

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MATLAB PROGRAMLAMA DİLİ KULLANARAK KAFES
SİSTEMLERİN OPTİMUM TASARIMI**

Yunus GÖNDEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

Haziran 2011

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DİYARBAKIR

Yunus GÖNDEN tarafından yapılan “ MATLAB Programlama Dili Kullanarak Kafes Sistemlerin Optimum Tasarımı ” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof Dr. M. Sedat HAYALİOĞLU

Üye : Doç. Dr. Özgür DEĞERTEKİN

Üye : Yrd. Doç Dr. İsmail Ağa GÖNÜL

Tez Savunma Sınavı Tarihi :17/06/2011

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../.../2011

Prof. Dr. Hamdi TEMEL

Enstitü Müdürü

TEŐEKÜRLER

Bu tez çalıőmasının gerçekleőtirilmesinde, baőlangıcından sonuna kadar, gerekli bütün yardımını benden esirgemeyen, karşılaőtığım problemlerin çözümü için deneyimlerinden yararlandığım sayın hocam Prof. Dr. M. Sedat HAYALİOĞLU'na katkılarından dolayı teőekkür ederim.

Ayrıca, bütün aileme ve dostlarıma bana gösterdikleri yaklaşım ve desteklerinden dolayı teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	VI
ABSTRACT	VII
ÇİZELGE LİSTESİ	VIII
ŞEKİL LİSTESİ	X
KISALTMA VE SİMGELER	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Kafes Sistemlerin Gerilme, Yer Değiştirme, Burkulma ve Doğal Frekans Kısıtları Altında Optimum Tasarımı	3
2.2. Minimum Ağırlıktaki Düzlem Kafes Sistemlerin Simpleks Metodu ile Tasarlanması	3
2.3. Çelik Kafes Köprü Kirişlerinin Genetik Algoritma ile Optimum Tasarımı	4
2.4. Çok Amaçlı Bulanık Optimizasyon Tekniği İle Düzlem Kafes Sistemlerin Boyutlandırılması	5
3. MATERYAL ve METOT	7
3.1. Optimizasyon	7
3.1.1. Giriş	7

3.1.2. Optimizasyon Problemindeki Temel Kavramlar	8
3.1.2.1. Tasarım Değişkenleri	8
- Yapı Geometrisi ve Şekli.....	8
- Enkesit Byutları	8
- Yapı Topolojisi	9
- Malzeme Özellikleri	9
3.1.2.2. Sınırlayıcılar.....	9
- Davranış Sınırlayıcıları.....	9
- İmalat Sınırlayıcıları	9
3.1.2.3. Tasarım Uzayı.....	10
3.1.2.4. Amaç Fonksiyonu	11
3.1.2.5. Optimizasyon Probleminin Matematiksel İfadesi	11
3.1.3. Klasik Optimizasyon Yöntemleri.....	12
3.1.3.1. Matematik Programlama.....	12
- Lineer Programlama	12
- Lineer Olmayan Programlama.....	12
3.1.3.2. Sınırlayıcısız Lineer Olmayan Programlama Yöntemleri.....	13
- Gradyen Yöntemler	13
- Gradyenler ve Hessianlar.....	13
- Gradyen	13
- Hessian.....	15
- En Hızlı Artış Yöntemi.....	17

- İleri Gradyen Yaklaşımlar	18
- Eşlenik Gradyen Yöntemi (Fletcher-Reeves).....	18
- Newton Yöntemi.....	19
- Kısmi Newton Yöntemi.....	20
3.1.3.3. Sınırlayıcılı Lineer Olmayan Programlama Yöntemleri	20
3.2. MATLAB ile Optimizasyon	21
3.2.1. MATLAB'ın Optimizasyon Fonksiyonları.....	21
3.2.1.1. Linprog Fonksiyonu.....	21
3.2.1.2. Fminsearch Fonksiyonu	23
3.2.1.3. Fminbnd Fonksiyonu	24
3.2.1.4. Fminunc Fonksiyonu	25
3.2.1.5. Quadprog Fonksiyonu.....	26
3.2.1.6. Fmincon Fonksiyonu	27
3.2.2. Fmincon Fonksiyonu ile Kafes Sistemin Optimum Tasarımı	29
3.2.3. Kafes Sistemlerin Matris Deplasman Yöntemi ile Analizi	34
3.2.4. MATLAB Programlama Dili kullanarak Yapılan Optimum Tasarım	38
3.2.4.1. Program Detayları.....	40
3.2.4.2. Program Giriş ve Çıkış Bilgileri	43
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	47
4.1. Altı Elemanlı Kafes Sistemin Optimum Tasarımı	47
4.2. Onyeddi Elemanlı Kafes Sistemin Optimum Tasarımı.....	51
4.3. Otuzbeş Elemanlı Kafes Sistemin Optimum Tasarımı	56

5.	TARTIŞMA ve SONUÇ	63
6.	KAYNAKLAR	65
	ÖZGEÇMİŞ.....	67

ÖZET

MATLAB PROGRAMLAMA DİLİ KULLANARAK KAFES SİSTEMLERİN OPTİMUM TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yunus GÖNDEN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2011

Günümüzde yapısal taşıyıcı sistemlerin ekonomik tasarımı önem kazanmaktadır. Bu da yapısal sistemlerin tasarımının belirlenen bir optimizasyon yöntemiyle yapılmasını gerektirmektedir. Yapısal sistemlerin optimum tasarımında amaç, yeterli düzeyde güvenliğe sahip yapıyı ekonomik şekilde tasarlamaktır. Bu amaç doğrultusunda tasarlanan yapısal sistemin, etki eden yükler altındaki davranışının da kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması gerekmektedir. Eğer amaç yapısal sistemin malzeme açısından ekonomik tasarımı ise; etkiyen yüklere güvenle, belirli bir rijitlikle dayanabilen ve ağırlığı minimum olan yapısal sistemin belirlenmesi problemi, optimum tasarım problemi olarak tanımlanabilir.

Bu çalışmada düzlem kafes sistemlerin deplasman, gerilme ve burkulma sınırlayıcıları altında optimum tasarımı MATLAB programının bir optimizasyon arşiv fonksiyonu kullanılarak yapılmıştır. Önce MATLAB programlama dilinde kafes sistemin analiz programı yazılmıştır. Daha sonra bu analiz programı optimizasyon arşiv programı ile birlikte çalıştırılarak kafes sistemin minimum ağırlıklı tasarımı elde edilmiştir.

Birinci bölümde çalışmanın amacı ve kapsamı belirtilmiştir.

İkinci bölümde bu konuda daha önce yapılan çalışmalara değinilmiştir.

Üçüncü bölümde ise matematiksel optimizasyon hakkında genel bilgiler verilmiş, MATLAB programının optimizasyon arşiv fonksiyonları açıklanmıştır. Bu bölümde ayrıca MATLAB programlama dilinde yazılan kafes sistemin analiz ve optimizasyon programı ile ilgili ayrıntılı açıklamalar verilmiştir.

Dördüncü bölümde üç kafes sistemin optimum tasarımı yukarıda belirtilen yöntem ile yapılmış ve sayısal sonuçlar açıklanmıştır.

Beşinci bölümde bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ve bu konu ile ilgili tartışma verilmiştir. Buna göre MATLAB' ta hazır optimizasyon arşiv fonksiyonları kullanılarak kafes sistemlerin optimum boyutlandırılmasının yapılabileceği gösterilmiştir. Buradaki yöntemle diğer yapısal sistemlerin de optimum tasarımının kolayca yapılabileceği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: MATLAB, Optimum Tasarım, Kafes Sistemler

ABSTRACT

OPTIMUM DESIGN OF TRUSS SYSTEMS BY USING MATLAB PROGRAMMING LANGUAGE

MSC THESIS

Yunus GÖNDEN

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2011

Nowadays, economic design of structural systems comes into prominence. Therefore, it becomes necessary to design structural systems by a specified optimization method. The aim of optimum structural design is to design a structure economically with a sufficient level of safety. The behaviour of the structural system which is designed for the above mentioned purpose is also required to be within acceptable range. If the aim is economically design of a structural system in terms of material; the optimum design problem can be defined as determination of the minimum weight structural systems under strength and serviceability requirements.

In this study, optimum design of plane truss systems under displacement, stress and buckling constraints was achieved using a library function of MATLAB about optimization.

First an analysis program of a truss system was written in MATLAB's programming language. The minimum weight design of truss system was obtained by executing this analysis program with optimization library function.

In the first section, the aim and scope of the study are pointed out.

In the second section, previous studies related to this subject are mentioned.

In the third section, general information about mathematical optimization is given and MATLAB's library functions concerning optimization are explained. Moreover, detailed explanation is also given in this section about the analysis and optimization program written in MATLAB's programming language.

In the fourth section, optimum design of three truss systems are performed by using above mentioned method and numerical results are given.

In the fifth section, the conclusion drawn from this study and discussion about this issue are given. Accordingly, it was indicated that optimum design of truss systems can be done using library optimization functions available in MATLAB. It was also understood that the optimum design of other structural systems can be easily done using the method explained in this study.

Key Words: MATLAB, Optimum Design, Truss Systems

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No:</u>		<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1.	Linprog fonksiyonunun kullanımı	22
Çizelge 3.2.	Linprog fonksiyonunun parametrelerinin anlamları	23
Çizelge 3.3.	Fminsearch fonksiyonunun kullanımı	24
Çizelge 3.4.	Fminsearch fonksiyonunun parametrelerinin anlamları	24
Çizelge 3.5.	Fminbnd fonksiyonunun kullanımı	25
Çizelge 3.6.	Fminbnd fonksiyonunun parametrelerinin anlamları	25
Çizelge 3.7.	Fminunc fonksiyonunun kullanımı	25
Çizelge 3.8.	Fminunc fonksiyonunun parametrelerinin anlamları	26
Çizelge 3.9.	Quadprog fonksiyonunun kullanımı	26
Çizelge 3.10.	Quadprog fonksiyonunun parametrelerinin anlamları	27
Çizelge 3.11.	Fmincon fonksiyonunun kullanımı	28
Çizelge 3.12.	Fmincon fonksiyonunun parametrelerinin anlamları	29
Çizelge 3.13.	Kafes sistemin çubuk kuvvetleri	30
Çizelge 3.14.	Optimum tasarım sonuçlarının karşılaştırılması	34
Çizelge 4.1.	Altı elemanlı kafes sistemin optimum tasarım sonucu gerilme ve deplasman değerleri	50
Çizelge 4.2.	Altı elemanlı kafes sistemin optimum tasarım sonuçlarının karşılaştırılması	50
Çizelge 4.3.	Onyediyen elemanlı kafes sistemin optimum tasarım sonucu gerilme ve deplasman değerleri	55
Çizelge 4.4.	Onyediyen elemanlı kafes sistemin optimum tasarım sonuçları	55
Çizelge 4.5.	Otuzbeş elemanlı kafes sistemin optimum tasarım sonucu gerilme ve deplasman değerleri	60

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No:</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1.	İki boyutlu tasarım uzayı	10
Şekil 3.2.	Yöne bağlı gradyen x eksenine Θ açısı yapan bir h eksenine boyunca tanımlanması	14
Şekil 3.3.	Bir eyer noktası ($x=a$ ve $y=b$).	15
Şekil 3.4.	En hızlı artış yönteminin grafik gösterimi	18
Şekil 3.5.	Başlangıç noktası optimuma yakınsa, grsdyeni izlemek etkili olmayabilir. Newton yöntemi optimuma doğrudan bir yol izleyerek ulaşmaya çalışır(kalın çizgi)	19
Şekil 3.6.	Altı elemanlı kafes sistem	30
Şekil 3.7.	Amaç fonksiyonunun yazıldığı M-dosyası	32
Şekil 3.8.	Lineer olmayan sınırlayıcıların yazıldığı M-dosyası	32
Şekil 3.9.	Kullanılan fmincon arşiv fonksiyonunun komut ifadesinin yazıldığı komut penceresi	33
Şekil 3.10.	Kafes sistem elemanın yerel koordinat sisteminde uç deplasmanları	35
Şekil 3.11.	Kafes sistem elemanın yapı koordinat sisteminde uç deplasmanları	35
Şekil 3.12.	Kafes sistem elemanın yapı koordinat sisteminde kuvvetleri	35
Şekil 3.13.	Yapı ve yerel koordinat sistemde kafes elemanı uç deplasmanı Dönüşümü	36
Şekil 3.14.	Optimum tasarım programının algoritması	39
Şekil 3.15.	Amaç fonksiyonunu içeren objkaf.m dosyası	40
Şekil 3.16.	Sınırlayıcı fonksiyonları içeren conskaf.m dosyasının bir bölümü	41
Şekil 3.17.	Altı elemanlı kafes sistem	43
Şekil 3.18.	Nodver.txt metin belgesi veri ifadeleri açıklamaları	44
Şekil 3.19.	xnm.txt metin belgesi veri ifadeleri açıklamaları	44

<u>Şekil No:</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 3.20.	km.txt metin belgesi veri ifadeleri açıklamaları	45
Şekil 3.21.	nysmat.txt metin belgesi veri ifadeleri açıklamaları	45
Şekil 3.22.	mem.txt metin belgesi veri ifadeleri açıklamaları	45
Şekil 3.23.	xea.txt metin belgesi veri ifadeleri açıklamaları	46
Şekil 3.24.	xfes.txt metin belgesi veri ifadeleri açıklamaları	46
Şekil 4.1.	Altı elemanlı kafes sisteme ait kafesopt.m dosyası	48
Şekil 4.2.	Altı elemanlı kafes sisteme ait amaç fonksiyonu-iterasyon sayısı grafiği	48
Şekil 4.3.	Altı elemanlı kafes sistemin optimum tasarım sonuçlarının olduğu MATLAB komut penceresi	49
Şekil 4.4.	Onyedili elemanlı kafes sistem	51
Şekil 4.5.	Onyedili elemanlı kafes sisteme ait kafesopt.m dosyası	52
Şekil 4.6.	Onyedili elemanlı kafes sisteme ait amaç fonksiyonu-iterasyon sayısı grafiği	53
Şekil 4.7.	Onyedili elemanlı kafes sistemin optimum tasarım sonuçlarının olduğu MATLAB komut penceresi	54
Şekil 4.8.	Otuzbeş elemanlı kafes sistem	56
Şekil 4.9.	Otuzbeş elemanlı kafes sisteme ait kafesopt.m dosyası	57
Şekil 4.10.	Otuzbeş elemanlı kafes sisteme ait amaç fonksiyonu-iterasyon sayısı grafiği	58
Şekil 4.11.	Otuzbeş elemanlı kafes sistemin optimum tasarım sonuçlarının olduğu MATLAB komut penceresi	59

KISALTMA ve SİMGELER

GA	: Genetik algoritma
δ_i	: i no.lu elemanın deplasmanı
E	: Elastisite modülü
σ_{enn}	: Çelik çekme emniyet gerilmesi
σ_i	: i no.lu elemanın hesaplanan gerilme değeri
ρ	: Özgül ağırlık
I	: Atalet momenti
P_{cr}	: Elemanın kritik burkulma yükü
v	: Burkulma emniyet katsayısı
L_i	: Eleman boyu
mes	: Eleman sayısı
ρ_i	: Çeliğin birim ağırlığı
x_i	: Eleman kesit alanı
δ_{max}	: izin verilen maksimum deplasman
λ	: elemanın narinliği
λ_p	: Plastik narinlik sınırı
σ_a	: Çeliğin akma sınırı
A_i	: Elemanın en kesit alanı

1. GİRİŞ

1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı

Yapıların ekonomik olarak tasarımı, yapı mühendisliğinin önemli amaçlarından biridir. Yapıların minimum ağırlıklı olarak tasarımı, ekonomik tasarımda önemli bir yer tutmaktadır. Bu şekilde tasarlanan yapıların davranışlarının kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması gerekmektedir. Böylece, yapıya etkiyen yüklere güvenle ve belirli rijitlikle dayanan ve minimum maliyetli olan bir yapının belirlenmesi problemi, optimum tasarım problemi olarak adlandırılır.

Bu çalışmada kafes sistemlerin dış yükler altında, sınırlanmış deplasmanlar ve gerilmelerle optimum tasarımı yapılmıştır. Burada Türk Çelik Yönetmeliği (TS 648 1980) göz önüne alınmıştır. Optimum tasarım ile dış yükler altında, deplasman ve gerilme sınırlamalarını sağlayan minimum ağırlıklı kafes sistemin elde edilmesi amaçlanmıştır. Tasarım değişkenleri olarak kafes çubuklarının kesitleri ve optimizasyon yöntemi olarak da MATLAB'ın bir optimizasyon arşiv fonksiyonu olan 'fmincon' kullanılmıştır. Algoritmaların uygulanabilirliğini göstermek üzere üç ayrı kafes sistemin optimum tasarımları yapılmıştır.

Matematik programlama, yapısal optimum tasarımda en çok kullanılan optimizasyon tekniklerinden biridir. Bu çalışmada öncelikle düzlem kafes sistemlerin matris deplasman yöntemi kullanarak analizini yapan bir program MATLAB programlama dilinde yazılmıştır. Daha sonra bu analiz programından elde edilen çubuk kuvvetleri ve sistem deplasmanları ile, sistem elemanlarının gerilme sınırlayıcılarının ve aynı zamanda sistem deplasman sınırlayıcılarının sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilerek bir optimum tasarım yapılmıştır. Bu optimum tasarımda kullanılan 'fmincon' arşiv fonksiyonu, matematik programlama yöntemleri kullanarak, lineer olmayan amaç fonksiyonlu, lineer veya lineer olmayan sınırlayıcı optimizasyon problemini çözmektedir. Amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar tasarım değişkenlerinin bir fonksiyonudur. Ayrıca bu çalışmada geliştirilen algoritmada yükleme şekli, kafes sistemin şekli ve boyutunun, ayrıca sistemin izostatik veya hiperstatik olmasının bir

önemi yoktur. Program en genel durum için kafes sistemin minimum ağırlığını bulabilmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kafes sistemlerin optimum tasarımında önceden yapılan çalışmalar genetik algoritma, matematik programlama ve optimumluk kriteri gibi teknikler ile yapılan çalışmalardır. Her çalışmada farklı sınırlamalar ve farklı optimizasyon teknikleri kullanılmıştır. Bu çalışmalardan birkaçı aşağıda sunulmuştur.

2.1. Kafes Sistemlerin Gerilme, Yer Değiştirme, Burkulma ve Doğal Frekans Kısıtları Altında Optimum Tasarımı

Tutum (2005) yaptığı çalışmada, düzlemsel kafes sistemlerin belirli bir yükleme koşulu altında gerilme, yer değiştirme, burkulma ve doğal frekans kısıtlarına göre optimum tasarımı incelenmiştir. Ele alınan kafes sistemlerde, düğüm noktalarının yerleri değişmemektedir. Tasarım değişkeni olarak kafes sistem elemanlarının kesit alanları kullanılarak boyut optimizasyonu uygulanmıştır. Ayrıca optimizasyon işlemi sırasında belirli bir minimum kesit alanı değerine ulaşmış elemanlar, kafes sistemin rijitliğine katkısı olmayacağı düşüncesiyle sistemden çıkarılmıştır. Optimizasyon problemindeki amaç kafes sistemin kütlesini mümkün olan en küçük değere çekmektir. Kafes sistemlerin statik ve dinamik davranışlarına ilişkin bilgiler MATLAB'te yazılan sonlu elemanlar programı kullanılarak elde edilmiş, optimizasyon için ise MATLAB'teki doğrusal olmayan programlama algoritması olan SQP (Sequential Quadratic Programming) yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen ilk sonuçlar, belirli karşılaştırma problemleri ile kıyaslandıktan sonra kafes sistemdeki eleman sayısı artırılmaya çalışılmıştır. Eleman sayısı arttıkça süre üstel olarak artmaya başlamıştır. Çözüm süresini kısaltmak için sonlu elemanlar yöntemi uygulanırken elde edilen rijitlik ve kütle matrislerinin simetrik ve de bol sıfırlı yapısından yararlanarak LU (Lower Upper) ayrıklaştırma yöntemi kullanılmış ve daha kısa sürede çözülmesi sağlanmıştır.

2.2. Minimum Ağırlıktaki Düzlem Kafes Sistemlerin Simpleks Metodu ile Tasarlanması

Döven (2005) çalışmasında, hiperstatik düzlem kafes sistemlerin minimum ağırlıklarının tespiti için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Düğüm noktaları deplasmanları üzerinde kısıtlamaların olmadığı ve çubukların burkulmadığı ve tek yükleme sistemi altında olduğu kabul edilen bu sınıf problemlerin global optimum

çözümlerinin statikçe belirli kafes sistemler olduğu bilinmektedir. Çubuk kesit alanlarının ve çubuk kuvvetlerinin optimizasyon değişkenlerini oluşturduğu bu problemin simpleks metodu ile çözümü başlangıç geometrisindeki yapının en hafif temel yapısını vermektedir. Burada temel yapıdan kasıt yapıdaki sıfır çubuklarının yapıdan çıkarılarak elde edilen yeni yapıdır.

Geliştirilen program yardımı ile hiperstatik düzlem kafes sistemlerin en hafif temel yapıları bulunarak simpleks metodu ile topoloji optimizasyonu gerçekleştirilmiş olmaktadır. İzostatik sistemler ise zaten temel yapıda oldukları için, sistemdeki elemanların minimum kesit alanları çubuk kuvvetleri ile birlikte bulunmakta ve böylece izostatik sistemler için bir boyut optimizasyonu gerçekleştirilmiş olmaktadır.

2.3 Çelik Kafes Köprü Kirişlerinin Genetik Algoritma ile Optimum Tasarımı

Toğan ve Daloğlu (2004) yaptıkları çalışmada, yapıların optimum tasarımlarını gerçekleştirmek üzere kullanılan ve ayrık tasarım değişkenli problemlere çözüm getiren yapay zeka tabanlı tekniklerden biri olan genetik algoritma (GA) ile kara veya demiryolu olabilecek çelik kafes köprü kirişlerinin yük katarına göre, standartlardan alınan çelik profilleriyle standartlardaki tasarım koşullarını sağlayarak minimum ağırlıklı olacak biçimde optimizasyonu yapılmaktadır.

Bu çalışmada GA ile optimizasyonu gerçekleştirilecek olan çelik kafes sistemlerini oluşturan yapı elemanları için TS veya AISC-ASD'de yer alan $\frac{1}{2}$ I, eşit kollu L veya boru profillerden alınabilen bir profil listesi kullanılmaktadır. Ayrıca çalışmada yine tasarım için TS 648 veya AISC-ASD'deki tasarım koşulları sınırlayıcı olarak dikkate alınmaktadır. Yük katarı olarak kamyon yükü dikkate alınmakta ve yol seviyesinin alt ve üst başlıkta olduğu tek ve iki açıklıklı köprü kirişleri incelenmektedir. Çalışmada GA'ya farklı tip çaprazlama operatörü kullanabilme özelliği entegre edilmektedir. Böylelikle GA'da tek, çift ,düzenli veya bunların kombinezonlarından oluşan çaprazlama operatörü olası çözümlere uygulanabilmektedir.

Yapay bir genetik yaklaşıma dayalı olan ve yapısal optimizasyon işlemlerinde kullanılan GA'lar tasarım problemindeki eleman kesit alanlarını standart çelik profilleri tablolarından alabilecek ve tasarım sınırlayıcılarını da sağlatabilecek biçimde

kullanılabilmektedir. Ayrıca optimizasyon sonucunda elde edilen çelik profiller piyasada birebir olarak bulunabilmektedir. Literatürde şimdiye değin bir kaç sayıda yükleme durumu dikkate alınarak sistemler incelenirken bu çalışmada yük katarı dikkate alınmakta ve GA'nın daha büyük ölçekte olabilen sistem ve yükleme durumları içinde kullanılarak minimum ağırlıklı olarak sistemlerin optimizasyonlarının yapılabileceği görülmektedir.

2.4 Çok Amaçlı Bulanık Optimizasyon Tekniği İle Düzlem Kafes Sistemlerin Boyutlandırılması

Keleşoğlu ve Ülker (2003) çalışmalarında, bulanık kümeler kullanılarak, düzlem kafes sistemlerin optimizasyonu yapılmıştır. Kafes sistemin analizinde, matris-deplasman yöntemi kullanılmıştır. Bulanık optimizasyon tekniğinin algoritması Ms-Excel'in makroları kullanılarak oluşturulmuştur. Geliştirilen algoritmanın uygulanabilirliği, çözülen sayısal örneklerle gösterilmiştir. Elde edilen optimum boyutlandırma sonuçları, daha önceki yapılan çalışmalardaki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Bulanık matematiksel programlama yöntemlerinden biri olan bulanık optimizasyon, bulanık ortamında karar vermeyi sağlayan bir tekniktir. Bulanık çevrede karar verme deyimiyile, sınırlayıcıların ya da amaçların ya da her ikisinin yapı olarak bulanık olduğu bir karar sürecinde kastedilmektedir. Bu amaçların ya da sınırlayıcıların sınırları kesin olarak tanımlanmamış alternatif gruplar içerdiği anlamına gelir. Amaç fonksiyonu ile sınırlayıcıların kesişimi sonucu elde edilen çözümlere ise bulanık karar denir. Bulanık alternatifler olarak adlandırılırlar. Alternatifler uzayındaki en yüksek üyelik derecesine sahip bulanık karar ya da kararlar ise, optimum karar olarak adlandırılır. Bulanık programlamada amaç optimum karara ulaşmaktır (Bellman ve Zadeh 1970).

Düzlem kafes sistemlerin bulanık optimizasyon ile çözümü için Ms-Excel'deki makroları kullanarak bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma genel amaçlı olup, uzay kafes sistemlere de uygulanabilir. Bulanık optimizasyonundaki amaç en yüksek üyelik derecesine sahip bulanık optimum karara ulaşmaktır. Ulaşılan bu optimum karar amaç fonksiyonlarını minimize eder. Bulanık küme kullanarak optimizasyon yapma işleminin küçük bir yazılımla, daha hızlı bir sonuca ulaşıldığı

görülmüştür. Bulanık optimizasyonundaki amaç fonksiyonları da, birer sınırlayıcı olarak işleme katılmıştır. Boyutlandırma probleminin belirsiz ve karmaşık yapısını modellemek için bulanık küme teorisi kullanımının uygun olduğu görülmüştür. Çok amaçlı bulanık optimizasyon yöntemi olan λ formülasyonu ile çözülen örnekler daha önce yapılmış çalışmalar ile karşılaştırılıp sonuçlar irdelenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Optimizasyon

3.1.1. Giriş

İnşaat mühendisliğinde herhangi bir yapının tasarımı dört adımda gerçekleşmektedir(Dğertekin 2001).

- 1) Fonksiyonel ihtiyaçların belirlenmesi
- 2) Tasarımın yapılması
- 3) Optimizasyon
- 4) Kontrol ve detaylar

Birinci adımda önceden belirlenmiş olan fonksiyonel ihtiyaçlar ortaya konur. Örneğin, bir fabrika binası için gerekli olan arazi alanı, bir çerçevedeki kiriş ve kolon sayısı, bir köprüdeki kiriş sayısı. İkinci adımda beklenen ihtiyaçlara cevap verecek yapı tipi seçilir. Bu adımda eleman kesit alanlarının belirlenmesi, malzeme çeşidinin tayini, eleman birleşim tiplerinin seçimini kapsar. Ancak aynı ihtiyaçlara cevap verebilecek birden çok yapı tipi olacağından hangi yapı türünün seçileceği tasarım yapan mühendisin bilgi, beceri ve tecrübesine bağlı olacaktır. Üçüncü aşamada seçilen sisteme hizmet ömrü boyunca etkimesi beklenen yükler uygulanarak analiz yapılır. Bu analiz sonucunda elde edilecek kesit tesiri ve yer değiştirme değerlerinin yönetmeliklere uygunluğu irdelenir. Sonuçların uygun olmaması durumunda önceki adıma gidilerek kesit boyutları ve gerekiyorsa yapı tipi değiştirilir. Bu şekilde değiştirilen yapı için analiz adımı sonuçlar uygun oluncaya kadar tekrarlanır. Uygun sonuçlarda birbirleriyle karşılaştırılarak minimum ağırlıklı veya minimum maliyetli yapının elde edilmesi yoluna gidilir. Son adımda ise nihai kontroller yapılır.

Dikkat edilirse yapısal tasarım her aşamada en iyiye karar verme işleminden oluşan bir süreçtir. Optimizasyon karar verme problemlerine çözüm getiren bir bilim dalı olması itibarıyla birçok mühendislik alanında olduğu gibi İnşaat mühendisliğinde de kullanılmaktadır.

Optimizasyon problemleri temel olarak maksimum veya minimumu elde edilmek istenen bir amaç fonksiyonu ve problemin uygulama alanına göre değişecek sınırlayıcılardan oluşur. İnşaat mühendisliği uygulamalarında amaç fonksiyonumuz yapı maliyeti veya yapı ağırlığı olurken, sınırlayıcılarımız ise yönetmeliklerde maksimum veya minimum değerleri verilmiş olan gerilme ve deplasman değerleri olabilir.

3.1.2. Optimizasyon Problemindeki Temel Kavramlar

3.1.2.1. Tasarım Değerkenleri

Optimum tasarım probleminde amaç fonksiyonunu meydana getiren değerkenlere tasarım değerkenleri denir. Tasarım değerkenleri řu özellikleri temsil edebilir.

- a) Yapının geometrisi
- b) Enkesit boyutları
- c) Yapı topolojisi
- d) Malzemenin fiziksel veya mekanik özellikleri

Optimizasyon problemlerinde tasarım değerkenleri sürekli ve ayrık olmak üzere iki grupta incelenir. Sürekli değerkenler belli bir aralıkta her değeri alabilirken, ayrık değerkenler belli bir aralıkta sadece önceden belirlenmiş tekil değerleri alabilir. Yapı mühendisliğinde karşılaşacağımız değerkenler ise genellikle ayrık değerkenlerdir. Örneğin, bir çelik çerçeve standart kesitlerden üretilmiş elemanlardan oluşur ve her eleman bir ayrık değerkeni temsil eder.

Yapı Geometrisi ve şekli

Optimizasyon işlemini uygulayacağımız çerçeveadaki düğüm noktalarının koordinatları, kiriş açıklık mesafeleri, kolon boyları optimum tasarım sürecindeki tasarım değerkenleri olarak düşünülebilir.

Enkesit Boyutları

Burkulmaya çalışan kolon elemanın veya eğilmeye maruz bir kiriş elemanın kesit alanı, atalet momenti en kesit tasarım değerkenleri olarak alınabilir.

Yapı Topolojisi

Topolojik tasarım değişkenleri olarak bir çerçevedeki açıklık sayısı, düğüm sayısı, kolon sayısı alınabilir.

Malzeme Özellikleri

Malzemenin gerilme-şekil değiştirme özelliği, sünme değişimi, elastisite modülündeki değişim gibi özelliklerdir. Malzeme türü ayırık değişkenler takımından yapılan seçimle belirlenir.

3.1.2.2. Sınırlayıcılar

Uygun bir tasarımda sağlanması gereken sınırlamalara ‘sınırlayıcılar’ adı verilir. Dolayısıyla bir yapının yapılabilirliği tüm sınırlayıcıların sağlanması ile mümkündür. Sınırlayıcılar iki gruba ayrılmaktadır.

Davranış Sınırlayıcıları

Gerilme, deplasman, burkulma, sehim gibi yapı davranışı ile ilgili sınırlayıcı kriterlerdir.

İmalat Sınırlayıcıları

Bunlar fonksiyonellik, imalat ve estetik açıdan uyulması gereken sınırlayıcılardır. Maksimum plak kalınlığı, minimum çatı eğimi, bir plağın minimum kalınlığı tipik imalat sınırlayıcılarıdır.

Sınırlayıcıların değerleri şartnamelerde denklem (3.1) ve (3.2)’deki gibi matematiksel olarak eşitsizlik veya eşitlik biçiminde ifade edilir.

$$g_j(x) \leq 0 \quad j = 1, \dots, n \quad (3.1)$$

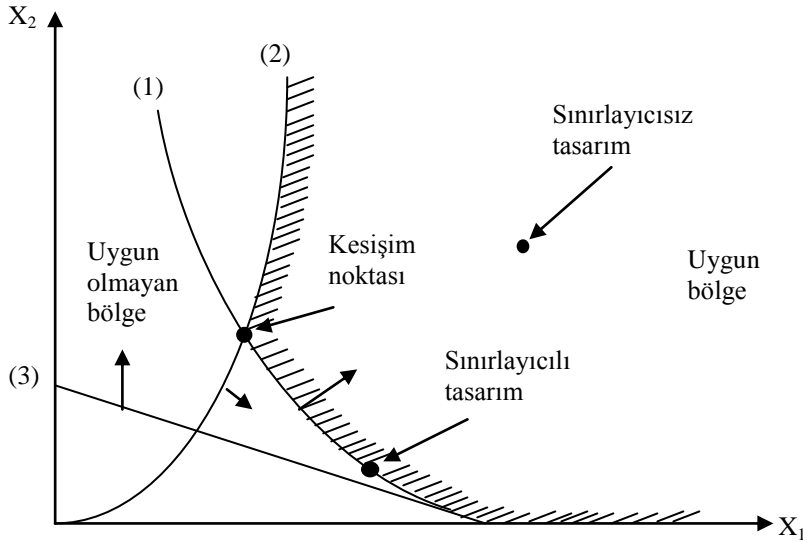
$$h_k(x) = 0 \quad k = 1, \dots, m \quad (3.2)$$

Burada m ve n sırasıyla eşitlik ve eşitsizlik sınırlayıcılarının sayısını, x ise tasarım değişkeni vektörünü göstermektedir.

3.1.2.3. Tasarım Uzayı

Tasarım değişkenlerinin tanımlı olduğu uzaya tasarım veya boyutlandırma uzayı denir. Tasarım uzayındaki her bir tasarım değişkeni bir boyutu oluşturur. N değişkenli genel durumda N boyutlu uzay söz konusudur.

Tüm sınırlayıcıları sağlayan tasarım uygun tasarım olmaktadır. Tasarım değişkenlerinin sağladığı $g_j(x) = 0$ denklemi tasarım uzayını $g_j > 0$ ve $g_j < 0$ olmak üzere iki kısma ayırmaktadır. Şekil 3.1’de X_1 ve X_2 tasarım değişkenlerini ifade etmektedir. (1), (2) eğrisi ve (3) doğrusu tasarım değişkenleri cinsinden ifade edilen sınırlayıcılara ait fonksiyonları göstermektedir. Ok işaretleri bu sınırlayıcıların sağlandığı bölgeyi gösterir. Görüldüğü gibi tüm sınırlayıcıların sağlandığı bölgeye ‘uygun bölge’ denir. Uygun bölgedeki tüm noktalar ‘sınırlayıcısız tasarım’ adını alır. Yüzeydeki $g_j(x) = 0$ koşulunu sağlayan noktalar ise ‘sınırlayıcı tasarım’ olmaktadır. Bir tasarım noktasında j’nci sınırlayıcı $g_j(x) = 0$ ise ‘aktif sınırlayıcı’, $g_j(x) < 0$ olursa ‘pasif sınırlayıcı’ adını alır. Hiç bir sınırlayıcıyı sağlamayan tasarımların oluşturduğu bölgeye ‘uygun olmayan bölge’ denir.



Şekil 3.1. İki boyutlu tasarım uzayı

3.1.2.4. Amaç Fonksiyonu

Fonksiyonel ihtiyaçlara cevap veren ve aynı zamanda sınırlayıcıları sağlayan sonsuz sayıda uygun tasarım içinde en iyisinin tespit edilmesi, bu tasarımlar arasında karşılaştırma yapmakla mümkündür. Bu amaçla tasarım değişkenlerini içeren ve optimizasyon sürecinde maksimum veya minimumu araştırılan fonksiyon, amaç fonksiyonu (Bazı kaynaklarda maliyet fonksiyonu) adını almaktadır. $F(x)$ ile ifade edeceğimiz bu fonksiyon değişkenleri yapı ağırlığı, yapı maliyeti veya bizim belirleyeceğimiz başka bir kriteri temsil edebilir. Amaç fonksiyonunun seçimi optimizasyon sürecindeki en önemli kararlardan biridir. Bazen amaç fonksiyonunun seçimi çok kolaydır. Örneğin, ağırlık kolaylıkla hesaplanabilen bir büyüklük olduğundan optimizasyon işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak çoğu optimizasyon problemi sadece minimum ağırlığı bulmakla sınırlanmamıştır. Amaç fonksiyonumuzun malzeme maliyeti, malzeme nakliyesi, bakım ve onarım giderleri gibi kriterleri de içermesi istenebilir. Bu durumlarda amaç fonksiyonunun elde edilmesini güçleşir. Bununla beraber optimizasyon da genel olarak maliyet veya ağırlık gibi kolay biçimde ifade edilebilen bir fonksiyon belirlenir.

3.1.2.5. Optimizasyon Probleminin Matematiksel İfadesi

Optimum tasarım problemi, aşağıdaki (3.3) eşitsizliği ve (3.4) eşitliği ile (3.5) denklemini sağlayan x tasarım değişkenleri takımının seçimi olarak ifade edilir.

$$g_j(x) \leq 0 \quad j = 1, \dots, n \quad (3.3)$$

$$h_k(x) = 0 \quad k = 1, \dots, m \quad (3.4)$$

$$W = \min F(x) \quad (3.5)$$

Burada n , m eşitsizlik ve eşitlik sınırlayıcısı sayısını, (3.3) denklemini eşitsizlik sınırlayıcılarını, (3.4) denklemini eşitlik sınırlayıcılarını, (3.5) denklemini ise minimumu aranan amaç fonksiyonunu ifade etmektedir

3.1.3. Klasik Optimizasyon Yöntemleri

Klasik optimizasyon yöntemleri matematik programlama yöntemleri olarak da adlandırılabilir. Matematik programlama yöntemleri lineer programlama yöntemleri ve lineer olmayan programlama yöntemleri olarak ikiye ayrılır.

3.1.3.1. Matematik Programlama

Matematik programlama, denklem (3.3), (3.4) ve (3.5)'te matematiksel formülasyonu verilen optimizasyon problemini sayısal araştırma yöntemleriyle çözmektedir. Matematik programlama ile çok sayıda tasarım değişkeni ve sınırlayıcısı olan problemler çözülebilmektedir. Yöntem sürekli tasarım değişkenleri için uygundur. Matematik programlama sınırlayıcıların ve amaç fonksiyonunun, tasarım değişkenlerinin lineer veya lineer olmayan terimleri olarak ifade edilmesine göre iki gruba ayrılmıştır. Bu konuda yapılan bazı çalışmalar şöyle sıralanabilir. Lev (1981) çalışmasında matematik programlama yöntemini yapıların şekil ve topolojik optimizasyonunda kullanmıştır. Arora ve Belegundu (1984) yapısal optimizasyonda kullanılan matematik programlama yöntemlerini karşılaştırmalı olarak tartışmışlardır.

Lineer Programlama

Lineer programlamada, sınırlayıcılar ve amaç fonksiyonu tasarım değişkenlerinin lineer terimleri olarak ifade edilmektedir. Kirsch (1981) ve Morris (1982)'de Simplex ve diğer lineer programlama problemleri için çözüm yöntemlerini vermişlerdir. Reinschmidit ve Russel (1974) ızgara ve kafes sistemlerin şekil optimizasyonunda lineer programlamayı kullanmışlardır. Çok değişkenli ve sınırlayıcı problemlerin çözümüne olanak sağlaması programın başlıca avantajlarından. Bu avantajlarından dolayı bazı pratik lineer olmayan programlama problemleri lineer programlama vasıtasıyla çözülmektedir.

Lineer Olmayan Programlama

Bu yöntemde sınırlayıcılar ve amaç fonksiyonu, tasarım değişkenlerinin lineer olmayan terimleri olarak ifade edilmektedir. Lineer olmayan programlama problemleri sınırlayıcısız ve sınırlayıcı olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Sınırlayıcısız lineer olmayan programlama problemlerinde herhangi bir sınırlayıcı göz önüne alınmaz.

Sınırlayıcılı lineer olmayan programlama problemleri ise ceza fonksiyonları vasıtasıyla sınırlayıcısız hale getirilerek çözülebilmektedir. Lineer olmayan programlamanın bir dalı olan geometrik programlamada amaç fonksiyonu tasarım değişkenlerinin polinom ifadeleri biçiminde olmaktadır. Geometrik programlama ile ilgili çözüm teknikleri Kirsch (1981)' de verilmiştir.

3.1.3.2. Sınırlayıcısız Lineer Olmayan Programlama Yöntemleri

Gradyen Yöntemleri

Adından da anlaşılacağı gibi, gradyen yöntemleri optimumu belirleyen etkili algoritmalar üretmek için türev bilgilerini doğrudan kullanır. Bazı önemli matematik kavramlar ve işlemler aşağıda açıklanmıştır (Chapra ve Canale 2003).

Gradyenler ve Hessianlar

Analitik hesap bilgilerden hatırlanacağı gibi, bir boyutlu bir fonksiyonun birinci türevi, diferansiyeli alınan fonksiyonun eğimini veya o noktadaki teğetini ifade eder. Optimizasyon açısından bu önemli bir bilgidir. Örneğin, eğimin pozitif olması, bağımsız değişkeni artırmanın incelenen fonksiyonun değerini artıracak anlamına gelir.

Ayrıca yine analitik hesap bilgilerinden hatırlanıldığı gibi, birinci türev bize fonksiyonun optimum bir noktasına ne zaman erişeceğimizi de söyler, çünkü burası türevin sıfıra gittiği noktadır. Dahası, ikinci türevin, işareti de bize bir minimuma mı (pozitif ikinci türev) yoksa bir maksimuma mı (negatif ikinci türev) ulaştığımızı söyler.

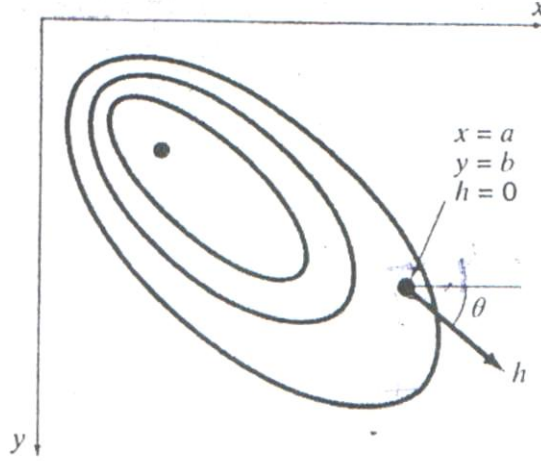
Bu fikirler bir boyutlu arama algoritmalarının incelendiği araştırmalarda işe yarar. Ancak çok boyutlu aramaları tam olarak anlayabilmek için önce birinci ve ikinci türevlerin çok boyutluluk bağlamında nasıl ifade edildiklerini kavramalıyız.

Gradyen

İki boyutlu bir $f(x, y)$ fonksiyonu olduğunu varsayalım. Bir dağın üzerindeki konumun fonksiyonu olarak deniz seviyesinden yükseklik böyle bir örnek olabilir. Dağın üzerinde belirli bir (a, b) konumunda olduğunu varsayalım ve herhangi bir doğrultudaki eğimi bulmak isteyelim. Yönü belirtmenin bir yolu, tanımını x , eksenini ile θ

açısı yapan yeni bir h eksenini boyunca yapmaktır (Şekil 3.2.). Bu eksen boyunca yükseklik yeni bir $g(h)$ fonksiyonu olarak düşünülebilir. Eğer konumu bu eksenin başlangıcı olarak tanımlarsa (yani $h=0$), bu yöndeki eğim $g'(0)$ olacaktır. Yöne bağlı türev adı verilen bu eğim x ve y eksenleri boyunca alınan kısmi türevlerle hesaplanabilir:

$$g'(0) = \frac{\partial f}{\partial x} \cos \theta + \frac{\partial f}{\partial y} \sin \theta \quad (3.6)$$



Şekil 3.2. Yöne bağlı gradyenin x eksenine θ açısı yapan bir h eksenini tanımlanması

burada kısmi türevler $x=a$ ve $y=b$ noktalarında hesaplanmıştır. Amacın bir sonraki adımında en fazla yükseltiyi sağlamak olduğu varsayılırsa, sorulacak en mantıklı soru şudur: En dik çıkış hangi yöndedir? Bu soruya yanıtı en güzel şekilde matematikte gradyen diye anılan ve

$$\nabla f = \frac{\partial f}{\partial x} i + \frac{\partial f}{\partial y} j \quad (3.7a)$$

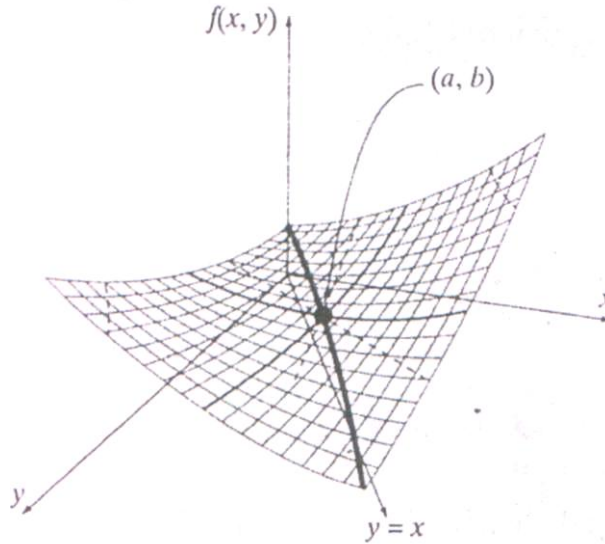
şeklinde ifade edilen kavram verir, Bu vektöre aynı zamanda " $del f$ " de denir ve $f(x, y)$ fonksiyonunun $x=a, y=b$ noktasındaki yöne bağlı türevini ifade eder. Vektör gösterimi gradyeni n boyuta genelleştirmek için kısa ve öz bir ortam oluşturur.

$$\nabla f(x) = \begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x_1} \\ \frac{\partial f}{\partial x_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial f}{\partial x_n} \end{Bmatrix} \quad (3.7b)$$

Gradyen nasıl kullanılır ?. Dağa Tırmanma problemi için, eğer en hızlı şekilde yükseklik kazanmak isteniyor ise, gradyen bize yerel olarak hangi yönde ilerlenmesi gerektiğini ve bu yönde gidilirse ne kadar kazanılacağını söyler.

Hessian

Bir boyutlu problemlerde, hem birinci hem de ikinci türevler optimumun aranmasında değerli bilgiler verir. Birinci türev (a) fonksiyonun en dik yörüngesini belirler ve (b) optimuma ulaşıldığını belirtir. Optimum noktasına gelindiğinde ikinci türev bir maksimumda mı (negatif $f''(x)$) yoksa bir minimumda mı (pozitif $f''(x)$) olduğunu söyler. Önceki paragraflarda gradyenin çok boyutlu problemlerde nasıl en iyi yörüngeleri belirlediği gösterildi. Şimdi bu bağlamda ikinci türevin nasıl kullanıldığını görülecektir.



Şekil 3.3. Bir eyer noktası ($x=a$ ve $y=b$).

Eğer x ve y 'ye göre kısmi türevlerin her ikisi de negatifse bir maksimuma gelindiği beklenebilir. Şekil 3.3. bunun doğru olmadığı bir fonksiyonu göstermektedir. Bu grafikte (a, b) noktası x boyutu veya y boyutundan bakıldığında bir minimum gibi gözükmektedir. Her iki durumda da kısmi türevler pozitifdir. Ancak fonksiyona $x=y$ doğrusundan bakılırsa aynı noktada bir maksimum olduğu görülür. Bu şekle eyer denir ve açıkça bu nokta ne bir maksimum ne de bir minimumdur.

Bir minimum mu yoksa bir maksimum mu olduğu sadece x ve y 'ye göre ikinci türevlere değil, aynı zamanda x ve y 'ye göre karışık ikinci türeve de bağlıdır. Kısmi türevlerin hesaplanan nokta ve çevresinde sürekli olduğu varsayılırsa aşağıdaki ifade hesaplanabilir:

$$|H| = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right)^2 \quad (3.8)$$

Üç durum olabilir:

- Eğer $|H| > 0$ ve $\delta^2 f / \delta x^2 > 0$ ise, $f(x, y)$ 'nin yerel minimumu vardır.
- Eğer $|H| > 0$ ve $\delta^2 f / \delta x^2 < 0$ ise, $f(x, y)$ 'nin yerel maksimumu vardır.
- Eğer $|H| > 0$ ise, $f(x, y)$ 'nin eyer noktası vardır.

$|H|$ niceliği, ikinci türevlerden oluşmuş bir matrisin determinantına eşittir.

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Buradaki matris, f 'nin Hessian' ı diye anılır.

Çok boyutlu bir fonksiyonun optimuma ulaşıp ulaşmadığını anlamak için bir yol sunması yanında Hessian'ın optimizasyonda başka kullanım yerleri de vardır (örneğin Newton yönteminin çok boyutlu sistemlere uygulanmasında). Özellikle aramalara ikinci derece eğrilik getirerek mükemmel sonuçlar elde edilmesini sağlar.

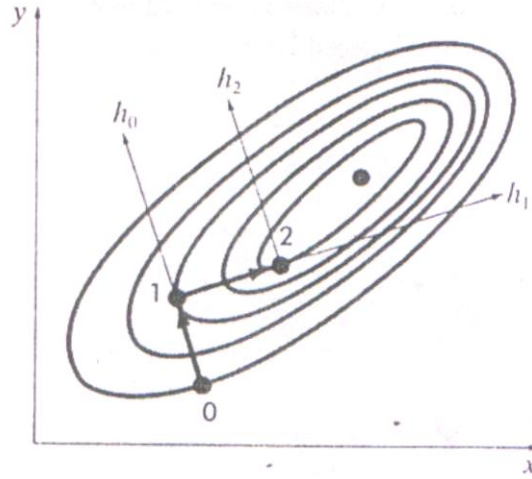
En Hızlı Artış Yöntemi

Bir tepeye tırmanırken kullanılacak çok açık bir strateji, başlangıç noktasında maksimum eğimi belirlemek ve o yönde yürümeye başlamaktır. Fakat aynı anda bir başka sorun ortaya çıkar. Tesadüfen optimum başlangıç noktasından ve doğrudan tepeyi gösteren bir yamaçtan başlanılmadıysa, hareket eder etmez yol en hızlı artış yönünden sapacaktır.

Bu gerçeğin farkında olarak aşağıdaki strateji benimsenebilir. Gradyen doğrultusunda kısa bir süre yürünebilir. Daha sonra durup gradyeni tekrar hesaplayıp kısa bir mesafe daha yürünebilir. Süreci tekrarlayarak en sonunda tepeye ulaşılır.

Bu strateji ilk bakışta geçerli görünse de pratik değildir. Özellikle gradyenin tekrar tekrar belirlenmesi hesaplama açısından zor olabilir. Tercih edilen bir yaklaşımda ilk gradyenin sabit doğrultusunda $f(x,y)$ 'nin artışı duruncaya kadar ilerlemeye, yani yol hareket edilen yönde düzleşinceye kadar devam edilir. Bu durma noktası artık, ∇f 'nin yeniden hesaplandığı ve yeni bir yönün belirlendiği başlangıç noktası olur. Tepeye ulaşınca kadar bu süreç tekrarlanır. Bu yaklaşıma en hızlı artış yöntemi denir. Gradyenli arama teknikleri arasında en açık ve doğrudan olanıdır. Yöntemin dayandığı temel fikir Şekil 3.4.'te gösterilmiştir.

Şekil üzerinde "0" ile belirlenmiş başlangıç noktası (x_0, y_0) 'dan hareket edilir. Bu noktada en hızlı artış yönünü, yani gradyen belirlenir. Sonra gradyenin yönünde, yani h_0 yönünde aramaya başlanır ve şekilde "1" ile gösterilen maksimumu buluncaya kadar devam edilir. Daha sonra süreci tekrarlanır. Böylece problem iki kısma indirgenir: (1) Aranacak "en iyi yönün" belirlenmesi ve (2) o arama yönünde "en iyi değerin" bulunması.

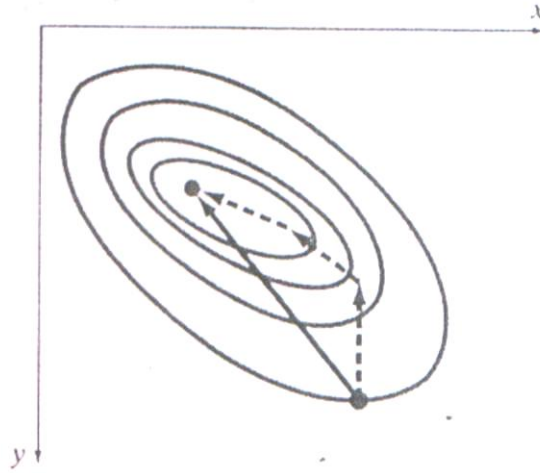


Şekil 3.4. En hızlı artış yönteminin grafik gösterimi

İleri Gradyen Yaklaşımları

Eşlenik Gradyen Yöntemi (Fletcher-Reeves)

Eşlenik gradyenler kullanarak doğrusal yakınsak en hızlı artış yöntemini iyileştirilebilir. Gerçekten de, gösterileceği gibi, arama yönlerini tanımlamada eşlenik gradyenlerden yararlanan biri optimizasyon yöntemi, ikinci derece yakınsaktır. Bu özellik aynı zamanda, yöntemin, ikinci derece bir fonksiyonu, başlangıç noktası ne olursa olsun sonlu sayıda adımda tam olarak optimize edebileceğini de garanti eder. Düzgün davranışlı fonksiyonların çoğu optimum nokta civarında oldukça iyi bir şekilde ikinci derece fonksiyonlarla yaklaşık olarak ifade edilebildiklerinden, ikinci derece yakınsak yaklaşımlar genellikle optimum civarında çok etkilidirler. Öte yandan, türevlerin hesaplanması kolaysa, başlangıçta güçlü bir işleyiş ortaya koyan ve optimuma yaklaştıkça hızlı yakınsama sağlayan bir algoritma tasarlamak için en hızlı artış ve eşlenik yönler fikirleri birleştirilebilir. Fletcher-Reeves eşlenik gradyen algoritması, en hızlı artış yöntemini, birbirini izleyen arama yönlerinin kendi aralarında eşlenik olmaları şartını getirerek düzeltir. Bu konuyla ilgili ayrıntılı bilgi Rao (1996) tarafından verilmiştir.



Şekil 3.5. Başlangıç noktası optimuma yakınsa, gradyeni izlemek etkili olmayabilir. Newton yöntemi optimuma doğrudan bir yol izleyerek ulaşmaya çalışır(kalın çizgi)

Newton Yöntemi

Tek değişken için tanıtılan Newton yöntemi çok değişkenli uygulamalara genişletilebilir. $f(x)$ fonksiyonu için $x = x_i$ noktası civarında ikinci derece Taylor serisi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$f(x) = f(x_i) + \nabla f^T(x_i)(x - x_i) + \frac{1}{2}(x - x_i)^T H_i(x - x_i) \quad (3.10)$$

Burada H_i Hessian matrisidir. Minimumda,

$$\frac{\partial f(x)}{\partial x_j} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.11)$$

için olup,

$$\nabla f = \nabla f(x_i) + H_i(x - x_i) = 0 \quad (3.12)$$

yazılabilir. Eğer H tekil ise,

$$x_{i+1} = x_i - H_i^{-1} \nabla f \quad (3.13)$$

olur ve gösterilebileceği gibi bu ifade de optimum civarında ikinci dereceden yakınsar. Bu yöntem de yine en hızlı artış yönteminden daha iyi işler (Şekil 3.5). Ancak dikkat edilirse yöntem her iterasyonda hem ikinci türevin hem de matris inversinin hesaplanmasını gerektirir. Bu nedenle yöntem, pratikte çok sayıda değişkene bağlı fonksiyonlar için kullanışlı değildir. Dahası, eğer ilk tahmin optimuma yakın değilse, Newton yöntemi yakınsamayabilir.

Kısmi Newton Yöntemi

Kısmi Newton veya değişken metrik yöntemleri optimuma giden doğrudan yolu Newton yöntemine benzer bir şekilde bulmaya çalışırlar. Ancak dikkat edilirse, (3.9) eşitliğindeki Hessian matrisi f' nin adımdan adıma değişen ikinci türevlerinden oluşmuştur. Kısmi Newton yöntemi bu zorluğu aşabilmek için, H matrisini f' nin sadece birinci kısmı türevlerini içeren başka bir A matrisiyle yaklaşık olarak ifade eder. Yaklaşım, H^{-1} in yaklaşık bir tahminiyle başlar ve her iterasyonda onu güncelleştirip iyileştirir. Yöntemlere kısmi Newton denmesinin nedeni, gerçek Hessian yerine bir yaklaştırmasının kullanılmasıdır. Böylece eşzamanlı olarak çalışan iki yaklaştırma vardır: (1) esas Taylor serisi yaklaştırması ve (2) Hessian yaklaştırması.

Bu şekilde çalışan iki önemli yöntem vardır: Davidon-Fletcher-Powell (DFP) ve Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) algoritmaları. Her iki yöntem de, yuvarlatma hataları ve yakınsama konularını ele alış biçimleri dışında birbirine benzer. Birçok durumda BFGS'nin daha üstün olduğu kabul edilir. Gerek DFP gerekse BFGS algoritmalarının ayrıntıları ve gerçek komutları Rao (1996) tarafından verilmiştir.

3.1.3.3. Sınırlayıcı Lineer Olmayan Programlama Yöntemleri

Kısıtlamaların olması halinde doğrusal olmayan optimizasyon problemlerini ele alan bazı yaklaşımlar vardır. Bunlar genelde, doğrudan ve dolaylı yaklaşımlar diye ikiye ayrılabilir (Rao, 1996). Tipik bir dolaylı yaklaşım ek fonksiyon diye anılan fonksiyonları kullanır. Bu yaklaşımlarda, amaç fonksiyona ek terimler ilave edilerek çözümün kısıtlara yaklaşıldığında daha az optimum olması sağlanır. Böylece çözümün kısıtlara uymaması caydırıcı olur. Bu tip yöntemler bazı problemler için yararlı olsalar da, problem birçok kısıt içerdiği zaman uygulanmaları zorlaşır.

Genelleştirilmiş ve indirgenmiş gradyen (GİG) arama yöntemi doğrudan yöntemler arasında daha sık kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem aslında Excel Solver içerisinde kullanılan yöntemdir.

Yöntem, problemi önce kısıtlamasız optimizasyon problemine "indirger". Bunu gerçekleştirme yolu, temel değişkenleri, temel olmayan değişkenler cinsinden ifade eden bir doğrusal olmayan denklem takımını çözmektir. Daha sonra elde edilen kısıtlamasız problem, önceki bölümlerde anlatılanlara benzer yaklaşımlar kullanılarak

çözülür. Önce amaç fonksiyonunu iyileştirecek bir arama yönü seçilir. Varsayılan seçim, önceki bölümlerde anlatılan ve Hessian matrisinin yaklaşık bir şeklinin saklanması gerektiren kısmi Newton yaklaşımıdır (BFGS). Bu yaklaşım birçok durumda gayet iyi işler. Eşlenik gradyen yaklaşımı da büyük sistemler için Excel'de bulunan bir yöntemdir. Excel Solver'ın güzel bir özelliği bellek durumuna (saklama yeri) göre otomatik olarak eşlenik gradyen yöntemine geçmesidir. Arama yönü bir kere belirlendi mi, bu doğrultu boyunca değişken adım büyüklüğü yaklaşımı kullanılarak bir boyutlu arama sürdürülür.

3.2. MATLAB ile Optimizasyon

3.2.1. MATLAB'ın Optimizasyon Fonksiyonları

MATLAB'ın optimizasyon fonksiyonları MATLAB'ın "Optimization Toolbox" ı içerisinde yer almaktadır.

3.2.1.1. Linprog Fonksiyonu

Lineer programlama problemlerinin çözümünde kullanılır. Bu arşiv fonksiyonu fonksiyonun minimum değerini bulur. Bu arşiv fonksiyonuna verilmesi gereken değerle (girdi bilgileri), komutun alacağı seçenekler (OPTIONS) ve çıktı parametrelerin neler olduğu aşağıdaki çizelgeler ile ifade edilmiştir. Linprog fonksiyonu aşağıdaki şekilde belirlenmiş problemin minimumunu bulur.

$$\min_x f^T x \begin{cases} A \cdot x \leq b \\ Aeq \cdot x = beq \\ lb \leq x \leq ub \end{cases} \quad (3.14)$$

burada f, x, b, beq, lb ve ub vektörler, A ve Aeq matrislerdir.

Çizelge 3.1. Linprog fonksiyonunun kullanımı

```
x = linprog(f,A,b)
x = linprog(f,A,b,Aeq,beq)
x = linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,ub)
x = linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,ub,x0)
x = linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,ub,x0,options)
[x,fval] = linprog(...)
[x,fval,exitflag] = linprog(...)
[x,fval,exitflag,output] = linprog(...)
[x,fval,exitflag,output,lambda] = linprog(...)
```

Yukarıdaki Çizelge 3.1. de linprog arşiv fonksiyonunun en yalın kullanım ve en ileri kullanım biçimi verilmiştir. Temel kullanım aynı olmasına karşın ne tür bilgi girişi yapılacağı ve optimum tasarım sonucunda ne tür bilgilerin elde edilmek istendiği kullanım biçimine göre belirlenmektedir. Kullanılan değişkenlerin önceden tanımlanmış olması gereklidir. Çizelge 3.2. de linprog arşiv fonksiyonunun kullanımındaki parametrelerin detaylı açıklaması verilmiştir.

Çizelge 3.2. Linprog fonksiyonunun parametrelerinin anlamları

Parametre	Anlamı
Girdi Parametreleri	
f	Amaç fonksiyonu
A, b	Lineer eşitlik kısıtlayıcı fonksiyonun katsayıları ($A*x \leq b$)
Aeq, beq	Lineer eşitlik kısıtlayıcı fonksiyonun katsayıları $Aeq*x = beq$
lb	Tasarım değişkenlerin alt sınırı
ub	Tasarım değişkenlerin üst sınırı
x0	Tasarım değişkenlerinin başlangıç değerleri
options	Optimizasyon algoritmasını kontrol eden seçenekler
Çıktı Parametreleri	
x	Optimum tasarım değişkenleri
fval	Optimum noktada amaç fonksiyonunun değeri
exitflag	Sonuç kontrol değeri
output	Optimizasyon çözümü hakkında daha detaylı bilgi verir
lambda	Lagrange çarpanlarının değerleri

Seçilen optimizasyon metodunun kontrolünü sağlamak için OPTIONS parametresi ile belirtilen pek çok argüman vardır. İlgili komutun, MATLAB tarafından atanan geçerli (default) değerleri yerine, bu argümanlar OPTIMSET komut yardımıyla değiştirilerek kullanıcının tanımladığı ve optimizasyon tekniğini kullandığı değerler değiştirilebilir.

3.2.1.2. Fminsearch Fonksiyonu

Bu arşiv fonksiyonu sınırlayıcısız, çok değişkenli optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılır. Bu arşiv fonksiyonu fonksiyonun minimum değerini bulur. Bu arşiv fonksiyonuna verilmesi gereken değerle (girdi bilgileri), komutun alacağı seçenekler (OPTIONS) ve çıktı parametrelerin neler olduğu aşağıdaki çizelgeler ile ifade edilmiştir. Fminsearch fonksiyonu aşağıdaki şekilde belirlenmiş problemin minimumunu bulur.

$$\min_x f(x) \quad (3.15)$$

burada x bir vektör, $f(x)$ sonucu skaler olan amaç fonksiyonudur.

Çizelge 3.3. Fminsearch fonksiyonunun kullanımı

```
x = fminsearch(fun,x0)
x = fminsearch(fun,x0,options)
[x,fval] = fminsearch(...)
[x,fval,exitflag] = fminsearch(...)
[x,fval,exitflag,output] = fminsearch(...)
```

Bu arşiv fonksiyonunun kullanımında bir önceki arşiv fonksiyonu ile aynı biçimdedir. Kullanım biçimi Çizelge 3.3. te gösterilmiştir. Kullanış biçimindeki farklı parametrelerin anlamları da Çizelge 3.4. te ifade edilmiştir.

Çizelge 3.4. Fminsearch fonksiyonunun parametrelerinin anlamları

Parametre	Anlamı
Girdi Parametreleri	
fun	Amaç fonksiyonu
x0	Tasarım değişkenlerinin başlangıç değerleri
options	Optimizasyon algortitmasını kontrol eden seçenekler

3.2.1.3. Fminbnd Fonksiyonu

Bu arşiv fonksiyonu tek değişkenli, tasarım değişkeninin belirli bir aralıktaki değerine bağlı kalarak optimizasyon problemlerini çözer. Bu arşiv fonksiyonu fonksiyonun minimum değerini bulur. Bu arşiv fonksiyonuna verilmesi gereken değerler (girdi bilgileri), komutun alacağı seçenekler (OPTIONS) ve çıktı parametrelerin neler olduğu aşağıdaki çizelgeler ile ifade edilmiştir. Bu fonksiyonu aşağıdaki şekilde belirlenmiş problemin minimumunu bulur.

$$\min_x f(x) \quad x_1 \leq x \leq x_2 \quad (3.16)$$

burada x , x_1 ve x_2 skaler değerler, $f(x)$ sonucu skaler olan amaç fonksiyonudur.

Çizelge 3.5. Fminbnd fonksiyonunun kullanımı

```

x = fminbnd(fun,x1,x2)
x = fminbnd(fun,x1,x2,options)
[x,fval] = fminbnd(...)
[x,fval,exitflag] = fminbnd(...)
[x,fval,exitflag,output] = fminbnd(...)

```

Bu arşiv fonksiyonunun kullanım biçimi çizelge 3.5. te gösterilmiştir. Çizelge 3.6. da ise diğer fonksiyonların kullanımından farklı olan parametre(ler)in anlamları ifade edilmiştir.

Çizelge 3.6. Fminbnd fonksiyonunun parametrelerinin anlamları

Parametre	Anlamı
Girdi Parametreleri	
x1, x2	Tasarım dğişkenin alabileceği değer aralıkları

3.2.1.4. Fminunc Fonksiyonu

Bu arşiv fonksiyonu tek veya çok değişkenli ve sınırlayıcısız optimizasyon problemlerini çözer. Amaç fonksiyonunun minimum değerini bulur. Bu arşiv fonksiyonuna verilmesi gereken değerle (girdi bilgileri), komutun alacağı seçenekler (OPTIONS) ve çıktı parametrelerin neler olduğu aşağıdaki çizelgeler ile ifade edilmiştir. Bu fonksiyonu aşağıdaki şekilde belirlenmiş problemin minimumunu bulur.

$$\min_x f(x) \quad (3.17)$$

burada x vektör ve $f(x)$ sonucu skaler olan amaç fonksiyonudur.

Çizelge 3.7. Fminunc fonksiyonunun kullanımı

```

x = fminunc(fun,x0)
x = fminunc(fun,x0,options)
[x,fval] = fminunc(...)
[x,fval,exitflag] = fminunc(...)
[x,fval,exitflag,output] = fminunc(...)
[x,fval,exitflag,output,grad] = fminunc(...)
[x,fval,exitflag,output,grad,hessian] = fminunc(...)

```

Bu arşiv fonksiyonunun kullanım biçimi çizelge 3.7. de gösterilmiştir. Çizelge 3.8. de ise diğer fonksiyonların kullanımından farklı olan parametre(ler)in anlamları ifade edilmiştir.

Çizelge 3.8. Fminunc fonksiyonunun parametrelerinin anlamları

Parametre	Anlamı
Çıktı Parametreleri	
grad	Optimum noktada hedef fonksiyonun gradyanti
hessian	Optimum noktada hessian matrisinin değeri

3.2.1.5. Quadprog Fonksiyonu

Quadratic programlama problemlerinin çözümünde kullanılır. Fonksiyonun minimumunu bulur. Bu arşiv fonksiyonuna verilmesi gereken değerle (girdi bilgileri), komutun alacağı seçenekler (OPTIONS) ve çıktı parametrelerin neler olduğu aşağıdaki çizelgeler ile ifade edilmiştir. Bu fonksiyonu aşağıdaki şekilde belirlenmiş problemin minimumunu bulur.

$$\min_x \frac{1}{2} x^T Hx + f^T x \left\{ \begin{array}{l} Ax \leq b \\ Aeq.x = beq \\ lb \leq x \leq ub \end{array} \right. \quad (3.18)$$

burada H , A ve Aeq matris, f , b , beq , lb , ub ve x vektör formundadır.

Çizelge 3.9. Quadprog fonksiyonunun kullanımı

```
x = quadprog(H,f,A,b)
x = quadprog(H,f,A,b,Aeq,beq)
x = quadprog(H,f,A,b,Aeq,beq,lb,ub)
x = quadprog(H,f,A,b,Aeq,beq,lb,ub,x0)
x = quadprog(H,f,A,b,Aeq,beq,lb,ub,x0,options)
[x,fval] = quadprog(...)
[x,fval,exitflag] = quadprog(...)
[x,fval,exitflag,output] = quadprog(...)
[x,fval,exitflag,output,lambda] = quadprog(...)
```


Bu arşiv fonksiyonunun kullanım biçimi çizelge 3.7. de gösterilmiştir. Çizelge 3.8. de ise diğer fonksiyonların kullanımından farklı olan parametre(ler)in anlamları ifade edilmiştir.

Çizelge 3.10. Quadprog fonksiyonunun parametrelerinin anlamları

Parametre	Anlamı
Girdi Parametreleri	
H	Hessian matrisi
f	Fonksiyonun matris notasyonu

3.2.1.6. Fmincon Fonksiyonu

Bu arşiv fonksiyonu en genel optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılır. Bu arşiv fonksiyonu lineer sınırlayıcı, lineer sınırlayıcısız, lineer olmayan sınırlayıcı, lineer olmayan sınırlayıcısız, çok veya tek değişkenli optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılır. Bu fonksiyonla lineer veya lineer olmayan amaç fonksiyonu kullanılabilir. En genel halinde “fmincon”, gradyan ve hessian temelli yöntemler kullanarak lineer olmayan programlama problemini çözer. Bu özelliklerinden dolayı bu çalışmada fmincon arşiv fonksiyonu kullanılmıştır. Çizelge 3.11. de fmincon komutunun, en yalın kullanımdan en ileri kullanımı ile ilgili biçimi verilmiştir. Burada temel kullanım biçimi benzer olmasına rağmen, optimizasyon problemi ile alakalı her türlü bilgi girişi ve optimum çözüm elde edildiğinde ne tür sonuçların, komut tanımlanmada eşitliğin sağ tarafında verilen değişkenlere atanacağı tanımlanır. Dolayısıyla komutta ilgili değişkenlerin mutlaka önceden tanımlı olması gerekir. Bu nedenle çizelge 3.12. de fmincon komutun alacağı parametrelerin detaylı açıklaması verilmiştir. Bu fonksiyon aşağıdaki şekilde belirlenmiş problemin minimumunu bulur.

$$\min f(x) \begin{cases} c(x) \leq 0 \\ ceq(x)=0 \\ A.x \leq b \\ Aeq.x=beq \\ lb \leq x \leq ub \end{cases} \quad (3.19)$$

burada x , b , beq , lb ve ub vektörler, A ve Aeq matrisler, $c(x)$ ve $ceq(x)$ geri dönüşü vektör olan fonksiyonlardır. $f(x)$ sonucu skaler olan amaç fonksiyonu, $c(x)$ ve $ceq(x)$ lineer olmayan fonksiyonlardır.

Çizelge 3.11. Fmincon fonksiyonunun kullanımı

```
x = fmincon(fun,x0,A,b)
x = fmincon(fun,x0,A,b,Aeq,beq)
x = fmincon(fun,x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub)
x = fmincon(fun,x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub,nonlcon)
x = fmincon(fun,x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub,nonlcon,options)
[x,fval] = fmincon(...)
[x,fval,exitflag] = fmincon(...)
[x,fval,exitflag,output] = fmincon(...)
[x,fval,exitflag,output,lambda] = fmincon(...)
[x,fval,exitflag,output,lambda,grad] = fmincon(...)
[x,fval,exitflag,output,lambda,grad,hessian] = fmincon(...)
```

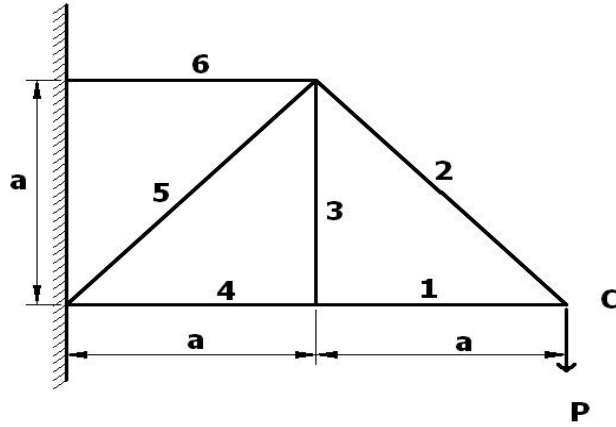
Çizelge 3.12. Fmincon fonksiyonunun parametrelerinin anlamları

Parametre	Anlamı
Girdi Parametreleri	
fun	Amaç fonksiyonu
A, b	Lineer eşitlik kısıtlayıcı fonksiyonun katsayıları
Aeq, beq	Lineer eşitlik kısıtlayıcı fonksiyonun katsayıları
lb	Tasarım değişkenlerin alt sınırı
ub	Tasarım değişkenlerin üst sınırı
x0	Tasarım değişkenlerinin başlangıç değerleri
nonlcon	Lineer olmayan kısıtlayıcı fonksiyonları içeren fonksiyon
options	Optimizasyon algoritmasını kontrol eden seçenekler
Çıktı Parametreleri	
x	Optimum tasarım değişkenleri
fval	Optimum noktada amaç fonksiyonunun değeri
exitflag	Sonuç kontrol değeri
output	Optimizasyon çözümü hakkında daha detaylı bilgi verir
lambda	Lagrange çarpanlarının değerleri
grad	Optimum noktada hedef fonksiyonun gradyanı
hessian	Optimum noktada hessian matrisinin değeri

3.2.2. Fmincon Fonksiyonu ile Kafes Sistemin Optimum Tasarımı

Bu bölümde fmincon fonksiyonunun uygulamasını göstermek üzere 6 çubuklu izostatik bir kafes sistemin optimum tasarımı yapılmıştır. Ancak burada kafes sistemin çubuk kuvvetleri ve deplasmanı bu çalışmanın kapsamı içerisinde olan analiz programından değil de; denge denklemleri ve virtüel iş denklemlerinden hesaplanmıştır. Aynı örnek bölüm 4.1' de bu çalışmanın kapsamında gerçekleştirilen programla çözülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil 3.6.' da geometrisi ve çubuk numaraları verilen çelik kafes sisteme C ucundan bir P kuvveti etkimektedir. Aşağıdaki Çizelge 3.13. te birinci kolonunda P kuvvetinden oluşan çubuk kuvvetleri, ikinci kolonunda ise P=1 kuvvetinden oluşan çubuk kuvvetleri verilmiştir. Örnekte yük P=4000 kgf, çeliğin

elastisite modülü $E=2100000 \text{ kgf/cm}^2$, çelik çekme emniyet gerilmesi $\sigma_{em}=1440 \text{ kgf/cm}^2$, özgül ağırlığı $\rho=0.00785 \text{ kgf/cm}^3$ ve $a=300 \text{ cm}$ alınmıştır.



Şekil 3.6. Altı elemanlı kafes sistem

Çizelge 3.13. Kafes sistemin çubuk kuvvetleri

Çubuk numarası	S_i	S_i'	L_i	EA_i	$\frac{S_i \cdot S_i' \cdot L_i}{E \cdot A_i}$
1	-P	-1	a	EA_1	Pa/EA_1
2	$(\sqrt{2})P$	$-\sqrt{2}$	$(\sqrt{2})a$	EA_2	$2(\sqrt{2}) Pa/EA_2$
3	0	0	a	EA_3	0
4	-P	-1	a	EA_4	Pa/EA_4
5	$-(\sqrt{2})P$	$-\sqrt{2}$	$(\sqrt{2})a$	EA_5	$2(\sqrt{2}) Pa/EA_5$
6	2P	2	a	EA_6	$4Pa/EA_6$

Amaç fonksiyonu:

$$f(x) = \rho \sum_{i=1}^6 A_i L_i \quad (3.20)$$

kafes sistemin ağırlığıdır. Amaç fonksiyonunu minimum yapan tasarım değişkenleri araştırılacaktır.

Tasarım değişkenleri: $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$ (çubuk yarıçapları), MATLAB' da $x(1), x(2), x(3), x(4), x(5), x(6)$ olarak temsil edilmektedir.

Gerilme Sınırlayıcıları:

$$\text{Çekme çubuklarında: } \frac{S_i}{A_i} \leq \sigma_{em} \quad (3.21)$$

$$\text{Basınç çubuklarında: } S_i \leq (P_{cr})_i \quad ; \quad P_{cr \ i} = \frac{\pi^2 EI_i}{\nu L_i^2} \quad (3.22)$$

Burada, $(P_{cr})_i$ i numaralı çubuğun kritik burkulma yükü.

$\nu = 2.5$ burkulma emniyet katsayısıdır.

Çubuklar dairesel kesitli olup i numaralı çubuğun yarıçapı r_i ' dir, i numaralı çubuğun atalet momenti:

$$I_i = \frac{\pi^2 r_i^4}{4} \quad (3.23)$$

Deplasman sınırlayıcısı:

$$\delta_c \leq \delta_{\max} = a/150 \quad (3.24)$$

Virtüel iş denklemine göre kafesin C ucunun düşey deplasmanı:

$$\begin{aligned} \delta_c &= \sum_{i=1}^6 \frac{S_i S'_i}{EA_i} L_i \\ \delta_c &= \frac{Pa}{E\pi} \left(\frac{1}{r_1^2} + \frac{2\sqrt{2}}{r_2^2} + \frac{1}{r_4^2} + \frac{2\sqrt{2}}{r_5^2} + \frac{4}{r_6^2} \right) \\ \frac{Pa}{E\pi} \underbrace{\left(\frac{1}{r_1^2} + \frac{2\sqrt{2}}{r_2^2} + \frac{1}{r_4^2} + \frac{2\sqrt{2}}{r_5^2} + \frac{4}{r_6^2} \right)}_D &\leq \frac{a}{150} \\ 150PD - E\pi &\leq 0 \end{aligned} \quad (3.25)$$

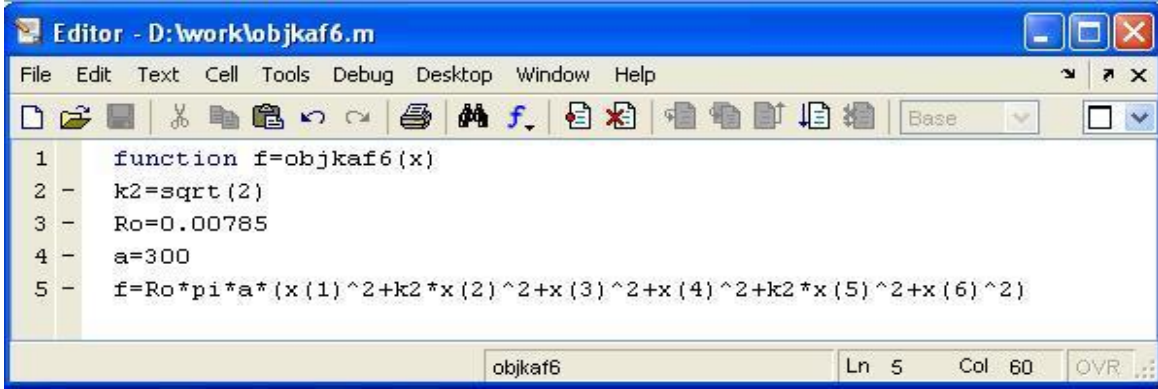
Burada A_i ve L_i i numaralı çubuğun kesit alanı ve uzunluğudur.

Yan sınırlayıcılar:

$$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6 \geq 1 \text{ cm} \quad (3.26)$$

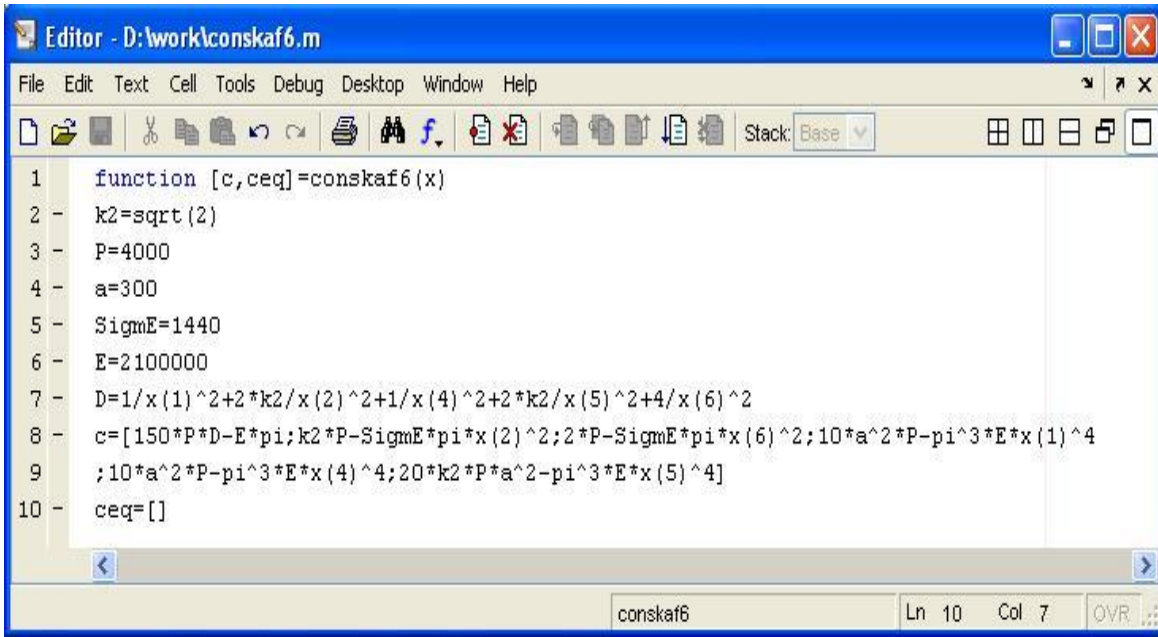
Bu çözümde amaç fonksiyonu Şekil 3.7. de ve lineer olmayan sınırlayıcılar Şekil 3.8. de verilen şekli ile iki ayrı M-dosyası halinde yazılmıştır. Daha sonra MATLAB' ın komut satırına fmincon arşiv fonksiyonunun kullanım biçimlerinden biri yazılmış ve

Şekil 3.9. da gösterildiği gibi optimum yarıçaplar elde edilmiştir(Hayalioğlu ve Günden 2010a).



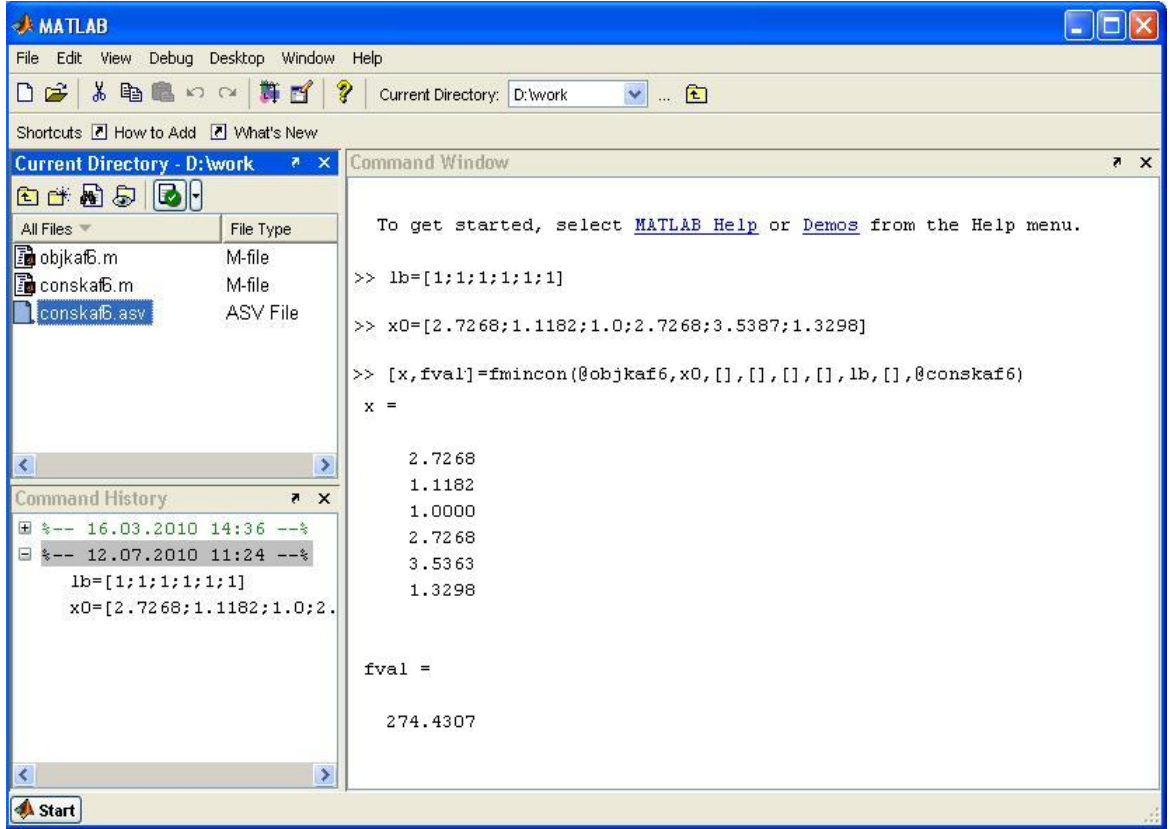
```
Editor - D:\work\objkaf6.m
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
function f=objkaf6(x)
- k2=sqrt(2)
- Ro=0.00785
- a=300
- f=Ro*pi*a*(x(1)^2+k2*x(2)^2+x(3)^2+x(4)^2+k2*x(5)^2+x(6)^2)
objkaf6 Ln 5 Col 60 OVR
```

Şekil 3.7. Amaç fonksiyonunun yazıldığı M-dosyası



```
Editor - D:\work\conskaf6.m
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
function [c,ceq]=conskaf6(x)
- k2=sqrt(2)
- P=4000
- a=300
- SigmE=1440
- E=2100000
- D=1/x(1)^2+2*k2/x(2)^2+1/x(4)^2+2*k2/x(5)^2+4/x(6)^2
- c=[150*P*D-E*pi;k2*P-SigmE*pi*x(2)^2;2*P-SigmE*pi*x(6)^2;10*a^2*P-pi^3*E*x(1)^4
;10*a^2*P-pi^3*E*x(4)^4;20*k2*P*a^2-pi^3*E*x(5)^4]
- ceq=[]
conskaf6 Ln 10 Col 7 OVR
```

Şekil 3.8. Lineer olmayan sınırlayıcıların yazıldığı M-dosyası



Şekil 3.9. Kullanılan fmincon arşiv fonksiyonunun komut ifadesinin yazıldığı komut penceresi

Bu çalışmada sunulan uygulamanın elde edilen sonuçları Çizelge 3.14. te Elektronik Tablo (Excel) kullanılarak yapılan optimum tasarım sonuçları ile kıyaslanmıştır (Hayalioğlu ve Gonden 2010b). Bu kıyaslama sonucunda sonuçların örtüştüğü görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar MATLAB programının optimizasyon arşiv fonksiyonu olan ‘fmincon’ kullanılarak yapılan optimum tasarımın mühendislik sistemlerinin optimizasyonunda kullanılabilir bir yöntem olduğunu göstermektedir.

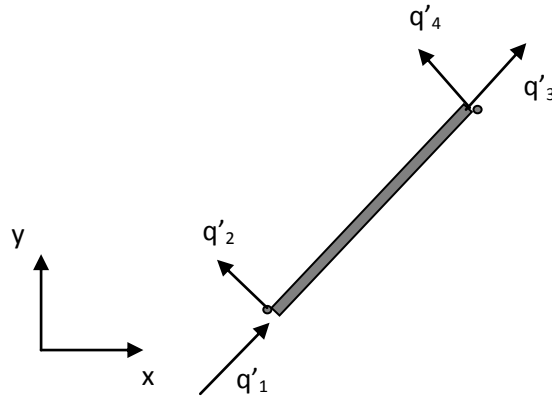
Çizelge 3.14. Optimum tasarım sonuçlarının karşılaştırılması

		MATLAB programının optimizasyon arşiv fonksiyonu olan 'fmincon' kullanılarak yapılan optimum tasarım sonuçları	Elektronik tablo kullanılarak yapılan optimum tasarım sonuçları
Kafes Sistemin Optimum Boyutlandırılması	Amaç Fonksiyonu	274.4307 kg	274.4307 kg
	r ₁	2.7268 cm	2.7268 cm
	r ₂	1.1182 cm	1.1182 cm
	r ₃	1.0 cm	1.0 cm
	r ₄	2.7268 cm	2.7268 cm
	r ₅	3.5363 cm	3.5363 cm
	r ₆	1.3298 cm	1.3298 cm

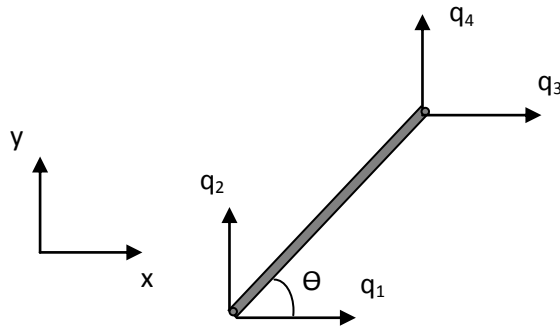
3.2.3. Kafes Sistemlerin Matris Deplasman Yöntemi ile Analizi

Kafes sistemler yapı mühendisliğinde en çok kullanılan sistemlerden biridir. Kafes sistemler elemanları çekme ya da basınç kuvveti taşıyan yapılardır. Kafes sistemlerde yükler sadece elemanların birleşim bölgelerine uygulanır ve elemanların sürtünmesiz mafsallarla uç noktalarından birbirlerine bağlandığı kabulü yapılır. Bilinen en basit kafes sistem üç elemanlı üçgen sistemdir. Bu çalışmada kafes sistemin analizinde matris deplasman yöntemini kullanan bir bilgisayar programı MATLAB progamlama dilinde yazılmıştır. Matris deplasman yönteminde elman rijitlik matrisi, sistem (yapı) rijitlik matrisi, deplasman vektörü ve yük vektörü gibi terimler kullanılmaktadır(Aköz 2005).

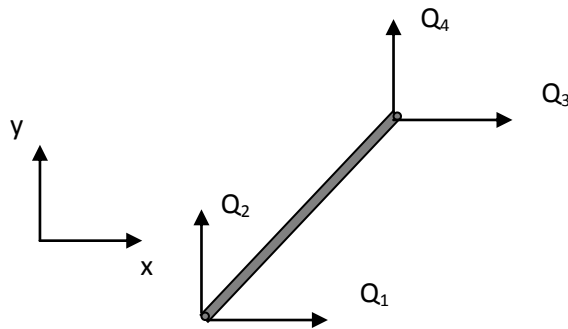
Kafes sistem elemanları farklı doğrultulara sahip olabilirler. Bu nedenle yapı (global) koordinat sistemindeki uç deplasmanları (Şekil 3.11) dönüşüm matrisleri ile çarpılır ve yerel (lokal) koordinat sistemine (Şekil 3.10) dönüştürülür. Aynı durum hesaplamalar sonucunda elde edilen yapı sistemindeki kuvvetler (Şekil 3.12.) için de geçerlidir. Burada da yapı koordinat sistemindeki kuvvetler dönüşüm matrisi ile çarpılıp yerel koordinat sistemine dönüştürülür.



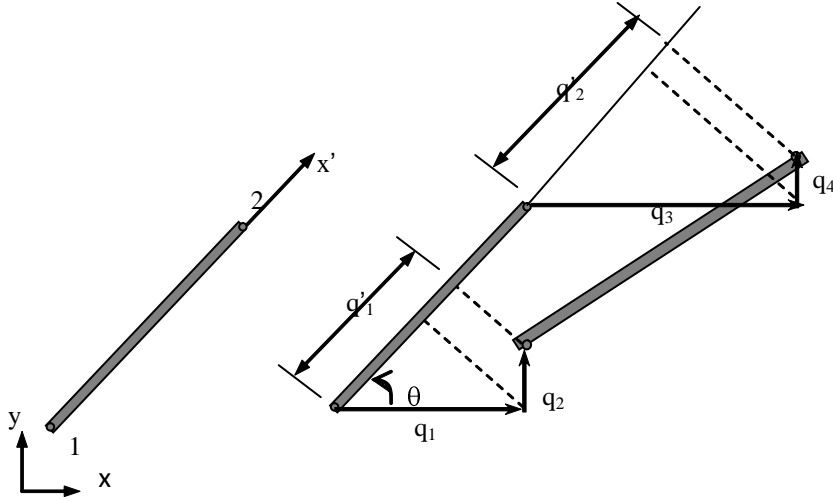
Şekil 3.10. Kafes sistem elmanın yerel koordinat sisteminde uç deplasmanları



Şekil 3.11. Kafes sistem elmanın yapı koordinat sisteminde uç deplasmanları



Şekil 3.12. Kafes sistem elmanın yapı koordinat sisteminde kuvvetleri



Şekil 3.13. Yapı ve yerel koordinat sistemde kafes elemanı uç deplasmanı dönüşümü

q'_1 ve q'_2 yerel koordinat sisteminde 1 ve 2 düğümlerinin deplasmanı olsun(Şekil 3.13). Böylece, yerel koordinat sistemindeki elemanın deplasman vektörü;

$$\{q_i\}' = q'_1 \quad q'_2 \quad \text{(3.27)}$$

şeklinde gösterilir. Buradaki i indisi i nolu elemana ait olduğunu göstermektedir. Yapı koordinat sisteminde elemanın uç deplasman ve uç kuvvet vektörleri (4×1) boyutlarında olup,

$$q_i = [q_1 \quad q_2 \quad q_3 \quad q_4]^T \quad \text{(3.28)}$$

$$\{Q_i\} = [Q_1 \quad Q_2 \quad Q_3 \quad Q_4]^T \quad \text{(3.29)}$$

şeklindedir. Şekil 3.13' ten görüldüğü üzere $\{q\}'$ ve $\{q\}$ arasındaki bağıntı,

$$q'_1 = -q_1 \cos \theta - q_2 \sin \theta \quad \text{(3.30)}$$

Benzer şekilde,

$$q'_2 = q_3 \cos \theta + q_4 \sin \theta \quad \text{(3.31)}$$

Buradan $l = \cos \theta$ ve $m = \sin \theta$ kısaltmaları yapılırsa (3.30) ve (3.31) denklemleri matris notasyonu ile,

$$\{q_i'\} = [T]\{q\} \quad (3.32)$$

şeklinde yazılabilir. Burada [T] dönüşüm matrisidir.

$$T = \begin{bmatrix} -l & -m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & l & m \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

l ve m matrislerine doğrultu kosinüsleri denir ve düğüm noktası koordinatları (x_1, y_1) ve (x_2, y_2) , olmak üzere doğrultu kosinüsleri,

$$l = \frac{x_2 - x_1}{l_e}, \quad m = \frac{y_2 - y_1}{l_e} \quad (3.34)$$

şeklinde yazılabilir. l_e eleman uzunluğu ise,

$$l_e = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (3.35)$$

dir.

Lokal koordinat sistemindeki bir kafes sistem elemanı için rijitlik matrisi,

$$k_i' = \frac{E_e \cdot A_e}{l_e} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

şeklindedir. Burada A_e elemanın kesit alanı, E_e ise elastisite modülüdür. Yerel koordinat sistemindeki rijitlik matrisi yapı koordinat sistemindeki rijitlik matrisine aşağıdaki şekilde dönüştürülür:

$$[k_i] = T^T [k_i'] T \quad (3.37)$$

$$k_i = \frac{A_e \cdot E_e}{l_e} \begin{bmatrix} l^2 & lm & -l^2 & -lm \\ lm & m^2 & -lm & -m^2 \\ -l^2 & -lm & l^2 & lm \\ -lm & -m^2 & lm & m^2 \end{bmatrix} \quad (3.38)$$

Daha sonra yapı koordinatlarındaki eleman rijitlik matrisleri süperpoze edilerek sistem (yapı) rijitlik matrisi [S] oluşturulur. Sistemin yük matrisi [P] de sistem düğüm noktaları denge denkleminde yerini alarak, sistem (yapı) denge denklemi matris formunda aşağıdaki şekilde yazılır:

$$S q = P \quad (3.39)$$

(3.39) Lineer denklem takımı çözülerek [q] kafes düğüm noktaları deplasmanları elde edilir. Elde edilen deplasmanlar denklem 3.40' taki gibi her bir eleman için o elemanın rijitlik matrisi ile çarpılarak o elemana ait uç kuvvetleri elde edilir.

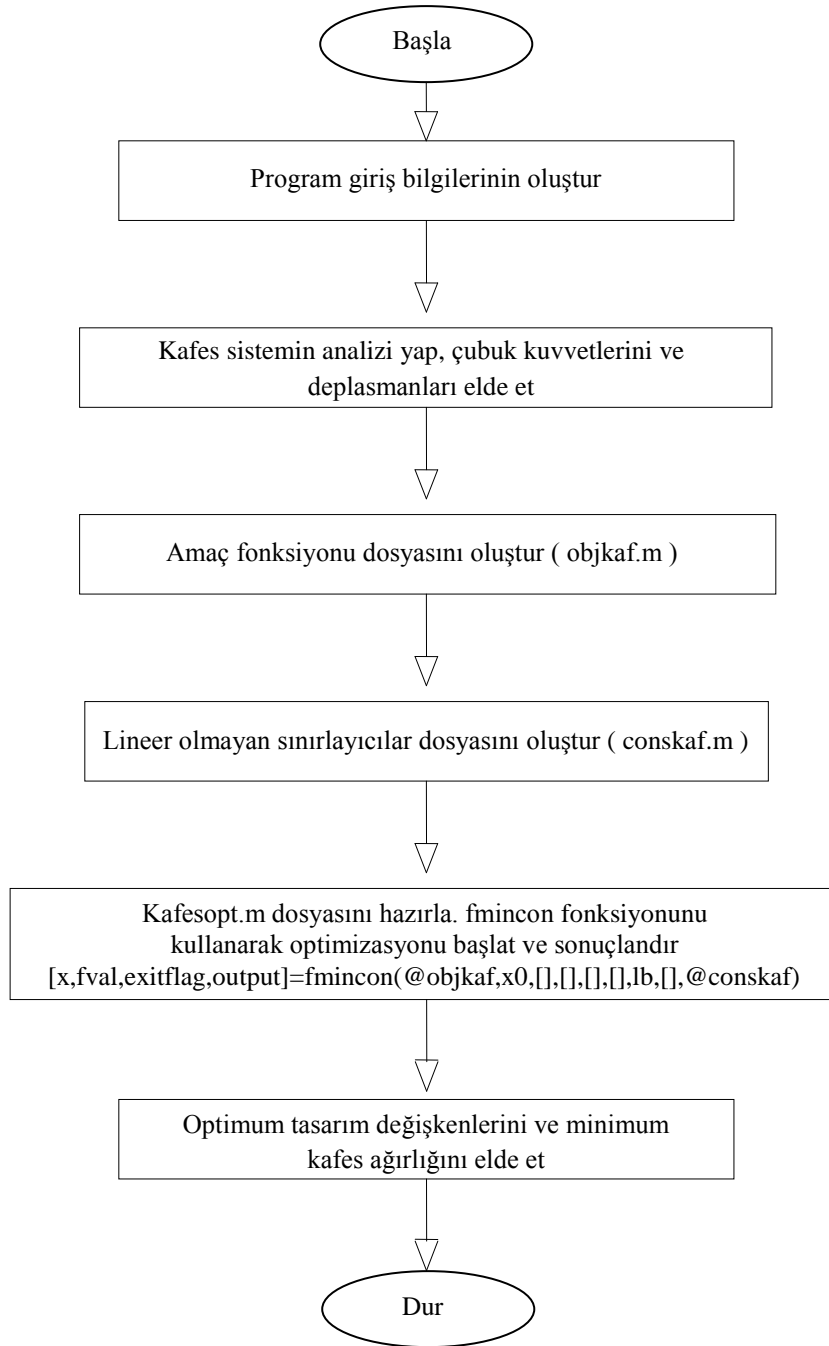
$$[Q_i] = [k_i][q_i] \quad (3.40)$$

Elde edilen uç kuvvetleri denklem 3.41 de gösterilen ifade ile yerel koordinat sistemine dönüştürülerek eksenel çubuk kuvvetleri hesaplanır ve böylece analiz programı tamamlanmış olur.

$$N = Q_3 \cos \theta + Q_4 \sin \theta \quad \text{veya} \quad N = -(Q_1 \cos \theta + Q_2 \sin \theta) \quad (3.41)$$

3.2.4. MATLAB Programlama Dili kullanarak Yapılan Optimum Tasarım

MATLAB' ta yazılan bu optimizasyon programı dört alt programdan oluşmaktadır. Program kafes.m isimli ilk alt ptoqramda kafes sistemin matris deplasman yöntemini kullanarak analizini yapar. Bu bölümde kafes sistemle ilgili gerekli tüm bilgiler önceden hazırlanan datalardan okutulur. Bu analiz sonucunda kafes sistem elemanlarının çubuk kuvvetleri ve kafesin deplasmanları elde edilir. Bu kuvvetler daha sonra gerilme kontrolünde kullanılmak üzere data halinde saklanır. Daha sonra fmincon arşiv fonksiyonunun kullanım ifadesi içerisinde objkaf.m ve conskaf.m M-dosyaları kullanılır. Burada objkaf.m optimizasyon probleminin amaç fonksiyonunun matematiksel ifadesini içeren M-dosyası'dır. Conskaf.m ise lineer olmayan sınırlayıcıların matematiksel ifadesini içeren M-dosyası'dır. Kafes.m dosyası ise optimizasyonun yapıldığı asıl bölümdür. Şekil 3.14. te optimum tasarım programının algoritması verilmiştir.



Şekil 3.14. Optimum tasarım programının algoritması

3.2.4.1. Program Detayları

kafesopt.m: Bu M-dosyası optimizasyon komutu olan fmincon komut ifadesini içeren ana program dosyasıdır. Optimizasyon bu M-dosyası dosyası tarafından yürütülür.

kafes.m: Bu M-dosyası daha önce açıklandığı gibi matris deplasman yöntemini kullanarak kafes sistemin deplasmanlarını ve her elemanın aksenal kuvvetini hesaplar. Bu kuvvetler ve deplasmanlar saklanır ve daha sonra sınırlayıcı dosyası conskaf.m' de kullanılır.

objkaf.m: Bu M-dosyası optimizasyonun amaç fonksiyonu olan kafes ve (3.42) denklemleriyle verilen sistemin ağırlığının matematiksel ifadesini içerir(Şekil 3.15.).

```

Editor - D:\work\tez_deneme\6elemanhopt\objkaf.m
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
[Icons] Base
1 function f=objkafd5(x)
2 ro=0.00785;
3 bill=fopen('nodver.txt','r+');
4 nv=fscanf(bill,'%f',7);
5 mes=nv(4);
6 O=zeros(1,mes);
7 L=csvread('length.txt',0,0);
8 for i=1:mes;
9     O(i)=ro*x(i)*L(i);
10 end;
11 f=sum(O);
objkafd5 Ln 11 Col 10 OVR

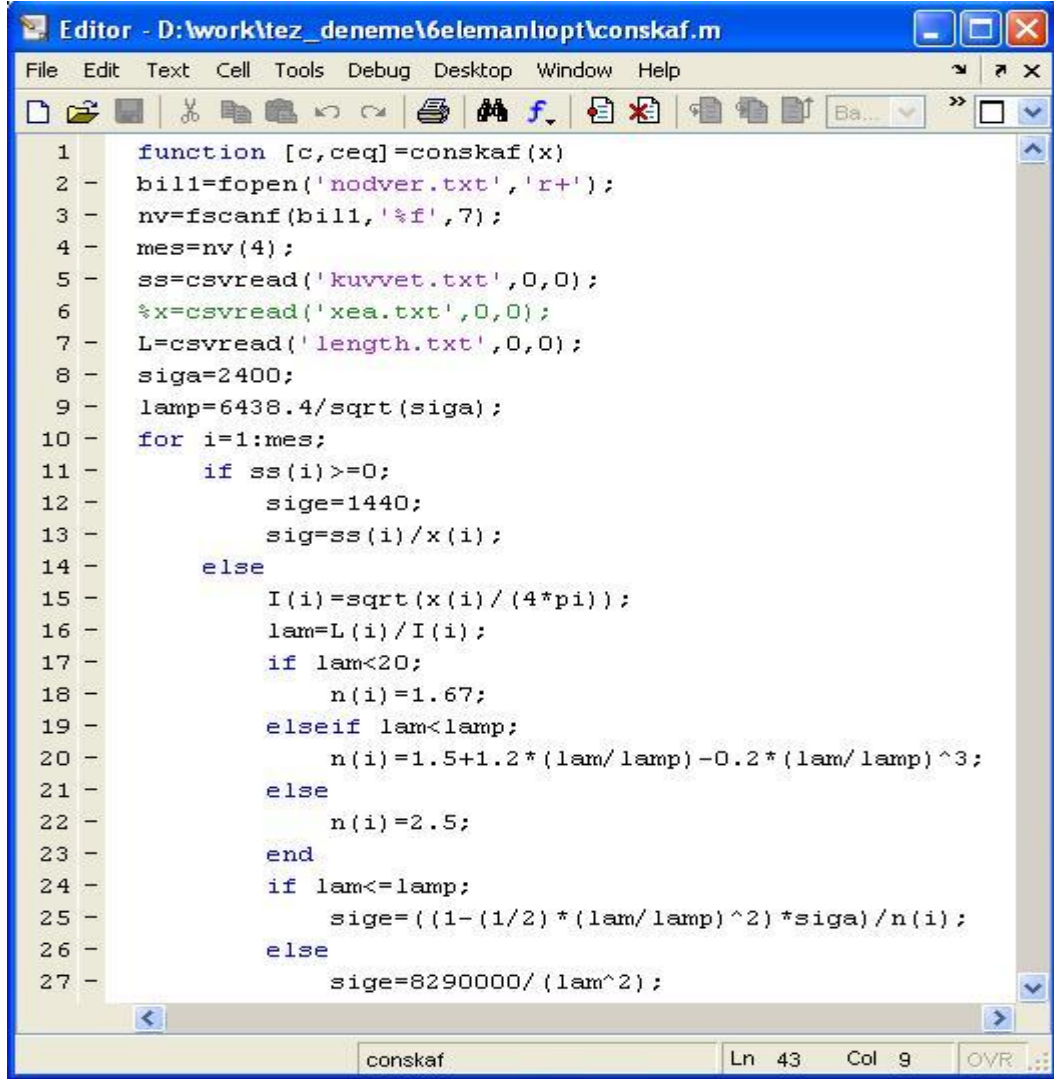
```

Şekil 3.15. Amaç fonksiyonunu içeren objkaf.m dosyası

$$W = \sum_{i=1}^{mes} \rho_i \cdot x_i \cdot L_i \quad (3.42)$$

burada mes eleman sayısı, ρ_i çeliğin birim ağırlığı, x_i eleman kesit alanı, L_i eleman boyunu ifade etmektedir.

conskaf.m: Bu M-dosyası optimizasyon probleminin lineer olmayan sınırlayıcılarını içerir. Bu dosya fmincon tarafından çağırıldığında her seferinde kafes sistemin analizini yapar. Bu optimum tasarımda gerilme sınırlayıcıları ve deplasman sınırlayıcıları mevcuttur.



```

1 function [c, ceq] = conskaf(x)
2 - bill=fopen('nodver.txt', 'r+');
3 - nv=fscanf(bill, '%f', 7);
4 - mes=nv(4);
5 - ss=csvread('kuvvet.txt', 0, 0);
6 - %x=csvread('xea.txt', 0, 0);
7 - L=csvread('length.txt', 0, 0);
8 - siga=2400;
9 - lamp=6438.4/sqrt(siga);
10 - for i=1:mes;
11 -     if ss(i)>=0;
12 -         sige=1440;
13 -         sig=ss(i)/x(i);
14 -     else
15 -         I(i)=sqrt(x(i)/(4*pi));
16 -         lam=L(i)/I(i);
17 -         if lam<20;
18 -             n(i)=1.67;
19 -         elseif lam<lamp;
20 -             n(i)=1.5+1.2*(lam/lamp)-0.2*(lam/lamp)^3;
21 -         else
22 -             n(i)=2.5;
23 -         end
24 -         if lam<=lamp;
25 -             sige=((1-(1/2)*(lam/lamp)^2)*siga)/n(i);
26 -         else
27 -             sige=8290000/(lam^2);

```

Şekil 3.16. Sınırlayıcı fonksiyonları içeren conskaf.m dosyasının bir bölümü

Deplasman sınırlayıcıları için istenilen düğüm noktalarındaki deplasmanlar istenilen büyüklükte sınırlandırılabilir Şekil 3.16 da sınırlayıcıları içeren M-dosyasının bir bölümü görülmektedir.

$$\delta_i - \delta_{imax} \leq 0 \quad (3.43)$$

burada δ_{imax} i nolu düğüm noktasının izin verilen maksimum deplasman değeri, δ_i i nolu düğüm noktasının deplasman değerini ifade eder.

Gerilme sınırlayıcıları için ise basınç ve çekme gerilmeleri için farklı emniyet gerilme değerleri kullanılır.

Eleman kuvvetinin çekme olması durumunda çekme gerilmesi kontrolü yapılır.

$$\sigma_i - \sigma_{emn} \leq 0 \quad (3.44)$$

burada σ_i i nolu elmanın çekme gerilmesi, σ_{emn} ise emniyet gerilmesini ifade eder.

Eleman kuvvetinin basınç gerilmesi olması durumunda basınç gerilmesi kontrolü yapılır. Bu kontrolde kafes sistemin elemanları sabit en kesitli ve tek parçalı basınç çubuğu olduğu için buna göre gerilme tahkiki yapılır. Narinlik göz önünde bulundurularak basınç emniyet gerilmesi tahkiki yapılır.

Eksenel basınca çalışan elemanın narinliği λ , plastik narinlik sınırı λ_p den az ise basınç emniyet gerilmesi denklem 3.45 teki gibi elde edilir.

$$\sigma_{emn} = \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n} \quad (3.45)$$

Elmanın narinliği ($\lambda \geq \lambda_p$) plastik narinlikten büyük ise basınç emniyet gerilmesi aşağıdaki formüllerden biri ile hesaplanır.

$$\sigma_{emn} = \frac{2}{5} \cdot \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad \text{veya} \quad (3.46)$$

$$\sigma_{emn} = \frac{8290000}{\lambda^2} \quad (3.47)$$

Bu formüllerde;

$$n = \text{Emniyet katsayısı} \geq 1.67$$

$$n = 1.67, \text{ eğer } \lambda < 20 \text{ ise}$$

$$n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right) - 0.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^3, \text{ eğer } 20 \leq \lambda < \lambda_p \text{ ise}$$

$$n = 2.5, \text{ eğer } \lambda > \lambda_p \text{ ise}$$

E = Elastisite modülü (kgf/cm²),

σ_a = Çeliğin akma sınırı (kgf/cm²),

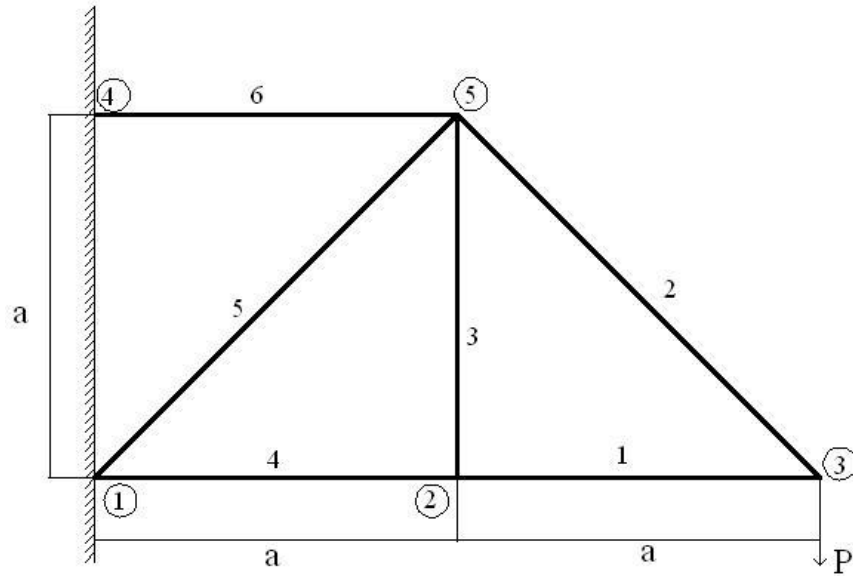
λ_p = Plastik narinlik sınırını (kritik narinlik),

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}}$$

ifade eder.

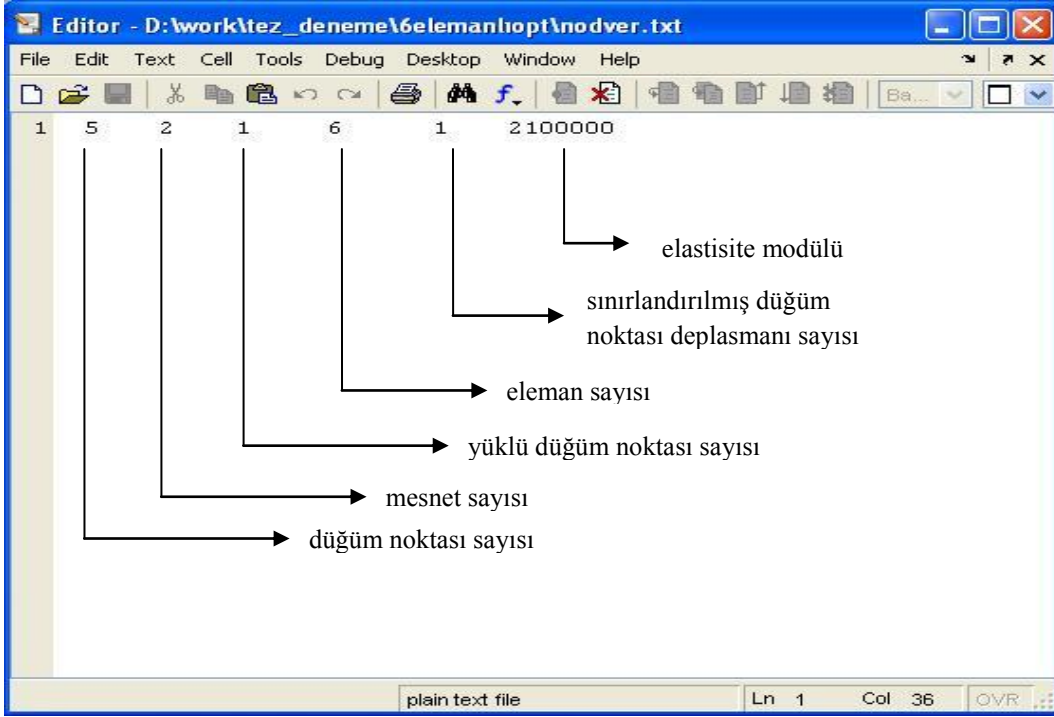
3.2.4.2. Program Giriş ve Çıkış Bilgileri

Optimum tasarım programının giriş bilgileri yedi ayrı metin belgesi halinde oluşturulur. Bu metin belgeleri kafes sistem ile ilgili gerekli tüm bilgiler içerir. Kafes sistemin elemanlarına ve düğüm noktalarına birden başlayacak şekilde numaralandırılma yapılır. Kafes sistemin elemanları ve düğüm nokta numaraları kullanılarak kafes sistemin tanımlamaları yapılır. Bu giriş bilgileri optimum tasarım programı tarafından okunarak işleme konulur. Aşağıda metin belgeleri ve ne tür bilgi içerdikleri Şekil 3.17. deki örnek kafes sistem için açıklanmıştır.



Şekil 3.17. Altı elemanlı kafes sistem

nodver.txt: bu metin belgesi düğüm noktası sayısı, mesnet sayısı, yüklü düğüm noktası sayısı, eleman sayısı, sınırlandırılmış düğüm noktası deplasmanı sayısı ve elastisite modülü bilgilerini giriş bilgileri olarak verir(Şekil 3.18.).



Şekil 3.18. nodver.txt metin belgesi veri ifadeleri açıklamaları

xnm.txt: bu metin belgesinde düğüm noktalarına ait koordinatlar verilir(Şekil 3.19.).



Şekil 3.19. xnm.txt metin belgesi veri ifadeleri açıklamaları

km.txt: burada mesnet düğüm noktalarının numaraları ve o düğüm noktasına ait x ve y doğrultusundaki deplasmanların sınırlandırılıp sınırlandırılmadığı ifade edilmektedir. Eğer herhangi bir doğrultudaki deplasman sınırlandırılmış ise o değer 1 olarak girilir sınırlandırılmamış ise 0 olarak girilir(Şekil 3.20.).



Şekil 3.20. km.txt metin belgesi veri ifadeleri açıklamaları

nysmat.txt: bu metin belgesinde yüklü düğüm nokta numarası ve düğüm noktasına her iki doğrultuda etki eden kuvvet veya kuvvetlerin girdisi yapılır(Şekil 3.21.).



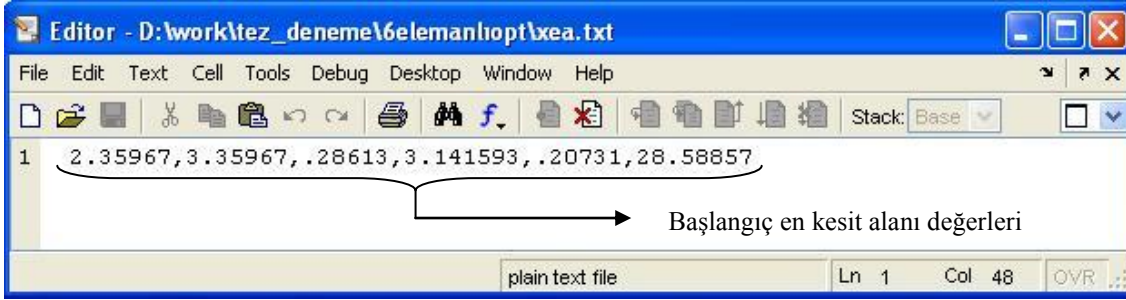
Şekil 3.21. nysmat.txt metin belgesi veri ifadeleri açıklamaları

mem.txt: bu metin belgesinde her bir elemana ait sol ve sağ düğüm noktası numaralarının girdisi yapılır(Şekil .3.22.).



Şekil 3.22. mem.txt metin belgesi veri ifadeleri açıklamaları

xea.txt: burada her elmanın başlangıç en kesit alanı değeri için rastgele bir en kesit alanı değeri girdi olarak verilir(Şekil 3.23.).



Şekil 3.23. xea.txt metin belgesi veri ifadeleri açıklamaları

xfes.txt: bu metin belgesinde deplasmanı sınırlanılması istenen düğüm noktası numarası ve hangi yöndeki deplasmanın ne kadar sınırlandırılması bilgileri girdi olarak verilmektedir(Şekil 3.24.).



Şekil 3.24. xfes.txt metin belgesi veri ifadeleri açıklamaları

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

MATLAB' ta yapılan bu optimum tasarımın uygulanabilirliğini göstermek amacı ile altı elemanlı kafes sistem, onyediyi elemanlı kafes sistem ve otuzbeş elemanlı kafes sistemlerin optimum tasarımı yapılmıştır. Bu uygulamalarda farklı mesnet şartları, farklı eleman sayıları, farklı boyutlar ve plastik burkulma durumu da göz önünde bulundurulacak şekilde optimum tasarımlar yapılmıştır. Her üç örnekte de, çubuk kesitleri dairesel olarak seçilmiş ve çubuk yarıçaplarının alt sınırı 1 cm olarak belirlenmiştir.

4.1. Altı Elemanlı Kafes Sistemin Optimum Tasarımı

Şekil 3.17. de geometrisi, çubuk ve düğüm noktaları numaraları verilen çelik kafes sisteme 3 nolu düğüm noktasından bir $P(P=4000 \text{ kgf})$ kuvveti etkimektedir. Çeliğin elastisite modülü $E=2100000 \text{ kgf/cm}^2$, özgül ağırlığı $\rho=0.00785 \text{ kgf/cm}^3$ ve $a=300 \text{ cm}$ olarak verilmiştir. 3 nolu düğüm noktasının düşey deplasmanı $a/150$ ile sınırlandırılmıştır. Bilgileri verilen kafes sistemin optimum tasarımının yapılması istenmektedir.

Kafes sisteme ait giriş bilgileri önceden açıklandığı biçime uygun olarak metin belgeleri halinde oluşturulmuştur. Daha sonra program çalıştırılarak kafes sistemin optimum tasarımı yapılmıştır. Bu örneğe ait fmincon komut ifadesinin kullanıldığı kafesopt.m dosyası Şekil 4.1. de gösterilmiştir. nodver.txt, xea.txt, xnm.txt, km.txt, nysmat.txt ve mem.txt metin belgeleri kafes analiz programını içeren kafes.m dosyasında kullanılmaktadır.

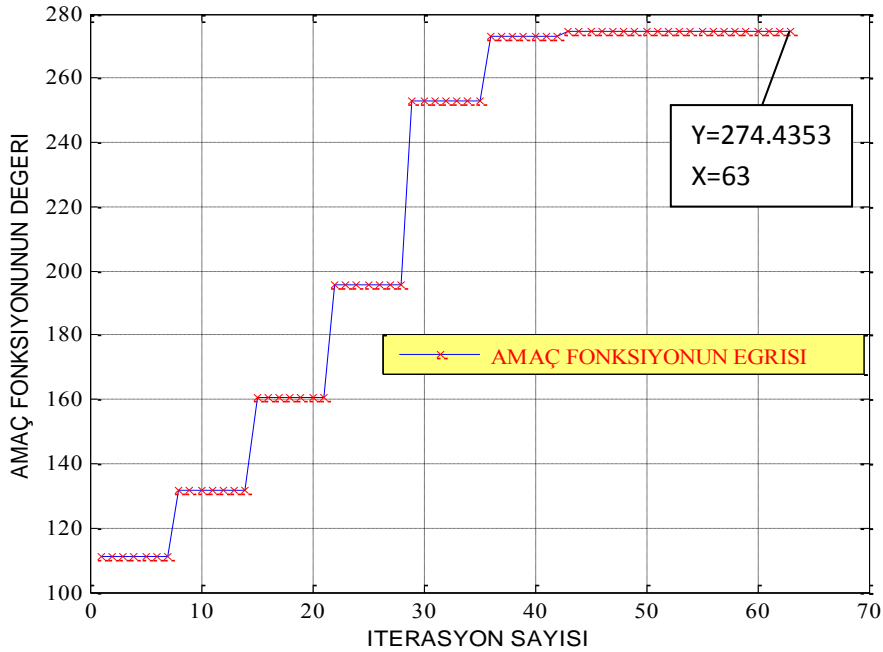
```

Editor - D:\work\tez_deneme\6elemanliopt\kafesopt.m
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
[Icons] Base
1 - [ss]=kafes;
2 - bill=fopen('nodver.txt','r+');
3 - nv=fscanf(bill,'%f',7);
4 - mes=nv(4);
5 - x0=csvread('xea.txt',0,0)
6 - lb=ones(mes,1);
7 - for i=1:mes;
8 -     lb(i)=pi;
9 - end;
10 - lb;
11 - [x,fval,exitflag]=fmincon(@objkaf,x0,[],[],[],[],lb,[],@conskaf)
12 - r=sqrt(x./pi)
script Ln 11 Col 1 OVR

```

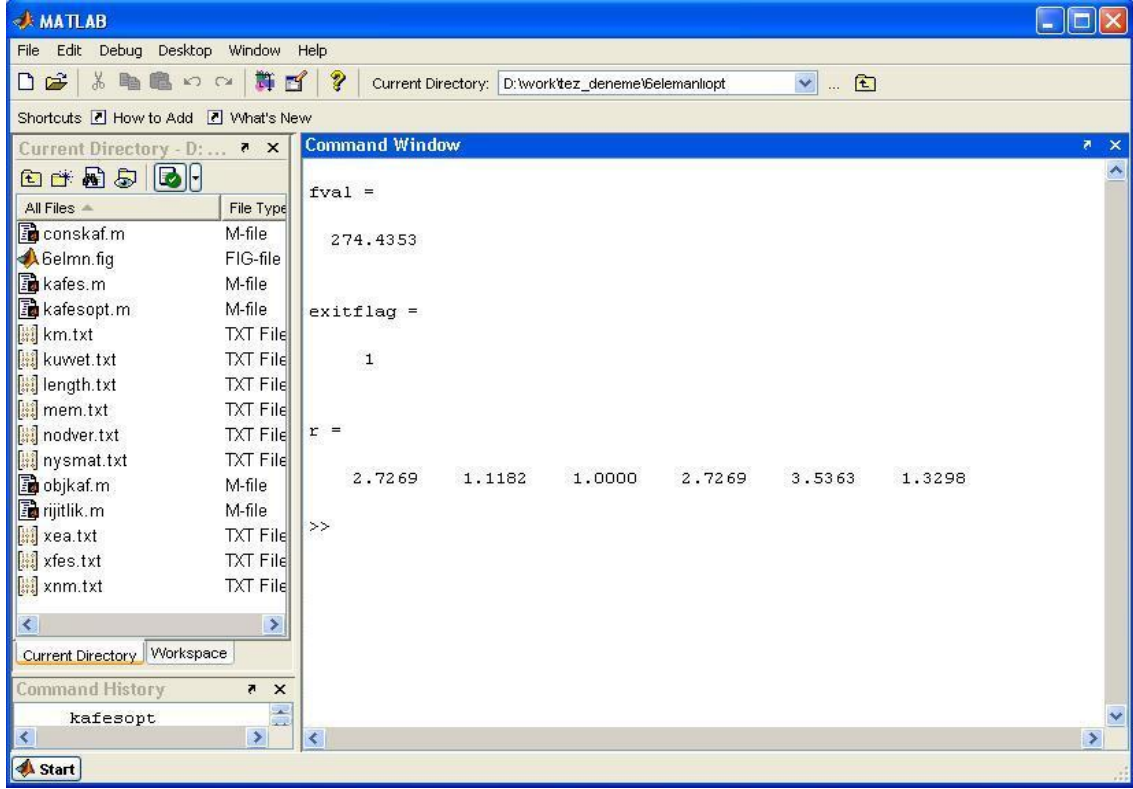
Şekil 4.1. Altı elemanlı kafes sisteme ait kafesopt.m dosyası

Optimum tasarıma ait amaç fonksiyonu değeri-iterasyon sayısına ait grafik Şekil 4.2. de verilmiştir. 63 iterasyon sonucunda minimum kafes ağırlığı 274.4353 kg olarak bulunmuştur.



Şekil 4.2. Altı elemanlı kafes sisteme ait amaç fonksiyonu-iterasyon sayısı grafiği

Sonuçlar MATLAB'ın komut penceresinde görülebilir veya istenirse herhangi bir dosyaya yazdırılarak kayıt altına alınabilir. Sonuçların gösterildiği MATLAB komut penceresi Şekil 4.3. te verilmiştir.



Şekil 4.3. Altı elemanlı kafes sistemin optimum tasarım sonuçlarının olduğu MATLAB komut penceresi

Yapılan optimum tasarım sonucunda sıfır çubuğunun (3 nolu çubuk) yarıçapı alt sınır olan 1 cm olarak elde edilmiştir. Bu optimum tasarım sonucunda Çizelge 4.1.' den de anlaşılacağı gibi gerilme sınırlayıcıları aktif rol oynamış ve gerilme sınırlayıcıları ($c = \sigma_i - \sigma_{enn}$) sıfır değerine ulaşmıştır. Ayrıca bu uygulama elektronik tablo (Excel) kullanılarak yapılan optimum tasarım sonuçları ile de karşılaştırılmış yakın değerlerin elde edildiği görülmüştür(Çizelge 4.2.).

Çizelge 4.1. Altı elemanlı kafes sistemin optimum tasarım sonucu gerilme ve deplasman değerleri

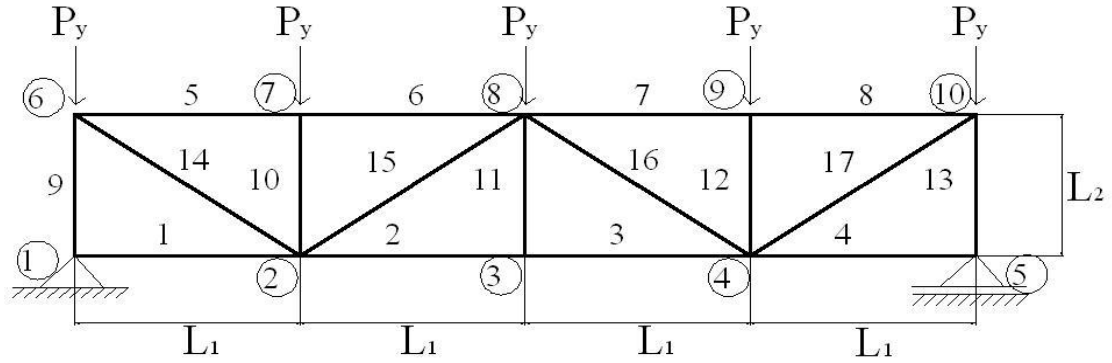
X yönünde izin verilen deplasman	Optimum tasarım sonucu oluşan deplasman
3 no.lu düğüm noktası=serbest	
Y yönünde izin verilen deplasman	Optimum tasarım sonucu oluşan deplasman
3 no.lu düğüm noktası=2 cm	$\delta_y=1.08$ cm
<hr/>	
Hesaplanan emniyet gerilme değerleri	Optimum tasarım sonucu oluşan gerilmeler
1 no.lu eleman $\sigma_{emn}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=1440$ kg/cm ²
2 no.lu eleman $\sigma_{emn}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=1440$ kg/cm ²
3 no.lu eleman sıfır çubuğu	
4 no.lu eleman $\sigma_{emn}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=1440$ kg/cm ²
5 no.lu eleman $\sigma_{emn}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=1440$ kg/cm ²
6 no.lu eleman $\sigma_{emn}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=1440$ kg/cm ²

Çizelge 4.2. Altı elemanlı kafes sistemin optimum tasarım sonuçlarının karşılaştırılması

		MATLAB programlama dili kullanarak yapılan optimum tasarım sonuçları	Elektronik tablo kullanılarak yapılan optimum tasarım sonuçları	Bölüm 3.2.2. deki optimum tasarım sonuçları
Kafes Sistemin Optimum Boyutlandırılması	Amaç Fonksiyonu	274.4353 kg	274.4307 kg	274.4307 kg
	Eleman no	Eleman yarıçapı	Eleman yarıçapı	Eleman yarıçapı
	1	2.7269 cm	2.7268 cm	2.7268 cm
	2	1.1182 cm	1.1182 cm	1.1182 cm
	3	1.0 cm	1.0 cm	1.0 cm
	4	2.7269 cm	2.7268 cm	2.7268 cm
	5	3.5363 cm	3.5363 cm	3.5363 cm
	6	1.3298 cm	1.3298 cm	1.3298 cm

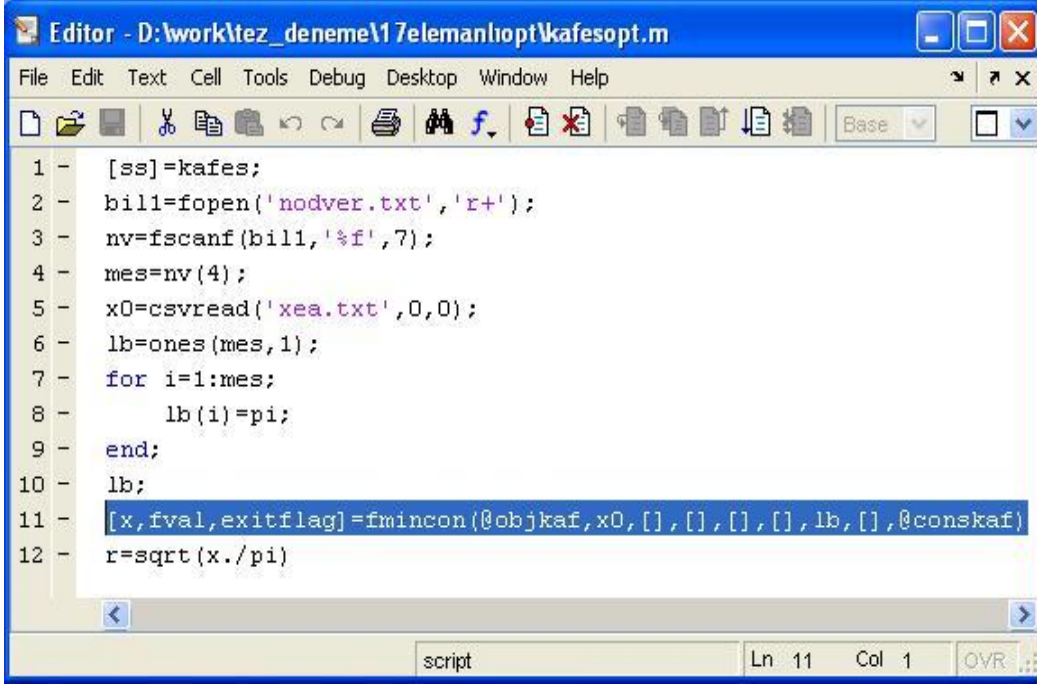
4.2. Onyedili Elemanlı Kafes Sistemin Optimum Tasarımı

Şekil 4.4. te geometrisi, çubuk ve düğüm noktaları numaraları verilen çelik kafes sisteme 6, 7, 8, 9, 10 no.lu düğüm noktalarında $P_y=2000$ kgf kuvvetleri etki etmektedir. Çeliğin elastisite modülü $E=2100000$ kgf/cm², özgül ağırlığı $\rho=0.00785$ kgf/cm³, $L_1=150$ cm ve $L_2=100$ cm olarak verilmiştir. 3 nolu düğüm noktasının düşey deplasmanı 0.1 cm ile sınırlandırılmıştır. Bilgileri verilen kafes sistemin optimum tasarımının yapılması istenmektedir.



Şekil 4.4. Onyedili elemanlı kafes sistem

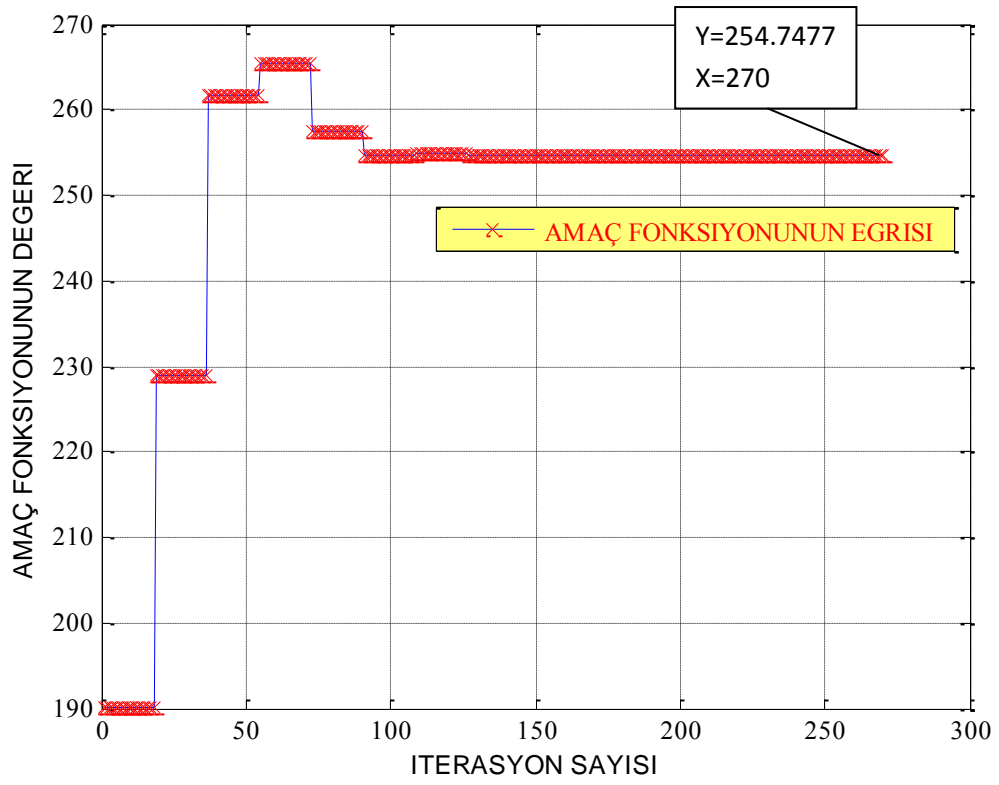
Kafes sisteme ait giriş bilgileri önceden açıklandığı biçime uygun olarak metin belgeleri halinde oluşturulmuştur. Daha sonra program çalıştırılarak kafes sistemin optimum tasarımı yapılmıştır. Bu örneğe ait fmincon komut ifadesinin kullanıldığı kafesopt.m dosyası Şekil 4.5. te gösterilmiştir.



```
Editor - D:\work\tez_deneme\17elemanliopt\kafesopt.m
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
[Icons] Base
1 - [ss]=kafes;
2 - bill=fopen('nodver.txt','r+');
3 - nv=fscanf(bill,'%f',7);
4 - mes=nv(4);
5 - x0=csvread('xea.txt',0,0);
6 - lb=ones(mes,1);
7 - for i=1:mes;
8 -     lb(i)=pi;
9 - end;
10 - lb;
11 - [x,fval,exitflag]=fmincon(@objkaf,x0,[],[],[],[],lb,[],@conskaf)
12 - r=sqrt(x./pi)
script Ln 11 Col 1 OVR
```

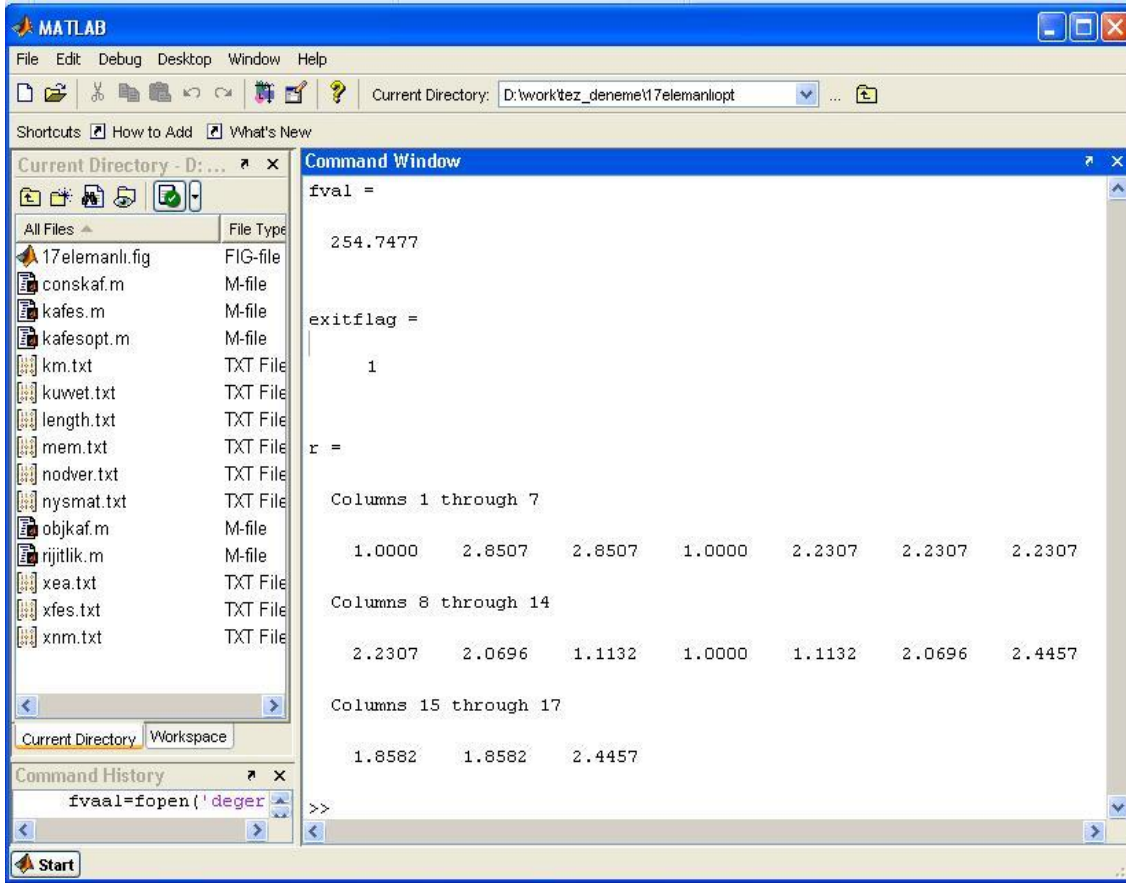
Şekil 4.5. Onyedli elemanlı kafes sisteme ait kafesopt.m dosyası

Bu uygulamada kafesi sistemin 9, 10, 11, 12 ve 13 no.lu basınç çubuklarının boyları kısa seçilerek, bu çubuklarda plastik burkulmanın önemli olması sağlanmıştır. Optimum tasarıma ait amaç fonksiyonu değeri-iterasyon sayısına ait grafik Şekil 4.6. da verilmiştir. Bu uygulamada 270 iterasyon sonucu kafesin minimum ağırlığı 254.7477 kg elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Onyedli elemanlı kafes sisteme ait amaç fonksiyonu-iterasyon sayısı grafiği

Sonuçların gösterildiği MATLAB komut penceresi Şekil 4.7. de verilmiştir.



Şekil 4.7. Onyedli elemanlı kafes sistemin optimum tasarım sonuçlarının olduğu MATLAB komut penceresi

Yapılan bu optimum tasarım sonucunda eleman yarı çapları 1.0 cm olan elemanlar, sıfır çubukları ve optimum tasarımda bir sınırlama oluşturmayan elemanlardır. Bu nedenle alt limit (lb) olan 1.0 cm' ye eşit bulunmuşlardır. Bu optimum tasarım sonucunda Çizelge 4.3.' ten de anlaşılacağı gibi deplasman sınırlayıcıları aktif rol oynamış ve deplasman sınırlayıcıları ($c = \delta_i - \delta_{\max}$) sıfır değerine ulaşmıştır. Bu kafes sistemde yükler ve sistem simetrik olduğu için simetrik çubuklar aynı değerleri almışlardır. Bu sonuçlar Çizelge 4.4. de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Onyedi elemanlı kafes sistemin optimum tasarım sonucu gerilme ve deplasman değerleri

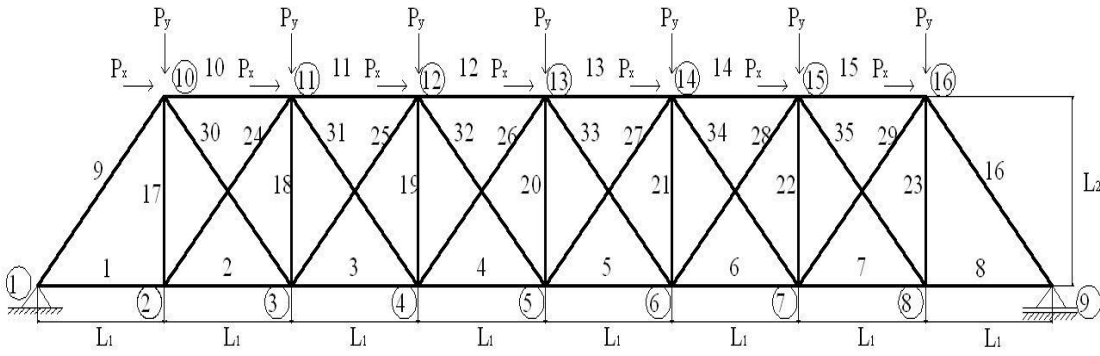
X yönünde izin verilen deplasman	Optimum tasarım sonucu oluşan deplasman
3 no.lu düğüm noktası=serbest	
Y yönünde izin verilen deplasman	Optimum tasarım sonucu oluşan deplasman
3 no.lu düğüm noktası=0.1 cm	$\delta_v=0.1$ cm
Hesaplanan emniyet gerilme değerleri	Optimum tasarım sonucu oluşan gerilmeler
1 no.lu eleman $\sigma_{emn}=921$ kg/cm ²	$\sigma=0.0$ kg/cm ²
2 no.lu eleman $\sigma_{emn}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=117.5104$ kg/cm ²
3 no.lu eleman $\sigma_{emn}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=117.5104$ kg/cm ²
4 no.lu eleman $\sigma_{emn}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=0.0$ kg/cm ²
5 no.lu eleman $\sigma_{emn}=458.4$ kg/cm ²	$\sigma=143.9251$ kg/cm ²
6 no.lu eleman $\sigma_{emn}=458.4$ kg/cm ²	$\sigma=143.9251$ kg/cm ²
7 no.lu eleman $\sigma_{emn}=458.4$ kg/cm ²	$\sigma=143.9251$ kg/cm ²
8 no.lu eleman $\sigma_{emn}=458.4$ kg/cm ²	$\sigma=143.9251$ kg/cm ²
9 no.lu eleman $\sigma_{emn}=760.4$ kg/cm ²	$\sigma=185.7926$ kg/cm ²
10 no.lu eleman $\sigma_{emn}=256.8$ kg/cm ²	$\sigma=256.8457$ kg/cm ²
11 no.lu eleman $\sigma_{emn}=207.2$ kg/cm ²	$\sigma=0.0$ kg/cm ²
12 no.lu eleman $\sigma_{emn}=256.8$ kg/cm ²	$\sigma=256.8457$ kg/cm ²
13 no.lu eleman $\sigma_{emn}=760.4$ kg/cm ²	$\sigma=185.7926$ kg/cm ²
14 no.lu eleman $\sigma_{emn}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=143.9251$ kg/cm ²
15 no.lu eleman $\sigma_{emn}=220.2$ kg/cm ²	$\sigma=83.0969$ kg/cm ²
16 no.lu eleman $\sigma_{emn}=220.2$ kg/cm ²	$\sigma=83.0969$ kg/cm ²
17 no.lu eleman $\sigma_{emn}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=143.9646$ kg/cm ²

Çizelge 4.4. Onyedi elemanlı kafes sistemin optimum tasarım sonuçları

Amaç fonksiyonu değeri		254.7477 kg	
Eleman no	Eleman yarıçapı (cm)	Eleman no	Eleman yarıçapı (cm)
1	1.0000	10	1.1132
2	2.8507	11	1.0000
3	2.8507	12	1.1132
4	1.0000	13	2.0696
5	2.2307	14	2.4457
6	2.2307	15	1.8582
7	2.2307	16	1.8582
8	2.2307	17	2.4457
9	2.0696		

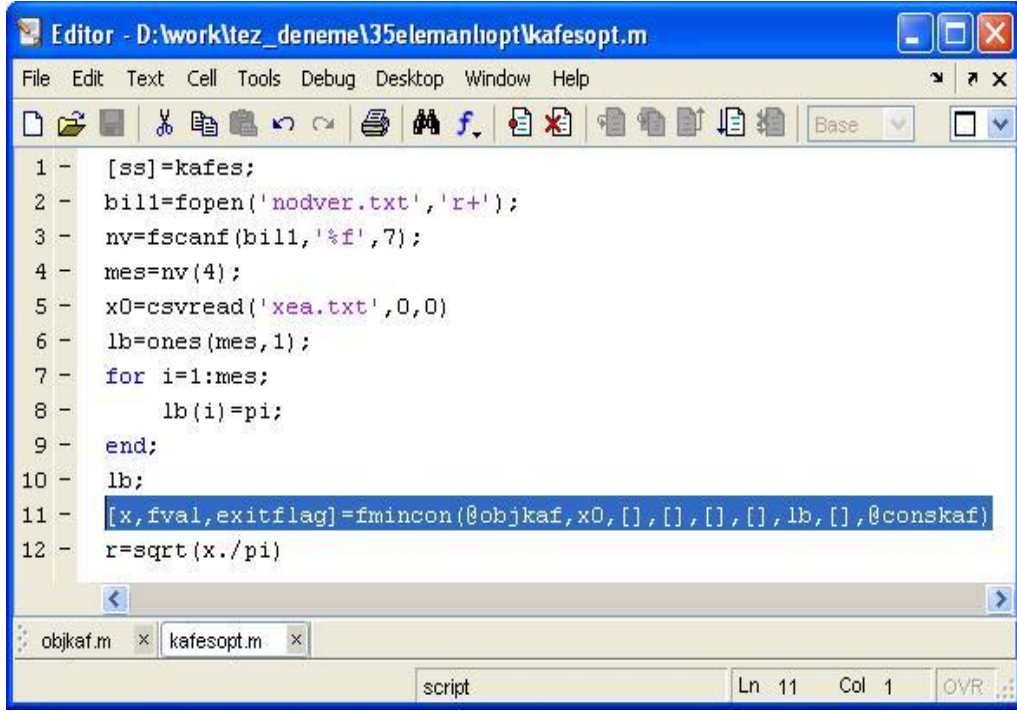
4.3.Otuzbeş Elemanlı Kafes Sistemin Optimum Tasarımı

Şekil 4.8. de geometrisi, çubuk ve düğüm noktaları numaraları verilen çelik kafes sisteme 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 no.lu düğüm noktalarına $P_y=2000$ kgf ve $P_x=1500$ kgf kuvvetleri etki etmektedir. Çeliğin elastisite modülü $E=2100000$ kgf/cm², özgül ağırlığı $\rho=0.00785$ kgf/cm³, $L_1=180$ cm ve $L_2=200$ cm olarak verilmiştir. 5 nolu düğüm noktasının düşey deplasmanı 1.0 cm, yatay deplasmanı ise 0.05 cm ile sınırlandırılmıştır. Bilgileri verilen kafes sistemin optimum tasarımının yapılması istenmektedir.



Şekil 4.8. Otuzbeş elemanlı kafes sistem

Kafes sisteme ait giriş bilgileri önceden açıklandığı biçime uygun olarak metin belgeleri halinde oluşturulmuştur. Daha sonra program çalıştırılarak kafes sistemin optimum tasarımı yapılmıştır. Bu örneğe ait fmincon komut ifadesinin kullanıldığı kafesopt.m dosyası Şekil 4.9. da gösterilmiştir.



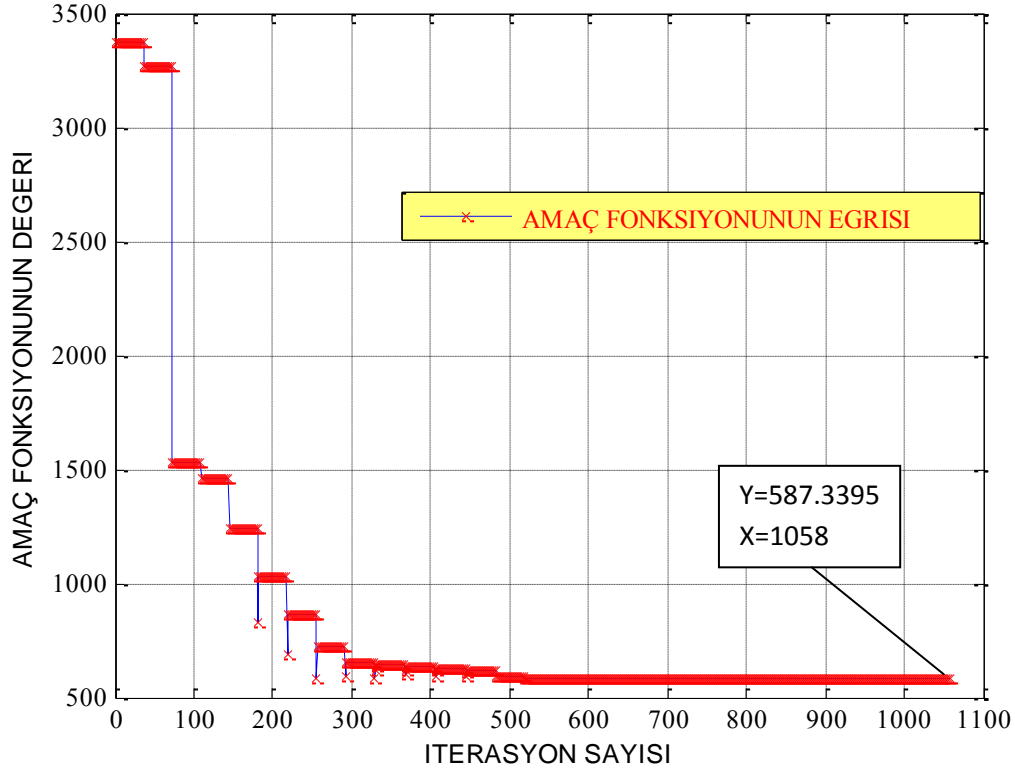
```

1 - [ss]=kafes;
2 - bill=fopen('nodver.txt','r+');
3 - nv=fscanf(bill,'%f',7);
4 - mes=nv(4);
5 - x0=csvread('xea.txt',0,0)
6 - lb=ones(mes,1);
7 - for i=1:mes;
8 -     lb(i)=pi;
9 - end;
10 - lb;
11 - [x,fval,exitflag]=fmincon(@objkaf,x0,[],[],[],[],lb,[],@conskaf)
12 - r=sqrt(x./pi)

```

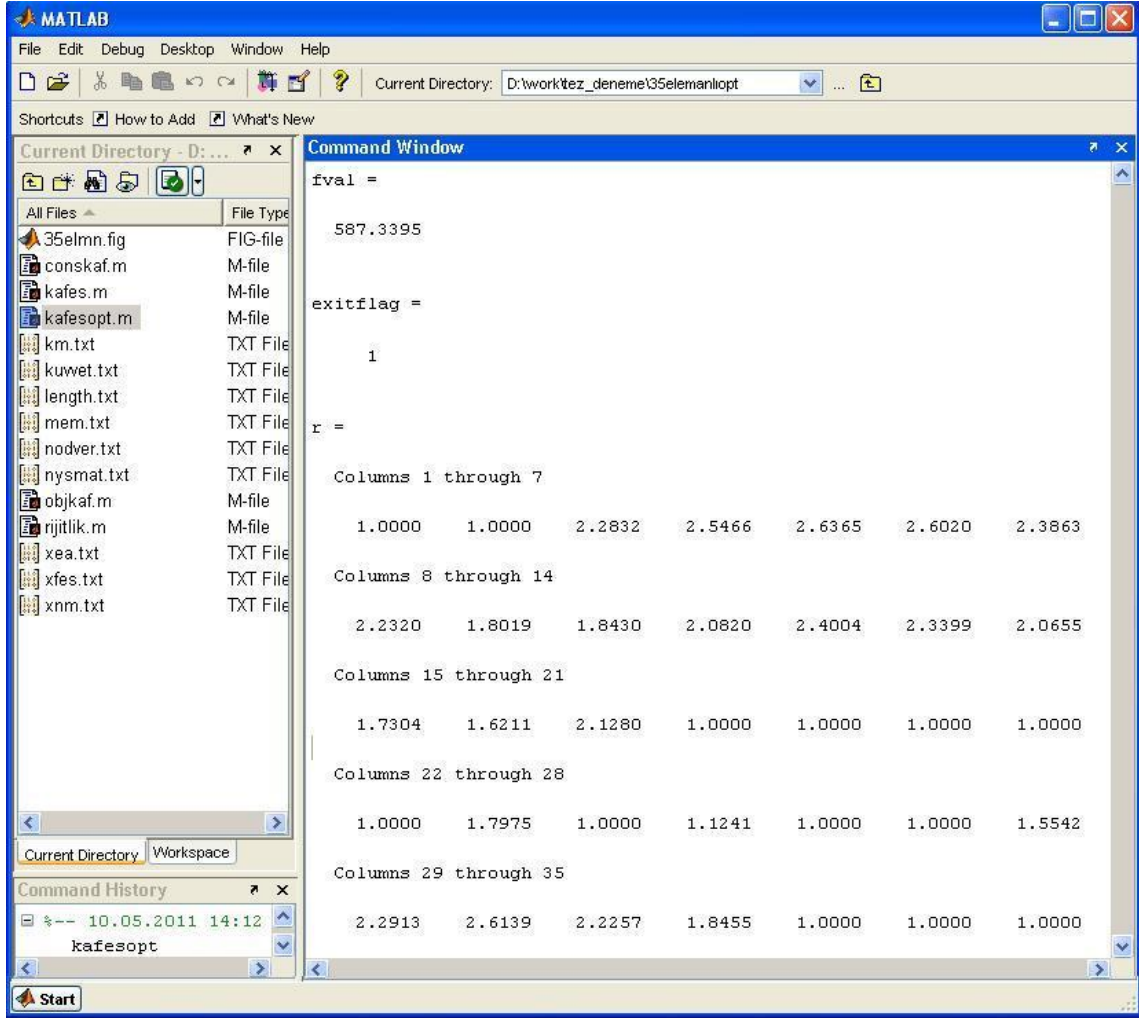
Şekil 4.9. Otuzbeş elemanlı kafes sisteme ait kafesopt.m dosyası

Optimum tasarıma ait amaç fonksiyonu değeri-iterasyon sayısına ait grafik Şekil 4.10. da verilmiştir. Bu uygulamadaki kafes sistemin eleman sayısı önceki iki uygulamada verilen kafes sistemlerin eleman sayılarından daha fazla olduğu için iterasyon sayısı da diğer uygulamaların iterasyon sayılarından daha fazladır. Bu uygulamada 1058 iterasyon sonucu optimum tasarım elde edilmiştir. Kafesin minimum ağırlığı ise 587.3395 kg' dır.



Şekil 4.10. Otuzbeş elemanlı kafes sisteme ait amaç fonksiyonu-iterasyon sayısı grafiği

Sonuçların gösterildiği MATLAB komut penceresi Şekil 4.11. de verilmiştir.



Şekil 4.11. Otuzbeş elemanlı kafes sistemin optimum tasarım sonuçlarının olduğu MATLAB komut penceresi

Yapılan bu optimum tasarım sonucunda kuvvet taşımayan çubukların yarı çapları alt sınır olan 1 cm olarak elde edilmiştir. Bu optimum tasarım sonucunda Çizelge 4.5.' ten de anlaşılacağı gibi deplasman sınırlayıcıları aktif rol oynamış ve deplasman sınırlayıcıları ($c = \delta_i - \delta_{\max}$) sıfır değerine ulaşmıştır. Bu kafes sistemde sistem simetrik olmasına karşın yükler simetrik olmadığı için simetrik çubuklar farklı değerleri almışlardır. Bu sonuçlar Çizelge 4.6. te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Otuzbeş elemanlı kafes sistemin optimum tasarım sonucu gerilme ve deplasman değerleri

X yönünde izin verilen deplasman		Optimum tasarım sonucu oluşan deplasman	
5 no.lu düğüm noktası=0.05 cm		$\delta_x=0.00013$ cm	
Y yönünde izin verilen deplasman		Optimum tasarım sonucu oluşan deplasman	
5 no.lu düğüm noktası=1.0 cm		$\delta_y=1.0$ cm	
Hesaplanan emniyet gerilme değerleri	Optimum tasarım sonucu oluşan gerilmeler	Hesaplanan emniyet gerilme değerleri	Optimum tasarım sonucu oluşan gerilmeler
1 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=919.1$ kg/cm ²	19 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=51.8$ kg/cm ²	$\sigma=13.6$ kg/cm ²
2 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=64.0$ kg/cm ²	$\sigma=37.1$ kg/cm ²	20 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=48.7$ kg/cm ²
3 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=333.5$ kg/cm ²	$\sigma=333.5$ kg/cm ²	21 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=72.0$ kg/cm ²
4 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=414.8$ kg/cm ²	$\sigma=414.8$ kg/cm ²	22 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=219.9$ kg/cm ²
5 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=444.6$ kg/cm ²	$\sigma=444.6$ kg/cm ²	23 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=167.4$ kg/cm ²	$\sigma=167.4$ kg/cm ²
6 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=433.1$ kg/cm ²	$\sigma=433.1$ kg/cm ²	24 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=1429.5$ kg/cm ²
7 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=364.3$ kg/cm ²	$\sigma=364.3$ kg/cm ²	25 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=955.1$ kg/cm ²
8 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=318.7$ kg/cm ²	$\sigma=318.7$ kg/cm ²	26 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=720.7$ kg/cm ²
9 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=115.6$ kg/cm ²	27 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=266.5$ kg/cm ²
10 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=836$ kg/cm ²	28 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=69.2$ kg/cm ²	$\sigma=69.2$ kg/cm ²
11 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=873.9$ kg/cm ²	29 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=150.3$ kg/cm ²	$\sigma=150.3$ kg/cm ²
12 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=753.2$ kg/cm ²	30 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=195.6$ kg/cm ²	$\sigma=195.6$ kg/cm ²
13 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=784.9$ kg/cm ²	31 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=141.8$ kg/cm ²	$\sigma=141.8$ kg/cm ²
14 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=859.9$ kg/cm ²	32 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=97.5$ kg/cm ²	$\sigma=97.5$ kg/cm ²
15 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=865.9$ kg/cm ²	33 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=70.2$ kg/cm ²
16 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=903.0$ kg/cm ²	34 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=493.2$ kg/cm ²
17 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=234.6$ kg/cm ²	$\sigma=234.6$ kg/cm ²	35 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=727.7$ kg/cm ²
18 no.lu eleman $\sigma_{emniyet}=1440$ kg/cm ²	$\sigma=96.2$ kg/cm ²		

Çizelge 4.6. Otuzbeş elemanlı kafes sistemin optimum tasarım sonuçları

Amaç fonksiyonu değeri				587.3395 kg			
Eleman no	Eleman yarıçapı (cm)	Eleman no	Eleman yarıçapı (cm)	Eleman no	Eleman yarıçapı (cm)	Eleman no	Eleman yarıçapı (cm)
1	1.0000	10	1.8430	19	1.0000	28	1.5542
2	1.0000	11	2.0820	20	1.0000	29	2.2913
3	2.2832	12	2.4004	21	1.0000	30	2.6139
4	2.5466	13	2.3399	22	1.0000	31	2.2257
5	2.6365	14	2.0655	23	1.7975	32	1.8455
6	2.6020	15	1.7304	24	1.0000	33	1.0000
7	2.3863	16	1.6211	25	1.1241	34	1.0000
8	2.2320	17	2.1280	26	1.0000	35	1.0000
9	1.8019	18	1.0000	27	1.0000		

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, düzlem kafes sistemlerin çeşitli sınırlayıcılar altında optimum tasarımının, MATLAB programlama dili ve optimizasyon arşiv fonksiyonları kullanarak yapılabileceği gösterilmiştir. Burada deplasman, gerilme ve burkulma gerilmesi sınırlayıcıları göz önüne alınarak optimum tasarım yapılmıştır. Gerilme sınırlayıcıları Türk Çelik Yönetmeliği'nden (TS 648) alınmıştır. MATLAB'ın hazır optimizasyon arşiv fonksiyonu kullanarak, hem optimizasyon alt programı yazmak külfetinden kurtulmuş hemde geçerliliği ve doğruluğu bilinen tescilli bir program kullanılmıştır.

Kafes sistemlerin eleman sayılarına bağlı olarak, optimizasyondaki iterasyon sayısının ve dolayısıyla çözüm süresinin değiştiği görülmektedir. Eleman sayısı arttıkça optimizasyondaki toplam iterasyon sayısı da artmaktadır. Bunun nedeni aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

Optimizasyon arşiv fonksiyonu, gradyen temelli bir yöntem kullanarak ve tasarım değişkenleri için verilen bir başlangıç noktasından hareketle sonuca iterasyonlar ile gitmektedir. Kafesin eleman sayısı arttıkça, optimizasyondaki tasarım değişkenlerinin sayısı da artmakta ve bunun sonucu optimum çözüme yakınsama, bütün tasarım değişkenleri için aynı anda olması gerektiğinden, zorlaşmakta ve uzamaktadır.

Sayısal örneklerde; altı elemanlı sistemde gerilme, onyedici elemanlı ve otuzbeş elemanlı sistemlerde de deplasman sınırlayıcılarının hakim olduğu optimum tasarımlar elde edildiği görülmektedir.

Bu çalışmada yazılan program diğer programlar ile karşılaştırıldığında daha az satır sayısına sahip olduğu görülmektedir. Bu da MATLAB'ın ileri düzeyde bir program olmasından ve kendi içerisinde hazır arşiv fonksiyonları (denklemlerin çözümü, optimizasyon vb.) bulundurmasından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmada geliştirilen algoritma genel olup; çerçeve, plak, kabuk gibi diğer yapısal taşıyıcı sistemlerin optimum tasarımında da kullanılabilir.

6.KAYNAKLAR

Aköz, A.Y. 2005. Enerji Yöntemleri veYapı Sistemleri. Birsen Yayınevi, Yayın No:0029, Sayfa: 87-120, İstanbul.

Arora, J.S., Belegundu, A.D. 1984. Structural Optimization by Mathematical Programming Methods. AIAA Journal, Vol. 22 No:6

Bellman, R.E., Zadeh, L.A. 1970. Decision-making in a fuzzy environment. Management Science, 17: 141-164

Chapra, S.C., Canale R.P. 2003. Çevirenler, Heperkan H. Ve Kesgin U., Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler İçin Sayısal Yöntemler. Literatür Yayınları, ISBN:975-8431-83-8, Sayfa: 362-430

Değertekin, S.Ö. 2001, Yarı-Rijit Birleşimli Çelik Çerçeve Sistemlerin Genetik Algoritma Yöntemiyle Optimum Tasarımı, Yüksek lisans tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

Döven, M.S. 2005. Minimum Ağırlıktaki Düzlem Kafes Sistemlerin Simpleks Metodu ile Tasarlanması. Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu-BMYS2005, 16-18 Kasım 2005, Kocaeli. S, 623-630

Hayalioğlu, M.S., Gonden, Y., 2010a. MATLAB programı kullanılarak bazı mühendislik sistemlerinin optimum tasarımı. Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu 2010, 14-16 Ekim 2010, Diyarbakır. S, 1022-1032

Hayalioğlu, M.S., Gonden, Y., 2010b. Elektronik tablo kullanılarak bazı mühendislik sistemlerinin optimum tasarımı. Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu 2010, 14-16 Ekim 2010, Diyarbakır. S, 1013-1022

Keleşoğlu, Ö., Ülker, M. 2003. Çok Amaçlı Bulanık Optimizasyon Tekniği İle Düzlem Kafes Sistemlerin Boyutlandırılması. Politeknik Dergisi, 6 (2): 505-511

Kirsch, U. 1981. Optimum Structural Design. McGraw-Hill Book Company.

Lev, O.E. 1981. Sequential Geometric Optimization. J. Struc. Div., ASCE, Vol.107, No.10.

MATLAB , The Mathworks, Inc., 3 Apple Hill Drive, Natick, MA 01760-2098

Morris, A.J. 1982. Foundations of structural Optimization. John Wiley.

Rao, S.S. 1996, Engineering Optimization: Theory and Practice, 3d ed., Wiley-Interscience, New York

Reinschmidit, K.F., Russel, A.D. 1974. Applications of Linear Programming in Structural Layout and Optimization. J. Computers and Structures, Vol.4

Toğan, V., Daloğlu, A. 2004. Çelik Kafes Köprü Kirişlerinin Genetik Algoritma ile Optimum Tasarımı. Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongresi, 15-17 Nisan 2003, İstanbul. S, 142-144

TS 648, 1980. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları.

Tutum, C.C. 2005. Structural Optimization of Truss Systems Under Stress, Displacement, Buckling and Natural Frequency. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

25.06.1984 yılında Diyarbakır ilinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Diyarbakır'da tamamladı. 2008 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2009 yılında Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Halen Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde görevine devam etmektedir.