Brice çatlama katsayısının verdiği bazı aykırı sonuçlar üzerine

Tevfik Seno ARDA[1]

1. Giriş

Çatlama olayının incelenmesinde çok kullanılan hipotezlerden biri de L. P. Brice'e aittir. Brice'e göre aderans gerilmesinin alabileceği en büyük değer

$$\tau_{d,\,max} = f(K\,,\ \sigma_{br}\,,\ e_e/c_b)$$

türü bir bağıntıyla belirlenmektedir. Burada K, çelik çubukların özel profiline, çapına ve kesitteki yerleştirilişine bağlı, deneysel olarak bulunan bir katsayıdır (Brice çatlama katsayısı). Ortalama değeri, düz yüzeyli yuvarlak normal betonarme çeliği için 1,00, aderansı geliştirilmiş yüksek mukavemetli betonarme çeliği için 1,60 ~ 2,00 olan bu katsayı, deneylerde ne kadar yüksek elde edilirse çubuğun çatlama yönünden o kadar üstün olduğu kanısına varılmaktadır.

Liège Üniversitesi (Belçika), Uygulamalı Bilimler Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Laboratuarlarında tarafımdan yapılan ve bitişik konumdaki betonarme donatı çubuklarının aderansını inceleyen deneysel bir araştırmanın [1] bir yan sonucu olarak, eş enkesit alanlı çekme donatısının (eğilmede), beton kesite çeşitli yerleştirilmiş durumlarında Brice çatlama katsayısıyla, çatlama durumu arasında bazı aykırılıklar gözlenmiştir. Bu aykırılıklar özellikle küçük çaplı iki ya da üç çubuk yerine onlarla eş kesitli tek bir çubuk konulması durumunda ortaya çıkmaktadır. Sunulan incelemede ilgili deney sonuçları verilmekte, aykırılığın nedenleri üzerinde görüş sunulmakta, bu görüşe dayanan bir öneri tartışmaya açık bırakılmaktadır.

2. Çatlama olayı ve Brice çatlama katsayısı

İşletme yükleri altında 1400 kg/cm² mertebesinde küçük sayılabilecek gerilmeler alan düz yüzeyli yuvarlak olağan piyasa çeliğiyle (B.Ç.I)

---

[1] Doç. Dr., İ.T.Ü. Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Betonarme, Ahşap ve Çelik Yapılar Kürsüsü.

donatılmış betonarme yapılarda, çatlama olayı ya hiç görünmez, ya da görünse bile, eğer yapının hesap ve yapılışında bir hata yoksa, sakıncalı bir nitelik taşımaz. Buna karşılık, kırılma hipotezlerine bağlı yöntemlerle hesaplanan ve işletme yükleri altında 2400 kg/cm² gibi daha yüksek gerilmeler taşıyabilen yarı - sert çeliklerle donatılan yapılarda durum böyle değildir. Bu tür yapılarda, işletme yükleri altındaki çatlama kolaylıkla gözlenebilecek bir mertebededir. Sızıntının yasaklanmış olduğu bazı özel durumlar dışında, çatlama önüne geçilemeyecek bir olay olarak kabul edilmekte ve betonarme elemanının içinde bulunduğu ortamın zararlılık derecesine göre, çatlakların açılmasını sınırlamakla yetinilmektedir.

Çatlakların açılma değerleri Avrupa Beton Komitesi (C.E.B.) ve birçok ülkelerin yönetmeliklerince aşağıda verilen şekilde sınırlandırılmıştır :

- zararlı dış etkilere açık elemanlarda 0,1 mm $(= 100\,\mu)$,
- dış etkilere karşı korunmamış olağan yapı elemanlarında 0.2 mm $(= 200\,\mu)$,
- dış etkilerden korunmuş olağan yapı elemanlarında 0,3 mm $(= 300\,\mu)$.

Hesaplanan elemanlardaki çatlakların bu sınırların altında kaldıklarının kontrolu için, belirli bir zor altında çatlakların en büyük açılma değerlerinin hesaplanabilmesini sağlayan yöntemlerin elimizde olması gereklidir. Bu konuda birçok yöntem ortaya çıkmış ve donatı çubuklarının çatlama özelliklerini belirleyen birçok kıstas geliştirilmiştir.

Çatlama olayının incelenmesinde çok kullanılan hipotezlerden biri de L. P. Brice'e aittir. Çelik ve beton arasındaki bağı sabit sürtünmeyle özleştiren Brice'e göre, aderans gerilmesinin birbirini izleyen iki çatlak arasında alabileceği en büyük değer

$$\tau_{d,\,max} = \frac{2\,K\,\sigma_{br,\,ef}}{1+3\,\dfrac{e_e}{e_b}} \tag{1}$$

bağıntısıyla belirlenmektedir. Burada K, çelik çubukların özel profiline, çapına ve kesitteki yerleştirilişine bağlı, deneysel olarak bulunan bir katsayıdır (Brice çatlama katsayısı). Ortalama değeri, düz yüzeyli yuvarlak olağan betonarme çeliği için 1,00, aderansı geliştirilmiş yüksek mukavemetli betonarme çeliği için 1,60 ~ 2,00 olan bu katsayı, deneylerde ne kadar yüksek elde edilirse çubuğun çatlama (iç aderans) yönünden o kadar üstün olduğu kanısına varılmaktadır. Bağıntıdaki diğer simgelerden $\sigma_{br,eg}$ betonun eğilmedeki çekme mukavemetini göstermekte olup e_e/e_b oranında, e_e bir boyuna çatlama çevresinde karşılaşılan donatı çapları toplamını, e_b ise aynı çevrede karşılaşılan beton kalınlıkları toplamını belirtmektedir. Bağıntıda kullanılmak üzere mümkün olan çatlama çevresi çokgenlerinden e_e/e_b oranı en büyük olanı seçilmektedir. Brice'in teorisi çelik çekme gerilmesinin K katsayısına da bağlı olarak kısıtlanmasıyla sonuçlanmaktadır.

Brice'in K çatlama katsayısı deney sonuçlarından hareketle

$$K = \frac{3\phi}{16\,\Delta l_m} \cdot \frac{I_b}{y_b F_e z} \left(1 + 3\frac{e_e}{e_b}\right) \tag{2}$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır [2]. Çatlakların en büyük w_{max} açılması da K ya bağlı olarak

$$w_{max} = \frac{\phi}{K} \cdot \left(1 + 3\frac{e_e}{e_b}\right)\alpha \tag{3}$$

$$\alpha = f\left(\frac{I_b}{y_b F_e z},\ \sigma_e,\ \sigma_{br,eg}\right) \tag{4}$$

bağıntılarıyla belirlenmektedir. Yukarıdaki bağıntılarda

ϕ çekmeye çalışan donatı çubuklarının çapını,

Δl_m belli bir yük altında birbirini izleyen iki çatlağın ortalama uzaklıklarını,

I_b yalnız beton gözönüne alınarak kesit eylemsizlik momentini,

y_b yalnız beton gözönüne alınarak hesaplanan tarafsız eksenin en dış çekme lifine uzaklığını,

F_e çekmeye çalışan donatının enkesit alanını,

z bir çatlak hizasında, klasik elastik teorinin iç kuvvetler manivela kolunu,

σ_e bir çatlak hizasında, klasik elastik teoriye göre hesaplanmış çelik çekme gerilmesini

ve diğer simgeler az önce tanımlanan büyüklükleri göstermektedirler.

3. Karşılaşılan aykırı sonuçlar

Liège Üniversitesi (Belçika), Uygulamalı Bilimler Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Enstitüsü Laboratuarlarında tarafımdan yapılan ve bitişik konumdaki betonarme donatı çubuklarının aderansını inceleyen deneysel bir araştırmanın bir yan sonucu olarak, eş enkesit alanlı çekme donatısının (eğilmede) beton kesite çeşitli yerleştiriliş durumlarında Brice çatlama katsayısıyla, çatlama durumu arasında bazı aykırılıklar gözlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Deney sonuçları

Çubuk türü	Donatı	F_e	$\Delta l_m{}^*$	K^*	$w^*_{max,\ deney}$	$w^*_{max,\ hesap}$
		cm^2	cm		μ	μ
B.Ç I	$6\phi\,10$	4,71	13,3	1,00	39	87
	$2\phi\,18$	5,09	18,8	1,29	22	137
Nervürlü Tor	$4\phi\,14$	6,16	8,35	2,08	82	141
	$2\phi\,20$	6,28	9,85	2,39	146	175
	$6\phi\,14$	9,24	7,15	1,80	108	136
	$2\phi\,25$	9,80	7,9	2,49	97	155

(* işareti değerlerin işletme yükleri için verildiğini göstermektedir).

Çizelgeden de gözlenebileceği gibi aykırılıklar küçük çaplı iki ya da üç çubuk yerine onlarla eş kesitli tek bir çubuk konulması durumunda ($3\phi\,10$ yerine $1\phi\,18$, $2\phi\,14$ yeerine $1\phi\,20$ $3\phi\,14$ yerine $1\phi\,25$ gibi) ortaya çıkmaktadır. Şöyle ki, küçük çaplı çubukların çatlama konusundaki üstün nitelikleri herkesçe bilinen bir gerçek iken, bu konuda bir kıstas olan K katsayısı bunun tam tersini ifade etmektedir ($6\phi\,10$ da 1,00 e karşı $2\phi\,18$ de 1,29 ; $4\phi\,14$ te 2,08 e karşı $2\phi\,20$ de 2,39 ; $6\phi14$ te 1,80 e karşı $2\phi\,25$ te 2,49 gibi).

Her ne kadar deney sayısı kesin bir sonuca götürmek için az ise de (6 kiriş), bütün sonuçların aynı aykırılığa götürmesi ilgi çekicidir. Kaldı ki çizelgenin son sütununda verilen (3) bağıntısına göre hesaplanmış en büyük çatlak açılma değerleri olağan sonuçlardır (küçük çaplı çubuklar için küçük, büyük çaplı çubuklar için büyük). Bu da K değerleriyle, onlara bağlı olarak hesaplanmasına rağmen aykırılık göstermektedir. Aynı aykırılık deneylerde gözlenen Δl_m ortalama çatlak uzaklıkları ve K arasında da rahatlıkla görülebilir.

4. Aykırılığın mümkün açıklaması

Yukarıda gözlenen sonuçlar ve verilen bağıntılardan hareketle Brice çatlama katsayısının niçin bu aykırı sonuçları verdiği şu şekilde açıklanabilir.

Brice'nin K çatlama katsayısı gerçekte çatlamanın en önemli özelliklerinden biri olan w_{max} ile pek ilgili gözükmemektedir. Şöyle ki (3) bağıntısında K yerine (2) bağıntısıyla belirli değeri yazılırsa w_{max} için

$$w_{max} = \frac{16}{3} \, \Delta l_m \, \frac{\dfrac{\alpha}{I_h}}{y_h F_e z} \tag{5}$$

elde edilir. Bu son bağıntıda ne ϕ, ne $(1 + 3e_e/e_b)$, ne de K ile doğrudan doğruya bir ilişki görülmemektedir. ϕ ve $(1 + 3\,e_e/e_b)$ terimlerinin etkisi zaten deneysel bir büyüklük olan Δl_m içinde olaya karışmaktadır. K ile ilişki ise bir hayli karanlıktır.

Özet olarak Brice'in K çatlama katsayısının, aynı çaplı ve beton kesite aynı konumda yerleştirilmiş değişik türden donatı çubuklarının çatlama özellikleri için iyi bir kıstas olabileceği, ancak çap ve yerleştirilişin değişmesi durumunda aynı şeyin kesinlikle ileri sürülemiyeceği söylenebilir.

5. Önerilen bir çözüm yolu

Yukarıda belirtilen düşüncelerden hareketle, çatlakların en büyük açılma değerine doğrudan doğruya bağlı bir çatlama katsayısı araştırılmıştır.

Birçok yönetmeliklerin çatlakların kabul edilebilir en büyük açılma sınırı olarak, dış ortama göre 100 μ, 200 μ, ve 300 μ değerlerinden birinin alınmasını öngördükleri Bölüm 2 de açıklamıştı. Çatlama durumu bakımından herhangi bir betonarme elemanda aranan koşul, işletme yükü altında, çatlakların en büyük açılma değerlerinin bu sınır değerleri aşmamalarıdır. Başka bir yazılışla

$$\frac{w_{max,\ sınır}}{w^*_{max}} \geq 1{,}00 \tag{6}$$

Yeni bir çatlama katsayısı olarak

$$K_f = \frac{w_{max,\ sınır}}{w_{max}} \tag{7}$$

oranı alınabilir. Burada w_{max} ya örneğin Brice bağıntılarından çıkarılan (5) uyarınca, ya herhangibir aynı amaçlı bağıntıyla hesaplanabilir ya da deneysel olarak doğrudan belirlenebilir. K_f daha açık olarak

$$\left.\begin{aligned} K_{f\,100} &= \frac{100}{w_{max}} \\ K_{f\,200} &= \frac{200}{w_{max}} \\ K_{f\,300} &= \frac{300}{w_{max}} \end{aligned}\right\} \tag{8 a-c}$$

şeklinde yazılabilir (w_{max} birimi olarak μ alınacaktır). Bu şekilde tanımlanan K_f katsayılarının açık bir anlamları vardır. Çünkü K_f katsayıları belirli bir donatıya sahip elemanın, verilen bir kabul edilebilir sınıra göre gösterdiği güvenlik derecesini ifade etmektedirler. K_f katsayısı 1,00 değerinden ne kadar büyükse incelenen donatı çatlama yönünden o kadar güvenli sayılabilir.

(8 a - c) bağıntılarıyla verilen, üç sınır değerden hareketle varılmış bu üç çatlama katsayısından biri esas alınabilir. Zararlı dış etkilere açık özel yapılarla ender karşılaşıldığı düşünülürse K_{f200} ün en uygun katsayı olacağı ortaya çıkar. Kaldı ki zararlı dış etkiler durumunda $K_{f200} \geqslant 2{,}00$ koşulunu yazmak daima mümkündür. K_f in en önemli değeri, $\sigma_e^* = 0{,}6\,\sigma_{ee}$ gerilme değerine tekabül eden işletme yükü için hesaplanılandır:

$$K^*_f = \frac{200}{w^*_{max}} \tag{9}$$

(σ_{ee} simgesi çelik elastik sınır gerilmesini göstermektedir).

Aynı bir eğilmede çekme mukavemetine ($\sigma_{br,eğ} = 30$ kg/cm²) indirgenmiş, önceden ele alınan altı kiriş için önerilen K_f katsayılarını esas alan yeni bir çizelge düzenlenirse (Çizelge 2), daha uygun sonuçlar elde edildiği görülebilir.

Çizelge 2. Deney sonuçlarının K_f katsayısına göre düzenlenmiş şekilleri

Çubuk türü	Donatı	F_e	w^*_{max}	K^*_{1200}
		cm²	μ	
B.Ç.I	6 ϕ 10	4,71	82	2,44
	2 ϕ 18	5,09	128	1,56
Nervürlü Tor	4 ϕ 14	6,16	140	1,43
	2 ϕ 20	6,28	170	1,18
	6 ϕ 14	9,24	132	1,52
	2 ϕ 25	9,80	151	1,32

σ_e^* işletme gerilmeleri değişik olduğundan yukarıdaki çizelgede, iki çubuk türü (B.Ç.I ve Nervürlü Tor) arasında bir kıyaslama yapılması olanaksızdır.

Kaynaklar

[1] ARDA, T. S. *«Bitişik Donatı Çubuklarının Aderansı»* İ.T.Ü. Mühendislik - Mimarlık Fak. yayını : 95, 1973.

[2] LOUIS, H. et R. BAUS *«L'adhérence au béton des armatures en acier mi - dur»* Annales des Travaux Publics de Belgique, No. 1, 1962.