

MALZEME VE GEOMETRİK ÖZELLİKLER BAKIMINDAN LİNEER OLMAYAN ÇOK KATLI ÇELİK UZAY ÇERÇVELERİN OPTİMİZASYONU

Yüksel ESEN ve Mehmet ÜLKER

Yapı Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ

(Geliş/Received: 23.08.2007; Kabul/Accepted: 18.04.2007)

ÖZET

Bu çalışmada, ANSYS paket programı kullanılıp, deprem yüklerine maruz çelik uzay çerçevelerin malzeme ve geometrik olarak lineer olmayan davranışları birlikte göz önüne alınarak optimizasyonu yapılmıştır. Çözümlerde burkulma hesapları göz önüne alınarak optimizasyon işlemine, burkulma sınırlayıcıları uygulanmıştır. Malzemenin lineer olmayan davranışı için bi-lineer kinematik pekleşme yöntemi kullanılmış olup çözümlerde TS 648'de verilen burkulma formülasyonu alınmıştır. Dinamik çözüm tekniği olarak Newmark metodu ve lineer olmayan çözüm algoritması olarak da Newton-Raphson metodu kullanılmıştır. Çözümler ANSYS paket programının APDL (Ansys Programming Design Language) kodlama dili yardımıyla alt program yazılarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uzay çerçeve, lineer olmayan analiz, optimizasyon, ANSYS

OPTIMIZATION OF MULTI STOREY SPACE STEEL FRAMES, MATERIALLY AND GEOMETRICALLY PROPERTIES NON-LINEAR

ABSTRACT

In this study, optimization of space steel frames exposed to seismic loads was carried out by taking into consideration both materially and geometrically nonlinear behaviours via the ANSYS packed program. By taking into account the buckling estimations, the buckling constraints were applied to the optimization technique. For the nonlinear behaviour of the material, the bilinear cinematic hardness model was used and the buckling formulation given in TS 648 was taken in the solutions. For a dynamic solution technique, Newmark method and for the nonlinear solution algorithm, Newton-Raphson methods were used. Solutions were found by preparing subroutine in APDL (Ansys Programming Design Language) coding language of ANSYS packed program.

Keywords: Space frame, non-linear Analysis, optimization, ANSYS

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mühendislik bilimi; analiz, dizayn, fabrikasyon, satış, araştırma ve geliştirme gibi birçok faaliyet alanını içermektedir. Hızla gelişmekte olan dünyada, sadece çalışan bir sistem geliştirmek artık tatmin edici olmaktan uzaklaşmaktadır. Önemli olan “en iyi” sistemi geliştirmektir. Böyle bir sistemin dizaynı, optimizasyon problemi olarak formüle edilip çözümlenebilir. En basit tabiri ile optimizasyon problemi, “en iyi”den kastedilen manaları hedef olarak alıp, matematiksel fonksiyonla temsil ettirilerek, belirtilen sınırlar dahilinde bu fonksiyonun

minimum bazen maksimum değerinin bulunmasıdır [1].

Yapısal optimizasyon konusunda son yıllarda yapılan çalışmalar genellikle yapıların lineer elastik bölgedeki davranışını göz önüne almakta ve lineer olmayan bölgedeki yük taşıma kapasiteleri ihmal edilmektedir. Çelik ve alüminyum gibi hafif yapı malzemeleriyle teşkil edilen uzay çerçevelerde, büyük deplasmanların ve malzeme bakımından lineer olmayan davranışın göz önüne alınması önemli bir mühendislik problemidir. Bu tür lineer olmayan davranışlar öteden beri araştırmacıların dikkatini çekmiş ve klasik yöntemlerle bu problemler çözülmeye çalışılmıştır.

Araştırmacılar çalışmalarında lineer olmayan davranış için Lagrange, Euler ve Newton-Raphson Yöntemi gibi yaklaşımları kullanarak formülasyonu elde etmeye çalışmışlardır. Ancak bu çalışmalarda gerçek yapı davranışını belirleyen kesin algoritma sayısı çok azdır. Günümüzde bilgisayar teknolojisi ile nümerik olarak çok karmaşık yapı sistemlerinin lineer olmayan analizi gerçeğe yakın olarak elde edilebilmektedir. ANSYS, ADINA ve NASTRAN gibi programları üreten yazılım şirketleri, geliştirilen bu programlara optimizasyon yapan modüller de eklemiştirler [1].

Karaton ve Ülker [2] yaptıkları çalışmada, geometrik ve malzeme bakımından lineer olmayan uzay çerçevelerin statik ve dinamik yükler altında optimum boyutlandırılmasını yapmışlardır. Geometrik bakımdan lineer olmayan davranış için büyük deplasmanlar seçilmiş, malzeme bakımından lineer olmayan davranış için lineer olmayan gerilme-şekil değiştirme bağıntıları kullanılmıştır. Önce statik analiz daha sonra ise statik ve dinamik yükler altında optimum boyutlandırma yapılmıştır. Goldberg ve Richard [3], yaptıkları çalışmada, düzlem çerçevelerin analizi için, sadece malzeme bakımından lineer olmayan davranış göz önüne alınmış ve problemin çözümünü lineer olmayan diferansiyel denklem takımının çözümü haline getirmişlerdir. Saafran [4], geometrik bakımdan lineer olmayan düzlem çerçevelerin analizini yük artımına dayanan ve her seferinde denge denklemleri, şekil değiştirmiş sistem için yazılan bir teknik kullanmıştır. Hartavi [5] de yaptığı çalışmada, düzgün ve/veya değişken kesitli çubuklardan oluşan, düğüm noktaları rijit bağlı düzlem yapıların elastik veya istenildiğinde elastik-plastik hesabını yapan bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Saka ve Hayalioğlu [6] yaptıkları çalışmada, geometrik olarak lineer olmayan elastik-plastik çerçeveler için bir yapısal optimizasyon algoritması vermişlerdir. Bu algoritma, elastik plastik çerçeveler için büyük deformasyon metodu ile optimum kriteri yaklaşımının kullanılmasıyla elde edilmiştir. Bilgisayar çalışmalarında, yük artışı yaklaşımı ile Newton-Raphson iterasyonu benimsenmiştir. Amaçlanan yük faktörüne ulaşıldığında bu iterasyonlara son verilmiştir. Geometrik olarak lineer olmayan elastik-plastik çerçeveler için optimum dizaynlar elde edilmiş ve lineer elastik çerçevelerle karşılaştırılmıştır. Saka ve Hayalioğlu [7] birlikte yaptıkları bir diğer çalışmada ise, prizmatik şekle sahip geometrik olarak lineer olmayan elastik- plastik çelik çerçeveler için daha önce geliştirilen optimum dizayn algoritmasını ince kesitli elemanlara uygulamışlardır. Karmaşık dizayn problemlerinde deplasman sabitlerini ele alarak optimum kriteri yaklaşımını etkili bir şekilde kullanmışlardır. Elastik-plastik çerçevelerin büyük deformasyon analizinde bilgisayarın çözüm süresinin çok uzun olduğunun farkına varılmıştır. Çerçevelerin lineer olmayan davranışının ihmal edilmesiyle daha hızlı bir yaklaşımın mümkün olduğu belirtilmiştir.

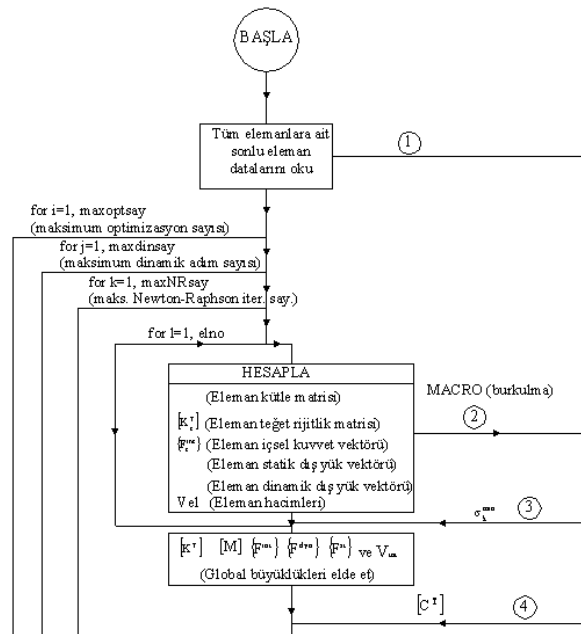
Optimum dizayn problemlerinin formülasyonunda geometrik ve malzeme non-lineerliği hesaba katıldığında yapının kütleinde daha büyük artışın görüldüğü vurgulanmıştır. Kameshki ve Saka [8] yaptıkları çalışmada, kiriş-kolon birleşim bölgelerinin gerçek modelinin, yarı-rijit bağlantılı lineer olmayan çok katlı çelik çerçeveler için optimum tasarım metodu esaslı bir genetik algoritma çıkarmışlardır. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinin moment dönme bağıntısını içeren bir lineer olmayan amprik modeli kullanmışlardır. Potts ve Brungraber [9], çeşitli malzeme ve kesitler için moment-eğrilik bağıntılarını çıkararak malzeme bakımından lineer olmayan çerçeve sistemlerin analizini yapmışlardır. Keleşoğlu [10] yaptığı tez çalışmasında, bulanık kümeler kullanarak lineer olmayan uzay kafes sistemlerin çok amaçlı optimizasyonunu yapmış, kafes sistemlerin analizinde, λ formülasyonu uygulanmıştır. Çok amaçlı bulanık optimizasyon tekniğinin algoritması ANSYS parametrik boyutlandırma dili ile yazılmıştır. Geliştirilen algoritmanın uygulanabilirliği, Rao'nun makalesindeki üç boyutlu düzlem kafes sistemin çözümü ile gösterilmiştir. Boyutlandırma probleminin formülasyonunda amaç fonksiyonu olarak minimum ağırlık ve minimum deplasmanlar göz önüne alınmıştır. Korn ve Galambos [11], geometrik bakımdan lineer olmayan elastik-plastik düzlem çerçevelerin analizini yük artımına dayanan bir teknik ile yapmışlardır. Harung ve Millar [12], sistemdeki geometri değişimini de göz önüne alarak elastik-plastik düzlem çerçevelerin analizini yük artımı ve plastik mafsalları oluşturacak yük parametrelerinin tahminine dayanan bir teknik ile yapmışlardır. Bathe ve Özdemir [13], büyük deformasyon yapan ve elastik-plastik malzemeden yapılmış yapı sistemlerin analizi için sürekli ortam mekaniği ve sonlu elemanlar prensiplerini kullanmışlardır.

Yapıların burkulma ve stabilitesi üzerine yapılan ilk çalışmalar elemanların davranışları üzerinde yoğunlaşmıştır. Cihan [14] yaptığı çalışmada, uzay kafes sistemlerin deplasman, gerilme, burkulma ve minimum kesit sınırlayıcıları altında optimum boyutlandırmasını yapan bir optimumluk kriteri yöntemi geliştirmiştir. Çubuk kesit alanları boyutlandırma değişkeni olarak alınmış, atalet yarıçapları alan değişkenleri cinsinden ifade edilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak minimum sistem ağırlığı alınmıştır. Lagrange çarpanları yardımıyla optimumluk kriteri elde edilmiş, daha sonra bu kriterin çözümünde kullanılan tekrarlı bağıntılar çıkarılmıştır. Çözülen sayısal örneklerden yöntemin daha az adımda optimum çözüme ulaştığı ve bu özelliğın büyük sistemler için değişmediği görülmüştür.

2. SAYISAL UYGULAMA (NUMERICAL APPLICATION)

Çözümleri elde etmek için yazılan programın akış şeması Şekil 2.1, 2.2 ve 2.3'de üç kısım halinde

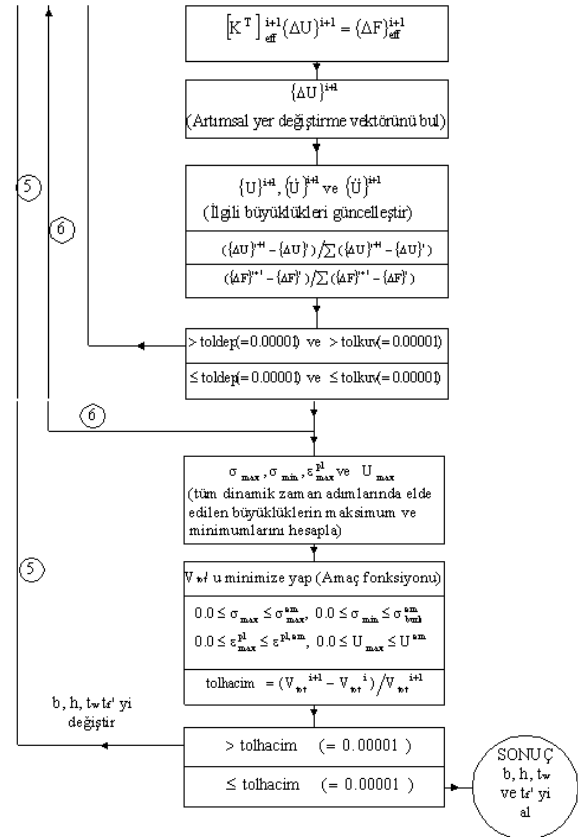
verilmiştir. Kullanılan optimizasyon algoritması birinci mertbe tekniği (first order method) olup, nümerik uygulama için iki farklı uzay çerçeve alınmıştır. Sismik yük olarak 13 Mart 1992 Erzincan depremi üç ivme bileşeni dikkate alınmıştır. Çözümlerde dinamik analiz başlangıç değerleri için statik yüklerden kaynaklanan tepkiler kullanılmıştır. Sayısal uygulama için alınan iki farklı bina türü uzay çerçeve, sırasıyla 3 ve 9 katlı olarak boyutlandırılmıştır. Tüm uzay çerçevelerde X ve Z yönleri planda, Y yönü ise düşey doğrultuda bulunmaktadır. X ve Z doğrultularında iki açıklık kullanılmakta olup her doğrultudaki açıklıklar eşit olarak alınmıştır. Bu açıklıklar; X yönü için 500.0cm, Z yönü için ise 600.0cm ve kat yükseklikleri de 300.0cm olarak alınmıştır. Her üç katta bir kolonların boyutu değişecek şekilde program yapılmıştır. Kirişlere ait başlangıç en kesit ölçüleri bütün kirişler için aynı alınmıştır. Çözümlerde kullanılan uzay çerçeveler, St-37 çelik profillerden oluşturulmuştur. Söz konusu bu malzemenin elastisite modülü $E=21000\text{kN/cm}^2$, poisson oranı $\nu=0.3$, birim hacim kütlesi $\rho=8.04 \cdot 10^{-8}\text{ton/cm}^3$, akma gerilmesi $\sigma_A=24.0\text{kN/cm}^2$, maksimum çekme gerilmesi $\sigma_R=41.0\text{kN/cm}^2$ olarak alınmıştır. Ayrıca, bi-linear kinematik pekleşme teğet elastisite modülü $E_T=171.96\text{kN/cm}^2$, maksimum çekme gerilmesindeki birim şekil değiştirme ϵ_c ise 0.10 olarak, TS648'de önerilen şekilde seçilmiştir.



Şekil 1. Programın akış şeması-1[1] (Flowchart-1 of the program)

Kullanılan I profilleri, Şekil 4'de de görüldüğü gibi üç levhanın birleşiminden meydana gelmiş olup geometrisi tarafımızdan belirlenmiştir. Optimizasyon işlemi sonunda çıkan kesitlerin çok farklı olmaması için bu profilin gövde (t_w), başlık (t_f), yükseklik (h) ve genişlik (b) ölçüleri, IPB profilinin ölçüleri ile

sınırlanmıştır. Gövde et kalınlığı için $0.6 < t_w < 1.9\text{cm}$, başlık et kalınlığı için $1.0 < t_f < 3.6\text{cm}$, profil yüksekliği için $10.0 < h < 100.0\text{cm}$ ve başlık genişliği için ise $10.0 < b < 30.0\text{cm}$ sınır değerleri kullanılmıştır.

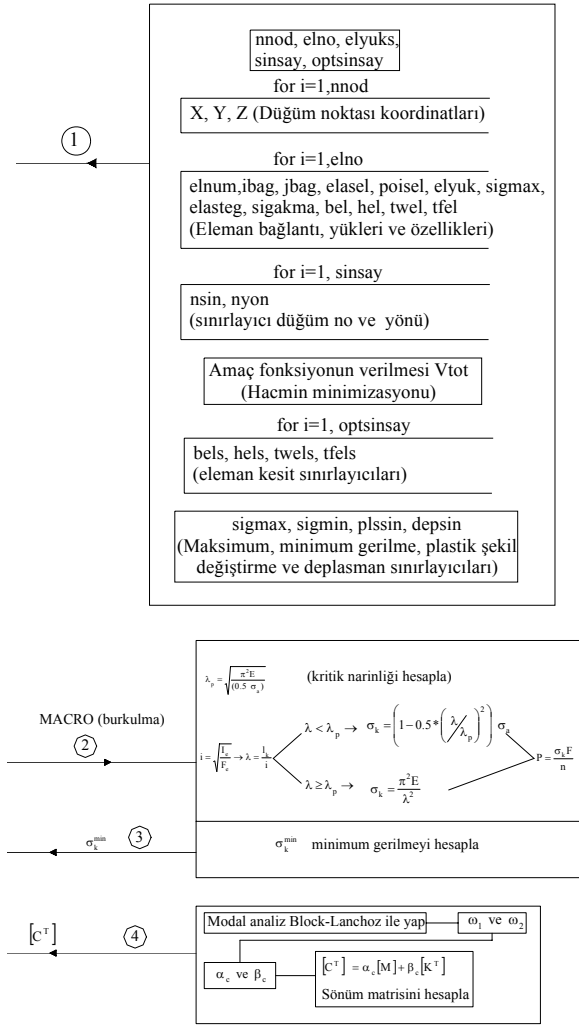


Şekil 2. Programın akış şeması-2[1] (Flowchart-2 of the program)

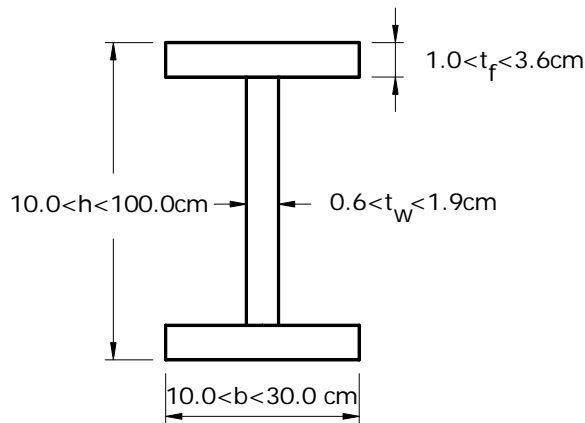
Optimizasyon işleminde amaç fonksiyonu olarak yapı hacminin minimizasyonu seçilmiştir. Tolerans olarak, 0.0001 gibi küçük bir değer alınmıştır. Çeliğin akma gerilmesi, maksimum asal gerilme için sınırlayıcı olarak seçilmiştir. Ayrıca burkulma sınırlayıcısı olarak minimum basınç gerilmesine göre bir sınırlayıcı getirilmiştir. Döşemelerden ve zati ağırlıktan meydana gelen yükler kirişlerin üzerine üniform yayılı yük olarak etki ettirilmiştir. Bu yük 0.50 kN/cm olarak kabul edilmiştir. Dinamik analiz için kullanılan Erzincan depreminin ivme kayıtları, Mercalli ölçeğine göre VIII şiddetinde olup aletsel büyüklüğü 6.8'dir [1].

2.1. Üç Katlı Çerçevenin Optimum Boyutlandırılması (Optimum design of three-story frame)

Bu çözümde, malzeme özellikleri, geometrisi, yükleme şekli vb. yukarıda bahsedildiği gibi verilen 3 katlı ve çelik profillerden oluşturulmuş bir uzay çerçeve seçilmiş ve tipik bir modeli Şekil 5'de görüldüğü gibidir.



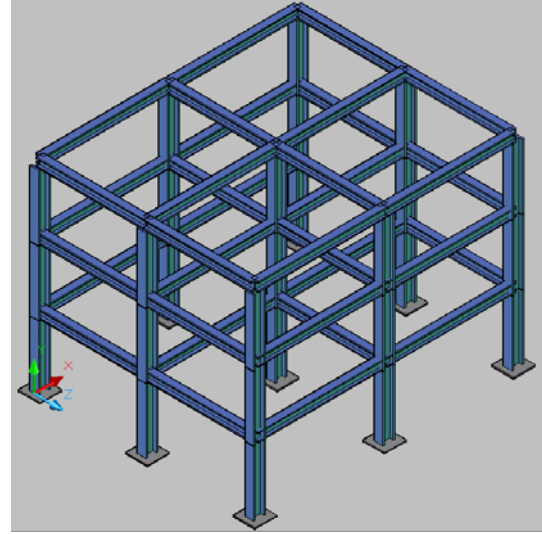
Şekil 3. Programın akış şeması-3[1] (Flowchart-3 of the program)



Şekil 4. Kullanılan I profili (Used profile I)

Başlangıçta I profilinin tasarım değişkenleri olan kiriş ve kolonlar için farklı ebatlar kullanılmıştır. 3 katlı uzay çerçevenin düğüm noktaları numaralandırması ve yükleme durumları Şekil 6'da verilmiştir. Bu uzay çerçeve sisteminde 36 adet düğüm noktası ve 63 adet I profili kullanılmıştır. Bu uzay çerçeveye ait başlangıç ve optimum kesit özellikleri, maksimum,

minimum gerilmeler, maksimum plastik şekil değiştirme ve toplam hacim değerleri Tablo 1'de sunulmuştur.



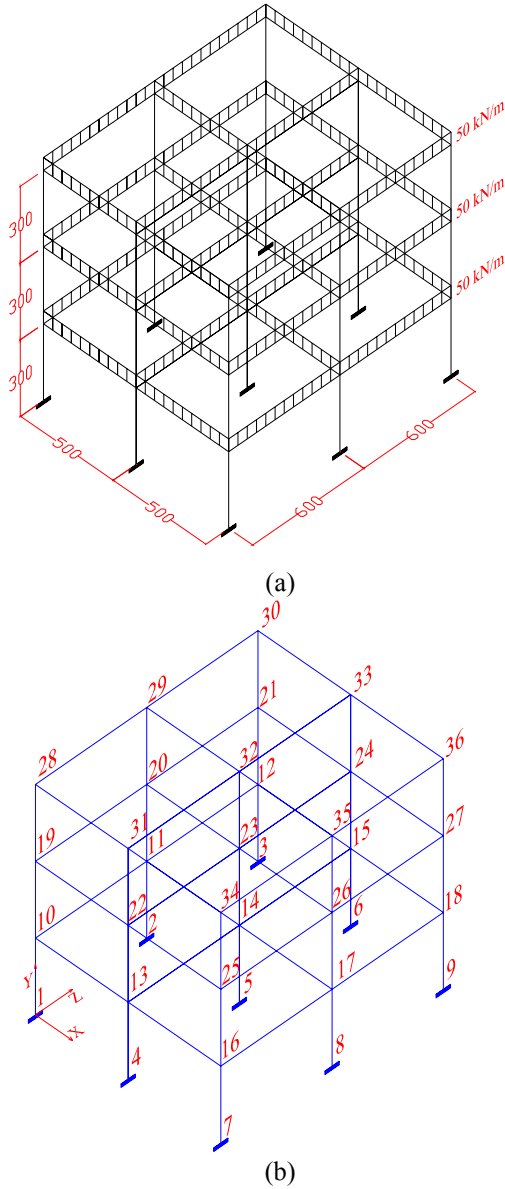
Şekil 5. 3 Katlı uzay çerçevenin tipik modeli (A typical model of three-story space frame)

Buradan görüldüğü gibi kirişlerin optimum kesitlerinde b ve h büyüklüklerinde sırasıyla % 1.2 ve 28.0 oranında küçülme olurken, t_w ve t_f büyüklüklerinde önemli ölçüde değişimler oluşmamıştır. Kolonların optimum kesitlerinde ise b ve h büyüklükleri sırasıyla % 5.2 ve 36.2 oranında büyürken, t_w ve t_f büyüklüklerinde de sırasıyla % 13.3 ve 30 oranında büyüme elde edilmiştir. Maksimum ve minimum gerilmeler tüm sistemden elde edilen moment ve normal kuvvetlerden hesaplanmıştır. Aynı durum maksimum plastik şekil değiştirmeler içinde kullanılmıştır. Tablo 1'den görüleceği gibi maksimum ve minimum gerilmelerde sırasıyla % 3.0 ve 5.0, maksimum plastik şekil değiştirmeler de ise % 7.5 büyüme elde edilmiştir. Maksimum, minimum gerilmeler ve maksimum plastik şekil değiştirmeler verilen sınır değerler arasında kalmaktadır.

Toplam hacim ise verilen yükleme ve sistemin optimizasyonunun da % 15.6 oranında büyümüştür. Toplam 8 iterasyon işleminde 3 katlı uzay çerçevenin optimum kesitleri elde edilmiştir. Optimizasyon işlemi boyunca maksimum ve minimum gerilme değerlerinin iterasyonlara göre değişimleri Şekil 7'de verilmiştir.

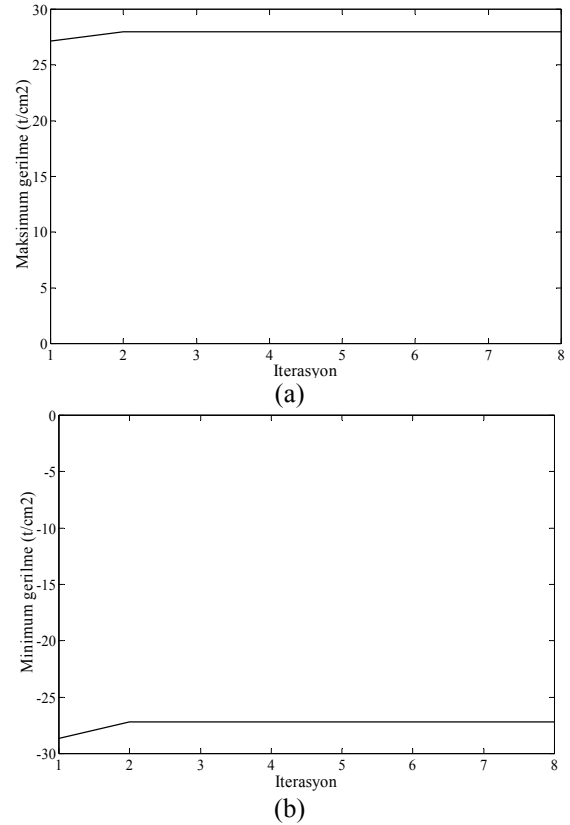
Ayrıca, maksimum plastik şekil değiştirme ve toplam hacim değerlerinin değişimleri ise Şekil 8'de grafiksel olarak verilmiştir.

Şekil 9'da ise 3 Katlı uzay çerçevenin düğüm noktalarının yer değiştirme vektörleri ve plastik mafsallaşmanın olduğu elemanların durumu verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi maksimum yer değiştirmeler en üst kattan z doğrultusunda 34 nolu düğüm noktasında meydana gelmektedir. Bu durum



Şekil 6. a) Statik yükleme durumu b) düğüm noktaları
(a) static loading position b) nod points)

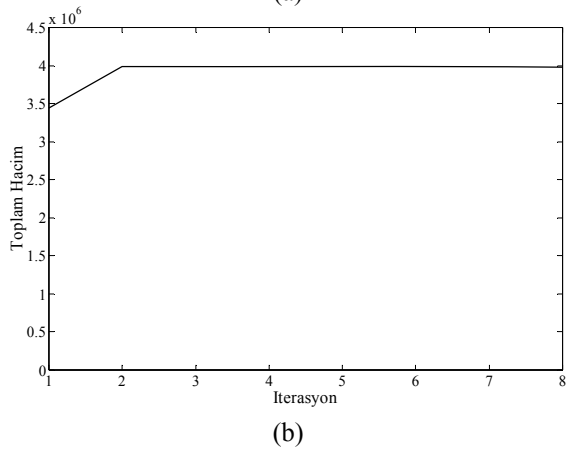
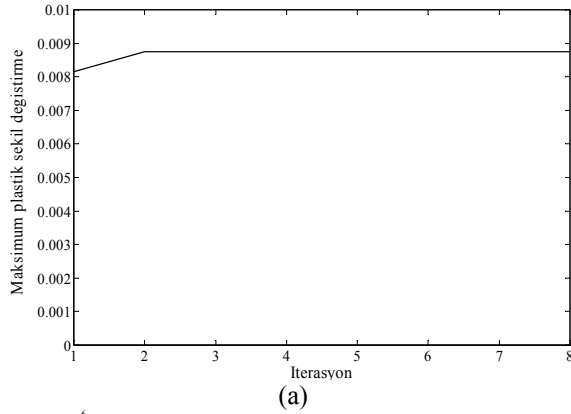
uygulanan depremin maksimum ivme bileşeninin bu doğrultuda etki etmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca verilen yer değiştirimin vektörel büyüklüğü ise 2.28 cm'dir. Bu değer yönetmeliklerde verilen maksimum yer değiştirme değerinden ($l_b/300$) küçük olmaktadır. 2006 Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik (ABYY)'e göre bina türü yapıların deprem tahkiklerinde kolonlarda plastik mafsalların oluşmaması sadece kirişlerde bu durumun gerçekleşmesi istenmektedir. Şekil 9.b'de görüleceği gibi plastik mafsalların oluştuğu elemanların kirişler olduğu ve kolonlarda ise her hangi bir plastik mafsalın oluşmadığı görülmektedir.



Şekil 7. a) Maksimum b) minimum gerilmelerin, optimizasyon işleminde iterasyonlara göre değişimi
(The changing according to iterations in optimization processing a)maximum b)minimum tensions)

Tablo 1. Üç katlı çerçevenin kesit özellikleri (crosssection properties of three-story frame)

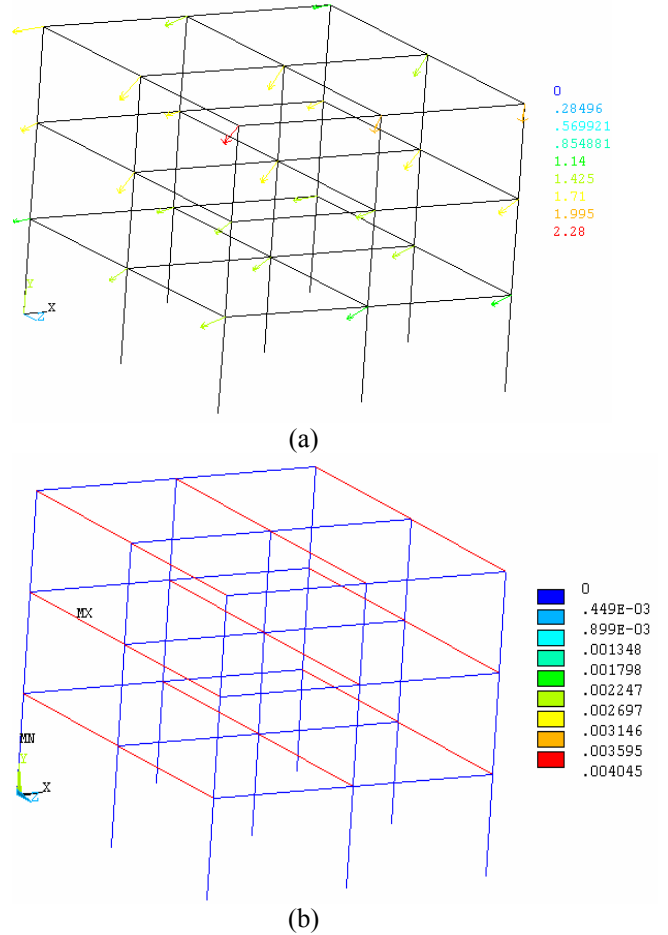
Kesit Özellikleri	Elemanın Yeri	b (cm)	h (cm)	t_w (cm)	t_r (cm)
Başlangıç Kesitler 	Kirişler	25.0	30.0	1.0	1.5
	Kolonlar (1-3 Katlar)	25.0	50.0	1.5	2.0
	Maksimum Gerilme	27.16 t/cm ²			
	Minimum Gerilme	-28.68 t/cm ²			
	Maks. pls. şek. değ.	0.008145			
	Toplam Hacim	3442500.00 cm ³			
	Optimum Kesitler 	Kirişler	24.7	21.6	1.0
Kolonlar (1-3 Katlar)		26.3	68.1	1.7	2.6
Maksimum Gerilme		27.98 t/cm ²			
Minimum Gerilme		-27.21 t/cm ²			
Maks. pls. şek. değ.		0.008754			
Toplam Hacim		3981109.00 cm ³			



Şekil 8. a) Maksimum plastik şekil değıştirme b) toplam hacmin optimizasyon işleminde iterasyonlara göre değışimi (The changing according to iterations in optimization processing a) maximum plastic deformation b)total volume)

2.2. Dokuz Katlı Çerçevenin Optimum Boyutlandırılması (Optimum design of nine-story frame)

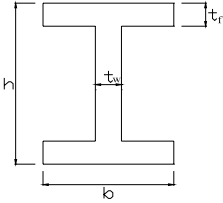
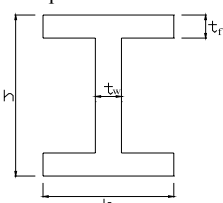
Bu çözümde kullanılan 9 katlı uzay çerçevesinin tipik bir modeli Şekil 2.10'da görüldüğü gibidir. Ayrıca düğüm noktası numaralandırması ve yükleme durumları Şekil 2.11'de sunulmuştur. Bu uzay çerçeve sisteminde 90 adet düğüm noktası ve 189 adet I profili kullanılmıştır. Bu uzay çerçeveye ait başlangıç ve optimum kesit özellikleri, maksimum, minimum gerilmeler, maksimum plastik şekil değıştirme ve toplam hacim değerleri Tablo 2'de sunulmuştur. Buradan görüldüğü gibi kirişlerin optimum kesitlerinde b ve h büyüklüklerinde sırasıyla %1.6 büyümeye ve 23.0 oranında küçülme olurken t_w ve t_f büyüklüklerinde önemli ölçüde değışimler oluşmamıştır. Kolonların optimum kesitlerinde ise 1 ve 3 kat kolonları için b ve h büyüklükleri sırasıyla % 1.3 ve 4.0 oranında büyümüş, 4 ve 6 kat kolonları için sırasıyla % 1.6 ve 0.6 oranında küçülmüş ve 7 ve 9kat kolonları için de sırasıyla % 1.0 ve 0.5 oranında küçülmüştür. t_w ve t_f büyüklüklerinde ise önemli değışimler elde edilmemiştir. Tablo 2'den görüleceği gibi maksimum ve minimum gerilmelerde sırasıyla %1.6 ve 1.7 oranlarında büyümeye, maksimum plastik



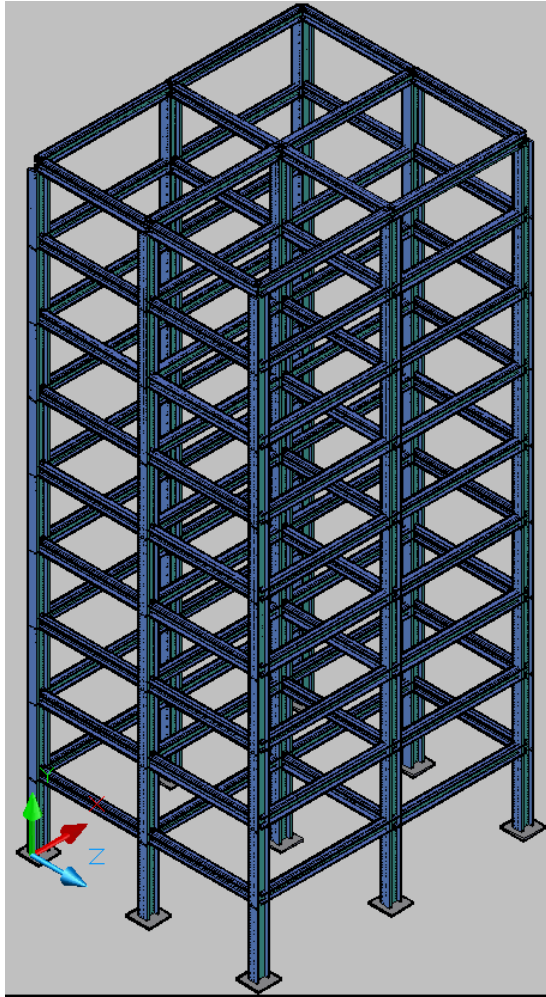
Şekil 9. a) Düğüm noktalarının yer değıştirme vektörleri b) plastik şekil değıştiren elemanların durumu (a)transposition vectors of nod points b) state of parts deforming plastically)

şekil değıştirmelerde ise %14.34 oranında küçülme elde edilmiştir. Aynı zamanda maksimum, minimum gerilmeler ve maksimum plastik şekil değıştirmeler verilen sınır değerler arasında kalmaktadır. Toplam hacim ise verilen yüklemeler altında sistemin optimizasyonu sonucunda %1.4 oranında büyümüştür. Toplam 7 iterasyon işlemi sonunda 9 katlı uzay çerçevesinin optimum kesitleri elde edilmiştir. Optimizasyon işlemi boyunca maksimum ve minimum gerilme değerlerinin iterasyonlara göre değışimleri Şekil 2.12'de sunulmuştur. Ayrıca, maksimum plastik şekil değıştirme ve toplam hacim değerlerinin değışimleri ise Şekil 2.13'de grafiksel olarak verilmiştir. Depremin karakteristik özellikleri uzay çerçevesinin lineer olmayan davranışını etkilediği için optimizasyon işleminde çerçevede daha büyük yer değıştirmelerin ve böylece daha büyük kesitlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu sebepten tüm işlem sürecinde maksimum, minimum gerilme ve maksimum plastik şekil değıştirme değerlerinde artışlar meydana gelmektedir. Fakat bu çözümlerde önemli farklar oluşmamıştır. Sadece plastik şekil değıştirme değerinin küçüldüğü gözlenmiştir. Bu durum ise kesitlerin genelde bir artış içerisinde olmasından kaynaklanmaktadır. Toplam hacim

Tablo 2. Dokuz katlı çerçevenin kesit özellikleri (Crosssection properties of nine-story frame)

Kesit Özellikleri	Elemanın Yeri	b (cm)	h (cm)	t _w (cm)	t _r (cm)
Başlangıç Kesitler 	Kirişler	25.0	30.0	1.0	1.5
	Kolonlar (1-3 Katlar)	29.0	70.0	1.5	2.5
	Kolonlar (4-6 Katlar)	25.0	50.0	1.3	2.0
	Kolonlar (7-9 Katlar)	20.0	40.0	1.2	1.8
	Maksimum Gerilme	27.07 t/cm ²			
	Minimum Gerilme	-27.31 t/cm ²			
	Maks. pls. şek. değ.	0.010626			
	Toplam Hacim	10412469.00 cm ³			
Optimum Kesitler 	Kirişler	25.4	23.0	1.0	1.6
	Kolonlar (1-3 Katlar)	29.3	72.8	1.5	2.6
	Kolonlar (4-6 Katlar)	24.6	49.7	1.2	1.9
	Kolonlar (7-9 Katlar)	19.8	39.8	1.2	1.8
	Maksimum Gerilme	27.51 t/cm ²			
	Minimum Gerilme	-26.85 t/cm ²			
	Maks. pls. şek. değ.	0.009102			
	Toplam Hacim	10559320.00 cm ³			

grafiğinde ise birinci iterasyonda ani bir hacim ihtiyacı ortaya çıkmamaktadır. Sonraki iterasyonlarda elde edilen bu hacim civarında değerler elde edilmekte ve optimum sonuçlara ulaşılmaktadır. Ayrıca Şekil 2.14'de ise 9 katlı uzay çerçevenin

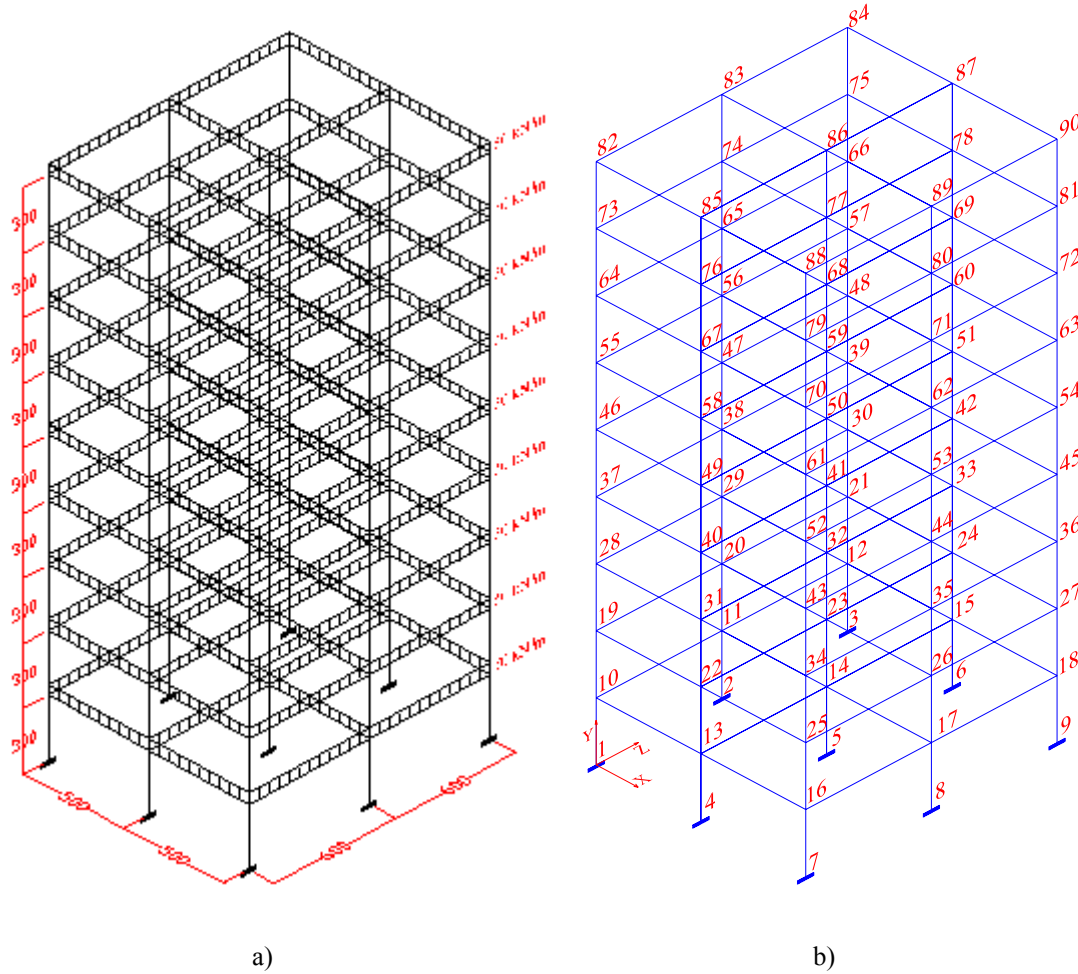


Şekil 10. 9 Katlı uzay çerçevenin tipik modeli (A typical model of nine-story space frame)

düğüm noktalarının yer değiştirme vektörleri ve plastik mafsallaşmanın olduğu elemanlar verilmiştir. Şekil 2.14.a'da verilen büyüklükler tüm deprem ivme etkileri sonucunda 9 katlı binada oluşan maksimum yer değiştirmelerin maksimumları alınarak elde edilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi maksimum yer değiştirmeler en üst kattan z doğrultusunda 82 nolu düğüm noktasında meydana gelmekte, vektörler karşılaştırıldığında yer değiştirmelerin üst kattan alt kata doğru bir azalmı içerisinde olduğu görülmektedir. Fakat vektörlerin yönleri dikkate alındığında sistemde bir burulmanın olmadığı görülebilir. Bu durum sistemin simetrik seçilmesinden dolayıdır. Ayrıca verilen yer değiştirmenin vektörel büyüklüğü ise 5.6cm'dir. Bu değer yönetmeliklerde verilen 9.0cm değerinden küçük olmaktadır. Şekil 2.14.b'den görüldüğü gibi plastik mafsallaşmanın olduğu elemanlar genelde kirişlerdir. Fakat üst kat kolonlarından bazılarında ise önemli değerlerde ve alt katların bazılarında da daha düşük değerlerde plastik şekil değiştirmelerin olduğu görülmektedir. Fakat elde edilen plastik şekil değiştirmeler verilen optimum değerlerin altında olduğu için sistem stabilitesini kaybetmemektedir. ABBYY 2006'ya göre boyutlandırılması yapılacak uzay çerçevelerin stabilitesi kaybolmayacak ölçülerde plastik mafsalların olabileceği yönündedir. Bu sebepten elde edilen optimum kesitler istenilen amaca uygun olarak dizayn edilmiştir denebilir.

3. SONUÇLAR ve ÖNERİLER (RESULTS AND SUGGESTIONS)

Optimizasyon problemi için en önemli basamak şüphesiz ki problemi doğru olarak formüle etmek, nelerin dizayn değişkeni (DV's), nelerin sınırlayıcılar (SV's) ve neyin amaç fonksiyonu olarak ANSYS programına tanıtılacağına karar vermektir. Statik ve dinamik yüklemeler altında uzay çerçevelerin lineer olmayan davranışlarının çözümleri için ANSYS gibi gelişmiş programların kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu programın özelliğinde APDL gibi

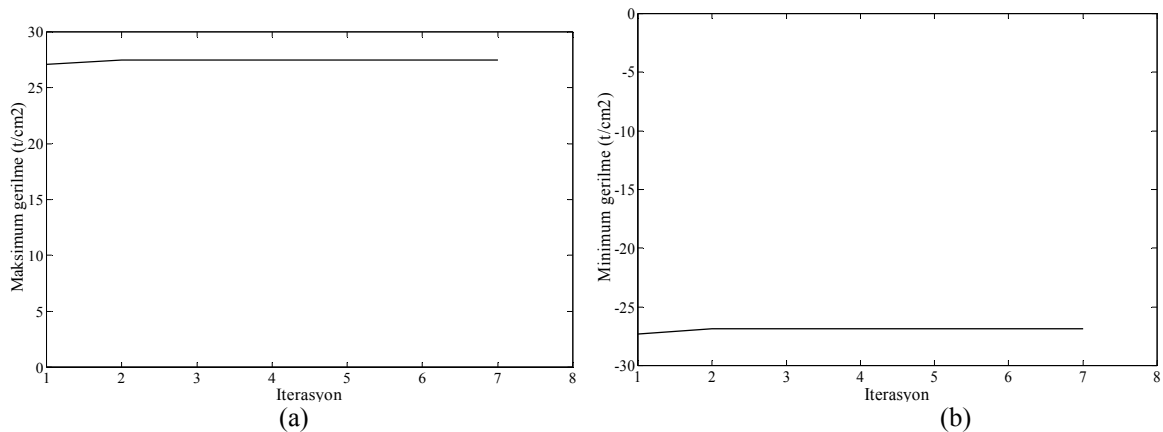


Şekil 11. a) Statik yükleme durumu b) düğüm noktaları (a) Static loading position b) nod points)

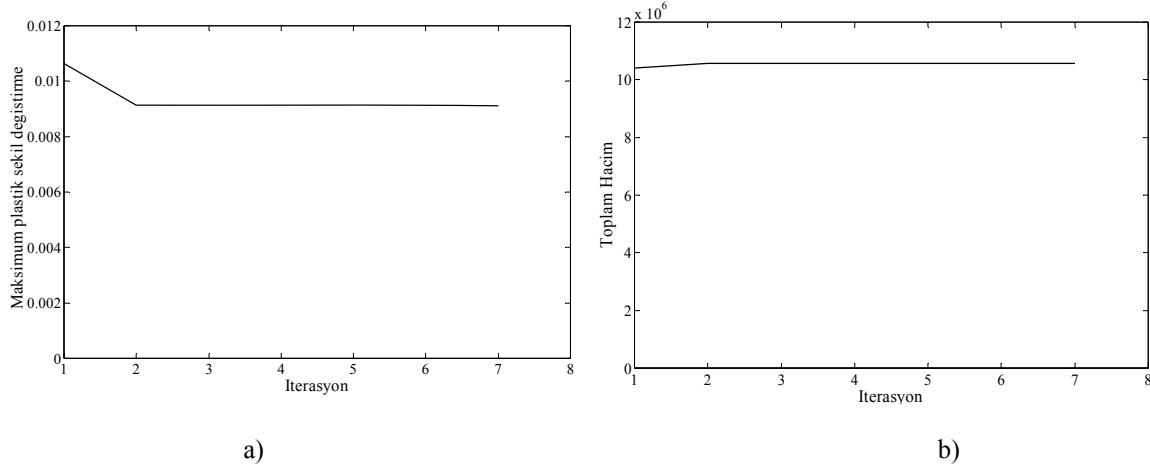
gelişmiş bir program kodlama dili olduğu için ilave alt programların yazılması kolay olmaktadır. ANSYS paket programının bir dezavantajı, kullanılan optimizasyon tekniklerinde ve kullanıcı tarafından verilen optimizasyon alt programında dizayn değişkenleri sayısının kısıtlı olmasıdır. Bu nedenle bazı değişkenler grup olarak tanımlanmalıdır. Dizayn değişkeni sayısının daha fazla olması durumunda bütün kat kolonları ve hatta kirişleri ayrı gruplar halinde verilebilecektir. Dolayısıyla daha gerçekçi sonuçlar elde edilebileceği söylenebilir. Geometrik

model oluşturulurken, özellikle dizayn değişkeni olarak tanımlanacak olan boyutların sabit sayılar atayarak değil, parametrik olarak tanımlanmasına dikkat edilmelidir.

Yapılan bu çalışmada görüldü ki, depremin karakteristik özellikleri uzay çerçevesinin lineer olmayan davranışını etkilediği için çerçevede daha büyük devrilme momenti oluşmaktadır. Dolayısıyla optimum boyutlandırmada daha büyük kesitlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Özellikle bina



Şekil 12. a) Maksimum b) minimum gerilmelerin optimizasyon işleminde iterasyonlara göre değişimi (The changing according to iterations in optimization processing a) maximum b) minimum tensions)

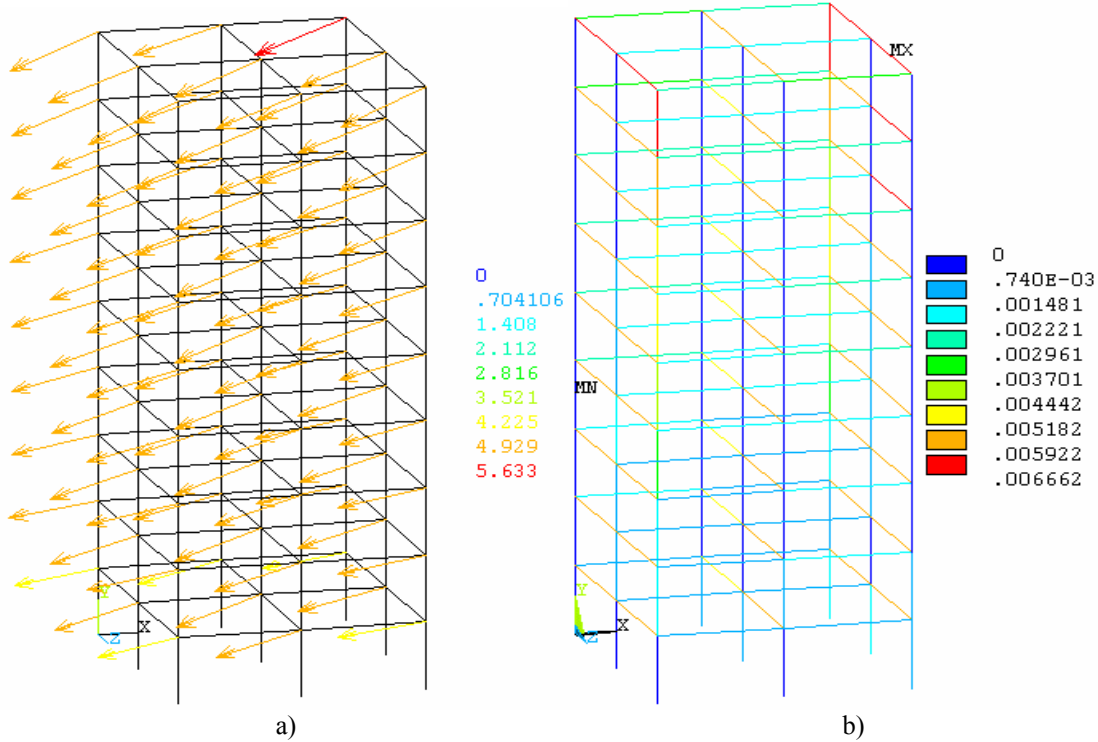


Şekil 13. a)Maksimum plastik şekil değiştirme b)toplam hacmin optimizasyon işleminde iterasyonlara göre değişimi (The changing according to iterations in optimization processing a) maximum plastic deformation b) total volume)

yüksekliğinin artmasına bağlı olarak daha büyük kolon ve kiriş kesitleri ortaya çıkmaktadır. Bu durum kullanılan depremin ivme büyüklüklerinden kaynaklanmaktadır. Optimizasyon sürecunda maksimum yer değiştirme, maksimum plastik şekil değiştirme, maksimum ve minimum gerilme yönetmeliklerde verilen sınır değerler arasında kalmaktadır. Bu çözümlerde plastik mafsallar kirişlerde oluşmakta, kolonlarda ise küçük miktarlarda plastik şekil değiştirmeler görülmektedir. Fakat uzay çerçeveler stabilitesini kaybetmemektedir.

3. SONUÇLAR ve ÖNERİLER (RESULTS AND SUGGESTIONS)

Optimizasyon problemi için en önemli basamak şüphesiz ki problemi doğru olarak formüle etmek, nelerin dizayn değişkeni (DVs), nelerin sınırlayıcılar (SVs) ve neyin amaç fonksiyonu olarak ANSYS programına tanıtılacağına karar vermektir. Statik ve dinamik yüklemeler altında uzay çerçevelerin lineer olmayan davranışlarının çözümleri için ANSYS gibi gelişmiş programların kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu programın özelliğinde APDL gibi gelişmiş bir program kodlama dili olduğu için ilave alt programların yazılması kolay olmaktadır. ANSYS paket programın bir dezavantajı, kullanılan



Şekil 14. a)Düğüm noktalarının yer değiştirme vektörleri b) plastik şekil değiştiren elemanların durumu (a)transposition vectors of nod points b) state of part of the plastic deformation)

optimizasyon tekniklerinde ve kullanıcı tarafından verilen optimizasyon alt programında dizayn değişkenleri sayısının kısıtlı olmasıdır. Bu nedenle bazı değişkenler grup olarak tanımlanmalıdır. Dizayn değişkeni sayısının daha fazla olması durumunda bütün kat kolonları ve hatta kirişleri ayrı guruplar halinde verilebilecektir. Dolayısıyla daha gerçekçi sonuçlar elde edilebileceği söylenebilir. Geometrik model oluşturulurken, özellikle dizayn değişkeni olarak tanımlanacak olan boyutların sabit sayılar atayarak değil, parametrik olarak tanımlanmasına dikkat edilmelidir.

Yapılan bu çalışmada görüldü ki, depremin karakteristik özellikleri uzay çerçevenin lineer olmayan davranışını etkilediği için çerçevede daha büyük devrilme momenti oluşmaktadır. Dolayısıyla optimum boyutlandırma daha büyük kesitlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Özellikle bina yüksekliğinin artmasına bağlı olarak daha büyük kolon ve kiriş kesitleri ortaya çıkmaktadır. Bu durum kullanılan depremin ivme büyüklüklerinden kaynaklanmaktadır. Optimizasyon sunucunda maksimum yer değiştirme, maksimum plastik şekil değiştirme, maksimum ve minimum gerilme yönetmeliklerde verilen sınır değerler arasında kalmaktadır. Bu çözümlerde plastik mafsallar kirişlerde oluşmakta, kolonlarda ise küçük miktarlarda plastik şekil değiştirmeler görülmektedir. Fakat uzay çerçeveler stabilitesini kaybetmemektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Esen Y., 2004. Malzeme ve geometrik bakımdan lineer olmayan çok katlı uzay çerçevelerin optimum boyutlandırılması, **Doktora Tezi**, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
2. Karaton, M., Ülker, M., 1998, Lineer olmayan uzay çerçevelerin statik ve dinamik etkiler altında optimum boyutlandırılması, **Ulusal Hesaplamalı Mekanik Kongresi (U.H.M.K.)**, İstanbul, 323-329s.
3. Goldberg, J. E., Richard, R. M., 1963, Analysis of non-linear structures, **Journal Struc. Div., ASCE**, vol. 89, No. ST4.
4. Saafan, S. A., 1963, Non-linear behaviour of structural plane frames, **Journal Struc. Div., ASCE**, vol. 89, No. ST4.
5. Hartavi, M. O., 1984, Düzdün ve değişken kesitli çubuklardan oluşan yapıların elastik ve elastik-plastik analizi, **Yüksek Lisans Tezi**, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
6. Saka, M. P., Hayaloğlu, M. S., 1991, Optimum design of geometrically nonlinear elastic-plastic steel frames, **Computer and Structures**, 38, 3, 329-344.
7. Saka, M. P., Hayaloğlu, M. S., 1992, Optimum design of geometrically nonlinear elastic-plastic steel frames with tapered members, **Computer and Structures**, 44, 4, 915-924.
8. Kameshki, E. S., Saka, M. P., 2001, Optimum design of nonlinear steel frames with semi-rigid connections using a genetic algorithm, **Computers and Structures**, 79, 1593-1604.
9. Potts, R. G., Brungraber, R. J., 1967, Inelastic behaviour of structural frameworks, **J. Struc. Eng., ASCE**, Vol. 93, No.ST3.
10. Keleşoğlu, Ö., 2002, Lineer olmayan uzay kafes sistemlerinin bulanık mantık yöntemi ile optimizasyonu, **Doktora Tezi**, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
11. Korn, A., Galambos, T. V., 1968, Behaviour of elastic-plastic frames, **J. Struc. Eng., ASCE**, Vol. 94, No.ST5.
12. Harung, H.S., Millar, M.A., 1973, General failure analysis of skeletal plane frames, **J. Struc. Eng., ASCE**, Vol. 99, No.ST6.
13. Bathe, K., Özdemir, H., 1976, Elastic-plastic large deformation static and dynamic analysis, **J. Computers and Structures**, Vol. 6, No. 2.
14. Cihan, N., 1983, Optimumluk kriteri yöntemi ile uzay kafes sistemlerinin minimum ağırlıklı boyutlandırılması, **Yüksek Lisans Tezi**, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

