



Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

YAPI MALZEMESİNDE ÖZEL KONULAR -6-

Prof. Dr. Halit YAZICI

*Yüksek Performanslı
betonlar*

<http://halityazici-deu.com>

LİFLİ BETON

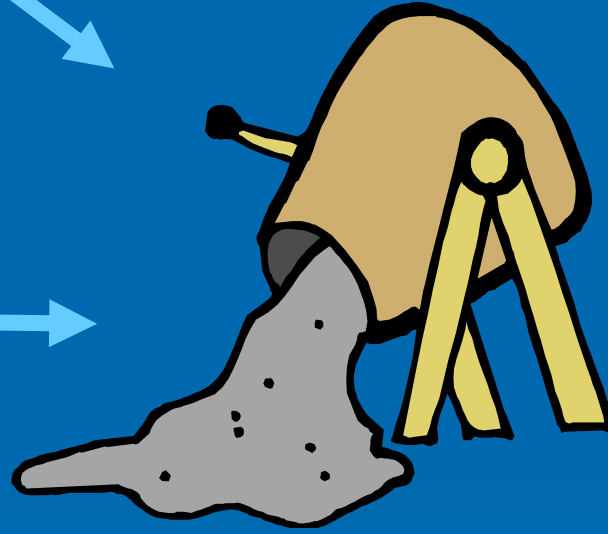
(FIBER REINFORCED CONCRETE)

Çimento

Su

Agregalar

Katkılar



BETON

Çelik lif kullanılan depo döşemesi



AMAC:

Betonda

- DAYANIM
- DAYANIKLILIK
- SÜNEKLİK
- ÇATLAK KONTROLÜ'ne

yönelik olarak kullanılır

LİFLİ BETONUN GELİŞİMİ

KERPİÇ, TUĞLA VE HARÇTA;

- SAMAN ÇÖPÜ
- KEÇİ KILI, AT YELESİ
- İNSAN SAÇI

BETONDA;

- ÇELİK
- POLİPROPİLEN
- POLİOLEFİN
- CAM
- DOĞAL LİFLER

MÖ	AT YELESİ, KEÇİ KILI
1900	ASBEST
1950	KOMPOZİT MALZEMELER
1960	LİFLİ BETON
1970	ÇELİK, CAM, POLİPROPİLEN LİFLİ BETONLAR
1990	YENİ LİF ÜRETİM TEKNİKLERİ
2000+	YAPISAL UYGULAMALAR, YENİ ÜRÜNLER

MÜHENDİSLİK MALZEMELERİNİN GRUPLANDIRILMASI

Mühendislik malzemeleri iç yapılarına göre;

1. METALLER
2. SERAMİKLER
3. POLİMERLER
4. **KOMPOZİTLER**

Kompozit malzemeleri iç yapılarına göre;

1. PARTİKÜLLÜ KOMPOZİTLER
2. TABAKALI KOMPOZİTLER
3. **LİFLİ KOMPOZİTLER**

Liflerle donatılı kompozitler matris ve lif fazının davranışına göre;

1. KIRILGAN LİF-SÜNEK MATRİSLİ SİSTEMLER
2. **KIRILGAN MATRİS-SÜNEK LİFLİ SİSTEMLER**

**BETON TEKNOLOJİSİNDEKİ SON GELİŞMELERDEN
SONRA NORMAL DAYANIMLI BETONLAR İÇİN
KULLANILAN MALZEMELER ÇOK BÜYÜK ORANDA
FAZLA DEĞİŞMEDEN BASINÇ DAYANIMI 100 MPa'ı
AŞAN YÜKSEK DAYANIMLI BETONLAR
ÜRETİLEBİLİR**



YALIN BETON GEVREK BİR MALZEMEDİR!

**ÇEKME DAYANIMI YAPISAL DİZAYNDA İHMAL EDİLECEK DERECEDE
DÜŞÜKTÜR!**

YÜKSEK TOKLUK VE SÜNEKLİKTEN YOKSUNDUR!

**ÇELİK VEYA SENTETİK LİFLERİN
BETONA KATILMASI SÜNEKLİĞİ
ARTTIRIR!**

BETON İÇERİSİNDE HOMOJEN OLARAK DAĞILI BULUNAN, KISA KESİLMİŞ LİFLER BETONDA;

ÇATLAK OLUŞMASINI GECİKTİRİR

ÇATLAK YAYILIMINI VE İLERLEMESİNİ ÖNLER / GECİKTİRİR

AŞAMALI OLARAK MATRİSTEN SIYRILMA VE KOPMA
MEKANİZMASI İLE BETONUN ENERJİ YUTMA KAPASİTESİNİ
ÖNELİ ORANDA GELİŞTİRİRLER

ENERJİ YUTMA KAPASİTESİ (SÜNEKLİK)



DARBE DAYANIMI



İLK ÇATLAK DAYANIMI



ÇEKME DAYANIMI



EĞİLME DAYANIMI



BASINÇ DAYANIMI



ELASTİSİTE MODÜLÜ



LİFLİ BETONUN KULLANIM ALANLARI

ENDÜSTRİYEL ZEMİNLER

- Fabrika zeminleri
- Derzsiz zeminler
- Yol betonları
- Benzin istasyonu, depo, hangar v.b. Yapıların zemin betonları

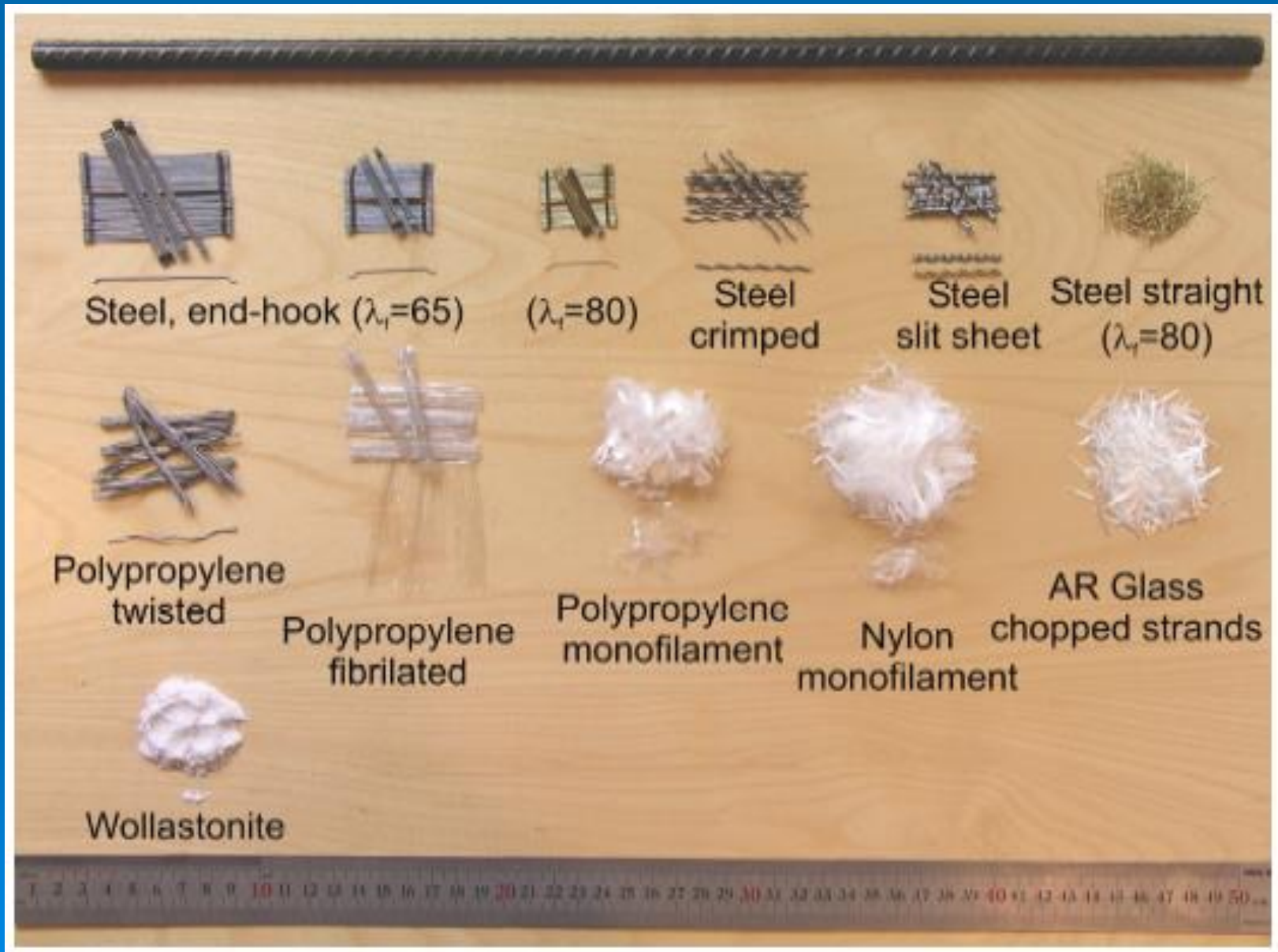
PREFABRİK BETON UYGULAMALARI

- Konvansiyonel donatının azaltılması
- Etkin çatlak kontrolünün sağlanması
- Düzgün beton yüzeyinin oluşturulması

PÜSKÜRTME BETON UYGULAMALARI

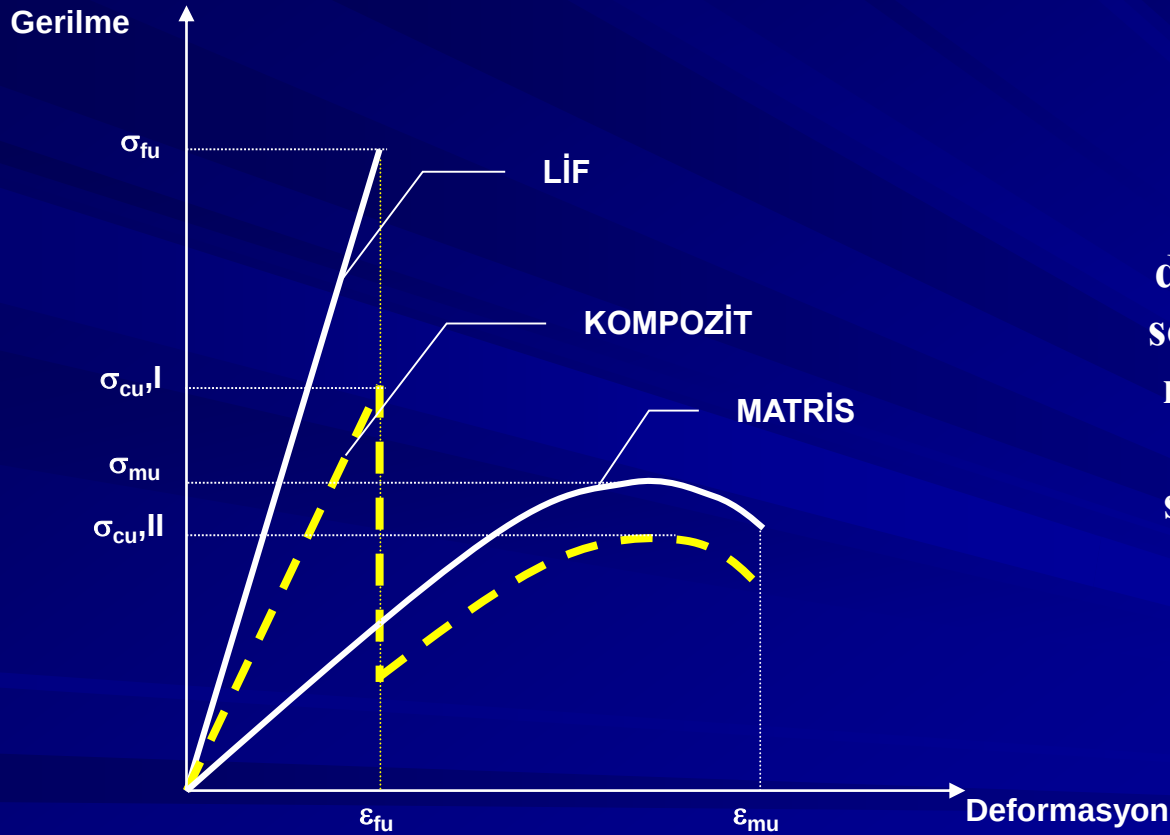
- Hasır çelik yerine kullanım
- Zaman ve maliyet tasarrufu

Değişik lif tipleri



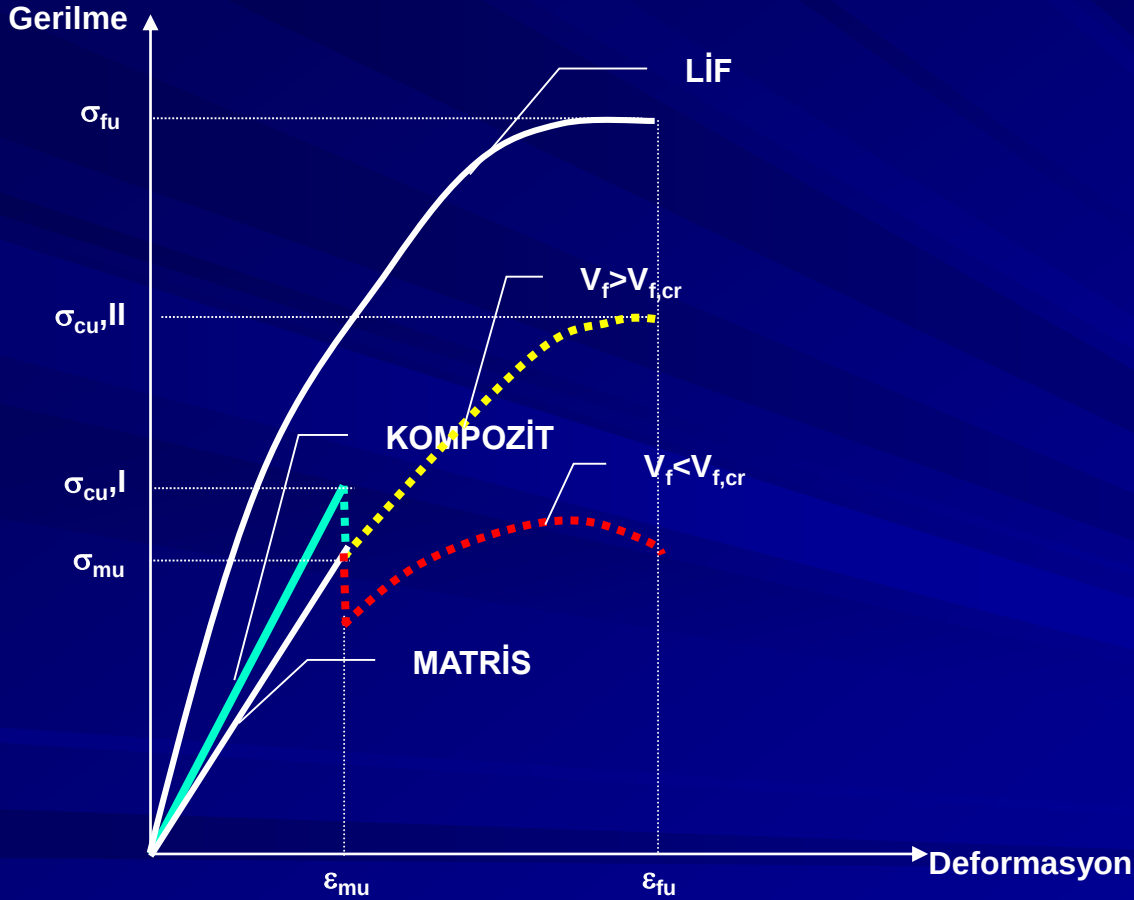
(Lofgren 2005)

KIRILGAN LİF-SÜNEK MATRİSLİ SİSTEMLERİN YÜK ALTINDAKİ DAVRANIŞLARI



Sistemdeki lif fazı göçme deformasyonuna ulaştıktan sonra kompozitin davranışı matris davranışına benzer. Ancak daha düşük seviyelerde yük taşıyabilir.

KIRILGAN MATRİS-SÜNEK LİFLİ SİSTEMLERİN YÜK ALTINDAKİ DAVRANIŞLARI

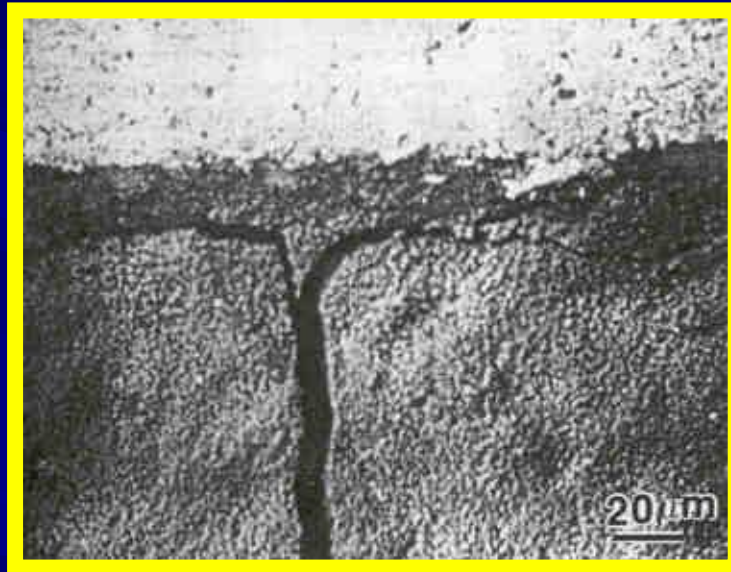


Sistemde ilk göçme deformasyonuna ulaşan matris bileşenidir. Bu noktadan sonra kompozit, lif miktarına bağlı olarak daha yüksek gerilmeleri taşıyabilmektedir.

KIRILGAN MATRİS-SÜNEK LİFLİ SİSTEMLERDE KIRILMA ŞEKİLLERİ

1. LİF MİKTARI KRİTİK ORANIN ALTINDA İSE:

matris kırıldıktan sonra kompozit
daha düşük seviyede yük taşır.



KIRILGAN MATRİS-SÜNEK LİFLİ SİSTEMLERDE KIRILMA ŞEKİLLERİ

2. LİF MİKTARI KRİTİK ORANINDA İSE:

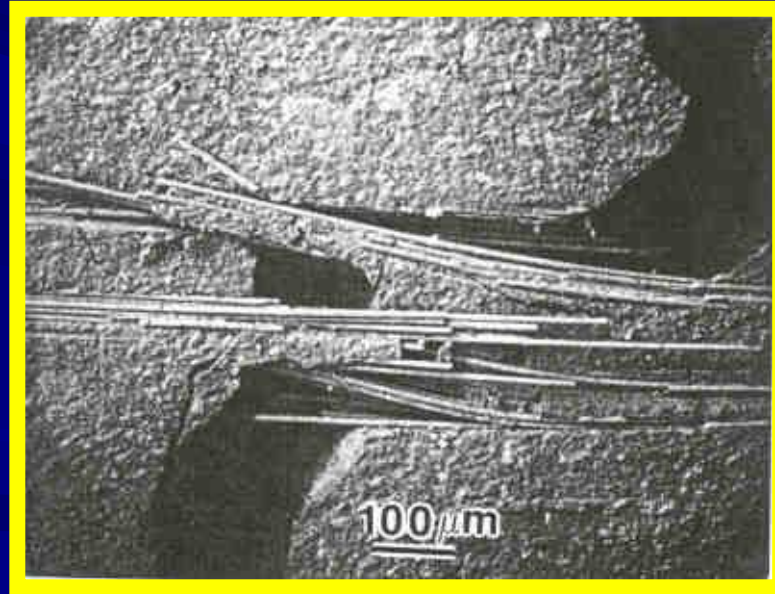
matris kırıldıktan sonra kompozitin davranışı
liflerin kopması ve matristen sıyrılması şeklindedir.



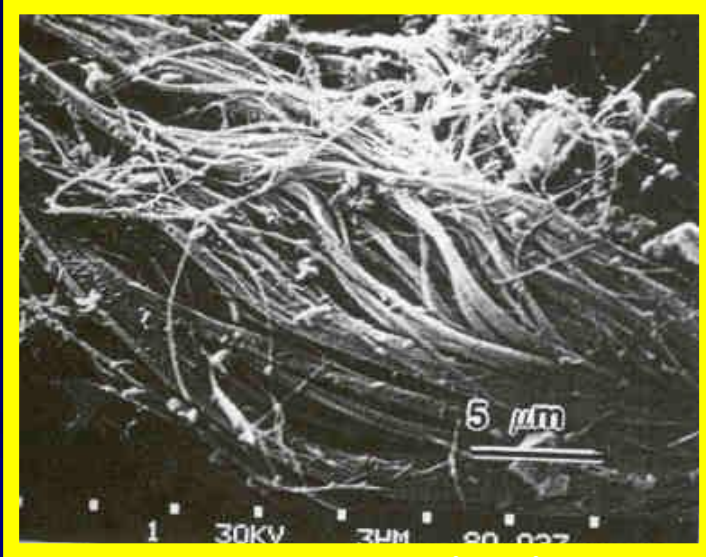
KIRILGAN MATRİS-SÜNEK LİFLİ SİSTEMLERDE KIRILMA ŞEKİLLERİ

3. LİF MİKTARI KRİTİK ORANIN ÜZERİNDE İSE:

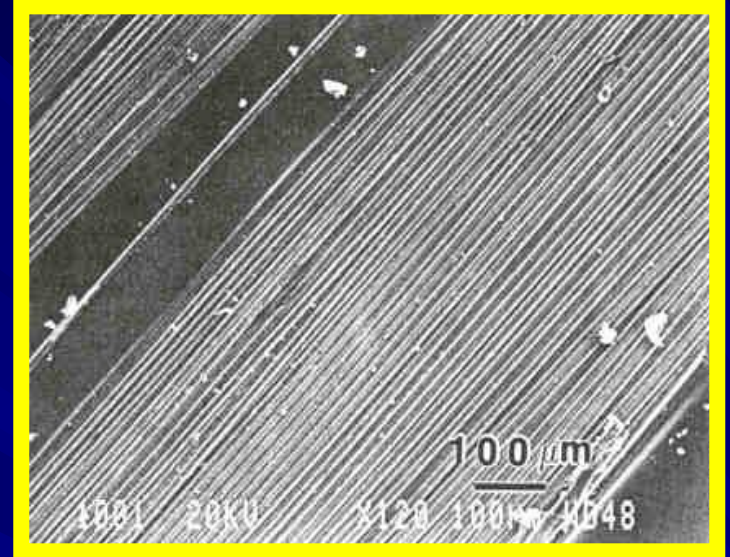
başlangıçta matris ve lifler tarafından taşınan gerilme matrisin göçmesi ile birlikte kompozit bünyesindeki gerilme bir miktar düşmekte, daha sonra lif miktarına bağlı olarak kompozit daha yüksek bir gerilmeyi taşıyabilmektedir.



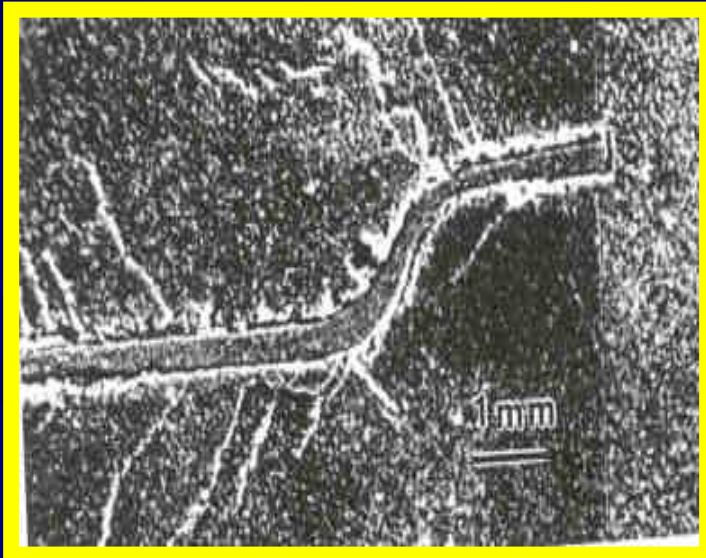
LİFLİ BETON ÇEŞİTLERİ



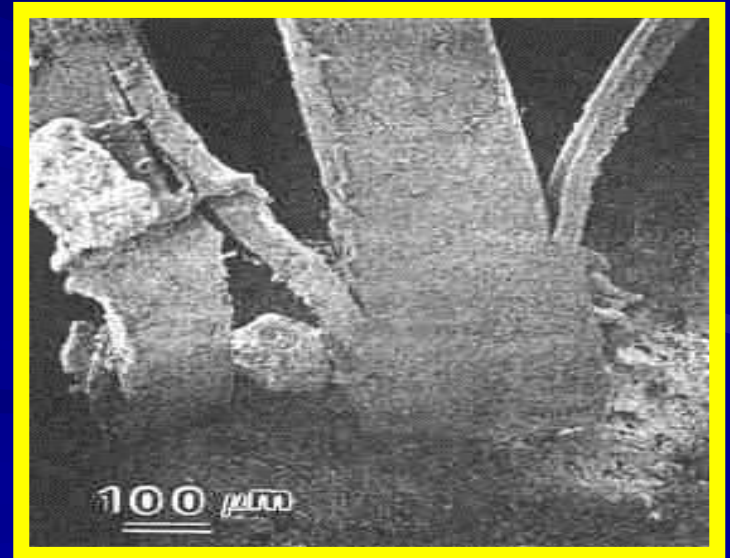
ASBEST LİFLİ



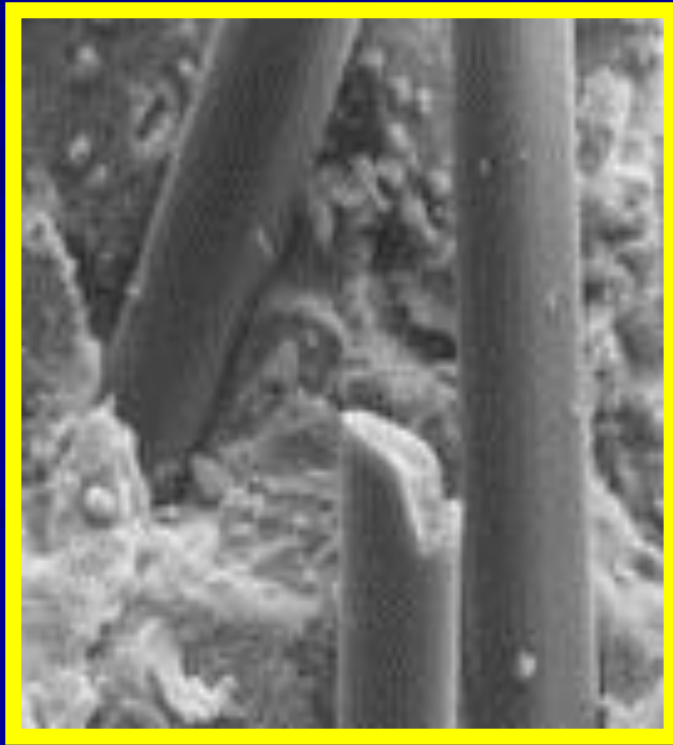
CAM LİFLİ

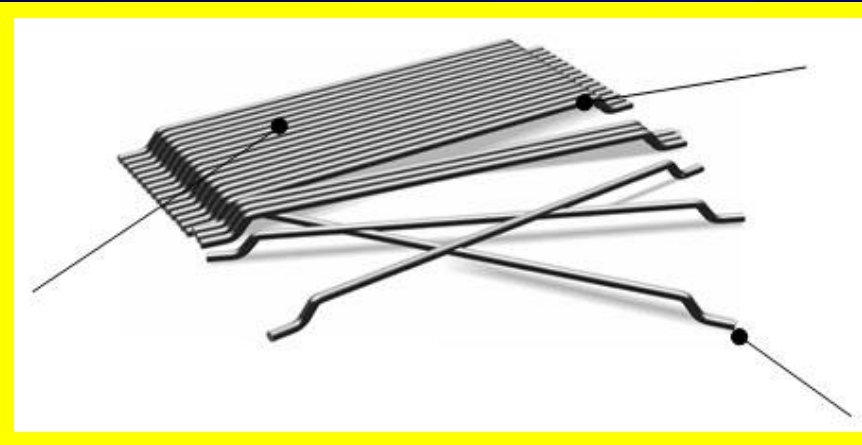


ÇELİK LİFLİ



POLİPROPİLEN LİFLİ





LİFLİ BETONUN AVANTAJLARI

MEKANİK ÖZELLİK	ARTIŞ (%)
TOKLUK-ENERJİ YUTABİLME	100-1200
DARBE DAYANIMI	100-1200
İLK ÇATLAK DAYANIMI	25-100
ÇEKME DAYANIMI	25-100
EĞİLME DAYANIMI	50-100
YORULMA DAYANIMI	50-100
DEFORMASYON KAPASİTESİ	50-100
BASINÇ DAYANIMI	±25
ELASTİSİTE MODÜLÜ	±25
KAVİTASYON-EROZYON DAYANIMI	300

Shotcrete at Melaney in QLD Sunshine Coast Hinterland using using Fibresteel 186EE Steel Fibres



Steel Fibre Reinforced Tunnel lining Segments



Steel Fibre Reinforced Storage Tanks



Precast Beams using Steel fibre reinforced concrete



Steel Fibre Reinforced Pipes (Europe)



Steel Fibre Reinforced tanks



Warehouse slab Formula Floors using Steel Fibres



Premix Yard Slab with Steel Fibres



LİFLİ BETONUN KULLANIM ALANLARI

ENDÜSTRİYEL YAPILARDA

döşemelerde dinamik yüklemeler ve termal etkilere karşı

SU YAPILARINDA

kavitasyon hasarları ve dinamik yüklemeler için

PÜSKÜRTME BETON UYGULAMALARINDA

hasır çelik kullanılmaması, esneklik ve zaman tasarrufu için

ŞEV VE TÜNEL KAPLAMALARINDA

stabilite sağlanması için

HAVAALANI, LİMAN VE KARAYOLU DÖŞEMELERİNDE

tekrarlı yükler ve yorulma durumuna karşı

KABUK YAPILARDA

mimari nedenler ve ince kesitler için

DEPREME DAYANIKLI YAPILARDA

sünekliği arttırmak için

PATLAMAYA DAYANIKLI YAPILARDA

enerji sönmülmesi için

YANGINA DAYANIKLI YAPILARDA

termal ve mekanik şok etkilerine karşı

ÖNYAPIMLI BETONARME ELEMANLARDA

çatlak oluşumunun engellenmesi için

1987 yılında fabrikanın kuruluşu sırasında dökülen yol betonlarına çelik hasırla başlanmış, daha sonra %50 ortak olan Bekaert'in önerisi doğrultusunda kalan bölgeler Dramix'le dökülmüştür.

Fotoğrafta görülen bölge, çelik hasırlı beton dökümünden vazgeçilerek Dramix'li beton dökülmeye başlanan bölgedir.

Hergün onlarca çelik yüklü aracın geçtiği bu betonlarda en büyük fark yüzeyde oluşmuştur.

Yüzeye yakın Dramix teller az miktarda yüzeyde görülmekle birlikte yüzeydeki şerbet tabakasında aşınma veya küçük parça kopmalarını önleyerek yüzeyi daha iyi korumuşlardır.



Beksa İzmit Fabrikası Dış Saha Yol Betonları
Uygulama Tarihi: 15 yıl öncesi









LİFLİ BETONLARIN ÖZELLİKLERİ



MALZEME ÖZELLİKLERİ VE SEÇİMLERİ

MATRİS BİLEŞENLERİ

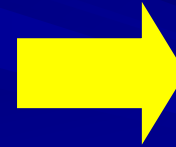
ÇİMENTO SEÇİMİ

Normal betonlarda olduğu gibi lifli betonlarda da istenen performansa ve betonun kullanılacağı ortama uygun çimento seçimi yapılmalıdır.

Çimento hamuru ile matrisin diğer bileşenleri arasındaki bağ tamamen fiziksel bir bağ olmalıdır. Çimento, hidratasyon reaksiyonlarını ve betonun performansını engelleyecek herhangi bir zararlı oluşum göstermemelidir.

DİKKAT!!!!!!

**CAM LİF
YÜKSEK ALKALİLİ ÇİMENTO**



ASR

SU SEÇİMİ

Temiz ve içilebilir nitelikte olmalıdır.

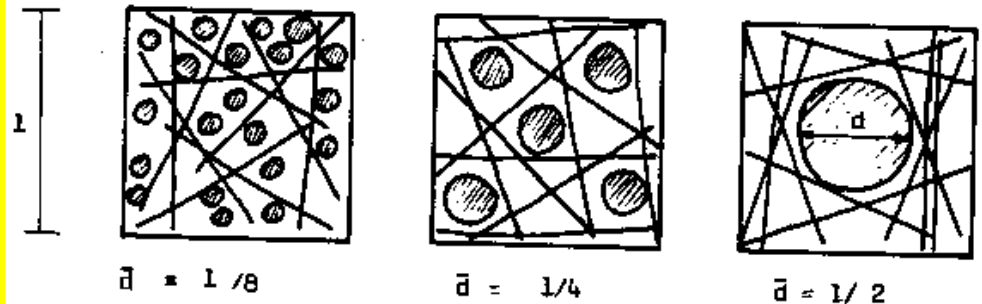
DİKKAT!

Hidratasyon olayını etkileyen, liflerin bozulmasına neden olan asit, klor, sülfat, organik madde v.b. zararlı bileşenler içermemelidir.

AGREGA SEÇİMİ

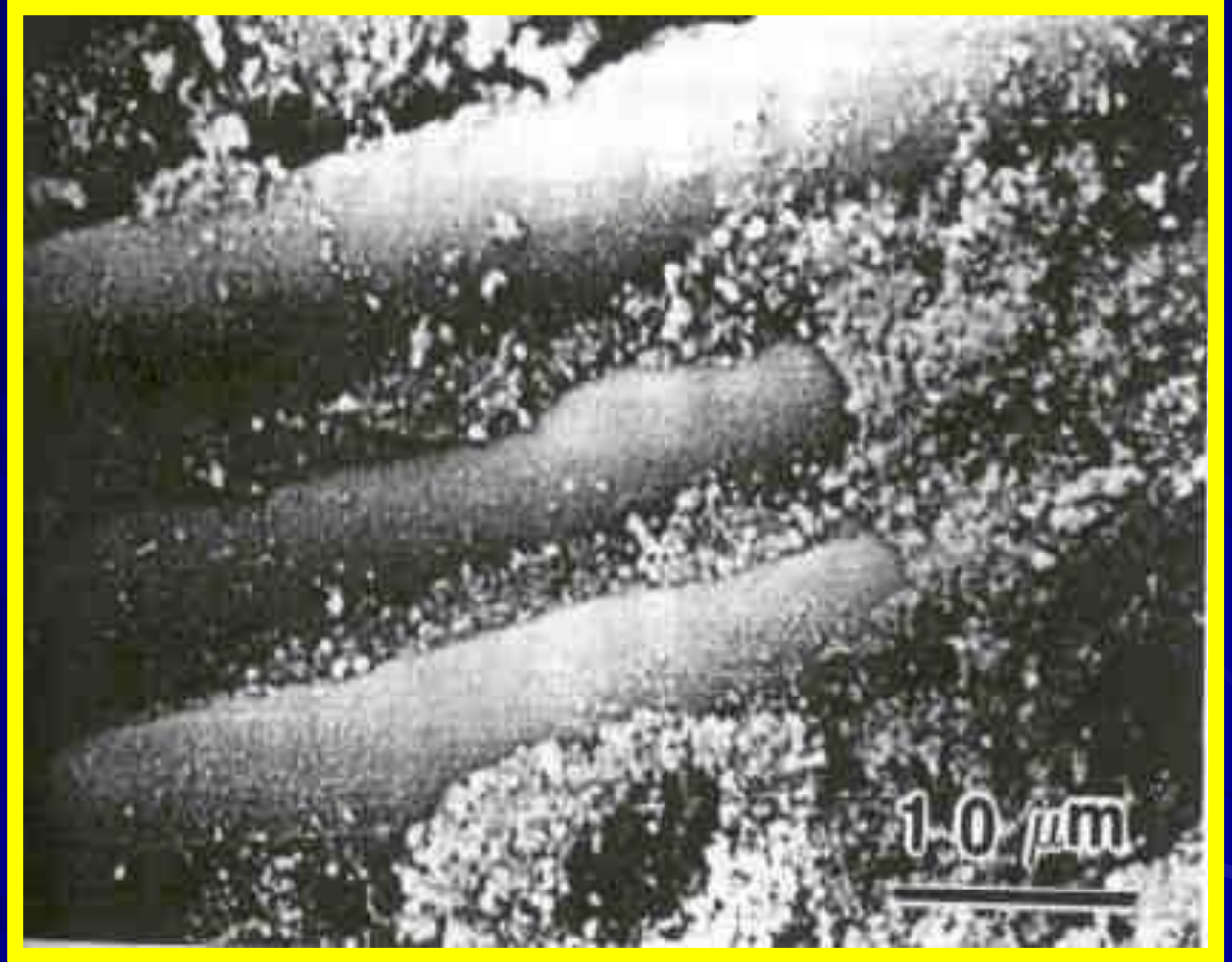
İyi bir aderans için
çakıl yerine tercihen kırmataş
kullanılmalıdır.

İşlenebilirliği arttırmak ve homojen lif
dağılımı elde edebilmek için
iri agrega miktarı sınırlandırılmalıdır.



MİNERAL KATKILAR

Dayanımı ve dayanıklılığı arttırmaya yönelik olarak lifli betonlarda uçucu kül, silika dumanı, taş tozu v.b. mineral katkıları kullanılabilir.



KİMYASAL KATKILAR

Betonda lif içeriğinin artışıyla birlikte azalan işlenebilirlik ciddi bir problem olmaktadır. Bu sorun ancak akışkanlaştırıcı katkıların kullanımı ile çözülebilmektedir.

MALZEME ÖZELLİKLERİ VE SEÇİMLERİ

LİFLER

LİFLER BETONDA HANGİ AMAÇ İÇİN KULLANILACAKSA O YÖNDE LİF ÇEŞİDİNİN SEÇİLMESİ GEREKİR.

Taze beton çatlaklarının önlenmesi

Cam, sentetik (polipropilen, poliefin, naylon)

**Sertleşmiş betonda eğilme ve çekme
dayanımının arttırılması**

Çelik, karbon

Enerji yutabilme kapasitesinin arttırılması

Polipropilen, çelik

Aşınma dayanımının arttırılması

Çelik

LİFLER BETONDA HANGİ ORANDA KULLANILACAĞI ŞU DEĞİŞKENLERE BAĞLIDIR:

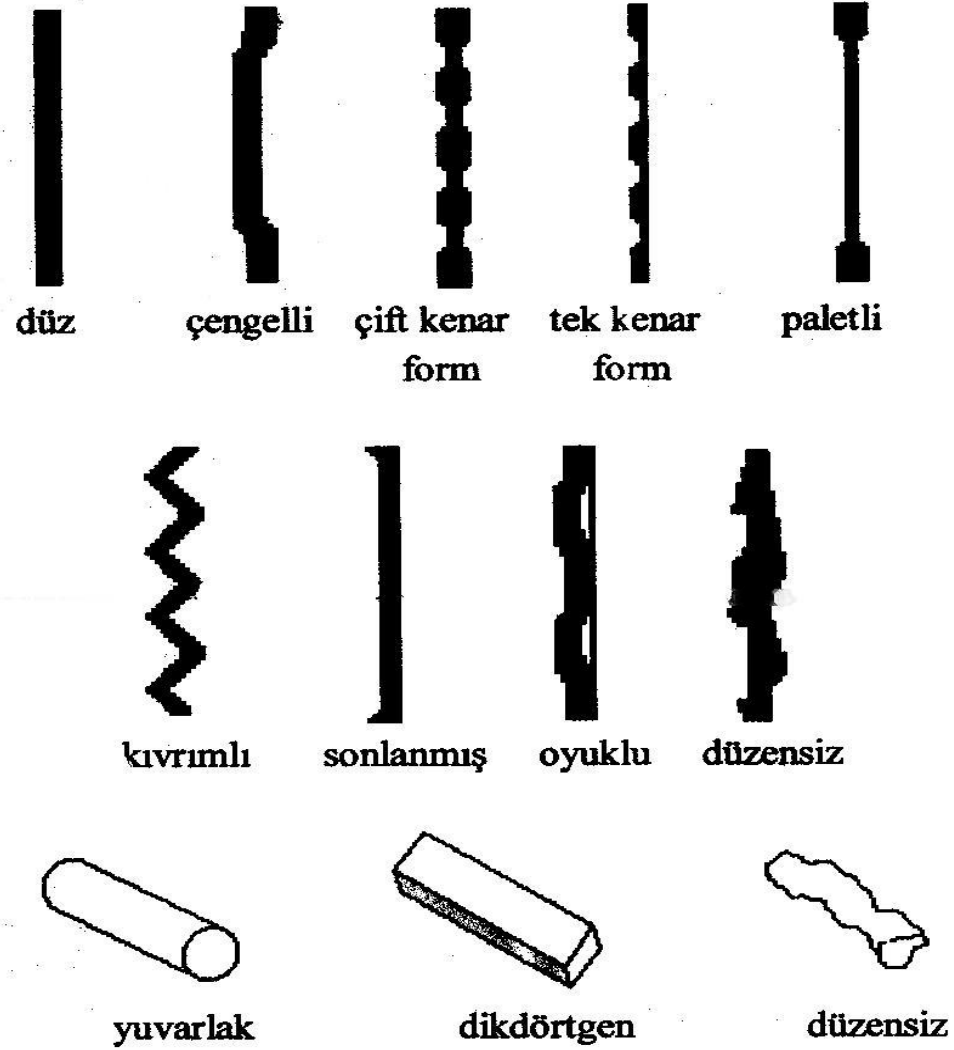
Kullanılacak lif çeşidi

Liflerin boyutları

Liflerin geometrik şekilleri

Lif ile beton arasındaki kenetlenme özellikleri

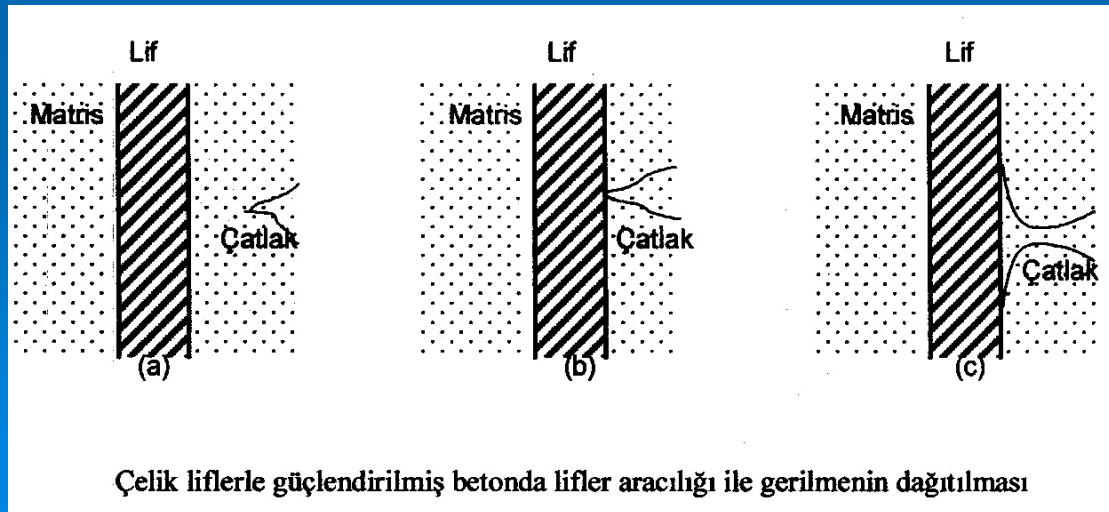
Yüzeyi pürüzlü, dalgalı ya da uçları kıvrılmış liflerin beton matrisinden sıyrılması, düz liflere göre daha zordur. Temel olarak lif, çeliğin doğası gereği çok yüksek çekme dayanımına sahiptir. Fakat çelik lifin bu yüksek performansının ne kadarının beton kesitte kullanılabileceği lifin tipine ve matrise aderansına bağlıdır. Liflerin belirli bir gerilmeden sonra matristen sıyrılması betonun performansını olumsuz etkiler. Bu sıyrılma olayı direkt olarak matrisin yapısı ile ilgili olmasına karşın kullanılan lifin özelliklerine de bağlıdır.



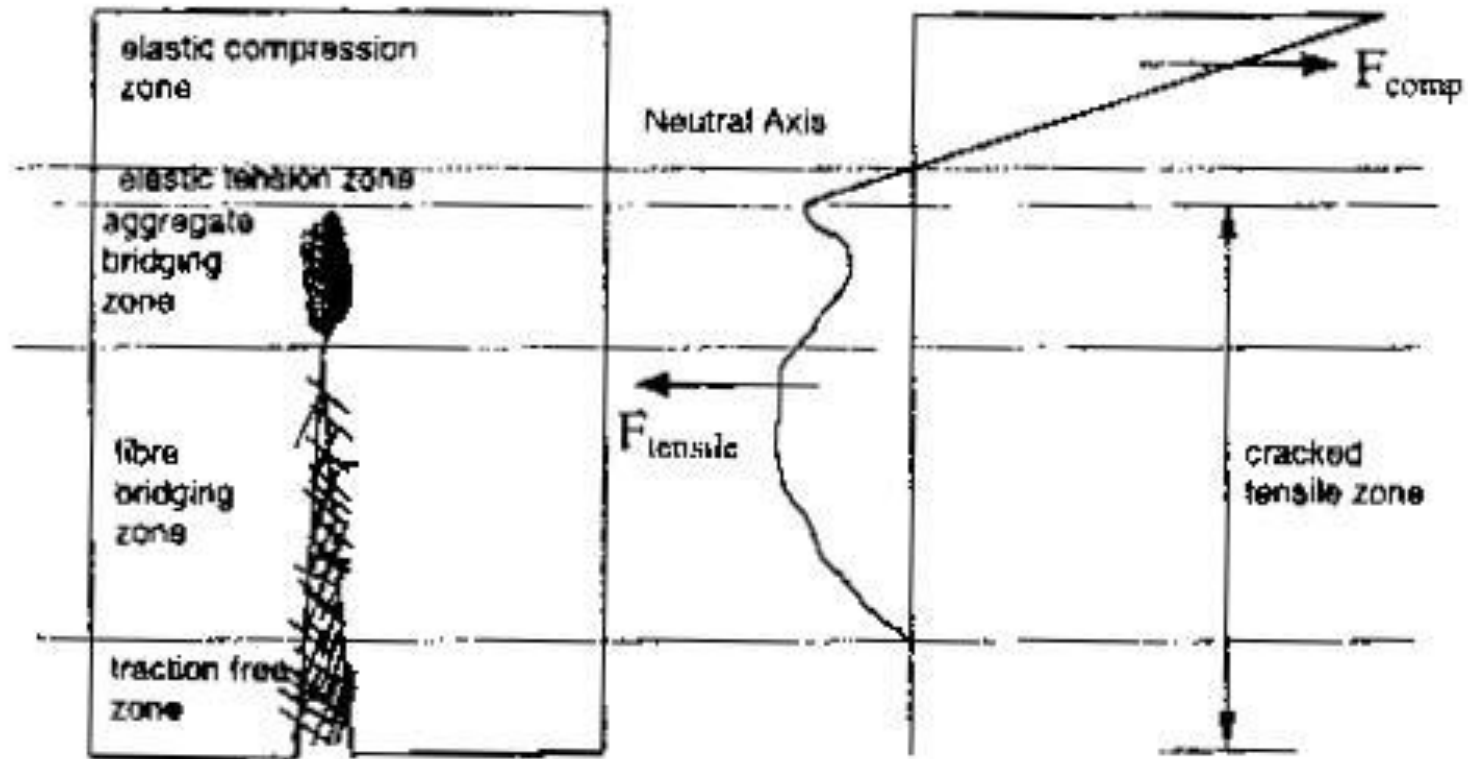
Çelik lif tipleri ve kesitleri

Beton içerisine dağılmış olan lifler matriste ilerleyen çatlağın yol açtığı gerilmeleri kendi üzerlerine alırlar ve matrisin çatlamamış bölgelerine iletirler. Betonda lif bulunmaması halinde ise betona herhangi bir gerilme uygulandığında meydana gelen mikroçatlaklar gerilmenin artması ile çeşitli yönlerde yayılarak belirli bir gerilme değerinde betonun parçalanmasına neden olurlar.

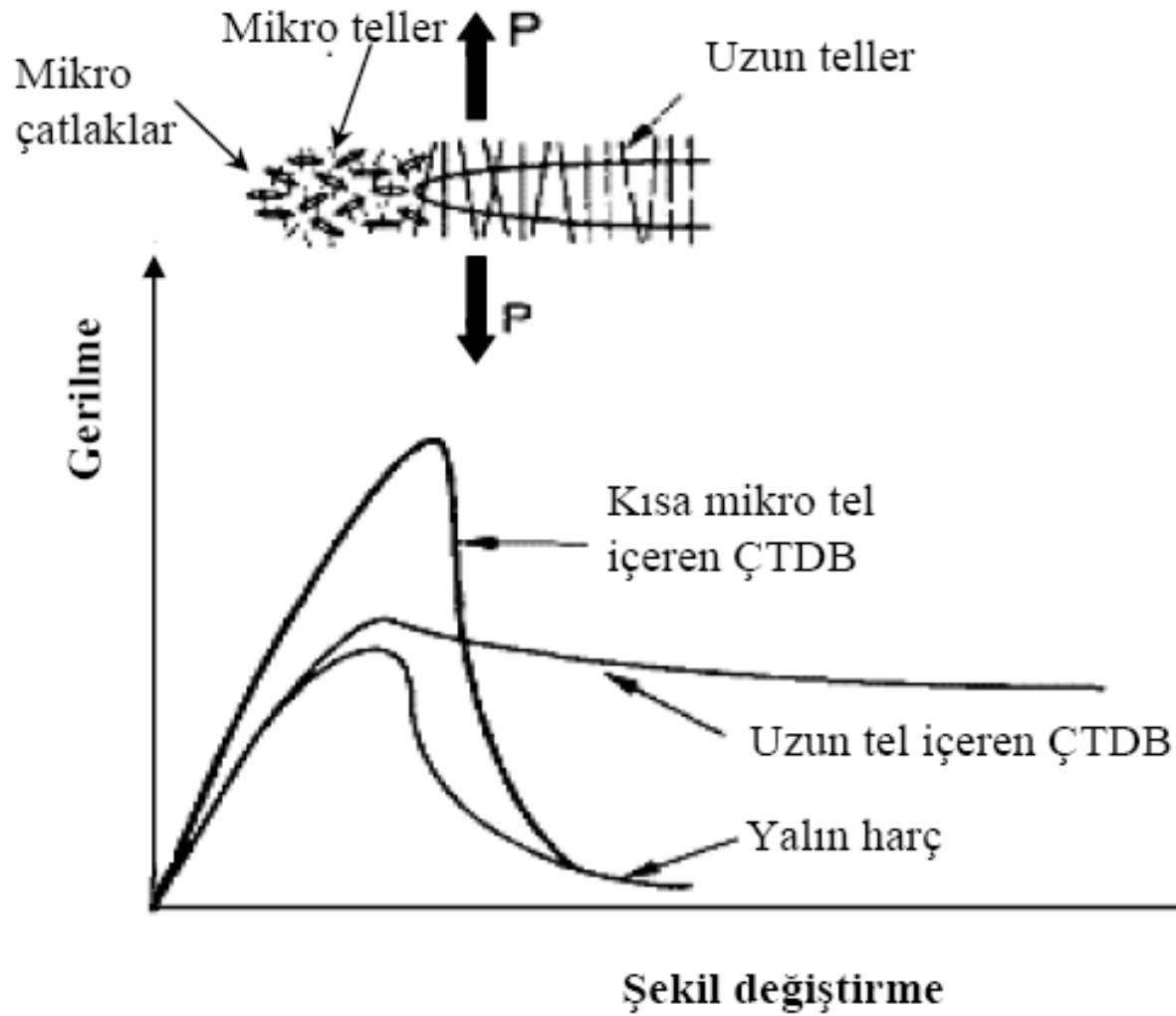
Çatlak oluşuktan sonra ilerlerken yayılma için gereken enerji düşüktür ve genellikle çatlağın oluşması için gereken enerjinin yarısı olarak kabul edilir. Beton içerisinde lif bulunması halinde, başlangıçta mikroçatlağı meydana getiren enerji, lifler aracılığı ile çatlağın yanındaki sağlam bölgelere aktarılır. Bu nedenle çatlağın yayılması için daha fazla enerji gerekir. Böyle bir enerjinin bulunması halinde bile, bu enerjinin büyük bir bölümü yine lifler tarafından taşınır ve bu taşıma liflerin matristen sıyrılması için gereken kuvvete kadar devam eder. Beton kırıldıktan sonra bile çelik lifler kırılan beton parçalarını bir arada tutarak nihai yükten daha fazla bir yükün taşınmasına yardım ederler.



Betona katılan kısa kesilmiş lifler matrisi takviye ederek beton içerisinde üzerinden gerilmelerin geçtiği küçük köprücükler olarak rol oynarlar



Schematic representation of a steel-fibre-reinforced concrete beam under flexural loading: Stage 4 — development of traction free zone.



Bettermann vd., 1995, (Şekil Bayramov 2004'den uyarlanmıştır)

Çelik teller;

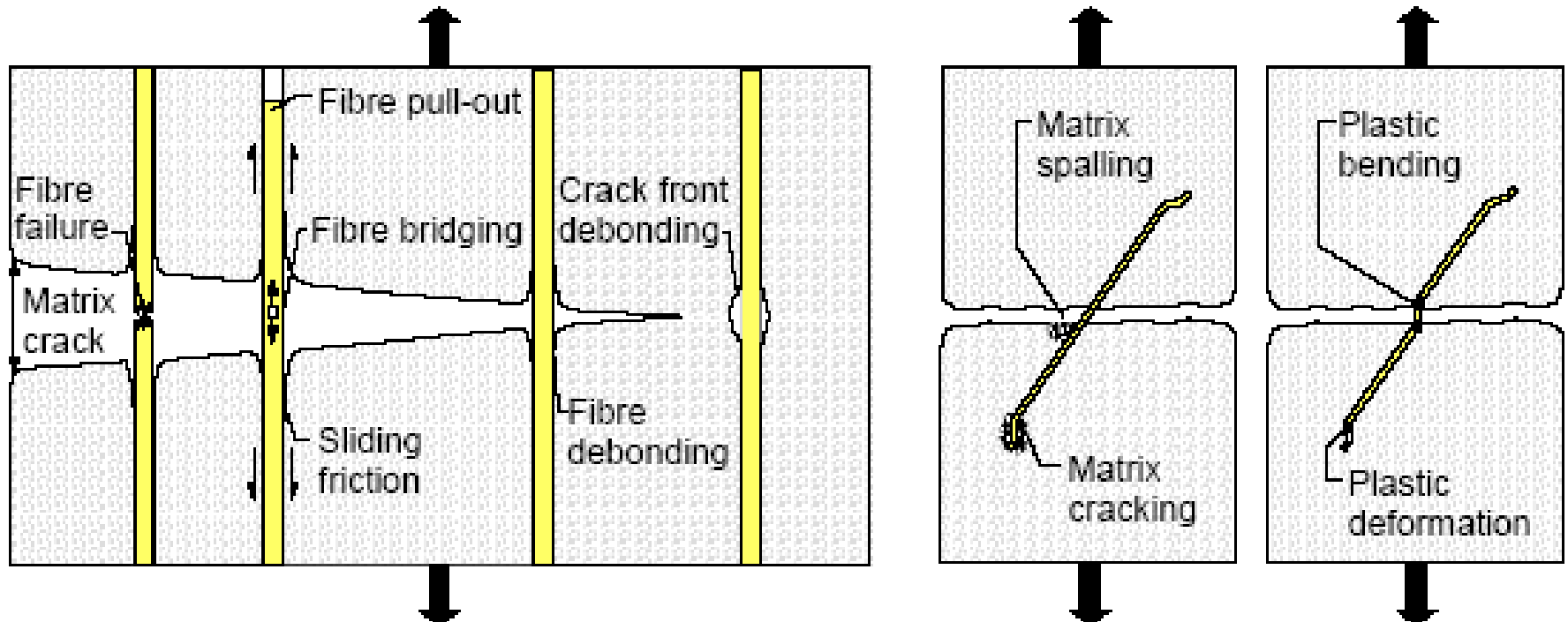
Matris içerisinde homojen dağılı, kısa kesilmiş çelik teller matristeki çatlak oluşumu ve yayılmasını azaltır.

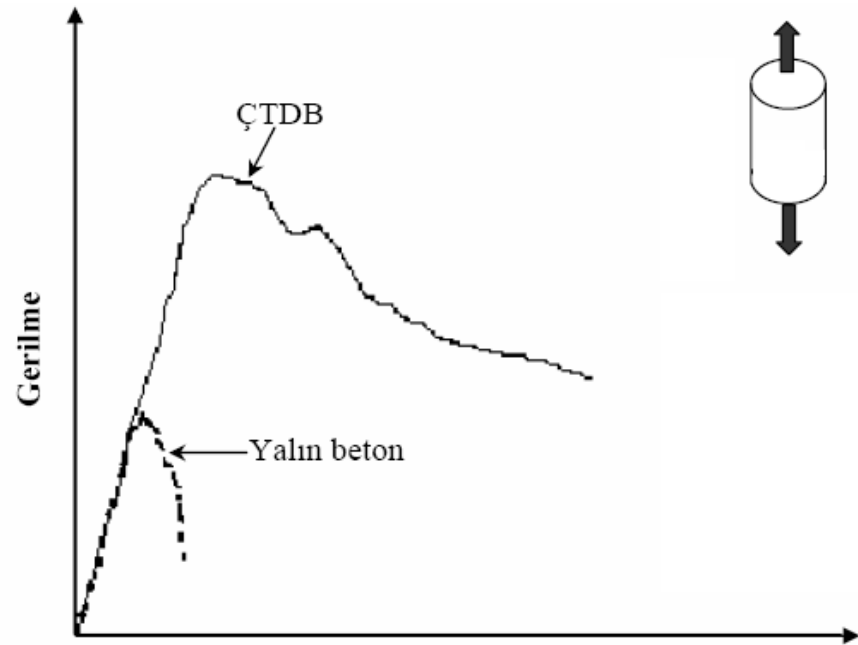
Beton içerisinde zaten var olan mikroçatlakların yük etkisi altında gelişip büyüyerek makro çatlaklara dönüşmesini durdurur veya geciktirir.

Beton çatladıktan sonra çatlamış kesiti bir arada tutar ve gerilme köprüsü görevi görür.

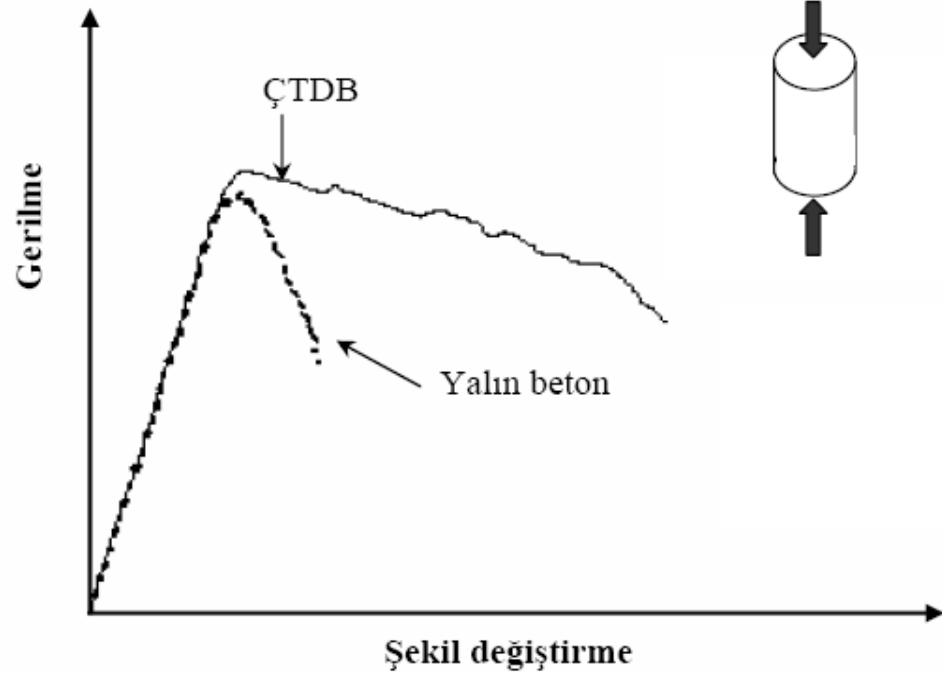
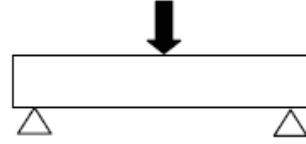
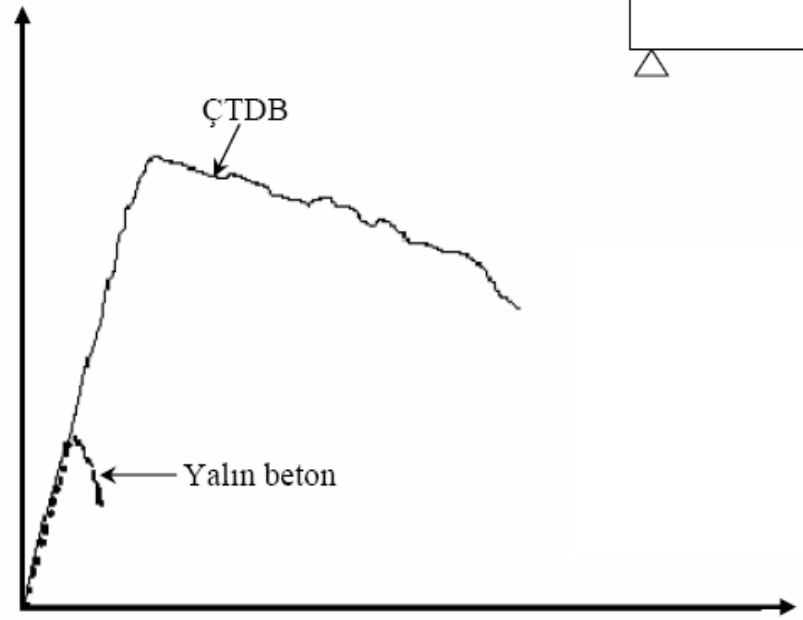
Özellikle çekme ve eğilme etkisi altında yük taşıma kapasitesinde artış sağlar.

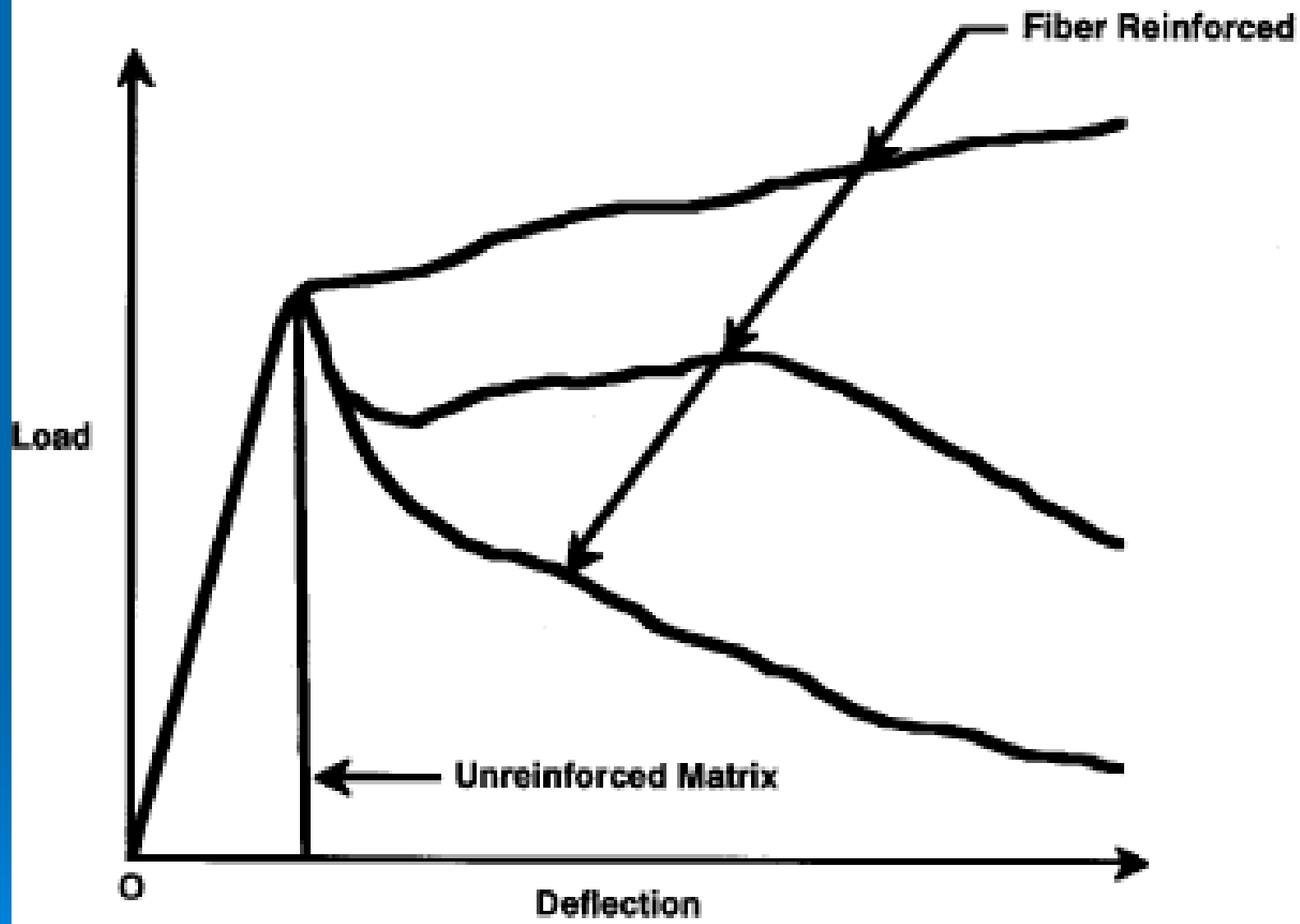
ÇATLAK ÖNÜNDE LİFİN ÇALIŞMA MEKANİZMASI





Yük





ÇELİK LİF DONATILI BETONLAR

Çelik lifli beton teknolojisinde değişik geometri ve tipte çelik lifler kullanılmaktadır.

Kullanılan lifin tipi çelik lifli betonun mekanik özelliklerini etkileyen en önemli parametredir.

Çekme ve kesme kuvvetine çalışan liflerin beton ile aderansı lifli betonun performansını önemli derecede etkiler.

Yüzeyi pürüzlü, dalgalı ya da uçları kıvrılmış liflerin beton matrisinden sıyrılması, düz liflere göre daha zordur. Temel olarak lif, çeliğin doğası gereği çok yüksek çekme dayanımına sahiptir. Fakat çelik lifin bu yüksek performansının ne kadarının beton kesitte kullanılabileceği lifin tipine ve matrise aderansına bağlıdır. Liflerin belirli bir gerilmeden sonra matristen sıyrılması betonun performansını olumsuz etkiler. Bu sıyrılma olayı direkt olarak matrisin yapısı ile ilgili olmasına karşın kullanılan lifin özelliklerine de bağlıdır.

ÇELİK LİF TİPLERİ



düz



çengelli



çiftkenar



tekkenar



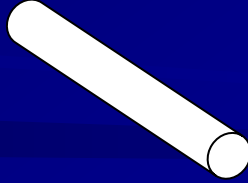
kıvrımlı



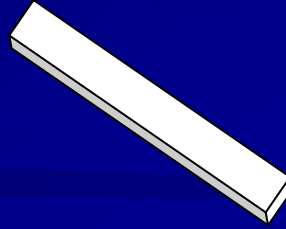
paletli



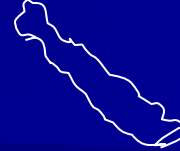
sonlanmış



yuvarlak



dikdörtgen



düzensiz

ÇELİK LİFLER İÇİN ;

Düz veya uçları çengelli

Görünüm oranı $l/d=60-100$, lif boyu $l=30-60$ mm

Hacimce %0.5-2.0 oranında

KOROZYONA DİKKAT!!!

GEREKİRSE GALVANİZ KAPLI LİF.

TAZE BETON ÖZELLİKLERİ



TASARIM

Lifli beton üretilmeden önce betonun nerede kullanılacağı, yapının esası ya da bir parçası mı olacağı, yapıda hangi etkiler altında kalacağı ve bu betondan beklenen özellikler açıkça belirtilmelidir.

Daha sonra bu mevcut ve beklenen koşulların sağlanmasında en yüksek performansa uygun malzeme (lif tipi, boyutları ve dozajı, çimento, agregası) seçilmelidir.

KARIŞIM ESASLARI

Normal beton üretimi ile benzeşimler gösterse de lifli beton üretiminde lif kullanımı sonucu bir takım farklılıklar vardır. Çelik lifli betonlar için matris özelliklerini geliştirmek amacıyla bir dizi öneri getirilmiştir.

- Portland ya da katkılı Portland Çimentosu kullanılmalı,
- Maksimum S/Ç oranı 0.50 alınmalı,
- Minimum çimento dozajı 320 kg/m^3 olmalı,
- Kum miktarı toplam agrega kütlelerinin en az %40-55'i ($750\text{-}850 \text{ kg/m}^3$) olmalı,
- Matrisi güçlendirmek için puzolan (uçucu kül, silika dumanı) kullanılmalı,
- Korozyona dayanıklılık için kaplanmış lifler kullanılmalı,
- D_{max} doğal agrega için 28 mm, kırma taş için 32 mm olmalı, 16 mm'den büyük agrega oranı %15-20 ile sınırlandırılmalı,
- Betonun karakteristik basınç mukavemeti en az 30 MPa olmalı,
- İşlenebilirlik sağlaması için akışkanlaştırıcı kullanılmalı,

Betona ilave edilebilecek maksimum çelik tel miktarı, kg/m³, (TSE 10515)

	Uzunluk/çap=60		Uzunluk/çap=75		Uzunluk/çap=100	
Dmax (mm)	normal	pompa	normal	pompa	normal	pompa
4	160	120	125	95	95	70
8	125	95	100	75	75	55
16	85	65	70	55	55	40
32	50	40	40	30	30	25

İŞLENEBİLİRLİK

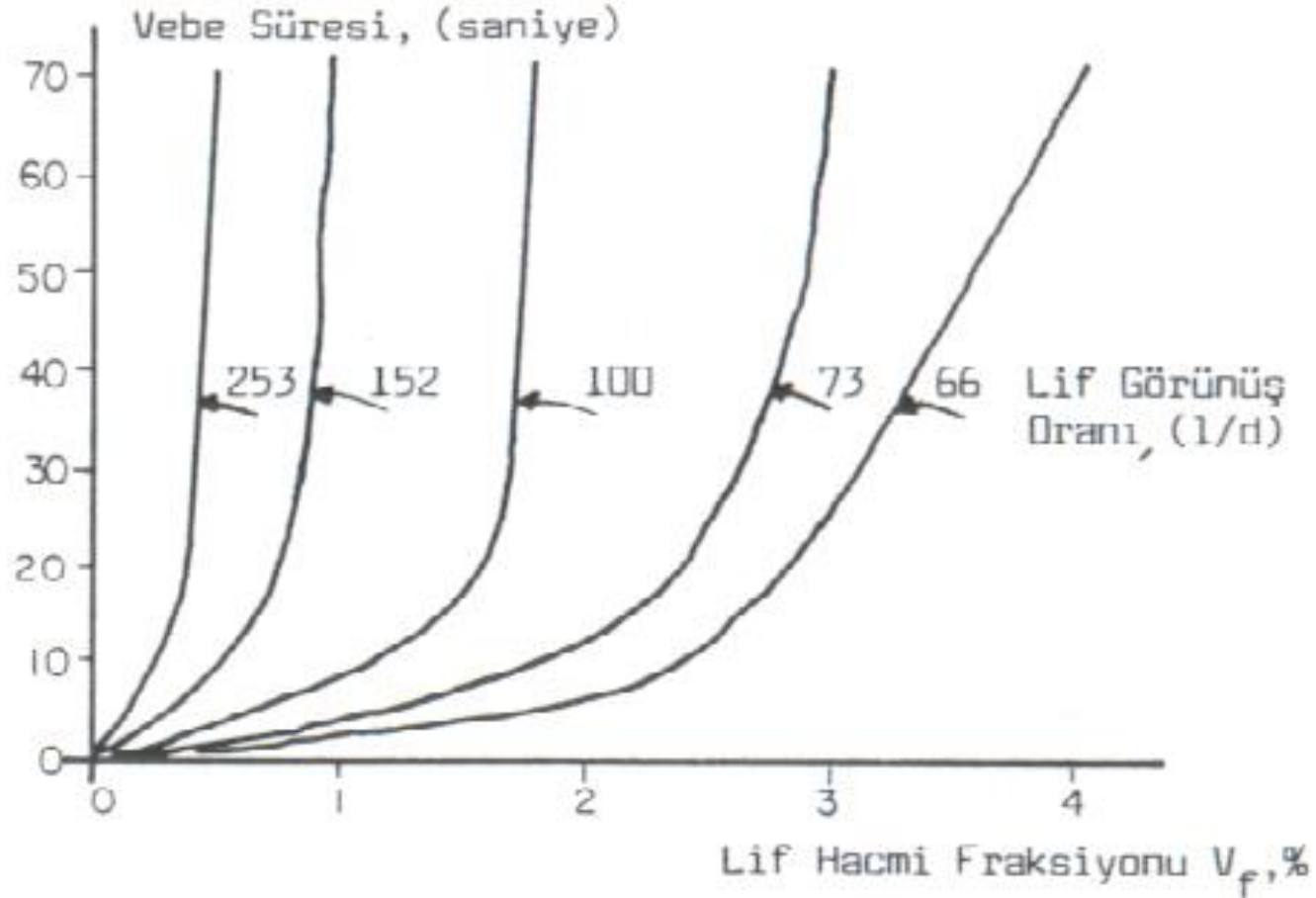
Lifli betonların işlenebilirliğini etkileyen faktörler:

- Maksimum tane çapı
- Tane dağılımı,
- Lif hacmi,
- Lif tipi,
- Lif görünüm oranı,
- Su/çimento oranı,
- Sıkışık hava miktarı.

Lifli betonlarda işlenebilirliği azaltan en önemli iki parametre:

- Karışımdaki lif hacmi,
- Lif görünüm oranı (uzunluk/çap).

LİF MİKTARI, LİF GÖRÜNÜM ORANI VE İŞLENEBİLİRLİĞİN DEĞİŞİMİ



İŞLENEBİLİRLİK DENEYLERİ

SLUMP DENEYİ

**SAĞLIKLI SONUÇLAR VERMİYOR!
GÖRECELİ OLARAK KULLANILABİLİR.**

VE-BE DENEYİ

**LİFLİ BETONLAR İÇİN
EN UYGUN İŞLENEBİLİRLİK DENEYİ.**

TERS KONİ DENEYİ

**YÜKSEK ORANDA AKIŞKANLAŞTIRILMIŞ
BETONLAR İÇİN UYGUN DEĞİL**

LİFLİ BETONLARIN KÜRÜ

STANDART KÜR

YETERLİ BİR KÜR YÖNTEMİ!

ISIL İŞLEM (HIZLANDIRILMIŞ KÜR YÖNTEMLERİ)

PREFABRİK ELEMANLAR İÇİN HIZLI VE EKONOMİK !

SERTLEŞMİŞ BETON ÖZELLİKLERİ

ÇELİK LİFLİ BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ŞU FAKTÖRLERDEN ETKİLENİR:

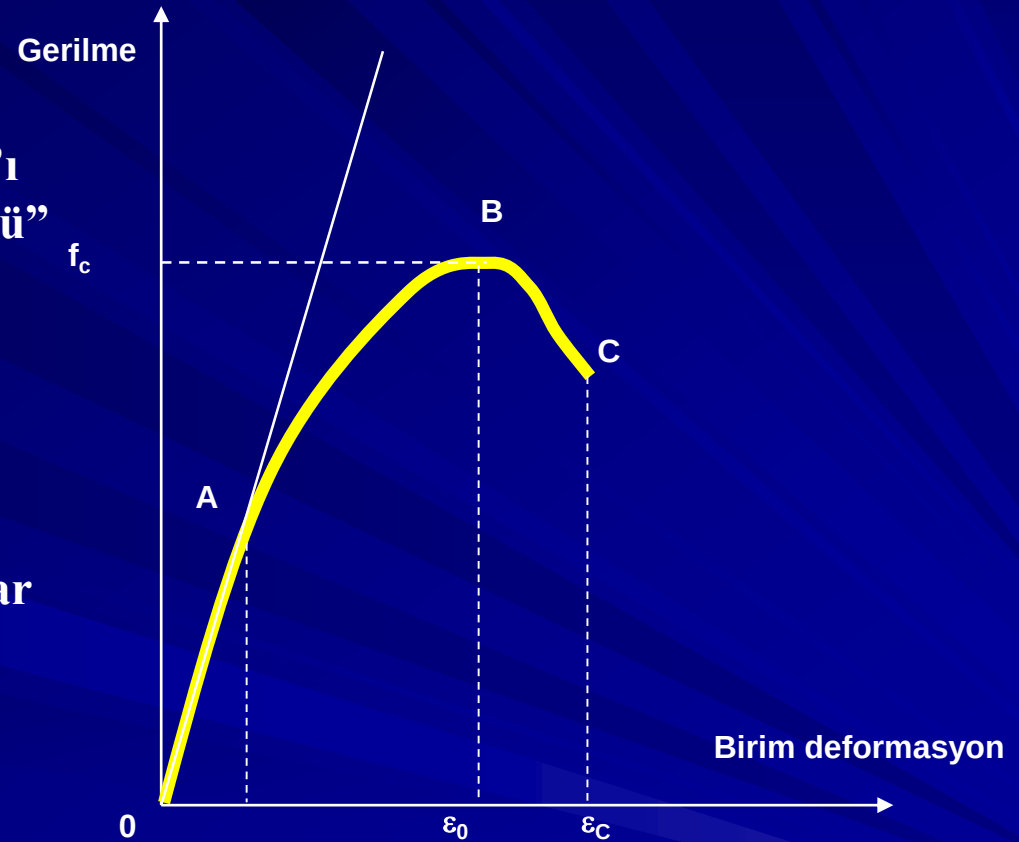
LİFLERİN Tipi,
Geometrisi,
Görünüm oranı,
Hacmi,
Uyumu,
Dağılımı,

MATRİSİN Dayanımı,
Maksimum agrega tane boyutu,

NUMUNENİN Boyutları,
Geometrisi,
Hazırlama metodu.

NORMAL BETONUN YÜK ALTINDA DAVRANIŞI

- OA arası doğrusal
Maksimum gerilmenin yaklaşık %40'ı
Bu doğrunun eğimi “Elastisite Modülü”
- A noktasından sonra eğriselleşir
Maksimuma ulaştığı B noktası
“Basınç Dayanımı”
- Basınç dayanımından sonra hızla gerilmeler azalır, deformasyonlar artar



VOELLMY PARABOLU

$$f = f_c \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \left(2 - \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \right)$$

SMITH-YOUNG FONK.

$$f = f_c \frac{\epsilon}{\epsilon_0} e^{\left(1 - \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \right)}$$

DEFORMASYON İŞİ

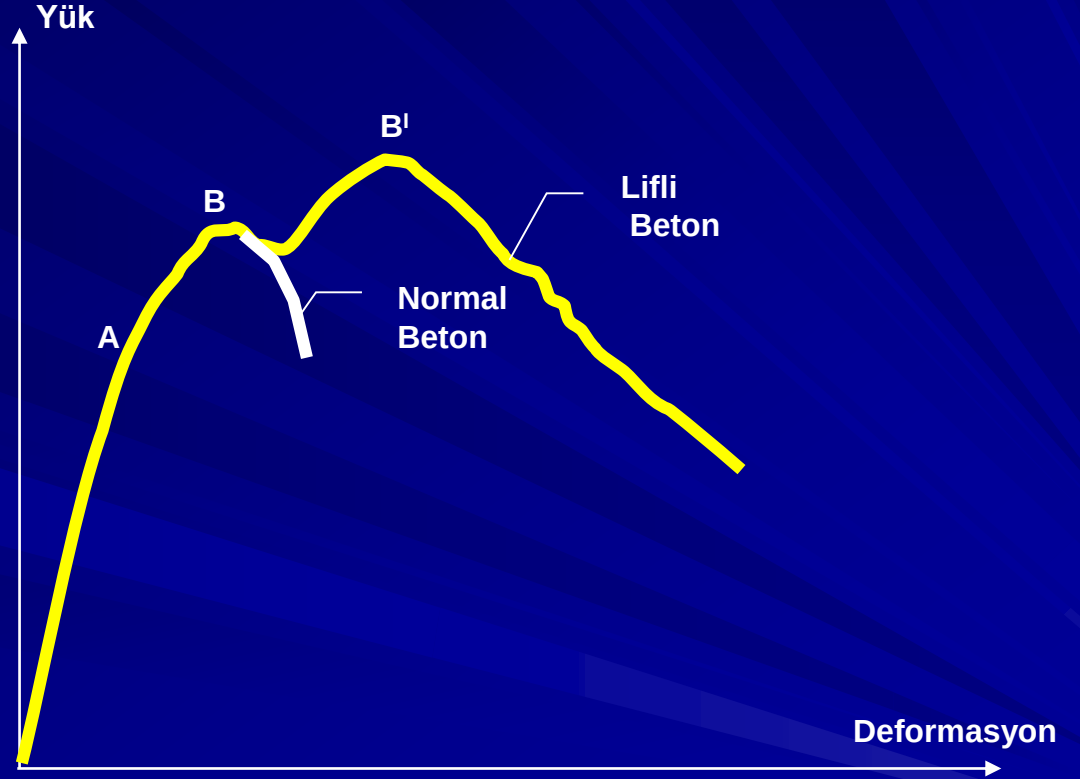
$$W = \int_0^{\Delta \epsilon} P * \delta \epsilon$$

LİFLİ BETONUN YÜK ALTINDA DAVRANIŞI

- OA arası doğrusal
A noktası “ilk çatlama yükü”

-A noktasından sonra eğriselleşir
Matrisin göçmesi ile (B) yük azalması görülür

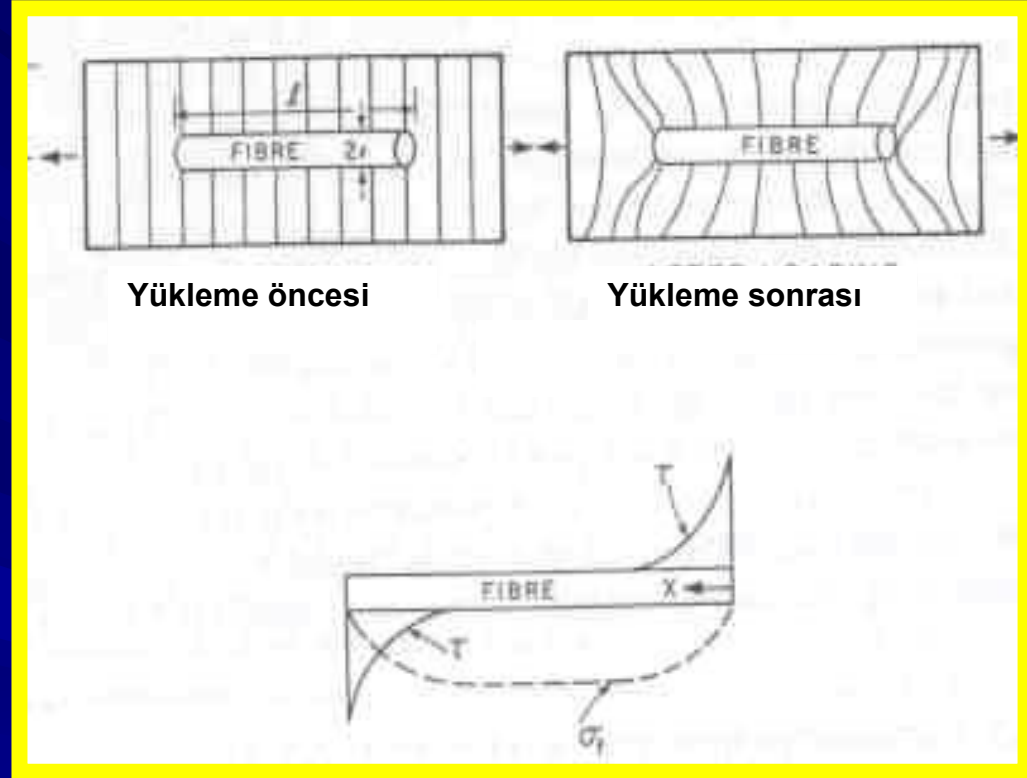
- Gerilmelerin liflere aktarılması ile taşınabilen yük lif miktarına bağlı olarak bir miktar daha artar



LİFLİ BETONUN YÜK ALTINDA DAVRANIŞI

Lifli betonda gerilme iki faz tarafından taşınmaktadır.

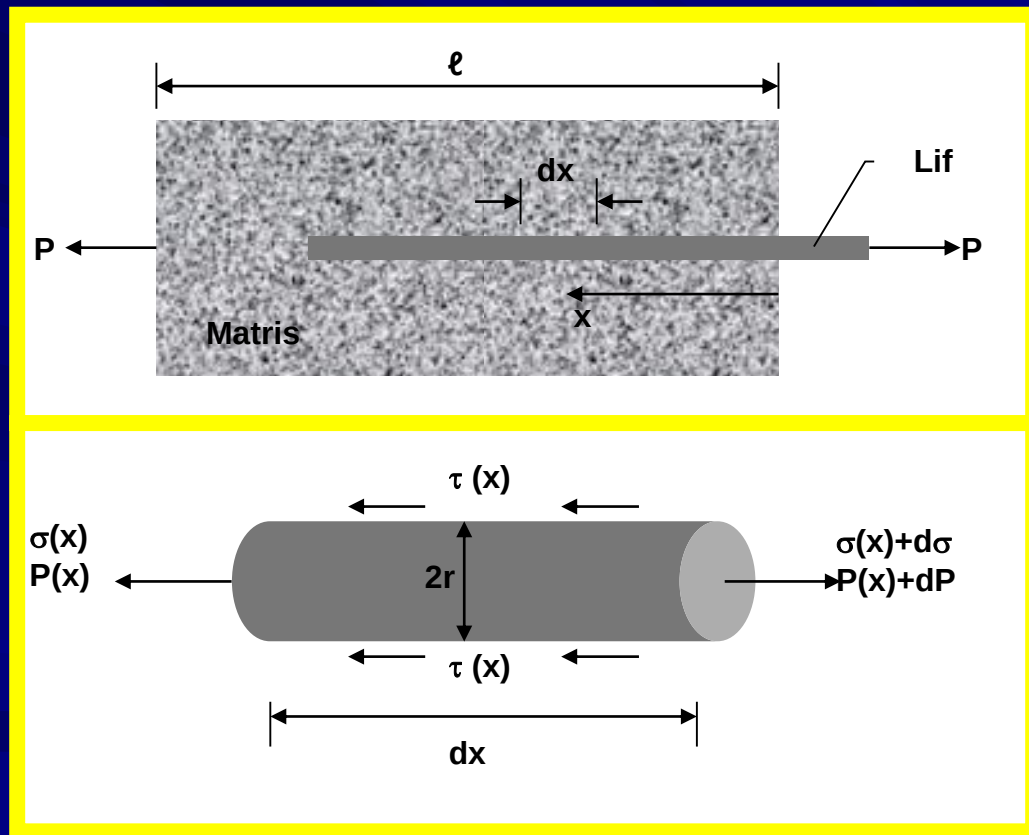
- Sürekli ortamı teşkil eden matris
- Süreksiz ve rasgele dağılımlı lifler



**LİFLER, GERİLME DOĞRULTUSUNA
PARELELLİKLERİ ÖLÇÜSÜNDE ETKİNDİRLER.**

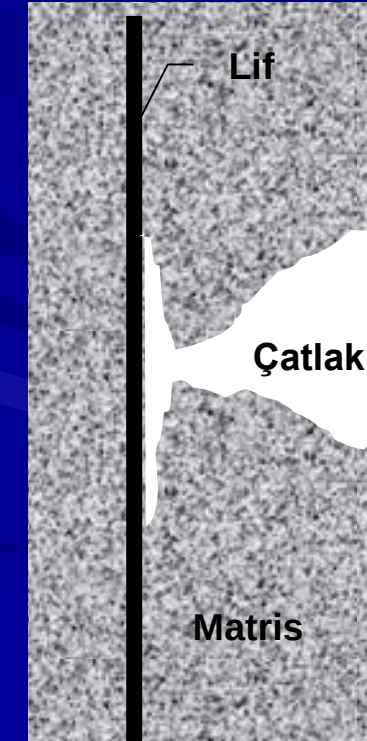
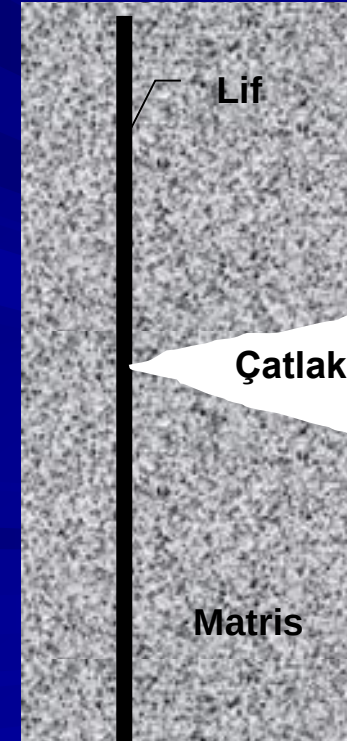
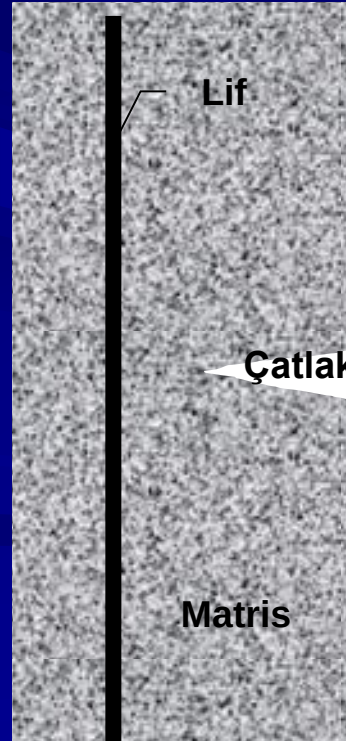
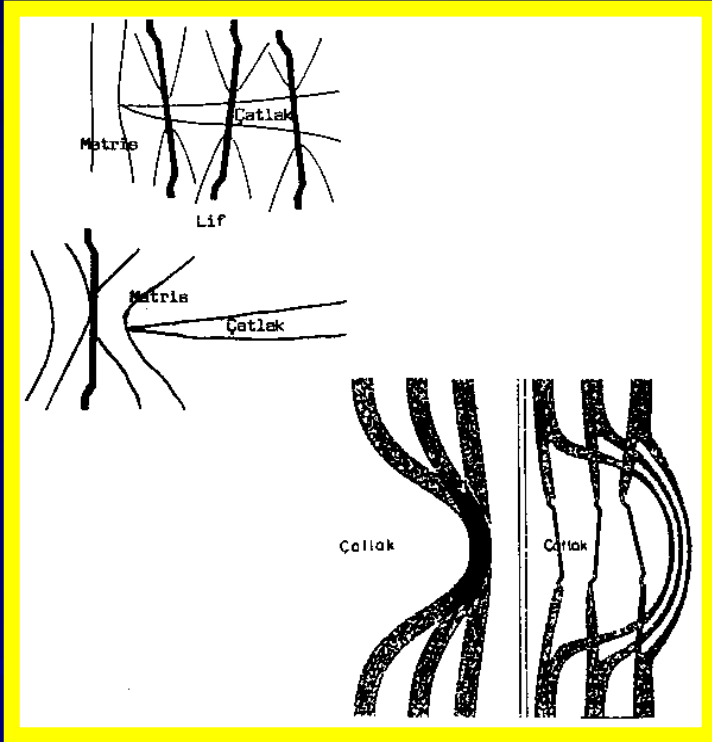
YÜK TRANSFERİ

Lifli betonlarda gerilme matristen life kayma kuvvetleri ile aktarılır.



ÇATLAK YAYILMASI

Normal betonlarda herhangi bir çatlağın yayılması için gerekli enerji düşüktür ve genellikle böyle bir çatlağın oluşması için gerekli enerjinin yaklaşık yarısı kadardır.



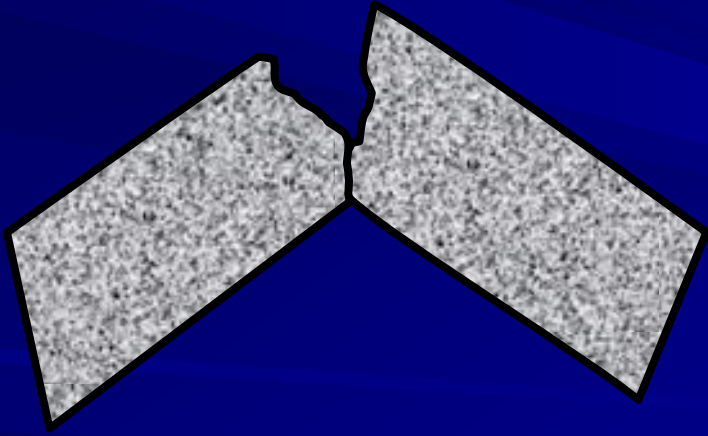


matrix crack surface

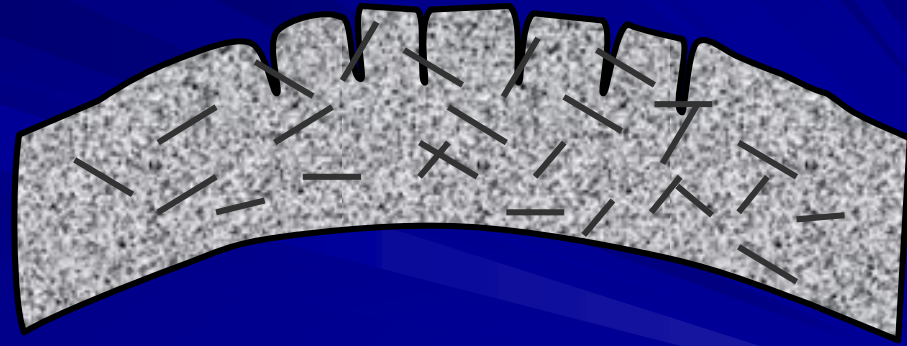
50 μm

ÇATLAK YAYILMASI

Lifli betonda ise gerilme transferi sebebiyle çatlağın yayılması için çatlağın oluşması için gereken enerjiden daha fazla enerji gereklidir. Bu durum çatlağın yayılması yerine sağlam bölgelerde yeni çatlakların oluşmasını kolaylaştırır. Böylece daha fazla enerji sönümlenir. Kompozit göçmeden daha fazla deformasyon yapabilir.



lifsiz

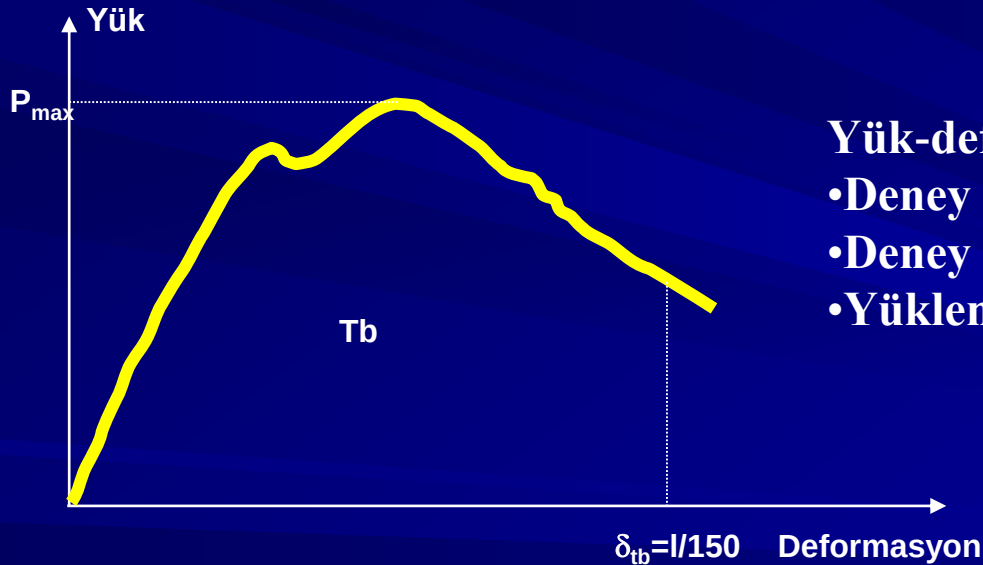


lifli

ENERJİ YUTMA KAPASİTESİ

Betonun yük altında sönümlediği enerji miktarı olarak tanımlanır.

Eğilme deneylerindeki yük-deformasyon grafiği kullanılarak hesaplanır.



Yük-deformasyon eğrisi altında kalan alan;

- Deney numunesi boyutlarından,
- Deney düzeneği yükleme tipinden,
- Yükleme hızından etkilenir.

TOKLUK İNDEKSLERİ

İlk çatlak tokluğu

$$İÇT=P.\delta/2$$

Elastik şekil değiştirme indeksi

$$I5=OACD/OAB$$

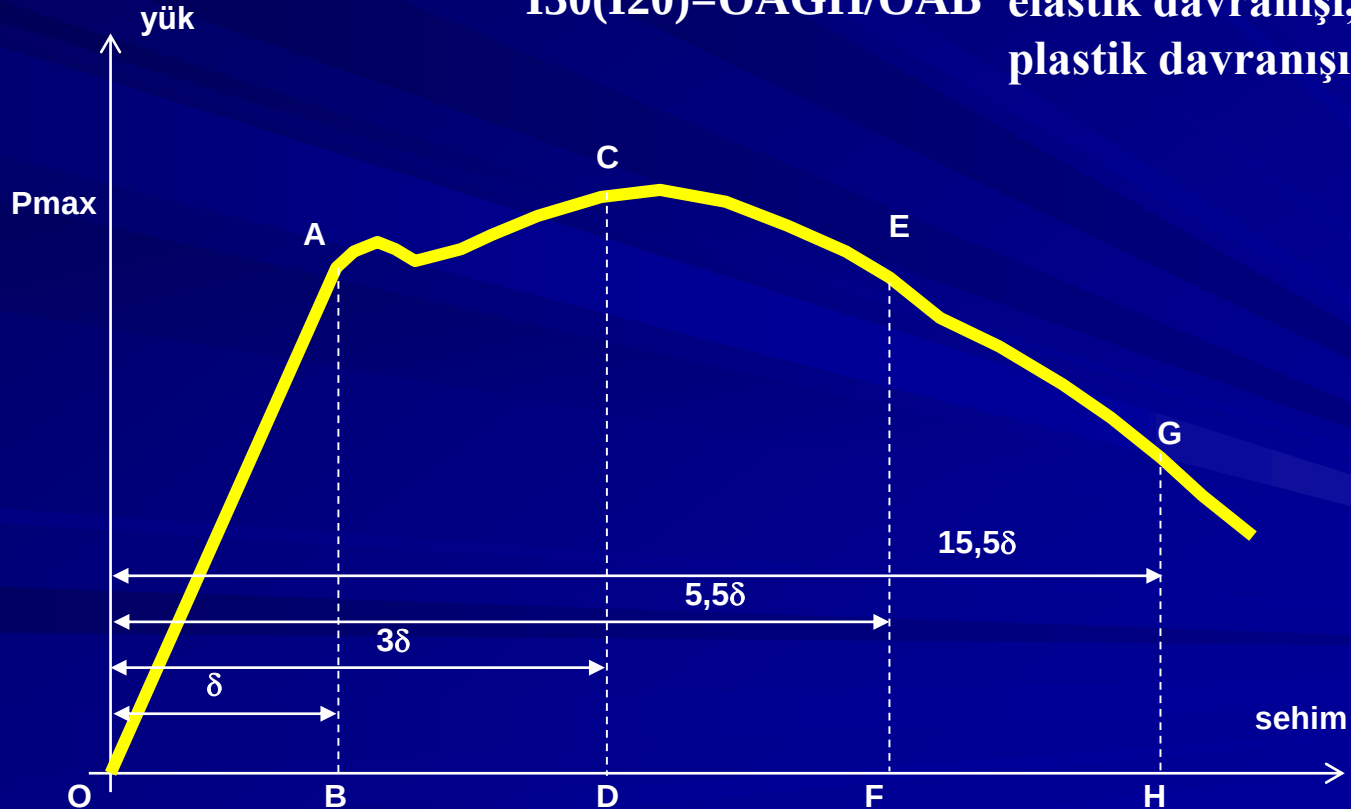
Performans kontrolü

Tokluk indeksleri

$$I10=OAEF/OAB$$

$$I30(I20)=OAGH/OAB$$

İlk çatlak anına kadar doğrusal elastik davranışı, daha sonra plastik davranışı açıklar.



TOKLUK İNDEKSLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

$I_{10}/I_5=2$

mükemmel plastik hareket (gerilme sabit deformasyon artıyor)

$I_{30}/I_{10}=3$

mükemmel plastik hareket (gerilme sabit deformasyon artıyor)

Bu değerlerden küçük iseler düşük performans

BAZ ALAN	İNDEKS	EĞİLME KRİTERİ	LİFSİZ BETON	ELASTİK-PLASTİK MALZEME	LİFLİ BETON
OACD	I5	3	1,0	5,0	1-6
OAEF	I10	5,5	1,0	10,0	1-12
OAGH	I20(I30)	15,5	1,0	20,0	1-25

EĞİLME DAYANIMI

Normal betonların mekanik özelliklerini etkileyen faktörlerin yanında;

- Lif içeriği,
- Lif geometrisi,
- Liflerin matristeki yönelimlerinden etkilenir.

İlk çatlak dayanımı ve sınır eğilme dayanımı
kompozit malzeme yaklaşımı ile tahmin edilebilir:

$$\sigma_c = A \cdot \sigma_m \cdot (1 - V_f) + B \cdot V_f \cdot l/d$$

Burada;

σ_c : kompozitin dayanımı

σ_m : matrisin dayanımı

V_f : lif hacim fraksiyonu

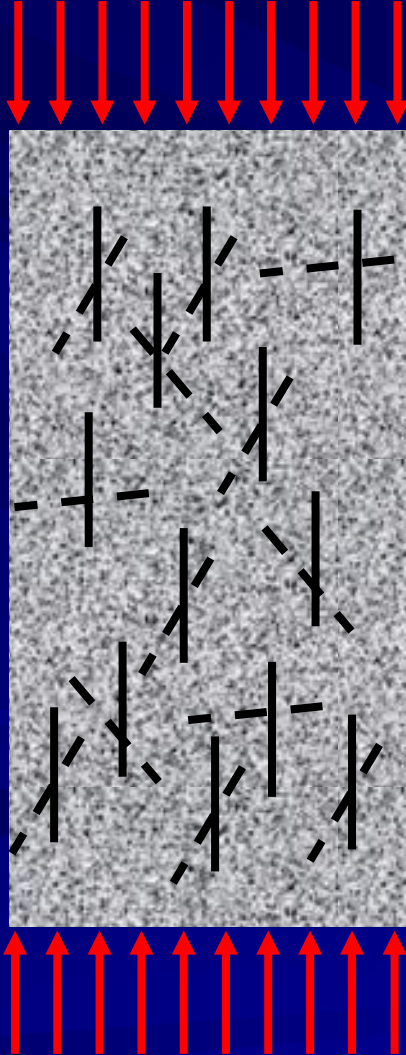
l/d : lif görünüm oranı

A,B: sabitler

SWAMY'e göre Kompozitin ilk çatlak dayanımı için $A=0.843$, $B=2.93$
Kompozitin maksimum dayanımı için $A=0.97$, $B=3.41$

BASINÇ DAYANIMI

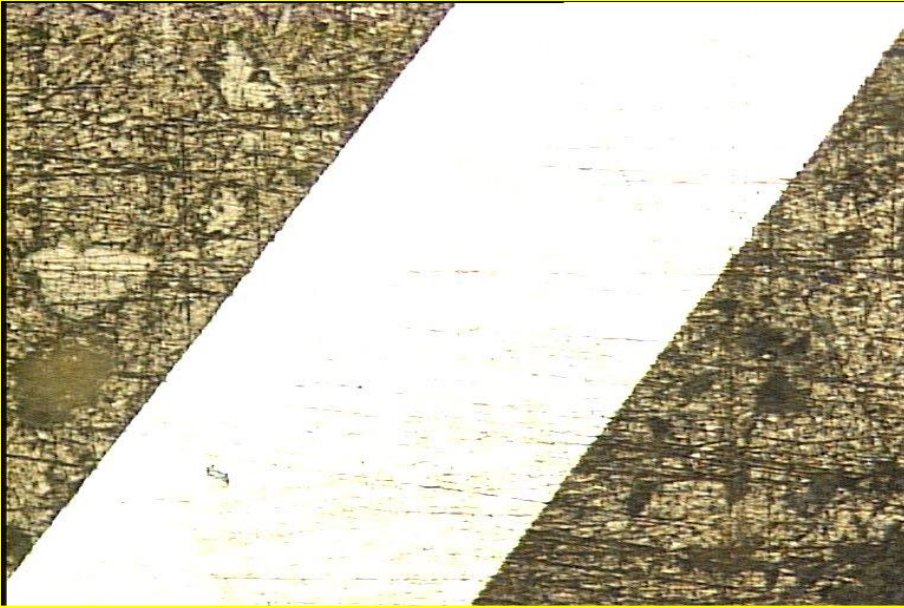
Nihai yükte belirgin bir artış olmamasına karşın lifli beton tek eksenli yükleme altında daha sünek davranabilmektedir.



Yüklemeye düzlemine dik olan lifler basınç gerilmesinde herhangi bir işlev üstlenmez.

Yüklemeye düzlemine paralel lifler basınç gerilmesinin artışına duyarlıdır, sünekliği arttırlar.

PARLAK KESİT İNCELEMELERİ



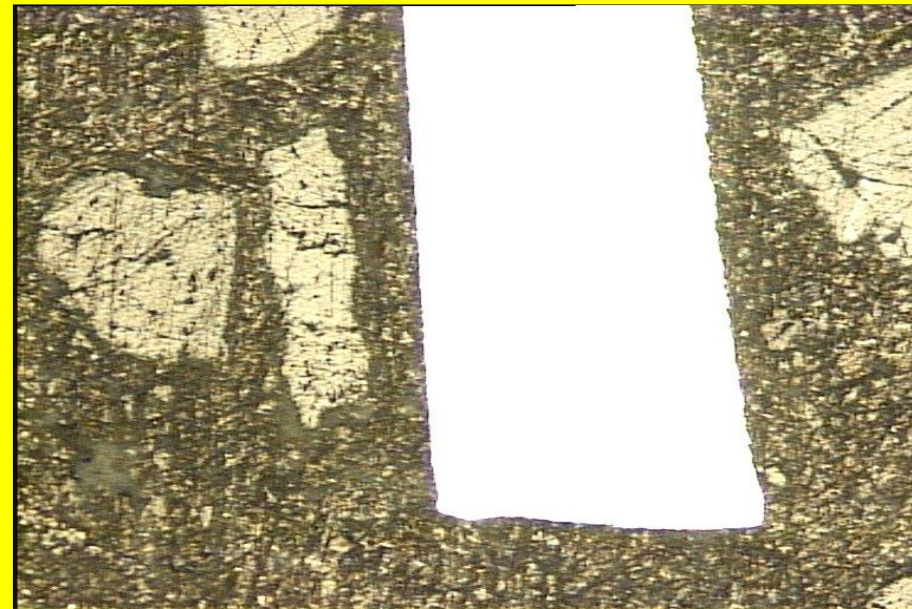
(50x)



(50x)

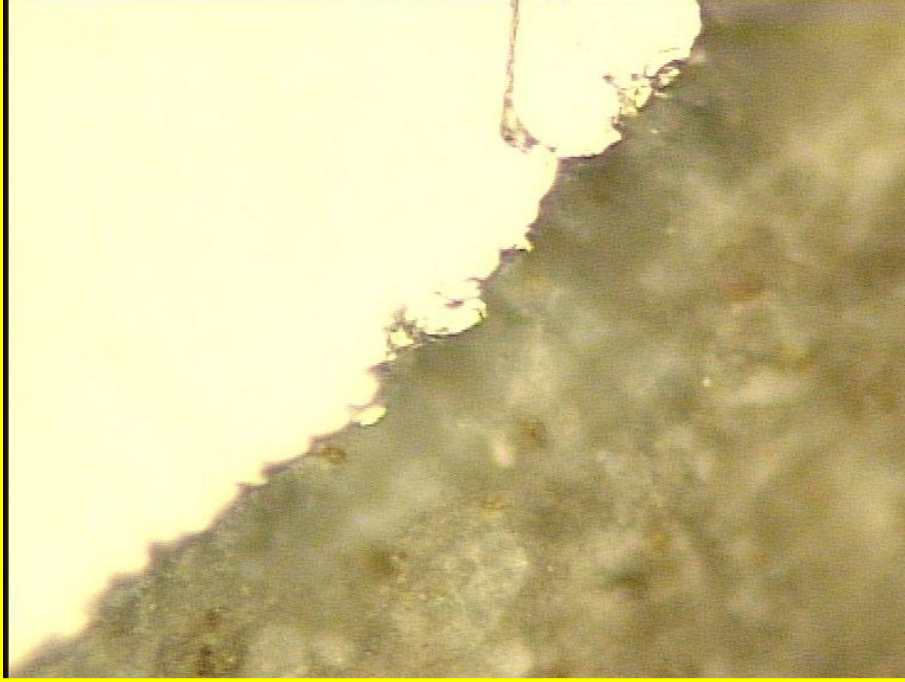


(50x)



(50x)

PARLAK KESİT İNCELEMELERİ



(1000x)

Yüksek çelik lif
dozajlarında
sıkıştırma
zorluklarından
kaynaklanan
boşluklar

Çıplak gözle
bakıldığında
pürüzsüz gibi
görünen liflerle
çimento matrisi
arasında iyi bir
aderans var.



(50x)

GENEL DEĞERLENDİRME

Çelik lifler, yüksek performanslı betonların özelliklerine önemli kazançlar sağlanmaktadır.

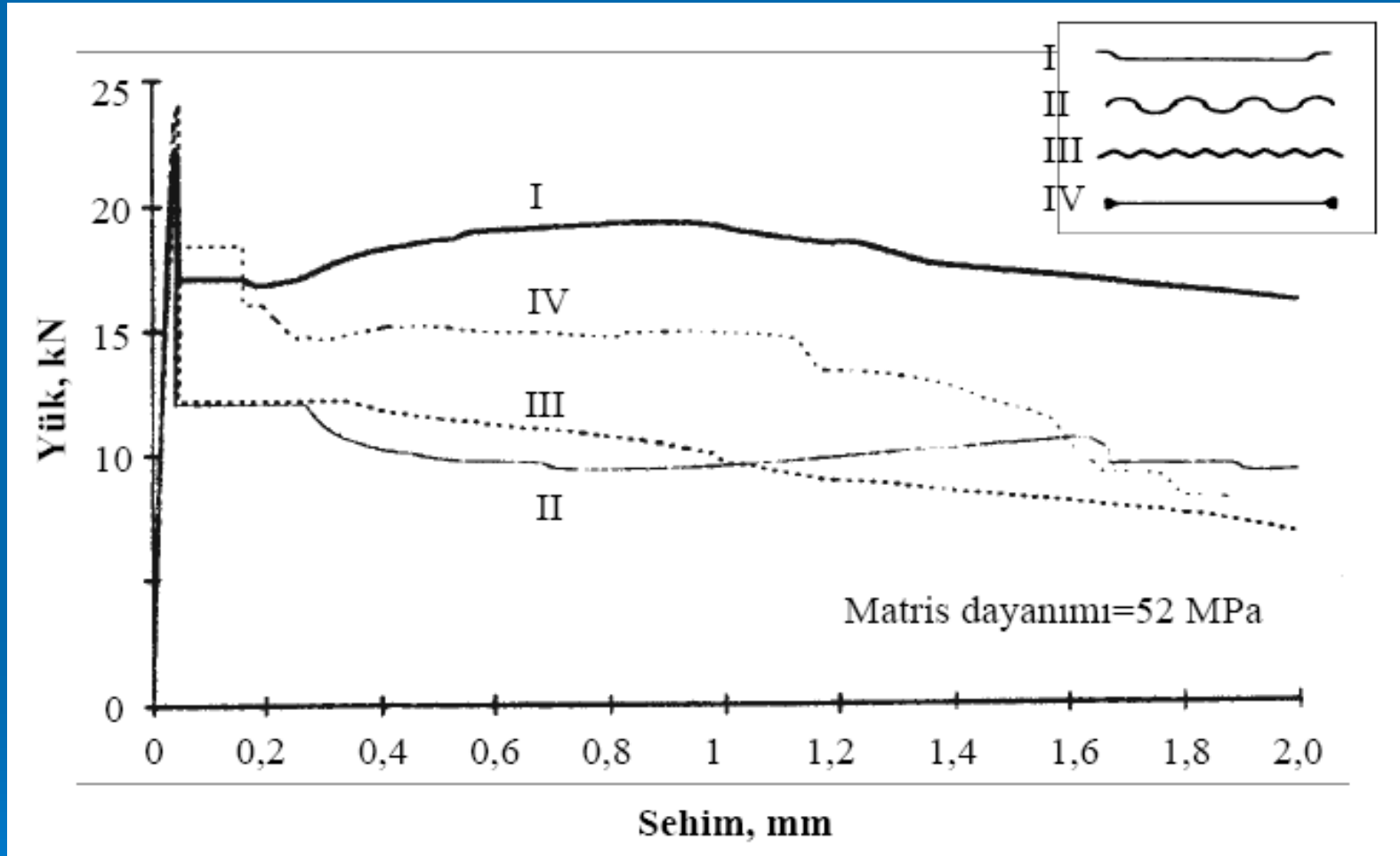
Betonun basınç dayanımı ve elastisite modülü çelik lif kullanımı ile pek değişmezken çekme ve eğilme dayanımları artışlar kaydetmiştir.

Özellikle bu çalışmanın birinci derecede önemli amacı olan süneklikte çok yüksek artışlar sağlandığı görülmüştür.

LİFLİ BETONUN MEKANİK PERFORMANSINI ETKİLEYEN PARAMETRELER

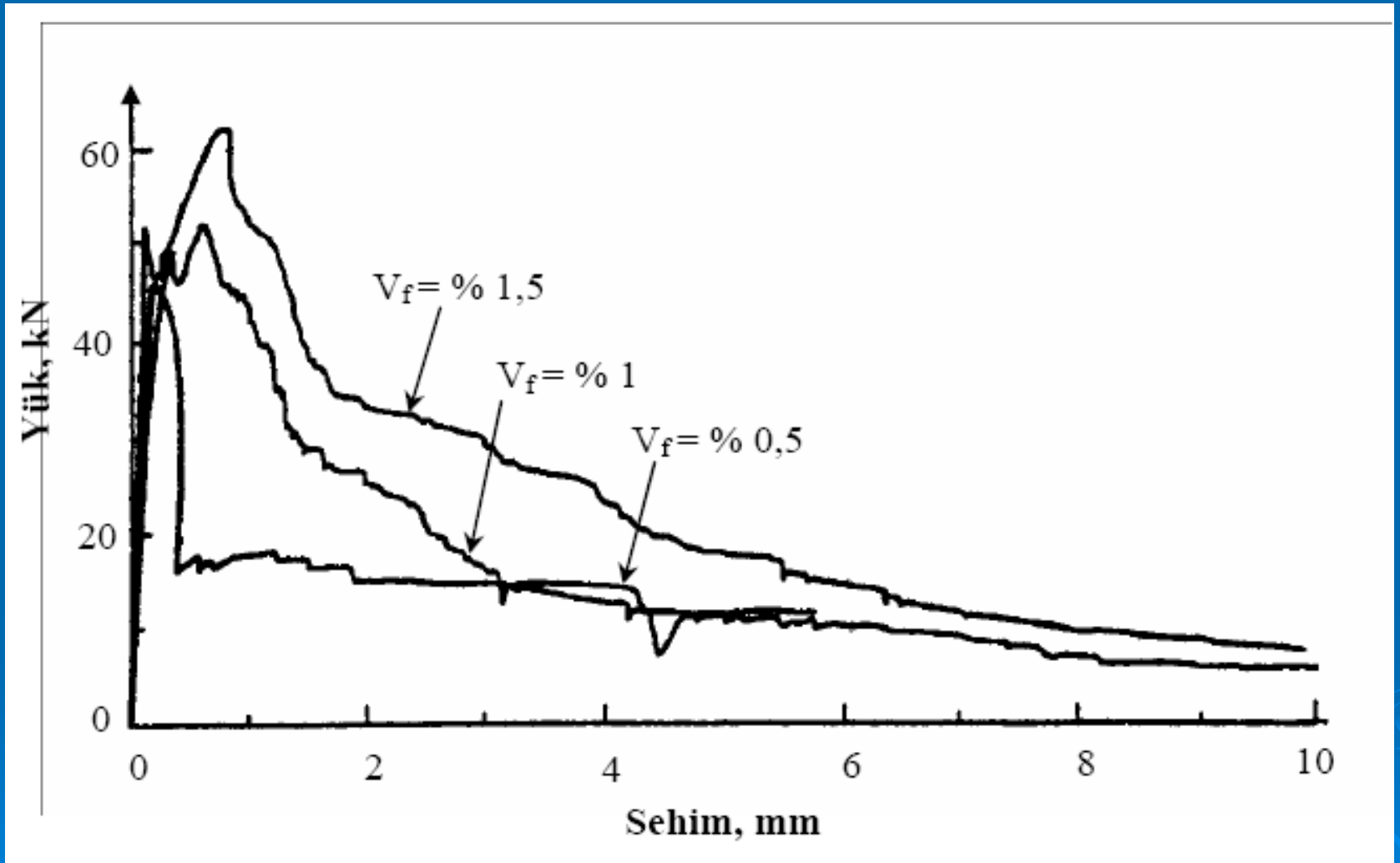
- Lif tipi
- Lif miktarı
- Lif görünüm oranı (Narinliği) **Lif boyunun çapına oranı**
- **Lif çekme dayanımı, matrisle mekanik uyum**
- Liflerin matris içerisinde yükün uygulandığı doğrultuya göre pozisyonu (yönelim)
- Enkesit içerisinde liflerin homojen dağılıp dağılmadığı

Lif tipinin etkisi



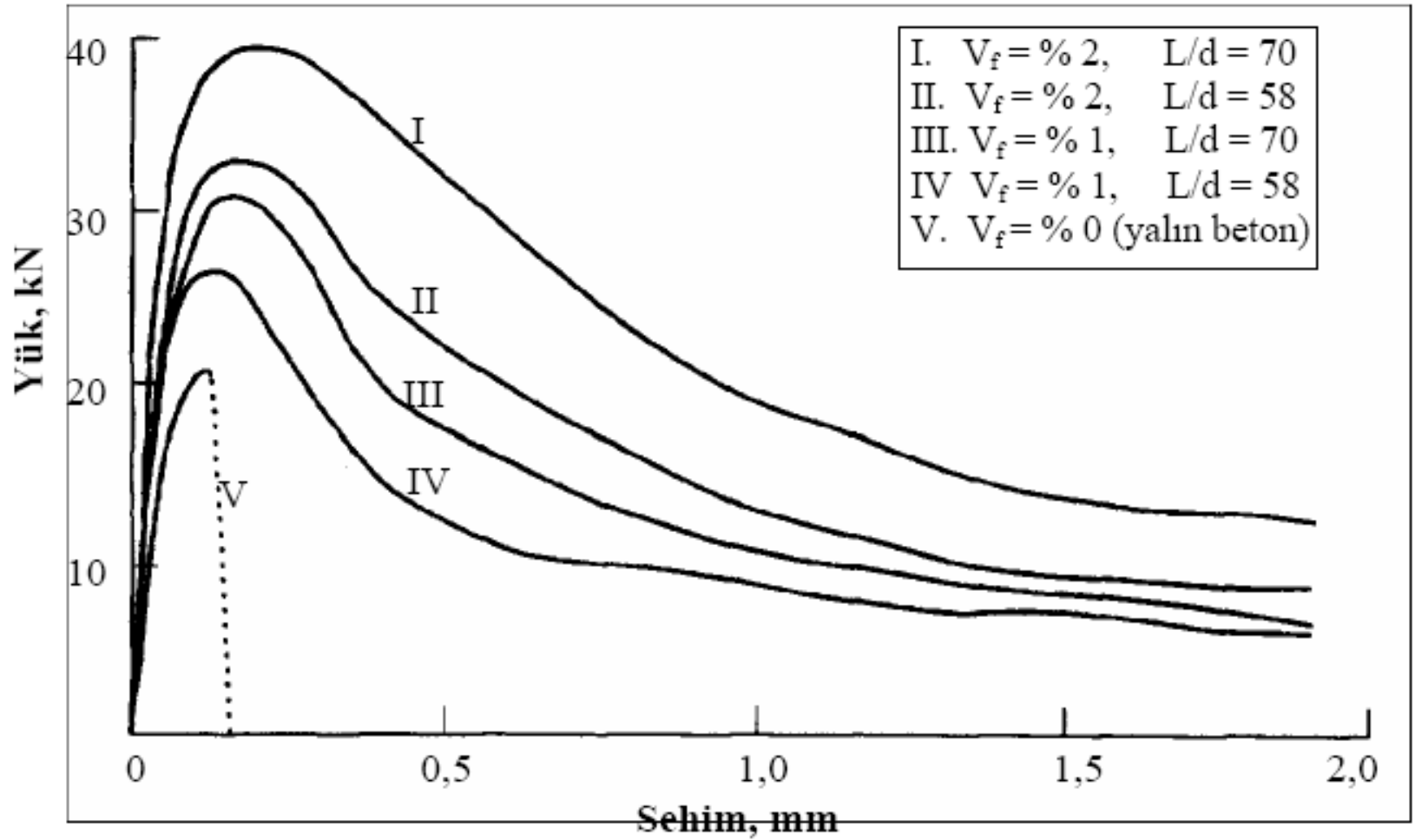
Banthia ve Trottier, 1992 (Şekil Bayramov 2004'den uyarlanmıştır)

Lif miktarının etkisi



Banthia ve Trottier, 1992 (Şekil Bayramov 2004'den uyarlanmıştır)

Lif narinliđinin etkisi



Gao v.d, 1997 (Şekil Bayramov 2004'den uyarlanmıştır)

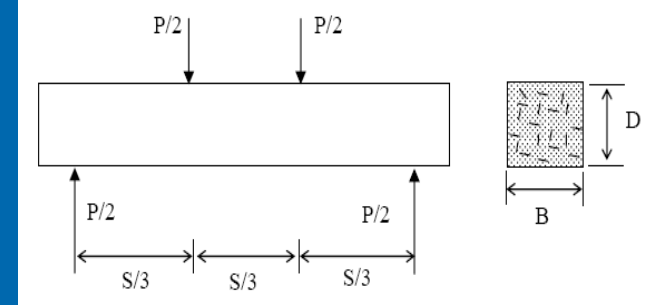
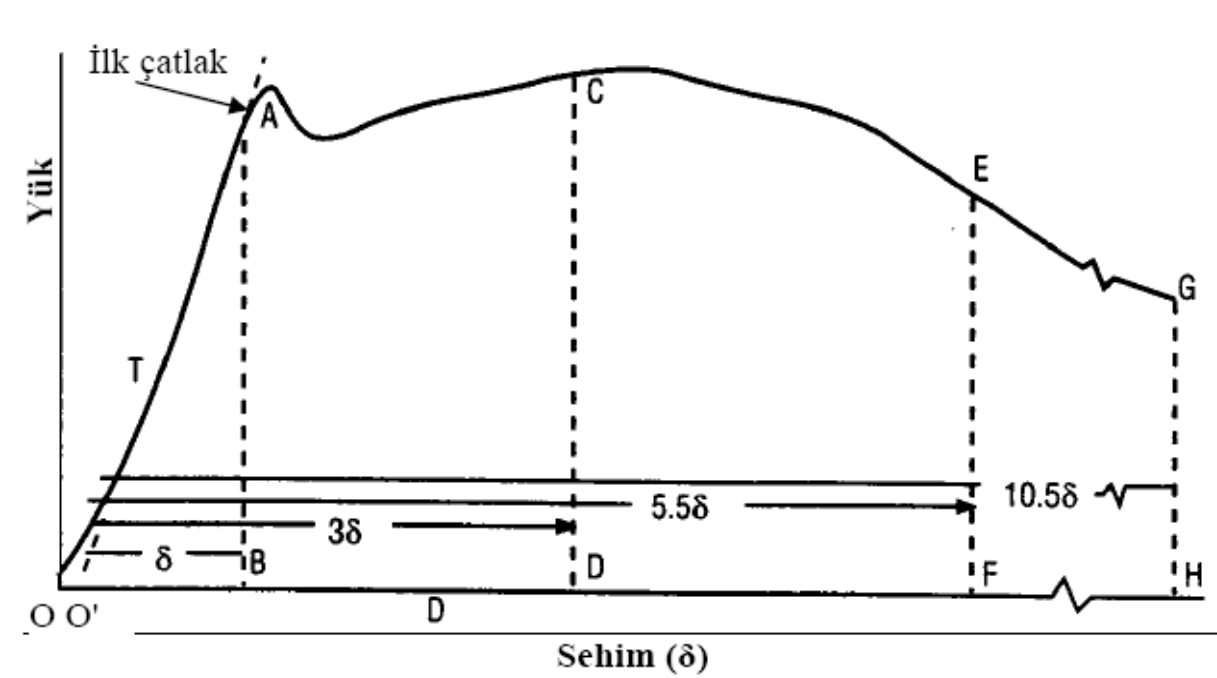
TOKLUK ÖLÇÜMÜ

Yüksek tokluk çelik lif donatılı betonların en önemli özelliğidir.

TOKLUK (ENERJİ YUTMA KAPASİTESİ) BELİRLİ BİR SEHİME KADAR YÜK – SEHİM EĞRİSİNİN ALTINDA KALAN ALAN OLARAK TANIMLANIR.

TOKLUK ÖLÇÜMÜ DEĞİŞİK STANDARTLARDA DEĞİŞİK DENEY YÖNTEMLERİYLE BELİRLENEBİLİR. BUNLARDAN EN YAYGIN OLANI ASTM C1018 (1997)'DİR.

ASTM C1018'E GÖRE TOKLUK ÖLÇÜMÜ İÇİN DÖRT NOKTALI EĞİLME DENEYİ UYGULANMAKTADIR.

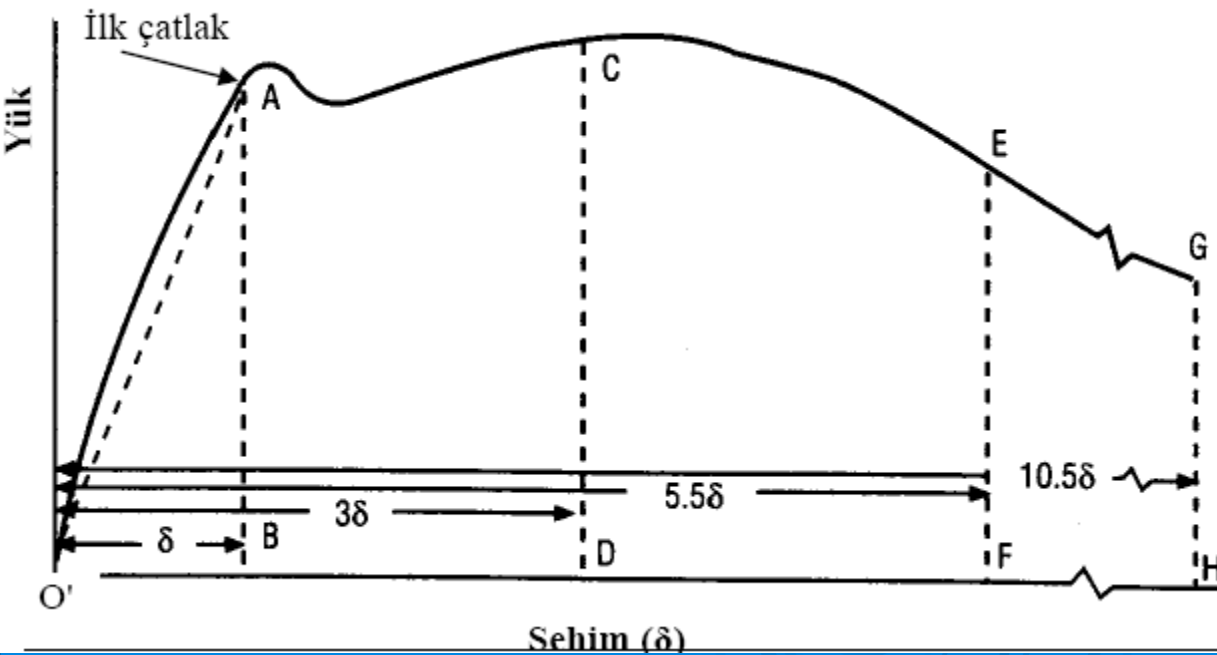


TOKLUK İNDİSLERİ

$$I_5 = \frac{A(O'ACD)}{A(O'AB)}$$

$$I_{10} = \frac{A(O'AEF)}{A(O'AB)}$$

$$I_{20} = \frac{A(O'AGH)}{A(O'AB)}$$



ASTM C1018'e Göre Tokluk İndeksleri düşükse çatlaktan sonra enerji yutma kapasitesi düşük demektir.

ÇATLAMADAN SONRA SEHİM ARTTIKÇA LİFLİ KOMPOZİTTEKİ HASARIN DERECESESİ **KALICI DAYANIM FAKTÖRLERİ** İLE DEĞERLENDİREBİLİR

$$R_{5, 10} = 20 (I_{10} - I_5)$$

$$R_{10, 20} = 10 (I_{20} - I_{10})$$

Sınıf	Değerlendirme	Kalıcı Dayanım Faktörü
I	Zayıf	< 40
II	Orta	40-60
III	İyi	60-80
IV	Mükemmel	80-100

ÇELİK LİF DONATILI BETONLARDA İŞLENEBİLİRLİK

- Lif tipi
- Lif miktarı
- Liflerin görünüm oranı
- Karışım oranları
- Agregâ miktarı, maksimum çapı ve gradasyon

LİFLİ BETONUN İŞLENEBİLİRLİĞİNİ ETKİLER

BETONA LİF İLAVESİ İŞLENEBİLİRLİĞİ DÜŞÜREBİLİR!

İŞLENEBİLİRLİK KONTROL EDİLMELİDİR!

HAMUR HACMİNİN ARTTIRILMASI, KABA AGREGA MİKTARININ
AZALTILMASI VE İNCE GRADASYON SEÇİLMESİ UYGUN
İŞLENEBİLİRLİĞE YARDIMCI OLABİLİR

**ÇELİK LİFLİ BETONLAR İÇİN TİPİK KULLANIM ORANI %0.25
İLE %1.5-2 ARASINDA DEĞİŞMEKTEDİR.**

**LİF İLAVESİ ÇÖKME DEĞERİNİ – KARIŞIM ORANLARI, LİF
TİPİ VE MİKTARINA BAĞLI OLMAK ÜZERE- 25-100 mm
ARASINDA AZALTABİLİR!**

**KURU KARIŞIMLAR İÇİN UYGUN OLAN VeBe TESTİ LİFLİ
BETONLAR İÇİN DE UYGUNDUR.**

**ÇÖKME KAYBININ LİFSİZ BETONLARLA BENZER
OLDUĞU LİTERATÜRDE BELİRTİLMEKTEDİR (ACI-544)**

LİF DONATILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLAR

LİFLİ BETONLARIN İŞLENEBİLİRLİĞİ LİFSİZ BETONA GÖRE DAHA DÜŞÜKTÜR. LİFLİ BETON DÖKÜMÜ ESASEN OLDUKÇA KOLAY OLMASININ YANINDA GÖRECELİ OLARAK DAHA İYİ PLANLAMA VE İŞÇİLİK GEREKTİRİR.

LİF DOZAJI ARTTIKÇA LİFLİ BETONLARIN ETKİLİ BİR ŞEKİLDE SIKIŞTIRILMASI ZORLAŞMAKTADIR.

LİFLİ BETONLAR ETKİLİ SIKIŞTIRMANIN, HOMOJEN LİF DAĞILIMININ SAĞLANMASI, HAPSOLMUŞ HAVA BOŞLUKLARININ AZALTILMASI VE LİF EKLENMESİ İLE VİBRASYON İHTİYACINI AZALTACAK ŞEKİLDE YETERİNCE AKICI KIVAMDA DİZAYN EDİLMELİDİR.



Kalıba kolayca yerleşebilen ve etkili sıkıştırmanın herhangi bir ek vibrasyon enerjisine gerek duyulmadan başarılabilirdiği kendiliğinden yerleşen betonların kullanımı, daha başarılı lifli kompozitlerin oluşturulması açısından yararlı olabilir. Lifli betonların lifsiz betonlara göre işlenebilirliklerinin düşüklüğü ve daha iyi işçilik gereksinimi, maliyetleri üzerinde dikkate alınmaya değer bir artışa neden olmaktadır. Kendiliğinden yerleşebilen lifli betonların kullanımı işçilikten sağlanacak kazanç ve döküm hızında yol açacağı artış ile toplam maliyette azalmaya neden olabilir. Fakat lifli KYB’de tıpkı lifsiz KYB gibi sadece kendi ağırlığı altında, başka hiçbir sıkıştırma enerjisine ihtiyaç duymadan kalıba yerleşip sıkışabilmeli, dar kesitlerden geçebilmeli ve herhangi bir bloklanma ve segregasyona uğramadan kesitte homojen lif dağılımını sağlayabilmelidir.

*** LİF TİPİ**

*** LİF MİKTARI**

*** LİF GÖRÜNÜM ORANI (NARİNLİĞİ)**

*** KYB KARIŞIMIN DİZAYNI**



YÜKSEK HAMUR HACMİ
SINIRLI MAX. AGR. ÇAPI
DÜŞÜK KABA AGREGA
HACMİ

**LİF DONATILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN
BETONLARIN PERFORMANSINI ETKİLEYEN EN
ÖNEMLİ PARAMETRELERDİR!**

İŞLENEBİLİRLİĞİN DEĞİŞİK DENEYLERLE GÖRECELİ OLARAK KONTROLÜ ÖNEMLİDİR!



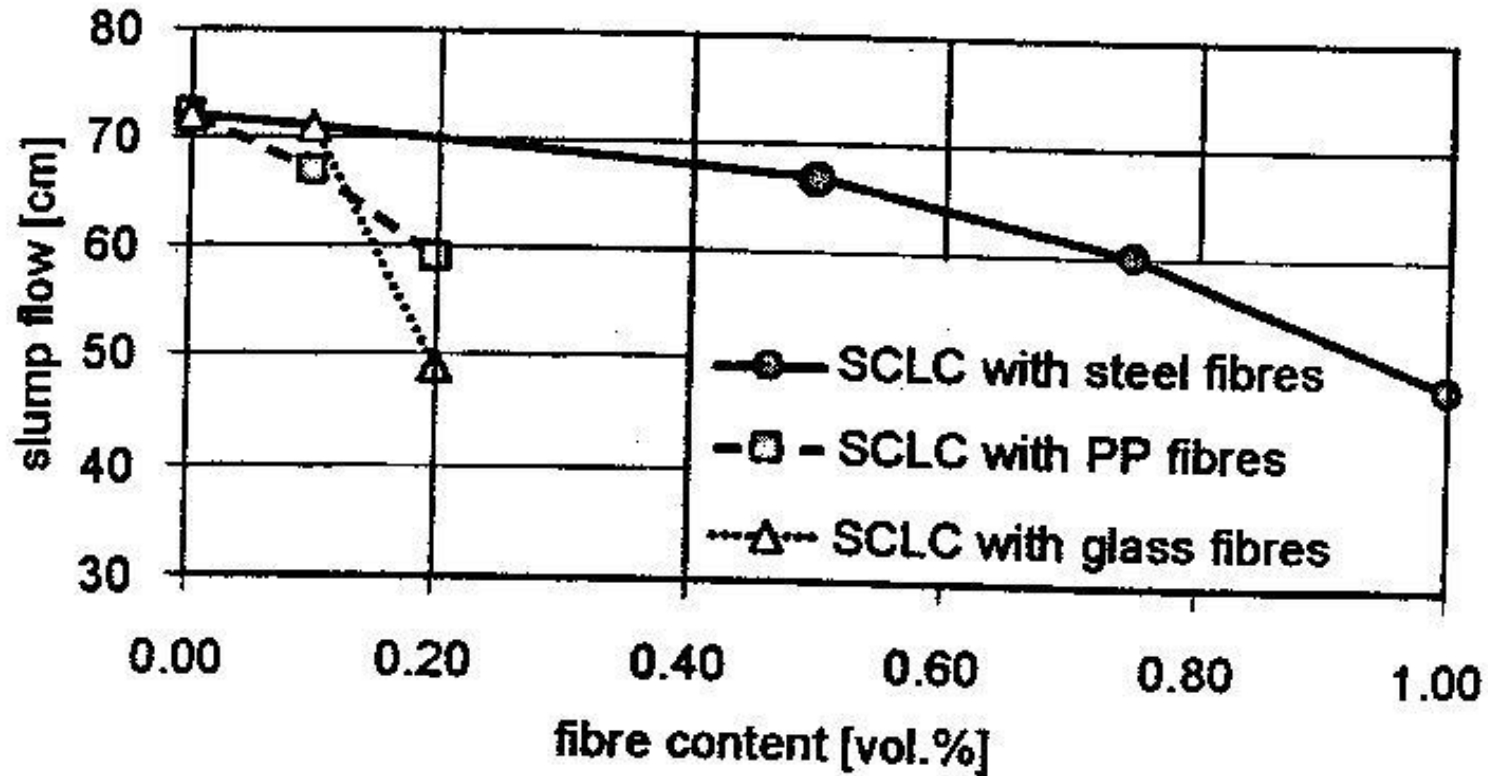
GEÇİŞ YETENEĞİ İHTİYACA GÖRE TEST EDİLMELİDİR



LİFLİ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN İŞLENEBİLİRLİĞİNE
YÖNELİK STANDARTLAŞMIŞ TEST YÖNTEMLERİ HENÜZ TAM OLARAK
GELİŞTİRİLEMEMİŞTİR.

GÖRECELİ TESTLER TAZE BETONUN YERİNDEKİ PERFORMANSI
HAKKINDA FİKİR VEREBİLİR

Lif tipi ve dozajının yayılma çapına etkisi



Effect of the type and content of fibres on the slump flow behaviour of SCLC

Beton hacminin %0.2'si kadar cam lifi veya polipropilen lif kullanılması çökme – yayılma değeriinde %34'e varan azalmaya yol açmaktadır. Bu açıdan elik lif daha iyidir. Çalışmada bu durum, PP ve cam lifinin inceliğine bağlı olarak açıklanmıştır. Bu tip liflerin ıslatılması için elik life göre incelikleri ile orantılı olarak daha fazla su gerekecek ve karışım suyundaki denge bozulacaktır (Walraven).

Kullanılabilecek Lif Dozajı Karışım Özelliklerine Büyük Ölçüde Bağlıdır!

Mixture composition of both the reference mixtures

Component	Series 1 [kg/m ³]	Series 2 [kg/m ³]
CEM III/B 42.5 LH HS	362	386
Fly ash	191	204
Water	164	171
Superplasticizer CUGLA LR	(2.09)	(2.19)
Superplasticizer CUGLA HR	(0.84)	(0.87)
Fine aggregate (0.125–4 mm)	641	676
Coarse aggregate (4–16 mm)	942	855

Experimental program

Steel fiber content	20 [kg/m ³]	40 [kg/m ³]	60 [kg/m ³]	80 [kg/m ³]	100 [kg/m ³]	120 [kg/m ³]
<i>SCC-Series 1</i>						
Dramix-RL 45/30				○	○	
Arbed/Eurosteel 50/50			○	○		
Dramix-RC 65/40		○	○			
Dramix-RC 80/60		○	○			
<i>SCC-Series 2</i>						
Dramix-RL 45/30				○	○	○
Arbed/Eurosteel 50/50			○	○	○	
Dramix-RC 65/40		○	○	○		
Dramix-RC 80/60		○	○	○		

Test results of the reference mixtures

Measurement	Series 1	Series 2
Slump flow [mm]	708	716
V-funnel [s]	10.8	9.5
Fiber funnel [s]	4.5	5.7
Filling vessel test [%]	97.6	97.7
Box test [mm]	335	335
Air content [vol.%]	2.0	2.0

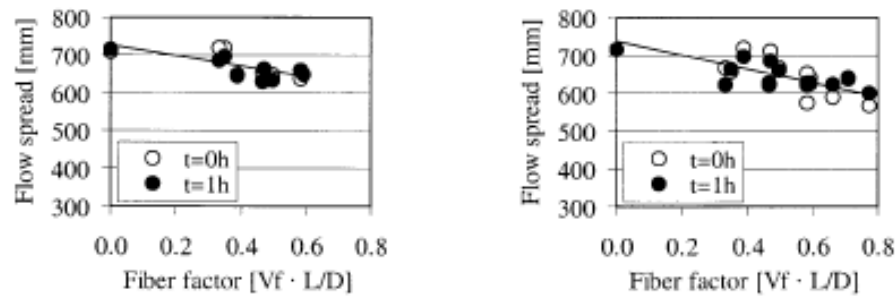


Fig. 3. Slump flow against fiber factor: (a) Series 1 and (b) Series 2.

GEÇİŞ YETENEĞİ AÇISINDAN SERİLERİN DURUMU

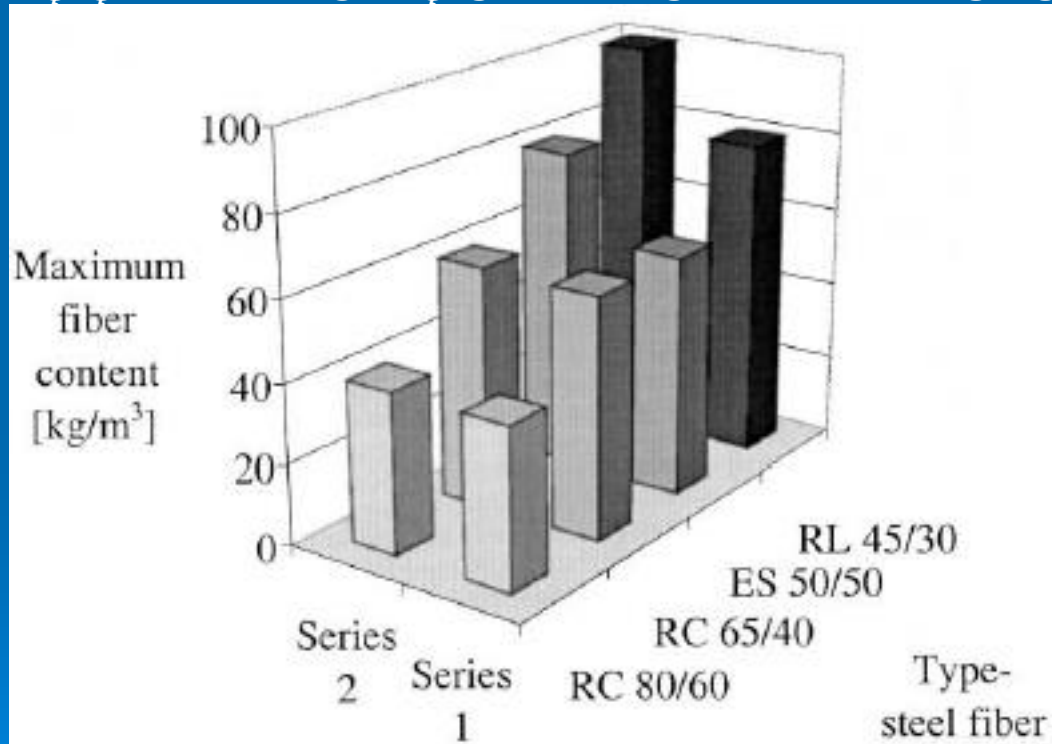
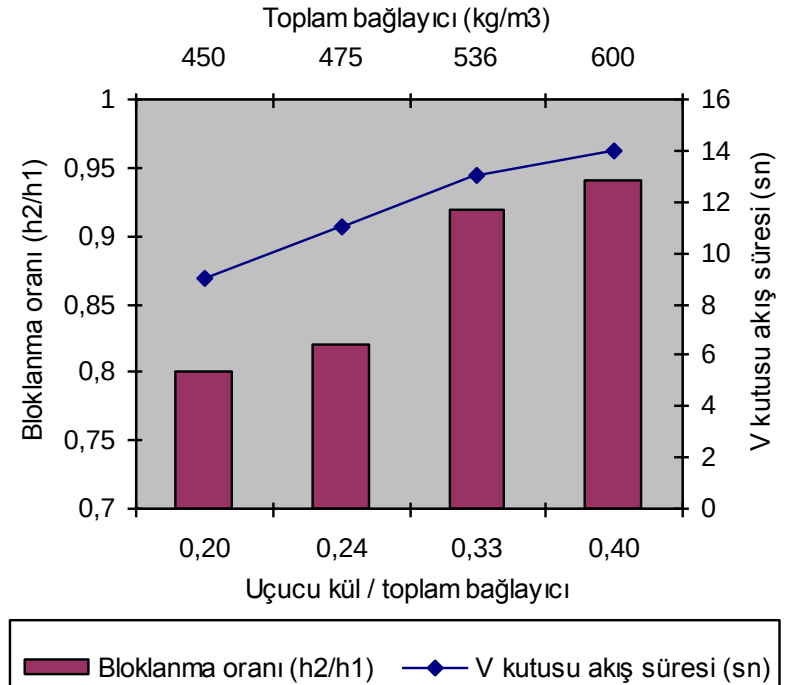
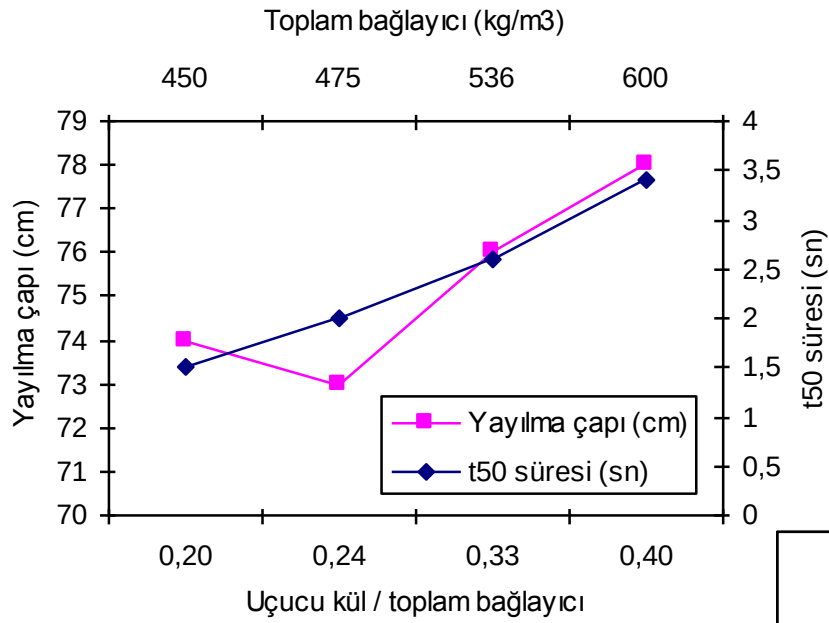


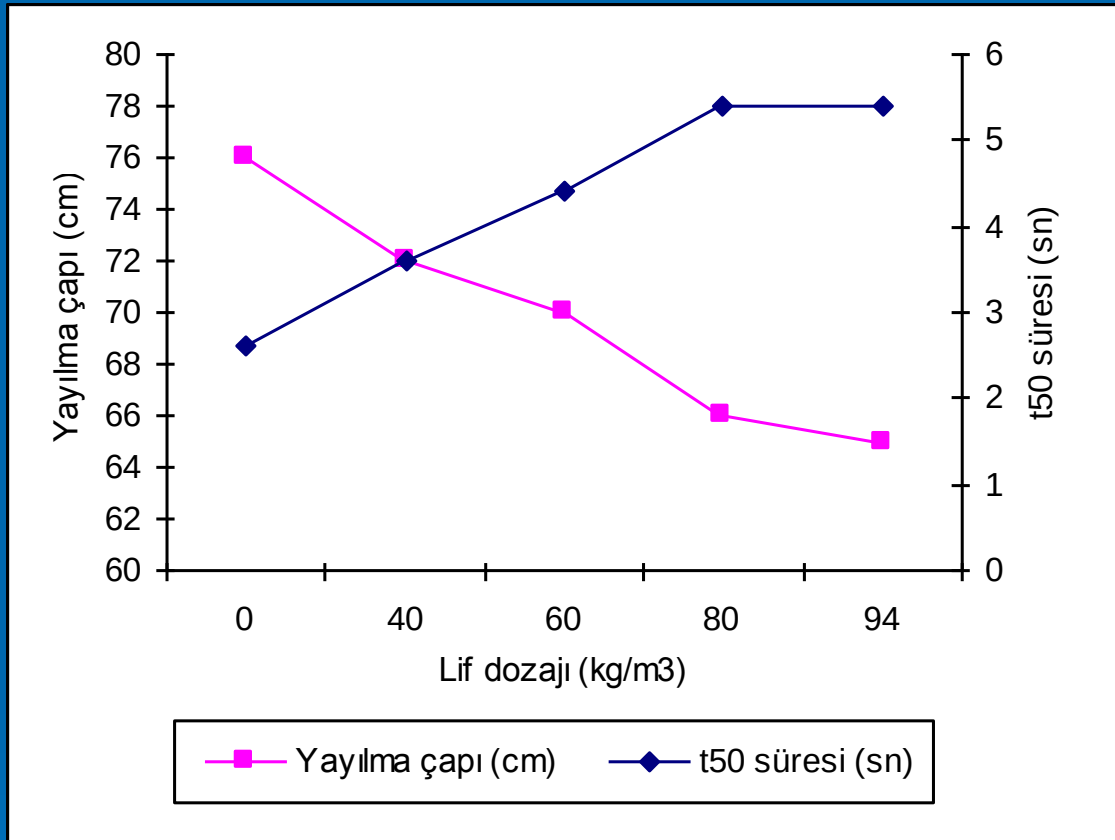
Fig. 6. Maximum fiber content depending on type of fiber and reference mixture.

(kg/m ³)	A	B	C	D
Çimento	360	360	360	360
Uçucu Kül	90	115	176	240
Su	178	178	178	178
0-3 Kırma kum (KYD)	1115	1096	1052	1003
5-15 Kırmataş (KYD)	619	609	585	555
Kimyasal Katkı	7 (1,6)*	7,4 (1,6)*	9 (1,7)*	13 (2,1)*
O r a n s a l D e ğ e r l e r				
Su / çimento	0,49			
Su / bağlayıcı	0,40	0,37	0,33	0,30
Uç.kül / bağlayıcı	0,20	0,24	0,33	0,40
Toplam toz (kg)	450	475	536	600
Hamur hacmi**	0,38	0,39	0,42	0,44
ince / kaba agrega	1,80***			

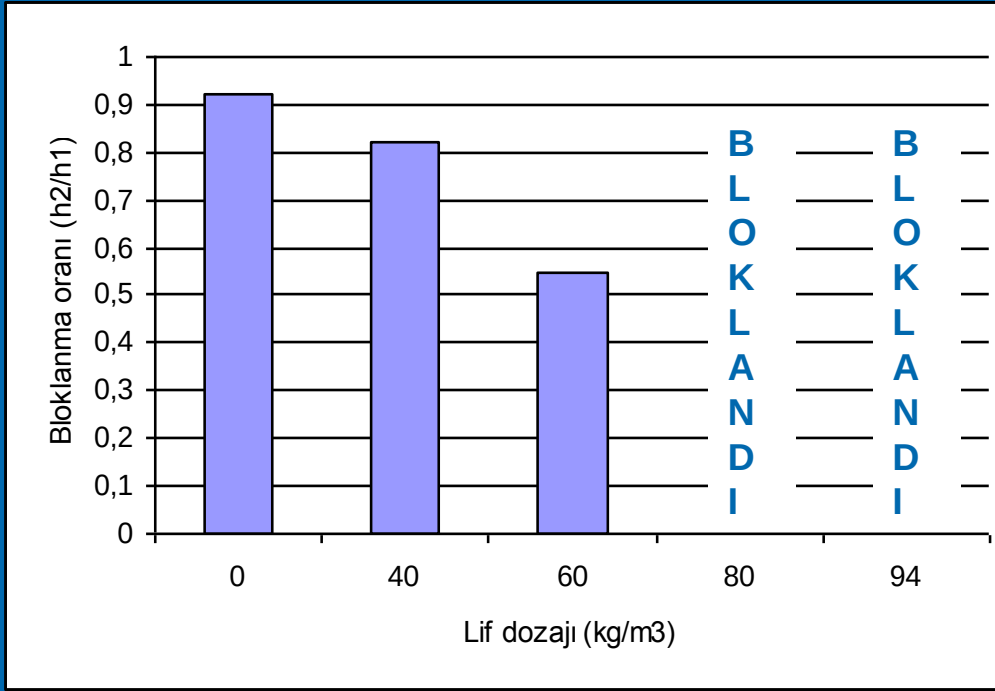
	C	C	C	C	D	D
ZP305 (l/d=55) kg/m ³	40	60	80	94	80	-
RC80/60 (l/d=80) kg/m ³	-	-	-	-	-	94

LİFSİZ SERİLER

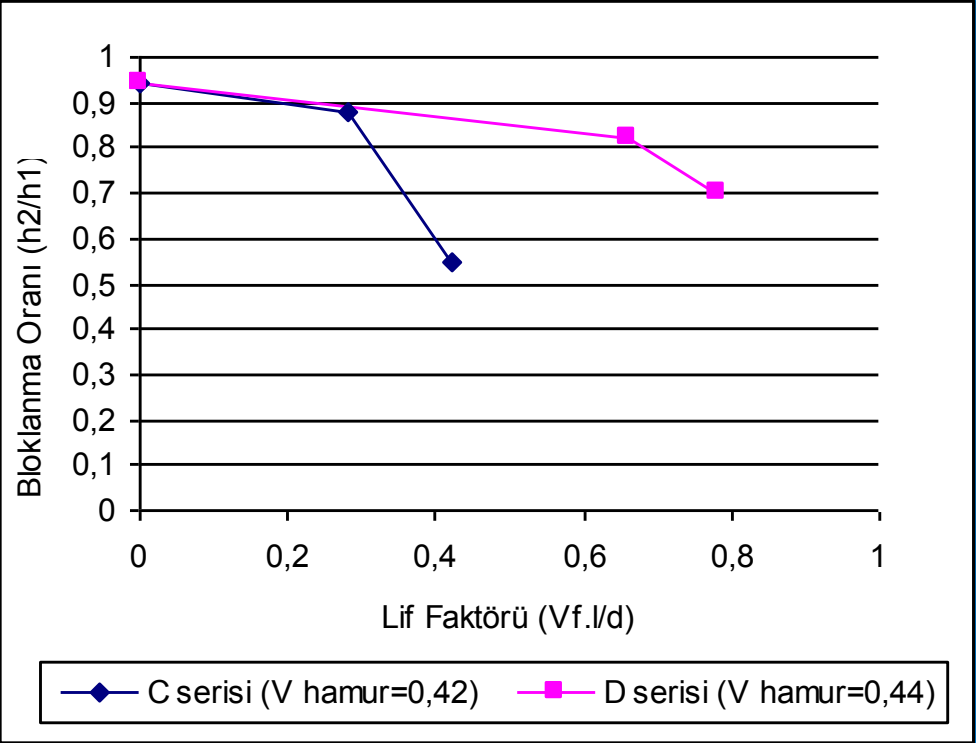
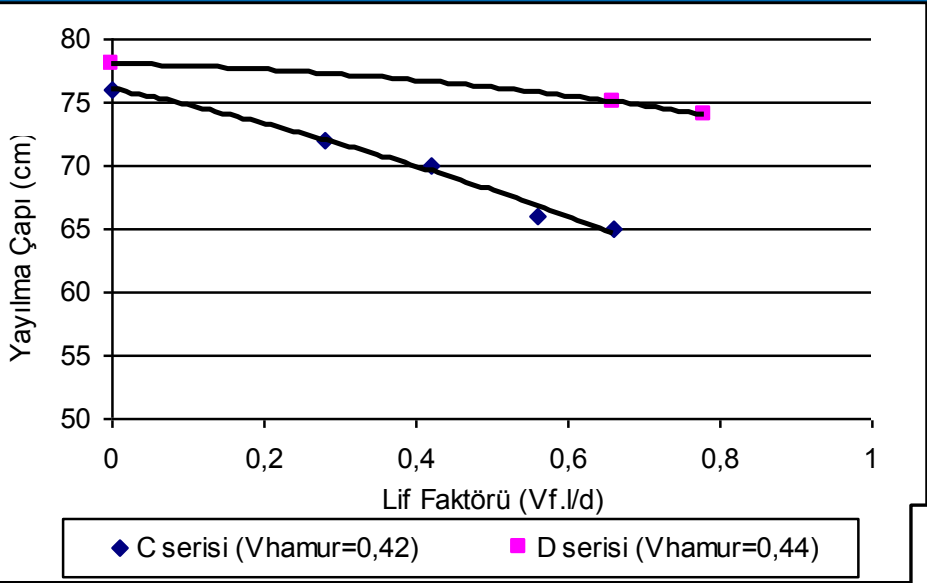




C SERİSİNDE ARTAN LİF DOZAJINA KARŞILIK
YAYILMA ÇAPI VE 50 cm ÇAPA YAYILMA SÜRESİ
İLİŞKİSİ



C SERİSİNDE ARTAN LİF DOZAJINA
KARŞILIK BLOKLANMA EĞİLİMİ



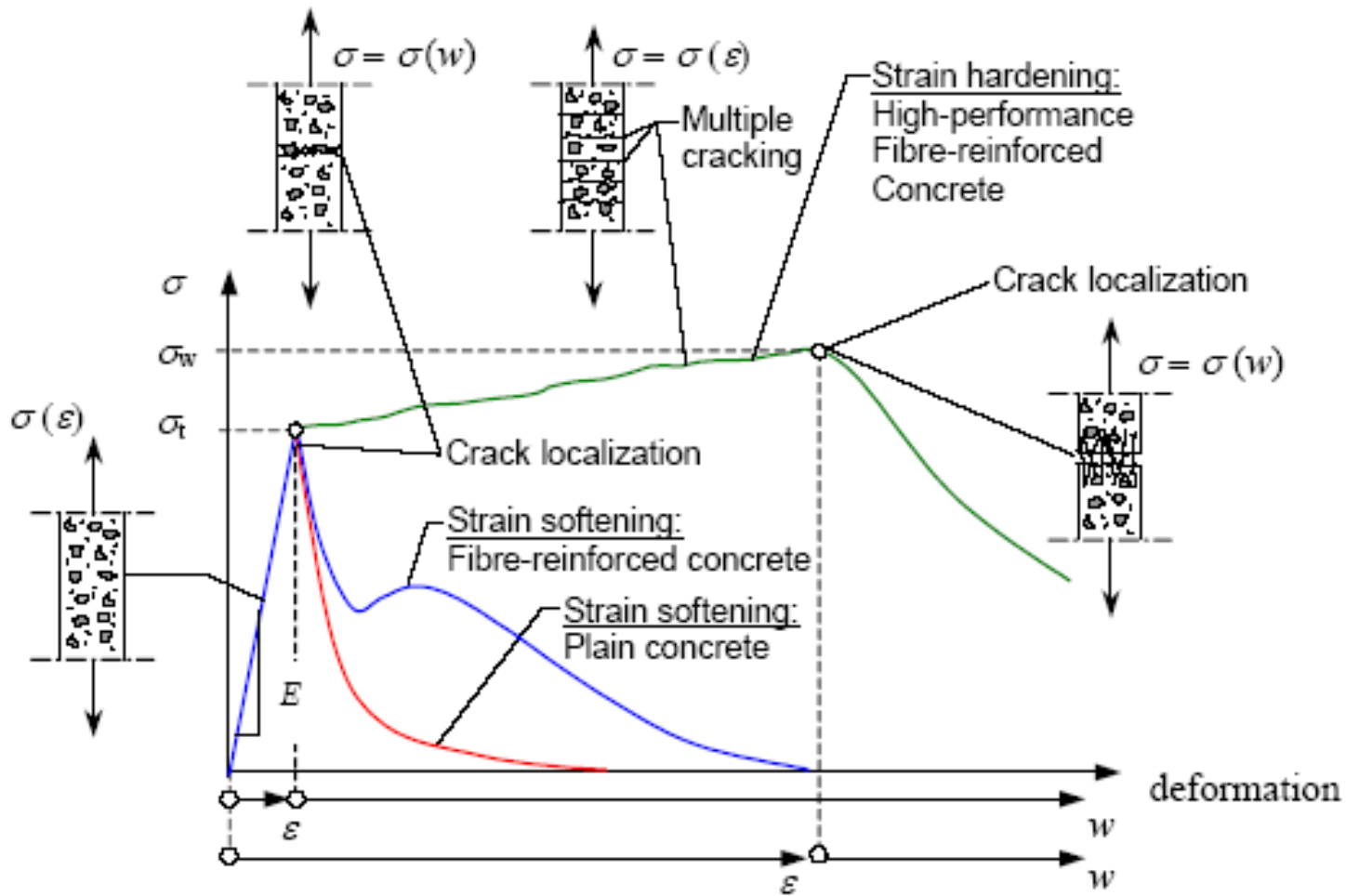
ÇELİK LİFLİ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

ÇLKYB'DE MEKANİK ÖZELLİKLER ÇELİK LİFLİ GELENEKSEL BETONLARDAN ÇOK DA FARKLI OLMAMASINA RAĞMEN, AKIŞ ÖZELLİKLERİNDEN OLDUKÇA FAZLA ETKİLENİR.

ÇLKYB'DE LİFLER AKIŞ DOĞRULTUSUNDA YÖNLENME EĞİLİMİ GÖSTERİRLER!

ÇLKYB'DE TIPKI GELENEKSEL ÇELİK LİFLİ BETONLAR GİBİ ÖZELLİKLE EĞİLME YÜKLERİ ALTINDA YÜKSEK SÜNEKLİK ÖZELLİĞİ GÖSTERİRLER.





ÇİMENTOLU MALZEMELERİN ÇEKME DAVRANIŞI

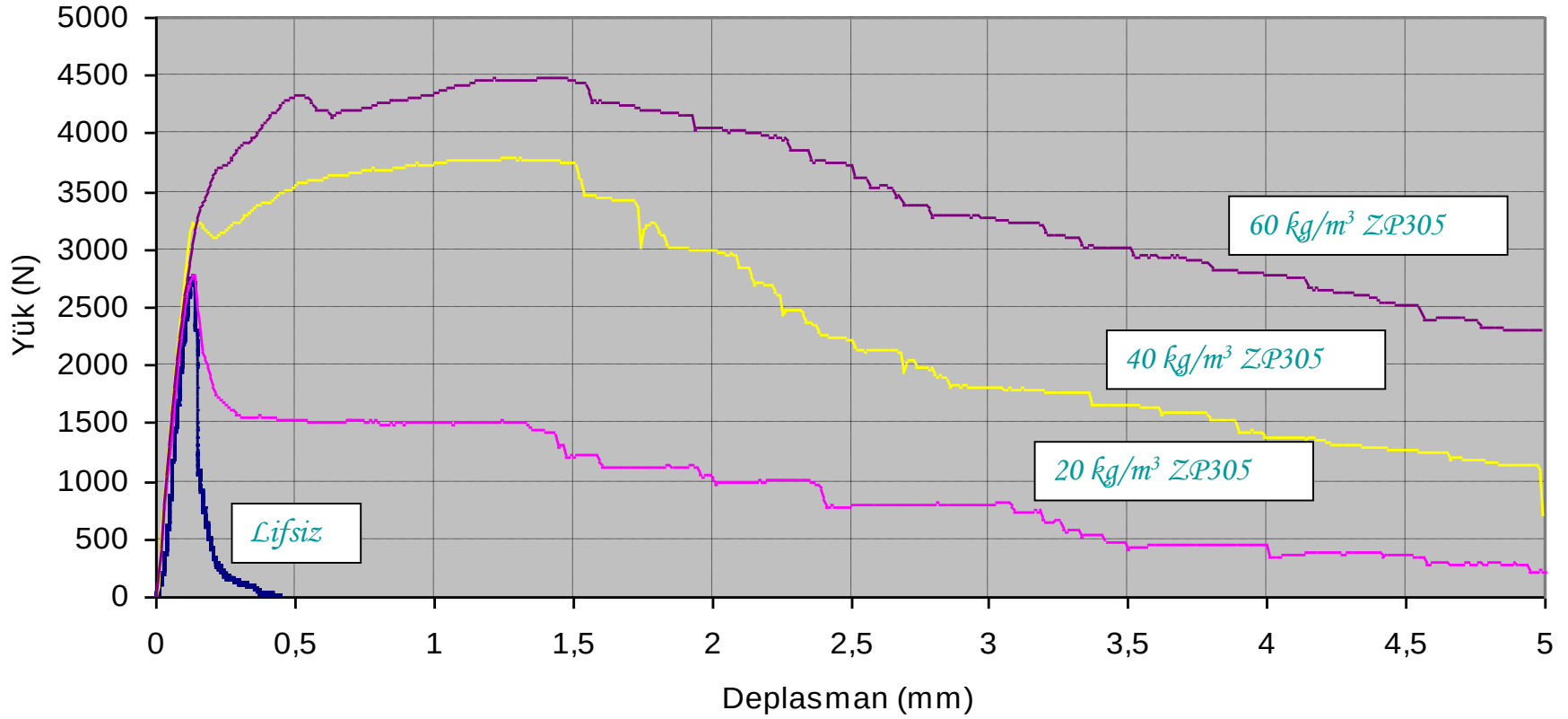






C11

C12



KARIŞIM ÖZELLİKLERİ

Toplam toz: 580 kg/m³

Su/bağlayıcı: 0.32

İnce/kaba agr: 1.72

	Lifsiz	20 kg/m ³	40 kg/m ³	60 kg/m ³
Yayılma çapı (mm)	775	755	710	640
Basınç Day. (MPa)	65.1	68	68.1	62.9
Eğilme Day. (MPa)	5.1	5.4	6.6	10
Kırılma En (N/m)	51	873	2138	3138



40 kg/m³ ZP305



40 kg/m³ RC80/60



60 kg/m³ RC80/60



Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

YAPI MALZEMESİNDE ÖZEL KONULAR -6-

Prof. Dr. Halit YAZICI

***Yüksek Performanslı
betonlar***

<http://halityazici-deu.com>



Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

YAPI MALZEMESİNDE ÖZEL KONULAR -6-

Prof. Dr. Halit YAZICI

***Yüksek Performanslı
betonlar***

<http://kisi.deu.edu.tr/halit.yazici/>