

519.233.35:624  
K 46d

1996-1977

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

MAG 327/A

DİSKRİMİNASYON FONKSİYONU TEKNİĞİNİN  
YAPI MÜHENDİSLİĞİ OPTİMİZASYON  
PROBLEMLERİNE UYGULANIŞI

TÜRKİYE  
BİLİMSEL ve TEKNİK  
ARAŞTIRMA KURUMU  
KÜTÜPHANESİ

Mehmet KICIMAN

Proje : 327/A

MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA GRUBU

TÜRKİYE  
BİLİMSEL ve TEKNİK  
ARAŞTIRMA KURUMU  
KÜTÜPHANESİ

> 17.233.35 : 624  
K46d

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

DİSKRİMİNASYON FONKSİYONU TEKNİĞİNİN  
YAPI MÜHENDİSLİĞİ OPTİMİZASYON  
PROBLEMLERİNE UYGULANIŞI

PROJE NO. : MAG - 327/A

Proje Direktörü  
Mehmet KICIMAN

14634

MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA GRUBU

«Bu Kitabın tamamen veya kısmen, aynen veya değiştirilerek yeniden basılması, tercümesi Kurumun iznine bağlıdır.»

TBTAK Yayınları No. : 304  
M A G Seri No. : 33  
TBTAK Fotoğraf Klşe Laboratuvarı ve Ofset Tesisleri 1976  
ATATÜRK BULVARI 221, KAVAKLIDERE ANKARA

## ÖNSÖZ

Memleketimizde optimizasyon konusunda çalışan araştırmacılara özellikle kullanılan yapıların optimizasyonu ile ilgilenenlere yeni bir yöntem vasıtası ile yardımcı olacak olan bu araştırma projesinin tamamlanmasında, çalışmanın Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumunca desteklenen bir araştırma olmasının büyük etkisi olmuştur.

Araştırmanın büyük bir kısmını Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde yazarın yapmakta olduğu muhtelif çalışmaların insicamlı bir hale getirilmesi ve teorik araştırma sonuçlarının kompüter programlarına aktarılması teşkil etmiştir. Çalışmaların başlangıcında Yöneylem Araştırması Uzmanı Sayın Mustafa Akgül'ün, daha sonra da Öğrenci Asistan İnşaat Mühendisi Sayın Haldun Güvenen'in çok yararlı katkıları yazara büyük destek olmuştur.

Araştırmanın küçük bir kısmı 1973 yaz aylarında Wisconsin Üniversitesinde sürdürülmüş bu süreden O.D.T.Ü. kompüterinin kapasitesi dolayısıyla denenemiyen bazı programların denenmesi hususunda yararlanılmıştır.

Yazar, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Hesap Bilimleri Bölümü idarecilerinin ve teknisyenlerinin programların çalıştırılması hususunda göstermiş oldukları yardım ve anlayışa, bazı kitap ve makalelerin temininde gösterdikleri yardımdan dolayı O.D.T.Ü. kütüphane yetkililerine, Taşıyıcı Kule Plânlarının temininde gösterdikleri anlayıştan ötürü Etibank Genel Müdürlüğü ilgililerine, şekillerin çizilmesindeki yardımları için Ressam Sayın Doğan Talı'ya ve büyük bir maharet ve özenle raporları daktilo eden Laboratuvar Sekreterimiz Sayın Hediye Karakaya'ya teşekkür etmeyi bir borç bilir.

Mehmet KICIMAN

# İÇİNDEKİLER

|  | <u>Sayfa No:</u> |
|--|------------------|
| ÖNSÖZ.....   | III              |
| TABLO LİSTESİ.....   | VII              |
| ŞEKİL LİSTESİ.....   | VII              |
| ABSTRAKT.....  | IX               |
| ABSTRACT.....  | IX               |
| GİRİŞ.....   | I                |
| A. Problemin Tanımlanması ve Araştırmanın Amacı .....              | 1                |
| B. Araştırmanın Yöntemi .....                                      | 2                |
| BÖLÜM 1 LİTERATÜR ÇALIŞMASI .....                                  | 3                |
| 1A. Optimizasyon Konusunda Yapılmış Olan Çalışmalar ....           | 3                |
| 1B. Yapı Optimizasyonu Konusunda Yapılmış Olan<br>Çalışmalar ..... | 4                |
| BÖLÜM 2 DISKRİMİNASYON METODU .....                                | 5                |
| 2A. Diskriminasyon Kavramının Esası .....                          | 5                |
| 2B. Diskriminasyon ile Teşhis Arasındaki İlişkiler .....           | 6                |
| 2C. Dağılıma Bağlı Diskriminasyon .....                            | 7                |
| 2D. Parametrik Olmayan Diskriminasyon .....                        | 12               |
| BÖLÜM 3 DISKRİMİNASYONUN OPTİMİZASYONA UYGULANMASI.....            | 17               |
| 3A. Yapı Optimizasyonu Problemlerinin Tanımı .....                 | 17               |
| 3B. Metodun Ana Hatları .....                                      | 18               |
| 3C. Uygulamalar .....  | 21               |
| BÖLÜM 4 ARAŞTIRMA SONUÇLARININ AÇIKLANMASI .....                   | 28               |
| 4A. Sonuçların Açıklanması .....                                   | 28               |
| 4B. Gelecekte Yapılması Düşünülen Araştırmalar .....               | 29               |
| ÖZET .....   | 31               |
| SUMMARY .....  | 33               |
| REFERANS LİSTESİ .....   | 35               |
| SEÇME LİTERATÜR LİSTESİ .....                                      | 37               |
| EK 1. TAŞIYICI ÇELİK KULE OPTİMİZASYONU.....                       | 47               |
| EK 2. ARA YAYIN VE TAKDİMLERİN MAHİYETİ .....                      | 53               |

## TABLO LİSTESİ

| <u>Tablo No.</u> |                                 | <u>Sayfa No.</u> |
|------------------|---------------------------------|------------------|
| 1                | Örnek Problem 1 Sonuçları ..... | 22               |
| 2                | Örnek Problem 2 Sonuçları ..... | 23               |
| 3                | Kaset Döşeme Sonuçları .....    | 25               |

## ŞEKİL LİSTESİ

| <u>Şekil No.</u> |  | <u>Sayfa No.</u> |
|------------------|--|------------------|
| 1                | İki Boyutlu Popülasyon Uzayı ve Sınıflar ..... | 65               |
| 2                | Karar Kavramı R'nin Şematik Görünümü .....     | 65               |
| 3                | Optimizasyon Akış Diyagramı .....              | 66               |
| 4                | Örnek 1 .....                                  | 67               |
| 5                | Örnek 2 .....                                  | 68               |
| 6                | Örnek 3 .....                                  | 69               |
| 7                | Örnek 1 .....                                  | 70               |
| 8                | Örnek .....                                    | 71               |
| 9                | Uzay Kafes Deneme Modeli .....                 | 72               |

## ABSTRAKT

Çok değişkenli optimizasyon problemlerinin özellikleri anlatılmış, kar-  
şılaşılan güçlüklerin giderilmesinde nasıl "Rasgele Arama" yönteminden isti-  
fade edilebileceği ve bu yöntemin Diskriminasyon Fonksiyonu vasıtası ile na-  
sıl pratik bir hale dönüştürülebileceği gösterilmiştir.

Parametrik ve Parametrik olmayan esaslara dayanan Diskriminasyon  
Denklemlerin geliştirilmiş ve Optimizasyona uygulanmıştır.

Kompüter için hazırlanan optimizasyon programları örnek problemler  
için denenmiş ve geçerlilikleri belirlenmiştir.

Program hakiki ölçülerde bir taşıyıcı çelik kuleye de uygulanarak de-  
ęişik boyutların denenmesi sonucu ortaya çıkacak optimum çözümün pratik  
değere sahip olacağı ve kullanılacak çelik miktarında tasarruf sağlanabilece-  
ęi kanıtlanmıştır.

## ABSTRACT

In this report the properties of the multivariable optimization  
problems have been studied. The utilization of Random Search methods to  
alleviate the difficulties encountered, and the application of the Discrimina-  
tion Function in order to render the procedure feasible have been discussed.

Discrimination equations based both on Parametric and Non-Paramet-  
ric methods have been developed and applied to Optimization.

The computer program developed for this purpose has been tested  
on some special problems and its value has been demonstrated.

Finally the program has been used for the optimization of an actual  
Transmission Tower and it has been shown that by optimizing the  
dimensions, it was possible to save 9% from the amount of steel used.

# GİRİŞ

## A. PROBLEMİN TANIMLANMASI VE ARAŞTIRMANIN AMACI

Optimizasyon konusunun genel teorisi çok geniş kapsamlı olup, mühendisliğin hemen bütün dallarında uygulama alanı olduğu gibi, sayısal bilimler ve hayati bilimlerde de geniş uygulama alanı vardır. Bu araştırma da üzerinde durulan husus belirli bir optimizasyon yönteminin geliştirilmesidir.

Araştırmanın amacı daha açık bir şekilde ifade edilecek olursa kullanılması kolay ve geniş kapsamlı olan rasgele arama metodunun önemli mahzurlarının giderilerek, herhangi bir yapı sisteminin seçilmesinde en uygun, en ekonomik çözümü belirleyebilecek hale getirilmesidir.

Mühendislik problemleri genellikle çok sayıda değişken ihtiva eden problemler olup çözümlenebilmeleri için bazı kabullerin yapılması gerekir. Yapılan kabullerin neticesinde problem kapalı bir çözüm verebilecek bir modele indirgenebilir veya ancak en gerekli kabuller yapılır ve yaklaşık bir çözüme gidilir. Birinci halde ortaya çıkan modelin hakiki problemden çok başka olması tehlikesi, ikinci halde ise çözümün yeteri kadar hassas olmaması tehlikesi vardır.

Dizayn problemlerinin çözümünde gözönünde tutulması gereken husus modelin nasıl probleme mümkün olduğu kadar yakın olması olduğundan çözümü etkileyen değişken sayısında kısıtlama yapılması güçtür. Bu sebepten ortaya çıkan dizayn ihtimalleri de pek çok olur. Örneğin değişken sayısı  $n$ , her değişkenin alabileceği değer sayısı  $k$  ise ortaya  $k^n$  değişik dizayn çıkmaktadır. Bütün bu dizaynların teker teker incelenmesi her biri için ayrı bir çözümü gerektirdiğinden, optimum çözümün bu şekilde bulunması bir yerden sonra gayri ekonomik olmaya başlar, ve giderek imkânsızlaşır.

Yapı optimizasyonu problemlerinde  $k^n$  sayısının çok büyük değerlere ulaşması yüzünden rasgele arama sisteminden vazgeçilerek klâsik optimizasyon yöntemi diyebileceğimiz, Gradien Metoduna başvurulmuş ve bu yön-



temle de başarılı sonuçlar elde edilmiştir (1)<sup>x</sup>. Ancak Yapı Mekaniğinde ve Dizayn problemlerinde bulunan bazı özellikler Genel Gradien Metodunun uygulanmasını çok güçleştirmektedir. Kısaca sıralayacak olursak; Değişkenlerin sürekli olmayıp taneli olmaları, optimize edilecek fonksiyonun değişkenlere bağlı sürekli bir fonksiyon olarak yazılamaması bu fonksiyonun ve kısıt fonksiyonlarının her noktada kısmi türevlerinin belli olmaması, yerel optimumlarla genel optimumların karıştırılması ihtimali bu zorlukları doğuran özelliklerin başlıcalarını teşkil etmektedirler. Bu şartlar altında, yapı optimizasyonu problemlerini çözümlmek için bir alet olarak kullanılacak olan ideal bir yöntemi şöyle tanımlayabiliriz.

- Çok değişkenli problemleri çok fazla kompüter zamanı harcamadan çözümlenebilmeli.
- Değişkenler taneli veya sürekli olabilmeli.
- Kısıt denklemlerinin ve optimize edilecek fonksiyonun sürekli bir fonksiyon olarak belirlenmesi gerekmemeli ancak belirli değişken değerleri için hesaplanabilir olmaları yeterli sayılmalı.
- Metodun ve ilgili programın nasıl dizayn problemlerine uygulanabileceği, mühendislik eğitimi görmüş bir kimseye kolayca öğretilmeli.

Bu durumda araştırmanın amacı kendiliğinden ortaya çıkmakta ve yukarıdaki tanıma en uygun bir yöntemin somut bir şekilde elde edilmesi için Diskriminasyon Fonksiyonundan ne şekilde istifade edilebileceğinin incelenmesi olarak belirmektedir.

## B. ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ

Araştırmanın yöntemi, şu şekilde tesbit edilmiştir.

- Diskriminasyon fonksiyonunun temel felsefesinin incelenmesi,
- Rasgele arama yöntemine ne şekilde uygulanabileceğinin belirlenmesi,
- Gaussian bir dağılım varsayımına dayanarak uygulanması,
- Hiçbir dağılım varsayımı yapılmayarak deney problemlerine uygulanması,
- Geliştirilen programın gerçek bir yapı optimizasyonu problemine uygulanması.

Bu yöntem sırası ile uygulanılarak "a", "b", "c" maddelerine giren kısmi sonuçları Nisan 1973'de yapılan ikinci Yapı Optimizasyonu Sempozyumunda açıklanmış (2), "d" maddesine giren kısım Nisan 1974'de Wisconsin Üniversitesinde verilen bir konferansda anlatılmış; Gerçek Yapı Optimizasyonu problemi olarak da Keban Hattında kullanılacağı düşüncesi ile hazırlanan A42 tipi bir kulenin benzeri seçilerek sonuçlar Ek 1'de sunulmuştur.

(x) Parantez içinde verilen rakamlar referans numaralarını göstermektedir.

# BÖLÜM 1

## LİTERATÜR ÇALIŞMASI

### I.A. OPTİMİZASYON KONUSUNDA YAPILMIŞ OLAN ÇALIŞMALAR

Genel Optimizasyon konusunda bir literatür araştırması, bu çalışmanın dışında kalmakla beraber kısaca değinecek olursak optimizasyon çalışmalarının genellikle iki kısımda oluştuğunu söyleyebiliriz.

Birinci kısım kısıtsız optimizasyon problemlerinin çözümlenmesini içine almakta ikinci kısım ise kısıtlı optimizasyon problemlerini kapsamaktadır. Referans 3'de değişik yöntemler açık bir şekilde verilmiştir.

Kısıtsız optimizasyon problemleri varyans hesabı ile olan yakın ilişkisi dolayısıyla çok etraflı incelenmiş bir konu olup, taneli değişkenlerle ilgili bazı zorluklar dışında yapı optimizasyonu konusunu ilgilendirmemektedir. Kısıtlı deterministik optimizasyon metodlarının özeti Referans 4'de verilmiş olup 1969 yılındaki son gelişme durumu bu kitapta Bryson ve Ho tarafından belirtilmiştir.

Taneli değişkenlerle ilgili optimizasyon yöntemleri Brent (5) ve Saaty (6) tarafından etraflı bir şekilde ele alınmış ancak bu eserlerde de Rasgele Arama yöntemi üzerinde durulmamıştır. Wilde 1964 yılında yayınladığı Kitabında (7) bazı rasgele arama usullerinden söz etmekte ise de genel bir çözüm tarzı olarak ele alınmasını tavsiye etmemektedir.

Rasgele Arama yönteminin optimizasyon konusu üzerinde çalışanlara cazip gelmemesinin en önemli sebebi milyonlara varabilen değişik çözümler havi bir problemde bu çözümler arasından en iyi olanının rasgele bir arama ile bulunmasının imkânsız ya da imkânsız sayılabilecek kadar güç olmasıdır. Yazar istatistik yöntemlerinin uygulanması ve kompüterlerin giderek gelişmesi karşısında yakın gelecekte Rasgele Arama yönteminin yeniden ele alınacağı kanısındadır.

Bir çeşit rasgele arama yöntemi olan Monte Karlo metodları da periyodik olarak araştırmacıların ilgisini çekmekte muayyen bir seviyeye kadar



eriştikten sonra duraklama devresine girmektedir.

## 1.B. YAPI OPTİMİZASYONU KONUSUNDA YAPILMIŞ OLAN ÇALIŞMALAR

Yapı optimizasyonu konusunda yapılmış olan en eski çalışmaların Shanley'e ait olduğu sanılmaktadır (8). Shanley araştırmalarında özellikle yapı elemanlarının optimizasyonu üzerinde durmuş, mevzii ve genel burkulmanın aynı anda meydana gelmesi ile optimum eleman boyutu ilişkisini tesbite çalışmıştır (9). Referans 9'da ilk yapı elemanı optimizasyon çalışmalarını kapsayan geniş bir Bibliyografya da bulunmaktadır.

Yapı optimizasyonu çalışmaları giderek eleman optimizasyonundan, yapı sistemlerinin optimizasyonuna kaymış, 1960 yıllarında Schmit ve arkadaşlarının Case Teknoloji Enstitüsünde başlattıkları akım Yapı Sentezi adı altında kısa zamanda gelişmiştir. Bu ekoldeki araştırmacıların metodları Gradien den metodunun çeşitli varyasyonları olup, yayınladıkları en önemli makaleler (10)'da toplanmıştır. Optimize edilen fonksiyonun içbükey, kısıt fonksiyonun da dışbükey olduğu hallerde kolay sonuca gitmeyi sağlayan bir gradien modifikasyonu da yazar tarafından 1964 yılında yayınlanmıştır (11). Özellikle uzay ve uçak yapılarında ağırlığın büyük rol oynaması dolayısıyla önem kazanan optimizasyon zamanla gemi, çelik kafes giriş gibi maliyetin büyük ölçüde malzemeye bağlı olduğu dallara da ulaşmıştır. 1969 yılında İstanbul'da AGARD Yapı Malzeme paneli tarafından tertiplenen Birinci Yapı Optimizasyonu Sempozyumu muhtelif disiplinlerde çalışan araştırmacıları bir araya getirerek konunun bir sentezinin yapılmasına yardımcı olmuş ve 1970 yılında yayınlanan AGARD dokümanı (12) Yapı Optimizasyonu konusunda bir referans dokümanı haline gelmiştir. AGARD Yapı ve Malzeme Panelinin İkinci Yapı Optimizasyonu Sempozyumu 1973 yılında Milano'da toplanmış ve ilgili doküman (13) 1973 yılında yayınlanmıştır.

Bu sempozyumda yapı optimizasyonu konusundaki son gelişmeler gözden geçirilmiş, özellikle,

- Optimum belirleyen kriterler
- Geometrik programlama
- Hakiki endüstri problemlerine uygulama

konuları üzerinde durulmuştur.

Görüldüğü gibi yapı optimizasyonu dalında pek çok çalışma olmakla beraber inşaat mühendisliğinin bazı kısımlarına tatbiki henüz çok kısıtlıdır. Betonarme çerçevelerle ilgili küçük bir etüd (14) 1967 yılında Mühendislik Haberlerinde yayınlanmış, Rasgele Örnekleme ile yapılan bir istinad duvarı optimizasyonu ise 1968 yılında karayolu araştırma bülteninde çıkmıştır (15).

Halen inşaat mühendisliği dalındaki araştırmacıların optimizasyon açısından en fazla ilgilerini çeken konu Dizayn, Analiz, Sentez ve Yapım Çalışmalarını bir bütün olarak ele alarak toplam harcamaları optimize edilecek olan programların geliştirilmesidir.

# BÖLÜM 2

## DİSKRİMİNASYON METODU

### 2.A. DİSKRİMİNASYON KAVRAMININ ESASI

Diskriminasyon Fonksiyonu kavramı ilk olarak Fisher (16) tarafından ortaya atılmış ve bazı bitkilerin sınıflandırılmasında kullanılmıştır. Birbirine benzeyen iki bitki düşünelim, bunların yaprak büyüklüğü ve rengine ait dört belirgin ölçü seçilsin,  $x_1, x_2, x_3, x_4$  ve bu değişkenlere bağlı bir  $\phi(x)$  bulunsun.  $\phi(x)$  fonksiyonunun belirli bir kritik değeri aşması halinde 1. Bitki, altında kalması halinde 2. Bitki şeklinde bir tasnif yapılabilirse bu fonksiyon bir Diskriminasyon Fonksiyonudur.

Diskriminasyon Fonksiyonunun kullanılması yakın zamanlara (1950) kadar genellikle hayat bilimlerine inhisar etmiştir. Antropoloji dalına ait tipik bir misâl, fikir vermek amacı ile aşağıya alınmıştır (17).

Kazılarda bulunan insan kafataslarını, şempanze kafataslarından ayırabilmek için alt köpek dişlerinin boyutları değişken olarak seçilmiş ( $x_1, x_2, x_3, x_4$  ve 44 şempanze dişi ile 40 insan dişi üzerinde yapılan ölçümlerde  $\phi = x_1 - 7.49x_2 + 2.34x_3 + 4.70x_4$  diskriminant denklemi elde edilmiştir. Ortalama  $\phi$  değeri şempanze için 17.6 insan dişi için -5 olup standart sapma 2.45 dir. Bu sonuca göre  $11.5 < \phi < 23.7$  şempanze dişini,  $-11.1 < \phi < 1.1$  insan dişini gösterdiği kabul edilerek meşhur Taungs kafatası için  $\phi$  hesaplanmış -7.6 bulunarak bu kafatasının bir insana ait olduğu saptanmıştır.

İlk zamanlarda diskriminant fonksiyonu değişkenlerin dağılımlarının apriori olarak bilindiği varsayımına dayanılarak bulunmuş bu arada geçiriligi şüpheli neticeler de elde edilmiştir (18) de Anderson tarafından apriori varsayımların sonuca etkisi geniş bir şekilde anlatılmıştır.

İstatistik bilimi açısından Diskriminant Fonksiyonu sadece özel bir istatistiksel karar verme fonksiyonudur. Hangi gruba ait olduğu hakkında tereddüt olan bir nesnenin üzerinde bazı ölçümler yapılarak bu nesnenin ait olması ihtimali bulunan gruplardan hangisine en büyük ihtimalle ait olduğu istatistiksel yöntemlerle bulunabilir. Burada söz konusu nesnenin muhakkak

sonlu sayıdaki bu gruplardan birine ait olduğu farzedilmektedir.

Grupların dağılımları ve dağılım parametrelerinin belli olması halinde yanlış sınıflandırma riskini minimuma indiren bir fonksiyonun bulunmasına hemen geçilebilir. Gruplar hakkında yeterli bilgi olmaması halinde ise örnekleme metodlarına baş vurulur ve örnek parametreleri ile grup parametreleri ilişkisi kullanılır.

Çok gruplu sınıflandırma problemleri daima iki gruplu duruma indirgenebilir. Elded nesnenin ait olması ihtimali olan grup ve diğer gruplar. Bu bakımdan iki gruplu problemler meselenin esasını teşkil ederler. İleriki kısımlarda parametrelere bağlı olan ve olmayan metodlar iki grup durumu için ayrı ayrı incelenecektir.

## 2.B. DİSKRİMİNASYON İLE TEŞHİS ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Kompüterlerin gerek hafıza kapasitesi, gerek işlem hızı bakımından büyük bir hızla gelişmekte olmaları şimdiye kadar pratik olmadıkları veya imkânsız oldukları düşünülerek üzerinde durulmayan çok önemli bazı problemlerin yeni bir yaklaşımla tekrar ele alınmalarına yol açmıştır. Bu problemlerin arasında teşhis problemi de vardır. TEŞHİS incelenen şeyin hangi sınıfa ait olması gerektiğinin kantitatif olarak tesbitidir. Bu bir hastalığın teşhisi, arızanın teşhisi, sesin, el yazısının, parmak izinin kime ait olduğunun teşhisi gibi bir yapı dizaynının geçerli mi, geçersiz mi olduğunun da teşhisi olabilir. Kompüter ve elektronik sistem teknolojisinde TEŞHİS, PATTERN tanınması "PATTERN RECOGNITION" olarak adlandırılır (19). Burada PATTERN veya KALIP belirli sınıflara bölünmüş olan bir popülasyonun sınıfsal özellikleridir. Popülasyonun her elemanı N boyutlu popülasyon uzayında bir nokta olarak bulunur. Şöyle ki  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  bir tek noktayı belirler ve  $x_i$  bileşeni bu noktanın "i" özelliğini gösterir.

Örnek verecek olursak, popülasyon hasta insanların durumlarını kapsayan bir popülasyon ise,  $x_i$  hasta bir insandaki hastalık belirtileri (ateş, nabız, vs.) olur ve popülasyonun sınıfları da muhtelif hastalıklar olabilir.

Mantıkî olarak aynı sınıfa mensup olan popülasyon elemanlarının N boyutlu uzayda belirli bir mahalde kümeleşmeleri ve aralarındaki mesafenin pek fazla olmaması gerekir. Aynı düşünce ile bir sınıfın elemanının o sınıfın orta noktasına olan uzaklığının diğer bir sınıfın orta noktasına olan uzaklığından daha az olmasını bekleyebiliriz (Şekil 1).

Ancak tabiatdaki problemlerde genellikle sınıflar arasındaki ayrılıklar (Şekil 1) de olduğu gibi açık olmaz bazı transformasyonlar ya "1" ile N boyutlu uzay aynı sınıftaki elemanları birbirine yaklaştıran ve diğer sınıfların elemanlarından uzaklaştıran başka uzaylara dönüştürülür.

Sınıflar bir kere birbirinden ayrıldıktan sonra teşhis işlemi de kolaylaşmış olur.

Özetleyecek olursak; teşhis yöntemi teşhisi kolaylaştıracak işlemleri tatbik etmekle başlar, bundan sonra her sınıfın özellikleri bulunur ve kaydolunur, daha sonra da hangi sınıftan olduğu bilinmeyen elemanın özellikleri, sınıfların bilinen özellikleri ile karşılaştırılarak hangi sınıfa ait olduğu bulunur.

Bu şekilde hazırlanan kompüter programlarına kendi kendine öğrenen programlar adı verilir. Program hangi özelliklerin bir sınıfa karakteristiğini sağladığını da tesbit edebiliyorsa özellik Bulma vasfı da vardır, denilir. Yok eğer sadece verilen özelliklere göre teşhis yapabiliyorsa sadece teşhis öğrenebiliyor denilir.

Özellik Bulma ile Teşhisi karıştırmamak lâzımdır. Biraz evvel verdiğimiz kafatası örneğinde özellik bulma  $\emptyset$  değerinin muayyen bir değeri ile kafatasının insan sınıfına ait olduğunun saptanması: Teşhis ise yeni bulunan bir kafatasının dış ölçülerine göre  $\emptyset$  değerini hesaplayacak bir ayırım kararı verme yeteneği idi. Optimizasyon problemlerinde özellik Bulma geçerli yapılarla geçersiz yapıları klâsik kontrol yollarına başvurmadan daha evvelki geçerli ve geçersiz yapılarla karşılaştıracak yerine getirilebilecek bir işlem olarak düşünülebilir. Problemin ağırlık noktası da bu Özellik Bulma, diğer bir deyimle Diskriminasyon Fonksiyonunun tesbiti işidir.

Özellik tesbitine yarayan işlemler (19)'da etraflıca anlatılmış olup, burada sadece değinilmekte yetinilmiştir.

## 2.C. DAĞILIMA BAĞLI DİSKRİMİNASYON

Dağılıma bağlı diskriminasyon metodları arasında kullanılması en kolay olanı sınıflandırılması istenen nesnenin geldiği popülasyonun normal dağılımlı olduğunun bilinmesi veya kabul edilmesi üzerine ortaya çıkan methodur.

Aşağıda sözkonusu diskriminasyon metodunun ana hatları sunulmuş bulunmaktadır.

Birbirinden ayrı sınıflandırılması arzu edilen iki popülasyonu  $\pi_1$  ve  $\pi_2$  olarak adlandıralım. Popülasyonların p boyutlu normal olduklarını kabul edelim yani,  $\pi_i : N(\mu_i, S)$  çok değişkenli normal dağılım setinin bir elemanı olsun. " $\mu_i$ " p boyutlu bir beklenen değer (Ortalama Değer) vektörü, "S" ise p x p boyutlu kovaryans matrisini gösterebilir. Bu durumda p boyutlu rasgele değişken uzayında bulunan bir X noktasının (Bu nokta sınıflandırılması istenen nesneyi göstermektedir)  $\pi_1$  veya  $\pi_2$  popülasyonlarından hangisinden geldiğini tahmin edebilmek için şöyle bir yöntem düşünülür.  $\pi_i$  Popülasyonun yoğunluğunu  $f_1(x)$ ,  $\pi_2$  ninkini de  $f_2(x)$  olarak tanımlayalım ve bir "R" karar kavramı ile dizayn uzayını  $R_1$  ve  $R_2$  bölgelerine ayıralım. Öyle ise

$x_i \in R_i$  olması halinde  $x_i$  noktasının  $\pi_i$  popülasyonuna ait olduğu kabul edilecektir. Bu halde doğru sınıflandırma ihtimali

$$p(i/i, R) = \int_{R_i} p_i(x) dx \quad i = 1, 2 \quad (1)$$

daha açık yazılacak olursa

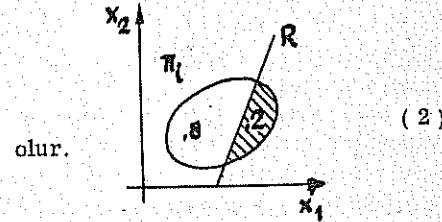
$$p(i/i, R)$$

$\pi_i$  popülasyonuna ait olan bir  $x$  noktasının  $R$  kuramı gereğince  $\pi_i$  popülasyonuna ait olarak sınıflandırılması ihtimalini göstermektedir.

Şekil 'deki basit örnek şemaya bakacak olursak  $p(i/i, R)$  değerini .8 olarak buluruz. Yanlış sınıflandırma ihtimali ise  $p(2/1, R)$  olarak yazılır ve,

$$p(2/1, R) = \int_{R_2} p_1(x) dx$$

$$p(1/2, R) = \int_{R_1} p_2(x) dx$$



$x$  noktasının yanlış sınıflandırılmasından doğan bir zarar muhakkak bulunacaktır. Bu zarara  $c(1/2)$  ve  $c(2/1)$  diyelim.  $c(1/2)$ ,  $x \in \pi_2$  olduğu halde  $x \in \pi_1$  şeklinde sınıflandırılmasından dolayı olan zararı  $c(2/1)$  ise bunun tersini belirtsin. ( $c(i/i) > 0$   $i \neq j$ ). Bu durumda risk şöyle yazılabilir:

$$R(1) = c(2/1) p(2/1, R) \quad (3)$$

$$R(2) = c(1/2) p(1/2, R)$$

$x_i$  noktalarının  $q_i$  a priori ihtimalleri belli ise ve bu ihtimaller  $q_i \in N(0, 1)$  olup  $\sum_i q_i = 1$  eşitliği sağlanıyorsa  $R$  karar kuramının ;

BAYES RISK ÖLÇÜSÜ

$$B(R) = \sum_{i=1}^2 q_i R_i \quad \text{olacaktır.} \quad (4)$$

$$B(R) = c(2/1)p(2/1, R)q_1 + c(1/2)p(1/2, R)q_2 \quad (5)$$

İyi seçilecek bir karar kuramı  $R$  (Diskriminant Fonksiyonu) Bayes Risk Ölçüsünü minimuma indirecektir. Optimizasyondaki risk hesaplanırken iyi bir dizaynı reddetme riski, artı, kötü bir dizaynı iyi olarak tanımlayıp lüzumsuz yere tam bir kontrol yapma riski bilinmelidir. Risk ölçüsünü minimuma indirme prensipleri (20)'de Wald tarafından geniş şekilde tartışılmıştır.

İki ihtimalli seçmeyi daha da basitleştirmek için  $c(1/2)=1; c(2/1)=1$  alınacak olursa, verilen bir  $x$  noktası için yanlış sınıflandırılma ihtimali, ancak daha büyük şartlı ihtimali veren sınıfa aidiyet kabul edilerek azaltılabilir. Diğer bir deyimle,

$$(q_1 p_1(x) / \{q_1 p_1(x) + q_2 p_2(x)\}) > q_2 p_2(x) / \{q_1 p_1(x) + q_2 p_2(x)\} \quad (6)$$

eşitsizliği doğru ise  $x$  noktasının  $\pi_1$  sınıfında olduğunu kabul etmekle riski minimize etmiş oluruz. Yanlış sınıflandırma ihtimali her nokta için minimize edilmiş olduğu için iki sınıfı da kapsayan bütün uzay için de kendiliğinden minimize edilmiş olur.

Tekrarlıyacak olursak 6 denklemleri,

$$q_1 p_1(x) > q_2 p_2(x) \quad \pi_1 \quad \text{sınıfını} \quad (7)$$

$$q_2 p_2(x) > q_1 p_1(x) \quad \pi_2 \quad \text{sınıfının seçilmesini}$$

belirtmektedir.  $q_1 p_1(x) = q_2 p_2(x)$  durumunda her iki sınıf da seçilebilir. (Bakınız Şekil 2).

$c(1/2) = 1$  ;  $c(2/1) = 1$  varsayımları kullanılmadan, genel durum için (7) denklemleri şu şekilde yazılabilir

$$\{c(2/1)q_1 p_1(x)\} > \{c(1/2)q_2 p_2(x)\} \quad \text{ise} \quad \pi_1 \quad (8)$$

aksi halde  $\pi_2$  seçilmelidir.

$c(i/j)$   $q_i$  sıfırdan büyük değerler olduğundan 8 eşitsizliği,

$$p_1(x)/p_2(x) > c(1/2)q_2/c(2/1)q_1 \quad \text{ise} \quad \pi_1, \quad (9)$$

aksi halde  $\pi_2$  şeklinde de yazılabilir.

Ayırımı yapılacak sınıfların normal dağılımlı oldukları kabul edilmiş olduğundan  $\pi_1, N(\mu_1, S)$  ;  $\pi_2, N(\mu_2, S)$  alınmış, ve bu şekilde iki sınıfın dağılımlarının kovaryans matrislerinin (S) eşit oldukları kabul edilmiştir (21). Böylece

$$p_i(x) = (2\pi)^{-p/2} S^{-1/2} \exp \left\{ -1/2 (x - \mu_i)^T S^{-1} (x - \mu_i) \right\} \quad (10)$$

bulunur. Burada  $(x - \mu_i)^T$  transpoze edilmiş kolon vektörünün göstermektedir. 10 denklemleri 9 denkleminde yerine konacak olursa;

$$\frac{\exp \left\{ -1/2 (x - \mu_1)^T S^{-1} (x - \mu_1) \right\}}{\exp \left\{ -1/2 (x - \mu_2)^T S^{-1} (x - \mu_2) \right\}} > c(1/2)q_2/c(2/1)q_1 \rightarrow \pi_1 \quad (11)$$

$$\exp\left(-\frac{1}{2}\left\{\left(x-\mu_1\right)^T S^{-1}\left(x-\mu_1\right)-\left(x-\mu_2\right)^T S^{-1}\left(x-\mu_2\right)\right\}\right) \frac{c(1/2)q_2}{c(2/1)q_1} \rightarrow \pi_1 \quad (12)$$

(12) denklemindeki fonksiyonun logaritması monotonik olarak arttığından fonksiyonun kendisi yerine logaritması alınarak çözüm kolaylığı sağlanabilir.

$$c(1/2)q_2 / c(2/1)q_1 = c' \quad \text{olsun} \quad (13)$$

$$-\frac{1}{2}\left\{\left(x-\mu_1\right)^T S^{-1}\left(x-\mu_1\right)-\left(x-\mu_2\right)^T S^{-1}\left(x-\mu_2\right)\right\} > \log c' \rightarrow \pi_1 \quad (14)$$

$$-\frac{1}{2}\left\{\left(x-\mu_1\right)^T S^{-1}\left(x-\mu_1\right)-\left(x-\mu_2\right)^T S^{-1}\left(x-\mu_2\right)\right\} \geq U(x) \quad (15)$$

diyelim:  $U(x) > \log c'$  eşitsizliğini sağlayan  $x$  değerleri için en az riskli tahmin  $x$  noktasının  $\pi_1$  sınıfına ait olduğu tahmini olup,  $U(x) < \log c'$  eşitsizliğini sağlayan  $x$  değerleri için ise en az riskli tahmin  $\pi_2$  sınıfına ait olma tahminidir.

15'e Matrix Operasyonu tatbik edilerek açılabilir.

$$U(x) = -\frac{1}{2}\left\{x^T S^{-1} x - \mu_1^T S^{-1} \mu_1 + \mu_1^T S^{-1} \mu_2 - x^T S^{-1} \mu_2 + \mu_2^T S^{-1} x - \mu_2^T S^{-1} \mu_2\right\}$$

$$U(x) = x^T S^{-1} (\mu_1 - \mu_2) - \frac{1}{2} (\mu_1 + \mu_2)^T S^{-1} (\mu_1 - \mu_2) \quad (16)$$

16 denkleminin ilk terimi  $x$  noktasına bağlı bir fonksiyon olup diskriminasyon fonksiyonunun esasını teşkil eder.  $x$  noktası  $p$  boyutlu bir vektörle ifade edildiğinde bunun, vektörün elemanlarının lineer bir fonksiyonu olduğu görülür.

$x \in N(\mu_1, S)$  olduğuna göre,

$$E_1\{U(x)\} = \frac{1}{2} (\mu_1 - \mu_2)^T S^{-1} (\mu_1 - \mu_2) \quad (17)$$

$$V_1\{U(x)\} = (\mu_1 - \mu_2)^T S^{-1} (\mu_1 - \mu_2) \quad \text{bulunur.}$$

17 denkleminde  $(\mu_1 - \mu_2)^T S^{-1} (\mu_1 - \mu_2) \equiv \alpha$  yazılırsa

$$E_1\{U(x)\} = \alpha/2, \quad V_1\{U(x)\} = \alpha \quad \text{çıkarak} \quad \alpha > 0$$

$U(x)$  Normal dağılımlı elemanların lineer kombinasyonu olduğundan kendisi de Normal Dağılımlıdır.

$U(x) \in N(\alpha/2, \alpha)$ ,  $x$  noktasının  $\pi_1$  de olduğu varsayımına göre elde edilmiştir.

$x \in \pi_2$  için  $U(x) \in N(-\alpha/2, \alpha)$  olur.

Bu yaklaşımla,  $x$  noktasının  $\pi_1$  den olması halinde yanlış sınıflandırma ihtimali;

$$p(2/1) = \int_{-\infty}^c \frac{1}{\sqrt{2\pi\alpha}} e^{-1/2(z-\alpha/2)^2/\alpha} dz = \int_{-\infty}^{(c-\frac{1}{2}\alpha)/\alpha^{1/2}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-1/2y^2} dy \quad (18)$$

$x$  noktasının  $\pi_2$  den olması halinde yanlış sınıflandırma ihtimali

$$p(1/2) = \int_c^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\alpha}} e^{-1/2(z-\alpha/2)^2/\alpha} dz = \int_{(c+\frac{1}{2}\alpha)/\alpha^{1/2}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-1/2y^2} dy \quad (19)$$

18 ve 19 denklemlerinde  $C$ , riski minimuma indirmek üzere bulunması gereken bir sabit sayıdır ve  $\log c'$  ne eşittir. Normal Dağılımlar için  $p(z < z) = \phi(z)$  şeklinde yazıldığından

$$p(2/1) = \phi\left\{(c-\alpha/2)/\alpha^{1/2}\right\} \quad (20)$$

$$p(1/2) = 1 - \phi\left\{(c+\alpha/2)/\alpha^{1/2}\right\} \quad \text{olur.}$$

Minimax kaidesine göre maksimum riski minimuma indirmek için  $C$  sabitesi 0 şeklinde seçilmelidir ki,

$$c(1/2) p(1/2) = c(2/1) p(2/1) \quad (21)$$

bu da ancak  $C = \log c'$  ile sağlanır.

Buraya kadar  $\mu_1, \mu_2, S$  popülasyon parametrelerinin bilindiğini farz etmiştik. Bilinmemeleri halinde hangi sınıfa ait oldukları kesinlikle belli olan noktalardan oluşan örnekler ile örnek parametreleri hesaplanıp örnek parametreleri popülasyon parametrelerinin tahminçileri olarak kullanılır.

Bu durumda,

$$x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}) \quad \text{için}$$

$$\hat{A}_{jk} = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} x_{ijk}^j \quad \begin{matrix} j = 1, 2 \\ k = 1, 2, \dots, p \end{matrix} \quad (22)$$

$$\hat{S}_{ij} = \frac{1}{N_1 + N_2 - 2} \sum_{k=1}^{N_1} (x_{ki}^1 - \hat{A}_{1i})(x_{kj}^1 - \hat{A}_{1j}) + \frac{1}{N_1 + N_2 - 2} \sum_{k=1}^{N_2} (x_{ki}^2 - \hat{A}_{2i})(x_{kj}^2 - \hat{A}_{2j}) \quad (23)$$

Aynı zamanda,

$$\mu_j = (\mu_{j1}, \mu_{j2}, \dots, \mu_{jp})$$

$$E(\mu_j) = \mu_j : E(\hat{S}) = S \text{ olarak verilmiştir.}$$

Görüldüğü ki parametrik diskriminasyon metodunda karar denklemi C katsayısına bağlı olup  $c(2/1) \neq c(1/2)$  halinde bu sayı normal dağılım tablolarından yararlanılarak deneme usulü ile bulunabilmektedir. Ancak genellikle popülasyon parametreleri bilinmediğinden yerlerine kullanılabilir olan örnek parametreleri hangi sınıfa ait oldukları bilinen örnek noktalarından yapılan örneklemeyle elde edilmektedir. Bu parametre bulma işlemi ile teşhis konusunda gördüğümüz Özellik Bulma işlemleri, anlam bakımından birbirlerine çok yakın olan işlemlerdir.

## 2.D. PARAMETRİK OLMAYAN DİSKRİMİNASYON

Parametrik metotta x noktasının dağılımının normal olması varsayımını karşılayabilmek için optimizasyon programında bazı manipülasyonlar yapılması gerekmiş ve bu sebepten daha basit ve daha az kısıtlayıcı bir yöntem olan parametrik olmayan Diskriminasyon fonksiyonuna yönelinmiştir.

Aşağıda gösterilen metod; "k" boyutlu bir dizayn uzayında yerleşmiş, geçerli ve geçersiz dizayn noktalarından oluşan bir popülasyonu popülasyon parametrelerinin bilinmemesi halinde bile iki sınıfa ayırabilmek gayesi ile hazırlanmıştır.

Geçerli noktaların popülasyonuna A, geçersiz noktalarına ise U diyelim ve  $x_{Aj}$  geçerli bir noktayı,  $x_{Uj}$  geçersiz bir noktayı gösterebilir.

k boyutlu uzaya yeni bir boyut ilâve edecek olursak ortaya çıkan boyutlu uzayda bir Z hiperdüzeyi tanımlayabiliriz.

$$Z = \sum_{j=1}^k \lambda_j x_j$$

Buradaki Z değeri X noktasının  $x_{k+1}$  bileşeni olarak da düşünülebilir.

Z hiperdüzeyi o şekilde seçilmelidir ki dizayn noktalarının bu düzey üzerindeki izdüşümlerinin meydana getirdiği  $A_Z$  ve  $U_Z$  popülasyonlarının ortalama değerleri olan  $\bar{Z}_A$  ve  $\bar{Z}_U$  arasındaki fark maksimum olsun.

Ancak  $Z_A - Z_U$  maksimize edilirken  $A_Z$  ve  $U_Z$  popülasyonlarının varyanslarının da artacağı gözönüne alınacak olursa maksimumu araması gereken fonksiyonun  $Z_A - Z_U$  değil, aşağıda belirtilen D fonksiyonu olduğu anlaşılır.

$$D = \frac{(\bar{Z}_A - \bar{Z}_U)}{\sum_{j=1}^{n_A} (z_{Aj} - \bar{Z}_A)^2 + \sum_{j=1}^{n_U} (z_{Uj} - \bar{Z}_U)^2} \quad (24)$$

Burada  $Z_{Aj}$  ve  $Z_{Uj}$  ifadeleri sırasıyla,  $A_Z$  popülasyonunda bulunan "j" ninci noktanın  $Z$  değerini ve  $U_Z$  popülasyonunda bulunan "j" ninci noktanın  $Z$  değerini göstermektedirler. Açık olarak yazacak olursak:

$$Z_{Aj} = \lambda_1 x_{1Aj} + \lambda_2 x_{2Aj} + \dots + \lambda_k x_{kAj} = \sum_{i=1}^k \lambda_i x_{iAj}$$

(25)

$$Z_{Uj} = \lambda_1 x_{1Uj} + \lambda_2 x_{2Uj} + \dots + \lambda_k x_{kUj} = \sum_{i=1}^k \lambda_i x_{iUj}$$

$$Z_A = \frac{1}{n_A} \sum_{j=1}^{n_A} Z_{Aj} \quad , \quad Z_U = \frac{1}{n_U} \sum_{j=1}^{n_U} Z_{Uj}$$

(26)

$$\bar{Z}_A = \frac{1}{n_A} \sum_{j=1}^{n_A} \sum_{i=1}^k \lambda_i x_{iAj} = \sum_{i=1}^k \lambda_i \frac{1}{n_A} \sum_{j=1}^{n_A} x_{iAj}$$

$$\bar{Z}_A = \sum_{i=1}^k \lambda_i \bar{x}_{iA} = \sum_{i=1}^k \lambda_i \bar{x}_{iA} \quad (27)$$

$$\bar{Z}_U = \sum_{i=1}^k \lambda_i \bar{x}_{iU} \quad (28)$$

$$\bar{Z}_A - \bar{Z}_U = \sum_{i=1}^k \lambda_i (\bar{x}_{iA} - \bar{x}_{iU}) \quad (29)$$

$$\bar{x}_{iA} - \bar{x}_{iU} \text{ değerine } d_i \text{ diyecek olursak} \quad (30)$$

$$\bar{Z}_A - \bar{Z}_U = \sum_{i=1}^k \lambda_i d_i \quad (31)$$

şeklinde yazılabilir.

$$z_{Aj} - \bar{Z}_A = \sum_{i=1}^k \lambda_i x_{iAj} - \sum_{i=1}^k \lambda_i \bar{x}_{iA} = \sum_{i=1}^k \lambda_i (x_{iAj} - \bar{x}_{iA}) \quad (32)$$

(24) denklemini bir oran olarak yazalım

$$D = \frac{\alpha}{\beta} \quad (33)$$



$$\alpha = \left( \sum_{i=1}^k \lambda_i d_i \right)^2 \quad (34)$$

$$\alpha = (\lambda_1 d_1 + \lambda_2 d_2 + \dots + \lambda_k d_k) (\lambda_1 d_1 + \lambda_2 d_2 + \dots + \lambda_k d_k) \quad (35)$$

$$\alpha = \sum_{I=1}^k \sum_{i=1}^k \lambda_I \lambda_i d_I d_i \quad (36)$$

(32) den yararlanarak,

$$\beta = \sum_{j=1}^{n_A} \left\{ \sum_{I=1}^k \lambda_I (x_{IAj} - \bar{x}_{IA}) \right\}^2 + \sum_{j=1}^{n_U} \left\{ \sum_{I=1}^k \lambda_I (x_{IUj} - \bar{x}_{IU}) \right\}^2 \quad (37)$$

$$\beta = \sum_{j=1}^{n_A} \left\{ \sum_{I=1}^k \lambda_I (x_{IAj} - \bar{x}_{IA}) \right\} \left\{ \sum_{I=1}^k \lambda_I (x_{IAj} - \bar{x}_{IA}) \right\} + \sum_{j=1}^{n_U} \left\{ \sum_{I=1}^k \lambda_I (x_{IUj} - \bar{x}_{IU}) \right\} \left\{ \sum_{I=1}^k \lambda_I (x_{IUj} - \bar{x}_{IU}) \right\} \quad (38)$$

$$\beta = \sum_{j=1}^{n_A} \sum_{I=1}^k \sum_{i=1}^k \lambda_i (x_{IAj} - \bar{x}_{IA}) \lambda_I (x_{IAj} - \bar{x}_{IA}) + \sum_{j=1}^{n_U} \sum_{I=1}^k \sum_{i=1}^k \lambda_i (x_{IUj} - \bar{x}_{IU}) \lambda_I (x_{IUj} - \bar{x}_{IU}) \quad (39)$$

$$\beta = \sum_{I=1}^k \sum_{i=1}^k \lambda_i \lambda_I \left\{ \sum_{j=1}^{n_A} (x_{IAj} - \bar{x}_{IA})(x_{IAj} - \bar{x}_{IA}) + \sum_{j=1}^{n_U} (x_{IUj} - \bar{x}_{IU})(x_{IUj} - \bar{x}_{IU}) \right\} \quad (40)$$

Köşeli parantez içindeki terimi  $S_{II}$  olarak tanımlarsak,

$$\beta = \sum_{I=1}^k \sum_{i=1}^k \lambda_i \lambda_I S_{II} \quad \text{şekline girecektir.} \quad (41)$$

$\alpha$  ve  $\beta$  değerlerini (33)'de yerine koyarsak,

$$D = \frac{\sum_{I=1}^k \sum_{i=1}^k \lambda_i \lambda_I d_i d_I}{\sum_{I=1}^k \sum_{i=1}^k \lambda_i \lambda_I S_{II}} \quad (42)$$

(42) denkleminin maksimum değerini bulmak için  $\lambda$  parametresine göre kısmi türev olarak sifira eşitlemek yetecektir. Demek ki,

$$\frac{\partial D}{\partial \lambda_R} = 0 \quad R = 1, 2, \dots, k \quad (43)$$

$\lambda$ 'nın (43) denklem takımını sağlayan değerleri aradığımız değerlerdir.

$$\frac{\partial D}{\partial \lambda_R} = \frac{\left( \frac{\partial \alpha}{\partial \lambda_R} \right) \beta - \left( \frac{\partial \beta}{\partial \lambda_R} \right) \alpha}{\beta^2} = 0 \quad R = 1, 2, \dots, k \quad (44)$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial \lambda_R} \beta = \frac{\partial \beta}{\partial \lambda_R} \alpha \quad R = 1, 2, \dots, k \quad (45)$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial \lambda_R} = \frac{1}{D} \frac{\partial \alpha}{\partial \lambda_R} \quad R = 1, 2, \dots, k \quad (46)$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial \lambda_R} = \frac{\partial}{\partial \lambda_R} \sum_{I=1}^k \sum_{i=1}^k \lambda_i \lambda_I S_{II} = 2 \sum_{i=1}^k \lambda_i S_{Ri} \quad (47)$$

$$R = 1, 2, \dots, k$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial \lambda_R} = 2 \sum_{i=1}^k \lambda_i d_i d_R = \left( 2 \sum_{i=1}^k \lambda_i d_i \right) d_R \quad (48)$$

$$R = 1, 2, \dots, k$$

(47) ve (48). (46) da yerlerine konacak olursa

$$\sum_{i=1}^k \lambda_i S_{Ri} = d_R \left( \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i d_i}{D} \right) \quad R = 1, 2, \dots, k \quad (49)$$

(49) da parantez içindeki değere, R endisinin bağımsız olarak hesaplanabi-



İnceği için  $C_0$  dersek; aşağıdaki denklem takımını elde ederiz:

$$\begin{bmatrix} S_{Ri} \\ \lambda_i \end{bmatrix} = C_0 \begin{bmatrix} d_R \\ d \end{bmatrix} \quad (50)$$

$K \times K \quad K \times 1 \quad K \times 1 \quad K \times 1$

$$\{\lambda\} = C_0 [S^{-1}] \{d\} \quad (51)$$

(51) denkleminde,

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_k \end{bmatrix}, \quad C_0 \text{ } \lambda \text{ } \text{lamdaya bağılı bir katsayı}$$

S elemanları,

$$S_{Ri} = \sum_{j=1}^A (x_{iAj} - \bar{x}_{iA})(x_{RAj} - \bar{x}_{RA}) + \sum_{j=1}^U (x_{iUj} - \bar{x}_{iU})(x_{RUj} - \bar{x}_{RU}) \quad (52)$$

olan bir matris, d ise elemanları  $d_R = \bar{x}_{RA} - \bar{x}_{RU}$  olan bir kolon matrisidir.

Görüldüğü ki  $C_0$  değeri  $\lambda$ 'ya bağılı olarak değişen bir katsayı olmakla beraber  $\lambda/C_0$  değerleri (51)'den elde edilebilir. Demek ki değerleri tek bir değer olmayıp ancak bir orantı olarak belirlenebilir. Diğer bir deyimle

$$Z = \sum_{i=1}^k \lambda_i x_i \quad \text{tek bir denklem olarak belirlenmemekle beraber,}$$

$$Z' = \sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{\lambda_1} x_i = x_1 + \lambda_2' x_2 + \dots + \lambda_k' x_k \quad (53)$$

denklemini elde edilebilir.

Diskriminant denklemi elde edildikten sonra herhangi bir dizayn noktasının geçerli veya geçersiz popülasyona ait olduğu kararı a priori bir risk fonksiyonuna bağılı olarak tesbit edilir.

## BÖLÜM 3

### DİSKRİMİNASYONUN OPTİMİZASYONA UYGULANMASI

#### 3.A. YAPI OPTİMİZASYONU PROBLEMLERİNİN TANIMI

Yapı Optimizasyonu problemleri aşağıda bölümlerden oluşmaktadır :

a. Optimize edilecek olan fonksiyonun tesbiti ve optimizasyon parametreleri cinsinden ifadesi. Örneğin, bir kaset döşemenin maliyet optimizasyonu söz konusu ise ve kaset boyutları optimizasyon parametreleri olarak ele alınmışsa maliyetin de kaset boyutları cinsinden ifadesi gerekir. Bu fonksiyona Masraf Fonksiyonu adı verilir ve MF olarak gösterilir.

b. İstenilen bütün şartları sağlayan dizaynların, "geçerli dizaynlar" bir veya daha fazla şartı sağlamayan dizaynlardan "geçersiz dizaynlar", tefrik edilebilmesi için, şartların dizayn parametreleri cinsinden ifadesi gerekir. Bu şartlara kısıt fonksiyonları, (constraint) denilir. Yukarıdaki kaset örneğinde kısıt fonksiyonları parametreler üzerine doğrudan doğruya konan kısıt fonksiyonları ile, sistemin sehim, sağlamlık vesaire şartları gibi kısıt fonksiyonlarından oluşur. Bunlara yan kısıt fonksiyonları ve ana kısıt fonksiyonları denilir.

c. Bütün geçerli dizaynlar arasında Masraf Fonksiyonu en küçük olan dizaynın bulunmasını sağlayan bir yöntemin, yani bir optimizasyon yönteminin uygulanması.

Kullanılan Optimizasyon yöntemleri kabaca üç grupta toplanabilir.

i. Gradyen yöntemleri: Bu yöntemler en fazla üzerinde durulup işlenmiş olan yöntemler olup raporun sonundaki seçme literatür listesinde sayısız örnekleri mevcuttur.

ii. Prager tarafından son yıllarda ortaya atılıp optimum dizaynın doğrudan doğruya bulunmasını sağlayan optimalite kriterleri yöntemi (22): Bu yöntemle bazı basit yapı optimizasyonu problemlerinde direkt olarak netice elde etmek mümkündür. Pratikte görülmesi mümkün olan daha karışık

problemlerde ise optimallik kriteri ile kısıt fonksiyonlarını belli değerler arasında sağlayabilen ve optimum dizayna yakın olan dizayn gruplarını tarif edebilen çözümler elde edilmektedir.

Hakiki ve detaylı bir problemde ise, optimallik şartları, bir başlangıç dizaynından hareketle optimum dizayna iteratif olarak yapılan bir gidiş-te yol gösterici olarak faydalı olmaktadır. Diğer bir deyimle optimallik kriterleri yöntemi matematik ve teorik açıdan çok kuvvetli bazlara dayanan bir yöntem olmakla beraber bugün için pratik değerleri olan hakiki yapı dizaynı problemlerine tatbik edilebilecek kadar ileri gitmemiştir.

iii. Rasgele ve Sistematik Arama Yöntemleri: Rasgele Arama ve Sistematik Arama ile Rasgele Aramanın çeşitli kombinezonları optimum bulunmasında kullanılan en eski yöntemler olup genellikle randımanı çok düşük sistemler olduğundan Optimizasyon, özellikle yapı optimizasyonu konusunda çalışanlar tarafından her zaman daha az tercihe şayan metodlar, ancak başka metod bulunmadığı zaman kullanılan metodlar olarak muamele görmüşlerdir. Bu sebeplerden kullanışlı bir arama yönteminin rasgele aramanın verdiği kolaylık ve uygulama genişliğinden fedakârlık etmeden neticeye çabuk gidebilen bir yöntem olması gerekir.

### 3.B. METODUN ANA HATLARI

Optimize edilmesi istenilen yapı sisteminin parametre sayısı  $k$  olsun ve parametreler  $x_1, x_2, \dots, x_k$  şeklinde gösterilsin. Bu durumda  $X = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ ,  $k$  boyutlu bir dizayn uzayında bulunan (54) bir  $X$  dizayn noktasını belirlemektedir. Dizayn uzayına (Dizayn Universal Takımına)  $S$  diyelim. Her  $X$  ayrı bir dizaynı göstermekte ve bütün  $X$ 'ler için

$$X \in S \text{ olmaktadır}$$

Mümkün olan bütün dizaynlar sağlanması icabeden şartları (Kısıt Fonksiyonlarını) sağlayıp sağlamadıklarına göre iki takıma ayrılabilirler. Geçerli dizaynlardan oluşan takıma  $A$ , geçersiz dizaynlardan oluşan takıma da  $U$  adı verilir. Öyle ki:

$$\begin{aligned} X \text{ geçerli ise } X \in A \\ X \text{ geçerli değilse } X \in U \\ A \cup U = S; \quad A \cap U = \emptyset \text{ (Boş Takım)} \end{aligned} \quad (55)$$

Kısıt fonksiyonlarının toplam sayısı  $p' + p$  ise ve " $p$ " yan kısıt fonksiyonlarını " $p$ " den ana kısıt fonksiyonlarını gösteriyorsa, geçerli noktalar aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\begin{aligned} g_i(x) > 1 \quad i = 1, 2, \dots, p \\ g_i(x) > 1 \quad i = (p+1), \dots, (p+p') \end{aligned} \rightarrow X \in A \quad (56)$$

Not: Yan kısıt fonksiyonlarına misal olarak bazı parametrelerin en küçük ve en büyük değerlerle sınırlandırılmış olmalarını verebiliriz.

$$x_i \min < x_i < x_i \max \quad t = a, b, c$$

Dizayn uzayının bu şekilde tarifinden ve bütün kısıt fonksiyonlarının yazılmasından sonra Arama İşlemine geçebiliriz. Arama işlemi şu aşamalardan oluşur:

i. Ön Arama: Bu kısımda geçerli ve geçersiz dizayn popülasyonlarının özelliklerini bulmak için sistematik bir örnekleme yapılır. Her dizayn parametresinin minimum ve maksimum değerleri arasındaki mesafe  $MF$  etkileme önemine göre " $l_i$ " eşit parçaya bölünür. Bu durumda  $S$  uzayı  $M$  bölme ihtiva eder.

$$M = \sum_{i=1}^k l_i \quad (57)$$

Her bölmeden bir nokta alacak olursak ön aramanın gayesi olan

$$(x_1, x_2, \dots, x_M) \text{ örneği elde edilmiş olur.}$$

ii. Sınıflara ayırım işlemi: Bu araştırmada sadece iki sınıflı ayırım üzerinde durulmuş olduğundan dizayn noktalarının  $A$  veya  $B$  sınıflarına, diğer bir deyimle  $A$  veya  $B$  takımlarına ayrılması ile yetinilmiştir. Bunun için,  $g_1(X)$  kısıt fonksiyonları hesaplanır ve (56) denklemi sağlanıyorsa  $X$   $A$  takımının bir elemanı, sağlanmıyorsa  $U$  takımının bir elemanı olarak işaretlenir.

iii. Özellik bulma işlemi: Bu safhada  $X^A$  ve  $X^U$  noktalarından yararlanılarak, örneğin  $A$  ve  $U$  takımları için örnek ve örnek standart sapması bulunur ve bunlar  $A$  ve  $U$  popülasyonlarının popülasyon parametrelerinin tahminci olarak kabul edilir.

$$\begin{aligned} \bar{x}^A &\sim \mu_A & s^A &\sim \sigma_A \\ \bar{x}^U &\sim \mu_U & s^U &\sim \sigma_U \end{aligned}$$

iv. Diskriminant fonksiyonunun hazırlanması: Daha önceki araştırmalarda örnek değerlerinden yararlanılarak  $A$  ve  $U$  popülasyonları ile bilgiler hazırlanmış olduğundan bu safhada "2. C" de belirtilen usulle

$$U(x) = x^T S^{-1} (\mu_A - \mu_U) - \frac{1}{2} (\mu_A + \mu_U)^T S^{-1} (\mu_A - \mu_U)$$

denklemi elde edilir. Buradan da

$C(1/2) p(1/2) = C(2/1) p(2/1)$  eşitliğini sağlayacak  $C'$  değeri bulunur.

$$\text{Karar Fonksiyonu} \equiv \sum_{i=1}^k l_i x_i \text{ olarak yazılır.}$$

1, 2 ve 3 numaralı deneme problemlerinde diskriminant fonksiyonu bu yöntemle bulunmuştur.

Diskriminant fonksiyonunun parametrik olmayan usulle bulunması isteniyorsa "2.D" de gösterilen (50) denklem takımı çözümlenerek  $\lambda$  katsayıları bulunur ve (53) denklemi Diskriminant fonksiyonu olarak kullanılır.

4 ve 5 numaralı deneme problemlerinde

$$Z = x_1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1} x_2 + \frac{\lambda_3}{\lambda_1} x_3 + \dots + \frac{\lambda_k}{\lambda_1} x_k$$

denklemini kullanılmıştır.

v. Masraf Fonksiyonunun hesaplanması: Ön arama neticesi olan örnek değerleri ( $X_1, X_2, \dots, X_M$ ) için, veri olarak verilmiş olan masraf fonksiyonunu kullanarak,

$$MF(x_i) \quad i = 1, 2, \dots, M \text{ bulunur.}$$

Bu değerlerden en küçüğüne MF ( $X^0$ ) denilir.

vi. İkinci arama: İkinci arama rasgele değerler üreten bir yöntemden yararlanılarak yapılır. Herhangibir rasgele değer üretim yöntemi ile (Random Number Generator)  $\{0,1\}$  aralığında k kadar değer ( $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k$ ) üretilir. İkinci aramada kullanılan bir dizayn noktası  $X'$  in  $x_i$  koordinatları,

$$x_i = x_{i \min} + (x_{i \max} - x_{i \min}) \tau_i \quad (58)$$

denkleminde bulunur.

İkinci aramadaki her bir X noktası için yeni bir ( $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k$ ) Rasgele Vektörü üretilerek işlem tamamlanır. Bu aramadaki örnek büyüklüğüne  $M'$  diyecek olursak

$$M' = M^2 / (\text{Ön aramadaki toplam } X_A \text{ sayısı}) \quad (59)$$

olarak alınır.

Bütün yeni dizayn noktaları için

$$MF(x_j) \quad j = 1, 2, \dots, M' \text{ bulunur.}$$

Düşük masraflı dizaynların bulunduğu bir alt takımı olan  $A'$  şöyle tarif edilir.

$$x_j \in A' \rightarrow MF(x_j) < MF(x^0)$$

vii.  $\hat{A}$ ,  $\hat{U}$  ve  $A''$  takımlarının belirlenmesi:  $X_j$  noktalarının koordinatları (iv) de verilen diskriminasyon denkleminde yerlerine konarak ikinci aramadaki dizayn noktaları  $\hat{A}$  ve  $\hat{U}$  sınıflarına ayrılır. Diskriminant fonksiyonuna göre geçerli sayılan noktalardan oluşan takıma  $\hat{A}$ , Diskriminant fonksiyonuna göre geçersiz sayılan noktalardan oluşan takıma da  $\hat{U}$  denilir.

Aranılan dizaynlar hem düşük masraflı hem de büyük bir ihtimalle geçerli olması gereken  $\hat{A}$  takımının elemanları olmaları gerektiğinden aranılan dizaynların oluşturduğu alt takıma  $A''$  dersek

$$x_j \in A'' \rightarrow x_j \in (A' \cap \hat{A})$$

viii. Doğrulama İşlemi:  $A''$  takımının elemanlarını masraf fonksiyonu değerlerine göre sıraya dizerssek ve diziyeye ( $x_1^p, x_2^p, \dots, x_M^p$ ) dizisi dersek. Doğrulama işlemine  $x_1^p$  dizayn noktasından başlayabiliriz. Bu nokta Diskriminant Fonksiyonuna göre geçerli sayılan ve arama sırasında rastlanılan en küçük masraf değerli dizaynı göstermektedir.

Doğrulama işlemi için  $x_1^p$  noktasının koordinatları (56) denkleminde yerine konur.

$$g_i(x_1^p) > 1 \quad i = 1, 2, \dots, p$$

sağlanıyorsa  $x_1^p$  noktası gerçek bir geçerli dizayn gösterdiğinden, optimizasyon işlemi sonuçlandırılır. Sağlamadığı takdirde

$$g_i(x_2^p) > 1 \quad i = 1, 2, \dots, p$$

kontrol edilir ve gerçek geçerli bir nokta bulununcaya kadar işlem sürdürülür.

iv.. Tekrarlama işlemi: Herhangibir sebepten dolayı optimizasyonun sonuna kadar götürülmesi isteniyorsa, üçüncü, dördüncü ve n'nci aramalara geçilerek aynı işlemler tekrarlanır.  $X_t$ , t'nci arama sırasında bulunan optimum noktayı gösteriyorsa, işlemi durdurmak için deneysel sonuçlardan çıkarılan bir kriter aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\{MF(x_{t-2}) - MF(x_{t-1})\} \{MF(x_{t-1}) - MF(x_t)\}}{MF(x_t)^2} < .1 \% \quad (60)$$

(60) denkleminin sağlanması halinde global optimuma کافی derecede yaklaşılmış olduğu gerekçesi ile arama işlemine son verilir.

### 3.C. UYGULAMALAR

#### i. Normal Dağılım Varsayımlı Uygulamalar

a- Optimizasyon problemlerinde, örnekleme sonucu elde edilen X noktalarının bileşenleri olan ( $x_1, x_2, \dots, x_k$ ) değerlerinin her zaman normal dağılıma uyacakları söylenemez. Hele (özellikle normal değerler seçilen bir sistem kullanılmadığı takdirde) sistematik bir aramada normal değil düzğün

dağılımlı değerler çıkacağı açıktır. "2.C" de verilen denklemlerden yararlanabilmek için ise normal dağılımlı bileşen değerlerinin kullanılması gerekmektedir. Bu amacı sağlamak maksadı ile k boyutlu olan arama uzayı (Dizayn Uzayı) S, aşağıda verilen değişken değişimi kullanılarak iki boyutlu S arama uzayına indirgenir.

$$\alpha_1 = \left( \frac{\sum_{i=1}^k x_i^2}{\sum_{i=1}^k x_i^2} \right)^{1/2} \quad (61)$$

$$\alpha_2 = (k^{-1/2} - \sum_{i=1}^k \cos \theta_i) / k^{-1/2} \quad (62)$$

$$\cos \theta_i = x_i / \left( \sum_{i=1}^k x_i^2 \right)^{1/2} \quad (63)$$

Bu değişimle hem daha basit bir arama uzayına geçilmiş hem de  $\alpha_i$  değerlerinin çok sayıda rasgele değişkenlerin toplamları olmaları dolayısıyla  $N(\mu_{\alpha_i}, \sigma_{\alpha_i})$  dağılımına yaklaşmaları sağlanmış olmaktadır. Ancak  $S_x$  uzayındaki her noktaya S uzayında bir bölge tekabül ettiğinden aramanın hassasiyetinden fedakârlık edilmiştir.

b- Örnek Problem 1. Westinghouse Araştırma Laboratuvarından C.E. Wood tarafından hazırlanmış olan bu problem optimum noktasına doğru çok yavaş bir yaklaşma verdiğiinden araştırmacılar tarafından deneme problemi olarak kullanılmaktadır. Dört boyutludur.

$$MF = 100(x_2 - x_1)^2 + (1 - x_1)^2 + 90(x_4 - x_3)^2 + (1 - x_3)^2 + 10.1(x_2 - 1)^2 + (x_4 - 1)^2 + 19.8(x_2 - 1)(x_4 - 1)$$

$$g_i \quad -10 < x_i < 10 \quad i = 1, 2, 3, 4; \quad p=0 \quad p'=4$$

3.B. kısmında belirtilen esaslara göre hazırlanmış olan kompüter programı Şekil (3) örnek problemine tatbik edilmiş ve Tablo 1'de verilen sonuçlar elde edilmiştir.

TABLO -I: ÖRNEK PROBLEM 1 SONUÇLARI

|  | Deneme 1   | Deneme 2                                       |
|--|--|--|
| MF(X <sup>0</sup> )  | 9647.00  | 9647.0   |
| MF (X optimum)   | 275.00   | 323.0  |
| X optimum (x <sub>1</sub> , x <sub>2</sub> , x <sub>3</sub> , x <sub>4</sub> ) | -1.98-3.56; 2.45; 5.76                           | 6.76; 7.11; -0.36; 0.10                        |
| Teorik X optimum   | 1.00; 1.00; 1.00; 1.00                           | 1.00; 1.00; 1.00; 1.00                         |
| Teorik MF optimum  | 0.00   | 0.00   |
| p(2/1)   | 0.1745   | 0.1374   |
| Ū/A  | 0.1520   | 0.1800   |
| p(1/2)   | 0.0280   | 0.0533   |
| Â/U  | 0.0445   | 0.0624   |
| C(2/1):C(1/2)  | 1.0; 1.0   | 1.0; 1.0                                       |
| Karar fonksiyonu   | 13.09 = 31.49α <sub>1</sub> + 1.04α <sub>2</sub> | 11.95 = 28.85α <sub>1</sub> + 58α <sub>2</sub> |

c- Örnek Problem 2. Bu problem Rosen ve Suzuki tarafından hazırlanmış olup, lineer olmayan kısıt fonksiyonları çok dar bir "vadi" verecek şekilde düzenlenmiştir. Bu bakımdan optimum noktasının bulunması oldukça zaman alıcıdır.

$$MF = x_1^2 + x_2^2 + 2x_3^2 + x_4^2 - 5x_1 - 5x_2 - 21x_3 + 7x_4$$

$$p=3; \quad p'=4$$

$$-10 < x_i < 10 \quad i=1, 2, 3, 4$$

$$g_i(X) > 1 \quad i=1, 2, 3$$

$$g_1 = -x_1^2 - x_2^2 - x_3^2 - x_4^2 - x_1 + x_2 - x_3 + x_4 + 7$$

$$g_2 = -x_1^2 - 2x_2^2 - x_3^2 - 2x_4^2 + x_1 + x_4 + 9$$

$$g_3 = -2x_1^2 - x_2^2 - x_3^2 - 2x_1 + x_2 + x_4 + 4$$

Kompüter optimizasyon programının örnek problemi 2.ye tatbikinden elde edilen neticeler Tablo II'de verilmiştir.

TABLO-II: ÖRNEK PROBLEM 2 SONUÇLARI

|  | Deneme 1  | Deneme 2                                       |
|--|---|--|
| MF(X <sup>0</sup> )  | 71.0  | 71.0   |
| MF(X) optimum  | 4.77  | -37.0  |
| X optimum (x <sub>1</sub> , x <sub>2</sub> , x <sub>3</sub> , x <sub>4</sub> ) | 0.67; 1.03; 0.42; 2.19                              | 0.20; 0.06; 1.90; 0.47                         |
| Teorik MF optimum  | -44.0   | -44.0  |
| Teorik X optimum   | 0.00; 1.00; 2.00; 1.00                              | 0.00; 1.00; 2.00; -1.00                        |
| p(2/1)   | 0.0031  | 0.0187   |
| Ū/A  | 0   | 0  |
| p(1/2)   | 0.0031  | 0.0187   |
| Â/U  | 0.9100  | 0.9400   |
| C(2/1): C(1/2)   | 1.0 ; 1.0   | 1.0 ; 1.0                                      |
| Karar Fonksiyonu   | -21.89 = -133.24α <sub>1</sub> + 1.82α <sub>2</sub> | -14.12 = -40.96α <sub>1</sub> - α <sub>2</sub> |

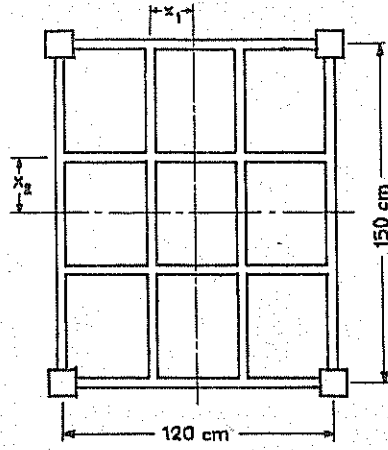
Not: Üçüncü deneme olarak C(2/1)=1.5, C(1/2)=1.0 alınmış ve aşağıdaki değerler bulunmuştur.

$$MF(X \text{ optimum}) = -36.32$$

$$X \text{ optimum} = -0.21; 0.09; 1.82; -0.89$$

d- Kaset döşeme optimizasyonu: Özel bir alüminyum alaşımından yapılmış ve dört köşesinden mesnetlendirilmiş bir kaset döşeme, ızgara aralarına ve giriş boyutlarına göre optimize edilmiştir. Kullanılan Kompüter Programı örnek 1 ve 2'de kullanılanın aynıdır. Döşemenin şekli aşağıda

verilmiştir. Problemin özelliği tatbik edilen yükün döşeme rijitliğinin bir fonksiyonu olmasıdır.



Kaset Döşeme

$$\begin{aligned}
 P &= 1800 \text{ (2-3) kg} \\
 E &= 700 \text{ 000 km}^2 \\
 G &= 233 \text{ 333 kg/cm}^2 \\
 \sigma &= 2800 \text{ kg/cm}^2 \\
 \tau_{\text{döş}} &= 2500 \text{ kg/cm}^2 \\
 \delta &= \text{en büyük sehim}
 \end{aligned}$$

$$k = 6$$

$$MF = 120x_3x_4 + 150x_5x_6$$

$x_1$  = Kirişin simetri ekseninden yatay uzaklığı

$x_2$  = Kirişin simetri ekseninden düşey uzaklığı

$x_3$  = Yatay kirişlerin kalınlığı

$x_4$  = Yatay kirişlerin yüksekliği

$x_5$  = Düşey kirişlerin kalınlığı

$x_6$  = Düşey kirişlerin yüksekliği

$$p = 3, \quad p' = 6$$

$$0 < x_1 < 60 \text{ cm}$$

$$0 < x_2 < 75 \text{ cm}$$

$$.4 < x_j < 12.0 \text{ cm}$$

$$j = 3, 4, 5, 6$$

$$g_1(X) > 1$$

$$2800$$

$$i = 1, 2, 3$$

$$g_1 = \frac{\sigma}{\sigma_{\text{max}}}$$

$$2500$$

$$g_2 = \frac{\tau}{\tau_{\text{max}}}$$

1

$$g_3 = \frac{\delta}{\delta_{\text{max}}}$$

Maksimum Sehim (cm)

Sonuçlar Tablo III'de verilmiştir. Dikkat edilecek olursa birinci de -

neme sonucu olan optimum dizayn ikinci deneme sonucu olan optimum dizaynın çok farklı oldukları görülecektir; bu da bu noktaların lokal optimum değerleri olduklarını belirler.

TABLO-III: KASET DÖŞEME SONUÇLARI

|  | Deneme 1                           | Deneme 2                             |
|--|------------------------------------|--------------------------------------|
| MF(X <sup>0</sup> )  | 2160                               | 2160                                 |
| MF(X optimum)  | 1295                               | 1769                                 |
| X optimum (x <sub>1</sub> , x <sub>2</sub> , ..., x <sub>6</sub> ) | 49.48; 72.86; .58; 9.67; .41; 9.29 | 51.62; 67.09; 2.27; 3.92; 1.33; 2.89 |
| Teorik MF optimum  | "belirsiz"                         | "belirsiz"                           |
| Teorik X optimum   | "belirsiz"                         | "belirsiz"                           |
| p(2/1)   | .43                                | .08                                  |
| Ū/A  | .16                                | .09                                  |
| p(1/2)   | .30                                | .19                                  |
| Â/U  | .45                                | .49                                  |
| C(2/1); C(1/2)   | 1.0; 1.0                           | 1.0; 1.0                             |

#### ii. Parametrik Olmayan Uygulamalar (P.O.U)

Parametrik olmayan uygulamalara (53) denkleminin en basit iki bo-yutlu örnek uzaylarına olan etkisini incelemekle başlanılmıştır.

#### Örnek 1.

A sınıfında bulunan noktalar: (2; 3), (4; 2.5), (5; 3.5)  $n_A = 3$

U sınıfında bulunan noktalar: (1; 2), (2.5; 1), (2; 4), (3; 5)  $n_U = 4$

Şekil 4'de bu örnekler ve bu örneklerden elde edilen  $Z = x_1 - .238 x_2$  dönüşüm denklemi uygulanarak elde edilen sonuç verilmektedir.  $Z = 2.4$  de-geri için

$$Z(X) > 2.4 \rightarrow X \in A$$

$$Z(X) < 2.4 \rightarrow X \in U$$

ayırım yapılması halinde hata ihtimali minimuma inmektedir.

#### Örnek 2.

Şekil 5'te verilen örnekte A ve U popülasyonları birbirlerinden üç adet lineer kısıt fonksiyonu vasıtası ile ayrılmış bulunmaktadır. Elde edilen  $Z = x_1 + .3x_2$  dönüşüm denklemi bütün noktalara uygulanarak A ve U popü-lasyonlarının Z eksenindeki dağılımları için standart sapma ( $\sigma$ ) ve or-talama değer (-) büyüklükleri işaretlenmiştir.

Aynı örneğe (53) denklemi sun'i bir şekilde eğrisel (non-linear) hale getirilerek uygulanmış ve Şekil 5.b de verilen ilginç sonuç ortaya çıkmıştır.

$$x_3 = x_1x_2; \quad x_4 = x_1^2; \quad x_5 = x_2^2$$

$$Z = x_1 + 1.364 x_2 + .347x_3 - .283x_4 - .779x_5$$

Yukarıdaki Z dönüşümü neticesinde,

1.8 < Z(X) < 2.3 → X ∈ A kuralı ayırım yapmada kullanılan kural olarak çıkmaktadır.

Örnek 3.

Şekil 6'da verilen örnekte doğrusal olmayan bir kompozit kısıt fonksiyonu (G) ve konveks bir Masraf Fonksiyonu MF alınmıştır.

$$x_3 = x_1 x_2; x_4 = x_1^2; x_5 = x_2^2$$

$$z = x_1 + .340x_2 - .099x_3 - .060x_4 + .029x_5 \text{ dönüşüm}$$

denklemleri kullanılarak Z değerleri hesaplanmış ve, neticede, ikinci arama sürecinde

$$1.92 < Z(X) < 2.32 \rightarrow X \in \text{Arama alanı}$$

ayırımı kullanılmıştır. Elde edilen sonuç teorik optimum noktasının aynıdır.

Örnek 4.

Şekil 7'de verilen örnek iki lokal optimum verecek şekilde hazırlanmış ve ilk arama sonunda

$$x_3 = x_1 x_2; x_4 = x_1^2; x_5 = x_2^2$$

$$Z = x_1 + .1391 x_2 - .0059 x_3 - .0683 x_4 - .0085 x_5$$

dönüşüm denklemleri bulunmuştur. Elde edilen sonuç teorik optimum noktasının aynıdır.

Örnek 5.

3.C kısmında Örnek Problemi 2 olarak çözülmüş olan ve Rosen ile Suzuki'ye atfedilen problem yeniden çözümlenerek:

$Z = x_1 - .145 x_2 + .099 x_3 - .649 x_4$  elde edilmiş ve ikinci arama sürecinde,

$$Z_{A_{\min}} < Z(X) < Z_{A_{\max}} \rightarrow X \in \text{Arama alanı}$$

alınarak sonuca gidilmiştir. Optimum olarak bulunan MF(X optimum) = 42 değeri teorik optimum olan -44 değerine çok yakın bir değerdir. Problemin detayları Şekil 8.de gösterilmiştir.

Yukarıdaki örneklerden de anlaşılacağı gibi parametrik olmayan uygulama metodu pratik ve geçerli sonuçlar verebilmektedir.

iii. Uzay Kafes Sistemi İçin Ön Çalışma: Elektrik nakil hattı çelik taşıyıcı kule optimizasyonu için hazırlık mahiyetinde olmak üzere tipik bir sistem seçilmiştir. Bu sistem Venkayya ve başkaları tarafından deneme örneği olarak kullanılan 72 çubuklu kule modelidir, Şekil 9.

Ayaklar arasındaki mesafe ve yatay elemanların bulunduğu orta elemanın boyutları değiştirilerek toplam hacime olan tesirleri incelenmiştir.



# BÖLÜM 4

## ARAŞTIRMA SONUÇLARININ AÇIKLANMASI

### 4.A. SONUÇLARIN AÇIKLANMASI

Araştırmanın asıl gayesi olan pratik ve geniş kapsamlı bir optimizasyon metodunun geliştirilmesi karar teorisi kurullarından istifade edilerek yerine getirilebilmiştir.

Karar denklemi Diskriminasyon Fonksiyonu ile belirlenmektedir. Bu fonksiyonun iyi bir şekilde seçilmesi anlamlı bir sınıf ayırımı yapılmasında başlıca etken olduğundan metodun ağırlık merkezini teşkil etmektedir. 3. C. kısmındaki uygulamalardan parametrik olmayan yöntemde kullanılan ikinci derece fonksiyon ve başarılı sonucu vermiştir.

$$Z' = \frac{\lambda_1}{\lambda_1} x_1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1} x_2 + \dots + \frac{\lambda_k}{\lambda_1} x_k + \frac{\lambda_{k+1}}{\lambda_1} x_1^2 + \dots + \frac{\lambda_{k+t}}{\lambda_1} x_k^2 + \frac{\lambda_{2k+1}}{\lambda_1} x_1 x_2 + \frac{\lambda_{2k+2}}{\lambda_1} x_1 x_3 + \dots + \frac{\lambda_{2k+t}}{\lambda_1} x_{k-1} x_k$$

$$t = k! / 2! (k-2)!$$

Ancak bu denklem değişken sayısını "k" den "2k+t" ye yükselttiği için örneğin 6 parametrelili bir problemde karar denkleminin 27 değişken için bulunması gerekmektedir. Karar denkleminin bir problemde sadece bir defa bulunması nedeni ile bunun büyük bir mahzur olmadığı düşünülse de 40 ve daha fazla değişken için çok büyük matrislerin tersinin hesaplanmasını gerektireceğinden çok zaman alıcı olmaktadır. Bu durumda yazarın önerisi yalnız sonucu diğerlerine nazaran en fazla etkileyen parametrelerin kombinasyonlarının kullanılması ve diğerlerinin linear bırakılması olacaktır.

Karar denklemini etkileyen diğer bir husus da risk kavramına giren C(i/j) unsurudur. (Denklem 2, Kısım 2.C). Geçerli bir dizaynın hata ile geçersiz olarak sınıflandırılıp hiç nazarı itbare alınmaması çok sakıncalı ise C(1/2), C(2/1) e göre yüksek tutularak bu önlenebilir. Örnek problemlerinde böyle bir ihtiyaç duyulmadığından C(i/j) bir olarak alınmıştır.

Taşıyıcı Çelik Kule Optimizasyonu bazı özelliklere sahip bulunmaktadır. Bu sebepten sonuçlar ilgili ekde açıklanmıştır.

### 4.B. GELECEKTE YAPILMASI DÜŞÜNÜLEN ARAŞTIRMALAR

i. Diskriminasyon fonksiyonunun uygulama alanı genellikle teşhis, (Pattern Recognition) ve sınıflandırma gerektiren çok değişik konuları içine almaktadır. Bu bakımdan normal veya anormal (geçerli veya geçersiz) olarak tanımlanabilecek ve bu tanımın objektif olarak yapılmasını gerektirebilecek her türlü ayırım işinde gittikçe yaygınlaşan bir şekilde tatbik sahası bulunacaktır.

Örneğin sekiz kanallı bir sürekli kayıt cihazından fiziki bir olayın zaman içindeki durumunu veren değerleri değişken olarak alalım. Bu fiziki olay yer sarsıntısı, kalp işleyişi veya beyin dalgaları olabilir. Fiziki olayın normal durumuna ait doneleri analogdan, digitale geçirdikten sonra bir seri örnek olarak programa verecek olursak program normal durumu diğer durumlardan ayırtetme imkânını bir karar denklemi belirleyerek bulacaktır. Böyle bir çalışmada örnek değerlerinden oluşan X matrisi zamana bağlı olarak değiştiğinden daha ileri seviyede istatistik yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

$$X(t) = \begin{Bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & \dots & \dots & x_{nk} \end{Bmatrix} \begin{matrix} k \equiv \text{örnek uzayı boyutu} \\ n \equiv \text{örnek büyüklüğü} \end{matrix}$$

ii. Pratik açıdan çok önemli bir tamamlayıcı çalışma alanı, çelik taşıyıcı kulenin TEK ve ETİBANK şartlarını sağlayacak şekilde çok detaylı olarak optimize edilmesi işlemidir.

Aynı tipten çok sayıda kule imâl edilmesi dolayısıyla her kulede optimizasyon sonucu olarak yapılabilecek 5 % bir maliyet indirimi 100.000.000 TL. bir kule çeliği harcamasında 5 000 000 TL. gibi araştırma açısından çok büyük bir yekuna ulaşmaktadır. Bu nedenle böyle tamamlayıcı bir çalışma, ilgili bütün kuruluşların destek ve işbirliği ile yapılabildiği takdirde sarfedilen emeği fazlası ile karşılayacaktır.

## ÖZET

Diskriminasyon metodunun sistematik ve rasgele arama yoluyla optimumu bulan yöntemlere uygulanışını konu alan bu çalışma, dört kısımdan oluşmaktadır.

Birinci kısımda diskriminasyon fonksiyonunu belirli risk katsayılarına ve değişkenlerin normal dağılımına göre elde eden usuller üzerinde durulmuştur.

İkinci kısımda, karar fonksiyonu parametrik olmayan usullerle elde edilmiş, doğrusal ve doğrusal olmayan karar ve dönüşüm denklemleri incelenmiştir.

Üçüncü kısım, elde edilen fonksiyonun bir ayırıcı olarak kullanılmasını ve örnek değerlerinin geçerli ve geçersiz sınıflara dağıtılması ile ilgili örnek problemlerini kapsamaktadır. Ayrıca sınıflara ayırma işlemine dayanan bir arama ile optimum noktasının elde edildiği örnek problemleri de gösterilmiştir.

Son kısımda geliştirilmiş olan program 4A2 tipine benzer bir enerji nakil hattı taşıyıcı kulesine uygulanarak kule geometrisinin optimizasyonu ile demir miktarından yapılabilecek indirim % 9 olarak saptanmıştır.

## SUMMARY

In this study, statistical methods of discrimination have been used as a decision making tool in nonlinear, constrained, optimization problems. A linear discriminant function form has been suggested as an aid to the preliminary designer. It is assumed that a design problem with a large number of variables is given, and only an approximate answer that will aid the decision maker is required. The paper also discusses the possibility of representing each design point in a reduced design space by means of pooling the variables.

The optimization procedure based on a combination of direct search and discriminant function method has been applied to typical test problems and to a grid-design problem. The grid has a stiffness dependent loading condition, with merit function not directly dependent on some of the design variables. This particular choice has been made in order to illustrate the complete generality of the method.

## REFERANS LİSTESİ

1. Schmit, L.A., "Structural Synthesis Capability for Integrally Stiffened Waffle Plates" AIAA Journal, Vol.1, No.12, pp. 2820-2836.
2. Kiciman, M.Ö., Akgül, M., "Application of Discriminant Function Technique to Random Search," AGARD-CP-123, 1973, pp. 7-A-1-7-A-6.
3. Leitman, G., Optimization Techniques With Applications to Aerospace Systems, Academic Press, New York, 1962.
4. Bryson, A.E.Jr., ve Ho, Yu-Chi, Applied Optimal Control, Blaisdell Publishing Company, London, 1969.
5. Brent, R.P., Algorithms for Minimization Without Derivatives, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1964.
6. Saaty, T., Optimization in Integers and Related Extremal Problems, 7.
7. Wilde, D.J., Optimum Seeking Methods, Prentice Hall, Englewood Cliff, New Jersey, 1964.
8. Shanley, F.R., "Principles of Structural Design for Minimum Weight", J.Aero.Sci., Vol.16, March, 1949, pp. 133-149.
9. Shanley, F.R., Weight-Strength Analysis of Aircraft Structures, Dover Publications, New York, 1952.
10. Cohn, M.Z., (Editor), An Introduction To Structural Optimization, Solid Mechanics Division, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 1969.
11. Kiciman, M.O., Optimum Cost and Weight Design of Structural Members for Air Vehicles Subjected to Elevated Temperatures, Ph.D.Dissertation, U.C.L.A., 1964.
12. Symposium on Structural Optimization, AGARD-CP-3C-70, Harford House, London, 1970.
13. Second Symposium on Structural Optimization, AGARD-CP-123, Harford House, London, 1973.
14. Kiciman, M.Ö., Ecer, A., "Kömpüter Metodlarının Pratik Probleme Tatbiki", Türkiye Mühendislik Haberleri, Aralık 1967, Sayfa 333-338.

15. Shimming, B.B. and Fisher, J.F., "Retaining Wall Design-An Example of Small Scale Optimization", Highway Research Record No. 249, 1968. pp. 44-51.
16. Fisher, R.A., The Use of Multiple Measurements in Taxonomic Problems, Annals of Eugenics, Vol. 7. 1936, pp. 179-188.
17. Keeping, E.S., Introduction to Statical Inference, D.Van Nostrand, London, 1962.
18. Anderson, T.W., An Introduction to Multivariate Statistical Analysis, John Wiley and Sons, New York, 1958.
19. Sebestyen, G.S., Decision-Making Procession Pattern Recognition, Mac Millan, New York, 1962.
20. Wald, A., Statistical Decision Functions, John Wiley and Sons, New York, 1950.
21. Wald, A., "On a Statistical Problem Arising in the Classification of an Individual Into One of Two Groups", Ann.Math.Stat., Volume 15, 1944, pp. 145-163.
22. Prager, W., Optimality Criteria in Structural Design, AGARD Report No. 589, Paris, 1971.

## SEÇME LİTERATÜR LİSTESİ

### Uslûp Tanınması (Pattern Recognition) Ve Diskriminasyon

1. Anderson, T.W., An Introduction to Multivariate Statistical Analysis, J. Wiley, New York, 1958.
2. Fisher, R.A., "The Use of Multiple Measurements In Taxonomic Problems", Ann.Eugenics, 7, 1936, p. 179
3. Fisher, L. and Van Ness, Admissible Chestering, Biometrika, 1971, 58, pp. 91-104.
4. Fukunage, K., Introduction to Statistical Pattern Recognition, Academic Press, New York, 1972.
5. Gilbert, E.S., The Effect of Unequal Variance-Covariance Matrices on Fisher's Linear Discriminant Function, Biometrics, 1969, 25, pp. 505-515.
6. Grüsser, J.J. and Klinke R.Editors, Pattern Recognition in Biological and Technical Systems, Springer-Verlag, Berlin, 1971.
7. Jackson, E.C., Missing Values in Linear Multiple Discriminant Analysis, Biometrics, 1968, 24, pp. 835-844.
8. Keeping, E.S., Introduction to Statistical Inference, Van Nostrand New York, 1962.
9. Kendall, M.G., and Stuart, A., The Advanced Theory of Statics V.3, Hafner, New York, 1968.
10. Morrison, D.F., Multivaritae Statistical Methods, Mc.Graw-Hill, New York, 1967.
11. Sen Gupta, S.K., Application of Discriminatory Analysis to an Engineering Problem, Statistician, 1970, pp. 377-389.

#### OPTİMİZASYON METODLARI

1. Jacoby, S.L.S., Kowalik, J.S., and Pizza, J.T., Iterative Methods for Nonlinear Optimization Problems, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1972.
2. Kunzi, H.P., Numerical Methods of Mathematical Optimization, Academic Press, New York, 1968.
3. Lavi, K., Symposium on Recent Advances in Optimization Techniques, Carnegie Institute of Technology, 1965.

4. Leitman, G., Optimization Techniques, Academic Press, New York, 1962.
5. Wilde, D.J., Optimum Seeking Methods, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1964.

#### YAPI OPTİMİZASYONU

1. Armand, J.L., Minimum-Mass Design of a Plate-Like Structure of Specified Fundamental Frequency, AIAA J. Vol. 9, No.9, pp. 1739 - 1745, 1971.
2. Ashley, H. and McIntosh, S.C., Application of Aeroelastic Constraints in Structural Optimization, Proc. IUTAM Congress, Stanford 1968, Springer, pp. 100-113, 1969.
3. Burns, A.B. and Almroth, B.O., Structural Optimization of Axially Compressed, Ring-Stringer Stiffened Cylinders, J. Spacecraft, Vol. 3, No.1, pp. 19-25, 1966.
4. Brown, D.M. and Ang, H.S., Structural Optimization by Nonlinear Programming, ASCE, ST 6, pp. 319-339, 1966.
5. Budiansky, B., Prueenthal, J.C. and Hutchinson, J.W., On Optimal Arches, J. of Appl. Mech., Vol. 36, 1969.
6. Brotchie, J.F., Method for Minimal Design of Axisymmetric Plates. ASCE, EM 5, pp. 173-175, 1967.
7. Brach, R.M., Minimum Dynamic Response for a Class of Simply Supported Beam Shapes. Int. J. Mech. Sci., Vol. 10, pp. 429-439, 1968.
8. Batterman, S.C. and Felton, L.P., Optimal Plastic Design of Doubly Symmetric Closed Structures. T.A.E. Report No. 126, Technion, Israel, 1971.
9. Brach, R.M., On The Extremal Fundamental Frequencies of Vibrating Beams. Int. J. Solids Structures, Vol. 4, pp. 667-674, 1968.
10. Bellman, R.E. and Dreyfus, S.E., Applied Dynamic Programming. Princeton University Press, New York, p. 363, 1962.
11. Barnett, R.L., Survey of Optimum Structural Design. Experimental Mechanics, pp. 19.A-26A, 1966.
12. Chern, J.M. and Prager, W., Optimal Design of Rotating Disk for Given Radial Displacement of Edge, J. of Optimization, Theory and Appl., Vol. 6, pp. 161-170, 1970.
13. Chern, J.M., Optimal Thermoelastic Design for Given Deformation. J. of Appl. Mech., Vol. 38, pp. 538-540, 1971.
14. Chern, J.M. and Martin, J.B., The Multi Purpose Optimal Design of Elastic Structures With a Piecewise Uniform Cross Section. ZAMP, Vol. 22, pp. 834-855, 1971.
15. Chan, H.S.Y., Mathematical Programming in Optimal Plastic Design, Int. J. Solids Structures, Vol. 4, pp. 885-895, 1968.
16. Chern, J.M. and Prager, W., Optimal Design of Beams for Prescribed Compliance Under Alternative Loads, J. of Optimization, Theory and Appl., Vol. 5, No. 6, pp. 424-431, 1970.
17. Chern, J.M., Optimal Structural Design for Given Deflection in Presence of Body Forces, Int. J. Solids Structures, Vol. 7, pp. 373-382, 1971.

18. Dorn, W.S., Gomory, R.E. and Greenberg, H.J., Automatic Design of Optimal Structures. J. de Mecanique, Vol. 3, No.1, pp. 25-21, 1964.
19. Drucker, D.C. and Shield, R.T., Bounds on Minimum Weight Design. Quart. Appl. Math., Vol. 15, No.3, pp. 269-281, 1957.
20. Drucker, D.C. and Shield, R.T., Design for Minimum Weight. Proc. 9th Int. Congr. Appl. Mech., Brussels 1956, pp. 212-222.
21. Duffin, R.J., Peterson, E.L. and Zener, C.M., Geometric Programming. John Wiley and Sons, New York, 1967.
22. Dantzig, G.B., Linear Programming and Extensions, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1963.
23. Eason, G., The Minimum Weight Design of Circular Sandwich Plates. ZAMP, Vol. 11, pp. 368-375, 1960.
24. Fox, R.L. and Kapoor, M.P., Structural Optimization in the Dynamics Response Regime, A Computational Approach. AIAA J., Vol. 8, No. 10, pp. 1798-1804, 1970.
25. Foulkes, J., The Minimum Weight Design of Structural Frames. Proc. R. Soc., A 223, 482, 1954.
26. Frauenthal, J.C., Initial Postbuckling Behavior of Optimally Designed Columns and Plates. Tufts University Mechanical Engineering Report 72-4.
27. Fleron, P., The Minimum Weight of Trusses. Byggningsstatiska Meddelser Vol. 35, No. 3, pp. 81-96, 1964.
28. Frauenthal, J.C., Constrained Optimal Design of Circular Plates Against Buckling. Harvard University, Cambridge, Report No. SM-50, 1971.
29. Fiacco, A. and McCormic, G.P., Computational Algorithm for the Sequential Unconstrained Minimization Technique for Nonlinear Programming, Man. Sci. 10, No. 4, pp. 601-617, 1964.
30. Fox, R.L., Optimization Methods for Engineering Design. Addison-Wesley, Reading, Mass., p. 270, 1971.
31. Grierson, D.E. and Cohn, M.Z., A General Formulation of the Optimal Frame Problem. J. of Appl. Mech., pp. 356-360, 1970.
32. Gajewski, A. and Zyinkowski, M., Optimal Design of Elastic Columns Subject to the General Conservative Behavior of Loading. ZAMP, Vol. 21, pp. 806-818, 1970.
33. Griffith, R.E. and Stewart, R.A., A Non-Linear Programming Technique for Opt. of Cont. Proc. Systems, Man. Sci., Vol. 7, pp. 379-392., 1961
34. Gass, S.I., Linear Programming, 3rd ed., Kagakusha Company Ltd., Tokyo, 1969.
35. Gerard, G., Optimum Structural Design Concepts for Aerospace Vehicles. J. Spacecraft V. 3, No.1, pp. 5-18, 1966.
36. Heyman, J., On the Absolute Minimum Weight Design of Framed Structures, Quarterly J. of Mech. and Appl. Math., Vol. 12, p. 314, 1959.
37. Heyman, J., On the Minimum Weight Design of a Simple Portal Frame. Int. J. of Mech. Sci., Vol. 1, p. 121, 1959.
38. Hegemier, G.A. and Prager, W., On Michell Trusses. Int. J. Mech. Sci., Vol. 11, pp. 209-215, 1969.



39. Hemp, W.S., Studies in the Theory of Michell. 11th Int. Congr. Appl. Mech. Munich 1964, pp. 621-628.
40. Huang, N.C. and Sheu, C.Y., Optimal Design of an Elastic Column of Thin-Walled Cross Section. J. of Appl. Mech., Vol. 35, No. 2, pp. 285-288, 1968.
41. Huang, N.C., Optimal Design of Elastic Beams for Minimum-Maximum Deflection. J. of Appl. Mech., pp. 1078-1081, 1971.
42. Huang, N.C. and Tang, H.T., Minimum Weight Design of Elastic Sandwich Beams with Deflection Constraints. J. of Optimization, Theory and Appl. Vol. 4, No. 4, pp. 277-298, 1969.
43. Haug, E.J. and Kirmser, P.G., Minimum Weight Design of Beams with Inequality Constraints on Stress and Deflection. J. Appl. Mech., pp. 999-1004, 1967.
44. Huang, N.C., Optimal Design of Elastic Structures for Maximum Stiffness. Int. J. Solids Structures, Vol. 4, pp. 689-700, 1968.
45. Huang, N.C., Effect of Shear Deformation on Optimal Design of Elastic Beams. Int. J. Solids Structures, Vol. 7, pp. 321-326, 1971.
46. Hadley, G., Linear Programming, Addison-Wesley, Reading, Mass. 1962.
47. Hadley, G., Nonlinear and Dynamic Programming. Addison-Wesley, Reading, Mass., p. 484, student ed. 1970, 1964.
48. Icerman, L.J., Optimal Structural Design for Given Dynamic Deflection. Int. J. Solids Structures, Vol. 5, pp. 473-490, 1969.
49. Johnson, D. and Brotton, D.M., Optimum Elastic Design of Redundant Trusses. ASCE, ST 12, pp. 2589-2610, 1969.
50. Kavlie, D. and Moe, J., Appl. of Non-linear Programming to Optimum Grillage Design With Non-Convex Sets of Variables. Int. J. for Numerical Methods in Engng, pp. 351-378, 1969.
51. Kicher, T.P., Structural Synthesis of Integrally Stiffened Cylinders. J. Spacecraft, Vol. 5, No. 1, pp. 62-67, 1968.
52. Koiter, W.T. and Kulken, G.D.C., The Interaction Between Local Buckling and Overall Buckling on the Behavior of Built-up Columns, Technische Hogeschool Delft University, 1971.
53. Kicher, P., Optimum Design-Minimum Weight Versus Fullystressed. ASCE, ST 6, pp. 265-279, 1966.
54. Kozłowski, W. and Mroz, Z., Optimal of Disks Subject to Geometric Constraints. Int. J. Solids Structures, Vol. 12, pp. 1007-1021, 1970.
55. Kozłowski, W. and Mroz, Z., Optimal Design of Solid Plates. Int. J. Solids Structures, Vol. 5, pp. 781-794, 1969.
56. Keller, J.B., and Niordsen, F.I., The Tallest Column. J. of Mathematics and Mechanics, Vol. 16, No. 5, pp. 433-446, 1966.
57. Keller, J.B., The Shape of the Strongest Column. Arch. Rational Mech. Anal., Vol. 5, pp. 275-285, 1960.
58. Kiciman, M.O., A Random-Sampling Procedure with Applications to Structural Synthesis Problems. Journal of Aircraft, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Vol. 4, No. 4, pp. 333-338, July-August 1967.
59. Karihaloo, B.L. and Niordson, F.I., Optimum Design of Vibrating Cantilevers (To Appear in J. of Optimization, Theory and Appl.)
60. Kuhn, H.W. and Tucker, A.W., Nonlinear Programming in Proc. of the Second Berkeley Symposium on Math. Statist. and Probl. Univ. of California Press, pp. 481-492, 1951.
- 60.a. Litton, E., Automatic Computational Techniques in Civil and Structural Engineering, John Wiley and Sons, New York, 1973.
61. Mroz, Z., Optimal Design of Structures of Composite Materials. Int. J. Solids Structures, Vol. 6, pp. 859-870, 1970.
62. Megarefs, G.J. and Sidhu, H.S., Simplification in Minimal Design of Frames, ASCE, ST, pp. 2985-2998, 1968.
63. Melchers, R.E. and Rozvany, G.I.N., Optimum Design of Reinforced Concrete Tanks. ASCE, EM 6, pp. 1093-1105, 1970.
64. Mroz, Z. and Shamiev, F.G., On Optimal Design of Reinforced Annular Slabs. Archiwum Inzynierii Ladowej, Vol. 16, pp. 575-584, 1970.
65. Mroz, Z., On The Optimum Design of Reinforced Slabs. Acta Mech., Vol. 3, No. 1, pp. 34-55, 1965.
66. Michell, A.G.M., The Limits of Economy of Material in Frame Structures. Phil. Mag. S., Vol. 8, No. 47, pp. 589-597, 1904.
67. Melosh, R.C. and Luik, R., Approximate Multiple Configuration Analysis and Allocation for least Weight Structural Design. USAF, AFFDL-TR-67-59, 1967.
- 67.a. Moe, J., "Design of Ship Structures by Means of Non-Linear Programming Techniques", AGARD-AP-36-70, October 1970, pp. 4-1, 4-29.
68. Moses, F. and Kinser, D.E., Optimum Structural Design With Failure Probability Constraints, AIAA J., Vol. 5, No. 6, pp. 1152-1158, 1967.
69. Mroz, Z., Limit Analysis of Plastic Structures Subject to Boundary Variations. Archiwum Mechaniki Stosowanej 1, 15, pp. 63-76, 1963.
70. Marcal, P.V., Optimal Plastic Design of Circular Plates. Int. J. Solids Structures, Vol. 3, pp. 427-443, 1967.
71. Megarefs, G.J., Minimal Design of Sandwich Axisymmetric Plates I ASCE, EM 6, pp. 245-269, 1967.
72. Megarefs, G.J., Minimal Design of Axisymmetric Plates II. ASCE, EM 1, pp. 177-198, 1968.
73. Megarefs, G.J., Method for Minimal Design of Axisymmetric Plates. ASCE, Vol. 92, EM 6, pp. 79-99, 1966.
74. Masur, E.F., Optimum Stiffness and Strength of Elastic Structures. ASCE, EM 5, pp. 621-639, 1970.
75. Megarefs, G.J. and Nedge, P.G., Singular Cases in the Optimum Design of Frames. Quarterly of Appl. Math., Vol. 21, No. 2, pp. 91-103, 1963.
76. Marcal, P.V. and Prager, W., A Method of Optimal Plastic Design. J. de Mécanique, Vol. 3, No. 4, pp. 509-530, 1964.

77. Martin, J.B., Optimal Design of Elastic Structures for Multipurpose Loading. *J. of Optimization Theory and Appl.*, Vol. 6, No.1, pp. 22-40, 1970.
78. McIntosh, S.C. and Easter, F.E., Design of Minimum-Mass Structures with Specified Stiffness Properties. *AIAA J.*, Vol. 6, No.5, pp. 962-964, 1968.
79. Martin, J.B., The Optimal Design of Beams and Frames with Compliance Constraints. *J. Solids Structures*, Vol. 7, pp. 63-81, 1971.
80. Mroz, Z., Optimal Design of Elastic Structures Subjected to Dynamic Harmonically-Varying Loads. *ZAMP*, Vol. 50, pp. 303-309, 1970.
81. Neut, A. Van Der., The Interaction of Local Buckling and Column Failure of Thin-Walled Composite Members. *Proc. 12th. Int. Congr. Appl. Mech.*, Stanford 1968, pp. 389-399.
82. Niordson, F.I., On the Optimal Design of a Vibrating Beam. *Quarterly of Appl. Math.*, Vol. 23, No.1, pp. 47-53, 1964.
83. Olhoff, N., Optimal Design of Vibrating Circular Plates. *Int. J. Solids Structures*, Vol. 6, pp. 139-156, 1970.
84. Olhoff, N., Optimal Design of Vibrating Rectangular Plates (To be Published).
85. Onat, E.T., Schuman, W. and Shield, R.T., Design of Circular Plates for Minimum Weight. *ZAMP*, Vol. 8, pp. 485-499, 1957.
86. Pedersen, P., On the Optimal Layout of Multi-Purpose Trusses. *Int. J. Comp. and Structures*, Vol. 2, No.5/6, 1972-
87. Pedersen, P., Optimal Layout of Gitterkonstruktioner. *DCAAM*, Report No. 51, (In Danish), 1970.
88. Pedersen, P., On The Minimum Mass Layout of Trusses. *Agard Conf. Proc. No. 36*, pp. 110-0-11.17, 1970.
89. Pope, G.G., The Design of Optimum Structures of Specified Basic Configuration. *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 10, pp. 251-263, 1968.
90. Prager, W. and Shield, R.T., Minimum Weight Design of Circular Plates Under Arbitrary Loading. *ZAMP*, Vol. 10, pp. 421-425, 1959.
91. Plaut, R.H., On The Optimal Structural Design for a Nonconservative Elastic Stability Problem. *J. of Optimization, Theory and Appl.*, Vol. 7, No.1, pp. 52-59, 1971.
92. Prager, W., Optimal Plastic Design of Rings. *Contributions to Mech.* Pergamon Press, pp. 163-169, 1969.
93. Prager, W., Optimal Design of Multi-Purpose Structures. *Int. J. Solids Structures*, Vol. 4, pp. 469-475, 1968.
94. Prager, W., Optimal Thermoelastic Design for Given Deflection. *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 12, pp. 705-709, 1970.
95. Prager, W. and Shield, R.T., A General Theory of Optimal Plastic Design. *J. of Appl. Mech.*, pp. 184-186, 1967.
96. Plaut, R.H., On Minimizing the Response of Structures to Dynamic Loading. *ZAMP*, Vol. 21, pp. 1004-1010, 1970.
97. Plaut, R.H., Optimal Structural Design for Given Deflection Under Periodic Loading. *Quarterly of Appl. Math.*, pp. 315-318, 1971.
98. Prager, W., Optimality Criteria in Structural Design. *Agard Report No. 589*, 1971.
99. Prager, W. and Taylor, J.E., Problems of Optimal Structural Design. *J. of Appl. Mech.* Vol. 35, pp. 102-106, 1968.
100. Pentryagin, L.S., Bol'tanski, V.G., Gamkrelidze, R.S. and Mischenco, E.F., *The Math. Theory of Optimal Proc.*, Pergamon Press Ltd., p. 340, 1964.
101. Prager, W., Optimization of Structural Design. *J. of Optimization, Theory and Appl.*, Vol. 6, No.1, pp. 1-21, 1970.
102. Pope, G.G. and Schmit, L.A., *Structural Design Applications of Mathematical Programming Techniques*. *Agardograph No. 149*, Agard, 1971.
103. Rozvany, G.I.N. and Adidam, S.R., Structural Optimization with Piecewise Concave Cost Functionals. *Int. J. Solids Structures* Vol. 8, pp. 661-677, 1972.
104. Ridha, R.A. and Wright, R.N., Minimum Cost Design of Frames. *ASCE, ST 4*, pp. 165-183, 1967.
105. Rozvany, G.I.N. and Cohn, M.Z., Lower-Bound Optimal Design of Concrete Structures. *ASCE, EM 6*, pp. 1013-1029, 1970.
106. Razani, R., Behavior of Fully Stressed Design of Structures and Its Relationship to Minimum-Weight Design, *AIAA J.*, Vol. 3, No.12 pp. 2262-2268, 1965.
107. Romstad, K.M. and Wang, C.K., Optimum Design of Framed Structures. *ASCE, ST 12*, pp. 2817-2845, 1968.
108. Richards, D.M. and Chan, H.S.Y., Developments in the Theory of Michell Optimum Structures. *Agard Report No. 543*, 1966.
109. Reinschmidt, K.F., Cornell, C.A. and Brothie, J.F., Iterative Design and Structural Optimization, *ASCE, ST 6*, pp. 281-318, 1966.
110. Reiss, R. and Megarefs, G.J., Minimal Design of Sandwich Axisymmetric Plates Obeying Mises Criterion. *Int. J. Solids Structures*, Vol. 7, pp. 603-523, 1971.
111. Rosen, J.B., The Gradient Projection Method for Non-Linear Programming, Part I, Linear Constraints. *J. SIAM* Vol. 8, pp. 181-217, 1960.
112. Stroud, W.J. and Sykes, N.P., Minimum Weight Stiffened Shells with Slight Meridional Curvature Designed to Support Axial Compressive Loads. *AIAA J.*, Vol. 7, No.8, pp. 1599-1601, 1969.
113. Schmit, L.A. Kicher, T.P. and Morrow, W.M., Structural Synthesis Capability for Integrally Stiffened Waffle Plates. *AIAA J.* Vol. 1, No.12, pp. 2820-2836, 1963.
- 113.a. Schmit, L.A. and Pope, G.G. *Structural Design Applications of Mathematical Programming Techniques*, *Agardograph No. 149*, February, 1971.
- 113.b. Schimming, B.B. and Fisher, J.F., Retaining Wall Design, An Example of Small-Scale Optimization, *Highway Research Record No. 249*, 1968. pp. 44-51.
114. Singer, J. and Baruch, M., Recent Studies on Optimization for Elastic Stability of Cylindrical and Conical Shells. *Technion, Israel Inst.*, Haifa.

115. Shield, R.T., On The Optimum Design of Shells. *J. of Appl. Mech.*, pp. 316-322, 1960.
116. Shield, R.T., Optimum Design Methods for Multiple Loading. *ZAMP*, Vol.14 pp.38-45, 1963.
117. Shield, R.T., Plate Design for Minimum Weight. *Quart. Appl. Math.* Vol. 18, No.2, pp.131-144, 1960.
118. Sheu, C.Y. and Prager, W., Optimal Plastic Design of Circular and Annular Sandwich Plates with Piecewise Constant Cross Section. *J. Mech. Phys. Solids*, pp.11-16, 1968.
119. Simitses, G.J. Kamat, M.P. and Smith, C.V., The Strongest Column by the Finite Element Displacement Methods. *AIAA Paper No. 72-141*, 1972.
120. Spillers, W.R., A Note on the Design of Beams. *J. of Appl. Mech.*, Vol. 38, pp. 1073-1074, 1971.
121. Sheu, C.Y. and Prager, W., Minimum-Weight Design With Piecewise Constant Specific Stiffness. *J. of Optimization, Theory and Appl.*, Vol.2, No.3, pp. 179-186, 1968.
122. Sheu, C.Y. and Prager, W., Optimal Design of Sandwich Beams for Elastic Deflection and Load Factor at Plastic Collapse. *ZAMP*, Vol.20, pp.289-297, 1969.
123. Shield, R.T. and Prager, W., Optimal Structural Design for Given Deflection. *ZAMP*, Vol. 21, pp. 513-523, 1970.
124. Save, M.A., Some Aspects of Minimum-Weight Design. *Engineering Plasticity*, Cambridge University Press, pp. 611-626, 1968.
125. Sheu, C.Y. and Prager, W., Recent Developments in Optimal Structural Design. *Appl. Mech. Rev.* Vol.21, No.10, pp.985-992, 1968.
126. Sheu, C.Y., Elastic Minimum-Weight Design for Specified Fundamental Frequency. *Int. J. Solids Structures*, Vol.4, pp.953-958, 1968.
127. Thompson, J.M.T. and Lewis, G.M., On The Optimum Design of Thin -Walled Compression Members. *J. Mech. Phys. Solids*, Vol. 20 pp.101-109, 1972.
128. Taylor, J.E., Optimal Prestress Against Buckling: An Energy Approach, *Int. J. Solids Structures*, Vol.7, pp.213-223, 1971.
129. Tvergaard, V., Imperfection-Sensitivity of a Wide Integrally Stiffened Panel Under Compression (To Appear in *Int. J. Solids Structures*).
130. Toakley, A.R., Optimum Design Using Available Sections. *ASCE*, ST 5, pp.1219-1241, 1968.
131. Toakley, A.R., The Optimum Design of Triangulated Frameworks. *Int. J. Mech. Sci.*, Vol.10, pp.115-127, 1968.
132. Taylor, J.E., Maximum Strength Elastic Structural Design. *ASCE EM* 3, pp. 653-663, 1969.
133. Taylor, J.E., Minimum Mass Bar for Axial Vibration at Specified Natural Frequency. *AIAA J.*, Vol.5, No.10, pp.1911-1913, 1967.
134. Turner, M.J., Design of Minimum Mass Structures with Specified Natural Frequencies. *AIAA J.*, Vol.5, No.3, pp.406-412, 1966.
135. Trahair, N.S. and Brooker, J.R., Optimum Elastic Columns. *Int. J. Mech. Sci.*, Vol.12, pp. 973-983, 1970.
136. Taylor, J.E., The Strongest Column; An Energy Approach. *J. of Appl. Mech.* Vol.34, pp.486-487, 1967.
137. Taylor, J.E. and Liu, C.Y., Optimal Design of Columns. *AIAA J.*, Vol.6, No.8, pp. 1497-1502.
138. Tadjbakhsh, I. and Keller, J.B., Strongest Columns and Isoperimetric Inequalities for Eigenvalues. *J. of Appl. Mech.*, pp. 159-164, 1962.
139. Vepa, K., Optimally Stable Structural Forms. Ph.D. Thesis, Solid Mechanics Division. University of Waterloo, 1972.
140. Vanderplaats, G.N. and Moses, F., Automated Design of Trusses for Optimum Geometry. *ASCE*, ST 3, pp. 671-689 1972.
141. Yokoo, Y. and Nakamura, T., The Minimum Weight Design of Vierendeel Frames. *Int. J. Solids Structures*, Vol.16, pp. 353-369, 1970.
142. Zarghamee, M.S., Optimum Frequency of Structures. *AIAA J.*, Vol. 6, No.4, pp. 749-750, 1968.
143. Zarghamee, M.S., Minimum Weight Design of Enclosed Antennas. *ASCE*, ST 6, pp. 1139-1152, 1969.
144. Zarghamee, M.S., Minimum Weight Design with Stability Constraint. *ASCE*, ST 8, pp. 1697-1710, 1970.
145. Zyczkowski, M. and Gajewski, A., Optimal Design of Elastic Columns Subject to the General Conservative Behavior of Loading. *ZAMP*, Vol. 21, pp. 806-818, 1970.
146. Zyczkowski, M. and Gajewski, A., Optimal Structural Design in Non-Conservative Problems of Elastic Stability. *Proc. IUTAM Symp.*, Karlsruhe, 1969, Springer, pp. 295-301, 1971.
147. Zoutendijk, G., Non-Linear Programming: A Numerical Survey, *J. SIAM Control*, Vol.4, No.1, pp. 194-210, 1966.

EK 1.TAŞIYICI ÇELİK KULE  
OPTİMİZASYONU

# ELEKTRİK NAKİL HATTI ÇELİK TAŞIYICI KULE OPTİMİZASYONU

## GİRİŞ

Araştırmaya ek olarak yapılmış olan bu çalışmanın amacı, diskriminasyon yönteminden yararlanılarak hazırlanmış olan programın mühendislik açısından anlam taşıyan gerçek bir probleme uygulanması olmuştur.

Kule optimizasyonu çalışmalarına, araştırma başlangıç tarihinden çok önce başlanılmış fakat bazı teknik ve idari sebepler yüzünden bir dizayn optimizasyonu geliştirilememiştir.

Bu araştırma çerçevesi içinde yapılan, kulenin esas gövdesinin düğüm noktalarının uzaydaki yerlerini belirli sınırlar arasında değiştirerek her yeni kule geometrisi için sağlamlık şartlarını sağlayan bir dizayn saptamak ve toplam kule ağırlığını minimuma indirmeye çabalamaktır.

### ÖN ÇALIŞMALAR

I. A.B.D. İç İşleri Bakanlığına bağlı, Bonneville Power Adm. Araştırmacılarından H.G.Jensen tarafından hazırlanmış olan Kule Dizayn Programı getirilerek incelenmiş ve aşağıdaki hususlar saptanmıştır.

Jensen Programı CDC 6400 için yapılmış olup iki ayrı disk ve beş ayrı tape gerektirmektedir. Taşıyıcı kule uzay kafes giriş olarak Stifnes metodu ile çözülmüştür. Bütün elemanlar eksenel yüklü ve iki ucundan mafsallı alınmıştır. Dizayn bir ilk konfigürasyon varsayımı yapılarak başlamakta ve ilk analiz için makul görülecek kesitler alınmaktadır. Kuleye gelen bütün yüklere göre spesifikasyonların sağlandığı anlaşıldıktan sonra daha ekonomik kesitlere gidilerek analiz tekrarlanmaktadır. Bu işlemler toplam ağırlıkta azaltma yapılması imkânsızlaşınca kadar sürmektedir.

Geometrik parametrelere göre herhangi bir optimizasyon yapılmamakta ancak değişik bazı ayak eğilimleri ve gövde genişlikleri ele alınarak mukayese edilmektedir.



2. Commonwealth Associates Inc. tarafından EIE İdaresi Gökçekaya ve Keban Projeleri için yapılmış olan kule etüdleri incelenmiş ve bu etüdlerde herhangi bir optimizasyona rastlanmamıştır. Ancak taşıyıcı kule ile "Guyed" kuleler arasında bir fiat mukayesesi yapılmış olup taşıyıcı kulenin Karabük Çeliği ile imâl edilebileceği "Guyed" kulenin ise dışarıdan ithal edilen çok miktarda parçayı gerek gösterdiği mülâhazası ile taşıyıcı kule tercih edilmiştir.

3. Societa Anonima Elettificazione S.P.A. tarafından yapılan proje tetkik edilmiş ve model olarak alınması uygun görülmüştür. Muhtelif kule biçimleri arasında seçilen tip "4A2" olarak adlandırılan Tanjant Kuledir.

4. Elektrik İşleri Etüd İdaresi tarafından tercüme ettirildiği sanılan ve A.B.D. Ulusal Elektrik Emniyet Şartnamesi esaslarına göre hesaplanmış olan Elektrik İletim Hattı ve Direk Dizaynı Rehberi incelenerek basınca maruz çubukların taşıma gücü ile kuleye gelen yükleri belirleyen prensipler tesbit edilmiştir.

#### Kule Hesapları

Optimizasyon için model olarak kullanılan kulenin görümümü Şekil E.1'de verilmiştir. Optimize edilen kısım mesned ile 32.40 yüksekliği arasında kalan asıl taşıyıcı kısımdır. 32.40 yüksekliğinin üzerinde elektrik nakil hatlarının bağlantıları bulunmakta ve "V" şeklinde bir uzay kafes giriş-çıkış yükleri taşıyıcı kısma aktarılmaktadır (Şekil E 2).

Gelen yükler Tablo E 1'de verilmiş olup 6 değişik yükleme durumunu kapsamaktadır. Tablo E 2 de bu yüklerden dolayı 32.40 yüksekliğindeki A<sub>4</sub>, B<sub>4</sub>, C<sub>4</sub>, D<sub>4</sub> düğüm noktalarına gelen yükler gösterilmiştir. Bu yükler "V" uzay sisteminin A<sub>4</sub>, B<sub>4</sub>, C<sub>4</sub>, D<sub>4</sub> noktalarından mafsallı olarak kabul edilip Stifnes metodu ile çözümlenmesi suretiyle bulunmuştur.

Burada yapılan varsayım, kulenin taşıyıcı kısmında simetriyi muhafaza etmek şartı ile yapılacak değişikliklerin A<sub>4</sub>B<sub>4</sub>C<sub>4</sub>D<sub>4</sub> noktalarındaki yük dağılımını etkilemeyeceği varsayımıdır. Gövde elemanları üzerindeki rüzgâr yükü ve ölü yük nazarı itibare alınmamıştır.

Kule taşıyıcı kısmını teşkil eden esas elemanlar Şekil E 3'de gösterilmiştir. Basınç elemanlarının burkulma uzunluklarını azaltan çapraz bağlamalar yük taşıyıcı eleman olarak kabul edilmediğinden yapı sisteminin esas unsurları olarak düşünülmemiştir. Bu nedenele optimize edilen ağırlık eklenti malzemesi hariç kule esas unsurlarının toplam ağırlığıdır.

#### OPTİMİZASYON

Kule optimizasyonu aşağıdaki basamaklardan oluşmuştur.

1. Donelerin okunması: Bu kısımda kulenin düğüm noktalarının yerleri, kullanılacak "L" profillerinin listesi (Tablo E 3), mesned durumları, gerilme ve basınç elemanlarının sağlamlık şartlarını belirleyen sayılar ön

bilgi olarak verilmiştir.

2. Optimizasyon parametrelerinin okunması: Optimizasyon yedi parametreye göre yapılmakta olup, bu parametreler aşağıda sıralanmıştır.

|   |        |                          |
|---|--------|--------------------------|
| X <sub>1</sub> A <sub>0</sub> noktasının Kule Eksenine Yatay Uzaklığı | 4.15 m | x <sub>1</sub> ≤ 9.55 m. |
| X <sub>2</sub> A <sub>1</sub> -A <sub>0</sub> Düşey Mesafesi          | 7.50   | x <sub>2</sub> ≤ 13.50   |
| X <sub>3</sub> A <sub>1</sub> noktasının Kule eksenine yatay uzaklığı | 3.10   | x <sub>3</sub> ≤ 7.75    |
| X <sub>4</sub> A <sub>2</sub> -A <sub>0</sub> Düşey Mesafesi          | 16.60  | x <sub>4</sub> ≤ 20.60   |
| X <sub>5</sub> A <sub>2</sub> noktasının kule eksenine yatay uzaklığı | 2.45   | x <sub>5</sub> ≤ 5.45    |
| X <sub>6</sub> A <sub>3</sub> -A <sub>0</sub> Düşey Mesafesi          | 22.50  | x <sub>6</sub> ≤ 26.50   |
| X <sub>7</sub> A <sub>3</sub> noktasının kule eksenine yatay uzaklığı | 2.00   | x <sub>7</sub> ≤ 3.95    |

3. İlk arama için örnek okunması: İlk aramada geniş bir tarama yapmak amacı ile parametrelerin en küçük ve en büyük değerlerini içine alan dizaynlar seçilmiş ve toplam 50 adet değişik geometriye sahip kule gövdesi incelenmiştir.

Her bir dizayn için ilk önce Tablo E 3'de verilen profiller kullanılarak Stifnes matrisi yazılmış, 108 elemanlı (Hiperstatik) bir uzay kafes krişi haline getirilmiş olan kule gövdesinin elemanlarına gelen çubuk eksenel kuvvetleri stifnes metoduna göre hazırlanmış olan bir alt-programla bulunmuştur. Bu kuvvetlere göre her çubuk; burkulma ve gerilme için verilen kısıt fonksiyonlarına göre tahkik edilmiş kesiti az gelenler büyütülmüş, kesiti fazla çıkanlar ise indirilmiştir. Böylece bulunan yeni çubuk profillerine göre stifnes matrisi düzeltilerek çubuk kuvvetleri yeniden hesaplanmış ve kısıt fonksiyonlarına göre bütün çubuklar yeniden tahkik edilerek, sağladıkları saptanmıştır. Son duruma göre kule ağırlığı bulunarak sözkonusu dizayn için Masraf Fonksiyonu Değeri (MF) olarak tesbit edilmiştir.

4. Geçerli ve Geçersiz (A ve Ü) popülasyonlarının tesbiti : Kule Optimizasyonu şimdiye kadar incelemiş olduğumuz optimizasyon problemlerinden daha değişik bir durum arz etmektedir. Şöyle ki: Profil Kesitlerinin artırılarak kısıt fonksiyonlarının sağlanması hemen her zaman mümkün olmaktadır.

Bu sebepten geçerli ve geçersiz popülasyonlar verilen dizayn noktasının kısıt denklemlerini sağlayıp sağlamadıkları esasına göre değil belirli bir Masraf Fonksiyonu Değerinin altında olup olmadıkları esasına göre tesbit edilmişlerdir. Kriter olarak kullanılan Masraf Fonksiyonu Değeri (MF<sub>k</sub>) Tablo E-5 No. 30 ve Şekil E3'de gösterilen kule geometrisine tekabül eden MF değeridir. Bu dizayn noktası X<sub>k</sub> olarak adlandırılmıştır. İlk aramada



kullanılan dizayn noktalarından elde edilen MF değerleri  $MF_k$  ile karşılaştırılmış ve

$$MF(x) < MF_k \rightarrow x \in \hat{A}$$

$$MF(x) \geq MF_k \rightarrow x \in \hat{U}$$

şeklinde bir tasnif yapılarak diskriminant fonksiyonu elde edilmiştir.

5. Diskriminasyon Fonksiyonu: Dördüncü aşama sonuçları Disrimi - nasyon alt programına verilerek Denklem (53)'de gösterilen lineer bir fonksiyon bulunmuştur.

$$Z(x_k) = x_1 - .20x_2 - 6.55x_3 + 1.05x_4 - 5.43x_5 + 3.66x_6 + 5.31x_7$$

6. İkinci Arama: Bu safhada rasgele tarama yapılarak 7 yeni dizayn noktası bulunmuş ve

$$Z(x_i) < Z(x_k) \rightarrow x_i \in A''$$

kriterine göre denenmeye değer yeni popülasyon tesbit edilmiştir.

7. Yeni popülasyon elemanları olan dizaynlar Madde 3'de belirtilen şekilde incelenerek kısıt denklemlerini sağlayacak hale getirilmiş ve Masraf Fonksiyonunun değeri hesaplanmıştır.

Bulunan en küçük Masraf Fonksiyonuna  $MF_{min}$  ve bu değeri veren dizayna  $X_{min}$  denilmiştir.

Mevcut dizayn için  $MF = .468 \text{ m}^3$  çelik (Bulon ve tali elemanlar hariç)

$$MF_{min} = .423 \text{ m}^3 \text{ çelik (Bulon ve tali elemanlar hariç)}$$

$$X_{min} = (5.00, 7.50, 3.55, 18.60, 2.65, 24.50, 2.15)$$

#### SONUÇ

Kriter olarak alınan mevcut dizayn ile bulunan son dizayn arasında,

$$1 - \frac{.423}{.468} = 9.5\%$$

kadar bir fark mevcuttur. İlerde hakiki bir kule optimizasyonu yapıldığı takdirde daha geliştirilmiş kompüter programı ve tekrarlanma yapılarak daha etkin bir optimum değer bulunabilecektir. Ayrıca bulon ve tali eleman ağırlıklarının da hesaba katılması gerekmektedir.

## EK 2. ARA YAYIN VE TAKDİMLERİN MAHİYETİ

## SEÇME LİTERATÜR LİSTESİ

### Taşıyıcı Kule ve Guyed Kuleler

1. Report of the Task Committee on Tower Design Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 87, June 1961.
2. Campbell, D.B., "Unbalanced Tensions in Transmission Lines", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 96, October 1970, pp. 2189-2207.
3. Dean, D., "Static and Dynamic Analysis of Guy Cables", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 87, January 1961.
4. Feld, J., "Wind Forces On Structures", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 85, January 1959. pp. 135-142.
5. Grinter, Chin and Sawyer, "Vibration of Towers as Related to Wind Pulses", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 90, October 1964, pp. 137-146.
6. Goldberg, M., "A Study of Guyed Towers", Journal of the Structural Division ASCE, Vol. 91, August 1965.
7. Reinschmidt, K., "Discrete Structural Optimization" Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 97, January 1971, pp. 133-156.
8. Sheppard, D.J., and Palmer, A.C., Optimal Design of Transmission Towers by Dynamic Programming, Computers and Structures, Vol. 2, pp. 455-468, 1972.
9. Ryle, P.J., Steel Tower Economocs, Journal of Int. Electrical Engrs. Vol. 93, pp. 263-284 (1945).

Yükleme Yeri

| Yük Durum | II   |      |       | 12   |       |       | I   |   |       | 2   |       |       | 28   |      |       | 27   |      |       |
|-----------|------|------|-------|------|-------|-------|-----|---|-------|-----|-------|-------|------|------|-------|------|------|-------|
|           | X    | Y    | Z     | X    | Y     | Z     | X   | Y | Z     | X   | Y     | Z     | X    | Y    | Z     | X    | Y    | Z     |
| I         | 780  | 0    | -4690 | 780  | 0     | -4690 | 200 | 0 | -1090 | 200 | 0     | -1090 | 390  | 0    | -2845 | 390  | 0    | -2845 |
| II        | 2290 | 0    | -2920 | 2290 | 0     | -2920 | 500 | 0 | -490  | 500 | 0     | -490  | 1145 | 0    | -1960 | 1145 | 0    | -1960 |
| III       | 0    | -250 | -2920 | 0    | -250  | -2920 | 0   | 0 | -490  | 0   | 0     | -490  | 0    | -125 | -1960 | 0    | -125 | -1960 |
| IV        | 0    | 0    | -4690 | 0    | -1380 | -4690 | 0   | 0 | -1090 | 0   | 0     | -1090 | 0    | 0    | -2845 | 0    | 0    | -2845 |
| V         | 0    | 0    | -4690 | 0    | 0     | -4690 | 0   | 0 | -1090 | 0   | -1030 | -1090 | 0    | 0    | -2845 | 0    | 0    | -2845 |
| VI        | 0    | 0    | -6340 | 0    | 0     | -6340 | 0   | 0 | -1390 | 0   | 0     | -1930 | 0    | 0    | -3670 | 0    | 0    | -3670 |

TABLO E.1  
YÜK DURUMU (Üst Kısım)

| Yük Durum | D4   |      |        | C4    |      |        | A4    |       |       | B4   |       |       |
|-----------|------|------|--------|-------|------|--------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
|           | 85   | 86   | 87     | 88    | 89   | 90     | 91    | 92    | 93    | 94   | 95    | 96    |
| I         | 1569 | 3595 | -7784  | -1569 | 3595 | -7784  | -545  | -2225 | -841  | 545  | -2225 | -841  |
| II        | 2130 | 3835 | -12496 | -2130 | 3835 | -12496 | 783   | 100   | 7126  | -783 | 100   | 7126  |
| III       | 861  | 1975 | -4352  | -486  | 1768 | -1018  | -486  | -1768 | -1018 | 861  | -1768 | -4352 |
| IV        | 2440 | 828  | -13500 | 327   | 4992 | 4875   | -1750 | -754  | -5092 | 363  | -5092 | -363  |
| V         | 1808 | 1229 | -11919 | -306  | 4590 | 3294   | -1293 | -2154 | -2964 | 821  | -2964 | -821  |
| VI        | 1432 | 3904 | -5970  | -1432 | 3904 | -5970  | -1432 | -3904 | -5970 | 1432 | -3904 | -5970 |

TABLO E.2  
YÜK DURUMU (Gövde)

| Ad.  | Tarif       | Kesit Alanı<br>cm <sup>2</sup> | $\tau_{min}$<br>cm | No. |
|------|-------------|--------------------------------|--------------------|-----|
| F4   | 90,90,7.0   | 12.20 (10.20)                  | 1.77               | 24  |
| F3   | 90,90,7.0   | 12.20 (10.20)                  | 1.77               | 24  |
| F2   | 90,90,7.0   | 12.20 (10.20)                  | 1.77               | 24  |
| F1   | 100,100,7.0 | 13.70 (11.70)                  | 1.98               | 26  |
| B1   | 100,100,7.0 | 13.70 (11.70)                  | 1.98               | 26  |
| P1   | 100,100,7.0 | 13.70 (11.70)                  | 1.98               | 26  |
| V97T | 89,64,4.8   | 7.03 (6.03)                    | 1.38               | 17  |
| F82T | 89,64,4.8   | 7.03 (6.03)                    | 1.38               | 17  |
| F83T | 89,76,6.4   | 10.05 (8.05)                   | 2.82               | 22  |
| F81T | 127,89,7.9  | 16.50 (14.05)                  | 4.08               | 28  |
| B82T | 89,89,4.8   | 8.18 (7.18)                    | 2.79               | 21  |
| B81T | 65,65,4.0   | 5.13 (4.50)                    | 1.30               | 9   |
| F14T | 40,40,5.0   | 3.79 (3.08)                    | 0.80               | 4   |
| F13T | 45,45,4.0   | 3.49 (2.92)                    | 0.87               | 3   |
| F12T | 60,60,4.0   | 4.72 (4.1)                     | 1.19               | 8   |
| F11T | 64,51,4.8   | 5.23 (4.5)                     | 2.00               | 10  |
| B12T | 35,35,4.0   | 2.67 (2.10)                    | 0.68               | 1   |
| P11T | 76,51,4.8   | 5.80 (5.12)                    | 1.12               | 13  |
| V97L | 65,65,4.0   | 5.13 (4.45)                    | 1.30               | 9   |
| F82L | 60,60,4.0   | 4.72 (4.15)                    | 1.19               | 8   |
| F83L | 70,70,4.0   | 5.47 (4.97)                    | 1.39               | 12  |
| F81L | 60,60,4.0   | 4.72 (4.15)                    | 1.19               | 8   |
| B82L | 76,76,4.8   | 7.03 (6.03)                    | 1.50               | 16  |
| B81L | 65,65,4.0   | 5.13 (4.57)                    | 1.30               | 9   |
| F14L | 35,35,4.0   | 2.67 (2.10)                    | 0.68               | 1   |
| F13L | 35,35,4.0   | 2.67 (2.10)                    | 0.68               | 1   |
| F12L | 45,45,4.0   | 3.49 (2.92)                    | 0.87               | 3   |
| F11L | 45,45,4.0   | 3.49 (2.92)                    | 0.87               | 3   |
| B12L | 35,35,4.0   | 3.67 (2.10)                    | 0.68               | 1   |
| P11L | 75,75,4.0   | 5.89 (5.32)                    | 1.46               | 14  |
| DDL  | 60,60,4.0   | 4.72 (4.15)                    | 1.19               | 8   |

TABLO-E 3: TAŞIYICI KULE ELEMANLARININ BAŞLANGIÇ DEĞERLERİ

TABLO-E5. BAŞLANGIÇ ÖRNEKLEMESİ (ÖĞRETİM ÖRNEKLEMESİ) N = 50

| No | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub> | X <sub>6</sub> | X <sub>7</sub> |
|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1  | 9.55           | 7.50           | 7.75           | 16.60          | 5.45           | 22.50          | 3.95           |
| 2  | 9.55           | 10.50          | 6.95           | 18.60          | 4.95           | 24.50          | 3.45           |
| 3  | 9.55           | 13.50          | 6.25           | 20.60          | 4.45           | 26.50          | 3.00           |
| 4  | 9.55           | 10.50          | 7.75           | 18.60          | 4.95           | 24.50          | 3.45           |
| 5  | 9.55           | 10.50          | 7.75           | 20.60          | 4.95           | 26.50          | 3.00           |
| 6  | 9.55           | 7.50           | 7.75           | 20.60          | 4.45           | 22.50          | 3.95           |
| 7  | 9.55           | 7.50           | 7.75           | 20.60          | 4.45           | 26.50          | 3.00           |
| 8  | 9.55           | 7.50           | 3.55           | 16.60          | 5.45           | 26.50          | 2.00           |
| 9  | 9.55           | 7.50           | 7.75           | 16.60          | 4.10           | 22.50          | 2.35           |
| 10 | 9.55           | 7.50           | 7.75           | 20.60          | 3.45           | 26.50          | 2.50           |
| 11 | 9.55           | 7.50           | 7.75           | 20.60          | 3.45           | 26.50          | 2.00           |
| 12 | 9.55           | 7.50           | 7.75           | 20.60          | 3.45           | 24.50          | 2.15           |
| 13 | 9.55           | 7.50           | 7.75           | 18.60          | 3.75           | 22.50          | 3.15           |
| 14 | 9.55           | 7.50           | 7.75           | 18.60          | 3.75           | 26.50          | 2.50           |
| 15 | 9.55           | 7.50           | 7.75           | 18.60          | 3.75           | 26.50          | 2.00           |
| 16 | 9.55           | 7.50           | 7.75           | 18.60          | 2.65           | 22.50          | 2.35           |
| 17 | 9.55           | 7.50           | 7.75           | 18.60          | 2.65           | 26.50          | 2.00           |
| 18 | 9.55           | 7.50           | 7.75           | 18.60          | 2.65           | 24.50          | 2.15           |
| 19 | 9.55           | 7.50           | 7.75           | 16.60          | 4.10           | 22.50          | 3.15           |
| 20 | 9.55           | 7.50           | 7.75           | 16.60          | 2.80           | 22.50          | 2.35           |
| 21 | 9.55           | 7.50           | 7.75           | 16.60          | 4.10           | 26.50          | 2.00           |
| 22 | 9.55           | 10.50          | 6.95           | 18.60          | 3.75           | 26.50          | 2.00           |
| 23 | 9.55           | 16.50          | 3.30           | 18.60          | 3.75           | 26.50          | 2.00           |
| 24 | 9.55           | 10.50          | 3.30           | 20.60          | 2.45           | 22.50          | 2.35           |
| 25 | 9.55           | 13.50          | 3.10           | 20.60          | 2.45           | 26.50          | 2.00           |
| 26 | 9.55           | 7.50           | 3.55           | 16.60          | 2.80           | 26.50          | 2.00           |
| 27 | 6.85           | 7.50           | 5.60           | 16.60          | 4.10           | 22.50          | 3.15           |
| 28 | 6.85           | 7.50           | 3.55           | 16.60          | 2.80           | 22.50          | 2.35           |
| 29 | 6.85           | 7.50           | 3.55           | 20.60          | 2.45           | 26.50          | 2.00           |
| 30 | 6.85           | 10.50          | 5.10           | 18.60          | 3.75           | 24.50          | 2.80           |
| 31 | 6.85           | 10.50          | 3.30           | 18.60          | 2.65           | 24.50          | 2.15           |
| 32 | 6.85           | 13.50          | 4.65           | 18.60          | 2.65           | 24.50          | 2.15           |
| 33 | 6.85           | 13.50          | 3.10           | 20.60          | 2.45           | 24.50          | 2.15           |
| 34 | 6.85           | 7.50           | 3.55           | 20.60          | 4.45           | 26.50          | 2.00           |
| 35 | 6.85           | 13.50          | 3.10           | 16.60          | 5.45           | 24.50          | 2.15           |
| 36 | 6.85           | 10.50          | 5.10           | 18.60          | 2.65           | 24.50          | 2.15           |
| 37 | 4.15           | 7.50           | 3.55           | 16.60          | 2.80           | 22.50          | 2.35           |
| 38 | 4.15           | 7.50           | 3.55           | 20.60          | 2.45           | 22.50          | 2.35           |
| 39 | 4.15           | 7.50           | 3.55           | 18.60          | 2.65           | 22.50          | 2.35           |
| 40 | 4.15           | 10.50          | 3.30           | 18.60          | 2.65           | 24.50          | 2.15           |
| 41 | 4.15           | 10.50          | 3.30           | 18.60          | 2.65           | 26.50          | 2.00           |
| 42 | 4.15           | 13.50          | 3.10           | 20.60          | 2.45           | 22.50          | 2.35           |
| 43 | 4.15           | 13.50          | 3.10           | 20.60          | 2.45           | 26.50          | 2.00           |
| 44 | 4.15           | 7.50           | 7.75           | 16.60          | 2.80           | 26.50          | 3.00           |
| 45 | 4.15           | 7.50           | 5.60           | 20.60          | 2.45           | 26.50          | 2.00           |
| 46 | 4.15           | 10.50          | 6.95           | 18.60          | 4.95           | 26.50          | 2.00           |
| 47 | 4.15           | 10.50          | 5.10           | 20.60          | 4.45           | 24.50          | 2.15           |
| 48 | 4.15           | 13.50          | 6.25           | 20.60          | 3.45           | 26.50          | 2.00           |
| 49 | 4.15           | 13.50          | 4.65           | 16.60          | 5.45           | 26.50          | 2.00           |
| 50 | 4.15           | 7.50           | 7.75           | 20.60          | 2.45           | 26.50          | 2.00           |

X<sub>K</sub>

TABLO-E 4. KULLANILAN PROFİL LİSTESİ

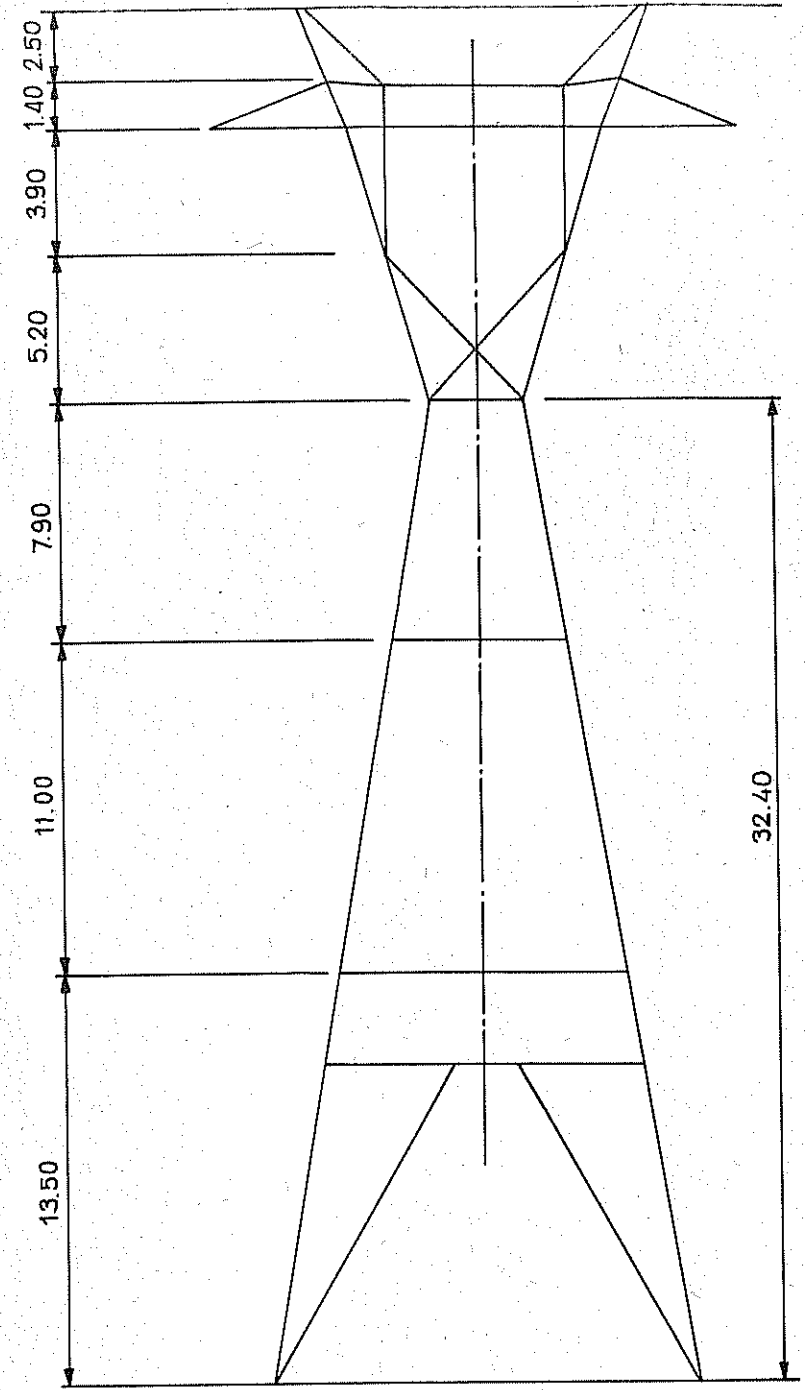
| No | Tarif        | Kesit Alanı cm <sup>2</sup> | Net Kesit Alanı cm <sup>2</sup> | ε <sub>min</sub> cm |
|----|--------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------|
| 1  | 35,35,4.0    | 2.67                        | 2.10                            | 0.68                |
| 2  | 40,40,4.0    | 3.08                        | 2.51                            | 0.77                |
| 3  | 45,45,4.0    | 3.49                        | 2.92                            | 0.87                |
| 4  | 40,40,5.0    | 3.79                        | 3.08                            | 0.77                |
| 5  | 50,50,4.0    | 3.90                        | 3.33                            | 0.98                |
| 6  | 45,45,5.0    | 4.29                        | 3.57                            | 0.88                |
| 7  | 55,55,4.0    | 4.29                        | 3.69                            | 1.09                |
| 8  | 60,60,4.0    | 4.72                        | 4.00                            | 1.19                |
| 9  | 65,65,4.0    | 5.13                        | 4.33                            | 1.30                |
| 10 | 64,51,4.8    | 5.23                        | 4.55                            | 2.00                |
| 11 | 55,55,5.0    | 5.31                        | 4.41                            | 1.08                |
| 12 | 70,70,4.0    | 5.47                        | 4.61                            | 1.39                |
| 13 | 76,51,4.8    | 5.80                        | 5.12                            | 1.12                |
| 14 | 75,75,4.0    | 5.89                        | 5.32                            | 1.46                |
| 15 | 70,70,5.0    | 6.84                        | 5.76                            | 1.38                |
| 16 | 76,76,4.8    | 7.03                        | 6.03                            | 1.50                |
| 17 | 89,64,4.8    | 7.03                        | 6.03                            | 1.38                |
| 18 | 60,60,6.0    | 7.08                        | 6.00                            | 1.15                |
| 19 | 80,80,5.0    | 9.80                        | 6.80                            | 1.59                |
| 20 | 70,70,6.0    | 8.10                        | 7.00                            | 1.39                |
| 21 | 89,89,4.8    | 8.18                        | 7.18                            | 2.79                |
| 22 | 89,76,6.4    | 10.05                       | 8.05                            | 2.82                |
| 23 | 75,75,7.0    | 10.10                       | 8.60                            | 1.48                |
| 24 | 90,90,7.0    | 12.20                       | 10.20                           | 1.77                |
| 25 | 80,80,8.0    | 12.30                       | 10.30                           | 1.57                |
| 26 | 100,100,7.0  | 13.70                       | 11.70                           | 1.98                |
| 27 | 75,75,10.0   | 14.2                        | 12.20                           | 1.48                |
| 28 | 127,89,79    | 16.5                        | 14.05                           | 4.08                |
| 29 | 90,90,11.0   | 19.0                        | 16.00                           | 1.76                |
| 30 | 100,100,10.0 | 19.2                        | 16.20                           | 1.96                |

TABLO-E6: İkinci Aramada Kullanılan Dizayn Noktaları

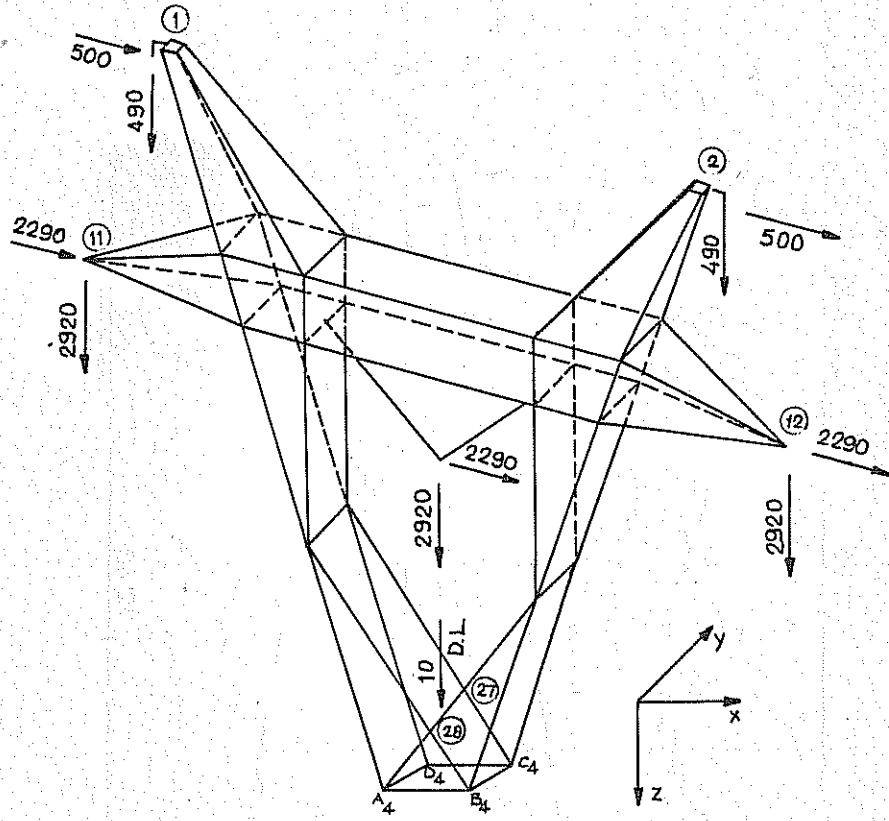
| No | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub> | X <sub>6</sub> | X <sub>7</sub> | MF (m <sup>3</sup> ) |
|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|
| 1  | 4.50           | 10.50          | 3.50           | 18.60          | 2.65           | 22.50          | 2.35           | .430                 |
| 2  | 6.85           | 7.50           | 3.65           | 20.60          | 2.55           | 22.50          | 2.35           | .442                 |
| 3  | 6.00           | 10.50          | 3.50           | 16.60          | 3.00           | 24.50          | 2.15           | .435                 |
| 4  | 5.00           | 7.50           | 3.55           | 18.60          | 2.65           | 29.50          | 2.15           | .423 1/              |
| 5  | 5.50           | 13.50          | 3.60           | 18.60          | 2.65           | 24.50          | 2.15           | .431                 |
| 6  | 5.50           | 13.50          | 3.70           | 20.60          | 2.45           | 24.50          | 2.15           | .428                 |
| 7  | 4.25           | 13.50          | 3.15           | 20.60          | 2.45           | 24.50          | 2.15           | .424                 |

1/ Minimum nokta.

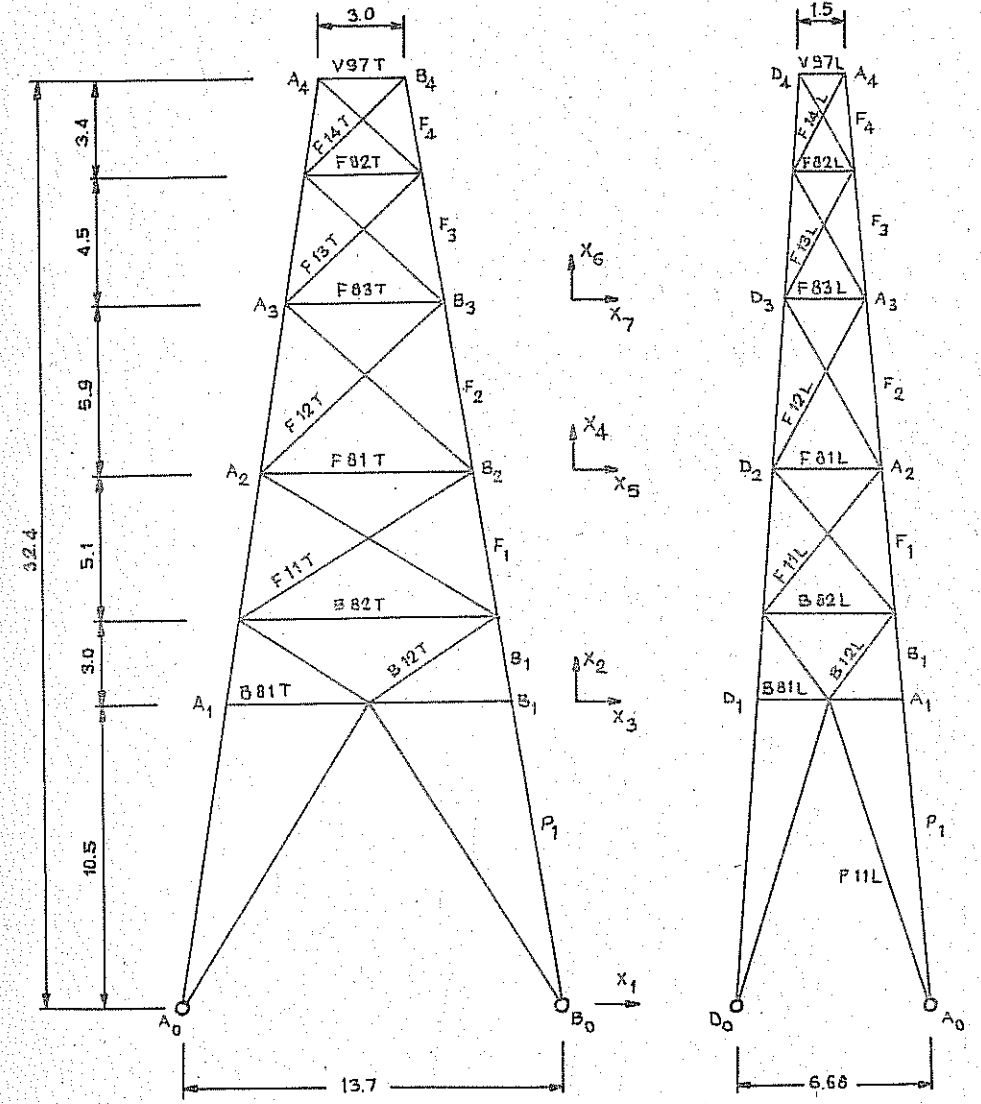
Not: Bütün hacımlar 0 ile 32-40 yüksekliği arasında ve tali elemanlarla bağlantı elemanları hariç.



ŞEKİL E1 - 4 A 2 Kulesi



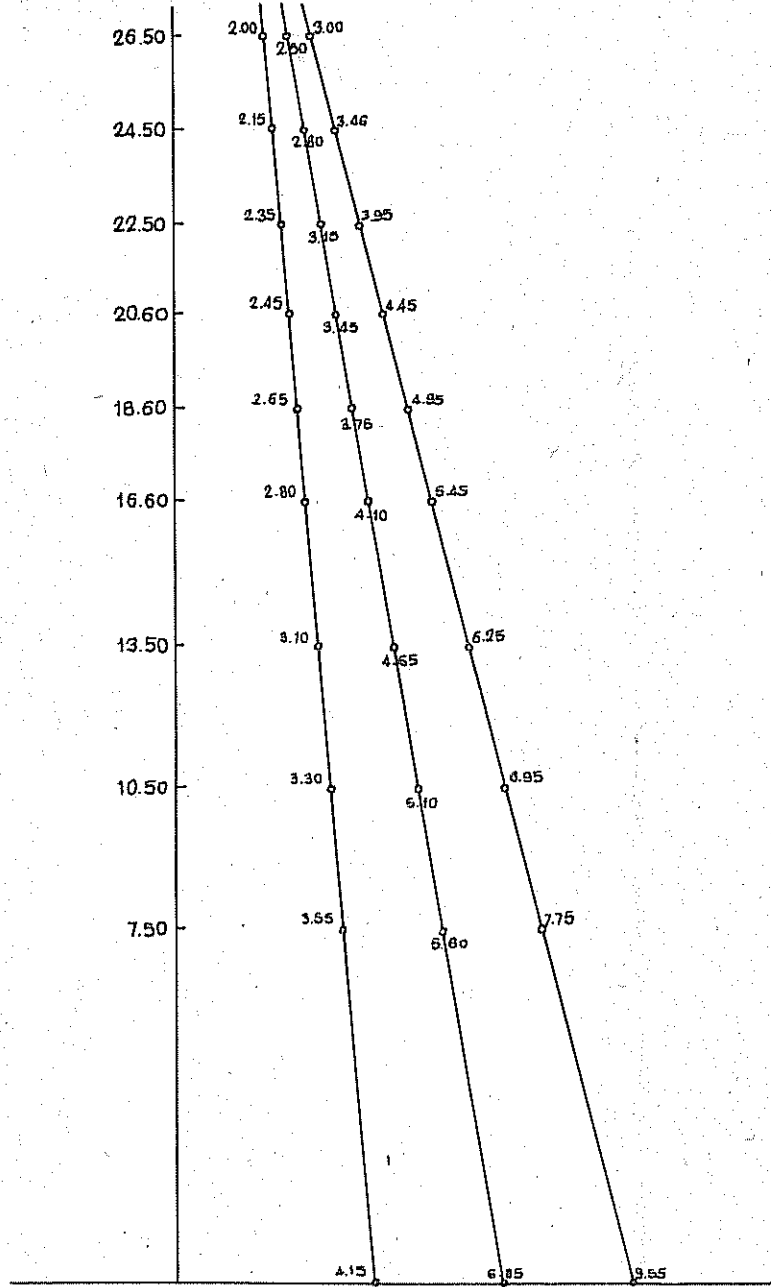
ŞEKİL E2 - Kule Üst Kısmı



ŞEKİL E3

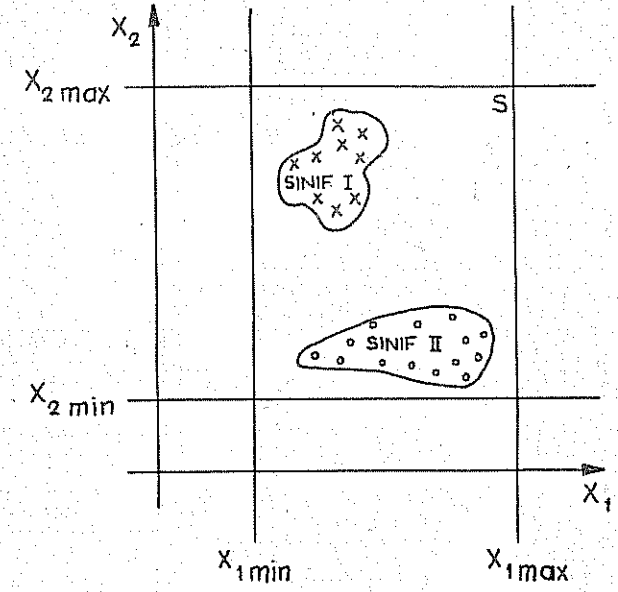
Başlangıç Boyutları Model Kule Gövdesi Ön ve Yan Görünümler





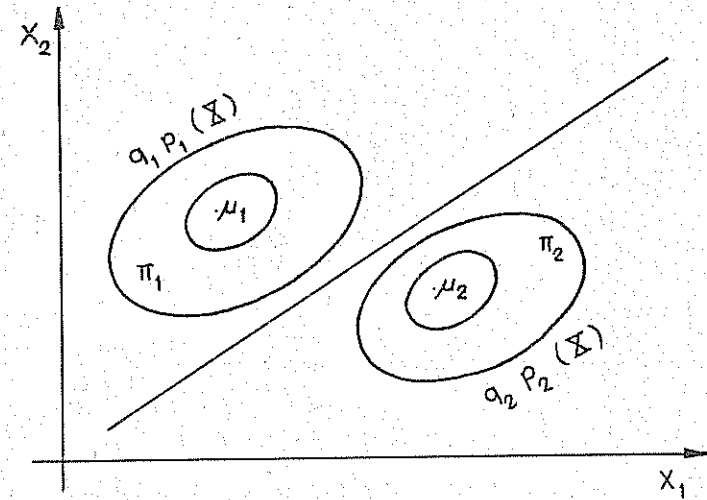
ŞEKİL E4

( $X_1, X_2, \dots, X_7$ ) Parametrelerin Max-Min Değerleri



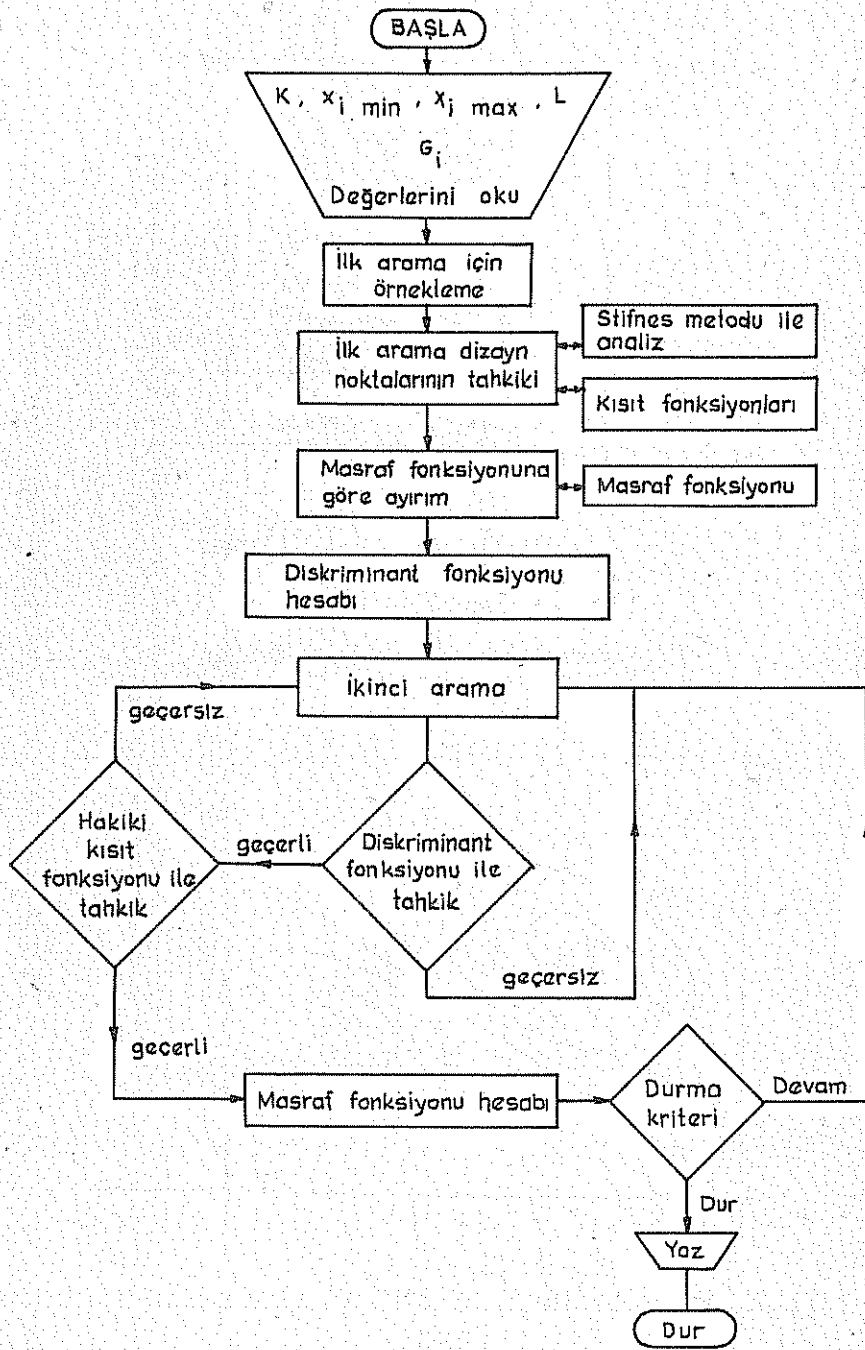
ŞEKİL 1

İki Boyutlu Popülasyon Uzayı ve Sınırlar

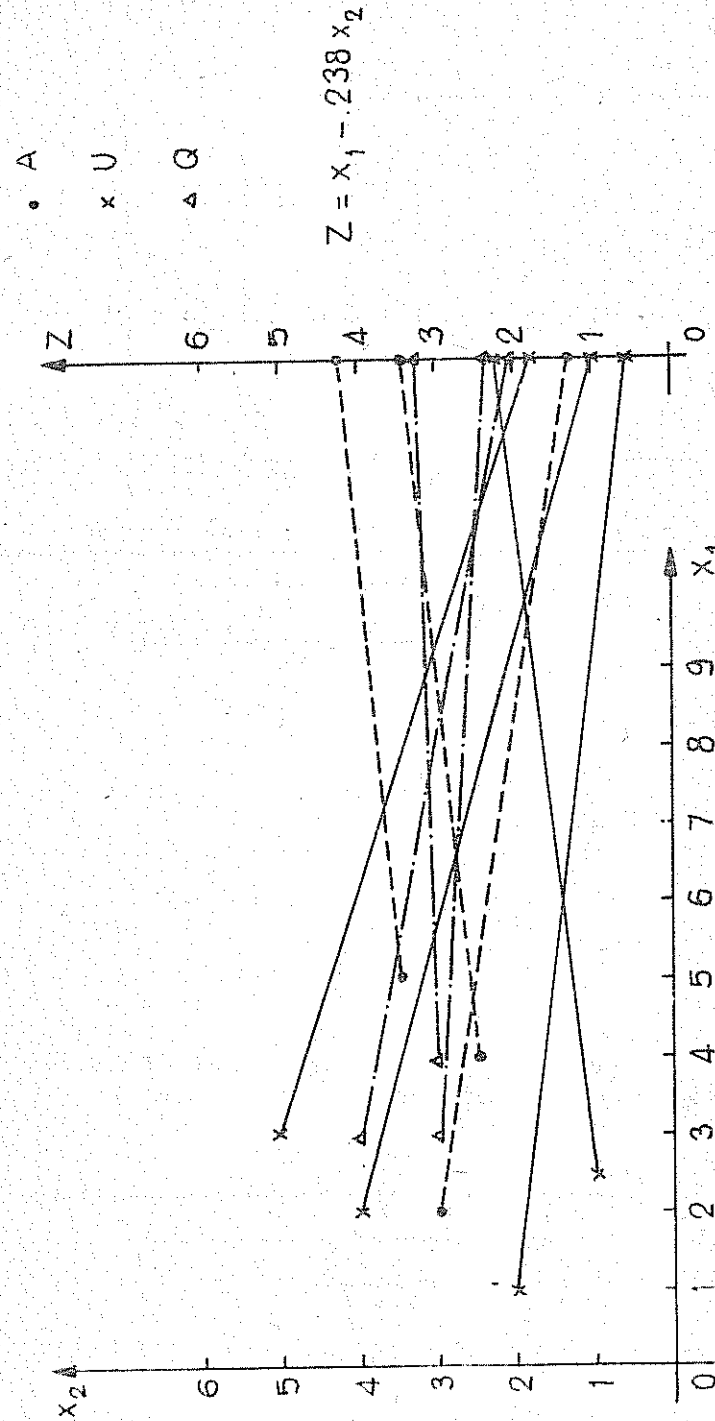


ŞEKİL 2

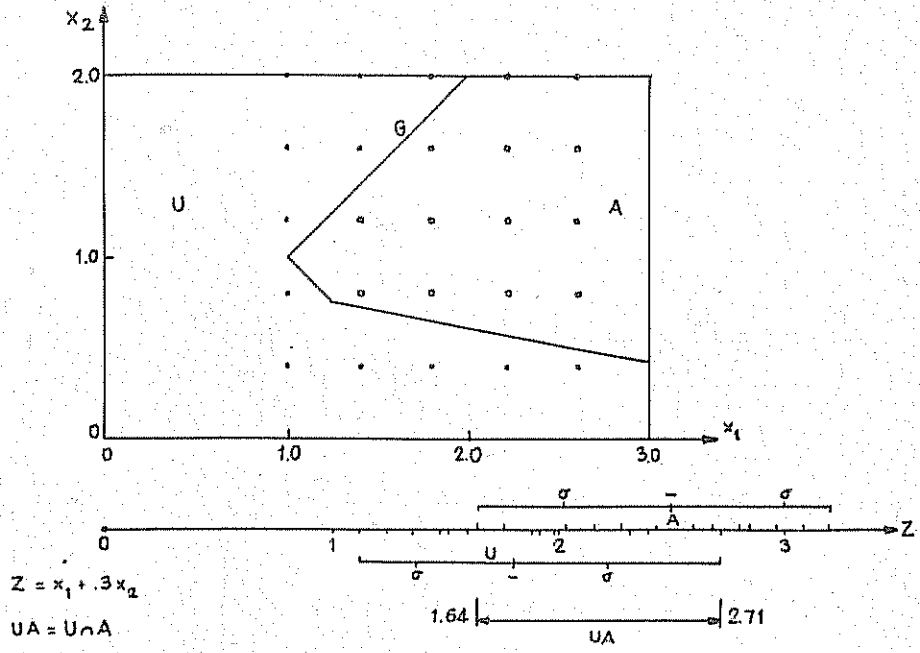
Karar Kuramı R'nin Şematik Görünümü



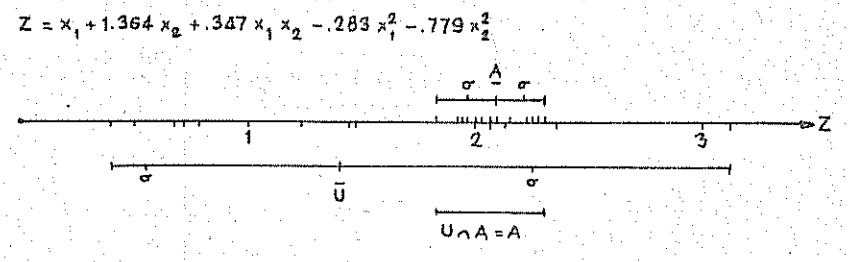
ŞEKİL 3  
Optimizasyon Akış Diagramı



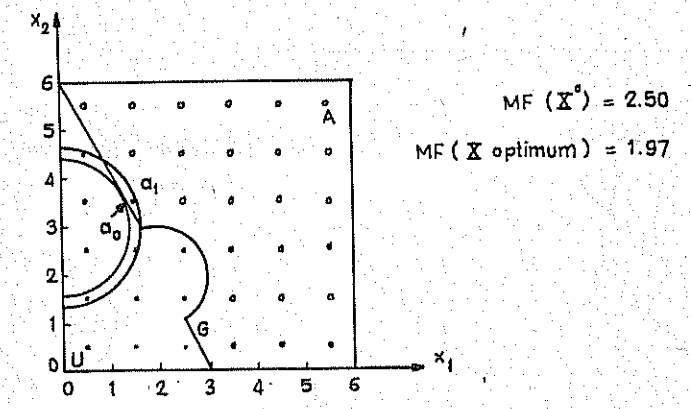
ŞEKİL 4 (P.O.U.) Örnek 1



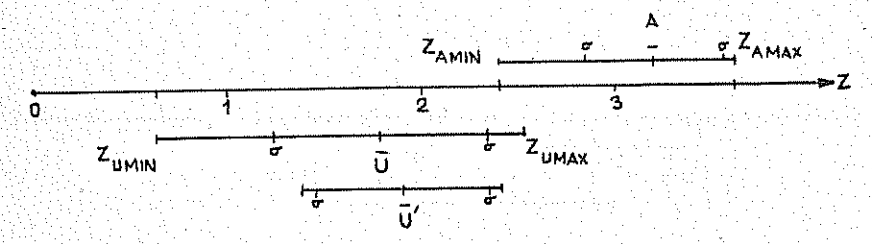
ŞEKİL 5-a  
 (P.O.U) Örnek 2



ŞEKİL 5-b

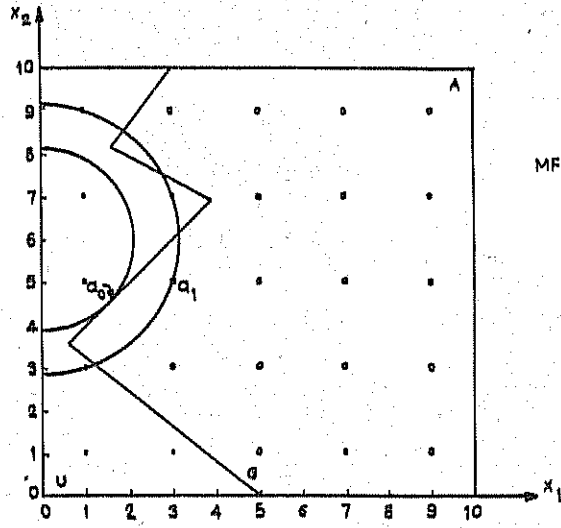


$Z = x_1 + .340x_2 - .099x_1x_2 - .060x_1^2 + .029x_2^2$



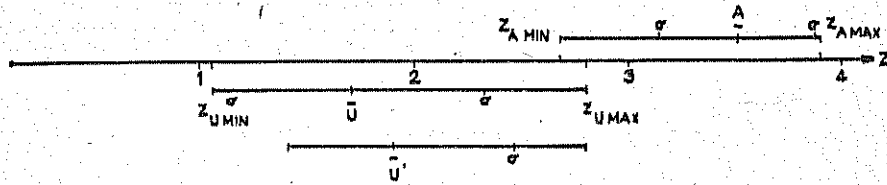
San Arama alanı U' nun tarifi :  $\bar{x} \in U' \iff MF_{\bar{x}} \leq MF_{a_i}$

ŞEKİL 6 Örnek 3



$MF(x^0) = 10.00 \sim a_1$   
 $MF(x \text{ optimum}) = 5.06$   
 $x \text{ optimum} = (1.6; 4.6) \sim a_0$

$$Z = x_1 + .1391x_2 - .0059x_1x_2 - .0683x_1^2 - .0065x_2^2$$



Son arama alanı U' nun tanımı :  $x \in U' \iff MF_x \leq MF_{a_1}$

ŞEKİL 7 Örnek 4

Örnek 5 (P.O.U.)

(Rosen ve Suzuki)

$$MF = x_1^2 + x_2^2 + 2x_3^2 + x_4^2 - 5x_1 - 5x_2 - 21x_3 + 7x_4$$

$$g_1 = -x_1^2 - x_2^2 - x_3^2 - x_4^2 - x_1 + x_2 - x_3 + x_4 + 7$$

$$g_2 = -x_1^2 - 2x_2^2 - x_3^2 - 2x_4^2 + x_1 + x_4 + 9$$

$$g_3 = -2x_1^2 - x_2^2 - x_3^2 - 2x_4^2 + x_1 + x_2 + x_4 + 4$$

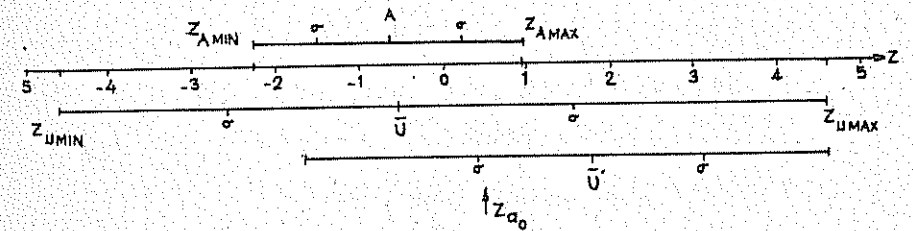
İlk arama  $N=5^4$ ,  $N_A=53$ ,  $N_U=572$ ,  $N_{U'}=72$

U' alanında arama  $N=5425$

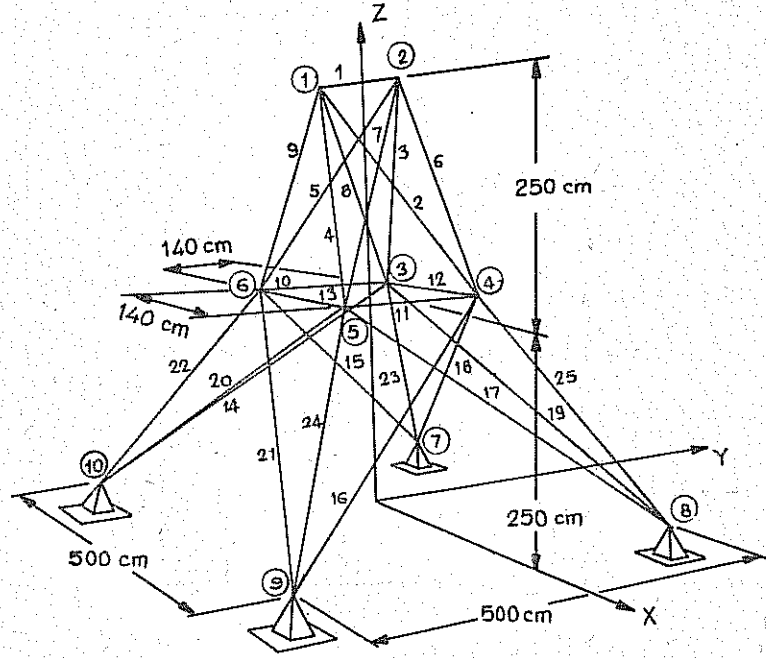
$a_0 = (-.0195; 1.0452; 2.0586; -.4804)$   $MF(x \text{ optimum}) = -42$   $a_{011} = 178$

Teorik  $a_{opt} = (0.00; 1.00; 2.00; -1.00)$   $MF(\text{Optimum}) = -44$

$$Z = x_1 - .145x_2 + .099x_3 - .649x_4$$



ŞEKİL 8 Örnek 5



ŞEKİL 9

Uzay Kafes Deneme Modeli