

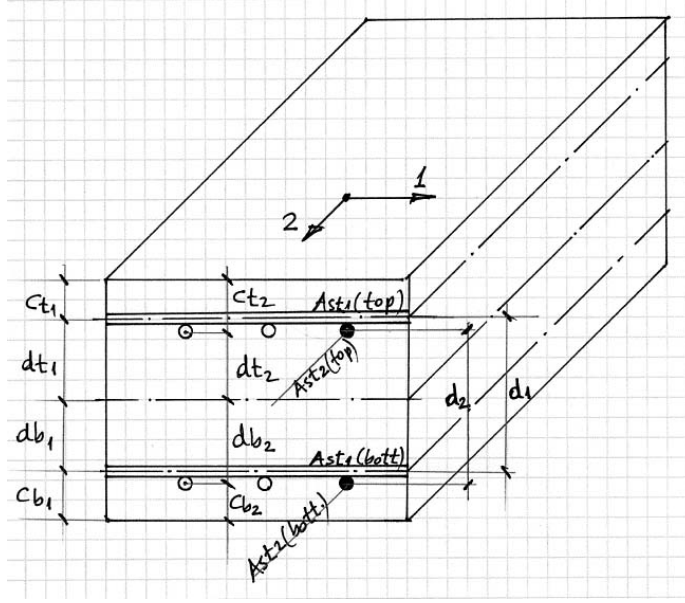
Ön Bilgi

SAP2000 'de önceden saptanan kesit kuvvetleriyle betonarme plak donatısı hesapları aşağıdaki iki makale doğrultusunda yapılmaktadır:

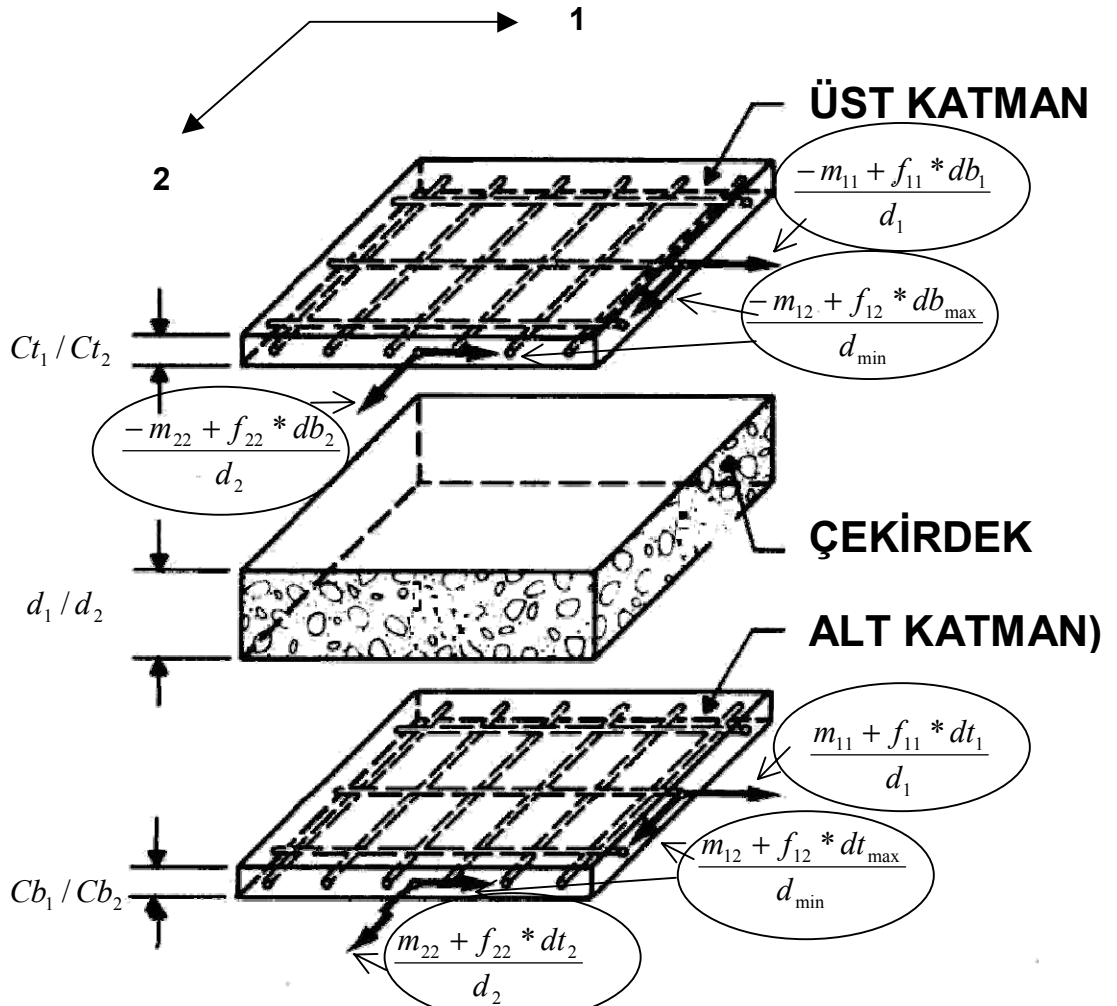
- Optimum Design of Reinforced Concrete Shells and Slabs, Troels Brondum-Nielsen, Technical University of Denmark, Report NR.R 1974
- Design of Concrete Slabs for Transverse Shear, Peter Marti, ACI Structural Journal, Mart-Nisan 1990

Genelleme yapılırsa, plak elemanlar sekiz gerilme birleşenine bağlıdır. SAP2000 terminolojisinde, bu bileşenler üç adet f_{11} , f_{22} ve f_{12} membran kuvvetleri, iki adet m_{11} ve m_{22} eğilme ve m_{12} burulma momentleri; ve iki adet V_{13} ve V_{23} düzleme dik doğrultuda kesme kuvvetleridir. Boyutlandırmada plak, en dıştaki donatıyı merkez alan iki adet dış katman ve bir çekirdek (iç katman) olarak düşünülür. Bu yaklaşım bazen “sandviç modeli” olarak tanımlanır. Sandviç modelin dış örtüsünün (dış katmanlarının) momentleri ve membran kuvvetlerini karşıladığı düşünülür, kesme kuvvetleri de iç çekirdeğe devredilir. Marti 1990 'dan uyarlanan bu yöntem şekil 1 'de görülebilir. SAP2000 boyutlandırmasındaki uygulama çekirdekte diyagonal çatlakların oluşmadığı varsayımına dayanır. Bu durumda, çekirdekte salt kesme ortaya çıkar, bu nedenle kesitteki karşılıklı kesme kuvvetleri sandviç modelin dış örtüsündeki düzlem-içi kuvvetlere bir etkisi olmaz. Böylece, düzleme dik doğrultuda donatı gerekmemektedir ve düzleme dik doğrultudaki kesme kuvvetleri düzlem-içinde donatıyı arttırmamaktadır.

Betonarme plakların boyutlandırma prosedürü, SAP2000 'de uygulandığı şekliyle, aşağıdaki maddelerde gösterilmektedir:



1. Şekil 1 de görüldüğü gibi plak, dıştaki donatıyı merkez alan iki adet dış katmandan oluşmuştur.



Şekil 1: Plak elemanın statığı – Sandviç modeli

2. Her bir katmanın kalınlığı aşağıdakilerden küçük olana eşit alınır:
 - Donatı merkezinden plak dış kenarına olan uzaklığın iki katı
 - Plağın merkezinden donatı merkezine ölçülen uzaklığın iki katı.
3. Altı adet f_{11} , f_{22} , f_{12} , m_{11} , m_{22} ve m_{12} bileşenlerinden, üst ve alt donatı katmanlarının merkez düzlemini üzerine etkileyen salt membran kuvvetleri N_{11} , N_{22} ve N_{12} hesaplanır. Momentler kuvvetlere çevrilirken kuvvet kolu dıştaki donatı katmanlarının arasındaki mesafe olarak alınır.
4. Her bir katman için donatı kuvvetleri N_{Des1} ve N_{Des2} , beton asal basınç kuvvetleri F_{c1} , F_{c2} ve beton asal basınç gerilmeleri $Sc1$ ve $Sc2$ bulunurken Borundrum-Nielsen 1974 'de ortaya konan yöntemlere göre hesaplanır.
5. Donatı kuvvetleri uygun çelik gerilme ve gerilme azaltma çarpanları kullanılarak birim genişliğe karşı gelen donatı alanları olan (A_{st1} ve A_{st2}) ye çevrilir.

Gerilme Bileşenlerini Eşdenik Membran Kuvvetlerine Çeviren Temel Denklemler

Verilen bir kabuk elemanı için h , C_{t1} , C_{t2} , C_{b1} , ve C_{b2} değişkenleri sabittir. Bu değerlerin alan kesit özellikleri verisi olarak kullanıcı tarafından tanımlanmaları beklenmektedir. Eğer bu parametrelerin 0 oldukları görülürse, herbiri için beton kabuğun h kalınlığının yüzde 10 'una eşit ön tanımlı bir değer alınır. Aşağıda hesaplamalar uygulanır:

$$dt_1 = \frac{h}{2} - Ct_1; \quad dt_2 = \frac{h}{2} - Ct_2; \quad db_1 = \frac{h}{2} - Cb_1; \quad db_2 = \frac{h}{2} - Cb_2$$

$$d_1 = h - Ct_1 - Cb_1; \quad d_2 = h - Ct_2 - Cb_2$$

$$d_{\min} = d_1 \text{ ve } d_2 \text{ den küçük olanı}$$

$$db_{\max} = db_1 \text{ ve } db_2 \text{ den küçük olanı}$$

$$dt_{\max} = dt_1 \text{ ve } dt_2 \text{ den küçük olanı}$$

Analizden elde edilen altı gerilme bileşeni aşağıdaki dönüşüm denklemleri kullanılarak eşdenik membran kuvvetlerine dönüştürülür.

$$N_{11}(top) = \frac{-m_{11} + f_{11} * db_1}{d_1}; \quad N_{11}(bot) = \frac{m_{11} + f_{11} * dt_1}{d_1}$$

$$N_{22}(top) = \frac{-m_{22} + f_{22} * db_2}{d_2}; \quad N_{22}(bot) = \frac{m_{22} + f_{22} * dt_2}{d_2}$$

$$N_{12}(top) = \frac{-m_{12} + f_{12} * db_{\max}}{d_{\min}}; \quad N_{12}(bot) = \frac{m_{12} + f_{12} * dt_{\max}}{d_{\min}}$$

Boyutlandırma Kuvvetleri için Denklemleri ve Onlara Karşı Gelen Donatılar

Her bir katman için, iki doğrultuda boyutlandırma kuvvetleri Brondrum-Nielsen 1974 'de ortaya konan aşağıdaki yöntemlere dayanarak eşdenik membran kuvvetlerinden hesaplanırlar.

$$NDes_1(top) = N_{11}(top) + Abs\{N_{12}(top)\}$$

$$NDes_1(bot) = N_{11}(bot) + Abs\{N_{12}(bot)\}$$

$$NDes_2(top) = N_{22}(top) + Abs\{N_{12}(top)\}$$

$$NDes_2(bot) = N_{22}(bot) + Abs\{N_{12}(bot)\}$$

NDes1 veya NDes2 eğer 0 'dan küçük ise aşağıdaki kısıtlamalar uygulanır:

$$\text{Eğer } NDes_2(top) < 0 \text{ ise } NDes_1(top) = N_{11}(top) + Abs\left\{\frac{[N_{12}(top)]^2}{N_{22}(top)}\right\}$$

$$\text{Eğer } NDes_1(top) < 0 \text{ ise } NDes_2(top) = N_{22}(top) + Abs\left\{\frac{[N_{12}(top)]^2}{N_{11}(top)}\right\}$$

$$\text{Eğer } NDes_2(bot) < 0 \text{ ise } NDes_1(bot) = N_{11}(bot) + Abs\left\{\frac{[N_{12}(bot)]^2}{N_{22}(bot)}\right\}$$

$$\text{Eğer } NDes_1(bot) < 0 \text{ ise } NDes_2(bot) = N_{22}(bot) + Abs\left\{\frac{[N_{12}(bot)]^2}{N_{11}(bot)}\right\}$$

Yukarıda gösterilen denklemlerden hesaplanan boyutlandırma kuvvetleri, kabuk elemana atanan beton malzemesi özelliklerinden uygun çelik gerilmeleri ve gerilme azaltma faktörü ϕ_s kullanılarak birim genişliğe düşen donatı alanına dönüştürülürler. Gerilme azaltma faktörü her zaman 0.9 'a eşit olduğu varsayılır. Aşağıdaki denklemler kullanılır:

$$Ast_1(top) = \frac{NDes_1(top)}{0.9(f_y)}; \quad Ast_1(bot) = \frac{NDes_1(bot)}{0.9(f_y)}$$

$$Ast_2(top) = \frac{NDes_2(top)}{0.9(f_y)}; \quad Ast_2(bot) = \frac{NDes_2(bot)}{0.9(f_y)}$$

Kabuk elemanlardaki Asal Basınç Kuvvetleri ve Gerilmeleri

İki dik doğrultudaki asal basınç gerilme kuvvet ve gerilmeleri Brondum-Nielsen 1974 'den alınan aşağıdaki prensipler kullanılarak heraplanır:

$$\begin{aligned} Fc_1(top) &= N_{11}(top) + \frac{\{N_{12}(top)\}^2}{N_{11}(top)} & \text{eğer } NDes_1(top) < 0 \\ &= -2.Abs\{N_{12}(top)\} & \text{eğer } NDes_1(top) \geq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Fc_1(bot) &= N_{11}(bot) + \frac{\{N_{12}(bot)\}^2}{N_{11}(bot)} & \text{eğer } NDes_1(bot) < 0 \\ &= -2.Abs\{N_{12}(bot)\} & \text{eğer } NDes_1(bot) \geq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Fc_2(top) &= N_{22}(top) + \frac{\{N_{12}(top)\}^2}{N_{22}(top)} & \text{eğer } NDes_2(top) < 0 \\ &= -2.Abs\{N_{12}(top)\} & \text{eğer } NDes_2(top) \geq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Fc_2(bot) &= N_{22}(bot) + \frac{\{N_{12}(bot)\}^2}{N_{22}(bot)} & \text{eğer } NDes_2(bot) < 0 \\ &= -2.Abs\{N_{12}(bot)\} & \text{eğer } NDes_2(bot) \geq 0 \end{aligned}$$

Üst ve alt katmanlardaki iki doğrultuda asal basınç gerilmeleri aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\begin{aligned} Sc_1(top) &= \frac{Fc_1(top)}{2.Ct_1}; & Sc_1(bot) &= \frac{Fc_1(bot)}{2.Cb_1} \\ Sc_2(top) &= \frac{Fc_2(top)}{2.Ct_2}; & Sc_2(bot) &= \frac{Fc_2(bot)}{2.Cb_2} \end{aligned}$$

Simgeler

Betonarme plağın donatı boyutlandırmasında kullanılan formüller aşağıdaki simgeler yardımıyla ifade edilmektedirler.

$Ast_1(bot)$	Alt katmanda yerel 1 doğrultusunda gerekli donatı
$Ast_1(top)$	Üst katmanda yerel 1 doğrultusunda gerekli donatı
$Ast_2(bot)$	Alt katmanda yerel 2 doğrultusunda gerekli donatı
$Ast_2(top)$	Üst katmanda yerel 2 doğrultusunda gerekli donatı
Cb_1	Kesitin en alt noktasından 1 doğrultusuna paralel olan alttaki donatının merkezine olan mesafe
Cb_2	Kesitin en alt noktasından 2 doğrultusuna paralel olan alttaki donatının merkezine olan mesafe
Ct_1	Kesitin en üst noktasından 1 doğrultusuna paralel olan üstteki donatının merkezine olan mesafe
Ct_2	Kesitin en üst noktasından 2 doğrultusuna paralel olan üstteki donatının merkezine olan mesafe
d_1	1 doğrultusundaki kuvvetler için moment kolu
d_2	2 doğrultusundaki kuvvetler için moment kolu
db_1	1 doğrultusuna paralel olan alttaki donatının merkezinden kesitin orta yüzeyine olan mesafe
db_2	2 doğrultusuna paralel olan alttaki donatının merkezinden kesitin orta yüzeyine olan mesafe
db_{max}	db_1 ve db_2 den büyük olanı
d_{min}	d_1 ve d_2 den küçük olanı
dt_1	1 doğrultusuna paralel olan üstteki donatının merkezinden kesitin orta yüzeyine olan mesafe
dt_2	2 doğrultusuna paralel olan üstteki donatının merkezinden kesitin orta yüzeyine olan mesafe
dt_{max}	dt_1 ve dt_2 den büyük olanı
f_{11}	Yerel 1 doğrultusunda etkiyen membrane kuvveti
f_{12}	Düzlem içi membran kesme kuvvetleri

f_{22}	Yerel 2 doğrultusunda etkiyen membrane kuvveti
$F_{c1}(bot)$	Alt katmanda yerel 1 doğrultusunda asal basınç kuvveti
$F_{c1}(top)$	Üst katmanda yerel 1 doğrultusunda asal basınç kuvveti
$F_{c2}(bot)$	Alt katmanda yerel 2 doğrultusunda asal basınç kuvveti
$F_{c2}(top)$	Üst katmanda yerel 2 doğrultusunda asal basınç kuvveti
f_y	Donatının akma gerilmesi
h	Betonarme kabuk elemanın kalınlığı
m_{11}	Yerel 1 doğrultusunda plak eğilme momenti
m_{12}	Yerel 1 doğrultusunda plak burulma momenti
m_{22}	Yerel 2 doğrultusunda plak eğilme momenti
$N_{11}(bot)$	Alt katmanda yerel 1 doğrultusunda eşdenik membrane kuvveti
$N_{11}(top)$	Üst katmanda yerel 1 doğrultusunda eşdenik membrane kuvveti
$N_{12}(bot)$	Alt katmanda eşdenik düzlem içi kesme kuvveti
$N_{12}(top)$	Üst katmanda eşdenik düzlem içi kesme kuvveti
$N_{22}(bot)$	Alt katmanda yerel 2 doğrultusunda eşdenik membrane kuvveti
$N_{22}(top)$	Üst katmanda yerel 2 doğrultusunda eşdenik membrane kuvveti
$NDes_1(top)$	Üst katmanda yerel 1 doğrultusunda hesap kuvveti
$NDes_2(top)$	Üst katmanda yerel 2 doğrultusunda hesap kuvveti
$NDes_1(bot)$	Alt katmanda yerel 1 doğrultusunda hesap kuvveti
$NDes_2(bot)$	Alt katmanda yerel 1 doğrultusunda hesap kuvveti
$Sc_1(bot)$	Alt katmanda yerel 1 doğrultusunda asal basınç kuvveti
$Sc_1(top)$	Üst katmanda yerel 1 doğrultusunda asal basınç kuvveti
$Sc_2(bot)$	Alt katmanda yerel 2 doğrultusunda asal basınç kuvveti
$Sc_2(top)$	Üst katmanda yerel 2 doğrultusunda asal basınç kuvveti
φ_s	Gerilme azaltma çarpanı

Referanslar

Brondum-Nielsen, T.1974. Optimum Design of Reinforced Concrete Shells and Slabs. Technical University of Denmark. Report NR.R

Marti, P.1990. Design of Concrete Slabs for Transverse Shear. ACI Structural Journal. March-April