



ÇİFT KATMANLI UZAY KAFES SİSTEMLERİN LİNEER OLMAYAN ANALİZİ VE TASARIMI

Fatma Ülker¹, Sedat Savaş²

¹DSİ Genel Müdürlüğü, Proje İnşaat Daire Başkanlığı, Yüce-tepe, 06100, Ankara
²Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ

ÖZET

Bu çalışmada, çift katmanlı uzay kafes sistemlerin lineer olmayan analizi ve optimum tasarımı konusunda bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Çift katmanlı uzay kafes sistemin lineer olmayan analizi için, sadece “geometrik bakımdan lineer olmayan analiz” etkisi çalışmada göz önüne alınmıştır. Sistemin tasarımında, SAP2000 paket programının boyutlandırma algoritmasından yararlanılmıştır. Çift katmanlı uzay kafes sistemlerin geometrik bakımdan lineer olmayan analizini gerçekleştirmek amacıyla öncelikle, Kaynak [1] ‘de çözümlenen 56 çubuklu uzay kafes sistemin SAP2000 programında (P-Delta) ikinci mertebe etkileriyle çözümü yapılmıştır. Bu çözümde sonuçların doğrulandığı görüldükten sonra, çift katmanlı uzay kafes sistemlerin geometrik bakımdan lineer olmayan analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uzay Kafes Sistemler, SAP2000, Tam Gerilmeli Boyutlandırma

GİRİŞ

Uzay kafes sistemlerin birim elemanı, altı çubuk ve dört düğüm noktasından meydana gelen bir dörtyüzlüdür. Böyle bir dörtyüzlü her biri aynı düzlem içinde bulunmayan üç çubukla çok kolay bir şekilde büyütülebilmektedir. Çubukların birleşimi, montajda çeşitli kolaylıklar sağlayan düğüm noktası elemanları ile yapılmaktadır.

Yapı teknolojilerinde hafif, hızlı ve ekonomik çözümler arayışı *uzay kafes sistemlerin* doğmasına neden olmuştur. Bu sistemlerle, yapılarda büyük açıklıkların kolonsuz ve hafif bir konstrüksiyonla geçilmesi sağlanmakta, bu şekilde yapıların fonksiyonel olarak daha esnek ve kullanışlı olması mümkün olmaktadır. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte bu sistemlerle 100 metreye kadar olan açıklıklar geçilebilmektedir. Bu yapı sistemleriyle kare, dikdörtgen, poligon ve daire şeklindeki mekanlara uygun örtü biçimleri oluşturulabilmektedir.

Uzay kafes sistemlerin son yıllarda mimarlık ve mühendislik dünyasında oldukça sık uygulandığı görülmüştür. Sistemi oluşturan çubuklar tek bir düzlemde bulunmadığından, ayrıca birbirini kesen birden fazla düzlem sebebiyle üçüncü boyutun oluşmasıyla bir kafes sistem meydana geldiğinden, bu tür sistemler *uzay kafes sistemler* olarak adlandırılmaktadır.

Uzay kafes sistemler son yıllarda endüstri yapıları, alışveriş merkezleri, okul binaları, hangarlar, yüzme havuzları, sergi sarayları gibi geniş açıklıkları bulunan hacimleri örtmek için kullanılmıştır. Statik ve dinamik açıdan uygun çözümler getirildiği takdirde uzay kafes

sistemlerin kullanıldığı yapılarda daha az çelik malzeme gerekmektedir. Bu da ekonomik açıdan oldukça iyi bir çözümdür. Ayrıca sistemi oluşturan parçalar fabrikasyon olduğundan, birçok kez sökölüp takılması, onarım ve montaj işinin kolay olması, uzay kafes sistemlerin başka olumlu özelliklerindedir.

Boru ve küre elemanlardan oluşan uzay kafes taşıyıcı sistemler tek katlı ve iki katlı (çift katmanlı) yapılabilmektedir. Statik yönden uzay kafes sistemler yüksek mertebeden hiperstatik olduğundan, sistem içerisinde yük dağılımı sürekli olmakta ve bu bir avantaj sağlamaktadır.

Gerek ülkemizde gerekse yurt dışında çöken, yıkılan uzay kafes sistemlerde önemli dizayn hataları görülmüştür. Özellikle Gençlik ve Spor Genel Müdürlüğü bu tür uzay kafes sistemler üzerinde ciddi olarak durmakta, projeleri yeniden gözden geçirmekte, kış sezonunda kar yüklemesine karşı önlemler almaktadır. Uygulanan uzay kafes sistemler ise, projelendirilirken genellikle çift katmanlı olarak dizayn edilmektedir.

Statik yararları açısından, bu sistemler diğer birçok taşıyıcı sistemlere oranla çok daha hafiftirler. Sabit yüklerin azlığı sadece çatıda değil, alt sistem öğeleri ile temellerde kendini göstermekte, buna bağlı olarak *maliyet önemli ölçüde azalmaktadır*. Uzay kafes sistemler, günümüzde Türkiye’de büyük açıklıklı sanayi yapılarının örtülmeleri konusunda oldukça fazla uygulama alanı bulmaktadır [2].

GEOMETRİK BAKIMDAN LİNEER OLMAYAN ANALİZ

Yapıların lineer olmayan analizi, malzeme ve geometrik bakımdan ayrı ayrı veya ikisi bir arada yani birleşik nonlineerlik şeklinde yapılmaktadır. Bu araştırmada, özellikle çift katmanlı uzay kafes sistemlerde büyük deplasmanların meydana geleceği ve ikinci mertebe etkilerin etkin olacağı düşünüldüğünden, “*geometrik bakımdan lineer olmayan analiz*” etkisi probleme katılmıştır.

Geometrik bakımdan lineer olmayan analiz, klasik yöntemlerle, aslında lineer-elastik matris deplasman yönteminin ardışık uygulanmasıyla yapılmaktadır. Lineer olmayan analizin her adımında sistemin şekil değiştirmiş konumu için;

$$K_T = \sum_{e=1}^n (K_E + K_G)_e \quad (1)$$

olarak yeni bir tanjant rijitlik matrisi kurulmakta, telafi yük vektörü;

$$P_R^{(i-1)} = K_T^{(i-1)} * X_R^i \quad (2)$$

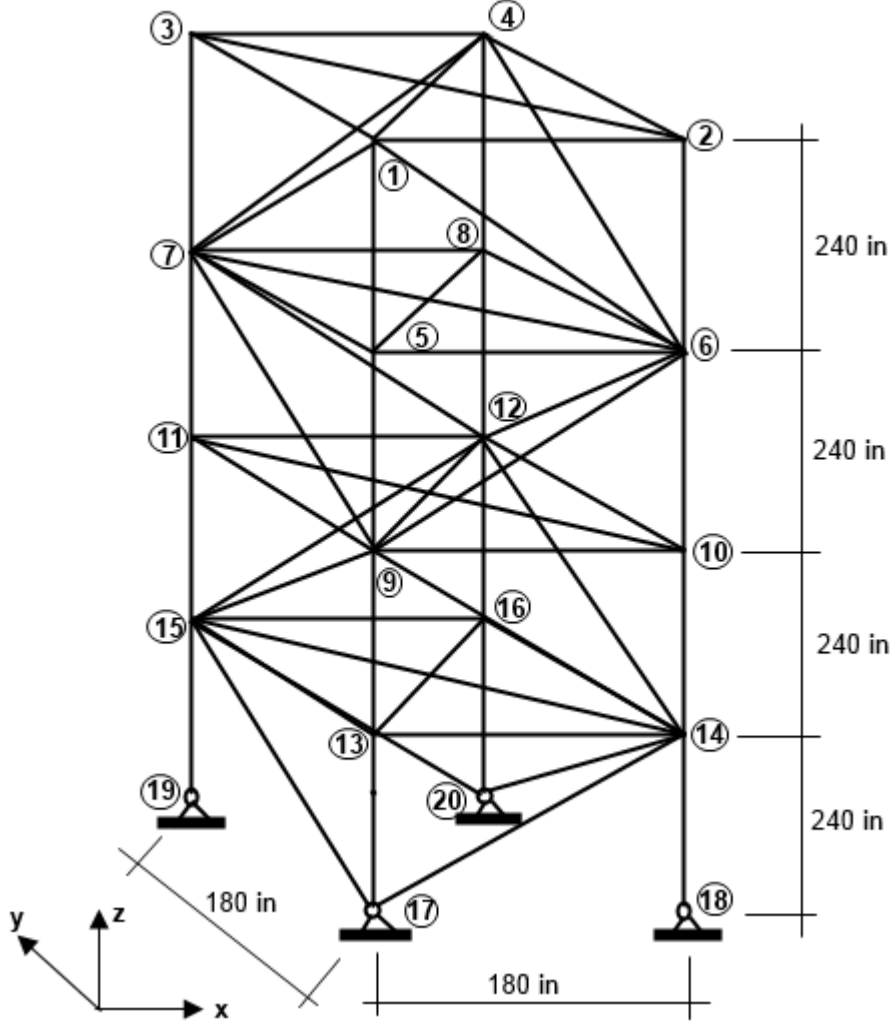
sisteme uygulanarak çubuk kuvvetleri ve düğüm noktası deplasman değerleri ;

$$F_e = \frac{A_e E_e}{L_{1e}} * (L_{2e} - L_{1e}) \quad X_j^{i+1} = X_j^i + \Delta X_R^i \quad (3)$$

olarak hesaplanmaktadır [3,4]. Ardışık yaklaşım işlemi belirli bir toleransa kadar devam etmektedir. Görüldüğü gibi bu şekilde ki klasik bir analizde çok uzun işlemler bulunmakta ve bu işlemler çok büyük zamanlar almaktadır.

Yukarıdaki adımlarla, Şekil-1 de verilen 56 çubuklu uzay kafes sistemin geometrik bakımdan lineer olmayan analizi, Kaynak [1]’de yapılarak Çizelge-1’deki sonuçlar elde edilmiştir.

Sisteme etki eden yükler, '1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 ve 15' numaralı düğüm noktalarında x eksenini doğrultusunda 10 kip, '1, 2, 3 ve 4' numaralı düğüm noktalarının z eksenini yönünde ise -20 kip uygulanmıştır. Bu örnekte, orijinal çalışmadaki ölçü birimi alınmıştır.



Şekil – 1: 56 Çubuklu Uzay Kafes Sistem

Çizelge 1: 56 Çubuklu Uzay Kafes Sistemin Deplasmanları

Düğüm No	Lineer Analizde Deplasmanlar [in]			Nonlineer Analizde Deplasmanlar [in]		
	x	y	z	x	y	z
1	116,80	-14,96	8,00	161,87	-19,47	-1,48
2	116,89	-14,99	-16,64	158,57	-20,90	-37,14
3	117,23	-14,88	8,96	164,09	-19,41	-0,55
4	116,86	-14,90	-14,40	160,23	-20,83	-34,83
5	83,19	-12,81	7,95	111,91	-16,84	2,98
6	82,88	-12,93	-15,44	108,44	-18,31	-30,63
7	82,62	-12,67	10,16	113,30	-16,74	5,99
8	82,76	-12,79	-12,85	110,32	-18,23	-27,33
9	48,56	-8,70	7,90	63,05	-10,26	7,19
10	48,72	-8,53	-12,13	60,94	-11,27	-20,98
11	49,17	-8,53	8,67	65,11	-10,13	7,88
12	48,88	-8,37	-11,30	62,62	-11,23	-20,20
13	19,45	-10,67	3,95	22,88	-13,70	4,55
14	19,16	-10,83	-8,83	21,68	-16,17	-12,93
15	18,84	-10,51	7,17	24,53	-13,64	8,19
16	19,00	-10,67	-5,65	23,72	-16,31	-9,32

Çizelge 1' den görüleceği gibi, lineer olmayan analizde deplasmanlarda büyük değişimler meydana gelmektedir.

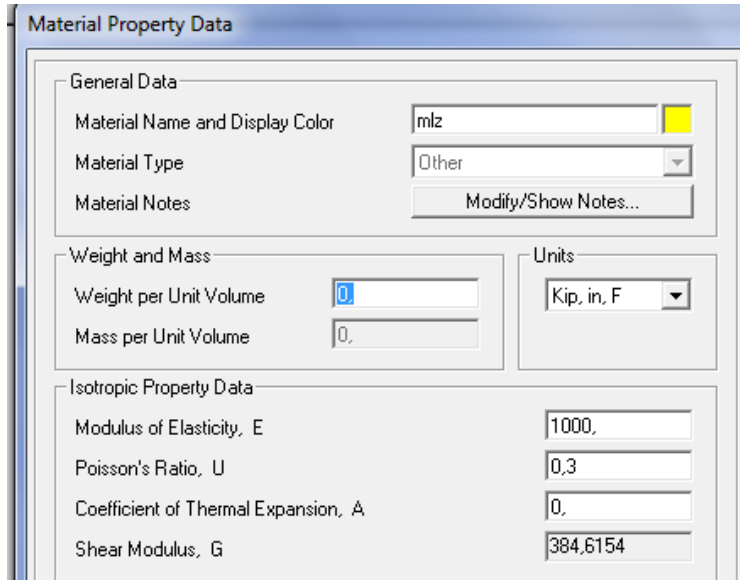
SAP2000 PROGRAMI İLE GEOMETRİK BAKIMDAN NONLINEER ANALİZ

Burada tercih edilen SAP2000 paket programının (P-Delta) ikinci mertebeye etkileriyle çözümü, yukarıda belirtilen tüm işlem adımlarını ortadan kaldırmakta ve sistemi kısa sürede çözüme ulaştırmaktadır. Ayrıca, klasik analizde karşılaşılan “*sistem stabilitesinin tehlikede oluşu*” ile ilgili problemlere SAP2000 programında karşılaşılmamıştır.

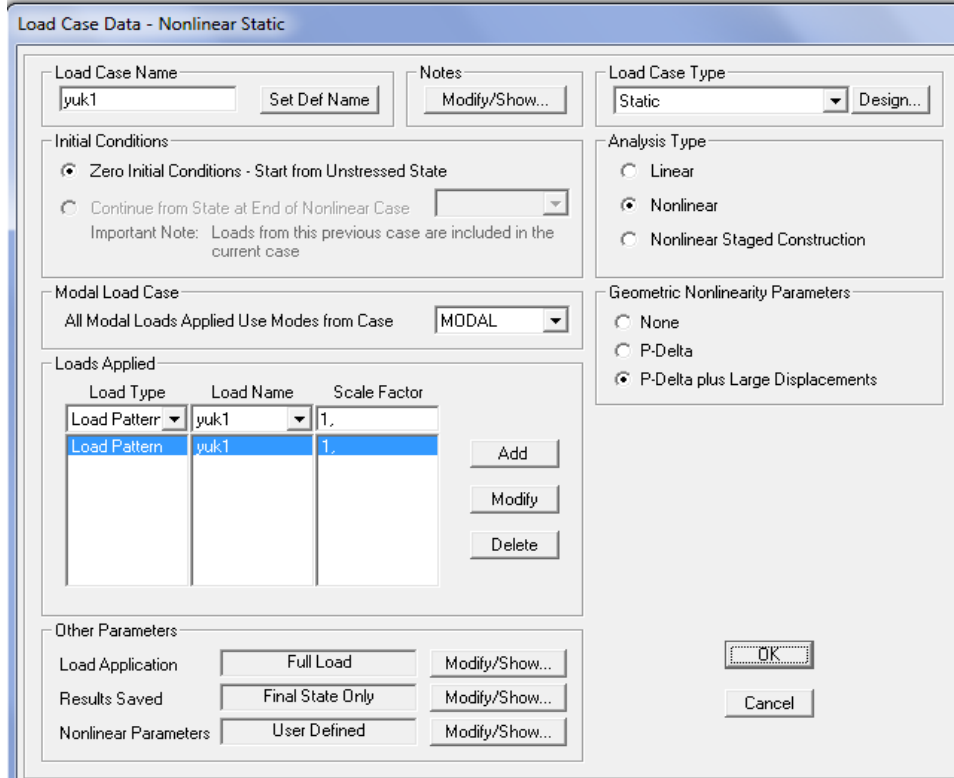
56 çubuklu uzay kafes sisteminin SAP2000 paket programı ile geometrik bakımdan nonlineer analizi yapılmış, Çizelge 2' den görüleceği gibi aynı sonuçlar elde edilmiştir. Bu problemle ilgili malzeme ve nonlineer analiz parametrelerinin tanımlanması Şekil-2 ve Şekil-3'te verilmiştir.

Çizelge 2: 56 Çubuklu Uzak Kafes Sistemin Deplasmanları (SAP2000)

TABLE: Joint Displacements						
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	Text	in	in	in
1	yuk1	NonStatic	Max	161,860926	-19,472292	-1,482934
2	yuk1	NonStatic	Max	158,562064	-20,895414	-37,140393
3	yuk1	NonStatic	Max	164,081066	-19,412444	-0,547158
4	yuk1	NonStatic	Max	160,218827	-20,829862	-34,830408
5	yuk1	NonStatic	Max	111,908777	-16,83899	2,983538
6	yuk1	NonStatic	Max	108,436415	-18,304506	-30,63092
7	yuk1	NonStatic	Max	113,292332	-16,73607	5,991222
8	yuk1	NonStatic	Max	110,310647	-18,226056	-27,330134
9	yuk1	NonStatic	Max	63,045568	-10,254936	7,184845
10	yuk1	NonStatic	Max	60,9344	-11,272193	-20,974033
11	yuk1	NonStatic	Max	65,106031	-10,126006	7,8772
12	yuk1	NonStatic	Max	62,612624	-11,225171	-20,202661
13	yuk1	NonStatic	Max	22,877722	-13,69874	4,553382
14	yuk1	NonStatic	Max	21,678059	-16,170465	-12,924311
15	yuk1	NonStatic	Max	24,532189	-13,635959	8,190695
16	yuk1	NonStatic	Max	23,722483	-16,31258	-9,321372
17	yuk1	NonStatic	Max	0	0	0
18	yuk1	NonStatic	Max	0	0	0
19	yuk1	NonStatic	Max	0	0	0
20	yuk1	NonStatic	Max	0	0	0

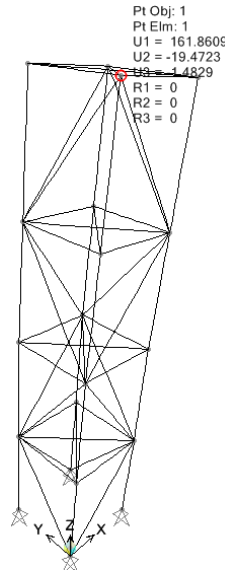


Şekil 2: 56 Çubuklu Uzak Kafes Sistemin SAP2000 Programında Malzeme Tanımlaması



Şekil 3: 56 Çubuklu Uzay Kafes Sistemin SAP2000 Programında Nonlineer Analiz Parametrelerinin Tanımlanması

Sistemin deforme olmuş şekli ve 1 numaralı düğüm noktası deplasmanları Şekil 4 üzerinde gösterilmiştir. Bu şekilde, problemin SAP2000 V15.1.0 programında (P-Delta) ikinci mertebe etkileriyle çözümü gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 4: 56 Çubuklu Uzay Kafes Sistemin Deformasyon Şekli ve 1 No'lu Düğüm Noktası Deplasmanları (SAP2000)

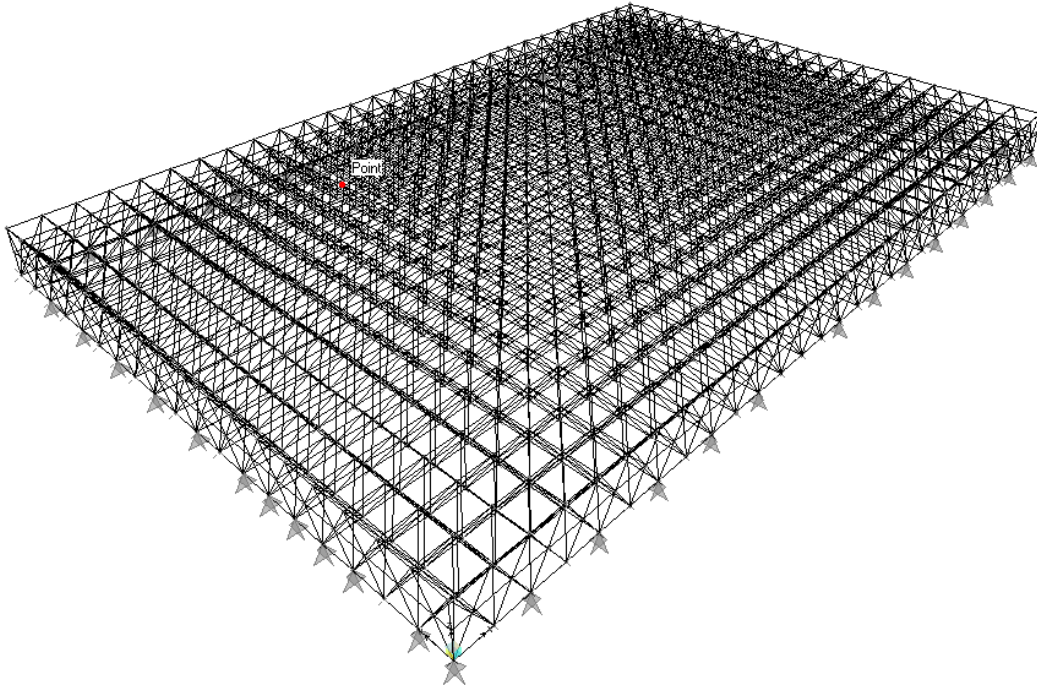
ÇİFT KATMANLI UZAY KAFES SİSTEMLERİN SAP2000 PROGRAMI İLE TASARIMI

Yapıların optimizasyonu konusunda yapılan çalışmalarda amaç, verilen sınırlayıcılar altında minimum ağırlıklı yapının elde edilmesidir. Uzay kafes sistemlerde sınırlayıcı olarak genellikle deplasman ve gerilmeler kullanılır. Bu sınırlayıcılar altında yapı ağırlığı minimize edilir. Mühendislikte klasik tasarım yapılırken, bu kısıtlayıcılar göz önüne alınmamakta ve dolayısıyla hantal, ekonomik olmayan yapılar ortaya çıkmaktadır. Halbuki çelik gibi elasto-plastik özelliği ve mekanik özellikleri çok iyi olan bir malzemede optimum tasarım kaçınılmazdır.

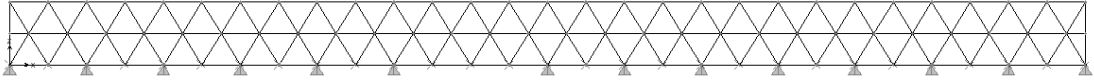
Bu çalışmada optimum tasarım yapmak amacıyla, bilinen klasik optimizasyon teknikleri kullanılmamıştır. Yani, bir amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar yazılarak optimum tasarım yapılmamıştır. Bunun yerine SAP2000 paket programında, “tam gerilmeli boyutlandırma” alternatif bir optimizasyon tekniği olarak sunulmuştur.

SAP2000 paket programında kesit havuzu oluşturularak, bu havuzdan kesitler otomatik olarak seçilmiş, tam gerilmeli boyutlandırma kriteri (sınırlayıcısı) sağlanmıştır. Aslında SAP2000’de bu şekilde bir optimizasyon algoritmasını tercih etmek, gerek MAJID [5]’in çalışmalarına, gerekse Genetik algoritmalara uygun bir yaklaşımdır.

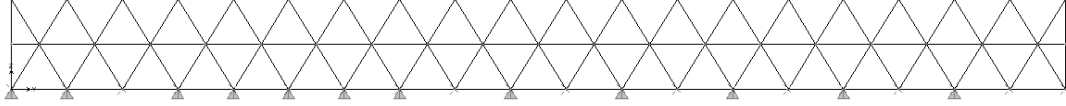
Burada, makale hacmi gözönünde tutularak sadece, Şekil 5’te görülen çift katmanlı uzay kafes sistemin SAP2000 programı ile tasarımı yapılmıştır. Kafes sistem dataları Kaynak [2]’den alınmıştır.



Şekil 5a: Çift Katmanlı 8071 Çubuklu Uzay Kafes Sistem



Şekil 5b: Çift Katmanlı 8071 Çubuklu Uzay Kafes Sistemin X-Z Düzlemi



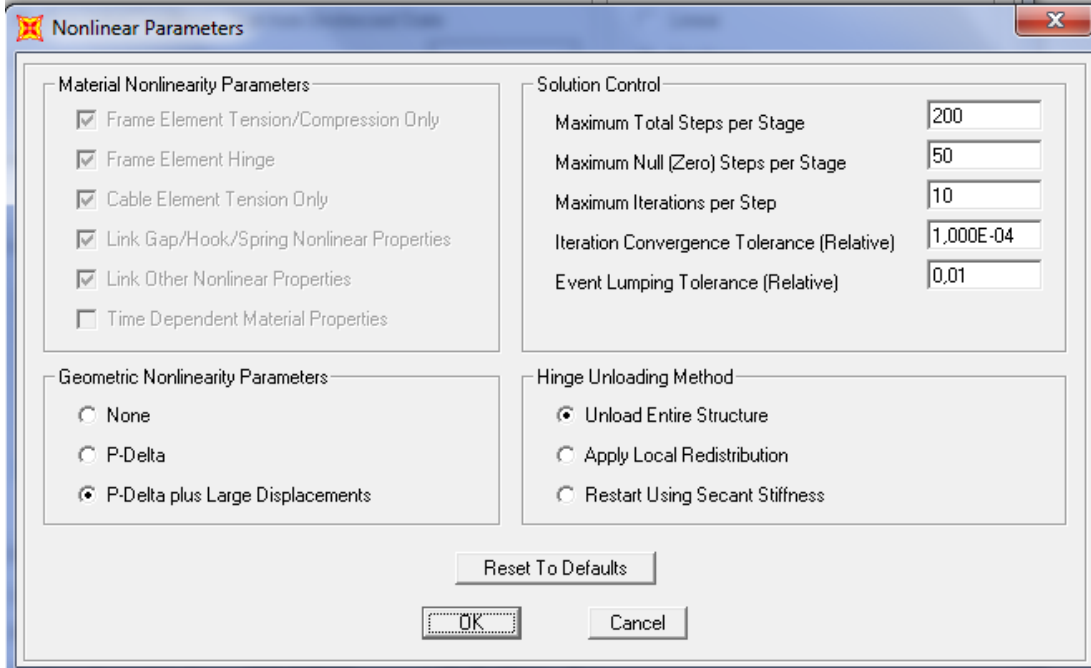
Şekil 5c: Çift Katmanlı 8071 Çubuklu Uzay Kafes Sistemin Y-Z Düzlemi

Sistemde 8071 çubuk ve 1790 düğüm noktası mevcuttur. Uzay kafes sistem alanı yaklaşık $49.4 \times 72.80 = 3596 \text{ m}^2$ civarındadır. Projelendirmede uzay kafes sisteminin 12 yükleme durumu ve 28 yükleme kombinezonu ile (zati yüklemeler, kar ve rüzgar yüklemeleri, ısı değişimi, deprem yüklemesi gibi) analizi ve tasarımı yapılmıştır.

Kesit havuzunda yirmi adet boru kesit tanımlanmış ve çubuklara bu kesitler atanmıştır. Bu kesitler $\{A = 4; 4.6; 5.23; 6.5; 7.98; 10.8; 14.41; 15.52; 20.41; 20.55; 25.2; 25.15; 35.41; 53.06; 58.81; 63.4; 70.5; 76.81; 82.5; 93.57\} \text{ cm}^2$ şeklindedir. Başlangıç kesit alanı olarak bu havuzdan, $A_{\min} = 4 \text{ cm}^2$ olarak atanmıştır. Tasarımda, SAP2000 V15.1.0 programının çelik yapı tasarımındaki EUROCODE 3-1993 Şartnamesi seçilmiştir. Çift katmanlı uzay kafes sisteminin SAP2000 paket programı ile geometrik bakımdan nonlineer analizinde, problemle ilgili malzeme ve nonlineer analiz parametrelerinin tanımlanması Şekil-6 ve Şekil-7'de gösterilmiştir.

Material Property Data	
Material Name	STEEL
Display Color	Color
Type of Material	<input checked="" type="radio"/> Isotropic <input type="radio"/> Orthotropic <input type="radio"/> Anisotropic <input type="radio"/> Uniaxial
Type of Design	Design: Steel
Analysis Property Data	Mass per unit Volume: 7,849E-08 Weight per unit Volume: 7,698E-05 Modulus of Elasticity: 20593,965 Poisson's Ratio: 0,3 Coeff of Thermal Expansion: 1,170E-05 Shear Modulus: 7920,7558
Design Property Data (EUROCODE 3-1993)	Minimum Yield Stress, Fy: 23,536 Minimum Tensile Stress, Fu: 36,2846
Advanced Material Property Data	<input type="button" value="Time Dependent Properties..."/> <input type="button" value="Material Damping Properties..."/> <input type="button" value="Stress-Strain Curve Definitions..."/>
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Şekil 6: Çift Katmanlı Uzay Kafes Sistemin SAP2000 Programında Malzeme Tanımlaması



Şekil 7: Çift Katmanlı Uzay Kafes Sistemin SAP2000 Programında Nonlineer Analiz Parametrelerinin Tanımlanması

SAP2000 paket programında, geometrik bakımdan nonlineer analiz tamamlandıktan sonra, “tam gerilmeli boyutlandırma” tekniğini esas alan ”Start Design/Check of Structure” ile uzay kafes sistemin optimum tasarımı yapılmıştır.

Tasarımda, büyük deplasmanlara izin verildiğinden, çubuk kuvvetlerinin arttığı, kesit havuzundaki alanların bazı çubuklarda yetersiz kaldığı, gerilme kapasitesinin aşıldığı gözlenmiştir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, çift katmanlı uzay kafes sistemlerin analizini ve optimum tasarımını SAP2000 paket programı ile yapabilen bir algoritma geliştirilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında, SAP2000 yapı analizi ve tasarımı programının pratik uygulanabilirliğinin olduğu açıkça görülmektedir. Çift katmanlı uzay kafes sistemin nonlineer davranışında tam gerilmeli boyutlandırma yapılırken büyük deplasmanlar olduğundan, gerilme kapasitesinin aşılması problemi ortaya çıkmaktadır. Bu problemin daha sonraki çalışmalarda giderilmesi araştırmacılara önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Ülker, M., (1988), “Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemlerin Optimum Boyutlandırılması”, Doktora Tezi, Fırat Üniv. Fen Bil. Enstitüsü, Elazığ.
- [2] Ülker, F., (2007), “Çift Katmanlı Uzay Kafes Sistemlerin Statik ve Dinamik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniv. Fen Bil. Enstitüsü, Elazığ.
- [3] Przemieniecki, J. S. “Theory of Matrix Structural Analysis”, Mc Graw-Hill, 1968.

- [4] Reilly, J. R. Ve Sutton, L. E. “An Iterative Solution for Geometrically Nonlinear Trusses” ,Comp. And Struct., Vol. 3, 1973.
- [5] Majid, K.I., “Optimum Design of Structures” ,Newnes-Butterworths, 1974.