

İNCE BASIK KABUKLARIN ÇÖZÜMÜNE BİR YAKLAŞIM : ODTÜ AMBAR ÖNERİLERİ

Atilla BİLGÜTAY

1976 yılının ilk sömestresinde Mimarlık Fakültesinde ARCH. 431 ve 432 derslerinde yeni bir program uygulanmıştır. Kurs hızlandırılmış ve öğrencilerin güncel ve kılğısal sorunlara yönelmesi sağlanmıştır.

Yapı işlevinin strüktürde yansması üzerine verilen çalışmalardan birisi ODTÜ ambarlarına yöneltlmıştır. Öğrenciler dersin koşulları ve zamanın kısıtlaması içinde, ambarlarla ilgili kişilerle temas kurup görüşlerini, isteklerini ve konuşanların seslerini kaydettikten sonra tasarım programını geliştirip önerilerini 1:200 ölçekte sunmuşlardır.

Öğrencilerin çalışmaları arasından seçilen iki örnekte biçim ve işlev bağdaştırması, modülasyon, dolaşım açık, kapalı ve denetim alanlarının dengesi ve yetersizliği üzerinde tartışmalar sürdürülmüş, olanakları olduğu ve kullanıma yönelik kolaylıklar getirdiği saptanmıştır.

Ancak, bu önerilerin çatıları, dersin koşullarına göre, ince basık kabuk olarak ele alınmışlardır. Bu tür kabukların statik sorunlarına yönelmek teorik ve model çalışmaları ile gerçekleştirilebilmektedir.

Bu yazıda, ince basık kabukların, literatürde çok ender rastlanan, değişken yarıçaplı ya da değişken eğrisellikli türlerinden, yüzeyi

F1

$$\gamma = r \sin \frac{\pi\alpha}{L_\alpha} \sin \frac{\pi\beta}{L_\beta}$$

denklemleri ile ifade edilen bir kabukta çözüme yönelik ele alınacaktır.

Önerilerde yalnız çatı sorununa yönelmesinin yanında, bu çalışma, malzemeden tasarruf etmek için mühendislik sorunlarının karmaşık düzeylere aktarıldığını göstermek amacıyla da yapılmıştır. Birden fazla örneklerle yinelenen bir çatı örneğinde teorik ve deneysel yollarla elde edilebilecek ekonomik

çözümler, ince basık kabukların kullanım alanlarını genişletebilecektir.

GİRİŞ

İnce basık kabuklar teorisi denklemleri, değişik kabuller yapılarak, birçok yazar tarafından geliştirilmiştir. Sonuç olarak gerilim bağıntısına uygulanarak elde edilen çözüm

$$F2 \quad D \nabla^8 F + (Et)L^4 F - (Et)L^2 Z = 0$$

denklemleri ile, ve/veya kabuğun sehimine uygulanarak elde edilen çözüm

$$F3 \quad D \nabla^8 w + (Et)L^4 W - V^4 Z = 0$$

denklemleri ile ifade edilmektedir. Bu denklemlerden herhangi birinin sınır koşullarını sağlayacak biçimde çözümü kabuğun davranışını açıklamaya yeterlidir. Ancak bu denklemlerin genel ve özel çözümlerini elde etmek oldukça zordur. Bu yüzden sayısal yöntemlere sapsak ya da analog modeller kullanmak daha kolay sonuçlar elde etmeğe yöneltilir.

Kabuk çözümlerinde denklemlerin karmaşık ve çözümlerinin zor olması dolayısı ile birçok araştırmacı basitleştirmeler yaparak sonuca yönelme yolunu tutmuşlardır. Bazı terimlerin göreceli olarak önemsizliği kabul edilerek, Poisson oranı sıfıra eşitlenerek, kabuk inceliği göz önüne alınarak eğilme ve burulma ile ilgili terimler ihmal edilerek matematiksel kolaylıklar sağlanmıştır. Ancak, davranış ile ilgili başka grup araştırmacılar, ki bunlar genellikle uygulamalı çözümlere önem vermişlerdir, eşdeğer yapılar ele alarak, kiriş, kemer, plak teorileri ve davranışlarını benzeştirerek çözümlere yönelmişlerdir.

Özde sekizinci dereceden Lineer kısmi diferansiyel denklemlerde sınır koşullarını sağlayan sekiz adet sabitin bulunması bir başka deyişle homojen denklemin çözümü ve yük terimlerini içine alan özel çözümün elde edilmesi gereklidir.

İnce basık kabuklar teorisinde kabukta iç ve dış toplam iş kavramlarından yararlanılarak değişim yöntemleri *variational methods* yardımı ile uygulamaya dönük sonuçlara yönelmek kabildir.

Hele sınır koşullarının önceden belirlenmiş olması ve davranışın da bunlara göre gerçekleşeceği varsayımından başlayarak doğrudan sonuca yönelmek yararlıdır.

İleride iş kuramlarından yararlanarak yalnız düşey yükler altında davranan, sabit kalınlıklı basık kabuklarda yük dağılımını Airy gerilim bağıntısını ve sehim ifade eden dizilerle çözüme yönelme açıklanıp dizilerin yalnız birinci terimine göre örnekte çözüm değerleri gösterilecektir.

YÖNELİŞ

İnce basık bir kabukta düşey etkiyen yükler

$$F4 \quad Z(\alpha, \beta) = \sum_m \sum_n C_{mn} X_m(\alpha) Y_n(\beta)$$

olarak belirlenir ise, yük iştirak sayısı

$$F5 \quad C_{mn} = \frac{\int_0^{L_\alpha} \int_0^{L_\beta} Z(\alpha, \beta) \chi_m(\alpha) \gamma_n(\beta) d\alpha d\beta}{\int_0^{L_\alpha} \int_0^{L_\beta} \chi_m^2(\alpha) \gamma_n^2(\beta) d\alpha d\beta}$$

olarak değerlendirilir.

Yükten doğan senimleri sınır koşullarını sağlayan ve yük dağılımını açıklamakta kullanılan eğriler yardımı ile

$$F6 \quad W(\alpha, \beta) = \sum_m \sum_n K_{mn} \chi_m(\alpha) \gamma_n(\beta)$$

olarak ifade edilip şekim iştirak sayısı, ilerde değerleri belirlenecek olan entegraller ile

$$F7 \quad K_{mn} = \frac{C_{mn} E_3 E_4}{D E_1 E_4 + (Et) E_2 E_5}$$

olarak tanımlanabilir.

Airy gerilim bağıntısı

$$F8 \quad F(\alpha, \beta) = \sum_m \sum_n S_{mn} P_m(\alpha) R_n(\beta)$$

dizisi ile belirlenir ise gerilim iştirak sayısı, ilerde değerleri belirlenecek olan entegraller ile

$$F9 \quad S_{mn} = \frac{C_{mn}(Et) E_3 E_5}{D E_1 E_4 + (Et) E_2 E_5}$$

olarak tanımlanabilir.

Kabuk yüzeyinde yüklerin meydana getirdiği zahiri iş

$$F10 \quad \int_0^{L_\alpha} \int_0^{L_\beta} \{DV^4 W + L^2 F - Z\} dW d\alpha d\beta = 0$$

ve Airy gerilim bağıntısına bağlı olarak zar gerilmelerinin kabuk yüzeyinde meydana getirdiği zahiri iş

$$F11 \quad \int_0^{L_\alpha} \int_0^{L_\beta} \{V^4 F - (Et)L^2 W\} dF d\alpha d\beta = 0$$

denklemleri ile açıklanabilir.

Denklem (9) ve (10) da oluşan

$$F12 \quad dW = \sum_m \sum_n (d K_{mn}) \chi_m(\alpha) \gamma_n(\beta)$$

$$dF = \sum_m \sum_n (d S_{mn}) P_m(\alpha) R_n(\beta)$$

değişimlerinin iştirak sayılarına bağlı olduğu ve m, değerlerine göre birbirlerinden bağımsız ve ilişkisiz olduğu belirir. O halde, denklem (9)

$$\begin{aligned}
 \text{F13} \quad & \int_0^L \int_0^L \{DV^4 (K_{mn} X_m(\alpha) \gamma_n(\beta))\} \{X_m(\alpha) \gamma_n(\beta)\} d\alpha d\beta + \\
 & \int_0^L \int_0^L \{L^2 (S_{mn} P_m(\alpha) R_n(\beta))\} \{X_m(\alpha) \gamma_n(\beta)\} d\alpha d\beta - \\
 & \int_0^L \int_0^L \{C_{mn} (X_m(\alpha) \gamma_n(\beta))\} \{X_m(\alpha) \gamma_n(\beta)\} d\alpha d\beta = 0 \\
 & D K_{mn} E_1 + S_{mn} E_2 - C_{mn} E_3 = 0
 \end{aligned}$$

olarak ve Denklem (10)

$$\begin{aligned}
 \text{F14} \quad & \int_0^L \int_0^L \{\nabla^4 (S_{mn} P_m(\alpha) R_n(\beta))\} \{P_m(\alpha) R_n(\beta)\} d\alpha d\beta - \\
 & \int_0^L \int_0^L \{(Et) L^2 (K_{mn} X_m(\alpha) \gamma_n(\beta))\} \{P_m(\alpha) R_n(\beta)\} d\alpha d\beta = 0 \\
 & S_{mn} E_4 - (Et) K_{mn} E_5 = 0
 \end{aligned}$$

olarak yazılabilmektedir. Sınır dağılım diklik şartlarını sağlayan eğrilerin seçimi (5) ile entegrallerin değerlendirilmesinden sonra iştirak sayılarının bulunması kabuğun davranışını belirlemede kullanılır.

İştirak sayıları bulunduktan sonra aşağıda sıralanan denklemlerle kabuk yüzeyinde ve sınırlarında kuvvet, eğilme, burulma, kesme ve şekil değiştirmeler bulunabilir.

$$\begin{aligned}
 \text{F15} \quad & T_\alpha = \sum_m \sum_n S_{mn} \{P_m(\alpha) R_n(\beta)\} \\
 & T_\beta = \sum_m \sum_n S_{mn} \{P_m(\alpha) R_n(\beta)\} \\
 & S = \sum_m \sum_n S_{mn} \{P_m(\alpha) R_n(\beta)\} \\
 & M_\alpha = D \sum_m \sum_n K_{mn} \{X_m(\alpha) \gamma_n(\beta) + \mu X_m(\alpha) \gamma_n(\beta)\} \\
 & M_\beta = D \sum_m \sum_n K_{mn} \{X_m(\alpha) \gamma_n(\beta) + \mu X_m(\alpha) \gamma_n(\beta)\} \\
 & M_t = D (1-\mu) \sum_m \sum_n K_{mn} \{X_m(\alpha) \gamma_n(\beta)\} \\
 & N_\alpha = -D \sum_m \sum_n K_{mn} \{X_m(\alpha) \gamma_n(\beta) + X_m(\alpha) \gamma_n(\beta)\} \\
 & N_\beta = -D \sum_m \sum_n K_{mn} \{X_m(\alpha) \gamma_n(\beta) + X_m(\alpha) \gamma_n(\beta)\}
 \end{aligned}$$

$$N_{\alpha}^* = -D \sum_m \sum_n K_{mn} \{ \chi_m'''(\alpha) \gamma_n(\beta) + (2-\mu) \chi_m''(\alpha) \gamma_n''(\beta) \}$$

$$N_{\beta}^* = -D \sum_m \sum_n K_{mn} \{ \chi_m(\alpha) \gamma_n''''(\beta) + (2-\mu) \chi_m''(\alpha) \gamma_n''(\beta) \}$$

$$u = \frac{1}{(Et)} \sum_m \sum_n S_{mn} \{ \int P_m(\alpha) d\alpha \} R_n''(\beta)$$

$$v = \frac{1}{(Et)} \sum_m \sum_n S_{mn} P_m''(\alpha) \{ \int R_n(\beta) d\beta \}$$

$$w = \sum_m \sum_n K_{mn} \chi_m(\alpha) \gamma_n(\beta)$$

ÖRNEK

$$\text{Veriler : } L_{\alpha} = 10.0 \text{ m.}$$

$$L_{\beta} = 10.0 \text{ m.}$$

$$f = 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 \text{ m.}$$

$$t = 0.10 \text{ m.}$$

Not: Hesaplar yalnız
f=0.3m'ye göre ele
alınmıştır.

$$E = 2 \times 10^9 \text{ Kg/m}^2$$

$$\mu = 0.12$$

$$Z(\alpha, \beta) = 600 \text{ Kg/m}^2$$

$$D = 1.691 \times 10^5 \text{ Kg/m}$$

$$E(t) = 2.0 \times 10^8 \text{ Kg/m}$$

$$\gamma = f \sin \frac{\pi \alpha}{L_{\alpha}} \sin \frac{\pi \beta}{L_{\beta}}$$

Hudut şartları: Dört kenar ankastre

$$K_{\alpha} = f \left(\frac{\pi}{L_{\alpha}} \right)^2 \sin \frac{\pi \alpha}{L_{\alpha}} \sin \frac{\pi \beta}{L_{\beta}}$$

$$K_{\beta} = f \left(\frac{\pi}{L_{\beta}} \right)^2 \sin \frac{\pi \alpha}{L_{\alpha}} \sin \frac{\pi \beta}{L_{\beta}}$$

$$\text{Kabuller : } m = 1$$

$$n = 1$$

$$a_1 = \frac{3 \pi}{2L_\alpha} \text{ veya } \frac{3 \pi}{2L_\beta}$$

$$b_1 = 1.01781$$

$$X_1(\alpha) = \text{Sina}_1 \alpha - \text{Sinh } a_1 \alpha - b_1(\text{cosa}_1 \alpha - \text{cosh } a_1 \alpha)$$

$$P_1(\alpha) = \text{Sina}_1 \alpha + \text{Sinh } a_1 \alpha + b_1(\text{cosa}_1 \alpha + \text{cosh } a_1 \alpha)$$

$$Y_1(\beta) = \text{Sina}_1 \beta - \text{Sinh } a_1 \beta - b_1(\text{cosa}_1 \beta - \text{cosh } a_1 \beta)$$

$$R_1(\beta) = \text{Sina}_1 \beta + \text{Sinh } a_1 \beta + b_1(\text{cosa}_1 \beta + \text{cosh } a_1 \beta)$$

ÇÖZÜMLER

$$Z(\alpha, \beta) = C_{11} X_1(\alpha) Y_1(\beta)$$

$$C_{11} = \frac{\left\{ \frac{20}{3\pi} \times 4.0 \right\} \left\{ \frac{20}{3\pi} \times 4.0 \right\}}{\left\{ \frac{10}{4} \times 4.1437 \right\} \left\{ \frac{10}{4} \times 4.1437 \right\}} = +402.84 \text{ Kg/m}^2$$

$$W(\alpha, \beta) = K_{11} X_1(\alpha) Y_1(\beta)$$

$$K_{11} = \frac{+402.84 \text{ Kg/m}^2 \times 107.314 \text{ m}^2 \times 21.168 \frac{1}{\text{m}^2}}{1.691 \times 10^5 \text{ Kg-m} \times 21.168^2 \frac{1}{\text{m}^4} + 2 \times 10^8 \text{ Kg/m} \times 0.4449 \frac{1}{\text{m}} \times 0.4166 \frac{1}{\text{m}}} = +8.11 \times 10^3 \text{ m}$$

$$F(\alpha, \beta) = S_{11} P_1(\alpha) R_1(\beta)$$

$$S_{11} = \frac{+402.84 \text{ Kg/m}^2 \times 2 \times 10^8 \text{ Kg/m} \times 107.314 \text{ m}^2 \times 0.4166 \frac{1}{\text{m}}}{1.691 \times 10^5 \text{ Kg-m} \times (21.168) \frac{1}{\text{m}^4} + 2 \times 10^8 \text{ Kg/m} \times 0.4449 \frac{1}{\text{m}} \times 0.4166 \frac{1}{\text{m}}} = +3.192 \times 10^4 \text{ Kg-m}$$

$$E_1 = 21.168 \frac{1}{\text{m}^2}$$

$$E_2 = 0.4449 \frac{1}{\text{m}}$$

$$E_3 = 107.314 \text{ m}^2$$

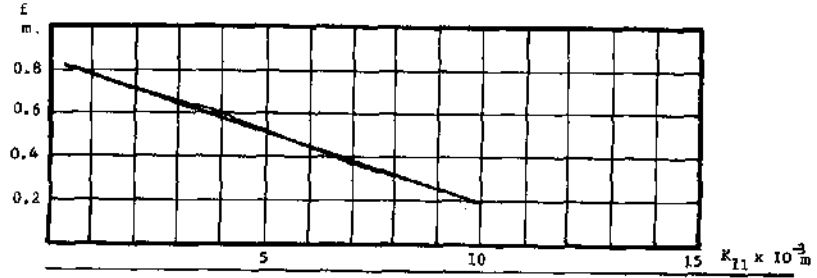
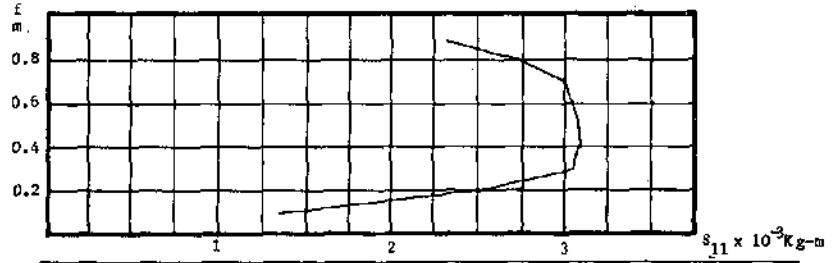
$$E_4 = 21.168 \frac{1}{\text{m}^2}$$

$$E_5 = 0.4166 \frac{1}{\text{m}}$$

NOT : E_i muhtelif f yükselişlerine göre değişmektedir.
Burada yalnız $f = 0.3 \text{ m}$ 'ye uygulanan değerler verilmiştir.

TABLO 1 Kabuk yükselişine göre iştirak sayılarının değişimi

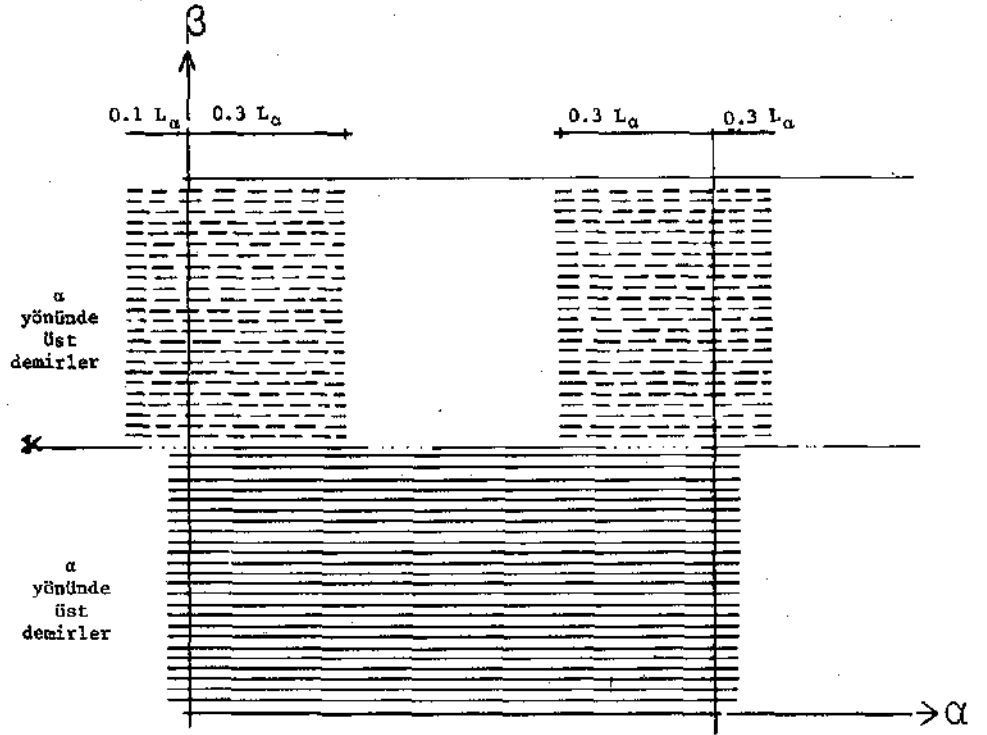
f		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
k_{11}^*	10^{-3}	9.928	8.11	6.46	5.13	4.08	1.66	0.3
S_{11}	10^4 Kg-m	2.598	3.192	3.390	3.359	3.215	3.050	2.769

Şekil 1 k_{11} DeğişimiŞekil 2 S_{11} Değişimi

	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	YER
T_a	1.8998×10^4	2.332×10^4	2.477×10^4	2.454×10^4	2.349×10^4	2.228×10^4	2.023×10^4	$\alpha = 0, L_a \beta = \frac{L_B}{2}$
T_B	1.898×10^4	2.332×10^4	2.477×10^4	2.454×10^4	2.349×10^4	2.228×10^4	2.023×10^4	$\alpha = \frac{L_a}{2}, \beta = 0, L_B$
S	2.308×10^4	2.835×10^4	3.011×10^4	2.984×10^4	2.856×10^4	2.709×10^4	2.460×10^4	$\alpha = 0, L_a \beta = 0, L_B$
M_a	+ 835	+ 682	+ 543	+ 431	+ 343	+ 139	+ 25	$\alpha = \frac{L_a}{2}, \beta = \frac{L_B}{2}$
M_B	- 1227	- 1002	- 799	- 634	- 504	- 205	- 37	$\alpha = 0, L_a \beta = \frac{L_B}{2}$
N_B	+ 835	+ 682	+ 543	+ 431	+ 343	+ 139	+ 25	$\alpha = \frac{L_a}{2}, \beta = \frac{L_B}{2}$
N_a	- 1227	- 1002	- 799	- 634	- 504	- 205	- 37	$\alpha = 0, L_a \beta = \frac{L_B}{2}$
M_t	356	291	232	184	146	60	11	$\alpha = 0.2, L_a \beta = 0.2, L_B$
N_a	360	294	234	186	148	60	11	$\alpha = 0.3, L_a \beta = 0.3, L_B$
N_B	360	294	234	186	148	60	11	$\alpha = 0.3, L_a \beta = 0.3, L_B$
N_a^*	568	464	369	293	233	95	17	$\alpha = 0, \beta = L_B / 2$
N_B^*	568	464	369	293	233	95	17	$\alpha = L_a / 2, \beta = 0$
U	4.9×10^4	4.0×10^4	3.2×10^4	2.5×10^4	2.0×10^4	0.8×10^4	0.1×10^4	$\alpha = 0.2, L_a \beta = L_B / 2$
V	4.9×10^4	4.0×10^4	3.2×10^4	2.5×10^4	2.0×10^4	0.8×10^4	0.1×10^4	$\alpha = L_a / 2, \beta = 0.2, L_B$
W	26×10^3	21×10^3	17×10^3	13×10^3	11×10^3	4×10^3	1×10^3	$\alpha = L_a / 2, \beta = L_B / 2$

TABLO 2 Tasarım için kullanılacak maksimum değerler ve mevkileri

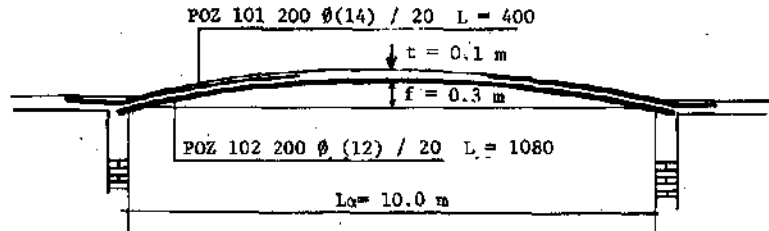
NOT: Kuvvet, moment, kesme, sehim v.s.nin yönleri, yükün tatbik ediliş yönüne bağlıdır. Tasarıma yönelirken bu husus gözetilmelidir.

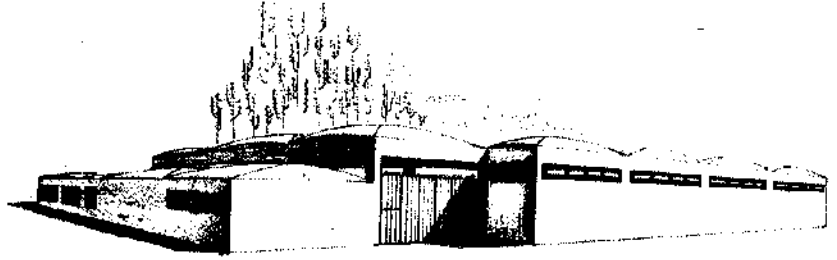


Şekil 3 NOT: Aynı donatı β yönünde de yerleşecektir.

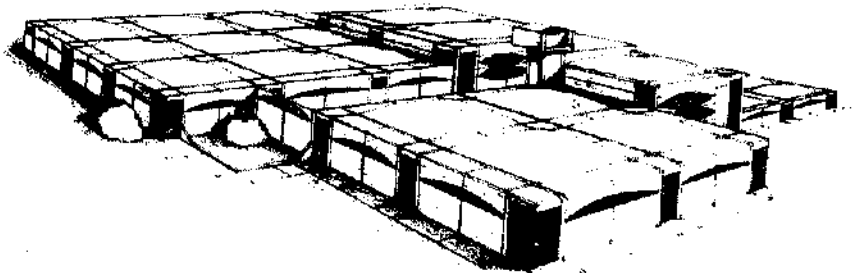
B 300 St 111
Kullanılan $f_c = \text{cm}^2 / \text{m}$
 $f_s = \text{cm}^2 / \text{m}$

Toplam demir ağırlığı 2890 Kg
Toplam demir / Alan 28.9 Kg/m²
Toplam Beton Hacmi 10 m³ = 24 T
Demir / Beton 289 Kg/m³

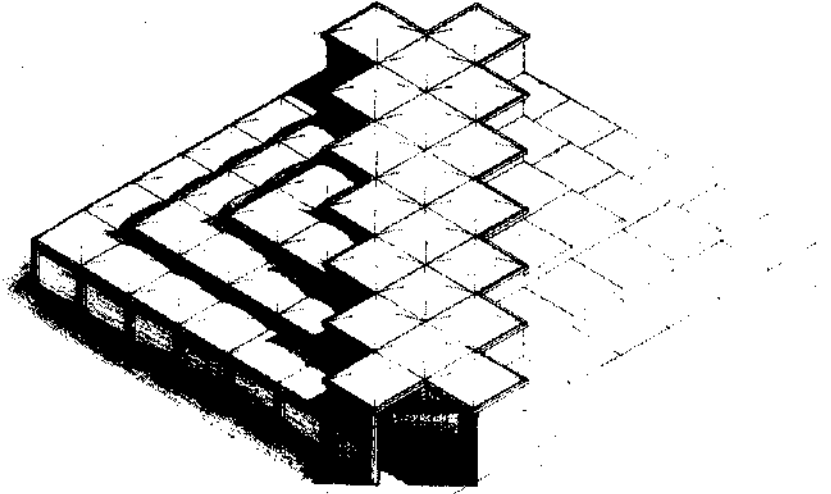




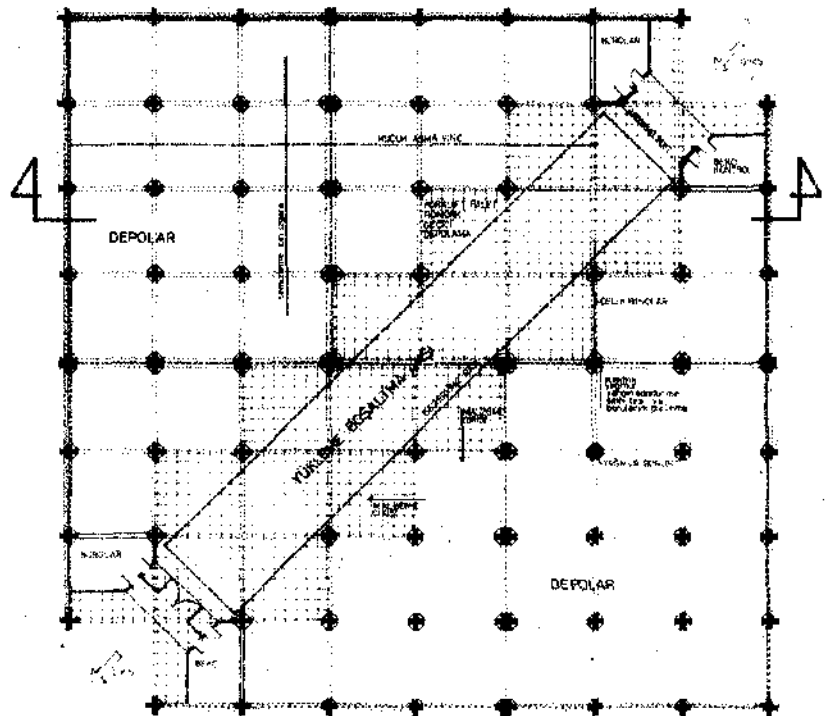
Şekil 4 Arch 431-432, M. Levent Poyraz'ın
Depo Önerisi : Perspektif



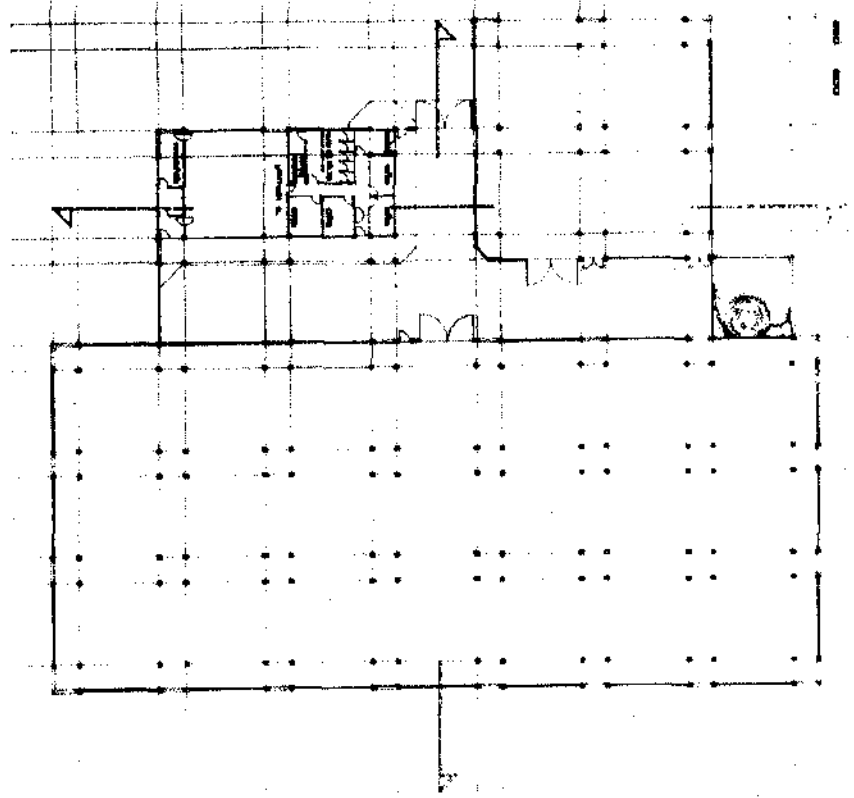
Şekil 5 Arch 431-432, Hatice Hikmet'in
Depo Önerisi : Perspektif



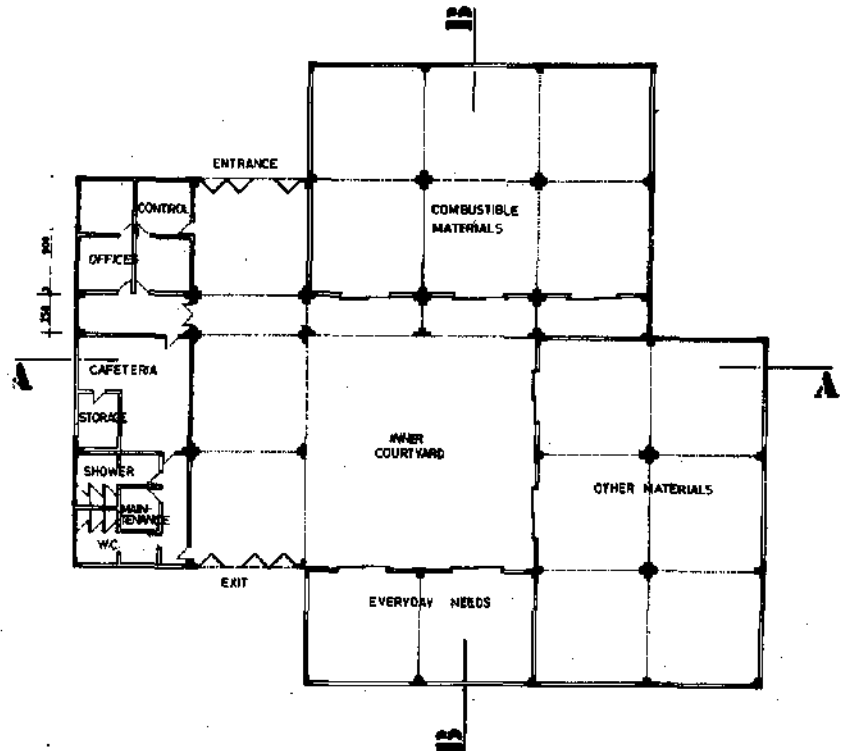
Şekil 6 Arch 431-432, Fatih Taygı'nın
Depo Önerisi : Perspektif



Şekil 7 Arch 431-432, Fatih Taygı'nın
Depo Önerisi : Plan, orijinal
ölçek 1/200



Şekil 8 Arch 431-432, M. Levent Poyraz'ın
Depo Önerisi : Plan, orijinal
ölçek 1/200



Şekil 9 Arch 431-432, Hatice Hikmet'in
Depo Önerisi : Plan, orijinal
ölçek 1/200

KULLANILAN SİMGELER

$$D = \frac{1}{12} \frac{E t^3}{(1-\mu^2)}$$

E

Eğilme sertlik sayısı.

t

(Elastisite modülü)

F

Kabuk kalınlığı

Z

Airy Gerilim bağıntısı

Z yönünde düşey yük

$$\nabla^8 = \frac{\delta^8}{\delta \alpha^8} + 4 \frac{\delta^8}{\delta \alpha^6 \delta \beta^2} + 6 \frac{\delta^8}{\delta \alpha^4 \delta \beta^4} + 4 \frac{\delta^8}{\delta \alpha^2 \delta \beta^6} + \frac{\delta^8}{\delta \beta^8}$$

$$\nabla^4 = \frac{\delta^4}{\delta \alpha^4} + 2 \frac{\delta^4}{\delta \alpha^2 \delta \beta^2} + \frac{\delta^4}{\delta \beta^4}$$

$$\nabla^2 = \frac{\delta^2}{\delta \alpha^2} + \frac{\delta^2}{\delta \beta^2}$$

$$L^4 = (K_\beta^2) \frac{\delta^4}{\delta \alpha^4} + (2 K_\beta \frac{\delta K_\beta}{\delta \alpha}) \frac{\delta^3}{\delta \alpha^3} + (K_\beta \frac{\delta^2 K_\beta}{\delta \alpha^2} + 2 \frac{\delta K_\beta}{\delta \alpha} \cdot \frac{\delta K_\beta}{\delta \alpha} + \frac{\delta K_\beta}{\delta \beta} \cdot \frac{\delta K_\alpha}{\delta \beta} + \frac{\delta^2 K_\beta}{\delta \beta^2} K_\alpha) \frac{\delta^2}{\delta \alpha^2} + (K_\beta \frac{\delta^3 K_\beta}{\delta \alpha^3} + \frac{\delta K_\beta}{\delta \alpha} \frac{\delta^2 K_\beta}{\delta \alpha^2} + \frac{\delta^2 K_\beta}{\delta \alpha \delta \beta} \cdot \frac{\delta K_\alpha}{\delta \beta} + \frac{\delta^3 K_\beta}{\delta \alpha \delta \beta^2} \cdot K_\alpha) \frac{\delta}{\delta \alpha} + (2 K_\beta \frac{\delta K_\alpha}{\delta \beta}) \frac{\delta^3}{\delta \alpha^2 \delta \beta} + (2 K_\beta K_\alpha) \frac{\delta^4}{\delta \alpha^2 \delta \beta^2} +$$

$$(2 \frac{\delta K_\beta}{\delta \alpha} \cdot \frac{\delta K_\alpha}{\delta \beta}) \frac{\delta^2}{\delta \alpha \delta \beta} +$$

$$(2 K_\alpha \frac{\delta K_\beta}{\delta \alpha}) \frac{\delta^3}{\delta \alpha \delta \beta^2} +$$

$$(K_\alpha \frac{\delta^3 K_\alpha}{\delta \beta^3} + \frac{\delta K_\alpha}{\delta \beta} \cdot \frac{\delta^2 K_\alpha}{\delta \beta^2} + \frac{\delta^2}{\delta \alpha \delta \beta} \cdot \frac{\delta K_\beta}{\delta \alpha} \frac{\delta^3 K_\alpha}{\delta \alpha^2 \delta \beta} \cdot K_\beta) \frac{\delta}{\delta \beta} +$$

$$(K_\alpha \frac{\delta^2 K_\alpha}{\delta \beta^2} + 2 \frac{\delta K_\alpha}{\delta \beta} \frac{\delta K_\alpha}{\delta \beta} + \frac{\delta K_\alpha}{\delta \alpha} \frac{\delta K_\beta}{\delta \alpha} + \frac{\delta^2 K_\alpha}{\delta \alpha \delta^2} K_\alpha) \frac{\delta^2}{\delta \alpha^2} +$$

$$(2 K_\alpha \frac{\delta K_\alpha}{\delta \beta}) \frac{\delta^3}{\delta \beta^3} + (K_\alpha^2) \frac{\delta^4}{\delta \beta^4}$$

$$I^2 = \frac{\delta}{\delta \alpha} (K_\beta \frac{\delta}{\delta \alpha}) + \frac{\delta}{\delta \beta} (K_\alpha \frac{\delta}{\delta \beta})$$

$K_{\alpha} = \frac{1}{R_{\alpha}}$	Eğrisellik
$K_{\beta} = \frac{1}{R_{\beta}}$	Eğrisellik
W	Sehim
C _{mn}	Yük iştirak katsayısı
K _{mn}	Sehim iştirak katsayısı
S _{mn}	Gerilim iştirak katsayısı
$\chi_m(\alpha)$	Özel Şekil eğrisi
$\gamma_n(\beta)$	Özel Şekil eğrisi
$\chi_m^I(\alpha) = \frac{\delta}{\delta \alpha} \chi_m(\alpha)$	Özel Şekil türevi, α 'ya göre
$\gamma_n^O(\beta) = \frac{\delta}{\delta \beta} \gamma_n(\beta)$	Özel Şekil türevi, β 'ya göre
$P_m(\alpha)$	Özel Şekil eğrisi
$R_n(\beta)$	Özel Şekil eğrisi
μ	Poisson oranı
T_{α}, T_{β}, S	Zar kuvvetleri
$M_{\alpha}, M_{\beta}, M_t$	Eğilme ve burulma momentleri
N_{α}, N_{β}	Kesme kuvvetleri
$N_{\alpha}^*, N_{\beta}^*$	Hudut kesme aksitesirleri
u, v	Deformasyonlar α, β yönlerinde

AN APPROACH TO THE SOLUTION OF THIN SHALLOW SHELLS: METU WAREHOUSE PROPOSALS

ABSTRACT

METU Faculty of Architecture has attempted a new program in courses Arch. 431 and 432 in 1976. The courses have been accelerated, and the students have been directed towards daily and practical problems.

One of the studies undertaken was on the reflection of function on the form of the structure directed towards the METU warehouses. The students within the conduct of the class and the time limitations have consulted and recorded the views and needs of people concerned and developed proposals at a scale of 1:200.

Among the projects two feasible ones have been selected, and criticism on form and function, modulation circulation, closed and open spaces, their balance and sufficiency, expansion possibilities and supervision facilities was carried out.

Due to the imposed constraints of the course, the roofs of these proposals had been shallow thin shells. Such kind of shells require theoretical and model studies for their structural solutions.

This paper is an attempt to solve shallow shells of variable radii or curvature; where the surface is defined by an equation:

$$\gamma = f \sin \frac{\pi\alpha}{L_\alpha} \sin \frac{\pi\beta}{L_\beta}$$

This paper which deals with roof structural problems only, intends also to expose attempts of economy in materials, tends to shift engineering problems to higher levels of sophistications in analysis. However, when repetition of the shallow shell elements are intended, theoretical and model studies may yield economical elements, which would extend their fields of use.

In the Faculty of Architecture model studies are carried out in parallel to theoretical works.

BIBLIOGRAPHY

- AASS, A.Jr., Contribution to Bending Theory of Elliptic Paraboloid Shells. *Journal of International Association for Bridge and Structural Engineering*, v.23, 1963.
- AAS-JAKOBSEN A. Kugelschalen über vier- und vieleckigem Grundriss. *International Vereinigung Brücken und Hochbau*, v.5, 1937-38.
- APELAND, K. and POPOV E.P. *Design Tables for Translational Shells*. Berkley: University of California, 1969.

- ASCHENBRENNER, R. Membrane Stresses of Parabolic Conoid Shells. *Journal of the American Concrete Institute*, v.60, n.10, October 1963, pp.1415-1427.
- BİLGÜTAY, A. Özel Yük ve Özel Şekiller Yardımı ile Plaklar Teorisi Denklemleri Çözümü. Ankara: O.D.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, 1964.
- BEYER, K. *Die Statik im Stahlbetonbau*. Berlin: Springer, 1956. 2 Auflage (1927)
- BILLINGTON. P.D. *Betonarme Kabuk Yapılar*. Çevirenler M. Pultar ve H. Karataş. İstanbul: İ.F.Ü.Mimarlık Fakültesi Yayınları, 1975 (1965)
- BORODİCH-FILONENKO, M. *Theory of Elasticity*. Moscow: Foreign Languages Publishing House, (1963).
- BOUMA, A.L. Some Applications of the Bending Theory Regarding Doubly Curved Shells. *Proceedings of IUTAM Symposium on the Theory of Thin Elastic Shells, Delft 1959*. Amsterdam: North Holland Publishing Company, 1960. pp.212-234.
- CSONKA, P. Shells of Translation Constructed over Rectangular Basis. *Acta Technica* (Budapest), v.44, n.3-4, 1963, pp. 409-418
- DİKMEN, M. *Directe Schalentheorie*. Braunschweig, 1970, Teil 1.
- DOGANOFF, I. *Berechnung von Kugelschalen über rechteckigem Grundriss*. Düsseldorf: Werner, 1962.
- DOGANOFF, I. Vorgefertigte doppelt gerümmte Schalen konstruktionen. *Proceedings of Second Symposium on Concrete Shell Roof Construction, July 1-3, 1957*. Oslo: Teknisk Ukeblad, 1958.
- FISCHER, L. *Theoris und Praxis der Schalen konstruktionen*. Berlin/München: W.Ernst und Sohn, 1967.
- FLUGGE, W. *Statik und Dynamik der Schalen*. Berlin: Springer, 1962. 3 Auflage.
- Hindistan Standartları, *Betonarme Kabuk ve Katlanmış Plaklar Tasarımı için Esaslar*, Çeviren A.Bilgütay. Ankara: O.D.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, No. 22, 1974.
- HODGKINSON, A., AJ. *Handbook of Building Structure*. London: The Architectural Press, 1974.
- HRUBAN, K. Die Biegetheorie der Translations flächen und ihre anwendung im Hallenbau. *Acta Technical Academy of Hungary*, 1953, pp.425-464.
- JENKINS, R.S. and TOTTENHAM H. The solution of Shell Problems by the Matrix Progression Method. *International Association for Bridge and Structural Engineering Publications*, v.XIX, 1959.
- KOLLAR, L. *Statik und Stabilität der Schalenbogen und Schalenbalken*. Berlin + München + Düsseldorf: W.Ernst und Sohn, 1974.

- KOLLAR, L. Schalen Konstruktionen. *Beton Kalender*, Teil II., 1974, p.327-430.
- KOLLAR, I. and GARDONYI and Z.HOLNAPY.D. Bending Analysis of Symmetrically or Antisymmetrically Loaded Straight-edge Shells with Surfaces of Fourth Order. *Acta Technica Academy of Sciences of Hungary*, v.69, 1970, pp.105-135.
- LACHANCE, I. and POPOV, E.P. Limitations of Shallow Shell Equations for Spherical Shells. *Proceedings of IASS-Symposium*, Budapest: Eötvös-Ludovik Intezet, 1966.
- LARGE SPAN SHELLS, *Proceedings of IASS Congress*. Leningrad + Moscow + Tsinghua: 1966+1968.
- MITTELMAN, G. Beitrag zur Berechnung von Translationsschalen. *Ingenieur-Archiv*, v.26, n.4, 1958, pp.288-301.
- ONIASHVILI, O.D. *Certain Dynamic problems of the Theory of Shells*. Moscow: Press of the Academy of Sciences of the USSR, 1957.
- PARME, A.L. Hyperbolic Paraboloids and other Shells of Double Curvature, *Journal of the Structural Division proceedings of the American Society of Civil Engineers*, Sept. 1957, pp. 1051-1, 1057-32.
- PFLUGER, A. *Elementare Schalenstatik*. 4 Auflage. Berlin + New York: Springer-Verlag, 1966-67(1948)
- Proceedings of IASS. Colloquium on Simplified Calculation Methods of Shell Structures*. Bruxelles: North Holland Publishing Company, 1962.
- Proceedings of the 1st International Colloquium on Pneumatic Structures*. Stuttgart: IASS, 1967.
- PUCHER, A. Die Berechnung von Doppelt Gerümpften Schalen Mittels Differenzgleichungen. *Bauingenieur*, 3 März 1937, pp.118-123.
- REISSNER, E. Variational Theorems in Elasticity. *Journal of mathematics and Physics*. v.28, 1950, pp.90-95.
- REISSNER, E. On Variational Principles in Elasticity. *Proceedings of Symposia in Applied Mathematics*, 1958, pp.1-6.
- SZMODITS, K. Analysis of Shallow Shells of General Shape. *Proceedings of IASS-Symposium*. Eötvös-Ludovik Intezet, 1965-66.
- TANAI, T. Conditions for the Uniqueness of Solution of the Membrane Shell Equation. *Acta Technica of Academy of Sciences of Hungary*, 1973.
- TANAI, T. Edge Disturbances of Second Order Shallow Translational Shells on a Rectangular Base. *Acta Technica of Academy of Sciences of Hungary*, 1973.
- TIMOSHENKO, S.P. *Theory of Plates and Shells*. New York + London: McGraw Hill Book Company, Inc., 1940.

- TIMOSHENKO, S.P. and GERE, J.M. *Theory of Elastic Stability*. New York + Toronto + London + Tokyo: McGraw-Hill Book Company, Inc. + Kogakusha Company, Ltd., 1961.
- TIMOSHENKO, S.P. and GOODIER, J.N. *Theory of Elasticity*. New York + Toronto + London: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1951.
- WORCH, G. *Elastische Schalen. Beton-Kalender. Band 2*. Berlin + München: Ernst und Sohn, 1968. pp.263-415.
- WORCH, G. *Elastische Schalen. Beton-Kalender. Teil 2*. Berlin + München: Ernst und Sohn, 1958. pp.1-99.
- VLASOV, V.Z. *General Theory of Shells and Its Applications in Engineering*. Washington: NASA, 1964.
- WLASSOW, W.S. *Allgemeine Schalentheorie und ihre Anwendung in der Technik*. Berlin: Akademie Verlag, 1958.
- ZERNA, W. *Exact Theory of Elastic Shells*. Hannover: Technische Hochschule, 1967.

