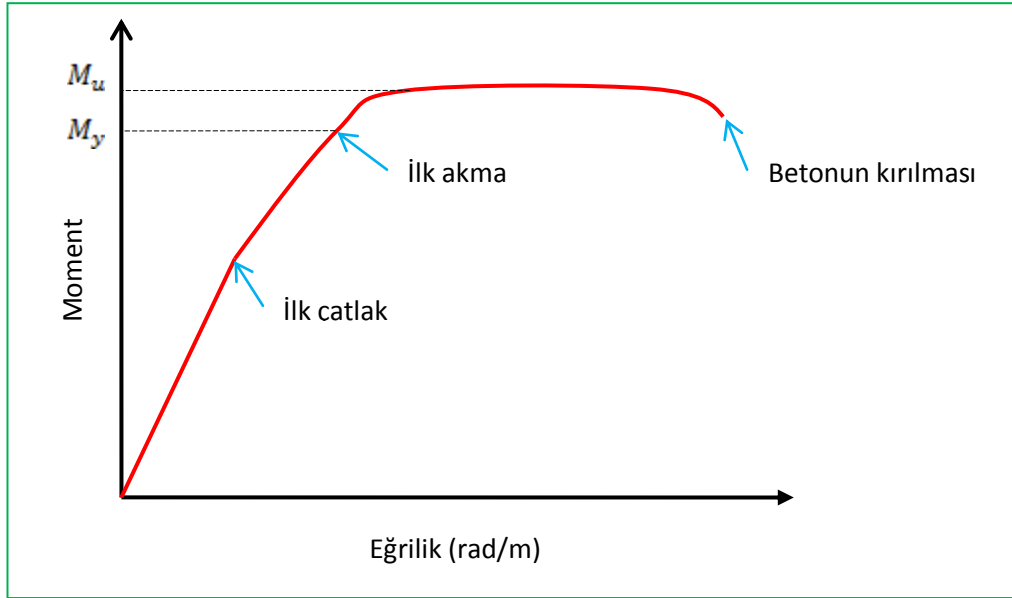


EUROCODE-2'ye GÖRE MOMENT YENİDEN DAĞILIM

Bir yapıdaki kuvvetleri hesaplamak için elastik kuvvetler kullanılır. Yapının taşıma gücüne yakın elastik davranmadığı bilinmektedir. Fakat bir yapı nihai taşıma kapasitesine ulaştığında plastik mafsallar meydana gelecektir. Elastik davranış düşük gerilme değerleri için geçerlidir. **Euro Code 2** bunu dikkate alır. Yeniden dağılım belirli sınırlar içinde yapılmaktadır.

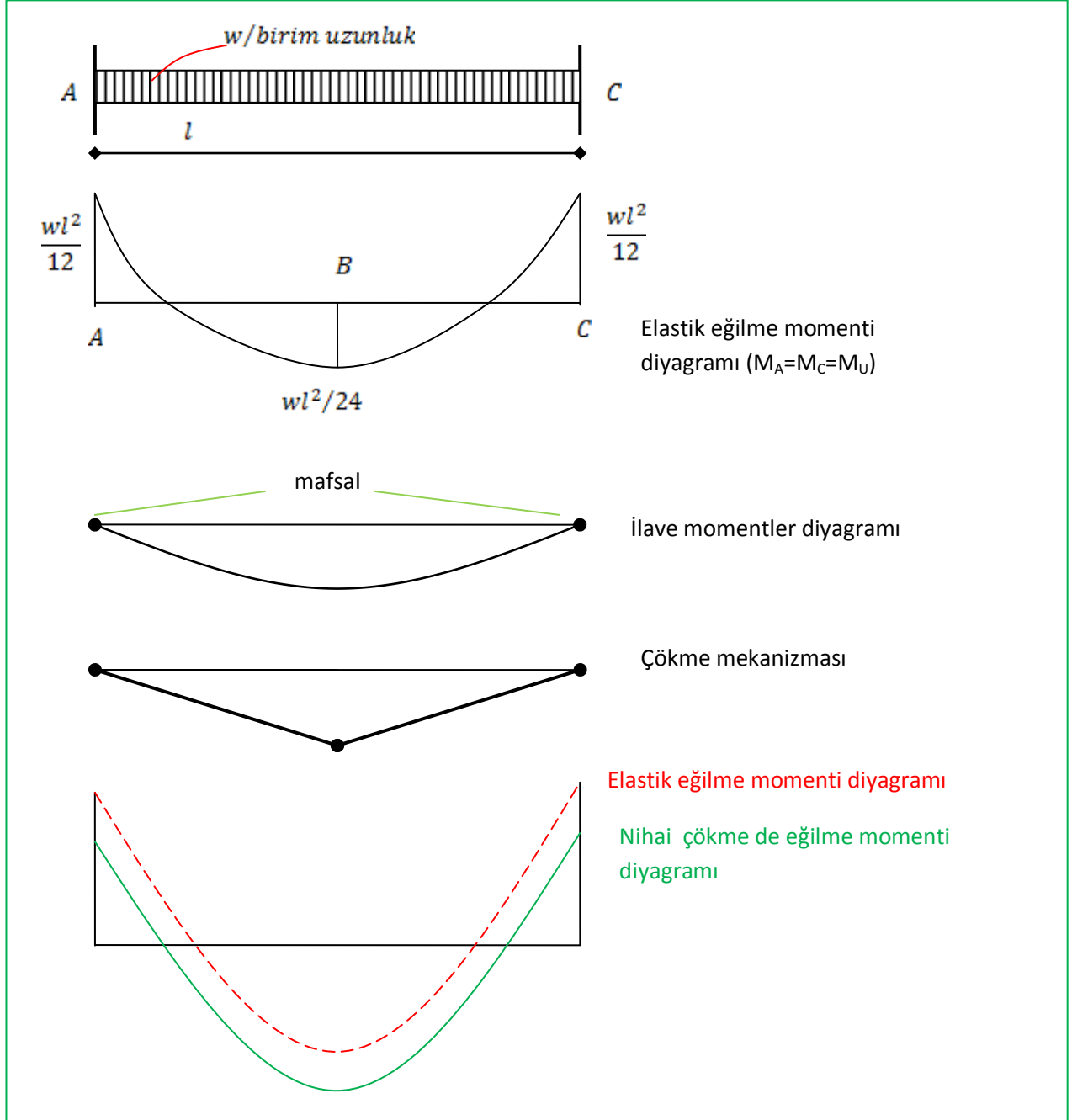
Çelik için gerilme-birim deformasyon eğrisi elastoplastiktir. Beton çok küçük basınç birim şekil değiştirilmesinde kırılmaktadır. Betonarme bir kesitin tam davranışı her iki malzemenin özelliklerine bağlı olarak şekillenir. Bununla beraber bir betonarme kesit çelik akıncaya kadar elastik ve beton basınçta kırılıncaya kadar plastik kabul edilir. Betonun kırılması eğilmede birim şekil dönmesini sınırlar.

Bir betonarme eleman için M-K diyagramı;



Bir betonarme eleman için M-K ilişkisi bu şekilde verilebilir. Bir hiperstatik yapıda kiriş kesitinde M_u 'ya (sınır moment dayanımı) yaklaşıldığında kesit plastik mafsal olarak davranır ve M_u sabit momentini taşımaya devam eder. Daha fazla yük diğer kesitler tarafından taşınır.

Bir betonarme kiriş kesit moment taşıma gücüne ulaşıldığında gerçek bir mafsal varmış gibi hareket eder. Bir mafsalın dönmesi betonun kırılmasına sebep olmaz ve bir göçme konumuna ulaşıncaya kadar daha fazla mafsallar oluşacaktır.



$$\text{Elastik Mesnet Momenti} = M_m = \frac{wl^2}{12}$$

$$\text{Elastik Açıklık Momenti} = M_{aç} = \frac{wl^2}{24}$$

Açıklık ve mesnet sınır eğilme dayanımlarının eşit olması halinde uygun dönme mümkündür. Dönmeler mevcut olması halinde ilave yük çökmede;

$$M_u = \frac{wl^2}{12} = \frac{wl^2}{24} + \text{ilave açıklık momenti } (M_B)$$

$$M_B = \frac{W_a l^2}{8} \text{ olup A ve C de tipki basit bir kiriş gibidir.}$$

$$M_u = \frac{wl^2}{12} = \frac{wl^2}{24} + \frac{W_a l^2}{8}, \quad W_a = \frac{w}{3}$$

Kiriş yeniden dağılımla 1.33w yükü taşıyacak demektir. Genellikle maksimum mesnet momentlerinden azaltma yapılır ve böylece donatıda tasarruf sağlanmış olur. Mesnet momentlerindeki bu azaltma kolonlardaki momenti de azaltır.

Momentlerin yeniden dağılımında şu hususlara dikkat edilmelidir:

- İç ve dış kuvvetler arasında denge muhafaza edilmelidir. Bu yüzden açıklık momentleri ve kesme kuvvetleri mevcut yük durumuna göre yeniden hesaplanmalıdır.
- En büyük momentin bulunduğu kesitlerde tarafsız eksen derinliği X, aşağıdaki şekilde sınırlandırılmıştır.

$$X \leq (0.8\delta - 0.35)d \rightarrow \text{beton kalitesi } f_{ck} \leq C35/45 \text{ için}$$

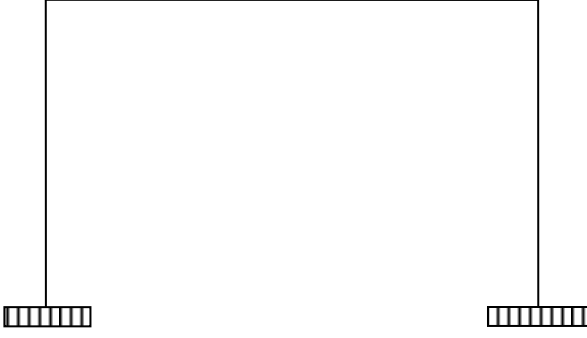
$$X \leq (0.8\delta - 0.45)d \rightarrow \text{beton kalitesi } f_{ck} > C35/45 \text{ için}$$

$$\delta = \frac{\text{yeniden dağılımdan sonra kesitteki moment}}{\text{yeniden dağılımdan önce kesitteki moment}}$$

d : faydalı yükseklik

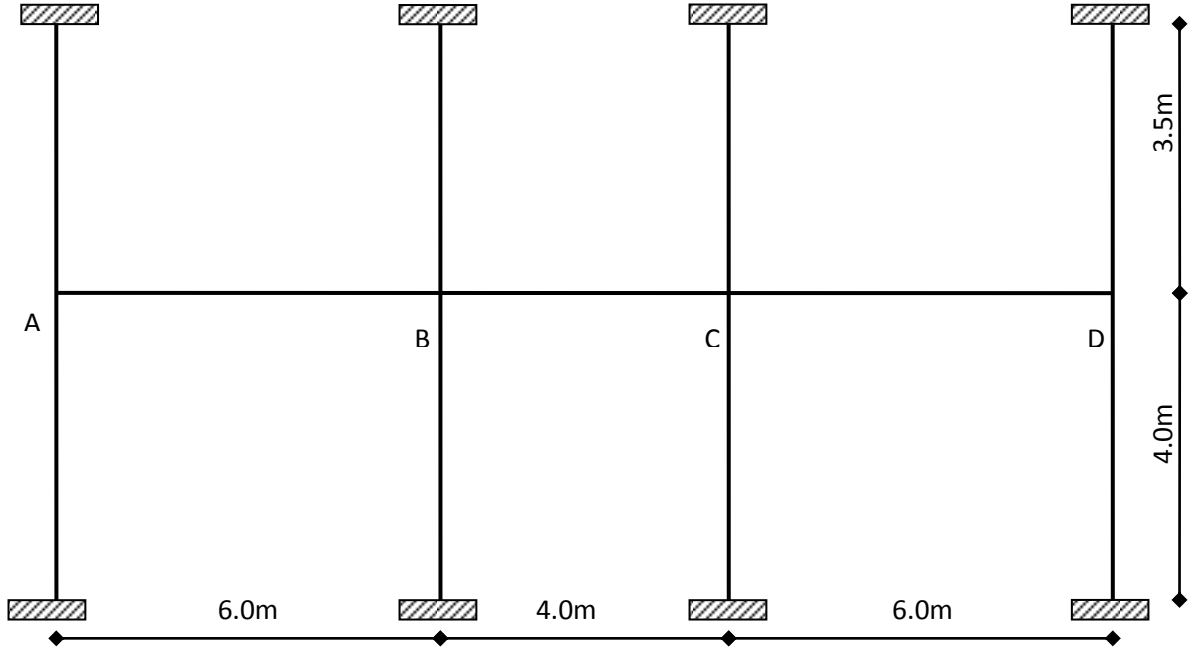
Kolonlarda bu kural, herhangi bir moment azalmasını engeller. Bu durumu büyük değere sahip basınç elemanları sağlamalıdır.

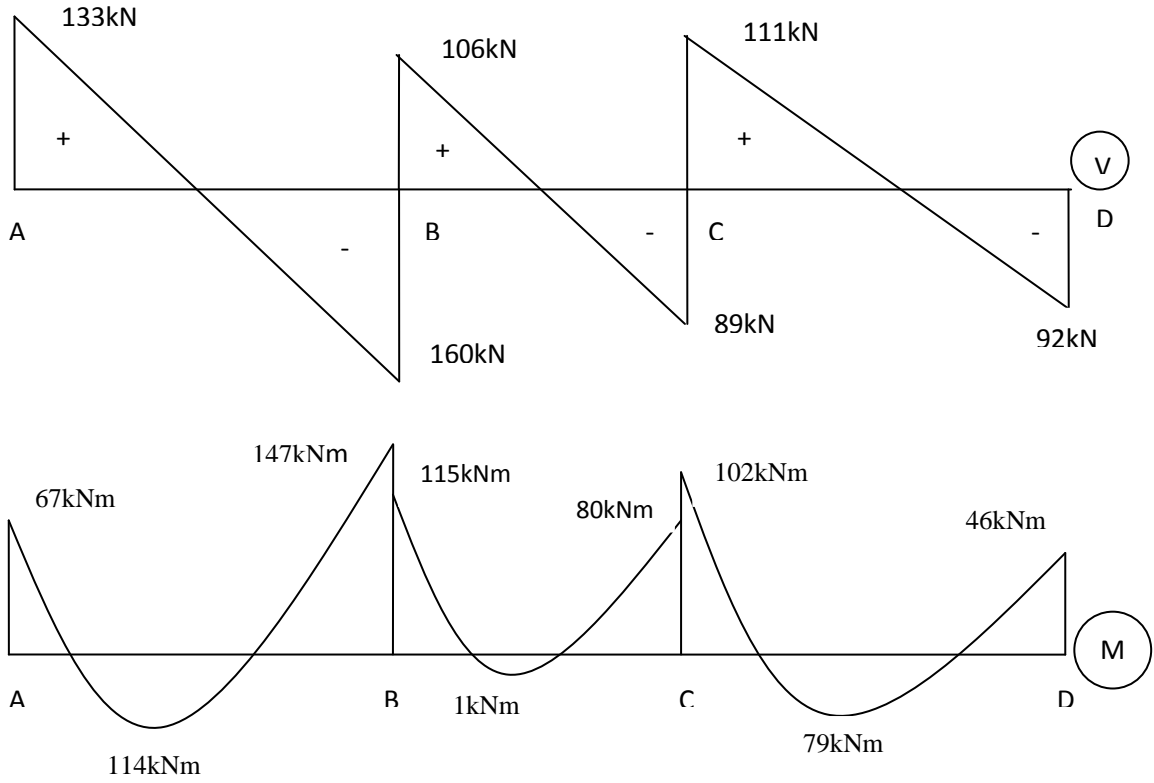
- En büyük yada maksimum izin verilen yeniden dağılım yüksek diktüliteli çelik için %30 (**$\delta \geq 0.7'$ de**), düşük diktüliteli çelik için %15 (**$\delta \geq 0.85'$ de**).
- Moment yeniden dağılımına sway çerçevelerde izin verilmez.



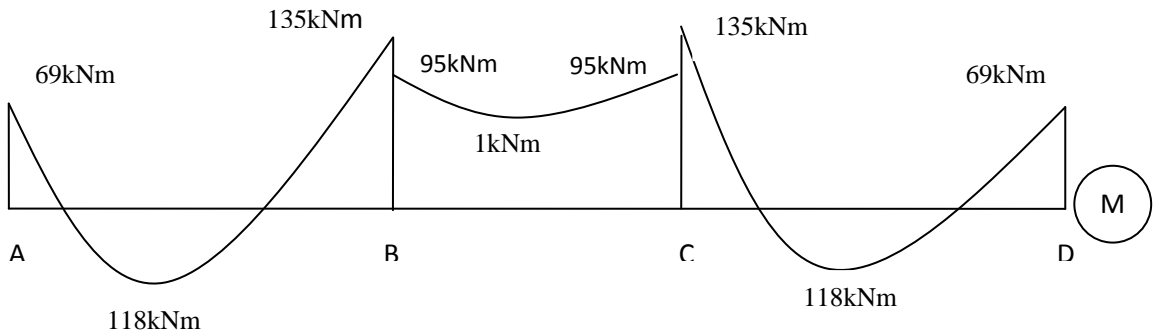
Sway çerçeve

Örnek :





$w = 48.75 \text{ kN/m}$ olarak verilmektedir. Buna göre $M_{BA} = 147 \text{ kNm}$ mesnet momentini maximum değeri 118 kNm olan açıklık momentini artırmadan azami bir şekilde azaltınız.



Maximum yüklemelerden elde edilmiş moment diyagramı (açıklık için)

Çözüm :

$$V_{AB} = \sqrt{(M_{max.} - M_{AB}) * 2 * w} = \sqrt{(118 + 67) * 2 * 48.75} \cong 134.30 \text{ kN}$$

$$M_{BA} = \left(V_{AB} - \frac{wL}{2} \right) * L + M_{AB} = \left(134.30 - \frac{48.75 * 6}{2} \right) * 6 + 67 \cong 138.7 \text{ kNm}$$

$$V_{BA} = wL - V_{AB} = 48.75 * 6 - 134.30 = \mathbf{158.2kN}$$

M_{BA} da $147 - 138.7 = \mathbf{8.3kNm}$ azalma söz konusudur. $\frac{8.3}{147} * 100 \cong \%5.5$ azalma var.

B mesnetinde kolon momentlerinin değişmemesi için M_{BC} momenti de $\mathbf{8.3kNm}$ azaltılmalıdır.

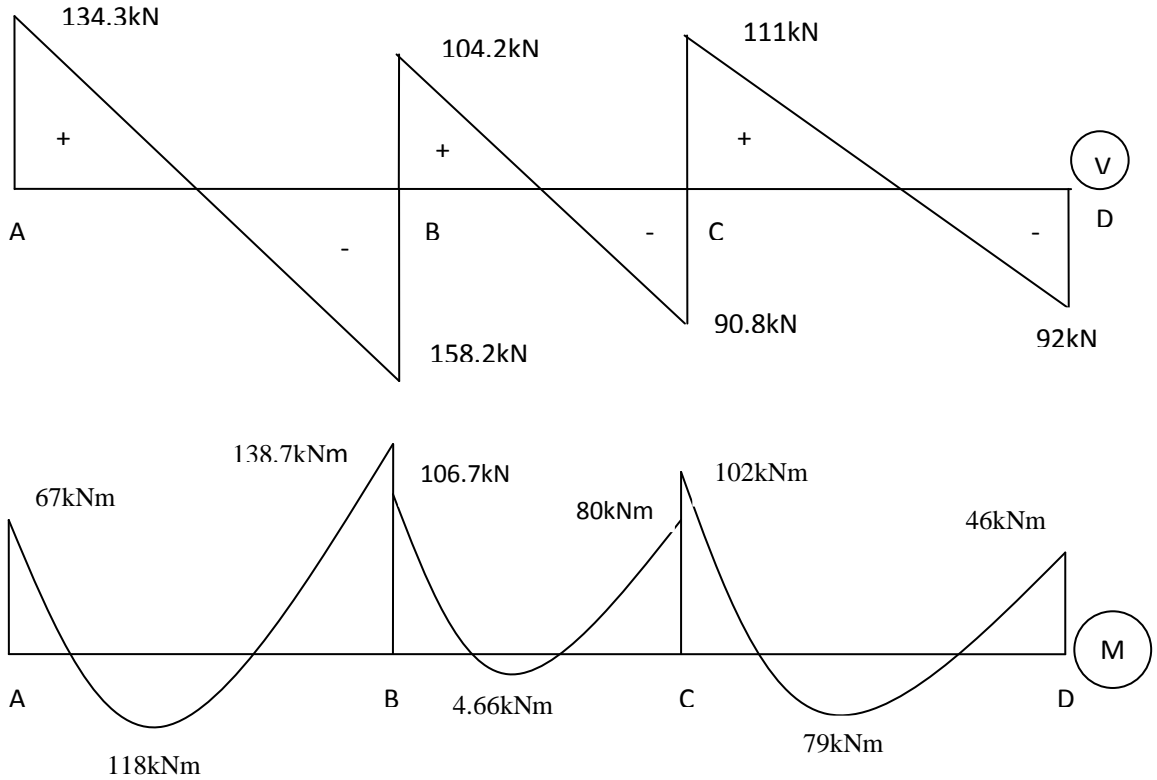
$$M_{BC} = 115 - 8.3 = \mathbf{106.7kNm}$$

$$V_{BC} = \frac{wL}{2} + \frac{M_{BC} - M_{CB}}{L} = \frac{48.75 * 4}{2} + \frac{106.7 - 80}{4} \cong \mathbf{104.2kN}$$

$$V_{CB} = wL - V_{BC} = 48.75 * 4 - 104.2 \cong \mathbf{90.8kN}$$

BC açıklığında:

$$M_{\max.} = \frac{V_{BC}^2}{2w} - M_{BC} = \frac{104.2^2}{2 * 48.75} - 106.7 \cong \mathbf{4.66kNm}$$



Dağıtımdan sonra moment ve kesme kuvvetleri diyagramları

Yukarıdaki örnekte gösterilen yeniden uyum ile ;

- I. Diğer kesitlerde maximum tasarım momentleri aşılmadan kiriş kesitlerinde momentlerin nasıl azaltılacağı,
- II. Kolon moment değerlerinin etkilenmediği,
- III. İç kuvvetler ve dış kuvvetler arasındaki dengenin sürdürüldüğü açıkça görülmektedir.

Moment Yeniden Dağılımı ve Tasarım Denklemleri (EuroCode-2 için)

Betonarmenin sınır durumda plastik davranışı yapıda moment dağılımını etkiler. Bu nedenle buna izin vermek için elastik analizden elde edilen momentler, plastik mafsalların en büyük momentin kesitte olduğu kabul edilerek yeniden dağıtılabilir. Plastik mafsalların oluşumu oldukça büyük dönmeleri ve çelik donatının akmasını gerektirir. Çekme donatısında büyük birim şekil değiştirmeleri garanti etmek için şartname tarafsız eksen derinliğini elastik moment azalmasına göre sınırlar. Buradan beton kalitesi için tarafsız eksen derinlikleri aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$f_{ck} \leq C 35/45$ için;

$$X_{bal} \leq 0.8(\delta - 0.44)d \dots \dots \dots (1)$$

$f_{ck} > C 35/45$ için;

$$X_{bal} \leq 0.8(\delta - 0.56)d$$

$$\delta = \frac{\text{yeniden dağılımdan sonra kesitteki moment}}{\text{yeniden dağılımdan önce kesitteki moment}}$$

d : faydalı yükseklik

$\delta \leq 1.0'$ dir. Böylece yeniden dağılımdan sonra basınç donatılı bir kesitin tasarımı için tarafsız eksen mesafesi X_{bal} en büyük değerini (1) denkleminde alacaktır. Beton kalitesi **C 35/45** 'ten küçük veya eşit olması halinde gerilme bloğunun derinliği aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$S_{bal} = 0.8X_{bal} = 0.8 * 0.8(\delta - 0.44)d$$

Manevela kolu (moment kolu) ise;

$$Z_{bal} = d - \frac{S_{bal}}{2} = d - \frac{0.64(\delta - 0.44)d}{2} \dots \dots \dots (2)$$

Basınçta betonun moment dayanımı ;

$$M_{bal} = F_{cc}Z_{bal} = 0.567f_{ck}bS_{bal}Z_{bal}$$

$$M_{bal} = 0.567 f_{ck} b * (0.64(\delta - 0.44)d) * \left(d - \frac{0.64(\delta - 0.44)d}{2} \right)$$

$$\frac{M_{bal}}{bd^2 f_{ck}} = 0.567 * 0.64(\delta - 0.44) * (1 - 0.32(\delta - 0.44))$$

$$\frac{M_{bal}}{bd^2 f_{ck}} = 0.363(\delta - 0.44) - 0.116(\delta - 0.44)^2$$

$$M_{bal} = K_{bal} bd^2 f_{ck}$$

$$K_{bal} = 0.363(\delta - 0.44) - 0.116(\delta - 0.44)^2 \dots \dots \dots (3)$$

Beton kalitesi **C 35/45** 'ten büyük olması halinde ;

$$K_{bal} = 0.363(\delta - 0.56) - 0.116(\delta - 0.56)^2$$

$M > K_{bal} bd^2 f_{ck}$ ve $K > K_{bal}$ olduğu zaman;

$$A'_S = \frac{(K - K_{bal})bd^2 f_{ck}}{0.87 f_{yk} (d - d')} \dots \dots \dots (4)$$

$$A'_S = \frac{(M - M_{bal})bd^2 f_{ck}}{0.87 f_{yk} (d - d')}$$

$$A_S = \frac{K_{bal} bd^2 f_{ck}}{0.87 f_{yk} Z_{bal}} + A'_S \dots \dots \dots (5)$$

$$A_S = \frac{M_{bal}}{0.87 f_{yk} Z_{bal}} + A'_S$$

$$K_{bal} = \frac{M_{bal}}{bd^2 f_{ck}} \dots \dots \dots (6)$$

Bu denklemler moment dağılımı olmayan basınç donatılı kesitlerin tasarımı için çıkarılan denklemlerle özdeştir. Aşağıda verilecek tabloda moment yeniden dağılımı ile ilgili çeşitli tasarım faktörleri gösterilmiştir. Eğer (d'/d) değeri kesit için tabloda verilen değeri aşarsa basınç donatısı akmamış olacaktır. Bu hallerde basınç gerilmesi aşağıdaki gibi olacaktır.

$$f_{sc} = E_s \varepsilon_{sc}$$

ε_{sc} , birim şekil değişikliğindeki oranıyla elde edilecektir. f_{sc} değeri (4) denkleminde $0.87 f_{yk}$ 'nın yerine konulacaktır. Buna göre (5) denklemi ;

$$A_s = \frac{K_{bal} b d^2 f_{ck}}{0.87 f_{yk} Z_{bal}} + A'_s \frac{f_{sc}}{0.87 f_{yk}}$$

Burada tek donatılı kesit halinde manevra kolu;

$(K < K_{bal}) \rightarrow Z = d \left(0.5 + \sqrt{(0.25 - K/1.134)} \right)$ şeklinde hesaplanacaktır.

Basınc donatısı gerektiren kesit için moment kolu;

$Z_{bal} = d \left(0.5 + \sqrt{(0.25 - K_{bal}/1.134)} \right)$ (7) yeniden hesaplanır.

Beton Yeniden Dağılımı Tasarım Faktörleri

$f_{ck} \leq C 35/45$ için;

Yeniden dağılım	δ	X_{bal}/d	Z_{bal}/d	K_{bal}	d'/d
0	1.0	0.45	0.821	0.167	0.194
10	0.9	0.37	0.853	0.142	0.158
15 ^a	0.85	0.33	0.869	0.129	0.141
20	0.80	0.29	0.885	0.116	0.124
25	0.75	0.25	0.900	0.101	0.107
30 ^b	0.70	0.21	0.917	0.087	0.089

$f_{ck} > C 35/45$ için;

Yeniden dağılım	δ	X_{bal}/d	Z_{bal}/d	K_{bal}	d'/d
0	1.0	0.35	0.859	0.136	0.151
10	0.9	0.27	0.891	0.110	0.117
15 ^a	0.85	0.23	0.907	0.096	0.100
20	0.80	0.19	0.923	0.080	0.083
25	0.75	0.15	0.939	0.065	0.065
30 ^b	0.70	0.11	0.955	0.049	0.048

a : Normal duktiliteye sahip çelik için maximum izin verilen yeniden dağılım

b : Yüksek duktiliteye sahip çelik için maximum izin verilen yeniden dağılım