



ÜÇ BOYUTLU BİR ÇERÇEVENİN UZAYSAL VE DÜZLEMSEL STATİK YAPISAL DAVRANIŞLARININ KIYASLANMASI

(*THE COMPARISON BETWEEN THE SPACE AND PLANAR STATIC STRUCTURAL BEHAVIOUR OF A SPACE FRAME*)

Yusuf YEŞİLCE*

ÖZET/ABSTRACT

Yapı Mühendisliğinde, taşıyıcı sistemi çubuk elemanlardan meydana gelen düzlem ya da uzaysal çerçevelerin kesit tesirlerinin ve deplasmanlarının hesaplanmasında kullanılan pek çok paket programın hesap algoritması matris – deplasman yöntemi üzerine kurulmuştur. Bu çalışmada üç boyutlu uzaysal çerçevelerin matris – deplasman yöntemi ile çözümü için bir hesap algoritması ve sayısal örnek sunulmuştur. Uzaysal çerçevenin iç kuvvetleri matris – deplasman yöntemi kullanılarak hesaplanmış, uzaysal çerçeve eş değer düzlem çerçeveye dönüştürülerek modellenmiş ve SAP2000 paket programı kullanılarak iç kuvvetler hesaplanmıştır. Uzaysal ve düzlem çerçevenin iç kuvvetleri kıyaslanmış ve sonuçlar grafik ve çizelgeler halinde sunulmuştur.

In structural engineering, the packets program of, calculation internal forces and displacements of plane or space frame, are using matrix – displacement method. In this study, a calculation algorithm and a numerical example are presented for static analysis of space frames by matrix- displacement method. The internal forces of the space frame has been obtained by using matrix- displacement method, the space frame has been modeled as plane frame and the internal forces are obtained by using SAP2000 packet program. The internal forces of the space and the plane frame are compared and the results are presented in graphs and tables.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Uzaysal çerçeve, Düzlem çerçeve, Matris – deplasman yöntemi
Space frame, Plane frame, Matrix- displacement method

1. GİRİŞ

Taşıyıcı sistemi çok katlı, çok açıklıklı çerçevelerden oluşan yapılarda, taşıyıcı sisteme etkiyen yükler, global eksenler doğrultusundaki yönlere indirildiğinde; üç boyutlu uzaysal çerçeve davranışı, gerçek davranışa yakındır. Bu çalışmada, statik yükler altında uzaysal çerçevelerin iç tesirlerinin matris – deplasman yöntemi ile hesaplanması ve bu iç tesirlerin uzaysal çerçevelerin, düzlem çerçeve gibi çözülmesi ile elde edilen iç tesirler ile karşılaştırılması amaçlanmıştır.

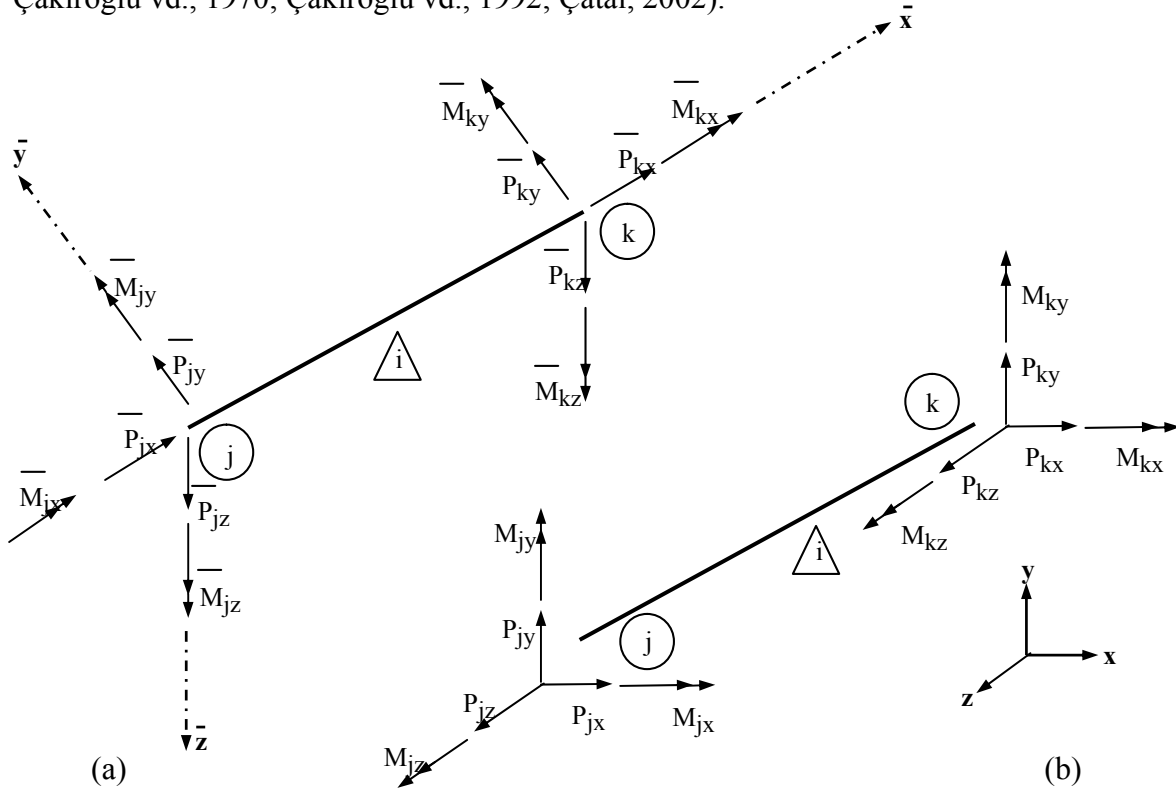
2. YAPILAN KABULLER

Çalışmada hesap kolaylığı sağlayan aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

1. Uzaysal çerçeveyi oluşturan çubukların malzeme davranışı doğrusal – elastiktir.
2. Çubuklar doğru eksenslidir.
3. İkinci mertebe tesirler ihmal edilmiştir.

3. MATRİS – DEPLASMAN YÖNTEMİ

Matris – deplasman yönteminde, çubuk uç deplasmanlarından, çubuk uç kuvvetlerine geçişi sağlayan rijitlik matrisinin kurulması önemli yer tutmaktadır. Taşıyıcı sistemin tüm çubuklarının, düğüm noktalarının konumu, global koordinat takımı ile; çubukların bağımsız olarak tek tek konumları, lokal koordinat takımı ile tanımlanabilir. Uzaysal çerçeve elemanın global ve lokal doğrultulardaki uç kuvvetleri Şekil 1’de sunulmuştur (Armenakas, 1991; Çakıroğlu vd., 1970; Çakıroğlu vd., 1992; Çatal, 2002).



Şekil 1. a: Lokal doğrultulardaki uç kuvvetlerinin vektörel gösterimi
b: Global doğrultulardaki uç kuvvetlerinin vektörel gösterimi

$\bar{P}_{jx}, \bar{P}_{jy}, \bar{P}_{jz}, \bar{M}_{jx}, \bar{M}_{jy}, \bar{M}_{jz}, \bar{P}_{kx}, \bar{P}_{ky}, \bar{P}_{kz}, \bar{M}_{kx}, \bar{M}_{ky}, \bar{M}_{kz}$ lokal doğrultulardaki; $P_{jx}, P_{jy}, P_{jz}, M_{jx}, M_{jy}, M_{jz}, P_{kx}, P_{ky}, P_{kz}, M_{kx}, M_{ky}, M_{kz}$ global doğrultulardaki çubuk uç kuvvetlerini göstermektedir. Global doğrultulardaki çubuk uç kuvvetleri ile, global doğrultulardaki çubuk uç deplasmanları arasındaki matris bağıntı aşağıdaki gibi yazılır (Çakıroğlu vd., 1970; Çakıroğlu vd., 1992; Çatal, 2002; Livesley, 1964; Tezcan, 1970).

$$\{P\} = [K_S]\{D\} + \{P^A\} \quad (1)$$

Burada; $\{P\}$, taşıyıcı sistemin düğüm noktalarına global serbestlik dereceleri doğrultusunda etkiyen dış yükler vektörünü; $[K_S]$, eleman global rijitlik matrisleri kullanılarak kodlama yöntemi ile kurulan global doğrultulardaki sistem rijitlik matrisini; $\{D\}$, elemanları; global doğrultuda sistemin düğüm noktalarında oluşan deplasman vektörü; $\{P^A\}$, elemanları; taşıyıcı sistemin elemanları üzerindeki dış yüklerin, global doğrultularda düğüm noktalarında oluşturdukları ankastrel kuvvet ve momentlerinden oluşan vektörü göstermektedir (Çatal ve Yazıcı, 1994).

3.1. Eleman Global Rijitlik Matrisi

Taşıyıcı sistemi oluşturan çubukların global doğrultulardaki eleman rijitlik matrisi, mekanikte bilinen enerji yöntemleri, Castigliano Teoremleri gibi yöntemler kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir (Armenakas, 1991; Çakıroğlu vd., 1970; Çakıroğlu vd., 1992; Çatal, 2002; Tezcan, 1970).

$$[k_{el}] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} & -k_{11} & -k_{12} & -k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \\ & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} & -k_{12} & -k_{22} & -k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} \\ & & k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{36} & -k_{13} & -k_{23} & -k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{36} \\ & & & k_{44} & k_{45} & k_{46} & k_{47} & k_{48} & k_{49} & k_{410} & k_{411} & k_{412} \\ & & & & k_{55} & k_{56} & k_{57} & k_{58} & k_{59} & k_{411} & k_{510} & k_{511} \\ & & & & & k_{66} & k_{67} & k_{68} & k_{69} & k_{412} & k_{511} & k_{610} \\ & & & & & & k_{11} & k_{12} & k_{13} & -k_{14} & -k_{15} & -k_{16} \\ & \text{Simetrik} & & & & & & k_{22} & k_{23} & -k_{24} & -k_{25} & -k_{26} \\ & & & & & & & & k_{33} & -k_{34} & -k_{35} & -k_{36} \\ & & & & & & & & & k_{44} & k_{45} & k_{46} \\ & & & & & & & & & & k_{55} & k_{56} \\ & & & & & & & & & & & k_{66} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Burada; $[k_{el}]$, global doğrultulardaki eleman rijitlik matrisini göstermekte olup, k_{ij} terimleri aşağıda sunulmuştur (Çatal, 2002).

$$k_{11} = \frac{AE}{L_i} c_{1x}^2 + \frac{12EI_3}{L_i^3} c_{2x}^2 + \frac{12EI_2}{L_i^3} c_{3x}^2; \quad k_{12} = \frac{AE}{L_i} c_{1x} c_{1y} + \frac{12EI_3}{L_i^3} c_{2x} c_{2y} + \frac{12EI_2}{L_i^3} c_{3x} c_{3y}$$

$$k_{13} = \frac{AE}{L_i} c_{1x} c_{1z} + \frac{12EI_3}{L_i^3} c_{2x} c_{2z} + \frac{12EI_2}{L_i^3} c_{3x} c_{3z}; \quad k_{14} = -\frac{6EI_2}{L_i^2} c_{3x} c_{2x} + \frac{6EI_3}{L_i^2} c_{2x} c_{3x}$$

$$k_{15} = -\frac{6EI_2}{L_i^2} c_{3x} c_{2y} + \frac{6EI_3}{L_i^2} c_{2x} c_{3y}; \quad k_{16} = -\frac{6EI_2}{L_i^2} c_{3x} c_{2x} + \frac{6EI_3}{L_i^2} c_{2x} c_{3z}$$

$$k_{22} = \frac{AE}{L_i} c_{1y}^2 + \frac{12EI_3}{L_i^3} c_{2y}^2 + \frac{12EI_2}{L_i^3} c_{3y}^2; \quad k_{23} = \frac{AE}{L_i} c_{1y} c_{1z} + \frac{12EI_3}{L_i^3} c_{2y} c_{2z} + \frac{12EI_2}{L_i^3} c_{3y} c_{3z}$$

$$k_{24} = -\frac{6EI_2}{L_i^2} c_{3y} c_{2x} + \frac{6EI_3}{L_i^2} c_{2y} c_{3x}; \quad k_{25} = -\frac{6EI_2}{L_i^2} c_{3y} c_{2y} + \frac{6EI_3}{L_i^2} c_{2y} c_{3y}$$

$$k_{26} = -\frac{6EI_2}{L_i^2} c_{3y} c_{2z} + \frac{6EI_3}{L_i^2} c_{2y} c_{3z}; \quad k_{33} = \frac{AE}{L_i} c_{1z}^2 + \frac{12EI_3}{L_i^3} c_{2z}^2 + \frac{12EI_2}{L_i^3} c_{3z}^2$$

$$k_{34} = -\frac{6EI_2}{L_i^2} c_{3z} c_{2x} + \frac{6EI_3}{L_i^2} c_{2z} c_{3x}; \quad k_{35} = -\frac{6EI_2}{L_i^2} c_{3z} c_{2y} + \frac{6EI_3}{L_i^2} c_{2z} c_{3y}$$

$$k_{36} = -\frac{6EI_2}{L_i^2} c_{3z} c_{2z} + \frac{6EI_3}{L_i^2} c_{2z} c_{3z}; \quad k_{44} = \frac{GI_1}{L_i} c_{1x}^2 + \frac{4EI_2}{L_i} c_{2x}^2 + \frac{4EI_3}{L_i} c_{3x}^2$$

$$k_{45} = \frac{GI_1}{L_i} c_{1x} c_{1y} + \frac{4EI_2}{L_i} c_{2x} c_{2y} + \frac{4EI_3}{L_i} c_{3x} c_{3y}; \quad k_{46} = \frac{GI_1}{L_i} c_{1x} c_{1z} + \frac{4EI_2}{L_i} c_{2x} c_{2z} + \frac{4EI_3}{L_i} c_{3x} c_{3z}$$

$$k_{47} = -\frac{6EI_3}{L_i^2} c_{3x} c_{2x} + \frac{6EI_2}{L_i^2} c_{2x} c_{3x}; \quad k_{48} = -\frac{6EI_3}{L_i^2} c_{3x} c_{2y} + \frac{6EI_2}{L_i^2} c_{2x} c_{3y}$$

$$k_{49} = -\frac{6EI_3}{L_i^2} c_{3x} c_{2z} + \frac{6EI_2}{L_i^2} c_{2x} c_{3z}; \quad k_{410} = -\frac{GI_1}{L_i} c_{1x}^2 + \frac{2EI_2}{L_i} c_{2x}^2 + \frac{2EI_3}{L_i} c_{3x}^2$$

$$k_{411} = -\frac{GI_1}{L_i} c_{1x} c_{1y} + \frac{2EI_2}{L_i} c_{2x} c_{2y} + \frac{2EI_3}{L_i} c_{3x} c_{3y};$$

$$k_{412} = -\frac{GI_1}{L_i} c_{1x} c_{1z} + \frac{2EI_2}{L_i} c_{2x} c_{2z} + \frac{2EI_3}{L_i} c_{3x} c_{3z};$$

$$k_{55} = \frac{GI_1}{L_i} c_{1y}^2 + \frac{4EI_2}{L_i} c_{2y}^2 + \frac{4EI_3}{L_i} c_{3y}^2; \quad k_{56} = \frac{GI_1}{L_i} c_{1y} c_{1z} + \frac{4EI_2}{L_i} c_{2y} c_{2z} + \frac{4EI_3}{L_i} c_{3y} c_{3z};$$

$$k_{57} = -\frac{6EI_3}{L_i^2} c_{3y} c_{2x} + \frac{6EI_2}{L_i^2} c_{2y} c_{3x}; \quad k_{58} = -\frac{6EI_3}{L_i^2} c_{3y} c_{2y} + \frac{6EI_2}{L_i^2} c_{2y} c_{3y};$$

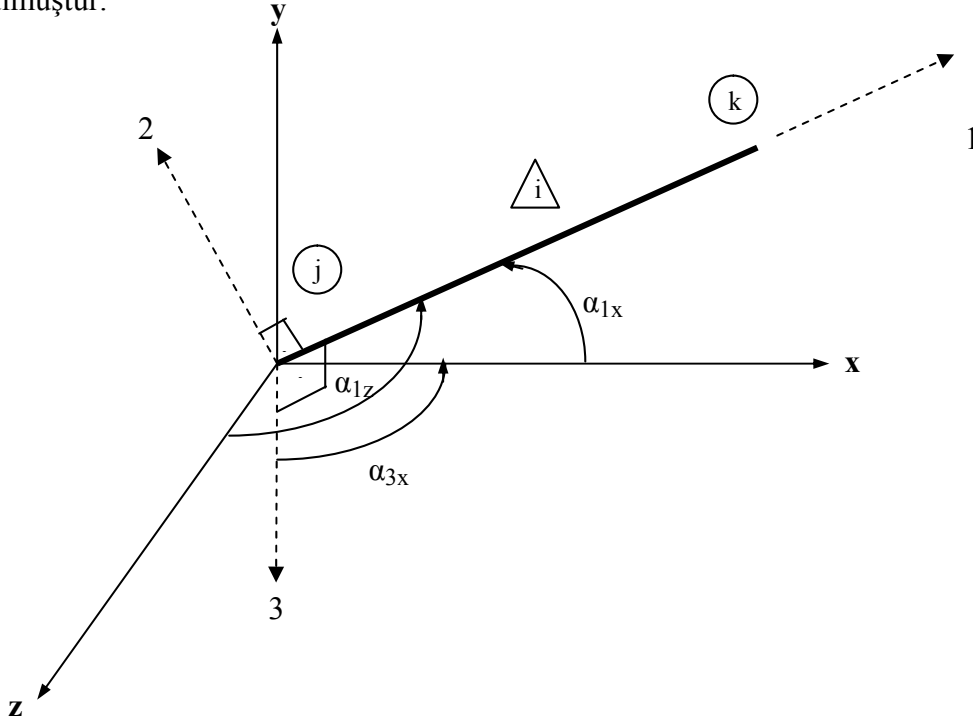
$$k_{59} = -\frac{6EI_3}{L_i^2} c_{3y} c_{2z} + \frac{6EI_2}{L_i^2} c_{2y} c_{3z}; \quad k_{510} = -\frac{GI_1}{L_i} c_{1y}^2 + \frac{2EI_2}{L_i} c_{2y}^2 + \frac{2EI_3}{L_i} c_{3y}^2;$$

$$k_{511} = -\frac{GI_1}{L_i} c_{1y} c_{1z} + \frac{2EI_2}{L_i} c_{2y} c_{2z} + \frac{2EI_3}{L_i} c_{3y} c_{3z}; \quad k_{66} = \frac{GI_1}{L_i} c_{1z}^2 + \frac{4EI_2}{L_i} c_{2z}^2 + \frac{4EI_3}{L_i} c_{3z}^2;$$

$$k_{67} = -\frac{6EI_3}{L_i^2} c_{3z} c_{2x} + \frac{6EI_2}{L_i^2} c_{2z} c_{3x}; \quad k_{68} = -\frac{6EI_3}{L_i^2} c_{3z} c_{2y} + \frac{6EI_2}{L_i^2} c_{2z} c_{3y};$$

$$k_{69} = -\frac{6EI_3}{L_i^2} c_{3z} c_{2z} + \frac{6EI_2}{L_i^2} c_{2z} c_{3z}; \quad k_{610} = -\frac{GI_1}{L_i} c_{1z}^2 + \frac{2EI_2}{L_i} c_{2z}^2 + \frac{2EI_3}{L_i} c_{3z}^2$$

Burada; L_i , çubuk boyunu; E , elastisite modülünü; G , kayma modülünü; A , çubuk en kesit alanını; $c_{1x}=\cos\alpha_{1x}$; $c_{1y}=\cos\alpha_{1y}$; $c_{1z}=\cos\alpha_{1z}$; $c_{2x}=\cos\alpha_{2x}$; $c_{2y}=\cos\alpha_{2y}$; $c_{2z}=\cos\alpha_{2z}$; $c_{3x}=\cos\alpha_{3x}$; $c_{3y}=\cos\alpha_{3y}$; $c_{3z}=\cos\alpha_{3z}$; I_1, I_2, I_3 , lokal eksenlere göre atalet momentlerini göstermektedir. Global eleman rijitlik matrisinde yer alan (α_{ij}) açısı, lokal eksenler ile global eksenler arasındaki açıyı tanımlamaktadır. (α) açısının (i) indisi, lokal (1, 2, 3) eksenlerini; (j) indisi, (x,y,z) global eksenlerini göstermektedir. Örnek olarak $\alpha_{1x}, \alpha_{1z}, \alpha_{3x}$ açıları Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Global ve lokal eksenler arasındaki açıları

3.2. Kodlama Yöntemi ile Global Rijitlik Matrisinin Elde Edilmesi

Uzaysal çerçeve elemanın global rijitlik matrisinin (i) inci satır, (j) inci sütunundaki k_{ij} terimi, elemanın (j) inci serbestlik derecesi doğrultusundaki birim deplasmanı nedeni ile, elemanın (i) inci serbestlik derecesi doğrultusunda oluşan kuvveti göstermektedir. Böylece aynı serbestlik derecesine sahip eleman global rijitlik matrisindeki k_{ij} terimlerinin cebrik olarak toplanması ile uzaysal çerçevenin global doğrultulardaki rijitlik matrisi elde edilir. Kodlama yöntemi olarak bilinen bu yöntem ile elde edilen global sistem rijitlik matrisinin $[K_S]$ boyutu, serbestlik dereceleri kadar olup, bir kare matristir ve simetriktir (Çatal, 2002).

3.3. Eleman Uç Kuvvetlerinin Hesabı

Üç boyutlu taşıyıcı sistemin düğüm noktalarının serbestlik dereceleri doğrultusundaki deplasmanları Eşitlik 1 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\{D\} = [K_S]^{-1} \{ \{P\} - \{P^A\} \} \quad (3)$$

Süreklilik şartı kullanılarak, aynı düğüm noktasında birleşen elemanların global doğrultudaki uç deplasmanlarının, o düğüm noktasının global doğrultudaki deplasmanlarına

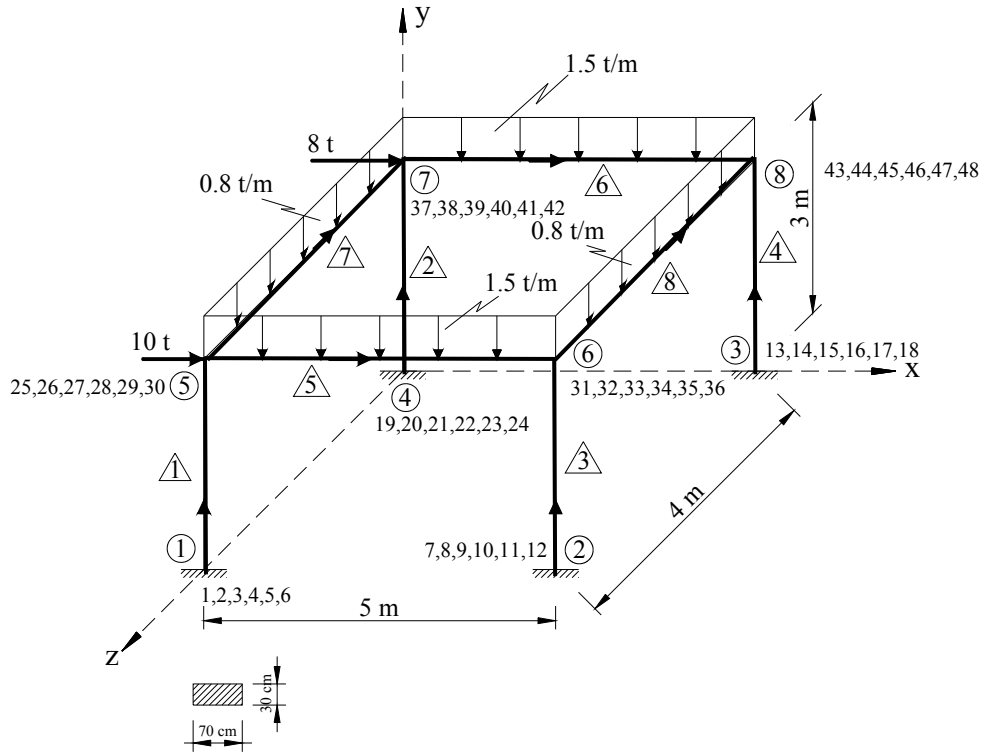
eşit olacağı düşünülür ise, global doğrultulardaki eleman uç deplasmanları vektörü $\{\delta\}$, Eşitlik 3 kullanılarak elde edilen $\{D\}$ vektörünün ilgili terimleri alınarak oluşturulur. Global doğrultudaki uç kuvvetleri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$\{P_{el}\} = [k_{el}]\{\delta\} + \{P_{el}^A\} \quad (4)$$

Burada; $\{P_{el}\}$, global doğrultularda eleman uç kuvvetleri vektörlerini $\{\delta\}$, global doğrultularda eleman uç deplasmanları vektörünü, $\{P_{el}^A\}$, eleman üzerindeki yüklerden oluşan, global doğrultulardaki ankastrelik uç kuvvet ve moment vektörünü göstermektedir.

4. SAYISAL UYGULAMA

Açıklıkları ve yükleme durumu Şekil 3'te verilen uzaysal betonarme çerçevenin; elastisite modülü, $E=3180000 \text{ t/m}^2$; kayma modülü, $G=1325000 \text{ t/m}^2$ alınarak ilk olarak matris – deplasman yöntemi ile ve uzaysal çerçeve, Şekil 4'te görüldüğü gibi (x-y) ve (z-y) doğrultusunda düzlem çerçevelere ayrılarak SAP2000 paket programı kullanılarak çubuk uç kuvvetleri hesaplanmış, iç tesir diyagramları sunulmuştur. Tüm kolonlar 30/70 cm; tüm kirişler 30/60 cm boyutundadır.



Şekil 3. Uzaysal Betonarme Çerçeve

$$P_{5x} = P_{6x} = 0 ; \quad P_{5y} = P_{6y} = \frac{5 \cdot 1,5}{2} = 3,75 \text{ ton} ; \quad P_{5z} = P_{6z} = 0 ;$$

$$M_{5x} = M_{6x} = M_{5y} = M_{6y} = 0 ; \quad M_{5z} = -M_{6z} = \frac{1,5 \cdot 5^2}{12} = 3,125 \text{ tm.}$$

$$\langle P_5^A \rangle^T = \langle 0 \quad 3,75 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 3,125 \quad 0 \quad 3,75 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad -3,125 \rangle$$

6 numaralı elemanın açıklığı üzerine etki eden 1,5 ton/m yayılı yük nedeni ile 6 numaralı eleman uçlarında oluşan global doğrultulardaki ankastrelik kuvvet ve momentleri aşağıda hesaplanmıştır.

$$P_{7x} = P_{8x} = 0 ; \quad P_{7y} = P_{8y} = \frac{5 \cdot 1,5}{2} = 3,75 \text{ ton} ; \quad P_{7z} = P_{8z} = 0 ;$$

$$M_{7x} = M_{8x} = M_{7y} = M_{8y} = 0 ; \quad M_{7z} = -M_{8z} = \frac{1,5 \cdot 5^2}{12} = 3,125 \text{ tm.}$$

$$\langle P_6^A \rangle^T = \langle 0 \quad 3,75 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 3,125 \quad 0 \quad 3,75 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad -3,125 \rangle$$

7 numaralı elemanın açıklığı üzerine etki eden 0,8 ton/m yayılı yük nedeni ile 7 numaralı eleman uçlarında oluşan global doğrultulardaki ankastrelik kuvvet ve momentleri aşağıda hesaplanmıştır.

$$P_{5x} = P_{7x} = 0 ; \quad P_{5y} = P_{7y} = \frac{4 \cdot 0,8}{2} = 1,6 \text{ ton} ; \quad P_{5z} = P_{7z} = 0 ;$$

$$M_{5y} = M_{7y} = M_{5z} = M_{7z} = 0 ; \quad M_{5x} = -M_{7x} = \frac{0,8 \cdot 4^2}{12} = 1,067 \text{ tm.}$$

$$\langle P_7^A \rangle^T = \langle 0 \quad 1,6 \quad 0 \quad 1,067 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1,6 \quad 0 \quad -1,067 \quad 0 \quad 0 \rangle$$

8 numaralı elemanın açıklığı üzerine etki eden 0,8 ton/m yayılı yük nedeni ile 8 numaralı eleman uçlarında oluşan global doğrultulardaki ankastrelik kuvvet ve momentleri aşağıda hesaplanmıştır.

$$P_{6x} = P_{8x} = 0 ; \quad P_{6y} = P_{8y} = \frac{4 \cdot 0,8}{2} = 1,6 \text{ ton} ; \quad P_{6z} = P_{8z} = 0 ;$$

$$M_{6y} = M_{8y} = M_{6z} = M_{8z} = 0 ; \quad M_{6x} = -M_{8x} = \frac{0,8 \cdot 4^2}{12} = 1,067 \text{ tm.}$$

$$\langle P_8^A \rangle^T = \langle 0 \quad 1,6 \quad 0 \quad 1,067 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1,6 \quad 0 \quad -1,067 \quad 0 \quad 0 \rangle$$

5, 6, 7, 8 numaralı uzaysal elemanların açıklıkları üzerindeki yayılı yüklerin, global doğrultularda düğüm noktalarında oluşturdukları ankastrelik kuvvet ve momentlerinin vektörü aşağıda sunulmuştur.

$$\langle P^A \rangle^T = \langle 0 \quad 5,35 \quad 0 \quad 1,067 \quad 0 \quad 3,125 \quad 0 \quad 5,35 \quad 0 \quad 1,067 \quad 0 \quad -3,125 \\ 0 \quad 5,35 \quad 0 \quad -1,067 \quad 0 \quad 3,125 \quad 0 \quad 5,35 \quad 0 \quad -1,067 \quad 0 \quad -3,125 \rangle$$

Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanan düğüm noktalarının serbestlik derecelerine göre global deplasmanlarından, uzaysal çerçeve sistem elemanlarının global uç deplasmanları elde edilmiş ve Çizelge 1’de sunulmuştur.

Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanan uzaysal çerçeve sistemin elemanlarının global uç kuvvetleri Çizelge 2’de sunulmuştur.

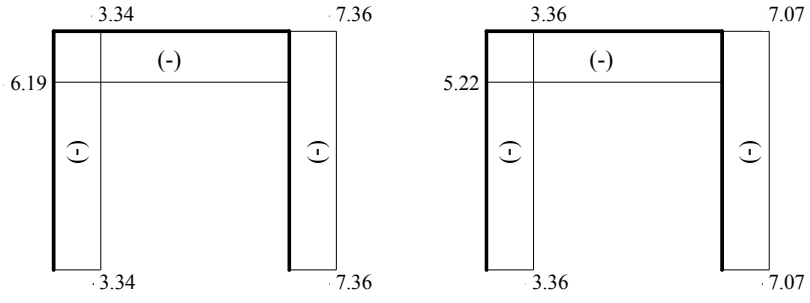
Uzaysal betonarme çerçeve ile uzaysal çerçeve modellemesi yerine, birbirine sonsuz uzama rijitlikli pandül ayaklar ile bağlanarak elde edilen (x-y) ve (z-y) doğrultusundaki eşdeğer düzlem çerçevelerin aksel kuvvet diyagramları Şekil 5’te, kesme kuvveti diyagramları Şekil 6’da ve eğilme momenti diyagramları Şekil 7’de sunulmuştur.

Çizelge 1. Uzaysal çerçeve sistem elemanlarının global uç deplasmanları

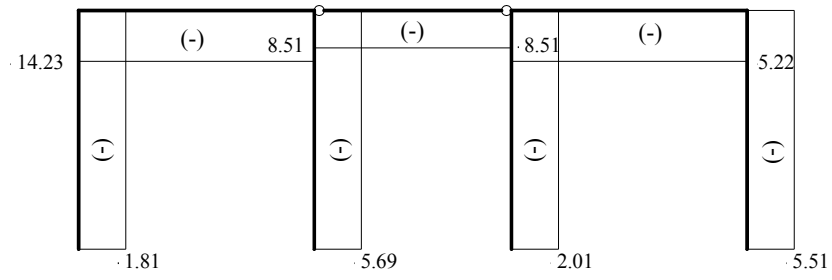
Eleman Numarası	(i) ucu						(j) ucu					
	δ_x (10^{-4}) (m.)	δ_y (10^{-4}) (m.)	δ_z (10^{-4}) (m.)	θ_x (10^{-4}) (rad.)	θ_y (10^{-4}) (rad.)	θ_z (10^{-4}) (rad.)	δ_x (10^{-4}) (m.)	δ_y (10^{-4}) (m.)	δ_z (10^{-4}) (m.)	θ_x (10^{-4}) (rad.)	θ_y (10^{-4}) (rad.)	θ_z (10^{-4}) (rad.)
1	0	0	0	0	0	0	8,09	-0,15	0,098	-0,69	0,15	-3,33
2	0	0	0	0	0	0	6,73	-0,16	0,11	0,71	0,15	-2,92
3	0	0	0	0	0	0	7,54	-0,33	-0,11	-0,71	0,14	-1,66
4	0	0	0	0	0	0	6,27	-0,32	-0,098	0,69	0,14	-1,28
5	8,09	-0,15	0,098	-0,69	0,15	-3,33	7,54	-0,33	-0,11	-0,71	0,14	-1,66
6	6,73	-0,16	0,11	0,71	0,15	-2,92	6,27	-0,32	-0,098	0,69	0,14	-1,28
7	8,09	-0,15	0,098	-0,69	0,15	-3,33	6,73	-0,16	0,11	0,71	0,15	-2,92
8	7,54	-0,33	-0,11	-0,71	0,14	-1,66	8,09	-0,15	0,098	-0,69	0,15	-3,33

Çizelge 2. Uzaysal çerçeve sistem elemanlarının global uç kuvvetleri

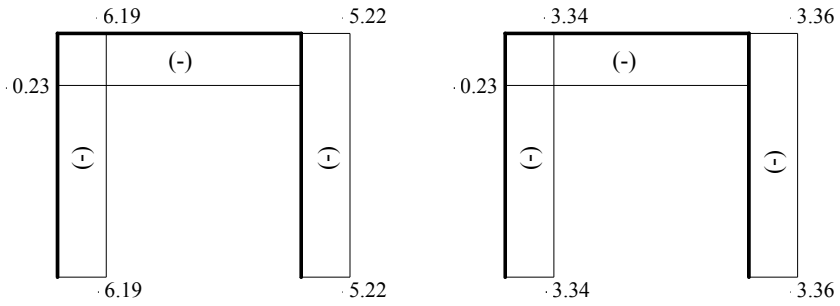
Eleman Numarası	(i) ucu						(j) ucu					
	P_x (ton)	P_y (ton)	P_z (ton)	M_x (tm.)	M_y (tm.)	M_z (tm.)	P_x (ton)	P_y (ton)	P_z (ton)	M_x (tm.)	M_y (tm.)	M_z (tm.)
1	-3,34	3,75	-0,25	0,07	0,26	-8,65	-3,34	3,75	-0,25	0,07	-0,50	2,60
2	-3,63	2,85	0,21	0,07	-0,20	-6,92	-3,63	2,85	0,21	0,07	0,43	1,61
3	-7,36	6,13	-0,21	0,06	0,20	-10,70	-7,36	6,13	-0,21	0,06	-0,43	7,69
4	-7,07	5,27	0,25	0,06	-0,26	-9,07	-7,07	5,27	0,25	0,06	0,50	6,74
5	-6,19	1,73	-0,02	0	0,05	2,51	-6,19	-5,77	-0,02	0	-0,05	-7,61
6	-5,22	2,04	-0,02	0	0,05	1,70	-5,22	-5,46	-0,02	0	-0,05	-6,83
7	-0,23	1,61	0,06	-0,09	-0,12	-0,49	-0,23	-1,59	0,06	-0,09	0,12	-0,44
8	-0,23	1,59	0,06	-0,08	-0,11	-0,44	-0,23	-1,61	0,06	-0,08	0,11	-0,49



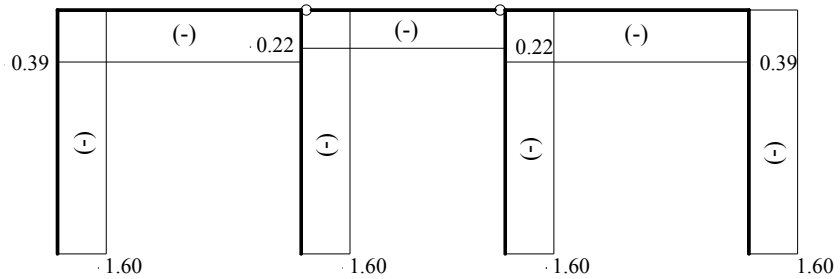
(a)



(b)



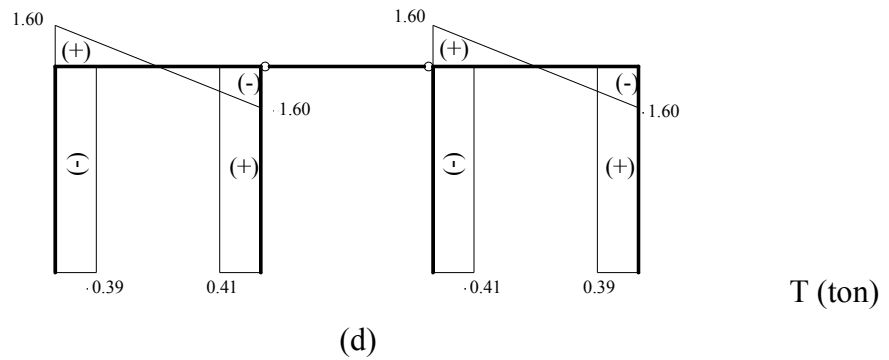
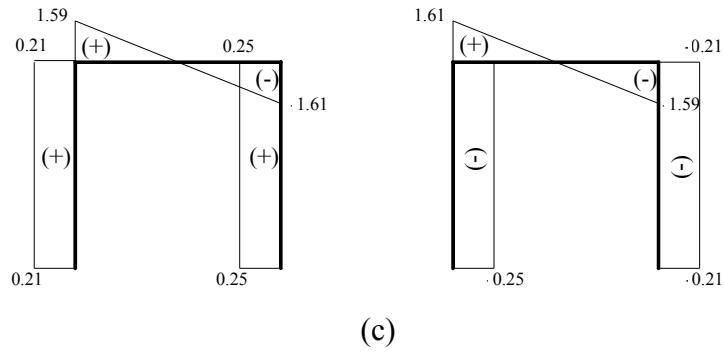
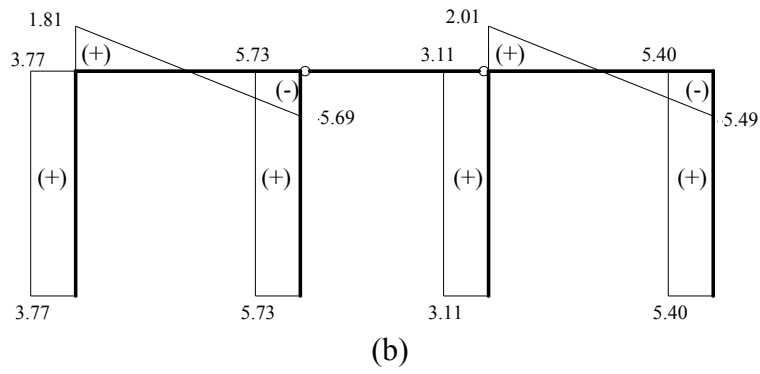
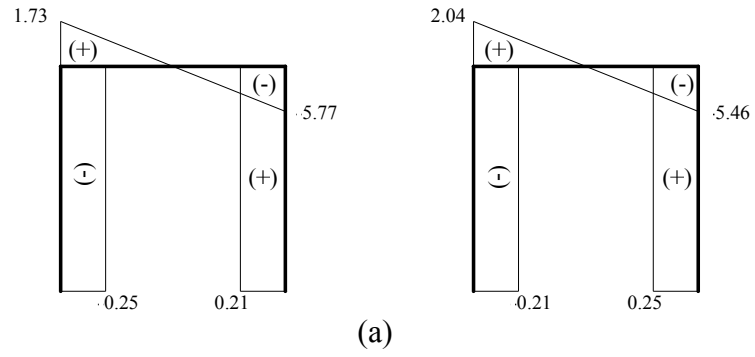
(c)



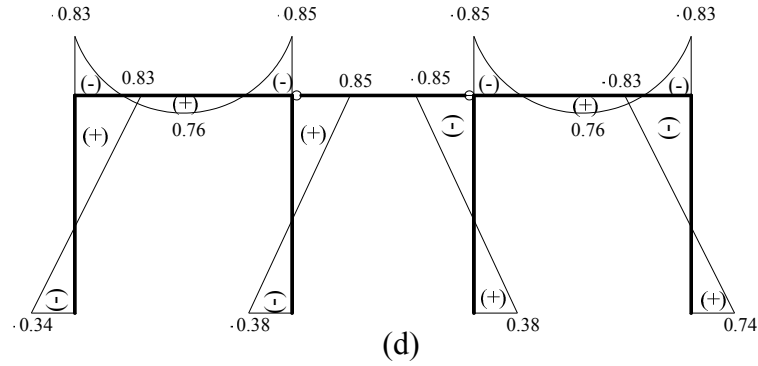
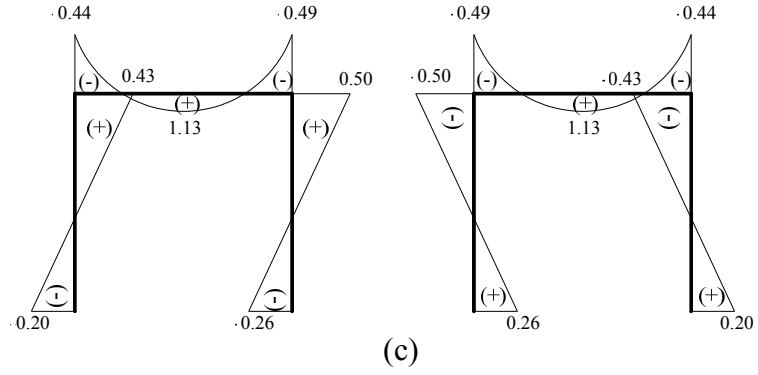
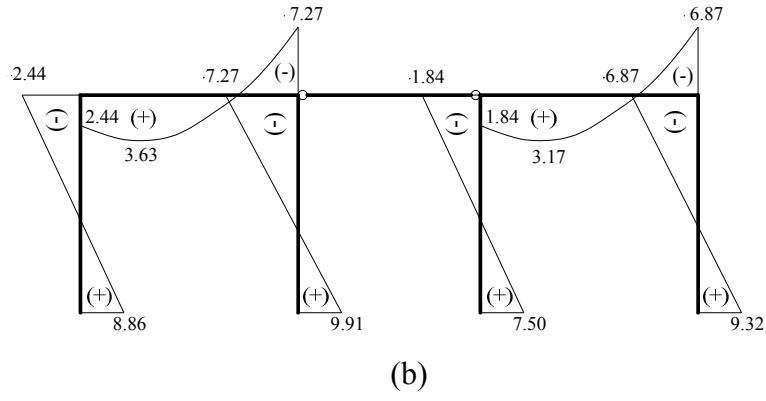
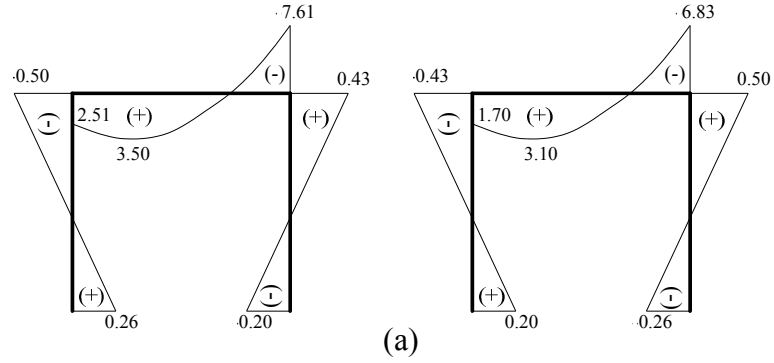
(d)

N (ton)

Şekil 5. a: (x-y) doğrultusunda uzaysal çerçevenin eksenel kuvvet diyagramı
 b: (x-y) doğrultusunda düzlem çerçevelerin eksenel kuvvet diyagramı
 c: (z-y) doğrultusunda uzaysal çerçevenin eksenel kuvvet diyagramı
 d: (z-y) doğrultusunda düzlem çerçevelerin eksenel kuvvet diyagramı



Şekil 6. a: (x-y) doğrultusunda uzaysal çerçevenin kesme kuvveti diyagramı
 b: (x-y) doğrultusunda düzlem çerçevelerin kesme kuvveti diyagramı
 c: (z-y) doğrultusunda uzaysal çerçevenin kesme kuvveti diyagramı
 d: (z-y) doğrultusunda düzlem çerçevelerin kesme kuvveti diyagramı



M (tm)

Şekil 7. a: (x-y) doğrultusunda uzaysal çerçevenin eğilme momenti diyagramı
 b: (x-y) doğrultusunda düzlem çerçevelerin eğilme momenti diyagramı
 c: (z-y) doğrultusunda uzaysal çerçevenin eğilme momenti diyagramı
 d: (z-y) doğrultusunda düzlem çerçevelerin eğilme momenti diyagramı

4. SONUÇLAR

Şekil 3'te verilen uzaysal betonarme çerçevenin matris – deplasman yöntemi ile, Şekil 4'te verilen eşdeğer düzlem çerçevelerin SAP2000 paket programı ile çözülmesi neticesinde 5 ve 6 numaralı yatay çerçeve elemanlarının açıklık ve uç eğilme momentleri oldukça yakın sonuçlar vermesine rağmen, 7 ve 8 numaralı yatay çerçeve elemanlarının açıklık ve uç eğilme momentleri arasında ciddi farklılıklar görülmüştür. Benzer şekilde; düşey taşıyıcı elemanların tamamının açıklık ve uç eğilme momentlerinde farklı değerler görülmüştür.

5 ve 6 numaralı çerçeve elemanlarının eğilme momenti değerlerindeki benzerlik kesme kuvveti değerlerinde de kendisini göstermiştir. 7 ve 8 numaralı çerçeve elemanlarının kesme kuvvetleri oldukça yakın sonuçlar vermesine rağmen düşey taşıyıcı elemanların tamamında farklı kesme kuvveti değerlerine rastlanılmıştır.

Eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri için bazı çerçeve elemanlarında gözlenen yakın sonuçlar, aksenal kuvvet değerlerinde gözlenmemiştir. Tüm çubuk elemanları için aksenal kuvvet değerlerinde ciddi farklılıklar söz konusudur.

Bu çalışma sonucunda, uzaysal çerçevelerin; çözümü kolaylaştırmak amacıyla düzlem çerçevelere ayrılarak çözülmesi ile özellikle düşey taşıyıcı elemanlarda elde edilen iç tesirler uzaysal çerçeve çözümü ile elde edilen iç tesirlerden oldukça farklı değerlere ulaşmaktadır. Dış yükler altında çerçevenin gerçek davranış biçimine daha uygun olan uzaysal çerçeve modellenmesi yerine; birbirine, sonsuz uzama rijitlikli pandül ayaklar ile bağlanarak elde edilen düzlemsel eşdeğer çerçeve kullanılması, kolonlarda daha büyük iç tesirlere göre boyutlama getirmekle birlikte, ekonomik çözüm olmaktan uzaklaşmaktadır.

Bu nedenle taşıyıcı sistemi çok katlı, çok açıklıklı çerçevelerden oluşan yapıların; hesap algoritması matris – deplasman yöntemine dayanan paket programlarla üç boyutlu analizi, düzlem analize oranla tercih edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Armenakas A.E. (1991): “Modern Structural Analysis”, Singapore, McGraw-Hill Inc.
- Çakıroğlu A., Özden E., Özmen G. (1970): “Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları”, İstanbul, C.I.
- Çakıroğlu A., Özden E., Özmen G. (1992): “Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları”, İstanbul, C.II.
- Çatal H.H. (2002): “Yapı ve Deprem Mühendisliğinde Matris Yöntemler”, İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, N.294.
- Çatal H.H., Yazıcı Ş. (1994): “Üç Boyutlu Taşıyıcı Çubuk Sistemlerin Rijitlik Matrisinin Kodlama Yöntemi ile Kurulması ve Çubuk Uç Kuvvetlerinin Hesaplanması İçin Bir Bilgisayar Programı”, İstanbul, İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı IV. Sempozyumu.
- Livesley R.K. (1964): “Matrix Methods of Structural Analysis”, New York, Pergamon Press.
- Tezcan S. (1970): “Çubuk Sistemlerin Elektronik Hesap Makinaları ile Çözümü”, İstanbul, Arı Kitabevi.