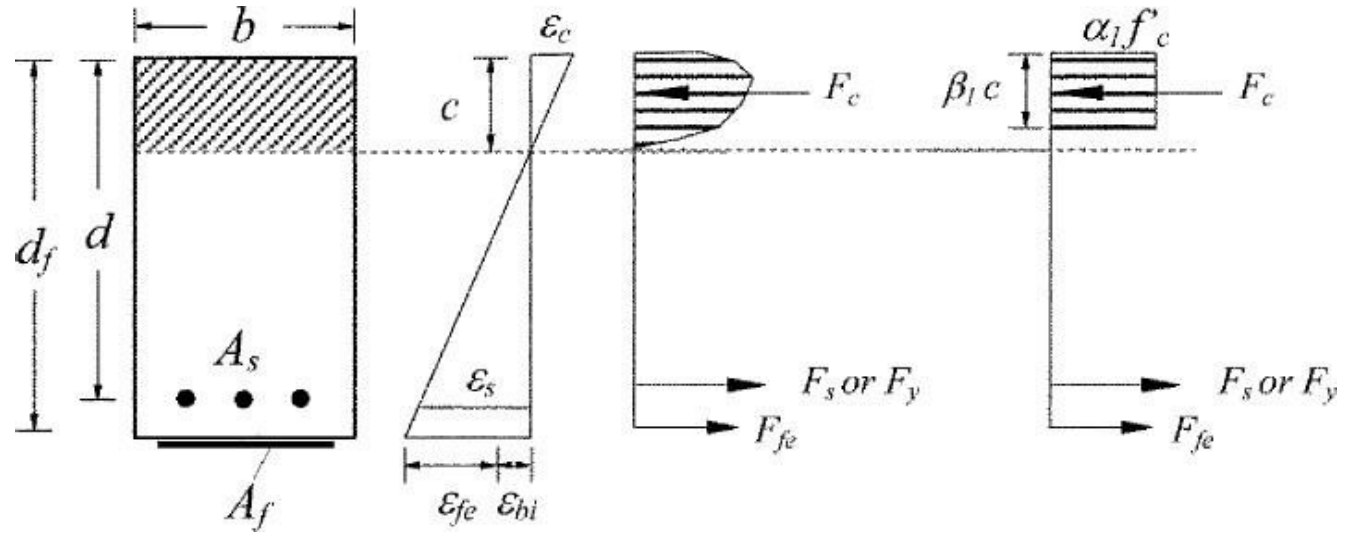
p çekirdek kesiti çevresi

f_{ym} mevcut donatı akma

S10. TDY 2007 lifli polimer ile eğilme kapasitesini artırmak için ne öneriyor?

C10. TDY 2007 bu konuya değinmiyor ancak ACI 440.2R-08'deki yöntem ile kesitlerin eğilme kapasitesini artırmak mümkün:





$$\epsilon_{fu} = 0.004$$

ϵ_{bi}
hesaplanır

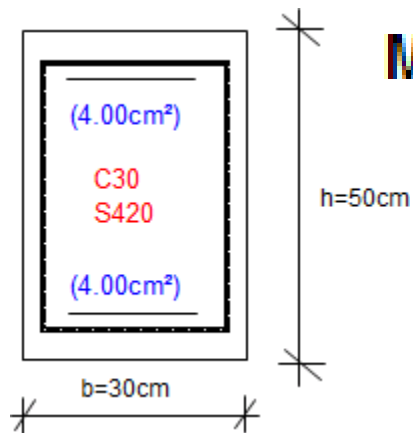
c , tarafsız eksen
derinliği seçilir (örn. $0.20d$)

$$\epsilon_{fe} = 0.003 \left(\frac{d_f - c}{c} \right) - \epsilon_{bi} \leq 0.004 \longrightarrow \epsilon_c = (\epsilon_{fe} + \epsilon_{bi}) \left(\frac{c}{d_f - c} \right)$$

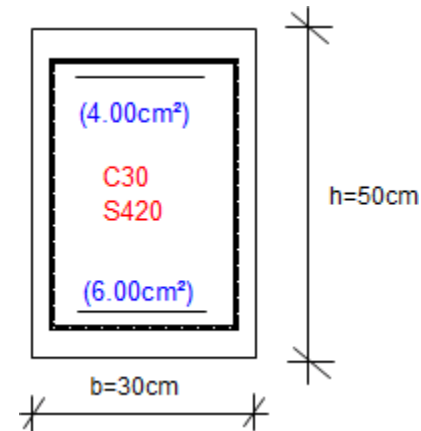
$$c = \frac{A_s f_s + A_f f_{fe}}{\alpha_1 f'_c \beta_1 b} \longleftarrow \epsilon_s = (\epsilon_{fe} + \epsilon_{bi}) \left(\frac{d - c}{d_f - c} \right)$$

$$f_s = E_s \epsilon_s \leq f_y$$

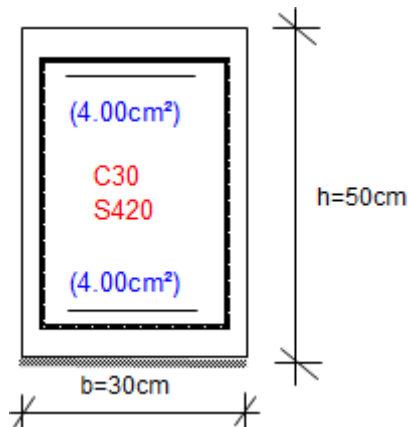
Eğilme moment kapasitesi artırımında elle basit tasarım



$$M_{RD} = 65.7 \text{ KNm}$$



$$M_{RD} = 97.8 \text{ KNm}$$



$$A_s \cdot f_{yd} = w_{frp} \cdot n_{frp} \cdot t_{frp} \cdot \varepsilon_{frp} \cdot E_{frp}$$

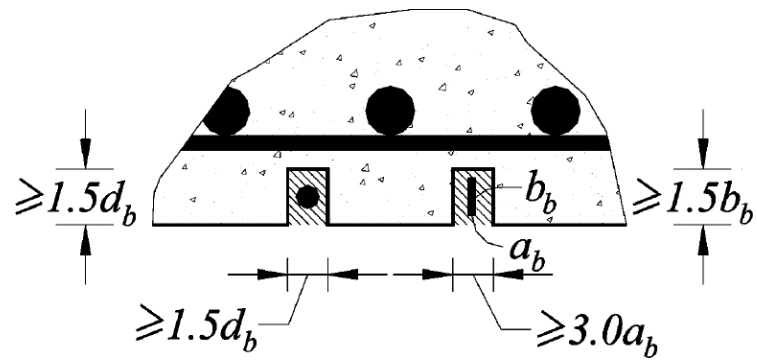
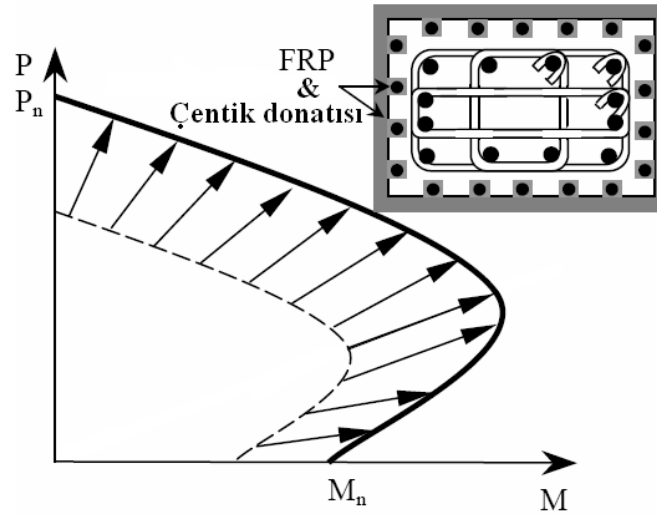
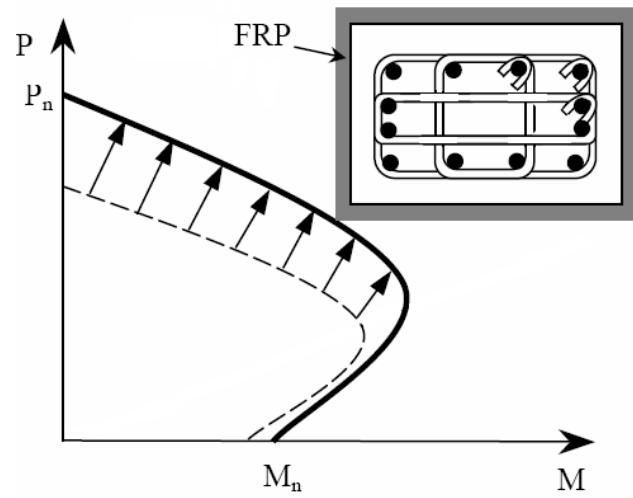
$$200 \text{ cm}^2 \times 365 \text{ MPa} = 300\text{mm} \times n_{frp} \times 1\text{mm} \times 0.004 \times 82000$$

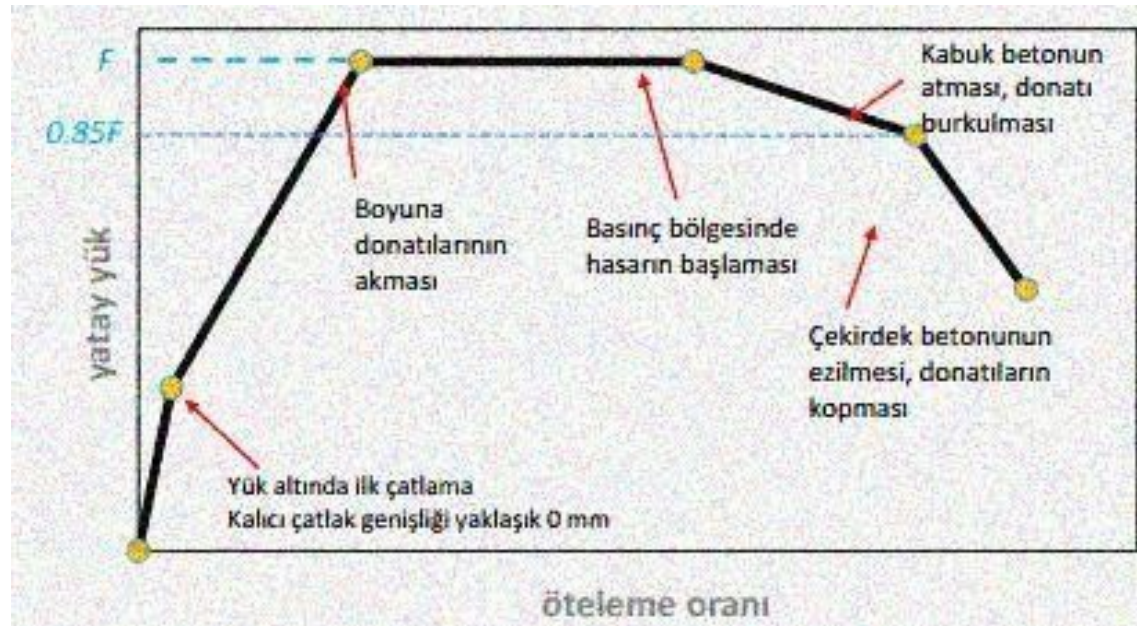
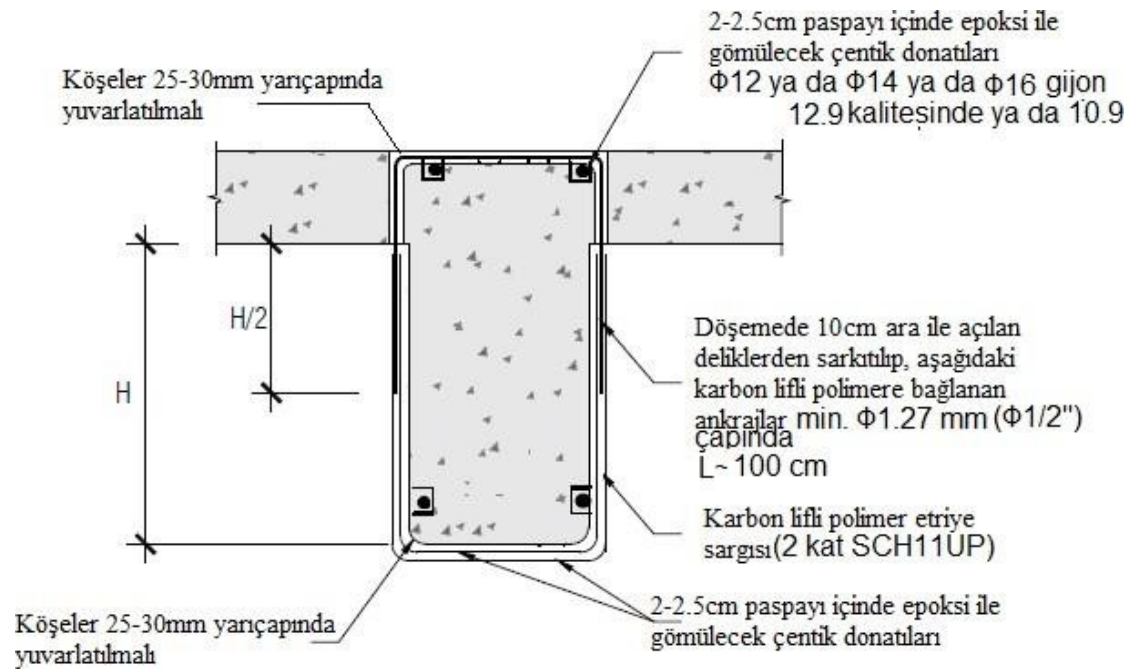
$$n_{frp} = 0.74 \text{ kat}$$

$$M_{RD} = 109.9 \text{ KNm}$$

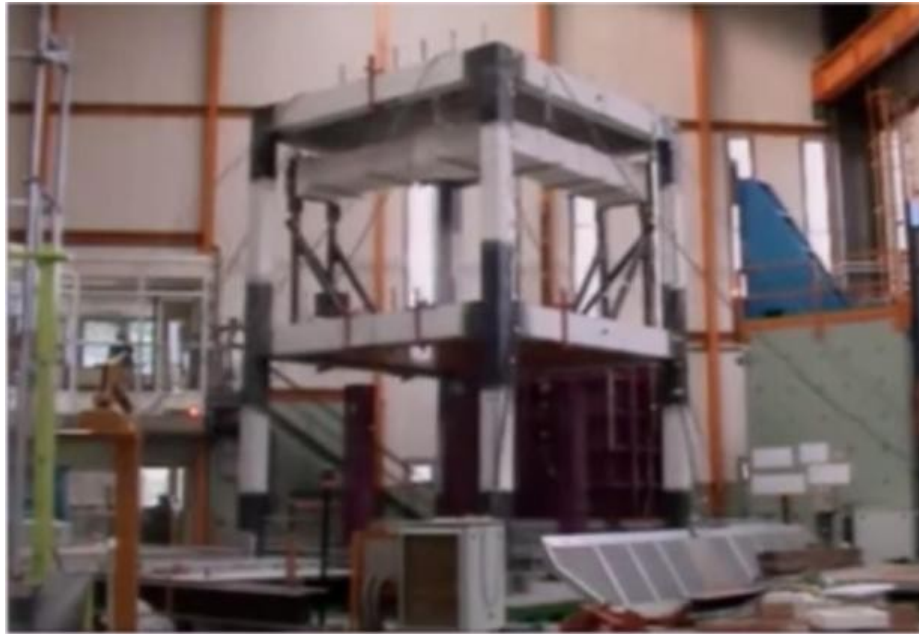
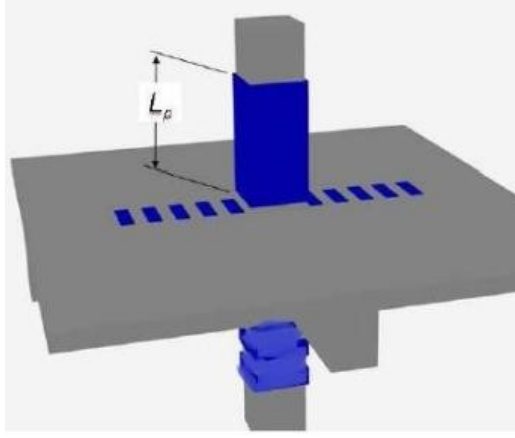
Dikkat ! 0.004 tasarım birim uzaması
çok düşük dayanımlı betonlarda
ve/veya çok katlı lifli polimer ihtiyacı
varsa güvenli bir varsayım olmayabilir.

$$\varepsilon_{fd} = 0.41 \sqrt{\frac{f'_c}{nE_f t_f}} \leq 0.9 \varepsilon_{fu}$$

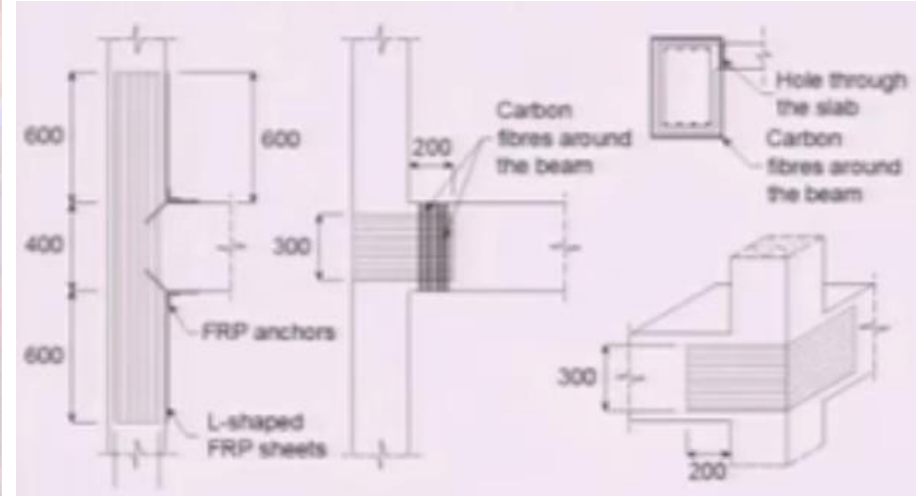




Kolon-kiriř birleřim b6lgelerini takviye etmek için lifli polimer ile ne yapılabilir?



$PGA_{max} = 0.50 g$

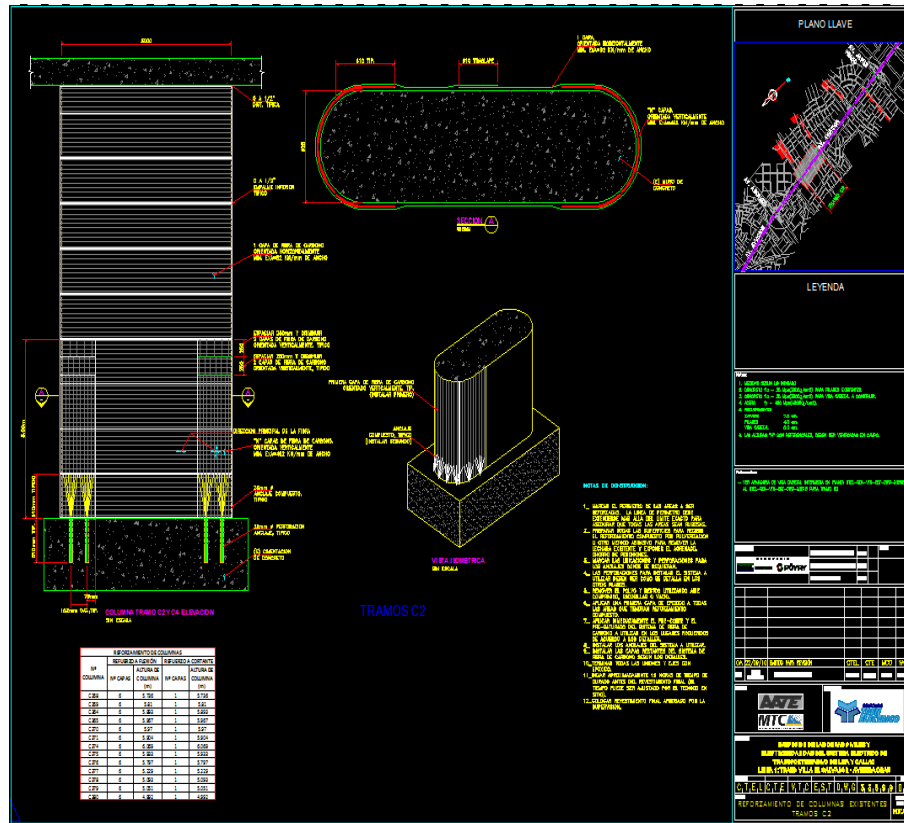


Kaynak: 1. FIB 14

2. <https://www.youtube.com/watch?v=BlyzKT3pwto>

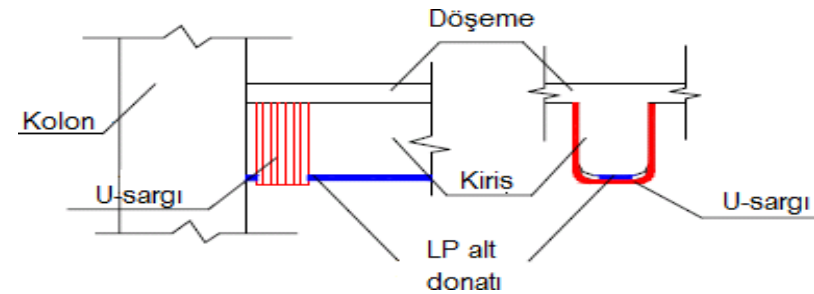
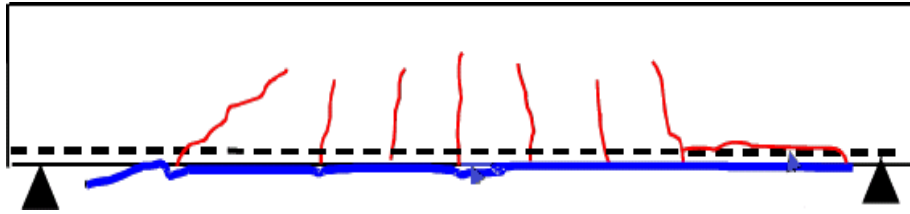
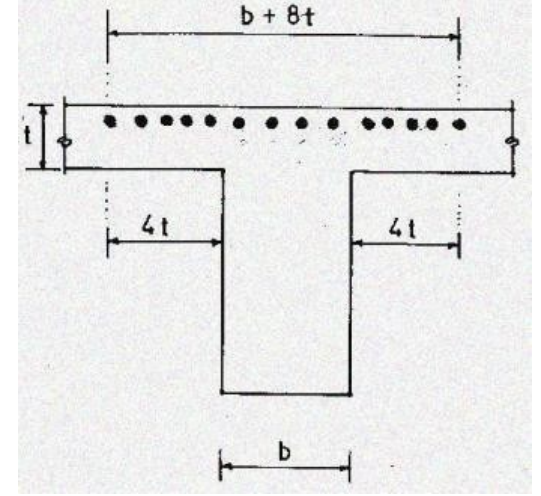
Düşey elemanların boyuna LP ile moment kapasitesi yapılabilir??

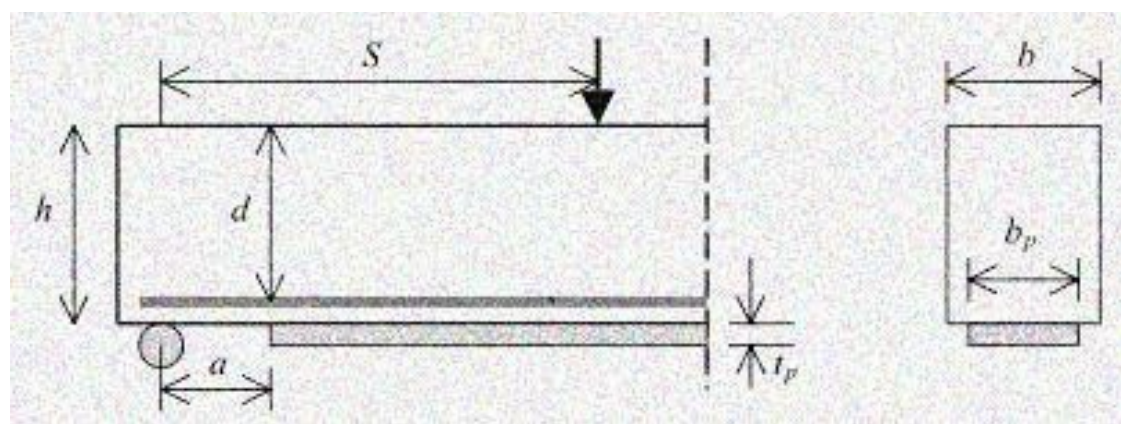
LP malzeme boyuna yönde yapıştırılır ve uygun ankraj detayları ile donatının temele ankraji ya da katlar arası sürekliliği sağlanır.



Kirişlerde açıklık ve mesnet donatı eksikliğini LP ile nasıl kapatabiliriz?

LP malzeme mesnette etkili tabla genişliğine yayılarak konulabilir. Açıklık donatısı açıklık boyunca devam ettirilirse daha faydalı olur.

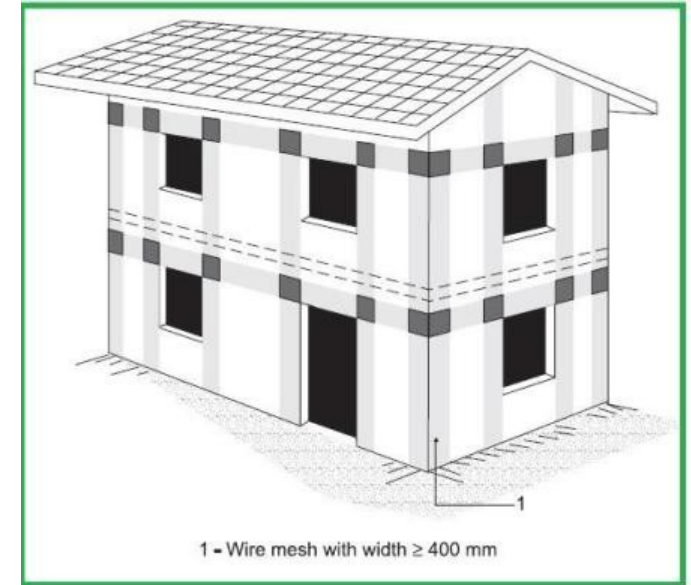
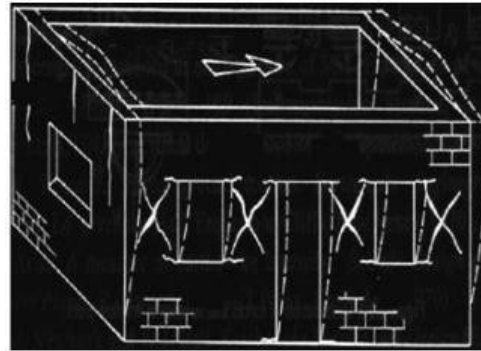
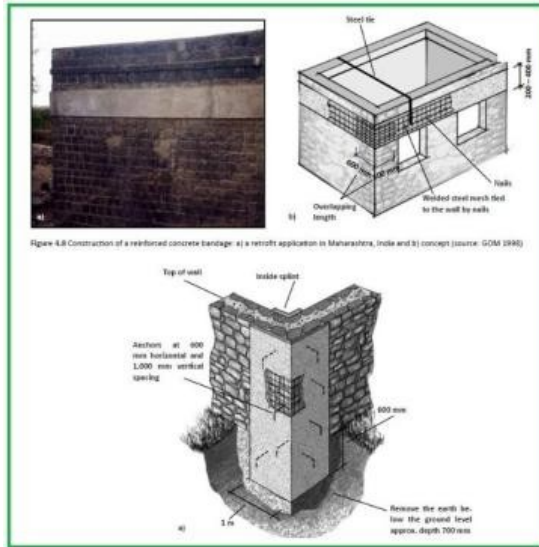
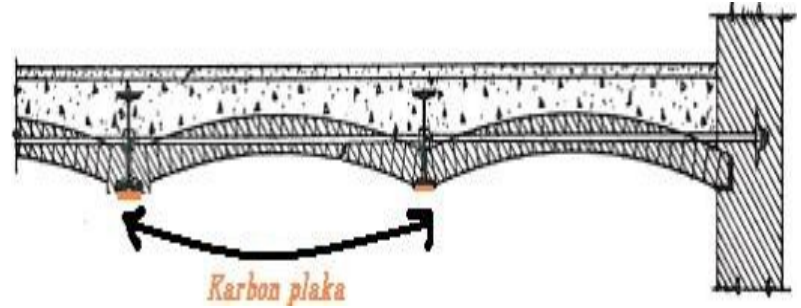




<i>Kalınlık</i> t_p (mm)	$E_p t_p (\times 10^3$ N/mm)	<i>Göçme</i> <i>Yükü</i> (kN)	<i>LP birim uzaması</i> ($\times 10^{-6}$)
0.22	51.7	216.2	7254
0.44	103.4	239.1	6475
0.66	155.1	255.2	5655
0.88	206.8	275.9	4934
1.10	258.5	276.8	4421
1.32	310.2	251.8	3097

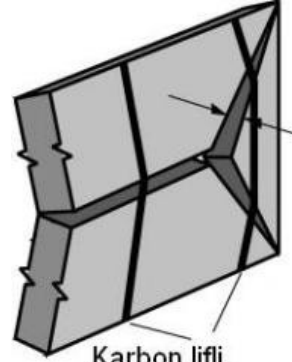
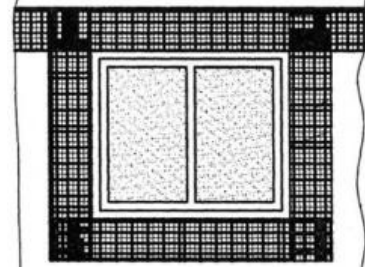
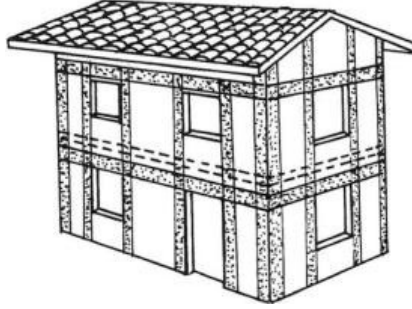
a (mm)	a/S	<i>Göçme</i> <i>Yükü</i> (kN)	<i>LP birim uzaması</i> ($\times 10^{-6}$)
25	0.004167	263.4	7057
300	0.25	265.1	7280
450	0.375	234.8	4943
600	0.50	204.1	3072

Tarihi yapıları pratik olarak bu malzemelerle nasıl güçlendirebiliriz?

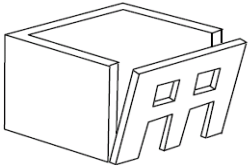
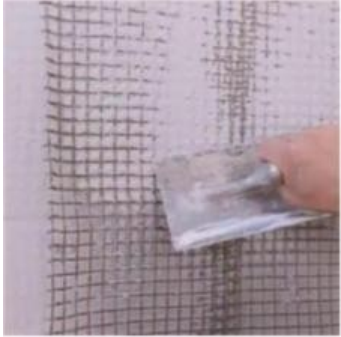
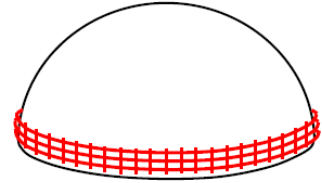


Düşey de mesnetlenmesi az olduğu için düzlem dışı hareketlerini önlemek için iç duvarlarda FRP şeklinde çapraz kuşaklar, dışarıda ise yatay ve düşey yönde FRP hatıl bantları atılabilir.

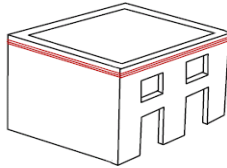
Taşıyıcı duvarları veya tonozları nasıl güçlendiriyoruz?



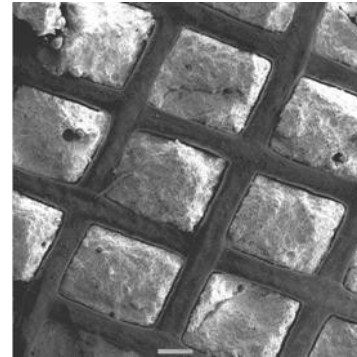
Karbon lifli polimer şeritler



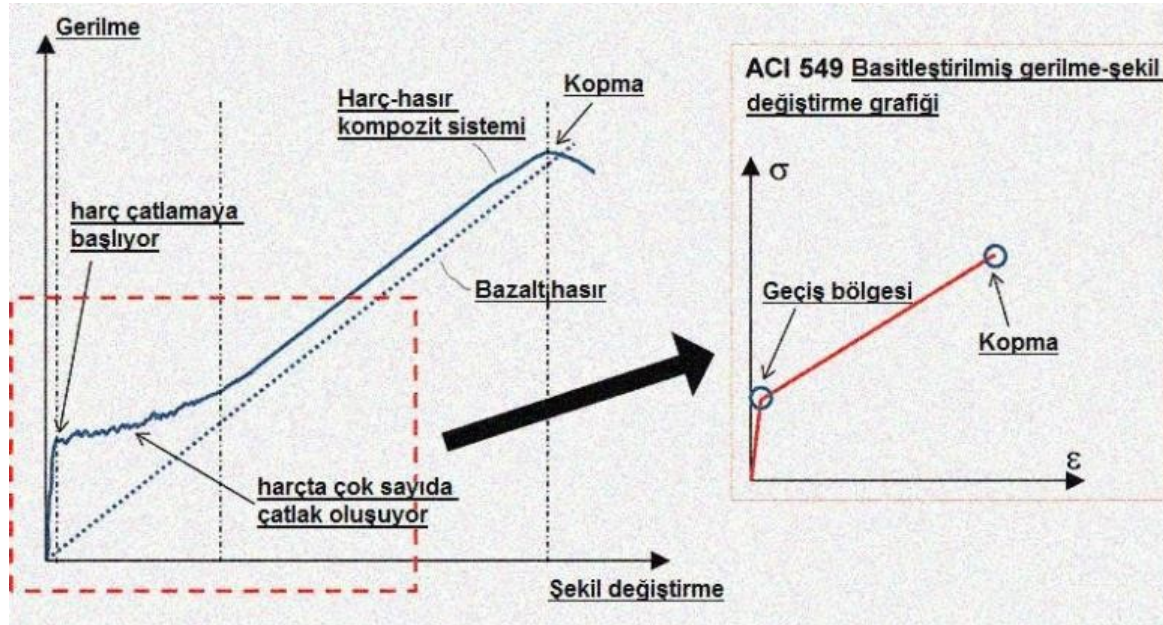
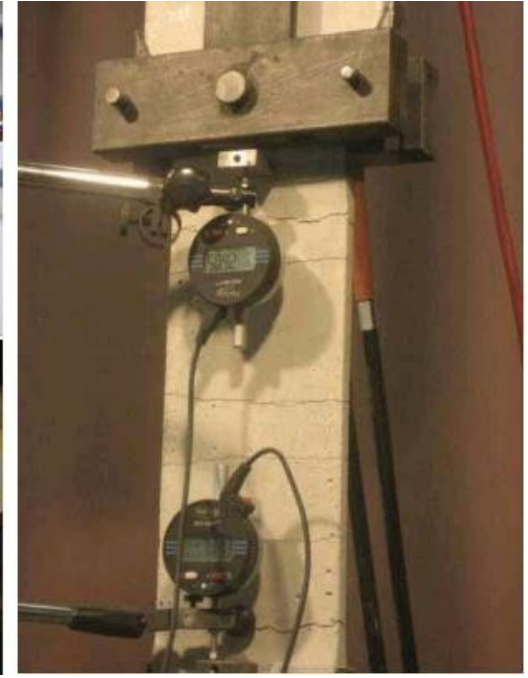
(a)



(b)



Tekstil donatılı harç sistemlerinin kompozit halde davranışı



Tasarımda neden kuru elyaf özellikleri değil de kompozit özellikleri kullanılmalı?

Malzeme	Kuru birim ağırlık [g/m ²]	E _{kompozit} [MPa]	Kompozit kalınlık (t) [mm]	Kuru elyaf yoğunluk [g/cm ³]	E _{kuru} [MPa]	Kuru kalınlık (t) [mm]	(E . t) _{kompozit} [kN/m]	(E . t) _{ıslak} [N/mm]	Rölatif fark (E.t) [%]
A - GFRP	505	26,100	0.635	2.55	72,400	0.198	14,338.04	16,573.50	15.59
A - CFRP 1	315	105,400.00	0.51	1.74	230,000	0.181	41,637.93	53,754.00	29.10
A - CFRP 2	644	95,800.00	1.00	1.74	230,000	0.370	85,126.44	95,800.00	12.54
B - CFRP 1	230	25,000.00	1.00	1.76	234,000	0.131	30,579.55	25,000.00	-18.25
B - CFRP 2	300	33,000.00	1.00	1.79	230,000	0.166	38,180.00	33,000.00	-13.57
C - CFRP 1	339	92,390.00	0.53	1.79	240,000	0.189	45,452.51	48,966.70	7.73
C - CFRP 2	678	111,695.00	0.89	1.79	240,000	0.379	90,905.03	99,408.55	9.35
C - CFRP 3	1,356	114,453.00	1.85	1.79	240,000	0.758	181,810.06	211,738.05	16.46



- Son ürün kompozit lifli polimer
- Sahada uygulanmış ürünün özelliklerinin teyidi
- ACI 440.2R-08
- Techel, DowAksa, Fyfe, Sika, Mapei, S&P gibi firmalar ya kompozit özellik beyan ediyorlar ya da %20 kuru özellikleri azaltıyorlar.

Dharahara Kulesi, Katmandu-Nepal

1832'de Nepal'in ilk başbakanınca yaptırılan ve Bhimsen Kulesi olarak da bilinen bu kule, 200 basamaklı merdivenle çıkılan seyir balkonundaki manzara dolayısıyla turistlerin rağbet ettiği yerler arasındaydı.



Kaynak: http://www.bbc.com/turkce/haberler/2015/04/15_0427_nep_al_unesco_dunya_mirasi

Güçlendirilmiş yığma duvarların yerinde testi



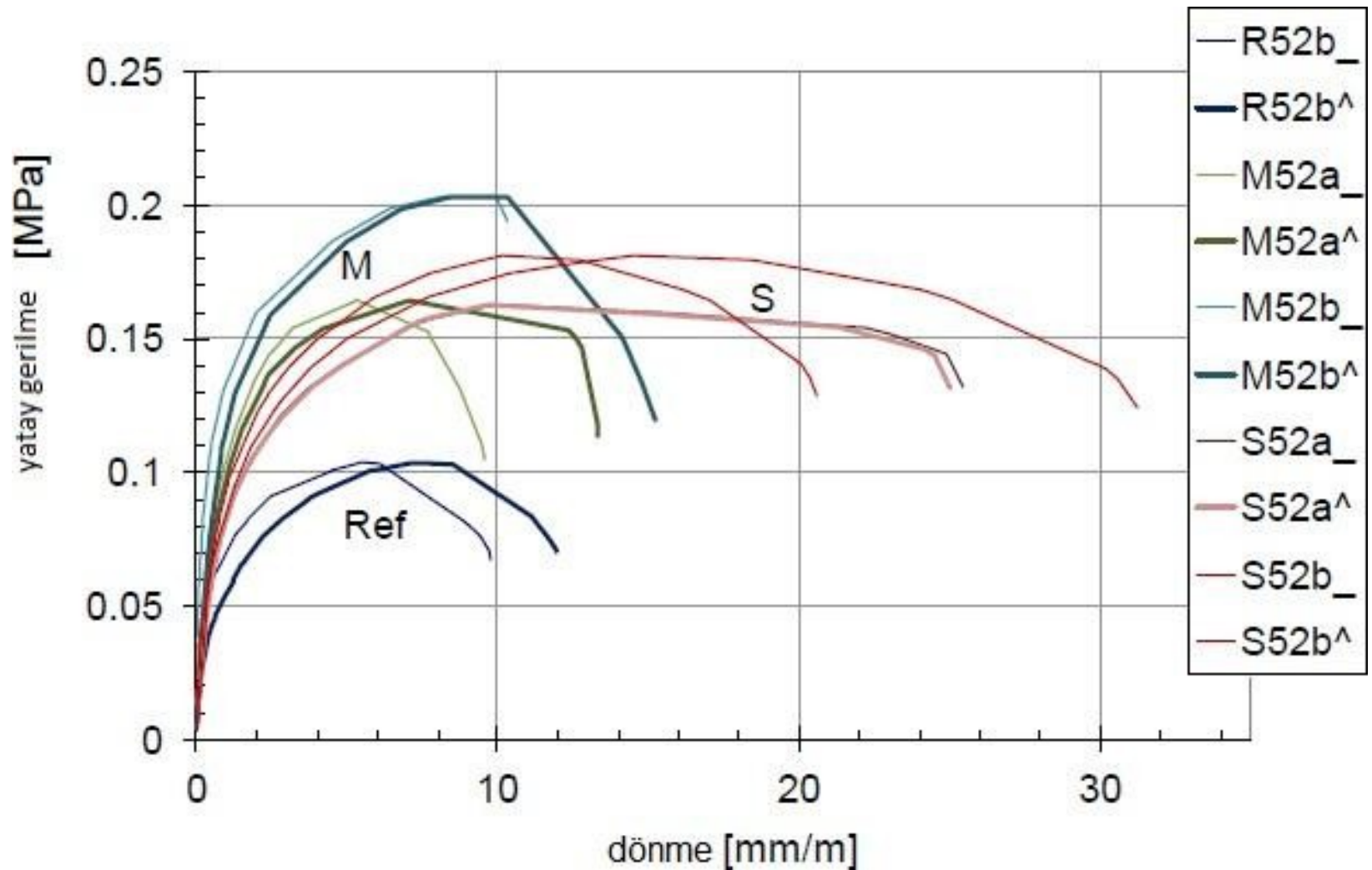
Güçlendirilmemiş duvar



Yatay karbon lifli polimer şeritler ile güçlendirilmiş duvar



Tekstil hasır donatılı harç ile güçlendirilmiş duvar



IN-SITU TESTED BRICK MASONRY WALLS STRENGTHTED WITH HORIZONTAL CARBON STRIPS AND FRP MESH. Mojca Jarc Simoncic, Samo Gostič, R. Žarnić, 2013

Uygulama
söylenedik?

kalite kontrol
süreci

hakkında ne

Uygulamanın doğru yapılıp yapılmadığı ve malzeme kalite kontrolü için çekme (TS EN 2561 ASTMD-3039) ve yapışma deneyleri (TS EN 1542 ASTM D-4541) veya önem kazanıyor: çok



Aşağıdaki hasarlardan hangileri lifli polimer ile önlenebilirdi ve nasıl?

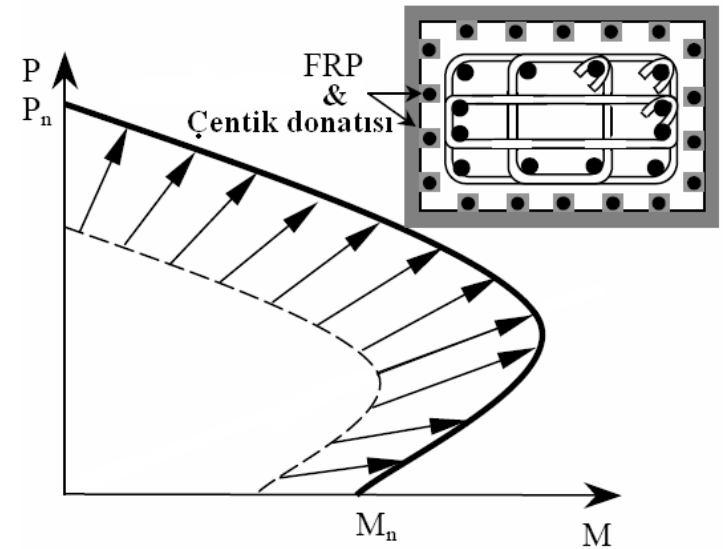


Kolonda boyuna donatı burkulması ve sıyrılması, kesme çatlağı oluşması



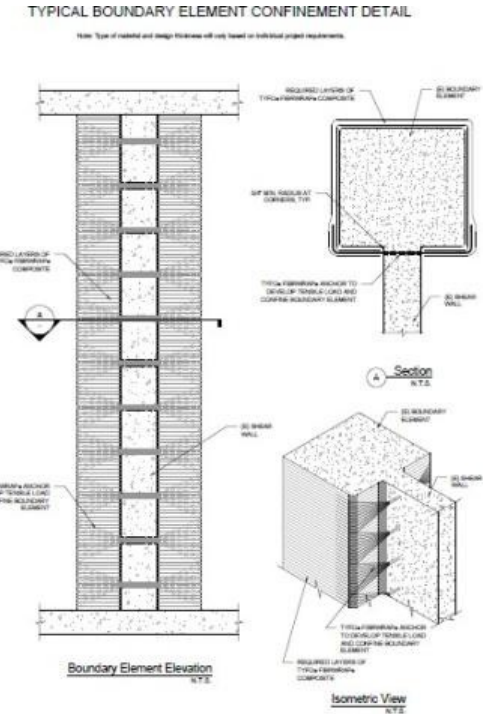


Kolonda eğilme hasarı





Perdelerde donatı burkulması, eğilme hasarı, kesme çatlağı



Kirişlerde kesme çatlağı, boyuna mesnet donatısının burkulması



Kaynak: Deprem Sonrasında Betonarme Binaların Hasar Sınıflandırılmasında Kullanılacak Yeni AFAD Hasar Tespit Formları , Beyza TAŐKIN

<http://www.nagaoka-ct.ac.jp/ci/ibayashi/index-e.html>

Türkiye’de ya da Türk işverenler için şimdiye kadar bitir’len birkaç projeden bahseder misiniz?

Ukrayna’da Bir Stadyum, ~15,000 m² LP, 2009



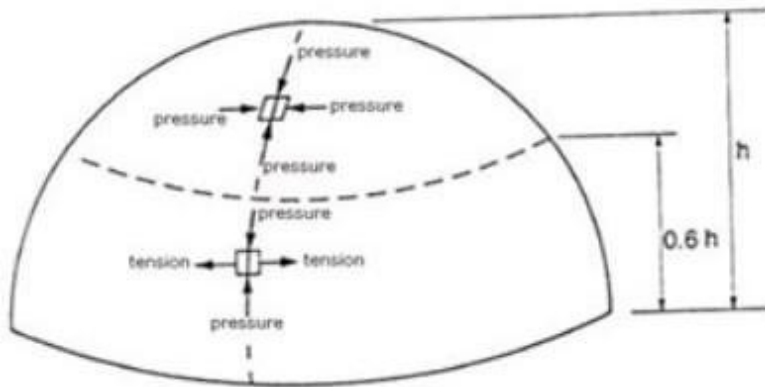
Trabzon HES, 2012



İzmir Köprü Güçlendirmesi, 1997



Cenab-ı Ahmet Paşa Camii, Ankara, 2011



Yapısal restorasyon mühendisliği : İlkeleri ve uygulama örnekleri, Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK

Ostim Ankara Metrosu Viyadüğü, Ankara, 2004

