

Eğik Eğilme Etkisi Altındaki Dikdörtgen Tekil Temelerde Taban Gerilmelerinin Hesabı

Günay ÖZMEN*

ÖZ

Deprem bölgelerinde yapılacak yapılardaki tüm temellerin eğik eğilme etkisi altında boyutlandırılmaları gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı, eğik eğilme etkisi altındaki dikdörtgen tekil temelerde taban gerilmelerinin hesabı için genel bir yöntem geliştirmektir. Bunun için önce büyük dışmerkezlik etkisindeki tekil temeller basınç bölgesinin biçimine göre sınıflandırılmış ve bu bölgeye ait kesit özellikleri hesaplanmıştır. Daha sonra Löser tarafından eğik eğilme etkisindeki dikdörtgen kolon kesitlerinde gerilme hesabı için verilen formülasyon genelleştirilerek temel taban gerilmelerinin hesabına uyarlanmıştır. Başlangıçta tarafsız eksenin konumu belli olmadığından, bir ardışık yaklaşım düzeni geliştirilmiştir. Hesap düzeninin uygulanması sayısal bir örnek üzerinde gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Eğik eğilme, tekil temeller, taban gerilmeleri, ardışık yaklaşım.

ABSTRACT

Determination of Base Stresses in Rectangular Footings under Biaxial Bending

All the footings of buildings in seismic regions are to be designed according to biaxial bending moments. The purpose of this paper is to develop a general method for calculating the base pressures of rectangular footings under biaxial bending. First the footings which are exposed to large eccentricity are classified according to the shape of the pressure region. Then the formulation given by Löser for the design of rectangular columns subjected to biaxial bending are generalized and applied to the calculation of base stresses. Since the position of the neutral axis is not to be known initially, a process of successive approximations is developed. The application of the computation procedure is demonstrated by a numerical example.

Keywords: Biaxial bending, single footings, base pressures, successive approximations.

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

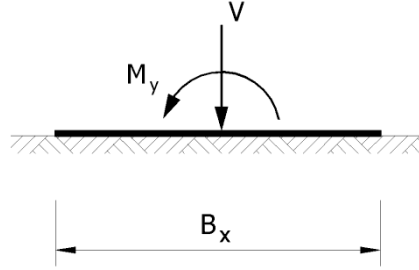
Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu’na 19.02.2010 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2011 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi (Emekli), İstanbul - gunozmen@yahoo.com

Eğik Eğilme Etkisi Altındaki Dikdörtgen Tekil Temelerde Taban Gerilmelerinin Hesabı

bu temeller genellikle dikdörtgen olarak düzenlenmektedir,[1], [2], [3], [4], [5]. Özel bir hal olarak, V düşey yükü ile M_y tek yönlü eğilme etkisindeki dikdörtgen bir tekil temelin şematik görünüşü Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1: Tek yönlü eğilme etkisindeki temel

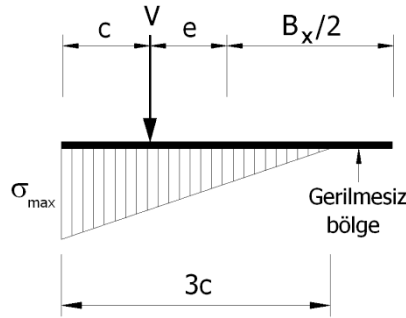
Temelin boyutları $B_x \times B_y$ ’dir. Bu tür temelerde taban gerilmelerinin hesabı bilinen mukavemet formülleri ile kolayca yapılabilmektedir. Düşey yükün e dışmerkezliği

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

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

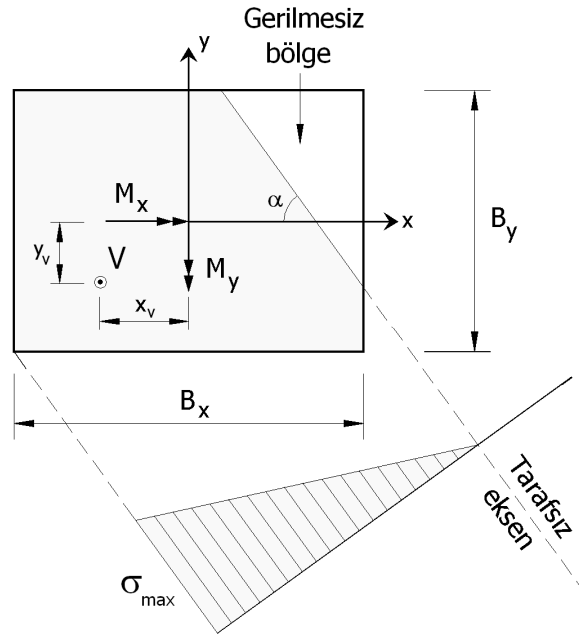
$$\sigma_{\max} = 2 \frac{V}{3cB_y} = \frac{4}{3} \frac{V}{B_y(B_x - 2e)} \quad (3)$$

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, [6]. 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]. Gerilme hesabı için verilen formüller üçgen ve yamuk basınç bölgeleri için kesin, beşgen basınç bölgesi için yaklaşıktır. Trupia ve Saygun da üçgen ve yamuk basınç bölgeleri için kesin formüller geliştirmişler, beşgen basınç bölgesi için de bir abak vermişlerdir, [5].



Şekil 3: Temel tabanına etkiyen yükler ve taban gerilmeleri

Eğik Eğilme Etkisi Altındaki Dikdörtgen Tekil Temellerde Taban Gerilmelerinin Hesabı

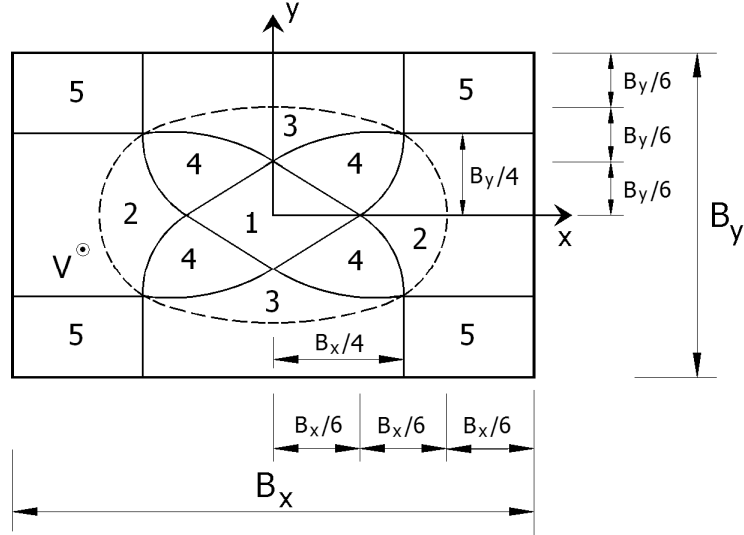
Bu çalışmanın amacı basınç bölgesinin biçiminden bağımsız olan, yani yamuk, beşgen ve üçgen biçimindeki tüm basınç bölgesi tipleri için geçerli bir yöntem geliştirmektir. Bu amaçla önce Köseoğlu tarafından verilen açıklamalar özetlenecek ve irdelenecektir.

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

Şekilde basınç bölgesi koyu renkli olarak gösterilmiştir. V düşey yükünün dikdörtgen alanın ağırlık merkezine şekil düzlemine dik doğrultuda etkideği 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 yükünün uygulama noktasının temel tabanının ağırlık merkezine göre koordinatları

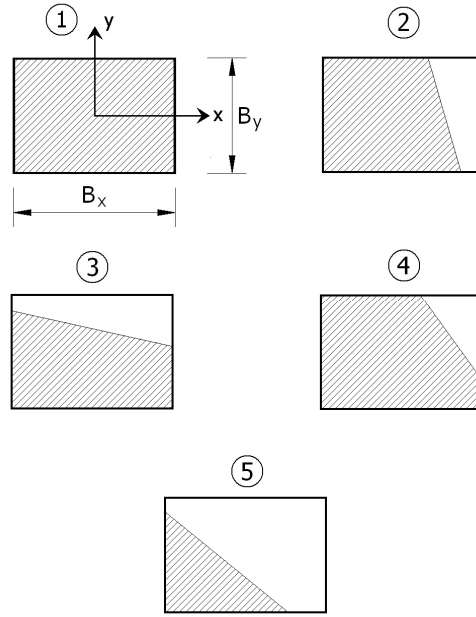
$$x_v = -\frac{M_y}{V} \quad y_v = -\frac{M_x}{V} \quad (4)$$

olur. Seçilen işaretlere göre her iki koordinat da negatiftir. Tarafsız eksenin yatay x eksenine ile yaptığı açı α ile gösterilmiştir. Bu eksen V, M_x , M_y kesit zorlarının ve B_x , B_y temel boyutlarının değerlerine ve oranlarına bağlı olarak çeşitli konumlarda olabilir. Tarafsız eksenin konumuna göre de çeşitli konum ve biçimlerde bir "Gerilmesiz Bölge" oluşabilir. Basınç alanının biçimi ve boyutları V düşey yükünün uygulama noktasına bağlıdır. Basınç alanının biçimine göre, temel tabanı 13 bölgeye ayrılmaktadır. Aynı karakterdeki bölgelere aynı numara verilerek 5 grupta toplanabilen bu bölgeler Şekil 4 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4: Basınç bölgesinin biçimine göre temel taban bölgeleri

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



Şekil 5: Basınç bölgesi 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 oluşabilir. Aşağıda çeşitli tipler ile ilgili özellikler ve gerilme hesapları özetlenmiştir.

Tip 1:

V yükünün uygulama noktası Şekil 3'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

$$\sigma = \frac{V}{F} \mp \frac{M_x B_y}{2I_x} \mp \frac{M_y B_x}{2I_y} \quad (5)$$

formülü ile hesaplanır. Burada F, I_x ve I_y , sırasıyla, temel taban alanı ile temel tabanının x ve y eksenlerine göre atalet momentlerini göstermektedir.

Tip 2:

V yükünün uygulama noktası Şekil 3'te 2 ile gösterilen bölgelerde olduğu zaman "Büyük dışmerkezlik" söz konusudur ve yamuk biçiminde bir gerilmemiş bölge oluşur. Şekil 4'te gösterildiği gibi, basınç bölgesi de yamuk biçimindedir. Bu durumda en büyük köşe gerilmesi

$$t_y = \frac{B_y}{12} \left(-\frac{B_y}{y_v} + \sqrt{\left(\frac{B_y}{y_v}\right)^2 - 12} \right) ; \quad \text{tg}\alpha = \frac{3}{2} \frac{B_x + 2x_v}{t_y - y_v} \quad (6)$$

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

formülleri ile hesaplanır, [1].

Tip 3:

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

$$t_x = \frac{B_x}{12} \left(-\frac{B_x}{x_v} + \sqrt{\left(\frac{B_x}{x_v}\right)^2 - 12} \right) ; \quad \text{tg}\alpha = \frac{3}{2} \frac{B_y + 2y_v}{t_x - x_v} \quad (8)$$

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

formülleri ile hesaplanmaktadır, [1].

Tip 4:

V yükünün uygulama noktası Şekil 3'te 4 ile gösterilen bölgelerde olduğu zaman da büyük dışmerkezlik oluşur. Bu durumda basınç bölgesi beşgen, gerilmemiş bölge ise üçgen biçimindedir, Şekil 4. Bu tip için kesin değerlerin hesabı çok güçtür. Pratik uygulamalar için yeter yaklaşıklıkla

$$\varepsilon = \frac{|x_v|}{B_x} + \frac{|y_v|}{B_y} \quad (10)$$

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

formülleri kullanılabilir, [1].

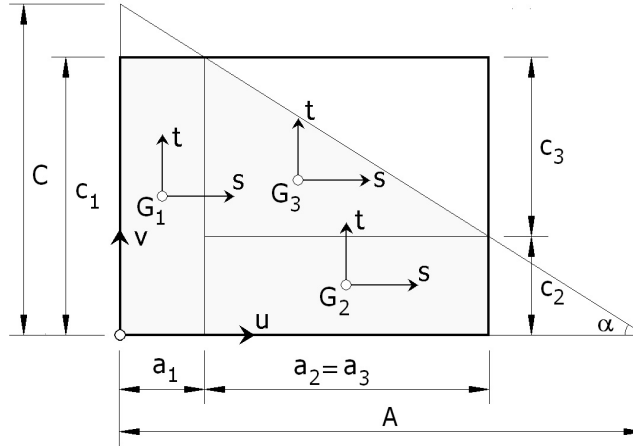
Tip 5:

Şekil 4 üzerinde kesikli çizgi ile belirtilen oval bölgeye “İkinci 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 dışmerkezlilik” oluşur. Yani bu durumda basınç bölgesi gerilmesiz bölgeden daha küçük olur. Uygulamada tercih edilmemesi gereken bu duruma bazı yönetmeliklerde izin verilmediği belirtilmektedir, [1], [7]. 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.

Bu çalışmada büyük dışmerkezlilik durumunda taban gerilmelerinin hesabı için basınç bölgesinin biçiminden bağımsız olan genel bir yöntem geliştirilmiştir.

3. BASINÇ BÖLGESİNİN KESİT ÖZELLİKLERİ

Gerilme hesaplarının yapılabilmesi için öncelikle taban basınç bölgesinin kesit özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Basınç bölgesi beşgen biçiminde olan bir temel tabanı Şekil 6’da gösterilmiştir. Aşağıda açıklanacağı gibi, bu biçimdeki basınç bölgesi geneldir. Yani diğer tipteki basınç bölgelerini özel haller olarak içerir.



Şekil 6: Temel tabanı ve basınç bölgesi parçaları

Eğik Eğilme Etkisi Altındaki Dikdörtgen Tekil Temelerde Taban Gerilmelerinin Hesabı

Tarafsız eksenin u ve v eksenlerini kestiği noktaların sol alt köşeye uzaklıkları A ve C ile gösterilmiştir. Bu büyüklükler gerilme hesabında temel değişkenler olarak kullanılacaktır. Kesit özellikleri elde etmek amacı ile, söz konusu basınç bölgesi iki dikdörtgen ve bir üçgenden oluşan üç parçaya ayrılmıştır. Bu parçaların $a_1, c_1, a_2, c_2, a_3, c_3$ ile gösterilen boyutları B_x, B_y, A ve C değerleri yardımı ile kolayca hesaplanabilir. Çeşitli basınç bölgesi tiplerinin gerçekleşmesi için gerekli olan koşullar Çizelge 1’de, bu tiplerdeki parçaların boyutları da Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 1: Basınç bölgesi tipleri ile ilgili koşullar

Tip	Koşul
1	$A > B_x \quad \& \quad C > B_y \quad \& \quad \frac{B_x}{A} + \frac{B_y}{C} < 1$
2	$A < B_x \quad \& \quad C > B_y$
3	$A > B_x \quad \& \quad C < B_y$
4	$A > B_x \quad \& \quad C > B_y \quad \& \quad \frac{B_x}{A} + \frac{B_y}{C} > 1$
5	$A < B_x \quad \& \quad C < B_y$

Çizelge 2: Basınç bölgesi parçalarının boyutları

Tip	a_1	c_1	a_2	c_2	a_3	c_3
1	B_x	B_y	0	0	0	0
2	$(C-B_y)/\text{tg}\alpha$	B_y	0	0	$A-a_1$	B_y
3	0	0	B_x	$(A-B_x) \text{tg}\alpha$	B_x	$C-c_2$
4	$(C-B_y)/\text{tg}\alpha$	B_y	B_x-a_1	$(A-B_x) \text{tg}\alpha$	B_x-a_1	c_2
5	0	0	0	0	A	C

Parçalara ait G_1, G_2, G_3 ağırlık merkezlerinin u, v eksen takımına göre u_g, v_g koordinatları ve F alanları ile kendi ağırlık merkezlerinden geçen s,t eksen takımına göre I_s, I_t ve I_{st} atalet momentleri Çizelge 3’te gösterilmiştir.

Çizelge 3: Basınç bölgesi parçalarının kesit özellikleri

	Dikdörtgen parça (1)	Dikdörtgen parça (2)	Üçgen parça (3)
u_g	$\frac{1}{2}a_1$	$a_1 + \frac{1}{2}a_2$	$a_1 + \frac{1}{3}a_3$
v_g	$\frac{1}{2}c_1$	$\frac{1}{2}c_2$	$c_2 + \frac{1}{3}c_3$
F	a_1c_1	a_2c_2	$\frac{1}{2}a_3c_3$
I_s	$\frac{a_1c_1^3}{12}$	$\frac{a_2c_2^3}{12}$	$\frac{a_3c_3^3}{36}$
I_t	$\frac{a_1^3c_1}{12}$	$\frac{a_2^3c_2}{12}$	$\frac{a_3^3c_3}{36}$
I_{st}	0	0	$-\frac{a_3^2c_3^2}{72}$

Çizelgede verilen değerler kullanılarak basınç bölgesinin F alanı ile G ağırlık merkezinin u_g, v_g koordinatları

$$F = \sum_{i=1}^3 F_i \quad (12)$$

$$u_g = \frac{\sum_{i=1}^3 u_{g,i} F_i}{F} \quad (13)$$

$$v_g = \frac{\sum_{i=1}^3 v_{g,i} F_i}{F} \quad (14)$$

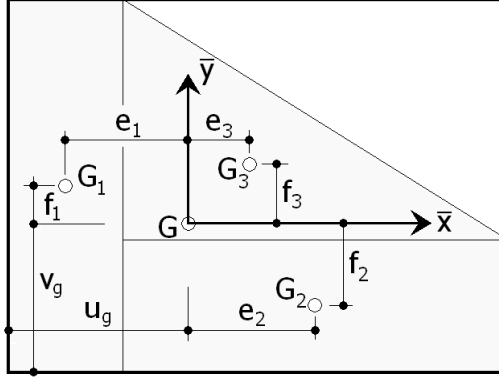
ile hesaplanabilir. Basınç bölgesinin G ağırlık merkezinden geçen \bar{x}, \bar{y} eksen takımına göre atalet momentleri de

$$I_x = \sum_{i=1}^3 I_{s,i} + \sum_{i=1}^3 F_i f_i^2 \quad (15)$$

$$I_y = \sum_{i=1}^3 I_{t,i} + \sum_{i=1}^3 F_i e_i^2 \quad (16)$$

$$I_{xy} = \sum_{i=1}^3 I_{st,i} + \sum_{i=1}^3 F_i e_i f_i \quad (17)$$

olur. Burada e_i ve f_i , basınç bölgesi parçalarının ağırlık merkezlerinin G ağırlık merkezine uzaklıklarını göstermektedir, Şekil 7.



Şekil 7: Basınç bölgesi parçaları ağırlık merkezlerinin uzaklıkları

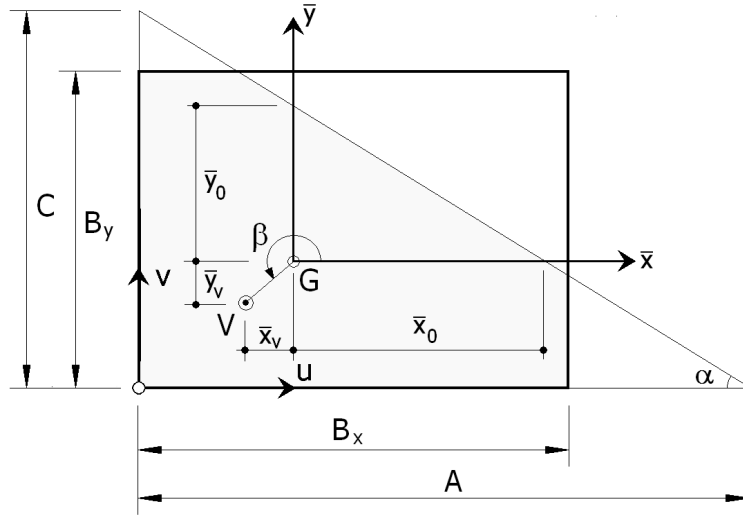
4. GERİLME HESABI

Uzun yıllar boyunca yapı mühendislerinin en önemli başvuru kitaplarından biri olan ve “Löser” adıyla tanınan betonarme kitabı betonarme yapı elemanlarının elastik teoriye göre yapılan kesit hesapları ile ilgili kapsamlı ve ayrıntılı açıklamalar içermektedir, [8]. Günümüzde betonarme kesit hesaplarında “Taşıma gücü” kuramının kullanılması nedeniyle, bu kitaptaki bilgilerin önemli bir bölümü güncelliğini yitirmiş bulunmaktadır. Ancak bu kitaptaki “İki istikametli mürekkep eğilmeye maruz dikdörtgen kesitler” adlı bölümde verilen formüllerin eğik eğilme etkisindeki dikdörtgen temelerde taban gerilmelerinin hesabında kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Gerçekten de bu bölümdeki formüllerde yer alan donatı katkıları çıkarılırsa geriye beton gerilmelerinin hesabı kalmakta ve bunlar, bu biçimleriyle, tekil temelerdeki gerilmelerin hesabı için kullanılabilmektedir. Ayrıca, Löser formüllerindeki atalet momentleri yerine yukarıda verilmiş olan ifadeler kullanıldığında, gerilme hesabı beşgen basınç bölgesini de içerecek biçimde geliştirilmiş olmaktadır. Tekil temeler için bu biçimde geliştirilmiş olan gerilme hesabı aşağıda açıklanmıştır.

V düşey yükünün uygulama noktasına ait x_v , y_v koordinatları (4) formülleri ile verilmiştir. Bu noktanın temel basınç bölgesinin ağırlık merkezinden geçen \bar{x} , \bar{y} eksen takımına göre koordinatları ise

$$\bar{x}_v = x_v + \frac{B_x}{2} - u_g \quad ; \quad \bar{y}_v = y_v + \frac{B_y}{2} - v_g \quad (18)$$

olur, Şekil 8.



Şekil 8: Gerilme hesabı için yardımcı büyüklükler

GV doğrusu ile yatay \bar{x} eksenini arasındaki açı β ile gösterilirse

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\bar{y}_v}{\bar{x}_v} \quad (19)$$

olur, Şekil 8. Tarafsız eksenin eğimi ise

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{I_x - I_{xy} \operatorname{tg}\beta}{I_y \operatorname{tg}\beta - I_{xy}} \quad (20)$$

olarak hesaplanmaktadır, [8]. Tarafsız eksenin \bar{x} ve \bar{y} eksenlerini kestiği noktaların G noktasına uzaklıkları

$$\bar{x}_0 = -\frac{I_y + I_{xy} / \operatorname{tg}\alpha}{\bar{x}_v F} \quad ; \quad \bar{y}_0 = \bar{x}_0 \operatorname{tg}\alpha, \quad (21)$$

u ve v eksenlerini kestiği noktaların taban alanının sol alt köşesine uzaklıkları da

$$A = u_g + \bar{x}_0 + y_g / \operatorname{tg}\alpha \quad ; \quad C = y_g + \bar{y}_0 + u_g \operatorname{tg}\alpha, \quad (22)$$

dir, Şekil 8.

Koordinatları \bar{x} ve \bar{y} olan herhangi bir noktadaki taban gerilmesi

$$\sigma = \frac{V}{F} \left(\frac{\bar{x} \operatorname{tg} \alpha + \bar{y}}{\bar{y}_0} - 1 \right) \quad (23)$$

sol alt köşedeki en büyük taban gerilmesi de

$$\sigma_{\max} = \frac{AV}{\bar{x}_0 F} \quad (24)$$

olarak hesaplanmaktadır, [8].

5. HESAPTA İZLENEN YOL

Yukarıdaki bölümde görüldüğü gibi, gerilmelerin elde edilmesi için gerekli olan \bar{X}_v , \bar{Y}_v , $\operatorname{tg} \beta$, $\operatorname{tg} \alpha$, \bar{X}_0 , \bar{Y}_0 yardımcı büyüklüklerinin hesaplanabilmesi için, basınç bölgesine ait “Kesit Özellikleri”nin bilinmesi gerekmektedir. Oysa Çizelge 2 ve 3’ün incelenmesinden görüleceği gibi, küçük dışmerkezlik durumu olan Tip 1 gerilme yayılışı dışında kalan tüm tipler için kesit özelliklerinin değerleri A ve C uzunluklarına bağlıdır. Büyük dışmerkezlik halleri için A ve C değerleri başlangıçta belli olmadığından bir ardışık yaklaşım yolunun uygulanması gerekir. Hesapta izlenecek yol aşağıdaki biçimde özetlenebilir:

1. Önce (5) denklemini uygulanarak tüm köşelerdeki gerilmeler hesaplanır. Köşe gerilmelerinin tümü pozitif (basınç) olarak bulunursa küçük dışmerkezlik söz konusudur ve gerilme hesabı tamamlanmıştır.
2. Köşe gerilmelerinden en az birinin negatif (çekme) olarak elde edilmesi halinde büyük dışmerkezlik oluşacak demektir. Bu durumda A ve C için uygun başlangıç değerleri seçilerek ardışık yaklaşıma başlanır.
3. A ve C değerleri kullanılarak Çizelge 1’deki koşullar irdelenir ve basınç bölgesinin biçimi (tipi) saptanır.
4. Çizelge 2 ve 3’te verilen formüller kullanılarak, sırası ile, basınç bölgesi parçalarının boyutları ve kesit özellikleri hesaplanır.
5. (12) ~ (17) formülleri kullanılarak tüm basınç bölgesine ait kesit özellikleri hesaplanır.
6. (18) ~ (21) formülleri kullanılarak yardımcı büyüklükler, (22) formülleri ile de yeni A ve C değerleri hesaplanır.
7. Yeni bulunan A ve C değerleri seçilen değerlere yeteri kadar yakın değilse bu yeni değerler kullanılarak 3. adım (ve sonrası) yinelenir.
8. Yeni bulunan A ve C değerleri seçilen değerlere yeteri kadar yakın olduğu zaman ardışık yaklaşıma son verilir ve (23) formülü ile köşe gerilmeleri hesaplanır.

Bu hesap düzeni hem hızlı olarak yakınsaktır hem de köşe gerilmelerinin değerleri A ve C değerlerinin değişimine karşı çok duyarlı değildir. Yapılan sayısal uygulamalar adım sayısının da seçilen başlangıç değerlerine çok fazla bağımlı olmadığını göstermiştir. A ve C için en uygun başlangıç değerlerinin başlangıçta (5) denkleminde bulunan köşe gerilmelerinden orantı ile hesaplanan değerler olduğu söylenebilir.

6. SAYISAL UYGULAMA

Boyutları $B_x = 2.50$ m, $B_y = 1.50$ m olan dikdörtgen bir temel $V = 400$ kN düşey yük ile $M_x = 120$ kNm ve $M_y = 150$ kNm eğilme momentlerinin etkisi altındadır. (5) formülü kullanılarak elde edilen köşe gerilmeleri Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4: Başlangıç gerilmeleri

Köşe	σ (kPa)
Sol alt	330.7
Sol üst	74.7
Sağ üst	-117.3
Sağ alt	138.7

Sağ üst köşe gerilmesi negatif (çekme) olduğundan büyük dışmerkezlik söz konusudur ve ardışık yaklaşım uygulamak gerekir. Köşe gerilmelerinden orantı ile, başlangıçdeğerleri olarak

$$A = 4.306 \text{ m} ; \quad C = 1.938 \text{ m}$$

bulunur. Bu değerler yardımı ile Çizelge 1'deki koşullar irdelenirse

$$A > B_x \quad ; \quad C > B_y \quad ; \quad \frac{B_x}{A} + \frac{B_y}{C} > 1$$

koşullarının sağlandığı, yani basınç bölgesinin beşgen (Tip 4) olduğu saptanır. Çizelge 2 ve 3'te verilen formüller kullanılarak, sırası ile, basınç bölgesi parçalarının boyutları ve kesit özellikleri hesaplandıktan sonra. (12) ~ (17) formülleri yardımı ile tüm basınç bölgesi için

$$I_x = 0.5237 \text{ m}^4$$

$$I_y = 1.5499 \text{ m}^4$$

$$I_{xy} = -0.2203 \text{ m}^4$$

Eğik Eğilme Etkisi Altındaki Dikdörtgen Tekil Temelerde Taban Gerilmelerinin Hesabı

bulunur. Bu değerler kullanılarak (18) ~ (21) formülleri ile yardımcı büyüklükler hesaplandıktan sonra (22) formülleri yardımı ile

$$A = 3.874 \text{ m}; \quad C = 1.796 \text{ m}$$

elde edilir. A ve C büyüklükleri için yeni bulunan değerler başlangıçta seçilenlere yeteri kadar yakın olmadığından son bulunan A ve C değerlerini kullanarak ardışık yaklaşımı sürdürmek gerekmektedir. Ardışık adımlarda elde edilen sonuçlar Çizelge 5'te görülmektedir.

Çizelge 5: Ardışık yaklaşım sonuçları

Adım	A (m)	C (m)	σ_{\max} (kPa)
1	4.306	1.938	330.7
2	3.874	1.796	366.8
3	3.807	1.768	373.1
4	3.804	1.767	373.3

4. adımda bulunan A ve C değerlerinin 3. adımdakilere yeteri kadar yakın olduğu görülmektedir. Bu durumda ardışık yaklaşıma son verilmiştir. (23) formülü ile bulunan sonuç köşe gerilmeleri Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 6: Sonuç gerilmeler

Köşe	σ (kPa)
Sol alt	373.3
Sol üst	56.5
Sağ üst	-
Sağ alt	128.0

Önerilen yöntemin hızlı olarak yakınsak olduğu ve sadece 4 adım sonunda kesin değerlerin elde edilebildiği görülmektedir. Öte yandan, Köseoğlu, [1] tarafından bu basınç dağılımı için verilmiş olan yaklaşık (11) formülü ile

$$\sigma_{\max} = 373.1 \text{ kPa}$$

olarak hesaplanmaktadır. Bu değer sadece - % 0.6 hatalı olduğu görülmektedir. Köşe gerilmelerinin tümü için ağırlıklı ortalama hata \pm % 3.7 olarak hesaplanmaktadır. Bu

hesapta ağırlık olarak gerilmelerin mutlak değerleri göz önüne alınmıştır. Çeşitli sayısal örnekler üzerinde yapılan incelemeler Köseoğlu tarafından verilen formüllerdeki ortalama hataların \pm % 5 mertebesinde olduğunu ve bunların pratik uygulamalarda başarı ile kullanılabilceğini göstermiştir. Trupia ve Saygun abak ve formülleri de pratik uygulamalar için yeter doğrulukta sonuçlar vermektedir.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada eğik eğilme etkisindeki dikdörtgen temelerde taban gerilmelerinin hesabı için bir yöntem geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki biçimde özetlenebilir:

1. Büyük dışmerkezlik durumu için geliştirilen yöntem basınç bölgesinin biçiminden bağımsızdır. Yani yamuk, beşgen ve üçgen biçimindeki tüm basınç bölgesi tipleri için geçerlidir.
2. Önerilen ardışık yaklaşım düzeni hızlı olarak yakınsaktır ve birkaç adım sonunda kesin değerler elde edilebilmektedir.
3. Geliştirilen yöntem ve önerilen ardışık yaklaşım düzeni herhangi bir programlama diliyle bilgisayar ortamına kolayca aktarılabilecek niteliktedir.
4. Köseoğlu tarafından verilen kesin ve yaklaşık formüller irdelenmiş ve bunların pratik uygulamalarda başarı ile kullanılabilceği saptanmıştır.

Semboller

- A: Tarafsız eksenin sol alt köşeden geçen yatay ekseni kestiği noktanın apsisi,
 a_1, a_2, a_3 : Basınç bölgesi parçalarının yatay boyutları,
 B_x : Tekil temelin x doğrultusundaki boyutu,
 B_y : Tekil temelin y doğrultusundaki boyutu,
C: Tarafsız eksenin sol alt köşeden geçen düşey ekseni kestiği noktanın ordinatı,
c: Tek yönlü eğilme momenti etkisinde temel kenarına uzaklık,
 c_1, c_2, c_3 : Basınç bölgesi parçalarının düşey boyutları,
e: Tek yönlü eğilme momenti etkisinde dışmerkezlik,
 e_1, e_2, e_3 : Basınç bölgesi parçaları ağırlık merkezlerinin genel ağırlık merkezine yatay uzaklıkları,
F: Temel tabanının (basınç bölgesinin) alanı,
 f_1, f_2, f_3 : Basınç bölgesi parçaları ağırlık merkezlerinin genel ağırlık merkezine düşey uzaklıkları,
 I_s, I_t, I_{st} : Basınç bölgesi parçalarının atalet momentleri,
 I_x : Temel tabanının (basınç bölgesinin) x eksenine göre atalet momenti,
 I_y : Temel tabanının (basınç bölgesinin) y eksenine göre atalet momenti,

Eğik Eğilme Etkisi Altındaki Dikdörtgen Tekil Temelerde Taban Gerilmelerinin Hesabı

I_{xy} :	Temel basınç bölgesinin çarpım atalet momenti,
M_x :	x eksenine etrafındaki eğilme momenti
M_y :	y eksenine etrafındaki eğilme momenti,
t_x, t_y :	Yardımcı büyüklükler,
u_g, v_g :	Basınç bölgesi ağırlık merkezinin koordinatları,
V :	Düşey yük,
x_v :	Düşey yük uygulama noktasının apsisi,
y_v :	Düşey yük uygulama noktasının ordinatı,
α :	Tarafsız eksenin yatay x eksenine ile yaptığı açı,
β :	Düşey yük uygulama noktasından geçen vektör ile yatay \bar{x} eksenine arasındaki açı,
ε :	Yardımcı değer,
σ :	Köşe gerilmesi,
σ_{max} :	Maksimum köşe (kenar) gerilmesi.

Kaynaklar

- [1] Köseoğlu, S., Temeller – Statiği ve Konstruksiyonu, 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.
- [4] Aka, İ., Keskinel, F., Çılı, F., Çelik, O. C., Betonarme, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2001.
- [5] Trupia, A., Saygun, A. – Betonarme Yüzeysel Temeller, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2009.
- [6] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Mart 2007.
- [7] DIN 1054 – 1976, Temel Zeminine – Temel Zemininin Güvenlik Yükleri, (Çeviren: S. Köseoğlu), Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Bülteni, No. 81, Ankara, 1984.
- [8] Löser, B., Löser - Betonarme Hesap Metotları, (Çeviren: Y. Berdan), Güven Kitabevi, Ankara, 1972.