



ISSN:1306-3111  
e-Journal of New World Sciences Academy  
2008, Volume: 3, Number: 4  
Article Number: A0096

**NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**CIVIL ENGINEERING**

**❖ CONSTRUCTION**

Received: June 2008

Accepted: September 2008

© 2008 www.newwsa.com

**Yüksel Esen**

**Mehmet Ülker**

University of Firat

yesen@firat.edu.tr

Elazığ-Türkiye

**ÇOK KATLI UZAY ÇERÇEVELERİN OPTİMİZASYONU**

**ÖZET**

Son yıllarda yapısal optimizasyon konusunda 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 alınmasının önemli bir mühendislik problemi olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, sismik yüklere maruz uzay çerçevelerin, malzeme ve geometrik olarak lineer olmayan davranışları birlikte göz önüne alınarak optimizasyonu yapılmıştır. 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, Deprem

**OPTIMIZATION OF THE MULTI SPACE FRAMES**

**ABSTRACT**

The studies having been carried out on structural optimization in recent years, generally take into consideration the behavior of the structures in linear elastic region, and the load capacity in non-linear regions are neglected. It is well known that it is an important engineering problem to take into consideration the great displacements and non-linear behavior in terms of material, in space frames, structured with light building materials, such as steel and aluminum. In this study, the optimization of the space frames exposed to seismic loads was carried out by considering their non-linear behaviors both in terms of material and geometry. The results were obtained by preparing a macro program in the APDL (ANSYS Programming Design Language) coding language of the ANSYS package program.

**Keywords:** Space Frame, Non-Linear Analysis, Optimization, ANSYS, Earthquake



## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapıların boyutlandırılmasının amacı, hizmet süreleri boyunca üzerine etkiyecek yükleri güvenle taşımak ve kendisinden beklenen fonksiyonu yerine getirecek optimum çözümü elde etmektir. Tasarım mühendisleri, önce yapının geometrisini belirlemede, daha sonra yapı üzerindeki her elemanın kesit karakteristiklerini (kesit alanı, atalet momenti vs), üzerine etkiyen yükleri emniyetle taşıyacak şekilde tasarlamaktadırlar. Bu işlem bir dizi süreçten oluşur; başlangıçta bir ön kesit tayin edilir ve daha sonra yapı şartnamelerinde belirtilen gerilme, deplasman sınırlayıcıları dikkate alınarak kontrol yapılır. Bu sınırlayıcıların sağlanmaması durumunda yeni kesitler seçilerek analiz işlemi tekrar uygulanır. Bu süreç şartnamelerde belirtilen yapı davranışı sağlanıncaya kadar devam eder. Ancak bu yolla elde edilen geometrik karakteristikler kabul edilebilir olmakla beraber, optimum çözümü vermeyebilirler.

Yapıların lineer olmayan analizlerinde; malzeme ve geometrik olarak lineer olmayan davranış olmak üzere iki tip problemle karşılaşmaktadır. Malzeme bakımından lineer olmayan davranış, genel olarak elastik-plastik veya visko-elastik davranıştan meydana gelmektedir. İkincisi ise, geometrik bakımdan lineer olmayan davranış olup, şekil değiştirmelerin yapının geometrisinde önemli değişikliklere yol açtığı durumlarda ortaya çıkmaktadır. Bu durumda denge denklemlerinin yapının şekil değiştirmiş konumu için yazılması gerekmektedir. Ayrıca yapı analizinde her iki lineer olmayan davranışın birlikte göz önüne alındığı çözümlerde yapılmıştır [1].

Lineer olmayan denklem takımlarının çözümü için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Hayalioğlu [2], büyük deplasman yapan elastik-plastik çerçevelerin optimum boyutlandırılması konulu tez çalışmasında, geometrik bakımdan lineer olmayan, malzeme olarak elastik-plastik davranış gösteren sabit ve değişken kesitli elemanlardan oluşan düzlem çerçevelerin optimum boyutlandırılması için bir algoritma geliştirmiştir. Karaton ve Ülker [3] yaptıkları çalışmada, geometrik ve malzeme bakımından lineer olmayan uzay çerçevelerin statik ve dinamik yükler altında optimum boyutlandırılmasını yapmışlardır. Yang ve McGuire [4], geometrik bakımdan lineer olmayan analiz için, virtüel iş prensibini uygulayarak üç boyutlu sistemler için eleman rijitlik matrisini elde etmişlerdir. Goto ve Chen [5], geometrik bakımdan lineer olmayan düzlem çerçevelerin analizi için iteratif bir yöntem ortaya koymuşlardır. See ve McConel [6], yük artımı ve teğet rijitlik matrisi yaklaşımını kullanarak uzay kafes sistemlerin elastik stabilitesini incelemişlerdir. Scholz [7], yatay ötelenme yapan düzlem lineer-elastik çerçevelerin stabilite analizi için P-Delta yöntemini kullanmıştır. Picion ve Canas [8], rijit-plastik teoriyi kullanarak düzlem çerçevelerin analizini yapmışlardır. Bektat [9] yaptığı çalışmada, prizmatik çubuk elemanlardan oluşan düğüm noktaları rijit bağlı düzlem yada uzay yapıların, matris deplasman yöntemiyle elastik ve elastik-plastik analizlerini yapan bir bilgisayar programı hazırlamıştır. Saka ve Kameshki [10] yaptıkları çalışmada, eksenel yüklerin etkisinden dolayı çerçevenin lineer olmayan davranışını hesaba katarak yanal ötelenmesi engellenmemiş rijit çerçevelerin optimum tasarımı için bir algoritma sunmuşlardır. Cihan [11] yaptığı çalışmada, uzay kafes sistemlerin deplasman, gerilme, burkulma ve minimum kesit sınırlayıcıları altında optimum boyutlandırmasını yapan bir optimumluk kriteri yöntemi geliştirmiştir.

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Yapısal optimizasyonun amacı, yapı hacmi, ağırlığı veya maliyetinin yapıda öngörülen sınırlayıcıları sağlayacak şekilde, en

ideal çözümü elde etmektir. Bu sınırlayıcılar arasında, gerilme, deplasman, rijitlik, stabilite, ve kesitlerin belirli boyutlar arasında bulunması gibi karakteristikler ön plana çıkmaktadır. Optimizasyon teknikleri mühendisliğin her alanında geniş uygulama alanı bulmuştur. Bu nedenle birçok optimizasyon algoritması geliştirilmiştir [12].

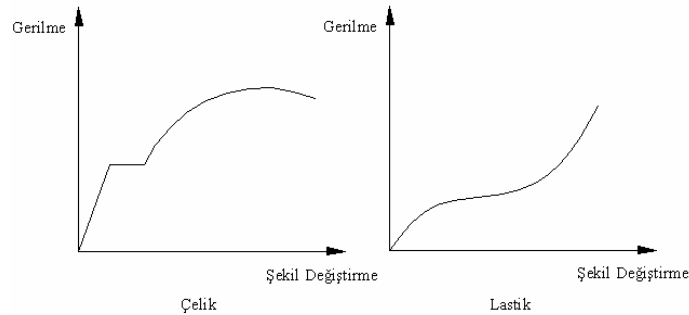
Optimizasyon problemlerinin çözümünde analitik ve sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Analitik yöntemlerin, çözüm yolunda belirli bir aşamadan sonra daha ileriye gitmemesi birçok sayısal yöntemin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır. Günümüzde güçlü bilgisayarlarla optimizasyon problemleri kolayca çözülmektedir. ANSYS, ADINA ve NASTRAN gibi programları üreten yazılım şirketleri, geliştirilen bu programlara optimizasyon yapan modüller de eklemiştir [13].

Literatürde, malzeme ve geometrik olarak lineer olmayan davranışların birlikte göz önüne alındığı az sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmada, uzay çerçevelerin statik ve dinamik yükler altında optimum boyutlandırılması yapılmıştır. Optimizasyon işleminde amaç fonksiyonu olarak yapının ağırlığı dikkate alınmış olup burkulma, gerilme ve büyük deplasmanlar ise sınırlayıcı olarak hesaba katılmıştır. Hesaplarda ANSYS paket programı kullanılmıştır.

### 3. LİNEER OLMAYAN MALZEME MODELİ (THE MODEL OF MATERIAL NONLINEARITIES)

Lineer olmayan gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, lineer olmayan yapı davranışının genel bir sonucudur. Birçok faktör malzemenin gerilme-şekil değiştirme özelliğine etki edebilir, bunlar artan yükler altındaki elasto-plastik davranış, çevresel şartlar ve yükün uygulama süresidir. Şekil 1'de yumuşak çeliğin ve lastiğin gerilme-birim şekil değiştirme eğrilerinden malzemelerin lineer bir özellik göstermedikleri görülmektedir. Bina türü yapılar genellikle betonarme, çelik profil veya beton ve çelik profillerin bir arada bulunduğu kompozit malzemelerden teşkil edilebilir. Bu çalışmada, çözümlerde kullanılan bina malzemesinin çelik profillerden teşkil edildiği kabul edilmiştir. Çelik malzemesi elasto-plastik davranış gösteren bir malzemedir. Şekil 1'den görüldüğü gibi gerilme şekil değiştirme diyagramının belli bir bölgeye kadar lineer elastik, belli bir bölgeden sonra plastik şekil değiştirmeler oluşmaktadır. Bu nedenle çeliğin verilen şekilde davranışının bilgisayarda modellenebilmesi için elasto-plastik analiz teorisi hakkında genel bilgilerin verilmesi gerekmektedir.

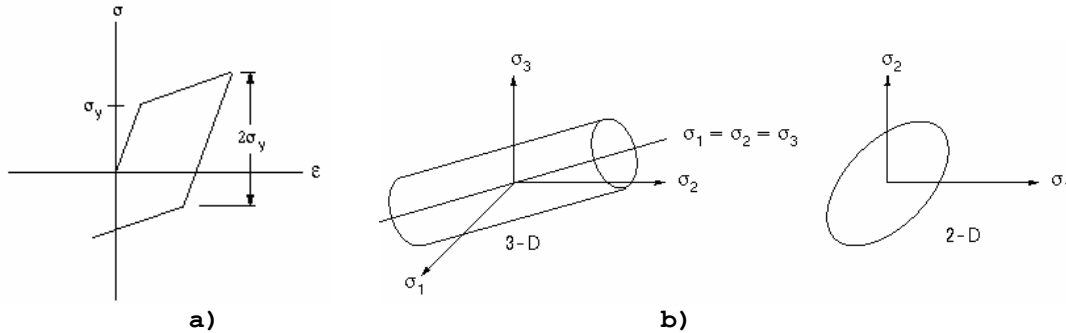
Plastisite teorisi, malzemelerin elasto-plastik davranışını karakterize eden matematiksel bağıntıları vermektedir. Plastisite teorisi, akma kriteri, akma kuralı ve pekleşme kuralı olmak üzere üç temel esasa dayanmaktadır.



Şekil 1. Yumuşak çeliğin ve lastiğin  $\sigma$ - $\epsilon$  diyagramı [1]  
(Figure 1. Stress-strain diagram of steel and rubber [1])

### 3.1. Akma Kriteri (Flow Criterion)

Akma kriterinde öncelikle akmanın gerilme seviyesi belirlenir. Gerilme vektörleri için bu kriter, eşdeğer gerilme ( $\sigma_e$ ) olarak bilinen gerilme bileşenlerin bir fonksiyonu ( $f(\{\sigma\})$ ) olarak elde edilmekte olup, bir akma kriteri tanımlanmaktadır. Burada, akma kriterinin eşdeğer gerilmesi ( $\sigma_e$ ), çelik malzemesinin akma gerilmesi ( $\sigma_y$ )'den küçük olması durumunda, malzemenin elastik davranış gösterdiği kabul edilmektedir. Bu durumda gerilmeler için elastik gerilme-şekil değiştirme bağıntıları kullanılmaktadır. Eşdeğer gerilme ( $\sigma_e$ ), akma gerilmesi ( $\sigma_y$ )'den büyük olması durumunda plastik şekil değiştirmeler oluşacak ve gerilme değeri ise malzemenin akma kriterinden elde edilen akma gerilmesine doğru azalacaktır. Bu çalışmada, malzemenin elasto-plastik davranışı için bi-lineer gerilme-şekil değiştirme fonksiyonu kullanılmış olup Şekil 2.a'da verilmiştir. Ayrıca, Şekil 2.b'de iki ve üç boyutlu gerilme uzayında malzemenin akma yüzeyleri gösterilmiştir [1].



Şekil 2. a) Gerilme-şekil değiştirme davranışı, b) Kinematik pekleşme için akma yüzeyi [1]  
(Figure 2. a) Stress-strain behaviours, b) Yield surface for kinematics hardening [1])

### 3.2. Akma Kuralı (Flow Rule)

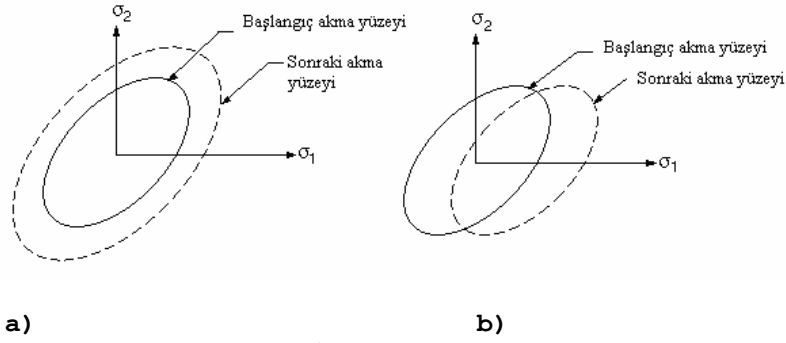
Akma kuralı, plastik birim şekil değiştirmenin doğrultusunu elde etmemize yaramakta olup,

$$\{d\epsilon^{pl}\} = \lambda \left\{ \frac{\partial Q}{\partial \sigma} \right\} \quad (1)$$

şeklinde belirtilmektedir. Burada,  $\lambda$  plastik çarpanı göstermekte olup plastik birim şekil değiştirmenin miktarını belirlemektedir. Q ise gerilmenin bir fonksiyonu olup plastik potansiyel enerji olarak adlandırılmaktadır ve plastik şekil değiştirmenin doğrultusunu belirlemektedir.

### 3.3. Pekleşme Kuralı (Hardening Rule)

Akma meydana geldikten sonraki adımda, akma yüzeyinin değişimini belirlemektedir. İzotropik ve kinematik pekleşme olmak üzere iki pekleşme kuralı kullanılmaktadır. İzotropik pekleşmede, akma yüzeyinin merkezi başlangıçtaki konumunda kalmaktadır ve plastik şekil değiştirmenin oluşması halinde genişlemektedir. Şekil 3a'da bu durum gösterilmiştir. Kinematik pekleşmede ise akma yüzeyi başlangıçtaki büyüklüğünde kalıp, merkezi plastik şekil değiştirmelerin oluşmasıyla yer değiştirmekte olup Şekil 3b'de verilmiştir. Bu çalışmada bi-lineer kinematik pekleşme kuralı kullanılmıştır.



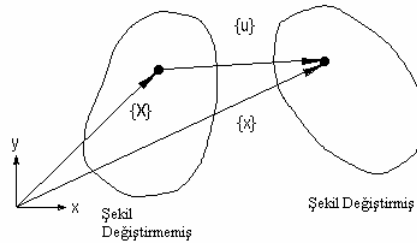
Şekil 3. Pekleşme kuralı a) İzotropik iş pekleşmesi, b) Kinematik pekleşme [1]  
(Figure 3. Hardening rule, a) Work or isotropic hardening, b) Kinematics hardening [1])

#### 4. GEOMETRİK OLARAK LİNEER OLMAYAN DAVRANIŞ MODELİ (THE MODEL GEOMETRIC NONLINEARITIES)

Yapı sistemleri, uygulanan dış yükler altında başlangıçta lineer bir şekil değiştirme gösterse de, artan yükler altında yapıda oluşan şekil değiştirmelerin yapının geometrisinde önemli değişikliklere yol açtığı durumlarda geometrik olarak lineer olmayan bir davranış ortaya koymaktadır. Bu durumda, yapı denge denklemlerinin şekil değiştirmiş durumu kullanılarak çözümlerin elde edilmesi gerekmektedir. Böylece şekil değiştirmemiş hal ile şekil değiştirmiş hal arasındaki ilişkinin anlaşılmasıyla basitçe ifade edilebilir. Şekil 4'de görüldüğü gibi, şekil değiştirmemiş durum vektörü,  $\{X_{und}\}$  ve şekil değiştirmiş durum vektörü  $\{x_d\}$  olmak üzere şekil değiştirme vektörü,

$$\{U\} = \{x_d\} - \{X_{und}\} \quad (2)$$

eşitliğiyle tanımlanabilir [1].



Şekil 4. Şekil değiştirme durumuna göre bir cismin durum vektörleri ve hareketi [1]

(Figure 4. Position vectors and motion of a body according to the deformation position [1])

Ayrıca, şekil değiştirme gradiyenti  $[F]$  ise,

$$[F] = \frac{\partial \{x\}}{\partial \{X\}} \quad (3)$$

formunda yazılabilir. Bir noktadaki şekil değiştirme için,

$$[F] = [I] + \frac{\partial \{u\}}{\partial \{X\}} \quad (4)$$

eşitliği kullanılmaktadır. Burada  $[I]$ , birim matrisi göstermektedir. Şekil değiştirme gradiyenti  $[F]$ , deformasyona uğramış cismin dönme ve şekil değişimini içeren, hacimdeki bir değişimi belirtmektedir. Bir noktadaki cismin hacim değişimi,



$$\frac{dv}{dV_0} = \det[F] \quad (5)$$

eşitliği ile tanımlanmaktadır. Burada  $V_0$ , orijinal hacim,  $v$ , şekil değiştirmeye uğramış hacmi belirtmektedir.

Geometrik olarak lineer olmayan davranış şekil değiştirme-yer değiştirme ilişkisinde yer almakta olup lineer olmayan yer değiştirme bağıntısı,

$$[B_n] = [B_v] [T_n] \quad (6)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Burada,  $[B_v]$  orijinal eleman koordinat sistemindeki şekil değiştirme-yer değiştirme matrisini ve  $[T_n]$  ise büyük şekil değiştirme yapmış eleman koordinatlarıyla ortak eksenli ve orijinal eleman ile ilgili ortogonal dönüşüm matrisini belirtmektedir.

Birleştirilmiş eleman koordinatlı çerçeve, rijit cisim dönme miktarından dolayı orijinal eleman koordinatlı çerçeveden farklıdır. Denklem (6)'dan elemanın teğet rijitlik matrisi  $[K_e]$

$$[K_e] = \int_{vol} [T_n]^T [B_v]^T [D] [B_v] [T_n] d(vol) \quad (7)$$

ve elemanın içsel kuvveti,  $\{F_e^{nr}\}$

$$\{F_e^{nr}\} = \int_{vol} [T_n]^T [B_v]^T [D] \{\epsilon_n^{el}\} d(vol) \quad (8)$$

eşitlikleriyle elde edilmektedir.

##### 5. SAYISAL UYGULAMA (NUMERICAL APPLICATION)

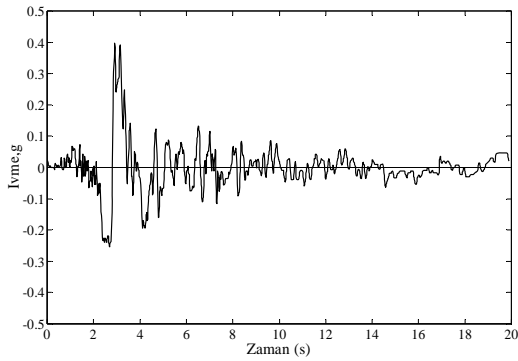
Bu çalışmada, ANSYS paket programı kullanılıp, deprem yüklerine maruz uzay çerçevelerin malzeme ve geometrik olarak lineer olmayan davranışları birlikte göz önüne alınarak optimizasyonu yapılmıştır. Ayrıca çözümlerde burkulma hesapları göz önüne alınarak optimizasyon işlemine, burkulma sınırlayıcıları uygulanmıştır. Malzemenin lineer olmayan davranışı için bi-lineer kinematik pekleşme yöntemi kullanılmıştır. Çözümlerde burkulma formülasyonu için TS 648'de verilen ifadeler kullanılmış olup dinamik çözüm algoritması olarak Newmark metodu kullanılmıştır. Diğer taraftan, lineer olmayan çözümler için Newton-Raphson yöntemi kullanılmıştır [12].

Kullanılan optimizasyon algoritması için birinci merteye tekniği seçilmiş olup, dinamik yük olarak 13 Mart 1992 Erzincan depreminin üç ivme bileşeni hesaba katılmıştır. Dinamik analiz için kullanılan Erzincan depreminin ivme kayıtları, Mercalli ölçeğine göre VIII şiddetinde olup aletsel büyüklüğü 6.8'dir. Şekil 5a,b,c'de Erzincan depremine ait ivme kayıtları verilmiştir. Çözümlerde dinamik analizin başlangıç değerleri için statik yüklerden kaynaklanan tepkiler kullanılmıştır. Çözümler ANSYS paket programının APDL kodlama dili yardımıyla alt program yazılarak elde edilmiştir.

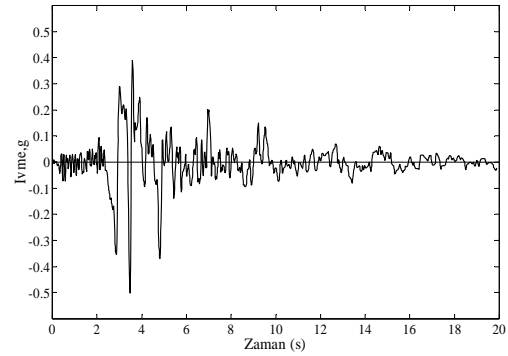
Sayısal uygulama için 15 katlı bir uzay çerçeve seçilmiştir. Uzay çerçevede X ve Z yönleri planda, Y yönü ise düşey doğrultuda bulunmaktadır. X ve Z doğrultularında iki açıklık kullanılmakta olup her doğrultudaki açıklıklar da eşit olarak alınmıştır. Bu açıklıklar; X yönü için 500.0cm, Z yönü için ise 600.0cm ve kat yükseklikleri de eşit kabul edilmiş olup 300.0cm olarak alınmıştır. Her üç katta bir kolonların boyutu değişecek şekilde program yapılmıştır. ANSYS programında belirli sayıda dizayn değişkeni verilebildiğinden, son 6 katın kolon boyutları aynı kabul edilmiştir. Kirişlere ait başlangıç en kesit ölçüleri bütün kirişler için aynı alınmıştır.

Çözümlerde kullanılan uzay çerçevelerde, malzeme olarak St 37 çelik profiller kullanılmıştır. 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-lineer kinematik pekleşme teğet elastisite modülü  $E_T=171,96 \text{ kN/cm}^2$ , maksimum çekme gerilmesindeki birim şekil değiştirme  $\epsilon_c$  ise 0.10 olarak alınmıştır. Kullanılan I profilleri 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 sınırlandırılmıştır. Gövde et kalınlığı için  $0.6\text{cm} < t_w < 1.9\text{cm}$ , başlık et kalınlığı için  $1.0\text{cm} < t_f < 3.6\text{cm}$ , profil yüksekliği için  $10.0\text{cm} < h < 100.0\text{cm}$  ve başlık genişliği için ise  $10.0\text{cm} < b < 30.0\text{cm}$  sınır değerleri kullanılmıştır. Çözümlerde kullanılan I profillerinin en kesiti Şekil 5d'de verilmiştir.

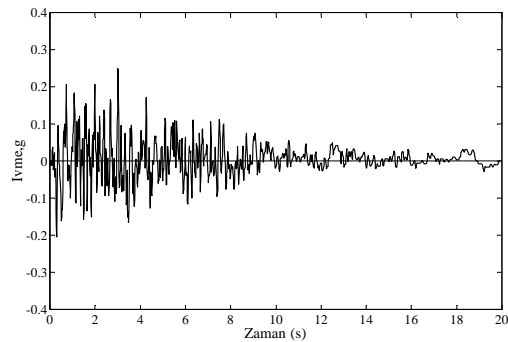
Optimizasyon işleminde amaç fonksiyonu olarak yapı hacminin minimizasyonu seçilmiştir. Tolerans olarak, 0.0001 gibi küçük bir değer alınmıştır. Çeliğin akma gerilmesi maksimum asal gerilme için sınırlayıcı olarak seçilmiştir. Ayrıca, burkulma sınırlayıcısı olarak minimum basınç gerilmesine göre bir sınırlayıcı getirilmiştir. Döşemelerden ve zati ağırlıktan meydana gelen yükler kirişlerin üzerine üniform yayılı yük olarak etki ettirilmiştir. Bu yük  $0.50 \text{ kN/cm}$  olarak kabul edilmiştir.



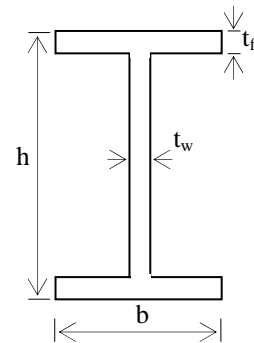
a) Doğu-Batı ivme bileşeni,  
a) East-West acceleration component,



b) Kuzey-Güney ivme bileşeni,  
b) North-South acceleration component



c) Düşey ivme bileşeni,  
c) Vertical acceleration component,

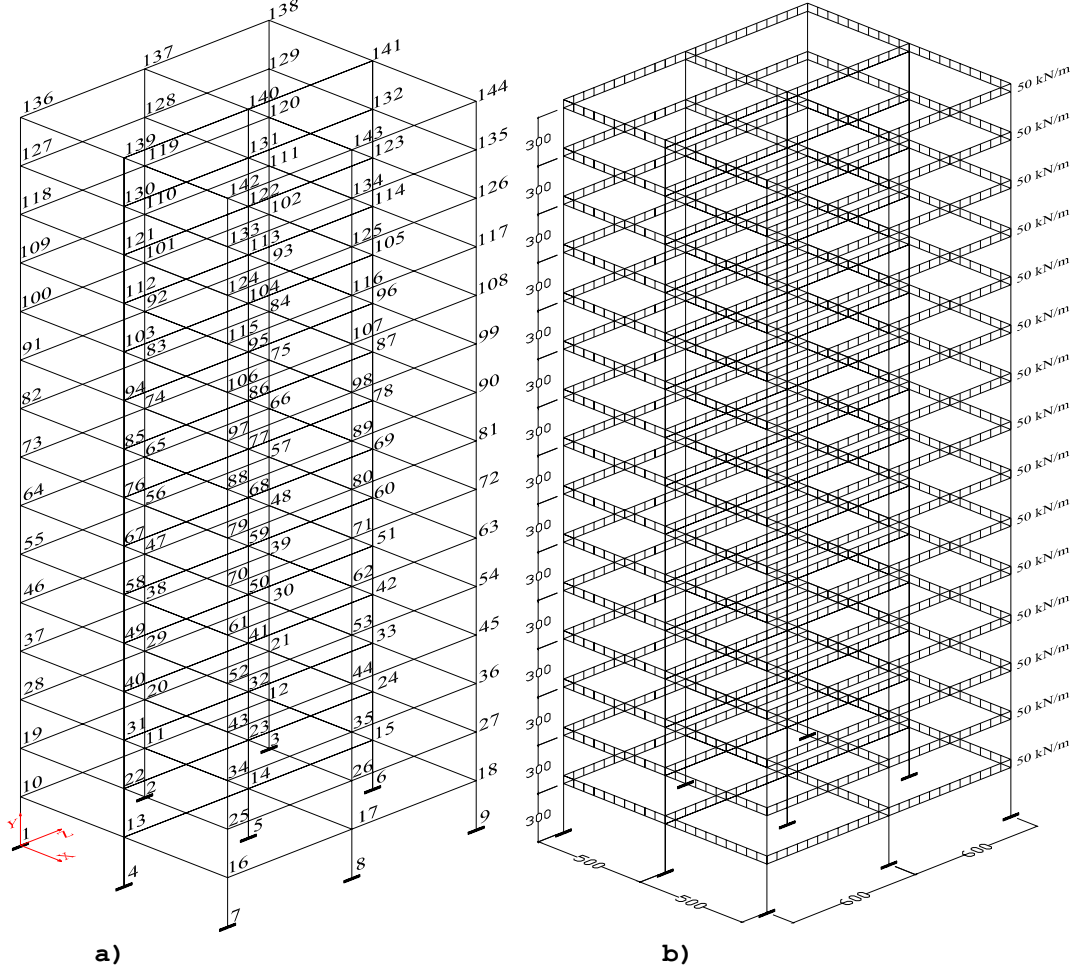


d) I profilinin en kesiti  
d) Cross-section of profile I

Şekil 5. Erzincan depremi ivme bileşenleri ve kullanılan I profilinin en kesiti

(Figure 5. Erzincan earthquake acceleration components and used cross-section of profile I)

Bu çözümde kullanılan 15 katlı uzay çerçevenin düğüm noktası numaralandırması ve yükleme durumları Şekil 6'da verilmiştir. Bu uzay çerçeve sisteminde 144 adet düğüm noktası ve toplam 315 adet I profili kullanılmıştır. Bu uzay çerçeveye ait özellikler, Tablo 1'de sunulmuştur. Kat sayısının artışına bağlı olarak etki eden deprem kuvvetlerinin oluşturduğu devrilme momentinin büyümesinden dolayı kirişlerde oluşan momentlerde büyümektedir. Bu sebepten kiriş ve kolonlarda oluşacak basınç gerilmesine göre burkulma şartının sağlanması için optimizasyon işleminde kiriş kesitleri büyümektedir.



Şekil 6. a)Düğüm noktaları, b)Statik yükleme durumu  
(Figure 6. a)Nod points, b)Static loading position)

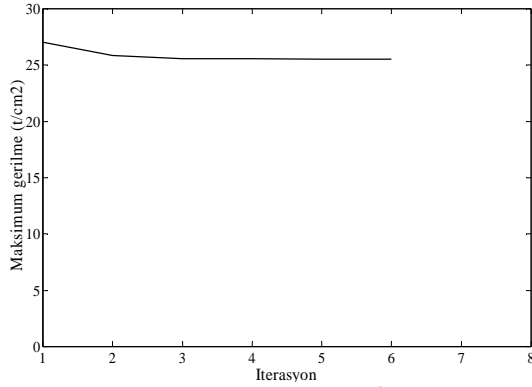
Toplam 6 iterasyon işlemi sonunda 15 katlı uzay çerçevenin optimum kesitleri elde edilmiştir. Optimizasyon işlemi boyunca maksimum ve minimum gerilme değerlerinin iterasyonlara göre değişimleri Şekil 7'de sunulmuştur. Ayrıca, maksimum plastik şekil değiştirme ve toplam hacim değerlerinin değişimleri ise Şekil 8'de grafiksel olarak verilmiştir. Depremin karakteristik özellikleri uzay çerçevenin lineer olmayan davranışını etkilediği için optimizasyon işlemi süresince çerçevede daha büyük devrilme momenti oluşmakta böylece daha büyük kesitlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu sebepten tüm işlem sürecinde maksimum gerilme değerlerinde azalma, minimum gerilme değerlerinde ise artışlar meydana gelmektedir. Maksimum plastik şekil değiştirme değerlerinde ise ilk iterasyonda ani bir artış meydana gelmekte daha sonraki iterasyonlarda ise tedrici bir azalış toplam hacim grafiğinde ise genelde bir hacim artışı



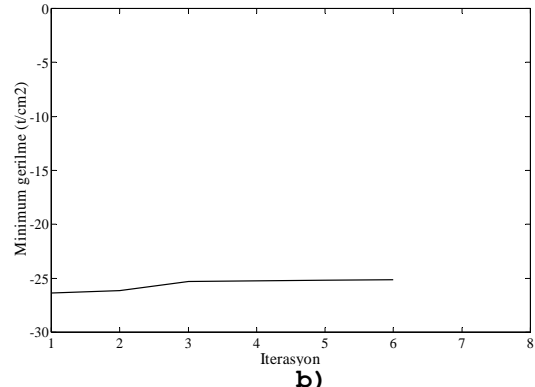
oluşmaktadır. Fakat genelde bu artışlar tedrici olmakta ve son iterasyonda denge halinde optimum sonuçlara ulaşılmaktadır. Ayrıca Şekil 9a'da 15 katlı uzay çerçevenin düğüm noktalarının yer değiştirme vektörleri ve Şekil 9b'de ise plastik mafsallaşmanın olduğu elemanlar verilmiştir. Şekil 8'de verilen büyüklükler tüm deprem ivme etkileri sonucunda 15 katlı binada oluşan maksimum yer değiştirmelerin maksimumları alınarak elde edilmiştir.

Tablo 1. 15 katlı binaya ait kesit özellikleri  
(Table 1. Cross-section properties of fifteen-story frame)

15 Katlı Uzay Çerçeveye Ait			Değişim (%)		
Boyutlar (cm)	Başlangıç Kesitleri	Optimum Kesitler	Artma (+)	Azalma (-)	
Kirişler	b	25.0	30.0	20	
	h	30.0	100.0	233	
	$t_w$	1.0	1.5	50	
	$t_f$	1.5	3.1	107	
Kolonlar (1-3 Katlar)	b	29.0	27.6		4.83
	h	90.0	100.0	11	
	$t_w$	1.8	1.9	5.56	
	$t_f$	3.4	3.6	5.88	
Kolonlar (4-6 Katlar)	b	28	24.4		12.86
	h	80	76.4		4.50
	$t_w$	1.6	1.6	-	-
	$t_f$	3.2	3.0		6.25
Kolonlar (7-9 Katlar)	b	27.0	23.9		11.48
	h	70.0	65.7		6.14
	$t_w$	1.5	1.5	-	-
	$t_f$	3.0	2.8		6.67
Kolonlar (10-15 Katlar)	b	25.0	21.6		13.6
	h	50.0	42.3		15.4
	$t_w$	1.2	1.2	-	-
	$t_f$	2.5	2.3		8.00
Maksimum Gerilme ( $t/cm^2$ )		27.03	25.50		5.66
Minimum Gerilme ( $t/cm^2$ )		-26.39	-25.13	4.77	
Max. Plas. Şekil Değişirme		0.008124	0.009412	15.85	
Toplam Hacim ( $cm^3$ )		20627946.00	41999437.00	103.60	



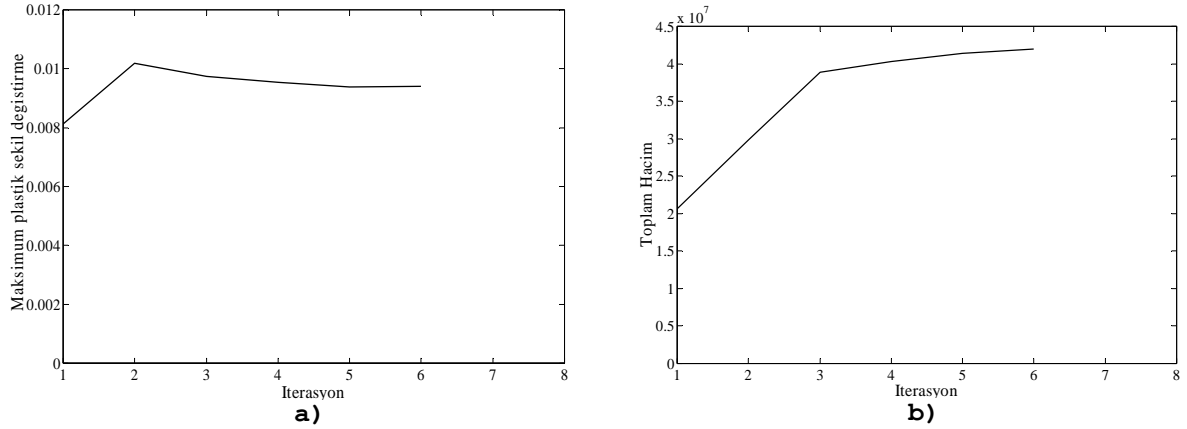
a)



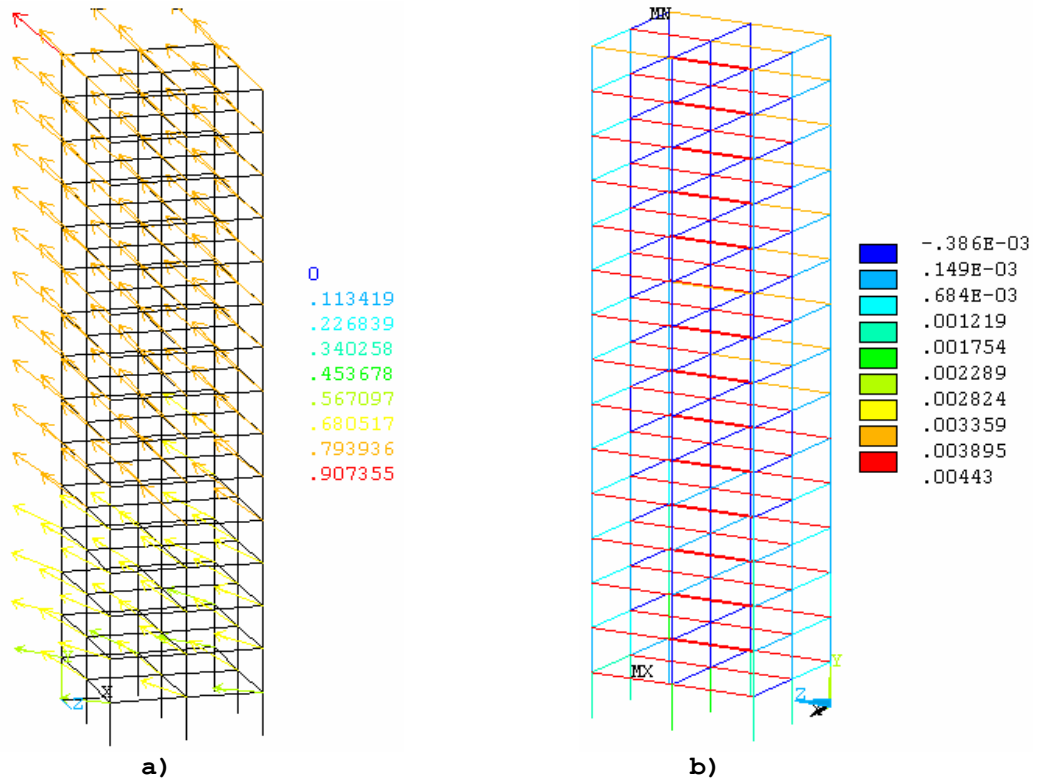
b)

Şekil 7. a)Maksimum b)Minimum gerilmelerin, optimizasyon işleminde iterasyonlara göre değişimi

(Figure 7. The changing according to iterations in optimization processing a)Maximum b)Minimum tensions)



Şekil 8. a)Maksimum plastik şekil değiştirme b)Toplam hacmin optimizasyon işleminde iterasyonlara göre değişimi  
(Figure 8. The changing according to iterations in optimization processing a)Maximum plastic deformation b)Total volume)



Şekil 9. a)Düğüm noktalarının yer değiştirme vektörleri b)Plastik şekil değiştiren elemanların durumu  
(Figure 9. a)Transposition vectors of nod points b)State of element in the plastic deformation)

Bu şekilden görüldüğü gibi maksimum yer değiştirmeler en üst kattan "z" doğrultusunda 136 nolu düğüm noktasında meydana gelmektedir. Bu durum uygulanan depremin maksimum ivme bileşeninin bu doğrultuda etki etmesinden kaynaklanmaktadır. Verilen vektörler karşılaştırıldığında yer değiştirmelerin üst kattan alt kata doğru bir azalış içerisinde olduğu görülebilir. Fakat vektörlerin yönleri dikkate alındığında sistemde bir burulmanın olmadığı görülebilir. Bu durum sistemin simetrik seçilmesinden dolayıdır. Ayrıca verilen yer değiştirmenin vektörel büyüklüğü ise 9.0cm'dir. Bu değer, ABBYY 2006



da verilen bina yüksekliğinin 1/300'ünden küçük olmalıdır şartını sağlamaktadır. Çözülen örnekte bu değer; 15.0 cm olmaktadır. Bu durum ise kesitlerin genelde bir artış içerisinde olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 9'da görüldüğü gibi plastik mafsallaşmanın olduğu elemanlar genelde kirişlerdir. Fakat kolonların bazılarında düşük değerlerde plastik şekil değiştirmelerin olduğu görülmektedir. Elde edilen plastik şekil değiştirmeler verilen optimum değerlerin altında olduğu için sistem stabilitesini kaybetmemektedir. ABBYY 2006'e göre boyutlandırılması yapılacak uzay çerçevelerin stabilitesi kaybolmayacak ölçüde plastik mafsalların olabileceği yönündedir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS)

Depremi karakteristik özellikleri uzay çerçevenin lineer olmayan davranışını etkilediği için çerçevede daha büyük devrilme momenti oluşmakta, böylece optimum boyutlandırmada 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. Dinamik yükler altında yapılan optimum çözümlerin ABBYY 2006'ya göre istenen şartlara uymaktadır. Bu çözümlerde plastik mafsallar kirişlerde oluşmakta, kolonlarda ise küçük miktarlarda plastik şekil değiştirmeler oluşmaktadır. Fakat uzay çerçeveler, stabilitesini kaybetmemektedir.

Kullanılan optimizasyon tekniği olan birinci mertebe teorisi, uzay çerçevelerin lineer olmayan dinamik analiz çözümlerinde çok fazla iterasyon yapmadan optimum sonuçlara ulaşılmaktadır. Statik ve dinamik yüklemeler altında uzay çerçevelerin lineer olmayan davranışlarının çözümleri için ANSYS gibi gelişmiş programların kullanılması gerekmektedir. Bu programın özelliğinde APDL gibi gelişmiş bir program kodlama dili olduğu için ilave alt programların yazılması ve çözümlerin elde edilmesi kolay olmaktadır.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Akhoroz, E., (1999). ANSYS programı ile dizayn optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
2. Hayalioğlu, S., (1989). Büyük deplasman yapan elastik-plastik çerçevelerin optimum boyutlandırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
3. Karaton, M. ve Ülker, M., (1998). Lineer olmayan uzay çerçevelerin statik ve dinamik etkiler altında optimum boyutlandırılması, Ulusal Hesaplamalı Mekanik Kongresi (U.H.M.K.), İstanbul, ss:323-329.
4. Yang, Y. and Mcquire, W., (1986). Stiffness matrix for geometric nonlinear analysis, J. Struc. Eng., ASCE, Vol.:112.
5. Goto, Y. and Chen, W., (1987). Second order elastic analysis for frame design, J. Struc. Eng., ASCE, Vol.:113, No:7.
6. See, T. and McConnel, R.E., (1986), Large displacement elastic buckling of space structures, J. Struc. Eng., ASCE, Vol.:112, No:5.
7. Scholz, H., (1987). P-Delta effect in elastic analysis of sway frames, J. Struc. Eng., ASCE, Vol.:113, No:3.
8. Picon, R. and Canas, J., (1987). First-order limit analysis of plane frames, Journal Struc. Eng., ASCE, Vol.:113, No:11.



9. Bektat, O.S., (1985). Uzay çerçevelerin elastik ve elastik-plastik analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
10. Saka, M.P. and Kameshki, E.S., (1998). Optimum design of unbraced rigid frames, Computers and Struc., 69, pp:433-442.
11. Cihan, N., (1983). Optimumluk kriteri yöntemi ile uzay kafes sistemlerinin minimum ağırlıklı boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
12. Esen Y., (2004). Malzeme ve geometrik bakımdan lineer olmayan çok katlı uzay çerçevelerin optimum boyutlandırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
13. Esen, Y. ve Ülker M., (2008). Malzeme ve geometrik özellikler bakımdan lineer olmayan çok katlı çelik uzay çerçevelerin optimum optimizasyonu, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt:23, No:2, ss:485-494.