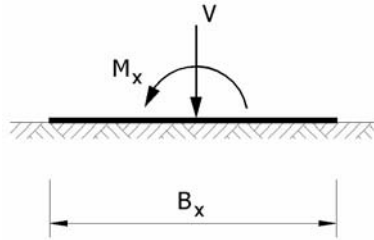


DİKDÖRTGEN TEKİL TEMELLERDE TABAN GERİLMELERİNİN HESABI İÇİN ABAKLAR

Prof. Dr. Günay Özmen
İTÜ İnşaat Fakültesi (Emekli)

1. GİRİŞ

Zemin taşıma gücü yeter derecede yüksek ya da yükler düşük değerlerde olduğu zaman her kolon için ayrı bir temel yapmak yeterli ve ekonomik olmaktadır. “Tekil Temel” adı verilen bu temeller genellikle dikdörtgen olarak düzenlenmektedir, [1], [2], [3], [4]. Özel bir hal olarak, V düşey yükü ile M_x tek yönlü eğilme etkisindeki dikdörtgen bir tekil temelin şematik görünüşü Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1: Tek yönlü eğilme etkisindeki temel

Temelin boyutları $B_x \times B_y$ ’dir. Bu tür temellerde taban gerilmelerinin hesabı bilinen mukavemet formülleri ile kolayca yapılabilmektedir. Düşey yükün e dışmerkezliği

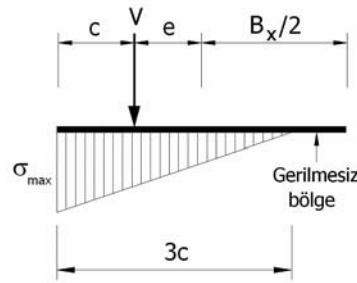
$$e = \frac{M_x}{V} \quad (1)$$

olarak hesaplanır. Düşey yükün “Çekirdek” adı verilen bir bölgenin dışına çıktığı durumlarda yani

$$e > B_x / 6 \quad (2)$$

olduğu zaman temel tabanında gerilmesiz bir bölge oluşur. “Büyük

Dışmerkezlik” adı verilen bu durumdaki gerilme dağılımı Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2: Büyük dışmerkezlik durumunda gerilme dağılımı

Bu durumda maksimum taban gerilmesi

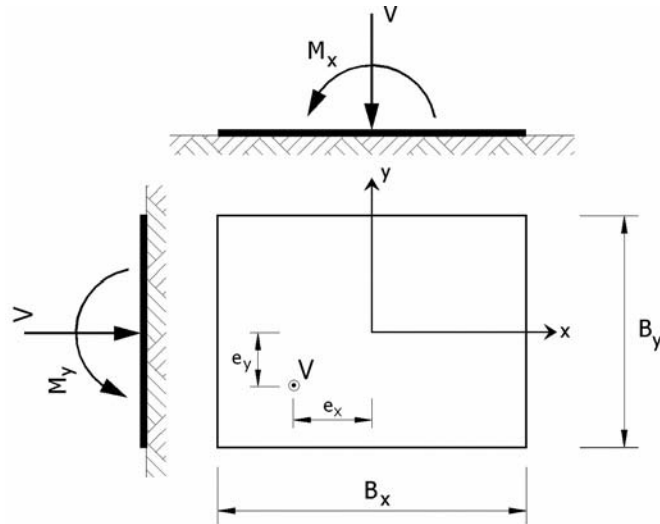
$$\sigma_{\max} = 2 \frac{V}{3cB_y} = \frac{4}{3} \frac{V}{B_y(B_x - 2e)} \quad (3)$$

ile hesaplanmaktadır.

2. EĞİK EĞİLME ETKİSİNDEKİ TEKİL TEMELLER

2007 yılında yürürlüğe giren “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” ortogonal deprem doğrultularının karşılıklı etkilerinin göz önüne alınmasını öngörmektedir, [5]. Buna göre deprem bölgelerinde yapılacak yapılarıdaki tüm kolonların (ve temellerin) eğik eğilme etkisi altında boyutlandırılmaları gerekir.

İki yönlü eğilme momentlerinin etkisi altında bulunan temellerde taban gerilmelerinin hesabı, özel haller dışında, oldukça karmaşıktır. Bu konu Köseoğlu tarafından kapsamlı ve ayrıntılı bir biçimde incelenmiş ve geniş açıklamalar verilmiştir, [1]. Bu bölümde bu açıklamalar özetlenecek ve irdelenecektir.



Şekil 3: Temel tabanına etkiyen yükler ve taban gerilmeleri

Düşey yük ile birlikte iki eksenli eğilme etkisi altında bulunan dikdörtgen bir temel tabanı **Şekil 3**'te gösterilmiştir.

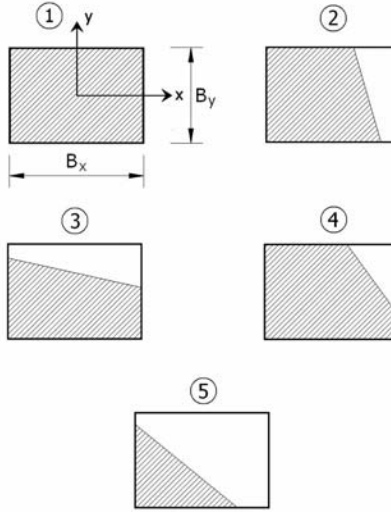
V düşey yükünün dikdörtgen alanın ağırlık merkezine şekil düzlemine dik doğrultuda etki ettiği ve işaretinin yukarıdan aşağı yönde pozitif olduğu kabul edilmektedir. Söz konusu temele ait kolonun temel merkezinden farklı bir konumda olması durumunda, temele etkileyen kesit zorları merkeze indirgenerek aşağıda verilen formülasyon aynen uygulanabilir. M_x ve M_y eğilme momentlerinin pozitif yönleri maksimum gerilme temel tabanının sol alt köşesinde olacak biçimde seçilmiştir. Bu durumda V düşey yüküne ait uygulama noktasının temel tabanının ağırlık merkezine göre koordinatları

$$e_x = \frac{M_x}{V} \quad e_y = \frac{M_y}{V} \quad (4)$$

olur. Seçilen işaretlere göre her iki koordinat da pozitifdir. Tarafsız eksenin konumuna göre de çeşitli konum ve biçimlerde bir "Gerilmesiz Bölge" oluşabilir. Basınç alanının biçimi ve boyutları V düşey yükünün uygulama noktasına bağlıdır. Temel tabanı, düşey yükün uygulama

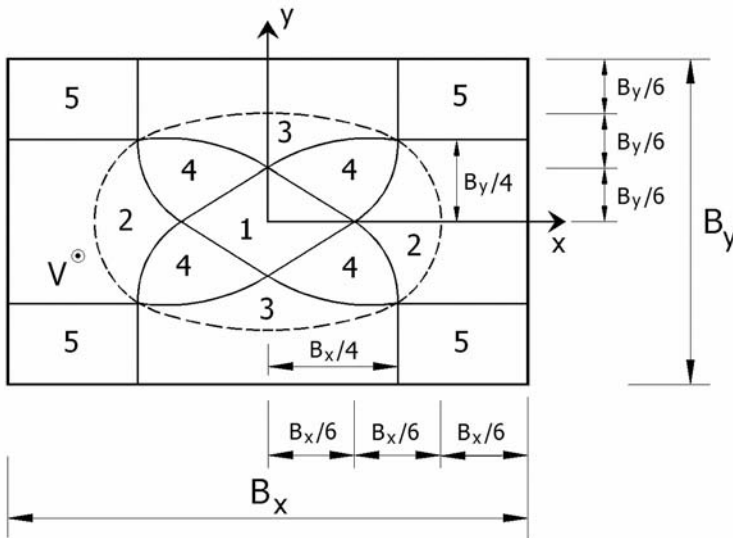
noktasına göre, 13 bölgeye ayrılmaktadır. Aynı karakterdeki bölgelere aynı numara verilerek 5 grupta toplanabilen bu bölgeler **Şekil 4** üzerinde gösterilmiştir.

Bu bölgeler ile ilgili basınç alanı tipleri **Şekil 5** üzerinde görülmektedir.



Şekil 5: Basınç alanı tipleri

Her tipe ait basınç alanları taralı olarak gösterilen bölgelerdir. x ve y eksenlerine göre simetri dolayısıyla bu tiplerin x ve/veya y eksenlerine göre simetrikleri de



Şekil 4: Basınç alanının biçimine göre temel taban bölgeleri

oluşabilir. Çeşitli tipler ile ilgili özellikler ve gerilme hesapları Köseoğlu tarafından ayrıntılı olarak açıklanmış bulunmaktadır. Bu açıklamalar aşağıda özetlenmiş ve ilgili formüller verilmiştir.

Tip 1:

V yükünün uygulama noktası **Şekil 4**'te 1 ile gösterilen eşkenar dörtgen biçimindeki bölgenin yani çekirdeğin içinde olduğu zaman tüm temel tabanı basınç etkisi altında bulunur. "Küçük dışmerkezlilik" adı verilen bu durumda köşe gerilmeleri

$$\sigma = \frac{V}{B_x B_y} \left(1 \mp \frac{6e_x}{B_x} \mp \frac{6e_y}{B_y} \right) \quad (5)$$

formülü ile hesaplanır.

Tip 2:

V yükünün uygulama noktası **Şekil 4**'te 2 ile gösterilen bölgelerde olduğu zaman "Büyük dışmerkezlilik" söz konusudur ve yamuk biçiminde bir gerilmesiz bölge oluşur. **Şekil 5**'te gösterildiği gibi, basınç bölgesi de yamuk biçimindedir. Bu durumda en büyük köşe gerilmesi

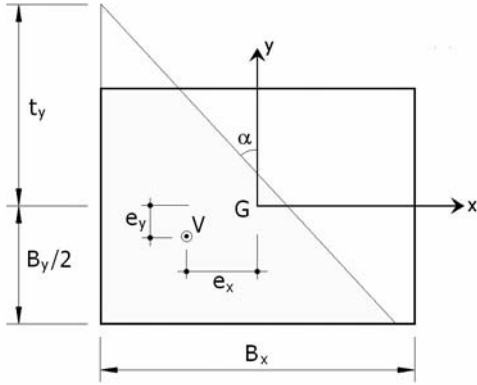
$$t_y = \frac{B_y}{12} \left(\frac{B_y}{e_y} + \sqrt{\left(\frac{B_y}{e_y} \right)^2 - 12} \right) ;$$

$$\text{tg} \alpha = \frac{3 B_x - 2e_x}{2 t_y + e_y} \quad (6)$$

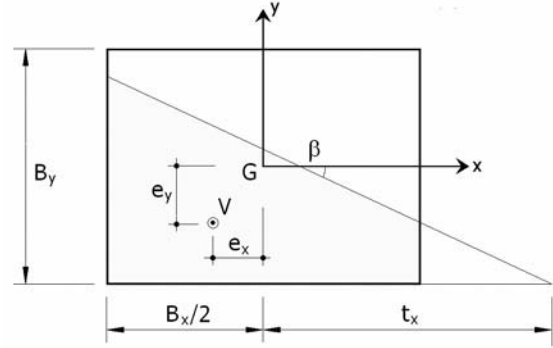
$$\sigma_{\max} = \frac{12V}{B_y \text{tg} \alpha} \frac{B_y + 2t_y}{B_y^2 + 12t_y^2} \quad (7)$$

formülleri ile hesaplanır, [1].

Burada α ve t_y , sırası ile, tarafsız eksenin y eksenine ile yaptığı açığı ve tarafsız eksenin temel sol kenarının uzantısını kestiği noktanın



Şekil 6: Tip 2 için basınç bölgesi boyutları



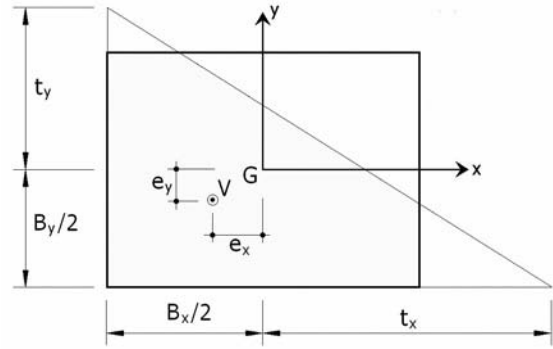
Şekil 7: Tip 3 için basınç bölgesi boyutları

x eksenine uzaklığını göstermektedir, Şekil 6.

Tip 3:

V yükünün uygulama noktası Şekil 4'te 3 ile gösterilen bölgelerde olduğu zaman yine büyük dışmerkezlik söz konusudur. Bu durumda da hem basınç bölgesi hem de gerilmesiz bölge yamuk biçimindedir, Şekil 5. Bu tip için en büyük köşe gerilmesi

olduğu zaman da büyük dışmerkezlik oluşur. Bu durumda basınç bölgesi beşgen, gerilmesiz bölge ise üçgen biçimindedir, Şekil 5. Bu tip için kesin değerlerin hesabı oldukça güçtür. Pratik uygulamalar için yeter yaklaşıklıkla



Şekil 8: Tip 4 için basınç bölgesi boyutları

$$t_x = \frac{B_x}{12} \left(\frac{B_x}{e_x} + \sqrt{\left(\frac{B_x}{e_x} \right)^2 - 12} \right); \quad (8)$$

$$\text{tg}\beta = \frac{3 B_y - 2e_y}{2 t_x + e_x} \quad (8)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{12V}{B_x \text{tg}\beta} \frac{B_x + 2t_x}{B_x^2 + 12t_x^2} \quad (9)$$

formülleri ile hesaplanmaktadır, [1]. Burada β ve tx, sırası ile, tarafsız eksenin x eksenine ile yaptığı açıyı ve tarafsız eksenin temel alt kenarının uzantısını kestiği noktanın y eksenine uzaklığını göstermektedir, Şekil 7.

Tip 4:

V yükünün uygulama noktası Şekil 4'te 4 ile gösterilen bölgelerde

$$\varepsilon = \frac{e_x}{B_x} + \frac{e_y}{B_y} \quad (10)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{\varepsilon V}{B_x B_y} [12 - 3.9(6\varepsilon - 1)(1 - 2\varepsilon)(2.3 - 2\varepsilon)] \quad (11)$$

formülleri kullanılabilir, [1]. Bu durum için basınç bölgesi boyutları Şekil 8'de gösterilmiştir.

tx ve ty değerleri, sırası ile, (8) ve (6) formülleri ile hesaplanabilir, [1].

Tip 5:

Şekil 4 üzerinde kesikli çizgi ile belirtilen oval bölgeye "ikinci çekirdek" adı verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, bu bölge 1 ve 4 No.lu bölgelerle birlikte 2 ve 3 No.lu bölgelerin belirli bölümlerini

kapsamaktadır. V yükünün uygulama noktası ikinci çekirdek bölgesinin dışına çıktığı zaman "Aşırı büyük dışmerkezlik" oluşur. Yani bu durumda basınç bölgesi gerilmesiz bölgeden daha küçük olur.

Uygulamada tercih edilmemesi gereken bu duruma bazı yönetmeliklerde izin verilmediği belirtilmektedir, [1], [6]. Şekil 4'te 5 ile gösterilen bölgeler tümüyle ikinci çekirdek bölgesinin dışında kalmaktadırlar. Bu bölgelerde üçgen biçimindeki basınç bölgesi beşgen biçimindeki gerilmesiz bölgeden daha küçük olmaktadır, Şekil 5. Kaynaklarda bu tip için gerilme hesabı formülleri verilmemiştir.

Belirtmek gerekir ki, yukarıda 1, 2 ve 3 No.lu bölgeler için verilmiş olan gerilme formülleri kesindir. Sadece 4 No.lu bölge için verilen

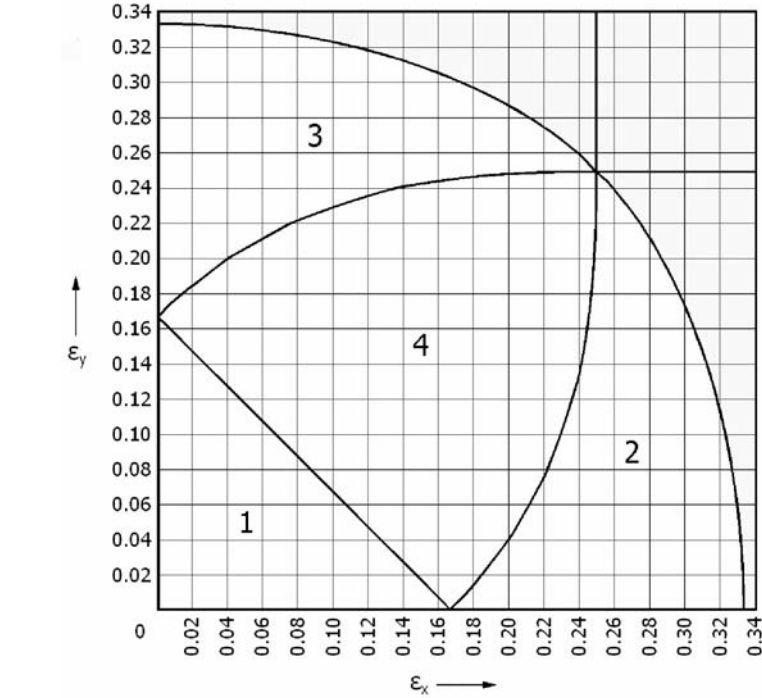
(11) formülü yaklaşıktır. Çeşitli sayısal örnekler üzerinde yapılan incelemeler bu formüldeki hataların % 1'i geçmediğini göstermiştir, [7].

Temel kesit hesapları için maksimum gerilme oluşan nokta dışında kalan başka kritik noktadaki gerilmelerin de hesaplanması gerekir. Küçük dışmerkezlik yani **Tip 1** için verilen (5) formülü ile tüm köşelerdeki gerilmeler bulunabilir. **Tip 2** ve **3** için t_x , t_y , $t_g\alpha$ ve $t_g\beta$, yardımcı değerleri kullanılarak diğer köşe gerilmeleri hesaplanır. Köşeler dışında kalan noktadaki gerilmeler geometrik bağıntılar kullanılarak bulunabilir. **Tip 4** için de (8) ve (6) formülleri ile verilen t_x ve t_y değerlerinin kullanılabilceği belirtilmektedir. Çeşitli sayısal örnekler üzerinde yapılan incelemeler bu biçimde hesaplanan köşe gerilmelerindeki hataların biraz daha yüksek olduğunu, ancak tüm köşe gerilmelerindeki ağırlıklı ortalama hataların \pm % 5'i geçmediğini göstermiştir, [7].

Bu çalışmanın amacı eğik eğilme etkisinde bulunan tekil temellerde gerilme hesapları için pratik uygulamaları kolaylaştıracak abaklar geliştirmektir. Bu abakların düzenlenmesinde kaynak [7]'de geliştirilmiş olan genel yöntem kullanılmıştır.

3. YARDIMCI ABAKLAR

Yukarıda belirtildiği gibi, Köseoğlu tarafından verilmiş olan gerilme hesabı formülleri pratik uygulamalarda başarı ile kullanılabilir niteliktedir. Ancak öncelikle basınç bölgesinin tipinin yani hangi formülün kullanılacağına saptanması gerekmektedir. Pratik uygulamalarda basınç bölgesinin tipinin kolayca saptanması için düzenlenen abak **Şekil 9**'da gösterilmiştir.



Şekil 9: Basınç bölgesi tipini saptamak için abak

Abak ϵ_x ve ϵ_y boyutsuz değişkenlerine göre düzenlenmiş bulunmaktadır. Bunlar

$$\epsilon_x = \frac{e_x}{B_x} = \frac{M_x}{B_x V} \quad \text{ve} \quad (12)$$

$$\epsilon_y = \frac{e_y}{B_y} = \frac{M_y}{B_y V}$$

olarak tanımlanmıştır. Uygulamada ϵ_x ve ϵ_y değerleri (12) formülleri ile hesaplandıktan sonra basınç bölgesi tipi **Şekil 9**'daki abak yardımı ile saptanacaktır.

Görüldüğü gibi, bu abak **Şekil 4**'te verilmiş olan şematik temel taban bölgelerinin sayısallaştırılmış biçimidir. Abak üzerinde koyu renk ile gösterilmiş olan bölgeler ikinci çekirdeğin dışında kalan bölgelerdir ve uygulamada kullanılmamaları gerekir.

Köşe gerilmeleri abaklarının hazırlanabilmesi için yukarıda çeşitli tipler için verilen formüllerin

boyutsuz değişkenlerle ifade edilmesi gerekmektedir. Bunun için önce

$$\delta_x = \frac{t_x}{B_x} \quad \text{ve} \quad \delta_y = \frac{t_y}{B_y} \quad (13)$$

boyutsuz değişkenleri ile

$$\sigma_o = \frac{V}{B_x B_y} \quad (14)$$

ortalama gerilmesi tanımlanmıştır. Maksimum köşe gerilmesi

$$\sigma_{\max} = \sigma_a = \omega_a \sigma_o \quad (15)$$

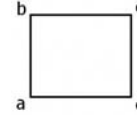
olarak ifade edilmektedir. Çeşitli basınç bölgesi tipleri için boyutsuz değişkenlere göre ifade edilmiş olan gerilme formülleri aşağıda gösterilmiştir (**Tablo 1**).

ϵ_x ve ϵ_y boyutsuz değişkenleri parametrik olarak 0 ~ 0.34 değerleri arasında değiştirilerek ω_a katsayısı için düzenlenmiş olan abak **Şekil 10**'da gösterilmiştir.

Tip 1:	$\omega_a = 1 + 6\varepsilon_x + 6\varepsilon_y$	(5a)
Tip 2:	$\delta_y = \frac{1}{12} \left(\frac{1}{\varepsilon_y} + \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_y^2} - 12} \right); \text{tg}\alpha = \frac{3}{2} \frac{1 - 2\varepsilon_x}{\delta_y + \varepsilon_y}$	(6a)
	$\omega_a = 8 \frac{(\delta_y + \varepsilon_y)(1 + 2\delta_y)}{(1 - 2\varepsilon_x)(1 + 12\delta_y^2)}$	(7a)
Tip 3:	$\delta_x = \frac{1}{12} \left(\frac{1}{\varepsilon_x} + \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_x^2} - 12} \right); \text{tg}\beta = \frac{3}{2} \frac{1 - 2\varepsilon_y}{\delta_x + \varepsilon_x}$	(8a)
	$\omega_a = 8 \frac{(\delta_x + \varepsilon_x)(1 + 2\delta_x)}{(1 - 2\varepsilon_y)(1 + 12\delta_x^2)}$	(9a)
Tip 4:	$\varepsilon = \varepsilon_x + \varepsilon_y$	(10a)
	$\omega_a = \varepsilon [12 - 3.9(6\varepsilon - 1)(1 - 2\varepsilon)(2.3 - 2\varepsilon)]$	(11a)

Tablo 1

Dikdörtgen temel tabanının köşeleri **Şekil 11**'de görüldüğü gibi, a, b, c ve d olarak adlandırılmıştır.



Şekil 11: Temel tabanı köşeleri

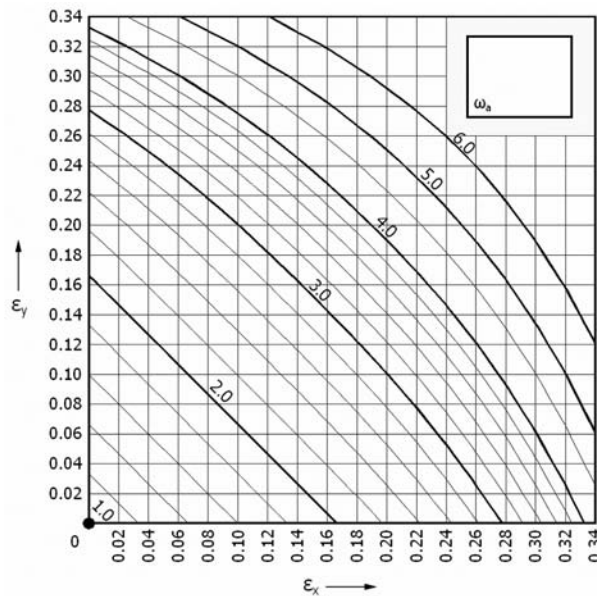
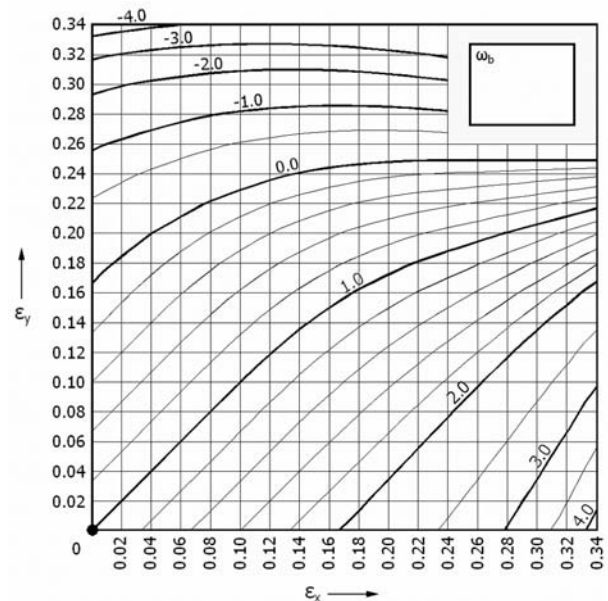
Bu köşelere ait ω_b , ω_c ve ω_d katsayıları da parametrik olarak hesaplanmış ve ilgili abaklar, sırası ile, **Şekil 12**, **13** ve **14**'te gösterilmiştir.

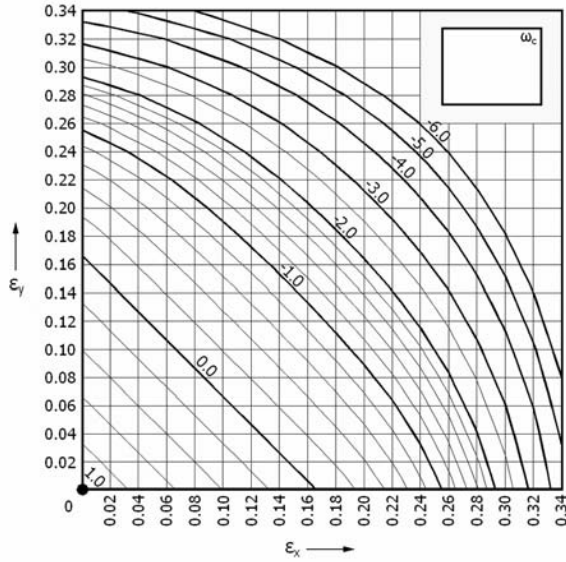
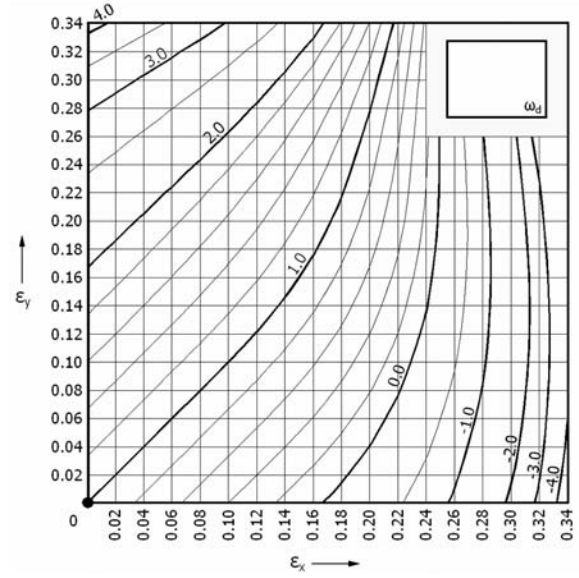
Köşe gerilmeleri ε_x ve ε_y boyutsuz değişkenlerinin değerlerine göre abaklardan alınan ω_a , ω_b , ω_c ve ω_d katsayıları kullanılarak

$$\sigma_i = \omega_i \sigma_0 \quad (i = a, b, c, d) \quad (16)$$

formülü ile hesaplanır.

Seçilen eğilme momenti yönlerine göre σ_a (sol alt köşe) gerilmesi her zaman pozitif (basınç) olarak elde edilir. Tarafsız eksenin konumuna göre, diğer köşelerdeki gerilmeler pozitif (basınç) veya negatif (çekme) olabilmektedir. Negatif olarak bulunan gerilmeler sanaldır; yani bunlar gerçekte gerilmesiz bölgede yer almaktadırlar. Bu negatif değerler tarafsız eksenin konumunu ve kesit hesabı için gerekli olan diğer taban gerilmelerini hesaplamak için kullanılmaktadır.

Şekil 10: ω_a değerleriŞekil 12: ω_b değerleri


 Şekil 13: ω_c değerleri

 Şekil 14: ω_d değerleri

4. SAYISAL UYGULAMA

Boyutları $B_x = 2.50$ m, $B_y = 1.50$ m olan dikdörtgen bir temel $V = 400$ kN düşey yük ile $M_x = 150$ kNm ve $M_y = 120$ kNm eğilme momentlerinin etkisi altındadır. Bu verilere göre

$$\varepsilon_x = \frac{150}{2.50 \times 400} = 0.15,$$

$$\varepsilon_y = \frac{120}{1.50 \times 400} = 0.20$$

ve

$$\sigma_o = \frac{400}{2.50 \times 1.50} = 106.67 \text{ kPa}$$

olarak hesaplanır. Bu değerler kullanılarak Şekil 10, 12, 13 ve 14'teki abaklardan, sırası ile

$$\begin{aligned} \omega_a &= 3.50, & \omega_b &= 0.53, \\ \omega_c &= -1.78, & \omega_d &= 1.20 \end{aligned}$$

elde edilir. Buradan

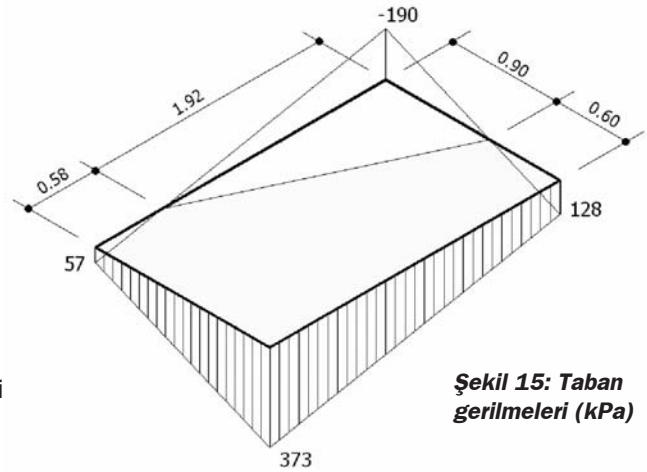
$$\begin{aligned} \sigma_a &= 3.50 \times 106.67 = 373 \text{ kPa} \\ \sigma_b &= 0.53 \times 106.67 = 57 \text{ kPa} \\ \sigma_c &= -1.78 \times 106.67 = -190 \text{ kPa} \\ \sigma_d &= 1.20 \times 106.67 = 128 \text{ kPa} \end{aligned}$$

bulunur. Tabandaki gerilme dağılımı Şekil 15'te görülmektedir.

Tabandaki basınç bölgesi şekilde koyu renkte gösterilmiştir. Sağ üst köşedeki negatif gerilme sanaldır. Bu değer oranı ile diğer kritik noktadaki gerilmelerin hesabında kullanılacaktır. Oranıtı ile saptanmış olan tarafsız eksenin konumu da şekil üzerinde gösterilmiş bulunmaktadır.

5. KAYNAKLAR

- [1] Köseoğlu, S., *Temeller - Statiği ve Konstrüksiyonu*, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1986.
- [2] Ersoy, U., *Betonarme Döşeme ve Temeller*, Evrim Yayınevi, Ankara, 1995.
- [3] Celep, Z., Kumbasar, N., *Betonarme Yapılar*, Sema Matbaacılık, İstanbul, 1996.



Şekil 15: Taban gerilmeleri (kPa)

[4] Aka, İ., Keskinel, F., Çılı, F., Çelik, O. C., *Betonarme*, Birsan Yayınevi, İstanbul, 2001.

[5] *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Mart 2007.

[6] *DIN 1054 - 1976, Temel Zemini - Temel Zemininin Güvenlik Yükleri*, (Çeviren: S. Köseoğlu), Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Bülteni, No. 81, Ankara, 1984.

[7] Özmen, G., *Eğik Eğilme Etkisi Altındaki Dikdörtgen Tekil Temelerde Taban Gerilmelerinin Hesabı*, Teknik Rapor No: TDV/TR 052-90, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul, Nisan 2010.