



DOWAKSA

**KARBON LİFLİ POLİMER KOMPOZİTLER İLE
BETONARME YAPILARIN GÜÇLENDİRİLMESİ**

S3[®]

**GÜÇLENDİRME
ÇÖZÜMLERİ**

S3 Güçlendirme Çözümleri
www.s3.com.tr info@s3.com.tr
0216 594 50 73

Tatlısu Mh. Şenol Güneş Bulvarı No:2/A K: 8 D:42 Şerifali, Ümraniye / İstanbul

Tüm Hakları Saklıdır ©
2019

Bu kitap veya bir kısmı S3 veya DOWAKSA'nın izni olmadan
çoğaltılamaz ve kullanılamaz.

Türkiye'de basılmıştır.

Birinci Baskı, 2019

ISBN



1

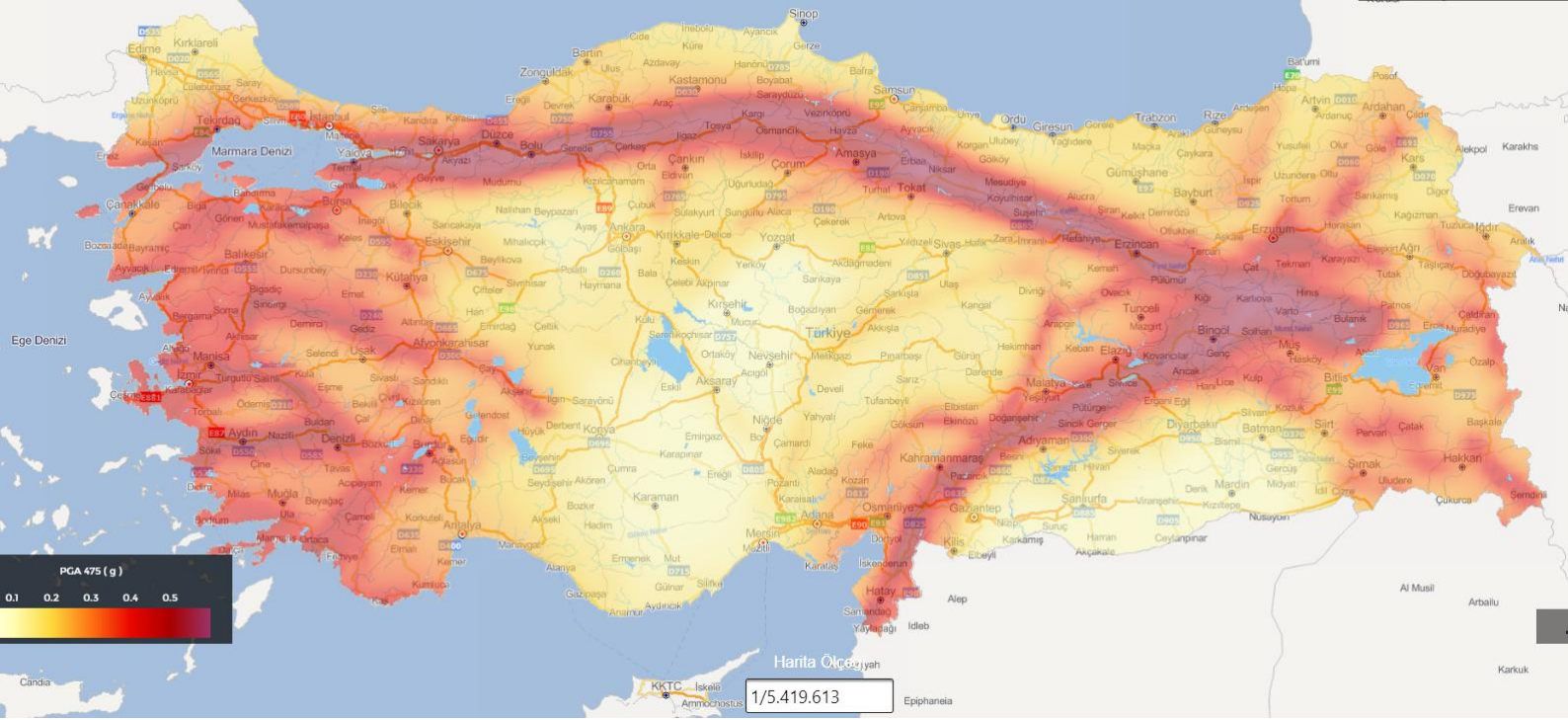
DOWAKSA

Akrilik elyaf üretiminde dünya lideri konumunda bulunan Aksa ile dünyanın önde gelen teknoloji ve inovasyon şirketlerinden Dow Kimya Sanayii ortak girişimiyle DowAksa kurulmuştur. DowAksa hızlı gelişip yayılmakta olan karbon fiber bazlı kompozitler sektöründe, karbon fiber ve türevi ürünleri geliştirmek, üretmek ve tüm dünyaya pazarlamak üzere yola çıkmıştır.

2 DEPREMLER VE YAPILAR



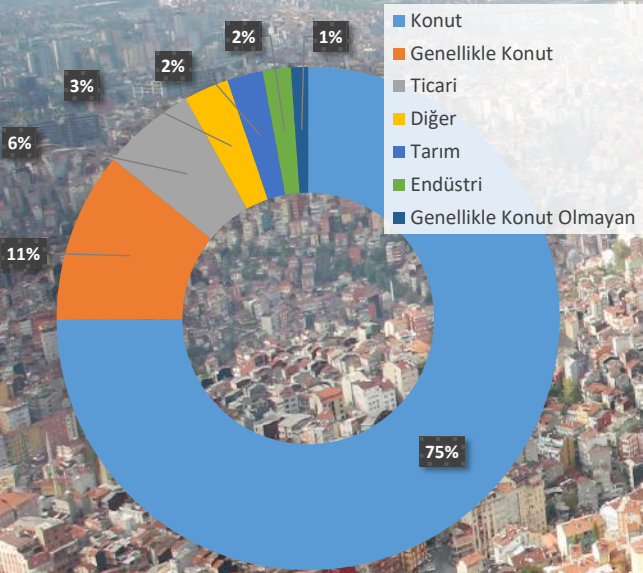
TÜRKİYENİN DEPREMSELLİĞİ



Türkiye dünyanın en aktif deprem kuşaklarından birinde yer almaktadır. Ülke topraklarının %'95'i, nüfusunun ise %99'u deprem bölgelerinde bulunmaktadır. Türkiye nüfusunun ve yüzölçümlerinin deprem bölgelerine göre dağılımı aşağıda yer alan tabloda verilmiştir. Bu tablodan da görülebileceği gibi ülke nüfusunun neredeyse tamamı deprem gerçeği ile yaşamak zorundadır. Gelecek depremlerde can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi için ülkemizi depreme hazırlıklı hale getirmeliyiz.

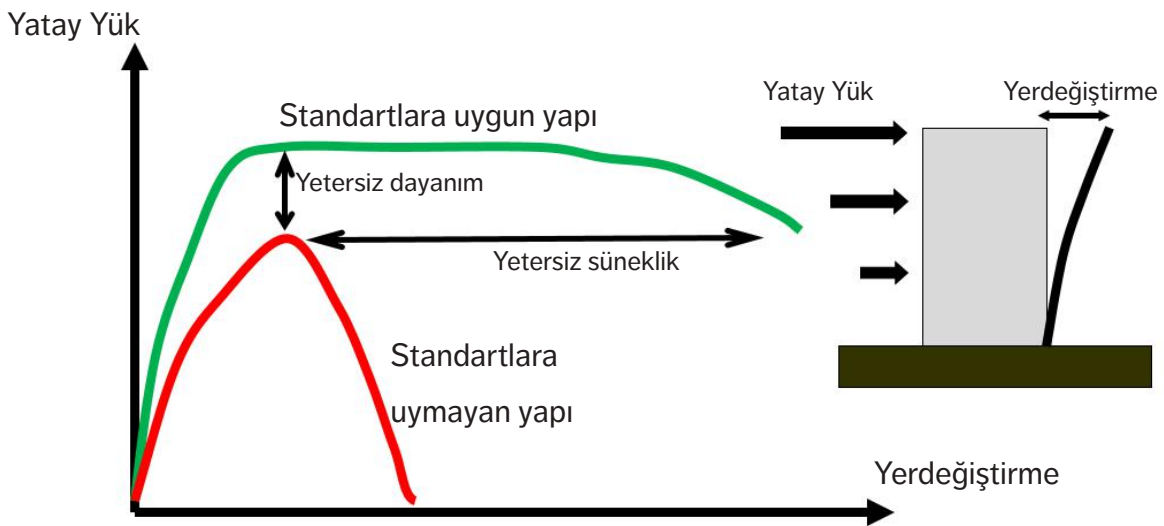
TÜRKİYE'NİN YAPI STOĞU

Ülkemizi depremlere hazırlıklı hale getirebilmenin en gerçekçi yolu yapılarımızı depremlere karşı güvenli hale getirmekten geçmektedir. 2000 yılında yapılan yapı sayımı sonucuna göre Türkiye'de 7,838,675 adet bina bulunmaktadır. Buna ilave olarak son 19 yıl içerisinde yaklaşık 1,500,000 bina ruhsatı alınmıştır. Görüldüğü üzere yapı stoğunun yaklaşık %65'i 1970-2000 yılları arasında inşa edilmiştir. Bu binaların büyük bir kısmı deprem açısından riskler içermektedir. Bu risklerin azaltılması için ülkemiz yapı stoğu öncelikli olarak depreme dayanıklı hale getirilmelidir.





YAPISAL KUSURLAR



Yukarıda verilen grafikte yeşil eğri ile gösterilen bina standartlara uygun olarak inşa edilmiş, kırmızı eğri ile gösterilen bina ise standartlara uygun olmayarak inşa edilmiştir. Deprem yükleri altında standartlara uygun binalar yatay yük kapasitelerini kaybetmeden büyük yerdeğiştirmeler yaparken uygun olmayan binalar fazla yerdeğiştirme yapamadan yatay yük kapasitelerini kaybederler. Bir başka deyişle, standartlara uygun olan binalar deprem sırasında ayakta kalırken uygun olmayan binalarda kısmen ya da tamamen göçmeler yaşanarak can ve mal kayıpları olmaktadır. Bu kayıpların en önemli nedeni çeşitli imalat ya da tasarım hataları nedeni ile yapıların yetersiz dayanım veya yetersiz sünekliğe sahip olmasıdır. Bu olumsuz sonuçlara sebep olan bazı yapım hataları aşağıda gösterilmiştir.



YETERSİZ KESME
DAYANIMI



BOYUNA
DONATILARIN
SIYRILMASI



BÜYÜK ETRİYE
ARALIKLARI VE
UYGUN OLMAYAN
KANCA DETAYLARI



DÜŞÜK
DAYANIMLI
BETON



KOLON KIRIŞ
BİRLESİM
BÖLGELERİNDE
ETRIYE
KULLANILMAMASI



KISA
KOLONLAR

2011/12/26



UYGUN
YAPILMAYAN
ANKRAJ DETAYLARI

2011/12/27



3

**LİFLİ POLİMER
KOMPOZİTLER İLE
GÜÇLENDİRME**

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007) Kısaltma Listesi

A_c	: Eleman kesit alanı
A_g	: Kolon brüt kesit alanı
A_{st}	: Boyuna donatıların toplam kesit alanı
A_o	: Enine donatı kesit alanı
b_w	: Kesit genişliği
d	: Kesit etkin derinliği
d	: Kesit faydalı derinliği
D	: Kolon çapı
E_f	: LP kumaş elastisite modülü
E_f	: LP'nin elastisite modülü
f_{cc}	: Sargılı beton basınç dayanımı
f_{cm}	: Mevcut beton basınç dayanımı
f_{ctm}	: Mevcut betonun çekme dayanımı
f_l	: Yanal sargı basıncı
f_{ym}	: Mevcut boyuna donatı akma dayanımı
f_{ywm}	: Enine donatıların mevcut akma dayanımı
n_f	: LP sargı kat sayısı
N	: Kesit üzerindeki aksenal yük
n	: Kesme kuvvetine paralel doğrultuda enine donatı kol sayısı
$P_{n,hef}$: Hedeflenen aksenal yük kapasitesi
r_c	: Yuvarlatma yarıçapı
s_f	: LP şerit aralığı
s	: Enine donatıların aralığı
t_f	: 1 kat LP kalınlığı
V_c	: Kesme kapasitesine betonun katkısı
V_{cr}	: Betonun ilk çatlamasına karşı gelen kesme kuvveti
V_e	: Kesme kuvveti talebi
V_f	: LP sargılamanın kesme kapasitesine katkısı
V_{maks}	: Maksimum kesit kesme kapasitesi
V_w	: Kesme kapasitesine enine donatının katkısı
w_f	: LP şerit genişliği
ε_f	: LP etkin şekildeğiştirme
ε_{fu}	: LP kopma uzaması
κ_a	: Kesit etkinlik faktörü
ρ_f	: LP sargının hacimsel oranı

ACI 440.2R (2008) Kısaltma Listesi

A_c	: En kesitteki beton alanı
A_e	: Etkili olarak sargılanmış en kesit alanı
A_f	: LP kesit alanı
A_g	: Brüt en kesit alanı
A_s	: Çekme donatısı alanı
A_v	: Enine donatıların toplam kesit alanı
b	: Kiriş genişliği
C_E	: Çevresel etki faktörü
E_2	: Sargılı beton gerilme- şekildeğiştirme eğrisinin ikinci kolunun eğimini
E_s	: Donatı çeliğinin elastisite modülü
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_f	: LP elastisite modülü
d	: Kesit etkin derinliği
d_{fv}	: LP üst kotu ile kesit çekme donatıları arasındaki mesafe
D	: Eşdeğer daire en kesit çapı

f'_c	: Sargısız beton basınç dayanımı
f'_{cc}	: Sargılı beton basınç dayanımı
$f_{c,s}$: Servis yükü altında betondaki gerilme
f_f	: LP üzerindeki gerilme
$f_{f,s}$: Sünme, yorulma etkileri altında LP üzerindeki gerilme
f_{fu}	: Tasarıma esas LP çekme dayanımı
f_l	: LP sargı tarafından oluşturulan enine sargı basıncı
f_s	: Çelik donatı üzerindeki gerilme
$f_{s,s}$: Servis yükü altında çelik çekme donatısındaki gerilme
f_y	: Çelik donatının akma dayanımı
h	: Kesit yüksekliği
I_{cr}	: Çatlamış duruma ait atalet momenti
k	: Tarafsız eksen ile faydalı derinlik arasındaki ilişki
k_1	: Beton basınç dayanımı düzeltme katsayısı
k_2	: Sargılama şekli düzeltme katsayısı
L_e	: Aktif yapışma boyu
M_g	: Düşey yüklerden oluşan moment
n	: LP sargı kat adeti
n	: LP kat adeti
r_c	: Köşe yuvarlatma yarıçapı
s_f	: LP şerit aralığı
t_f	: Bir kat LP kalınlığı
V_c	: Kesme kapasitesine betonun katkısı
V_s	: Kesme kapasitesine enine donatının katkısı
V_u	: Kesme kuvveti talebi
V_f	: LP sargılamanın kesme kapasitesine katkısı
y	: Tarafsız eksen derinliği
w_f	: LP şerit genişliği
α_1	: Dikdörtgen basınç bloğu dönüştürme parametresi
β_1	: Dikdörtgen basınç bloğu dönüştürme parametresi
ϵ_{fu}	: Çevresel etkiler gözetenilerek hesaplanan LP kopma şekildeğiştirilmesi
ϵ_{fe}	: LP etkin şekildeğiştirilmesi
ϵ_{fu}	: LP kopma uzaması tasarım değeri
ϵ^*_{fu}	: LP kopma uzaması
ϵ_{ccu}	: Sargılı betonun en büyük şekildeğiştirilmesi
ϵ'_c	: Sargısız beton basınç dayanımına karşı gelen şekildeğiştirme
ϵ'_t	: Sargılı beton gerilme- şekildeğiştirme eğrisinin birinci ve ikinci kolu arasındaki dönüm noktasına karşılık gelen şekildeğiştirme
ϵ'_c	: Maksimum gerilmeye karşı gelen beton şekildeğiştirilmesi
ϵ_f	: LP şekildeğiştirilmesi
ϵ_c	: Betondaki şekildeğiştirme
ϵ_s	: Çelik donatıdaki şekildeğiştirme
ϕ	: Dayanım azaltma katsayısı
$\phi P_{n^{*}hedef}$: Hedeflenen aksenal yük kapasitesi
ϕM_n	: Güçlendirilmiş kesite ait eğilme momenti kapasitesi
κ_a	: Sargılama etkinlik katsayısı
ρ_g	: Boyuna donatı oranı
ρ_s	: Çekme donatısı oranı
Ψ_f	: LP için ilave güvenlik faktörü



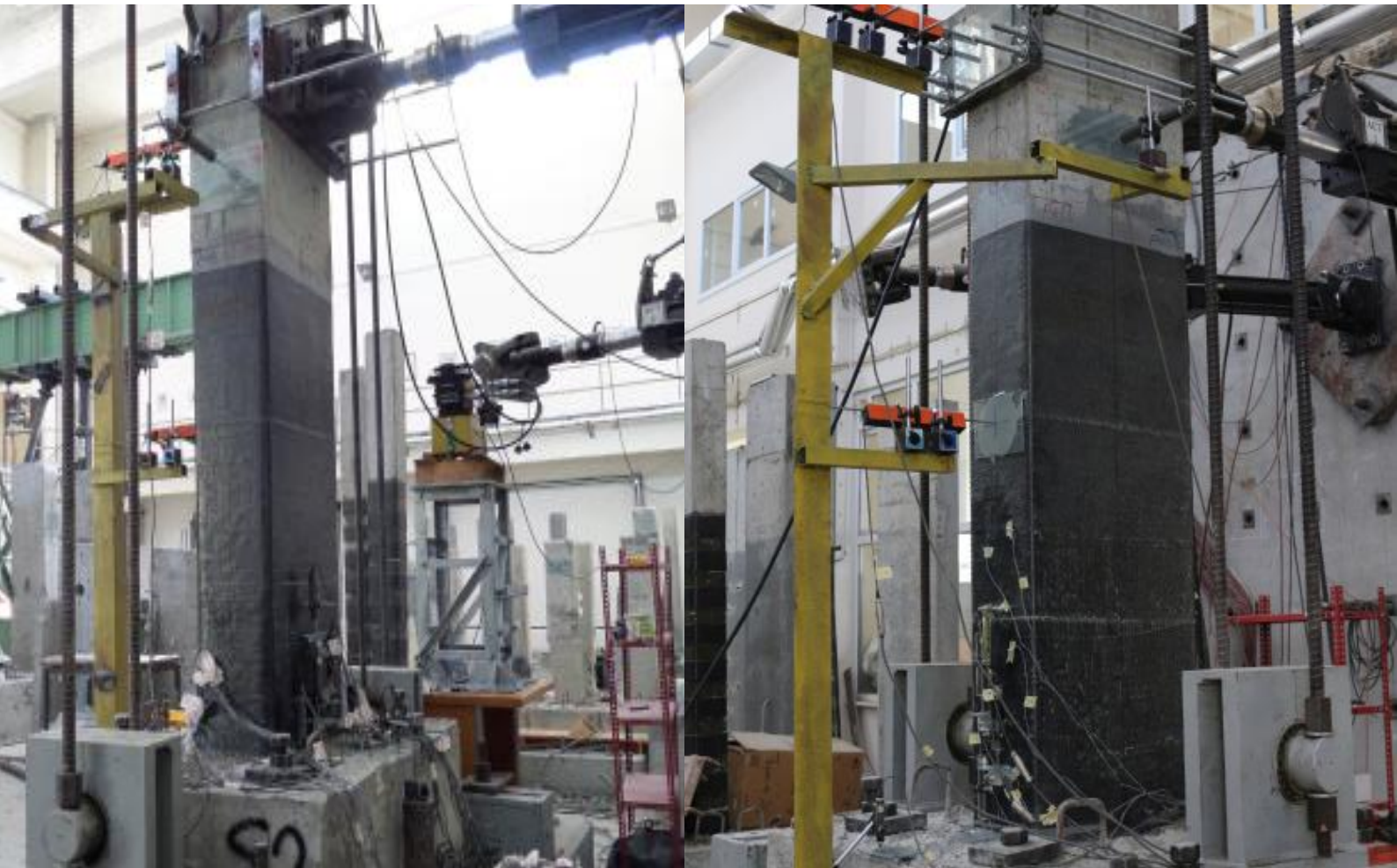
YAPILARIN GÜÇLENDİRİLMESİNDE LİFLİ POLİMER KOMPOZİTLER

Yapı malzemesi olarak ilk olarak ilk kez II. Dünya Savaşı sırasında kullanılmış olan lifli polimer (LP) kompozitlerin (Mirmiran vd., 2003) inşaat mühendisliğinin farklı alanlarında kullanımı yüksek dayanım, düşük özağırlık, yüksek dayanıklılık, ve kolay uygulanabilir olma gibi avantajları nedeni ile günden güne artmaktadır. Otomotiv ve havacılık gibi farklı sektörlerde daha uzun süreden beri yaygın olarak kullanılmakta olan LP kompozitlerin en önemli avantajlarından bir diğeri de korozyona karşı direncidir. Günümüzde genel olarak karbon, cam, aramid ve bazalt LP kompozitler yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı mekanik ve fiziksel özelliklere ve maliyetlere sahip olan bu malzemelerden uygulamanın durumuna göre herhangi birinin kullanımı diğerlerine göre daha avantajlı olabilmektedir.

Bu malzemelerin betonarme elemanların donatısı olarak ya da betonarme elemanların güçlendirmesine yönelik olarak kullanılması üzerine araştırma çalışmaları ilk kez Fardis ve Khalili (1982) tarafından gerçekleştirilmiş, daha sonra Ritchie vd. (1991), An vd. (1991) ve Triantafillou ve Plevris (1992) bu konuda ilk çalışan araştırmacılar arasında olmuşlardır.

Ülkemizde ise bu konudaki ilk araştırma çalışmaları 1999-2000 yıllarında İstanbul Teknik Üniversitesi'nde başlamış, bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar İlki ve Kumbasar (2001, 2002, 2003) ve İlki vd. (2004) tarafından özetlenmiştir. Daha sonraki yıllarda LP ile güçlendirmeye yönelik çalışmalar hem İstanbul Teknik Üniversite'sinde, hem de, başta Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Boğaziçi Üniversitesi ve Kocaeli Üniversitesi olmak üzere, ülkemizdeki diğer araştırma kurumlarında devam etmiştir.

Dünyanın farklı ülkelerinde gerçekleştirilen çok sayıda deneysel ve teorik çalışma sonucunda LP malzemelerin güçlendirme alanında kullanımına yönelik çeşitli standart, yönetmelik ve el kitapları hazırlanmıştır. Bu kaynakların listesine ekte yer verilmiştir. Yurt dışında yapılmış olan çalışmalar ile birlikte, ülkemizde gerçekleştirilmiş olan çalışmalar dikkate alınarak, 2007 yılında ülkemizde yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'de (DBYBHY, 2007) de LP malzemeler kullanılarak güçlendirme konusuna yer verilmiştir. Bu bölüm 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde de yerini korumuştur.



LP kompozitlerin güçlendirme uygulamalarında kullanılması iki farklı ana sınıfa ayrılabilir. Bunlar temas kritik ve yapışma kritik uygulamalardır. Temas kritik uygulamalar yapı elemanının tüm çevresinin sarılmasını içeren uygulamalardır. Bu nedenle temas kritik uygulamalar için LP kompozitlerin uygulanacağı beton yüzeyin dayanımı konusunda herhangi bir sınırlama getirilmemiştir. Temas kritik uygulamalara, kolonların veya kirişlerin dört kenarlarından sargılanarak kesme etkilerine karşı güçlendirilmesi ya da gene benzer şekilde dört kenarlarından sargılanarak sünekliklerinin, basınç dayanımlarının ya da eğilme kapasitelerinin arttırılması örnekleri verilebilir. Yapışma kritik uygulamaların performansı ise LP kompozit ve yapıştırıcı özellikleri ile birlikte LP kompozitin yapışacağı beton yüzeyine de bağlıdır. Bu tür uygulamalarda ACI-440 (2017) LP kompozitin yapışacağı beton yüzeyin basınç dayanımının en az 17 MPa olması gerektiği şartını getirmiştir.

LP kompozitler ile yapılacak güçlendirmelerde, uygulamanın yapılacağı yapı veya yapı elemanının belli bir minimum dayanıma sahip olması gerekmektedir. Kalıcı sabit ve hareketli yükler altında güvenliği sağlamak üzere LP kompozitlerden yararlanmak uygun değildir. Çünkü yangın, kaza, vandalizm veya başka bir sebeple LP kompozitler zarar görürse, bu durum yapı sisteminin göçmesine neden olabilir. Bir başka ifade ile LP kompozitler ile güçlendirme ancak işletme yükleri altında güvenli bir yapıda, seyrek ortaya çıkabilecek (1.4G+1.6Q veya G+Q+E etkileri gibi) aşırı yükleme durumlarında güvenlik sağlamak için kullanılabilir. Yangın riski yüksek olan durumlarda LP kompozit ve yapıştırıcı, yangına karşı yapılabilecek bir yalıtım ile korunmalıdır. Burada kritik olan malzemenin lifler değil, kompoziti oluşturmak üzere lifleri birbirine yapıştıran ya da lifleri beton yüzeye yapıştıran reçineler (vinilester, polyester ve epoksi gibi) olduğu unutulmamalıdır.

Güçlendirme uygulamasında kullanılacak LP türüne karar verilirken, çevresel etkiler (asidik, alkali ortam, termal etkiler, elektriksel iletkenlik), yükleme özellikleri (darbe etkisi, yüksek kalıcı yükler altında sünme etkisi, tekrarlı yükler altında yorulma etkisi), dayanıklılık gereksinimleri (ıslanma-kuruma çevrimleri, donma-çözülme etkileri, ultraviyole ışınlarına dayanıklılık, yüksek sıcaklık etkileri, tuzlu su etkileri) dikkate alınmalıdır.



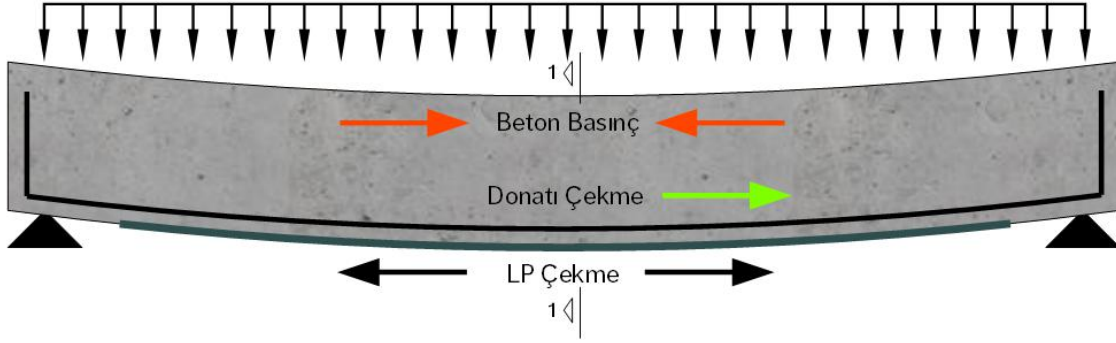


LİFLİ POLİMER KOMPOZİTLER İLE EĞİLME ETKİLERİNE KARŞI GÜÇLENDİRME

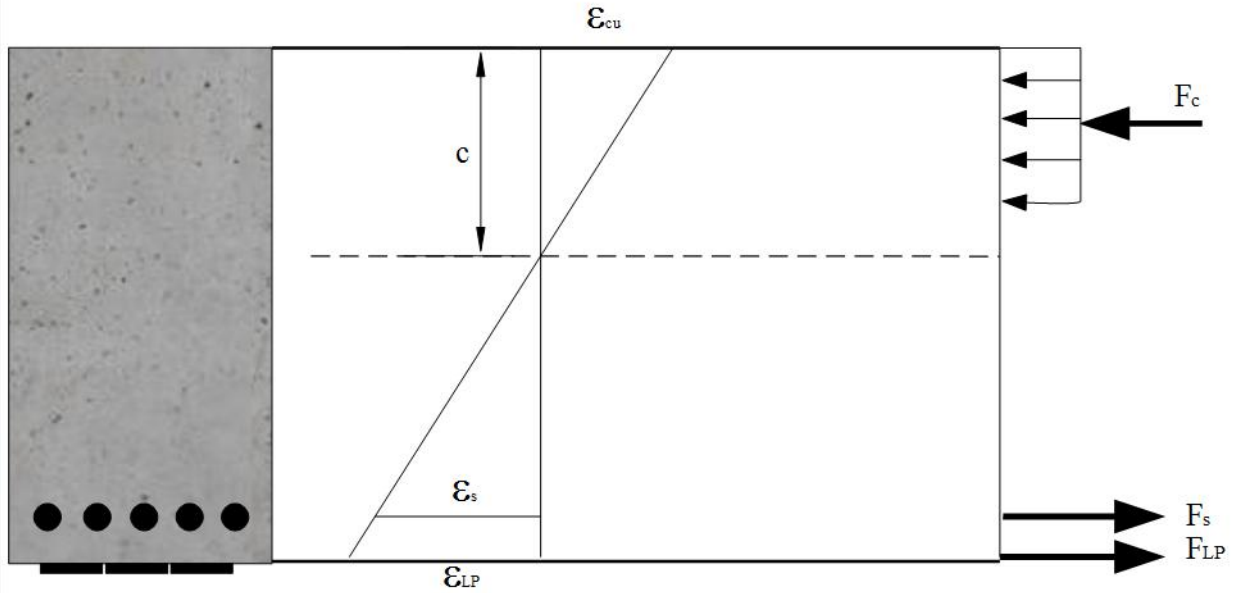
Lifler eleman boyuna doğrultusuna paralel olacak şekilde, elemanın çekme yüzüne LP kompozit donatı (levha veya kumaş) yapıştırılarak, elemanın eğilme dayanımı arttırılabilir. Betonarme kirişlerin düşey yükler altında (depremsiz yükler) eğilme etkilerine karşı güçlendirilmesi ACI-440.2R, 2017 standardında sunulmuştur. Bu standart yöntemin uygulanabilmesi için iki farklı sınırlama söz konusudur. Bunlar, yapının işletme yükleri altında yeterli güvenliğe sahip olması ve LP kompozit yapışacak yüzeyde beton basınç dayanımının en az 17 MPa olması gereğidir. Betonarme kirişler için süneklik koşulları ve işletme yükleri altında sağlanması gerekli kullanılabilirlik şartları dikkate alındığında, eğilme etkilerine karşı güçlendirmede %40 dayanım artışı uygun bir üst sınır olarak düşünülebilir (ACI-440.2R, 2017).

Eğilme etkilerine karşı güçlendirme için, özellikle deprem durumunda karşılaşılabilecek yön değiştiren tekrarlı etkilere karşı güçlendirme konusunda henüz yönetmeliklerde yer alacak düzeyde bilgi birikimi bulunmamaktadır. Bu konudaki en önemli zorluklar; LP kompozitlerin basınç etkileri altındaki davranışlarındaki belirsizlik ve LP kompozit donatıların mesnet kesitlerine uygun şekilde ankrajında yaşanan zorluklardır.

Aşağıda eğilme etkileri altındaki basit mesnetli bir betonarme kirişin deforme olmuş şekli verilmiştir.



Açıklık Kesitinde (1-1 Kesiti) Oluşan Şekildeğiştirme ve Gerilme Durumları



LP Kompozitler ile Eğilme Etkilerine Karşı Güçlendirilmiş Kirişlerde Yaşanabilecek Olası Göçme Modları

LP kompozitler ile eğilme güçlendirilmesi tasarımı yapılırken olası göçme modları aşağıdaki kabul sırası ile kullanılabilir.

- 1) Basınç bölgesindeki beton ezilmeden çekme bölgesine yapıştırılan LP beton yüzeyinden ayrılır.
- 2) Basınç bölgesindeki beton ezilmeden çekme bölgesine yapıştırılan LP kopar.
- 3) Basınç bölgesindeki beton çekme donatısı akma şekildeğiştirmesine ulaştıktan sonra ezilir.
- 4) Basınç bölgesindeki beton çekme donatısı akma şekildeğiştirmesine ulaşmadan ezilir.

ACI 440.2R 2017'ye göre Eğilme Güçlendirme Tasarımı

Adım 1:

Bu adımda kirişin güçlendirilmemiş moment kapasitesi hesaplanacaktır.

Adım 2:

Kirişe etkiyecek yeni tasarım yüklerinin belirlenmesi ve kirişin mevcut hali ile yeni servis yükleri altındaki güvenliğinin kontrol edilmesidir.

$$\phi R_n \geq (1.1G + 0.75Q)_{yeni}$$

Ayrıca, mevcut beton basınç dayanımı 17 MPa'dan büyük olmalıdır.

Adım 3:

Bu adımda güçlendirme ön tasarımı yapılmalı ve güçlendirmede kullanılacak LP malzemenin tasarım değerlerinin belirlenmelidir.

Tasarımda kullanılacak lifli polimer kopma uzaması ve dayanımı ACI 440.2R'de tanımlanan faktörler ile azaltılmalıdır. Bu faktörler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Ortam		Çevresel etki azaltma faktörü
İç ortam	Karbon	0.95
	Cam	0.75
	Aramid	0.85
Dış ortam (köprüler, köprü ayakları gibi)	Karbon	0.85
	Cam	0.65
	Aramid	0.75
Agresif ortam (kimya tesisleri gibi)	Karbon	0.85
	Cam	0.5
	Aramid	0.7

Adım 4:

Mevcut kiriş özellikleri belirlenmelidir. Bu adımda dikdörtgen basınç bloğu dönüştürme parametresi (β_1), donatı çeliğinin elastisite modülü (E_s), betonun elastisite modülü (E_c) ve çekme donatısı oranı (ρ_s) hesaplanmıştır.

$$\rho_s = \frac{A_s}{bd}$$

A_s : Çekme donatısı alanı

b : Kiriş genişliği

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c}$$

ACI 318M, 2014

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = \begin{cases} 0.85 & 17 \text{ MPa} \leq f'_c \leq 28 \text{ MPa} \\ 0.85 - 0.05 \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right) \geq 0.65 & f'_c > 28 \text{ MPa} \end{cases}$$

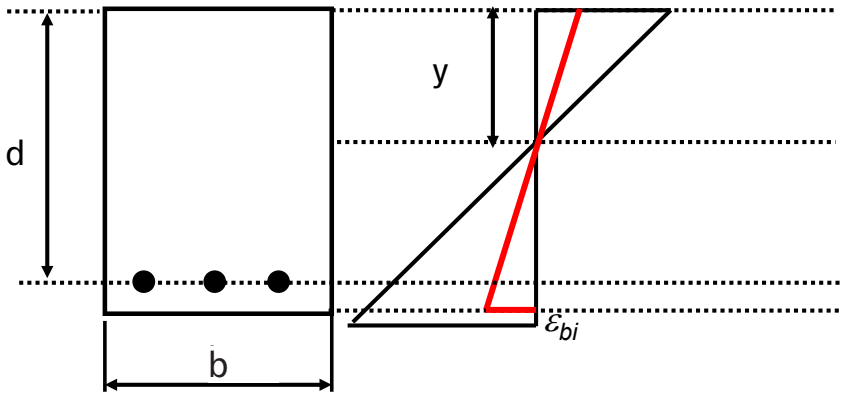
$$17 \text{ MPa} \leq f'_c \leq 28 \text{ MPa}$$

f'_c : Beton basınç dayanımı

Adım 5:

Ön şekildeğiştirme (ε_{bi}) değerinin hesaplanması

Bu değer güçlendirilecek betonarme kirişin LP yapıştırılacak kesitindeki sabit yükler altındaki ortalama uzama şekildeğiştirmesidir.



Öncelikle, hesaplarda kesit çatlamış kabul edilerek tarafsız eksen derinliği (y) ve çatlamış duruma ait atalet momenti (I_{cr}) hesaplanır. Dönüştürülmüş kesit denklemleri yardımıyla tarafsız eksenin kesit faydalı derinliğine (d) oranı (k) aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$k^2 + 2 \frac{E_s}{E_c} \rho_s k - 2 \frac{E_s}{E_c} \rho_s = 0$$

$$y = kd$$

LP yapıştırılacak katmandaki önşekildeğiştirme değeri

$$\varepsilon_{bi} = \frac{M_g (h - y)}{I_{cr} E_c}$$

M_g sadece düşey yüklerden oluşan moment, h kesit yüksekliği

Çatlamış kesit atalet momenti

$$I_{cr} = \frac{b_w y^3}{3} + \frac{E_s}{E_c} A_s (d - y)^2$$

Adım 6:

Göçme modunun kabulü:

İlk kabul edilen göçme modu:

Basınç bölgesindeki beton ezilmeden çekme bölgesine yapıştırılan LP yüzeyden ayrılır.

Adım 7:

Ayrılma şekildeğiştirmesinin hesaplanması:

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

n : LP kat adeti

E_f : LP elastisite modülü (N/mm²)

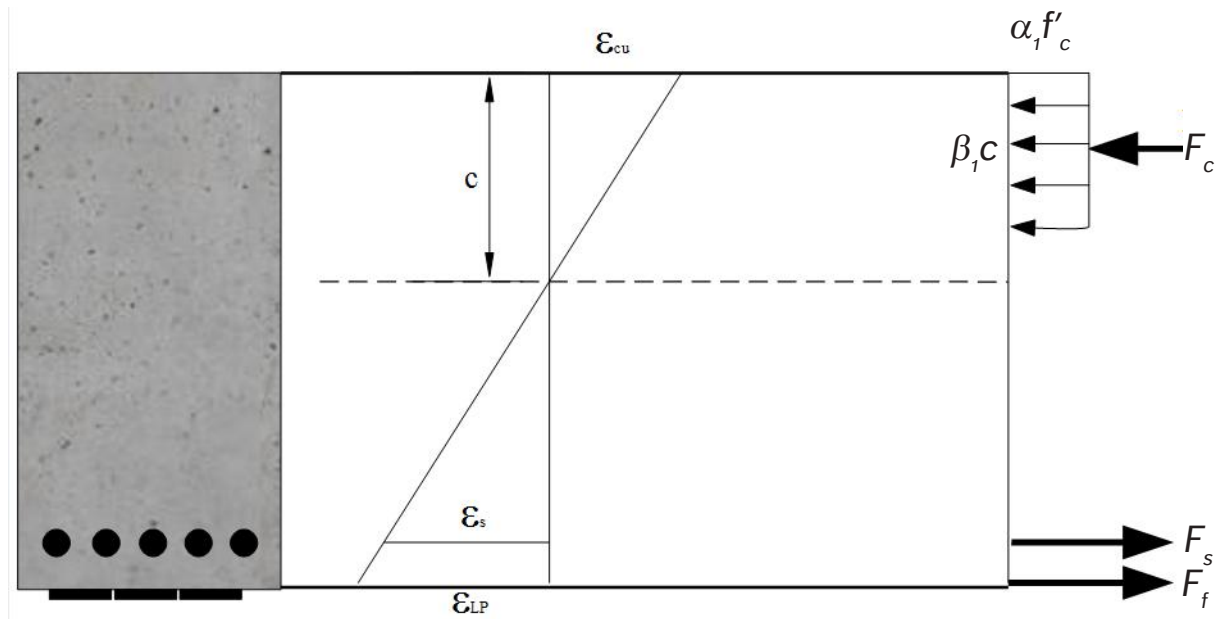
t_f : 1 kat LP kalınlığı (mm)

ε_{fu} : Çevresel etkiler gözetenilerek hesaplanan LP kopma şekildeğiştirmesi

(ACI-440.2R Tablo 9.1)

Adım 8:

Güçlendirilmiş duruma ait tarafsız eksen derinliğinin hesaplanması ve şekildeğiştirme değerlerinin hesaplanmasıdır.



Bir tarafsız eksen derinliği (c) seçelim;

Lifli polimer şekildeğiştirmesi,

$$\varepsilon_f = \varepsilon_{fd}$$

Betondaki şekildeğiştirme,

$$\varepsilon_c = (\varepsilon_f + \varepsilon_{bi}) \frac{c}{d_f - c} \leq 0.003$$

Eğer betondaki şekildeğiştirme 0.003'ten büyük ise göçme modu betonun ezilmesi kabul edilerek devam edilmelidir.

Çelik donatıdaki şekildeğiştirme,

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_f + \varepsilon_{bi}) \frac{(d - c)}{(d_f - c)}$$

d_f : LP donatıların faydalı derinliği

Adım 9:

Çelik donatı ve LP üzerindeki gerilmelerin belirlenmesi;

Çelik donatıdaki üzerindeki gerilme,

$$f_s = \varepsilon_s E_s \leq f_y$$

f_s : Çelik donatı üzerindeki gerilme

LP üzerindeki gerilme,

f_y : Çelik donatının akma dayanımı

$$f_f = \varepsilon_f E_f$$

f_f : LP donatı üzerindeki gerilme

Adım 10:

Yatay kuvvet dengesi ile tarafsız eksen derinliği kabulünün kontrolü

$$c = \frac{A_s f_s + A_f f_f}{\alpha_1 f_c' \beta_1 b}$$

Bu denklemden elde edilen tarafsız eksen derinliği ile 8. adımda kabul edilen tarafsız eksen derinliği aynı olana kadar tarafsız eksen değiştirilerek iterasyon yapılmalıdır.

Bu denklemde A_f kullanılan LP kesit alanı, b kesit genişliği, β_1 ve α_1 basınç bölgesindeki betonun davranışını dikdörtgen bloğa dönüştürme katsayılarıdır. Betondaki en büyük şekildeğiştirmenin 0.003 olması durumunda $\alpha_1=0.85$ olarak alınabilir. β_1 'in değerinin ise beton basınç dayanımına bağlı değişimi 4. adımda verilmişti. Betondaki en büyük şekildeğiştirmenin 0.003'ten küçük olması durumunda ise bu katsayılar aşağdaki denklemler yardımıyla hesaplanmalıdır.

$$\beta_1 = \frac{4 \cdot \varepsilon'_c - \varepsilon_c}{6 \cdot \varepsilon'_c - 2 \cdot \varepsilon_c} \quad \alpha_1 = \frac{3 \varepsilon'_c \cdot \varepsilon_c - \varepsilon_c^2}{3 \cdot \beta_1 \cdot \varepsilon_c^2}$$

Bu denklemlerde kullanılan ε'_c betondaki maksimum gerilmeye karşı gelen şekildeğiştirme-
sidir. Aşağıdaki denklemden hesaplanabilir.

$$\varepsilon'_c = \frac{1.7 f_c}{E_c}$$

Adım 11:

Güçlendirilmiş kesitin eğilme momenti kapasitesinin hesaplanmasıdır.

Kesit bileşke beton basınç kuvveti etkime noktası etrafında moment dengesi yazılırsa;

$$\phi M_n = \phi \left(A_s f_y \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + \psi_f A_f f_{fe} \left(h - \frac{\beta_1 c}{2} \right) \right) \quad \begin{array}{l} \phi : \text{Kapasite azaltma katsayısı (ACI318)} \\ \psi_f : \text{LP için güvenlik katsayısı} \\ \text{(0.85 olarak önerilmektedir)} \end{array}$$

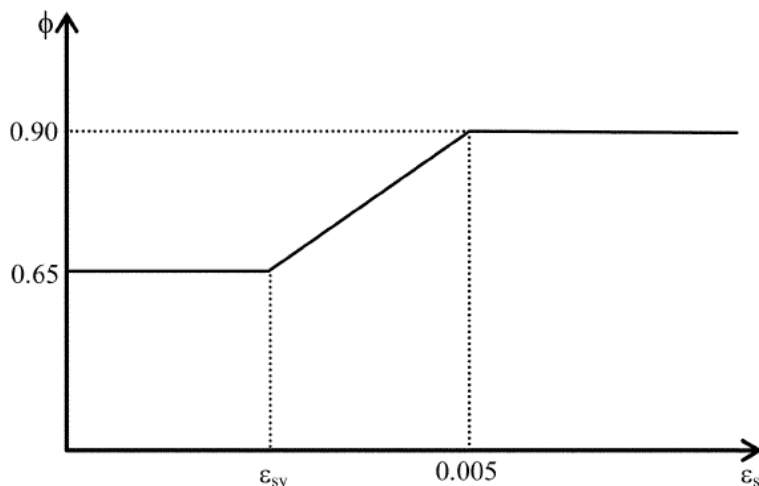
Adım 12:

ϕ : kapasite azaltma katsayısı çekme donatısı şekildeğiştirme değerine göre değişmektedir.

$$\varepsilon_s \geq 0.5\% \quad \text{için } \phi = 0.90$$

$$\varepsilon_{sy} \leq \varepsilon_s \leq 0.5\% \quad \text{için } \phi = 0.65 + \frac{0.25(\varepsilon_s - \varepsilon_{sy})}{0.005 - \varepsilon_{sy}}$$

$$\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy} \quad \text{için } \phi = 0.65$$



Adım 13:

Servis yükü altında çekme donatısındaki gerilmenin kontrolü

$$f_{s,s} = \frac{\left[M_s + \varepsilon_{bi} A_f E_f \left(d_f - \frac{kd}{3} \right) \right] (d - kd) E_s}{A_s E_s \left(d - \frac{kd}{3} \right) (d - kd) + A_f E_f \left(d_f - \frac{kd}{3} \right) (d_f - kd)} \leq 0.80 f_y$$

Adım 14:

Servis yükü altında betondaki gerilmenin kontrolü

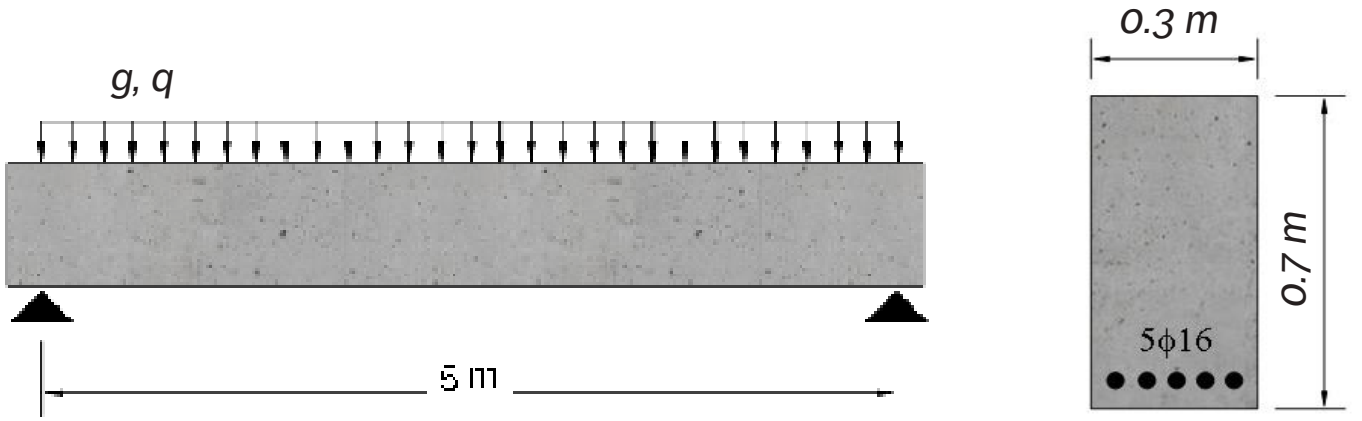
$$f_{c,s} = f_{s,s} \left(\frac{E_c}{E_s} \right) \left(\frac{kd}{d - kd} \right) \leq 0.45 f'_c$$

Adım 15:

Sünme, kopma ve yorulam etkilerine karşı LP'deki gerilmenin kontrolü

$$f_{f,s} = f_{s,s} \left(\frac{E_f}{E_s} \right) \left(\frac{d_f - kd}{d - kd} \right) - \varepsilon_{bi} E_f \leq 0.55 f_{fe}$$

ACI 440.2R 2017'ye göre Eğilme Etkilerine Karşı Güçlendirme Örneği

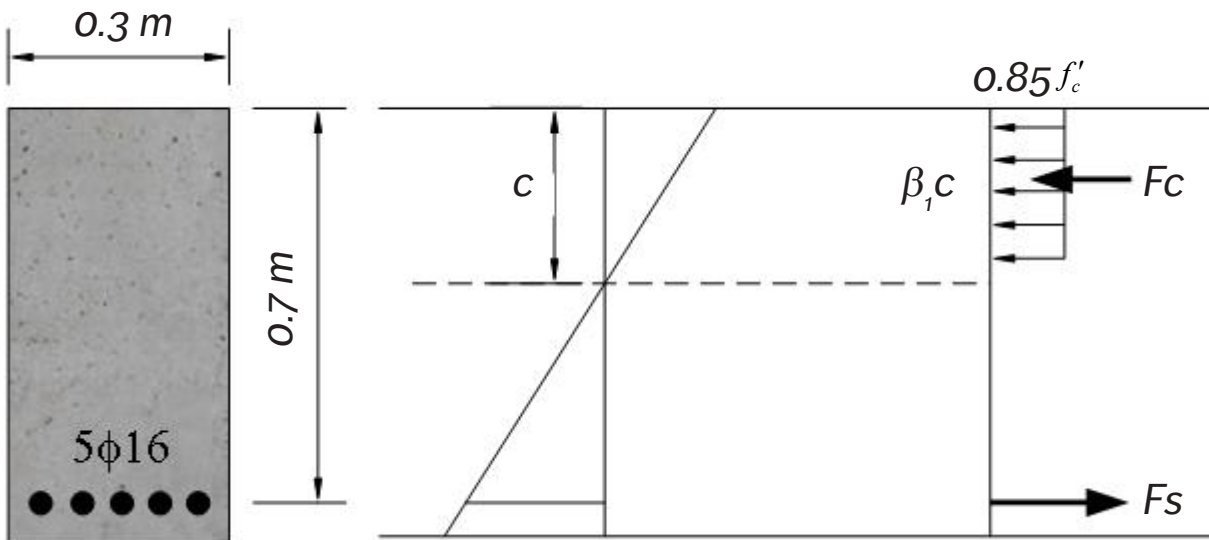


Şekilde verilen betonarme kiriş için başlangıçta sabit yükler (g) 30 kN/m ve hareketli yükler (q) 25 kN/m'dir. Kiriş bu yükleri karşılamak amacıyla tasarlanmıştır. Ancak, kirişin bulunduğu yapıda kullanım amacı değiştiği için hareketli yükler (q) 37 kN/m'ye (48% artış) çıkmıştır. Kirişin eğilme etkileri altında güvenliğini sağlayacak güçlendirme tasarımını yapınız. (f'_c : 35 MPa, f_y : 420 MPa, paspayı: 4 cm)

Not: Kiriş dış etkilere açıktır.

Adım 1:

Güçlendirilmemiş kesitin moment kapasitesi hesaplanmalıdır.



Betonarme kesitte yatay dengenin yazılması

$$F_c = F_s$$

$$0.85f'_c k_1 c b = A_s f_y \quad (\text{Çekme donatılarının aktığı kabulü ile})$$

$$c = 60 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = 0.029 \quad \text{Çekme donatısı akıyor (kabul doğru)} \checkmark$$

$$M_n = F_c (d - \beta_1 c / 2) = 272 \text{ kNm}$$

Adım 2:

Yeni tasarım yüklerinin belirlenmesi ve yeni servis yükleri altında kirişin güvenliği kontrol edilmelidir.

Mevcut yükler altında kesit eğilme güvenliği

$$M_u = 1.2g + 1.6q = 237.5 \text{ kNm} \quad \text{ACI318 düşey yük kombinasyonu}$$

$M_n > M_u$ kesit mevcut yükler altında eğilme etkilerine karşı güvenlidir.

Yeni tasarım yükleri altında kesit eğilme güvenliği

$$M_u = 1.2g + 1.6q = 297.5 \text{ kNm} \quad \text{ACI318 düşey yük kombinasyonu}$$

$M_n < M_u$ kesit yeni tasarım yükleri altında eğilme etkilerine karşı güvenli değildir.

Güçlendirme yapılabilmesi için ön şart

$$\phi R_n \geq (1.1G + 0.75Q)_{\text{yeni}}$$

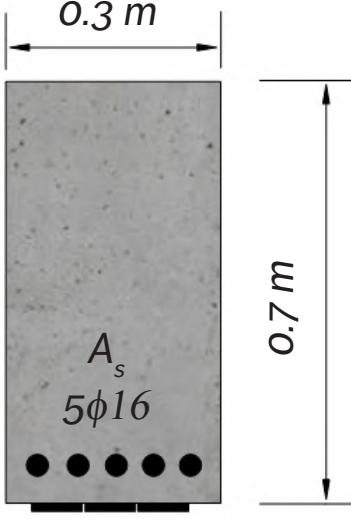
$$244.8 \text{ kNm} > M_{1.1G+0.75Q} = 190 \text{ kNm} \checkmark$$

Mevcut beton basınç dayanımı 35 MPa'dır (17 MPa'dan büyük olmalıdır). \checkmark

Adım 3:

Bu adımda güçlendirme ön tasarımının yapılmalı ve güçlendirmede kullanılacak LP malzemenin tasarım değerleri belirlenmelidir.

Güçlendirme tasarımında kullanılan LP malzeme ve miktarı



3 adet DowAksa Laminate

Çekme Dayanımı (MPa)	: 2700
Elastisite Modülü (MPa)	: 160000
Kopma Şekildeğiştirilmesi	: %1.68
Kalınlık (mm)	: 1.4
Genişlik (mm)	: 3 x 50
Alan (mm ²)	: 210
d' (mm)	: 4

Kiriş dış etkilere açıktır. Bu sebeple malzemenin karakteristik değerleri çevresel etki faktörü ($C_E=0.85$) ile azaltılmalıdır. Buna göre:

Tasarım Çekme Dayanımı (MPa) : 2295

Tasarım Kopma Şekildeğiştirilmesi : %1.42

Adım 4:

Bu adımda mevcut kirişin özellikleri belirlenir.

$$\rho_s = \frac{A_s}{bd} = 0.00507$$

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} = 27805 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

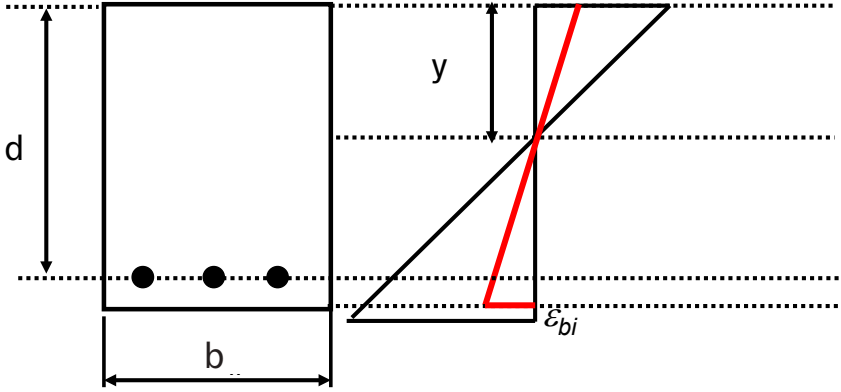
$$\beta_1 = \begin{cases} 0.85 & 17 \text{ MPa} \leq f'_c \leq 28 \text{ MPa} \\ 0.85 - 0.05 \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right) \geq 0.65 & f'_c > 28 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\beta_1 = 0.80$$

Adım 5:

Önşekildeğiştirme (ε_{bi}) değerinin hesaplanması

Bu değer güçlendirilecek betonarme kesitin LP yapıştirılacak kesitindeki sabit yükler altındaki şekildeğiştirmesidir.



Öncelikle, hesaplarda kesit çatlamış kabul edilerek tarafsız eksen derinliği (y) ve çatlamış duruma ait atalet momenti (I_{cr}) hesaplanır. Dönüştürülmüş kesit denklemleri yardımıyla tarafsız eksenin kesit etkin derinliğine (d) oranı (k) aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$k^2 + 2 \frac{E_s}{E_c} \rho_s k - 2 \frac{E_s}{E_c} \rho_s = 0$$

$$k=0.236 \quad y=kd=0.236 \times 660=155 \text{ mm}$$

Çatlamış kesit atalet momenti

$$I_{cr} = \frac{by^3}{3} + \frac{E_s}{E_c} A_s (d-y)^2 = 2.21 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

LP yapıştirılacak katmandaki önşekildeğiştirme değeri

$$\varepsilon_{bi} = \frac{M_G (h-y)}{I_{cr} E_c} = 0.00081$$

M_G düşey yükler altındaki moment

$$M_G = 30 \cdot 5^2 / 8 = 93.75 \text{ kNm}$$

Adım 6:

Göçme modunun kabulü:

İlk kabul edilen göçme modu:

Basınç bölgesindeki beton ezilmeden çekme bölgesine yapıştırılan LP yüzeyden ayrılır.

Adım 7:

Ayrılma şekildeğişirmesinin hesaplanması:

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

n : LP kat sayısı

E_f : LP elastisite modülü

t_f : 1 kat LP kalınlığı

ε_{fu} : Çevresel etkiler gözetilerek hesaplanan LP kopma şekildeğişirmesidir.

$$\varepsilon_{fd} = 0.41 \sqrt{\frac{35}{1 \times 160000 \times 1.4}} = 0.00512 \leq 0.9 \times 0.85 \times 0.0168 = 0.0129$$

Adım 8:

Güçlendirilmiş duruma ait tarafsız eksen derinliğinin hesaplanması ve şekildeğişirme değerlerinin hesaplanmasıdır.

Kabul $c = 121$ mm

Lifli polimer şekildeğişirmesi,

$$\varepsilon_f = \varepsilon_{fd} = 0.0051$$

Betondaki şekildeğişirme,

$$\varepsilon_c = (\varepsilon_f + \varepsilon_{bi}) \frac{c}{d_f - c} = 0.0013 \leq 0.003$$

Çelik donatıdaki şekildeğişirme,

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_f + \varepsilon_{bi}) \frac{(d - c)}{(d_f - c)} = 0.0055$$

Adım 9:

Donatı ve LP üzerindeki gerilmelerin belirlenmesi;

Donatı üzerindeki gerilme,

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_y \quad \text{olduğu için} \quad f_s = f_y = 420 \text{ MPa}$$

LP üzerindeki gerilme,

$$f_f = \varepsilon_f E_f = 816 \text{ MPa}$$

Adım 10:

Yatay kuvvet dengesi ile tarafsız eksen derinliği kabulünün kontrolü

$$c = \frac{A_s f_s + A_f f_f}{\alpha_1 c_c \beta_1 b}$$

$$\varepsilon'_c = \frac{1.7 f'_c}{E_c} = 0.00214 \quad \beta_1 = \frac{4 \cdot \varepsilon'_c - \varepsilon_c}{6 \cdot \varepsilon'_c - 2 \cdot \varepsilon_c} = 0.71 \quad \alpha_1 = \frac{3 \varepsilon'_c \cdot \varepsilon_c - \varepsilon_c^2}{3 \cdot \beta_1 \cdot \varepsilon_c'^2} = 0.68$$

$c=121$ mm olarak hesaplanır. Bu değer 8. adımda yapılan kabul ile uyumludur.

Bu denklemden elde edilen tarafsız eksen derinliği ile 8. adımda kabul edilen tarafsız eksen derinliği ile aynı olmasaydı bu değerler birbirine yeteri kadar yakın olana kadar c değeri üzerinde iterasyon yapılmalıydı.

Adım 11:

Bu adımda güçlendirilmiş kesitin eğilme momenti kapasitesinin hesaplanmalıdır.

Kesit bileşke beton basınç kuvvetinin etkidiği nokta etrafında moment dengesi yazılırsa;

$$\phi M_n = \phi \left(A_s f_y \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + \psi_f A_f f_{fe} \left(h - \frac{\beta_1 c}{2} \right) \right) = \phi(356) \text{ kNm}$$

ϕ : Kapasite azaltma katsayısı (ACI318)

ψ_f : LP için güvenlik katsayısı (0.85 olarak önerilmektedir)

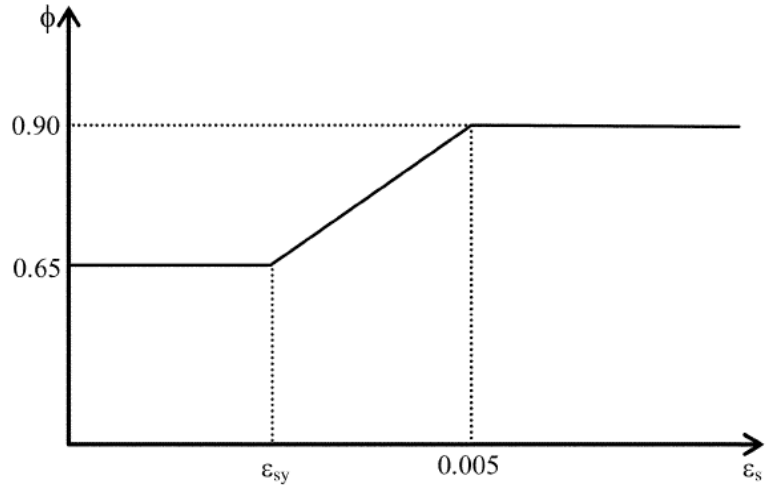
Adım 12:

Kapasite azaltma katsayısı (ϕ), çekme donatısı şekildeğiştirme değerine göre değişmektedir.

$$\varepsilon_s \geq \%0.5 \text{ için } \phi = 0.90$$

$$\varepsilon_{sy} \leq \varepsilon_s \leq \%0.5 \text{ için } \phi = 0.65 + \frac{0.25(\varepsilon_s - \varepsilon_{sy})}{0.005 - \varepsilon_{sy}}$$

$$\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy} \text{ için } \phi = 0.65$$



Donatıdaki şekildeğiştirme,

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_f + \varepsilon_{bi}) \frac{(d - c)}{(d_f - c)} = 0.0055 \quad \text{olduğu için } \phi = 0.90$$

$$\phi M_n = 320 \text{ kNm}$$

Yeni tasarım yükleri altında kesit eğilme güvenliği

$$M_u = 1.2g + 1.6q = 297.5 \text{ kNm} \quad \text{ACI318 düşey yük kombinasyonu}$$

$\phi M_n > M_u$ kesit yeni tasarım yükleri altında eğilme etkilerine karşı güvenlidir.

Adım 13:

Servis yükleri ($g+q$) altında çekme donatısındaki gerilmenin kontrolü

$$f_{s,s} = \frac{\left[M_s + \varepsilon_{bi} A_f E_f \left(d_f - \frac{kd}{3} \right) \right] (d - kd) E_s}{A_s E_s \left(d - \frac{kd}{3} \right) (d - kd) + A_f E_f \left(d_f - \frac{kd}{3} \right) (d_f - kd)} \leq 0.80 f_y$$

$$P_s = G + Q = 67 \text{ kN/m} \quad M_s = 209 \text{ kNm}$$

$$f_{s,s} = 309 \text{ MPa} \leq 0.8 f_y = 336 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

Adım 14:

Servis yükü altında betondaki gerilmenin kontrolü

$$f_{c,s} = f_{s,s} \left(\frac{E_c}{E_s} \right) \left(\frac{kd}{d - kd} \right) \leq 0.45 f'_c$$

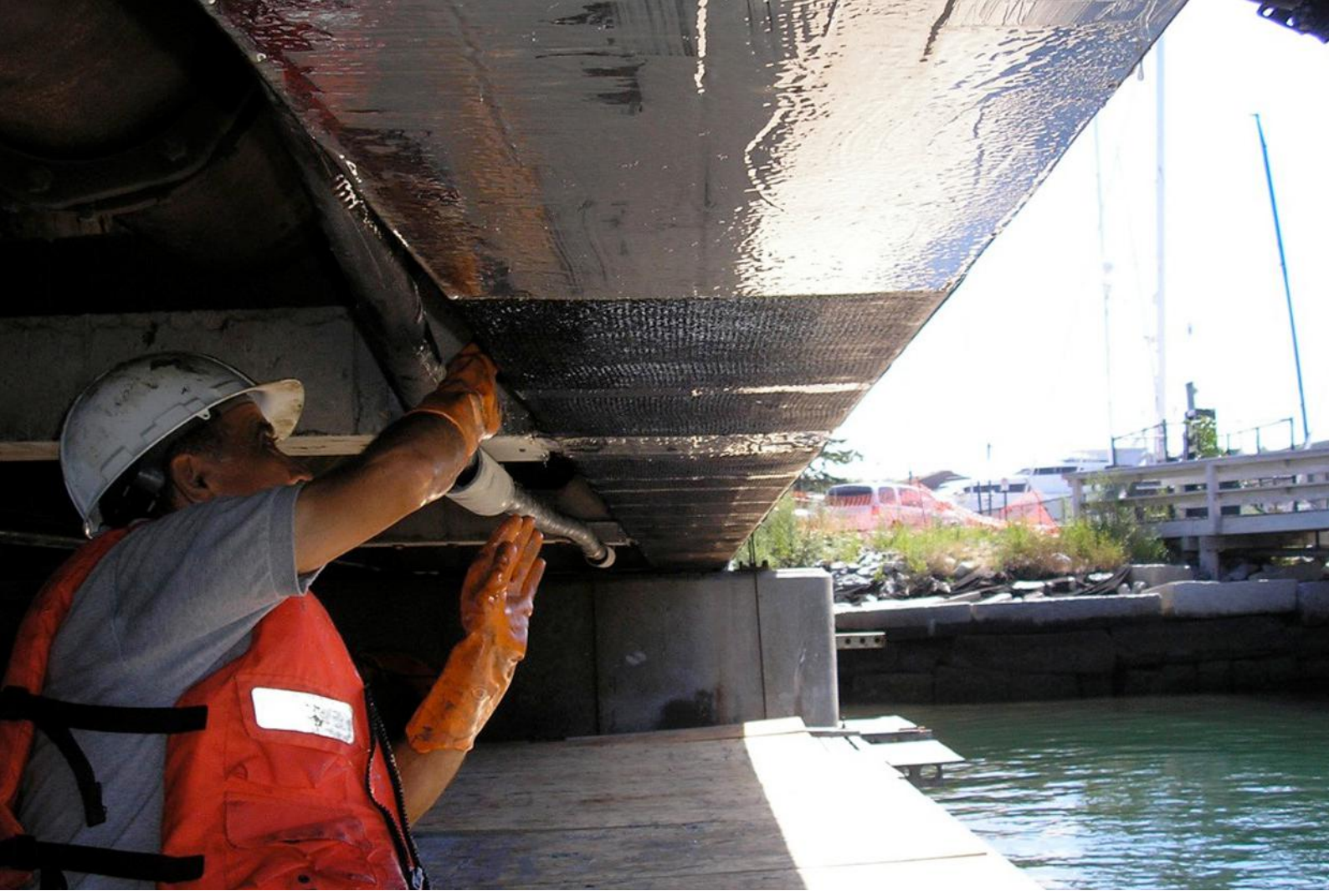
$$f_{c,s} = 9.7 \text{ MPa} \leq 0.45 f'_c = 15.75 \text{ MPa} \checkmark$$

Adım 15:

Sünme, kopma ve yorulma etkileri (g+q) altında LP'deki gerilmenin kontrolü

$$f_{f,s} = f_{s,s} \left(\frac{E_f}{E_s} \right) \left(\frac{d_f - kd}{d - kd} \right) - \varepsilon_{bi} E_f \leq 0.55 f_{fe}$$

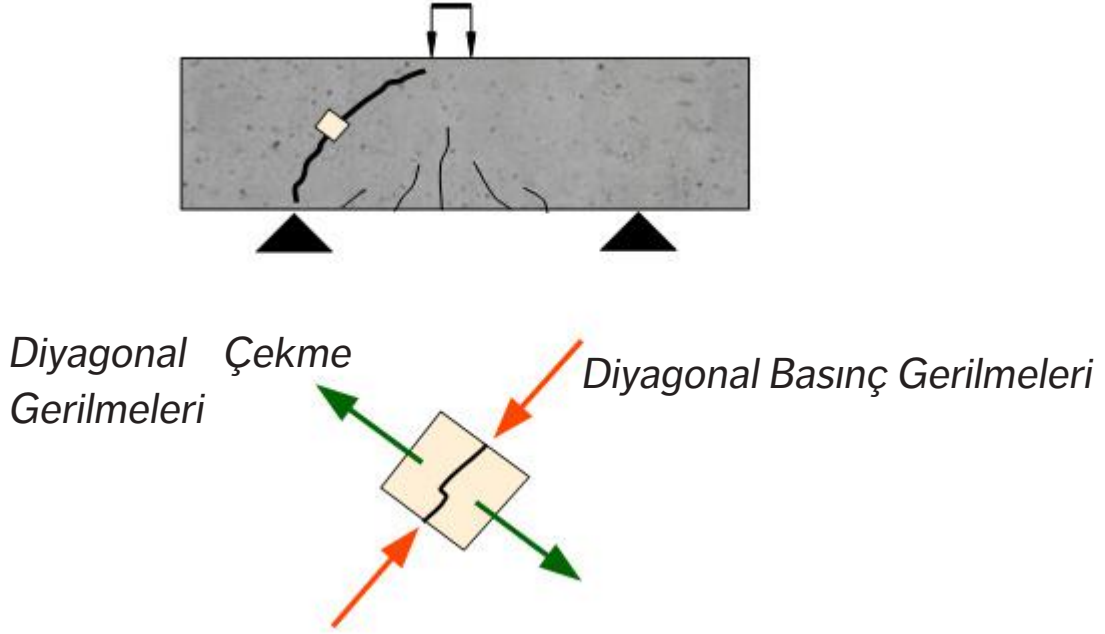
$$f_{f,s} = 136 \text{ MPa} \leq 0.55 f_{fe} = 1262 \text{ MPa} \checkmark$$



LİFLİ POLİMER KOMPOZİTLER İLE KESME ETKİLERİNE KARŞI GÜÇLENDİRME

LP kompozitlerin en etkin olduğu alanlardan bir diğeri kesme etkilerine karşı güçlendirmedir. Kolonlar, perdeler, kirişler ve yığma duvarlar LP kompozit malzemeler kullanılarak kesme etkilerine karşı güçlendirilebilir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY2019) kurallarına göre kesme hasarı nedeni ile taşıma gücüne ulaşan elemanlar gevrek eleman kategorisine girmekte ve bu nedenle bu durumdaki elemanlara etkiyen deprem momenti, eleman kapasitesini aştığında bu elemanlar göçme durumunda kabul edilmektedir. Kolonlarının bir bölümü göçme durumunda olan binaların da TBDY2019 tarafından sağlanması istenen “can güvenliği” performans seviyesini sağlayamayacağı açıktır. Bu nedenle, kesme etkileri açısından kritik gevrek elemanların ya güçlendirilerek moment kapasitelerinin önemli ölçüde arttırılmaları, ya da bu elemanların kesme dayanımları arttırılarak, gevrek eleman kategorisinden, sünek eleman kategorisine geçmesinin sağlanması gereklidir. LP kompozitler ile enine doğrultuda sargılama ile elemanın kesme kuvveti kapasitesinin arttırılması ve elemanın sünek eleman kategorisine getirilmesi oldukça pratik bir yöntemdir.

Kesme Etkileri Altında Betonarme Kirişin Hasarı



Kesme etkileri altındaki betonarme bir eleman diyagonal çekme ve diyagonal basınç etkilerine maruz kalmaktadır. Güvenliğin sağlanabilmesi için elemanın hem diyagonal çekme hem de diyagonal basınç etkileri altında güvenli olduğunun gösterilmesi gereklidir.

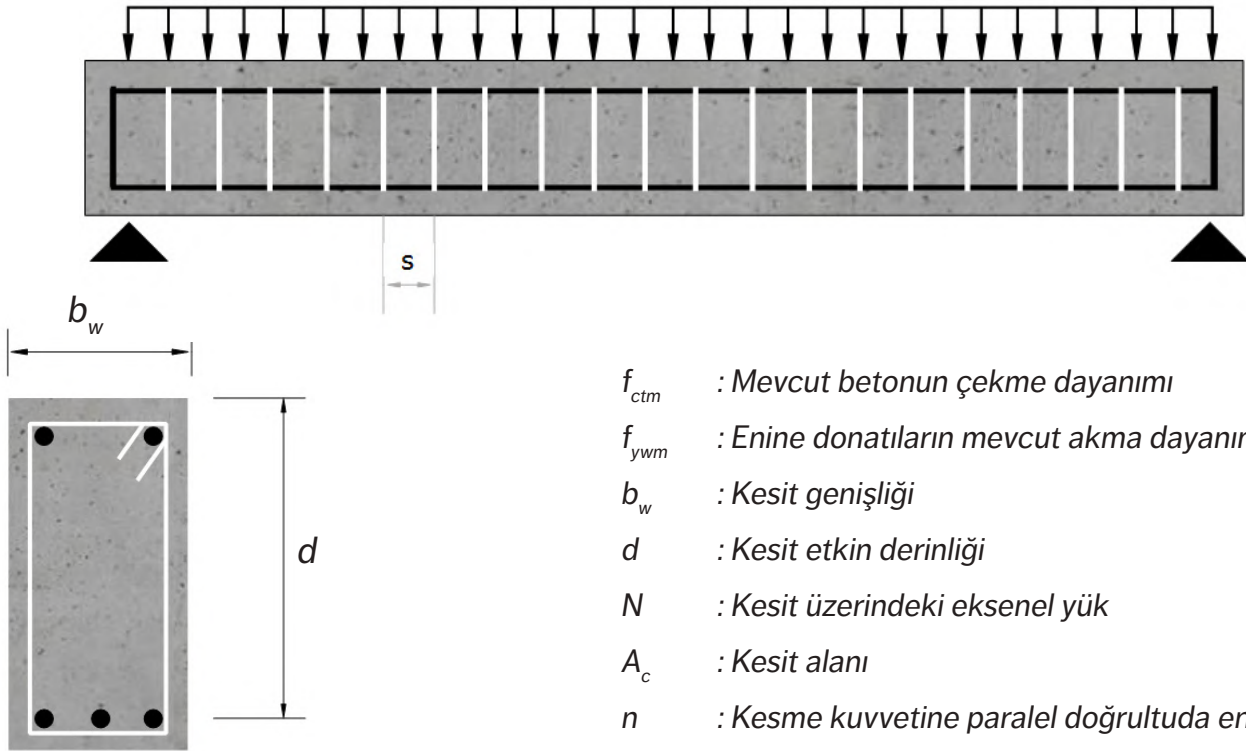
Eğer eleman diyagonal basınç etkileri altında güvenli değil ise bu elemanın çelik veya LP enine donatı eklenerek güçlendirilmesi mümkün değildir. Eleman boyutlarının değişmesi gerekmektedir. Ancak, eğer eleman diyagonal çekme etkileri altında yeterli değil ise LP ile güçlendirme oldukça etkili bir yöntemdir. Pratikte diyagonal basınç problemi oldukça nadir görülür. Genellikle betonarme elemanlardaki kesme yetersizlikleri diyagonal çekme yetersizliğidir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinin 15. bölümü betonarme elemanların LP'ler ile kesme etkilerine karşı güçlendirilmesi ile ilgili detayları içermektedir. TBDY2019 yalnızca tam sargı şeklinde (temas kritik) uygulama ile kesme etkilerine karşı güçlendirmeye izin vermektedir. ACI 440.2R (2017) ise tam sargının yanı sıra iki ve üç taraftan yapıştırma (yapışma kritik) uygulama ile güçlendirmeye olanak tanımaktadır.

TBDY 2019'a göre Kesme Güçlendirme Tasarımı

Adım 1:

Bu adımda betonarme kesitin mevcut kesme dayanımının (V_r) bulunmalıdır. Betonarme kirişin kesme dayanımı betonun katkısı (V_c) ve enine donatıların katkısının (V_w) toplamıdır



- f_{ctm} : Mevcut betonun çekme dayanımı
 f_{ywm} : Enine donatıların mevcut akma dayanımı
 b_w : Kesit genişliği
 d : Kesit etkin derinliği
 N : Kesit üzerindeki eksenel yük
 A_c : Kesit alanı
 n : Kesme kuvvetine paralel doğrultuda enine donatı kol sayısı
 A_o : Enine donatı kesit alanı
 V_c : Kesme kapasitesine betonun katkısı
 V_{cr} : Betonun ilk çatlamasına karşı gelen kesme kuvveti
 V_w : Kesme kapasitesine enine donatının katkısı
 V_{maks} : Kesit kesme kapasitesinin üst limitidir (Diyagonal basınç etkileri altında ezilme)
 V_e : Tasarım kesme kuvveti
 s : Enine donatı aralığı

$$V_r = V_c + V_w$$

$$V_c = 0.8V_{cr}$$

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctm} b_w d \left(1 + \gamma \frac{N}{A_c} \right)$$

$$V_w = \frac{n A_o}{s} f_{ywm} d$$

$$V_{maks} = 0.85 \sqrt{f_{cm}} b_w d$$

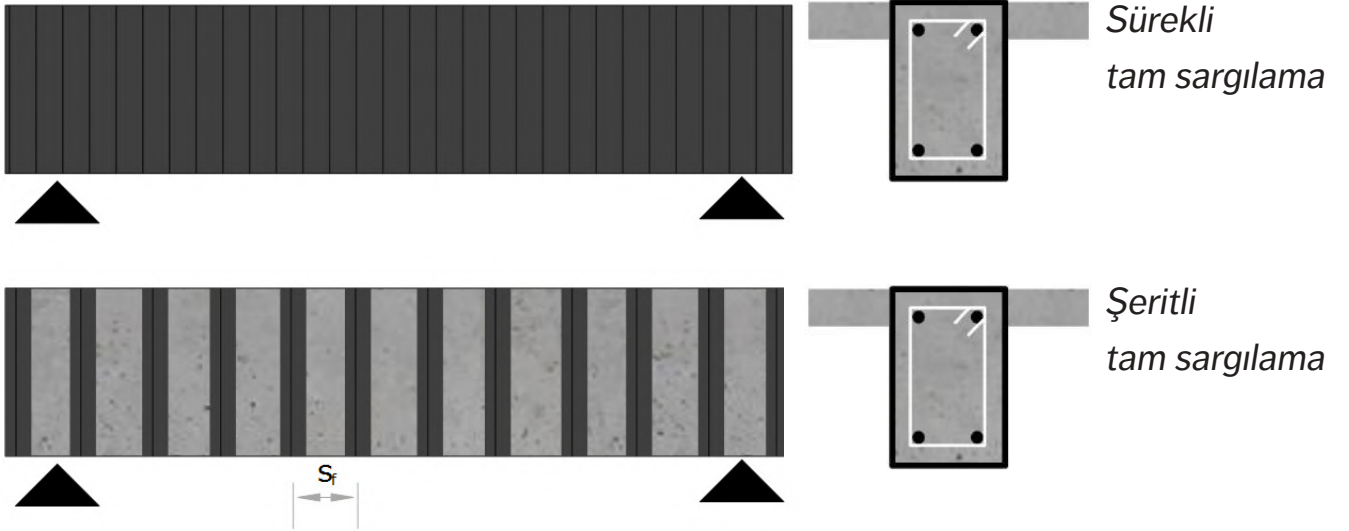
Güvenli bir kesitte aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır.

$$V_e \leq V_{maks}$$

$$V_e \leq V_r$$

Adım 2:

Bu adımda güçlendirme yönteminin seçilmelidir. TBDY2019'da sürekli ve şerit tam sargılama ile kesme etkilerine karşı güçlendirmeye izin verilmektedir.



Adım 3:

LP ile kesme etkilerine karşı güçlendirilmiş kesitin kesme kapasitesinin hesaplanması

Kesit LP ile sargılandığında LP'nin eleman kesme kapasitesine katkısı aşağıdaki gibi hesaba katılabilir.

$$V_r = V_c + V_w + V_f \quad V_f \quad : \text{LP sargılamanın kesme kapasitesine katkısı}$$

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

Bu denklemde, t_f 1 kat LP kalınlığı, n_f LP kat sayısı, w_f LP şerit genişliği, E_f LP'nin elastisite modülü, ε_f LP etkin şekildeğiştirmesi, d kesit faydalı derinliği ve s_f LP şerit aralığıdır.

Sürekli tam sargılama durumunda şerit genişliği (w_f) ile şerit aralığı (s_f) birbirine eşit olacak, bu durumda LP sargılamanın kesme kapasitesine katkısının (V_f) hesabında kullanılacak denklem aşağıda verilen hali alacaktır.

$$V_f = 2n_f t_f E_f \varepsilon_f d$$

Adım 4:

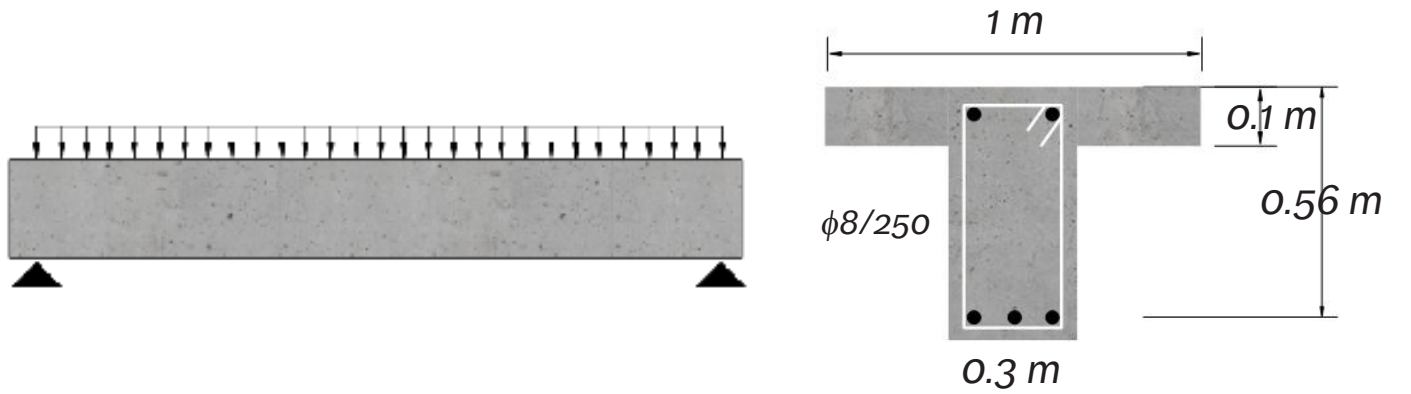
Bu adımda LP etkin şekildeğiştirmesi (ε_p) hesaplanmalıdır.

$$\varepsilon_f \leq 0.004$$

$$\varepsilon_f \leq 0.5\varepsilon_{fu}$$

Bu denklemlerde, ε_{fu} üretici tarafından sağlanan kopma uzamasıdır.

TBDY2019'a göre Kesme Etkilerine Karşı Güçlendirme Örneği



Şekilde verilen betonarme kirişin bulunduğu 1960 yılında inşa edilen bina deprem bölgesinde yer almaktadır. Bina yapıldığı tarihteki yönetmeliklerde tanımlanan düşey ve deprem yüklerini karşılamak amacıyla tasarlanmıştır. Binanın 2019 deprem yönetmeliğine göre yeniden değerlendirilmesi istenmiştir. 2019 Deprem yönetmeliğine göre yapılan değerlendirme de kirişin karşılaması gereken tasarım kesme kuvveti (V_e) 217 kN olarak hesaplanmıştır. Kirişin kesme etkileri altında güvenliğini sağlayacak güçlendirme tasarımı yapınız. (f_{cm} : 12 MPa, f_{ctm} : 1.2 MPa, f_{ym} : 220 MPa, paspayı: 4 cm)

Adım 1:

Betonarme kesitin mevcut kesme dayanımının (V_r) bulunması.

$$V_{maks} = 0.22 f_{cm} b_w d = 443 \text{ kN}$$

Betonarme kesitin diyagonal basınç kapasitesi

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctm} b_w d = 131 \text{ kN}$$

$$V_w = \frac{nA_o}{s} f_{ywm} d = 49 \text{ kN}$$

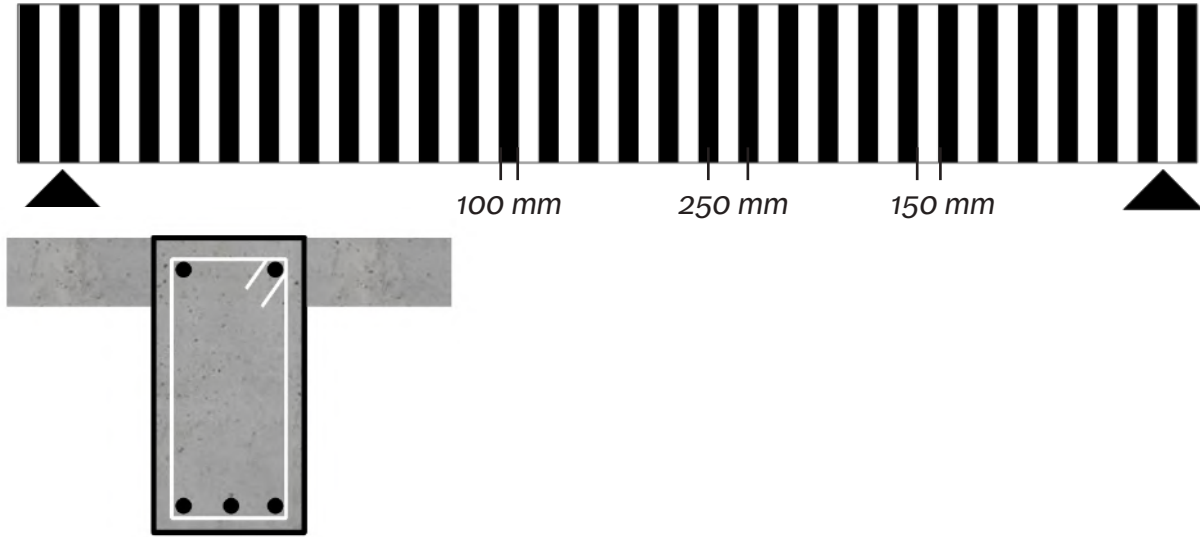
Kesme kapasitesine enine donatıların katkısı

Betonarme kirişin mevcut kesme kapasitesi,

$$V_r = 0.8V_{cr} + V_w = 154 \text{ kN}$$

Adım 2:

Bu adımda güçlendirme yönteminin seçilmelidir. TBDY2019'da sürekli ve şerit tam sargılama ile kesme etkilerine karşı güçlendirmeye izin verilmektedir. Söz konusu kiriş için şerit tam sargı yapılması öngörülmüştür. Seçilen şerit genişliği 100 mm, şerit aralığı ise 250 mm'dir.



Adım 3:

LP ile kesme etkilerine karşı güçlendirilmiş kesitin kesme kapasitesinin bulunması

Kesit LP ile sargılandığında LP'nin eleman kesme kapasitesine katkısı aşağıdaki gibi hesaba katılabilir.

$$V_r = V_c + V_w + V_f \quad V_f : \text{LP sargılamanın kesme kapasitesine katkısı}$$

Kaç kat LP sargı gerektiği bilinmektedir. Bu yüzden LP'nin karşılaması gereken kesme kuvveti kullanılarak gereken kat sayısı hesaplanmaktadır.

$$V_f \geq V_e - (V_c + V_w) = 217 - 154 = 63 \text{ kN}$$

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

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

Adım 4:

LP etkin şekildeğiştirmesinin (ε_f) hesaplanması

$$\varepsilon_f \leq 0.004$$

$$\varepsilon_f \leq 0.5\varepsilon_{fu} \quad \text{Bu denklemlerde, } \varepsilon_{fu} \text{ üretici tarafından sağlanan kopma uzamasıdır.}$$

Sargılamada kullanılacak LP'nin mekanik özellikleri

DowAksa Fabric

Çekme Dayanımı (MPa)	: 4900
Elastisite Modülü (MPa)	: 240000
Kopma Şekildeğiştirmesi	: %2
Kalınlık (mm)	: 0.196

Üretici tarafından sağlanan kopma uzamasının %50'si %1 olacağından LP etkin şekildeğiştirmesi %0.4 olarak belirlenmiştir.

Bu durumda,

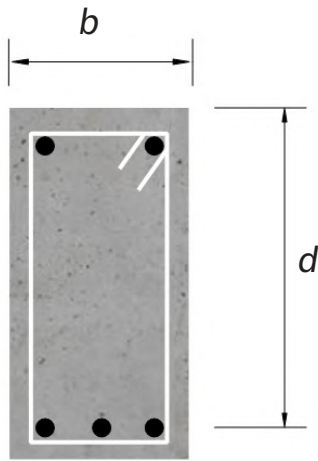
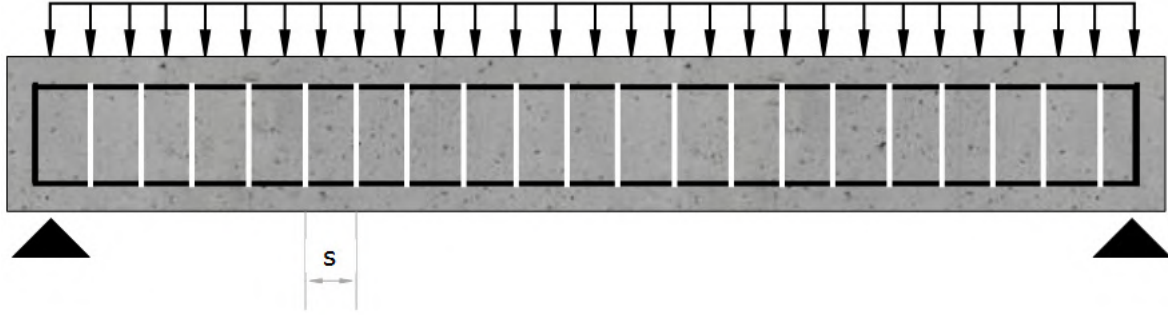
$$n_f \geq \frac{V_f s_f}{2t_f E_f w_f \varepsilon_f d} = \frac{63000 \times 250}{2 \times 0.196 \times 240000 \times 100 \times 0.004 \times 560} = 0.75 \text{ kat LP gerekmektedir.}$$

Betonarme kesiti 1 kat 100 mm genişlikli 250 mm aralıkta LP şeritler ile tam sargıladığımızda kesit kesme etkileri altında güvenli olmaktadır.

ACI 440.2R 2017'ye göre Kesme Etkilerine Karşı Güçlendirme Tasarımı

Adım 1:

Betonarme kesitin mevcut kesme dayanımının (V_n) bulunmasıdır. Betonarme kirişin kesme dayanımı betonun katkısı (V_c) ve enine donatıların katkısının (V_s) toplamıdır (ACI318M, 2014).



- f'_c : Beton basınç dayanımı (MPa)
- f_y : Enine donatıların akma dayanımı (MPa)
- b : Kesit genişliği (mm)
- d : Kesit etkin derinliği (mm)
- N_u : Kesit üzerindeki eksenel yük (N)
- A_g : Kesit alanı (mm²)
- A_v : Enine donatıların toplam kesit alanı (mm²)
- V_c : Kesme kapasitesine betonun katkısı (N)
- V_s : Kesme kapasitesine enine donatının katkısı (N)
- V_u : Kesme kuvveti talebi (N)
- ϕ : Dayanım azaltma katsayısı (kesme kapasitesi için 0.75)

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s)$$

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \sqrt{f'_c} b d$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

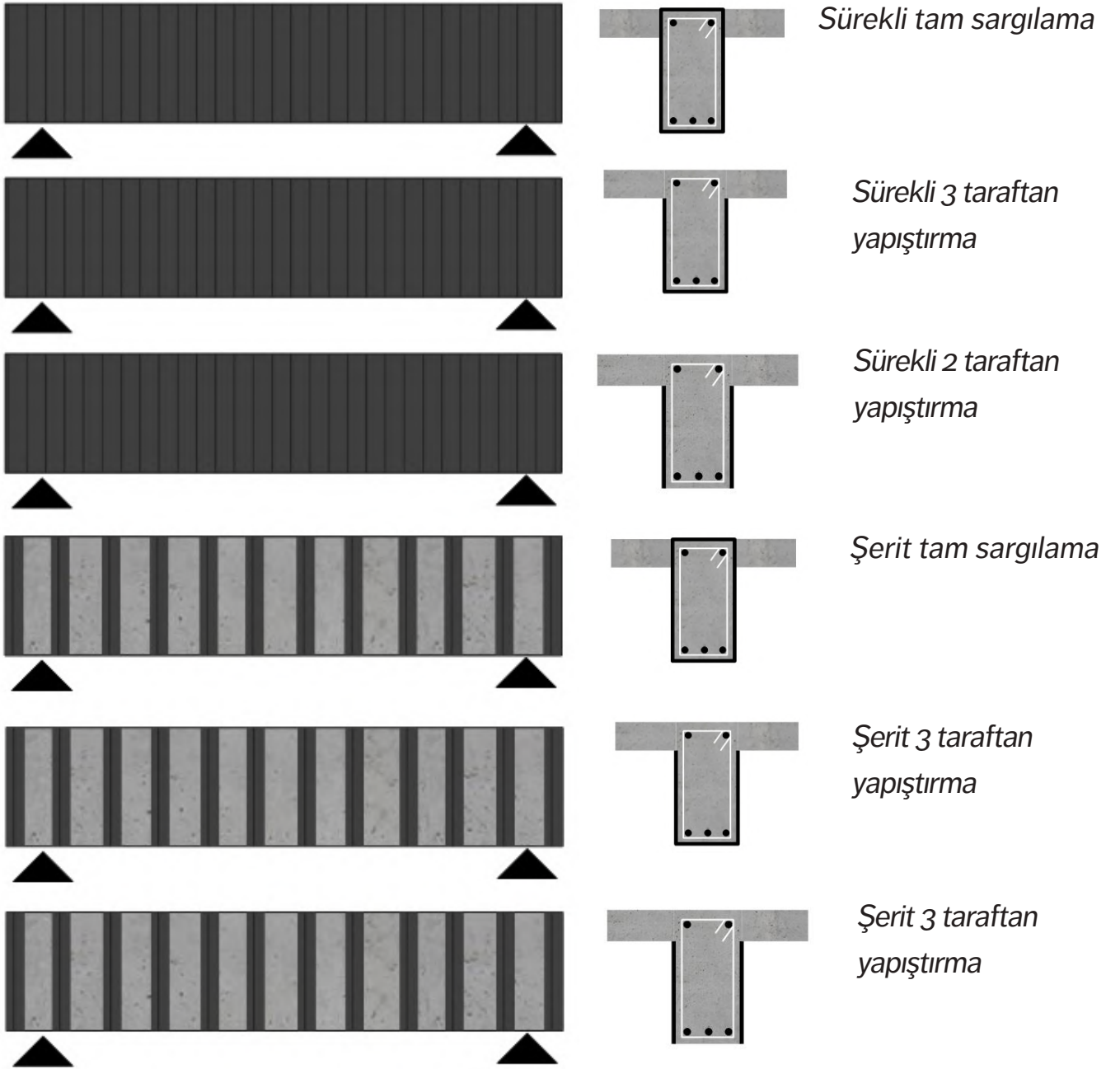
$$V_s \leq 0.66 \sqrt{f'_c} b d \quad \text{Diyagonal basınç etkileri açısından kontrol}$$

Kesme etkileri açısından güvenli bir kesitte aşağıdaki şart sağlanmalıdır.

$$V_u \leq \phi V_n$$

Adım 2:

Güçlendirme yöntemi seçilmelidir. ACI 440.2R (2017)'de sürekli ve şerit uygulamalar halinde tam sargılama, iki ve üç taraftan yapıştırma ile kesme etkilerine karşı güçlendirmeye izin verilmektedir. İki ve üç taraftan yapıştırma ile güçlendirme uygulamalarında karakteristik beton basınç dayanımının 17 MPa ve karakteristik beton çekme dayanımının 1.4 MPa olması gerekmektedir.



Adım 3:

Bu adımda LP ile kesme etkilerine karşı güçlendirilmiş kesitin kesme kapasitesinin bulunmalıdır. Kesit LP ile sargılandığında LP'nin eleman kesme kapasitesine katkısı aşağıdaki gibi hesaba katılabilir.

$$\phi V_n \leq \phi (V_c + V_s + \psi_f V_f) \quad V_f \quad : \text{LP sargılamasının kesme kapasitesine katkısı}$$
$$\psi_f \quad : \text{LP için ilave güvenlik faktörü (Önerilen değerler; tam sargıda: 0.95, 2 ve 3 taraftan yapıştırmada 0.85)}$$

$$V_f = \frac{A_{fv} E_f \varepsilon_{fe} d_{fv}}{s_f}$$

$$A_{fv} = 2n_f t_f w_f$$

Bu denklemlerde, t_f 1 kat LP kalınlığı, n_f LP kat sayısı, w_f LP şerit genişliği, E_f LP'nin elastisite modülü, ε_{fe} LP etkin şekildeğiştirmesi, d_{fv} LP üst kotu ile kesit çekme donatıları arasındaki mesafe ve s_f LP şeritlerin merkezden merkeze aralığıdır.

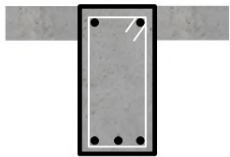
Sürekli tam sargılama durumunda şerit genişliği (w_f) ile şerit aralığı (s_f) birbirine eşit olacaktır. Bu durumda bağıntı aşağıdaki gibi olacaktır.

$$V_f = 2n_f t_f E_f \varepsilon_{fe} d_{fv}$$

Adım 4:

LP etkin şekildeğiştirmesi ε_{fe} nin hesaplanması.

Bu değer tam sargılı durumda



$$\varepsilon_{fe} \leq 0.004$$

$$\varepsilon_{fe} \leq 0.75 \varepsilon_{fu}$$

Bu denklemlerde, ε_{fu} çevresel faktörlerle azaltılmış kopma uzamasıdır.

2 ve 3 taraftan yapıştırma durumunda



$$\varepsilon_{fe} = \kappa_v \varepsilon_{fu} \leq 0.004$$

$$\kappa_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \varepsilon_{fu}}$$

Bu denklemde, k_1 ve k_2 sırasıyla beton basınç dayanımı ve sargılama şekli düzeltme katsayısı, L_e ise aktif yapışma boyudur (mm).

L_e aktif yapışma boyunun hesaplanması

$$L_e = \frac{23300}{(n t_f E_f)^{0.58}}$$

E_f : LP elastisite modülü (MPa)

t_f : Bir kat LP kalınlığı (mm)

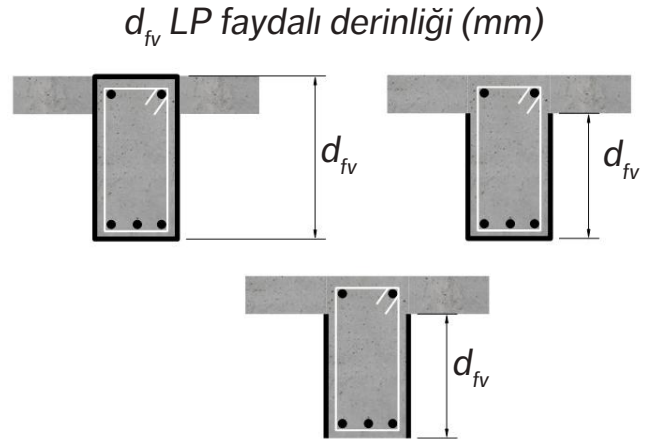
k_1 beton basınç dayanımı düzeltme katsayısının hesaplanması,

$$k_1 = \left(\frac{f'_c}{27} \right)^{2/3}$$

f'_c : Beton basınç dayanımı (MPa)

k_2 sargılama şekli düzeltme katsayısının hesaplanması,

$$k_2 = \begin{cases} \frac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}} & 3 \text{ taraftan yapıştırma} \\ \frac{d_{fv} - 2L_e}{d_{fv}} & 2 \text{ taraftan yapıştırma} \end{cases}$$

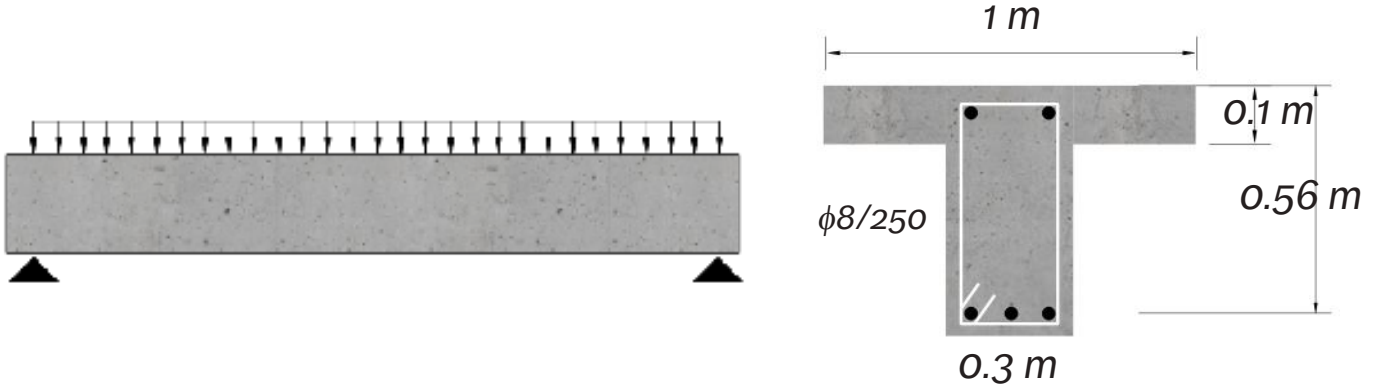


Adım 5:

LP ve enine donatılar tarafından taşınan gerilmenin kontrolü (Diyagonal basınç etkilerine karşı kontrol)

$$V_s + V_f \leq 0.66 \sqrt{f'_c} b_w d$$

ACI 440.2R (2017)'e göre Kesme Etkilerine Karşı Güçlendirme Örneği



Şekilde verilen betonarme kirişin bulunduğu 1960 yılında inşa edilen bina deprem bölgesinde yer almaktadır. Bina yapıldığı tarihteki yönetmeliklerde tanımlanan düşey ve deprem yüklerini karşılamak amacıyla tasarlanmıştır. Binanın ASCE 41-13 yönetmeliğine göre yeniden değerlendirilmesi istenmiştir. ASCE 41-13 yönetmeliğine göre yapılan değerlendirmede kirişin karşılaması gereken kesme kuvveti (V_u) 222 kN olarak hesaplanmıştır. Kirişin kesme etkileri altında güvenliğini sağlayacak güçlendirme tasarımını yapınız. (f'_c : 20 MPa, f_y : 220 MPa, paspayı 4 cm)

Güçlendirmede kullanılacak LP
DowAksa Fabric

Çekme Dayanımı (Mpa)	4900
Elastisite Modülü (MPa)	240000
Kopma Şekildeğiştirmesi	%2
Kalınlık (mm)	0.196

Adım 1:

Betonarme kesitin mevcut kesme dayanımının (V_n) bulunmasıdır.

$$\phi V_n = \phi(V_c + V_s)$$

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \sqrt{f'_c} b_w d = 128 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} = 49 \text{ kN}$$

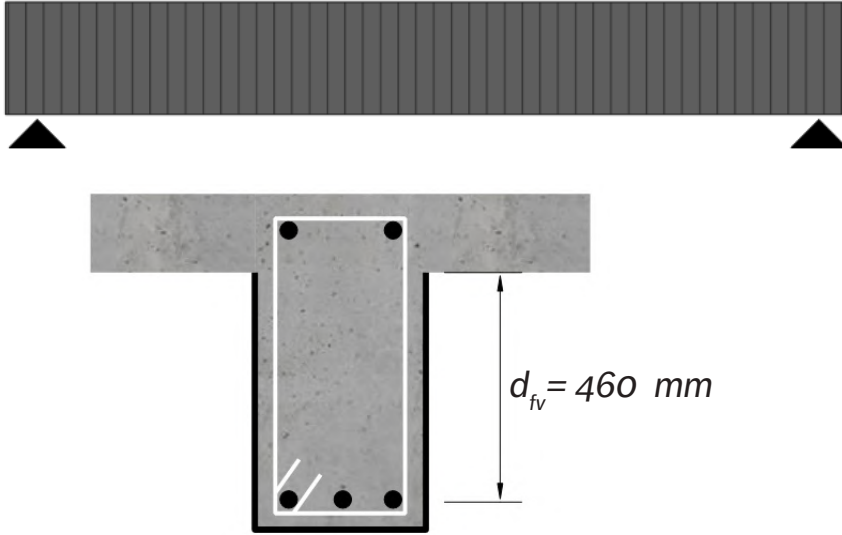
$$V_s = 49 \text{ kN} \leq 0.66 \sqrt{f'_c} b_w d = 496 \text{ kN}$$

Betonarme kirişin mevcut kesme kapasitesi,

$$V_n = 177 \text{ kN}$$

Adım 2:

Bu adımda güçlendirme yönteminin seçilmelidir. ACI 440.2R (2017)'de sürekli ve şerit uygulamalar halinde tam sargılama, 2 ve 3 taraftan yapıştırma ile kesme etkilerine karşı güçlendirmeye izin verilmektedir. Söz konusu kiriş için 3 taraftan sürekli yapıştırma ile kesme etkilerine karşı güçlendirme yöntemi seçilmiştir.



Adım 3:

Bu adımda LP ile kesme etkilerine karşı güçlendirilmiş kesitin kesme kapasitesinin bulunmalıdır. Kesit LP ile sargılandığında LP'nin eleman kesme kapasitesine katkısı aşağıdaki gibi hesaba katılabilir.

$$\phi V_n \leq \phi(V_c + V_s + \psi_f V_f) \quad V_f \quad : \text{LP sargılamanın kesme kapasitesine katkısı}$$
$$\psi_f \quad : \text{LP için ilave güvenlik faktörü (3 taraftan yapıştırma için önerilen değer 0.85)}$$

Kaç kat LP sargı gerektiği bilinmemektedir. Bu yüzden LP'nin karşılaması gereken kesme kuvveti kullanılarak gereken kat sayısı hesaplanmaktadır.

$$V_f \geq \frac{V_u - \phi(V_c + V_s)}{\phi\psi_f} = 140 \text{ kN}$$

$$V_f = \frac{A_{fv} E_f \varepsilon_{fe} d_{fv}}{s_f}$$

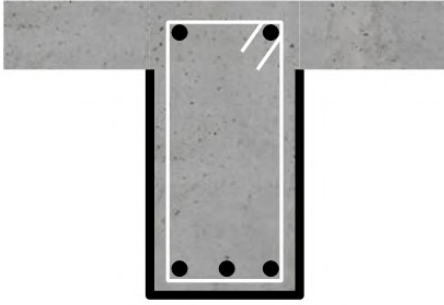
Sürekli sargılama olduğu için şerit genişliği (w_f) ile şerit aralığı (s_f) birbirine eşit olacaktır.

$$A_{fv} = 2nt_f w_f$$

Adım 4:

LP etkin şekildeğiştirilmesi ϵ_{fe} nin hesaplanması.

3 taraftan yapıştırma durumunda



$$\epsilon_{fe} = \kappa_v \epsilon_{fu} \leq 0.004$$

$$\kappa_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \epsilon_{fu}} \quad L_e : \text{Aktif yapıştırma boyu (mm)}$$

k_1 beton basınç dayanımı düzeltme katsayısının hesaplanması,

$$k_1 = \left(\frac{f'_c}{27} \right)^{2/3} = 0.58 \quad f'_c : \text{Beton basınç dayanımı (MPa)}$$

Hem k_2 (sargılama şekli düzeltme katsayısı) hem de L_e (aktif yapıştırma boyu) LP kat sayısına bağlıdır. Bu yüzden LP kat sayısı kabul yapılarak bulunacaktır.

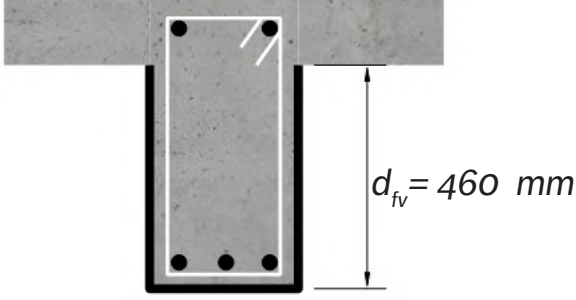
Kabul $n=3$ kat

L_e aktif yapıştırma boyunun hesaplanması,

$$L_e = \frac{23300}{(n t_f E_f)^{0.58}} = 24 \quad E_f : \text{LP elastisite modülü (MPa)}$$
$$t_f : \text{Bir kat LP kalınlığı (mm)}$$

k_2 sargılama şekli düzeltme katsayısının hesaplanması,

$$k_2 = \frac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}} = 0.947 \quad 3 \text{ taraftan yapııştırma} \quad d_{fv} : \text{LP faydalı derinliği (mm)}$$



$$\kappa_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \varepsilon_{fu}} = 0.058$$

Bu denklemde, ε_{fu} çevresel faktörler ile azaltılmış kopma uzamasıdır. $\varepsilon_{fu} = \%1.9$ olarak hesaplanmıştır.

LP etkin şekildeğiştirilmesi

$$\varepsilon_{fe} = \kappa_v \varepsilon_{fu} = 0.0011 \leq 0.004$$

LP tarafından taşınan kesme kuvveti

$$A_{fv} = 2nt_f = 1.176 \text{ mm}^2$$

$$V_f = A_{fe} E_f \varepsilon_{fe} d_{fv} = 143 \text{ kN} \geq 140 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Kesit yeni tasarım yükleri altından kesme etkileri açısından güvenlidir.

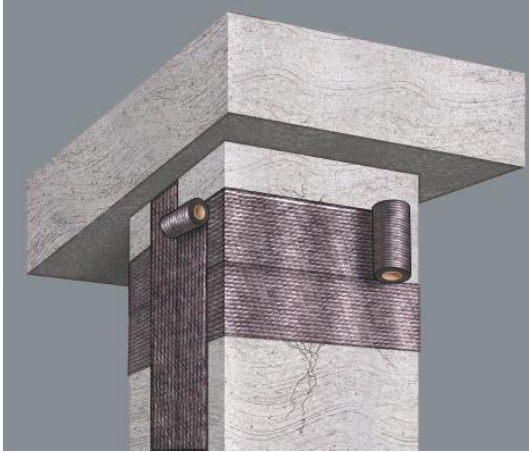
Adım 5:

LP ve enine donatılar tarafından taşınan gerilmenin kontrolü (Diyagonal basınç etkilerine karşı kontrol)

$$V_s + V_f = 192 \text{ kN} \leq 0.66 \sqrt{f'_c} b_w d = 496 \text{ kN} \quad \checkmark$$

LİFLİ POLİMER KOMPOZİTLER İLE EKSENEL YÜK KAPASİTESİ VE SÜNEKLİĞİN ARTTIRILMASI

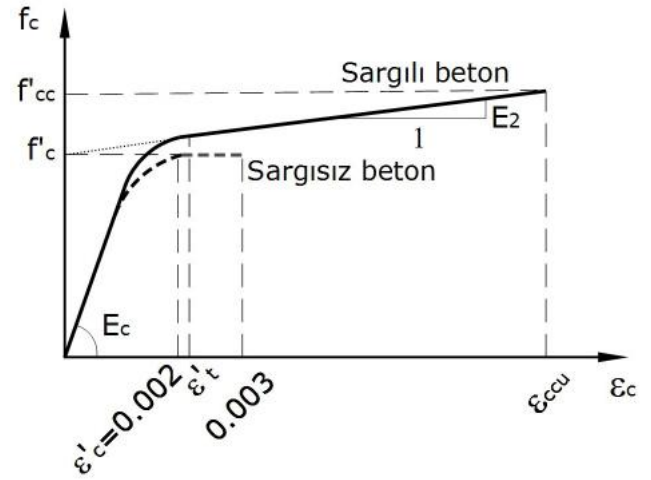
Yeterli mühendislik hizmeti almamış pek çok mevcut yapıda kolonlar, projelendirme sırasında öngörülenden çok daha yüksek aksenal gerilmelere maruzdur. Mühendislik hizmeti almış bazı yapılarda ise zaman içerisinde yaşanan fonksiyon değişiklikleri nedeniyle yapının tasarlandığı ilk yüklerle göre artışlar meydana gelebilmektedir. Bu gibi durumlar, yüksek aksenal basınç kuvvetlerine maruz kolonlarda sünekliliğin belirgin bir şekilde azalmasına neden olmakta ve özellikle deprem yükleri altında yapı güvenliğini tehdit edecek düzeyde hasarlara neden olabilmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek için TBDY2019'a göre kolon aksenal basınç gerilme düzeyi karakteristik beton basınç dayanımının %40'ı ile sınırlanmıştır. Dahası, kolon aksenal gerilmeleri elemanın basınç dayanımının altında olsa bile, uzun süreli yüksek aksenal gerilmeler sünme etkileri nedeniyle risk yaratabilmektedir. Bu tip betonarme düşey taşıyıcı elemanlarda LP kumaşların en etkin olduğu alanlardan biri LP kumaşların enine doğrultuda sargılanmasıyla beton basınç dayanımlarının arttırılmasıdır. Mevcut pek çok yapıda beton basınç dayanımlarının oldukça düşük olması nedeniyle bu gereksinimin oldukça yaygındır.



Kolonların enine doğrultuda LP sargılama ile güçlendirilmesi

ACI 440.2R 2017'ye göre LP sargılanmış betonun davranışı

ACI 440.2R 2017 tarafından kabul edilen sargılı ve sargısız beton aksenal gerilme - şekildeğiştirme ilişkileri şekilde gösterilmiştir. Burada, f'_c ve f'_{cc} , sırasıyla, sargısız ve sargılı beton basınç dayanımlarını; ε'_c sargısız beton basınç dayanımına karşı gelen şekildeğiştirmeyi (~ 0.002); ε'_t sargılı beton eğrisinin birinci ve ikinci kolu arasındaki dönüm noktasını; E_2 sargılı beton eğrisi ikinci kolunun eğimini; ε_{ccu} ise sargılı betonun ulaşabileceği en büyük şekildeğiştirme değerini ifade etmektedir.



Sargılı ve sargısız beton aksenal gerilme - şekildeğiştirme ilişkileri (ACI 440.2R 2017)

LP sargılı beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi aşağıdaki denklemler ile tanımlanmıştır.

$$0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon'_t \quad \text{için;} \quad f_c = E_c \varepsilon_c - \frac{(E_c - E_2)^2}{4f'_c} \varepsilon_c^2$$

$$\varepsilon'_t \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{ccu} \quad \text{için;} \quad f_c = f'_c + E_2 \varepsilon_c$$

$$E_2 = \frac{f'_{cc} - f'_c}{\varepsilon_{ccu}}$$

$$\varepsilon'_t = \frac{2f'_c}{E_c - E_2}$$

Sargılı beton basınç dayanımı f'_{cc} ; LP tarafından sağlanacak sargı basıncı (f_l), ek azaltma katsayısı ($\psi_f = 0.95$) ve sargılama etkinlik katsayısı κ_a dikkate alınarak hesaplanabilir:

$$f'_{cc} = f'_c + \psi_f 3.3 \kappa_a f_l$$

LP sargı tarafından oluşturulan enine sargı basıncı f_l ; LP elastisite modülü (E_f), LP sargı kat adeti (n), bir kat LP kumaşın kalınlığı (t_f), LP etkin kopma uzaması (ε_{fe}) ve eşdeğer daire enkesit çapına (D) bağlı olarak ifade edilebilir:

$$f_l = \frac{2E_f n t_f \varepsilon_{fe}}{D}$$

LP etkin birim uzama limiti (ϵ_{fe}); elemana salt basınç yükü etkimesi durumunda,

$$\epsilon_{fe} = \kappa_e \epsilon_{fu}$$

Eğilme ve aksenal basınç yüklerinin birlikte etkimesi durumunda ise,

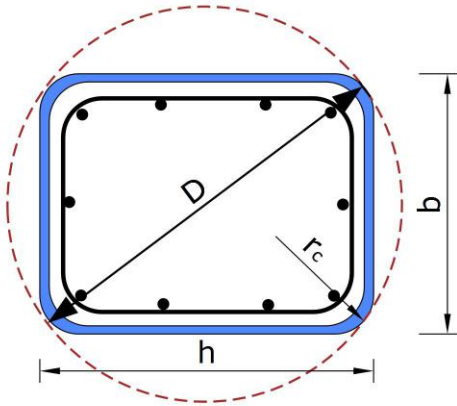
$$\epsilon_{fe} = 0.004 \leq \kappa_e \epsilon_{fu}$$

olarak tanımlanmıştır. κ_e etkinlik katsayısı kullanılan LP tipine bağlı olarak değişebilmekle beraber 0.55 olarak alınabilir. LP kopma uzaması (ϵ_{fu}) tasarım değeri ise çevresel etki faktörü ile LP kopma uzamasının çarpımıyla hesaplanır.

$$\epsilon_{fu} = C_E \epsilon_{fu}^*$$

Daire enkesit durumunda D kesit çapına, dikdörtgenkesit durumunda ise şekilde gösterilen eşdeğer daire enkesit çapına eşit olmaktadır. Eşdeğer daire çapı, enkesit boyutları (b ve h) kullanılarak belirlenir:

$$D = \sqrt{b^2 + h^2}$$

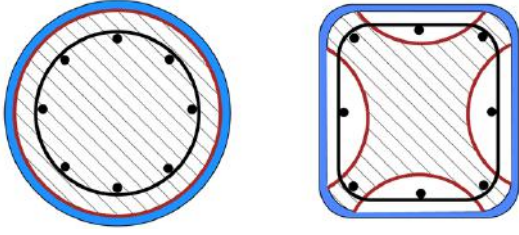


LP sargının etkinliği sargılanan kolonun enkesit geometrisine bağlı olarak değişebilmektedir. En etkin sargılama daire kesit durumunda ortaya çıkmaktayken, kare veya dikdörtgenkesit durumunda bir sonraki sayfada verilen şekilden de görülebileceği üzere etkili olarak sargılanmış enkesit alanı (A_e) azalmaktadır. Bu durum sargılama etkinlik katsayısı (κ_a) ile dikkate alınmaktadır. Bu katsayı daire kesitler için bir olarak alınmaktadır. Kare ve dikdörtgenkesitlerde ise kesit boyutlarına (b ve h), etkili olarak sargılanmış beton alanına (A_e), enkesit beton alanına (A_c) ve köşe yuvarlatma yarıçapına (r_c) bağlı olarak hesaplanmaktadır:

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \left[\left(\frac{b}{h} \right) (h - 2r_c)^2 + \left(\frac{h}{b} \right) (b - 2r_c)^2 \right] - \rho_g}{3A_g - \rho_g}$$

$$\kappa_a = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{b}{h} \right)^2$$

A_e/A_c oranını veren yukarıdaki denklemde (A_g) brüt enkesit alanı, ρ_g ise boyuna donatı oranıdır.



Daire ve dikdörtgenkesitte etkili sargı alanlarının değişimi (Taralı alan A_e etkili sargılanmış beton alanına karşı gelmektedir).

Daire Kesitli Kolon Dikdörtgen veya Kare Kesitli Kolon

LP sargılı betonun aksenal gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinde sargılı beton basınç dayanımına (f'_{cc}) karşı gelen en büyük basınç birim şekildeğiştirme değeri ϵ_{ccu} değeri aşağıdaki ifade ile elde edilebilir. Ancak hasar düzeyinin sınırlanabilmesi ve betonun bütünlüğünün korunabilmesi amacıyla tasarım esnasında bu değer 0.01'i aşmaması istenmektedir. Şekildeğiştirme değerinin 0.01'i geçmesi durumunda sargılı beton basınç dayanımı (f_t), $\epsilon_{cc} = 0.001$ için yeniden hesaplanmalıdır.

$$\epsilon_{ccu} = \epsilon'_c \left(1.5 + 12\kappa_b \frac{f_t}{f'_c} \left(\frac{\epsilon_{fe}}{\epsilon'_c} \right)^{0.45} \right) \leq 0.01$$

Sargılama etkinlik katsayısı (κ_b) daire kesitler için 1 olarak alınırken kare ve dikdörtgenkesitler için aşağıdaki ifade ile hesaplanır:

$$\kappa_b = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{h}{b} \right)^2$$

ACI 440.2R 2017 tarafından tanımlanan sargılı beton basınç modeli, etkili sargı oranının (f_t/f'_c) en az 0.08 olmasını gerektirmektedir. Ayrıca LP sargılama ile güçlendirilecek elemanın enkesit boyutlarının oranı $h/b > 2$ ise veya kenarlardan birisi 900 mm'den uzun ise önerilen bağıntıların etkinliği deneylerle ispatlanmadan kullanılmamalıdır.

LP kompozitler ile yapılacak güçlendirmelerde, uygulamanın yapılacağı yapı veya yapı elemanının belli bir minimum dayanıma sahip olması gerekmektedir. Kalıcı sabit ve hareketli yükler altında güvenliği sağlamak üzere LP kompozitlerden yararlanmak uygun değildir. Çünkü yangın, kaza, vandalizm veya başka bir sebeple LP kompozitler zarar görürse, bu durum yapı sisteminin göçmesine neden olabilir. LP sargı yalnızca deprem gibi aşırı yükleme durumlarında devreye girmelidir. Kullanım (servis) yükleri altında betonda oluşan enine şekildeğiştirme çatlama şekildeğiştirme değerinin altında olmalıdır. Bu durum beton basınç gerilmesinin $0.65f'_c$ değerinin altında olup olmadığının kontrolü ile sağlanabilir. Ayrıca, kullanım yükleri altında boyuna donatılarda oluşacak gerilme değeri de donatı akma gerilmesinin %60'ını aşmamalıdır. Uzun süreli yükleme durumlarında LP sargıda oluşacak gerilmenin sünme etkisi nedeniyle kopmaya neden olmayacağı kontrol edilmelidir.

ACI 440.2R 2017'ye göre eksenel basınç ve eğilme etkileri altında eksenel kuvvet kapasitesinin tayini

LP sargılama ile güçlendirilmiş betonarme kolonların eksenel kuvvet kapasitesi, spiral enine donatılı kolonlar için:

$$\phi P_n = 0.85\phi [0.85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

etriyeli kolonlar için ise:

$$\phi P_n = 0.8\phi [0.85f'_{cc}(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

(A_g : kolon brüt enkesit alanı, A_{st} : toplam boyuna donatı alanı, f_y : boyuna donatı akma dayanımı, ϕ : ACI 318 tarafından tanımlanan dayanım azaltma katsayısı (basınç etkileri hakim ise 0.65))

Verilen denklemler ile hesaplanabilir. Buna göre kolon aksenal kuvvet kapasitesinin hedeflenen bir değere ulaştırılabilmesi için aşağıdaki adımlar izlenebilir:

Adım 1:

LP malzeme için tasarıma esas malzeme özelliklerinin belirlenmesi

LP güçlendirme uygulamasının yapılacağı elemanın bulunduğu ortam şartları ve LP türü dikkate alınarak seçilecek çevresel etki faktörü C_E ile tasarıma esas LP çekme dayanımı (f_{fu}) ve kopma uzaması (ε_{fu}) değerleri hesaplanır.

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^*$$

$$\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^*$$

Adım 2:

Hedeflenen aksenal yük kapasitesine ($\phi P_{n,hedef}$) ulaşmak için gereken sargılı beton basınç dayanımının (f'_{cc}) belirlenmesi

Hedeflenen aksenal yük kapasitesine ulaşmak için gereken sargılı beton basınç (f'_{cc}) aşağıda verilen formülle hesaplanır.

$$f'_{cc} = \frac{1}{0.85(A_g - A_{st})} \left(\frac{\phi P_{n,hedef}}{0.8\phi} - f_y A_{st} \right)$$

Adım 3:

Hedef sargılı beton basınç dayanımına (f'_{cc}) ulaşabilmek için LP sargı tarafından etkitilmesi gereken enine sargı basıncının (f) belirlenmesi

LP sargı tarafından sağlanması gereken enine sargı basıncı sargılı beton basınç dayanımı ifadesi düzenlenerek aşağıdaki gibi elde edilir:

$$f_l = \frac{f'_{cc} - f'_c}{3.3\kappa_a}$$

Sargılama etkinlik katsayısı (κ_a) daire kesitler için 1 olarak alınırken kare ve dikdörtgen kesitler için kesit boyutları (b ve h), etkili olarak sargılanmış beton alanı (A_e) ve enkesit beton alanına ($A_c = A_g - A_{st}$) bağlı olarak hesaplanır:

$$\kappa_a = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{b}{h} \right)^2$$

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \left[\left(\frac{b}{h} \right) (h - 2r_c)^2 + \left(\frac{h}{b} \right) (b - 2r_c)^2 \right] - \rho_g}{3A_g - \rho_g}$$

Adım 4:

Uygulanması gereken LP kat sayısının (n) belirlenmesi

Uygulanması gereken LP sargı sayısı (n) aşağıdaki ifade ile hesaplanır ve bulunan rakam en yakın tam sayıya yukarı yuvarlanır:

$$n = \frac{f_t \sqrt{b^2 + h^2}}{\psi_f 2E_f t_f \varepsilon_{fe}}$$

Bu ifadede E_f LP malzemenin elastisite modülünü, t_f bir kat LP donatının kalınlığını, ε_{fe} ise LP etkin kopma uzamasını ifade etmektedir. LP etkin kopma uzaması (ε_{fe}), elemana eğilme ve aksenal basınç yüklerinin etkimesi durumunda:

$$\varepsilon_{fe} = 0.004 \leq \kappa_\varepsilon \varepsilon_{fu}$$

olarak tanımlanmıştır. κ_ε etkinlik katsayısı 0.55 olarak alınabilir. Betonarme elemanın salt aksenal basınç yüküne maruz olması durumunda 0.004 uzama değeri sınırı dikkate alınmamakta, LP etkin uzama sınırı $\kappa_\varepsilon \varepsilon_{fu}$ kadar alınmaktadır.

Adım 5:

Minimum sargı oranının kontrolü:

LP sargı tarafından sağlanan enine sargı basıncının beton basınç dayanımına oranı 0.08'den büyük olmalıdır:

$$\frac{f_l}{f'_c} \geq 0.08$$

Adım 6:

LP ile sargılı betonun ulaşabileceği en büyük basınç birim şekildeğiştirme değerinin (ε_{ccu}) 0.01'den küçük olduğunun kontrolü:

Aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacak sargılı beton en büyük basınç birim şekildeğiştirmesi değeri 0.01'den küçük olmalıdır.

$$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left(1.5 + 12\kappa_b \frac{f_l}{f'_c} \left(\frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon'_c} \right)^{0.45} \right) \leq 0.01$$

Sargılama etkinlik katsayısı (κ_b) daire kesitler için 1 olarak alınırken kare ve dikdörtgen kesitler için kesit boyutları (b ve h), etkili olarak sargılanmış beton alanı (A_e) ve enkesit beton alanına (A_c) bağlı olarak hesaplanır:

$$\kappa_b = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{h}{b} \right)^{0.5}$$

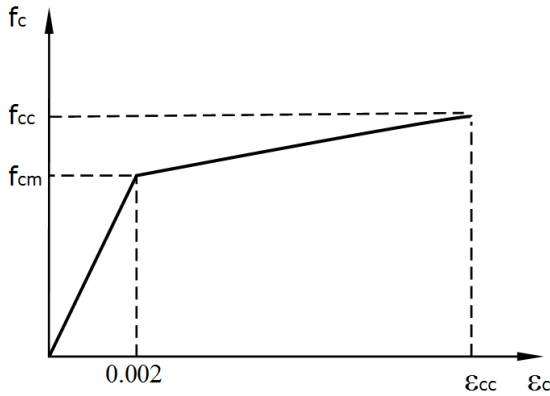
Bu şartın sağlanmaması durumunda sargılı beton için önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi kullanılarak ve basınç birim şekildeğiştirme değeri 0.01 alınarak sargılı beton basınç dayanımı (f'_{cc}) yeniden hesaplanmalıdır.

TBDY2019'a göre kolon aksenal kuvvet kapasitesi ve sünekliğinin arttırılması

Türk Bina Deprem Yönetmeliği (2019) ACI 440.2R 2017'ye benzer şekilde kolon aksenal yük kapasitesi ve sünekliğinin arttırılmasına yönelik yaklaşımları içermektedir. Buna göre, enine doğrultuda LP ile sargılanmış beton için iki doğrudan oluşacak şekilde idealleştirilmiş bir gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi kullanılabilir. Bu ilişkide büküm noktasında gerilme ve şekildeğiştirme değerleri f_{cm} (sargısız mevcut beton basınç dayanımı) ve 0.002 alınabilir. Gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin son noktasındaki değerler (f_{cc} ve ε_{cc}) aşağıdaki ifadeler ile hesaplanabilir:

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

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



Bu bağıntılarda, f_{cm} mevcut beton basınç dayanımı, f_1 ise LP enine sargı ile sağlanan yanal basınçtır. Yanal sargı basıncı f_1 ; kesit etkinlik faktörü (κ_a), LP sargının hacimsel oranı (ρ_f), LP kumaş etkin birim uzama değeri (ε_f) ve LP kumaş elastisite modülü (E_f) aracılığı ile belirlenebilir.

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

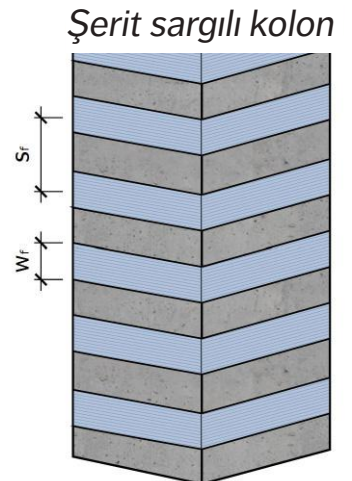
Bu ifadede, LP sargı hacimsel oranı (ρ_f) ve kesit etkinlik faktörü (κ_a) farklı kesit tipleri için aşağıdaki gibi belirlenmektedir:

Tam sargılı daire kesitli kolonlar için : $\rho_f = \frac{4n_f t_f}{D}$

Tam sargılı dikdörtgen kesitli kolonlar için : $\rho_f = \frac{2n_f t_f (b+h)}{bh}$

Şerit sargılı daire kesitli kolonlar için : $\rho_f = \frac{4n_f t_f w_f}{Ds_f}$

Şerit sargılı dikdörtgen kesitli kolonlar için : $\rho_f = \frac{2n_f t_f (b+h)w_f}{bhs_f}$



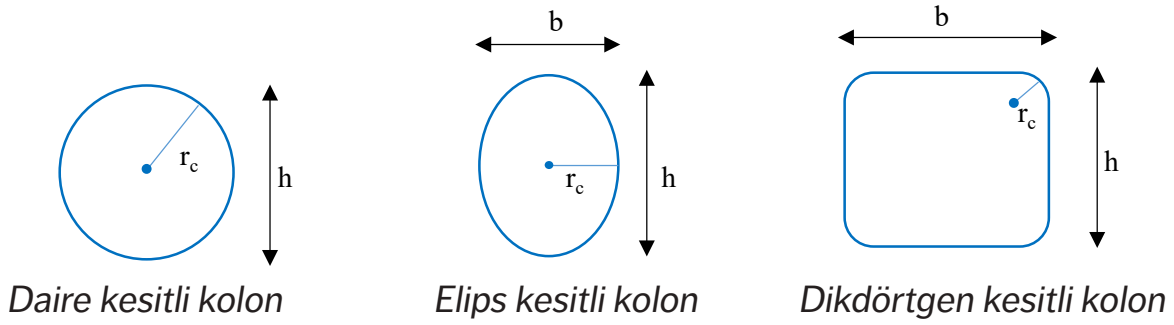
Burada şerit sargılı elemanların LP hacimsel oranlarının hesabında w_f LP şerit genişliği s_f LP şeritlerin aralık mesafesidir. Daire kesitli elemanların LP sargı hacimsel oranı hesabında kullanılan D değeri elemana ait çapa karşılık gelmekte olup, yuvarlatma yarıçapının (r_c) iki katına eşittir.

Daire kesitli kolonlar için : $\kappa_a = 1$

Elips kesitli kolonlar için : $\kappa_a = \frac{b}{h}$

Dikdörtgen kesitli kolonlar için : $\kappa_a = 1 - \frac{(b-2r_c)^2 + (h-2r_c)^2}{3bh}$

Dikdörtgen ve kare kesitli elemanlar için (κ_a) değerinin hesabında köşe yuvarlatma yarıçapı (r_c) en az 30 mm olarak alınmalıdır.

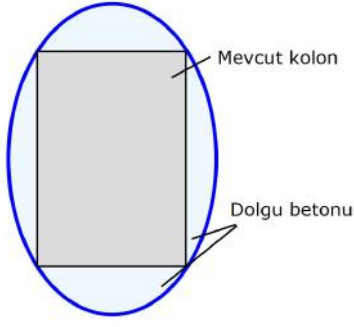


ε_{fu} LP kumaşın kopma uzaması olmak üzere, ε_{fe} LP kumaş etkin birim uzaması; 0.004 veya $\varepsilon_{fu}/2$ değerlerinden küçük olanı olarak dikkate alınacaktır.

Türk Bina Deprem Yönetmeliği'ne (2019) göre kolonların aksenal basınç dayanımlarının ve sünekliklerinin artırılabilmesi için kesit geometrilerinin belirli sınırlara uygun olması gerekmektedir. Bu sınırlar:

Elips kesitli kolonlar için : $\frac{h}{b} \leq 3$

Dikdörtgen kesitli kolonlar için : $\frac{h}{b} \leq 2$



Geometri sınırını sağlamayan dikdörtgenkesitli kolonlara, dolgu beton ile elips formu kazandırarak LP güçlendirmesi yapılabilir.

LP sargılı beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin elde edilmesi sonucunda, kolon aksenal yük kapasitesinin hesaplanabilmesin yanı sıra kolona ait aksenal yük - eğilme momenti etkileşim diyagramı ve kolon kesitine ait moment-eğrilik ilişkisi elde edilebilmektedir.

Türk Bina Deprem Yönetmeliği (2019) Bölüm 15'e göre doğrusal elastik hesap yöntemleri kullanılırken herhangi bir kolonda hesaplanan ϵ_{cc} değerinin 0.018 değerinden büyük olması durumunda söz konusu kolonun sargılanmış olduğu, aksi halde sargılanmamış olduğu kabul edilir.

TBDY-2019'a göre kolon aksenal kuvvet kapasitesinin arttırılması örneği

LP sargılama ile güçlendirilmiş betonarme kolonların aksenal kuvvet kapasitesi:

$$P_n = 0.85 f_{cc} (A_g - A_{st}) + f_{ym} A_{st}$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Burada f_{cc} sargılı beton basınç dayanımı, A_g kolon brüt kesit alanı, A_{st} boyuna donatıların toplam kesit alanı, f_{ym} mevcut boyuna donatı akma dayanımıdır. Buna göre kolon aksenal kuvvet kapasitesinin hedeflenen bir değere ulaştırılabilmesi için aşağıdaki adımlar izlenebilir:

Adım 1:

Hedeflenen aksenal yük kapasitesine ($P_{n,hedef}$) ulaşmak için gereken sargılı beton basınç dayanımının (f_{cc}) belirlenmesi

$$f_{cc} = \frac{1}{0.85(A_g - A_{st})} (P_{n,hedef} - f_{ym} A_{st})$$

LP sargılı beton basınç dayanımının mevcut beton dayanımından en az %20 fazla olduğu kontrol edilmelidir:

$$f_{cc} \geq 1.2f_{cm}$$

Adım 2:

Hedef sargılı beton basınç dayanımına (f_{cc}) ulaşabilmek için LP sargı tarafından etkililmesi gereken enine sargı basıncının (f_l) belirlenmesi

LP sargı tarafından sağlanması gereken enine sargı basıncı sargılı beton basınç dayanımı ifadesi düzenlenerek aşağıdaki gibi elde edilir:

$$f_l = \frac{f_{cc} - f_{cm}}{2.4}$$

Adım 3:

Uygulanması gereken LP hacimsel oranının (ρ_f) belirlenmesi

Uygulanması gereken LP hacimsel oranı (ρ_f) elde edilen enine sargı basıncını sağlayacak şekilde hesaplanır:

$$\rho_f = \frac{2f_l}{\kappa_a \varepsilon_f E_f}$$

Bu ifadede, κ_a kesit etkinlik faktörüne, E_f LP kumaş elastisite modülüne ve ε_f LP kumaş etkin birim uzama değerine karşılık gelmektedir.

LP kumaş etkin birim uzama değeri (ε_f):

$$\varepsilon_f \leq 0.004$$

$$\varepsilon_f \leq 0.5\varepsilon_{fu}$$

olarak tanımlanmıştır. ε_{fu} LP kopma birim uzama değeridir.

Kesit şekil etkinlik katsayısı (κ_a) kolon enkesit tipine bağlı olarak belirlenir:

Daire kesitli kolonlar için : $\kappa_a = 1$

Elips kesitli kolonlar için : $\kappa_a = \frac{b}{h}$

Dikdörtgen kesitli kolonlar için : $\kappa_a = 1 - \frac{(b - 2r_c)^2 + (h - 2r_c)^2}{3bh}$

Adım 4:

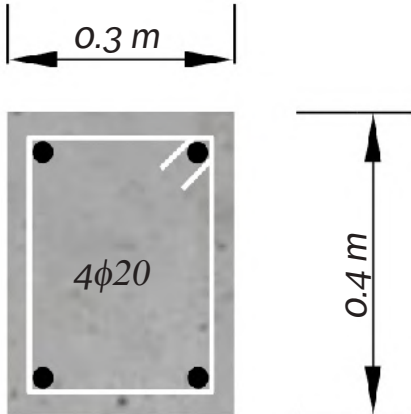
Uygulanması gereken LP sargı sayısı (n_f) aşağıdaki ifadeler ile hesaplanır ve bulunan rakam en yakın tam sayıya yukarı yuvarlanır:

Daire kesitli kolonlar için : $n_f = \frac{r_c \rho_f}{2t_f}$

Dikdörtgenkesitli kolonlar için : $n_f = \frac{\rho_f bh}{2t_f(b+h)}$

ACI 440.2R 2017 'ye göre kolon aksenal kuvvet kapasitesinin artırılması örneği

Şekilde enkesiti verilen kolonun aksenal kuvvet kapasitesinin LP sargılama ile %20 arttırılması için gerekli güçlendirme tasarımını yapınız. (f'_c : 10 MPa, f_y : 220 MPa, A_{st} : 1256.6 mm², çevresel etki faktörü (C_E): 0.95)



LP Kumaşa Ait Özellikler

Çekme Dayanımı (Mpa):	4900
Elastisite Modülü (MPa):	240000
Kopmada Uzama (mm/mm):	%2
LP Kumaş Kalınlığı (mm):	0.196

Adım 1:

Tasarımda esas alınacak LP malzeme özelliklerinin hesabı:

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^*$$

$$\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^*$$

$$f_{fu} = 0.95 \times 4900 = 4655 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{fu} = 0.95 \times 0.02 = 0.019 \text{ mm/mm}$$

C_E : Çevresel etki faktörü

f_{fu} : Çevresel etkiler gözetilerek hesaplanan LP çekme dayanımı

f_{fu}^* : LP kopma çekme dayanımı

ε_{fu} : Çevresel etkiler gözetilerek hesaplanan LP kopma şekildeğiştirmesi

ε_{fu}' : LP kopma şekildeğiştirmesi

Adım 2:

Hedeflenen aksenal yük kapasitesine ($\phi P_{n, hedef}$) ulaşmak için gereken sargılı beton basınç dayanımının (f'_{cc}) belirlenmesi:

$$\phi P_n = 0.8\phi \left[0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \right]$$

A_g : Kolon brüt enkesit alanı

A_{st} : Toplam boyuna donatı alanı

f_y : Boyuna donatıya ait akma dayanımı

ϕ : Dayanım azaltma katsayısı

$$\phi P_n = 0.8 \times 0.65 \left[0.85 \times 10 \times (400 \times 300 - 1256.6) + 220 \times 1256.6 \right] = 668600 \text{ N}$$

$$f'_{cc} = \frac{1}{0.85(A_g - A_{st})} \left(\frac{\phi P_{n, hedef}}{0.8\phi} - f_y A_{st} \right)$$

$$f'_{cc} = \frac{1}{0.85(400 \times 300 - 1256.6)} \left(\frac{802320}{0.8 \times 0.65} - 220 \times 1256.6 \right) = 12.55 \text{ MPa}$$

Not: ACI 318'e göre ϕ değeri basınç etkileri hakim ise 0.65 olarak alınacaktır.

Adım 3:

LP sargı tarafından etkililmesi gereken enine sargı basıncının (f_l) belirlenmesi:

$$f_l = \frac{f'_{cc} - f'_c}{3.3\kappa_a}$$

f'_c : Beton basınç dayanımı

κ_a : Sargılama etkinlik katsayısıdır.

h : Kesit yüksekliği

b : Kesit genişliği

A_e : Etkili olarak sargılanmış beton alanı

A_c : Enkesit beton alanı ($A_c = A_g - A_{st}$)

$$\kappa_a = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{b}{h} \right)^2$$

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \left[\left(\frac{b}{h} \right) (h - 2r_c)^2 + \left(\frac{h}{b} \right) (b - 2r_c)^2 \right] - \rho_g}{3A_g - \rho_g}$$

r_c : Köşe yuvarlatma yarıçapı
 A_g : Kolon enkesit brüt alanı
 ρ_g : Sargılama etkinlik katsayısı

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \left[\left(\frac{300}{400} \right) (400 - 2 \times 30)^2 + \left(\frac{400}{300} \right) (300 - 2 \times 30)^2 \right] - 0.0085}{3 \times 400 \times 300 - 0.0085} = 0.542$$

Not: $r_c = 30$ mm olarak alınmıştır.

$$\kappa_a = 0.542 \times \left(\frac{300}{400} \right)^2 = 0.304$$

$$f_l = \frac{12.55 - 10}{3.3 \times 0.304} = 2.54 \text{ MPa}$$

Adım 4:

Uygulanması gereken LP kat sayısının (n) belirlenmesi

$$n = \frac{f_l \sqrt{b^2 + h^2}}{\psi_f 2E_f t_f \varepsilon_{fe}}$$

E_f : LP kumaşın elastisite modülü
 t_f : Bir kat LP kumaşın kalınlığı
 ε_{fe} : LP etkin kopma uzamasını
 ψ_f : LP için güvenlik katsayısı

Not: ψ_f katsayısı tüm çevresi sarılan elemanlar için 0.95 olarak alınacaktır.

$$n = \frac{2.54 \times \sqrt{300^2 + 400^2}}{0.95 \times 2 \times 240000 \times 0.196 \times 0.004} = 3.56 \approx 4 \text{ kat kumaş}$$

Adım 5:

Minimum sargı oranının kontrolü:

Minimum sargı oranının kontrolü 4 kat kumaş için gerçekleştirilecektir.

$$\frac{f_l}{f'_c} \geq 0.08 \text{ olmalıdır.}$$

$$f_l = \frac{2E_f n t_f \varepsilon_{fe}}{D}$$

D : Eşdeğer daire enkesit çapı

$$D = \sqrt{b^2 + h^2}$$

$$f_l = \frac{2 \times 240000 \times 4 \times 0.196 \times 0.004}{\sqrt{300^2 + 400^2}} = 3 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_l}{f'_c} = \frac{3}{10} = 0.333 \geq 0.08 \quad \checkmark$$

Adım 6:

LP ile sargılı betonun ulaşabileceği en büyük basınç birim şekildeğiştirme değerinin (ε_{ccu}) 0.01'den küçük olduğunun kontrolü:

$$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left(1.5 + 12 \kappa_b \frac{f_l}{f'_c} \left(\frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon'_c} \right)^{0.45} \right) \leq 0.01$$

κ_b : Sargılama etkinlik katsayısı

$$\kappa_b = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{h}{b} \right)^{0.5}$$

$$\kappa_b = \frac{0.537}{0.992} \left(\frac{400}{300} \right)^{0.5} = 0.626$$

$$\varepsilon_{ccu} = 0.002 \times \left(1.5 + 12 \times 0.626 \times \frac{3}{10} \times \left(\frac{0.004}{0.002} \right)^{0.45} \right) = 0.00915 \leq 0.01 \quad \checkmark$$

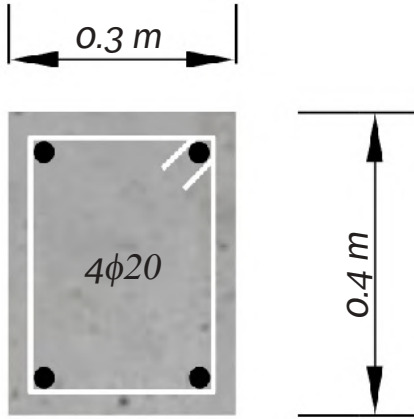
4 kat kumaş kullanılarak sargılanmış kolona ait sargılı beton basınç dayanımı aşağıda verildiği gibi hesaplanır.

$$f'_{cc} = f'_c + \psi_f 3.3 \kappa_a f_l$$

$$f'_{cc} = 10 + 0.95 \times 3.3 \times 0.305 \times 3 = 12.87 \text{ MPa}$$

ACI 440.2R 2017 'ye göre güçlendirme tasarımı yapılmış ve LP kumaş ile sargılanmış kolon ile sargılanmamış kolon arasında aksenal kuvvet - moment kapasite farkının belirlenmesi

Bir önceki örnekte ACI 440.2R 2017'ye göre güçlendirme tasarımı yapılarak, 4 kat LP kumaş ile sarılan kolonun güçlendirme öncesi ve sonrası normal kuvvet-moment kapasitelerinin ne kadar değiştiğini gösteriniz. (f'_c : 10 MPa, f_y : 220 MPa, A_{st} : 1256.6 mm², paspayı: 4 cm)



LP Kumaşa Ait Özellikler

Çekme Dayanımı (MPa)	: 4900
Elastisite Modülü (MPa)	: 240000
Kopmada Uzama (mm/mm)	: %2
LP Kumaş Kalınlığı (mm)	: 0.196

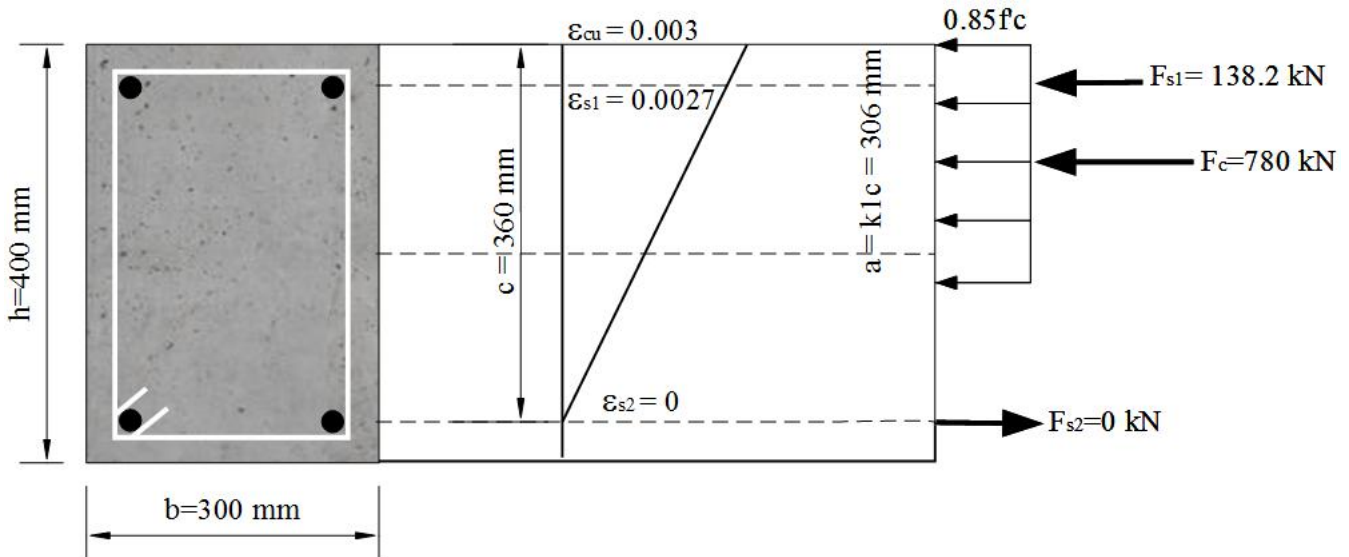
A) Sargısız kolon basit basınç durumu:

$$\phi P_n = 0.8\phi [0.85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

$$\phi P_n = 0.8 \times 0.65 [0.85 \times 10(400 \times 300 - 1256.6) + 220 \times 1256.6] = 668605 \text{ N}$$

$$\phi M_n = 0$$

B) Sargısız kolon ($\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.003$, $\epsilon_{s2} = 0$)



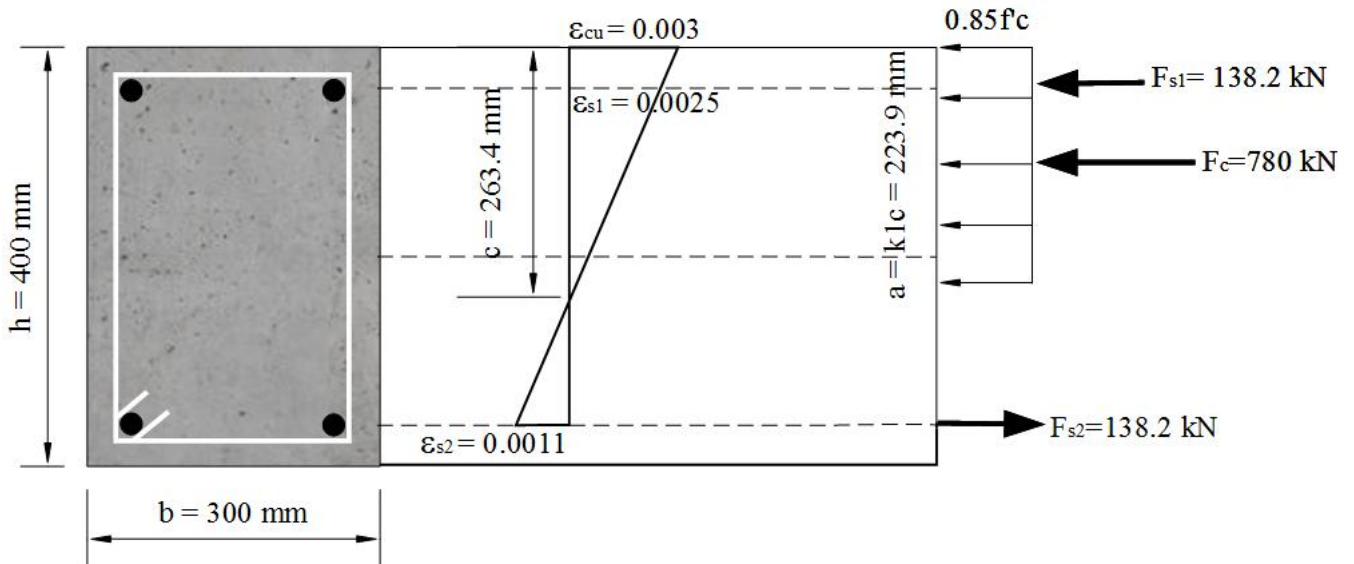
$$\phi P_n = \phi [0.85 f'_c k_1 c b + f_y A_{st}]$$

$$\phi P_n = 0.65 [0.85 \times 10 \times 0.85 \times 360 \times 300 + 220 \times 628.3] = 597045 \text{ N}$$

$$\phi M_n = \phi \left[0.85 f'_c k_1 c b \left(\frac{d_f}{2} - \frac{0.85c}{2} \right) + \Sigma f_y A_{st} \left(\frac{d_f}{2} - d' \right) \right]$$

$$\phi M_n = 0.65 \left[0.85 \times 10 \times 0.85 \times 360 \times 300 \left(\frac{400}{2} - \frac{0.85 \times 360}{2} \right) + 220 \times 628.3 \times \left(\frac{400}{2} - 40 \right) \right] = 40011084 \text{ Nmm}$$

C) Sargısız kolon denge durumu ($\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0092$, $\epsilon_{s2} = \epsilon_{sy} = 0.0011$)



$$\phi P_n = \phi [0.85 f'_c k_1 c b + f_y A_{st}]$$

$$\phi P_n = 0.65 [0.85 \times 10 \times 0.85 \times 263.4 \times 300 + 220 \times 628.3 - 220 \times 628.3] = 371118 \text{ N}$$

$$\phi M_n = \phi \left[0.85 f'_c k_1 c b \left(\frac{d_f}{2} - \frac{0.85c}{2} \right) + \Sigma f_y A_{st} \left(\frac{d_f}{2} - d' \right) \right]$$

$$\phi M_n = 0.65 \left[0.85 \times 10 \times 0.85 \times 263.4 \times 300 \left(\frac{400}{2} - \frac{0.85 \times 263.4}{2} \right) + 628.3 \times 180 + 628.3 \times 180 \right] = 61410266 \text{ Nmm}$$

D) Sargısız kolon basit çekme durumu:

$$\phi P_n = \phi [f_y A_{st}]$$

$$\phi P_n = 0.90 [220 \times 1256.6] = 248814 \text{ N}$$

$$\phi M_n = 0$$

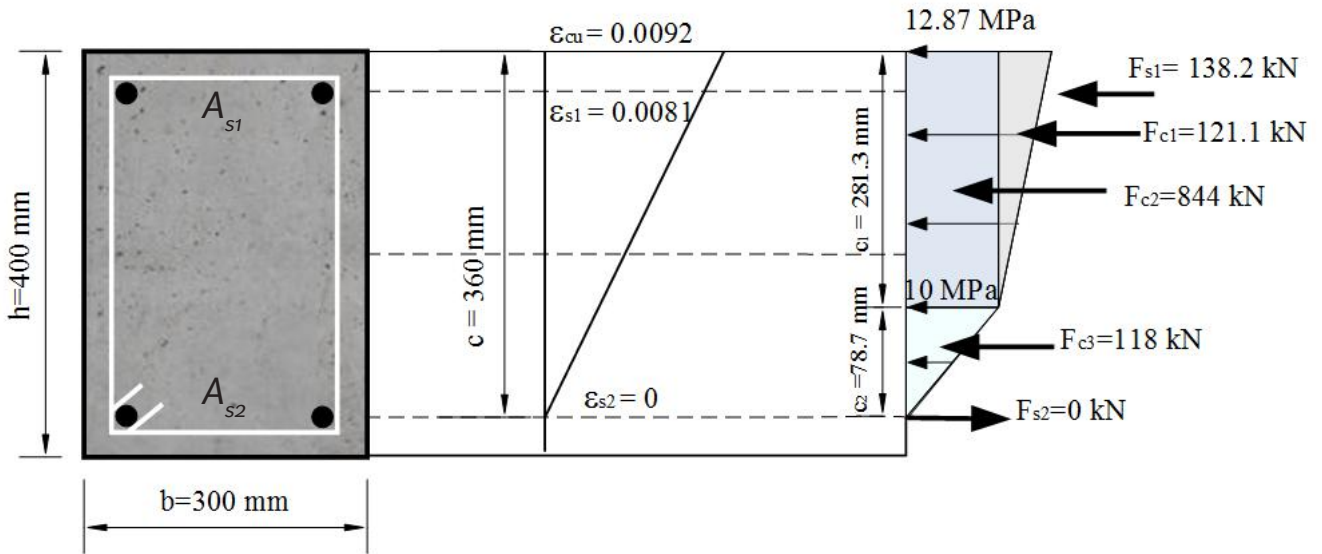
A) Sargılı kolon basit basınç durumu:

$$\phi P_n = 0.8\phi [0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

$$\phi P_n = 0.8 \times 0.65 [0.85 \times 12.87 \times (400 \times 300 - 1256.6) + 220 \times 1256.6] = 818994 \text{ N}$$

$$\phi M_n = 0$$

B) Sargılı kolon ($\varepsilon_c = \varepsilon_{cu} = 0.0092$, $\varepsilon_{s2} = 0$)



$$\phi P_n = \phi \left[b(f'_{cc} - f'_c) \frac{c_1}{2} + b f'_c c_1 + b f'_c c_2 + f_y A_{s1} \right]$$

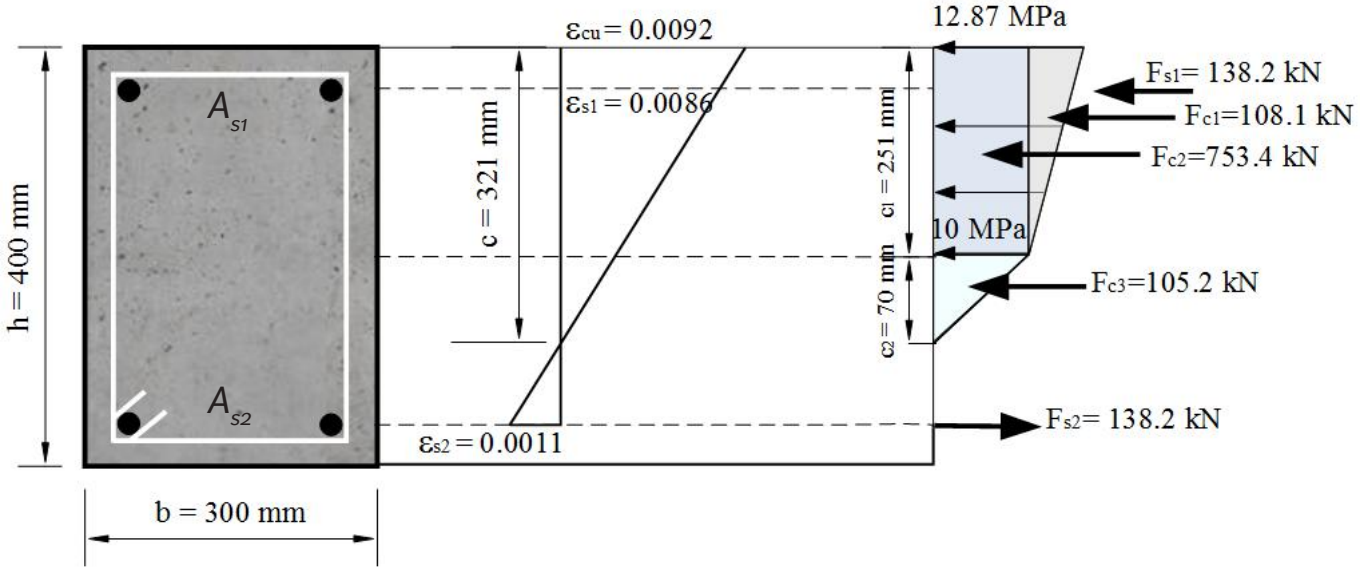
$$\phi P_n = 0.65 \left[\left(300 \times (12.87 - 10) \times \frac{281.3}{2} \right) + (300 \times 10 \times 281.3) + \left(300 \times 10 \times \frac{78.7}{2} \right) + 220 \times 628.3 \right] = 793861 \text{ N}$$

$$\phi M_n = \phi \left[\left(b(f'_{cc} - f'_c) \frac{c_1}{2} \right) \left(\frac{h}{2} - \frac{2c_1}{3} \right) + (b f'_c c_1) \left(\frac{h - c_1}{2} \right) - (b f'_c c_2) \left(c_1 - h + \frac{c_2}{3} \right) + (f_y A_{s1}) \left(\frac{h}{2} - d' \right) \right]$$

$$\phi M_n = 0.65 \left[121109.5 \times \left(\frac{400}{2} - \frac{2}{3} \times 281.3 \right) + 843968 \times \left(\frac{400}{2} - \frac{281.3}{2} \right) - 118015 \times \left(81.3 + \frac{78.7}{3} \right) + 220 \times 628.3 \right]$$

$$= 41463621 \text{ Nmm}$$

C) Sargılı kolon denge durumu ($\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$, $\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{sy}$)



$$\phi P_n = \phi \left[b(f'_{cc} - f'_c) \frac{c_1}{2} + bf'_c c_1 + bf'_c c_2 + f_y A_{s1} - f_y A_{s2} \right]$$

$$\phi P_n = 0.65 \left[\left(300 \times (12.87 - 10) \times \frac{251}{2} \right) + (300 \times 10 \times 251) + \left(300 \times 10 \times \frac{70}{2} \right) + 220 \times 628.3 - 220 \times 628.3 \right] = 628468 \text{ N}$$

$$\phi M_n = \phi \left[\left(b(f'_{cc} - f'_c) \frac{c_1}{2} \right) \left(\frac{h}{2} - \frac{2c_1}{3} \right) + (bf'_c c_1) \left(\frac{h - c_1}{2} \right) - (bf'_c c_2) \left(c_1 - h + \frac{c_2}{3} \right) + (f_y A_{s1}) \left(\frac{h}{2} - d' \right) - (f_y A_{s2}) \left(\frac{h}{2} - d' \right) \right]$$

$$\phi M_n = 0.65 \left[108114 \times \left(\frac{400}{2} - \frac{2}{3} \times 251 \right) + 753408 \times \left(\frac{400}{2} - \frac{251}{2} \right) - 105352 \times \left(51 + \frac{70}{3} \right) + 220 \times 628.3 + 220 \times 628.3 \right]$$

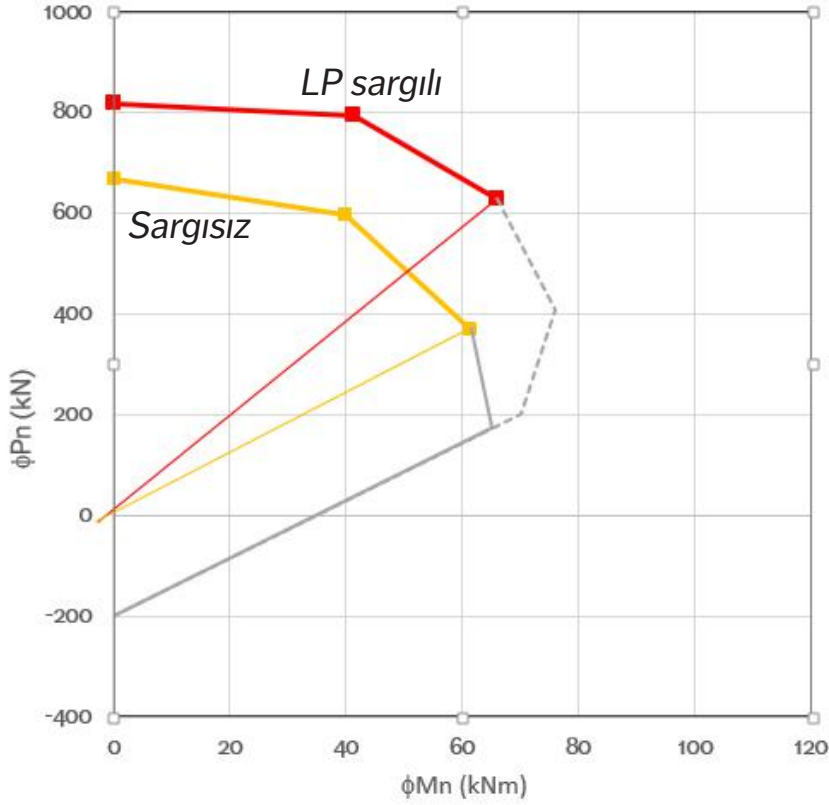
$$= 66034995 \text{ Nmm}$$

D) Sargılı kolon basit çekme durumu:

$$\phi P_n = \phi [f_y A_{st}]$$

$$\phi P_n = 0.90 [220 \times 1256.6] = 248814 \text{ N}$$

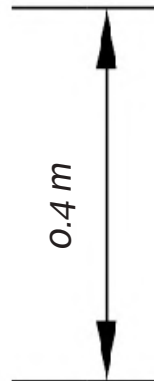
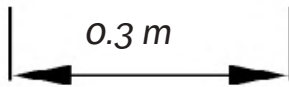
$$\phi M_n = 0$$



ACI 440.2R 2017'ye göre LP sargı basınç göçmesinin hakim olduğu denge çizgisi üzeri bölgede etkindir. Bu nedenle etkileşim diyagramlarının denge altındaki kısımları şematik olarak gösterilmiştir.

TBDY-2019'a göre kolon aksenal kuvvet kapasitesinin artırılması ile ilgili örnek

Şekilde enkesiti verilen kolonun aksenal kuvvet kapasitesinin LP sargı ile %30 artırılması için gerekli güçlendirme tasarımını yapınız. (f'_c : 10 MPa, f_y : 220 MPa, A_{st} : 1256.6 mm² paspayı 4 cm)



LP Kumaşa Ait Özellikler

Çekme Dayanımı (MPa)	: 4900
Elastisite Modülü (MPa)	: 240000
Kopmada Uzama (mm/mm)	: %2
LP Kumaş Kalınlığı (mm)	: 0.196

Adım 1:

Hedeflenen aksenal yük kapasitesine ($P_{n,hedef}$) ulaşmak için gereken sargılı beton basınç dayanımının (f_{cc}) belirlenmesi

$$f_{cc} = \frac{1}{0.85(A_g - A_{st})} (P_{n,hedef} - f_{ym} A_{st})$$

A_g : Kolon brüt enkesit alanı
 A_{st} : Toplam boyuna donatı alanı
 f_{ym} : Boyuna donatıya ait mevcut akma dayanımı

$$f_{cc} = \frac{1}{0.85(400 \times 300 - 1256.6)} \left(\frac{802320}{0.8 \times 0.65} - 220 \times 1256.6 \right) = 12.55 \text{ MPa}$$

$f_{cc} \geq 1.2 f_{cm}$ olmalıdır.

f_{cm} : Mevcut beton basınç dayanımı

$$f_{cc} = 12.55 \text{ MPa} \geq 1.2 \times 10 = 12 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

Adım 2:

Hedef sargılı beton basınç dayanımına (f_{cc}) ulaşabilmek için LP sargı tarafından etkilmesi gereken enine sargı basıncının (f_l) belirlenmesi

$$f_l = \frac{f_{cc} - f_{cm}}{2.4}$$

$$f_l = \frac{12.55 - 10}{2.4} = 1.06 \text{ MPa}$$

Adım 3:

Uygulanması gereken LP hacimsel oranının (ρ_f) belirlenmesi

$$\rho_f = \frac{2f_l}{\kappa_a \varepsilon_f E_f}$$

E_f : LP kumaşın elastisite modülü
 ε_f : LP etkin birim uzama değeri
 ε_{fu} : LP etkin birim uzama kopma değeri

$$\varepsilon_f = \begin{cases} \leq 0.004 \\ \leq 0.5\varepsilon_{fu} \end{cases}$$

$$\varepsilon_f = 0.004$$

$$\kappa_a = 1 - \frac{(b - 2r_c)^2 + (h - 2r_c)^2}{3bh}$$

κ_a : Kesit şekil etkinlik katsayısı

r_c : Köşe yuvarlatma yarıçapı

b : Kesit genişliği

h : Kesit yüksekliği

$$\kappa_a = 1 - \frac{(300 - 2 \times 30)^2 + (400 - 2 \times 30)^2}{3 \times 300 \times 400} = 0.519$$

$$\rho_f = \frac{2 \times 1.06}{0.519 \times 0.004 \times 240000} = 0.0043$$

Adım 4:

Uygulanması gereken LP kat sayısının (n_f) belirlenmesi

$$n_f = \frac{\rho_f bh}{2t_f(b+h)}$$

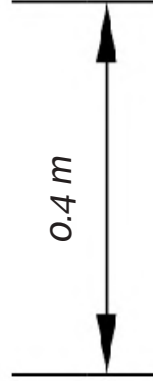
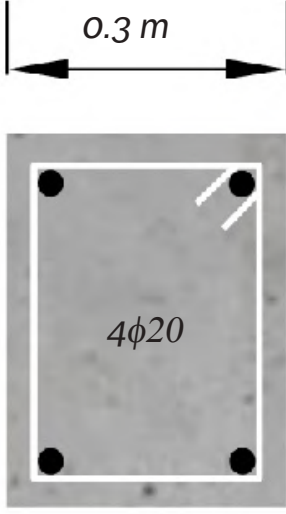
t_f : Bir kat LP kumaşın kalınlığı

$$\rho_f = \frac{0.0043 \times 300 \times 400}{2 \times 0.196 \times (300 + 400)} = 1.88 \approx 2 \text{ kat kumaş}$$

TBDY-2019 Bölüm 15'de verilen doğrusal elastik hesap yöntemlerine göre kolonun sargılı kabul edilebilmesi için gerekli olan LP kat sayısının hesabıyla ilgili örnek

Türk Bina Deprem Yönetmeliği Bölüm 15'e göre doğrusal elastik hesap yöntemleri kullanılırken herhangi bir kolonda hesaplanan ε_{cc} değerinin 0.018 değerinden büyük olması durumunda sargılanmış olduğu kabul edilir.

Şekilde enkesiti verilen kolonun TBDY2019 Bölüm-15'e göre sargılanmış kabul edilebilmesi için gerekli olan LP kumaş kat sayısını hesaplayınız.



LP Kumaşa Ait Özellikler

Çekme Dayanımı (MPa)	:4900
Elastisite Modülü (MPa)	: 240000
Kopmada Uzama (mm/mm)	: %2
LP Kumaş Kalınlığı (mm)	: 0.196

Adım 1:

Sargılanmış beton basınç dayanımına karşı gelen birim kısalmanın 0.018'e eşit olması ($\varepsilon_{cc} = 0.018$) için gerekli olan LP kat sayısının (n_f) belirlenmesi

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

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

$\kappa_a = 0.519$ olarak önceki örnekte hesaplanmıştır.

$$\rho_f = \frac{2n_f t_f (b+h)}{bh}$$

$\varepsilon_{cc} = 0.018$ için yukarıda verilen denklemler düzenlenir.

$$0.018 = 0.002 \times \left[1 + 15 \times \left(\frac{\left(\frac{1}{2} \times 0.519 \times 0.004 \times \left(\frac{2n_f \times 0.196 \times (300 + 400)}{(400 \times 300)} \right) \times 0.004 \times 240000 \right)^{0.75}}{10} \right) \right]$$

LP kat sayısı (n_f) değeri buradan hesaplanacak olursa:

$$n_f = 7.58 \approx 8 \text{ kat kumaş}$$

ACI 440.2R 2017'ye göre güçlendirme tasarımı yapılan LP kumaş sargılı kolonların süneklik artışı

$$f'_{cc} = f'_c + \psi_f 3.3 \kappa_a f_l$$

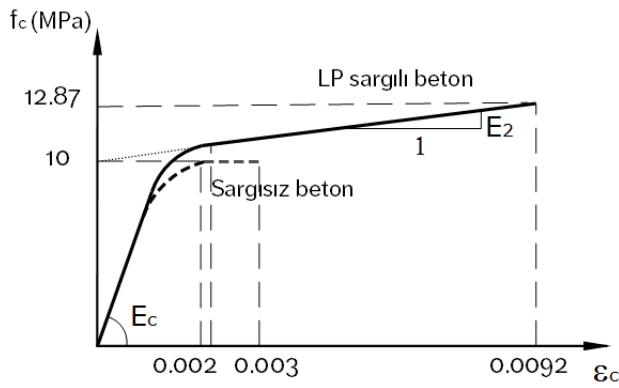
LP sargılı betonun basınç dayanımı

$$f'_{cc} = 10 + 0.95 \times 3.3 \times 0.305 \times 3 = 12.87 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left(1.5 + 12 \kappa_b \frac{f_l}{f'_c} \left(\frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon'_c} \right)^{0.45} \right)$$

LP sargılı betonun maksimum şekildeğiştirilmesi

$$\varepsilon_{ccu} = 0.002 \times \left(1.5 + 12 \times 0.626 \times \frac{3}{10} \times \left(\frac{0.004}{0.002} \right)^{0.45} \right) = 0.00915$$



ACI440.2R'ye göre elde edilen LP sargılı ve sargısız betonun gerilme şekildeğiştirme ilişkileri

TBDY2019 Bölüm 15'e göre güçlendirme tasarımı yapılan LP kumaş sargılı kolonların süneklik artışı

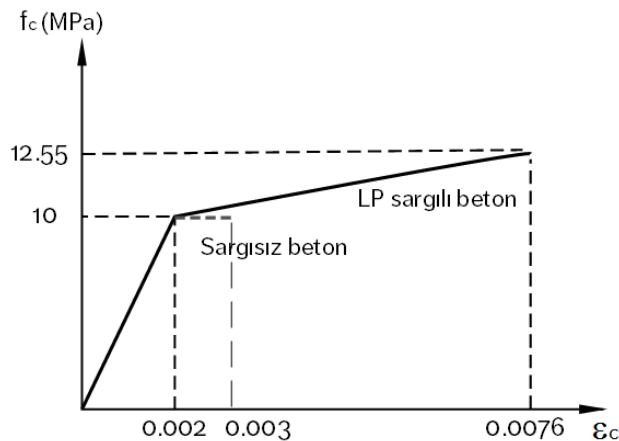
$$f_{cc} = \frac{1}{0.85(A_g - A_{st})} (P_{n,hedef} - f_{ym} A_{st})$$

LP sargılı betonun basınç dayanımı

$$f_{cc} = \frac{1}{0.85(400 \times 300 - 1256.6)} \left(\frac{802320}{0.8 \times 0.65} - 220 \times 1256.6 \right) = 12.55 \text{ MPa}$$

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

LP sargılı betonun maksimum şekildeğiştirilmesi



TBDY2019'a göre elde edilen LP sargılı ve sargısız betonun gerilme şekildeğiştirme ilişkileri



LİFLİ POLİMER UYGULAMA PROSEDÜRLERİ

KARBON KUMAŞ (FABRIC) UYGULAMA PROSEDÜRÜ

YÜZEY HAZIRLIĞI

Uygulama yapılacak beton yüzeyinin üzerindeki sıva kaldırılmalıdır. Hasarlı ve gevşek beton parçaları yüzeyden uzaklaştırılmalıdır. Beton ile karbon kumaşın yapışmasını engelleyecek malzemeler (çimento şerbeti, boya, kür malzemesi, izolasyon malzemesi vb.) uygulama öncesi yüzeyden uzaklaştırılmalıdır. Bu malzemelerin uzaklaştırılması için, kumlama, aşındırma gibi mekanik yöntemler tercih edilmeli, kimyasal yöntemler kullanılmamalıdır. Düzgün bir yüzey elde etmek için gerekli tamiratlar yapılarak beton yüzeyi mümkün olduğunca pürüzsüz bir duruma getirilmelidir. Uygulama yapılacak beton yüzeyi kuru (nem oranı $< \%4$), temiz ve tozsuz olmalıdır.

Tuğla, taş vb. yüzeyler en az 2 cm kalınlığında çimento bazlı yapısal tamir harcı ile düzgün ve pürüzsüz bir yüzey oluşturacak şekilde sıvanmalıdır. Astar uygulamasına geçilmeden 7 gün beklenmelidir.

Kolon, kiriş perde ve duvar köşeleri en az 30 mm yarıçapında yuvarlatılmalıdır.

ASTAR UYGULAMASI (PRİMER)

Astar uygulaması, mevcut beton yüzeyinin sertliğini arttırarak lifli polimer ile alt yüzeyin daha iyi yapışmasını sağlamak amacıyla yapılmaktadır.

Malzeme Hazırlığı

Uygulamaya başlamadan önce malzeme sıcaklıklarının 5° - 25° C arasında olduğundan emin olunmalıdır. Bir kutu A bileşeni ile bir kutu B bileşeni karıştırılmalıdır. Önce A Bileşeni 30 saniye karıştırılmalıdır. Sonrasında B bileşeninin tamamı, A Bileşeninin içerisine boşaltılmalıdır. Karıştırma işlemi, en az 1-2 dakika boyunca yaklaşık 300 dev/dak.'lık bir karıştırıcı ile homojen bir karışım elde edilinceye kadar devam etmelidir.

Astarın Sürülmesi

Hazırlanan astar karışımı beton yüzeylerde ince bir film tabakası (0.1 mm - 0.2 mm oluşturacak şekilde rulo ile empenye edilerek uygulanmalıdır. Düşük dayanımlı betonlarda astar malzemesi hızla emileceğinden arada bekleme yapmadan ikinci kat astar malzemesi yüzeye sürülmelidir. Beton yüzeyine dokunulduğunda astar malzemesi hissedilecek kalınlıkta uygulanmış olmalıdır.

REÇİNE UYGULAMASI

Malzeme Hazırlığı

Gerilme aktarımını sağlayabilmesi için reçine yüksek mekanik dayanımlara (eğilme dayanımı, kopma dayanımı vs.) sahip olmalıdır. Reçinenin saflığını bozacak herhangi bir çözücü reçine uygulaması sırasında kullanılmamalıdır. Uygulamaya başlamadan önce malzeme sıcaklıklarının 15° - 25° C arasında olduğundan emin olunmalıdır. Önce A Bileşeni 30 saniye karıştırılmalıdır. Sonrasında B bileşeninin tamamı, A bileşeninin içerisine boşaltılmalıdır. Karıştırma işlemi, en az 1-2 dakika boyunca yaklaşık 300 dev/dak.'lık bir karıştırıcı ile homojen bir karışım elde edilinceye kadar devam etmelidir.

Reçinenin Sürülmesi

Astar uygulamasını takip eden 24 saat içerisinde reçine uygulamasına başlanmalıdır. 24 saati geçen durumlarda yüzeye tekrar astar (primer) sürülerek yapıştırma uygulamasına 24 saat içinde geçilebilir. Reçine rulo ile astarlanmış yüzeylere 0.8 mm - 1.0 mm (0.8 kg/m² - 1.0 kg/m²) kalınlık elde edecek şekilde sürülmelidir.

KARBON KUMAŞ (FABRIC) UYGULAMASI

Uygulamaya geçilmeden önce yeterli miktarda malzemenin uygulama sahasında bulunduğundan emin olunmalıdır. Karbon kumaşlar gerektiği takdirde tiner vb. solvent ile yağ, kir vb. yabancı maddelerden temizlenmelidir. Daha sonra uygulama projesinde belirtilen detaylara uygun olarak karbon kumaşlar kullanılacak ölçülerde kesilerek hazırlanmalıdır.

Reçine henüz yaşken projesine uygun ölçülerde kesilmiş karbon kumaşlar lifleri doğrultusunda gerdirilerek yüzeye yapıştırılmalıdır. Daha sonra rulo ile karbon kumaşları lifleri doğrultusunda bastırarak reçinenin kumaş içine emdirilmesi ve yüzeye arasında boşluk kalmaması sağlanmalıdır.

İkinci kat reçine yine rulo ile yüzeye yapıştırılmış olan karbon kumaşın üzerine lifleri doğrultusunda sürülmelidir. Güçlendirme uygulamasının son katı için lifler doğrultusunda en az 20 cm bindirme boyu bırakılmalıdır. Liflere dik yönde ise herhangi bir bindirme yapılmasına gerek yoktur. Çok katlı karbon kumaş uygulamalarında katlar arasında yaklaşık 0.8 kg/m² yapıştırıcı kullanılmalıdır.



LİFLİ POLİMER UYGULAMA PROSEDÜRLERİ

KARBON LİFLİ POLİMER ŞERİT (LAMİNATE) UYGULAMA PROSEDÜRÜ

YÜZEY HAZIRLIĞI

Uygulama yapılacak beton yüzeyinin üzerindeki sıva kaldırılmalıdır. Hasarlı ve gevşek beton parçaları yüzeyden uzaklaştırılmalıdır. Düzgün bir yüzey elde etmek için gerekli tamiratlar yapılarak beton yüzeyi mümkün olduğunca pürüzsüz duruma getirilmelidir.

Beton ile lifli polimer şeridin yapışmasını engelleyecek; çimento şerbeti, boya, kür malzemesi, izolasyon malzemesi vb. maddeler var ise uygulama öncesi yüzeyden uzaklaştırılmalıdır. Bu tabakaların kaldırılması için, kumlama, aşındırma gibi mekanik yöntemler tercih edilmeli, kimyasal yöntemler kullanılmamalıdır. Uygulama yapılacak beton yüzeyi kuru (nem oranı $< \%4$), temiz ve tozsuz olmalıdır.

Tuğla, taş vb. yüzeyler en az 2 cm kalınlığında çimento bazlı yapısal tamir harcı ile düzgün ve pürüzsüz bir yüzey oluşturacak şekilde sıvanmalıdır. Astar uygulamasına geçilmeden 7 gün beklenmelidir.

ASTAR UYGULAMASI (PRİMER)

Astar uygulaması, lifli polimerin alt yüzeye daha iyi yapışmasını ve beton yüzeyin sertliğini arttırarak beton ile lifli polimerin ayrılma ihtimalini azaltmak amacı ile yapılmaktadır.

Malzeme Hazırlığı

Astar karışım oranına göre kullanıma hazır setler halinde temin edilmektedir. Uygulamaya başlamadan önce malzeme sıcaklıklarının 5° - 25° C arasında olduğundan emin olunmalıdır. Önce A Bileşeni 30 saniye karıştırılmalıdır. Sonrasında B bileşeninin tamamı, A Bileşeninin içerisine boşaltılmalıdır. Karıştırma işlemi, en az 1-2 dakika boyunca yaklaşık 300 dev/dak.'lık bir karıştırıcı ile homojen bir karışım elde edilinceye kadar devam etmelidir.

Astarın Sürülmesi

Hazırlanan astar karışımı beton yüzeylerde ince bir film tabakası (0.1 mm - 0.2 mm) oluşturacak şekilde rulo ile emprenye edilerek uygulanmalıdır. Düşük dayanımlı betonlarda astar malzemesi hızla yüzeye emileceğinden arada bekleme yapmadan ikinci kat astar malzemesi yüzeye sürülmelidir. Beton yüzeyine dokunulduğunda astar malzemesi hissedilecek kalınlıkta uygulanmış olmalıdır.

REÇİNE UYGULAMASI (ADHESIVE) :

Malzeme Hazırlığı :

Reçine malzeme epoksi esaslı, iki bileşenli, solventsiz, yüksek dayanımlı ve macun kıvamında olmalıdır. Reçine karışım oranına göre kullanıma hazır setler halinde temin edilmektedir. Uygulamaya başlamadan önce malzeme sıcaklıklarının 5° - 25° C arasında olduğundan emin olunmalıdır. Önce A Bileşeni 30 saniye karıştırılmalıdır. Sonrasında B bileşenin tamamı, A Bileşenin içerisine boşaltılmalıdır. Karıştırma işlemi, en az 1-2 dakika boyunca yaklaşık 300 dev/dak.'lık bir karıştırıcı ile homojen bir karışım elde edilinceye kadar devam etmelidir.

Reçine Uygulanması :

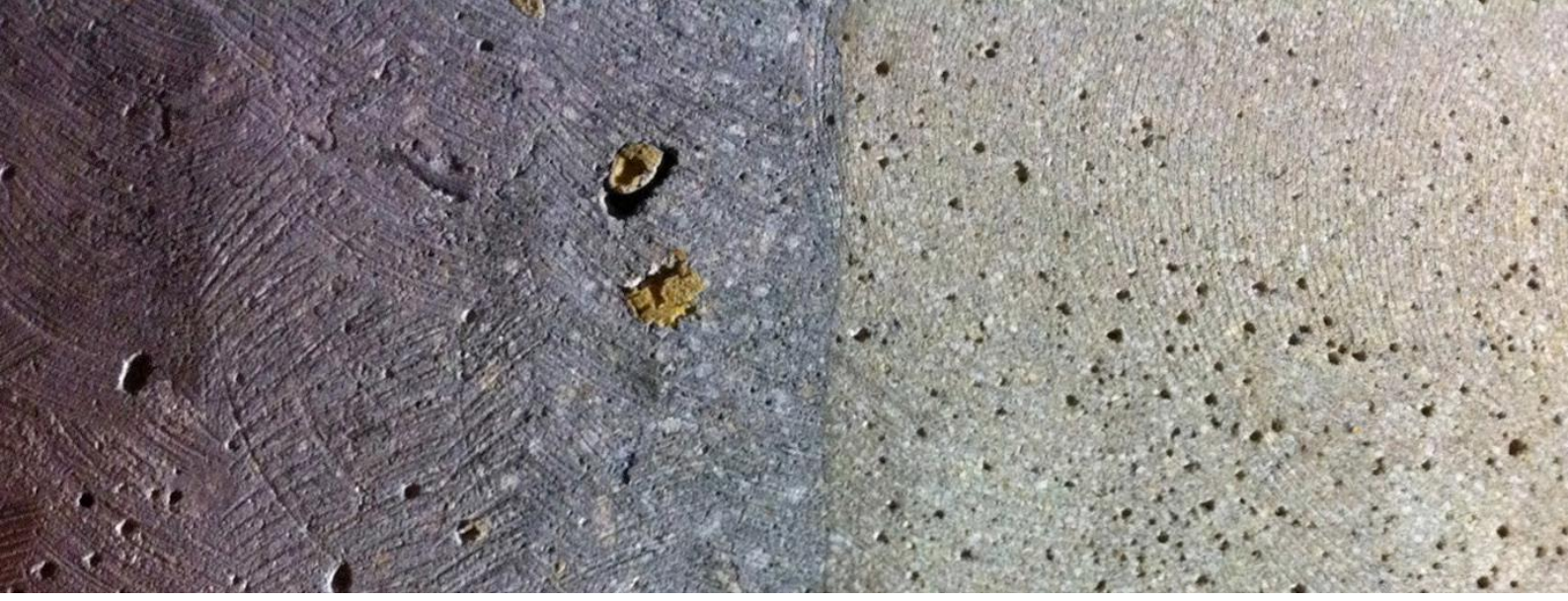
Astar uygulamasını takip eden 24 saat içerisinde reçine uygulamasına başlanmalıdır. 24 saati geçen durumlarda yüzeye tekrar astar (primer) sürülerek yapıştırma uygulamasına 24 saat içinde geçilebilir. Önceden hazırlanmış karbon lifli polimer şeritlerin (lamine) yapıştırılacak yüzeylerine 1.0 mm-1.5 mm kalınlığında reçine spatula ile sürülmelidir.

KARBON LİFLİ POLİMER ŞERİT (LAMINATE) UYGULAMASI

Uygulamaya geçilmeden önce yeterli miktarda malzemenin uygulama sahasında bulunduğundan emin olunmalıdır. Lifli polimer şeritler gerektiği takdirde tiner vb. solvent ile yağ, kir vb. yabancı maddelerden temizlenmelidir. Daha sonra uygulama projesinde belirtilen detaylara uygun olarak lifli polimer şeritler kullanılacak ölçülerde kesilerek hazırlanmalıdır. Malzeme üzerinde koruyucu naylon tabakası olduğu durumlarda bu tabaka uygulama öncesinde sökülmelidir.

Yapıştırıcı uygulanmış yüzeye, arkasına yapıştırıcı sürülmüş lifli polimer şeritler yerlerine, lifleri doğrultusunda hafifçe gerilerek ve şişme yapmayacak şekilde sabitlenmelidir. Daha sonra şeritler üzerine lifleri doğrultusunda rulo ile bastırılarak beton yüzeye arasında boşluk kalmaması sağlanmalıdır.

İki şeridin üst üste gelmesi durumunda, üstte kalan şerit ile beton yüzeyi arasında kalan boşluk reçine ile tamamen doldurulmalıdır.



LP UYGULAMALARININ KONTROLÜ, DEĞERLENDİRİLMESİ VE KABULÜ

Bu bölümde ACI-440-2R-2008'deki önerilere yer verilmiştir.

LP UYGULAMALARININ KONTROLÜ

LP sistemler, yönetmelik ve mevzuatların gerektirdiği şekilde kontrol edilmelidir. Yönetmelik ve mevzuatların mevcut olmadığı durumdaysa kontroller, uzman bir denetçinin ya da tasarım uzmanının denetiminde gerçekleştirilmelidir. LP uygulamalarının kontrolünde hazırlanacak raporda bulunması gerekenler:

- İmalat gününün tarihi ve saati;*
- Ortam sıcaklığı, nemi ve hava durumu ile ilgili gözlemler;*
- Beton yüzeyinin sıcaklığı;*
- Yüzey kuruluğunun uygunluğu;*
- Yüzeydeki pürüzlerin uygunluğu;*
- Yüzey temizliğinin kontrol ve tarifi;*
- Varsa ek ısı kaynağının tarifi;*
- Epoksi enjekte edilen çatlakların genişlikleri;*
- Uygulama için hazırlanan karışım sayısı ve uygulandıkları yerler;*
- Karışım sayılarına ait, karışım oranları, karışım süreleri ve gözlemler;*
- Kullanılan reçinenin kürlenmesiyle ilgili gözlemler;*
- Pull-off test sonuçları: ayrılma dayanımı, göçme modu ve yeri;*
- LP ile beton arasında varsa boşlukların yerleri ve boyutları;*

Kontrolü gerçekleştiren kişi raporlarını tasarım uzmanına veya iş sahibine teslim etmelidir.

DEĞERLENDİRME VE KABUL

LP uygulamaları, tasarım şartnamelerine uygun olup olmadıklarına göre değerlendirilmelidir. LP uygulamalarının kabulünde dikkat edilmesi gereken konular, malzeme özellikleri, yerleştirme esnasında kabul edilebilir hata sınırlarını aşmamak, beton ile LP arasında boşluk olup olmaması, reçinelerin kürlenmesi ve yapışma özellikleri olarak sıralanabilir.

Malzeme Özellikleri

LP üreticisi, kullanılacak ürünlere ait sertifikaları ve malzeme özelliklerini belirtmelidir. Malzeme özelliklerinin belirlenmesi için çekme dayanımı, kızıl ötesi spektrum analizi, camlaşma sıcaklığı, jelleşme süresi, priz alma süresi, ve reçine kesme kuvveti testlerle saptanabilir. Üretici firmanın asgari malzeme özelliklerini sağlamayan ürünler kullanılmamalıdır.

Lif Doğrultusu (Oryantasyonu)

Lif doğrultusu gözleme dayalı olarak değerlendirilir. Elle yerleştirme yapıldığında, liflerin dalgalı olma ihtimali değerlendirilmelidir. Liflerin doğrultusunda bir metre uzunlukta 8 cm'den fazla kayma olma durumunda tasarım uzmanının görüşü ve onayı alınmalıdır.

Reçinelerin Kürlenmesi

LP malzemelerde kullanılan reçinelerin rölatif kürlenmesi referans numunelerinin laboratuvar testleri sonucu belirlenebilir. Reçinenin rölatif kürlenmesi aynı zamanda uygulama sahasında yapılan fiziksel gözlemlerle de tespit edilebilir. Reçinenin uygulandığı yüzeyin ya da alınan numunenin yüzeyinin yapışkanlığı ve sertliği bu fiziksel gözlemlerden başlıcalarıdır. Ayrıca LP malzemenin üreticisinden kürlenmenin nasıl kontrol edilebileceği ile ilgili bilgi almak yerinde olur.

Katmanlaşma:

LP imalatları kürlendikten sonra LP katmanları arasında ya da LP katmanı ile beton yüzeyi arasında boşluk olup olmadığı kontrol edilmelidir. Katmanlar arasında boşluk büyüklükleri, yerleri ve adetleri uygulama alanı göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir. Elle yapılan uygulamalar için kabul edilen katmanlaşma boyutları ve yapılması gereken işlemler aşağıda verilmiştir.

- Katmanlaşma alanı uygulama alanının %5'i kadar olduğu ve 1 m²'ik alanda 10 adetten fazla olmadığı sürece 1300 mm²'ye kadar olan küçük katmanlaşmalarda herhangi bir müdahaleye gerek yoktur

- Katmanlaşma alanı 16000 mm²'den büyük olan geniş katmanlaşmalar kesilerek yerine aynı miktarda yeni LP katmanları sarılmalıdır. 16000 mm²'den küçük, geniş katmanlaşmalarda ise katmanlaşmaların yerine ve sayısına bağlı olarak yeni katmanlar uygulanabileceği gibi reçine enjeksiyonu da yapılabilir. Tamirlerin düzgün bir şekilde gerçekleştirilip gerçekleştirilmediği kontrol edilmelidir.

Yapışma Dayanımı:

LP tabaka ve beton yüzeyi arasındaki yapışma dayanımının tespiti için çekme deneyi (pull-off deneyi) gerçekleştirilmelidir. Bu deney kapsamında LP tabakası ve beton yüzeyine 5 cm çapında dairesel bir çentik açılarak, dairenin içinde kalan LP'ye çelik bir silindir yapıştırılır. Çelik silindir LP yüzeyine dik doğrultuda sabit yükleme hızıyla çekilir. Yapışma kritik uygulamalarda kopma beton örtüsü içinde meydana gelmelidir ve minimum yapışma dayanımı 1.4 MPa olmalıdır.

Kürleşmiş Kalınlık

Çekme deneyi (pull-off deneyi) için kullanılacak olan numunelerden faydalanılarak kürlenmiş kalınlık ve uygulanan kat sayısı tespit edilebilir. Yüksek gerilmelerin oluşacağı bölgelerden ve birleşim bölgelerinden numune almaktan kaçınmak gerekir.

İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği

Yapılan her türlü LP uygulaması, alanında tecrübeli ve eğitimli ekipler tarafından yapılmalıdır. Özellikle kimyasal malzemeler ile temas esnasında oluşabilecek tehlikelerin önüne geçmek için uygulama esnasında her türlü işçi sağlığı ve iş güvenliği önlemi alınmalıdır.

YAPILARIN LİFLİ POLİMER KOMPOZİTLER İLE GÜÇLENDİRMESİYLE İLGİLİ ULUSLARARASI DÖKÜMANLAR

ACI, 2017, Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, ACI 440.2R-17

TBDY, 2019, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Bölüm 15.

CNR, 2004, Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures – Materials, RC and PC structures, masonry structures, CNR-DT 200/2004, Italian National Research Council, Rome, Italy.

fib Bulletin No. 14, Externally bonded FRP reinforcement for RC structures , 2001, 138 pp, ISBN 2-88394-054-1.

fib Bulletin No. 35. Retrofitting of concrete structures by externally bonded FRPs, with emphasis on seismic applications, 2006, 220 pp, ISBN 978-2-88394-075-8.

Canadian Standards Association. (2012). Design and Construction of Building Structures with Fibre-Reinforced Polymers,(CAN/CSA S806-12). Canadian Standards Association Mississauga, Ont.

JSCE, 2001, Recommendation for Upgrading of Concrete Structures with use of Continuous Fiber Sheets, Concrete Engineering Series 41, Japan Society of Civil Engineers, Tokyo, Japan.

TR55, 2004, Design Guidance for Strengthening Concrete Structures Using Fibre Composite Materials, The Concrete Society, UK.

TR57, 2003, Strengthening Concrete Structures With Fibre Composite Materials: Acceptance, Inspection And Monitoring, The Concrete Society, UK.

KAYNAKLAR

An W, Saadatmanesh H and Ehsani MR (1991) "RC beams strengthened with FRP plates-2. analysis and parametric study," *Journal of Structural Engineering*, 117(11):3434-3455.

American Concrete Institute (2008) "Building code requirements for structural concrete (ACI 318M-08) and commentary, ACI 318M, Farmington Hills, MI.

American Concrete Institute (2008) "Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures", ACI 440.2R-08, Farmington Hills, MI.

American Society of Civil Engineers (2014) "Seismic evaluation and retrofit of existing buildings. ASCE 41-13, Reston, VA.

Canadian Standards Association (2012) "Design and construction of building structures with fibre-reinforced polymers", (CAN/CSA S806-12). Mississauga, Ont.

CNR (2004) "Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures", Materials, RC and PC structures, masonry structures", CNR-DT 200/2004, Italian National Research Council, Rome, Italy.

DBYBHY (2007) "Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik", Bölüm 7.

Fardis MN and Khalili HH (1982) "FRP-encased concrete as a structural material," *ACI Structural Journal*, 34(121):191-202

fib Bulletin No. 14 (2001) "Externally bonded FRP reinforcement for RC structures", 138 pp, ISBN 2-88394-054-1.

fib Bulletin No. 35 (2006) "Retrofitting of concrete structures by externally bonded FRPs, with emphasis on seismic applications", 220 pp, ISBN 978-2-88394-075-8.

JSCE (2001) "Recommendation for upgrading of concrete structures with use of continuous fiber sheets", Concrete Engineering Series 41, Japan Society of Civil Engineers, Tokyo, Japan.

Ilki A and Kumbasar N (2001) "Cyclic behavior of concrete members rehabilitated and strengthened by using carbon fiber sheets", Second International Conference on Engineering Materials, San Jose, U.S.A.

Ilki A and Kumbasar (2002) "Behavior of damaged and undamaged concrete strengthened by carbon fiber composite sheets," Structural Engineering and Mechanics, 13(1):75-90

Ilki A and Kumbasar N (2003) "Compressive behaviour of carbon fiber composite jacketed concrete with circular and non-circular cross-sections," Journal of Earthquake Engineering, 7(3):381-406

Ilki A, Kumbasar N and Koc V (2004) "Low strength members externally confined with FRP sheets," Structural Engineering and Mechanics, 18(2):167-194

Ilki A, Demir C ve Cömert M (2011) "Yapısal Güçlendirmede lifli polimer kompozitler" 7. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Istanbul.

Mirmiran A, Bank LC, Neale K, Mottram JT, Ueda T and Davalos JF (2003) "World survey of civil engineering programs on fiber reinforced polymer composites for construction," Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, 129(3):155-160

Ritchie PA, Thomas DA, Lu LW and Connelly GM (1991) "External reinforcement of concrete beams using fiber reinforced-plastics," ACI Structural Journal, 88(4):490-500

Triantafillou TC and Plevris N (1992) "Strengthening of RC beams with epoxy-bonded fiber-composite materials," Materials and Structures, 15(148):201-211

TR55 (2004) "Design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials", The Concrete Society, UK.

TR57 (2003) "Strengthening concrete structures with fibre composite materials: acceptance, inspection and monitoring", The Concrete Society, UK.

TS-500 (2000) Betonarme yapıların hesap ve yapım kuralları, TSE, Türk Standartları Enstitüsü

S3[®]

**GÜÇLENDİRME
ÇÖZÜMLERİ**