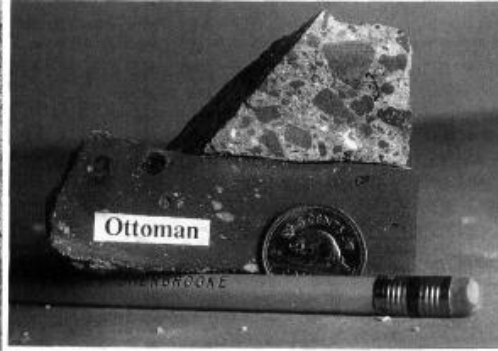
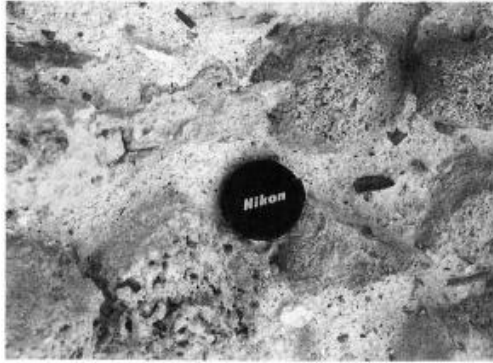


İMO İSTANBUL ŞUBESİ, 70. YIL SEMİNERLERİ, 11.12.2024

GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE BETON TEKNOLOJİSİ

Prof. Dr. Mehmet Ali Taşdemir



Bonen, D., Taşdemir, M.A., and Sarkar, S.L., “The Evolution of Cementitious Materials Through History”, Materials Research Society, Vol. 370, 1995, pp.159-168.

MÜHENDİS- MİMAR

**DAYANIMI,
DAYANIKLILIĞI,
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ,
EKONOMİYİ,
FONKSİYON VE
ESTETİĞİ
BİRLEŞTİRMELİ**

NEDEN BETONARME?

- **Betonla çelik donatının ısı genleşme katsayıları hemen hemen aynı,**
- **Betonla çelik arasında çok iyi bir aderans (yapışma) var,**
- **Betonarmede basınç gerilmelerini beton, çekme gerilmelerini donatı çeliği karşılar,**
- **Beton, çeliği korozyona karşı korur,**
- **Beton, çeliği yangına karşı bir süre korur**



Malabadi Köprüsü (Akarman Köprüsü veya Karaman Köprüsü)

Silvan'a 23,2 km uzaklıkta Silvan ilçe sınırları içerisinde, Oğuz Türkmen beylerinden olan Artuk Bey'in kurduğu Artuklu Beyliği döneminde, Timurtaş Bin-i İlgazi tarafından 1147 yılında yaptırılmıştır.

Yedi metre eninde ve 150 metre uzunluğunda bir köprüdür. Yüksekliği, su seviyesinden kilit taşına değin 19 metredir.



Adıyaman'da dünyanın kullanılmakta olan en eski köprülerinden biri olup 120 m uzunluğunda ve 7 m genişliğindedir. Her biri 10 ton ağırlığında 92 kayadan oluşan harç kullanılmadan yapılan bir köprüdür. İkinci yüzyılda inşa edilen Cendere Köprüsü, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerini de hasar almadan atlattı.



Mostar Köprüsü, Bosna-Hersek'in Mostar şehrinden geçen Neretva nehri üzerinde bulunan bir köprü. Orijinal köprü Mimar Sinan'ın öğrencisi Mimar Hayreddin tarafından 1566 yılında inşa edildi ve 9 Kasım 1993'te Boşnak-Hırvat Savaşı sırasında Hırvat güçleri tarafından yıkılıncaya dek 427 yıl kullanıldı. Köprü 2004 yılında TİKA ve katkı sağlayan diğer ülkeler tarafından aslına uygun olarak tekrar yapılmıştır.



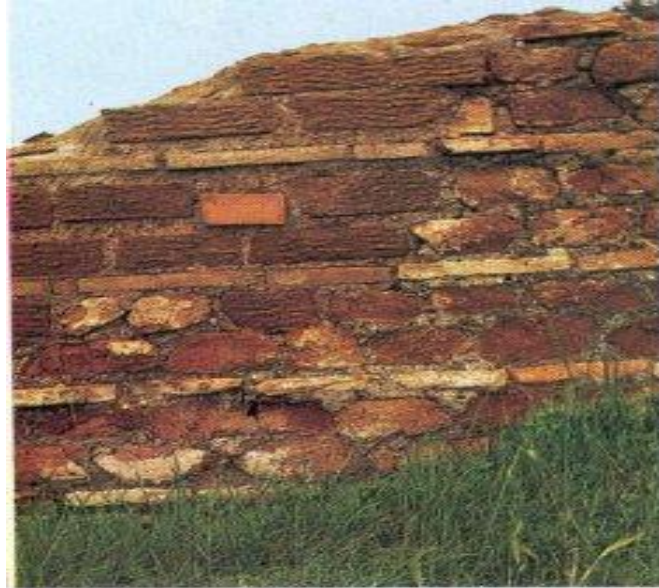
Ayasofya, 537



Floransa Katedrali, 1436



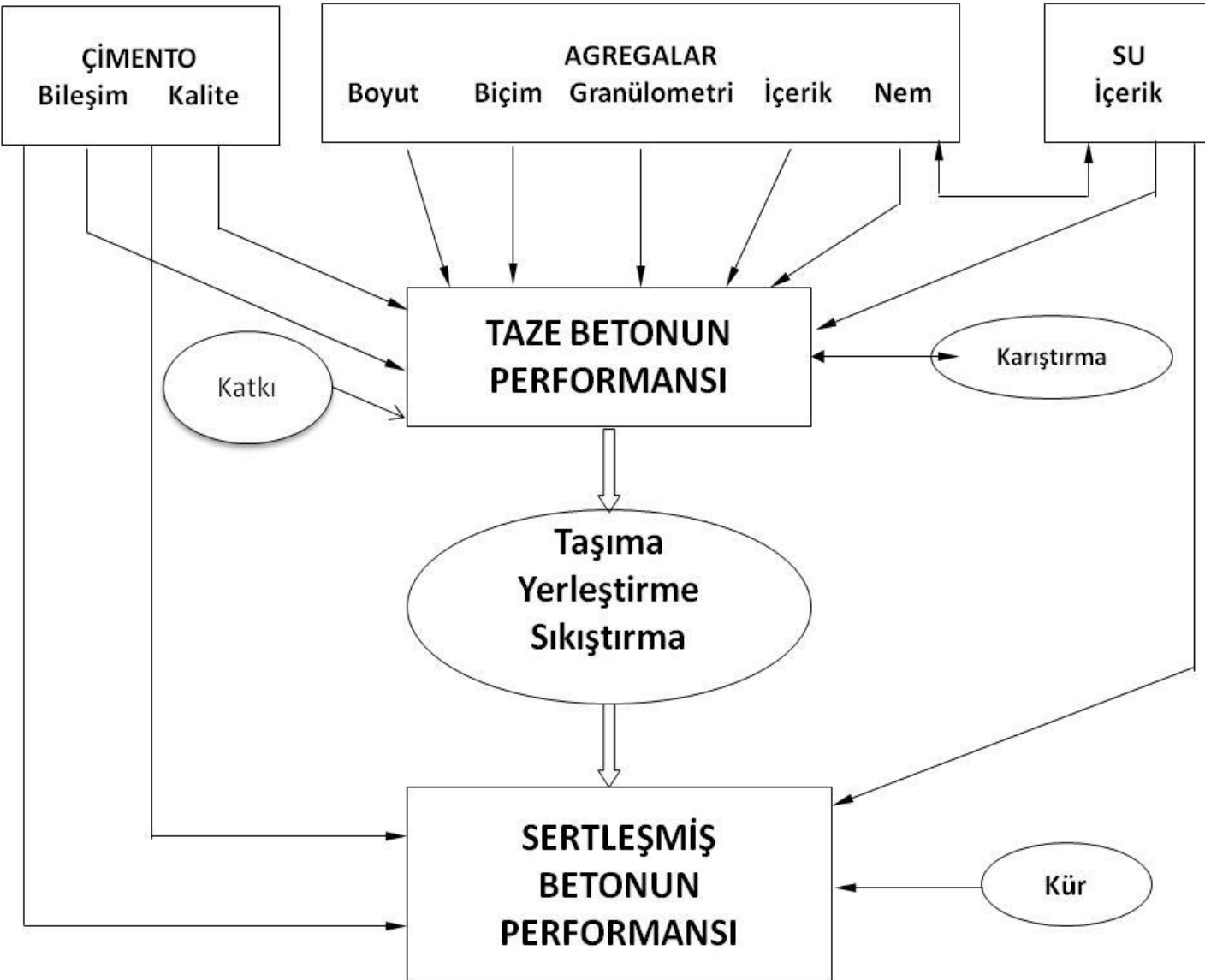
İstanbul, Yerebatan Sarnıcı 532 yılında İmparator Justinianus tarafından inşa ettirilen Yerebatan Sarnıcı Stoa Bazilikası'nın altında yer aldığı için Bazilika Sarnıcı olarak da bilinir





MÖ 509- MÖ 27 yılları arasında bir tarihte Romalılar tarafından “puzolan” olarak adlandırılan bir malzemenin hidrolik bağlayıcılık potansiyeli keşfedilmiştir. Romalılar puzolanik malzemelerle yaptıkları su altında da sertleşebilen harçları ve betonları birçok önemli yapıda kullanmışlardır. O dönemden günümüze Pantheon Tapınağı, Domus Aurea, Colosseum ve Curia Julia gibi yapılar sağlam bir şekilde kalmıştır.

BETON BİLEŞENLERİ



TAZE BETONDAN BEKLENEN ANA NİTELİKLER

- İşlenebilir olmalı, kolayca pompanmalı,
- Taze beton sıcaklığı kontrol edilmeli,
- Erken yaş çatlakları önlenmeli,
- Agreganın en büyük boyutu donatı durumuna uygun olmalı

SERTLEŞMİŞ BETON

Projede öngörülen dayanımı güvenle sağlamalı

Dış etkilere dayanıklı olmalı

Temas edeceği sulara ve havada mevcut kimyasallara dayanabilmeli

Donma-çözülme etkilerine dayanmalı

Islanma-kuruma etkilerine dayanmalı

Kendi içindeki (çimento ile agregası arasında) reaksiyonlardan zarar görmemeli

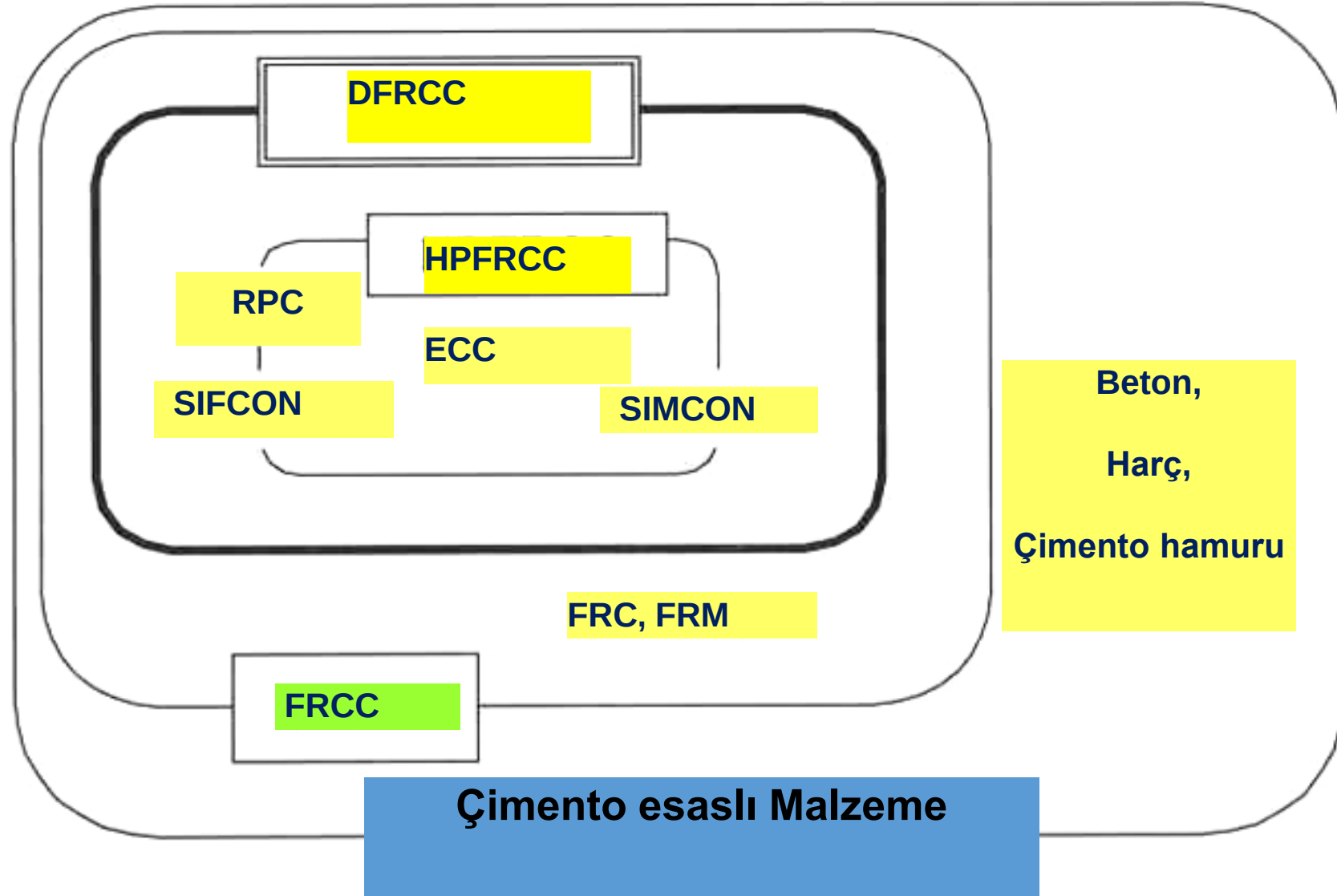
Rötre (Büzülme) ve şişme sınırlı olmalı
Geçirimsizlik

Deniz suyuna dayanıklılık

Yüksek sıcaklıklara dayanıklılık

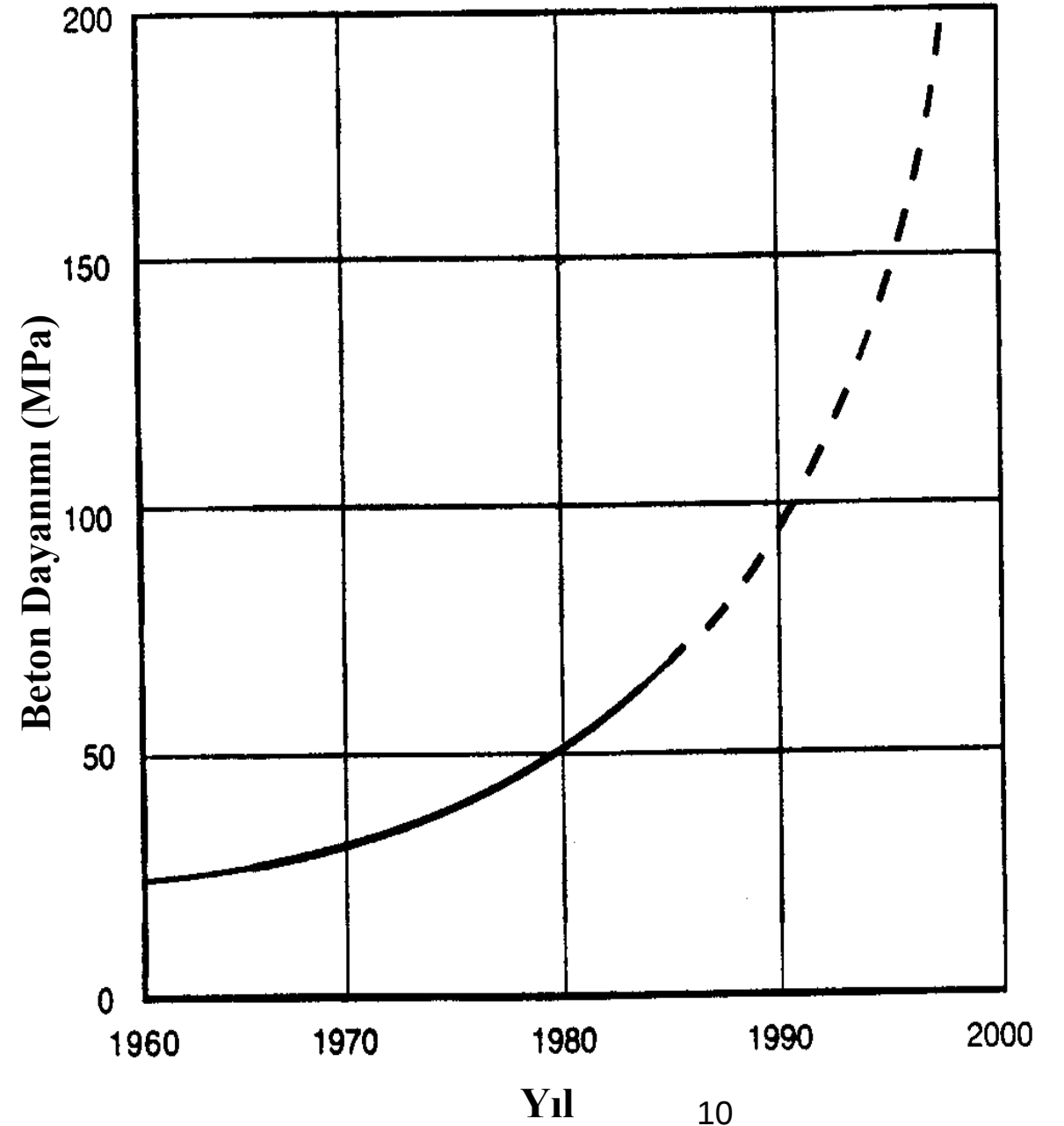
Aşınmaya dayanıklılık

Çimento Esaslı Kompozitlerin Sınıflandırılması



1. Su/imento oranını düşürerek kılcal boşluk azaltılmalı,
2. Day. (%93 güvenlik)
3. Kirecin bağlanması (düşük S/ ve UK, YFC kullanımı),
4. İşlenebilir ve pomp. beton,
5. Yeterli ve etkin kr.

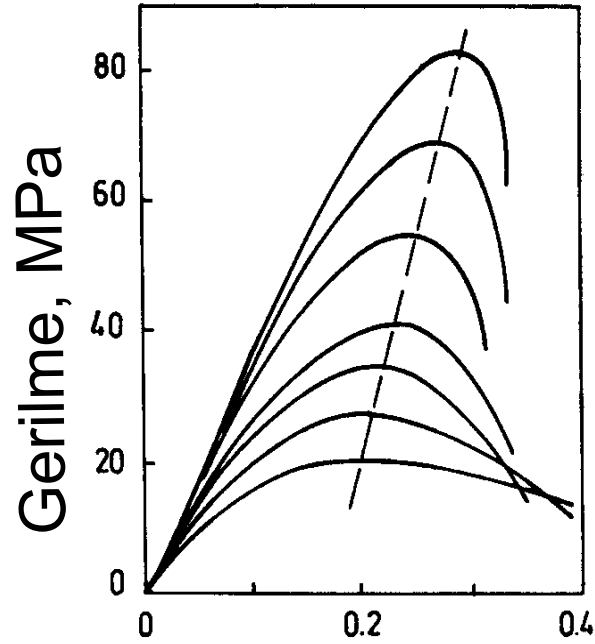
Yüksek Dayanımlı Betonda, 1) Gevrek davranış, 2) Otojen deformasyon riski var, 3) Yangına karşı düşük direnç, 4) Erken yaş çatlak riski yüksek



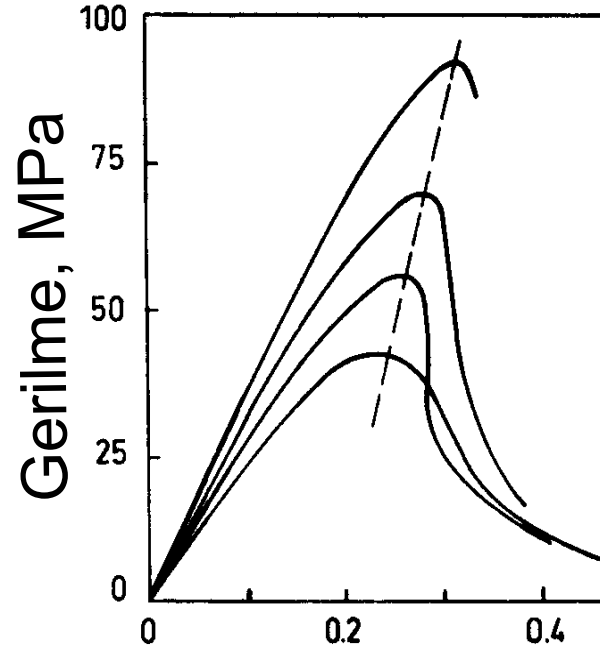
Sertleşmiş çimento hamuru ve betonun belirleyici yapısal özellikleri üç farklı düzey ve uygun model türleri ile incelenir.

Yapısal Düzey	Belirleyici Özellikler	Model Türleri
Nano/Mikro-Düzey	Sertleşmiş Çimento Hamurunun Yapısı, Jel	Malzeme Bilimi Modelleri
Mezo-Düzey	Boşluklar, Çatlaklar, Enklüzyonlar, Temas yüzeyleri	Malzeme Mühendisliği Modelleri, Mekanik ve Sayısal Modeller
Makro-Düzey	Yapı Elemanlarının Geometrisi	Yapı Mühendisliği Modelleri, Malzeme

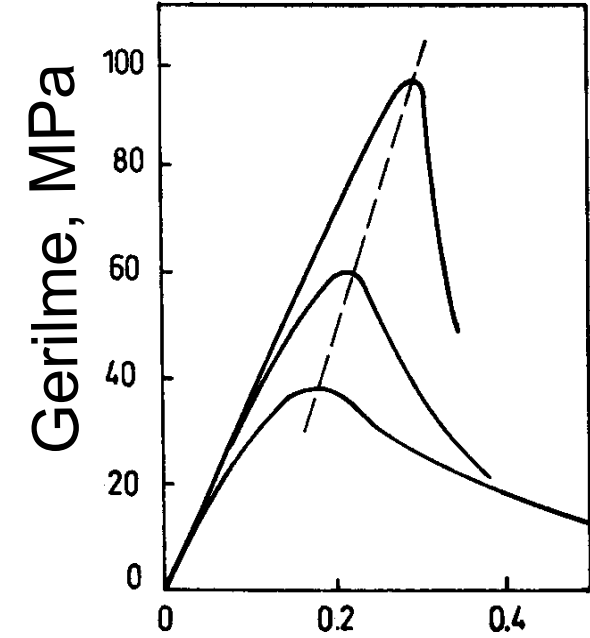
Tek eksenli basınç altında «gerilme-şekil değiştirme» eğrileri



a) Cornell Üniv.

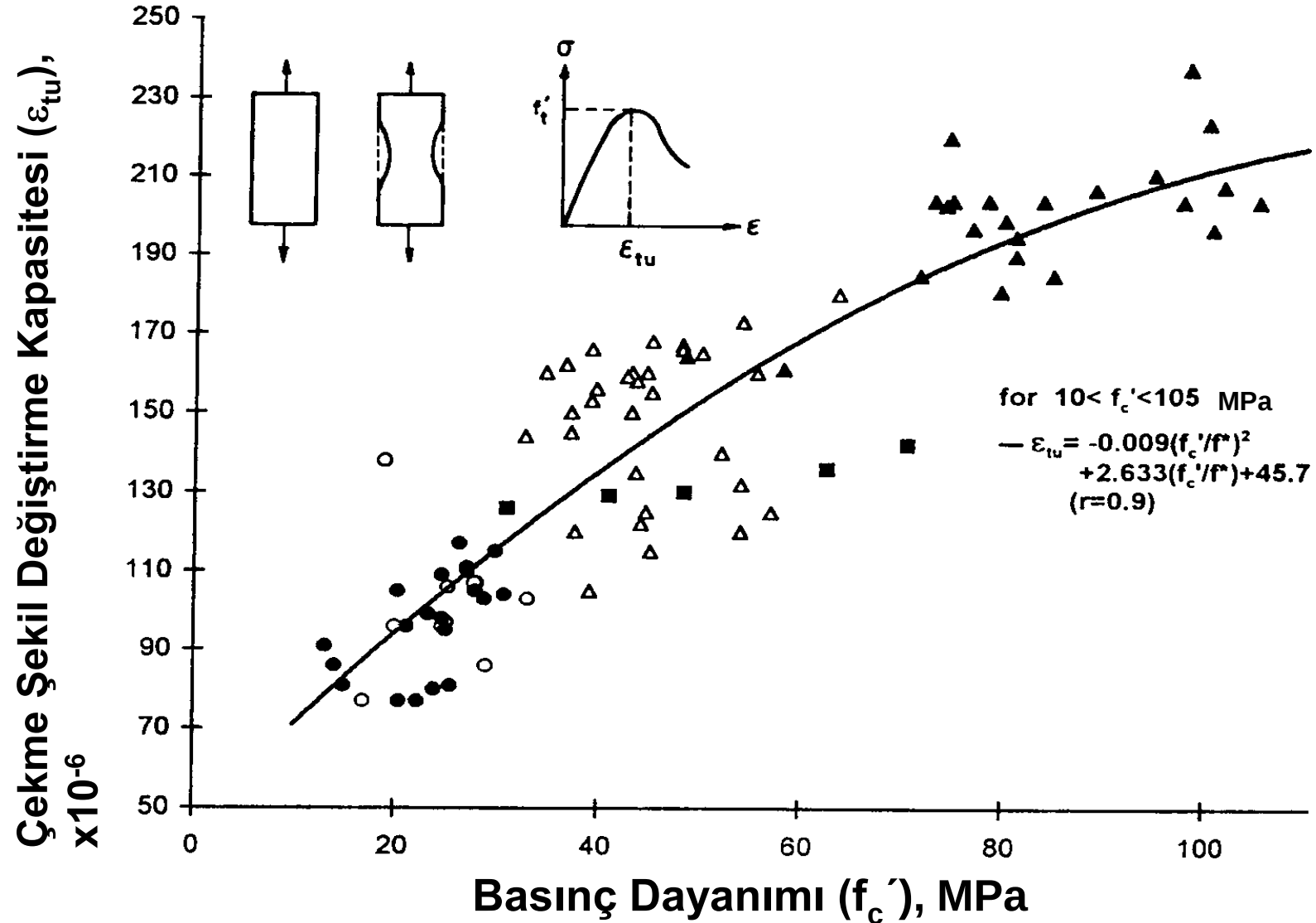


b) SINTEF

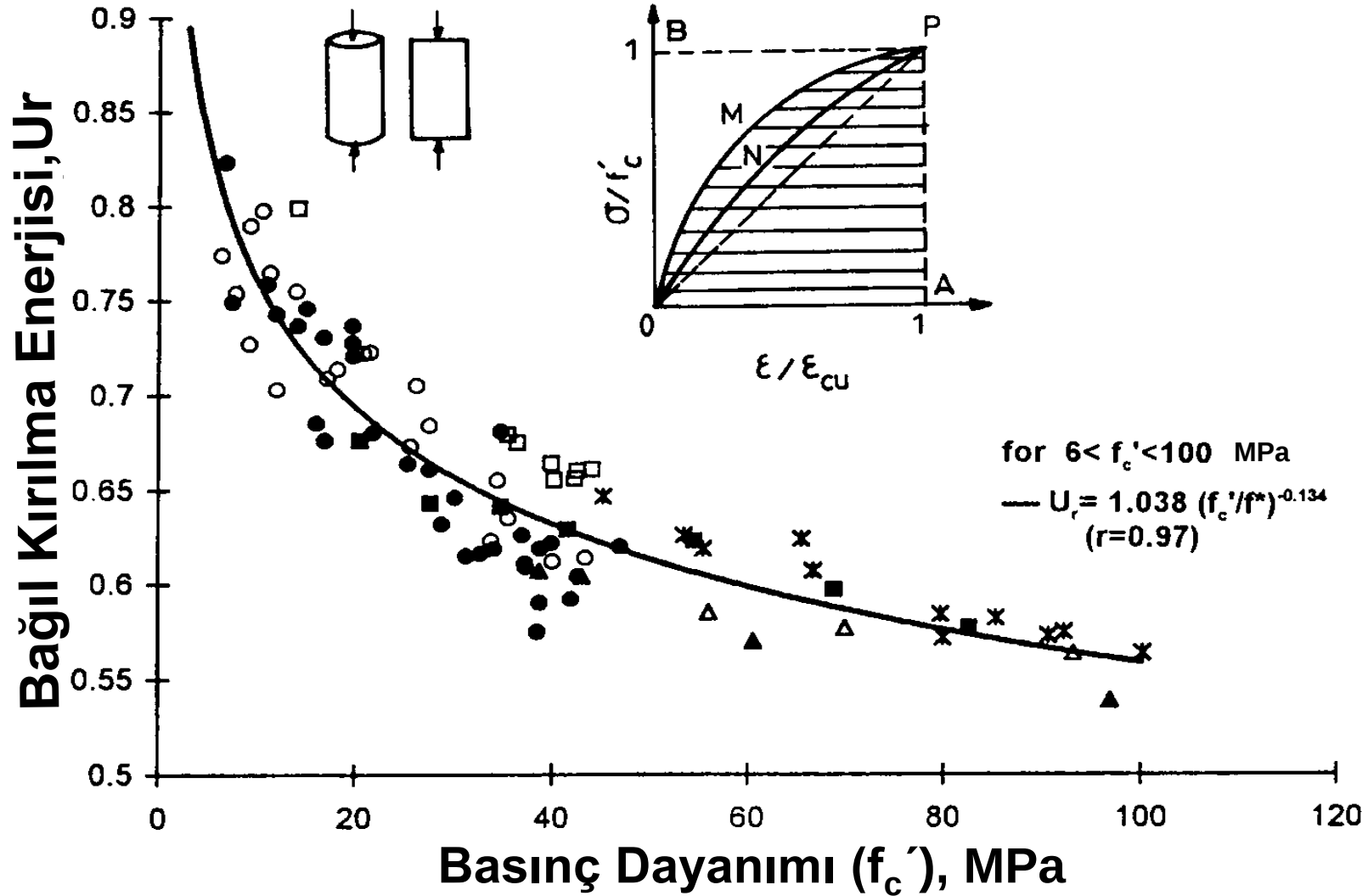


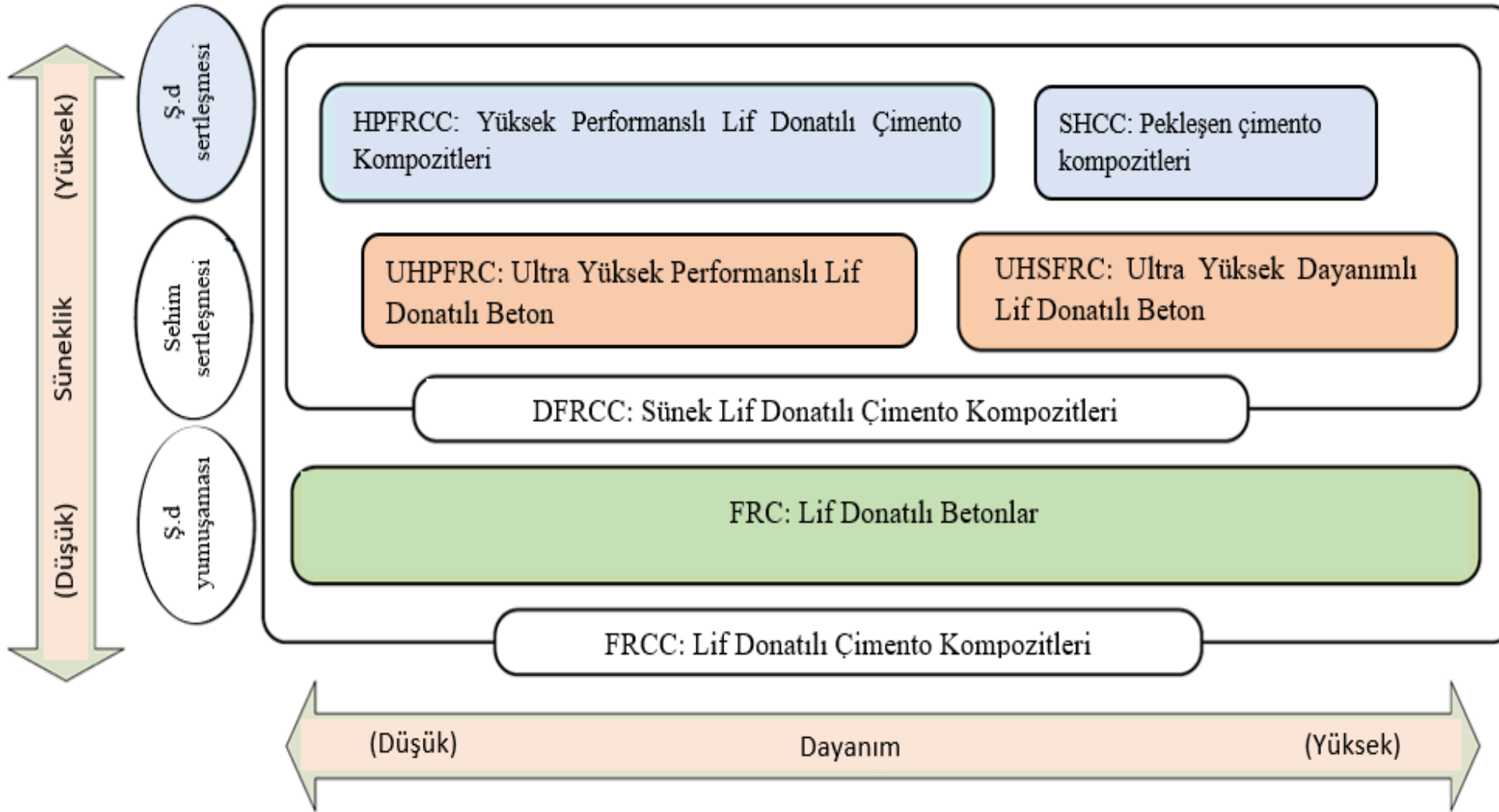
c) Northwestern Üniv.

Çekme şekil değiştirme kapasitesi-basınç dayanımı ilişkisi



Bağıl kırılma enerjisi-basınç dayanımı ilişkisi





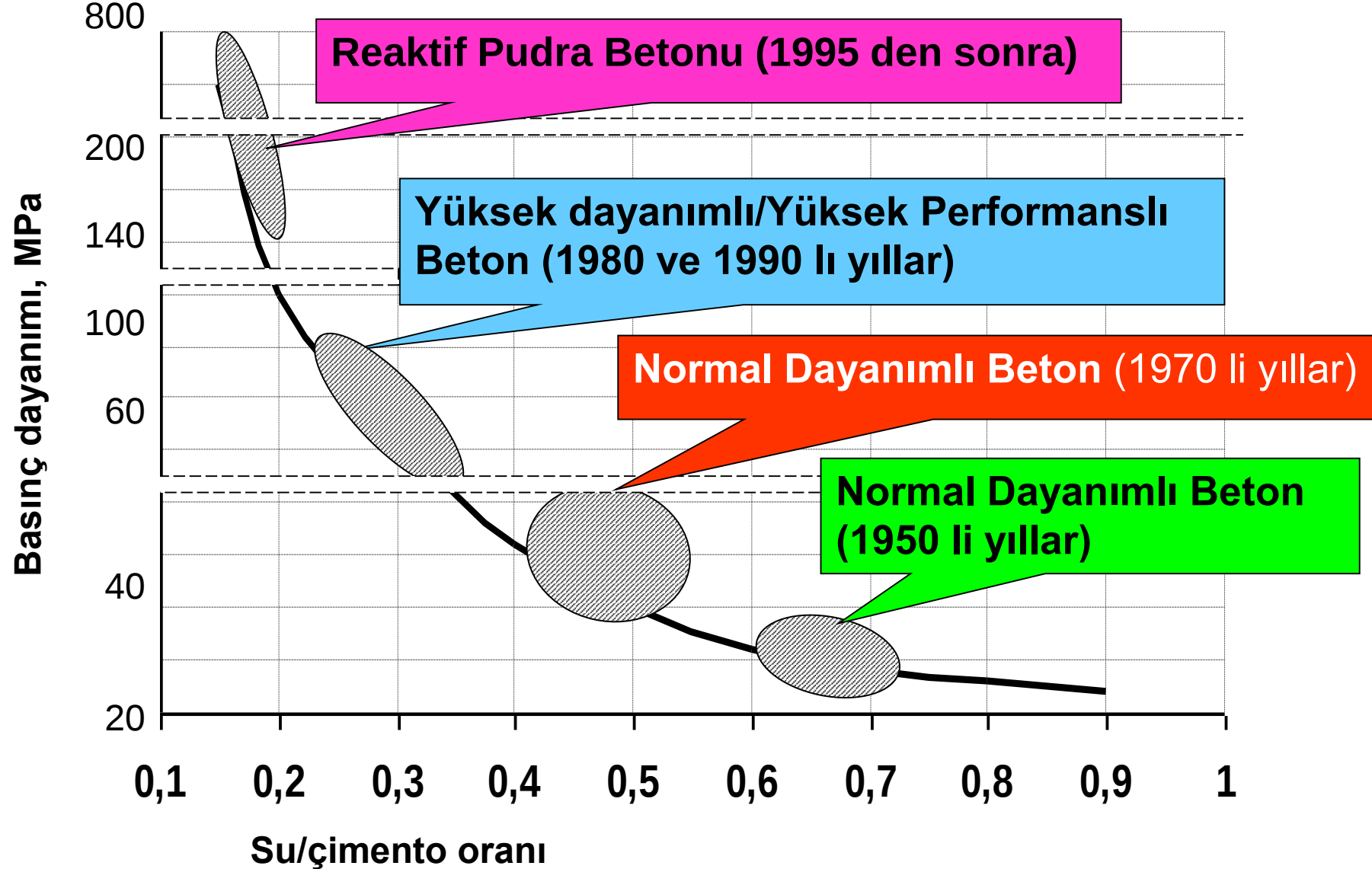
UHPFRC'lerin yaygın uygulama alanları;

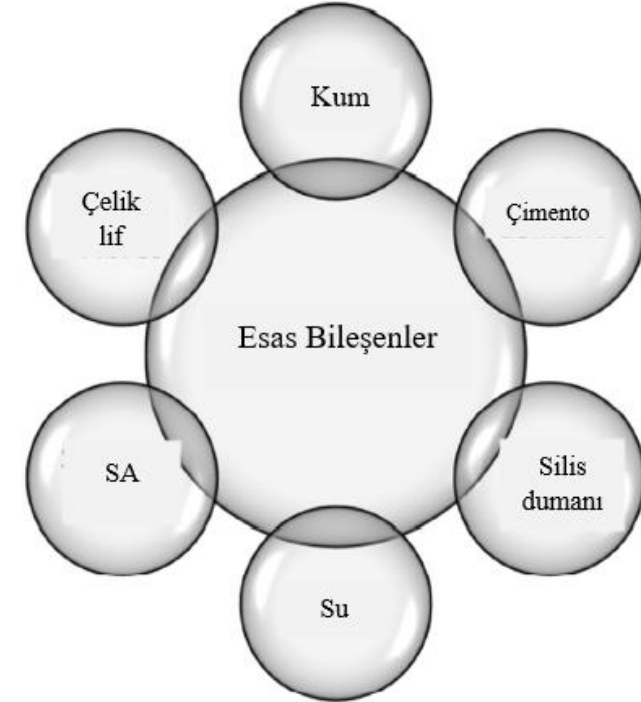
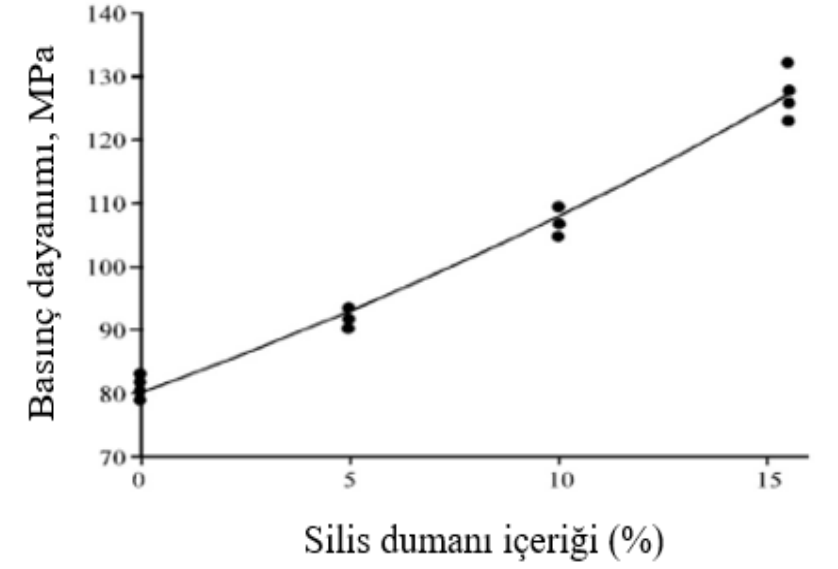
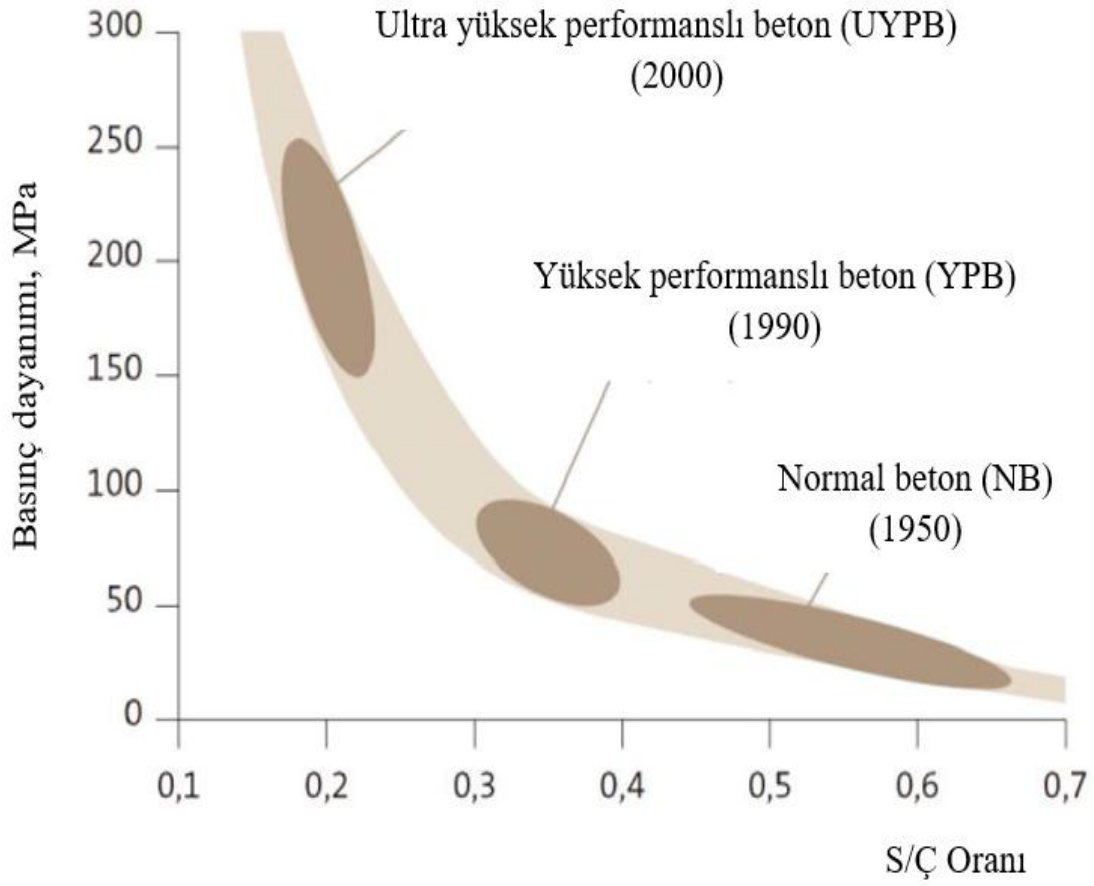
- 1) Öngerilmeli betonarme kirişler,
- 2) Köprü tabliyeleri için prekast paneller,
- 3) Prefabrike köprü elemanları için yerinde derz dökümleri,
- 4) Prefkast beton kazıklar,
- 5) Köprülerde sismik güçlendirme,
- 6) Köprü tabliyelerinin yüzeyine uygulanan aşınmaya dirençli ince katmanlar, ve
- 7) Savunma amaçlı koruyucu yapılar.

Lif donatılı çimento kompozitlerinin süneklik ve dayanım bakımından sınıflandırılması (Uchida vd., 2014)

Uchida, Y. vd, fib Bulletin 79, 2014, pp. 51-60.

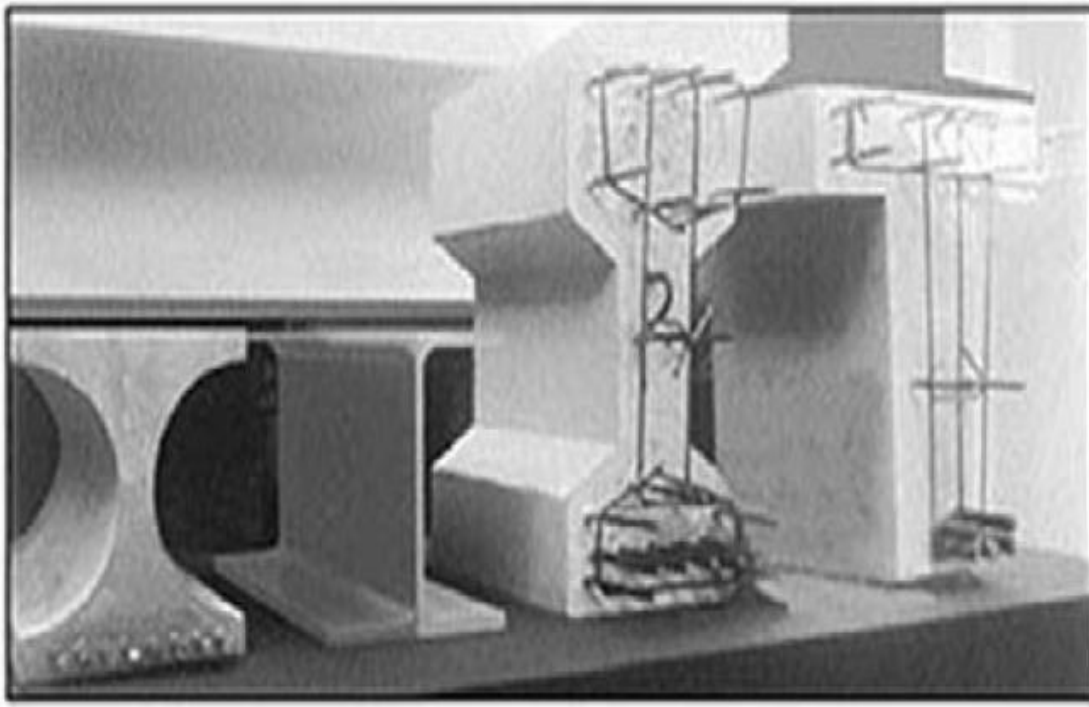
BETONUN EVRİMİ KAPSAMINDA BASINÇ DAYANIMI- SU/ÇİMENTO İLİŞKİSİ





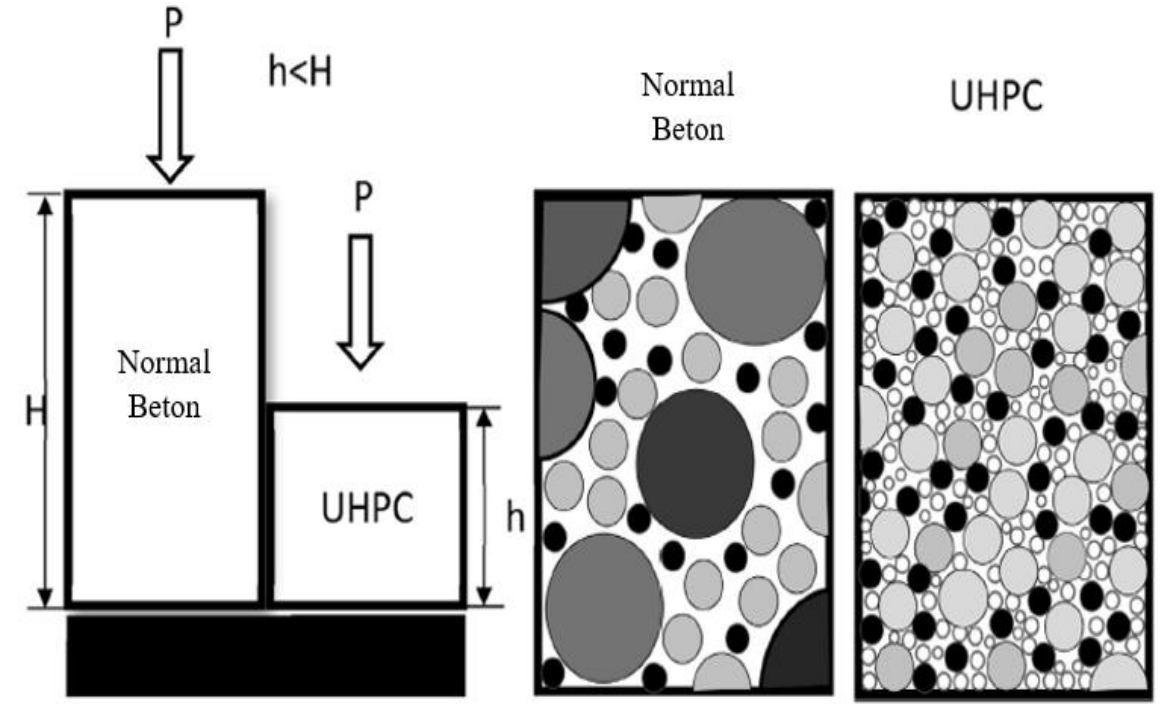
**UHPC'nin
bileşenleri**

Betonun evrimi kapsamında “Basınç dayanımı-su/çimento oranı” bağıntısı yardımıyla Normal betondan (NB), HPC (Yüksek Performanslı Beton, YPB), ve UHPC (Ultra Yüksek Performanslı Beton, UYPB)’na dayanım artışının şematik gösterimi



Soldan sağa sırasıyla, UHPC (RPC: Reaktif Pudra Beton), çelik, öngerilmeli beton ve normal betonarme betonuyla yapılan kiriş kesitlerinin karşılaştırması

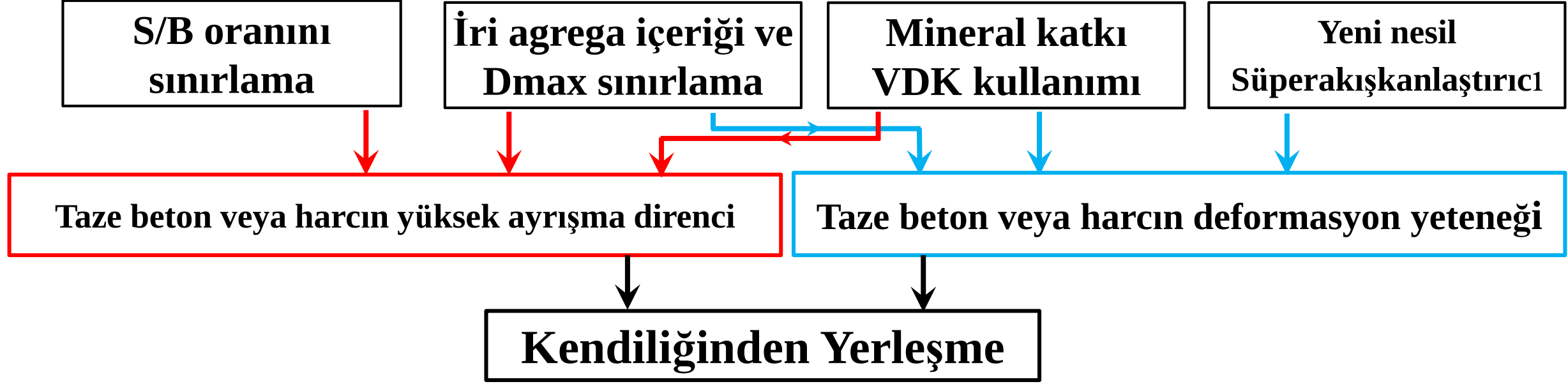
Bir UHPC türü olan RPB-X'nin; Çelik-I kesit, Öngerilmeli beton ve Normal betonarme betonunun kesit ve ağırlık bakımından karşılaştırılması



UHPC (Ultra Yüksek Performanslı Beton, UYPB) ile HPC'lerin (Yüksek Performanslı Beton) karşılaştırılması

Kesit parametresi	RPB-X kesit	Çelik- I kesit	Öngerilmeli beton	Normal betonarme
Kesit derinliği (mm)	380	380	700	700
Ağırlık (kg/m)	130	110	470	530

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLAR



ÜSTÜNLÜKLERİ

- ✓ Yerleşme sırasında işçilikte azalma
- ✓ Vibrasyonla ilgili problemlerin azaltılması
- ✓ Kolay yerleştirme
- ✓ Hızlı inşaat
- ✓ İyi sıkıştırma ve homojen beton nedeniyle durabilitede artış.
- ✓ Daha sessiz beton üretimi.

SAKINCALARI

- Yüksek hamur hacmi nedeniyle rötre ve sünmede artış.
- Karışım tasarımı ve adaptasyonunda pratik uygulama güçlükleri.
- Geleneksel betona göre daha pahalı.
- Yüksek akıcılık ve hidrostatik basınç nedeniyle yüksek kalitede kalıp ihtiyacı.

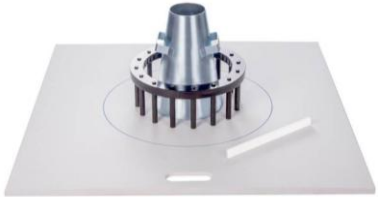
ÖZELLİK	TEST ADI	KYB SINIFLARI (EFNARC-2005)		
AKICILIK	ÇÖKME-YAYILMA	550-650 mm (SF1)	660-750 mm (SF2)	760-850 mm (SF3)
VİSKOZİTE	T ₅₀₀ süresi	≤ 2 s (VS1)		> 2 s (VS2)
	V-kutusu	≤ 8 s (VF1)		9 - 25 s (VF2)
GEÇİŞ YETENEĞİ	L-KUTUSU TESTİ	Geçiş oranı ≥ 0.80		
		2 donatı ile (A1)		3 donatı ile (A2)
AYRIŞMA	ELEK AYRIŞMA TESTİ	≤ %20 (SR1)		≤ %15 (SR2)

Viskozite				Ayrışmaya karşı direnç / Geçiş yeteneği
VS2 VF2	Rampalar			SF1 ve 2 için geçiş yeteneği tanımlanmalı
VS1 veya 2 VF1 veya 2 Yada hedef değer	Duvarlar ve kazıklar			SF3 için ayrışma direnci SR tanımlanmalı
VS1 VF1	Uzun ve narin elemanlar			SF2 ve 3 için ayrışma direnci SR tanımlanmalı
	Yer betonları ve döşemeler			
	SF1	SF2	SF3	Wallevik-2003
	Çökme - yayılma			

ÇÖKME-YAYILMA TESTİ



J-HALKALI ÇÖKME-YAYILMA

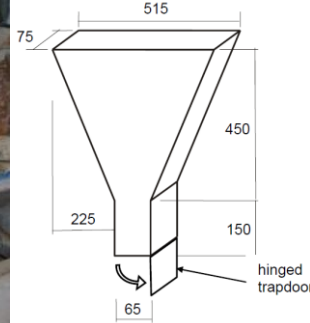


ÖLÇÜLEN PARAMETRELER

Taze betonun akıcılığı (eşik kayma gerilmesi)

- Yayılma çapı ölçülür (mm)
- 50 cm çapa yayılma süresi ölçülür (s) (T₅₀₀)
- J-halkası çelik donatı öncesi ve sonrası beton yükseklik oranı geçiş yeteneği hakkında fikir verir).

V-KUTUSU AKIŞ SÜRESİ

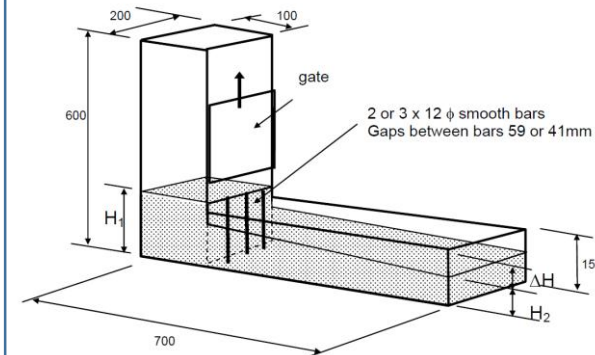


ÖLÇÜLEN PARAMETRELER

Taze beton viskozitesi

- V şekilli kutudan akış süresi ölçülür (s).
- Taze betonun viskozitesi hakkında fikir verir.
- Uzun akış süreleri yüksek viskozite ile ilişkilendirilir.

L-KUTUSU TESTİ



ÖLÇÜLEN PARAMETRELER

Donatılar arası geçiş yeteneği (bloklanma eğilimi)

- H2/H1 oranı (geçiş yeteneği) ölçülür.
- Yüksek H2/H1 oranları yüksek geçiş yeteneğini gösterir.
- Kapak önünde farklı donatı aralıklarından geçiş yeteneği.

ELEK AYRIŞMA



ÖLÇÜLEN PARAMETRELER

Ayrışma direnci

15 dakika bekletilmiş taze beton 5 mm'lik elek üzerine dökülerek 2 dakika içerisinde geçen hamur miktarı % ağırlık olarak bulunur.

- Temel bağlayıcı malzeme Portland çimentosu
- Portland çimentosundan önce bağlayıcı malzemeler;
 - killi toprak,
 - kalker içeren toprak,
 - kireç ve puzolanlar

Çok genel anlamda beton; taneli malzemelerin bir bağlayıcı kullanılarak bir arada tutulmasıyla elde edilen sağlam bir malzeme olarak tarif edilebilir.

Bu genel tanıma göre beton teknolojisinin yaklaşık 2300 yıl önceki Helenistik döneme kadar dayandığı söylenebilir.

- Tek başına bağlayıcılığı yok.
- İnce öğütüldüğü zaman, nemli ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek bağlayıcılık özeliği gösterir.
- Günümüzün teknolojisinde endüstriyel atık, yan ürün veya doğal malzemeler
 - Uçucu kül
 - Öğütülmüş yüksek fırın cürufu
 - Silis dumanı
 - Tras
 - Metakaolin

Eski dönemlerde suya dayanıklı elemanların ve liman yapıları için puzolanik malzemeler kullanılmaya başlanmıştır.

Romalılar İtalya'daki Pozzuoli ve diğer bölgelerden elde ettikleri malzemeleri kireç ile birleştirerek kirece göre daha üstün bir bağlayıcı elde etmişlerdir.



- Kireç – puzolan esaslı malzemeler tüm Yakın ve Avrupa'da kullanılmaya başlanmıştır.
- Kireç – puzolan esaslı bağlayıcıların kullanımı Roma – Yunan döneminden sonra da devam etmiştir.

Doğal puzolanlar

- Kil ve şeyiller,
- Diyatoma toprağı,
- Volkanik tüfler, cüruflar ve ponza taşları

Yapay(endüstriyel) puzolanlar

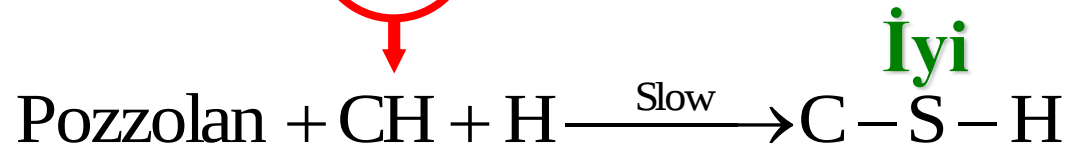
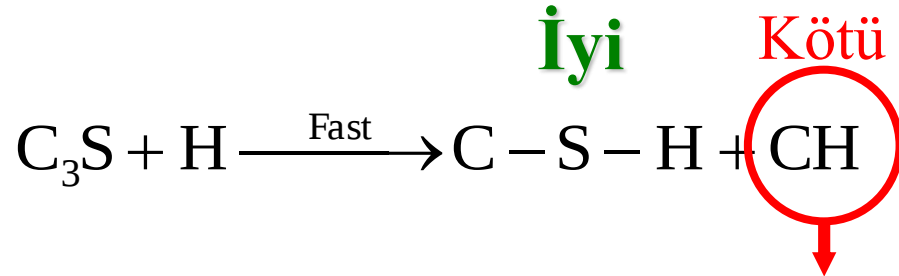
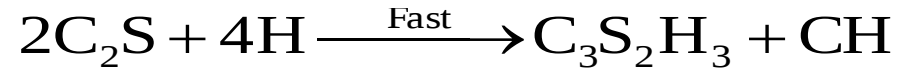
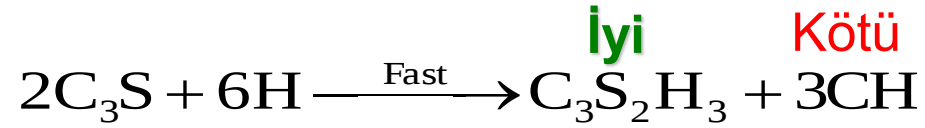
- Uçucu kül,
- Silis dumanı,
- ÖYFC,
- Metakaolin,
- Pirinç kabuğı külü

Puzolanik etki - filler etki

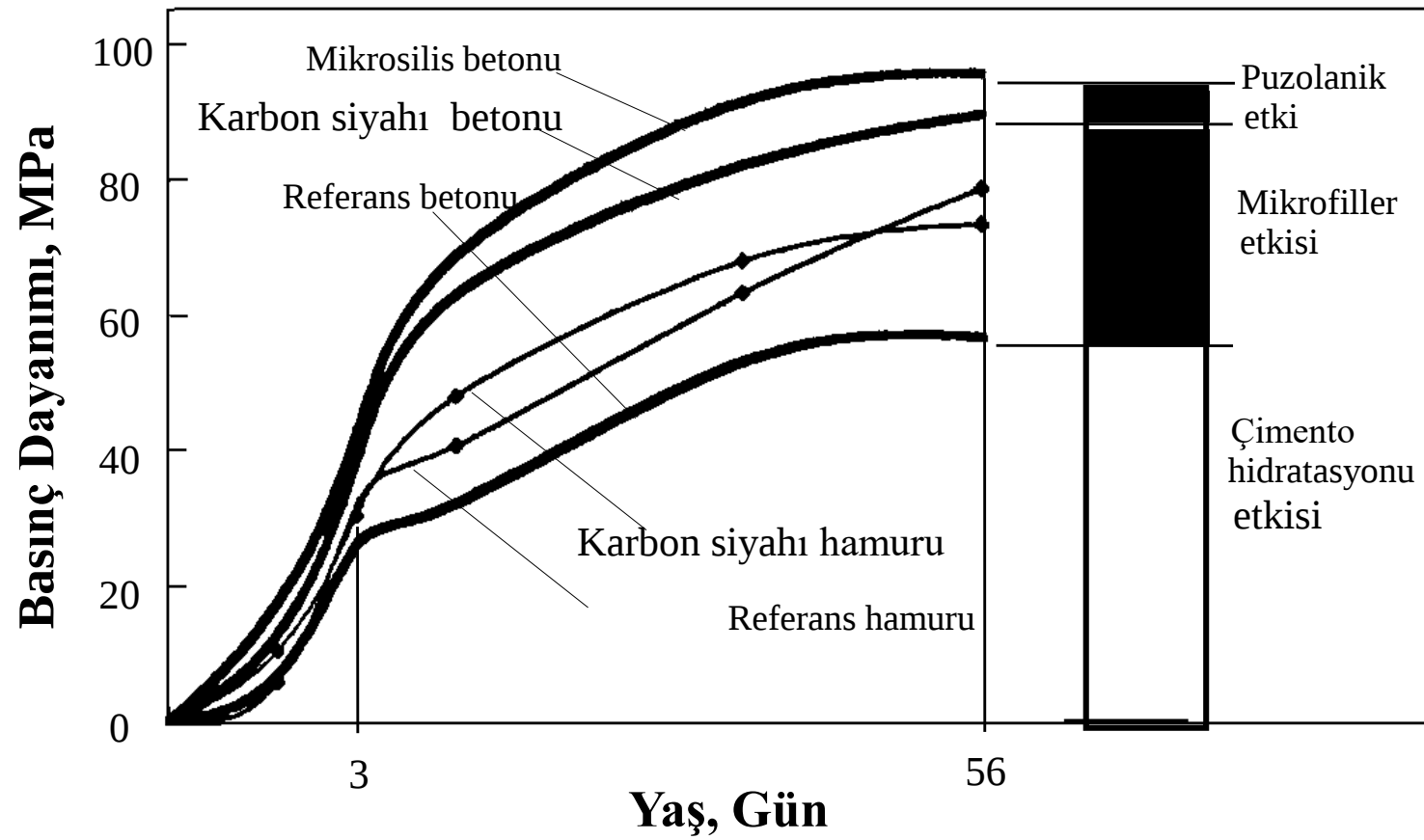
Pozolanik malzemelerin betonda iki önemli etkisi vardır:

i) puzolanik etki, ii) filler etkisi (boşlukları doldurma etkisi)

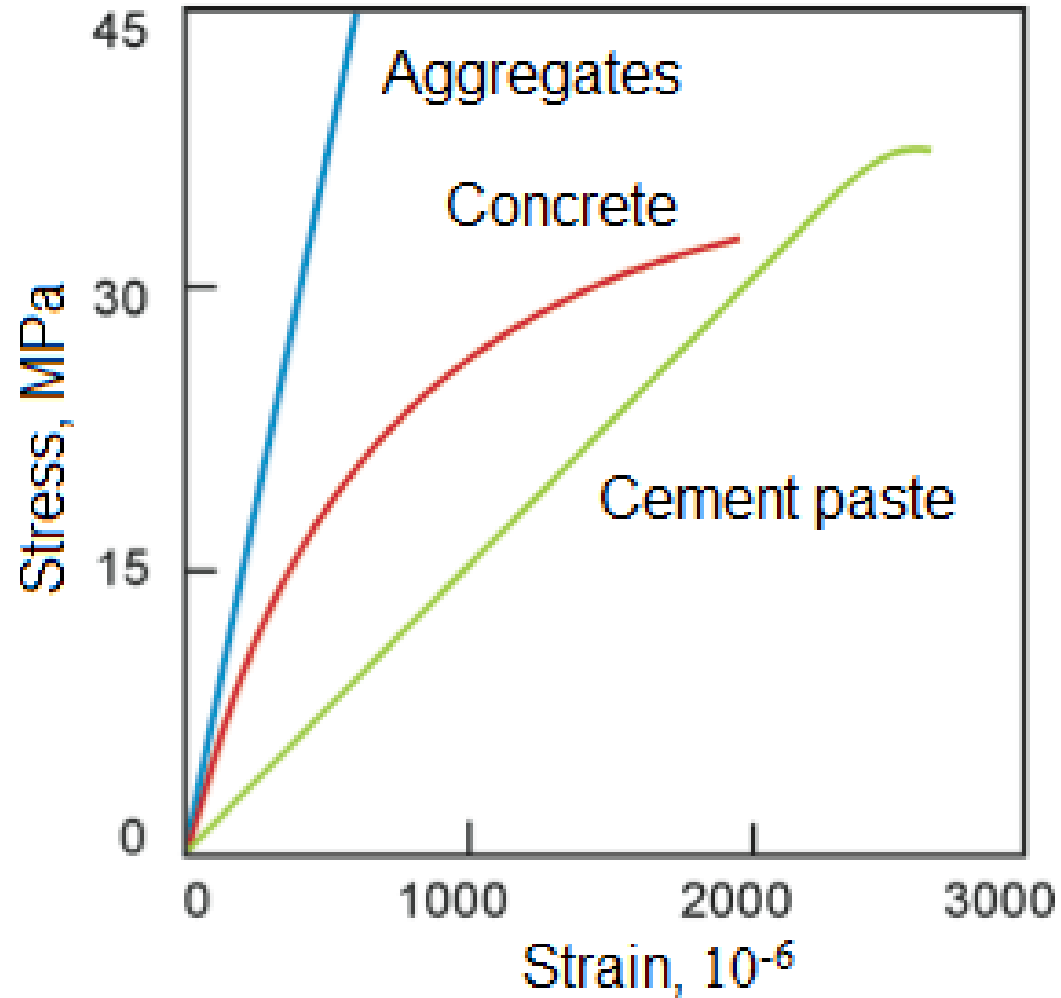
Puzolanik etki: Kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girer



Erken dayanım ve sertleşme süreci etkilenir



Betonda mikroçatlama: İnelatik davranış



Brandtzaeg, A., 1927.

Jones, R., 1952.

Jones, R. – Kaplan, M. F., 1957.

Hsu, T.T.C. et al., 1963.

Hsu, T.T.C., 1963.

Kaplan, M. F., 1963.

Slate, F. O. – Olsefski, S., 1963.

Shah, S. P. - Slate, F. O., 1965.

Shah, S. P. – Winter, G., 1966.

Shah, S. P. – Chandra, S., 1968.

Winter, G., 1969.

Büyüköztürk, O., vd., 1971.

Akman, M. S., 1972.

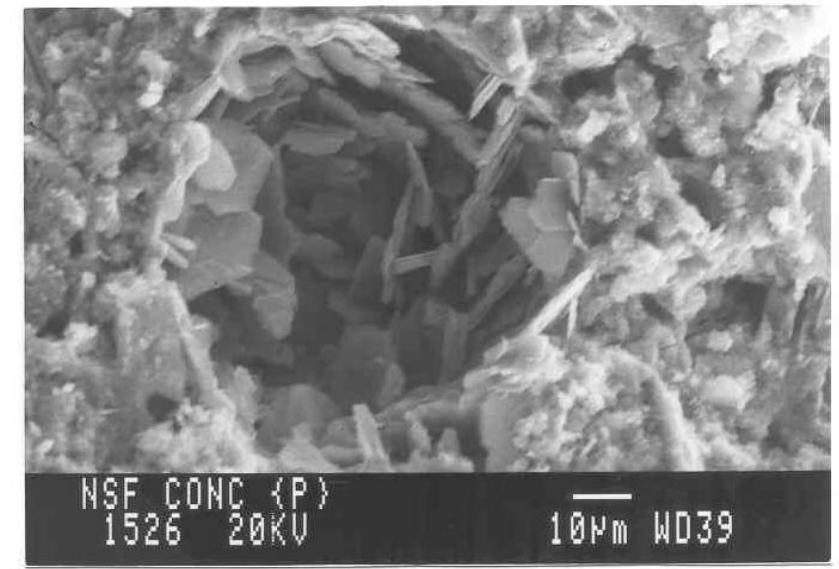
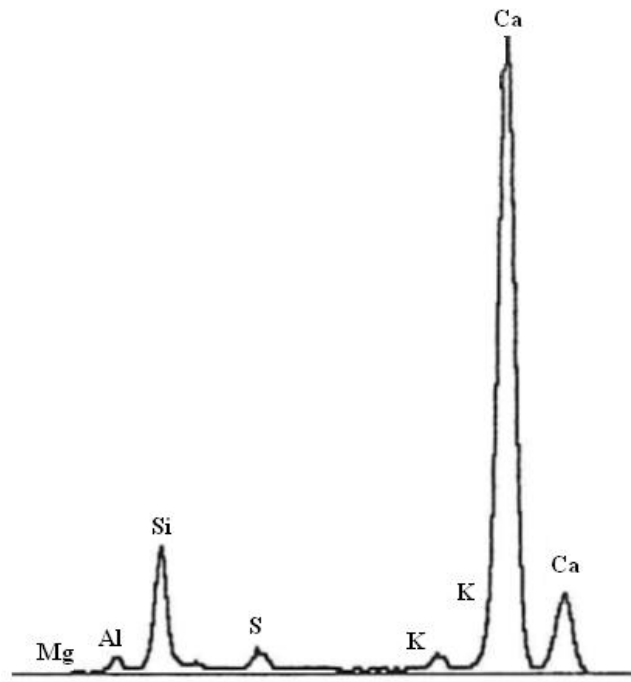
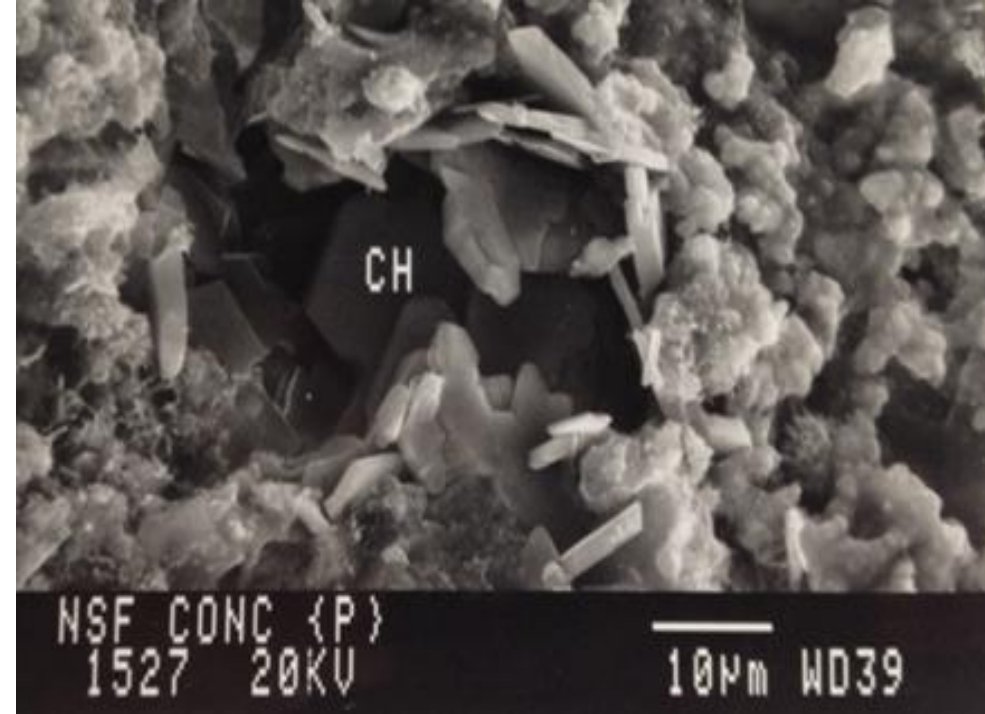
Akman, M. S., 1975.

Int.Conf., Structure of of Concrete and its Behaviour under Load, London, 1965.

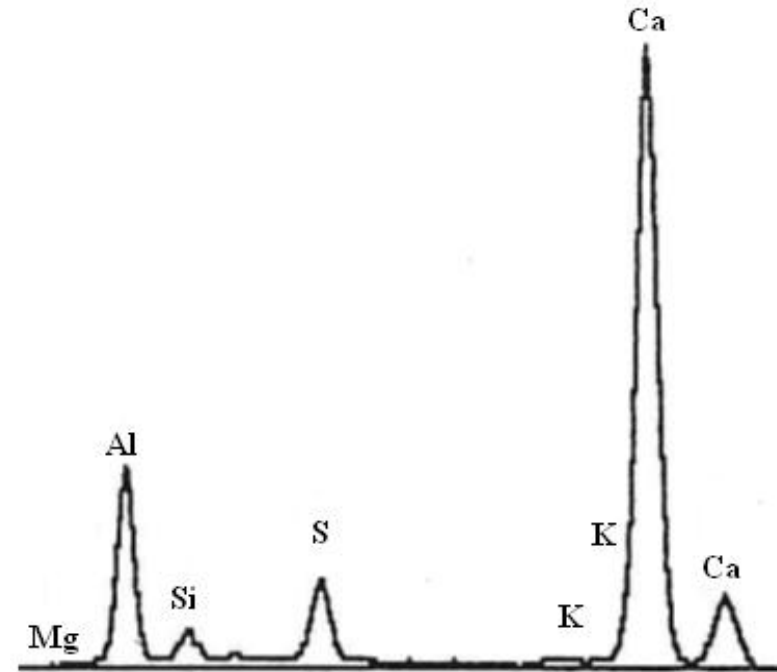
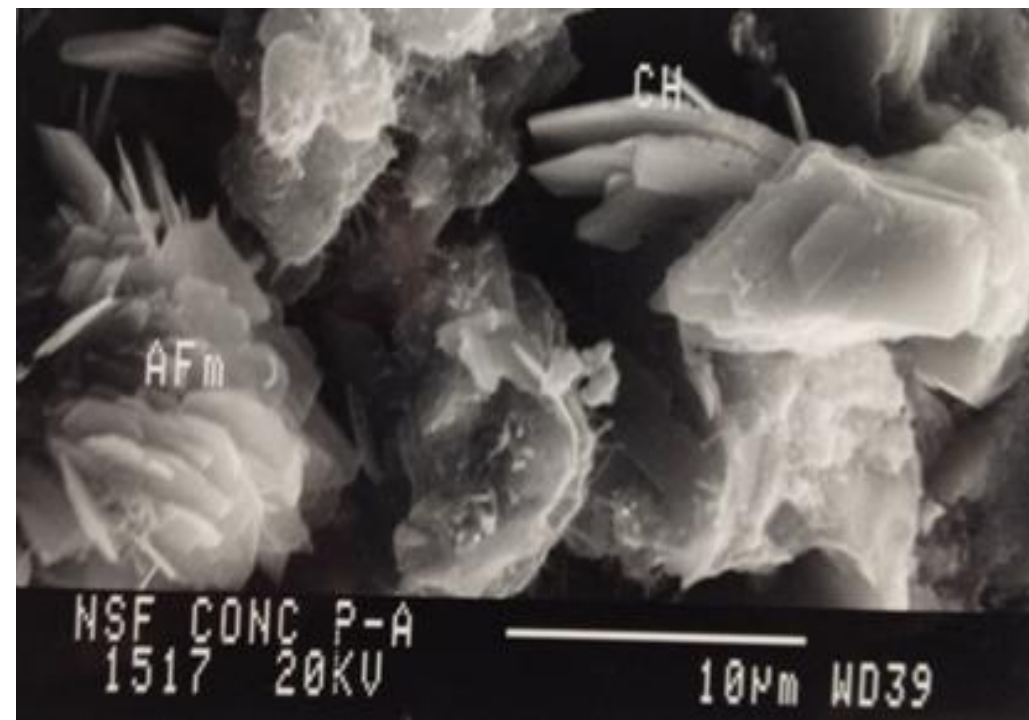
Proc. Southampton 1969 Conf., Part 1 and Part 2

Oktar, O. N., 1977.

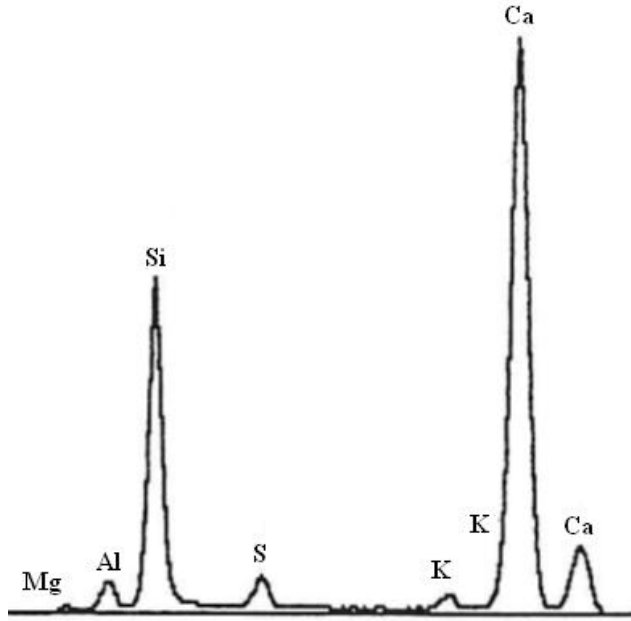
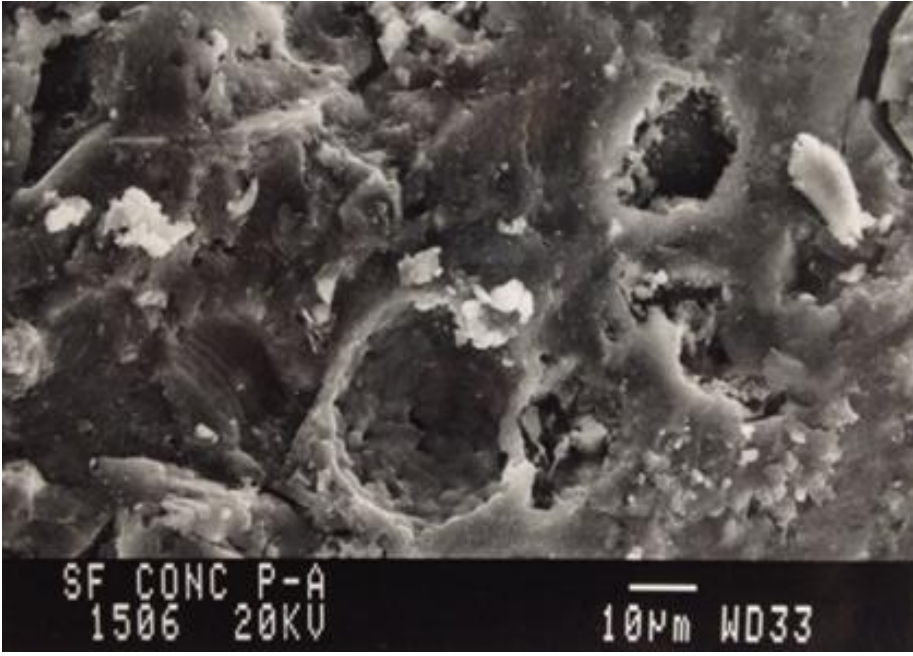
Moral, H., 1979.



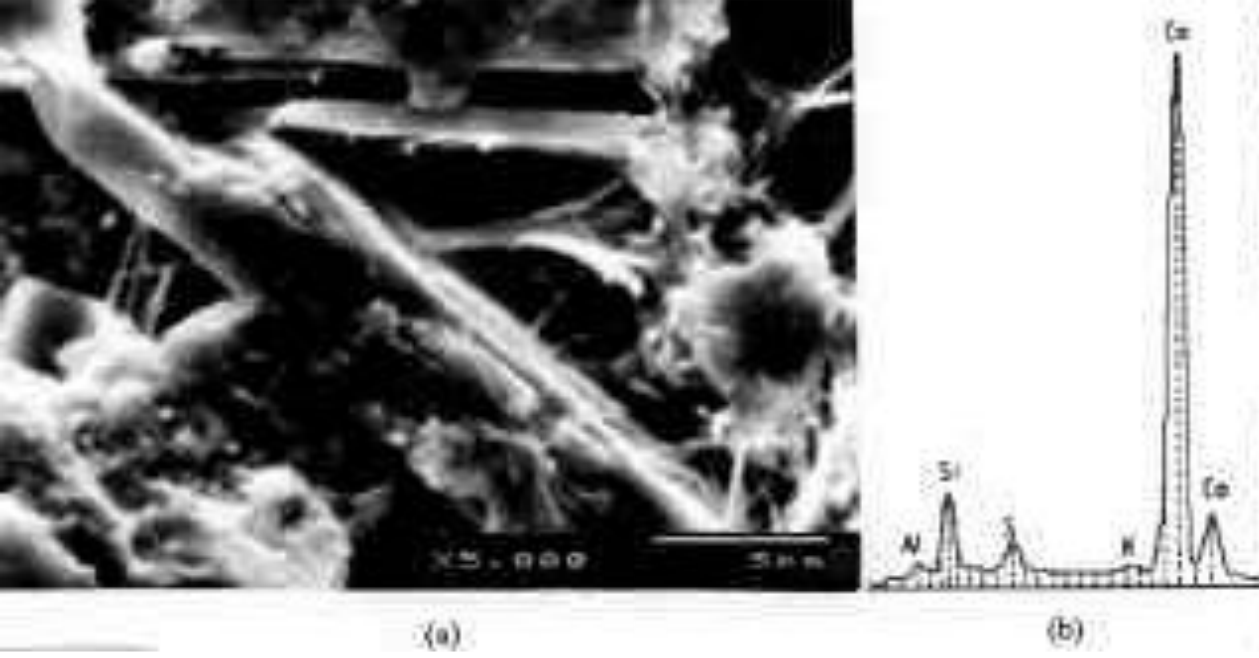
Silis dumanı içermeyen betonların hamur fazında boşlukların CH kristalleri ile dolu olduğunu gösteren SEM mikrografi



Silis dumanı içermeyen betonda agrega-çimento hamuru temas yüzeyinde Afm ve CH kristallerini gösteren SEM mikrografi



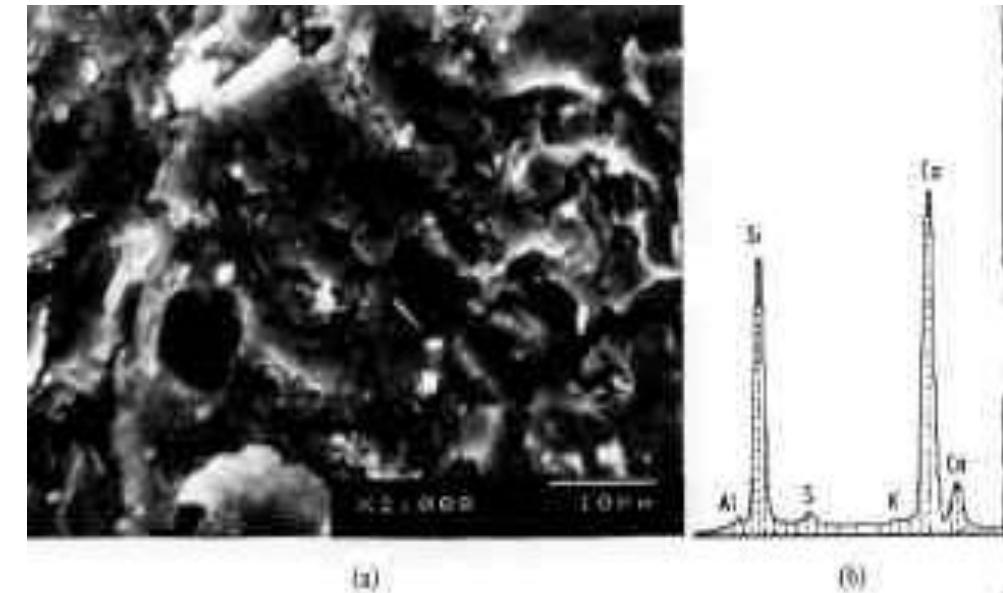
Silis dumanı içeren betonlarda boşlukların CH kristalleri ile dolmadığını tamamen boş olduğunu gösteren SEM mikrografı



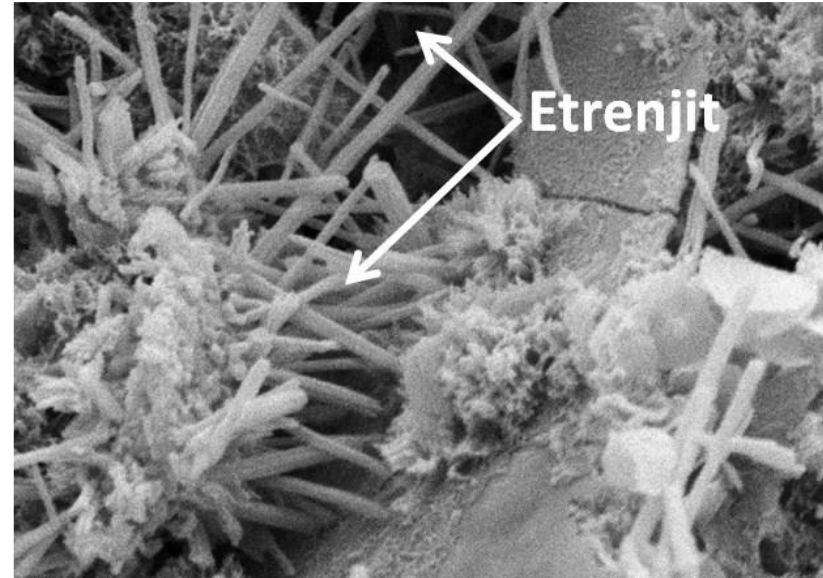
(a) Silis dumanı içermeyen betonlarda SÇH-agrega arayüzündeki SEM mikrografı; ve
(b) CH ve AFt kristallerini doğrulayan EDAX spektrumu

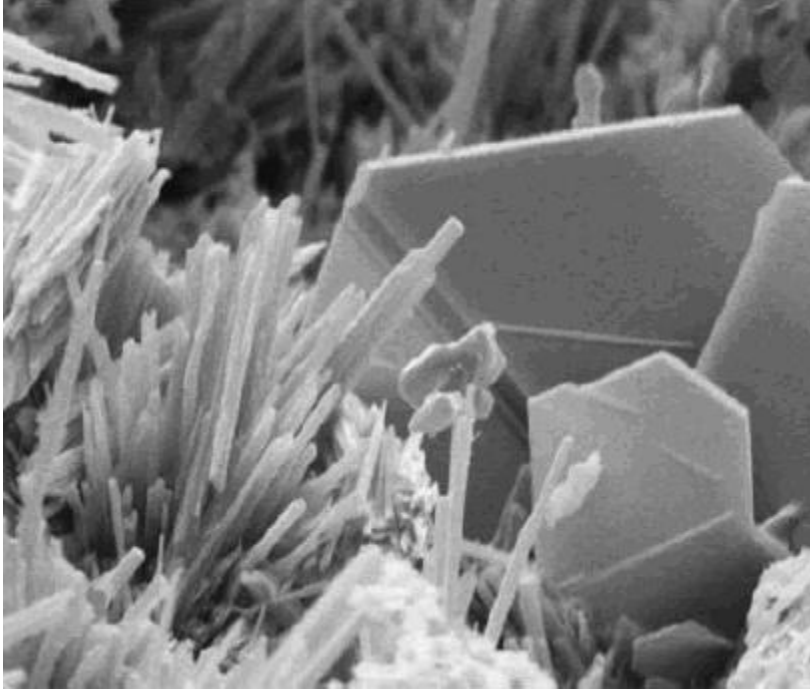


(a) Sertleşmiş çimento hamurunda CH kristalleri ile dolu boşluğun tipik SEM mikrografı;
(b) ve (b) CH kristallerini teyit eden EDX spektrumu



(a) Silis dumanı içeren betonlarda SÇH-agrega arayüzündeki SEM mikrografı; ve
(b) (b) Si piki, arayüzeydeki C-S-H'nin yoğun bir içyapıya sahip olduğunun göstergesi





Etrenjit,
6.5×3.2 cm.
Kalahari manganez
alanları , Northern
Cape Province,
Güney Afrika

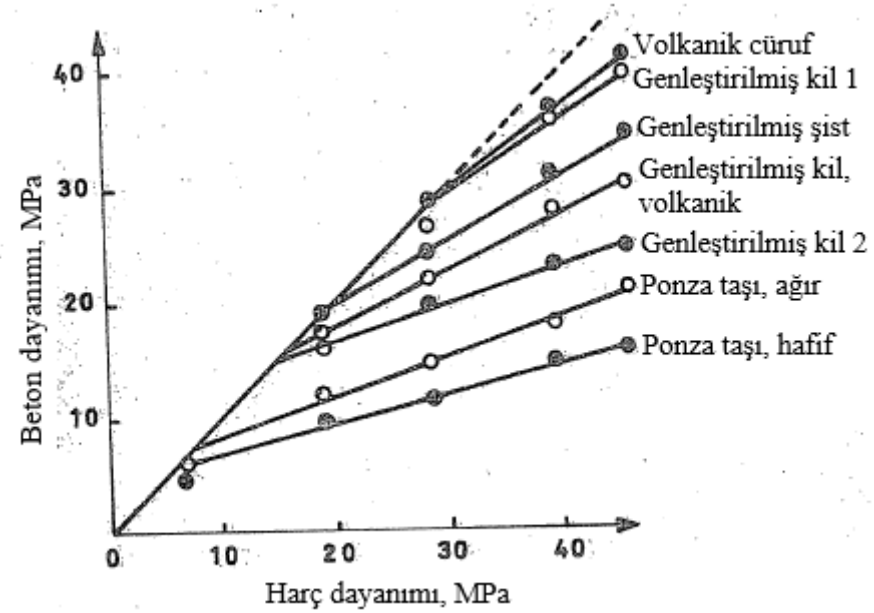
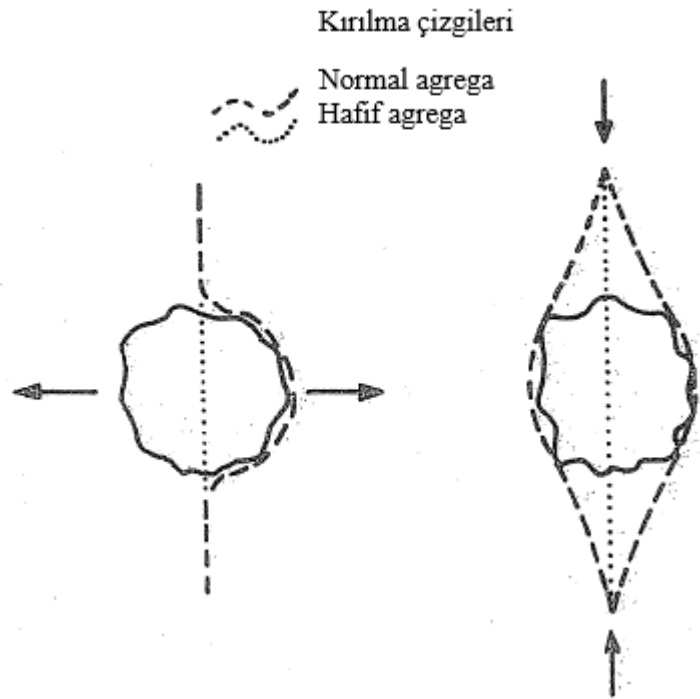
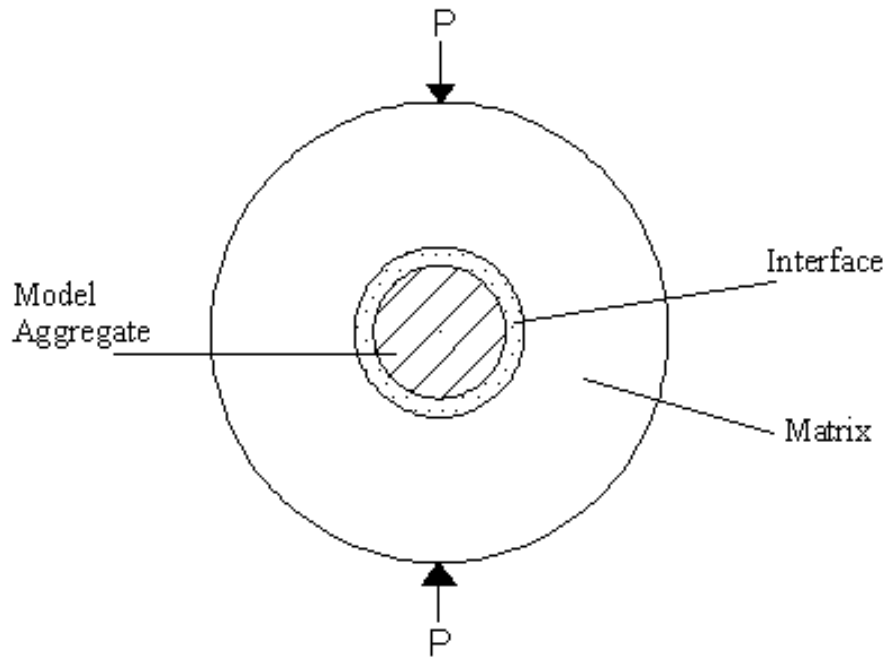
SEM görüntüsü, SÇH

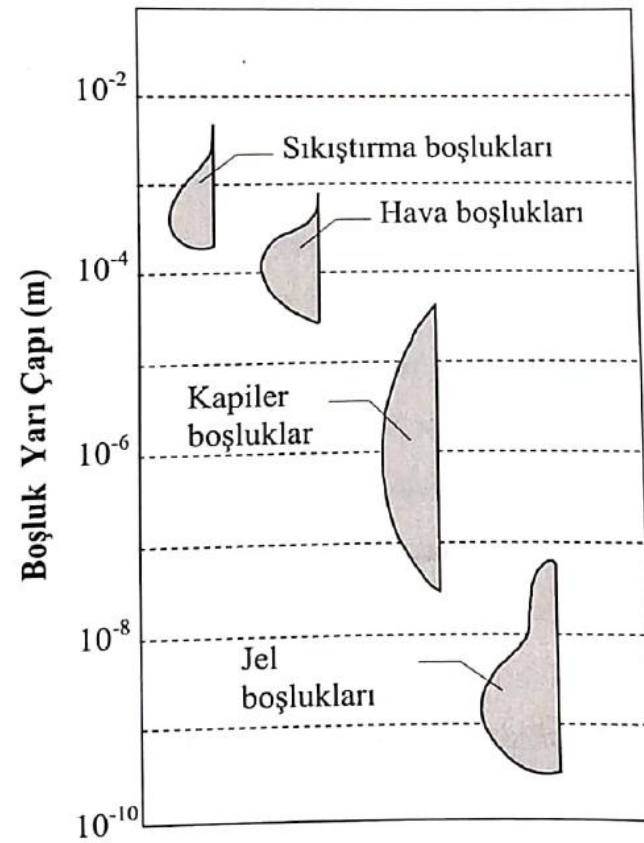
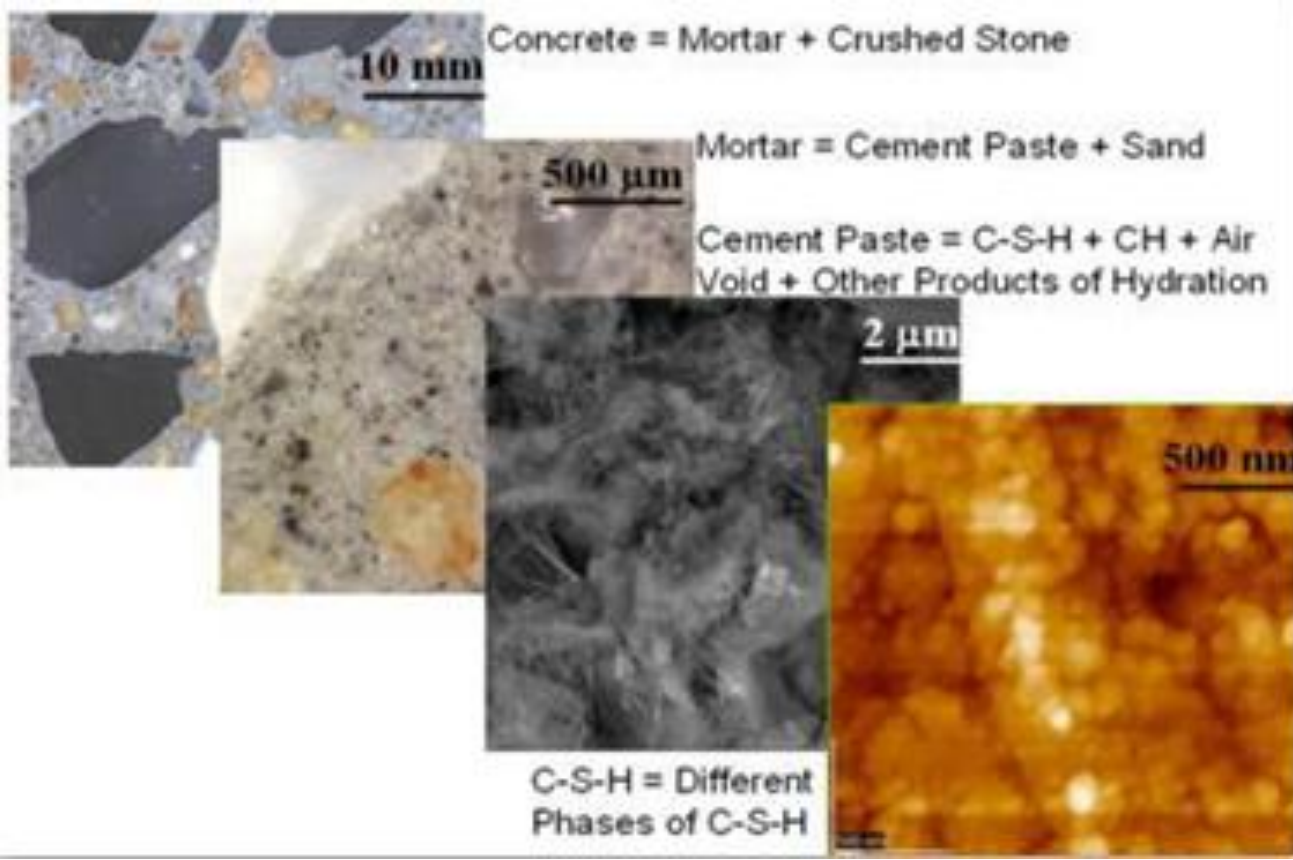
etrenjit bir hidrate tri kalsiyum alüminyum
sülfat minerali;

(CaO)₃(Al₂O₃)(CaSO₄)₃·32H₂O veya
Ca₆Al₂(SO₄)₃(OH)₁₂·26H₂O, prizmatik
kristaller ‘renksiz – sarı’ renk, (C₃A), su (H₂O
(CaSO₄) normal koşullardaki bir ürün AFt
(Al₂O₃-Fe₂O₃-tri), (AFt) ileri yaşlarda
monosülfata (AFm (Al₂O₃-Fe₂O₃-mono))
dönüşür

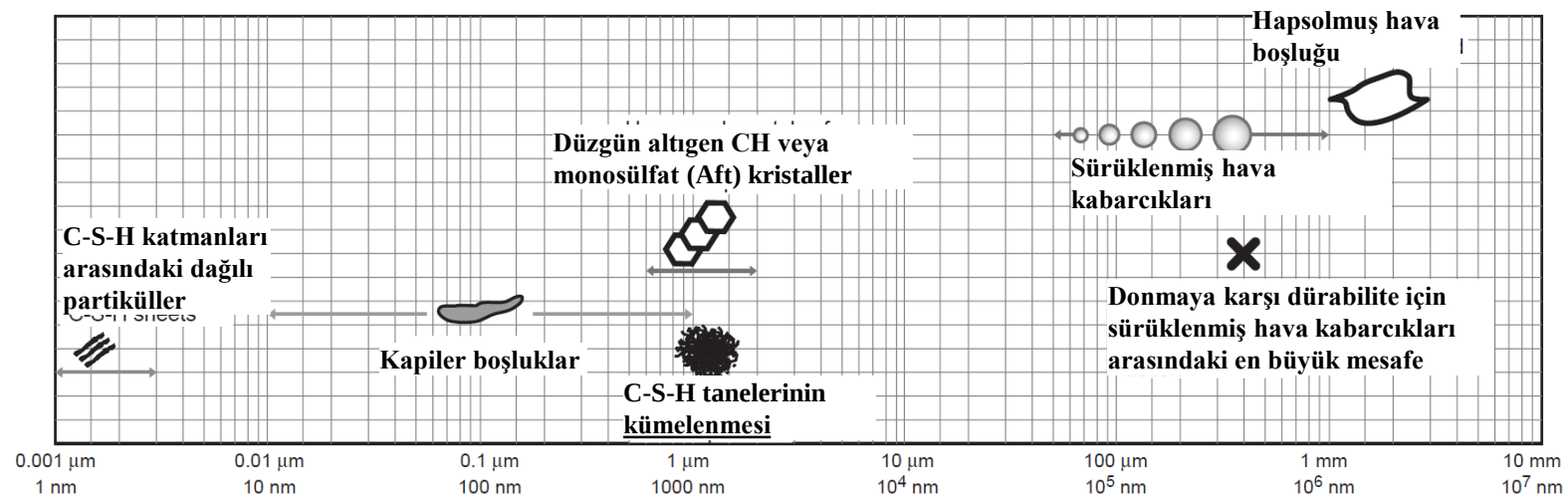


Etrenjit,
Kalahari
manganez
alanları , Güney
Afrika (Aynı
bölge)

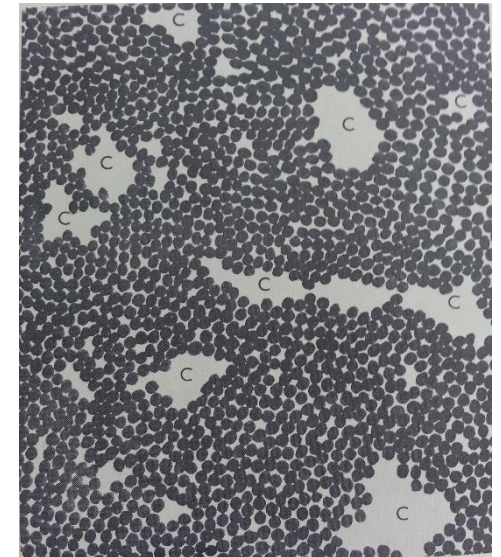




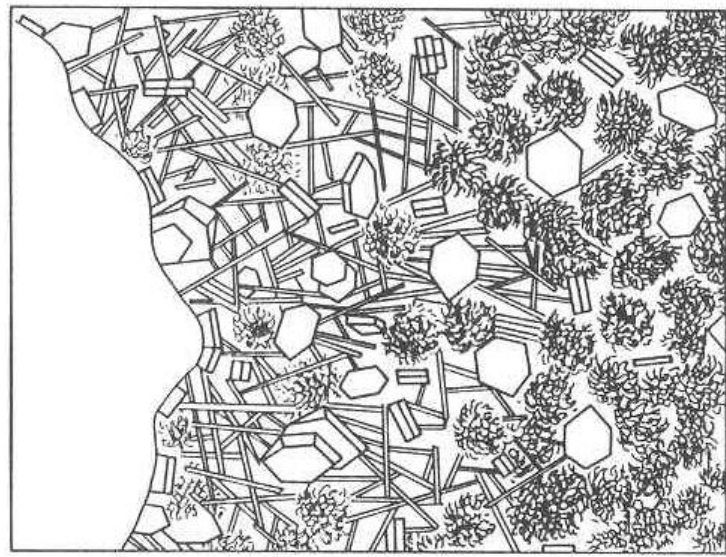
Kalıcılığı (dayanıklılık, durabilite) büyük ölçüde etkiler



**Mehtha-Monteiro,
Concrete, McGraw-Hill,
2006**

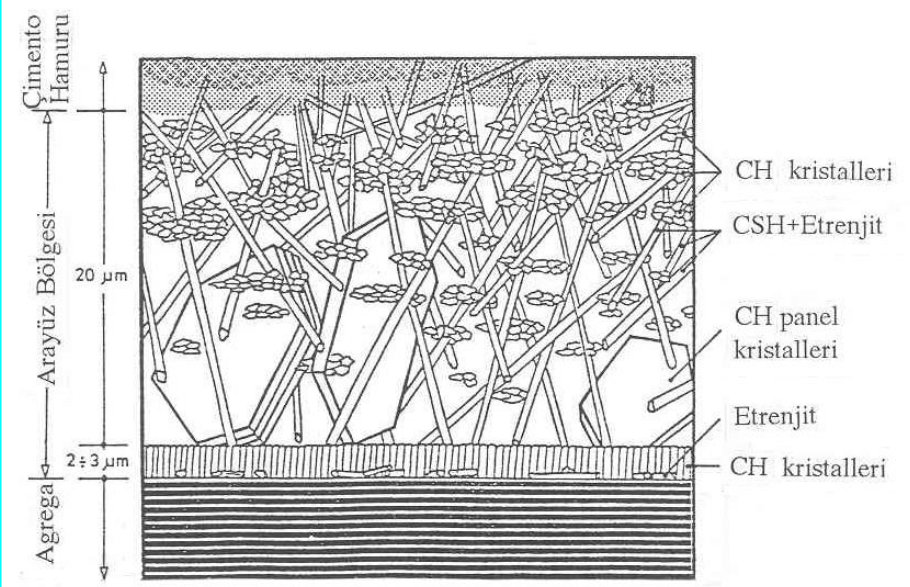
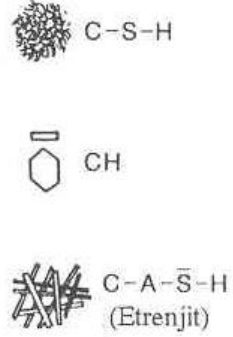


T.C. Powers, PCA, 1958

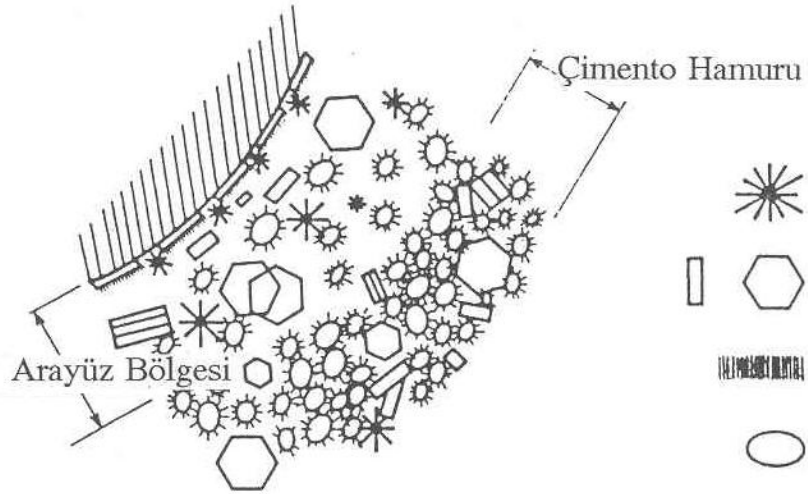


Agrega Arayüz Bölgesi Çimento Hamuru

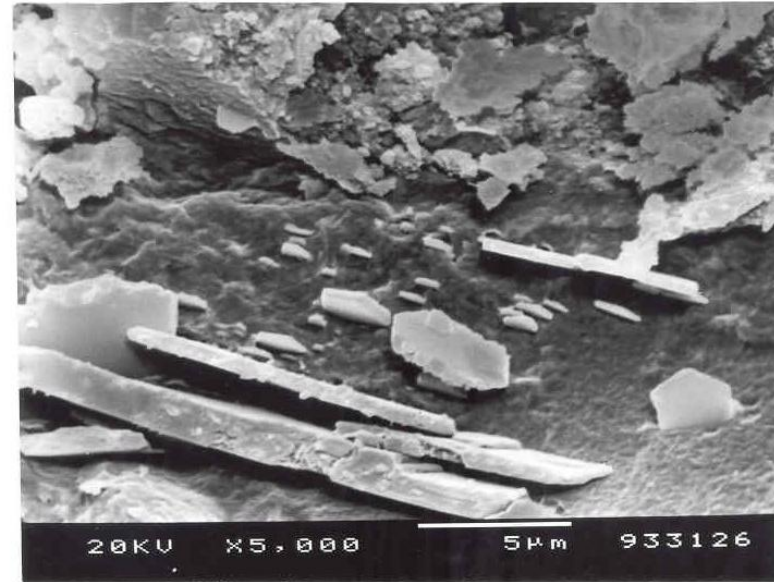
Geçiş bölgesinin mikroyapısı



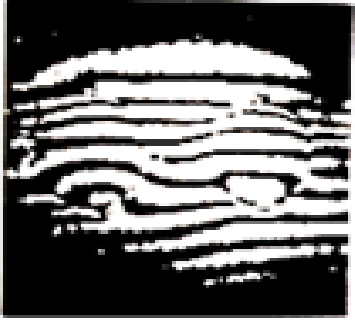
Çimento hamuru ile agrega arasındaki arayüzey bölgesinin şematik gösterilişi



Yüzeyi parlatılmış agrega ile çimento hamuru arasındaki temas yüzeyi



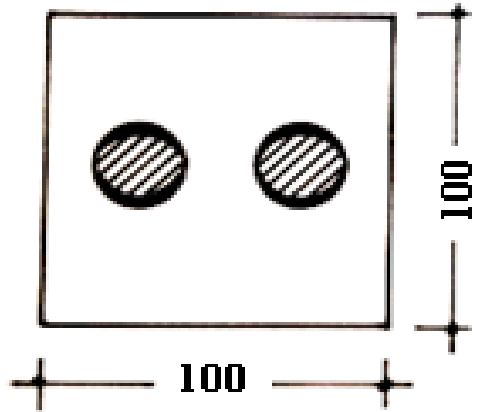
Silis dumanı içermeyen karışımda matristeki çimento hamuru-model agrega temas yüzeyinin SEM mikrofrafı



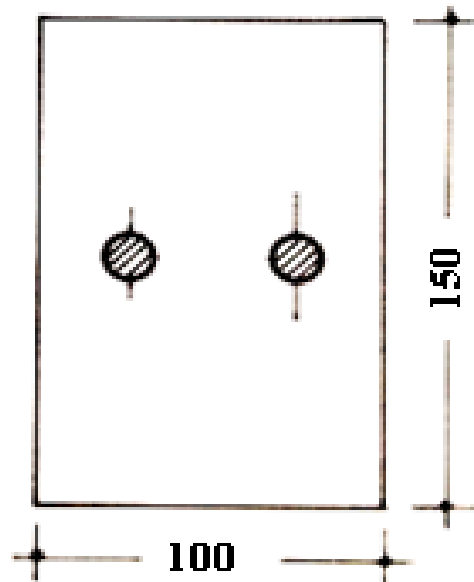
(a)



(b)

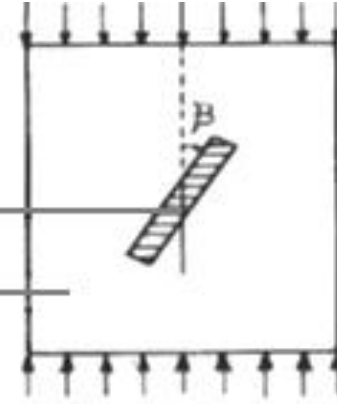


Ölçüler mm cinsindendir.



Merkezinde silindirik model agregası içeren prizmatik harç başlangıcı, [A. Maji, PhD Thesis, N.Univ., 1989]

Model
agrega
Harç



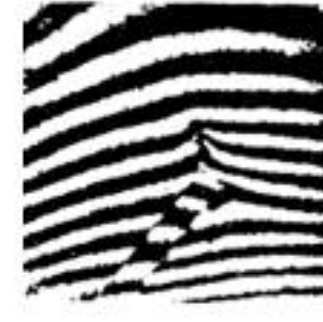
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Holografik interferometri frinçleri (Model agreganın uygulanan yük doğrultusu ile yaptığı açı=36°): a) Harç-agrega ayrılması öncesi, b) Harç-agrega ayrılması, c) Matris çatlaması, d) Kanat çatlağının boyu=12mm, e) Kanat çatlağının boyu=23mm

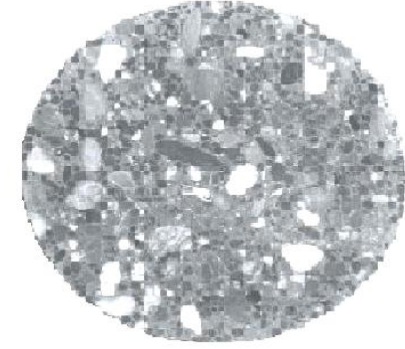
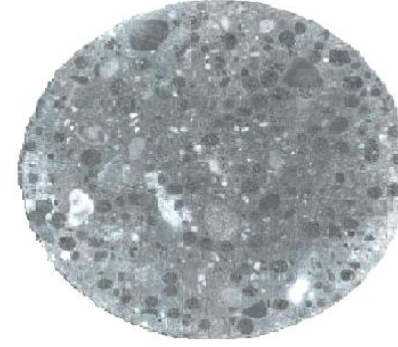
[Taşdemir, M.A., Maji, A.K., and Shah, S.P., 1990]

Yüksek dayanımlı betonların sakıncaları:

- Otojen rötre



hafif agrega



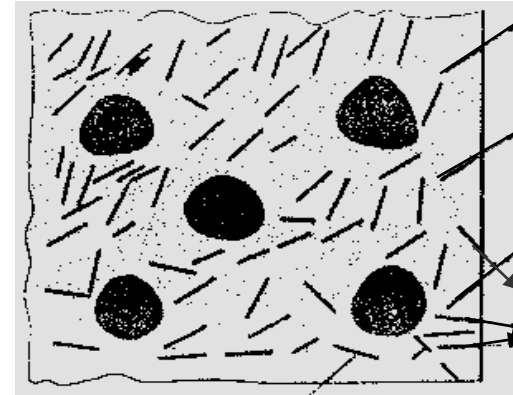
(a) 4-8 mm arası hafif agrega (b) 2-4 mm arası hafif agrega

Yüksek dayanımlı yarı hafif betonların kesitleri

- Yangında buhar etkisi



polipropilen lif



Yüksek sıcaklıklarda eriyen polipropilen lifler buharın boşluklar yardımıyla dışarı çıkmasını sağlar (Walraven, 1999)

- Gevreklik

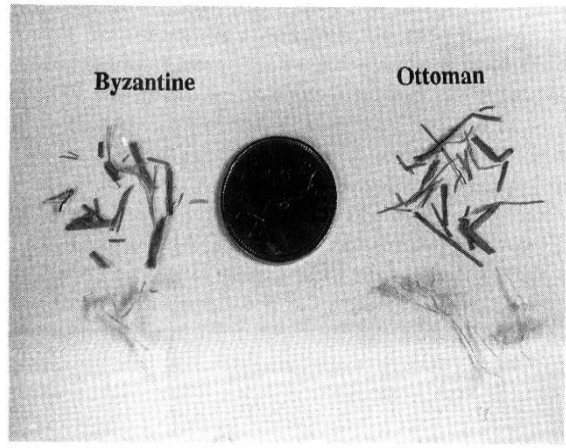


çelik tel

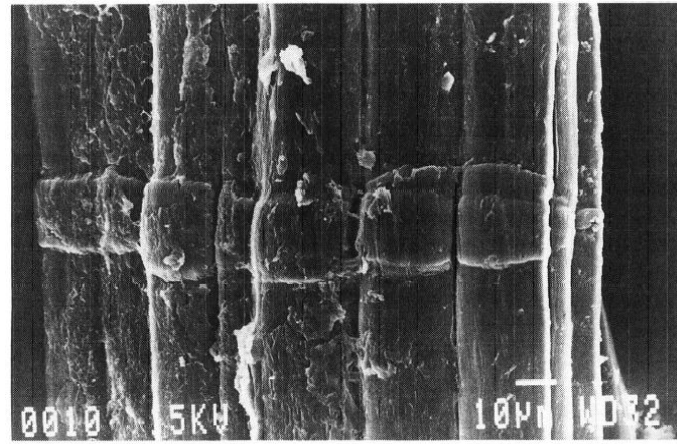
Geçmişten günümüze lifli betonların evrimi

Yüzyıllar boyunca, gevrek malzemelerin farklı liflerle güçlendirilmesi inşaat uygulamalarında kullanılmıştır. Örneğin; Eski Mısırlılar, kulübeler için güneşte kurutulmuş kerpiçlerin çatlama sonrası davranışını iyileştirmek için saman kullandılar (Mansour ve diğ., 2007).

Çekme gerilmelerinin etkisindeki gevrek malzemeleri lif donatıyla güçlendirme fikri; samanın (veya at veya keçi kılının) 1) kerpiçleri veya 2) alçıyı güçlendirmek için kullanıldığı yüzyıllar öncesine dayanmaktadır, bu sezgisel teknik Mısırlılar dışında ve Mezopotamyalılar tarafından da kullanılmıştır. 1824: Joseph Aspdin



Bizans ve Osmanlı lifleri: kısa kesilmiş saman (üst) ve hassas lifler ipeksi parlaklık (altta), bunlar; kamış, palmiye ve hatta keçi kılı [D. Bonen, M. A. Taşdemir and S. L. Sarkar, MRS, 1995, Vol. 370,159-168] **3**



Harç içinde bozulmamış demet halinde kısa kesilmiş saman liflerini gösteren SEM mikrografı (Ayasofya) [D. Bonen, M. A. Taşdemir and S. L. Sarkar, MRS, 1995, Vol. 370, 159-168]

- Daha yakın zamanlarda, 1874'te Amerika Birleşik Devletleri'nde Bérard, küçük beton parçalarına atık demir eklemeyi önerdiği “yapay taşa iyileştirme” adlı ürünün patentini aldı. **2**
- Daha sonra, 20. yüzyılın başında, çimento harçlarını güçlendirmek için asbest lifleri kullanıldı. Asbest liflerinin kullanımı çevresel ve sağlık faktörleri nedeniyle yasaklanmış olsa da, böyle bir kombinasyon, modern lif takviyeli betonun (FRC) ilk uygulaması olarak kabul edilebilir.

EN 14889:2008
Fibres for concrete

Part I : Steel fibres

Mainly focussed on carbon
although includes galvanised
and stainless steel

I Cold drawn wire

II Cut sheet

III Melt extract

IV Shaved cold drawn
wire

V Nilled from blocks

Part II: Polymer fibres

Mainly composed by polyolefin
(polypropylenes and others)

Class I:
Micro-fibres

$d_f < 0.3\text{mm}$

Non structural

Ia Mono-filament

Ib Fibrillated

Class II :
Macro-fibres

$d_f > 0.3\text{mm}$

Structural fibres:

EN 14651:2007

$V_f \rightarrow f_{RI} \geq 1.5\text{ MPa}$

Reference concrete:

EN 14845: 2008

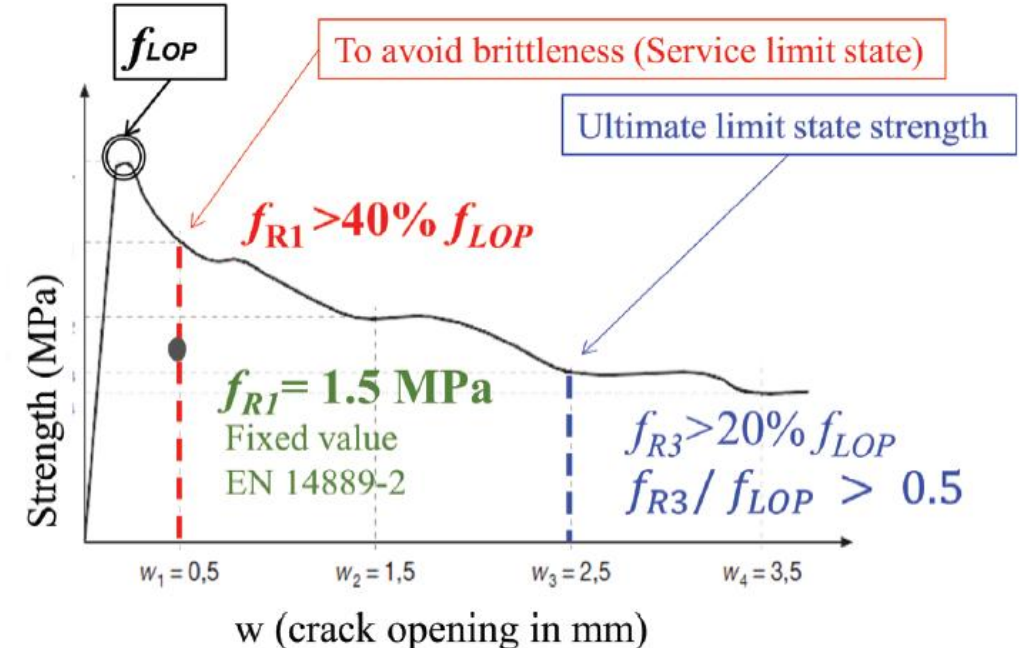
• Mikro-sentetik lifler: Sınıf I

i) Taze betonda plastik rötreye nedeniyle olası çatlamaya karşı ii) betonun yangın direncini artırır

• Makro-sentetik lifler: Sınıf II

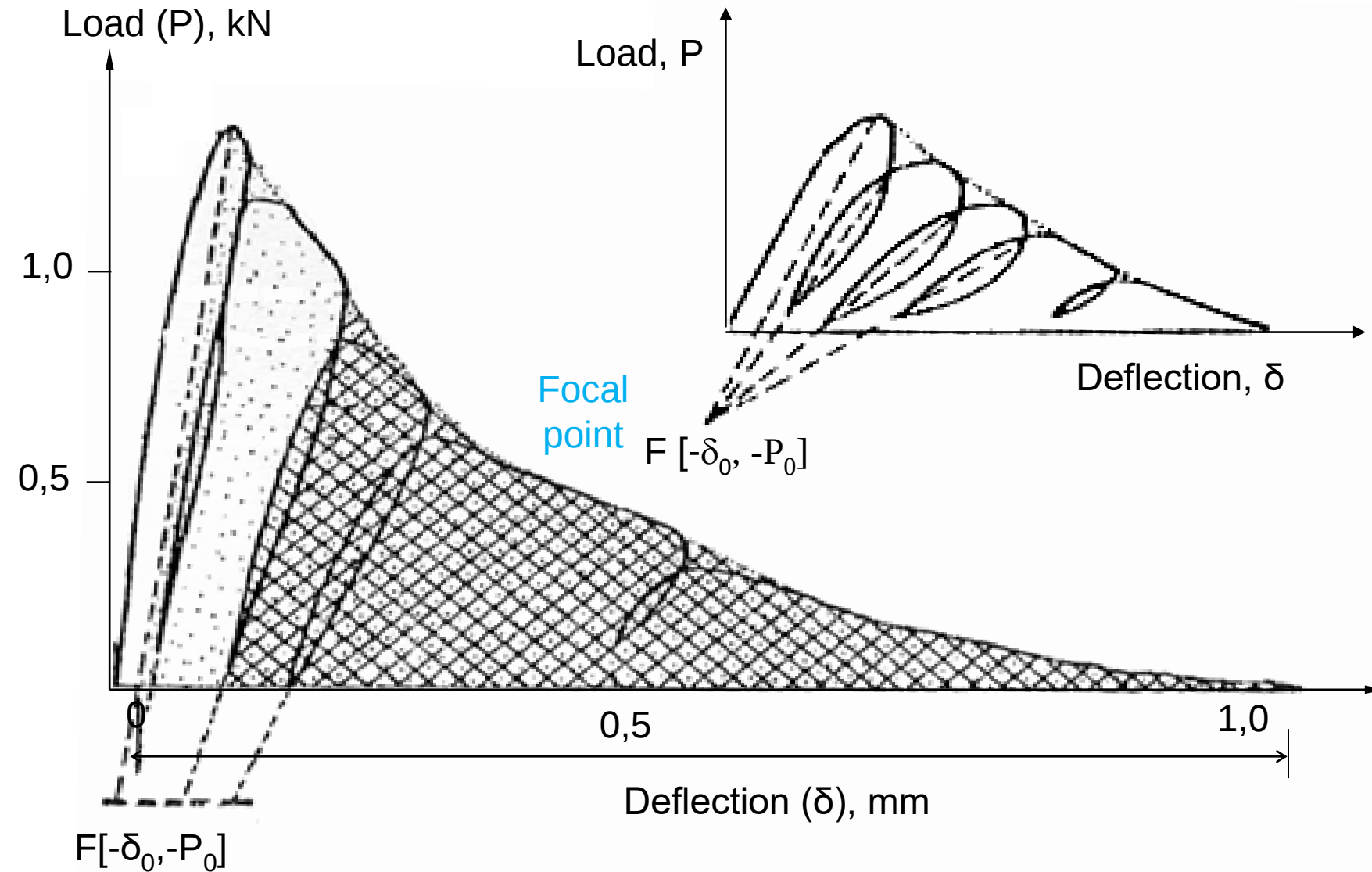
$f_{R1k} / f_{Lk} > 0,4$ ve

$f_{R3k} / f_{R1k} > 0,5$ ise ÇTD kısmen veya tamamen klasik donatının yerine

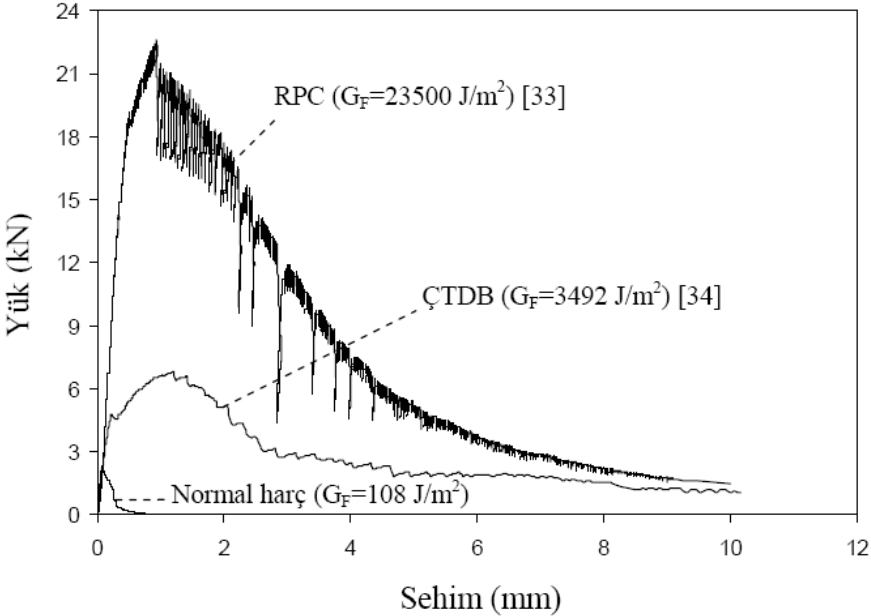
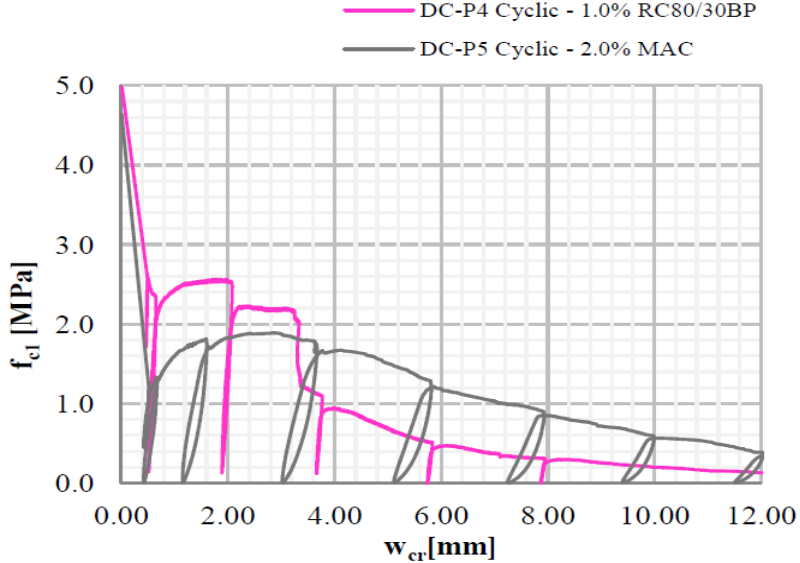
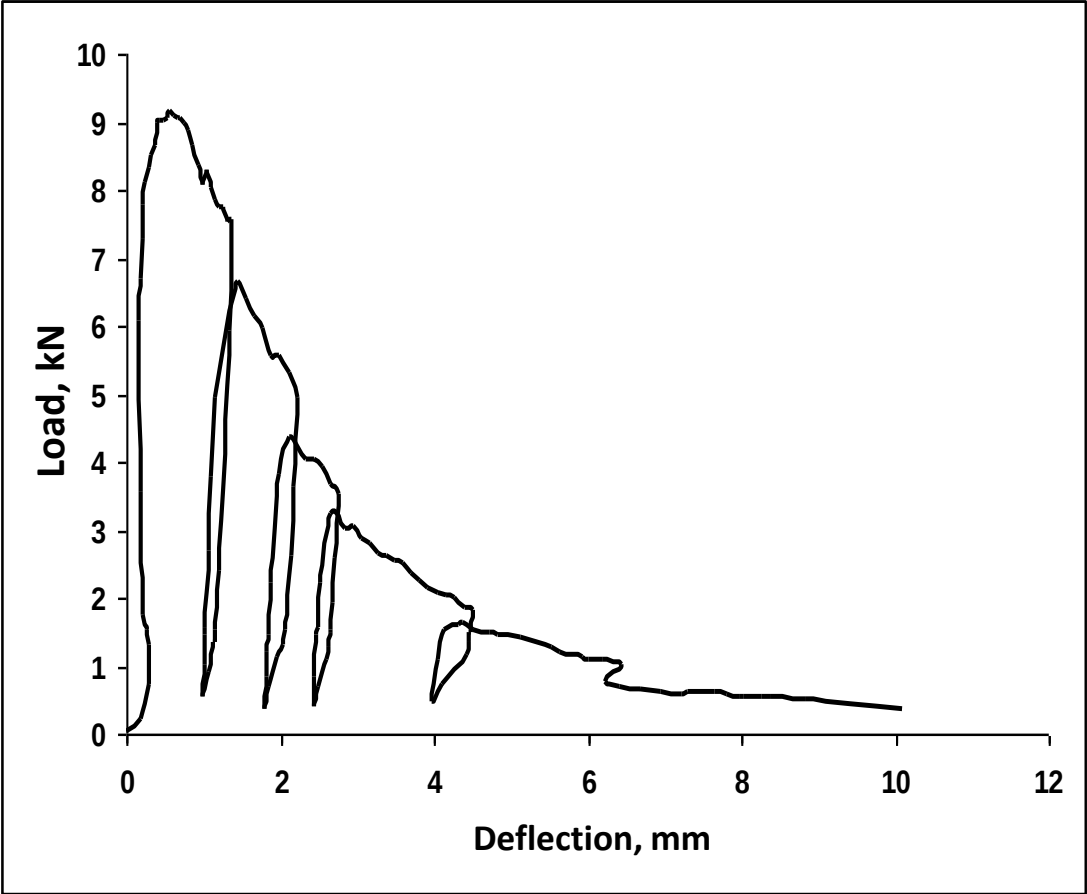


a) düz b) kancalı uçlu c) kıvrımlı d) yassı
uçlu Farklı mekanik özelliklere sahip çelik teller

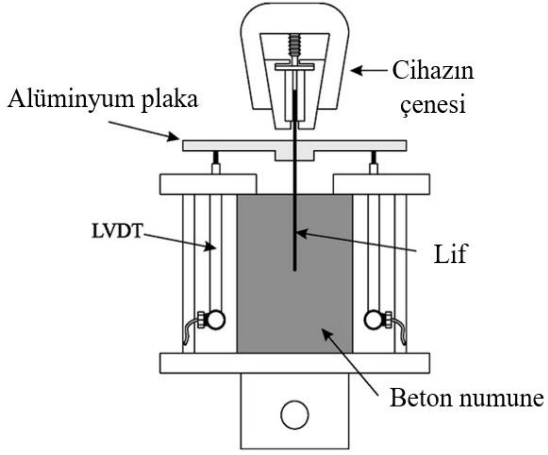
NB veya YDB



gÇTDB, YPÇTDB (RPC)

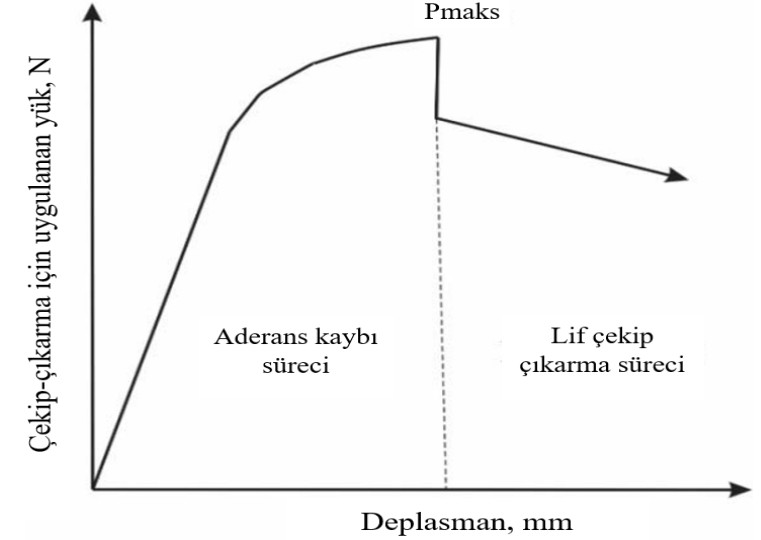


Çekip-çıkarma (liflerin betondan sıyrılması) bakımından çelik teller ile makro-sentetik liflerin karşılaştırılmasına yönelik kısa bir bilgi verir misiniz?



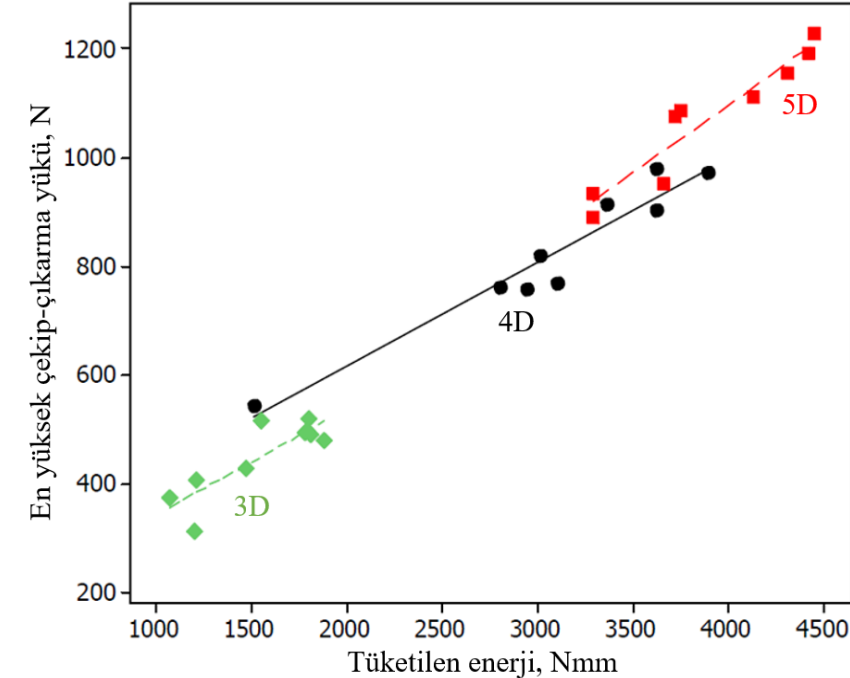
Çekip-çıkarma (pull-out) deney düzeneğinin şematik gösterimi (a), Deney düzeneğinin fotoğrafı (b), (Cunha vd., 2010)

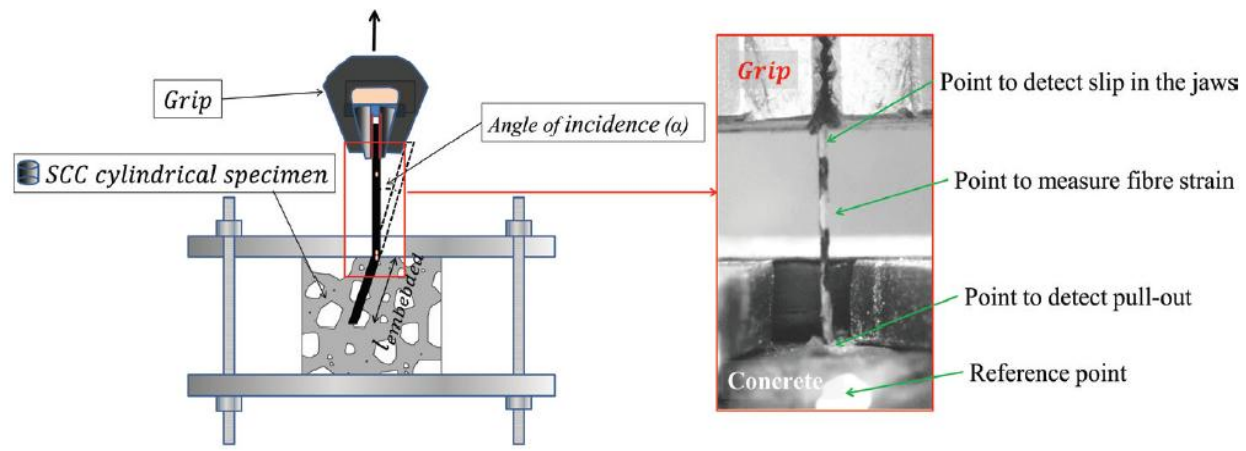
“Lifi çekip-çıkarmak için uygulanan yük-Deplasman” eğrisinin şematik gösterimi (sağ üst), (Wang ve Friedrich, 2016), Çelik tellerin 3D, 4D ve 5D serisinin her birinde farklı lif gömme derinliği (10mm, 20mm ve 30mm) için “En yüksek çekip-çıkarma yükü-Tüketilen enerji” ilişkisi (sağ alt), (Okeh vd., 2016).



Okeh vd.’nin (2016) kullandığı 3D, 4D, ve 5D serisi kancalı uçlu çelik tellerin boyları (60mm) ve narinlikleri (65) aynıdır, fakat bunların etkin kancalı uç bölgesinin boyları sırasıyla, 5,66; 11,22 ve 11,66 mm, ve kancalı uç bölgesindeki derinlikler ise sırasıyla 3; 6 ve 4mm’dir.

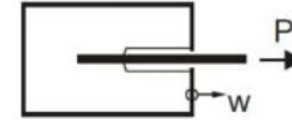
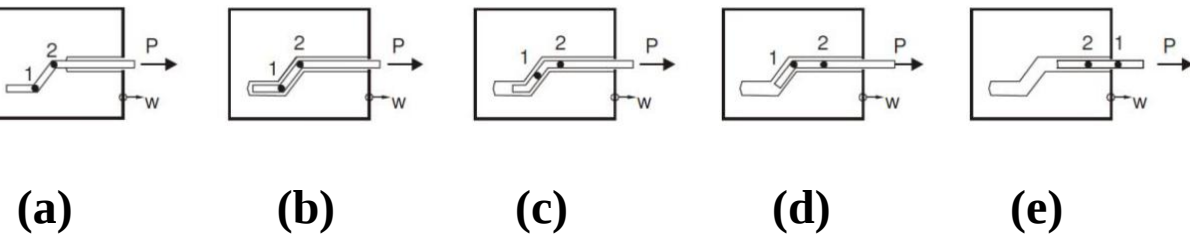
3D çelik telini çekip çıkarmak için gerekli olan “Maksimum kuvvet (N)-Tüketilen Enerji (Nmm)” bölgesi yaklaşık [(300-500N)-(1000-1800Nmm)] iken, 4D ve 5D’ye ait olanlar sırasıyla, [(700-1000N)-(2750-4000Nmm)] ve [(850-1250N)-(3250-4500N)]’dir. Bu şekilde 4D’ye ait (550N-1500Nmm) nokta fazla saptığı için değerlendirme dışı tutulabilir.



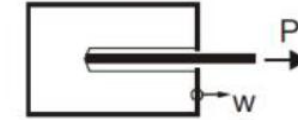


Düz çelik tel (1. aderans kaybı, 2. sürtünmeli sırilma), Markovic, 2006

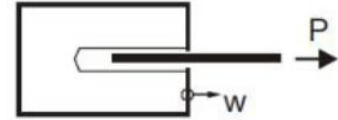
Kancalı uçlu çelik tel (mekanizma daha karmaşık)



a) Kısmi aderans kaybı



b) Tam aderans kaybı

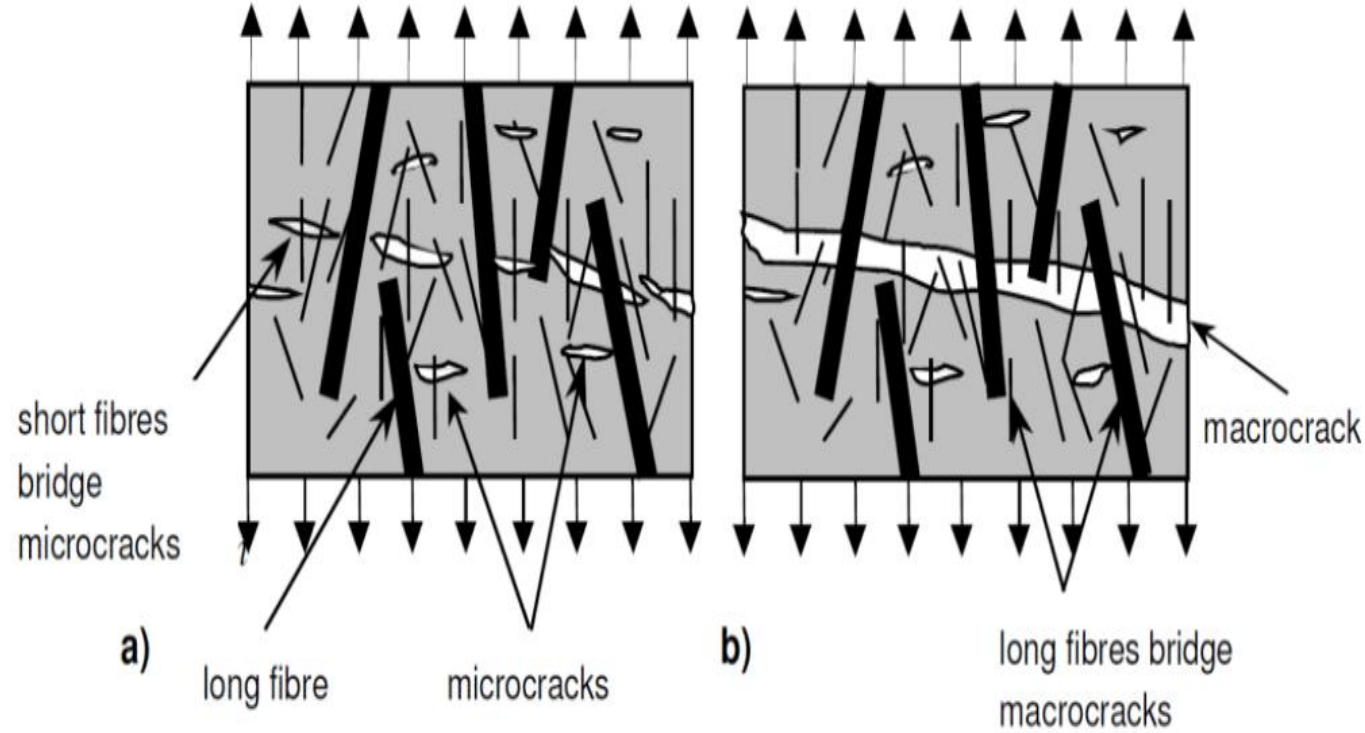


c) Çekip-çıkarma [pullout (sırilma)]

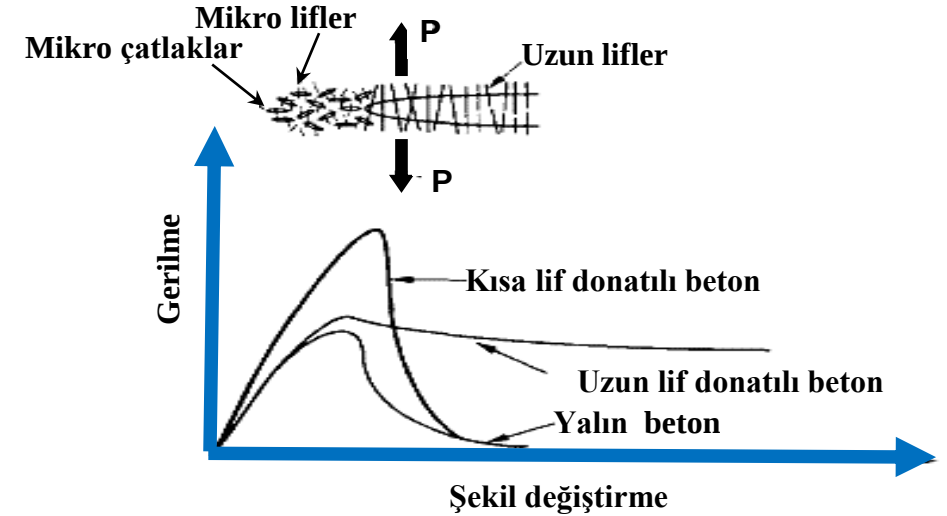
Lifin ucuna doğru **aşamalı göçme** (a ve b). Aderans sona erdiğinde lif betonndan çekilirken lif ile beton arasındaki **sürtünme kuvveti etkili** (c). Çekmenin mümkün olması için kanca kıvrımlarında **Kancalı uç boyunca plastik deformasyonlar oluşmalı** (c ve d) ve sırilma (e)

Betonda; karma (hibrit) lif kullanmanın amacı

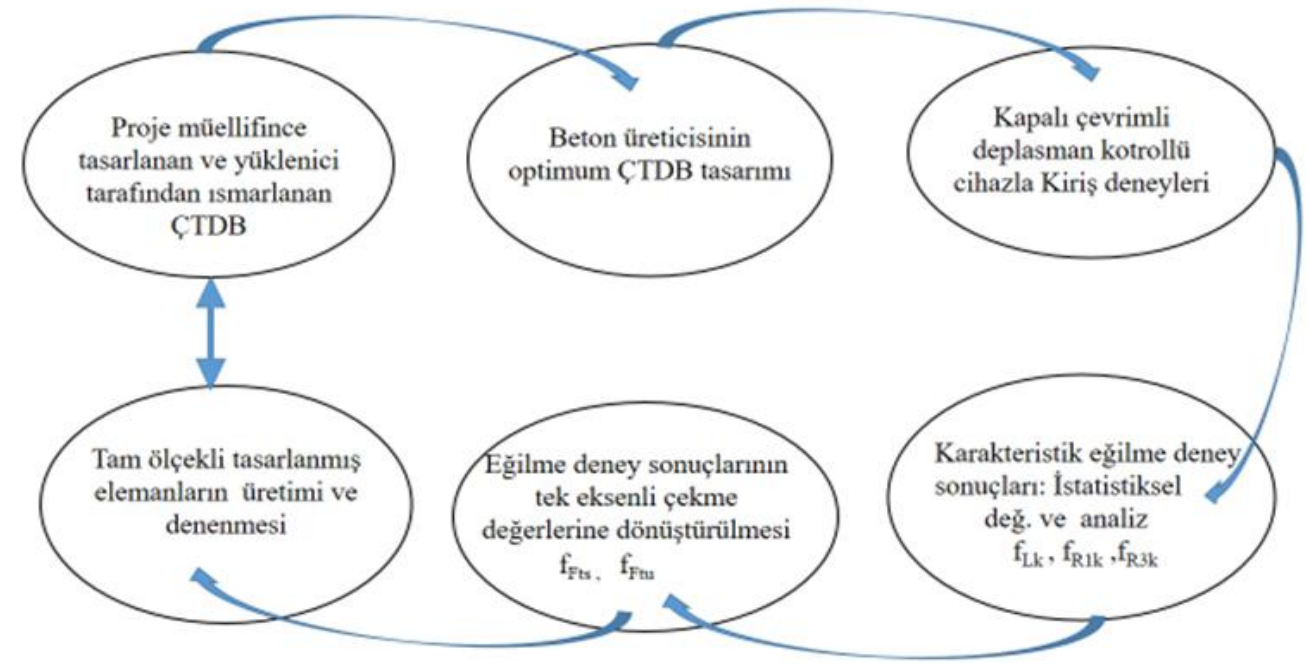
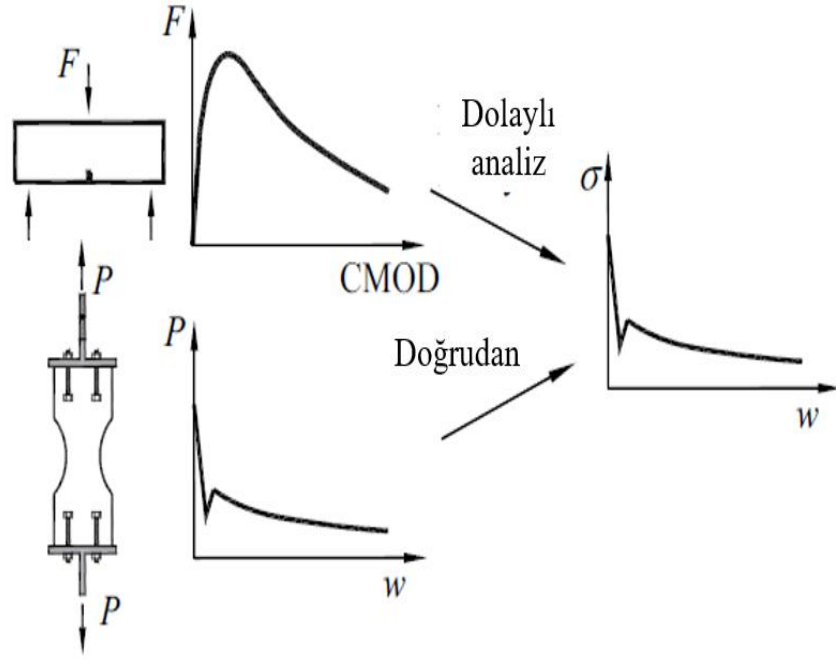
Çelik tel ile üretilen bazı betonların mekanik özellikleri



Mek. Öz.	NDB	YDB	RPB
f'_c , MPa	20-60	60-115	200-800
f_{eg} , MPa	4-8	6-10	50-140
G_F , N/m	100-200	100-130	10000-40000
$\epsilon_p \cdot 10^{-6}$	1500-2000	2000-2500	5000-8000
E, GPa	20-30	35-40	60-75

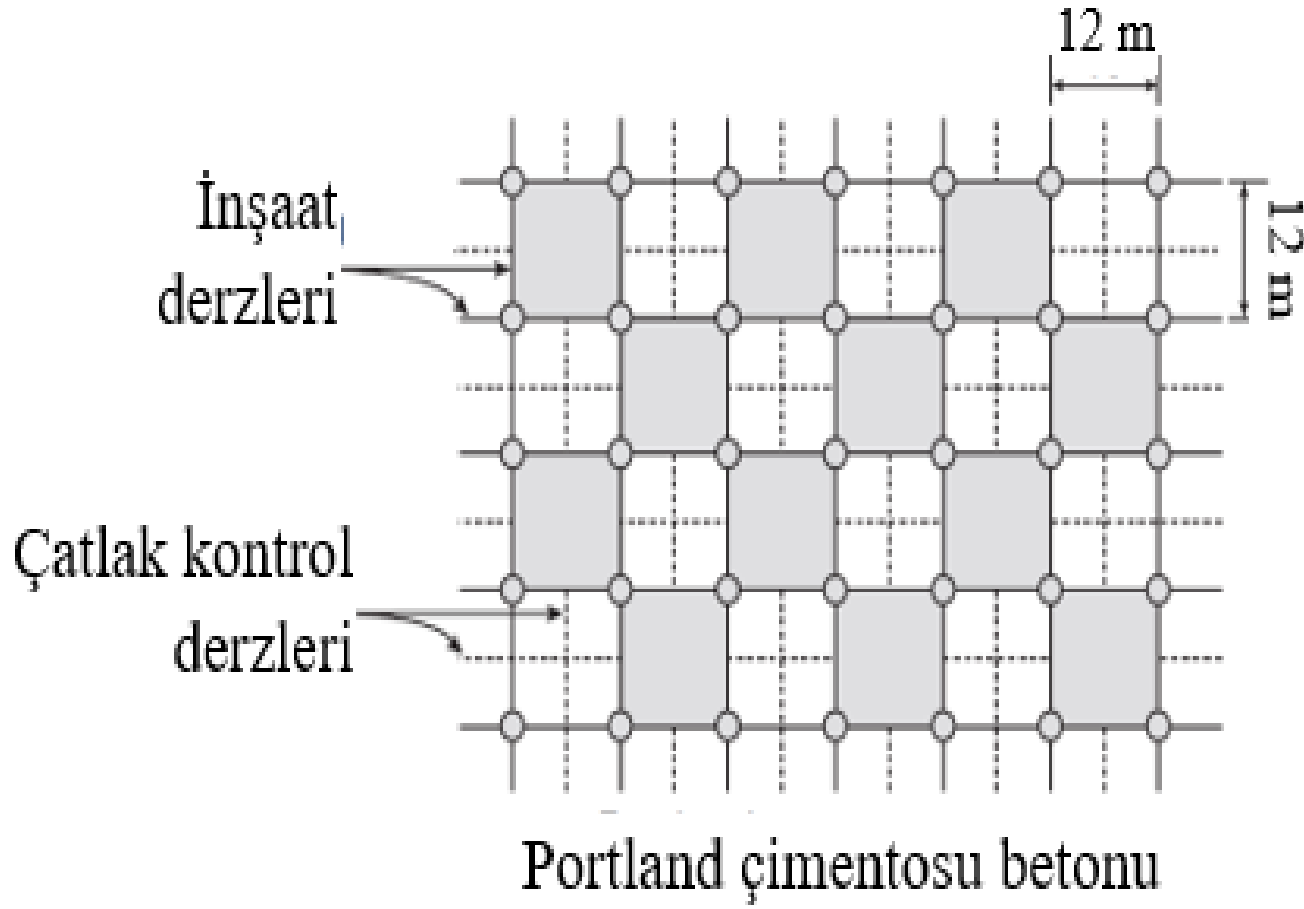


RPB'nin $G_F \approx 300$ (NB'nun G_F), 300 kat
SIFCON'un $G_F \approx 1450$ (NB'nun G_F), 1450 kat

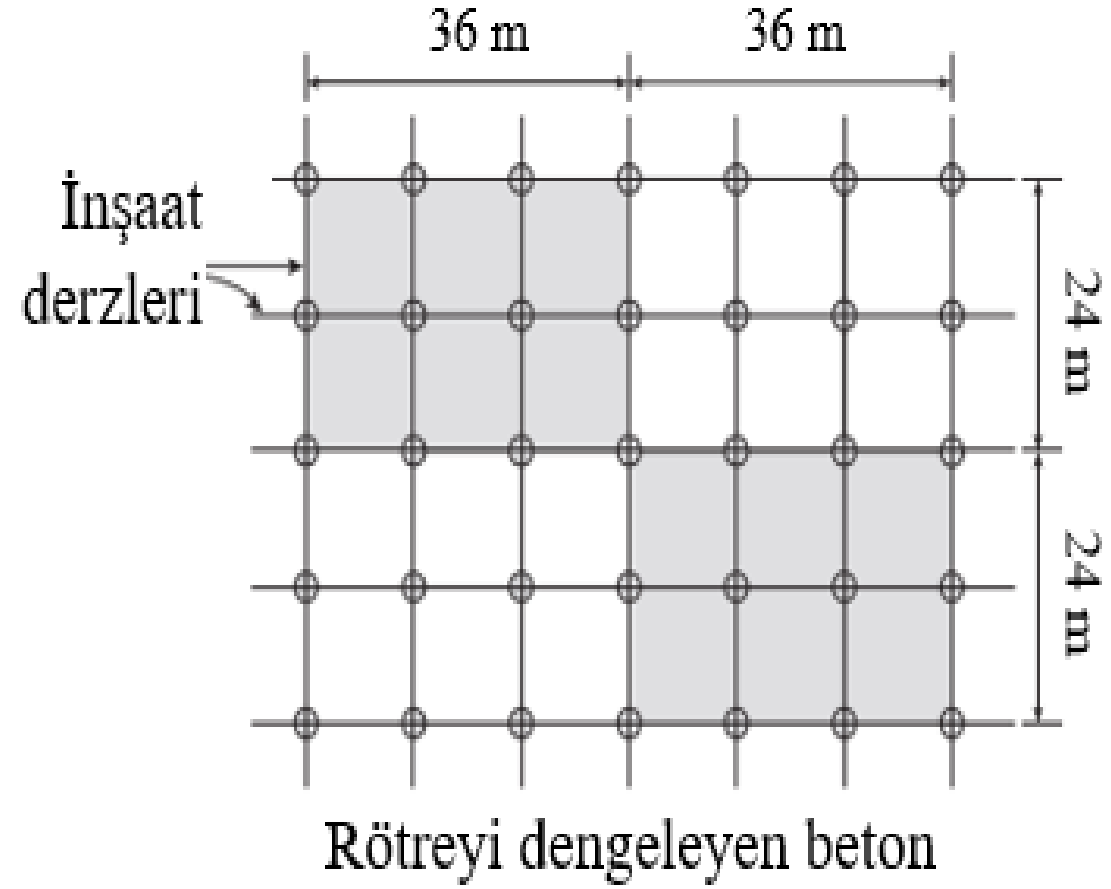


FRC'nin tasarımında çekme deneyinden elde parametrelerin tasarımda doğrudan kullanılmasına karşın daha kararlı çatlak yayılmasının elde edildiği eğilme deneyine dayalı parametrelerin dolaylı kullanılmasına yönelik şematik bir gösterim (Amin vd., 2015)

İstenen performansa göre bir ÇTDB'da optimum karışım tasarımı, üretimi, çentikli kiriş numunleri yardımıyla gerekli parametrelerin elde edilmesi, istatistiksel analiz sonucu karakteristik değerlerin bulunması, bunların modeller yardımıyla tek eksenli haldeki değerlere dönüştürülmesi ve tam ölçekli halde tasarlanmış elemanların üretimiyle taze halde pompalanabilirlik ile işlenebilirliğin, sertleşmiş halde ise lif dağılımının ve yönlenmesinin incelenmesine yönelik şematik bir gösterim.



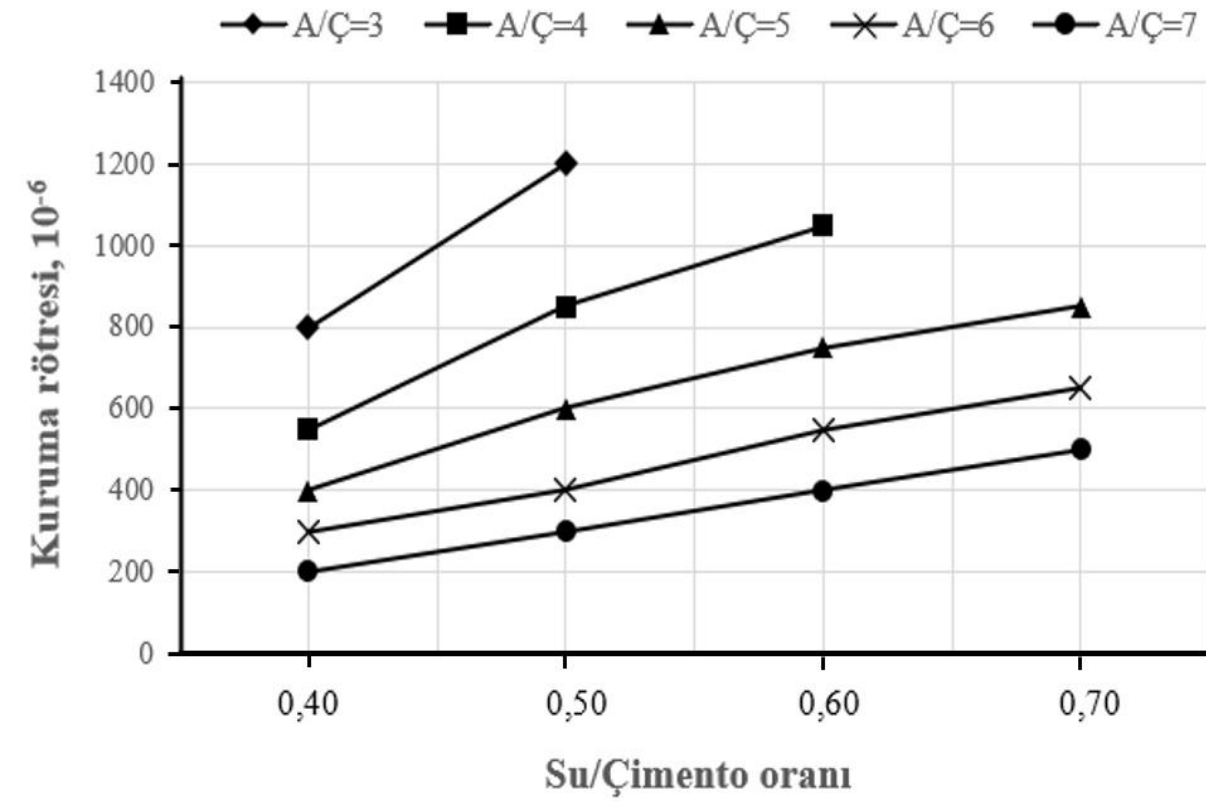
(a)



(b)

Betonda inşaat derzleri bakımından bir karşılaştırma: Portland çimentosu betonunda inşaat ve çatlak kontrol derzlerinin toplam uzunluğu: 54km (a), Genleşen çimentolu betonunda sadece inşaat derzleri söz konusu olup toplamı 10,5km'dir. Böylece, derz uzunluğunda %80 oranında bir azalma olmuştur (Hoffman ve Opbroeck, 1979).

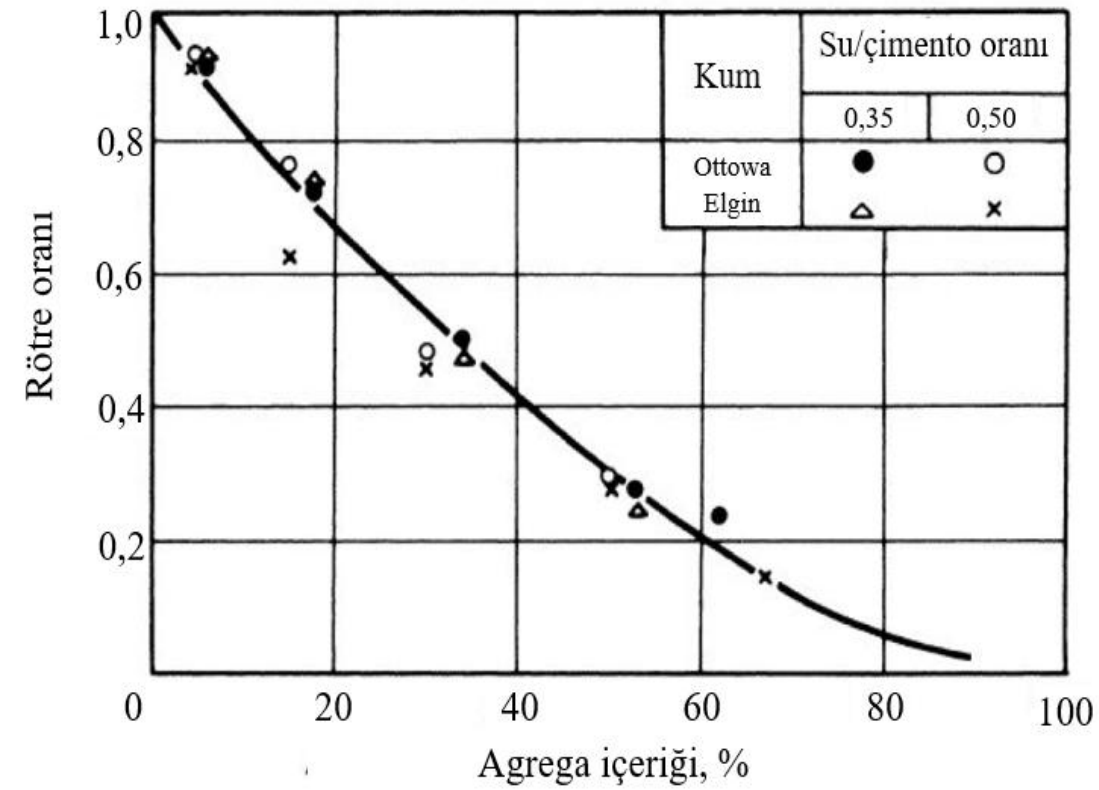
ABD Midwest'teki 150 mm kalınlığında, 186 000 m²'lik bir endüstriyel zeminin inşaatı



Betonun kuruma rötresine “su / çimento” oranı ile “agrega/çimento” oranının ortak etkileri (Lea, 1970)

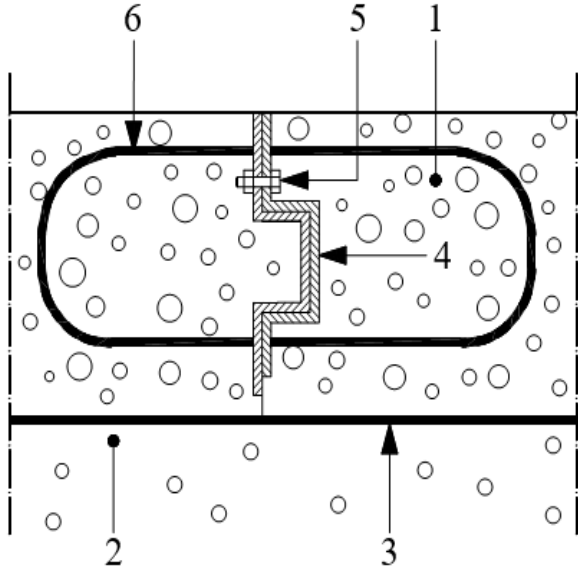
$$R_b = R_h (1-V_a)^n$$

Bu formülde, R_b ve R_h sırasıyla betonun ve çimento hamurunun rötresi, V_a agreganın hacim oranı, n ise 1,2-1,7 aralığında değişen bir katsayıdır



Çimento hamurunun rötresine oranla betondaki hacimsel agrega içeriğinin betonun rötresine etkisi (Pickett, 1956)

Geniş alan dökümlerinde Omega derzleri



(a)



(b)



(c)



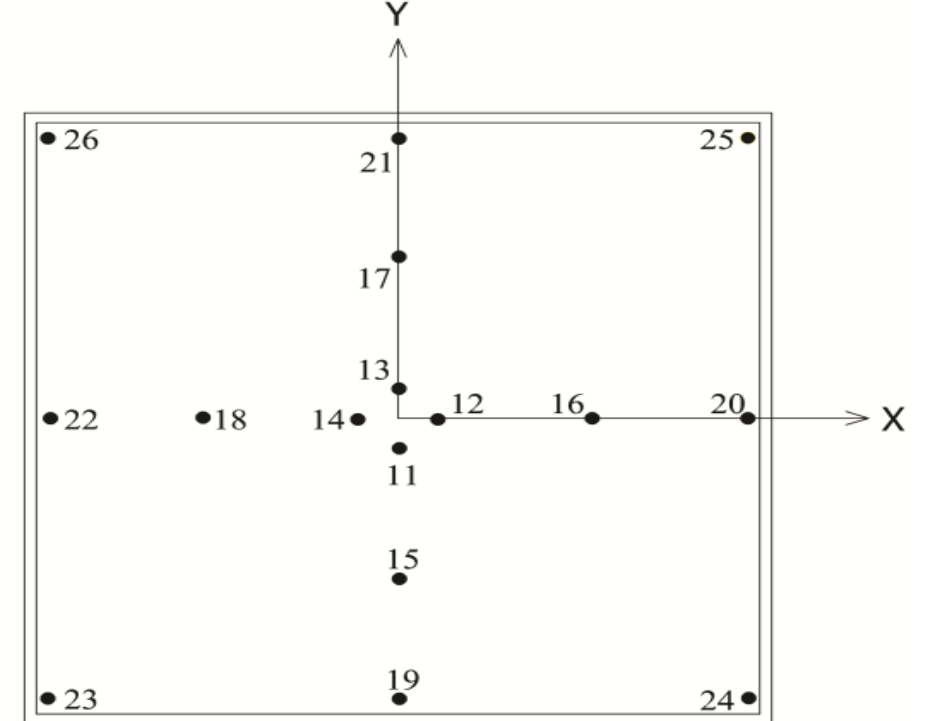
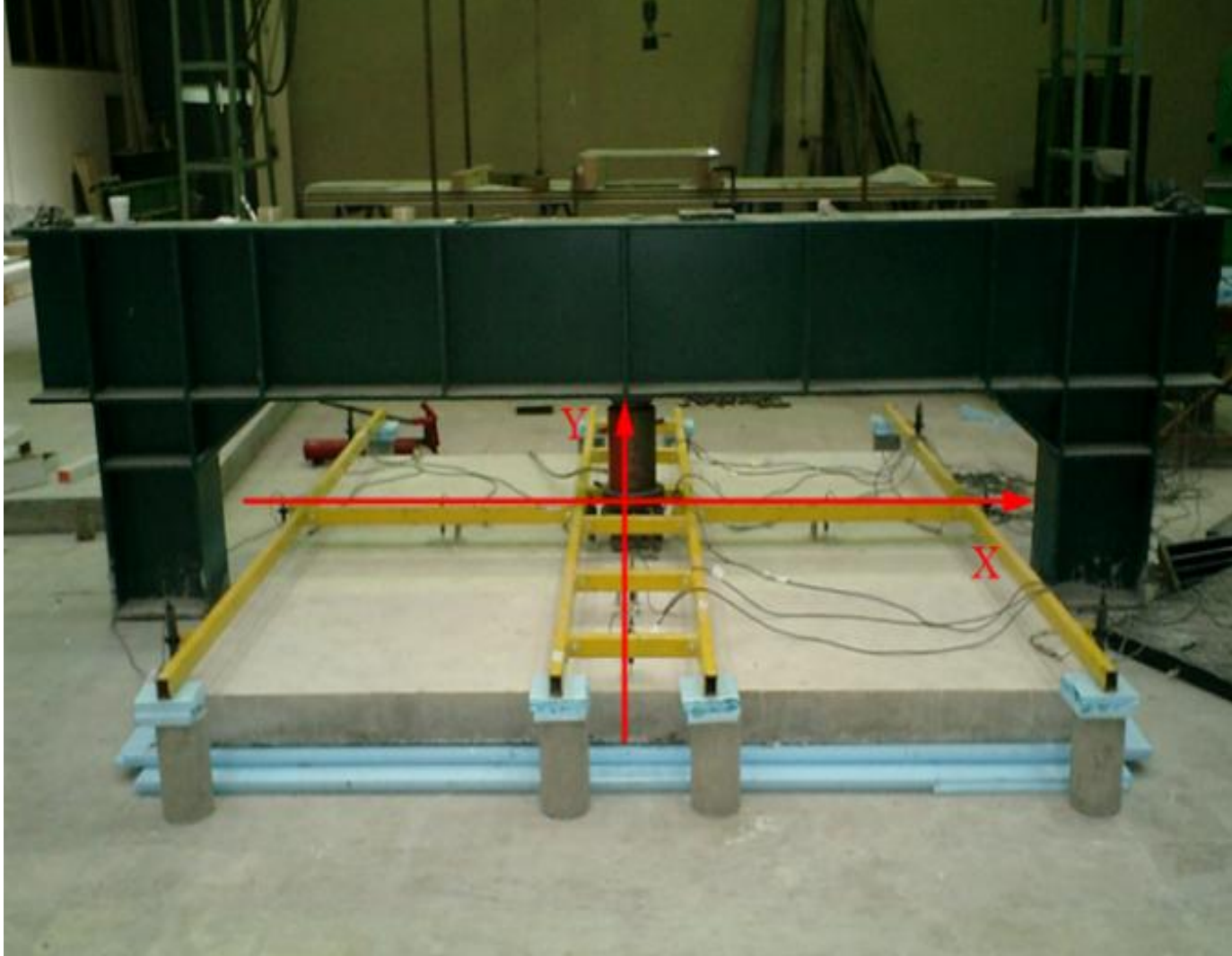
(d)

Omega derzinin şematik gösterimi (a), omega derz detayları; (1) İlk dökülen beton, (2) Alt zemin, (3) Plastik örtü, (4) Çelik yapılmış omega derz levhası, (5) Derz levhalarını birlikte tutan plastik civata (Betonun büzülmesiyle kopar), (6) Derz levhalarının tutturulmasını ve betona ankrajını sağlayan demir çubuklar (a) Bir tarafı dökülmüş omega derzli bir zemin betonu (b), Omega derzli bir zemin betonunun yakından görünüşü (c). İncelenen şantiyede kullanılan Omega derzine benzer biçimde, bir tarafı dökülmüş S derzli bir endüstriyel zemin betonu. Bu yöntem güncel olup, geniş alan dökümüne uygundur. Ancak bu uygulamada, naylon örtü derze yakın biraz kısa kalmış, tek sıra hazır donatının kesit içindeki konumunun iyi bir şekilde belirlenmiş olması, pas payı kalınlıklarının da yeterli ve uygun yerleştirilmesi gerekir (d).

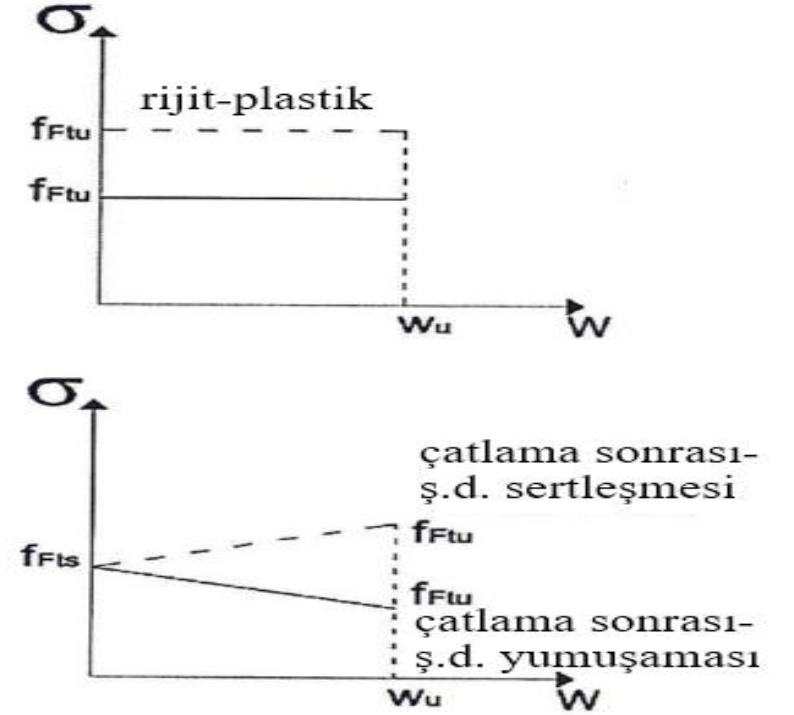
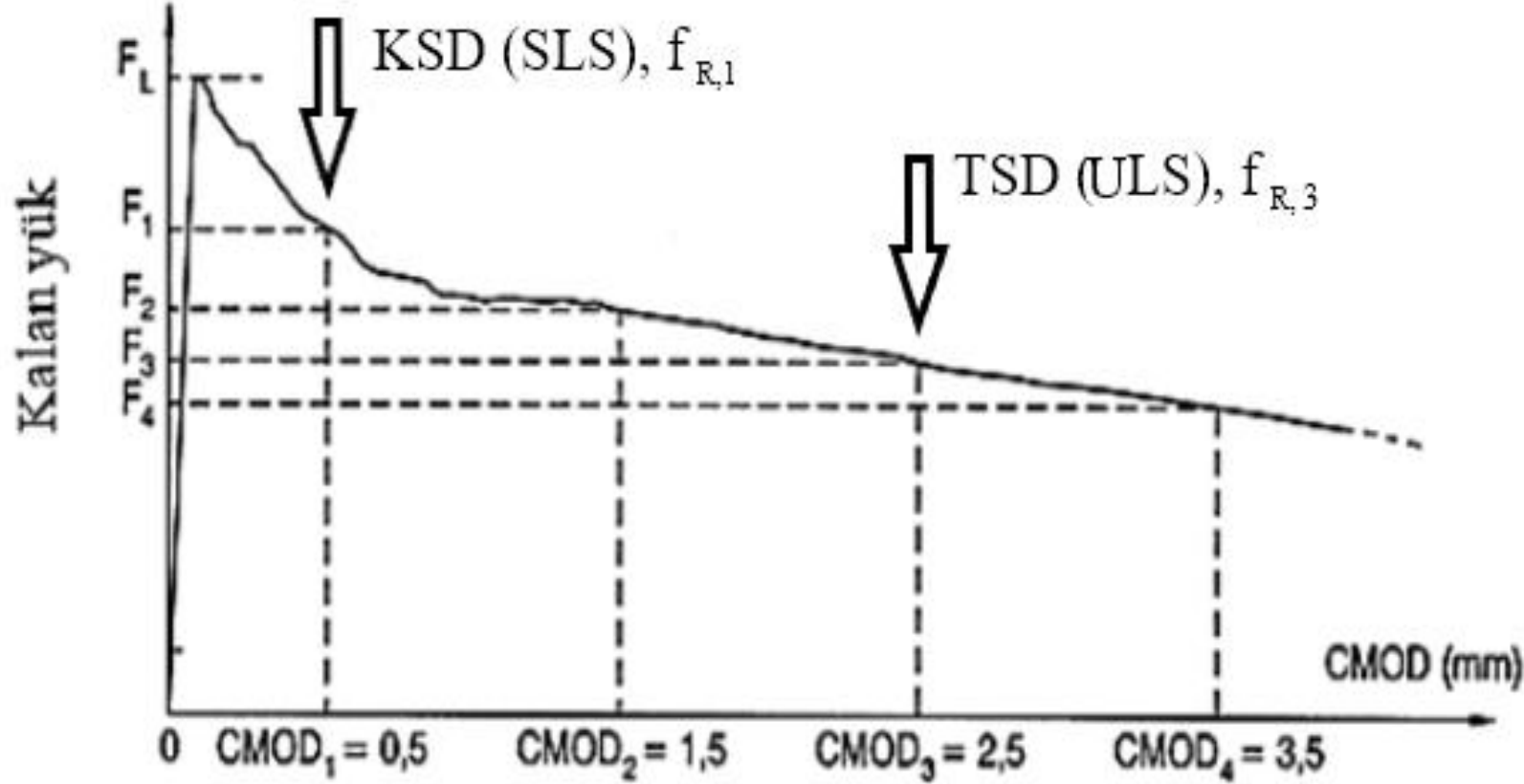
Bazı ÇTDB uygulamaları (Prefabrike elemanlar)



Bazı ÇTDB uyg. (Prefabrike elemanlar, devam) ve EZB uygulamaları



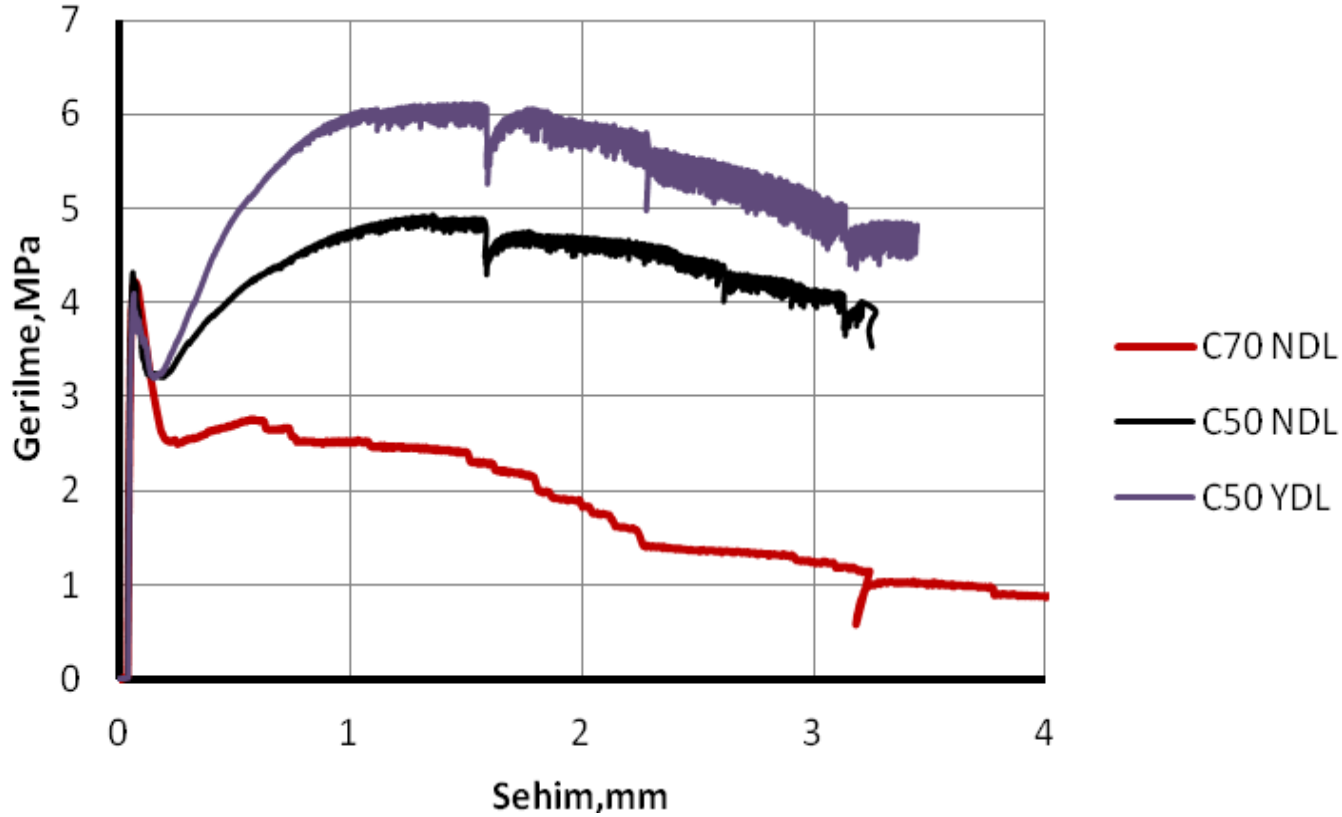
ÇTDB'larda «Kalan Yük – CMOD» bağıntısı



fib Model Code 2010 (2012)'a göre f_{R3k}/f_{R1k} oranı bakımından şekil değiştirme davranışı

Sınıf	f_{R3k}/f_{R1k} oranının değişim aralığı	Malzemenin şekil değiştirme davranışı
a	$0,5 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 0,7$	Şekil değiştirme yumuşaması
b	$0,7 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 0,9$	
c	$0,9 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 1,1$	Rijit plastik
d	$1,1 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 1,3$	Şekil değiştirme sertleşmesi
e	$f_{R3k}/f_{R1k} \geq 1,3$	

Çelik Tel Donatılı Betonlarda «Sehim-CMOD» Bağıntısı



$f_{R1k} / f_{Lk} > 0,4$ ve
 $f_{R3k} / f_{R1k} > 0,5$ ise ÇTD kısmen veya tamamen klasik donatının yerini alabilir.

$f_{R,1} = 3,44 \text{ MPa}$ CMOD = 0,5mm

$f_{R,4} = 2,70 \text{ MPa}$ CMOD = 3,5mm

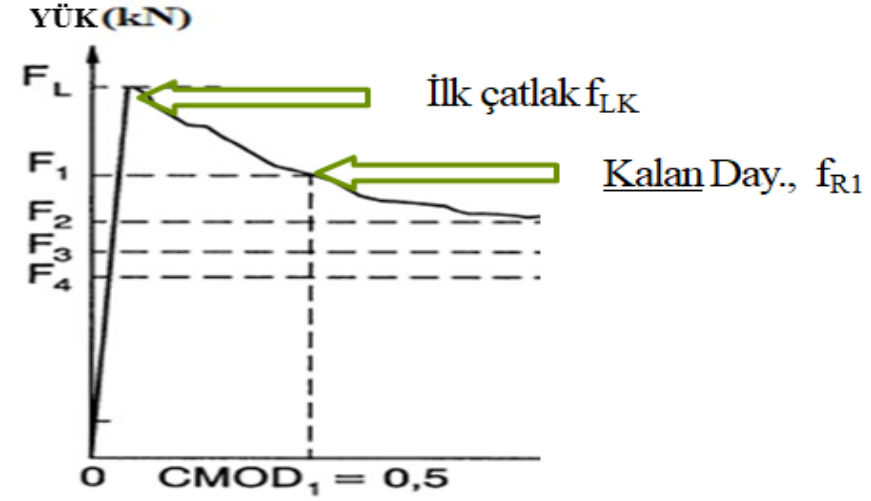
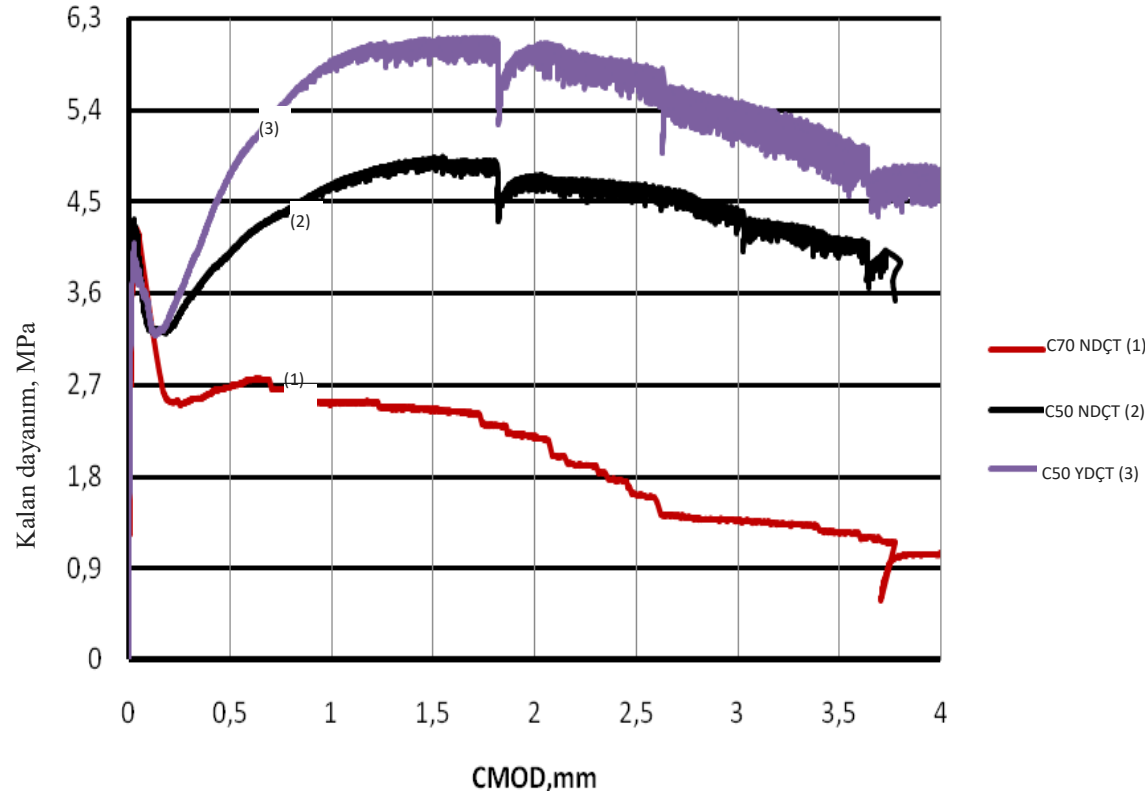
Çelik tel içeriği = 25 kg/m³

$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$

PAS 8810:2016

Tunnel design – Design of concrete segmental tunnel linings – Code of practice





$$\frac{f_{R1k}}{f_{Lk}} > 0,4 \text{ ve } \frac{f_{R3k}}{f_{R1k}} > 0,5$$

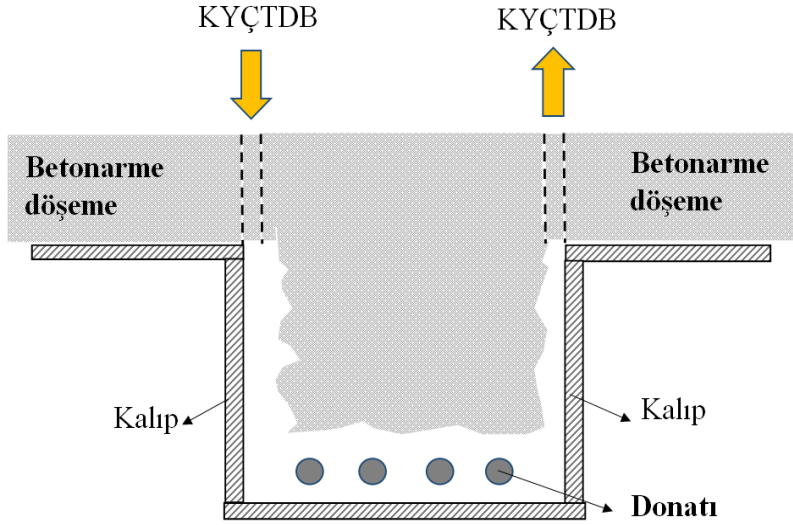
C70 NDÇT’de $2,7/4,4 = 0,61 > 0,4$ ve $1,7 / 2,7 = 0,63 > 0,5$, fakat $f_{R,1} = 2,7 < 3,44$ MPa ve $f_{R,4} = 1,3 < 2,7$ MPa). Buna karşın, C50 NDÇT’de $4,0 / 4,3 = 0,93 > 0,4$ ve $4,6 / 4,0 = 1,15 > 0,5$ ve C50 YDÇT’de $4,8 / 4,3 = 1,12 > 0,4$ ve $5,9 / 4,8 = 1,23 > 0,5$



Betonun kodu	Kalan dayanım, MPa				Performans sınıfı	Malzeme davranışı
	$f_{R,L}$	$f_{R,1}$	$f_{R,3}$	$f_{R,4}$		
C70 NDÇT	4,4	2,7	1,7	1,3	ÇTDB 70/85-2a-F2,7/1,7-XC3/XA2	Şekil d. yumuşaması
C50 NDÇT	4,3	4,0	4,6	4,1	ÇTDB 50/60-4d-F4,0/4,6-XC3/XA2	Şekil d. sertleşmesi
C50 YDÇT	4,3	4,8	5,9	5,0	ÇTDB 50/60-4d-F4,8/5,9-XC3/XA2	Şekil d. sertleşmesi

Resim : Doha Metrosu/Gülermak ÇTD precast segment uygulaması, 2017

Bileşik Kaplar Yöntemi Kullanarak ÇTDB ile Onarımı



Önemli aşamalar;

- 1) kusurun analizi,
- 2) yüzey hazırlığı,
- 3) uygun malz. seçimi,
- 4) aderans dayanımı ve
- 5) O. sisteminin dürabilitesi



«Eski beton-onarım sistemi» arayüzeyinde agrega kenetlenmesi yok, mikro-çatlakların uçlarını AEA (Hava Sürkleyici Kimyasal Katlı) ile körelterek gerilme yığılmasını düşürmek, meso ve makro çelik teller kullanarak çatlak yayılmasına karşı direnci arttırmak

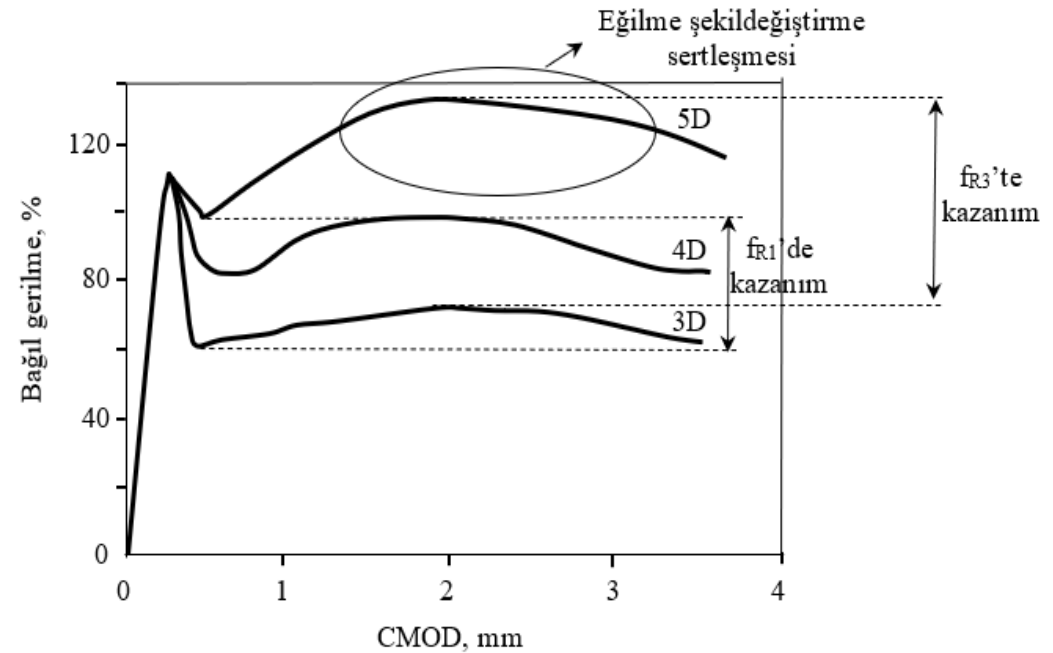
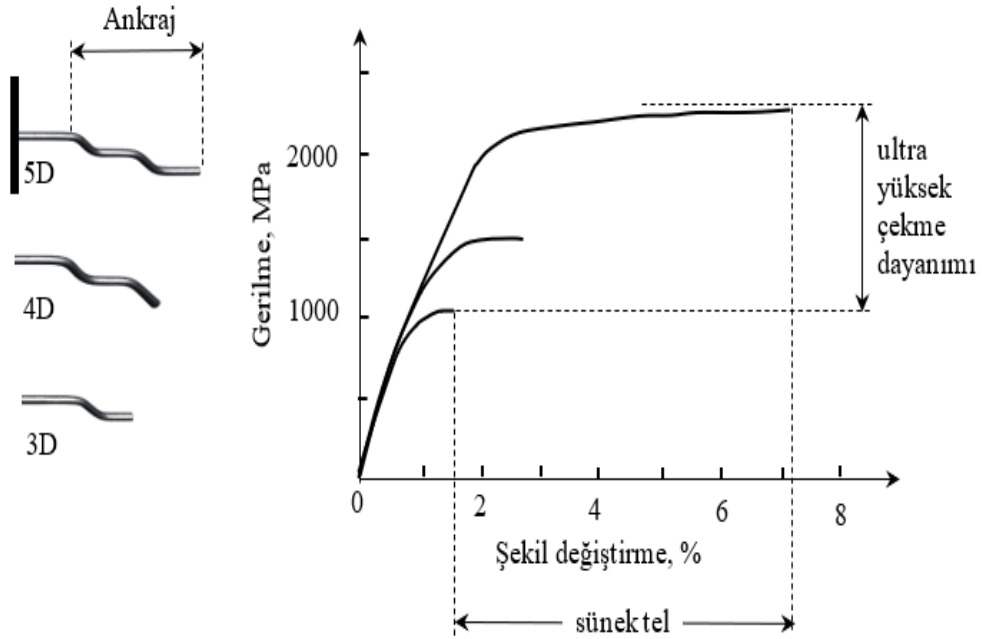
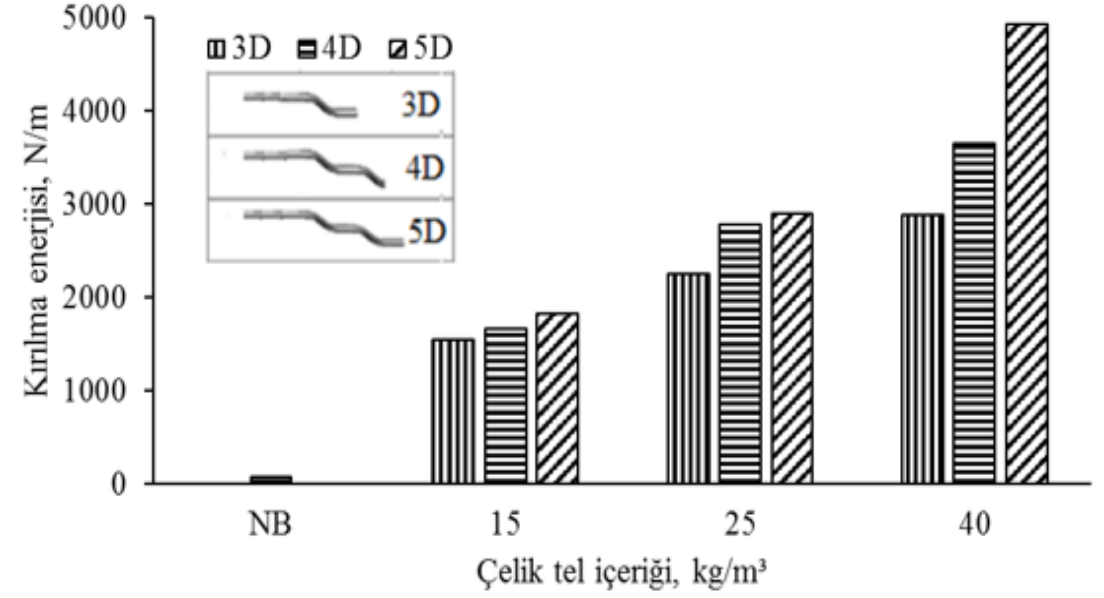
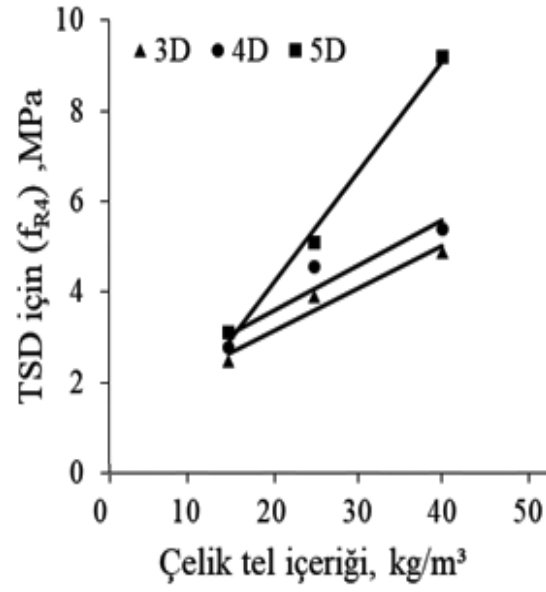
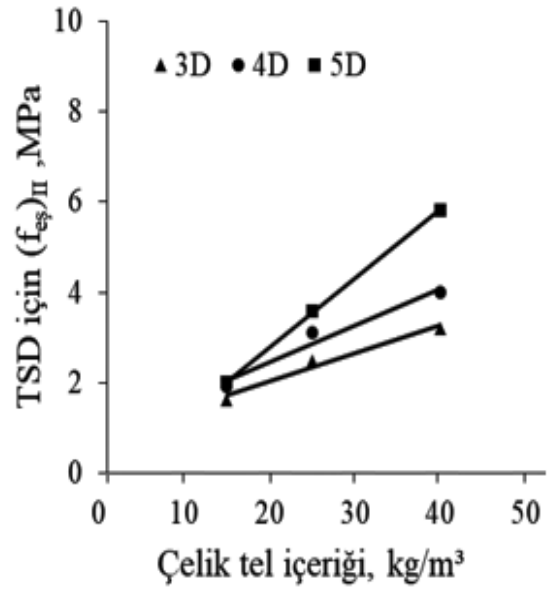
Hacmen %2 (150 kg/m³)yüksek dayanımlı düz çelik tel (Dramix OL çelik teli, boy = 6mm ve çap =0,15mm, dayanımı 2000 MPa) içeren grout harcının 7 ve 28 günlük küp basınç dayanımları sırasıyla;
63,7 MPa ve 73,8 MPa

Bileşik Kaplar Tekniđi Kullanarak Kolon-Kiriş Birleřim Bölgesinde ÇTDB ile Onarım



Ara yüzeyin aderans dayanımı için; i) yeterli pürüzlülük ve temizlik, ii) epoksi ile yapıştırma, iii) AEA (mikroçatlak uçlarını köreltmek için), iv) çatlak yayılmasına karşı TD

Ayrıca, mevcut betonla onarım sistemi arasında; i) Yük aktarımı, ii) Elastik sabitlerin yakın olması, iii) yeterli aderans day., iv) zamana bağı boyut kararlılığı, ve v) Dürabilite.



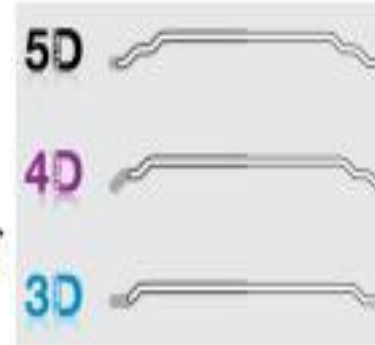
Püskürtme beton 3D



3D 65/35



Makro sentetik lif



Püskürtme beton 4D
Prekast Segment



4D 65/35

Prekast segment
4D



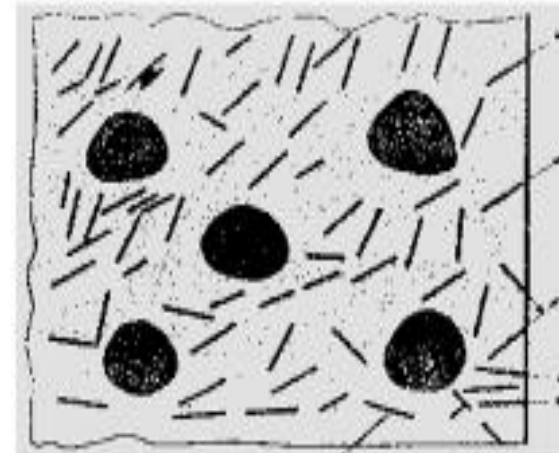
4D + PP fiber



Yerinde döküm
iç kaplama 5D

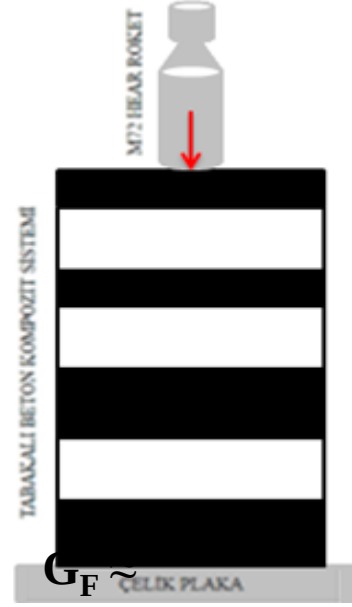
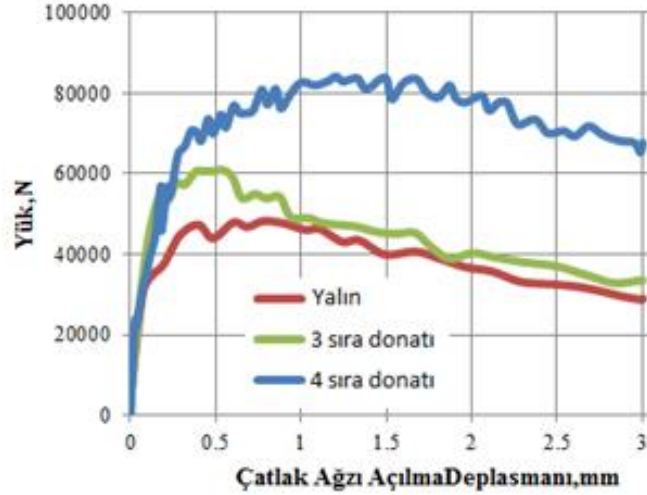


5D + PP fiber



Koruyucu yapılar için ÇTDB'lar

Göz: 25x25mm, Çap:
3mm, Akma s.:500 MPa,
Çekme day.: 550 MPa,
Kopma Uz. O.: %8



ÇTDB'da $17,3/8,8 = 1,97 > 0,4$ ve
 $11,8 / 17,3 = 0,68 > 0,5$
ÇYDÇTDB-17a-F17,3/11,8



a) Tabakalı kompozit

b) Patlama öncesi

c) Patlama sonrası

ÇTDB: $G_F = 10207 \text{ J/m}^2$

ÇTDB + 3 sıra ç.h.d : $G_F = 11835 \text{ J/m}^2$

ÇTDB + 4 sıra ç.h.d : $G_F = 23828 \text{ J/m}^2$

NB'na kıyasla (70 J/m^2), sırasıyla;

146, 169 ve 340 kat artış

M72 LAW silahı 66mm Hear Roketinin statik olarak (uzaktan patlatma) etkisine maruz bırakılan yüksek performanslı çimento esaslı tabakalı kompozit (a), (a). Patlama öncesi (b). Patlama sonrası (c).



EN 14889, EN 14651'deki eğilme deneyinde üreticinin,

- 0,5 mm'lik bir çatlak ağzı açılma deplasmanı (CMOD) değerinde en az 1,5 MPa (fR1),
- 2,5mm'lik CMOD için de en az 1,0 MPa'lık bir geri kalan dayanım sağlayan lif hacmini (kg/m^3) beyan etmesini gerektirir.

EN 14651'deki deney tekniğine göre elde edilen karakteristik geri kalan dayanımların tek eksenli çekme haline dönüştürülmüş değerlerini Model Code 10 tasarımda göz önüne alır.

Mikro sentetik lifler çelik liflerin yerini almaz ve bunun tersi de geçerlidir. Her iki lif türü betona çok farklı özellikler kazandırdığından uygulama alanları örtüşmez, ikame yerine, her iki lif türü de tamamlayıcı olarak kullanılabilir. Çelik lifler çatlak sonrası direnç sağlar ve böylece donatı görevi görürken, sentetik mikro lifler;

- i) plastik rötre nedeniyle çatlamayı azaltır ve
- ii) betonun yangın direncini artırır, dolayısıyla herhangi bir donatı etkisi sağlamazlar.

Betonu lifle güçlendirme sürecini düşünürken gözden geçirilmesi gereken en az dört önemli husus vardır; 1) Elastisite modülü, 2) Poisson oranı, 3) çekme mukavemeti ve 4) sünme.

Böylece; çelik lifler, iyi bilinen mühendislik özelliklerine sahip bir malzemedir. Çeliğin E-modülü betondan daha büyüktür. Çelik lifler gerilmeleri hızla karşılar ve çatlama sürecini hemen etkiler. Çelik tel donatılı betonun uzun süreli yük taşıma kapasitesi önemlidir. Çelik lifler, ASTM A820 malzeme özelliğine sahiptir. Makro sentetik lifler çok çeşitlidir ve çok farklı malzeme özelliklerine sahiptir. Makro sentetik liflerin ASTM'de bir malzeme özelliği ? . Tüm makro sentetik lifler, betondan daha düşük bir E-modülüne ve nispeten düşük çekme dayanımlarına sahiptir. Bu nedenle, makro sentetik liflerin betonda beklenen işlevi görebilmeleri için belirli bir çatlak genişliğinin oluşması gerekir ve daha sonra sadece orta derecede çatlak sonrası mukavemet değerleri elde edilebilir. Makro sentetik lifler ayrıca, lifin uzun süreli yükleme kapasitesini azaltan veya yok eden sünmeye maruz kalır. Artan ortam sıcaklıkları ile sünme oranı artabilir.