

5740

T. C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK ÇATILARDA KAFES KİRİŞ VE AŞIK ARALIKLARININ OPTİMUM TESBİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Anabilim Dalı : İnşaat

Programı : Yapı

Rifat SEZER
İnşaat Mühendisi

DANIŞMAN
Doç. Yük. Müh. Mustafa KARADUMAN

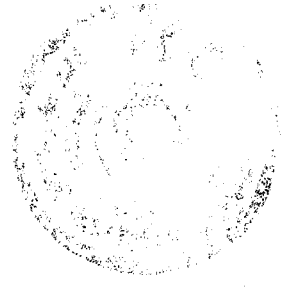
KONYA - 1987

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi



Çalışmalarımın her safhasında değerli fikir ve yardımlarını esirgemeyen muhterem danışman hocam, sayın Doç.Yük.Müh. Mustafa KARADUMAN'a, bilgisayar programının hazırlanmasında bana yardımcı olan Makina Mühendisi Hasan AYDIN'a, bilgisayar programının çalıştırılması sırasında destek ve yardımlarını gördüğüm Sayın hocalarım Yrd.Doç.Dr. Gürol BANGER'e, Yrd.Doç.Dr. İbrahim BAZ'a ve Araştırma Görevlisi Ferruh YILDIZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca el yazmalarının elektro-dizgisini büyük bir titizlikle yapan Türkçe Öğretmeni Sayın Saffet YURTSEVER'e de teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

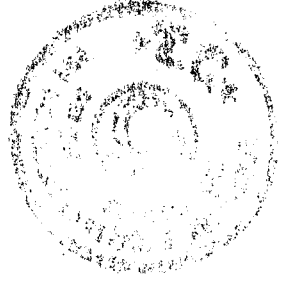
ÖZET	iv
SUMMARY	vi
KULLANILAN SEMBOLLER	viii
1. GİRİŞ	1
2. ÇELİK ÇATILARDA AĞIRLIK FONKSİYONUNUN ELDE EDİLMESİ	13
2.1. AŞIKLARDA AĞIRLIK FONKSİYONU	13
2.1.1. Aşıklarda Ağırlık Fonksiyonunun Sınırlayıcı Şartları	14
2.1.1.1. Aşıklar için eşitlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar	14
2.1.1.2. Aşıklar için eşitsizlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar	15
2.2. KAFES KİRİŞLERDE AĞIRLIK FONKSİYONU	16
2.2.1. Kafes Kirişlerde Ağırlık Fonksiyonunun Sınırlayıcı Şartları	16
2.2.1.1. Kafes kirişlerde eşitlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar	17
2.2.1.2. Kafes kirişlerde eşitsizlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar	18
2.3. ÇELİK ÇATILARDA AĞIRLIK FONKSİYONU	19

2.3.1. Çelik Çatılarda Ağırlık Fonksiyonu- nun Sınırlayıcı Şartları	19
3. MEVCUT OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ VE BU TEKNİKLERİN ÇELİK ÇATI SİSTEMLERİNİN OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASINA UYGULANABİLİRLİĞİ	20
3.1. OPTİMİZASYONUN ZAMAN İÇİNDEKİ GELİŞİMİ	20
3.2. OPTİMİZASYONUN ESASLARI	22
3.2.1. Relatif ve Mutlak Optimum	23
3.2.2. Tek Değişkenli Amaç Fonksiyonları- nın Optimizasyonu	23
3.2.3. Çok Değişkenli Amaç Fonksiyonları- nın Optimizasyonu	28
3.2.4. Optimizasyon Problemlerinde Sınırlayıcı Şartlar	32
3.2.5. Sınırlanmış Optimizasyon Problem- lerinin Analitik Metodlarla Çözümü	34
3.2.5.1. Doğrudan yer değiştirme metodu.	35
3.2.5.2. Lagrange çarpanları metodu.	35
3.2.6. Analitik Metodların Optimizasyon Problemlerine Uygulanabilirliği	36
3.3. NÜMERİK OPTİMİZASYON METODLARI	37
3.3.1. Tek Değişkenli Amaç Fonksiyonları- nın Sayısal Metodlarla Optimizasyonu	39
3.3.1.1. Simetrik iki nokta metodu	40
3.3.2. Gradyent Metodları	43
3.3.1.2.1. Gradyent doğrultusunda tepeye tırmanma metodu ile Optimizasyon	45



Sayfa No:

3.3.3. Doğrudan Araştırma Metodları. . . .	48
3.3.3.1. Patern araştırma metodu	48
3.3.4. Rastgele Araştırma Metodları . . .	53
3.3.4.1. Basit rastgele araştırma metodu .	53
3.3.4.2. Parsellenmiş rastgele araştırma metodu	53
4. PATERN ARAŞTIRMA METODU İLE ÇELİK ÇATI SİSTEMLERİNİN OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI	56
4.1. ÇELİK ÇATILAR İÇİN PATERN ARAŞTIRMA METODU	56
5. ÇELİK ÇATILARIN OPTİMİZASYONU İLE İLGİLİ NETİCELER	73
5.1. UYGUN BİR OPTİMİZASYON TEKNİĞİNİN SEÇİMİ İLE İLGİLİ NETİCELER	73
5.2. PATERN ARAŞTIRMA METODUNDAN FAYDALANARAK ÇELİK ÇATI SİSTEMLERİNİN OPTİMUM ÇÖZÜMÜ İLE İLGİLİ NETİCELER	75
5.3. ÖRNEK PROBLEMLE İLGİLİ NETİCELER. . .	76
6. SONUÇ	95
EKLER	
EK-1 BİLGİSAYAR PROGRAMLARININ LİSTESİ .	100
EK-2 ÖRNEK PROBLEMİN İKİ İTERASYON İÇİN BİLGİSAYAR ÇIKTILARI	112
KAYNAKLAR	124



ÖZET

Bu çalışmada çelik çatıların, kafes giriş ve aşık aralıklarının optimum tespiti, sayısal optimizasyon metodlarından ve doğrudan araştırma tekniklerinden, "Patern Araştırma Metodu" kullanılarak araştırılmış ve bu amaçla bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

İlk bölümde optimizasyon konusuna ilişkin gerekli açıklamalar yapılmış; yapı optimizasyonunun amacı, yararı ve gerekliliği belirtilerek konunun gelecek için önemi vurgulanmıştır. Mevcut ve önemli optimizasyon metodlarından kısaca bahsedilerek, çelik çatıların optimizasyonuna uygunluklarına değinilmiştir.

İkinci bölümde çelik çatılarda, ağırlık fonksiyonları ve sınırlayıcı şartlarının elde edilmesine ilişkin açıklamalar yapılmıştır.

Üçüncü bölümde mevcut optimizasyon teknikleri ve bu tekniklerin çelik çatı sistemlerinin optimum boyutlandırılmasına uygulanabilirliği araştırılarak uygulamada sıkça kullanılan optimizasyon metodları incelenmiştir.

Dördüncü bölümde Patern Araştırma Metodu ile çelik çatıların optimizasyonu üzerinde durulmuş ve bilgisayar programının tanıtımı yapılmıştır.



Beşinci bölümde yapılan tez çalışmasında çelik çatıların optimizasyonu ile ilgili neticeler ele alınarak değerlendirmeler yapılmış ve farklı çatı kaplaması ağırlıklarına ve aşık türlerine göre bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın EKLER bölümünde ise; geliştirilen bilgisayar programlarının listesi ve örnek problemin iki iterasyon için bilgisayar çıktıları verilmiştir.

* * *



SUMMARY

In this study, intervals of trusses and purlins have been optimized by using "Pattern Search Method" which is one of direct search techniques and of numerical optimization methods. A computer program has been developed for this aim.

In the first chapter, required explanation about optimization topic has been given. The aim, necessity and advantage of structural optimization have been pointed and importance of the topic for future, has been emphasized. Present and important optimization methods have briefly been mentioned and to their convenience for optimization of steel roofs has been related.

Determination procedures of weight, functions and limiting conditions in steel roofs have been explained in the second Chapter.

In the third chapter, present optimization techniques and application of that to optimum design of the steel roof systems have been investigated. The optimization methods which are frequently used in practical applications have been examined.

In chapter four, the optimization of steel roofs by "Pattern Search Method" has been given and the computer program has been introduced.

In the fifth chapter, obtained results of the study has been

discussed. Comparison of the results obtained from different purlin types and weights of roof coverings has also been included.

The lists of the developed computer programs and computer print-outs belonging to two iterations of the sample program has been given in the chapter of appendices.

* * *



KULLANILAN SEMBOLLER

a_i	: Yatay aşık aralığı
E	: Elastisite Modülü
F	: Kesit alanı
F_n	: Faydalı kesit alanı
f_{max}	: Maksimum sehim
f_x	: x yönündeki sehim
f_y	: y yönündeki sehim
G_i	: Profillerin birim uzunluğunun ağırlığı
g_i	: Sınırlayıcı şart fonksiyonları
J_x	: x yönündeki atalet momenti
J_y	: y yönündeki atalet momenti
k	: Sehim katsayısı
L	: Çatının kenar aksları arasındaki uzunluğu
L_i	: Kafes kirişte çubuk uzunluğu
L_{si}	: Çatının toplam uzunluğu
L_x	: x yönündeki aşık açıklığı
L_y	: y yönündeki aşık açıklığı
M_{1x}	: x yönündeki eğilme momenti
M_{1y}	: y yönündeki eğilme momenti



- M_w : Rüzgar yükünden meydana gelen eğilme momenti
- NA : Aşıklarda farklı aşık sayısı
- $NÇ$: Kafes girişte çubuk sayısı
- n_i : Kafes giriş aralığı sayısı
- P_b : Basınç çubuklarında, basınç kuvveti
- $P_ç$: Çekme çubuklarında, çekme kuvveti
- q_{11x} : x yönünde aşığın birim boyuna gelen yük
- q_{11y} : y yönünde aşığın birim boyuna gelen yük
- W_a : Aşıklarda ağırlık fonksiyonu
- W_k : Kafes girişlerde ağırlık fonksiyonu
- W_t : Çelik çatılarda ağırlık fonksiyonu
- W_x : x yönündeki mukavemet momenti
- X_i : Patern araştırma metodunda, baz noktasının koordinatları
- X_i^* : Patern araştırma metodunda, araştırma noktasının koordinatları
- z : Lagrange fonksiyonu
- VW : Gradyent metodlarında ilerleme yönü
- Y_i : Profillerin birim hacim ağırlığı
- $\Delta\tau$: Gradyent metodlarında adım boyu
- λ_i : Lagrange çarpanları
- ΣF : Toplam kesit alanı
- $\sigma_{b,em}$: Basınç emniyet gerilmesi
- $\sigma_{b,max}$: Maksimum basınç gerilmesi
- $\sigma_ç$: Çekme gerilmesi
- $\sigma_{ç,em}$: Çekme emniyet gerilmesi
- $\sigma_{1,em}$: H yüklemesi için emniyet gerilmesi
- $\sigma_{1,max}$: H yüklemesinden meydana gelen maksimum gerilme



- $\sigma_{11,em}$: HZ yüklemesi için emniyet gerilmesi
 $\sigma_{11,max}$: HZ yüklemesinden meydana gelen maksimum gerilme
 σ_w : Rüzgar yükünden meydana gelen gerilme
 σ_x : x yönündeki basınç gerilmesi
 σ_y : y yönündeki basınç gerilmesi
 ω_{max} : Maksimum burkulma katsayısı
 ω_x : x yönündeki burkulma katsayısı
 ω_{yi} : y yönündeki burkulma katsayısı
 W_y : y yönündeki mukavemet momenti

* * * * *

1. GİRİŞ

Eski çağlardan beri insanoğlunun herhangi bir konuda, en iyi ve en güzeli bulma arzusu ve hayâli, onu yeni araştırmalara sevk etmiş ve zamanla ilmin ve tekniğin gelişmesi sonucu ortaya çıkan yeni imkânlar neticesinde, bazı ideallerini gerçekleştirmiş ve yeni ideallerini de gerçekleştirebilmek için hızlı bir çalışma içine girmiştir.

Herhangi bir mühendislik tasarım probleminin birden fazla kabul edilebilir ve geçerli çözümü vardır. Fakat asıl önemli olan birçok mevcut çözümler arasından en iyi (optimum) çözümün bulunabilmesidir (13).

Yapı mühendisliği alanında ise yapı tasarımı, genelde çeşitli pratik ve teorik değerlere dayanan bir kararlar dizisi olduğundan, tasarımcının tecrübe, sezgi ve benzer tasarımlardan elde ettiği bilgilere dayanır. Bu açıdan bakıldığında, uygulamada yapı tasarımı henüz bir deneme-yanılma metodu çemberinin dışına çıkamamıştır (13).

Son yıllarda yüksek hızdaki bilgisayarların geliştirilmesi ve matematiğin yeni sayılabilecek bir dalı olan Matematik Programlamadaki gelişmeler, yapı tasarımına daha sistematik, akılcı ve dolaysız bir şekilde yaklaşabilmemize imkân sağlamaktadır. Bilgisayar tasarımcıyı pek çok tekrarlanan hesaplama güçlüğünden kurtardığı gibi, hızıyla da daha önceleri dikkate alınması mümkün olma-

yan çok daha değişik tasarımları da göz önüne alıp bir sonuca varabilmemizi sağlar. Matematik programlama ise optimum tasarımı elde etmek için sistematik bir yaklaşım getirmektedir (13)

Bu çalışmanın amacı, çelik çatılarda kafes kiriş ve aşık aralıklarının optimum tespitini yapmak ve bunun için bir bilgisayar programı geliştirmektir. Çelik çatılarda, kafes kiriş ve aşık çeşitleri çok fazladır ve bunlar aşağıda sırayla verilmiştir.

Kafes kirişler,

- 1- Paralel başlıklı kafes kiriş,
- 2- Trapez kafes kiriş,
- 3- Üçgen kafes kiriş,
- 4- Üst başlığı parabolik kafes kiriş,
- 5- Her iki başlığı parabolik kafes kirişi,
- 6- Mansard kafes kiriş,

Aşıklar,

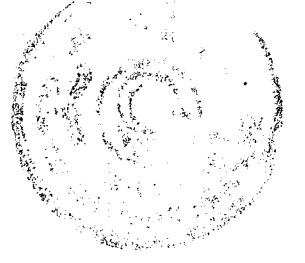
- 1- Basit kiriş,
- 2- Mütemadi kiriş,
- 3- Gerber kirişi,
- 4- Destekli kiriş,

olmak üzere isimlendirilirler. Bu çalışmada kafes kiriş olarak, üçgen kafes kiriş ve aşık olarak ise basit kiriş ve mütemadi kiriş kullanılmıştır. Yukarıda görüldüğü gibi kafes kiriş çeşidi çok fazla olduğu için bunlardan sadece üçgen kafes kiriş tiplerinden biri için inceleme yapılmıştır. Aşık çeşidi de yine çok olduğu için sadece basit kiriş ve mütemadi kiriş türü incelenmiştir. Ayrıca gerber kirişi mütemadi kirişe benzer olduğu için ve destekli kiriş ise bütün açıklıklarda aynı profil kullanmak daha ekonomik ve pratik olduğu için kullanılmamıştır. Ayrıca çatı kaplaması ağırlıklarının da çok çeşitli olduğu göz önünde

tutularak dört çeşit çatı kaplaması (25, 50, 75, 100) kg/m² ağırlığına göre optimizasyon hesabı yapılmıştır.

Çelik çatıların toplam çatı ağırlığını en çok etkileyen iki önemli kısmı, kafes kiriş sayısı ve aşık açıklığıdır. Eğer kafes kiriş aralığı arttırılırsa, kafes kiriş sayısı azalmaktadır ve buna mukabil ise aşık açıklığı artmaktadır ve dolayısıyla aşık kesiti büyümektedir. İşte bu önemli şartlar göz önünde bulundurularak kafes kiriş ve aşık açıklığı arasındaki denge, optimum olarak sağlanmalıdır. Bu sağlandığı takdirde toplam çatı ağırlığı da minimum olacaktır. Toplam çatı ağırlığını minimum yapan kafes kiriş ve aşık aralıkları ise optimum aralıklar olarak alınacaktır. Çelik çatı sistemlerinin optimizasyonunda, amaç fonksiyonu olarak çatı ağırlığı alınır. Çelik çatılarda toplam maliyet direkt olarak çatının toplam ağırlığına bağlıdır. Çatının ağırlığını minimum yapan çözüm, optimum çözüm olur. Bu tezin konusunda kafes kiriş ve aşık aralıkları bağımsız değişken veya tasarım değişkeni olarak alındığı için, çelik çatının ağırlığını minimum yapan aralıklar, optimum aralıklardır. Çelik çatının ağırlığının minimum olmasını etkileyen iki önemli kısmı, aşık ağırlığı ve kafes kiriş ağırlığıdır. Aşık ve kafes kiriş ağırlıkları ise aralıklarına bağlı olarak değişir. Bu aralıklar optimum yapılabildiği takdirde çatı ağırlığı da minimum yapılmış olur.

Çelik çatıların optimizasyonunda, önemli olan kafes kiriş aralıklarının veya aşık açıklığının optimum tespitidir. Çünkü toplam çatı ağırlığını en çok etkileyen kafes kiriş sayısı ve aşık açıklığıdır. Eğer kafes kiriş aralığı veya aşık açıklığı optimum olarak tespit edilirse toplam çatı ağırlığı da minimum olacaktır. Aşık aralığı da toplam çatı ağırlığını etkilemektedir. Fakat bu çalışmada yapılan araştırmada aşık aralığı olarak kafes kiriş üst başlık düğüm noktaları arasındaki mesafenin alınmasının uygun olacağı anlaşılmıştır. Bundan dolayı önemli olan kafes kiriş aralıklarının optimizasyonudur. Bu yapıldığı takdirde minimum çatı ağırlığı bulunmuş olur.



Çelik çatının tamamının ele alınarak herhangi bir optimizasyon çalışması bugüne kadar yapılmamıştır. Bu konuda sadece düzlem kafes kirişlerin optimizasyonu ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Düzlem kafes kirişlerin optimum boyutlandırılması üzerine çok çalışma yapılmış olmasına rağmen, çelik çatıların bütününe dikkate alarak optimizasyon çalışması yapılmamıştır (12) (13). Bu çalışmada bu durum dikkate alınarak çelik çatılarda kafes kiriş ve aşık aralıklarının optimum tespitinin yapılmasına karar verilmiştir. Çelik çatının ağırlığını direkt olarak etkileyen kafes kiriş ve aşık aralıklarını optimum yapmak, toplam çatı ağırlığını minimum yapmaktır, bu da uygulamada en çok istenen bir durumdur. İşte bu çalışma, çelik çatılar için çok önemli olan kafes kiriş ve aşıkların en iyi (optimum) bir şekilde yerleştirilebilmesini sağlamak için yapılacaktır. Böylece çelik çatılar için, uygulamada en ekonomik çözüm bulunmuş olacaktır.

17. yüzyılda Newton ve Leibnitz tarafından matematik analizin kurulması ile optimizasyon teorisinin temeli ilmi olarak atılmış olur. Bu gelişimi takip eden yıllarda, optimizasyon problemleri genellikle, farklı değişkenlere bağlı bir amaç fonksiyonu (malîyet veya ağırlık fonksiyonu) ve sınırlayıcı şartları tanımlayan eşitlik ve eşitsizliklerle matematik olarak tanımlanarak çözülür. Bununla birlikte analitik optimizasyon metodları, söz konusu metodların yapısından gelen birtakım güçlükler nedeniyle daha sınırlı bir alanda uygulamaya konulabilmektedir (1).

II. Dünya Savaşı'nın sonlarına doğru modern ve hızlı bilgisayarların gelişerek yaygınlaşması ve buna paralel olarak nümerik analiz metodlarının uygulamaya konulması, yeni nümerik optimizasyon tekniklerinin bulunması amacıyla yoğun çalışmaların yapılmasına sebep olur. Bilgisayarlar işlemlere büyük ölçüde hız kazandırırken, nümerik analiz metodlarının gelişmesiyle de analitik optimizasyon tekniklerinin yapısından gelen birtakım zorlukların aşılması sağlanmış oldu. Bütün bu çalışmaların sonunda,



nümerik optimizasyon teknikleri, karar vermede güçlü ve gerçekçi bir araç olarak, yapı sistemlerinin projelendirilmesinden, uzak yolculuğunun planlanmasına "Co-Co Carrier" adı verilen büyük deniz ulaşım araçlarının yapımından, en karmaşık telekomünikasyon sistemlerinin kuruluşuna kadar bilim ve teknolojinin bütün dallarında kullanılmaya başlandı. Bununla beraber bilgisayarlardaki kapasite yetersizliği ve işlem süresinin uzunluğu gibi sebeplerle konu ile ilgili problemlerin bir bölümü halen çözülemez durumdadır. Bununla beraber ileride geliştirilecek daha hızlı bilgisayarlar ve bulunacak yeni nümerik teknikler ile, optimizasyonun daha geniş bir alanda uygulama imkânı bulacağı söylenebilir (1).

Ülkemizde henüz gelişme devresinde olan optimum tasarım metodlarının, yapı sistemlerinin tasarlanmasında çok yararlı olabileceği görülmektedir. Yapı tasarımı bazıları pratik, bazıları da teorik değerlere dayanan bir kararlar dizisidir. Pratik değerler teorik olarak gösterilebildiği kadar, bilgisayarlar yapı tasarımına yardımcı olarak kullanılabilirler. Böylece yapı tasarlanmasında bilgisayar ve yapı mühendisleri arasındaki iş bölümünün sınırı yer değiştirmektedir. Bu değişim ülkemizde de başlamıştır; dünyanın pratik değerleri bir anlamda yarının otomatik kararlarına dönüşmektedir (9).

Yapı mühendisinin tecrübe ve sezgisine dayanan ve ülkemizde uygulamada yaygın olarak kullanılmakta olan deneme-yanılma metodu mühendisin benzer tasarımlardan elde ettiği bilgilere dayanır; ve normal durumlarda iyi sonuçlar verir, fakat değişik ve yeni ileri atılımların üstesinden gelemez. Bu sebeple ve yapı tasarımı kavram ve ihtiyaçlarında büyük değişiklikler meydana getiren gelişmelerden dolayı, sistematik optimum yapı tasarımı metodları konusunda yeniden büyük bir ilginin doğması tabiidir (9).

Yapı mühendislerinin yapı tasarımında esas görevi, yapı sistemini seçmek ve boyutlarını belirlemektir. İç kuvvetlerin bulunması



yapı tasarımı hesabının bir adımıdır ve bundan amaç seçilen sistem ve boyutların belirtilen şartlara, geçerli yapı yönetmeliklerine uygunluğunu analitik metodlarla ispatlamaktır. Ayrıca yapı sisteminde kullanılan malzeme miktarları ve sistemin toplam maliyeti de hesaplanarak amaçlara uygunluğu kontrol edilir. Diğer bir deyişle yapı sistemlerinin tasarlanması, kabullerin formüle edilmesi ve bunların geçerliliğinin hesapla gösterilmesinden oluşur. "Optimum tasarım", yapı sisteminin kesin biçiminin ve boyutlarının, verilen mukavemet, şekil değiştirme, ekonomik olma, vb. şartlara göre, dolaysız bulunabilme imkânını sağlar. Yapı sisteminin biçim ve boyutlarının bu şartlara dayandığı, bunların sonuca önemli tesiri olduğu açıktır. Bu sebeble "optimum tasarım" yapı tasarımının yerini almaz, onun bir parçası olur (9).

Yüklerin en ekonomik biçimde taşınmasını sağlayabilmek, sistem seçiminde ve boyutlandırmada en önemli faktördür. Ekonomik olmak şartı sebebiyle yapının maliyetinin söz konusu olacağı açıktır. Maliyet, yapının beklenen görevine bağlı olarak yapının ağırlığı, yapım için gereken malzeme ve işçilik masrafları, yapım süresi, işletme sırasında gerekli bakım ve onarım ile, yine işletme sırasında ortaya çıkabilecek diğer masraflar, vb. gibi bir veya birden çok parametreye bağlı olarak düşünülmelidir (9).

Örneğin, tek tip olarak yapılması istenen çok sayıda enerji iletim hattı kulesi için, işçilikten çok toplam ağırlıkta yapılabilecek tasarruflar önem kazanmaktadır. Betonarme bir yapıda ise, yapının toplam ağırlığından çok, iskele, kalıp, beton ve çelik miktarları, malzeme ve işçilik birim fiyatı oranlarına bağlı olarak en ucuz çözümü verecek şekilde hesap edilmelidir. Enerji üretim tesisleri gibi bir an önce işletmeye girmesinde yarar olan yapılarda ise yapım süresi, yapının kendi maliyeti yanında gecikme maliyetinin de göz önünde tutulması gerektiğinden çok önemlidir. Bakım maliyeti, düzenli bakım görmesi gereken yapılarda (çelik köprü, vb.) toplam maliyet hesabında tesirli olabilir. Çelik

çatılarda, çelik sarfiyatı çok önemli olduğundan, mümkün olduğu kadar toplam çatı ağırlığının minimum yapılması çok önemli bir maliyet şartı olur (9).

Belirtilen bu parametreler yapı optimizasyonunun gerekliliği yanında karmaşıklığını da vurgulamaktadır. Yapı statığında genel matris teorisinin geniş ölçüde kullanılması ve yüksek hızda çalışan bilgisayarların yapımı sonucu yapı hesap metodları dalının gösterdiği ilerlemeye karşılık, yapı optimizasyonu daha yeni bir dal olması ve daha yüksek düzeyde karmaşıklığı sebebiyle aynı gelişmeyi gösterememiştir. Son yirmi yıl içinde literatürde görülen çok sayıda araştırma, daha çok yapı optimizasyonunu gerçekleştirebilecek metodların geliştirilmesine yönelik olup, özellikle yapı mühendisliğinde çok kullanılan yapı sistemlerine uygulamalar sınırlı kalmıştır (9).

Mevcut optimizasyon teknikleri, "Analitik metodlar", "Gradyent Metodları", "Doğrudan Araştırma Metodları" ve "Rastgele Araştırma Metodları" olmak üzere dört ayrı grupta toplanırlar. Bu metodlar genel olarak, "Matematik Programlama Metodları" olarak tanımlanırlar. Son üç grupta toplanan optimizasyon teknikleri, ayrıca nümerik optimizasyon metodları olarak da tanımlanırlar. Nümerik optimizasyon metodları daha ziyade ardışık işlemleri gerektiren iteratif nitelikli nümerik hesapları ihtiva ederler. Bu sebeple de, genellikle, programlanarak bilgisayar ile birlikte kullanılırlar (1) (12) (13).

Analitik optimizasyon tekniklerinin, herhangi bir probleme uygulanabilmesi için aşağıdaki şartların sağlanması gerekmektedir. Bunlar sırayla;

- a) Amaç fonksiyonu, sürekli olmalıdır.
- b) Amaç fonksiyonu, türevi alınabilir olmalıdır.
- c) Amaç fonksiyonunun alınacak birinci mertebeden kısmi türev-

lerinin sıfıra eşitlenmesi sonucu elde edilen denklem sistemi lineer ve analitik metodlarla çözülebilir olmalıdır.

d) Eşitlik şeklindeki sınırlayıcı şartların sayısı amaç fonksiyonunu tanımlayan değişken sayısına eşit veya daha çok olmamalıdır (1).

Yukarıda sözü edilen şartların sağlanması halinde amaç fonksiyonu sınırlayıcı şartlar da göz önünde tutularak, yeniden düzenlenir. Bu düzenleme sonunda sınırlayıcı şartlardan arındırılmış yeni bir amaç fonksiyonu elde edilir. Amaç fonksiyonu, sınırlayıcı şartlardan arındırılırken başlıca iki metoddan birisi uygulanır. Bu metodlar, "Doğrudan Yer Değiştirme Metodu" ve "Lagrange Çarpanları Metodu" dur. Bunlardan ikinci metod daha çok kullanılmaktadır (1).

Burada sözü edilen metodlardan birisi ile yeniden düzenlenerek sınırlayıcı şartlardan arındırılan amaç fonksiyonuna ait optimum (maksimum veya minimum) değeri sağlayan bağımsız değişken değerleri hesaplanabilir. Bunun için fonksiyonun birinci mertebeden alınan kısmi türevleri sıfıra eşitlenerek elde edilen denklem sistemi çözülür. Kesin çözümün bulunabilmesi için, elde edilen denklem sisteminin lineer olması ve singülerite şartının sağlanması gerekir. Lineer olmayan denklem sistemlerinin kesin çözümü, bazı özel durumlar dışında mümkün değildir. Uygulanacak nümerik metodlar ise lineer olmayan denklem sisteminin çözümü için her zaman yeterli olmayabilir (1).

Çelik çatı sistemlerinin optimum boyutlandırılmasında burada sözü edilen analitik metodlar yetersiz kalmaktadır. Çelik çatılar için yazılan ağırlık fonksiyonunun lineer olmasına rağmen, sınırlayıcı şartların lineer olmaması ve kesit tayininde profil tablolarına bağlı kalınması denklem sistemlerinin lineer olmamasına sebep olmaktadır. İstenilen her kesit alanı için, profil değeri bulunabileceği kabul edilse dahi, bu çalışmada çelik

çatıların kafes kiriş ve aşık aralıklarının değişken olarak alınması sonucu, değişkenlerin birbirleri cinsinden ifade edilmesine rağmen, sınırlayıcı şartlardan dolayı amaç fonksiyonu lineer olmamaktadır. Bunun sebebi ise kafes kiriş ve aşık aralıklarının tasarım değişkeni olarak seçilmesidir.

Durum böyle olunca, amaç fonksiyonunun bağımsız değişkenlere göre kısmi türevlerinin alınmasında, özellikle değişken sayısı çoğaldıkça büyük güçlüklerle karşılaşılır. Kaldı ki, kısmi türevlerin bulunup doğrudan çözümü, denklemler lineer olmadığından mümkün değildir (1).

Yukarıda sıralanan hususlar göz önünde tutulduğunda, analitik metodların, özellikle çok değişkenli yapı sistemlerinin optimizasyonunda kullanılmasının mümkün olmadığı söylenebilir (1).

Gradyent metodları nümerik optimizasyon tekniklerinin önemli bir bölümünü meydana getirir. Bu metodların optimizasyon problemlerine uygulanabilmesi için amaç fonksiyonunun sürekli ve türevi alınabilir olması, analitik metodlarda olduğu gibi, zorunludur. Ancak amaç fonksiyonunun birinci mertebeden kısmi türevlerinin sıfıra eşitlenmesi sonucu elde edilen denklem sisteminin çözülmesi istenilmez. Gradyent metodlarında, daha önceden seçilmiş veya hesaplanmış bir noktanın koordinatlarından ve kısmi türevlerin o noktadaki değerlerinden faydalanılarak yeni ve optima daha yakın bir noktanın koordinatları elde edilir. Gradyent metodları kısmi türevleri alınabilen ve sürekli amaç fonksiyonuna sahip olan her türlü optimizasyon problemlerine kolaylıkla uygulanabilir (1)

Temel prensipleri Hooke ve Jeeves tarafından ortaya konulan nümerik optimizasyon tekniklerinden doğrudan araştırma metodları, sürekli amaç fonksiyonuna sahip olmak şartıyla, optimizasyon problemlerinin teorisi son derece basittir. Bu nedenle de oldukça

yaygın bir uygulama alanına sahiptir. Doğrudan araştırma metodlarının uygulanmasında karşılaşılan en önemli güçlük yapılacak işlem sayısının çokluğudur. İteratif nitelikte olan ardışık işlemlerin yer aldığı doğrudan araştırma metodlarının uygulanmasında, bir adımlık ilerlemenin sağlanabilmesi için n değişkenli bir amaç fonksiyonu değerinin en az $(n+1)$, en çok $(2n+1)$ defa hesap edilmesi gerekir (1).

Amaç fonksiyonuna ait birinci mertebeden kısmi türevlerin alınması gibi avantajlar, yapı sistemlerinin optimizasyonu için en uygun tekniğin "Doğrudan Araştırma Tekniği" olacağı söylenebilir. Ancak yapılması gereken işlem sayısının oldukça fazla oluşu, metodun uygulanışını pratik olmaktan çıkarmaktadır. Doğrudan araştırma metodlarının doğrudan doğruya uygulanması halinde, eleman sayısının çoğalması ile yapılacak işlem sayısı daha da artar. Uygulamada bilgisayarlardan yararlanılması düşünülse bile, harcanan zaman ve yapılan masraf kabul edilebilir sınırların dışına taşar. Bu haliyle doğrudan araştırma metodları ancak birkaç elemandan meydana gelen basit bir yapı sistemlerinin optimum boyutlandırılmasında kullanılabilir (1)

Bu çalışmada, doğrudan araştırma tekniklerinden "Patern Araştırması Metodu", çelik çatı sistemlerinin optimum boyutlandırılmasında kullanılabilecek şekilde, yeniden düzenlenmiştir. Söz konusu düzenlemelerle, çelik çatı sistemlerinin özelliklerinden yararlanılarak, optimum çözüm için yapılacak işlem sayısı en alt düzeye indirilmiştir. Bu metodun uygulanışı sırasında, işlem sayısını azaltıcı nitelikteki kabuller göz önüne alındığı takdirde, çelik çatı sistemlerinin optimum boyutlandırılmasında, Patern Araştırma Metodu kolaylıkla uygulanabilir hale getirilebilir.

Nümerik optimizasyon tekniklerinden "Rastgele Araştırma Metodları" amaç fonksiyonu için herhangi bir şart aranmaksızın, her türlü optimizasyon problemine uygulanabilirler. Rastgele Araştırma

Metodlarının uygulanmasında, fonksiyonun geçerli olduğu alan içerisinde rastgele seçilmiş noktalar için amaç fonksiyonunun değerleri hesaplanır. Hesaplanan değerler karşılaştırılarak optimuma en yakın noktanın koordinatları optimalite şartları olarak benimsenir. Metod anafikir olarak rastgele seçilen noktalarda bulunacak fonksiyon değerlerinden optimuma en yakın olanını seçme esasına dayanmaktadır. Bu metodun daha önce sözü edilen metodların uygulanamaması halinde, kullanılması söz konusu olabilir. Rastgele Araştırma Metodları, her türlü amaç fonksiyonlarının optimizasyonuna uygulanabilir olmasına karşılık, çelik çatı sistemlerine, aşırı derecede çok sayıda işlemlerin yapılmasını gerektireceği ve sonucun rastgele verilen değerlerle bulunacağı düşüncesiyle uygulamasından kaçınılır (1).

Mevcut optimizasyon tekniklerinin özetlenerek çelik çatı sistemlerine uygulanabilirliğinin araştırılması sonunda, çelik çatı sistemlerine uygulanabilecek en uygun tekniğin, doğrudan araştırma metodlarından "Patern Araştırma Tekniği" olduğu anlaşılar. Ancak doğrudan doğruya çelik çatı sistemlerine uygulanmasının getireceği mahzurlar göz önünde bulundurularak, söz konusu teknik, çelik çatı sistemlerinin optimizasyonuna uygulanabilecek şekilde yeniden düzenlenir.

Netice olarak, ağırlık fonksiyonu ile sınırlayıcı şartları bilinen çelik çatı sistemlerinin optimum boyutlandırılması "Patern Araştırma Tekniği" nin yeniden düzenlenmesiyle gerçekleştirilebileceği söylenebilir. Patern Araştırma Tekniğinin uygulanmasında, çok sayıda karmaşık işlemlerin yapılması, gerekeceğinden genellikle bilgisayardan yararlanma yoluna gidilir.

Çelik çatı sistemlerinin optimum boyutlandırılması ile ilgili olarak, ağırlık fonksiyonlarının ve sınırlayıcı şartlarının elde edilişi, "Patern Araştırma Metodu" nun yeniden düzenlenerek bilgisayar için programlanması, çözölen örnek problemler ve sonuçları



bundan sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak izah edilmiştir.

Bu çalışmada hazırlanan bilgisayar programı BASIC dilinde yazılmıştır ve uygulamada Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgi İşlem Merkezi'nde bulunan "IBM AT-2" bilgisayarı kullanılmıştır. Bilgisayar çıktıları ise "EPSON EX - 1000" yazıcısından alınmıştır. Programın tanıtımı ve listesi bundan sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir.



* * *



2. ÇELİK ÇATILARDA AĞIRLIK FONKSİYONUNUN ELDE EDİLMESİ

Çelik çatı sistemlerinin optimizasyonunda, amaç fonksiyonu olarak çatının ağırlığı alınır. Çelik çatılarda toplam maliyet direkt olarak çatının toplam ağırlığına bağlıdır. Çatının ağırlığını minimum yapan çözüm, optimum çözüm olur. Bu tezin konusunda kafes kiriş ve aşık aralıkları değişken olarak alındığı için, çelik çatının ağırlığını minimum yapan aralıklar, optimum aralıklardır. Çelik çatının ağırlığının minimum olmasını etkileyen iki önemli kısmı, aşık ağırlığı ve kafes kiriş ağırlığıdır. Aşık ve kafes kiriş ağırlıkları ise aralıklarına bağlı olarak değişir. Bu aralıklar optimum yapılabildiği takdirde çatı ağırlığı da minimum yapılmış olur.

2.1. AŞIKLARDA AĞIRLIK FONKSİYONU

$$G_i = \gamma_i \cdot F_i \quad (2.1)$$

Ağırlık fonksiyonu

$$W_a = \sum_{i=1}^{NA} G_i \cdot L_{si} \quad (2.2)$$

Eşitliklerde G_i i 'inci gruptaki elemanın birim uzunluğunun

ağırlığını, γ_i i 'inci gruptaki elemanın birim hacim ağırlığını, F_i i 'inci gruptaki elemanın kesit alanını, NA farklı grup sayısını ve L_{si} ise i 'inci gruptaki elemanların uzunlukları toplamını gösterir (4) (13) (14).

2.1.1. Aşıklarda Ağırlık Fonksiyonunun Sınırlayıcı Şartları

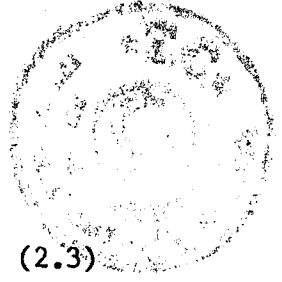
Optimizasyon problemlerinin çoğunda, amaç fonksiyonunun davranışı, eşitlik veya eşitsizlik şeklinde ifade edilen şartlarla sınırlandırılır.

Aşıklar için yazılan ağırlık fonksiyonunun optimizasyonu için de sınırlayıcı şartların mevcudiyeti söz konusu olur. Aşıkların optimizasyonunda eşitlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar, kafes giriş üst başlık düğüm noktaları arasındaki mesafeler ve bu mesafelerin tam sayılara bölünmüş değerleri, eşitlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar olarak alınır. Eşitsizlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar ise konu ile ilgili şartnâme kayıtlarıdır.

2.1.1.1. Aşıklar için eşitlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar

Aşıklarda eşitlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar, üst başlık düğüm noktaları arasındaki mesafeler ve bu mesafelerin tam sayılara bölünmüş değerleri alınır.

Üst başlık düğüm noktaları arasındaki yatay mesafe a ise, yatay aşık mesafelerinin alabileceği değerler,



$$a_i = \frac{a}{1}, \frac{a}{2}, \dots, \frac{a}{n} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (2.3)$$

eşitliği ile gösterilir.

2.1.1.2. Aşıklar için eşitsizlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar

Eşitsizlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar, ilgili şartnâme kayıtlarından elde edilmiş ve lineer elastik metoda göre düzenlenmiştir. Bunlar kısaca aşağıdaki ifadelerle tanımlanırlar.

$$\sigma_{I, \max} = \frac{M_{Ix}}{W_x} + \frac{M_{Iy}}{W_y} \leq \sigma_{I, \text{em}} \quad (2.4)$$

$$\sigma_w = \frac{M_w}{W_x} \quad (2.5)$$

$$\sigma_{II, \max} = \sigma_{I, \max} + \sigma_w \leq \sigma_{II, \text{em}} \quad (2.6)$$

$$f_x = k \cdot \frac{q_{IIx} \cdot L_x^4}{E \cdot J_x}, \quad f_y = k \cdot \frac{q_{IIy} \cdot L_y^4}{E \cdot J_y} \quad (2.7)$$

$$f_{\max} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \leq \frac{L_x}{200} \quad (2.8)$$

Eşitliklerde, $\sigma_{I, \max}$ H yüklemesinden meydana gelen maksimum gerilmeyi, M_{Ix} ve M_{Iy} x ve y yönündeki eğilme momentlerini, W_x ve W_y x ve y yönündeki mukavemet momentlerini, $\sigma_{I, \text{em}}$



H yüklemesi için emniyet gerilmesini, σ_w rüzgar yükünden meydana gelen gerilmeyi, M_w rüzgar yükünden meydana gelen eğilme momentini, $\sigma_{II, \max}$ HZ yüklemesinden meydana gelen maksimum gerilmeyi, $\sigma_{II, \text{em}}$ HZ yüklemesi için emniyet gerilmesini, f_x ve f_y x ve y yönündeki sehimi, $f_{\max}$ maksimum sehimi, k sehim katsayısını, q_{IIx} ve q_{IIy} x ve y yönünde aşkın birim boyuna gelen yükü, L_x ve L_y x ve y yönünde aşkın boyunu, J_x ve J_y x ve y yönündeki atalet momentini ve E ise elastisite modülünü gösterir (3) (5) (6) (8) (11) (15) (16) (17) (19) (20).

2.2. KAFES KİRİŞLERDE AĞIRLIK FONKSİYONU

Ağırlık fonksiyonu

$$W_k = \sum_{i=1}^{N\check{C}} G_i \cdot L_i \quad (2.9)$$

Eşitlikte, $N\check{C}$ kafes kirişteki çubuk sayısını ve L_i çubuk uzunluğunu gösterir (4) (13) (14).

2.2.1. Kafes Kirişlerde Ağırlık Fonksiyonunun Sınırlayıcı Şartları

Kafes kirişlerin optimizasyonunda da, eşitlik ve eşitsizlik şeklinde sınırlayıcı şartlar vardır. Bu sınırlayıcı şartlardan eşitlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar, kafes kiriş aralıklarının çatı uzunluğunun tam sayılara bölümünden elde edilen değerlerdir.

Eşitsizlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar ise, konuyla ilgili şartnâme kayıtlarıdır.

2.2.1.1. Kafes kirişlerde eşitlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar

Kafes kirişlerde eşitlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar, kafes kiriş aralıklarının alabileceği değerlerle ilgilidir. Bunlar aşık türlerine göre değişen ve çatı uzunluğunun tamsayılara bölümünden elde edilen değerlerdir ve mütemadi kiriş türü aşıklarda kenar ve iç açıklıklar farklı olacak şekilde düzenlenmiştir. Bunlar aşık türlerine göre ve

Basit kiriş türü aşıklarda,

$$L_{xi} = \frac{L}{n_i} \quad (2.10)$$

Mütemadi kiriş türü aşıklarda,

$$L_{xi} = \frac{L}{n_i - 0,34} \quad (2.11)$$

Eşitlikleriyle gösterilirler. Eşitliklerde L_{xi} kafes kiriş aralıklarını (mütemadi kiriş türü aşıklarda ise, iç açıklıkları), L çatının kenar aksları arasındaki uzunluğunu, n_i i 'inci açıklık sayısını gösterir (3) (5) (6) (8) (11) (15) (16) (17) (19) (20).



2.2.1.2. Kafes kirişlerde eşitsizlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar

Kafes kirişler için eşitsizlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar, konuyla ilgili şartnâme kayıtlarından elde edilmiştir. Bunlar kısaca aşağıdaki ifadelerde olduğu gibi tanımlanırlar.

Çekme çubuklarında,

$$\sigma_{\varphi} = \frac{P_{\varphi}}{F_n} \leq \sigma_{\varphi,em} \quad (2.12)$$

Basınç çubuklarında,

1- Tek parçalı basınç çubukları,

$$\sigma_{b,max} = \frac{P_b \cdot \omega_{max}}{F} \leq \sigma_{b,em} \quad (2.13)$$

2- Çok parçalı basınç çubukları

a) I. grup basınç çubukları

$$\sigma_x = \frac{P_b \cdot \omega_x}{\Sigma F} \leq \sigma_{b,em} \quad (2.14)$$

$$\sigma_{yi} = \frac{P_b \cdot \omega_{yi}}{\Sigma F} \leq \sigma_{b,em} \quad (2.15)$$

Eşitsizliklerde, σ_{φ} çekme gerilmesini, P_{φ} çekme kuvvetini, F_n faydalı enkesit alanını, $\sigma_{\varphi,em}$ çekme emniyet gerilmesini, $\sigma_{b,max}$ maksimum basınç gerilmesini, P_b basınç kuvvetini,



$\omega_{\max}$ maksimum burkulma katsayısını, F kesit alanını, $\sigma_{b,em}$ basınç emniyet gerilmesini, σ_x ve σ_{yi} x ve y yönündeki basınç gerilmelerini, ω_x ve ω_{yi} x ve y yönündeki burkulma katsayılarını ve ΣF toplam kesit alanını gösterir (3) (5) (6) (8) (11) (15) (16) (17) (19) (20).

2.3. ÇELİK ÇATILARDA AĞIRLIK FONKSİYONU

Çelik çatılarda ağırlık fonksiyonu, aşık ve kafes kiriş ağırlık fonksiyonlarının toplamı şeklindedir ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

Ağırlık fonksiyonu

$$W_t = \sum_{i=1}^{NA} G_i \cdot L_{si} + \sum_{i=1}^{NÇ} G_i \cdot L_i \quad (2.15)$$

eşitliği ile gösterilir, aşık ve kafes kiriş ağırlık fonksiyonlarının toplamına eşittir (4) (13) (14).

2.3.1. Çelik Çatılarda Ağırlık Fonksiyonunun Sınırlayıcı Şartları

Çelik çatılarda ağırlık fonksiyonunun sınırlayıcı şartları, aşıkların ve kafes kirişlerin ağırlık fonksiyonlarının sınırlayıcı şartlarının yazılması ve bunların sağlanması, çatının ağırlık fonksiyonunun sınırlayıcı şartlarının da sağlanması demektir. Çatının toplam ağırlık fonksiyonunun sınırlayıcı şartları dolaylı olarak vardır. Çelik çatıların optimizasyonu, açıklanan ağırlık fonksiyonu ve sınırlayıcı şartlar ile kolaylıkla yapılabilir. Optimizasyon problemlerinin çözümünde en önemlisi ağırlık fonksiyonu ve sınırlayıcı şartların belirlenmesidir.



3. MEVCUT OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ VE BU TEKNİKLERİN ÇELİK ÇATI SİSTEMLERİNİN OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASINA UYGULANABİLİRLİĞİ

Bu bölümde genel optimizasyon teorisi özetlenerek optimizasyonun zaman içindeki gelişimi kısaca anlatılmıştır. Ayrıca çelik çatı sistemlerinin optimizasyonu için, uygun bir teknik geliştirilmesine neden ihtiyaç olduğunu açıklamak amacıyla mevcut optimizasyon teknikleri özetlenerek çelik çatı sistemlerine uygulanabilirliği araştırılmıştır.

3.1. OPTİMİZASYONUN ZAMAN İÇİNDEKİ GELİŞİMİ

Genel anlamda, varsa belirli sayıdaki sınırlayıcı şartları sağlayarak, en iyi çözümü bulma olarak tanımlanan optimizasyonun, insanlık tarihi ile birlikte doğduğu ve karar vermede güçlü bir araç olarak kullanıldığı yapılan araştırmalar sonunda ortaya çıkmıştır. Nitekim insanlığın günümüzde olduğu kadar, geçmişte de, çalıştırdığı karar mekanizmasının altında, belirlenen amacı en uygun (optimum) şartlarda elde etme ve bu amaca ulaştıran yollar arasından en iyisini seçme eğiliminin varlığı görülmektedir. İlmi çalışmalarla ve bu çalışmaların sonunda ortaya çıkan yeniliklerin temelinde de söz konusu duygunun önemli bir yeri olduğu söylenebilir.

Optimizasyonun, matematik bir temele oturtulduğu 17. yüzyıla kadar, sezgi ve tecrübeye dayandırılarak problemlerin çözümlerine uygulanabilmıştır.

Eski çağlarda savunma amacı ile yapılan kalelerin, genellikle alan/çevre oranı maksimum olan, daire şekline benzetilmesi, en az malzeme ve işçilik sarfiyatı ile en geniş bir alanı savunabilme düşüncesinin sonucu olmuştur.

Rönesans yıllarında, Avrupa'daki bilim adamlarının ilgisini çeken en önemli optimizasyon problemlerinden biri Latince'de "brachistochron" adı verilen "en kısa zaman" eğrisinin bulunması idi. Söz konusu problemde, konumları farklı iki nokta arasında, en kısa süre içinde, sürtünmesiz olarak kayan bir cismin, oturduğu yüzeyin profil eğrisinin bulunması isteniyordu. Ünlü Galilei şeklin, daireye benzer olabileceğini ileri sürmüştür. Ancak problem 1694 yılında Bernoulli kardeşler tarafından enerjinin sakınımı prensibinden faydalanarak matematik olarak çözülmüş ve şeklin bir sikloid eğrisi olduğu ispatlanmıştır.

Optimizasyon, daha sonraki yıllarda, Gauss tarafından geliştirilen ve "En Küçük Kareler Metodu" adı verilen, deney sonuçlarına eğri uydurma tekniğinde kullanılmıştır. Regrasyon analizi adı verilen söz konusu eğri uydurma tekniğinde, model eğrisinin katsayıları, deney sonucu bulunan noktaların sapma miktarlarının karelerinin toplamı minimum olacak şekilde tayin edilir.

17. yüzyılda, matematik analizin, Newton ve Leibnitz tarafından kurulması, optimizasyon teorisi ile ilgili ilmi çalışmaların yapılmasına sebep olur. Söz konusu gelişimi takip eden yıllarda, optimizasyon problemleri; genellikle farklı değişkenlerle tanımlanan bir amaç fonksiyonu (gaye fonksiyonu, maliyet fonksiyonu) ile, sınırlayıcı şartları belirleyen eşitlik ve eşitsizliklerle ifade edilerek çözülmeye başlandı. Ancak, analitik optimizasyon

metodları, teorik yapısından gelen birtakım güçlükler nedeniyle, son derece sınırlı bir uygulama alanı bulabildi.

II. Dünya Savaşı'nın sonlarına doğru, son derece modern ve hızlı bilgisayarların geliştirilerek yaygınlaşması, optimizasyon problemlerinin nümerik metodlarla çözülebilmesi amacıyla geniş kapsamlı çalışmaların sürdürülmesine sebep olur. Nümerik hesap metodları ile uygulamaya oldukça önemli kolaylıklar getirilmiştir. Yapılacak işlemler için sarfedilecek zamanın kısaltılmasına ise bilgisayarların önemli bir yeri olmuştur.

Nümerik metodlarla problemlerin çözülebilir olması optimizasyonun daha geniş bir alanda kullanılmasına sebep olmuştur (1) (13).

3.2. OPTİMİZASYONUN ESASLARI

Optimizasyon genel anlamda en iyi çözümü bulmak tekniği olarak tanımlanabilir. Optimizasyonda "en iyi"nin tanımı problemin niteliğine göre değişir.

Meselâ, çelik çatılar için, "en iyi" çözüm, ağırlığın minimum olmasıdır. Uçak yapımında "en iyi" çözüm, zâti ağırlığın minimum olmasıdır. Ticari bir işletmede ise "en iyi" çözüm, net kârın ya da kâr/masraf oranının maksimum olmasıdır. Netice itibarıyla her optimizasyon probleminde önce amaç belirlenir. Daha sonra söz konusu amaç, uygun seçilmiş değişkenlere bağlı olarak matematik bir ifadeyle tanımlanır. Bu yolla elde edilen matematik ifadeye, genellikle, amaç fonksiyonu, gaye fonksiyonu veya maliyet fonksiyonu gibi isimler verilir. Maliyeti minimum yapmak amacıyla yazılan amaç fonksiyonları daha ziyade maliyet fonksiyonları olarak isimlendirilir. Çelik çatılar için, amaç fonksiyonu, ağırlık fonksiyonu olarak ifade edilir.

Optimizasyon problemleri, analitik ya da nümerik metodlarla, amaç fonksiyonunun maksimum ya da minimumunu belirleyen değişken değerlerinin hesaplanması ile çözümlenir. Bu halde optimizasyon problemleri, tanımlanan bir fonksiyonun ekstremum noktalarının koordinatlarını bulma problemine dönüşmüş olur (1) (9) (13).

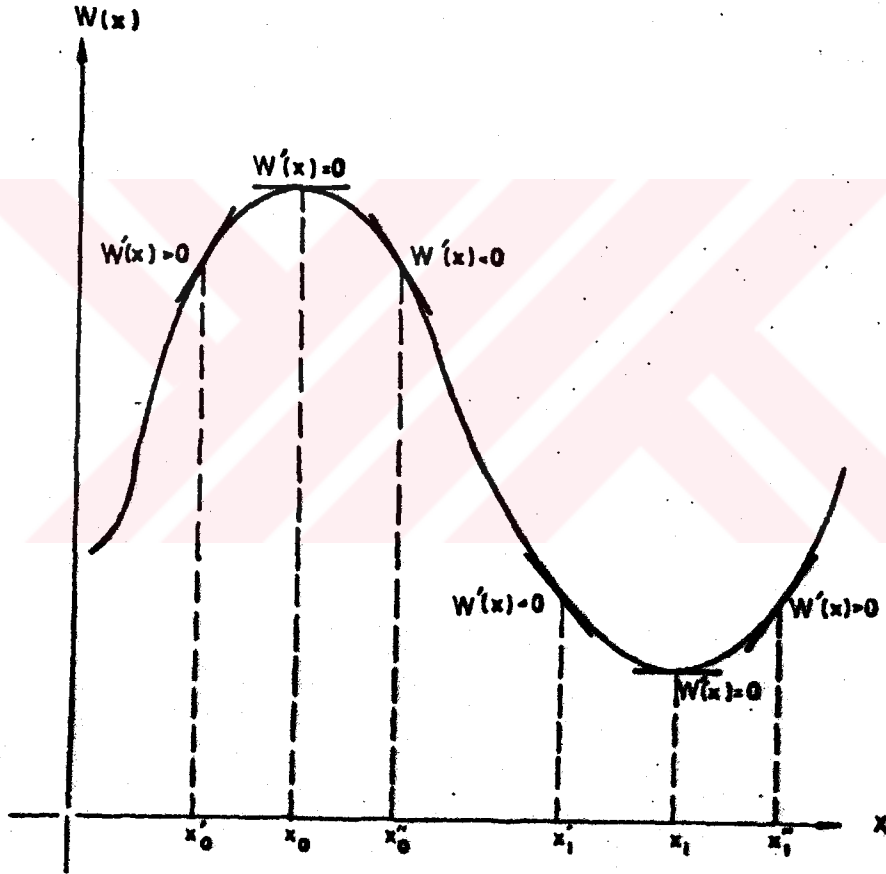
3.2.1. Relatif ve Mutlak Optimum

Amaç fonksiyonları genellikle birden fazla değişkenlerle tanımlanır ve birden fazla da ekstremum noktalarına sahiptirler. Birden fazla maksimum olması halinde, en büyük maksimum değere mutlak (global) maksimum, diğerlerine ise relatif (izafi) veya yerel (lokal) maksimum adı verilir. Amaç fonksiyonunun minimum değerleri için de benzer bir tanım yapılarak, değeri en küçük olan minimuma "mutlak minimum", diğerlerine ise relatif minimum adı verilir. Herhangi bir amaç fonksiyonuna ait hesaplanan bir maksimum değeri mutlak veya relatif maksimum olduğu, analitik metodlarla tayin edilemez. Ancak maksimum noktaların tamamının değerleri hesaplanarak, yapılacak karşılaştırma sonucu mutlak minimum değeri tespit edilir. Fonksiyonların minimum değerleri için de benzer yorum yapılabilir. Optimizasyon teorisi ile ilgili olarak yapılan çalışmalar, daha ziyade herhangi bir maksimum (veya minimum) değerini analitik ya da nümerik metodlarla hesaplanabilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır (1) (13) (18).

3.2.2. Tek Değişkenli Amaç Fonksiyonlarının Optimizasyonu

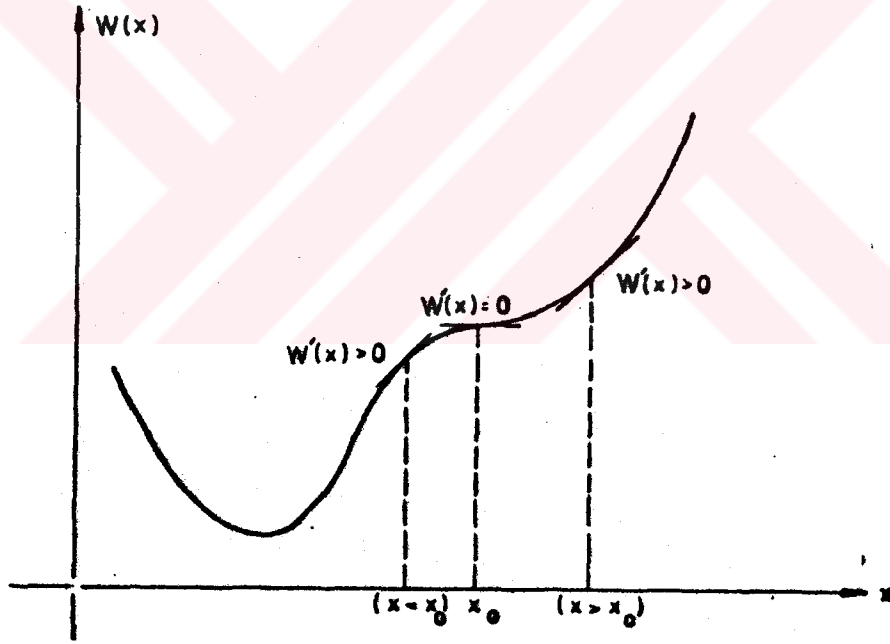
Şekil 3.1 'de görülen tek değişkenli $W(x)$ fonksiyonu, $a < x < b$ aralığında sürekli ve türevi alınabilir bir fonksiyondur. $W(x)$ fonksiyonunun $x = x_0$ da bir maksimum ve $x = x_1$ de bir minimum

değeri vardır. $x_0' < x_0$ olmak üzere, $x = x_0$ noktasında, fonksiyon eğrisi üzerine çizilen teğetin eğimi sıfırdan daha büyük ve işareti (+)'dir. $x_0'' > x_0$ olmak üzere $x = x_0$ noktasında çizilecek teğetin eğimi sıfırdan küçük ve işareti (-) dir. x_0' ve x_0'' noktaları her iki yönden x_0 noktasına yaklaşıırken, teğetin eğimi de sıfıra yaklaşır.



Şekil -3.1 Tek Değişkenli Bir Fonksiyonda Maksimum ve Minimum Değerler

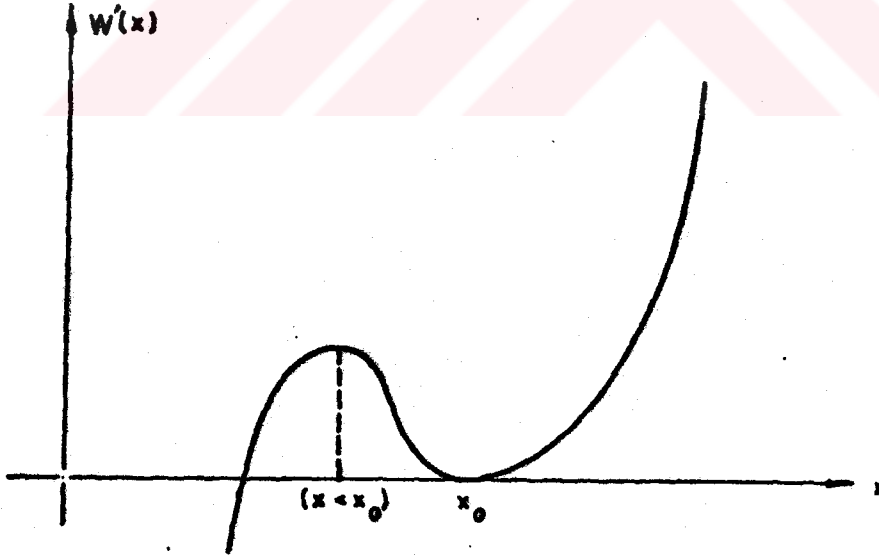
$x = x_0$ noktasında ise söz konusu teğetin eğimi, daha değişik bir tanımla türevi sıfıra eşit olur. $W(x)$ fonksiyonunun minimum değeri için de benzer irdeleme yapılarak $x = x_1$ noktasında fonksiyonun türevinin sıfıra eşit olduğu söylenebilir. Netice itibariyle herhangi bir amaç fonksiyonunun, $x = x_0$ noktasında maksimum veya minimum bir değere sahip olabilmesi, fonksiyonun birinci mertebeden türevinin o noktada sıfıra eşit olmasının zorunlu olduğu söylenebilir. Bununla beraber söz konusu şartın sağlandığı her noktada fonksiyonun maksimum veya minimum değeri olmayabilir. Böyle bir durum Şekil -3.2 'de görülmektedir.



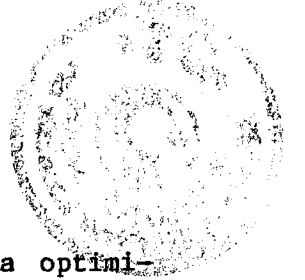
Şekil -3.2 Sürekli Bir Fonksiyonda Yatay Dönme Noktası

Nitekim $x = x_0$ noktasında $W(x)$ fonksiyonunun türevi sıfıra eşit olmakla birlikte değeri maksimum veya minimum değildir.

Bu halde x_0 noktası ile $W(x)$ fonksiyonuna ait yatay dönme noktasının konumu belirlenmiş olur. Yatay dönme noktası diğer ekstremum noktalardan şöyle ayırt edilebilir. Yatay dönme noktasının her iki tarafında bulunan komşu noktalardan çizilen teğetlerin eğimlerinin işaretleri aynıdır. Buna karşılık maksimum ya da minimum noktaların her iki tarafında bulunan komşu noktalardan çizilen teğetlerin eğimlerinin işaretleri birbirinden farklı olur. Bu hususun analitik olarak tespit edilebilmesi için fonksiyonun ikinci türevinden yararlanılır. Nitekim yatay dönme noktasında fonksiyonun ikinci türevi sıfır olur. Bununla beraber birinci ve ikinci türevlerinin sıfır olduğu her noktada $W(x)$ fonksiyonunun kesinlikle yatay bir dönme noktasına sahip olduğu da söylenemez. Birinci ve ikinci türevlerin, belirli bir noktada sıfıra eşit olması halinde, söz konusu noktada fonksiyonun davranışı Taylor açılımından yararlanılarak tespit edilir.



Şekil -3.3 Yatay Dönme Noktasında $W'(x)$ Fonksiyonunun Davranışı



Tek değişkenli bir amaç fonksiyonunun analitik metodla optimizasyonunda aşağıda tanımlanan işlem sırası takip edilir.

1- nce verilen amaç fonksiyonunun sürekliliği ve türevi alınabilirliği birlikte tanımlandığı aralık tespit edilir.

2- Fonksiyonun birinci mertebeden türevi alınarak sıfıra eşitlenir. Böylece elde edilen yeni eşitliğin çözümü ile maksimum, minimum ve yatay dönme noktalarına takabl eden x_0 koordinatları bulunur.

3- $x = x_0$ noktasında, daha st dereceli türevlerin değerlerinin sıfıra eşit olup, olmadığı araştırılır. $x = x_0$ noktasında, değeri sıfıra eşit olmayan en st dereceli türevin mertebesi ve değeri tespit edilir.

4- nc basamakta elde edilen sonuçlardan ve daha önce özetlenen bilgilerden faydalanılarak x_0 noktasının değerlendirilmesi yapılır.

5- Birden fazla maksimum ya da minimum olması halinde, bulunan değerler karşılaştırılarak mutlak maksimum ya da mutlak minimum, konu ile daha ilgili bir deyimle mutlak optimum ve konumu elde edilir.

6- Sınır noktalarında amaç fonksiyonunun değerleri bulunarak bulunan optimum değerler karşılaştırılır. Bazı durumlarda amaç fonksiyonunun sınır noktasındaki değerleri optimum olabilir (1).



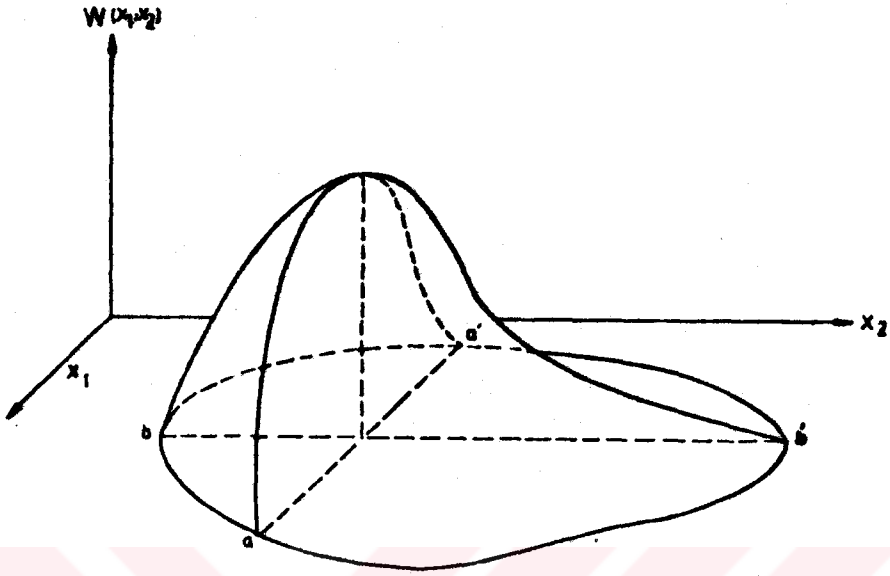
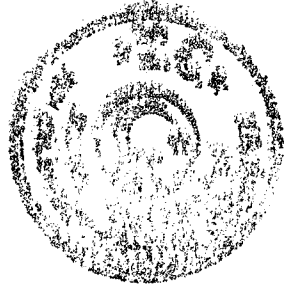
3.2.3. Çok Değişkenli Amaç Fonksiyonlarının Optimizasyonu

Çok değişkenli amaç fonksiyonları genellikle n boyutlu bir uzayda tanımlanırlar. Bu nedenle çok değişkenli bir fonksiyonun n boyutlu uzaydaki davranışlarını şekil üzerinde göstermek mümkün değildir. Bununla beraber çok değişkenli fonksiyonlar için konulan kurallar iki değişkenli bir fonksiyon için de geçerlidir. Bu itibarla ve anlatımı kolaylaştırmak amacıyla, çok değişkenli amaç fonksiyonlarının optimizasyonu ile ilgili bu bölümde, daha ziyade iki değişkenli bir fonksiyonun optimizasyonundan bahsedilecektir. Bununla beraber yeri geldikçe çok değişkenli amaç fonksiyonlarının optimizasyonları ile ilgili genellemeler de yapılacaktır. İki değişkenli bir $W(x_1, x_2)$ amaç fonksiyonu, üç boyutlu ortogonal koordinat sisteminde, Şekil -3.4 'te de görüldüğü gibi bir yüzey (düzlem veya eğri şeklinde olabilir) ile tanımlanır. Maksimumdan geçen ve x_1-w ile x_2-w düzlemlerine paralel iki düzlem ile $W(x_1, x_2)$ fonksiyonunun meydana getirdiği yüzeyin kesişmesi sonucu $x_1 - x_2$ düzlemindeki izdüşümleri aa' ve bb' olan iki düzlem şeklinde eğri meydana gelir. Her iki ara kesit eğrisi de $W(x_1, x_2)$ fonksiyonunun maksimum değerine tekabül eden (x_{10}, x_{20}) ve $W(x_{10}, x_{20})$ noktasından geçerler. Bu nedenle çift değişkenli fonksiyonun maksimum değerini tanımlayan (x_{10}, x_{20}) noktası, ara kesit eğrilerinin de maksimumunu tanımlar. Bu halde sözü edilen ekstremum noktada, her iki doğrultudaki türevlerin eğimleri sıfıra eşit olacağından,

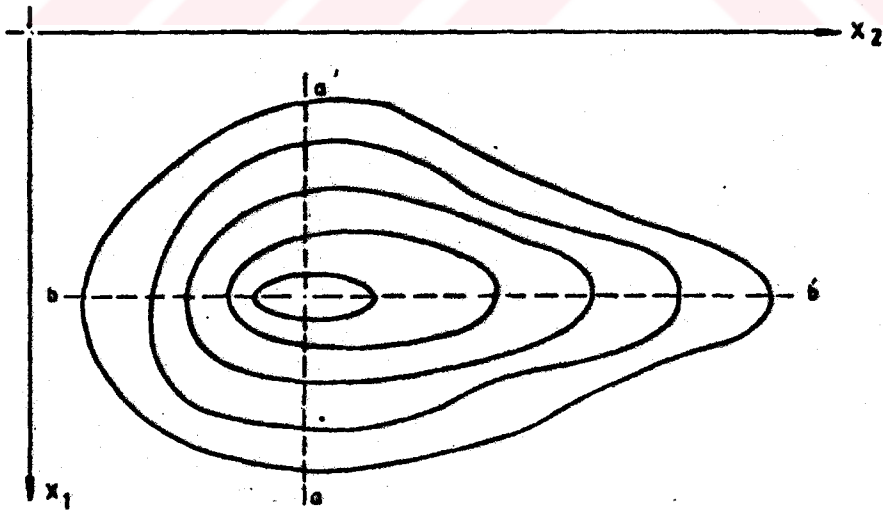
$$x_1 = x_{10} \quad \text{için} \quad \partial W(x_1, x_{20}) / \partial x_1 = 0 \quad (3.1)$$

$$x_2 = x_{20} \quad \text{için} \quad \partial W(x_{20}, x_1) / \partial x_2 = 0 \quad (3.2)$$

eşitlikleri ile yazılabilir. Benzer eşitlikler, yapılacak benzer yorum ile, çift değişkenli bir fonksiyonla tanımlanan yüzeyin minimum değeri için de yazılabilir.

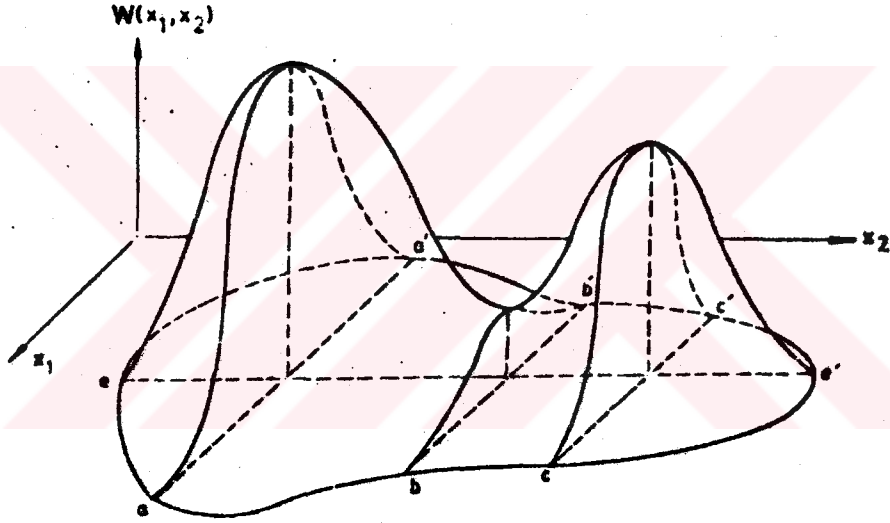


Şekil -3.4 İki Değişkenli Bir Fonksiyonda
Maksimum Noktası



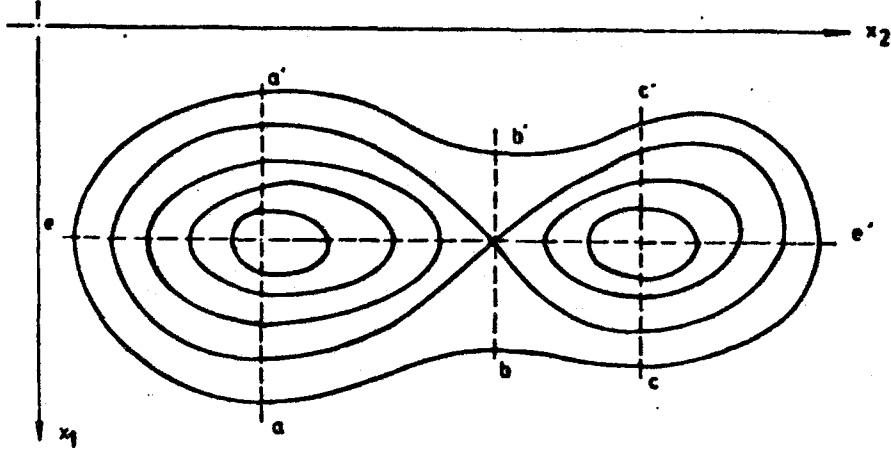
Şekil -3.5 İki Değişkenli Bir Fonksiyonda
İzdüşüm Eğrileri

Netice itibariyle çok değişkenli bir amaç fonksiyonunun maksimum ve minimum noktaları için alınacak birinci mertebeden kısmi türevlerin değerleri sıfıra eşit olur. Ancak, tek değişkenli fonksiyonlarda da olduğu gibi, birinci mertebeden kısmi türevlerin sıfır olduğu her noktada mutlaka maksimum ya da minimum olmak zorunda değildir. Böyle bir durum Şekil 3.6 'da gösterilmiştir. Çok değişkenli fonksiyonların birinci mertebeden kısmi türevlerinin sıfıra eşit olması, maksimum veya minimum için zorunlu fakat yeterli olmayan bir şarttır.



Şekil -3.6 Eyer Noktasına Sahip İki Değişkenli Bir Fonksiyon

Şekil -3.7 'de eşdeğer eğrilerin kesiştiği noktadan geçen ve x_1-w , x_2-w düzlemlerine paralel iki düzlem ile $W(x_1, x_2)$ fonksiyonunun meydana getirdiği yüzeyin kesişmesi sonucu, $x_1 - x_2$ düzlemindeki izdüşümleri aa' ve bb' olan iki ara kesit eğrisi de eşdeğer eğrilerinin kesişme noktası olan (x_{10}, x_{20}) 'dan geçerler.



Şekil -3.7 Eyer Noktasına Sahip İki Değişkenli Bir Fonksiyonun İzodüüm Eğrileri

(x_{10}, x_{20}) noktası için $W(x_1, x_2)$ fonksiyonunun kısmi türevleri sıfıra eşit olur. Ancak (x_{10}, x_{20}) noktasında $W(x_{10}, x_{20})$ arakesit eğrisinin bir minimum değeri olmasına karşılık $W(x_1, x_{20})$ arakesit eğrisinin maksimum bir değeri vardır. Burada tanımlanan özellikleri taşıyan noktaya, çok değişkenli fonksiyonlarda "eyer noktası" adı verilir.

Eyer noktalarının diğer ekstremum noktalarından, ayırt edilebilmesi için, Taylor açılımından yararlanılır. Yeter şartların, söz konusu açılımdan yararlanılarak tespit edilmesi oldukça karmaşık işlemlerin yapılmasını gerektirir. Özellikle değişken sayısı arttıkça, yapılacak işlem sayısı da o nispette artar.

Netice itibarıyla çok değişkenli bir amaç fonksiyonunun optimizasyonunda aşağıda verilen işlem sırası takip edilir.

1- Çok değişkenli bir $W(x_1, x_2, \dots, x_n)$ fonksiyonunun, geçerli

olduğu alanı, sürekliliği ve türevi alınabilirliği tespit edilir.

2- Fonksiyonun birinci mertebeden kısmi türevleri alınarak sifıra eşitlenir. Bu yolla elde edilen denklem sistemi çözülerek, maksimum, minimum ve eyer noktasına tekabül eden x_{10} değerleri bulunur.

3- İkinci basamakta bulunan koordinatların maksimum, minimum ya da eyer noktalarından hangisine ait olduğunu tespit etmek için amaç fonksiyonunun ikinci dereceden kısmi türevlerinden meydana gelen ve "Hessien Matrisi" adı verilen matristen yararlanılır. Bu matrisin determinatlarından faydalanılarak söz konusu koordinatların maksimum, minimum veya eyer noktalarından hangisine ait olduğu tespit edilir (1) (13) (18).

3.2.4. Optimizasyon Problemlerinde Sınırlayıcı Şartlar

Optimizasyon problemlerinin çoğunda, bağımsız değişkenler tamamen serbest değillerdir. Problemlerin fiziki yapısından meydana gelen birtakım kısıtlayıcı şartlar ortaya çıkabilir. Bu kısıtlayıcı şartlar genellikle, amaç fonksiyonlarının değişkenleri cinsinden yazılan eşitlik ya da eşitsizliklerle matematik olarak ifade edilirler. Optimizasyon problemlerinin çözümünde söz konusu kısıtlayıcı sınır şartlarının büyük önemi vardır.

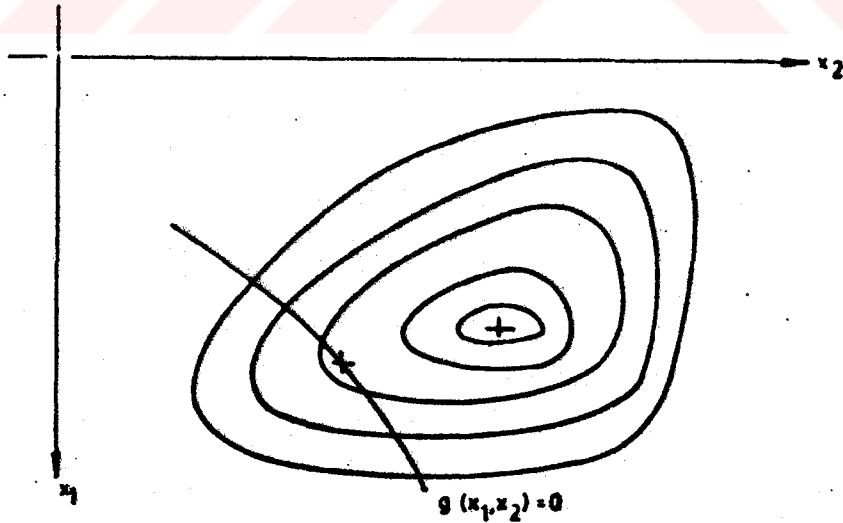
Sınır şartları bulunmayan optimizasyon problemlerinde serbestlik derecesi, amaç fonksiyonunda bulunan değişken sayısına eşittir. Kısıtlayıcı şartları eşitlik şeklinde ifade edilen optimizasyon problemlerinde serbestlik derecesi eşitlik sayısı kadar azalır.

Çelik çatı sistemlerinin optimum boyutlandırılmasında da, eşitlik veya eşitsizlik şeklinde sınırlayıcı şartlar vardır. Eşitlik

şeklindeki sınırlayıcı şartlar, aşık ve kafes giriş aralıklarının alabileceği değerlerdir. Eşitsizlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar ise, konu ile ilgili şartnâme kayıtlarıdır.

Sınırlayıcı şartların mevcudiyeti, optimum çözümün bulunması için yapılan işlemlerin daha da karmaşık bir hal almasına neden olur. Hem amaç fonksiyonunun, hem de sınırlayıcı şartların lineer olması halinde, problem, lineer programlama tekniklerinden yararlanılarak çözülebilir. Lineer olmayan amaç fonksiyonu ile lineer olmayan sınırlayıcı şartlar için daha değişik nümerik optimizasyon teknikleri geliştirilmiştir.

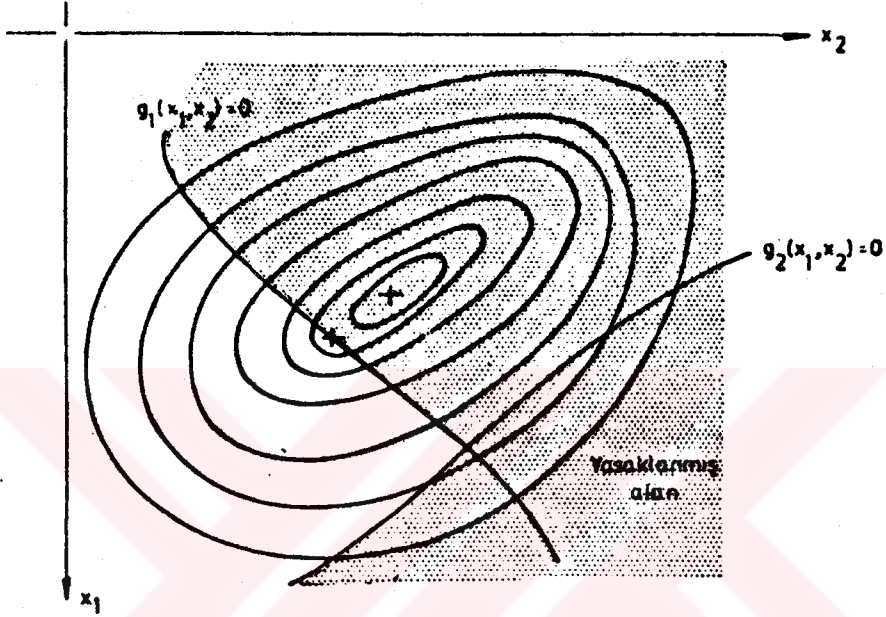
Şekil -3.8 'de görülen eşdeğer eğrileri ile tanımlanan çift değişkenli bir fonksiyon ile eğri şeklinde bir çizgi ile tanımlanan eşitlik şeklindeki sınırlayıcı bir şart gösterilmiştir. Şekilden açıkça görüldüğü gibi, eşitlik şeklindeki sınırlayıcı şart optimum değerini değiştirmesine sebep olur.



Şekil -3.8 Eşitlik Şeklindeki Sınırlayıcı Şartlar



Şekil -3.9 'da eşitsizlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar gösterilmiştir. Eşitsizlik şeklindeki sınırlayıcı şartlarla genellikle, çözüm için geçersiz olan alanlar tanımlanır (1) (18).



Şekil -3.9 Eşitsizlik Şeklindeki Sınırlayıcı Şartlar

3.2.5. Sınırlanmış Optimizasyon Problemlerinin Analitik Metodlarla Çözümü

Sınırlandırılmış optimizasyon problemlerinin çözümünde yararlanılan iki ayrı metod vardır. "Doğrudan Yer Değiştirme Metodu" ve "Lagrange Çarpanları Metodu" olarak tanımlanan söz konusu analitik optimizasyon tekniklerinin her ikisinde de problem önce sınırlandırılmamış optimizasyon problemine dönüştürülür, daha sonra da çözümü yapılır (1) (18).

3.2.5.1. Doğrudan yer değiştirme metodu

Bu metod daha ziyade eşitlik şeklinde sınırlayıcı şartları olan optimizasyon problemlerine uygulanır. Sınırlayıcı şartları tanımlanan eşitliklerden yararlanılarak, eğer mümkün olursa, amaç fonksiyonundaki değişkenlerin sayısı azaltılır. Böylece problem sınırlandırılmamış bir optimizasyon problemine dönüştürülmüş olur. Daha sonra birinci mertebeden kısmi türevler alınarak sifıra eşitlenir. Bu yolla elde edilen denklem sistemi çözülerek ekstremum noktalarının konumları bulunur. Bu noktalardan yararlanılarak, daha önceki bölümlerde açıklanan yöntemlerle amaç fonksiyonunun optimum değeri ve bu değere tekabül eden değişken değerleri tespit edilir.

Doğrudan yer değiştirme metodu, ancak metodun uygulanmasına elverişli olan sınırlı sayıdaki optimizasyon problemlerinin çözümünde yararlanılır (1).

3.2.5.2. Lagrange çarpanları metodu

Lagrange çarpanları metodunda, $g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$ eşitliği ile tanımlanan sınırlayıcı şartlar, Lagrange çarpanı adı verilen sabit bir λ_i sayısı ile çarpılarak $W(x_1, x_2, \dots, x_n)$ amaç fonksiyonuna eklenir. Böylece problem, sınırlayıcı şartlardan arındırılarak sınırlandırılmamış bir optimizasyon problemine dönüşmüş olur. Elde edilen yeni fonksiyon,

$$z(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = W(x_1, x_2, \dots, x_n) + \sum_{i=1}^m g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \cdot \lambda_i \quad (3.3)$$

eşitliği ile ifade edilir. Daha sonra sınırlandırılmamış amaç fonksiyonlarına uygulanan optimizasyon tekniği ile Lagrange fonksiyonunun optimum çözümü sağlanır. Lagrange fonksiyonunda λ_1 çarpanları birer değişken gibi işlem görür. Lagrange çarpanları tekniğinin, bir önceki metoda kıyasla, daha geniş bir uygulama alanı vardır (1) (18).

3.2.6. Analitik Metodların Optimizasyon Problemlerine Uygulanabilirliği

Daha önceki bölümlerde, analitik metodların sınırlandırılmış optimizasyon problemlerinin çözümünde ne şekilde uygulanabileceği kısaca özetlendi. Teorik olarak, analitik metodların optimizasyon problemlerine uygulanabilmesi için, amaç fonksiyonunun sürekli, türevi alınabilir olması ve sınırlayıcı şartları tanımlayan eşitlik sayısının, bağımsız değişken sayısından daha az olması gerekmektedir. Bununla beraber, bağımsız değişkenlerin, optimum değerlerini bulmak amacıyla birinci mertebeden kısmi türevlerin sıfıra eşitlenmesiyle elde edilen denklem sisteminin çözümü her zaman sağlanmayabilir. Nitekim sözü edilen denklem sistemi, problemin niteliğine bağlı olarak çoğu zaman lineer olmamaktadır. Lineer olmayan denklem sistemlerinin analitik metodlarla çözümü ise, özel durumlar dışında mümkün değildir.

Çelik çatı sistemlerinin optimum boyutlandırılmasında, teşkil edilen amaç fonksiyonları ve alınan birinci mertebeden kısmi türevlerin sıfıra eşitlenmesi sonucu elde edilen denklem sistemleri lineer değildir. Bu nedenle çelik çatı sistemlerinin optimum boyutlandırılmasında analitik metodlar uygulama dışında kalırlar.

Netice itibariyle analitik optimizasyon tekniklerinin, uygulama

alanları son derece sınırlı olmasına karşılık, optimizasyon teorisinin anlaşılmasında önemli katkıları vardır. Nitekim nümerik optimizasyon tekniklerinin çoğu, sözü edilen teorik bilgi üzerine kurulmuştur (1).

3.3. NÜMERİK OPTİMİZASYON METODLARI

Optimizasyon problemlerinin analitik metodlarla çözülebilmesi, aşağıda sıralanan şartların sağlanmasına bağlıdır. Bu şartlar sırayla;

- a) Amaç (ağırlık) fonksiyonu sürekli olmalıdır,
- b) Amaç (ağırlık) fonksiyonu türevi alınabilir olmalıdır,
- c) Birinci mertebeden kısmi türevlerin sıfıra eşitlenmesi sonucu elde edilen denklem sistemi çözülebilir olmalıdır,

şeklinde yazılabilir.

Bu şartlardan herhangi birinin sağlanamaması halinde nümerik optimizasyon tekniklerinden yararlanılması yoluna gidilir. Optimizasyon problemlerinin bir bölümünde de, yukarıda sözü edilen şartlar sağlanmakla birlikte, aşırı derecede işlem çokluğu ile karşılaşılabilir. Böyle durumlarda yine nümerik optimizasyon teknikleri, problemlerin çözümünde tercihen uygulanabilir.

Nümerik optimizasyon teknikleri daha ziyade bilgisayarların gelişmesiyle uygulamaya konulmuştur. Nümerik optimizasyon tekniklerinin işlem algoritmaları genellikle kolayca programlanarak bilgisayarlarla birlikte kullanıldığında, nümerik teknikler, daha kısa sürede, daha kolay ve daha kesin sonuç verirler.

II. Dünya Savaşı sonlarından günümüze kadar çok sayıda nümerik optimizasyon tekniği geliştirilmiştir. Bu konudaki çalışmalar



günümüzde de sürdürülmektedir. Gelecekte de yeni nümerik optimizasyon tekniklerinin bulunarak, diğerlerine ekleneceği söylenebilir. Netice itibariyle bu konudaki çalışmaların sonuna gelinmediği anlaşılmaktadır.

Mevcut nümerik optimizasyon teknikleri üç ana grupta toplanır. Bunlar sırayla;

- a) Gradyent metodları,
- b) Doğrudan araştırma metodları,
- c) Rastgele araştırma metodları'dır.

Gradyent metodlarının, optimizasyon problemlerine uygulanabilmesi için, analitik optimizasyon metodlarında, olduğu gibi, amaç fonksiyonunun sürekli, türevi alınabilir olması ve birinci mertebeden kısmi türevlerin elde edilebilmesi istenir. Ancak birinci mertebeden kısmi türevlerin alınması sonucu elde edilen denklem sisteminin çözümü aranılmaz. Bundan dolayı Gradyent metodları, uygulanması anında çok sayıda analitik işlemleri gerektiren nümerik optimizasyon teknikleridir.

Doğrudan araştırma metodlarında, problemlerin çözümü için amaç fonksiyonunun sürekli olması yeterli olur. Bu nedenle, söz konusu teknik, türevi alınamayan amaç fonksiyonlarının optimizasyonlarına kolaylıkla uygulanır. Gradyent metodlarına kıyasla uygulama alanı daha da geniştir.

Rastgele araştırma metodlarının uygulanmasında amaç fonksiyonu ile ilgili olarak, süreklilik te dahil olmak üzere, herhangi bir şartın sağlanması istenilmez. Teorik yapısı son derece basit olmasına karşılık, sonucun daha ziyade rastlantı ile elde edilmesi, araştırmacıların bu tekniği zorunlu kalmadıkça kullanmalarına sebep olmuştur.



Nümerik optimizasyon metodlarında, sürdürülen işlemler, her adımda optimuma daha yakın bir fonksiyon değeri elde etme esasına göre düzenlenmiştir. Optimum değer genellikle belli bir kurala bağlı olarak tekrarlanan ardışık işlemler sonucu elde edilir. Her bir adımda ya bağımsız değişkenler için seçilen başlangıç değerlerinden ya da bir önceki adımda, hesaplanan bağımsız değişken değerlerinden yararlanılarak, optimuma daha yakın bir noktanın koordinatları hesaplanır. Her bir adımda yapılan işlemler uygulanan metodun yapısına göre, değişik özellikler gösterir. Bu husus daha sonraki bölümlerde ayrıntıları ile özetlenecektir.

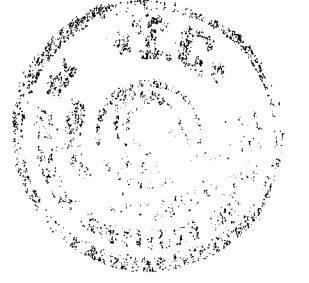
Çözülmesi istenen amaç fonksiyonunun birden fazla optimum değeri olabilir. Bu halde mutlak optimumu elde etmek için problem, değişik başlangıç noktalarından hareket edilerek tekrar tekrar çözülür. Netice olarak bulunan farklı optimum değerlerin arasından en optimumu seçilerek problemin çözümü sağlanır.

Tek değişkenli optimizasyon problemlerinin nümerik metodlarla çözümü için çok sayıda araştırma teknikleri geliştirilmiştir. Söz konusu tekniklerden daha sonra çok değişkenli optimizasyon problemlerinin nümerik metodlarla çözümünde de yararlanılmıştır (1).

3.3.1. Tek Değişkenli Amaç Fonksiyonlarının Sayısal Metodlarla Optimizasyonu

Tek değişkenli amaç fonksiyonlarının optimizasyonu için çok sayıda nümerik araştırma tekniği geliştirilmiştir. Uygulamada sık rastlanan nümerik araştırma tekniklerinden önemlileri şunlardır.

a) Belirsizlik aralığı metodu



- b) Simetrik iki nokta metodu
- c) Simetrik üç nokta metodu
- d) Fibonacci metodu
- e) Altın oran metodu

Burada isimleri sıralanan metodların, tek değişkenli fonksiyonların optimizasyonlarına uygulanabilmesi için önce fonksiyonun geçerli olduğu aralık tanımlanır. Bu aralığa genellikle "belirsizlik aralığı" adı verilir. Daha sonra fonksiyon için tanımlanan söz konusu aralık değişik yöntemlerle daha küçük parçalara ayrılarak, optimum değerinin içinde bulunduğu yeni ve daha küçük bir belirsizlik aralığı tespit edilir. İşlemler tekrarlandıkça optimum değerinin içinde bulunduğu belirsizlik aralığı gittikçe küçülür. Belirli bir yaklaşım sağlandıktan sonra, literatürde "minimaks stratejisi" adı verilen ve yukarıda tanımlı yapılan işlemler sona erdirilir.

Sözü edilen, tek değişkenli nümerik optimizasyon teknikleri ile ilgili ayrıntılı bilgiler konu ile ilgili olarak hazırlanmış çeşitli literatürde verilmiştir. Burada sadece simetrik iki nokta metodu özet olarak anlatılacaktır (1) (13).

3.3.1.1. Simetrik iki nokta metodu

Amaç fonksiyonu $W(x)$, $a < x < b$ belirsizlik aralığında tanımlanmıştır. Fonksiyonun optimum değerinin ve konumunun bulunması amacıyla, aralarında ϵ kadar küçük bir aralık bulunan ve aralık merkezine göre simetrik olan x_1 ve x_2 noktaları seçilir. (Şekil -3.10). Bu noktalarda amaç fonksiyonlarının değerleri hesaplanır. Hesaplanan bu değerler karşılaştırılarak, fonksiyonun optimum değerinin bulunduğu yeni belirsizlik aralığı tespit edilir. Yeni belirsizlik aralığı.

$$W(x_1) > W(x_2) \text{ ise } (a, x_2)$$

$$W(x_1) < W(x_2) \text{ ise } (x_1, b)$$

olur.

Yeni belirsizlik aralığının boyu,

$$L_2 = (b - x_1) = (x_2 - a) = (b - a + \varepsilon) / 2 \quad (3.4)$$

eşitliği ile tanımlanır. n adet işlem sonunda elde edilen belirsizlik aralığının boyu ise,

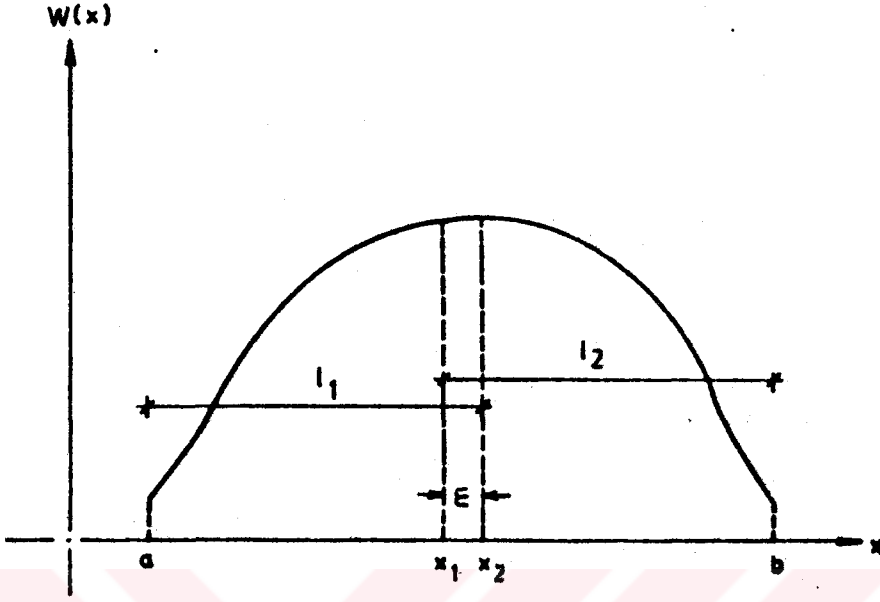
$$L_{2n} = \frac{b - a}{2^n} + (1 - \frac{1}{2^n}) \varepsilon \quad (3.5)$$

olur. ε nun son derece küçük bir sayı olduğu düşünülürse eşitliğin sağ tarafındaki ikinci terim ihmal edilebilir. Bu halde n adım, sonra meydana gelen belirsizlik aralığının boyu,

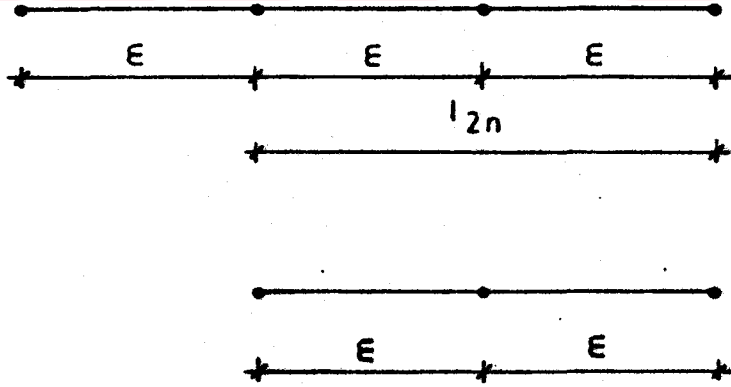
$$L_{2n} = \frac{b - a}{2^n} \quad (3.6)$$

eşitliği ile de hesaplanabilir. On adımlık bir işlem sonunda belirsizlik aralığının boyu ilk belirsizlik aralığının 1024'te birine düşer. Bu değer metodun ne derece etkili olduğunu açıkça göstermektedir.

Seçilen ε aralığının büyüklüğüne göre yapılacak işlem sayısı belirlenebilir. Bunun için n sayıda işlem sonunda belirsizlik aralığının Şekil -3.11 'de olduğu gibi 2ε na eşit olduğu kabul edilir.



Şekil -3.10 Simetrik İki Nokta Metoduyla Belirsizlik Aralığını KÜÇÜLTME



Şekil -3.11 Simetrik İki Nokta Metodunda En Son Belirsizlik Aralığı

Bu kabulden,

$$\frac{b - a}{2^n} = \left(1 - \frac{1}{2^n}\right) \cdot \epsilon = 2\epsilon \quad (3.7)$$

eşitliği veya

$$b - a = (2^n + 1) \cdot \epsilon \quad (3.8)$$

eşitliği elde edilir.

Bu eşitlikten yararlanılarak verilen bir ϵ değeri için yapılması gereken işlem sayısı ya da verilen işlem sayısı için gerekli ϵ değeri hesaplanabilir.

3.3.2. Gradyent Metodları

Sürekli ve türevi alınabilir çok değişkenli bir $W(x_1, x_2, \dots, x_n)$ amaç fonksiyonunun analitik metodlar ile optimizasyonunda, çözümü güç kılan iki ana problem ile karşılaşılır. Bunlardan biri amaç fonksiyonuna ait birinci mertebeden kısmi türevlerin sıfıra eşitlenmesi sonucu elde edilen denklem sisteminin çözülmesi, diğeri ise tanımlandığı alan sınırları boyunca fonksiyonun değerinin hesaplanmasıdır. Gradyent metodlarında söz konusu denklem sistemine gerek duyulmaksızın amaç fonksiyonunun birinci mertebeden kısmi türevlerinden yararlanılır. Kısmi türevlerin sıfıra eşitlenmesi sonucu elde edilen denklemlerin lineer olmayışı da herhangi bir hesap güçlüğüne neden olmaz (1).

Gradyent metodları, arama yönünün seçimi için amaç fonksiyonunun kısmi türevlerinden yararlanırlar. Bu türevler analitik olarak veya sonlu farklar metodu kullanılarak nümerik olarak belirlenebilir. Bunlardan ikincisi daha fazla fonksiyon değerlendir-

mesine ihtiyaç duyduğundan metodların randımanını düşürürler. Gradyent metodları, türevler nümerik olarak alındıklarında, doğrudan araştırma metodlarına göre daha az etkilidirler. Bu da kötü bir arama yönünün seçilmesine sebep olduklarından yaklaşık olarak belirlenen türevlerden kaynaklanmaktadır (13).

N - boyutlu uzayda, herhangi bir noktadan, fonksiyonun gradyent yönü boyunca ilerleme yapılırsa fonksiyonun değeri en hızlı şekilde artacaktır. Bundan dolayı gradyent yönü "en dik çıkış" yönü olarak ta adlandırılır. O halde, negatif gradyent vektörü ise "en dik iniş" yönünü gösterecektir. Böylece gradyent vektöründen yararlanan metodların, yararlanmayan metodlara göre minimum noktayı daha çabuk göreceği beklenebilir (13).

Amaç fonksiyonunun minimizasyonunda en dik iniş yönü ilk önce Cauchy (1848) tarafından kullanılmıştır. Gradyent metodları daha önce açıklandığı gibi kısmi türevleri alınabilen ve sürekli amaç fonksiyonuna sahip olan her türlü optimizasyon problemlerine kolaylıkla uygulanabilir (13).

Uygulamada sıkça kullanılan gradyent metodlarından önemlileri şunlardır:

- 1- Gradyent doğrultusunda tepeye tırmanma metodu
- 2- Eşlenik gradyent metodu
- 3- Değişken metrik algoritma metodu

Gradyent doğrultusunda tepeye tırmanma metodunun teorisi oldukça basit ve anlaşılması kolaydır. Bu nedenle diğer gradyent metodlarına kıyasla, problemlerin çözümünde daha sık kullanılır. Diğer gradyent metodlarında ise her bir adımda yapılan işlem sayısı artmakla birlikte toplam adım sayısını azaltan birtakım değişiklikler yapılmıştır (1).



Gradyent doğrultusunda tepeye tırmanma metodu, diğer gradyent metodlarına kıyasla uygulamada daha çok kullanıldığı için özet olarak anlatılacaktır (1)

3.3.2.1. Gradyent doğrultusunda tepeye tırmanma metodu ile optimizasyon

Metod düşünce itibariyle amaç fonksiyonu ile tanımlanan yüzey üzerinde seçilen bir başlangıç noktası ile tepe noktası arasında çizilebilecek en kısa eğriyi takip ederek maksimuma ulaşma esasına dayanır. Gradyent doğrultusunda tepeye tırmanma metodunda tekrarlanan ardışık işlemlerle amaç fonksiyonunun maksimum olduğu noktaya yaklaşılar. Her adımda, bir önceki adımda bulunan noktanın konumundan ve amaç fonksiyonunun o noktadaki gradyentinden yararlanılarak optimuma daha yakın bir noktanın yeri tespit edilir. Optimuma belirli bir yaklaşım sağlandıktan sonra işlemlere son verilir. İşlemler sürdürülürken, başlangıç noktası ile maksimum arasında takip edilen yol, bu iki nokta arasında çizilebilecek en kısa eğriyi meydana getirir.

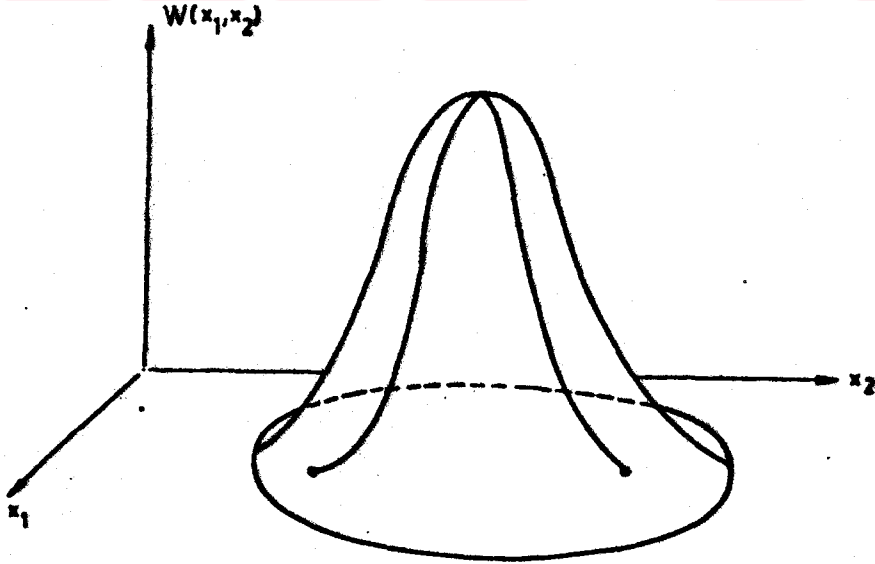
Gradyent doğrultusunda tepeye tırmanma metodunun teorisi oldukça basit ve anlaşılması kolaydır. Bu nedenle diğer gradyent metodlarına kıyasla, problemlerin çözümünde daha sık kullanılır. Bununla beraber, metodun uygulanmasında karşılaşılan birtakım güçlükler vardır. Meselâ başlangıçta, bağımsız değişken değerlerinin belirli bir miktar artmasına karşılık, fonksiyonun değerinin değişme miktarını tespit etmek mümkün değildir. Bu nedenle adım boyunun seçiminde yapılacak yanlış bir tespit, işlemlerin gereksiz yere uzamasına sebep olur. Adım boyunun tespiti için herhangi bir kural da mevcut değildir. Gradyent doğrultusunda tepeye tırmanma metodunda karşılaşılan ikinci bir güçlük, başlangıç noktasının seçimidir. Özellikle birden fazla

optimum değeri olan fonksiyonlarda, başlangıç noktası uygun bir konumda seçilmediği takdirde, fonksiyonun tanımlandığı bölge dışındaki geçersiz bir optimum değer ve konumu hesap sonunda elde edilebilir.

Bu metod, kısmi türevleri alınabilen ve sürekli amaç fonksiyonlarına kolaylıkla uygulanabilir. Uygulamada vektörel olarak,

$$X_{k+1} = X_k + \nabla W \Delta \tau \quad (3.9)$$

eşitliği ile tanımlanan ardışık işlemler, belirli bir yaklaşım sağlanıncaya kadar sürdürülür. Bu eşitlikte, X_{k+1} ile yeni noktanın koordinatları, X_k ile bir önceki noktanın koordinatları, ∇W ile ilerlemenin doğrultusunu belirleyen birinci mertebeden kısmi türevler, $\Delta \tau$ ile adım uzunlukları tanımlanır. Gradyent doğrultusunda tepeye tırmanma metodunda, yukarıda yazılan eşitlikten faydalanılarak işlem algoritması kurulur. Buna göre önce X değişkenleri için başlangıç değerleri, X_0 seçilir.



Şekil -3.12 Gradyent Doğrultusunda Tepeye Tırmanma

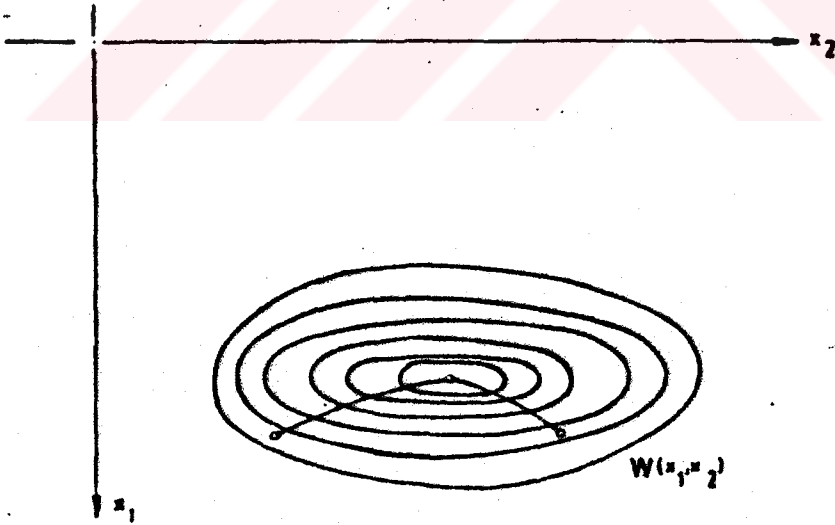


Daha sonra kısmi türevlerin başlangıç noktasındaki değerleri hesaplanarak uygun bir büyüklükte seçilmiş olan $\Delta\tau$ değeri ile çarpılır. Çarpımın sonucu bulunan değerler (X_0) başlangıç noktası değerleri ile toplanarak, optimuma daha yakın yeni bir araştırma noktasının koordinatları, X_1 bulunur. Bu iteratif işlem, belirli bir yaklaşım sağlanıncaya kadar sürdürüldükten sonra sona erdirilir.

Amaç fonksiyonu için minimum değeri bulma söz konusu olduğunda, gradiyent metodları için esas kabul edilen sonlu farklar denklemi,

$$X_{k+1} = X_k - \nabla W \Delta\tau \quad (3.10)$$

şekline dönüşür ve maksimumu bulmada takip edilen işlem sırası bu sefer minimum için benzer şekilde sürdürülür (1).



Şekil -3.13 Maksimuma Giden En Kısa Yolun $x_1 - x_2$ Düzlemindeki İzDüşümü



3.3.3. Doğrudan Araştırma Metodları

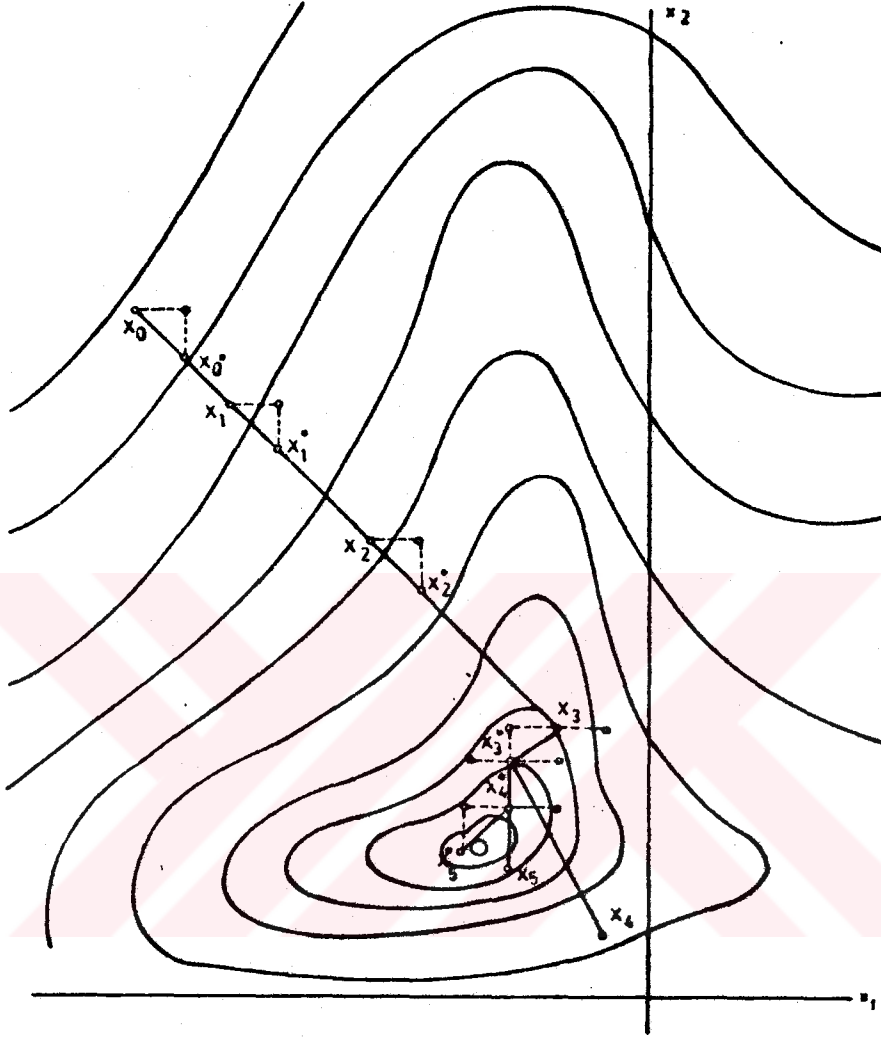
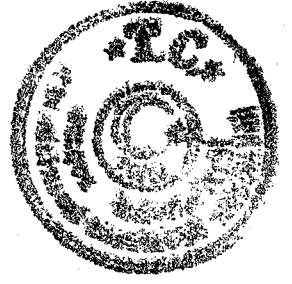
Ana kuralları, 1957 yılında Hooke ve Jeeves tarafından ortaya konulan doğrudan araştırma metodlarının teorisi son derece basit olmasına karşılık, pratikte oldukça geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Doğrudan araştırma metodlarında Gradiyent metodlarında olduğu gibi amaç fonksiyonunun birinci mertebeden kısmi türevlerinin alınması ve belirli noktalar için değerlerinin hesaplanması zorunlu değildir. Amaç fonksiyonunun sürekli olması, doğrudan araştırma metodlarının uygulanabilmesi için yeterli bir şarttır. Doğrudan araştırma metodlarının uygulanmasında, yapılması zorunlu analitik işlemler, sadece verilen bağımsız değişken değerlerine bağlı olarak amaç fonksiyonunun değerinin bulunmasından ibarettir (1) (2).

3.3.3.1. Patern araştırma metodu

Patern (model) araştırma metodu önemli, doğrudan araştırma tekniklerinden birisidir. Bu metodun uygulanmasında takip edilen işlem sistematigi, bir önceki adımda sağlanan olumlu gelişmenin bir sonraki adımda da süreceği düşüncesi esas alınarak düzenlenmiştir.

Metodun uygulanması anında yapılan işlemlerde, aşağıda verilen ve Şekil -3.14 'de gösterilen sıra takip edilir.

1- . Amaç fonksiyonunu tanımlayan her bir bağımsız değişken X_i için, ϵ_i gibi küçük bir değişim (artma veya azalma) miktarı tayin edilir. ϵ_i değerleri her bir değişken için aynı büyüklükte olduğu gibi farklı büyüklükte de olabilir.



Şekil -3.14 Patern Araştırması Metodu ile Optimum Değerin Bulunması

2- Amaç fonksiyonu, $W(x_1, x_2, \dots, x_n)$ in geçerli olduğu bölge içerisinde, koordinatları vektörel olarak X_0^* ile gösterilen herhangi bir araştırma noktası seçilir. Bu noktada amaç fonksiyonunun değeri hesaplanır. Daha sonra, diğerleri sabit kalmak şartıyla x_1 bağımsız değişkeni ϵ_1 kadar arttırılarak, $(x_1 + \epsilon_1, x_2, \dots, x_n)$ noktası için amaç fonksiyonunun değeri

yeniden hesaplanır. Amaç fonksiyonunun hesaplanan son iki değeri karşılaştırılır. Eğer ikinci işlemde bulunan değer optimuma daha yakın olursa, x_1 değişkeninin değeri $x_1 + \varepsilon_1$ olarak değiştirilir. Aksi takdirde x_1 değişkeninin yerine $x_1 - \varepsilon_1$

değeri konularak amaç fonksiyonunun değeri tekrar hesaplanır. Fonksiyonun hesaplanan son değeri, X_0^* noktası için bulunan değerinden optimuma daha yakın olursa $x_1 = x_1 - \varepsilon_1$ alınır ve ε_1 'in işareti eksi (-) olarak tespit edilir. Eğer diğer değişkenler sabit kalmak şartıyla $x_1 = x_1 \pm \varepsilon_1$ koordinat değerleri için amaç fonksiyonunun değerinde optimuma bir yakınlaşma sağlanamazsa, araştırma noktasının koordinatı ilk değerine eşit alınır.

Patern araştırma metodunda iki tür ilerleme mevcuttur. Bunlardan birincisi yukarıda anlatılan ve her değişken için ayrı ayrı yapılan "keşif ilerlemesi" denen bir ekstrapolasyonu ihtiva eder. İkincisi ise "Patern İlerlemesi" dir ve bu ilerleme ile yeni bir araştırma veya tasarım noktası bulunur.

İkinci adımın başından buraya kadar x_1 değişkeni için yapılan işlemler, sırayla diğer bütün değişkenler için tekrar edilir. Neticede, X_0^* araştırma noktası yakınında vektörel olarak X_0 ile gösterilen ve baz noktası adı verilen nokta elde edilir.

Araştırma noktası, X_0^* 'ın bütün koordinat değerleri için $\pm \varepsilon_1$ değişimi, amaç fonksiyonunda optimum değere bir yakınlaşma sağlayamadığı takdirde, X_0 baz noktası, X_0^* araştırma noktası ile çakışır.

Buraya kadar yapılması gereken işlemlerde amaç fonksiyonunun değeri en az $n + 1$, en çok $2n + 1$ defa hesaplanır.

3- Bu basamakta vektörel olarak,

$$d = X_0 - X_0^*$$

(3.11)

$$X_1^* = X_0^* + 2.d$$

eşitliği ile tanımlanan ve "Patern ilerlemesi" adı verilen işlemler yapılarak, X_1^* ile gösterilen yeni bir araştırma noktası bulunur. Burada d ilerleme (arama) yönünü belirler. 2 ise ilerleme adım aralığıdır. Daha sonra X_1^* araştırma noktası için, ikinci basamakta X_0^* noktası için yapılan işlemler tekrarlanır. Sonuç olarak X_1 ile gösterilen yeni bir baz noktası elde edilir. Bulunan son iki baz noktası için amaç fonksiyonunun aldığı değerler karşılaştırılır. Eğer amaç fonksiyonunun ikinci baz noktasında bulunan değeri optimuma daha yakın olursa, yeni bir araştırma noktasının bulunmasında yararlanılan ve genel olarak,

$$d_i = X_i - X_{i-1}$$

$$X_{i+1}^* = X_{i-1} + 2.d_i$$

(3.12)

eşitliği ile tanımlanan işlemler yapılır. Daha sonra yeni bir baz noktasının bulunması için yapılması gereken ve ikinci adımda tanımlanan işlemler burada tekrarlanır.

4- Daha önceki adımlarda tekrarlanan ardışık işlemler, amaç fonksiyonunun herhangi bir araştırma noktası X_{i+1}^* deki değeri, bulunan en son baz noktası, X_i deki değerinden, optimuma yakınlık bakımından geride kaldığı an durdurulur. Daha sonra X_{i+1}^* 'in değeri X_i nin değerine eşitlenerek işlemlere kaldığı yerden devam edilir.

5- Daha önceki dört adımda tanımlanan işlemler, her hangi bir baz noktasının konumu kendinden önce gelen araştırma noktası

ile çakışınca kadar sürdürülür. Böyle bir durumla karşılaşıldığı zaman ϵ_i değerleri küçültülerek ve iteratif işlemlere kaldığı yerden tekrar devam edilir.

6- Gittikçe küçültülen ϵ_i değerleri daha önceden belirlenen minimum bir değere ulaştığında, işlemlere son verilir.

Bağımsız değişkenlerin alt ve üst sınırları daha önceden belirlenir. Bu takdirde her araştırma ve her patern ilerlemesinde, bağımsız değişkenlerin sınır değerlerini aşmamasına dikkat edilir. Böyle bir durum söz konusu olduğunda bağımsız değişkenin değeri sınır değerine eşit alınır.

Patern araştırma metodu, 1965 yılında Weismann, Wood ve Rivlin tarafından daha da geliştirilmiştir. Yapılan değişiklik uyarınca, her adımda ϵ_i değerlerinin, iterasyonun daha önceki davranışına bağlı olarak, değiştirilmesi ön görülmüştür. Buna göre, daha önceki iki adımda, yönü değişmediği takdirde, ϵ_i nin değeri iki katına çıkartılır. Daha önceki iki adımda optimuma bir yaklaşım sağlanamadığı takdirde de ϵ_i nin değerleri yarıya düşürülür. Ancak, kural olarak ϵ_i değerlerinde yapılacak değişikliklerin,

$$10^{-5} (X_{imax} - X_{imin}) \leq \epsilon_i \leq 10^{-1} (X_{imax} - X_{imin})$$

limitlerini aşmaması da istenir.

Patern araştırması dışında, daha bir dizi doğrudan araştırma metodları, Rosenbrock, Spendley, Hex, Himsath ve Powell tarafından geliştirilmiştir (1) (2) (12) (13).

3.3.4. Rastgele Araştırma Metodları

Rastgele araştırma metodları, türevi alınabilirlik ve sürekli olmak şartı aranmaksızın, her türlü amaç fonksiyonunun optimizasyonuna uygulanabilir (1).

3.3.4.1. Basit rastgele araştırma metodu

Metodun uygulanmasında, rastgele sayılar (Random Numbers) tablosundan ya da rastgele sayı türeten bir bilgisayar programından yararlanılır. Bağımsız değişkenlerin değeri, seçilen rastgele sayılar kullanılarak ve bağımsız değişkenlerin alt ve üst limit değerleri göz önünde tutularak belirlenir. Böylece bulunan araştırma noktası için fonksiyonun değeri hesaplanır. Bulunan fonksiyon değeri, bir önceki adımda bulunan fonksiyon değeri ile karşılaştırılır. Optimuma yakın olan fonksiyon değeri geçici optimum olarak kabul edilir.

Burada tanımlanan işlemler yeni noktalar türetilerek istenildiği kadar sürdürülebilir. Şekil -3.15 'de iki değişkenli bir fonksiyonun "Basit Rastgele Araştırma Metodu" ile optimizasyonu gösterilmiştir (1).

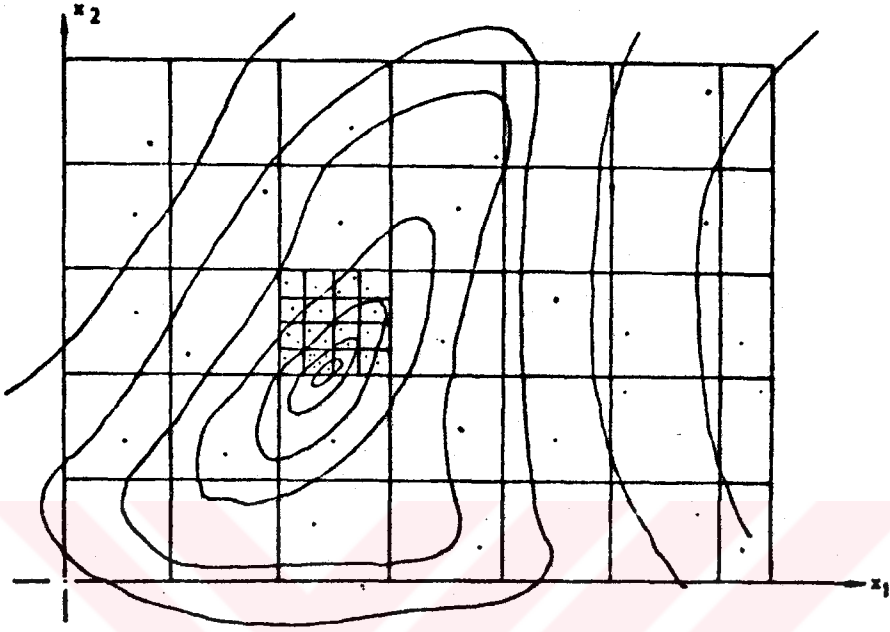
3.3.4.2. Parsellenmiş rastgele araştırma metodu

Parsellenmiş rastgele araştırma metodu, basit rastgele araştırma metodunun daha geliştirilmiş şeklidir. Bu metotta amaç fonksiyonunun geçerli olduğu çok boyutlu uzay, sistematik olarak parsellere (alt uzaylara) bölünür. Her bir alt uzay için X_{imin}



Şekil -3.15 Basit Rastgele Araştırma Metodu
ile Optimum Değerin Bulunması

ve X_{imax} , X_i değişkeninin limitleri ve 0 ile 1 arasında rastgele bir sayı olmak üzere, birer nokta tayin edilir. Bulunan noktalarda, amaç fonksiyonunun değeri hesaplanarak, optimuma en yakın değeri veren nokta ve o noktanın içinde bulunduğu alt uzay tespit edilir. Bu defa daha önce tanımlanan işlemler tekrarlanarak, bu alt uzayda parsellere ayrılır. İşlem optimum için yeterli yaklaşıklık sağlanıncaya kadar sürdürülür. Şekil -3.16' da parsellenmiş rastgele araştırma metodunun iki değişkenli bir fonksiyona uygulanışı gösterilmiştir (1).



Şekil -3.16 Parsellenmiş Rastgele Araştırma Metodu
ile Optimum Değerin Bulunması

* * *



4. PATERN ARAŞTIRMA METODU İLE ÇELİK ÇATI SİSTEMLERİNİN OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI

Daha önceki bölümde, değişik nümerik optimizasyon teknikleri özetlenerek, nümerik optimizasyon metodlarından Patern araştırma tekniğinin yapılacak bir düzenleme ile çelik çatı sistemlerinin optimum boyutlandırılmasında kullanılabileceği ifade edilmişti. Bu bölümde ise yeniden düzenlenmiş Patern araştırma metodu ve bu metod göz önünde tutularak çelik çatı sistemlerinin optimum çözümü için hazırlanmış bir bilgisayar programı ile ilgili ayrıntılı bilgi verilecektir. Daha sonra, söz konusu metod ve bilgisayar programından yararlanılarak bir örnek problemin optimum çözümünden elde edilen sonuçlar ayrıntılı olarak bundan sonraki bölümlerde sunulacaktır.

4.1. ÇELİK ÇATILAR İÇİN PATERN ARAŞTIRMA METODU

Çelik çatılarda kafes kiriş ve aşık aralıkları yazılacak ağırlık fonksiyonunun değişkenlerini meydana getirir. Kafes kiriş ve aşık aralıklarının bağımsız değişkenler olmasından dolayı, enkesit alanı, atalet momenti ve mukavemet momenti bu bağımsız değişkenlere bağlı, bağımlı değişkenlerdir. Dolayısı ile bağımlı değişkenler düzenlenmeden, yapılan çözümde değişken sayısı



fazla olacağından çözüm zorlaşır. Eğer profillerin tablo değerlerine bağlı kalınmıyorsa veya istenilen her kesit alanı için profil bulunacağı kabul edilirse, kesit boyutlarının otomatik olarak bulunabilmesi için, bağımlı değişkenlerin hepsinin yalnızca biri cinsinden ifade edilmesi gerekir. Bu takdirde bağımsız değişkenlerin değişmesiyle ağırlık fonksiyonu aşıklar ve kafes kirişler için otomatik olarak hesaplanır.

Bu tezde pratik olması açısından profillerin tablo değerlerine bağlı kalınmıştır ve bu sayede istenilen profil ve korniyerin tablo değerleri rahatlıkla kullanılabilmiştir. Ayrıca profillerin tablo değerleri, dışarıdan girilmek suretiyle bilgisayarın hafızası ekonomik olarak kullanılmıştır. Profillerin tablo değerleri data olarak da girilebilir, fakat bu durumda bilgisayarın kapasitesi her zaman yetmeyecektir ve data girilmesi gereksiz zaman kaybına sebep olacaktır ve üstelik bütün profillerin tablo değerleri kullanılamayacağından gereksiz yere bilgisayar belleği işgal edilmiş olacaktır. Bütün bu mahzurlardan dolayı problemin çözümünde profillerin tablo değerleri dışarıdan girilmiştir ve ağırlık fonksiyonu buna göre otomatik olarak hesaplanmıştır.

Çelik çatılarda kafes kiriş ve aşık aralıklarının bağımsız değişken veya tasarım değişkeni olarak seçilmesi sonucu, bağımsız değişkenlerin alabileceği değerler, ağırlık fonksiyonunun tanımlandığı aralıkta belirlenmiştirler. Ağırlık fonksiyonunun tanımlandığı aralıkta, bağımsız değişkenlerin alabileceği değerler, aşıklar için kafes kiriş düğüm noktaları arası mesafe ve bu düğüm noktalarını eşit aralıklara bölecek mesafelerdir. Kafes kirişlerde ise, basit kiriş türünde aşıklar için, çatı uzunluğunu eşit aralıklara bölen mesafelerdir, mütemadi kiriş türünde aşıklar için ise kenar açıklık ve iç açıklıkların tamsayı olarak toplam değerlerinin, çatı uzunluğuna bölünmesi ile elde edilen değerlerdir. Mütemadi kirişlerde, açıklıklarda ve mesnetlerde aynı profil kullanmak daha ekonomik ve pratik olduğundan

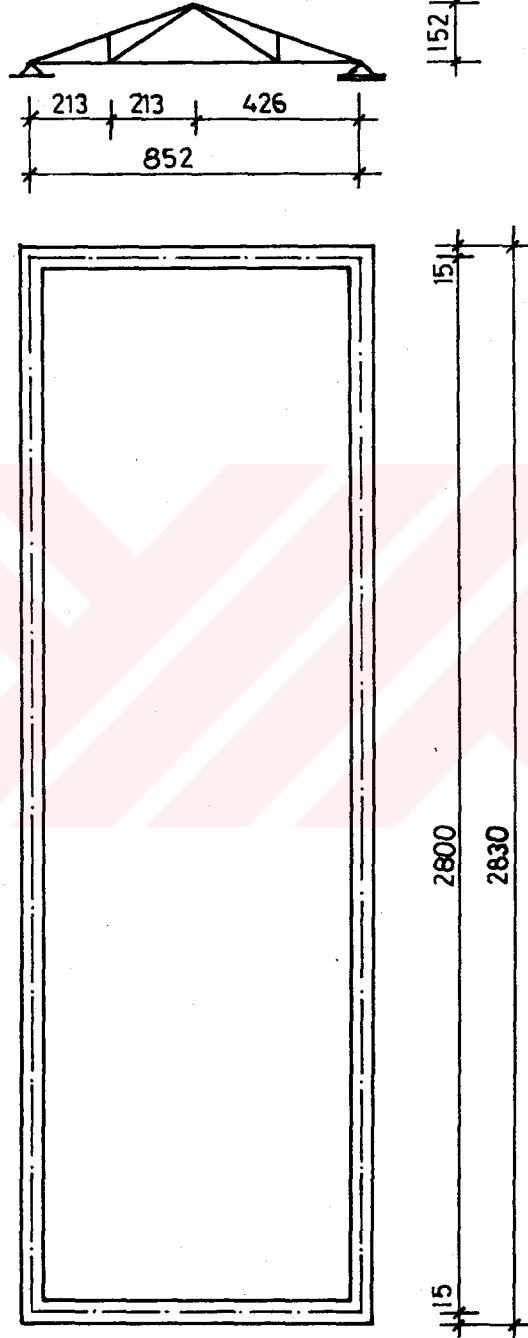
açıklıkların eşit olması hali incelenmemiştir.

Çelik çatıların optimizasyonunda örnek olarak çözümü yapılan çelik çatı problemi (Şekil -4.1) çatı kaplamasının 25 kg 'dan başlayarak 25 'er kg arttırılarak 100 kg 'a kadar dört değişik çatı kaplamasına göre ve basit kiriş ve mütemadi kiriş aşık türüne göre çözümü yapılarak, her iterasyonda toplam çatı ağırlığı hesaplanmak suretiyle, bir aşık türü için dört çeşit çatı kaplaması ağırlığına göre, minimum toplam çatı ağırlığı hesaplanmış ve bunlara bağlı olarak optimum aralıklar bulunmuştur.

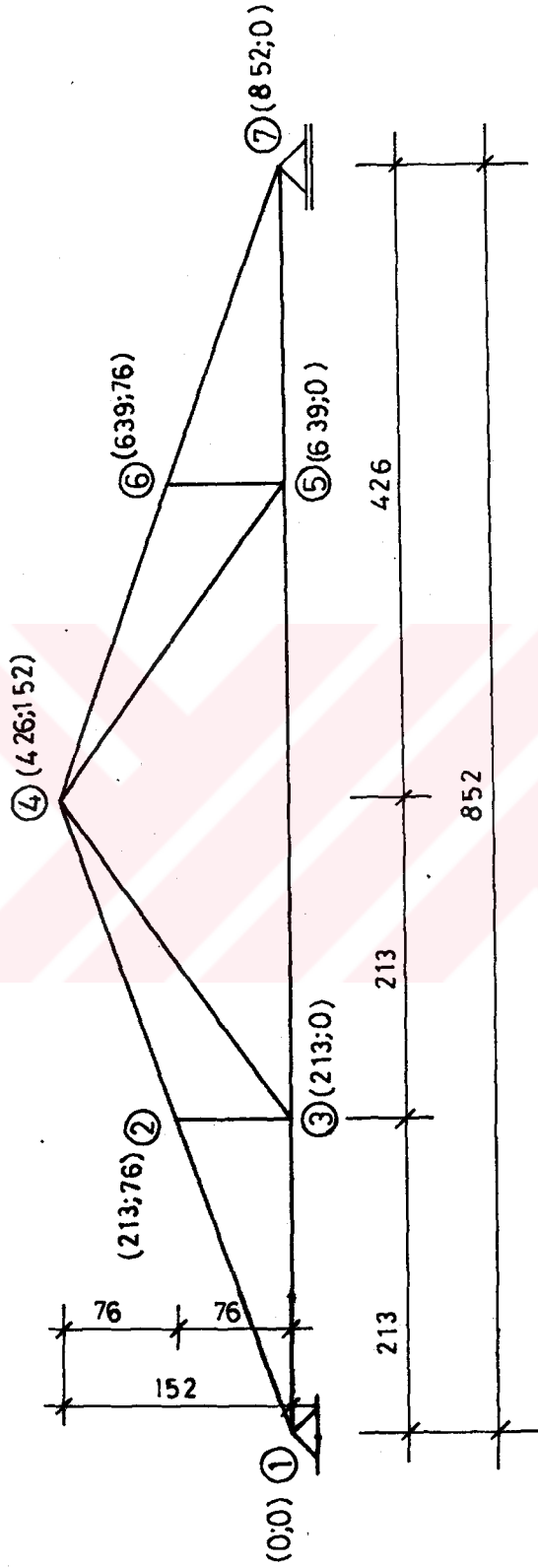
Yukarıda sözü edilen hesapların yapılmasında EK-1 'de sunulan ve BASIC dilinde yazılan bilgisayar programından yararlanılmıştır. Programa data olarak kullanılan malzemenin özellikleri, çatı boyutları, çatı üzerine gelen harici ve zâti yükler, hesap için gerekli katsayılar, kafes kiriş koordinatları ve düğüm numaraları programa data olarak girilmiştir (Şekil -4.2). Sonuç olarak aşıklar ve kafes kirişler için gerekli hesaplar yapılarak, toplam çatı ağırlığı bulunmuştur.

Program, aşağıda tanımlanan işlem sırası esas alınarak hazırlanmıştır ve iki adımdan oluşur.

a) Çelik çatı probleminde, data olarak verilen bilgiler göz önünde tutularak, çelik çatı özellikleri ve malzeme cinsi yazdırılır. Daha sonra dışarıdan girilen kafes kiriş aralıkları ve daha önce datadan okunan aşık aralıkları dikkate alınarak sırayla, önce orta aşıklar olmak üzere gerekli mukavemet momenti hesaplanır ve buna göre profil katsayısı datadan okunan profil cinsine göre, profil tablolarından hesapla bulunan mukavemet momentine büyük eşit olmak şartıyla profil değerleri seçilir. Bu işlem sırayla orta ve kenar aşıklar için yapılır ve ayrı ayrı aşık ağırlıkları toplanır ve sonuçta toplam aşık ağırlığı bulunur. Yukarıda açıklanan işlem basamakları sırayla yazdırılır.



Şekil -4.1 Optimum Çözümü Yapılan Çelik Çatı



Şekil -4.2 Optimum Çözümü Yapılan Çelik Çatıda Kullanılan Kafes Kiriş



Ayrıca orta ve kenar aşık profil değerleri ve cinsi yazdırılır. Neticede bu kısımda aşıkların boyut hesabı ve tahkiki yapılmış ve toplam aşık ağırlığı hesaplanmış olur.

b) Bu kısımda yine aşıklar için dikkate alınan data ve dışarıdan girilen bilgiler göz önünde tutularak kafes giriş ve düğüm noktalarına gelen zâti, kar, soldan ve sağdan rüzgar yükleri düğüm noktalarına tesir ettirilir ve sırayla zâti, kar, soldan ve sağdan rüzgar yükleri için çubuk kuvvetleri hesaplatılır ve yazdırılır. Daha sonra hesaplanan çubuk kuvvetleri dikkate alınarak, maksimum ve minimum çubuk kuvvetleri hesaplatılır ve yazdırılır. Daha sonra boyutlandırma yapabilmek için üst ve alt başlık maksimum ve minimum çubuk kuvvetleri ekrandan okutturulur ve yazdırılır. Ayrıca üst ve alt başlık için gerekli kesit alanı hesaplatılarak ekranda gösterilir ve ekranda önce üst başlık olmak üzere gösterilir ve hemen altında yine ekranda üst başlık için kullanılabilecek profil ve çift korniyer önlerindeki numaraları ile görünür ve bu numaralardan hangisi ekrana yazılırsa, o numaranın sağındaki profil veya çift korniyerden birinin tablo değerleri istenir ve buna göre hesap yapılır. Eğer hesap sonunda tahkik sağlanmazsa yeniden profil veya çift korniyer değerleri istenir. Bu işlemler tahkik sağlanıncaya kadar devam eder. Bu tür boyutlandırma hesaplarında iki tür tahkik söz konusudur. Bunlar çekme ve basınç çubuğu tahkikleridir. Basınç çubuğu tahkikleri sırasında, ekranda görülen narinlik değerine bağlı olarak, tablodan burkulma katsayısı bulunur ve dışarıdan girilir. Daha sonra çubuk uzunluğu girilir ve hesaplar yapıldıktan sonra sırayla profil cinsi, net kesit alanı, çekme gerilmesi, narinlik değerleri, burkulma katsayıları, basınç gerilmeleri ve çubuğun zâti ağırlığı yazdırılır.

Buraya kadar yapılan işlemler daha sonra alt başlık için tekrarlanır. Aynı şekilde aşıklarda olduğu gibi tahkikler sağlanıncaya kadar yeni profil veya çift korniyer değerleri istenir.



Daha sonra dikme ve diyagonal çubukların boyutlandırılmasına sıra gelir. Çubuk kuvvetleri, çubuk numaralarıyla birlikte olmak üzere gerekli kesit alanı ve altında, alt ve üst başlıklarda olduğu gibi, korniyer, profil ve çift korniyer olmak üzere numaralarıyla ekranda görünür. Bu profil ve korniyerlerden hangisi isteniyorsa onun numarası yazılarak diğer işlemler üst ve alt başlıklarda olduğu gibi tekrarlanır.

Eğer kafes kiriş simetrik ise sadece yarısı için hesap yapılır ve bir çubuk ağırlığının iki katı alınarak toplam çubuk ağırlığı bulunur. Daha sonra çubuk ağırlıkları toplanarak kafes kiriş ağırlığı bulunur ve toplam kafes kiriş sayısı dışarıdan girilerek, kafes kirişlerin çatıdaki toplam ağırlığı bulunur. Sonuç olarak toplam aşık ağırlığı ve toplam kafes kiriş ağırlığı toplanarak, toplam çatı ağırlığı bulunur ve kafes kiriş ve aşık aralığı ile birlikte yazdırılır. Netice olarak bir iterasyon tamamlanmış olur. Bundan sonra bağımsız değişkenler değiştirilerek diğer iterasyonlara geçilir.

Bu çalışmada çelik çatıların optimizasyonu sırasında sözü edilen sonuçlar, iki iterasyon için örnek problemin bilgisayar çıktıları olarak EK-2 'de verilmiştir.

Optimum çözümü bulmak için birinci iterasyonda yapılan işlemler, ağırlık fonksiyonunun tanımlı olduğu aralık boyunca ve bağımsız değişkenlerin alabileceği değerlere göre tekrar edilerek bulunur. Birinci iterasyondan sonra sadece kafes kiriş ve aşık aralıkları değiştirilerek işlemlere devam edilir ve minimum toplam çatı ağırlığı bulunur ve buna isabet eden aralıklar da optimum aralıklar olarak bulunmuş olur. Bütün iterasyonlar birbirinden bağımsız olarak yapılır ve bütün işlemler bittikten sonra, kafes kiriş ve aşık aralıkları ve toplam çatı ağırlıkları ikinci bir programa data olarak yazılır ve bu programda değerlendirilerek sonuçta bütün iterasyon sonuçları ve optimum sonuçlar yazdırılır.

Bu açıklanan işlemler çözümü yapılan problemin bilgisayar çıktı-
larında mevcuttur.

İterasyon sonuçlarını yazan ve bunların içinden optimum çözümü
bulan ikinci bilgisayar programı EK-1 'de verilmiştir.

Patern araştırma metodunun çelik çatı sistemlerinin optimum bo-
yutlandırılmasına uygulanabilmesi için, Patern ilerlemesi denilen
adımlarda değişiklik yapılması gerekir. Çelik çatının bütününün
çözümü söz konusu olduğundan ve kafes kiriş ve aşık aralıkları
için her değer alınamayacağından daha önceden hesaplanan eşitlik
şeklindeki sınırlayıcı değerleri alabilirler. Aşık aralıkları
için sadece iki değer verilmesi yeterlidir. Bu değerler kafes
kiriş düğüm noktaları arasındaki yatay mesafeler ve bu mesafelerin
yarısıdır. Bu şekilde yapılan araştırmada yatay aşık mesafe-
si olarak düğüm noktaları arasının alınmasının daha iyi sonuç
verdiği görülmüştür. Bu durum düğüm noktaları arasındaki yatay
aşık aralığının yarısı alınarak yapılan hesabın bir iterasyon
için bilgisayar çıktıları EK-2 'de verilmiştir.

Örnek problemin optimum çözümü araştırılırken, Patern araştırma
metoduna uygun olarak, ilk araştırma noktasında toplam çatı ağır-
lığı hesaplandıktan sonra, ikinci iterasyonda kafes kiriş ağır-
lığı sabit tutularak, aşık aralığı yarıya indirilmiş ve toplam
çatı ağırlığı tekrar hesaplanmıştır. Yapılan karşılaştırma sonu-
cunda ilk araştırma noktasındaki toplam çatı ağırlığının opti-
muma daha yakın olduğu görülmüştür. Bunun sebebi aşık aralığı
yarıya indirildiği için, üst başlıktaki çubukların tam ortasına
aşık oturmakta ve bunun sonucu meydana gelen tekil kuvvetten
dolayı kesit birleşik eğilmeye maruz kalmakta ve kesit boyutla-
rının büyümesine sebep olmaktadır. Neticede, yatay aşık mesafesi
olarak kafes kiriş üst başlık düğüm noktaları arasındaki mesafe-
ler alınmış ve yatay aşık aralığı sabit tutulmuş ve kafes kiriş
aralıkları değiştirilerek iterasyonlara devam edilmiş ve optimum

çözüm bulunmuştur.

Patern araştırma metodunun çelik çatı sistemlerine uygulanması sırasında, yapılan işlemler aşağıda tanımlanan sırayı takip ederler.

1- Çelik çatının kafes kiriş ve aşık aralıkları değişken alınarak ve ağırlık fonksiyonunun aşık türüne göre belirlendiği tanım aralığı dikkate alınarak, bağımsız değişkenler olan, kafes kiriş ve aşık aralıkları için başlangıç değerleri seçilir. Başlangıç değerleri, aşık aralığı için üst başlık düğüm noktaları arasındaki mesafe, kafes kiriş aralığı için ise,

Basit kiriş tipi aşıklarda,

$$X_o^* = \frac{L}{n} \quad (4.1)$$

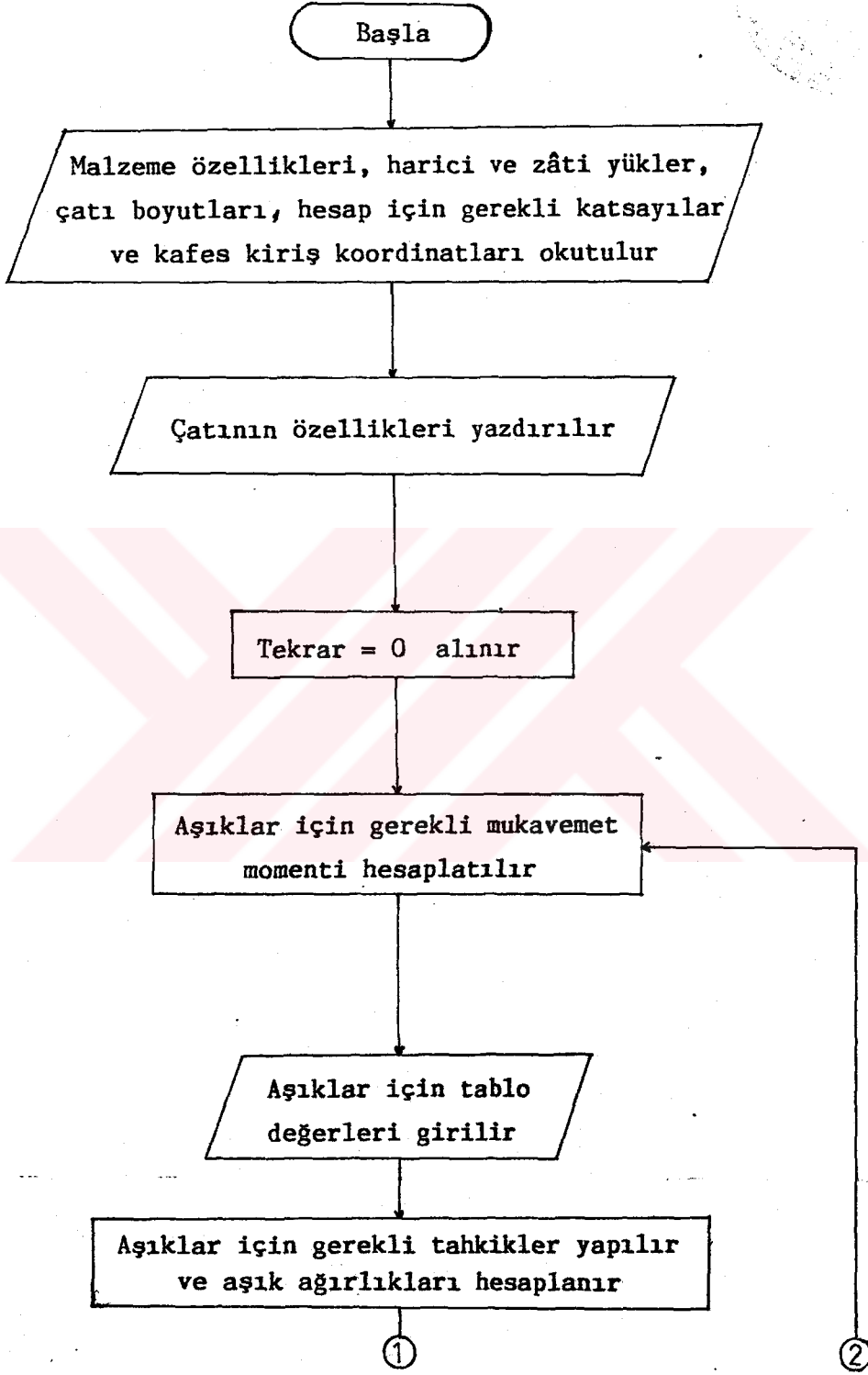
Mütemadi kiriş tipi aşıklarda,

$$X_o^* = \frac{L}{n - 0,34} \quad (4.2)$$

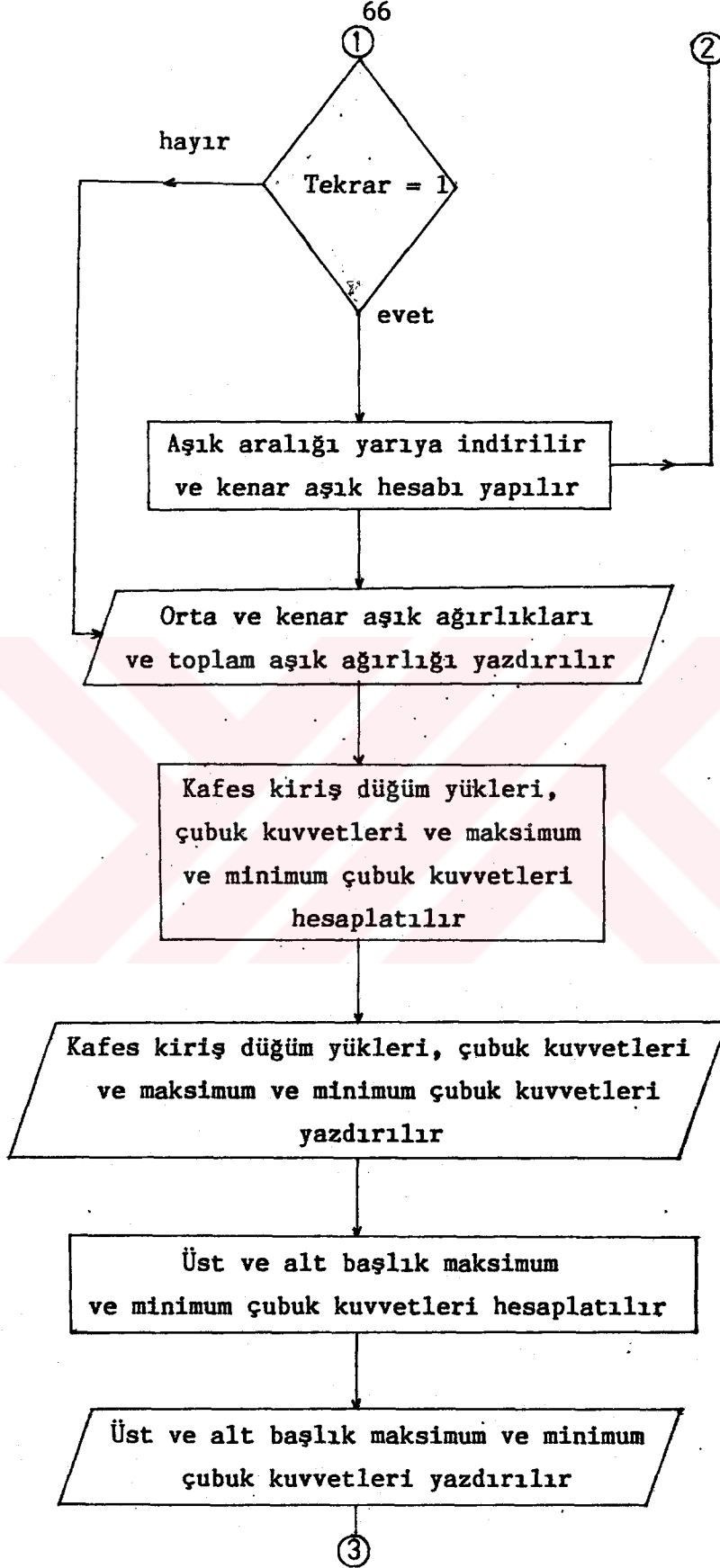
eşitlikleriyle bulunan değerler alınır. Eşitliklerdeki X_o^* değeri kafes kiriş aralığını, L değeri çatının akstan aksa boyuna uzunluğunu ve n ise kafes kiriş aralığı sayısını gösterir.

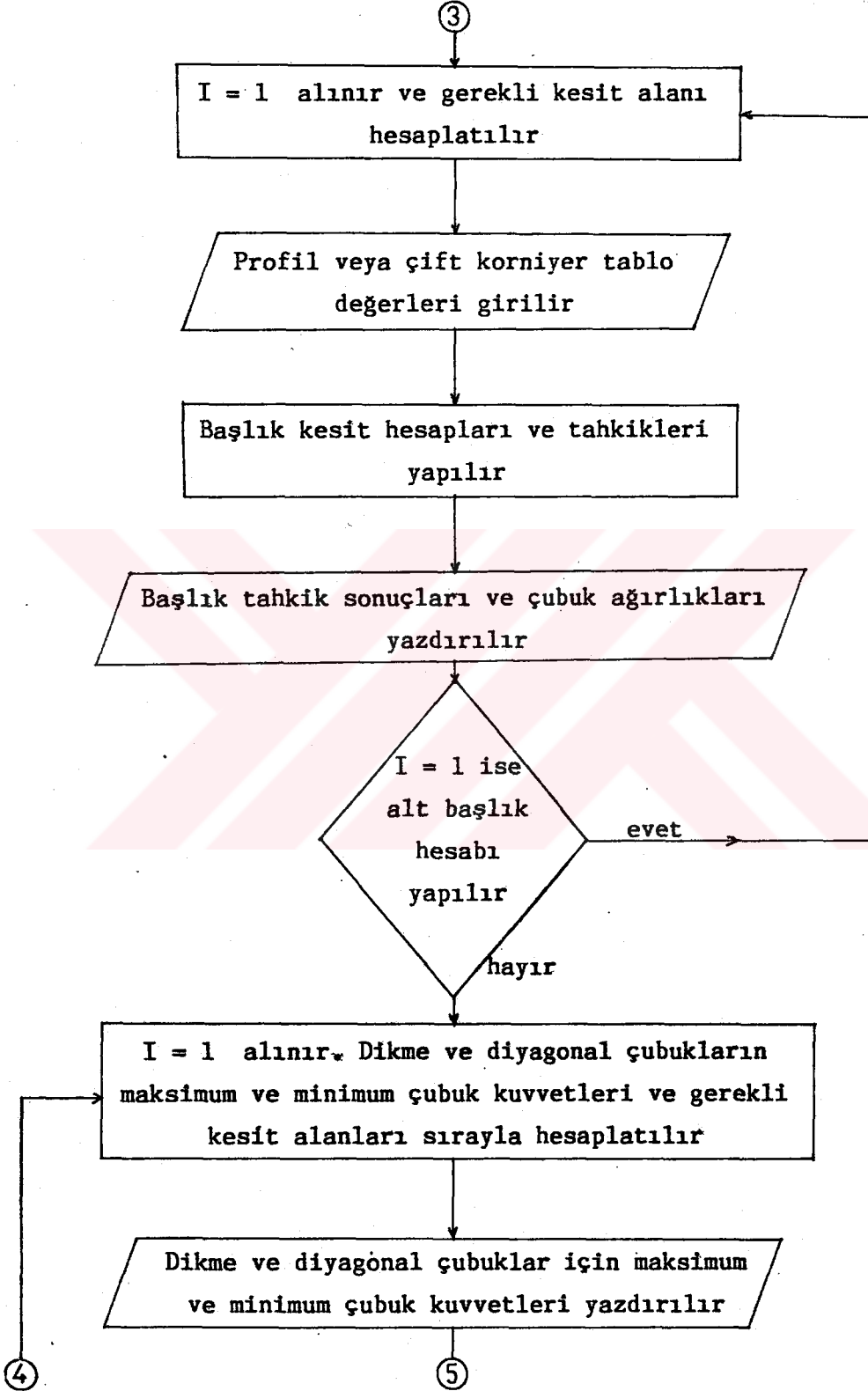
Bağımsız değişkenlerin, başlangıç değerlerinden faydalanılarak ağırlık fonksiyonunun değeri hesaplanır.

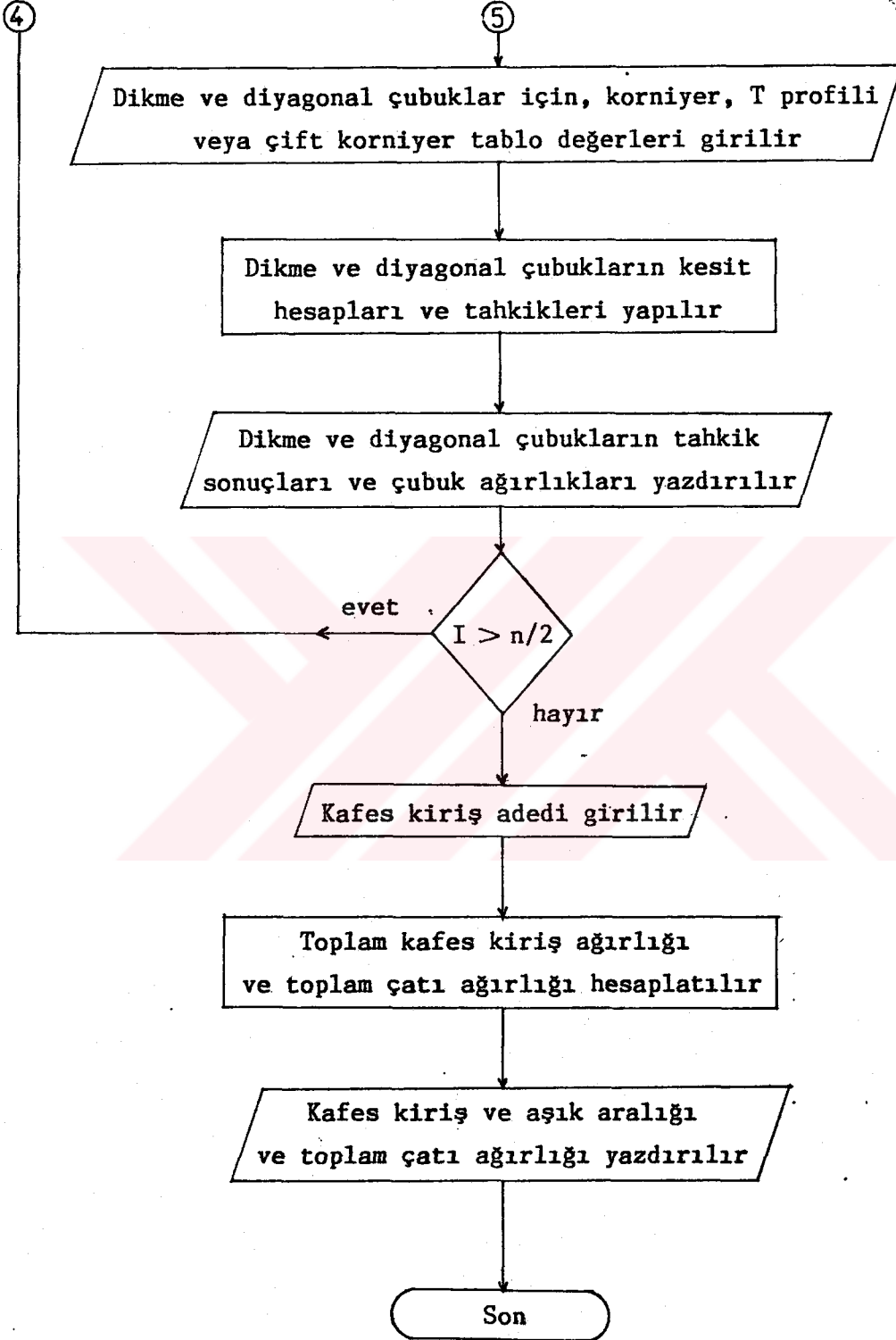
2- Daha sonra kafes kiriş aralığı sabit tutularak, aşık aralığı yarıya indirilir ve ağırlık fonksiyonunun değeri tekrar hesaplanır. Eğer optimuma yakınlık sağlanırsa, aşık aralığı son şekli

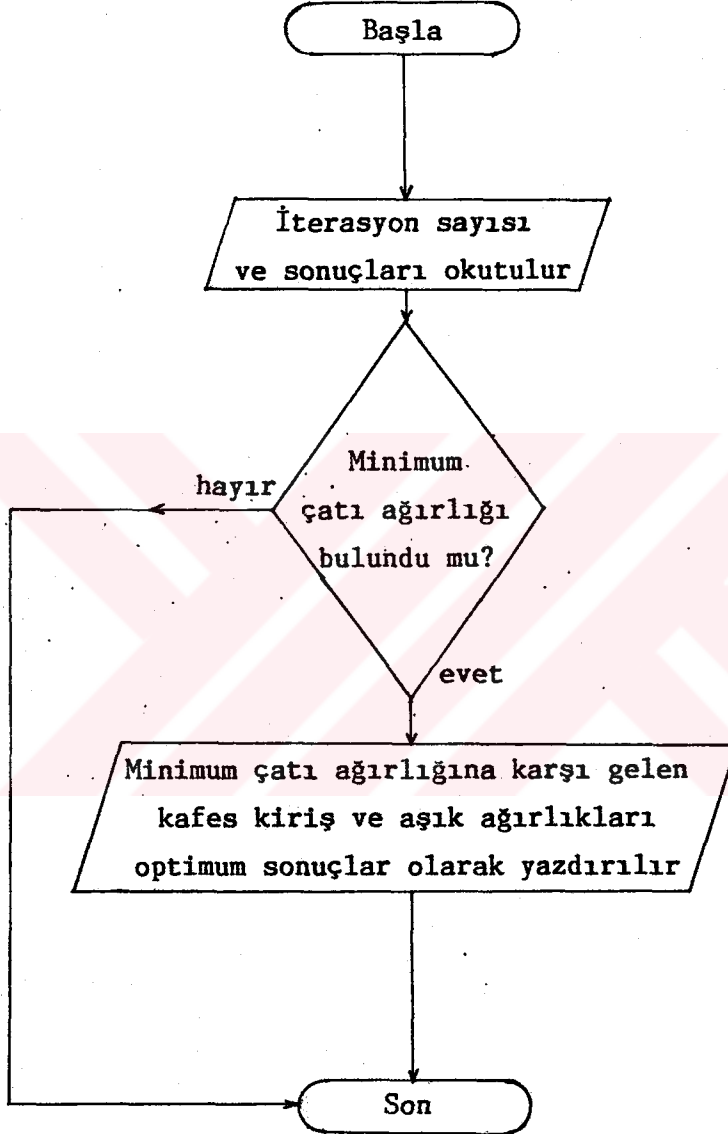
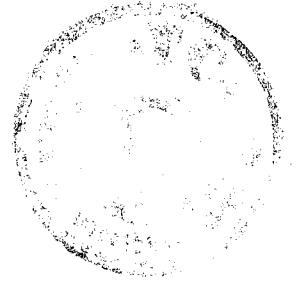


Şekil -4.3 Çelik Çatıların Optimizasyonu İçin Hazırlanan Bilgisayar Programının Akış Diyagramı









Şekil -4.4 İterasyon Sonuçları Arasından Optimum Sonuçları Bulan Bilgisayar Programının Akış Diyagramı



ile kalır. Aksi takdirde başlangıç noktasındaki değere eşit alınır. Bu defa aşık aralığı sabit tutularak, kafes giriş aralığı,

Basit giriş tipi aşıklarda,

$$\epsilon_i = L \cdot \left(\frac{1}{n_i - 1} - \frac{1}{n_i} \right) \quad (4.3)$$

Mütemadi giriş tipi aşıklarda,

$$\epsilon_i = L \cdot \left(\frac{1}{n_i - 1,34} - \frac{1}{n_i - 0,34} \right) \quad (4.4)$$

eşitliklerindeki ϵ_i kadar arttırılır. Eğer optimuma bir yakınlık sağlanırsa kafes giriş aralığı arttırılmış haliyle alınır. Aksi takdirde kafes giriş aralığı ϵ_i kadar azaltılır ve sonuçta yapılan bu keşif araştırmaları ile optimuma daha yakın yeni bir baz noktası bulunur. Eşitliklerde n_i i 'ye göre değişen kafes giriş aralığı sayısını gösterir.

Örnek problemin optimum çözümü yapılırken, yapılan araştırma sonucunda, yatay aşık aralığı olarak üst başlık düğüm noktaları arasındaki mesafenin alınması, dolayısıyla aşıkların düğüm noktalarına yerleştirilmesinin daha uygun olduğu görülmüştür. Bu adımdan sonra aşık aralıkları sabit tutulmuş ve sadece kafes giriş aralıkları değişken alınarak işlemlere devam edilerek optimum çözüm bulunmuştur.

3- İkinci adımda tespit edilen yeni kafes giriş aralıkları ağırlık fonksiyonunun içinde tanımlandığı, n boyutlu uzayda, birinci baz noktasının koordinatlarını meydana getirir. İkinci adımda bulunan kafes giriş aralığına ϵ_i artış miktarı ve

Basit kiriş tipi aşıklarda;

$$X_i = \frac{L}{n_i} + \epsilon_i \quad (4.5)$$

Mütemadi kiriş tipi aşıklarda;

$$X_i = \frac{L}{n_i - 0,34} + \epsilon_i \quad (4.6)$$

eşitliklerindeki X_i ile ağırlık fonksiyonunun optimum değerine daha yakın yeni bir ikinci baz noktasının koordinatları hesaplanır. Bu noktalarda, kafes kiriş aralığı için her noktada değer mevcut olmadığından ve eşitlik şeklindeki sınırlayıcı şartlardan dolayı Patern ilerlemesi yapılamaz. Ancak ϵ_i kadar artışlar verilerek yeni baz noktaları bulunur. Patern ilerlemesi olmadığından baz noktaları ile araştırma noktaları çakışır.

4- Üçüncü adımda yapılan iterasyon fonksiyonun tanım aralığı boyunca devam ettirilir. Daha sonra ağırlık fonksiyonunun değerinde, optimumdan sapma görülürse, iterasyonlara son verilir ve o zamana kadar yapılan iterasyonlardaki ağırlık fonksiyonu değerleri içinden minimum olanı optimum değer olarak kabul edilir ve ağırlık fonksiyonunun minimum değerine isabet eden kafes kiriş ve aşık aralıkları da optimum aralıklar olarak alınır ve iterasyonlara son verilir.

Örnek problemin (Şekil -4.1) optimum çözümü sırasında yedi iterasyonda sonuca gidilmiş ve optimum çözümler bulunmuştur. Ağırlık fonksiyonunun tanım aralığı olarak, basit kiriş türü aşıklarda 2,50-6,00 m arası, mütemadi kiriş türü aşıklarda ise 2,50-8,00 m arası alınmıştır ve bu aralıklarda optimum çözümler bulunmuştur. Aşıklarda kiriş tipi olarak sadece basit kiriş ve mütemadi kiriş tipi incelenmiştir. Gerber kirişi ve destekli



kiriş tipi aşıklar bu çalışmada incelenmemiştir.

Bağımsız değişkenler için eşitlik şeklindeki sınırlayıcı şart-
lardan dolayı, Patern araştırma metodu yeniden düzenlenerek uy-
gulanmıştır (1) (3) (5) (6) (7) (8) (10) (11) (15) (16) (17)
(19) (20).



5. ÇELİK ÇATILARIN OPTİMİZASYONU İLE İLGİLİ NETİCELER

Tez konusu ile ilgili çalışmalar sonunda elde edilen neticeler üç ana grupta toplanmıştır.

Bunlar sırayla;

- a) Çelik çatılar için uygun bir optimizasyon tekniğinin seçimi ile ilgili olanlar,
- b) "Patern Araştırma Metodu"nun gelişimi ve uygulanışı ile ilgili olanlar,
- c) Örnek problemin sonuçlarına bağlı olarak tespit edilenler.

5.1. UYGUN BİR OPTİMİZASYON TEKİNİĞİNİN SEÇİMİ İLE İLGİLİ NETİCELER

Çelik çatıların optimum boyutlandırılmasında analitik optimizasyon metodları kullanılamaz. Analitik metodların uygulanabilmesi için, amaç ya da ağırlık fonksiyonunun sürekli, türevi alınabilir olması ve birinci mertebeden kısmi türevlerin sıfıra eşitlenmesi sonucu elde edilen denklem sisteminin çözülebilmesi gerekir. Çelik çatılar için yazılan maliyet fonksiyonlarının birinci

mertebe türevlerinin alınabilmesi son derece zor ve bazı istisnai durumlar dışında alınamaz. Bu nedenle çelik çatı sistemlerinin analitik metodlarla optimum çözümü bazı özel durumlar dışında mümkün değildir.

Gradyent metodları, nümerik optimizasyon tekniklerinin önemli bir bölümünü meydana getirir. Bu metodların optimizasyon problemlerine uygulanmasında, amaç fonksiyonuna ait birinci mertebeden kısmi türevlerden yararlanılır. Yapılan ardışık işlemlerin her adımında, kısmi türevlerin daha önce tayin edilen değişken değerlerine göre değerleri hesaplanır. Daha önce de sözü edildiği gibi, çelik çatı sistemlerine ait ağırlık fonksiyonlarının, birinci mertebeden kısmi türevlerinin alınmasında güçlüklerle karşılaşılır. Bu nedenle, gradiyent metodlarının da, çelik çatı sistemlerinin optimum çözümünde uygulanabilir bir metod olmadığı söylenebilir.

"Doğrudan Araştırma Teknikleri", amaç fonksiyonları sürekli olan her çeşit optimizasyon problemine, bu arada çelik çatı sistemlerinin optimum boyutlandırılmasına uygulanabilir. Teorik yapısı son derece basit olan doğrudan araştırma teknikleri, problemlerin niteliğine bağlı olarak, çok sayıda işlemlerin yapılmasını gerekli kılar. Söz konusu işlem çokluğu bağımsız değişken sayısı fazla olan optimizasyon problemlerinde aşırı boyutlara ulaşır. İşlemlerin hesabında bilgisayarların kullanılması düşünülse bile, böyle bir problemin optimum çözümünde, harcanan süre ve emek pratik olmaktan çıkar. Sonuç itibarıyla doğrudan araştırma tekniklerinin doğrudan doğruya çelik çatı sistemlerinin optimizasyonuna uygulanması mümkün olmakla beraber pratik ve ekonomik değildir.

"Rastgele Araştırma Teknikleri", herhangi bir şarta bağlı olmaksızın, her türlü optimizasyon problemine uygulanabilir. Bununla beraber iki önemli mahzur, bu metodun uygulanma alanını daraltır.

Bunlardan biri, işlem çokluğu diğeri ise bulunan sonucun rastlantı ile bulunmuş olmasıdır. Rastgele araştırma tekniklerinde işlem çokluğu, doğrudan araştırma tekniklerine kıyasla daha fazladır. Bulunan sonucun gerçek çözüme ne derece yaklaştığı ise, kesin olarak bilinemez. Bu nedenlerle rastgele araştırma teknikleri, çelik çatı sistemlerinin optimum boyutlandırılmasında kullanılamaz.

Üçüncü bölümde yapılan açıklamalar da göz önünde tutulursa doğrudan araştırma tekniklerinden "Patern Araştırma Metodu" nun işlem sayısını azaltıcı nitelikteki bazı düzenlemeler ile çelik çatıların optimum boyutlandırılmasında kullanılabileceği söylenebilir. Nitekim dördüncü bölümde ayrıntılı olarak açıklanan yeniden düzenlenmiş Patern araştırma metodu uyarınca, işlem algoritması hazırlanan bilgisayar programı ile örnek problemdeki çelik çatı sistemi optimum olarak çözülebilmektedir.

Sonuç olarak tez çalışması süresince geliştirilerek programlanan ve yeniden düzenlenmiş "Patern Araştırma Tekniği" nin, çelik çatı sistemlerinin optimum boyutlandırılmasında, en uygun nümerik bir optimizasyon tekniği olduğu görülmüştür (1).

5.2. PATERN ARAŞTIRMA METODUNDAN FAYDALANARAK ÇELİK ÇATI SİSTEMLERİNİN OPTİMUM ÇÖZÜMÜ İLE İLGİLİ NETİCELER

Doğrudan araştırma tekniklerinden "Patern Araştırma Metodu" yapılan bir düzenleme ile çelik çatı sistemlerine uygulanabilir hale getirilmiştir. Söz konusu düzenleme ile, ağırlık fonksiyonunda Patern araştırma metodunun işlemlerine doğrudan giren değişken sayısı dolayısı ile işlem sayısı azaltılmıştır. Örnek problemin optimum çözümü sırasında ikinci adımdan sonra, aşık

aralığı sabit alınarak, değişken olarak sadece kafes kiriş aralığı kalmış ve yapılan bu düzenleme ile Patern araştırma metoduna sürat ve pratiklik kazandırılarak, optimum çözümün bulunması kolayca sağlanmıştır. Ayrıca yapılan bu düzenleme ile bilgisayarda harcanan işlem süresi önemli ölçüde kısaltılmıştır. Çelik çatıların "Patern Araştırma Metodu" ile optimizasyonunu pratik ve ekonomik yapan önemli bir husus ise kafes kiriş aralıklarının alabileceği değerlerin önceden belli olan eşitlik şeklindeki sınırlayıcı şartlar ile belli olmasıdır. Bu şekilde iterasyon sayısında önemli miktarda azalmanın yanında, kafes kiriş aralıklarının her iterasyonda alabileceği değerlerin bilinmesi ve böylece ardışık işlemlerin kolaylıkla yapılabilmesidir.

Sonuç olarak "Patern Araştırma Metodu" nun çelik çatı sistemlerine kolayca uygulanabileceği ve bu uygulamanın birtakım ekonomik ve pratik faydaları birlikte getireceği tespit edilmiştir (1).

5.3. ÖRNEK PROBLEMLE İLGİLİ NETİCELER

Tez çalışması süresince, Şekil -4.1 'de gösterilen çelik çatı ile ilgili olarak dört ayrı grupta toplanan hesaplamalar yapılmıştır. Her gruptaki çatı kaplaması ağırlığı farklıdır ve bu çatı kaplaması ağırlıkları 25, 50, 75, 100 kg/m² 'den meydana gelmektedir. Ayrıca bu dört grup hesabı içinde bulunduran ve aşık türüne göre değişen, iki esas grupta toplanan hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar basit kiriş ve mütemadi kiriş tipi aşıklara göre yapılmıştır. Bir aşık türü için dört değişik çatı kaplaması ağırlığına göre ve her biri için yedi iterasyonla optimum sonuçlar bulunmuştur. Bu iterasyon sonuçları ve optimum sonuçlar Tablo -5.1 ve 5.2 'de çatı kaplaması ağırlıklarına göre gösterilmiştir.



**Tablo -5.1 Basit Kiriş Tipi Aşıklar İçin İterasyon Sonuçları
ve Optimum Sonuçlar**

İterasyon Sonuçları :

Cati Kaplaması Ağırlığı=100 kg/m²

Kafes Kiriş Aralığı:		Asik Aralığı:		Cati Ağırlığı:	
I	LX(1)=2.55 m	A(1)=2.13 m	WT(1)=3716.717 kg	I	
I	LX(2)=2.80 m	A(2)=2.13 m	WT(2)=3826.712 kg	I	
I	LX(3)=3.11 m	A(3)=2.13 m	WT(3)=3568.806 kg	I	
I	LX(4)=3.50 m	A(4)=2.13 m	WT(4)=3452.400 kg	I	
I	LX(5)=4.00 m	A(5)=2.13 m	WT(5)=3618.994 kg	I	
I	LX(6)=4.67 m	A(6)=2.13 m	WT(6)=3813.889 kg	I	
I	LX(7)=5.60 m	A(7)=2.13 m	WT(7)=4174.873 kg	I	

Optimum Sonuçlar :

Kafes Kiriş Aralığı:		Asik Aralığı:		Cati Ağırlığı:	
I	LX(4)=3.50 m	A(4)=2.13 m	WT(4)=3452.400 kg	I	

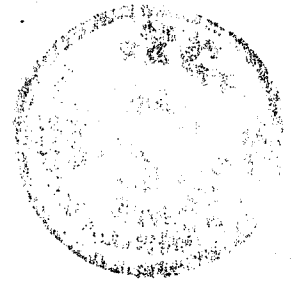
İterasyon Sonuçları :

Cati Kaplaması Ağırlığı=75 kg/m²

Kafes Kiriş Aralığı:		Asik Aralığı:		Cati Ağırlığı:	
I	LX(1)=2.55 m	A(1)=2.13 m	WT(1)=3716.717 kg	I	
I	LX(2)=2.80 m	A(2)=2.13 m	WT(2)=3588.992 kg	I	
I	LX(3)=3.11 m	A(3)=2.13 m	WT(3)=3568.806 kg	I	
I	LX(4)=3.50 m	A(4)=2.13 m	WT(4)=3452.400 kg	I	
I	LX(5)=4.00 m	A(5)=2.13 m	WT(5)=3454.854 kg	I	
I	LX(6)=4.67 m	A(6)=2.13 m	WT(6)=3407.987 kg	I	
I	LX(7)=5.60 m	A(7)=2.13 m	WT(7)=3797.261 kg	I	

Optimum Sonuçlar :

Kafes Kiriş Aralığı:		Asik Aralığı:		Cati Ağırlığı:	
I	LX(4)=3.50 m	A(4)=2.13 m	WT(4)=3452.400 kg	I	
I	LX(6)=4.67 m	A(6)=2.13 m	WT(6)=3407.987 kg	I	



Tablo -5.1 'in devamı.

Iterasyon Sonuclari :

Cati Kaplamasi Agirligi=50 kg/m²

Kafes Kiris Araligi:			Asik Araligi:			Cati Agirligi:		
I	LX(1)=2.55	m	A(1)=2.13	m	WT(1)=3716.717	kg	I	
I	LX(2)=2.80	m	A(2)=2.13	m	WT(2)=3458.812	kg	I	
I	LX(3)=3.11	m	A(3)=2.13	m	WT(3)=3331.086	kg	I	
I	LX(4)=3.50	m	A(4)=2.13	m	WT(4)=3310.900	kg	I	
I	LX(5)=4.00	m	A(5)=2.13	m	WT(5)=3194.495	kg	I	
I	LX(6)=4.67	m	A(6)=2.13	m	WT(6)=3361.089	kg	I	
I	LX(7)=5.60	m	A(7)=2.13	m	WT(7)=3555.983	kg	I	

Optimum Sonuclar :

Kafes Kiris Araligi:			Asik Araligi:			Cati Agirligi:		
I	LX(5)=4.00	m	A(5)=2.13	m	WT(5)=3194.495	kg	I	

Iterasyon Sonuclari :

Cati Kaplamasi Agirligi=25 kg/m²

Kafes Kiris Araligi:			Asik Araligi:			Cati Agirligi:		
I	LX(1)=2.55	m	A(1)=2.13	m	WT(1)=3716.717	kg	I	
I	LX(2)=2.80	m	A(2)=2.13	m	WT(2)=3458.812	kg	I	
I	LX(3)=3.11	m	A(3)=2.13	m	WT(3)=3200.906	kg	I	
I	LX(4)=3.50	m	A(4)=2.13	m	WT(4)=3073.180	kg	I	
I	LX(5)=4.00	m	A(5)=2.13	m	WT(5)=3194.495	kg	I	
I	LX(6)=4.67	m	A(6)=2.13	m	WT(6)=3196.949	kg	I	
I	LX(7)=5.60	m	A(7)=2.13	m	WT(7)=3103.183	kg	I	

Optimum Sonuclar :

Kafes Kiris Araligi:			Asik Araligi:			Cati Agirligi:		
I	LX(4)=3.50	m	A(4)=2.13	m	WT(4)=3073.180	kg	I	



Tablo -5.2 MÜtemadi Kiriş Tipi Aşıklar İçin İterasyon Sonuçları
ve Optimum Sonuçlar

İterasyon Sonuçları :

Cati Kaplaması Ağırlığı=100 kg/m²

Kafes Kiriş Aralığı:		Asik Aralığı:		Cati Ağırlığı:		
I	LX(1)=2.90	m	A(1)=2.13	m	WT(1)=3458.812	kg I
I	LX(2)=3.23	m	A(2)=2.13	m	WT(2)=3200.906	kg I
I	LX(3)=3.66	m	A(3)=2.13	m	WT(3)=3073.180	kg I
I	LX(4)=4.20	m	A(4)=2.13	m	WT(4)=3052.995	kg I
I	LX(5)=4.95	m	A(5)=2.13	m	WT(5)=2936.589	kg I
I	LX(6)=6.01	m	A(6)=2.13	m	WT(6)=3190.033	kg I
I	LX(7)=7.65	m	A(7)=2.13	m	WT(7)=3967.690	kg I

Optimum Sonuçlar :

Kafes Kiriş Aralığı:		Asik Aralığı:		Cati Ağırlığı:		
I	LX(5)=4.95	m	A(5)=2.13	m	WT(5)=2936.589	kg I

İterasyon Sonuçları :

Cati Kaplaması Ağırlığı=75 kg/m²

Kafes Kiriş Aralığı:		Asik Aralığı:		Cati Ağırlığı:		
I	LX(1)=2.90	m	A(1)=2.13	m	WT(1)=3339.952	kg I
I	LX(2)=3.23	m	A(2)=2.13	m	WT(2)=3200.906	kg I
I	LX(3)=3.66	m	A(3)=2.13	m	WT(3)=2943.000	kg I
I	LX(4)=4.20	m	A(4)=2.13	m	WT(4)=2815.274	kg I
I	LX(5)=4.95	m	A(5)=2.13	m	WT(5)=2936.589	kg I
I	LX(6)=6.01	m	A(6)=2.13	m	WT(6)=3190.033	kg I
I	LX(7)=7.65	m	A(7)=2.13	m	WT(7)=3363.214	kg I

Optimum Sonuçlar :

Kafes Kiriş Aralığı:		Asik Aralığı:		Cati Ağırlığı:		
I	LX(4)=4.20	m	A(4)=2.13	m	WT(4)=2815.274	kg I

Tablo 5.2 'nin devamı.

Iterasyon Sonuclari :

Cati Kaplamasi Agirligi=50 kg/m²

Kafes Kiris Araligi:			Asik Araligi:			Cati Agirligi:		
I	LX(1)=2.90	m	A(1)=2.13	m	WT(1)=3339.952	kg	I	
I	LX(2)=3.23	m	A(2)=2.13	m	WT(2)=3082.046	kg	I	
I	LX(3)=3.66	m	A(3)=2.13	m	WT(3)=2943.000	kg	I	
I	LX(4)=4.20	m	A(4)=2.13	m	WT(4)=2815.274	kg	I	
I	LX(5)=4.95	m	A(5)=2.13	m	WT(5)=2795.089	kg	I	
I	LX(6)=6.01	m	A(6)=2.13	m	WT(6)=2939.043	kg	I	
I	LX(7)=7.65	m	A(7)=2.13	m	WT(7)=3363.214	kg	I	

Optimum Sonuclar :

Kafes Kiris Araligi:			Asik Araligi:			Cati Agirligi:		
I	LX(5)=4.95	m	A(5)=2.13	m	WT(5)=2795.089	kg	I	

Iterasyon Sonuclari :

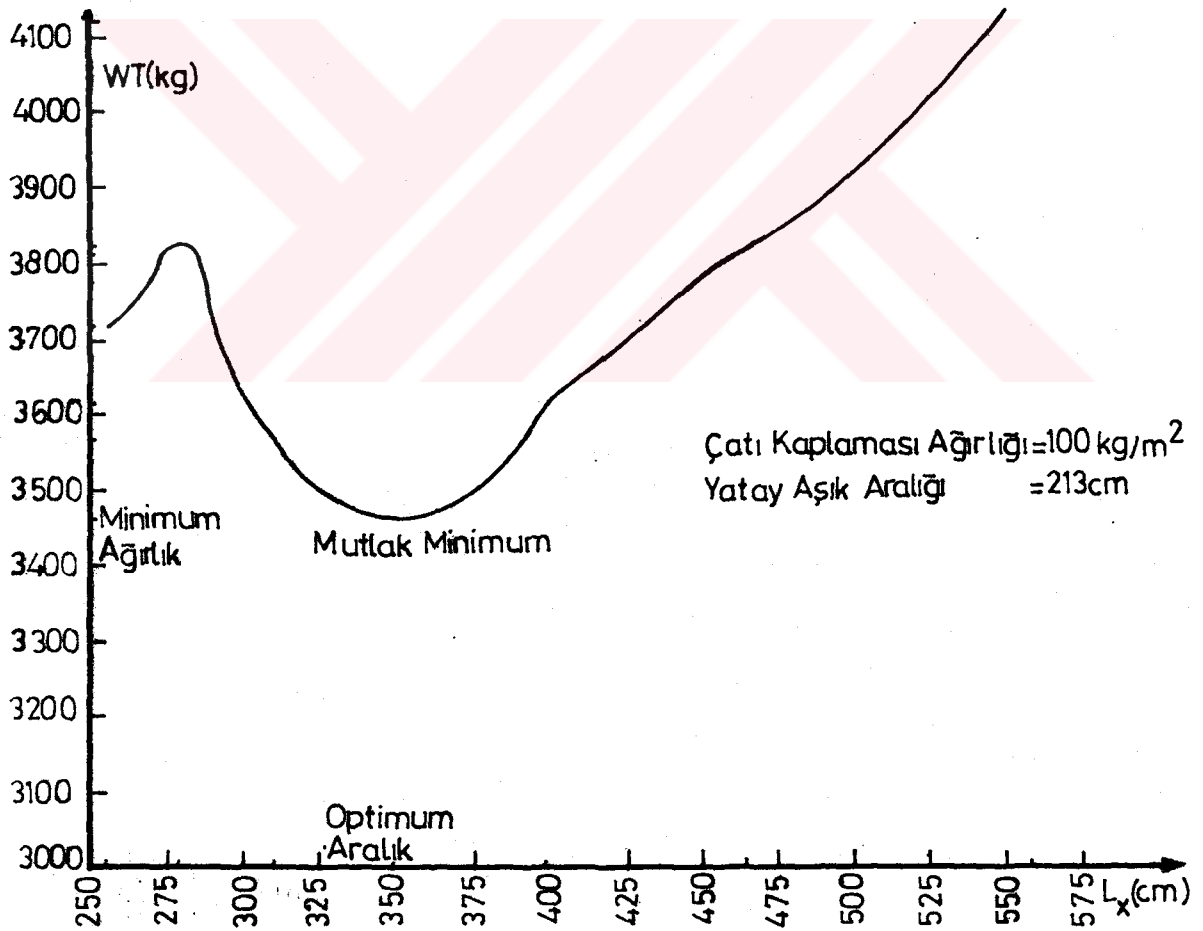
Cati Kaplamasi Agirligi=25 kg/m²

Kafes Kiris Araligi:			Asik Araligi:			Cati Agirligi:		
I	LX(1)=2.90	m	A(1)=2.13	m	WT(1)=3339.952	kg	I	
I	LX(2)=3.23	m	A(2)=2.13	m	WT(2)=3082.046	kg	I	
I	LX(3)=3.66	m	A(3)=2.13	m	WT(3)=2943.000	kg	I	
I	LX(4)=4.20	m	A(4)=2.13	m	WT(4)=2685.094	kg	I	
I	LX(5)=4.95	m	A(5)=2.13	m	WT(5)=2557.369	kg	I	
I	LX(6)=6.01	m	A(6)=2.13	m	WT(6)=2678.683	kg	I	
I	LX(7)=7.65	m	A(7)=2.13	m	WT(7)=2845.277	kg	I	

Optimum Sonuclar :

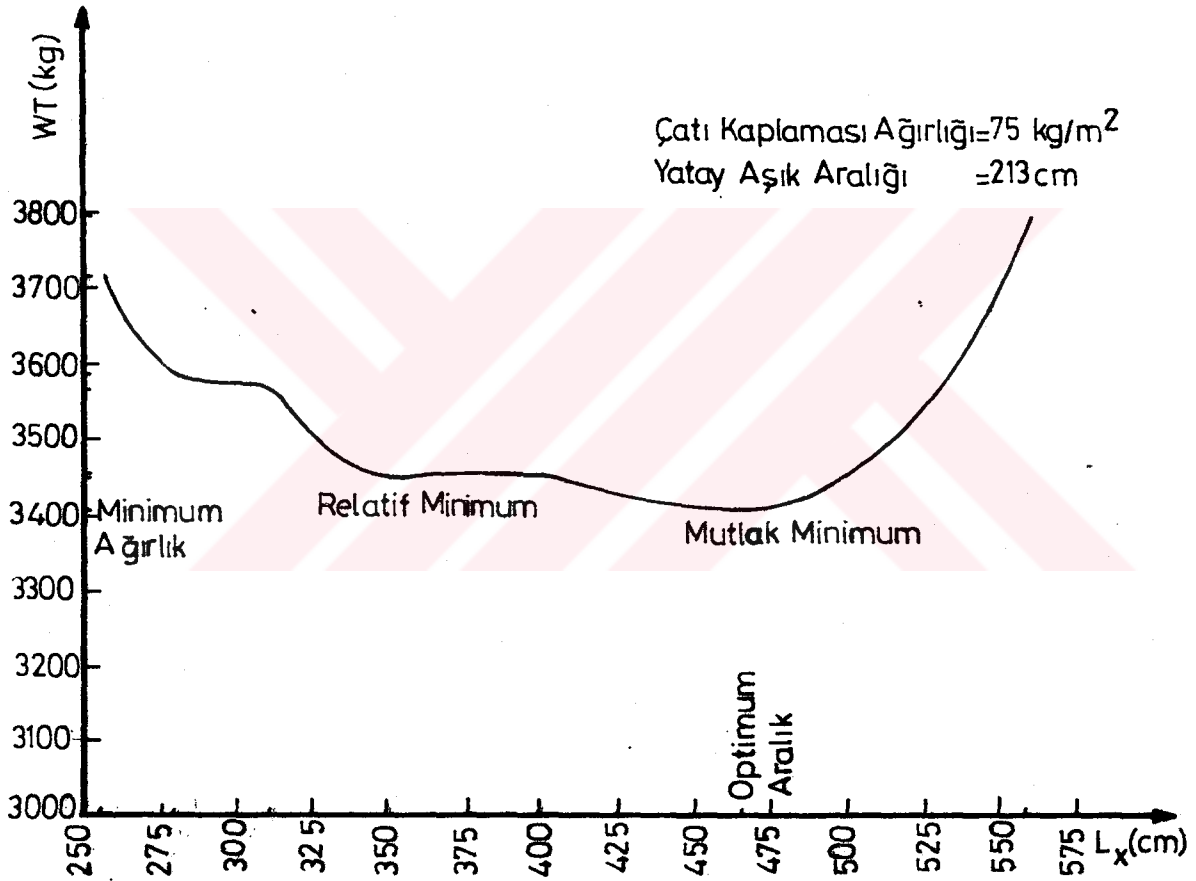
Kafes Kiris Araligi:			Asik Araligi:			Cati Agirligi:		
I	LX(5)=4.95	m	A(5)=2.13	m	WT(5)=2557.369	kg	I	

Ayrıca Şekil -5.2 'de basit kiriş tipi aşıklar için, 100 kg/m^2 çatı kaplaması ağırlığına ve ağırlık fonksiyonunun yedi iterasyon için ve kafes kiriş aralıklarına göre değişen değerlerini gösteren eğri görülmektedir. Bu eğride düşey ekseninde toplam çatı ağırlıkları kg cinsinden ve yatay ekseninde ise, kafes kiriş aralıkları cm cinsinden gösterilmektedir. Bu eğrilerin hepsi yatay aşık aralığının sabit olmasına göre çizilmiştir. Eğriler üzerinde minimum çatı ağırlığı, eğrinin mutlak minimum noktası ve optimum kafes kiriş aralığı gösterilmiştir. Optimum aşık aralığı ise, üst başlık düğüm noktaları arasındaki yatay mesafe alınmıştır.



Şekil -5.2 Basit Kiriş Tipi Aşıklar İçin, 100 kg/m^2 Çatı Kaplaması Ağırlığına ve Kafes Kiriş Aralıklarına Göre, Toplam Çatı Ağırlığının Değişimini Gösteren Eğri

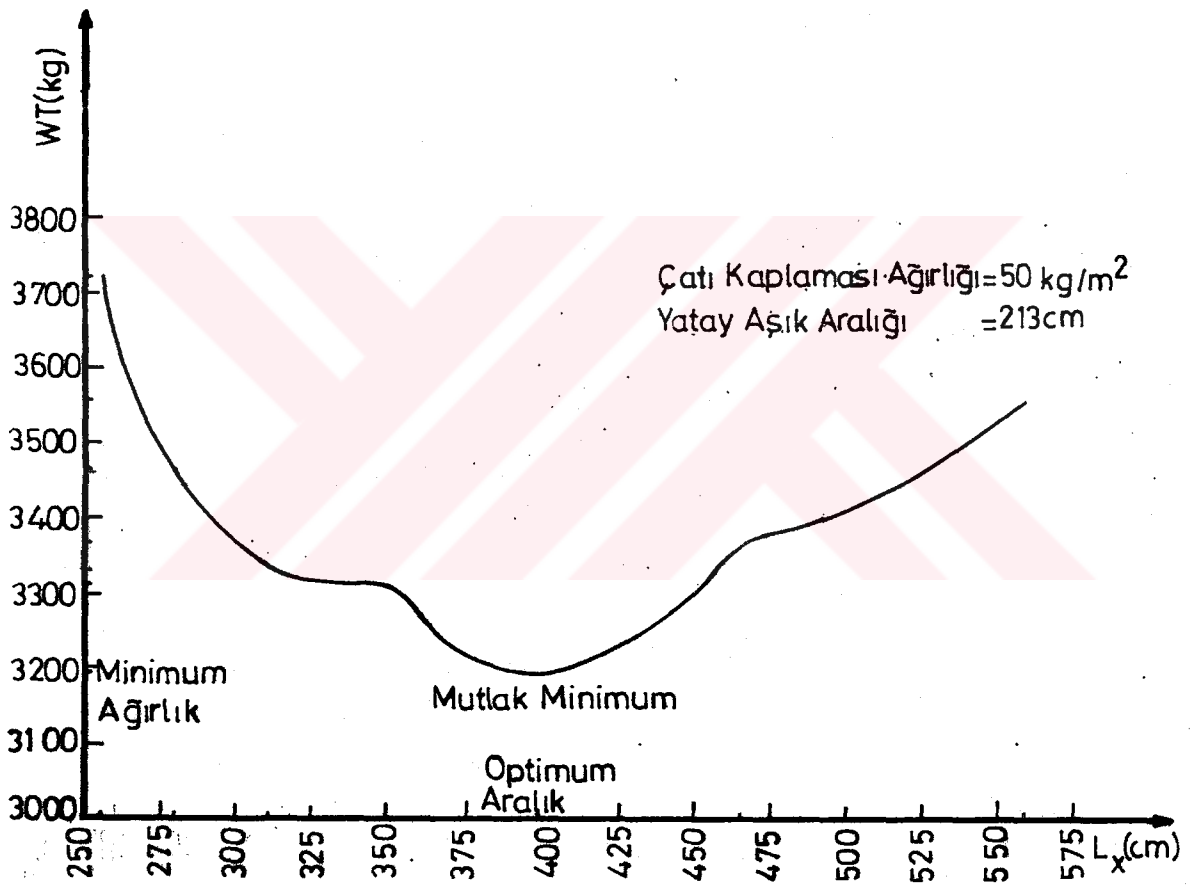
Şekil -5.3, 5.4 ve 5.5 ise benzer şekilde basit kiriş tipi aşıklar için, sırayla 75, 50, 25 kg/m² 'lik çatı kaplaması ağırlığına ve kafes kiriş aralıklarına göre, ağırlık fonksiyonunun değişimini gösteren eğriler.



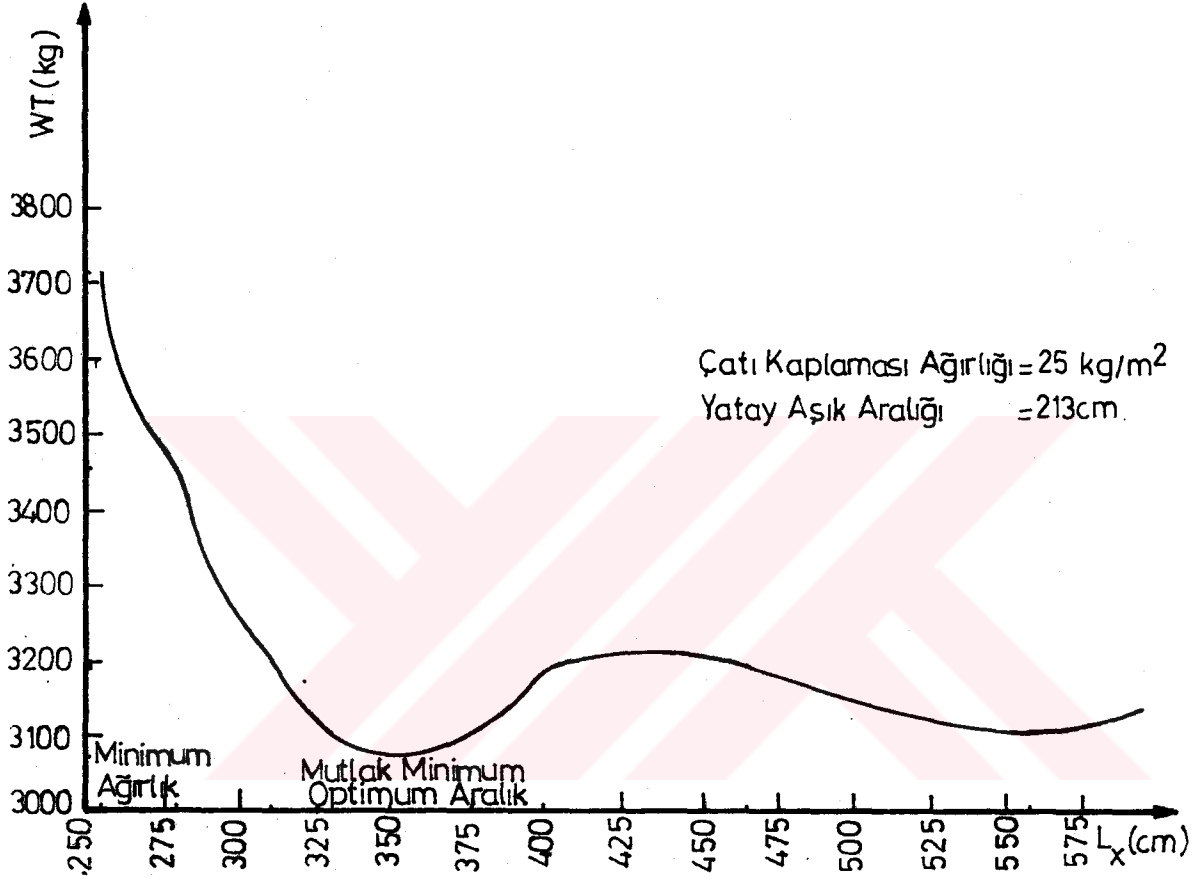
Şekil -5.3 Basit Kiriş Tipi Aşıklar İçin, 75 kg/m² Çatı Kaplaması Ağırlığına ve Kafes Kiriş Aralıklarına Göre, Toplam Çatı Ağırlığının Değişimini Gösteren Eğri

Bu şekillerden görüleceği gibi, optimum kafes kiriş aralıkları, Şekil -5.2 için 3,50 m, Şekil-5.3 için 4,67 m, Şekil-5.4 için 4,00 m ve Şekil -5.5 için ise 3,50 m olduğu görülmektedir.

Bunlara bağılı olarak ortalama optimum kafes kiriş aralığı ise, yaklaşık olarak 4,00 m 'dir. Buna göre basit kiriş tipi aşıklarda kafes kiriş aralığı olarak 3,50 m - 4,75 m arasında bir değer alınması halinde optimum kafes kiriş aralığına yakın bir değer seçilmiş olur.



Şekil -5.4 Basit Kiriş Tipi Aşıklar İçin 50 kg/m^2 Çatı Kaplaması Ağırlığına ve Kafes Kiriş Aralıklarına Göre, Toplam Çatı Ağırlığının Değişimini Gösteren Eğri

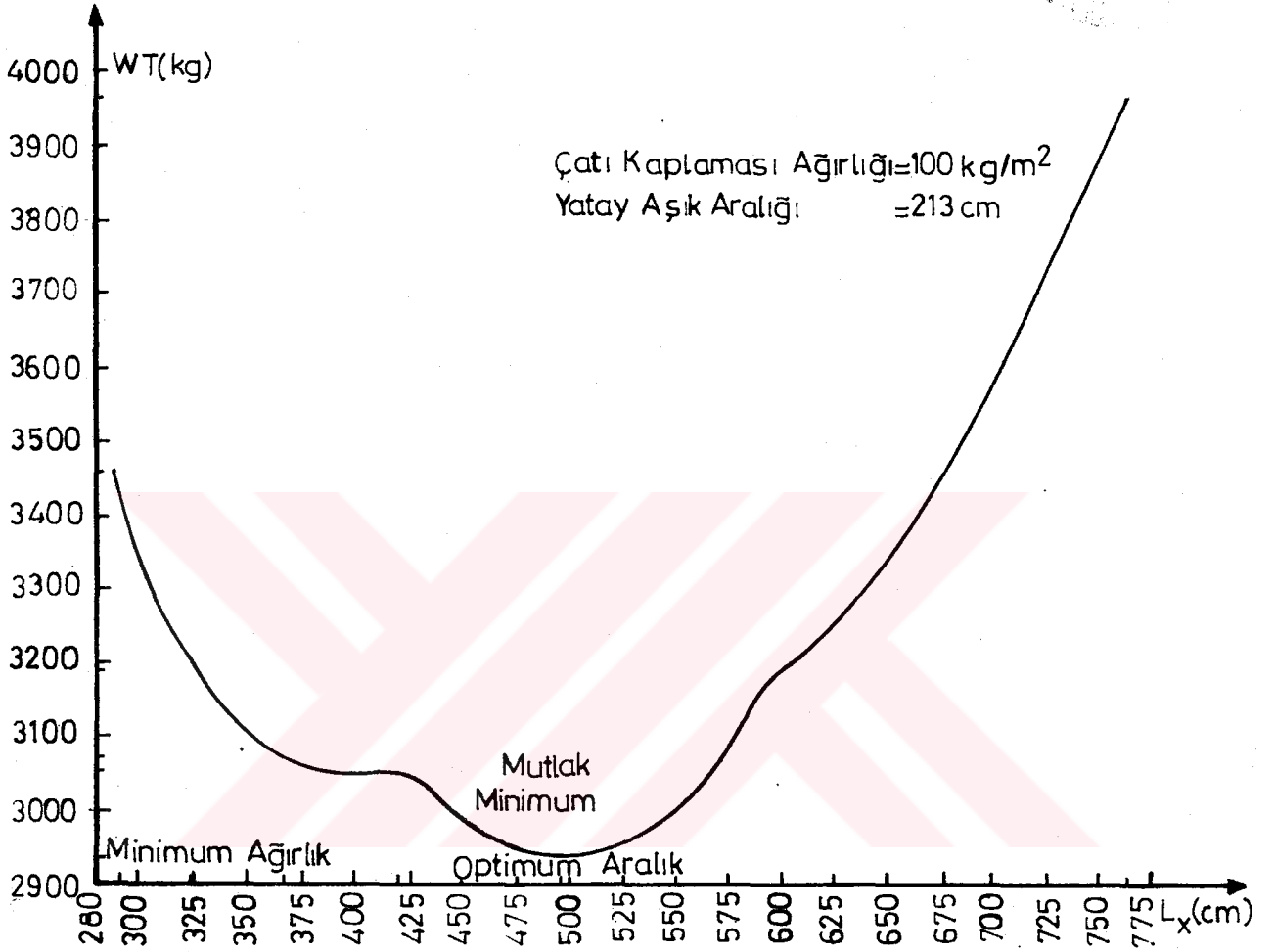


Şekil -5.5 Basit Kiriş Tipi Aşıklar İçin, 25 kg/m² Çatı Kaplaması Ağırlığına ve Kafes Kiriş Aralıklarına Göre, Toplam Çatı Ağırlığının Değişimini Gösteren Eğri

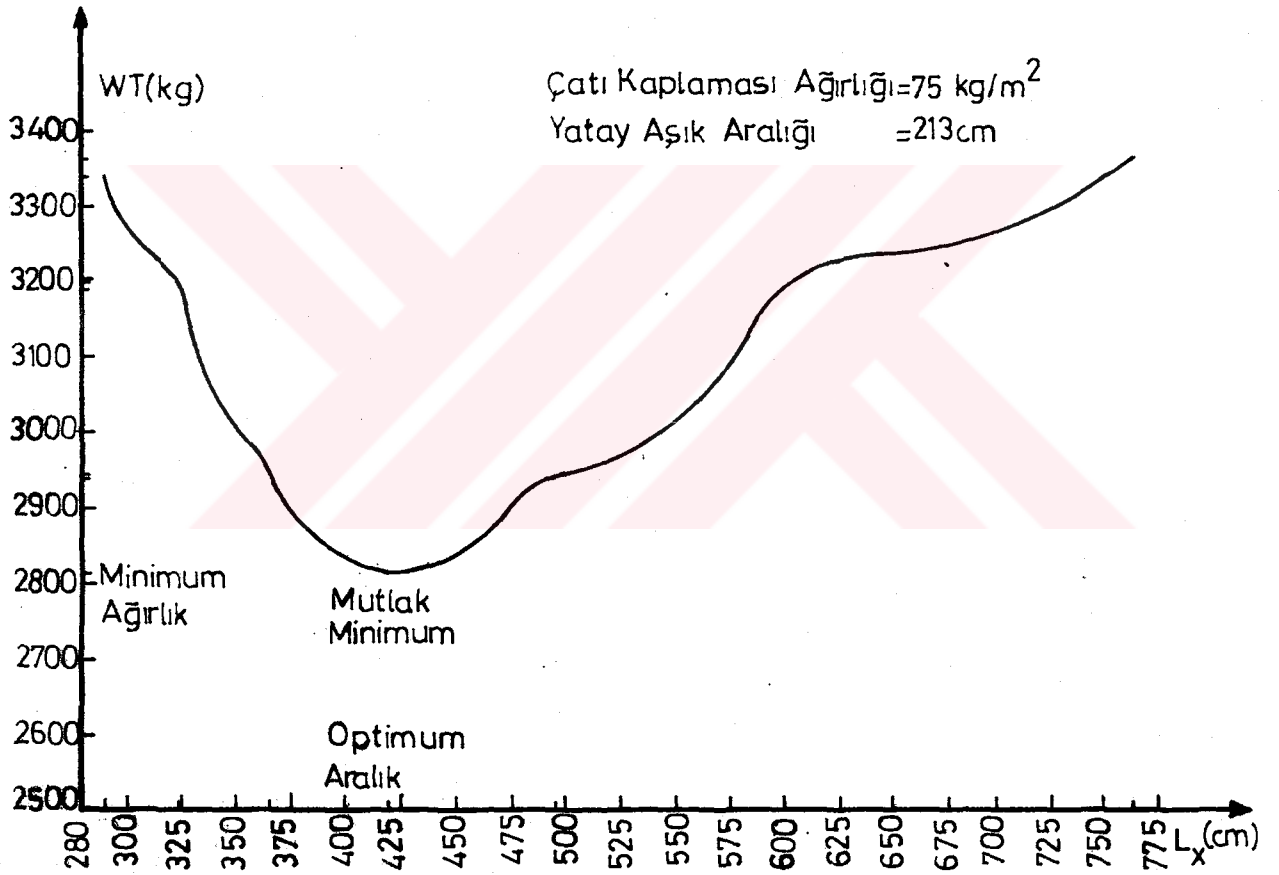
Benzer şekilde mütemadi kiriş aşıklarda da, basit kiriş tipi aşıklarda olduğu gibi iterasyon sonuçları eğriler halinde gösterilmiştir. Bu eğriler çatı kaplamasının dört değişik (100, 75, 50, 25 kg/m²) ağırlığına göre çizilmiştir. Yine dikey ekseninde toplam çatı ağırlıkları kg olarak, yatay ekseninde ise kafes kiriş aralıkları cm cinsinden gösterilmiştir. Bu dört eğri

incelendiğinde görüleceği gibi, optimum kafes kiriş aralıkları, Şekil -5.6 için 4,95 m, Şekil -5.7 için 4,20 m, Şekil -5.8 için 4,95 m ve Şekil -5.9 için ise, 4,95 m olduğu görülmektedir. Bunlara bağlı olarak optimum kafes kiriş aralığı ise yaklaşık olarak 4,75 m 'dir. Buna göre mütemadi kiriş tipi aşıklarda kafes kiriş aralığı olarak 4,00 - 5,00 m arasında bir değer alınması halinde optimum kafes kiriş aralığına yakın bir değer seçilmiş olur. Gerber kirişi aşıklarda da optimum kafes kiriş aralıkları olarak mütemadi kiriş tipi aşıklardakine yakın sonuçlar alınabilir.

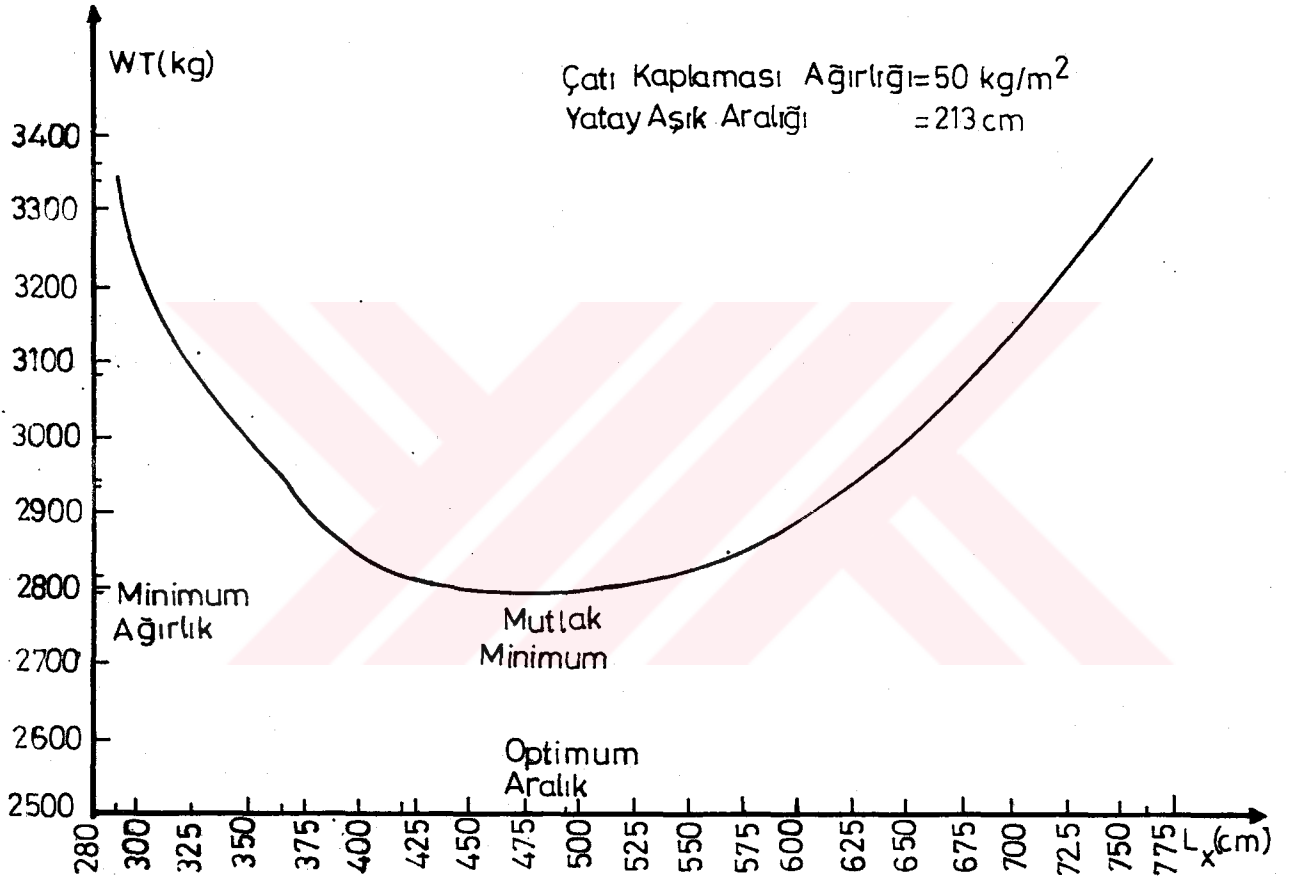
Eğrilerden görüldüğü gibi, ağırlık fonksiyonları Lineer değildirler ve optimum kafes kiriş aralıklarına karşılık gelen noktalarda ağırlık fonksiyonunun mutlak minimum değerleri mevcuttur. Bu noktalardaki teğetlerinin eğimi ise sıfırdır.



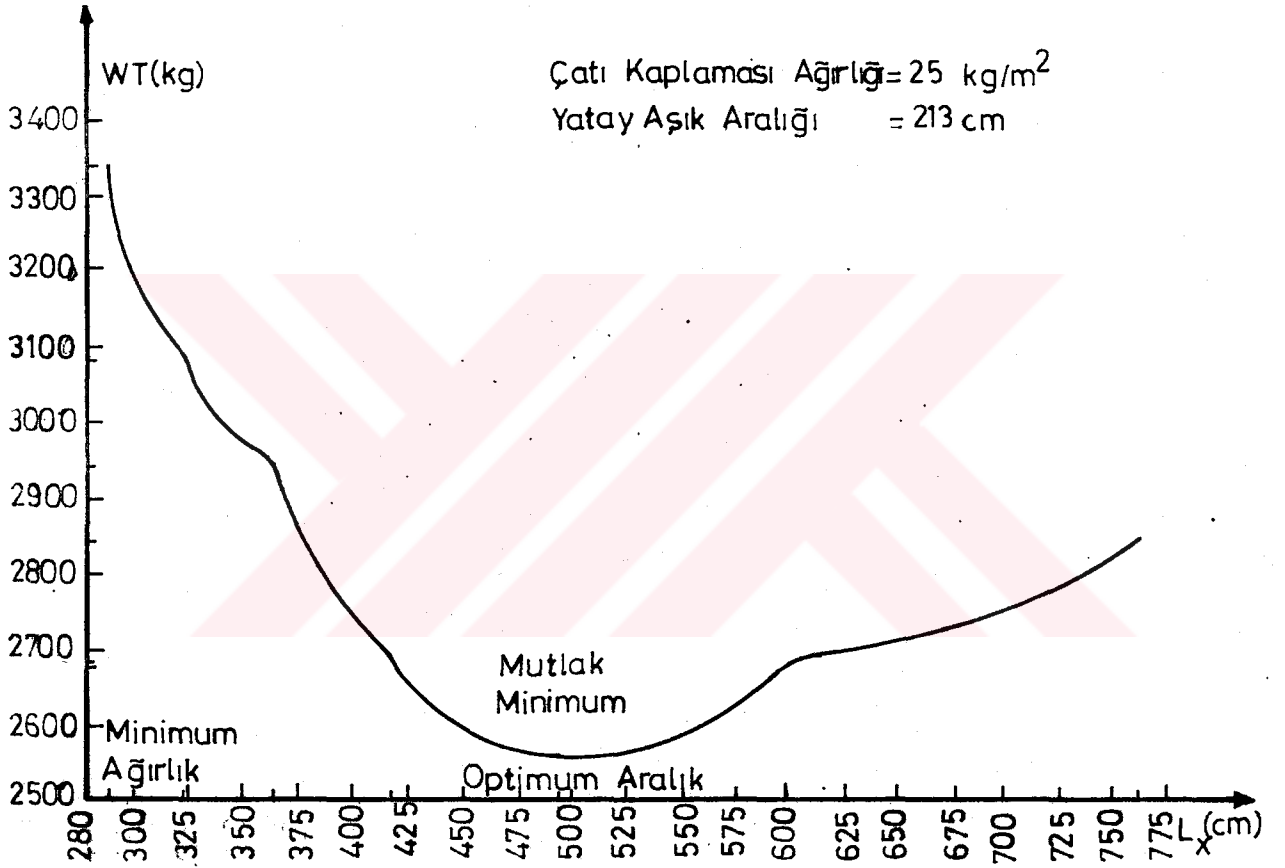
Şekil -5.6 Mütamadı Kiriş Tipi Aşıklar İçin, 100 kg/m^2 Çatı Kaplaması Ağırlığına ve Kafes Kiriş Aralıklarına Göre, Toplam Çatı Ağırlığının Değişimini Gösteren Eğri



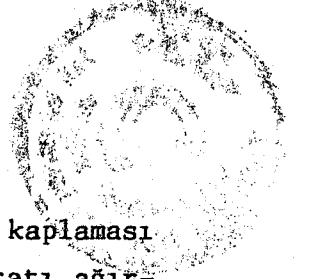
Şekil -5.7 MÜtemadi Kiriş Tipi Aşıklar İçin, 75 kg/m^2 Çatı Kaplaması Ağırlığına ve Kafes Kiriş Aralıklarına Göre, Toplam Çatı Ağırlığının Değişimini Gösteren Eğri



Şekil -5.8 Müttemadi Kiriş Tipi Aşıklar İçin, 50 kg/m^2 Çatı Kaplaması Ağırlığına ve Kafes Kiriş Aralıklarına Göre, Toplam Çatı Ağırlığının Değişimini Gösteren Eğri

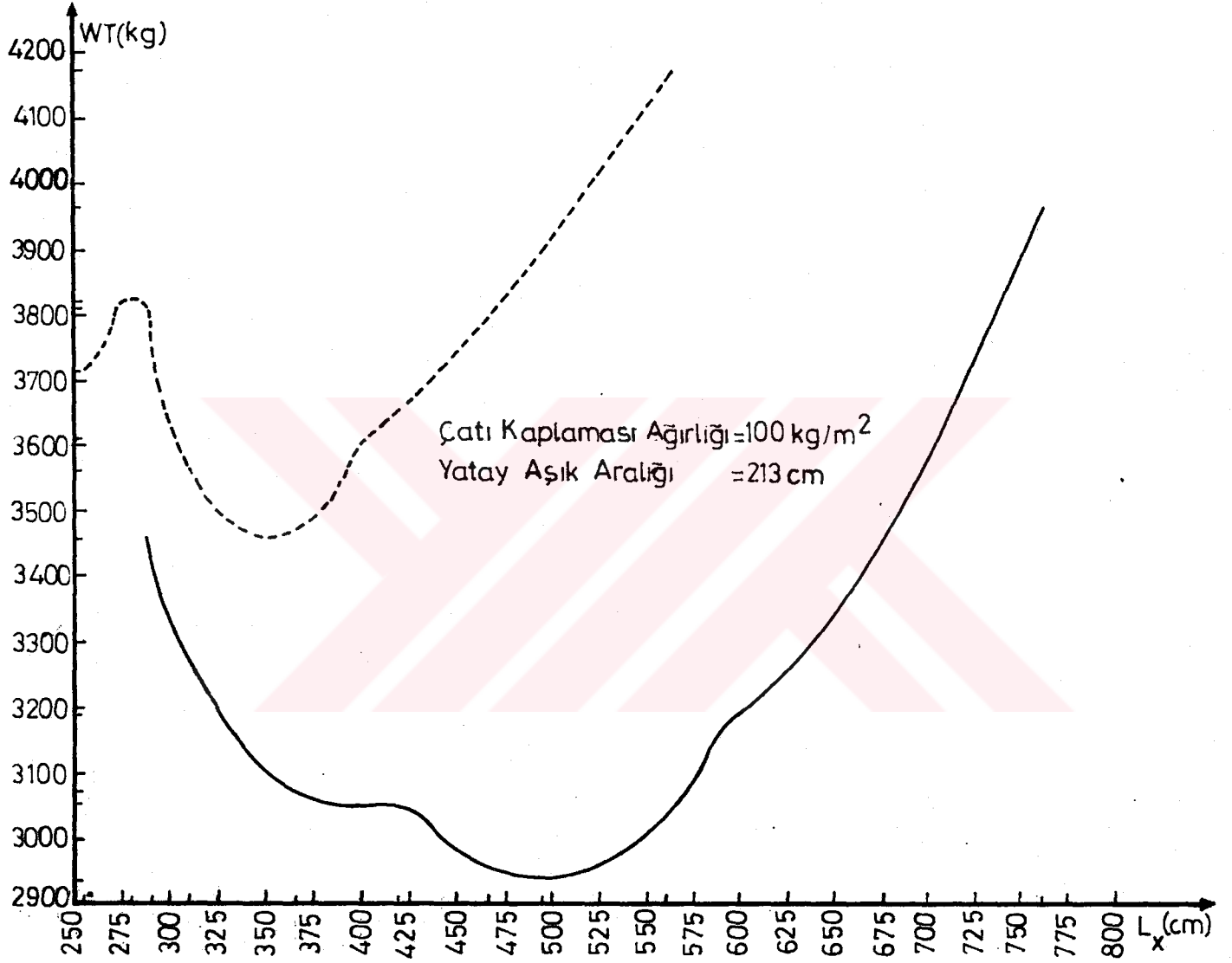


Şekil -5.9 MÜtemadi Kiriş Tipi Aşıklar İçin, 25 kg/m²
Çatı Kaplaması Ağırlığına ve Kafes Kiriş
Aralıklarına Göre, Toplam Çatı Ağırlığının
Değişimini Gösteren Eğri



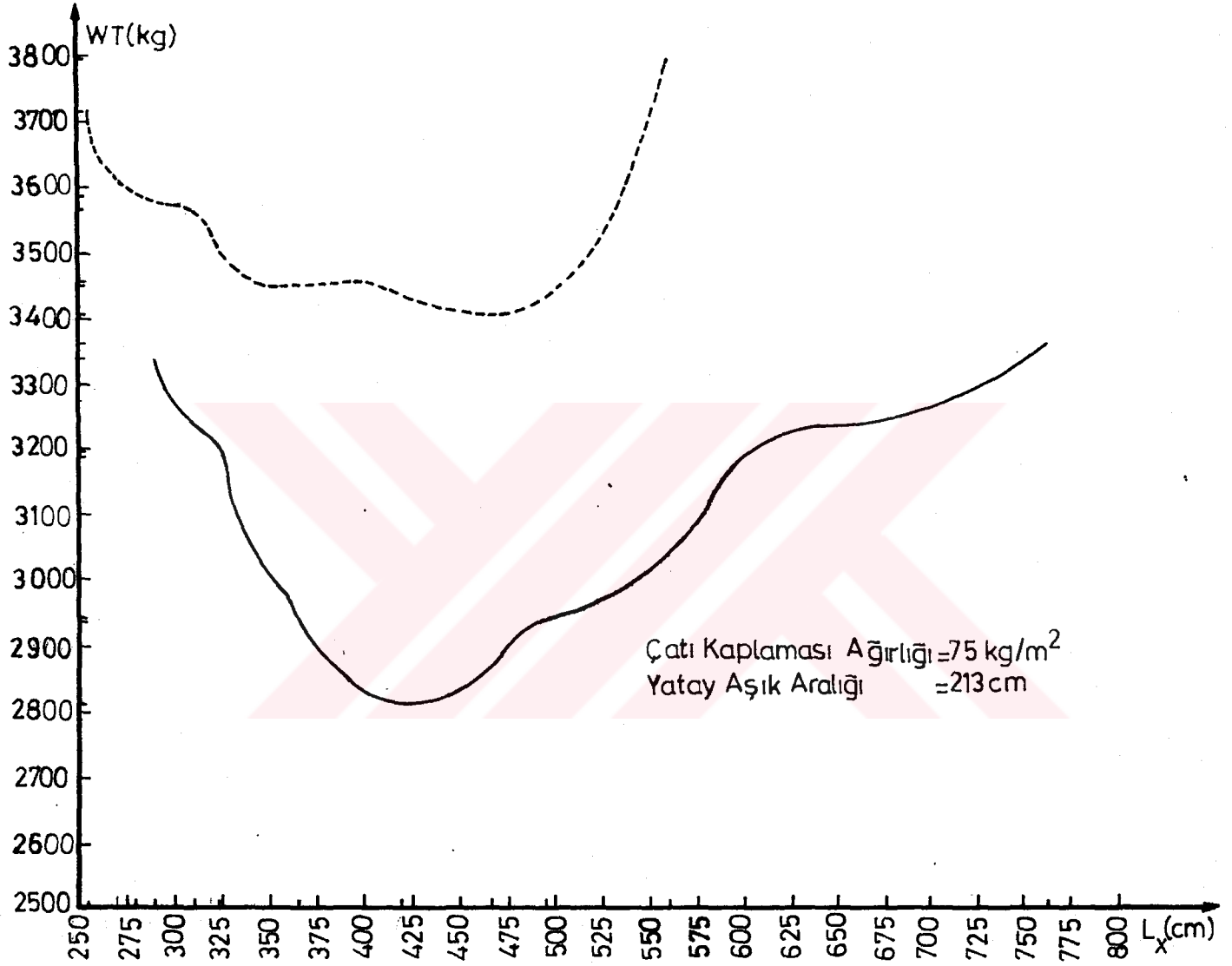
Basit kiriş ve mütemadi kiriş tipi aşıklar için, çatı kaplaması ağırlıklarına ve kafes kiriş aralıklarına göre, toplam çatı ağırlıklarının değişimlerini birlikte gösteren eğriler Şekil-5.10, 5.11, 5.12 ve 5.13 'de gösterilmiştir. Her şekildeki eğriler, yedi iterasyon değerlerine ve çatı kaplamasının dört değişik ($100, 75, 50, 25 \text{ kg/m}^2$) ağırlığına göre çizilmiştir.

Düşey eksen toplam çatı ağırlıkları "kg" olarak, yatay eksen ise kafes kiriş aralıkları "cm" cinsinden gösterilmiştir. Bu dört şekil incelendiği zaman görüleceği gibi, basit kiriş ve mütemadi kiriş tipi aşıklar için, optimum kafes kiriş aralıkları sırayla, Şekil-5.10 için 3,50 4,95 m, Şekil-5.11 için 4,67 4,20 m, Şekil-5.12 için 4,00 4,95 m ve Şekil-5.13 de ise 3,50 4,95 m olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre şekillerdeki eğrilerin mutlak minimum noktaları arasında yaklaşık 1,00 m fark vardır. Yani basit kiriş tipi aşıklara göre, mütemadi kiriş tipi aşıklarda optimum kafes kiriş aralıkları 1,00 m da uzak mesafede meydana gelmektedir. Şekillerdeki minimum toplam çatı ağırlıkları karşılaştırıldığında basit kiriş tipi aşıkların, mütemadi kiriş tipi aşıklara göre ortalama olarak 500 kg daha ağır olduğu görülmektedir. Buna göre mütemadi kiriş tipi aşık kullanmak daha ekonomiktir.



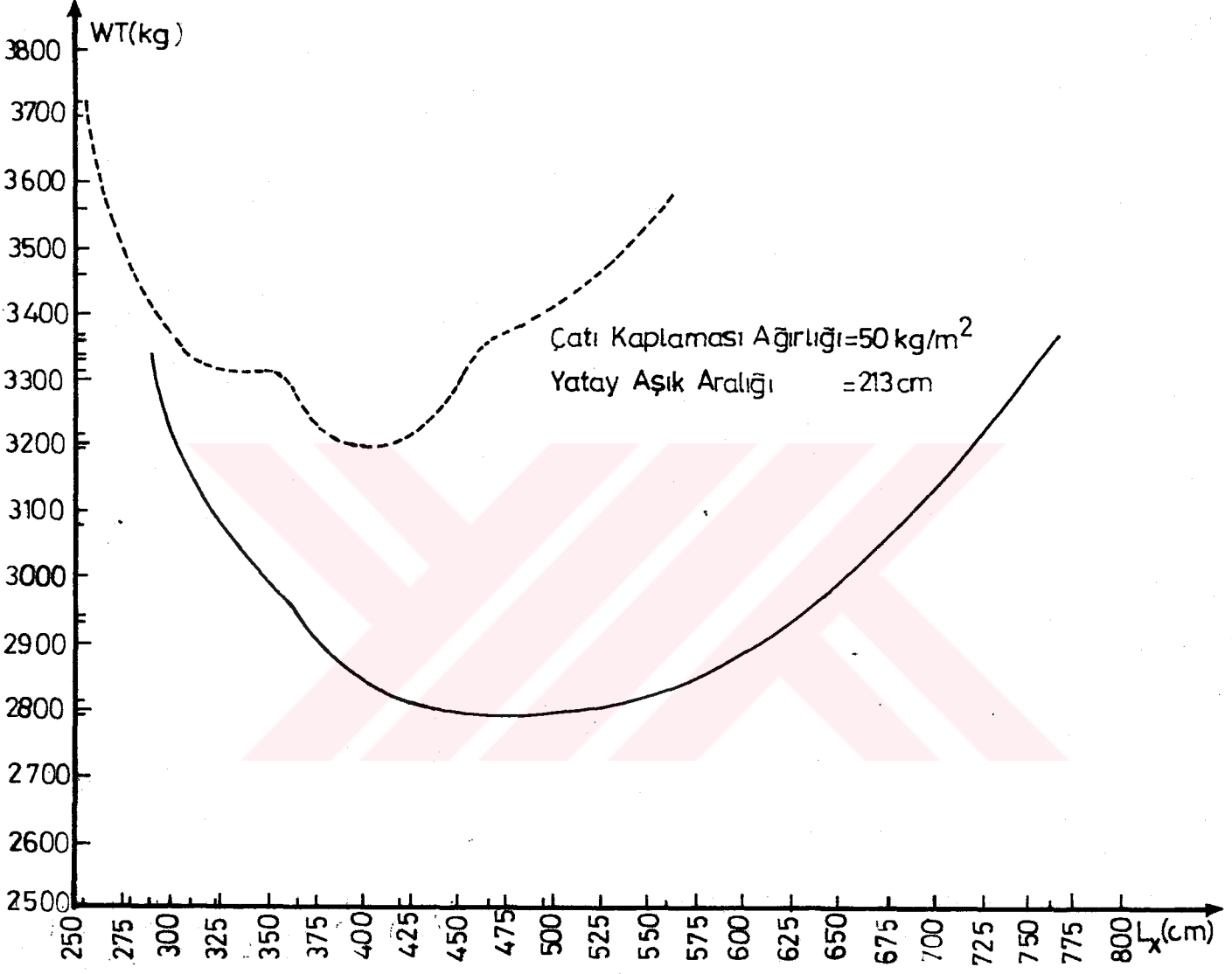
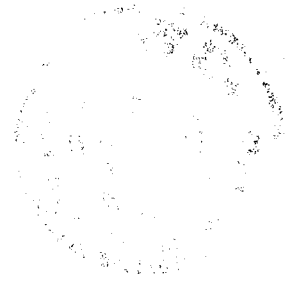
Şekil-5.10 Basit Kiriş ve Mütemudi Kiriş Tipi Aşıklar İçin .
100 kg/m^2 Çatı Kaplaması Ağırlığına ve Kafes Kiriş
Aralıklarına Göre, Toplam Çatı Ağırlıklarının Değişimlerini Gösteren Eğriler

———— Basit Kiriş Tipi Aşıklar
———— Mütemudi Kiriş Tipi Aşıklar



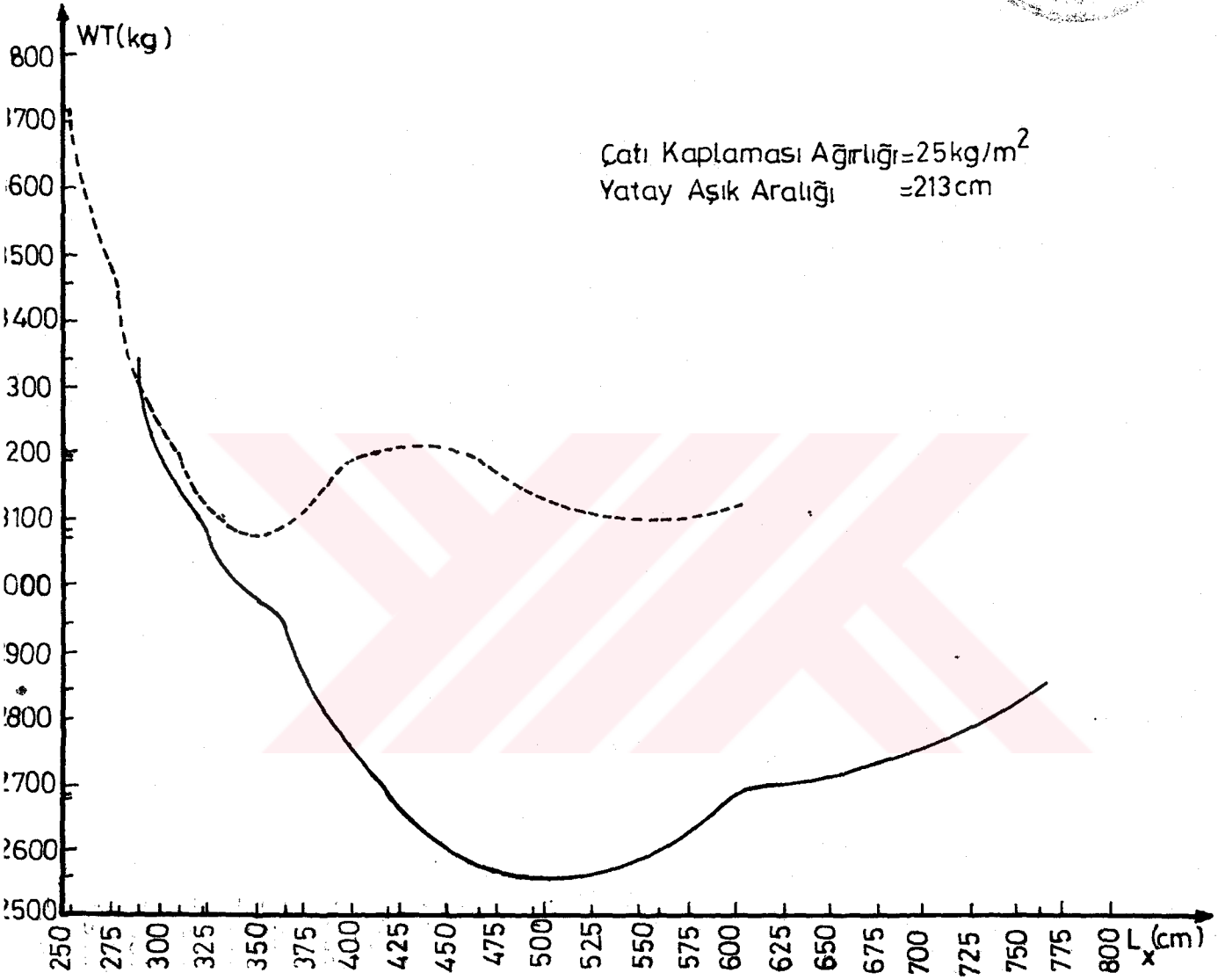
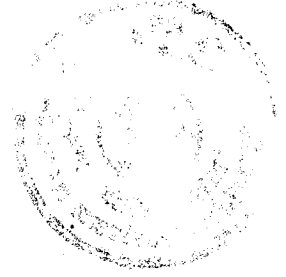
Şekil-5.11 Basit Kiriş ve MÜtemadi Kiriş Tipi Aşıklar İçin, 75 kg/m² Çatı Kaplaması Ağırlığına ve Kafes Kiriş Aralıklarına Göre, Toplam Çatı Ağırlıklarının Değişimlerini Gösteren Eğriler

----- Basit Kiriş Türündeki Aşıklar
———— MÜtemadi Kiriş Türündeki Aşıklar



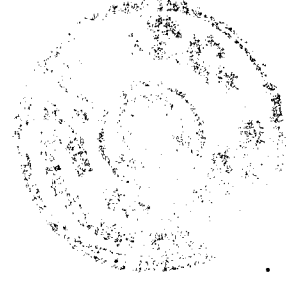
Şekil-5.12 Basit Kiriş ve Müttemadi Kiriş Tipi Aşıklar İçin, 50 kg/m² Çatı Kaplaması Ağırlığına ve Kafes Kiriş Aralıklarına Göre, Toplam Çatı Ağırlıklarının Değişimlerini Gösteren Eğriler

----- Basit Kiriş Tipi Aşıklar
 ————— Müttemadi Kiriş Tipi Aşıklar



Şekil -5.13 Basit Kiriş ve Müttemadi Kiriş Tipi Aşıklar İçin,
25 kg/m^2 Çatı Kaplaması Ağırlığına ve Kafes Kiriş
Aralıklarına Göre, Toplam Çatı Ağırlıklarının Değişimlerini Gösteren Eğriler

- Basit Kiriş Türündeki Aşıklar
———— Müttemadi Kiriş Türündeki Aşıklar



6. SONUÇ

Çelik çatı ağırlığını minimum yapacak şekilde, kafes kiriş ve aşık aralıklarının optimum tespiti üzerine bir çalışma yapılmış ve bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu geliştirilen bilgisayar programı ile her çeşit çelik çatının optimizasyonu, kafes kiriş izostatik olmak şartıyla kolaylıkla yapılabilir. Bilgisayar programı izostatik kafes kirişler için hazırlanmış olmasına rağmen, statik hesaplarda yapılacak düzenlemelerle hiperstatik kafes kirişlere de uygulanabilir. Bu çalışmada kafes kiriş çubuk kuvvetleri düğüm noktaları metoduna göre bulunmuştur.

Yapılan çalışmada çelik çatının optimizasyonu bir bütün olarak ele alınmış ve böylece aşıkların ve kafes kirişlerin toplam çatı ağırlığına etkileri, çatı kaplaması ağırlıklarına ve aşık türlerine göre incelenmiş ve toplam çatı ağırlığını minimum yapan kafes kiriş ve aşık aralıklarının optimum tespiti yapılmıştır. Çatının toplam ağırlığını en çok etkileyen kafes kiriş aralığı dolayısıyla aşık boyu ve kafes kiriş sayısı olduğu görülmüştür. Kafes kiriş aralığı ve sayısı arasındaki optimum denge sağlandığı anda minimum toplam çatı ağırlığı bulunur. Bu da optimum kafes kiriş aralığının bulunmasıyla olur.

Bu çalışmada, basit kiriş ve mütemadi kiriş aşık türüne ve dört çeşit çatı kaplaması ağırlıklarına (25, 50, 75, 100 kg/m²) göre



örnek problemin optimizasyonu yapılmış ve sonuçta optimum sonuçlar bulunmuştur ve bu sonuçlara göre, çatının toplam ağırlığını en çok etkileyen kafes kiriş aralıklarına göre toplam çatı ağırlıklarının değişimi eğrilerle gösterilmiştir. Bu eğriler aşık türlerini ve çatı kaplaması ağırlıklarını göz önünde bulundurarak düzenlenmiştir. Ayrıca aşık türlerine göre düzenlenen eğriler birlikte gösterilerek karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu eğriler incelendiğinde, çatı kaplaması ağırlıklarına (100, 75, 50, 25 kg/m²) göre sırayla, basit kirişlerde optimum kafes kiriş aralıkları, 3,50, 4,67, 4,00 ve 3,50 m, mütemadi kirişlerde ise, 4,95, 4,20, 4,95 ve 4,95 m olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre kafes kiriş aralıkları, basit kiriş ve mütemadi kiriş türünde aşıklarda sırayla, 3,50 - 4,75 m ve 4,00 - 5,00 m arasında bir değer alınması halinde optimum kafes kiriş aralığına yakın bir değer seçilmiş olur.

Şekillerdeki minimum toplam çatı ağırlıkları karşılaştırıldığında basit kiriş tipi aşıkların mütemadi kiriş tipi aşıklara göre ortalama olarak % 15 daha ağır olduğu görülmüştür. Buna göre mütemadi kiriş tipi aşık kullanmak daha ekonomiktir.

Bu çalışmada, aşık türü fazla olduğu için, Gerber kirişi ve destekli kiriş aşıklar incelenememiştir. Ayrıca Gerber kirişi mütemadi kirişe benzer olduğu için, destekli kirişler ise, bütün açıklıklarda aynı profil kullanmak daha ekonomik ve pratik olduğu için örnek problemin çözümünde basit kiriş ve mütemadi kiriş tipi aşıklar kullanılmıştır.

Kafes kiriş ve aşık aralıkları bağımsız değişken olarak alındığından, değişik kafes kiriş türleri incelenmemiş ve sadece bir çeşit kafes kiriş türüne göre optimizasyon yapılmıştır. Bunun sebebi ise, düzlem kafes kirişlerin boyutlandırılması optimizasyonunun yapılmış olmasıdır. Bundan dolayı kafes kiriş ve çatı boyutları sabit alınarak uygulamaya yönelik bir çalışma



yapılmıştır. Dolayısıyla bu çalışmanın esas noktası bir örnek problem üzerinde optimum çözümü bulmak ve diğer problemlere de uygulanabileceğini göstermektir. Muhakkak ki, çelik çatılar gibi geniş bir konunun bu çalışmada her yönüyle incelenmesi mümkün değildir. Fakat asıl önemli olan, bilgisayarlar için yazılan program genel olması gerektiği için, bu çalışmada geliştirilen bilgisayar programı ile çelik çatı sistemlerinin optimum boyutlandırılmasının kolaylıkla yapılabilir olmasıdır.

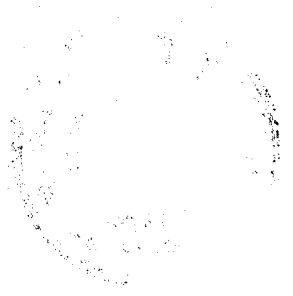
Ülkemizde çeliğin pahalı bir yapı malzemesi olması, sarfiyatı sırasında toplam ağırlığına çok dikkat edilmesini ve toplam ağırlığının minimum bir değerde kalmasını gerektirir. Yapılan çalışmada çelik çatılar için en çok istenen m^2 'ye düşen çelik ağırlığının minimum olması kafes kiriş ve aşık aralıklarının optimum tespiti ile sağlanmış olur. Ayrıca hazırlanan bilgisayar programında hesaplamalar profillerin tablo değerlerine göre düzenlendiği için pratikte de kolaylıkla uygulaması yapılabilir. Bu sayede aşıklar ve kafes kirişler için her istenilen profil çeşidi kullanılabilir.

Bu çalışmada optimum çözüm, nümerik optimizasyon metodlarından ve doğrudan araştırma tekniklerinden "Patern Araştırma Metodu" ile yapılmıştır. Bu metod çelik çatıların optimizasyonuna uygulanacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Nümerik optimizasyon tekniklerinin uygulanması bilgisayarlar yardımı ile olduğundan daha modern kapasitesi fazla ve hızlı bilgisayarların geliştirilmesi ile bu metodların uygulanması daha kolay olacaktır.

Sonuç olarak, çelik çatıların optimizasyonu üçgen kafes kirişine ve basit kiriş ve mütemadi kiriş aşıklara göre yapılmıştır ve pratiğe yönelik bir çalışma olmuştur. Bu çalışmada geliştirilen bilgisayar programı ile her çeşit çelik çatının optimizasyonu kolaylıkla yapılabilir. Fakat çelik çatılar konusu çok geniş bir konu olduğu için tamamının optimizasyonunu yapmak bu çalış-

ma içine sığdırılamamıştır. Buna rağmen, bu çalışmada göz önünde bulundurulmayan hususların da dikkate alınarak her çeşit çelik çatının optimizasyonunu kolaylıkla yapabilen bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve uygulamaya yönelik bir çalışma yapılmıştır.

* * *



```
10 CLS
15
20 | RIFAT SEZER |
30 | SELCUK UNIVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ |
40 | İNŞAAT ANABİLİM DALI YAPI PROGRAMI YÜKSEK LİSANS ÖĞRENCİSİ |
45
50 CLS
55 LPRINT "=====
60 LPRINT "CELİK CATILARDA KAFES KİRİS VE ASİK ARALIKLARININ OPTİMUM TESBİTİ:"
70 LPRINT "=====
80 LPRINT
90 PI=ATN(1)*4/180
100 READ H,B1EM,B2EM,E,Q,M,C,N1,N2,ACI,AZA,CKZA,KKZA,N,N3,N4,LS,LK,LK1,T$,E$,K$,A$,C$,DK,A1
110 DATA 1076,1400,1600,2.1e10,80,8,6,1,2,19.65,9.5,50,8.52,7,1,7,28.30,8.52,8.82,8,1/2.8,AGIR (50 kg),
BASIT KİRİS,St 37,0.30,2.13
130 LPRINT "Kafes Kiris Tipi :";T$
140 LPRINT "Cati egimi :";E$
150 LPRINT "Yapi Uzunlugu :";LS;" m"
160 LPRINT "Kafes Kiris Acikligi :";LK;" m"
170 LPRINT "Duvar Kalinligi :";DK;" m"
180 LPRINT "Yapi Genisligi :";LK1;" m"
190 LPRINT "Cati Kaplamasi :";K$
200 LPRINT "Asik Turu :";A$
210 LPRINT "Celik Cinsi :";C$
215 LPRINT "=====
230 INPUT "LX(m),Z :";LX,Z
240 LPRINT"İterasyon No: ";Z
250 LPRINT:LY=LX/2
260 LPRINT "=====
270 LPRINT "Celik Cati Agirliginin Hesabi:"
280 LPRINT "=====
290 LPRINT
310 LPRINT "=====
320 LPRINT "1-Asik Agirliginin Hesabi:"
330 LPRINT "=====
340 LPRINT
345 DIM TEKRAR(2):FOR TEKRAR=1 TO 2
350 CLS
360 GOTO 540
380 INPUT "Bolgenin Rakimi (m) :";H
390 INPUT "Catinin Boyu (m) :";LS
400 IF TEKRAR=1 THEN PRINT "Orta "; ELSE PRINT "Mahya ve Damlalik ";
410 INPUT "Orta Asik Sayisi :";N1
420 INPUT "Kenar Asik Sayisi :";N2
430 INPUT "Catinin Egim Acisi (derece) :";AL
440 INPUT "Asik Zati Agirligi (kg/m2) :";AZA
450 INPUT "Ruzgar Yuku kg/m2) :";Q
460 INPUT "Cati Kaplamasi Zati Agirligi (kg/m2) :";CKZA
470 INPUT "Yatay Asik Araligi (m) :";A1
480 INPUT "m Katsayisi :";M
490 INPUT "Asik Boyu (m) :";LX
500 INPUT "C Profil Katsayisi :";C
510 INPUT "G1em (kg/cm2) :";G1EM
520 INPUT "G2em (kg/cm2) :";G2EM
530 INPUT "Elastisite Modulu (kg/cm2) :";E
540 GOSUB 620
550 IF TEKRAR=1 THEN LPRINT"Orta Asik Hesabi:";ELSE LPRINT"Mahya ve Damlalik Asigi Hesabi:"
560 LPRINT
570 LPRINT "=====
580 LPRINT "Tablo icin Wx Degeri =";GWX;" cm3":PRINT "Tablo icin Wx degeri=";GWX;" cm3"
590 PRINT "Tablo Degerlerinin Giriniz"
```

```

10 INPUT "Profil Degerleri:G, Jx, Wx, Jy, Wy,P$ :","G,JX,WX,JY,WY,P$(TEKRAR):GX=G:JXX=JX:WXX=WX:JYX=JY:WYX=WY:PX$=P$(TEKRAR)
20 GOTO 760
30 PK=75*(H-1000)*.00
40 ALFA=ACI*PI#
50 PIK=PK*COS(ALFA)
60 RRBA=AZA/5
70 W=1.2*SIN(ALFA)*Q
80 TG=PIK+AZA+RRBA+CKZA
90 IF TEKRAR=2 THEN A1=A1/2
10 Q1=TG*A1
11 Q1X=Q1*COS(ALFA)
12 Q1Y=Q1*SIN(ALFA)
13 M1X=Q1X*LX^2/M*100
14 M1Y=Q1Y*LY^2/M*100
15 GWX=(M1X+C*M1Y)/G1EM
16 RETURN
17 G1MAX=M1X/WX+M1Y/WY
18 IF G1MAX>G1EM THEN PRINT "Profili Degistirin (1)":GOTO 600
19 QW=W*A1/COS(ALFA)
20 Q2X=Q1X+QW
21 Q2Y=Q1Y
22 MW=QW*LX^2/M*100
23 GW=MW/WX
24 G2MAX=G1MAX+GW
25 IF G2MAX>G2EM THEN PRINT "Profili Degistirin (2)":GOTO 600
26 FX=5*Q2X*LX^4/E/JX/384/1E-08
27 FY=5*Q2Y*LY^4/E/JY/384/1E-08
28 F=SQR(FX^2+FY^2)
29 FEM=LX/200*100
30 IF (F-FEM)>.01 THEN PRINT "Profili Degistirin (3)":GOTO 600
31 W6(TEKRAR)=G*LS*N1:IF TEKRAR=2 THEN W6(TEKRAR)=G*LS*N2
32 W6T=W6T+W6(TEKRAR)
33 'yazdirma Bolumu:CLS
34 LPRINT "=====
40 LPRINT "Lx      =";LX;"      m"
50 LPRINT "Ly      =";LY;"      m"
60 LPRINT "A1      =";A1;"      m"
70 LPRINT "=====
80 LPRINT "G      =";G;"      kg/m "
90 LPRINT "Profilin Cinsi =";P$(TEKRAR)
100 LPRINT "Jx      =";JX;"      cm4 "
110 LPRINT "Wx      =";WX;"      cm3 "
120 LPRINT "Jy      =";JY;"      cm4 "
130 LPRINT "Wy      =";WY;"      cm3 "
140 LPRINT "Kar Yuku =";PK;"      kg/m2"
150 LPRINT "PIK     =";PIK;"      kg/m2"
160 LPRINT "Ruzgar ve Rijitlik Baglamasi Agirligi =";RRBA;" kg/m2"
170 LPRINT "Cati Kaplamasi Zati Agirligi =";CKZA;" kg/m2"
180 LPRINT "Toplam Agirlik =";TG;"      kg/m2"
190 LPRINT "Asiga Gelen Yuk =";Q1;"      kg/m"
200 LPRINT "q1x     =";Q1X;"      kg/m"
210 LPRINT "q1y     =";Q1Y;"      kg/m"
220 LPRINT "M1x     =";M1X;"      kgcm"
230 LPRINT "M1y     =";M1Y;"      kgcm"
240 LPRINT "G1max   =";G1MAX;"      kg/cm2"
250 LPRINT "qW      =";QW;"      kg/m"
260 LPRINT "q2x     =";Q2X;"      kg/m"
270 LPRINT "q2y     =";Q2Y;"      kg/m"
280 LPRINT "MW      =";MW;"      kgcm"
290 LPRINT "GW      =";GW;"      kg/cm2"
300 LPRINT "G2max   =";G2MAX;"      kg/cm2"

```

```

1210 LPRINT "fx          =" ;FX;" cm"
1220 LPRINT "fy          =" ;FY;" cm"
1230 LPRINT "f           =" ;F;" cm"
1240 LPRINT "=====
1245 NEXT TEKRAR
1250 LPRINT "Orta asik agr. =" ;WG(1)*2;"      Kg      "P$(1)"
1260 LPRINT "Kenar Asik Agr. =" ;WG(2)*2;"      Kg      "P$(2)"
1270 LPRINT "=====
1280 LPRINT "Asik Agirligi  =" ;WGT*2;"      Kg":ASIKA=WGT*2
1290 LPRINT "=====
1300 LPRINT
1320 LPRINT "=====
1330 LPRINT "2-Kafes Kiris Agirliginin Bulunmasi:"
1340 LPRINT "=====
1350 LPRINT
1360 GOTO 1390
1370 INPUT "Kafes Kiris Agirligi (kg/m2) : ",KKZA
1380 INPUT "Catinin Eni (m) : ",LK
1390 GZ=CKZA+AZA+RRBA+KKZA
1400 FC=LK*LX
1410 PZ=FC+GZ
1420 PZD=PZ/(N1+1)/2
1430 PZK=PZD/2
1440 NK=P1K/GZ
1450 PKD=PZD*NK
1460 PKK=PZK*NK
1470 CE=.03*ACI-.9
1480 CF=-.5
1490 WA=CE*Q
1500 WB=CF*Q
1510 TPWA=WA+FC/2/COS(ALFA)
1520 PWA=TPWA/(N1+1)
1530 PWAK=PWA/2
1540 TPWB=WB+FC/2/COS(ALFA)
1550 PWB=TPWB/(N1+1)
1560 PWBK=PWB/2
1570 'yazdirma bolunu
1580 CLS
1590 LPRINT "Zati Agirlik Yuku      =" ;GZ;"      kg/m2"
1600 LPRINT "Kafes Kiris Yuk alani    =" ;FC;"      m2"
1610 LPRINT "Kafes Kiris Toplam Yuku      =" ;PZ;"      kg"
1620 LPRINT "Orta Dugume Gelen Yuk      =" ;PZD;"      kg"
1630 LPRINT "Kenar Dugume Gelen Yuk      =" ;PZK;"      kg"
1640 LPRINT "Karyuku Katsayisi          =" ;NK
1650 LPRINT "Orta Dugum Kar Yuku        =" ;PKD;"      kg"
1660 LPRINT "Kenar Dugum Kar Yuku        =" ;PKK;"      kg"
1670 LPRINT "CE Katsayisi              =" ;CE
1680 LPRINT "CF Katsayisi              =" ;CF
1690 LPRINT "Emme Kuvveti              =" ;WA;"      kg/m2"
1700 LPRINT "Basinc Kuvveti            =" ;WB;"      kg/m2"
1710 LPRINT "Toplam Emme Kuvveti        =" ;TPWA;"      kg"
1720 LPRINT "Orta Dugum Emme Kuvveti    =" ;PWA;"      kg"
1730 LPRINT "Kenar Dugum Emme Kuvveti    =" ;PWAK;"      kg"
1740 LPRINT "Toplam Basinc Kuvveti      =" ;TPWB;"      kg"
1750 LPRINT "Orta Dugum Basinc Kuvv.    =" ;PWB;"      kg"
1760 LPRINT "Kenar Dugum Basinc Kuvv.   =" ;PWBK;"      kg"
1770 LPRINT "=====
1780 PWAX=PWA*SIN(ALFA):PWAY=PWA*COS(ALFA):PWBX=-PWB*SIN(ALFA):PWBX=PWB*COS(ALFA)
1790 PY(1)=PZD:PX(1)=0:PY(2)=PKD:PX(2)=0:PY(3)=PWAX:PX(3)=PWAX:PY(4)=PWBX:PX(4)=-PWBX
1800 A$(1)="Dugum Zati Yuku:";A$(2)="Dugum Kar Yuku:";A$(3)="Dugum Soldan Ruzgar Yuku:";A$(4)="Dugum Sagdan Ruzgar Yuku:"
1820 GOTO 1840

```

```

1830 INPUT "Dugum Sayisi : ",N
1840 DIM J(N),K(N)
1850 DIM X(N),Y(N)
1860 DIM A(N),B(N)
1870 DIM S1J(N,4),S1MAXJ(N),S2MAXJ(N),S2MINJ(N)
1880 DIM S1K(N,4),S1MAXK(N),S2MAXK(N),S2MINK(N)
1890 DIM SU$(N*2),SU(N*2,2),SA$(N*2),SA(N*2,2)
1900 GOTO 1930
1910 INPUT "Sabit Mesnet No : ",N3
1920 INPUT "Hareketli Mesnet No : ",N4
1930 LPRINT "Dugum Koordinatlari"
1940 RESTORE 6210
1950 FOR I=1 TO N
1960 READ A(I),B(I),J(I),K(I):GOTO 2010
1970 INPUT " X1=";A(I)
1980 INPUT " Y1=";B(I)
1990 INPUT "Birinci Uc No : ",J(I)
2000 INPUT "Ikinci Uc No : ",K(I)
2010 NEXT I
2020 FOR I=1 TO N
2030 LPRINT USING "X(##)=####.###   Y(##)=####.###   a";I;A(I);I;B(I)
2040 NEXT I
2050 PRINT
2060 CLS:LPRINT"Dugum Yukleri:Yukaridan Asagi ve Soldan Saga Etkiyen Yukler(+):"
2070 FOR TEK=1 TO 4
2100 LPRINT A$(TEK)
2110 FOR I=1 TO N
2120 Y(I)=PY(TEK):X(I)=PX(TEK)
2130 IF TEK=3 THEN IF I>INT((N/2)+1) THEN Y(I)=PWBX:X(I)=PWBX
2140 IF TEK=4 THEN IF I>INT((N/2)+1) THEN Y(I)=PWAX:X(I)=-PWAX
2150 IF I=1 OR I=N THEN Y(I)=Y(I)/2:X(I)=X(I)/2 ELSE IF B(I)=0 THEN Y(I)=0:X(I)=0
2160 NEXT I
2170 Y(INT((N/2)+1))=Y(1)+Y(N):X(INT((N/2)+1))=X(1)+X(N)
2180 FOR I=1 TO N:Y(I)=Y(I)/1000:X(I)=X(I)/1000:LPRINT USING "PY(##)=#####.###   t   PX(##)=#####.###   t"
;I;Y(I);I;X(I):NEXT I
2190 LPRINT
2200 LPRINT"Cubuk Kuvvetleri:"
2210 LPRINT
2220 GOSUB 6130
2230 FOR I=1 TO N-1
2240 PX=X(I):PY=Y(I)
2250 GOSUB 6030
2260 Y(K(I))=Y(K(I))+S2Y
2270 X(K(I))=X(K(I))+S2X
2280 Y(J(I))=Y(J(I))+S1Y
2290 X(J(I))=X(J(I))+S1X
2300 IF I>J(I) THEN 2330
2310 LPRINT USING "S(## ##)=####.###   t";I;J(I);INT(100*S1)/100
2320 S1J(I,TEK)=INT(100*S1)/100
2330 IF I>K(I) THEN 2360
2340 LPRINT USING "S(## ##)=####.###   t";I;K(I);INT(100*S2)/100
2350 S1K(I,TEK)=INT(100*S2)/100
2360 NEXT I
2370 LPRINT
2380 NEXT TEK
2390 FOR I=1 TO N
2400 S1MAXJ(I)=S1J(I,1)+S1J(I,2)
2410 S1MAXK(I)=S1K(I,1)+S1K(I,2)
2420 NEXT I
2430 FOR I=1 TO N
2440 IF ABS(S1J(I,3))<ABS(S1J(I,4)) THEN T1=S1J(I,3):T3=S1J(I,4) ELSE T1=S1J(I,4):T3=S1J(I,3)
2450 T2=S1MAXJ(I)+T1

```

```

1460 IF ABS(T2)>ABS(S1MAXJ(I)) THEN S2MAXJ(I)=T2 ELSE S2MAXJ(I)=S1MAXJ(I)
1470 S2MINJ(I)=S1J(I,1)+T1
1480 IF ABS(S1K(I,3))<ABS(S1K(I,4)) THEN T1=S1K(I,3):T3=S1K(I,4) ELSE T1=S1K(I,4):T3=S1K(I,3)
1490 T2=S1MAXK(I)+T1
1500 IF ABS(T2)>ABS(S1MAXK(I)) THEN S2MAXK(I)=T2 ELSE S2MAXK(I)=S1MAXK(I)
1510 S2MINK(I)=S1K(I,1)+T1
1520 NEXT I
1530 LPRINT "Max. ve Min. Cubuk Kuvvetleri:"
1540 LPRINT
1550 LOCATE 24,1:LPRINT "Maximum" "Minimum"
1560 LPRINT "===== "=====":EU=1:EA=1
1570 FOR I=1 TO N-1
1580 IF I>J(I) THEN 2630
1590 LPRINT USING "S(## ##)=####.### t S(## ##)=####.### t";I;J(I);S2MAXJ(I);I;J(I);S2MINJ(I)
2600 IF I>1 AND I<N AND B(I)=0 THEN 2620
2610 GOSUB 6230:SU$(EU)=X$:SU(EU,1)=S2MAXJ(I):SU(EU,2)=S2MINJ(I):EU=EU+1
2620 IF B(I)=0 AND B(J(I))=0 THEN SA$(EA)=X$:SA(EA,1)=S2MAXJ(I):SA(EA,2)=S2MINJ(I):EA=EA+1
2630 IF I>K(I) THEN 2670
2640 LPRINT USING "S(## ##)=####.### t S(## ##)=####.### t";I;K(I);S2MAXK(I);I;K(I);S2MINK(I):IF I>1 AND I<N
AND B(I)=0 THEN 2660
2650 GOSUB 6230:SU$(EU)=X$:SU(EU,1)=S2MAXK(I):SU(EU,2)=S2MINK(I):EU=EU+1
2660 IF B(I)=0 AND B(K(I))=0 THEN SA$(EA)=X$:SA(EA,1)=S2MAXK(I):SA(EA,2)=S2MINK(I):EA=EA+1
2670 NEXT I
2680 'siralama
2690 E=0
2700 FOR I=1 TO EU-2
2710 IF SU$(I)<SU$(I+1) THEN SWAP SU$(I),SU$(I+1):SWAP SU(I,1),SU(I+1,1):SWAP SU(I,2),SU(I+1,2):E=1
2720 NEXT I:IF E THEN 2690
2730 E=0
2740 FOR I=1 TO EA-2
2750 IF SA$(I)<SA$(I+1) THEN SWAP SA$(I),SA$(I+1):SWAP SA(I,1),SA(I+1,1):SWAP SA(I,2),SA(I+1,2):E=1
2760 NEXT I:IF E THEN 2730
2770 PUMAX=SU(1,1):PUMIN=SU(1,2):PMAX(1)=PUMAX:PMIN(1)=PUMIN
2780 LPRINT "===== "
2790 LPRINT
2800 LPRINT USING "Ust Baslik icin Pmax =####.### t Pmin =####.### t";PUMAX;PUMIN
2805 PRINT USING "Ust Baslik icin Pmax =####.### t Pmin =####.### t";PUMAX;PUMIN
2810 PAMAX=SA(1,1):PAMIN=SA(1,2):PMA(2)=PAMAX:PMIN(2)=PAMIN
2820 LPRINT USING "Alt Baslik icin Pmax =####.### t Pmin =####.### t";PAMAX;PAMIN
2825 PRINT USING "Alt Baslik icin Pmax =####.### t Pmin =####.### t";PAMAX;PAMIN
2830 LPRINT "===== "
2840 LPRINT
2850 FOR I=1 TO 2
2860 IF I=1 THEN LPRINT"Ust baslik:" : ELSE LPRINT"Alt baslik:" :LPRINT
2865 IF I=1 THEN PRINT"Ust baslik:" : ELSE PRINT"Alt baslik:" : PRINT
2870 FLUZ=ABS(PMAX(1)/61EM*1000)*2:IF PMAX(1)<0 THEN PB=PMAX(1):PC=PMIN(1) ELSE PB=PMIN(1):PC=PMAX(1)
2880 LPRINT "===== "
2890 PRINT "Luzumlu kesit alani:FLUZ=";FLUZ;" cm2"
2900 IF PC<0 THEN PC=0 ELSE PC=PC:IF PB>0 THEN PB=0 ELSE PB=PB
2910 INPUT "1-(Pofil),2-(Cift Korniyer)";B
2920 IF B=2 THEN GOTO 3220
2930 INPUT "Baslik Icin Skx, Sky (cm) :";SKX,SKY
2940 INPUT "Profil Degerleri F, G,ix, iy, h2, t1 ,P$ :";F,G,IX,IY,H2,T1,P$
2950 FAL=F-T1*H2
2960 SIGMA=(PC/FAL)*1000:IF SIGMA<0 THEN SIGMA=0
2970 IF ABS(SIGMA)>61EM THEN PRINT "Profili degistirin":GOTO 2940
2980 LAMX=SKX/IX
2990 PRINT "Lambda x=";LAMX
3000 INPUT "Tablodan wx'i Gir :";WIX:PRINT "Burkulma katsayisi:wx=";WIX
3010 GX=(WIX*PB/F)*1000
3020 IF ABS(GX)>61EM THEN PRINT"Profili Degistirin":GOTO 2940
3030 LAMY=SKY/IY

```

```

3040 PRINT "Lamda y=";LAMY
3050 INPUT "Tablodan wy'i Gir : ",WYI:PRINT "Burkulma katsayisi:wy=";WYI
3060 GY=(WYI*PB/F)*1000
3070 IF ABS(GY)>61EM THEN PRINT"Profili Degistirin":GOTO 2940
3080 U=LK/COS(ALFA):IF I=2 THEN U=LK
3090 AGIR=AGIR+G*U
3100 LPRINT "Profilin Cinsi          =" ;P$
3110 LPRINT "Net Kesit Alanı:FAL          =" ;FAL ;"      cm2"
3120 LPRINT "SIGMA          =" ;SIGMA ;"      kg/cm2"
3130 LPRINT "Lamda X          =" ;LAMX
3140 LPRINT "Burkulma Katsayisi:wx          =" ;WIX
3150 LPRINT "GX          =" ;GX ;"      kg/cm2"
3160 LPRINT "Lamda Y          =" ;LAMY
3170 LPRINT "Burkulma Katsayisi:wy          =" ;WYI
3180 LPRINT "GY          =" ;GY ;"      kg/cm2"
3190 LPRINT "Profilin Agirligi          =" ;G*U ;"      kg"
3200 LPRINT "=====
3210 GOTO 3560
3220 INPUT "Baslik Icin Skx,SkY,S1 (cm) : ",SKX,SKY,S1
3230 INPUT "Cift Korniyer Degerleri F,G,Jy,ix,imin,t2,ex,CK$ : ",F,G,JY,IX,IMIN,T2,EX,CK$
3240 D1=SQR(5*T2)-.2:IF D1>1.3 THEN D=D1:ELSE D=1.3
3250 FAL=2*T2*D
3260 LPRINT
3270 SIGMA=(PC/FAL)*1000:IF SIGMA<0 THEN SIGMA=0
3280 IF ABS(SIGMA)>61EM THEN PRINT "Cift Korniyeri Degistirin":GOTO 3230
3290 LAMX=SKX/IX:PRINT "Lamda x=";LAMX
3300 INPUT "Tablodan wx'i Gir : ",WIX:PRINT "Burkulma Katsayisi:";WIX
3310 GX=(WIX*PB/F)*1000
3320 IF ABS(GX)>61EM THEN PRINT "Cift Korniyeri Degistirin :":GOTO 3230
3330 E1=1+2*EX:JY1=2*(JY+F*(E1/2)^2):IY=SQR(JY1/2/F)
3340 LAMY=SKY/IY:LAM1=S1/IMIN
3350 IF LAM1>LAMX/2 THEN LAM1=LAMX/2
3360 IF LAMX/2<50 THEN LAM1=50
3370 LAMYI=SQR(LAMY^2+(2/2)*LAM1^2)
3380 PRINT "Lamda yi =" ;LAMYI
3390 INPUT "Tablodan wyi' yi Gir : ",WYI:PRINT "Ideal Burkulma Katsayisi:";WYI
3400 GY=(WYI*PB/F)*1000
3410 IF ABS(GY)>61EM THEN PRINT "Cift Korniyeri Degistirin:":GOTO 3230
3420 U=LK/COS(ALFA):IF I=2 THEN U=LK
3430 AGIR=AGIR+G*U
3440 LPRINT "Cift Korniyerin Cinsi          =" ;CK$
3450 LPRINT "Net Kesit Alanı:FAL          =" ;FAL ;"      cm2"
3460 LPRINT "SIGMA          =" ;SIGMA ;"      kg/cm2"
3470 LPRINT "Lamda X          =" ;LAMX
3480 LPRINT "Burkulma Katsayisi:wx          =" ;WIX
3490 LPRINT "GX          =" ;GX ;"      kg/cm2"
3500 LPRINT "Lamda yi          =" ;LAMYI
3510 LPRINT "Ideal Burkulma Katsayisi:wyi          =" ;WYI
3520 LPRINT "GY          =" ;GY ;"      kg/cm2"
3530 LPRINT "Cift Korniyerin Agirligi          =" ;G*U ;"      kg"
3540 LPRINT "=====
3550 LPRINT
3560 NEXT I
3570 LPRINT "Dikme ve Diyagonal Cubuklar"
3580 FOR I=1 TO INT(N/2)
3590 IF I=1 OR I=N THEN 4720
3600 IF I>J(I) THEN 4720
3610 IF (B(I)>0 AND B(J(I))>0) OR (B(I)+B(J(I))=0) THEN 4720
3620 PRINT USING "S(## ##)=####.####      S(## ##)=####.####";I,J(I);S2MAXJ(I);I,J(I);S2MINJ(I)
3630 LPRINT USING "S(## ##)=####.####      t      S(## ##)=####.####      t";I,J(I);S2MAXJ(I);I,J(I);S2MINJ(I)
3640 INPUT "1-(Korniyer),2-(T Profili),3-(Cift Korniyer)";A

```

```

650 FLUZ=ABS(S2MAXJ(I))/G1EM*1000
660 PRINT "F Luzumlu Alan =" ; FLUZ ; " cm2"
670 IF S2MAXJ(I)<0 THEN PB=S2MAXJ(I);PC=S2MINJ(I) ELSE PB=S2MINJ(I);PC=S2MAXJ(I):IF PC<0 THEN PC=0:IF PB>0 THEN PB=0
680 IF A=2 THEN GOTO 4110:IF A=3 THEN GOTO 4390
690 INPUT "Burkulma boylari Skx, Sky, Skksi, Skita (cm):",SKX,SKY,SKKSI,SKITA
700 INPUT "Korniyer degerleri F, G, ix, iy, iksi, iita, t, s, b, K$ :",F,G,IX,IY,IKSI,IITA,T,S,B,K$
710 BN=B-(S+.707*T)
720 FAL=2*BN*S
730 SIGMA=PC/FAL*1000:IF SIGMA<0 THEN SIGMA=0
740 IF ABS(SIGMA)>G1EM THEN PRINT "Profili Degistirin":GOTO 3700
750 LAMX=SKX/IX:PRINT "Lamda x=" ; LAMX
760 INPUT "Tablodan Wx'i gir :",WIX:PRINT "Burkulma Katsayisi:wx=" ; WIX
770 LAMY=SKY/IY:PRINT "Lamda y=" ; LAMY
780 INPUT "Tablodan Wy'yi gir :",WIY:PRINT "Burkulma katsayisi:wy=" ; WIY
790 LAMKSI=SKKSI/IKSI:PRINT "Lamda ksi=" ; LAMKSI:INPUT "Wksi gir :",WKSI
800 PRINT "Burkulma katsayisi:wksi=" ; WKSI
810 LAMITA=SKITA/IITA:PRINT "Lamda ita=" ; LAMITA:INPUT "Wita gir :",WITA
820 PRINT "Burkulma katsayisi:wita=" ; WITA
830 GX=PB*WIX/F*1000
840 IF ABS(GX)>G1EM THEN PRINT "Profili degistirin":GOTO 3700
850 GY=PB*WIY/F*1000
860 IF ABS(GY)>G1EM THEN PRINT "Profili degistirin":GOTO 3700
870 GKSI=PB*WKSI/F*1000
880 IF ABS(GKSI)>G1EM THEN PRINT "Profili degistirin":GOTO 3700
890 GITA=PB*WITA/F*1000
900 IF ABS(GITA)>G1EM THEN PRINT "Profili degistirin":GOTO 3700
910 INPUT "Korniyerin uzunlugu(m) :",L:AGIR=AGIR+G*L*2
920 LPRINT "Korniyerin Cinsi" ; K$
930 LPRINT "Net Kesit Alanı:FAL" ; FAL ; " cm2"
940 LPRINT "SIGMA" ; SIGMA ; " kg/cm2"
950 LPRINT "Lamda X" ; LAMX
960 LPRINT "Burkulma Katsayisi:wx" ; WIX
970 LPRINT "GX" ; GX ; " kg/cm2"
980 LPRINT "Lamda Y" ; LAMY
990 LPRINT "Burkulma Katsayisi:wy" ; WIY
1000 LPRINT "GY" ; GY ; " kg/cm2"
1010 LPRINT "Lamda ksi" ; LAMKSI
1020 LPRINT "Burkulma Katsayisi:wksi" ; WKSI
1030 LPRINT "Gksi" ; GKSI ; " kg/cm2"
1040 LPRINT "Lamda ita" ; LAMITA
1050 LPRINT "Burkulma Katsayisi:wita" ; WITA
1060 LPRINT "Gita" ; GITA ; " kg/cm2"
1070 LPRINT "Korniyerin Agirligi" ; G*L*2 ; " kg"
1080 LPRINT "=====
1090 LPRINT
4100 GOTO 4720
4110 INPUT "Burkulma boylari SKX,SKY (cm) :",SKX,SKY
4120 INPUT "Profil degerleri F,G,ix,iy,t,c,P$ :",F,G,IX,IY,T,C,P$
4130 FAL=F-T*C
4140 SIGMA=PC/FAL*1000:IF SIGMA<0 THEN SIGMA=0
4150 IF ABS(SIGMA)>G1EM THEN PRINT "Profili degistirin": GOTO 4120
4160 LAMX=SKX/IX
4170 PRINT "Lamda x=" ; LAMX
4180 INPUT "Tablodan wx i gir:",WIX:PRINT "Burkulma katsayisi:wx=" ; WIX
4190 GX=WIX*PB/F*1000
4200 IF ABS(GX)>G1EM THEN PRINT "Profili degistirin":GOTO 4120
4210 LAMY=SKY/IY:PRINT "Lamda y=" ; LAMY
4220 INPUT "Tablodan wy yi gir:",WIY:PRINT "Burkulma katsayisi:wy=" ; WIY
4230 GY=WIY*PB/F*1000
4240 IF ABS(GY)>G1EM THEN PRINT "Profili degistirin":GOTO 4120
4250 INPUT "Profilin uzunlugu(m):",L:AGIR=AGIR+G*L*2

```



```

4260 LPRINT "Profilin Cinsi          =" ; P$
4270 LPRINT "Net Kesit Alanı:FAL      =" ; FAL ; "      cm2"
4280 LPRINT "SIGMA                    =" ; SIGMA ; "      kg/cm2"
4290 LPRINT "Lamda X                  =" ; LAMX
4300 LPRINT "Burkulma Katsayisi:wx     =" ; WIX
4310 LPRINT "GX                        =" ; GX ; "      kg/cm2"
4320 LPRINT "Lamda Y                      =" ; LAMY
4330 LPRINT "Burkulma Katsayisi:wy         =" ; WIY
4340 LPRINT "GY                        =" ; GY ; "      kg/cm2"
4350 LPRINT "Profilin Agirligi                 =" ; G*L*2 ; "      kg"
4360 LPRINT "=====
4370 LPRINT
4380 GOTO 4720
4390 INPUT "Burkulma Boylari: Skx, Sky, S1 (cm) : " ; SKX, SKY, S1
4400 INPUT "Cift Korniyer Degerleri F, G, Jy, ix, imin, t2, ex, CK$ : " ; F, G, JY, IX, IMIN, T2, EX, CK$
4410 D1=SQR(5*T2)-.2:IF D1>1.3 THEN D=D1:ELSE D=1.3
4420 FAL=2*T2*D
4430 SIGMA=(PC/FAL)*1000:IF SIGMA<0 THEN SIGMA=0
4440 IF ABS(SIGMA)>61EM THEN PRINT "Cift Korniyeri Degistirin":GOTO 4400
4450 LAMX=SKX/IX:PRINT "Lamda x=" ; LAMX
4460 INPUT "Tablodan wx'i Gir : " ; WIX:PRINT "Burkulma Katsayisi:" ; WIX
4470 GX=(WIX*PB/F)*1000
4480 IF ABS(GX)>61EM THEN PRINT "CIFT Korniyeri Degistirin :":GOTO 4400
4490 E1=1+2*EX:JY1=2*(JY+F*(E1/2)^2):IY=SQR(JY1/2/F)
4500 LAMY=SKY/IY:LAM1=S1/IMIN
4510 IF LAM1>LAMX/2 THEN LAM1=LAMX/2
4520 IF LAMX/2<50 THEN LAM1=50
4530 LAMY1=SQR(LAMY^2+(2/2)*LAM1^2)
4540 PRINT "Lamda yi =" ; LAMYI
4550 INPUT "Tablodan wyi' yi Gir : " ; WYI:PRINT "Burkulma Katsayisi:" ; WYI
4560 GY=(WYI*PB/F)*1000
4570 IF ABS(GY)>61EM THEN PRINT "Cift Korniyeri Degistirin":GOTO 4400
4580 INPUT "Cift Korniyerin Uzunlugu:" ; L
4590 AGIR=AGIR+G*L*2
4600 LPRINT "Cift Korniyerin Cinsi          =" ; CK$
4610 LPRINT "Net Kesit Alanı:FAL      =" ; FAL ; "      cm2"
4620 LPRINT "SIGMA                    =" ; SIGMA ; "      kg/cm2"
4630 LPRINT "Lamda X                  =" ; LAMX
4640 LPRINT "Burkulma Katsayisi:wx     =" ; WIX
4650 LPRINT "GX                        =" ; GX ; "      kg/cm2"
4660 LPRINT "Lamda yi                  =" ; LAMYI
4670 LPRINT "Ideal Burkulma Katsayisi:wy =" ; WYI
4680 LPRINT "GY                        =" ; GY ; "      kg/cm2"
4690 LPRINT "Cift Korniyerin Agirligi   =" ; G*L*2 ; "      kg"
4700 LPRINT "=====
4710 LPRINT
4720 NEXT I
4730 FOR I=1 TO INT(N/2)
4740 IF I>K(I) OR K(I)=N THEN 5770
4750 IF (B(I)>0 AND B(K(I))>0) OR (B(I)+B(K(I))=0) THEN 5770
4760 PRINT USING "S(## ##)=####.#### t S(## ##)=####.#### t";I;K(I);S2MAXK(I);I;K(I);S2MINK(I)
4770 LPRINT USING "S(## ##)=####.#### t S(## ##)=####.#### t";I;K(I);S2MAXK(I);I;K(I);S2MINK(I)
4780 INPUT "1-(Korniyer), 2-(Profil), 3-(Cift Korniyer)";A
4790 FLUZ=ABS(S2MAXK(I)/61EM+1000:PRINT "Luzumlu Kesit Alan:FLUZ=" ; FLUZ ; " cm2"
4800 IF S2MAXK(I)<0 THEN PB=S2MAXK(I):PC=S2MINK(I) ELSE PB=S2MINK(I):PC=S2MAXK(I)
4810 IF PC<0 THEN PC=0:IF PB>0 THEN PB=0
4820 IF A=2 THEN GOTO 5190:IF A=3 THEN GOTO 5440
4830 INPUT "Burkulma boylari Skx, Sky, Skksi, Skita (cm):" ; SKX, SKY, SKKSI, SKITA
4840 INPUT "Korniyer Degerleri F, G, ix, iy, ikxi, iita, t, B, S, K$ : " ; F, G, IX, IY, IKSI, IITA, T, B, S, K$
4850 BN=B-(S+.707*T)
4860 FAL=2*BN*S

```



```

870 SIGMA=PC/FAL*1000:IF SIGMA<0 THEN SIGMA=0
880 IF ABS(SIGMA)>61EM THEN PRINT "Korniyeri degistirin":GOTO 4840
890 LAMX=SKX/IX:PRINT "Lamda x=";LAMX
900 INPUT "Tablodan wx'i gir: ",WIX:PRINT "Burkulma katsayisi:wx=";WIX
910 LAMY=SKY/IY:PRINT "Lamda y=";LAMY
920 INPUT "Tablodan wy'yi gir: ",WIY:PRINT "Burkulma katsayisi:wy=";WIY
930 LAMKSI=SKKSI/IKSI:PRINT "Lamda ksi=";LAMKSI:INPUT "Tablodan wksi gir: ",WKSI:PRINT "Burkulma katsayisi:wksi=";WKSI
940 LAMITA=SKITA/IITA:PRINT "Lamda ita=";LAMITA:INPUT "Tablodan wita gir: ",WITA:PRINT "Burkulma katsayisi:wita=";WITA
950 GX=PB*WIX/F*1000:IF ABS(GX)>61EM THEN PRINT "Korniyeri degistirin":GOTO 4840
960 GY=PB*WIY/F*1000:IF ABS(GY)>61EM THEN PRINT "Korniyeri degistirin":GOTO 484
970 GKSI=PB*WKSI/F*1000:IF ABS(GKSI)>61EM THEN PRINT "Korniyeri degistirin":GOTO 4840
980 GITA=PB*WITA/F*1000:IF ABS(GITA)>61EM THEN PRINT "Korniyeri degistirin":GOTO 4840
990 INPUT "Korniyerin uzunlugu(m) : ",L:AGIR=AGIR+G*L*2
5000 LPRINT "Korniyerin Cinsi" "=";K$
5010 LPRINT "Net Kesit Alanı:FAL" "=";FAL;" cm2"
5020 LPRINT "SIGMA" "=";SIGMA;" kg/cm2"
5030 LPRINT "Lamda X" "=";LAMX
5040 LPRINT "Burkulma Katsayisi:wx" "=";WIX
5050 LPRINT "GX" "=";GX;" kg/cm2"
5060 LPRINT "Lamda Y" "=";LAMY
5070 LPRINT "Burkulma Katsayisi:wy" "=";WIY
5080 LPRINT "GY" "=";GY;" kg/cm2"
5090 LPRINT "Lamda ksi" "=";LAMKSI
5100 LPRINT "Burkulma Katsayisi:wksi" "=";WKSI
5110 LPRINT "Gksi" "=";GKSI;" kg/cm2"
5120 LPRINT "Lamda ita" "=";LAMITA
5130 LPRINT "Burkulma Katsayisi:wita" "=";WITA
5140 LPRINT "Gita" "=";GITA;" kg/cm2"
5150 LPRINT "Korniyerin Agirligi" "=";G*L*2;" kg"
5160 LPRINT "=====
5170 LPRINT
5180 GOTO 5770
5190 INPUT "Burkulma boylari Skx, Sky (cm) : ",SKX,SKY
5200 INPUT "Profil degerleri F, G,ix, iy, t, c,P$ : ",F,G,IX,IY,T,C,P$
5210 FAL=F-T*C
5220 SIGMA=PC/FAL*1000:IF SIGMA<0 THEN SIGMA=0
5230 IF ABS(SIGMA)>61EM THEN PRINT "Profili degistirin":GOTO 5200
5240 LAMX=SKX/IX:PRINT "Lamda x=";LAMX
5250 INPUT "Tablodan wx'i gir : ",WIX:PRINT "Burkulma katsayisi:wx=";WIX
5260 GX=PB*WIX/F*1000:IF ABS(GX)>61EM THEN PRINT "Profili degistirin":GOTO 5200
5270 LAMY=SKY/IY:PRINT "Lamda y=";LAMY
5280 INPUT "Tablodan wy'yi gir: ",WIY:PRINT "Burkulma katsayisi:wy=";WIY
5290 GY=PB*WIY/F*1000:IF ABS(GY)>61EM THEN PRINT "Profili degistirin":GOTO 5200
5300 INPUT "Profilin uzunlugu(m): ",L:AGIR=AGIR+G*L*2
5310 LPRINT "Profilin Cinsi" "=";P$
5320 LPRINT "Net Kesit Alanı:FAL" "=";FAL;" cm2"
5330 LPRINT "SIGMA" "=";SIGMA;" kg/cm2"
5340 LPRINT "Lamda X" "=";LAMX
5350 LPRINT "Burkulma Katsayisi:wx" "=";WIX
5360 LPRINT "GX" "=";GX;" kg/cm2"
5370 LPRINT "Lamda Y" "=";LAMY
5380 LPRINT "Burkulma Katsayisi:wy" "=";WIY
5390 LPRINT "GY" "=";GY;" kg/cm2"
5400 LPRINT "Profilin Agirligi" "=";G*L*2;" kg"
5410 LPRINT "=====
5420 LPRINT
5430 GOTO 8539
5440 INPUT "Burkulma Boylari: Skx, Sky, S1 (cm) : ",SKX,SKY,S1
5450 INPUT "Cift Korniyer Degerleri F,G,Jy,ix,imin,t2,ex,CK$ : ",F,G,JY,IX,IMIN,T2,EX,CK$
5460 D1=SQR(5*T2):IF D1>1.3 THEN D=D1:ELSE D=1.3
5470 FAL=2*T2*D

```

```

480 SIGMA=(PC/FAL)*1000:IF SIGMA<0 THEN SIGMA=0
490 IF ABS(SIGMA)>61EM THEN PRINT "Cift Korniyeri Degistirin":GOTO 5450
500 LAMX=SKX/IX:PRINT "Lamda x=";LAMX
510 INPUT "Tablodan wx'i Gir :","WIX:PRINT "Burkulma Katsayisi:","WIX
520 GX=(WIX*PB/F)*1000
530 IF ABS(GX)>61EM THEN PRINT "Cift Korniyeri Degistirin :":GOTO 5450
540 EI=1+2*EX:JY1=2*(JY+F*(EI/2)^2):IY=SQR(JY1/2/F)
550 LAMY=SKY/IY:LAM1=S1/IMIN
560 IF LAM1>LAMX/2 THEN LAM1=LAMX/2
570 IF LAMX/2<50 THEN LAM1=50
580 LAMYI=SQR(LAMY^2+(2/2)*LAM1^2)
590 PRINT "Lamda yi =" ;LAMYI
600 INPUT "Tablodan wyi' yi Gir :","WYI:PRINT "Ideal Burkulma Katsayisi:wyi=";WYI
610 GY=(WYI*PB/F)*1000
620 IF ABS(GY)>61EM THEN PRINT "Cift Korniyeri Degistirin":GOTO 5450
630 INPUT "Cift Korniyerin Uzunlugu:","L
640 AGIR=AGIR+G*L*2
650 LPRINT "Cift Korniyerin Cinsi          =" ;CK$
660 LPRINT "Net Kesit Alanı:FAL          =" ;FAL;"          cm2"
670 LPRINT "SIGMA          =" ;SIGMA ;"          kg/cm2"
680 LPRINT "Lamda X          =" ;LAMX
690 LPRINT "Burkulma Katsayisi:wx          =" ;WIX
700 LPRINT "GX          =" ;GX;"          kg/cm2"
710 LPRINT "Lamda yi          =" ;LAMYI
720 LPRINT "Ideal Burkulma Katsayisi:wyi          =" ;WYI
730 LPRINT "GY          =" ;GY;"          kg/cm2"
740 LPRINT "Cift Korniyerin Agirligi          =" ;G*L*2;"          kg"
750 LPRINT "=====
760 LPRINT
770 NEXT I
780 LPRINT
790 INPUT "Kafes Adedi :","KA
795 LPRINT "Kafes Adedi          =" ;KA
796 PRINT "Kafes Adedi          =" ;KA
800 LPRINT "Toplam Kafes Agirligi=" ;AGIR*KA;" kg"
810 LPRINT "Toplam Cati Agirligi=" ;AGIR*KA+ASIK;" kg"
820 WT=AGIR*KA+ASIK
840 LPRINT:A1=A1*2
860 LPRINT "=====
870 LPRINT "Kafes Kiris Araligi:      Asik Araligi:      Cati Agirligi:"
880 LPRINT "=====
890 LPRINT USING "LX=#.##      "      A1=#.##      "      WT=####.###      kg";LX;A1;WT
905 PRINT USING "LX=#.##      "      A1=#.##      "      WT=####.###      kg";LX;A1;WT
920 LPRINT "=====
930 LPRINT
940 END
930 DX1=A(J(I))-A(I):DY1=B(J(I))-B(I):DS1=SQR(DX1^2+DY1^2)
940 DX2=A(K(I))-A(I):DY2=B(K(I))-B(I):DS2=SQR(DX2^2+DY2^2)
950 SNA1=DY1/DS1:CSA1=DX1/DS1
960 SNA3=DY2/DS2:CSA3=DX2/DS2
970 SNA2=SNA3*CSA1-SNA1*CSA3
980 S2=(PX*SNA1+PY*CSA1)/SNA2
990 S1=-(PX*SNA3+PY*CSA3)/SNA2
100 S2X=-S2*CSA3:S2Y=S2*SNA3
110 S1X=-S1*CSA1:S1Y=S1*SNA1
120 RETURN
130 H=0:A=0:MA=0
140 FOR I=1 TO N
150 H=H+X(I):A=A+Y(I)
160 MA=MA+Y(I)*(A(I)-A(N3))+X(I)*(B(I)-B(N3))
170 NEXT I

```

```
6180 B=MA/(A(N4)-A(N3))
6190 A(N3)=A(N3)+H:Y(N3)=Y(N3)-A+B:Y(N4)=Y(N4)-B
6200 RETURN
6210 DATA 0,0,2,3,2.13,.76,3,4,2.13,0,4,5,4.26,1.52,5,6,6.39,0,6,7,6.39,.76,5,7,8.52,0,5,6
6220 'ekran okuma
6230 X$="":FOR ZI=10 TO 10:X$=X$+CHR$(SCREEN(23,ZI)):NEXT ZI
6240 FOR ZI=33 TO 41:X$=X$+CHR$(SCREEN(23,ZI)):NEXT ZI
6250 BUL=INSTR(X$,"-"):IF BUL THEN MID$(X$,BUL)="- ":GOTO 6250
6260 IF B(I) OR I=1 OR I=N THEN MID$(X$,1)="I"
6270 RETURN
```



 BU PROGRAM ITERASYON SONUCLARINI DEGERLENDIRIR
 VE OPTIMUM SONUCLARI BULUR

P = Iterasyon Sayisi

P=7

DIM LX(P),A(P),WT(P)

FOR Z=1 TO P

READ LX(Z),A(Z),WT(Z)

NEXT Z

LPRINT "Iterasyon Sonuclari :"

LPRINT "Cati Kaplamasi Agirligi=25 kg/m2

LPRINT "-----"

LPRINT "Kafes Kiris Araligi: Asik Araligi: Cati Agirligi:"

LPRINT "-----"

FOR Z=1 TO P

LPRINT USING "I LX(%)=#.## m A(%)=#.## m WT(%)=####.### kg I";Z;LX(Z);Z;A(Z);Z;WT(Z)

NEXT Z

LPRINT "-----"

LPRINT "Optimum Sonuclar :"

LPRINT "-----"

LPRINT "Kafes Kiris Araligi: Asik Araligi: Cati Agirligi:"

LPRINT "-----"

FOR Z=1 TO P-1 IF WT(Z)<WT(Z-1) AND WT(Z)<WT(Z+1) THEN LPRINT USING "I LX(%)=#.## m A(%)=#.## m WT(%)=####.### kg I"
 ;LX(Z);Z;A(Z);Z;WT(Z)

NEXT Z

LPRINT "-----"

DATA 2.55,2.13,3716.717,2.80,2.13,3458.812,3.11,2.13,3280.906,3.50,2.13,3073.180,4.00,2.13,3194.495,4.67,2.13,3196.949,
 60,2.13,3103.183

EK-2 ÖRNEK PROBLEMİN İKİ İTERASYON İÇİN BİLGİSAYAR ÇIKTILARI

=====

CELİK CATILARDA KAFES KIRIS VE ASIK ARALIKLARININ OPTİMUM TESBİTİ:

=====

Kafes Kiris Tipi : B
 Cati egimi : 1/2.8
 Yapi Uzunlugu : 28.3 m
 Kafes Kiris Acikligi : 8.520001 m
 Duvar Kalinligi : .3 m
 Yapi Genisligi : 8.82 m
 Cati Kaplamasi : AGIR (100 kg)
 Asik Turu : BASIT KIRIS
 Celik Cinsi : St 37

=====

Iterasyon No: 1

=====

Celik Cati Agirliginin Hesabi:

=====

1-Asik Agirliginin Hesabi:

=====

Orta Asik Hesabi:

=====

Tablo icin Wx Degeri = 16.92401 cm3

=====

Lx = 2.55 m
 Ly = 1.275 m
 Al = 1.065 m

=====

G = 6 kg/m

Profilin Cinsi = IFE 80

Jx = 80.1 cm4

Wx = 20 cm3

Jy = 8.49 cm4

Wy = 3.69 cm3

Kar Yuku = 82.68 kg/m2

P1K = 77.86508 kg/m2

Ruzgar ve Rijitlik Baglamasi Agirligi = 1.9 kg/m2

Cati Kaplamasi Zati Agirligi = 100 kg/m2

Toplam Agirlik = 189.2651 kg/m2

Asiga Gelen Yuk = 201.5673 kg/m

q1x = 189.8289 kg/m

q1y = 67.78177 kg/m

M1x = 15429.53 kgcm

M1y = 1377.347 kgcm

G1max = 1144.741 kg/cm2

qw = 36.5066 kg/m

q2x = 226.3355 kg/m

q2y = 67.78177 kg/m

Mw = 2967.302 kgcm

Gw = 148.3651 kg/cm2

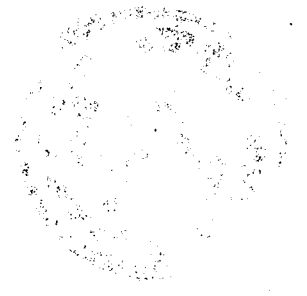
G2max = 1293.106 kg/cm2

fx = 7.407989E-03 cm

fy = 1.308174E-03 cm

f = 7.522607E-03 cm

=====



Mahya ve Damlalık Asigi Hesabi:

Tablo için Wx Degeri = 8.462004 cm3

Lx = 2.55 m
Ly = 1.275 m
Al = .5325 m

G = 6 kg/m

Profilin Cinsi = IPE 80

Jx = 80.1 cm4

Wx = 20 cm3

Jy = 8.49 cm4

Wy = 3.69 cm3

Kar Yuku = 82.68 kg/m2

PIK = 77.86508 kg/m2

Ruzgar ve Rijitlik Baglamasi Agirligi = 1.9 kg/m2

Cati Kaplamasi Zati Agirligi = 100 kg/m2

Toplam Agirlik = 189.2651 kg/m2

Asiga Gelen Yuk = 100.7837 kg/m

q1x = 94.91446 kg/m

q1y = 33.89089 kg/m

M1x = 7714.765 kgcm

M1y = 688.6733 kgcm

G1max = 572.3706 kg/cm2

qw = 18.2533 kg/m

q2x = 113.1678 kg/m

q2y = 33.89089 kg/m

Mw = 1483.651 kgcm

Gw = 74.18255 kg/cm2

G2max = 646.5532 kg/cm2

fx = 3.703995E-03 cm

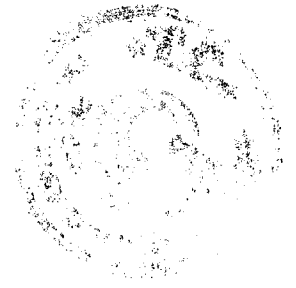
fy = 6.540869E-04 cm

f = 3.761304E-03 cm

Orta asik agr. = 339.6 Kg IPE 80

Kenar Asik Agr. = 679.2 Kg IPE 80

Asik Agirligi = 1018.8 Kg



=====

2-Kafes Kiris Agirliginin Bulunmasi:

=====

Zati Agirlik Yuku	= 119.92	kg/m2
Kafes Kiris Yuk alani	= 21.726	m2
Kafes Kiris Toplam Yuku	= 2605.382	kg
Orta Dugume Gelen Yuk	= 651.3455	kg
Kenar Dugume Gelen Yuk	= 325.6727	kg
Karyuku Katsayisi	= .6493085	
Orta Dugum Kar Yuku	= 422.9242	kg
Kenar Dugum Kar Yuku	= 211.4621	kg
CE Katsayisi	= -.3105	
CF Katsayisi	= -.5	
Emme Kuvveti	= -24.84	kg/m2
Basinc Kuvveti	= -40	kg/m2
Toplam Emme Kuvveti	= -286.5228	kg
Orta Dugum Emme Kuvveti	= -143.2614	kg
Kenar Dugum Emme Kuvveti	= -71.6307	kg
Toplam Basinc Kuvveti	= -461.3893	kg
Orta Dugum Basinc Kuvv.	= -230.6947	kg
Kenar Dugum Basinc Kuvv.	= -115.3473	kg

=====

Dugum Koordinatlari

X(1)=	0.000	m	Y(1)=	0.000	m
X(2)=	2.130	m	Y(2)=	0.760	m
X(3)=	2.130	m	Y(3)=	0.000	m
X(4)=	4.260	m	Y(4)=	1.520	m
X(5)=	6.390	m	Y(5)=	0.000	m
X(6)=	6.390	m	Y(6)=	0.760	m
X(7)=	8.520	m	Y(7)=	0.000	m

Dugum Yukleri: Yukaridan Asagi ve Soldan Saga Etkiyen Yukler(+):

Dugum Zati Yuku:

PY(1)=	0.326	t	PX(1)=	0.000	t
PY(2)=	0.651	t	PX(2)=	0.000	t
PY(3)=	0.000	t	PX(3)=	0.000	t
PY(4)=	0.651	t	PX(4)=	0.000	t
PY(5)=	0.000	t	PX(5)=	0.000	t
PY(6)=	0.651	t	PX(6)=	0.000	t
PY(7)=	0.326	t	PX(7)=	0.000	t

Cubuk Kuvvetleri:

S(1 2)=	-2.9100	t
S(1 3)=	2.7300	t
S(2 3)=	-0.6600	t
S(2 4)=	-2.9100	t
S(3 4)=	1.1200	t
S(3 5)=	1.8200	t
S(4 5)=	1.1200	t
S(4 6)=	-2.9100	t
S(5 6)=	-0.6600	t
S(5 7)=	2.7300	t
S(6 7)=	-2.9100	t



Dugum Kar Yuku:

PY(1)=	0.211	t	PX(1)=	0.000	t
PY(2)=	0.423	t	PX(2)=	0.000	t
PY(3)=	0.000	t	PX(3)=	0.000	t
PY(4)=	0.423	t	PX(4)=	0.000	t
PY(5)=	0.000	t	PX(5)=	0.000	t
PY(6)=	0.423	t	PX(6)=	0.000	t
PY(7)=	0.211	t	PX(7)=	0.000	t

Cubuk Kuvvetleri:

S(1 2)=	-1.8900	t
S(1 3)=	1.7700	t
S(2 3)=	-0.4300	t
S(2 4)=	-1.8900	t
S(3 4)=	0.7200	t
S(3 5)=	1.1800	t
S(4 5)=	0.7200	t
S(4 6)=	-1.8900	t
S(5 6)=	-0.4300	t
S(5 7)=	1.7700	t
S(6 7)=	-1.8900	t

Dugum Soldan Ruzgar Yuku:

PY(1)=	-0.067	t	PX(1)=	-0.024	t
PY(2)=	-0.135	t	PX(2)=	-0.048	t
PY(3)=	0.000	t	PX(3)=	0.000	t
PY(4)=	-0.176	t	PX(4)=	0.015	t
PY(5)=	0.000	t	PX(5)=	0.000	t
PY(6)=	-0.217	t	PX(6)=	0.078	t
PY(7)=	-0.109	t	PX(7)=	0.039	t

Cubuk Kuvvetleri:

S(1 2)=	0.7200	t
S(1 3)=	-0.6600	t
S(2 3)=	0.1400	t
S(2 4)=	0.7700	t
S(3 4)=	-0.2600	t
S(3 5)=	-0.4600	t
S(4 5)=	-0.4100	t
S(4 6)=	0.8900	t
S(5 6)=	0.2300	t
S(5 7)=	-0.7900	t
S(6 7)=	0.8100	t

Dugum Sagdan Ruzgar Yuku:

PY(1)=	-0.109	t	PX(1)=	-0.039	t
PY(2)=	-0.217	t	PX(2)=	-0.078	t
PY(3)=	0.000	t	PX(3)=	0.000	t
PY(4)=	-0.176	t	PX(4)=	-0.015	t
PY(5)=	0.000	t	PX(5)=	0.000	t
PY(6)=	-0.135	t	PX(6)=	0.048	t
PY(7)=	-0.067	t	PX(7)=	0.024	t



Cubuk Kuvvetleri:

S(1 2)=	0.8300	t
S(1 3)=	-0.7500	t
S(2 3)=	0.2400	t
S(2 4)=	0.9100	t
S(3 4)=	-0.4300	t
S(3 5)=	-0.4100	t
S(4 5)=	-0.2800	t
S(4 6)=	0.8000	t
S(5 6)=	0.1500	t
S(5 7)=	-0.6400	t
S(6 7)=	0.7500	t

Max. ve Min. Cubuk Kuvvetleri:

Maximum		Minimum	
S(1 2)=	-4.8000 t	S(1 2)=	-2.1900 t
S(1 3)=	4.5000 t	S(1 3)=	2.0700 t
S(2 3)=	-1.0900 t	S(2 3)=	-0.5200 t
S(2 4)=	-4.8000 t	S(2 4)=	-2.1400 t
S(3 4)=	1.8400 t	S(3 4)=	0.8600 t
S(3 5)=	3.0000 t	S(3 5)=	1.4100 t
S(4 5)=	1.8400 t	S(4 5)=	0.8400 t
S(4 6)=	-4.8000 t	S(4 6)=	-2.1100 t
S(5 6)=	-1.0900 t	S(5 6)=	-0.5100 t
S(5 7)=	4.5000 t	S(5 7)=	2.0900 t
S(6 7)=	-4.8000 t	S(6 7)=	-2.1600 t

Ust Baslik icin Pmax = -4.800 t Pmin = -2.190 t
 Alt Baslik icin Pmax = 4.500 t Pmin = 2.070 t

Ust baslik:

Profilin Cinsi	=1/2 I 240
Net Kesit Alanı:FAL	= 20.825 cm2
SIGMA	= 0 kg/cm2
Lamda X	= 63.84181
Burkulma Katsayisi:wx	= 1.34
GX	=-1037.026 kg/cm2
Lamda Y	= 102.7273
Burkulma Katsayisi:wy	= 1.96
GY	=-1166.417 kg/cm2
Profilin Agirligi	= 163.748 kg



Alt baslik:

```

=====
Profilin Cinsi           =1/2 I 200
Net Kesit Alanı:FAL      = 14.825          cm2
SIGMA                    = 303.5413        kg/cm2
Lamda X                  = 72.44898
Burkulma Katsayisi:wx    = 0
GX                        = 0          kg/cm2
Lamda Y                  = 113.9037
Burkulma Katsayisi:wy    = 0
GY                        = 0          kg/cm2
Profilin Agirligi        = 111.612          kg
=====

```

```

=====
Dikme ve Diyagonal Cubuklar
S( 2 3)= -1.0900      t      S( 2 3)= -0.5200      t
Korniyerin Cinsi        =L 40 40 5
Net Kesit Alanı:FAL      = 2.96975          cm2
SIGMA                    = 0          kg/cm2
Lamda X                  = 63.33333
Burkulma Katsayisi:wx    = 1.33
GX                        = -382.5066          kg/cm2
Lamda Y                  = 63.33333
Burkulma Katsayisi:wy    = 1.33
GY                        = -382.5066          kg/cm2
Lamda ksi                = 50.33113
Burkulma Katsayisi:wksi  = 1.21
Gksi                     = -347.9947          kg/cm2
Lamda ita                = 98.7013
Burkulma Katsayisi:wita  = 1.88
Gita                     = -540.686          kg/cm2
Korniyerin Agirligi      = 4.5144          kg
=====

```

```

=====
S( 3 4)= 1.8400      t      S( 3 4)= 0.8600      t
Profilin Cinsi           =T5
Net Kesit Alanı:FAL      = 4.616          cm2
SIGMA                    = 398.6135        kg/cm2
Lamda X                  = 179.4521
Burkulma Katsayisi:wx    = 0
GX                        = 0          kg/cm2
Lamda Y                  = 254.369
Burkulma Katsayisi:wy    = 0
GY                        = 0          kg/cm2
Profilin Agirligi        = 23.2656          kg
=====

```

```

Kafes Adedi              = 10
Toplam Kafes Agirligi= 3031.4 kg
Toplam Cati Agirligi= 4050.2 kg

```

```

=====
Kafes Kiris Araligi:      Asik Araligi:      Cati Agirligi:
=====
LX=2.55          m      A1=1.07          m      WT=4050.200 kg
=====

```

??=?=====

CELİK CATILARDA KAFES KIRIS VE ASIK ARALIKLARININ OPTIMUM TESBITI:

=====

Kafes Kiris Tipi :B
 Cati egimi :1/2.8
 Yapi Uzunlugu : 28.3 m
 Kafes Kiris Acikligi : 8.520001 m
 Duvar Kalinligi : .3 m
 Yapi Genisligi : 8.82 m
 Cati Kaplamasi :AGIR (100 kg)
 Asik Turu :BASIT KIRIS
 Celik Cinsi :St 37

=====

Iterasyon No: 1

=====

Celik Cati Agirliginin Hesabi:

=====

=====

1-Asik Agirliginin Hesabi:

=====

Orta Asik Hesabi:

=====

Tablo icin Wx Degeri = 33.94079 cm3

=====

Lx = 2.55 m
 Ly = 1.28 m
 Al = 2.13 m

=====

G = 8.100001 kg/m

Profilin Cinsi = IPE 100

Jx = 171 cm4

Wx = 34.2 cm3

Jy = 15.9 cm4

Wy = 5.79 cm3

Kar Yuku = 82.68 kg/m2

P1K = 77.86508 kg/m2

Ruzgar ve Rijitlik Baglamasi Agirligi = 1.9 kg/m2

Cati Kaplamasi Zati Agirligi = 100 kg/m2

Toplam Agirlik = 189.2651 kg/m2

Asiga Gelen Yuk = 403.1347 kg/m

q1x = 379.6578 kg/m

q1y = 135.5635 kg/m

M1x = 30859.06 kgcm

M1y = 2776.341 kgcm

G1max = 1381.818 kg/cm2

qw = 73.0132 kg/m

q2x = 452.671 kg/m

q2y = 135.5635 kg/m

Mw = 5934.604 kgcm

Gw = 173.5264 kg/cm2

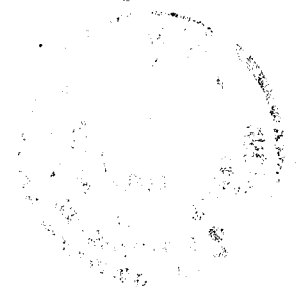
G2max = 1555.344 kg/cm2

fx = 6.940116E-03 cm

fy = 1.419074E-03 cm

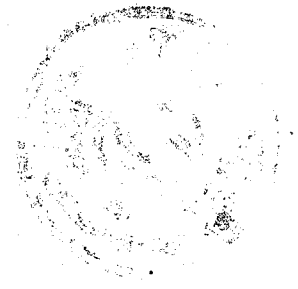
f = 7.083712E-03 cm

=====



Mahya ve Damlalık Asigi Hesabi:

=====			
Tablo için Wx Degeri	= 16.9704	cm ³	
=====			
Lx	= 2.55	m	
Ly	= 1.28	m	
A1	= 1.065	m	
=====			
G	= 6	kg/m	
Profilin Cinsi	= IPE 80		
Jx	= 80.1	cm ⁴	
Wx	= 20	cm ³	
Jy	= 8.49	cm ⁴	
Wy	= 3.69	cm ³	
Kar Yuku	= 82.68	kg/m ²	
P1K	= 77.86508	kg/m ²	
Ruzgar ve Rijitlik Baglamasi Agirligi	= 1.9	kg/m ²	
Cati Kaplamasi Zati Agirligi	= 100	kg/m ²	
Toplam Agirlik	= 189.2651	kg/m ²	
Asiga Gelen Yuk	= 201.5673	kg/m	
q1x	= 189.8289	kg/m	
q1y	= 67.78177	kg/m	
M1x	= 15429.53	kgcm	
M1y	= 1388.171	kgcm	
G1max	= 1147.675	kg/cm ²	
qw	= 36.5066	kg/m	
q2x	= 226.3355	kg/m	
q2y	= 67.78177	kg/m	
Mw	= 2967.302	kgcm	
Gw	= 148.3651	kg/cm ²	
G2max	= 1296.04	kg/cm ²	
fx	= 7.407989E-03	cm	
fy	= 1.328815E-03	cm	
f	= 7.526225E-03	cm	
=====			
Orta asik agr.	= 458.46	Kg	IPE 100
Kenar Asik Agr.	= 679.2	Kg	IPE 80
=====			
Asik Agirligi	= 1137.66	Kg	
=====			



=====

2-Kafes Kiris Agirliginin Bulunmasi:

=====

Zati Agirlik Yuku	= 119.92	kg/m2
Kafes Kiris Yuk alani	= 21.726	m2
Kafes Kiris Toplam Yuku	= 2605.382	kg
Orta Dugume Gelen Yuk	= 651.3455	kg
Kenar Dugume Gelen Yuk	= 325.6727	kg
Karyuku Katsayisi	= .6493085	
Orta Dugum Kar Yuku	= 422.9242	kg
Kenar Dugum Kar Yuku	= 211.4621	kg
CE Katsayisi	= -.3105	
CF Katsayisi	= -.5	
Emme Kuvveti	= -24.84	kg/m2
Basinc Kuvveti	= -40	kg/m2
Toplam Emme Kuvveti	= -286.5228	kg
Orta Dugum Emme Kuvveti	= -143.2614	kg
Kenar Dugum Emme Kuvveti	= -71.6307	kg
Toplam Basinc Kuvveti	= -461.3893	kg
Orta Dugum Basinc Kuvv.	= -230.6947	kg
Kenar Dugum Basinc Kuvv.	= -115.3473	kg

=====

Dugum Koordinatlari

X(1)=	0.000	m	Y(1)=	0.000	m
X(2)=	2.130	m	Y(2)=	0.760	m
X(3)=	2.130	m	Y(3)=	0.000	m
X(4)=	4.260	m	Y(4)=	1.520	m
X(5)=	6.390	m	Y(5)=	0.000	m
X(6)=	6.390	m	Y(6)=	0.760	m
X(7)=	8.520	m	Y(7)=	0.000	m

Dugum Yukleri: Yukaridan Asagi ve Soldan Saga Etkiyen Yukler(+):

Dugum Zati Yuku:

PY(1)=	0.326	t	PX(1)=	0.000	t
PY(2)=	0.651	t	PX(2)=	0.000	t
PY(3)=	0.000	t	PX(3)=	0.000	t
PY(4)=	0.651	t	PX(4)=	0.000	t
PY(5)=	0.000	t	PX(5)=	0.000	t
PY(6)=	0.651	t	PX(6)=	0.000	t
PY(7)=	0.326	t	PX(7)=	0.000	t

Cubuk Kuvvetleri:

S(1 2)=	-2.9100	t
S(1 3)=	2.7300	t
S(2 3)=	-0.6600	t
S(2 4)=	-2.9100	t
S(3 4)=	1.1200	t
S(3 5)=	1.8200	t
S(4 5)=	1.1200	t
S(4 6)=	-2.9100	t
S(5 6)=	-0.6600	t
S(5 7)=	2.7300	t
S(6 7)=	-2.9100	t

Dugum Kar Yuku:

PY(1)=	0.211	t	PX(1)=	0.000	t
PY(2)=	0.423	t	PX(2)=	0.000	t
PY(3)=	0.000	t	PX(3)=	0.000	t
PY(4)=	0.423	t	PX(4)=	0.000	t
PY(5)=	0.000	t	PX(5)=	0.000	t
PY(6)=	0.423	t	PX(6)=	0.000	t
PY(7)=	0.211	t	PX(7)=	0.000	t

Cubuk Kuvvetleri:

S(1 2)=	-1.8900	t
S(1 3)=	1.7700	t
S(2 3)=	-0.4300	t
S(2 4)=	-1.8900	t
S(3 4)=	0.7200	t
S(3 5)=	1.1800	t
S(4 5)=	0.7200	t
S(4 6)=	-1.8900	t
S(5 6)=	-0.4300	t
S(5 7)=	1.7700	t
S(6 7)=	-1.8900	t

Dugum Soldan Ruzgar Yuku:

PY(1)=	-0.067	t	PX(1)=	-0.024	t
PY(2)=	-0.135	t	PX(2)=	-0.048	t
PY(3)=	0.000	t	PX(3)=	0.000	t
PY(4)=	-0.176	t	PX(4)=	0.015	t
PY(5)=	0.000	t	PX(5)=	0.000	t
PY(6)=	-0.217	t	PX(6)=	0.078	t
PY(7)=	-0.109	t	PX(7)=	0.039	t

Cubuk Kuvvetleri:

S(1 2)=	0.7200	t
S(1 3)=	-0.6600	t
S(2 3)=	0.1400	t
S(2 4)=	0.7700	t
S(3 4)=	-0.2600	t
S(3 5)=	-0.4600	t
S(4 5)=	-0.4100	t
S(4 6)=	0.8900	t
S(5 6)=	0.2300	t
S(5 7)=	-0.7900	t
S(6 7)=	0.8100	t

Dugum Sagdan Ruzgar Yuku:

PY(1)=	-0.109	t	PX(1)=	-0.039	t
PY(2)=	-0.217	t	PX(2)=	-0.078	t
PY(3)=	0.000	t	PX(3)=	0.000	t
PY(4)=	-0.176	t	PX(4)=	-0.015	t
PY(5)=	0.000	t	PX(5)=	0.000	t
PY(6)=	-0.135	t	PX(6)=	0.048	t
PY(7)=	-0.067	t	PX(7)=	0.024	t



Cubuk Kuvvetleri:

S(1 2)=	0.8300	t
S(1 3)=	-0.7500	t
S(2 3)=	0.2400	t
S(2 4)=	0.9100	t
S(3 4)=	-0.4300	t
S(3 5)=	-0.4100	t
S(4 5)=	-0.2800	t
S(4 6)=	0.8000	t
S(5 6)=	0.1500	t
S(5 7)=	-0.6400	t
S(6 7)=	0.7500	t

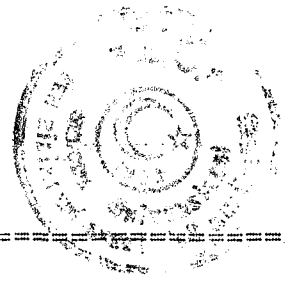
Max. ve Min. Cubuk Kuvvetleri:

Maximum			Minimum		
=====			=====		
S(1 2)=	-4.8000	t	S(1 2)=	-2.1900	t
S(1 3)=	4.5000	t	S(1 3)=	2.0700	t
S(2 3)=	-1.0900	t	S(2 3)=	-0.5200	t
S(2 4)=	-4.8000	t	S(2 4)=	-2.1400	t
S(3 4)=	1.8400	t	S(3 4)=	0.8600	t
S(3 5)=	3.0000	t	S(3 5)=	1.4100	t
S(4 5)=	1.8400	t	S(4 5)=	0.8400	t
S(4 6)=	-4.8000	t	S(4 6)=	-2.1100	t
S(5 6)=	-1.0900	t	S(5 6)=	-0.5100	t
S(5 7)=	4.5000	t	S(5 7)=	2.0900	t
S(6 7)=	-4.8000	t	S(6 7)=	-2.1600	t
=====			=====		

Ust Baslik icin Pmax = -4.800 t Pmin = -2.190 t
 Alt Baslik icin Pmax = 4.500 t Pmin = 2.070 t

Ust baslik:

Profilin Cinsi	=1/2 I 200
Net Kesit Alanı:FAL	= 14.825 cm2
SIGMA	= 0 kg/cm2
Lamda X	= 76.87075
Burkulma Katsayisi:wx	= 1.5
GX	=-431.1377 kg/cm2
Lamda Y	= 120.8556
Burkulma Katsayisi:wy	= 2.47
GY	=-709.9401 kg/cm2
Profilin Agirligi	= 118.5137 kg



Alt baslik:

```

=====
Profilin Cinsi           =1/2 I 200
Net Kesit Alanı:FAL      = 14.825           cm2
SIGMA                    = 303.5413         kg/cm2
Lamda X                  = 72.44898
Burkulma Katsayisi:wx    = 1.45
GX                        = 0             kg/cm2
Lamda Y                  = 113.9037
Burkulma Katsayisi:wy    = 2.21
GY                        = 0             kg/cm2
Profilin Agirligi        = 111.612          kg
=====

```

```

=====
Dikme ve Diyagonal Cubuklar
S( 2 3)= -1.0700      t      S( 2 3)= -0.5200      t
Korniyerin Cinsi        =L 40 40 5
Net Kesit Alanı:FAL     = 2.96975          cm2
SIGMA                    =-175.0989         kg/cm2
Lamda X                  = 63.33333
Burkulma Katsayisi:wx    = 1.33
GX                        =-382.5066         kg/cm2
Lamda Y                  = 63.33333
Burkulma Katsayisi:wy    = 1.33
GY                        =-382.5066         kg/cm2
Lamda ksi                = 50.33113
Burkulma Katsayisi:wksi  = 1.21
Gksi                     =-347.9947         kg/cm2
Lamda ita                = 98.7013
Burkulma Katsayisi:wita  = 1.88
Gita                     =-540.686         kg/cm2
Korniyerin Agirligi      = 4.5144          kg
=====

```

```

=====
S( 3 4)= 1.8400      t      S( 3 4)= 0.8600      t
Profilin Cinsi           =T 5
Net Kesit Alanı:FAL      = 4.76           cm2
SIGMA                    = 386.5547         kg/cm2
Lamda X                  = 179.4521
Burkulma Katsayisi:wx    = 0
GX                        = 0             kg/cm2
Lamda Y                  = 254.369
Burkulma Katsayisi:wy    = 0
GY                        = 0             kg/cm2
Profilin Agirligi        = 23.2656          kg
=====

```

Toplam Kafes Agirligi= 2579.057 kg
 Toplam Cati Agirligi= 3716.717 kg

```

=====
Kafes Kiris Araligi:      Asik Araligi:      Cati Agirligi:
=====
LX=2.55      m      A1=2.13      m      WT=3716.717      kg
=====

```



KAYNAKLAR

- 1- AKGÜN, Ö. R., "Betonarme Yapı Sistemlerinin Optimum Boyutlandırılması", A. Ü. Müh. Mim. Fak. Yayını No:15, Eskişehir, 1984
- 2- ALAN, A. S., ERNEST, H., ROLAND, W. L., "Civil Engineering Systems Analysis and Design", John Wiley & Sons, New York, 1983
- 3- ÇELEBİ, T., "Sanayi Yapı Projeleri", 2. Baskı, Kipaş Dağıtım-cılık, İstanbul, 1977
- 4- DEMİR, Ö., "Kafes Sistemlerinin Optimum Boyutlandırılması", Doğa Dergisi, Seri: B, Ankara, 1985
- 5- DEREN- H., "Çelik Yapılar", Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, 1984
- 6- ERŞEN, N., "Çelik Yapı Problemleri", 2. Baskı, Birsen Kitabevi İstanbul, 1980
- 7- IBM International Business Machines Co., BASIC by Microsoft, Version 2.0 Revised Second Edition, IBM Personel Computer Hardware Reference Library, 1983



- 8- KARADUMAN, M., "Çelik Yapılar, Cilt - I. ", 3. Baskı, S.Ü. Müh. Mim. Fak. Yayını, No: 19, Konya, 1985
- 9- KESKİNEL, F., ATREK, E., "Yapısal Optimizasyon: Yöntemler ve Uygulamalara Genel Bir Bakış", İ.T.Ü. Mimarlık Fak. Yayını, No: 8, İstanbul, 1979
- 10- KESKİNEL, F., "BASIC Programlama Dili", Birsen Yayınevi, İstanbul, 1987
- 11- ODABAŞI, Y., "Çelik Çatı Elemanlarının Ekonomik Çözümleri", Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, 1982
- 12- ORBAY, A., "Plak Döşeme - Kiriş ve Kolonlardan Oluşan Monolitik Betonarme Yapıların Nümerik Yöntemlerle Analizi ve Optimum Tasarımı", Doktora Tezi, E. Ü. İnşaat Fak., İzmir, 1980
- 13- ORBAY, A., "Betonarme ve Çelik Çerçevelerin Doğrusal Elastik Yöntemlerle Optimum Tasarımı", Doktora Tezi, E. Ü. İnşaat Fak., İzmir, 1982
- 14- SAKA, M. P., "Çerçevelerin Optimum Boyutlandırılması", İ.M.O. Teknik Bülteni, Sayı: 26-27, Ankara, 1986
- 15- "Stahl Im Hochbau", 13. Auflage, Verlag Stahleisen M.B.H, Düsseldorf, 1969
- 16- TS 648, "Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları", 1.Baskı, T.S.E., Ankara, 1982
- 17- TUĞAL, E., "Çelik Yapı Elemanları ve Örnek Çözümler", Teknik Yayınevi, Ankara, 1986



- 18- TULUNAY, Y., "Matematik Programlama ve İşletme Uygulamaları"
İ.Ü. İşletme Fak. Yayını, No: 108, İstanbul,
1980
- 19- ULUĞ, T. N., ODABAŞI, Y., "Ahşap ve Çelik İnşaat Hesapları",
8. Baskı, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul,
1984
- 20- UZAKGÖREN, N., TUNÇAĞ, M., KARDEŞ, K., VERGİN, T., "Çelik
Yapılar El Kitabı", T.M.M.O.B. İnşaat Müh.
Odası Şubesi Yayını, No: 1, İzmir, 1985

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi