

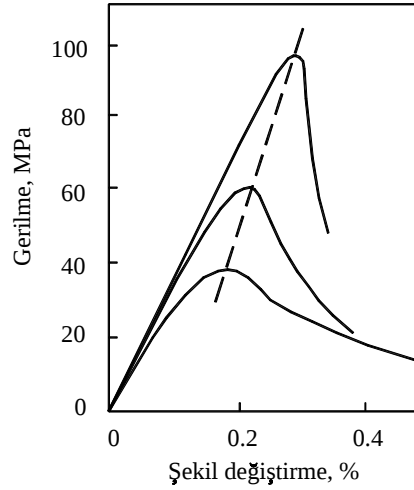
BÖLÜM 9. YÜKSEK PERFORMANSLI LİF DONATILI KOMPOZİTLER

9.1 YÜKSEK DAYANIMLI /YÜKSEK PERFORMANSLI BETONLAR (YDB-YPB)

Bu bölümde yüksek dayanım ve yüksek performans gerektiren bazı özel zeminler için önemli kullanım potansiyeline sahip betonların mekanik davranışları üzerinde durulmaktadır. Bu betonların çatlamaya karşı riski normal dayanımlı betonlardan daha azdır. Bu nedenle özellikle ilk yaşlardaki erken rötreye karşı önlem alınması halinde gelecekte bazı zemin uygulamalarında kullanılmaları söz konusudur.

Yüksek Performanslı beton (YPB) dürabilite koşulunu da sağlayan yüksek dayanımlı betondur. Bununla birlikte değişik tanımlar da yapılmaktadır. ABD'deki Stratejik Otoyol Araştırma Programı'na (SHRP) göre Yüksek Performanslı Beton, dayanımı, dürabilitesi ve su/bağlayıcı oranı bakımından aşağıdaki gibi tanımlanabilir [1]:

- i) çok erken dayanımlı beton: 4 saatlik basınç dayanımı $\geq 17,5$ MPa; çok yüksek erken dayanımlı beton: 24 saatlik basınç dayanımı ≥ 35 MPa; çok yüksek dayanımlı beton: 28 günlük basınç dayanımı ≥ 70 MPa,
- ii) dürabilite çarpanı $\geq \%80$ (donma-çözülmenin 300 tekrarından sonra),
- iii) su/bağlayıcı oranı $\leq 0,35$.



Şekil 9.1 Tek eksenli basınç altında normal ve yüksek dayanımlı yalın betonlarda gerilme - şekil değiştirme eğrisi [2]

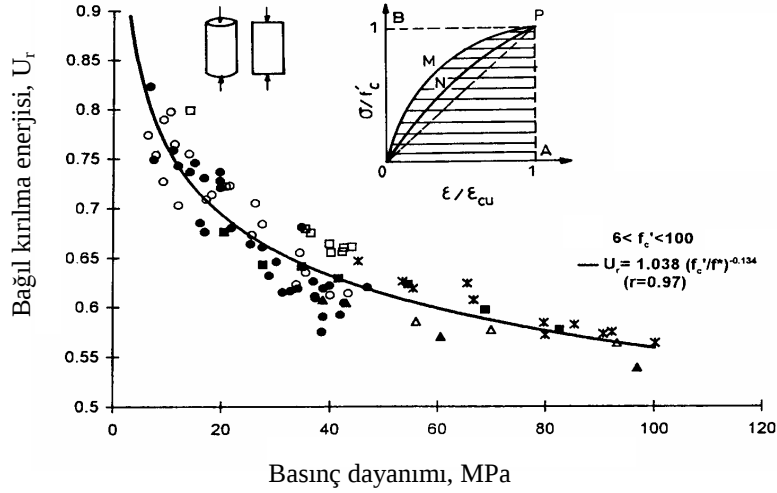
Şekil 9.1'de görüldüğü gibi tepe noktasına kadar yüksek dayanıma sahip yalın betonun gerilme şekil değiştirme eğrisinin yükselen kısmı hemen hemen lineerdir.

Yüksek dayanımlı yalın betonlarda eksenel şekil değiştirme kapasiteleri artmakta ve tepe noktası geçildikten sonra gerilme düşüşü ani olmakta ve daha gevrek kırılmaktadır. Şekil 9.1 elastisite modülündeki bağıl artışın basınç dayanımındaki bağıl artıştan daha az olduğunu da göstermektedir. Yüksek dayanımlı betonlar için, en yüksek gerilmeye kadar

yutulan bağıl enerji daha düşük dayanımlı betonlarınkinden düşüktür. Bu durum aşağıda açıklanmaktadır [3].

Basınç altında enerji yutma kapasitesi, gerilme-şekil değiştirme eğrisi altında kalan alanın tepe noktasına kadar kısmının hesaplanmasıyla belirlenir. Bu eğrinin yükselen kısmında hem gerilme hem de şekil değiştirme normalize edilir. Bunun için Şekil 9.2'deki küçük şekilde görüldüğü gibi ordinattaki gerilme değerleri basınç dayanımı (f'_c) ile, apsisteki şekil değiştirme değerleri ise tepe noktasına karşı gelen şekil değiştirme (ϵ_u) ile bölünür. Böylece normalize edilmiş eğriye dayanarak, yutulan bağıl enerji (U_r) aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$U_r = \frac{\int_0^{\epsilon_u} \sigma(\epsilon) d\epsilon}{f'_c \cdot \epsilon_u} \quad (9.1)$$



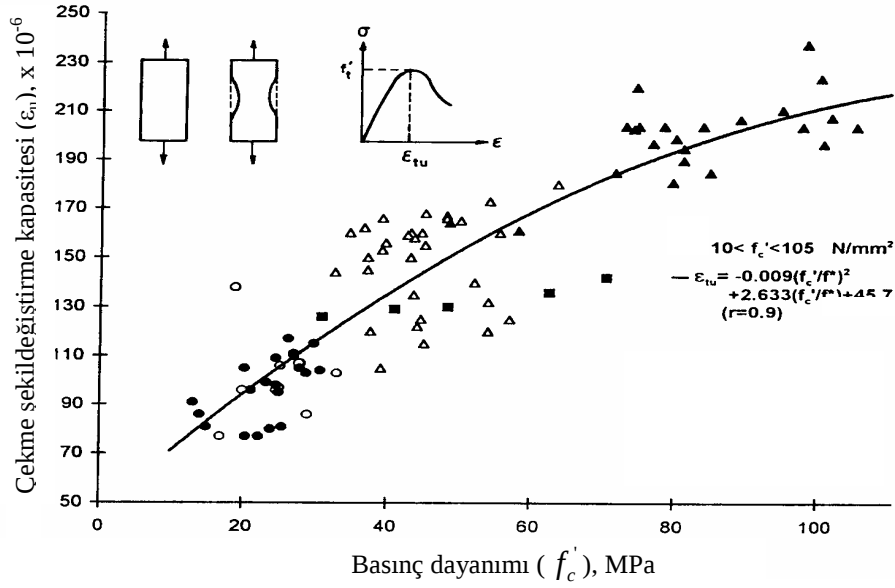
Şekil 9.2 Bağıl kırılma enerjisi-basınç dayanımı ilişkisi [3]

Bu şeklin incelenmesinden görüldüğü gibi, OP doğrusu OAPB karesinin köşegenidir. Eğer eğri OP'yi izlerse malzeme lineer elastik ve gevrek, OBP yolunu izlerse mükemmel plastik olacaktır. Böylece, yutulan bağıl enerji, U_r , 0.5 ve 1 arasında olur. Eğer eğri OMP yerine ONP'yi izlerse, bu betonun daha gevrek davranışa sahip olduğunu gösterir. Şekil 2'de, basınç dayanımı arttıkça tepe noktasına kadar yutulan bağıl enerji belirgin biçimde azalmaktadır. Böylece, tepe noktasına kadar yutulan bağıl enerji (U_r) aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$U_r = 1.038 \left(f'_c / f^* \right)^{-0.134} \quad (9.2)$$

burada $f^* = 1$ MPa'dır. Denklem (9.2) ile gösterilen bağıntıda, korelasyon katsayısı çok yüksektir (0,97) ve denklem basınç dayanımlarının 6 MPa'dan 100 MPa'a kadar olan bir aralığı için geçerlidir. Yutulan bağıl enerjinin değerlendirilmesi için literatürden alınan ve tek eksenli basınç yüklemesi altındaki sonuçları içeren 85 farklı beton deney verisi kullanılmıştır. Bütün deney sonuçları silindirler veya prizmalar üzerinde kapalı çevrimli deplasman kontrollü deney koşullarına dayanmaktadır [3].

Farklı yükleme koşullarında, dayanım arttıkça tepe noktasındaki şekil değiştirme artmaktadır [4]. Betonun çekme şekil değiştirme kapasitesi için bir örnek burada verilmektedir. Bu, çatlak kontrolü ve çatlama riskinin belirlenmesi için gereklidir [5].



Şekil 9.3 Çekme şekil değiştirme kapasitesi-basınç dayanımı ilişkisi [3]

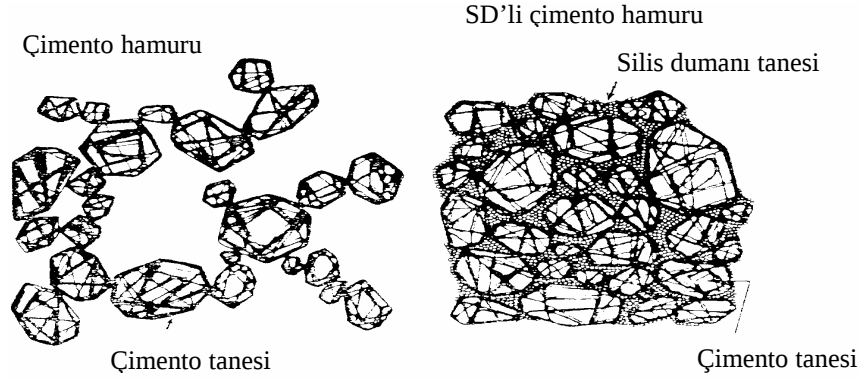
Çekme-şekil değiştirme kapasitesi, bir malzemenin çatlama riskini azaltmak için esas teşkil eder. Çekme şekil değiştirme kapasitesi verilerini değerlendirmek için, betonların çok geniş bir aralığında daraltılmış veya daraltılmamış kesitli çentiksiz numuneler kullanan Taşdemir ve diğ. [3] literatürde verilen deney sonuçlarının 90 adedine dayanan verileri Şekil 9.3'teki gibi göstermişlerdir. Diğer gerilme hallerine ait şekil değiştirme kapasiteleri Tablo 9.1'de verilmektedir.

Tablo 9.1 Tek eksenli basınç, tek eksenli çekme, eğilme ve burulma hallerinde basınç dayanım – en yüksek gerilmedeki şekil değiştirme ilişkisi [3]

Yükleme durumu	Şekil değiştirme kapasitesi (10^{-6}) - Basınç dayanımı (MPa) ilişkisi	Basınç dayanımı aralığı (MPa)	Korelasyon katsayısı
Tek eksenli basınç	$\epsilon_{cu} = -0.009(f'_c/f^*)^2 + 2.633(f'_c/f^*) + 45.7$	6-110	0,75
Tek eksenli çekme	$\epsilon_{tu} = -0.067(f'_c/f^*)^2 + 29.9(f'_c/f^*) + 1053$	10-105	0,90
Eğilme	$\epsilon_{fu} = -0.0007(f'_c/f^*)^2 + 1.825(f'_c/f^*) + 67.7$	5-85	0,84
Burulma	$f_{su} = -0.0005(f'_c/f^*)^2 + 1.05(f'_c/f^*) + 245.6$	37-110	0,97

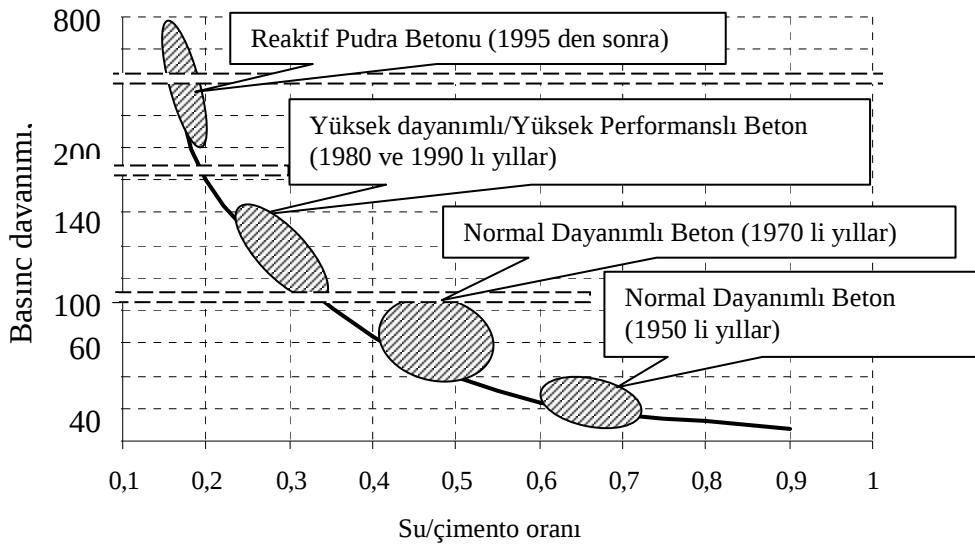
Şekil 9.3 ve Tablo 9.1’de görüldüğü gibi tek eksenli çekme, basınç, eğilme ve burulma hallerinde tepe noktasındaki şekil değiştirme basınç dayanımında artışla artmaktadır.

Silis dumanı içeren betonlar üzerine ilk deneyler 1950’li yılların başlarında Norveç Teknoloji Enstitüsü’nde yapılmıştır. Bir ilk uygulama olarak, silis dumanının betonda kullanımı 1971’de yine Norveç’te gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, betonda silis dumanının pratik kullanımında ve araştırmalarda giderek artış görülmüştür. Silis dumanı içeren bir çimento hamurunda Şekil 9.4’te görüldüğü gibi sıkı bir diziliş elde edilir. 1980’li yıllardan itibaren betonda süperakışkanlaştırıcıların ve silis dumanı gibi ultra incelikteki mineral katkıların birlikte kullanılması dayanımlarda çok yüksek artışlar sağlamıştır (Şekil 9.5).



Şekil 9.4 Silis dumanının çimento hamurundaki boşlukları doldurma etkisi [6]

Son 15 yıl boyunca, yüksek dayanımlı beton üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar, şartnamelerin kapsamının genişlemesine ve basınç dayanım sınıfları C100’ü aşan betonarme yapıların tasarımına neden olmuştur [7].



Şekil 9.5 Betonun evrimi kapsamında basınç dayanımı-su/çimento ilişkisi