

628.1:519.87  
A 468 S

1996-1495

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU  
MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA GRUBU

PROJE NO. : MAG - 343

**SU KAYNAKLARI GELİŞTİRİLMESİNDE  
EKSİK HİDROLOJİK VE EKONOMİK  
BİLGİLERLE SİSTEM ANALİZİ  
UYGULAMASI**

TÜRKİYE  
BİLİMSEL ve TEKNİK  
ARAŞTIRMA KURUMU  
KÜTÜPHANESİ

Yard. Prof. Dr. H. Doğan Altınbilek

Ankara, 1976

TÜRKİYE  
BİLİMSEL ve TEKNİK  
ARAŞTIRMA KURUMU  
KÜTÜPHANESİ

628.1 :519.87

A468s

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU  
MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA GRUBU

PROJE NO : MAG -- 343

SU KAYNAKLARI GELİŞTİRİLMESİNDE  
EKSİK HİDROLOJİK VE EKONOMİK BİLGİLERLE  
SİSTEM ANALİZİ UYGULAMASI

T Ü R K İ Y E  
B İ L İ M S E L ve T E K N İ K  
A R A Ş T I R M A K U R U M U  
K Ü T Ü P H A N E S İ

Proje Direktörü : Yard. Prof. Dr. H. Doğan Altınbilek

Bu Proje Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumunun  
Desteği ile O.D.T.Ü. Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği  
Bölümünde Yapılmıştır.

Başlama Tarihi : 1.8.1973

Bitme Tarihi : 31.7.1974

14552

## Ö N S Ö Z

Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'nca desteklenen bu proje, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Su Kaynakları Laboratuvarı'nda yürütülmüştür. Araştırma için gerekli teknik ve istatistikî bilgiler, Devlet Su İşleri, Türkiye Elektrik Kurumu, İller Bankası ve Devlet İstatistik Enstitüsü'nden elde edilmiştir. Nümerik hesaplamalar için ODTÜ, Elektronik Hesap Bilimleri Merkezi'nin bilgisayarını kullanılmıştır. Yazar, araştırmayı mümkün kılan bütün kurum ve kişilere teşekkür eder.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa No:
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	v
TABLolarIN LİSTESİ .....	vi
ABSTRAKT .....	vii
1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI .....	1
1.1. ARAŞTIRMANIN AMACI .....	1
1.2. SU KAYNAKLARI SİSTEM ANALİZİ METODLARI .....	4
1.2.1. ANALİZ YÖNTEMİ .....	4
1.2.2. MODELLEME TEKNİKLERİ .....	5
1.2.3. EN İYİLEME (OPTİMİZASYON) VE BENZETİM (SİMULASYON) TEKNİKLERİ .....	8
1.2.3.1. GENEL .....	8
1.2.3.2. DİREKT MATEMATİK METODLARI.....	11
1.2.3.3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA .....	12
1.2.3.4. DİNAMİK PROGRAMLAMA .....	14
1.2.3.5. EĞRİSEL PROGRAMLAMA .....	15
1.2.3.6. BENZETİM (SİMULASYON) METODU.	17
1.3. SU KAYNAKLARI SİSTEM ANALİZİYLE İLGİLİ LİTERATÜR .....	19
1.3.1. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA UYGULAMALARI .....	19
1.3.2. DİNAMİK PROGRAMLAMA UYGULAMALARI .....	21
1.3.3. EĞRİSEL PROGRAMLAMA UYGULAMALARI .....	23
1.3.4. DİĞER LİTERATÜR .....	23
2. SİSTEM MODELLERİNDE DUYARLIK İRDELEMESİ .....	26
2.1. GENEL .....	26
2.2. DUYARLIK İRDELEMESİYLE İLGİLİ TANIMLAR .....	27
2.3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE EN İYİLEMEDE DUYARLIK ANALİZLERİ .....	30
2.3.1. GEREKİRCİ (DETERMİNİSTİK) DOĞRUSAL MODELLER .....	30
2.3.2. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELLERİNİN OLASILIKLI DEĞİŞKENLERLE UYGULANMASI....	35
2.3.2.1. OLASILI KATSAYILARIN SADECE AMAÇ FONKSİYONUNDA OLMASI DURUMU .....	36



2.3.2.2. OLASILI KATSAYILARIN KISITLA- RIN SINIRI OLMASI DURUMU .....	37
2.3.2.3. KISITLAR MATRİSİNDE OLASILI DEĞİŞKENLER BULUNMASI DURUMU....	37
2.4. EĞRİSEL PROGRAMLAMA İLE EN İYİLEMEDE DUYARLIK İRDELEMESİ .....	38
2.4.1. EĞRİSEL MODEL .....	39
2.4.2. MODELİN ÇÖZÜMÜ.....	42
2.4.3. DUYARLIK İRDELEMESİ .....	44
3. SİSTEM ANALİZİ İÇİN GEREKLİ EKONOMİK VERİLER .....	48
3.1. GİRİŞ .....	48
3.2. YÖNTEM .....	51
3.3. BARAJ MALİYET İLİŞKİLERİ .....	54
3.4. HİDROELEKTRİK SANTRALLARIN MALİYET İLİŞKİLERİ..	59
3.4.1. İLK YATIRIM MALİYETİ .....	59
3.4.2. YILLIK İŞLETME VE BAKIM GİDERLERİ .....	64
3.5. SULAMA SİSTEMLERİNİN MALİYET İLİŞKİLERİ .....	66
3.5.1. İLK YATIRIM MALİYETİ .....	66
3.5.2. YILLIK İŞLETME VE BAKIM GİDERLERİ .....	69
3.6. İÇME SUYU SİSTEMLERİNİN MALİYET İLİŞKİLERİ.....	73
3.6.1. SERVİS DEPOLARI .....	73
3.6.2. TASFIYE TESİSLERİ .....	77
3.6.3. BORULAR .....	77
3.6.4. TOPLAM ŞEBEKE MALİYETİ İLİŞKİLERİ.....	77
4. BARAJ İŞLETMESİNİN POLİTİKA YİNELEME METODU VE DİNAMİK PROGRAMLAMAYLA EN İYİLENMESİ .....	86
4.1. GİRİŞ .....	86
4.2. POLİTİKA YİNELEME METODU .....	87
4.3. ÇOK AMAÇLI BİR BARAJ İŞLETMESİ İÇİN VARSAYIMLI ÖRNEK .....	89
4.4. METODUN ASLANTAŞ BARAJINA UYGULANMASI .....	93
4.5. ÇOK AMAÇLI ÇOK SAYIDA BARAJ İŞLETMESİ İÇİN VARSAYIMLI ÖRNEK .....	101
5. SONUÇLARIN TARTIŞILMASI .....	107
6. SONUÇLAR .....	111
ÖZET (TÜRKÇE VE İNGİLİZCE) .....	112
KAYNAKLARIN LİSTESİ .....	114

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil No:	Şekil Adı	Sayfa
1.1	En İyileme Metodlarının Uygulanma Sırası.....	10
2.1	Su Kaynakları Sistemi.....	39
2.2	Su Kaynakları Sisteminin Şeması .....	40
3.1	Barajlar İçin Depolama Hacmi - Maliyet İlişkisi ( $V < 200 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) .....	56
3.2	Barajlar İçin Depolama Hacmi - Maliyet İlişkisi ( $V > 200 \times 10^6 \text{ m}^3$ ).....	57
3.3	Hidroelektrik Santrallerin Toplam Tesis Maliyetinin 1972 Değeri.....	61
3.4	Hidroelektrik Santrallerin Toplam Tesis Bedelinin 1972 Değeri .....	62
3.5	Hidroelektrik Santrallerin Toplam Teçhizat Maliyeti .....	63
3.6	Hidroelektrik Santrallerin Yıllık İşletme ve Bakım Giderleri (1972) .....	65
3.7	Sulama Sistemlerinin İlk Yatırım Maliyetleri (1971 değeri) .....	68
3.8	Kaplamalı Tersiyer Kanallarda Eğim-Debi- Maliyet İlişkisi (1971) .....	70
3.9	Kanaletlerde Eğim-Debi-Maliyet İlişkisi (1971). 71	
3.10	Sulama Sistemlerinin Yıllık İşletme ve Bakım Giderleri - Alan İlişkisi (1972).....	72
3.11	Gömme Kargir ve ve Ayaklı Beton Depolarda Hacim-Maliyet İlişkisi (1975 Birim Fiyatları) 74	
3.12	Su Depolarının Hacim-Maliyet Eğrisi (1975).....	75
3.13	Betonarme Gömme Depo Birim Hacim Maliyetleri (1975) .....	76
3.14	Su Tasfiye Tesisleri İçin Maliyet Eğrileri (1975) .....	78
3.15	Çaplara Göre Yerine Döşenmiş Boru Maliyetleri (1974 Fiyatları) .....	79
3.16	Yerine Döşenmiş En Ekonomik Boruların Maliyet- Çap İlişkisi (1974) .....	81
3.17	Şebeke Toplam Boru Maliyeti-Alan İlişkisi .....	83
3.18	Şebeke Toplam Boru Maliyeti-Nüfus İlişkisi .....	84
4.1	Aslantaş Projesi Blok Şeması .....	94
5.1	Maliyet-Done Miktarı İlişkisi .....	108

## TABLOLARIN LİSTESİ

Tablo No:	Tablo Adı	Sayfa No:
1.1	En iyileme Yöntemlerinin Özellikleri .....	9
2.1	A, b ve C Katsayılarının Değişiminin Doğrusal Modele Etkileri .....	34
2.2	Eğrisel Modelin Rosen Algoritmasıyla Çözümü....	
2.3	Amaç Fonksiyonunda Maliyet Değerlerinin %10 ve %30 Arttırılmasının Optimum Neticeye Etkisi .....	45
2.4	Akım Değerlerindeki Hataların Optimum Çözümüne Etkileri.....	46
3.1	Yapı Malzemeleri Fiyat Artış Endeksleri .....	52
3.2	Türkiye'de İnşaatı Bitirilerek İşletmeye Açılmış Barajlar .....	55
3.3	Mevcut Hidroelektrik Santrallerin Özellikleri ve Maliyetleri .....	60
3.4	Hidroelektrik Santrallerin İşletme ve Bakım Giderleri .....	64
3.5	Sulama Sistemlerinin İlk Yatırım Maliyetleri	67
3.6.	Birim Boru Maliyeti (1975) .....	80
4.1	Nehir Akımlarının Olasılığı .....	89
4.2	Fayda Fonksiyonlarının Varsayılan Katsayıları	91
4.3	Optimum İşletme Politikası .....	92
4.4	Aslantaş Projesi İçin 4 Mevsimlik Matematiksel Model .....	95
4.5	En İyi İşletme Değerleri .....	100
4.6	Örnek Problemde Çözümün Yakınsaklaşması .....	106

## ABSTRAKT

Bu araştırmada su kaynakları sistem analizi metodları ve ilgili literatür etraflıca incelenmiştir. Yetersiz done halinde gerekli olacak duyarlılık irdellemesiyle ilgili tanımlar verilmiş, doğrusal ve eğrisel modellerde duyarlılık irdellemesi yöntemleri tartışılarak, bir örnek sunulmuştur. Sistem analizi için gerekli ekonomik veriler incelenerek, barajlar, hidroelektrik santraller, sulama ve içmesuyu sistemlerinin maliyet ilişkileri fonksiyonel veya grafik şekilde ifade edilmişlerdir. Baraj işletmesinde politika yineleme metoduyla ve dinamik programlamayla bir en iyileme yöntemi önerilmiş ve yöntem üç örnekle izah edilmiştir.

## ABSTRACT

In this study, the methods of water resources systems analysis and related literature are surveyed extensively. Definitions related to sensitivity analysis which will be necessary in case of inadequate data are given. Sensitivity analysis techniques for linear and nonlinear programming are discussed and an example was presented. Necessary economical data for system analysis are examined. Cost data are expressed in functional or tabular form for dams, hydropower stations, irrigation and municipal water supply systems. A reservoir operation optimization procedure was proposed utilizing policy iteration technique and dynamic programming. The procedure was explained by three illustrative examples.

Raporda Geçen Bazı Yöneylem Araştırması Terimlerinin  
İngilizce Karşılıkları (Kaynak: Yöneylem Araştırması,  
Bildiriler 75, M. Oral, Ü. Çınar, TBTA, 1976).

Türkçe - İngilizce

algoritma: algorithm  
amaç: objective  
aralık: interval  
ardarda: successive  
ardışık: consecutive  
ardışıklı : sequential  
ayrık : discrete  
ayrışım: decomposition  
bağımlı: dependent  
bağımsız: independent  
belirtik: explicit  
benzerlik: analogy  
benzetim: simulation  
bilgisayar: computer  
birikimli: cumulative  
çevrim: cycle  
çokterimli: polynomial  
dağılım: distribution  
dallandırıp-sınırlama: branch and bound  
değer: value  
değişmez durum: steady state  
depolama: storage  
dinamik (devimsel): dynamic  
dışbükey: convex  
dizi: series  
doğrulamak: verify  
doğrulaştırma: linearisation  
doğrusal: linear  
doğurgan: recursive  
dönem: period  
dönüşüm: transformation

Türkçe - İngilizce

durum: state  
duyarlık: sensitivity  
düğüm: node  
eğrisel: nonlinear  
enbüyük: maximum  
enbüyüklemek : maximize  
eniye: optimal  
eniyileme: optimisation  
enküçük: minimum  
eşdeğer: equivalent  
eşlenik: conjugate  
etken: factor  
etkin: effective  
geçiş: transition  
gerekirci: deterministic  
girdi: input  
görelî: relative  
gözlemsel: empirical  
güvenilirlik: reliability  
içbükey: concave  
ikicil: dual  
ilişki: relation  
kararlı: stable  
kararsız: unstable  
karşılık: response  
keyfi: arbitrary  
kısıt: constraint  
niceliksel: quantitative  
niteliksel: qualitative  
olasılık: probability  
olasılıklı: probabilistic

Türkçe - İngilizce

öncelik : priority

rastlansal : stochastic

sınır : boundary, limit

sonlu : finite

sonsuz : infinite

süreç : process

sürekli : continuous

toptan : global

üst : upper, exponent

üstlü : exponential

varsayım : hypothesis

veri : data

verimli : efficiency

yakınsak : convergent

yakınsaklık : convergence

yaklaşık : approximate

yapay : artificial

yineleme : iteration

yinelenme : recurrence

yitim : loss

yöneylem araştırması : operational research

## 1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

### 1.1. ARAŞTIRMANIN AMACI

Su kaynakları geliştirilmesinde mühendislik ve ekonomi unsurlarını birleştirerek en uygun (optimum) çözüm elde edilmesini sağlayan sistem analizi metodları gün geçtikçe daha geniş çapta uygulanmaktadır. Sistem analizi metodlarının uygulanabilmesi için gerekli başlıca doneler, hidrometeorolojik, hidrolojik ve ekonomik (Fayda ve maliyet) bilgiler olmaktadır. Ancak özellikle ekonomik bilgiler geleceğe ait olmaları sebebiyle tam doğrulukla elde edilememektedir.

Öte yandan Sistem analizi uygulaması su kaynakları sistemlerinin matematiksel modellerinin teşkilini gerektirmektedir. Matematiksel modeller sistemin bütün yönlerini kapsayan bir amaç fonksiyonu ve akım rejiminin en önemli özelliklerini temsil eden matematiksel fonksiyonları içermektedir. Bütün bu hususlar belirsizlikler ihtiva etmektedir. Belirsizlikler, akımların rastlansal (stokastik) dağılımları, model parametrelerinin iyi tahmin edilememesi ve benzeri birçok sebepten olabilir.

Kalkınmakta olan ülkelerde, gerekli ön bilgilerin kıfayetsizliği, sistem analizi metodlarında birçok varsayımlar ve yaklaşımlar yapılmasını gerektirmektedir. Çok basitleştirilmiş modeller ise genellikle hakiki sistemleri temsil etmemektedir. Kalkınmakta olan ülkelerde analizler genellikle güvenirliliği az olan kısıtlı ön bilgi (veri) ile yapıldığından seçilen model ve tekniklerin belirliliği önem kazanmaktadır. En ileri yöneylem araştırması ve optimizasyon tekniklerinin dahi kullanılan donelerin yeterlik ve doğruluğu oranında iyi neticeler verebileceği aşıkardır.

Yukardaki izahların ışığında yeni geliştirilmiş sistem analizi ve optimizasyon tekniklerinin kalkınmakta olan ülkelere kullanılmasının mümkün ve yararlı olup olmadığı soruları belirmektedir. Bir yandan, sistem analizi metodları, ön bilgi (veri) yetersizliği sebebi ile kullanılmazken, öte yandan da gerekli ön bilgiler sistem metodları kullanılmadığından ve dolayısı ile ihtiyaç olmadığından toplanmamaktadır. Bununla



beraber kalkınmakta olan ülkelerde sistem metodlarının kullanılabilmesi için özellikle ümit veren bazı durumlar mevcuttur. Şöyleki;

- a. Birçok ön bilgiler mevcuttur. Ancak bunların kullanılabilmesi için belirli şekilde düzenlenmeleri gerekmektedir.
- b. Ön bilgiler (özellikle hidrolojik bilgiler) kısa süreli olsalar dahi bu bilgilerden en iyi şekilde yararlanmayı mümkün kılacak bir çok projeksiyon metodları geliştirilmiştir.

Özellikle Türkiye'nin durumu ele alındığında, done durumları TBTA, MAG-296, "Aşağı Ceyhan-Aslantaş Projesi için Matematiksel Modelleme ve Optimizasyon Çalışması" projesi kapsamında S. Waziruddin ve D.Altınbilek tarafından incelenmiştir.[1] Bahsedilen projenin sonuç ve tavsiyeleri arasında aşağıdaki kısım, Türkiye'deki ön bilgi durumunu özetlemektedir.

"Ceyhan-Aslantaş projesi için bir matematiksel model geliştirilirken (MAG-296 projesi) Türkiye'deki ön bilgi (done) durumları da incelenmiştir. Çalışma sonunda Türkiye'de su kaynaklarının modellenenebilmesi için yeterli ekonomik ve teknik ön bilginin mevcut olduğu söylenebilir. Ancak bu çalışmanın kapsamı ve süresinin kısalığı sebebi ile bu çalışmada kullanılan doneler ve matematiksel ilişkiler sadece bir örnek olarak kabul edilmelidir. Çalışmada kullanılan ve ilgili teşkilâtlardan genellikle gayri resmi şekilde toplanan doneler bütün gayret ve iyi niyetlere rağmen bazı hallerde yanlışlıklar ihtiva edebilecektir. Bu çalışma ileride düzeltilerek genelleştirilebilecek bir örnek ve pilot çalışma olarak kabul edilmelidir".



Yukardaki izahların ışığında, bu araştırmada incelenmesi teklif edilen hususlar aşağıdakilerle sınırlanmıştır.

a. Su kaynaklarının en iyilenmesi için gerekli ön bilginin (Baraj, sulama, içme suyu dağıtım şebekesi, hidro-elektrik santral, su iletimi ve benzeri sistemlerin maliyet, işletme ve bakım giderleri) toplanması, etüdü ve fonksiyonel şekilde ifadesi.

b. Sistem metodlarının incelenmesi ve literatürün araştırılması

c. Belirli bir sistem modeli ve eniyileme yöntemi seçildikten sonra donelerdeki hataların ve eksiklerin neticeye etkisinin (duyarlık irdelemesi) incelenmesi

d. Duyarlık irdelemesinin örneklerle gösterilmesi

e. Gerekirci modellerin yanı sıra stokastik modeller geliştirilmesi ve bu modellerde eksik donenin etkilerinin araştırılması

f. Taşkın koruma, mesire gibi değişik su kaynakları geliştirme prensiplerinin sistem modelinde ifade edilmesi yöntemlerinin incelenmesi.

## 1.2. SU KAYNAKLARI SİSTEM ANALİZİ METODLARI

### 1.2.1. ANALİZ YÖNTEMİ

Su kaynakları sistem analizi, genellikle, aşağıda sıralanmış beş faaliyeti içerir:

- a. Problemin tanımı
- b. Model teşkili
- c. Modelin çözümü
- d. Modelin irdelenmesi
- e. Sonuçların uygulanması.

Bu sayılan faaliyetlerden "modelin çözümü" hariç diğerleri için standart yöntemler mevcut olmayıp her problemin özelliklerine ve araştıracının tecrübesine göre çalışmalar yürütülür.

Problemin tanımı deyimi çalışmanın amacının, sistemle ilgili çeşitli karar alternatiflerinin, sistemin sınır ve kısıtlarının belirlenmesini içermektedir. Su kaynakları sistemlerinden beklenebilecek faydalar detaylı olarak çeşitli kaynaklarda [6,54,57,58] işlenmiştir.

Analizin ikinci etabı model teşkilidir. Sistemi temsil edebilecek en uygun model tipi tesbit edilmeli, sistemin amaçları ve kısıtları kemiyetsel amaç fonksiyonu ve kısıt işlevlerinde karar değişkenleri cinsinden yazılmalıdır. Model daha sonra izah edilecek en iyileme yöntemlerinden birine (örneğin dinamik programlama) uygun olduğu takdirde çözüm kolay olacaktır. İncelenen sistemin karmaşık olması halinde bir benzetim (simulasyon) modeli teşkili veya ayrışım (decomposition) yöntemi uygulanması gerekebilir.

Analizin üçüncü etabı modelin çözümüdür. Matematiksel modellerde çözüm, en iyileme (optimizasyon) yöntemiyle elde edilir. Bu takdirde sonuçlar "en iyi" (optimum) diye adlandırılır. Benzetim modellerinde en iyi çözüm yerine çeşitli alternatiflerden oluşan bir yanıt yüzeyi elde edilir. Model çözümü, bir çok hallerde duyarlılık irdelemesi ile takviye edilmelidir.

Bir model içerdiği bütün varsayımlara rağmen gerçek sistemin işlemesini tahmin edebiliyorsa geçerli demektir. Model irdelemesi safhasında, model geçmiş bazı girdiler için zlerek sistemin o durumlarda bilinen çıktılarını verip vermediği araştırılır. şüphesiz, gerçek hayatta mevcut olmayan sistemler için böyle bir irdeleme yapılamaz.

Çalışmanın son etabı sonuçların uygulanmasıdır. Bu amaçla, araştırıcının, elde edilen sonuçları uygulayıcılar tarafından anlaşılabilecek şekilde detaylı işletme direktifleri haline sokması gerekir.

#### 1.2.2. MODELLEME TEKNİKLERİ

Su kaynakları sistemlerinin kemiyetsel analizi için, o sistemin matematiksel modellerle temsili gerekir. Matematiksel modeller küçük alt sistemler için geliştirilebileceği gibi büyük boyutlu, çok amaçlı karmaşık sistemler için de kullanılabilirler. Bir nehir havzasındaki su yapılarının işletilmesi, bir barajın enerji üretim potansiyeli, bir su iletim hattının maliyeti, bir sulama tesisinde kullanılacak su miktarının tayini için ilgili sistemlerin matematiksel modelleri geliştirilebilir. Matematiksel modeller bir su kaynakları sisteminin en belirgin özelliklerini bazı basitleştirici varsayımlarla ifade eder. Su kaynakları sistem modelleri genellikle bir amaç (fayda veya maliyet) fonksiyonu ve değişkenlerin gerektirdiği bazı bağlayıcı şartlardan (kısıtlar) oluşur.

Herhangi bir sistemin modeli kurulmadan önce sistemin elemanları tanımlanmalı, elemanlar arası ilişkiler ve sistemin amaçları belirlenmelidir. Su kaynakları geliştirilmesinin ana amaçları arasında milli geliri arttırarak ekonomik randımanı yükseltmek, milli gelirin halka adil ve eşit dağılımını sağlamak, işsizliği azaltmak, milli güvenlik gibi paraya çevrilemeyen bazı amaçları sağlamak da bulunmaktadır. Ancak bu amaçların bir kısmı aynı birimlerle ifade edilemezken bazıları da çelişmektedir. Bir sistemin modeli hazırlanırken amaç olarak alınacak özelliklerin açıkça belirlenmesi gerekir. Hesaba katılmayan hususların veya yapılan basitleştirmelerin modelleri gerçekçilikten uzaklaştırmamasına da dikkat edilmelidir.

Örneğin amaç fonksiyonları çok amaçlı, çok yapıllı bir nehir havzasının net faydası olabileceği gibi bir su iletim sisteminin maliyeti de olabilir. Ekoloji ve çevreyi koruma gibi bazı parayla ifade edilemeyen gayeler, amaç fonksiyonunda yer almasa dahi bağlayıcı şartlar içinde bulunabilir.

Bir su kaynakları sisteminin teknik, ekonomik, hukuki, sosyal ve politik nitelikte özellikleri vardır. Bu özelliklerin değişkenler üzerindeki tesirleri matematiksel modellerde sınırlar (alt ve üst limitler) ve kısıtlarla temsil edilirler. Örneğin bir nehir üzerindeki su alma yapısında, sulama için dağıtılan suyun o noktadaki nehir akımından az veya ona eşit olacağı bir kısıt ilişkisi ile belirlenir.

Su kaynakları sistemlerinin matematiksel modellerini elde etmek için kullanılan yöntemler esas olarak tablo halindeki bir bağıntının, matematiksel bir fonksiyona dönüştürülmesini gerektirir. Matematiksel fonksiyon, regresyon analizi ile elde edilebilir. Buna ilâve olarak bazen, modeldeki bazı değişkenlerin üst sınırlarını tesbit için tahmin metodları gerekmektedir. Bu amaç ile, hareketli ortalama, üstsel düzeltme ve bunun gibi tahmin metodları kullanılabilir. Bu kısımda, çoklu regresyon analizi, kademeli regresyon analizi ve hareketli ortalama metodlarına değinilmiştir. Okuyucu daha fazla detay için konu ile ilgili mevcut çok sayıda eserden [2,3] birine müracaat etmelidir.

Çoklu regresyon analizi:

$$\hat{y} = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_1^2 + \dots + a_n x_1^n \quad (1.1)$$

matematiksel bağıntısındaki  $a_0, a_1, \dots, a_n$  sabit değerlerinin bulunmasında kullanılır. Burada  $x_1, x_2, \dots, x_n$  bağımsız değişkenler olup,  $\hat{y}$  ise  $y$  gözleminin tahmin edilen değeridir. Su kaynağı sistemlerinin bünyesi içinde,  $y$ , inşaat maliyetleri veya sistemin herhangi bir parçasının işletilmesiyle elde edilen faydaları ihtiva eden bir değer olabilir.  $x_1$  ise o elemanın kapasitesi veya işletilen hacmi olarak tanımlanabilir.  $a_0, a_1, \dots, a_n$  sabit değerleri ise, hataların en küçük karesini küçülterek bulunur. Şöyleki;

$$e = \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1.2)$$

Burada, N, analiz için gerekli done noktalarının sayısını göstermektedir. Regresyon neticesinin doğruluğu, istatistik olarak, çoklu korrelasyon katsayısı ve F testi ile ölçülebilir. Çoklu korrelasyon katsayısı 1 olan regresyon tam bir uyum gösterir. F değeri ise regresyonun istatistikî önemini göstermektedir. Çoklu regresyon analizi için, çeşitli deneyleri yapılmış bir elektronik hesap makinası programı, IBM sisteminin hazır bilimsel programlar serisinde mevcuttur.

Bir bilgi dizisini matematiksel bir fonksiyona dönüştürürken matematiksel modelin doğrusal olmama derecesi arttıkça, regresyonun doğruluk derecesi artabilir. Diğer taraftan matematiksel modelin doğrusal olmama derecesi arttıkça, ekstrapolasyon gibi amaçlar göz önüne alınarak stabilitesi azalır. Böylece doğrusal ve eğrisel olma halleri arasında bir denge bulunması gereklidir. Bu denge ise, çoğu zaman, sadece Bağıntı 1.2'de verilen e değerinin küçülmesine katkısı olan terimlerin regresyon denkleminde göz önüne alınması ile elde edilebilir. Böyle bir yol, bağımsız değişkenlerin e'nin küçültülmesine bulundukları katkı mertebesinde regresyon denkleminde dahil edildikleri, kademeli regresyon analizinde, takip edilmektedir. Bu şekilde katkısı bulunan terimler önce, diğerleride bunu takip ederek denkleme dahil edilirler. Bu yolu kullanarak sistemin, F testi ile doğruluk derecesi yeterli olan daha basit bir modelini elde etmek mümkündür. Bu metodun denenmiş bir arşiv programı IBM hazır programlar dizisinde mevcuttur. Bu program bu araştırma çalışmalarında maliyet fonksiyonlarının elde edilmesinde kullanılmıştır.

Su kaynağı sistemlerinin modellerinde, şimdiki zamanda kurulabilecek kapasiteleri bulmak için bazen bir takım değişkenlerin zamanla değişiminin tahmini gerekmektedir. Örneğin bir enerji barajı projesini de içine alacak olan Türkiye'deki enterkonnekte elektrik şebekesinin gelişmesi için o barajda kurulacak olan santralin kapasitesi enterkonnekte sistemin ihtiyacına cevap verecek şekilde olmalıdır. Bu sebeple, sistem

Ömrü de göz önüne alınarak, şebekenin daimi enerji ihtiyaçları için bir tahmin yapılmalıdır. En önemlileri, hareketli ortalama ve üstsel düzeltme olan çeşitli tahmin metodları bulunmaktadır. Hareketli ortalama basit bir analitik metod olup, gelecekteki değeri bulmak için, geride kalan bazı yıllara ait bilgilerin ağırlıklı ortalamasını almaktadır. Kolaylık ve stabilite bu metodun avantajlarından olup metodun detayları Brown'da [ 3 ] bulunabilir.

### 1.2.3. EN İYİLEME (OPTİMİZASYON) VE BENZETİM (SİMULASYON) TEKNİKLERİ

#### 1.2.3.1. GENEL

En iyileme ve benzetim teknikleri sistem modellerinin çözümünde kullanılır. Modelin amaç fonksiyonunu en iyi (en büyük veya en küçük) yapan karar değişkenleri değerleri "en iyi" olarak tarif edilir. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar, doğrusal, eğrisel, sürekli, kesikli, gerekirci, veya olasılıklı ifadeler olabilir. Ayrıca kısıtlar eşitlik, eşitsizlik veya bunların bir karışımı şeklinde yazılabilir. Modellerin böyle değişik şekillerde yazılabilmesi neticesi çözüm yöntemleri de çeşitlidir. Model çözümünde kullanılacak başlıca yöntemler doğrusal, dinamik ve eğrisel programlama teknikleridir. Bu yöntemlerin çeşitli özel haller için geliştirilmiş halleri de (tamsayı programlama, stokastik programlama, arama teknikleri, geometrik programlama v.b.) vardır. Bütün bu tekniklerin ortak özelliği en iyi sonuçların bir çözümde değil ve fakat mümkün bir çözümden başlanarak ardışık yaklaşımlarda elde edilmesidir.

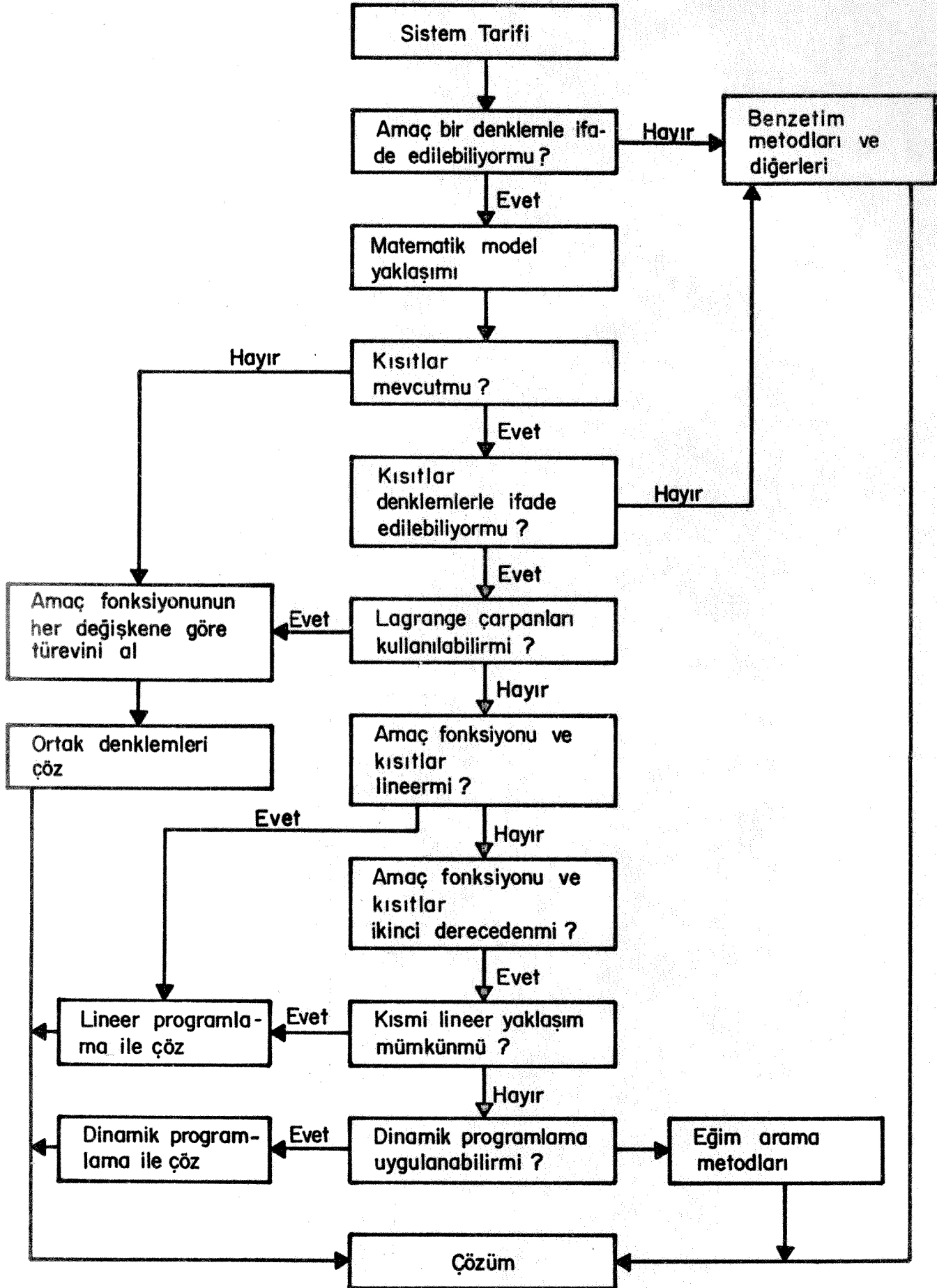
En iyileme metodlarıyla ilgili bilgi aşağıda verilmiştir. Ayrıca en iyileme metodlarının uygulanabileceği modellerin özellikleri Tablo 1.1'de özetlenmiştir. Şekil 1.1'de ki akım diagramı ise bir model çözümünden önce kullanılacak metodun seçiminde takibi gereken mantıki sırayı göstermektedir.



TABLO 1.1

## EN İYİLEME YÖNTEMLERİNİN ÖZELLİKLERİ

En iyileme yöntemi	Örtük (Implicit)	Belirtik (Explicit)	Tek Değişkenli	Çok Değişkenli	Kısıtsız	Eşitlik Kısıtlı	Eşitsizlik Kısıtlı	Doğrusal Amaç Fonksiyonu	İkinci Derece Amaç Fonksiyonu	Position Amaç Fonksiyonu	Genel Eğrisel Amaç Fonksiyonu	Doğrusal Kısıtlar	Position Kısıtlar	Eğrisel Kısıtlar	Türetil Alınabilmeli
DOĞRUSAL PROGRAMLAMA		X		X		X	X	X				X			
DİNAMİK PROGRAMLAMA	X	X		X			X				X			X	
KUADRATİK PROGRAMLAMA		X		X		X	X		X			X			
GEOMETRİK PROGRAMLAMA		X		X			X			X			X		
TEK DEĞİŞKENLİ KISITSIZ ARAMA	X	X	X		X						X				
TEK DEĞİŞKENLİ KISITLI ARAMA	X	X	X				X				X	X			
ÇOK DEĞİŞKENLİ KISITSIZ ARAMA															
a. Powell ve Rosenbrock algoritmaları	X	X		X			X				X				
b. Fletcher-Powell ve Fletcher Reeves Algoritmaları	X	X		X	X						X				X
ÇOK DEĞİŞKENLİ KISITLI ARAMA															
a. Box ve Rosenbrock Algoritmaları	X	X		X			X				X			X	
b. Rosen Algoritması	X	X		X							X	X			X
c. Fletcher-Powell ve Flacco-Mc Cormick Algoritmaları	X	X		X		X	X				X			X	X



Şekil 1.1. En İyileme Metodlarının Uygulanma Sırası



### 1.2.3.2. DİREKT MATEMATİK METODLAR

Bu metodlar amaç fonksiyonun manipulasyonu ile grafik veya analitik şekilde optimum değerleri direkt olarak verirler. Direkt metodlar basit alt sistemlerin en iyilemesinde veya ileri seviyedeki metodların çözümü sırasında en küçük veya en büyük tayininde yararlı olurlarsa da orta derecede karışık su kaynakları sistemlerinin optimizasyonunda dahi ana en iyileme metodu olarak kullanılamazlar.

a. Diferansiyel metodlar: Diferansiyel metodlar Isaac Newton zamanından beri bilinen en eski matematik optimizasyon metodudur. Diferansiyel metod, ancak, kısıtlayıcı şartları olmayan amaç fonksiyonlarının en iyilemesinde kullanılabilir. Bu tip en iyileme modellerine sulama suyu miktarı tayini problemlerinde rastlanmaktadır.

b. Lagrange Çarpanları: Bir çok kereler amaç fonksiyonu, mevcut suyun üst miktarı, alan veya değişkenlerle sınırlanmaktadır. Böyle bir problem, amaç fonksiyonu

$$Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1.3)$$

ve kısıtları

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = G_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (1.4)$$

ile ifade edilebilir.

Eğer 1.3 ve 1.4 ile ifade edilen fonksiyonların her ikisinin de diferansiyeli mevcutsa ve en az biri doğrusal değilse bu takdirde çözüm Lagrange çarpanları  $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$  kullanarak ve aşağıdaki fonksiyonun  $x_1, x_2, \dots, x_n$ 'e göre diferansiyeli alınarak bulunabilir.

$$L = f(x_1, x_2, \dots, x_n) - \sum_{i=1}^m \lambda_i (g_i - G_i) \quad (1.5)$$

En iyi sonuçlar kısmi türevlerin ortak çözümü ile elde edilir. Kısıtların eşitsizlik olması halinde de çözüm benzer [4] bir şekilde bulunabilir.

Lagrange çarpanları, diferansiyel metodlarla aynı dezavantajlara sahip olmakla beraber dinamik programlama problemlerinde boyutluluğu azaltmakta faydalı olmaktadır.

c. Marjinal analizler ve grafik metodları: Fayda ve maliyetlerin marjinal analizi [5,6] ile grafik metodlar bir diğeri ile yakından ilişkili tekniklerdir. Grafik en iyileme metodları fayda, maliyet ve benzeri fonksiyonların çok sayıda değişkene bağlı olmadığı hallerde kullanılabilir. Grafik metodlar, basit sistemlerin çözümünde mevcut bir çok modern ancak nispeten karmaşık matematik metoddan daha yararlı olabilir. Marjinal analizler ise marjinal maliyet ( $\Delta C$ ) artımıyla elde edilen fazla ürünün marjinal faydasının ( $\Delta B$ ) tayinine dayanmaktadır.

Bir sistem veya işletme birleştirilmiş bütün marjinal net faydaların (NB) sıfıra eşit olması halinde optimum oluyor demektir.

$$\sum \frac{\Delta NB}{\Delta V} = \sum \frac{\Delta B}{\Delta V} - \sum \frac{\Delta C}{\Delta V} = 0 \quad (1.6)$$

Marjinal analiz metodu amaç fonksiyonunun sürekli olduğu ancak diferansiyelinin mevcut olmadığı hallerde yararlı olmaktadır.

### 1.2.3.3. DOĞRUSAL (LINEER) PROGRAMLAMA

Doğrusal amaç fonksiyonu ve doğrusal sınırlayıcı şartlarla ifade edilebilen sistemler doğrusal programlama tekniği ile en iyilenebilir. Tipik doğrusal programlama modeli aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n \quad (1.7)$$

$$Ax_i \leq b, \quad x_i \geq 0, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1.8)$$

Doğrusal programlama tekniğinin başlıca dezavantajları amaç fonksiyonu ve kısıtların doğrusal olması; amaç fonksiyonu ve kısıtların karar değişkenlerinin toplamalı bir fonksiyonu olmaları; bütün katsayıların sabit bilinenler olması;

çözüm sahasının konveks olma mecburiyeti; zaman ve alan içinde birbirini takip eden kararlardan oluşan sistemlerde denklem sayılarının çok artmasıdır.

Doğrusal programlama problemlerinin çözümü için grafik ve analitik yöntemler [7,8] mevcuttur. Analitik metodların en tanınmış simpleks algoritmasıdır. Ayrıca doğrusal programlamanın bilgisayar yardımı ile çözülebilmesi çok sayıda hazır paket program mevcuttur [9,10]

Doğrusal programlama formülasyon ve çözüm kolaylığı avantajlarıyla su kaynakları sistemlerinin optimizasyonunda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ancak doğrusal programlama yöntemi, stokastik değişkenlerin, konveks ve eğrisel fonksiyonların ve zaman veya alan içinde ardışıklı kararları içeren dinamik sistemlerin formülasyonunda uygulanamamaktadır. Doğrusal programlamayı sayılan durumlarda da geçerli kılabilmek için parametrik programlama, tam sayı programlaması, konveks (dışbükey) programlama, stokastik doğrusal programlama ve ardışıklı doğrusal programlama gibi teknikler geliştirilmiştir [7].

Tamsayılı (integer) Programlama: Birçok problemlerde karar değişkenlerinin bir kısmının veya tamamının tamsayı olması gerekebilir. Bu çeşit problemler için başlıca iki yaklaşım mevcuttur. Bir yaklaşımda [11,12], problem, tamsayı sınırlaması olmaksızın simpleks metoduyla çözülür. Eğer en iyi (optimal) çözüm tamsayı olmayan değişkenler içeriyorsa, ilk probleme tamsayı olmayan çözümleri gayri mümkün kılacak yeni bir kısıt eklenir. Bu yöntemde en önemli nokta yeni kısıtın tayinidir. Tamsayı programlamaya diğer yaklaşım [13] ise dallandırıp - sınırlandırma (branch-and-bound) algoritmasıdır. Bu yöntemde mevcut bütün olurlu çözümler bazı alt takımlara ayrılarak her alt takımın en iyi çözümü o zamana kadar bulunan en iyi çözümle karşılaştırılır. Böylece bazı alt takımlar elenir. En büyüklenecek bir amaç fonksiyonu alt takımın üst sınırında değerlendirilir. Geriye kalan tüm olabilir alt takımlardan bir diğeri yeniden bölünme ve değerlendirme için seçilir. En büyükleme probleminde bu yöntem amaç fonksiyonun değerini, herhangi bir alt takımın üst sınırından

daha büyük yapan, olabilir çözüm, bulununcaya kadar tekrar edilir.

Parametrik Doğrusal Programlama: Bir doğrusal programlama problemi çözüldükten sonra duyarlık irdelenmesi (sensitivite analizi) veya parametre çalışması gerekebilir. Parametrik doğrusal programlamanın amacı doğrusal programlama modellerinin parametrelerindeki değişmelerin sistematik bir şekilde incelenmesidir [8]. Parametrik doğrusal programlama, modelin elde edilen en iyi çözümü değişmeden model parametrelerinin değerinin ne kadar değişebileceği tesbit edilir.

Şansa Dayanan Doğrusal Programlama: Bir çok su kaynakları sistem probleminde, model parametreleri gerekirci (deterministik) olmayıp rastgele (random) veya rastlansal (stokastik) parametrelerdir. Bu tip modellere uygulanmak üzere stokastik programlama [14] ve şars sınırlı doğrusal programlama [15] algoritmaları geliştirilmiştir.

#### 1.2.3.4. DİNAMİK PROGRAMLAMA

Dinamik programlama çok aşamalı (multistage) ve ardışıklı (sequential) kararların optimizasyonu için Bellman (1957) [31,32] tarafından geliştirilmiştir. Dinamik programlama bir problem çözme yöntemi olup, standart bir matematik ifadesi yoktur. Her problem için özel doğurgan (recursive) denklemlerin yazılması gerekir. Dinamik programlama, doğrusal programlamadakinin tersine değişkenlerin doğrusal olması, fonksiyonların sürekli ve dışbükey (konveks) olması şartlarıyla bağımlı değildir.

Dinamik programlamanın uygulanabileceği problemlerin aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekir. (a) Problem, her aşamada bir karar gerektiren aşamalara bölünebilmelidir. (b) Her aşamada (stage), problemin alabileceği sınırlı sayıda durum (state) olmalıdır. (c) Her aşamadaki karar, sistemi, aşamadaki bir durumdan, gelecek aşamadaki bir diğer duruma dönüştürmelidir. (d) Her hangi bir aşama ve durumda alınacak ardışıklı en iyileme kararları daha önceki aşamalardaki kararlardan bağımsız olmalıdır.

### 1.2.3.5. EĞRİSEL PROGRAMLAMA

Eğrisel programlama modellerinde amaç fonksiyonu ve kısıtların, karar değişkenlerinin doğrusal fonksiyonu olması zorunluluğu yoktur. Eğrisel programlama modelinin genel formulasyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

En iyilenecek amaç fonksiyonu

$$z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1.9)$$

ve kısıtlayıcı şartlar

$$g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_m \quad (1.10)$$

$$x_j \geq 0 \quad (1.11)$$

$f(x_j)$  ve  $g_i(x_j)$ ,  $n$  kadar değişkenin fonksiyonu olup kısıtlayıcı şart(1.10)denkleminin eşitsizlik işareti ( $\geq$ ) veya ( $=$ ) şeklinde de olabilir. En büyükleme ve en küçükleme problemleri birbirlerine bağımlı olup en küçükleme problemlerinin her iki tarafı  $-1$  ile çarpıldığında en büyükleme problemi elde edilir.

Bir eğrisel programlama probleminde en iyi çözüm Kuhn-Tucker şartlarıyla [48] belirlenir. Bu şartlar diferansiyel metodlardaki türev alma yöntemine analogdur. (1.9), (1.10) ve (1.11) denklemleri ile ifade edilen problemde  $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  değerlerinin en iyi çözüm olabilmesi aşağıdaki şartları sağlayan  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  değerleri bulunmasına bağlıdır.

Eğer  $x_j^* > 0$  ise  $x_j = x_j^*$  için

$$\frac{\partial f}{\partial x_j} - \sum_{i=1}^m \lambda_i \frac{\partial g_i}{\partial x_j} = 0 \quad (1.12)$$

Eğer  $x_j^* = 0$  ise  $x_j = x_j^*$  için

$$\frac{\partial f}{\partial x_j} - \sum_{i=1}^m \lambda_i \frac{g_i}{x_j} \leq 0 \quad (1.13)$$



Eğer  $\lambda_1 > 0$

$$g_1(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) - b_1 = 0 \quad (1.14)$$

Eğer  $\lambda_1 = 0$  ise

$$g_1(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) - b_1 < 0 \quad (1.15)$$

$$x_j^* \geq 0 \quad \lambda_1 > 0 \quad (1.16)$$

yukardaki şartlar en iyi çözüm için gerekli şartlar olup yeterli değildirler. Bu nedenle Kunn - Tucker Şartlarından doğrudan doğruya en iyi çözümü elde etmek genellikle olanaksızdır [4].

En çok etüd edilen eğrisel programlama modelleri eğrisel amaç fonksiyonu ve doğrusal kısıtlar içeren modellerdir. Böyle bir eğrisel programlama modeli MAG-296 araştırma projesinde de [1] kullanılmıştı. Kısıtları da karar değişkenlerinin eğrisel fonksiyonlarından oluşan modellerin çözümü çok daha zordur. Bu durumlarda çözüm yöntemi olarak en fazla, çok değişkenli arama (multivariate search) metodları kullanılır.

**KUADRATİK PROGRAMLAMA:** Kuadratik programlama problemi doğrusal kısıtlar, doğrusal ve ikinci derece terimlerden oluşan amaç fonksiyonu içeren bir eğrisel programlama problemidir. Amaç fonksiyonun dış bükey (konkav) olması hali için çeşitli çözüm teknikleri [4] geliştirilmiştir.

**GEOMETRİK PROGRAMLAMA:** Geometrik programlama kısıtların eğrisel olması veya amaç fonksiyonunun ikinci dereceden daha büyük üslü terimler içermesi hallerinde kullanılmak üzere kademe, kademe geliştirilmiştir [49,50]. Geometrik programlama algoritması doğrusal veya ikinci derece yaklaşıklamaya gerek kalmaksızın çok sayıda problem tipini çözebilmektedir. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar negatif katsayılar içerebilir veya eşitsizlik işaretleri yön değiştirebilir. Geometrik programlama tekniğinin uygulanabilmesi için gerekli şart, en iyileme probleminin karar değişkenlerinin üslü polinomları cinsinden ifade edilmesi gereğidir.

ARAMA TEKNİKLERİ: Arama metodları, bir anlamda marjinal analizlerin iki boyuttan daha çoğuna tatbikidir. Amaç fonksiyonunun karar değişkenlerine göre marjinal farkı veya kısmi türevi analitik ve nümerik yolla hesaplanır. Amaç fonksiyonunun değeri daha iyilenemediğinden veya kısmi türevlerdeki farkların toplamı sıfır olduğundan optimuma ulaşır. Arama metodları, sına-yanılma yöntemleri olduklarından, her kez mutlak toptan en iyi (global optimum) değeri vermezler. Bazı kez yerel optimumlara ulaşılır.

Arama metodları eldeki problemin karar değişkeni sayısına görettek değişkenli arama veya çok değişkenli arama olarak sınıflandırılır. Yine mevcut kısıtların sayısına göre kısıtlı ve kısıtsız arama teknikleri mevcuttur. Bu genel kategorilere düşen ve çeşitli arama teknikleri kullanan çok sayıda algoritma mevcuttur [51,52]. Bu algoritmaların bazıları isim ve özellikleriyle Tablo 1.1'de sıralanmıştır.

#### 1.2.3.6. BENZETİM (SİMULASYON) METODU

Benzetim metodunda bir sistem fiziksel olarak tekrar edilmeden analog veya dijital metodlarla o sistemin özellikleri ve çalışması yaratılır. Elektrik devrelerle (direnc ve kapasitör) yeraltı suyu akımının modellenmesi analog bir benzetim modeli olmaktadır. Aynı problem, temel denklemlerin yazılması ile dijital bilgisayar benzetimi haline de sokulabilir.

Benzetim modelleri geçmişteki girdi, çıktı ve sistem işleyiş tarzına göre kalibre edilir. Modeldeki parametreler, modelin işleyişi, hakiki sisteme benzeyene kadar ayarlanır. Bir kere model (analitik veya analog şekilde) kurulduktan sonra, yeni girdilere göre çalıştırılarak sistemin işleyişi ve neticeler bulunur. Benzetim metodu, bir barajın optimum kapasitesi gibi sonuçları doğrudan doğruya vermez. Benzetim metodunun neticeleri, daha sonra incelenecek bir yanıt yüzeyi (response surface) elde etmekte kullanılır. Benzetim modelleri genellikle doğrusal ve dinamik programlama modellerinden daha az sayıda basitleştirici varsayım gerektirir. Hakiki uygulamalarda genellikle bir analitik en iyileme modeliyle optimum çözümler için ilk yaklaşımlar elde edilir.

Daha sonra benzetim metoduyla en iyi çözüme yaklaşılr. Benzetim modeli için oldukça hacimli bir bilgisayar programı ve çıktısı gerekmektedir.

Benzetim metodunun başlıca iki dezavantajı söz konusudur. Metod uzun ve yüklü bir bilgisayar programı gerektirdiği için bazı işletme ve sistem değişikliklerini modele yansıtmak masraflı ve zaman alıcı olmaktadır. Bazı hallerde de toptan en iyi (global optimum) yerine yerel en iyi değerler elde edilmektedir. Bu kritiklere rağmen, benzetim metodu sistem işletmesi hakkında şartlı tahminler verebilen güçlü bir yöntemdir.



### 1.3. SU KAYNAKLARI SİSTEM ANALİZİYLE İLGİLİ LİTERATÜR

Su kaynakları sistemlerinin analizinde yöneylem araştırması tekniklerinin uygulanması nisbeten yenidir. Zira en iyileme yöntemleri, bilgisayarların hızlı çalışabilir hale gelmesi ve bellek kapasitelerinin artması üzerine gelişme göstermiş ve uygulanmaya başlamıştır. Aşağıda su kaynakları sistem analiziyle ilgili literatür değişik tekniklere göre sınıflandırılmış şekilde verilecektir.

#### 1.3.1. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA UYGULAMALARI

Doğrusal programlama su kaynakları sistemlerinin analizinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Literatürde yer almış başlıca uygulama tipleri aşağıda sıralanmıştır.

Mannos [ 16 ], Missouri nehri üzerindeki altı çok amaçlı baraj için bir doğrusal programı geliştirerek tüm sistemce üretilen hidroelektrik enerjiyi en büyükmeye çalışmıştır.

Hall ve Shephard [ 26 ] dört nehir, on baraj ve çeşitli sayıda hidroelektrik santral, akedük ve pompa istasyonu içeren kompleks bir sistemin analizinde doğrusal programlama kullanmışlardır. Problem, ayrışım metodu ile alt sistemlere ayrılmış, her alt sistem varsayılan bir fiyat tarifiesi için dinamik programlama ile en iyilendikten sonra, bu neticeler doğrusal programlama ile tüm sistemin en iyilenmesinde kullanılmıştır. Stephenson [ 59 ], kompleks su kaynakları projelerinde doğrusal programlamayı ayrışım tekniği ile beraber kullanmıştır. Alt sistemler doğrusal programlama, simulasyon ve marginal analizlerle en iyilenmiş; tüm sistem yine doğrusal programlama ile en iyilenmiştir. Thomas ve Revelle [ 24 ] doğrusal programlama ile Nil nehrindeki Asvan barajının en iyi işletme politikasını tayin etmişlerdir.

Baraj işletmesinde doğrusal karar prensibi ile barajların gerekirci veya stokastik şekilde optimizasyonu Revelle, Joeres ve Kirby [ 60 ], Eastman ve Revelle [ 61 ], Nayak ve Arora [ 62 ] tarafından incelenmiştir. Araştırmacılar genellikle çok barajlı sistem için şans kısıtlı bir modelleme uygulamışlardır. Çok barajlı sistemlerde stokastik girdilerle tamsayı

programlama uygulaması ise Windsor ve Chow [63] tarafından verilmiştir. Dorfman [20] tarafından geliştirilen bir doğrusal programlama modeliyse hayali bir nehir havzasındaki çok amaçlı barajlardan elde edilecek enerji üretimi ve sulama faydalarının en büyüklüğünü amaçlamıştır.

Manne [21], geliştirdiği stokastik modeli, doğrusal programlarla en iyilemiştir. Aynı araştırmacı [22] tek barajlı ve üç mevsimlik bir model de geliştirerek barajın taşkın kontrol, güç üretimi ve sulama amacıyla en iyi müşterek işletme esasını belirlemiştir. Thomas ve Watermeyer [23] ise bu modeli çok barajlı ve ardışıklı stokastik model haline getirmişlerdir.

Su iletim hatları ve dağıtım şebekeleri en iyilenmesi probleminde de doğrusal programlama uygulanmaktadır. Pompalı ve cazibeli dal iletim ve dağıtım sistemlerinde doğrusal programlama ile en iyileme Karmeli, Gadish ve Meyers [64] ve Calhoun [65] tarafından gerçekleştirilmiştir. Aynı problemi çalışan Case ve White [66] ise su çekim noktalarındaki ihtiyacın zaman içinde değiştiğini de kabul etmişlerdir. Ağ dağıtım şebekeleri için uygulanabilecek bir doğrusal programlama modeli de Kally [67] tarafından önerilmiştir.

Dracup [25], yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının birlikte kullanılmasıyla ilgili bir matematiksel modeli parametrik doğrusal programlama ile analiz etmiştir. Yerüstü ve yeraltı suların müşterek kullanımı ile ilgili kapsamlı bir model Amerika Birleşik Devletlerinin Utah eyaleti için Clyde ve King [68] tarafından geliştirilmiştir. 338 karar değişkeni ve 204 kısıttan oluşan doğrusal model simpleks metoduyla çözümlenerek, yerüstü ve yeraltı sularının optimum müşterek kullanımları ve en küçük toplam maliyet elde edilmiştir.

Eğrisel amaç fonksiyonu içeren bir modelin kısmi doğrusal yaklaşımlarla ve doğrusal programlamayla çözümü ise Alam [69] tarafından bir sulama probleminde gösterilmiştir.

Doğrusal programlama, fayda-maliyet analizleriyle birlikte Pavelis ve Timmom [19] tarafından küçük havza gelişme planlamasında kullanılmıştır. Amaç fonksiyonu gelişmeden elde edilecek faydanın en büyüklüğü; kısıtlar ise arazi, işgücü ve bütçe imkânları şeklinde ifade edilmiştir.

Doğrusal programlama, su kaynakları geliştirilmesinde, yatırım planlaması problemlerinde de kullanılmıştır. Masse ve Gilbrat [17] çeşitli tipteki elektrik santrallerinin uzatılmış enerji ihtiyacını karşılayabilmesi için optimum (en iyi) yatırımları tayinde kullanmışlardır. Çalışmaya termik, hidroelektrik (baraj ve nehir üzerinde), ve okyanus üzerine yerleştirilmiş güç santralleri dahildi. Doğrusal programlama, Lynn [18] tarafından bir şehrin gelecekteki tasfiye tesisi yatırımlarını planlamakta kullanılmıştır. Tasfiye tesisi tipi, gerekli kapasite ve finansman ihtiyacı kısıtlayıcı şartlar olarak alınmış olup amaç fonksiyonu planlama sürecindeki işletme ve yatırım masraflarının en küçüklenmesiydi. Karar değişkenleri her kademede inşa edilecek tasfiye tesisi boyutlarıydı.

Doğrusal programlama su kalitesiyle ilgili problemlerde de uygulanmakta olup Lynn, Logan ve Charnes [27], Deininger [28], Loucks, Revelle ve Lynn [29], Liebman ve Marks [30] bu konuda çalışan araştırmacıların bazılarıdır.

### 1.3.2. DİNAMİK PROGRAMLAMA UYGULAMALARI

Dinamik programlama, su kaynakları sistemleri optimizasyonunda özellikle son yıllarda çok yaygın şekilde uygulanmaktadır. Dinamik programlamanın depolama, yeraltı ve yerüstü kaynaklarının müşterek kullanılması, hidroelektrik üretimi ve havza amenajmanı konularındaki uygulamaları Buras [33] tarafından etraflıca incelenmiştir. Hall ve Buras [34] baraj sistemlerinin en iyilenmesinde dinamik programlama uygulayan ilk (1961) araştırmacılarıdır. Hall [35], Young [36], Hall, Butcher ve Esagbue [37] çok amaçlı tek barajların en iyilenmesi üzerine araştırma yapmışlardır. Diğer bazı araştırmacılar ise (Amir [38], Buras [39], Meier ve Berghelter [40], Schweig ve Cole [41]) çok barajlı sistemleri etüd etmişlerdir. Baraj işletme problemleri, zaman veya alan içinde kolaylıkla ardışıklı hale gelebildiğinden, model çözümünde dinamik programlama yöntemi kullanılması uygun olmaktadır. Bu nedenle bu konudaki araştırmalar son derece yoğundur. Baraj sistemleri en iyilemesi üzerine son yıllarda yayınlanan bazı araştırmalar şunlardır: Butsch [70], Harboe, Mobasher, Yeh [71], Croley [72], Trott ve Yeh [73], Mobasher ve Harboe [74].

Hidroelektrik üretimin en iyilenmesi problemi de çok sayıda araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Örneğin Hall ve Roefs [ 47 ], tüm hidrolojik girdilerin bilinmesi halinde enerji üretimi için optimum su kullanımını incelemişlerdir.

Dinamik programlama yöntemi mevcut sistemlerin tevsi ve genişletilmesi çalışmalarında da kullanılmaktadır. Tasfiye tesislerinde kapasite artış problemi Hinomoto [ 76 ] tarafından, hidroelektrik santrallerin kapasite genişleme problemi Kuiper ve Ortolano [ 77 ] tarafından, genel problem ise Morin [ 78 ] tarafından etüd edilmiştir. Morin ve Esogbue [ 79 ] ise dinamik programlamanın su kaynakları projelerinin sıralanmasında ve programlanmasında kullanılmasını önermişlerdir.

Sulama sistemleriyle ilgili olarak Hall [ 45 ], dinamik programlamayla belli bir su iletim hattı boyunca çeşitli ihtiyaç noktalarına tahsisleri en iyilemiştir. Hall ve Butcher [ 46 ] sulama suyunun mevsimlere göre tahsisi probleminde en iyileme yöntemi olarak dinamik programlamayı uygulamıştır. Sulama alanının ve miktarının tayininde de dinamik programlama stokastik girdilerle Dudley ve Burt [ 80 ] tarafından kullanılmıştır.

Yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının müşterek işletilmesinde dinamik programlama uygulaması yerleşmiş bir yöntem olup, Buras ve Hall [ 42 ], Buras [ 43 ], Aron ve Scott [ 91 ] bu konuda çalışmalar yaparak en iyi işletme için gerekli en iyi baraj kapasitelerini tayin etmişlerdir. Buras ve Bear [ 44 ] dinamik programlamayla sahil aküferlerinin en iyi işletmesini ve en iyi pompaj kapasitelerini belirlemişlerdir. Aküferlerin işletilmesiyle ilgili bir diğer çalışma da Saleem ve Jacob [ 75 ] tarafından yapılmıştır.

Su iletim ve dağıtım problemlerinde de dinamik programlama uygulamaları mevcuttur. Akedük ve boru hattı güzergâhlarının tayiniyle ilgili ilk çalışmalar Hall ve Hammond [ 81 ], Buras ve Schweig [ 82 ] tarafından yayınlanmıştır. Dal su iletim sistemleriyle ilgili iki çalışma Yang, Liang, Wu [ 83 ], ve Liang [ 84 ] tarafından, dal kanalizasyon sistemleriyle ilgili bir çalışma da Argonan, Shamir ve Spivak [ 85 ] tarafından yayınlanmıştır. Bu son üç çalışma şebekelerde dinamik programlama modellerinin henüz pratikte uygulanabilecek kadar gelişmediğini göstermektedir.

### 1.3.3. EĞRİSEL PROGRAMLAMA UYGULAMALARI

Su kaynakları sistem analizde eğrisel programlama metodlarının kullanılması ancak son yıllarda yaygınlık kazanmaya başlamış olup toplam uygulama sayısı doğrusal ve dinamik programlama kadar fazla değildir. Bunun nedeni en verimli algoritmaların son yıllarda geliştirilmiş olması, mevcut algoritmaların tüm eğrisel programlama problemlerini çözemesidir. Bir çok eğrisel programlama problemi dinamik programlama ile çözülmüş, bazıları ise doğrusal yaklaşıklama ile doğrusal modeller haline indirgenerek çözülmüştür.

Kuadratik programa yardımıyla Lynn [ 53 ] içmesuyu temininde en küçük maliyetli pompa işletme programını tayin etmiştir. Lee ve Waziruddin [ 86 ] eğim projeksiyonlu arama tekniğini çok amaçlı barajların optimum işletmesi için geliştirmişlerdir. Lee ve Waziruddin [ 87 ] ayrıca eğim projeksiyonu ve birleştirilmiş eğim metodlarını çeşitli zorluktaki su kaynakları sistemlerinin en iyilemesi için kullanmışlardır. En karışık model beş amaçlı olup, dört baraj içermektedir.

Su dağıtım şebekelerinin ilk yatırımının en küçükleterek projelendirilmesi amacıyla Jacoby [ 88 ], Lam [ 89 ] ve Shamir [ 90 ], Watanatada [ 92 ] eğrisel modelleri arama teknikleriyle çözmüşlerdir.

Ayrıca eğrisel programlama metodları benzetim metodu içinde [ 54 ] veya dinamik programlama metoduyla birlikte [ 93 ] en iyileme yöntemi olarak kullanılabilmektedir.

### 1.3.4. DİĞER LİTERATÜR

Benzetim (simulasyon) metoduyla yürütülmüş en tanınmış çalışma Hufschmidt ve Fiering'e [ 55 ] aittir. Araştırmacılar benzetim metodunun su kaynakları sistemlerine uygulanmasıyla ilgili esasları vermiş ve bu esasları Lehigh nehir havzasına uygulamışlardır. Benzetim modeline projenin enerji üretimi, su temini, mesire ve taşkın kontrolü amaçları dahildi.



Lewis ve Shoemaker [ 56 ] hidroelektrik enerji üretimiy-  
le ilgili bir benzetim modeli geliştirmişlerdir. 70 kadar  
santrali inceleyebilen model, sistem işletmesiyle ilgili tüm  
bilgiyi verebilmektedir. Nehir ulaşımı probleminde çeşitli  
alternatifleri değerlendirebilmek amacıyla bir benzetim mo-  
deli Carroll ve Bronzini [ 94 ] tarafından geliştirilmiştir.

Öte yandan su kaynakları projelerinin tercihinde kul-  
lanılabilecek kriterler McKean [ 95 ] tarafından araştırılmış,  
özellikle kalkınmakta olan ülkelerde su kaynakları projele-  
rinin değerlendirilmesi Mobasherı [ 96 ], ve Altouney [ 97 ] ta-  
rafından incelenmiştir.

Türkiye de su kaynakları sistem analizi uygulaması nis-  
beten yenidir. Coşkun (98) dinamik programla ile baraj işlet-  
mesine ve kanal kapasitesi tayinine örnekler vermiştir. Ankara  
içme Suyu projesinde [ 99 ] ise 6 ayrı barajda toplanabilecek  
suyun çeşitli iletim hatlarıyla şehre isâle edilmesi proble-  
mi için geliştirilen bir model doğrusal programlamayla analiz  
edilerek daha detaylı analizler için 3 ayrı alternatif tesbit  
edilmiştir. Çok amaçlı Ceyhan-Aslantaş barajı için Waziruddin  
ve Altınbilek [ 100 ] tarafından hazırlanan model eğrisel bir  
amaç fonksiyonuyla doğrusal kısıtlar içermekteydi. Bu model,  
eğim projeksiyonu arama tekniğiyle en iyilenmiştir. Su kay-  
nakları sistem analizi teknikleri proje uygulaması seviyesinde  
Bursa Su Temini projesinde [ 101 ] uygulanmıştır. Bu proje ça-  
lışmaları sırasında 12 km. uzunluğunda bir isale hattı dina-  
mik programlama tekniğiyle eniyilenmiş, en küçük maliyetli  
en iyi güzergah tesbit edilmiştir. Aynı projenin bir parçası  
olan Selahattin Saygı barajı işletmesi de dinamik programla-  
mayla Adıgüzel [ 102 ] tarafından en iyilenmiştir. Baraj iş-  
letmesinde, akımların istatistik ve olasılık özelliklerinden  
de faydalanarak dinamik programlamayla en iyileme Altınbilek  
ve Çalapöver [ 118 ] tarafından önerilmiştir.

Su kaynaklarının yetersiz donelerle modellenmesi üze-  
rine son yıllarda iki önemli sempozyum yapılmıştır. UNESCO,  
Dünya Meteoroloji Teşkilatı ve Milletlerarası Bilimsel Hid-  
roloji Derneğinin ortaklaşa Haziran 1973'de Madrid'de düzen-  
lediği "Su Kaynakları Projelerinin Yetersiz Donelerle Dizayn  
Sempozyumuna" [ 103 ] 84 bildiri verilmiş ve 8 genel rapor su-  
nulmuştur.

Fort Collins'de, 1972 Eylül'ünde ABD'de Colorado Devlet Üniversitesinde yapılan "Yetersiz Hidrolojik Done-lerle Karar verme" [104] konulu ikinci sempozyumun tebliğ-leri 1973 yılında yayınlanmıştır. Bu sempozyumda da 20 bildiri verilmiş ve 3 genel rapor sunulmuştur.

Ayrıca 1973 yılında İstanbul'da yapılan Milletler-arası Hidrolik Araştırmacılar Cemiyetinin 15. Kongresinde de "Su Kaynaklarının Dizayn, İnşaat ve İşletmesinde, Sto-kastik ve Deterministik Modelleme ve Optimizasyon" teknik-leri üzerine 31 bildiri tartışılmıştır [105].

## 2. SİSTEM MODELLERİNDE DUYARLIK İRDELEMESİ

### 2.1 GENEL

Sistem analizi metodlarının ve sistem modellerinin su kaynakları geliştirilmesi problemlerinde uygulanması mühendislik ve maliyet unsurlarını birleştirerek su kaynaklarının plânlama, projelendirilme ve işletmelerinde en iyi (optimum) çözümü bulmada büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Su kaynakları problemlerinin analizi için gerekli veriler, hidrolojik ve hidrometeorolojik ölçümler, maliyet ve fayda fonksiyonları, talep eğrileri ve ekonomik kayıp fonksiyonları olarak düşünülebilir. Geleceğe ait tahminlere dayanması nedeniyle bilhassa maliyet ve fayda fonksiyonları önemli belirsizlikler içerirler. Su kaynakları sistem modellerinin önemli parçaları olan nehir akımlarının önemli karakteristiklerinin matematiksel ifadeleri tabiatları icabı modelde belirsizlikler meydana getirirler. Belirsizlikler, doğal faktörlerden, değişkenlerin stokastik olmasından, modelin kuruluş şeklinden, model değişkenlerinin hassasiyetle hesaplanamamasından veya bunların birkaçının birleşmesinden meydana gelir. Yetersiz veya güvenilirlik derecesi az olan verilere dayanarak gerçekleştirilen projeleri yürütmekte olan ülkeler için belirsizlik unsuru özel bir önem taşımaktadır.

Bu araştırmanın amaçları arasında seçilen bir model tipinin sonuçlar üzerindeki belirsizliklere etkisi ile belirli bir model seçildikten sonra ekonomik ve hidrolojik donelerdeki hataların neticeye etki oranının tesbiti yer almaktadır. En iyileme ve benzetim modelleri için uygulanacak duyarlık irdelemesi (sensitivite analizi) değişik olacaktır. Kullanılan en iyileme modelinin gerekirci (deterministik) veya rastlansal (stokastik) oluşu da duyarlık irdelemesini etkileyecektir. Ayrıca kullanılan modelin küçük bir alt sisteme ve büyük boyutlu bir karmaşık sisteme ait olması da duyarlık irdelemesini etkiler.



## 2.2. DUYARLIK İRDELEMESİYLE İLGİLİ TANIMLAR

Su kaynaklarına ait en iyileme ve bazı benzetim modelleri ile ilgili duyarlık (sensitivite) irdelemesi esaslarına girmeden ilgili bazı tanımların verilmesi gerekmektedir. Statik matematiksel modellerde duyarlık irdelemesi cebrik fonksiyonlara, fark denklemlerine veya matematiksel modellerde kullanılan doğrusal eşitlik ve eşitsizliklere uygulanabilir. Öte yandan en iyileme ve benzetim modellerinde de duyarlık irdelemesi yer alabilir.

Bir doğrusal programlama modeli, en iyileme modellerine örnek olarak alınabilir.

$$\begin{aligned} \text{en büyük } F &= \bar{C} \bar{X} \\ \text{(en küçük)} & \\ \text{kısıtlar} \quad \bar{A} \bar{X} &\leq \bar{b} \\ \bar{X} &\geq 0 \end{aligned} \quad (2.1)$$

Böyle bir modelde  $\bar{X}$  vektörünün elemanları amaç fonksiyonun değerini en büyük veya en küçük yapacak şekilde seçilir. Bu maksimum veya minimum değer, kısıtların sağlanması şartıyla geçerlidir. Eğrisel modellerde amaç fonksiyonu veya kısıtlardan bir veya her ikisinde doğrusal olmayan ifadeler olabilir. Yukardaki bağıntı 2.1'deki modelin gerçekleşebilmesi için  $\bar{C}$ ,  $\bar{A}$  ve  $\bar{b}$  parametrelerinin belirlenmesi gerekir.  $\bar{X}$  değişkenleri bilinmeyen karar değişkenleridir.  $\bar{C}$ ,  $\bar{A}$ ,  $\bar{b}$  parametrelerinin değerleri değiştiğinde  $\bar{X}$  vektörü elemanlarının ve amaç fonksiyonu  $F = \bar{C} \cdot \bar{X}$  ifadesinin değerinin ne olacağı hassaslık analizinin temel kavramıdır. Bu durumda  $F$  ve  $X_j$  elemanlarının  $a_{ij}$ ,  $b_i$  ve  $C_j$  parametrelerine göre türevlerini incelemek gerekecektir. Şüphesizki sadece  $\bar{A}$ ,  $\bar{b}$  ve  $\bar{C}$  elemanlarının değerlerini değiştirmekle kalmayıp bunların olasılık dağılımlarına göre de  $\bar{X}$  vektörünün ve  $F$  amaç fonksiyonun alacağı değerleri duyarlık analizleriyle tesbit edilebilir.

Benzetim (simulasyon) modelleri hakiki bir sistemi temsil etmek için kurulan bir denklemler serisidir. Bu denklemler serisi diferansiyel ve fark denklemleri cinsinden olabilir. Basit bir benzetim modeli, genel şekilde aşağıdaki denklemle ifade edilebilir.

$$F(\ddot{x}, \dot{x}, x, t, q_0) = 0 \quad (2.2)$$

Denklem 2.2'deki model  $x$  değişkeniyle, birinci ve ikinci dereceden türevlerini, zaman ve  $q_0$  parametresini içermektedir.  $q_0$  parametresinin değişmesinin modele tesiri ne olacaktır? Denklemi  $q_0$  parametresinin değişik bir değeri için çözümleyebilmek için serbest parametre  $\Delta q$  kadar attırılır.

$$F(\ddot{x}, \dot{x}, x, t, q_0 + \Delta q) = 0 \quad (2.3)$$

$q_0$  parametresindeki değişikliklere karşıt modelin kararlılığı (stabilitesi)  $\Delta u$  olarak yazılabilir.

$$\Delta u = \frac{x(t, q_0 + \Delta q) - x(t, q_0)}{\Delta q} \quad (2.4)$$

Limit almak suretiyle duyarlık katsayısı elde edilir.

$U(t, q_0)$  fonksiyonuna  $x(t, q_0)$  değişkenin  $q_0$  parametresine göre duyarlık katsayısı denir.

$$u(t, q_0) = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \Delta u = \frac{\partial}{\partial q_0} x(t, q_0) \quad (2.5)$$

2.2 denkleminin kısmi türevleri alındığı takdirde 2.6 elde edilir.

$$\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}} \times \frac{\partial \ddot{x}}{\partial q_0} + \frac{\partial F}{\partial \dot{x}} \times \frac{\partial \dot{x}}{\partial q_0} + \frac{\partial F}{\partial x} \times \frac{\partial x}{\partial q_0} + \frac{\partial F}{\partial q_0} = 0 \quad (2.6)$$

Aşağıda 2.7 ile verilen basitleştirici tanımları kullandığımız takdirde 2.8'deki duyarlık denklemi elde edilecektir.

$$u = \frac{\partial x}{\partial q_0} \quad \dot{u} = \frac{\partial \dot{x}}{\partial q_0} \quad \ddot{u} = \frac{\partial \ddot{x}}{\partial q_0} \quad (2.7)$$

Duyarlık denklemi:

$$\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}} \ddot{u} + \frac{\partial F}{\partial \dot{x}} \dot{u} + \frac{\partial F}{\partial x} u = - \frac{\partial F}{\partial q_0} \quad (2.8)$$

Denklem (2.8) çözülerek duyarlık katsayısı  $u(t, q_0)$  ifadesi analitik olarak elde edilebilir. İki veya daha fazla parametre içeren sistemler de benzer şekilde analiz edile-

bilirler. Benzetim modellerinin diferansiyet denklemler yerine fark denklemleri şeklinde yazılması halinde de analizler fark denklemleri halinde yürütülebilir.

Su kaynakları benzetim modelleri genellikle çok sayıda parametre içerdiklerinden duyarlık denklemlerinin hesaplanması uzun işlemler gerektirir. Ancak duyarlık denklemleri elde edildikten sonra sistemin zaman içinde değişmeyen duyarlılığı hakkında da fikir edinilecektir. Zaman içinde değişen duyarlık denklemlerinin yanısıra sistemin permanan (zamanla sabit) duyarlıkları ve bir matrisin eigen-değerlerinin o matrisin elemanlarının değişmesine duyarlılığı da elde edilebilir. Bir sistemin doğrusal kararlılığı (stabilitesi) için katsayı matrislerinin eigen-değerleri, negatif reel hakiki sayılar olmalıdırlar. Bu teknikler en çok birinci dereceden, sabit katsayılı, doğrusal diferansiyel denklem sistemleri için geçerlidir.

### 2.3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE EN İYİLEMEDE DUYARLIK ANALİZLERİ

Bu bölümde doğrusal en iyileme modellerinin değişik şekilleri için duyarlık irdelemesi tartışılacaktır. Hidrolojik ve ekonomik parametrelerin değişmesinin optimum çözümleri nasıl etkileyebilecekleri incelenerek, ayrıca bazı parametrelerin olasılıkla değişimleri halinde kullanılabilecek yöntemler belirlenecektir.

#### 2.3.1. GEREKİRCİ (DETERMINİSTİK) DOĞRUSAL MODELLER

Su kaynakları sistemleri gerçekte statik veya deterministik olmadıklarından böyle sistemlerin optimizasyonunda doğrusal programlama modellerinin uygulanamayacağı çeşitli araştırmacılarca [106] ileri sürülmektedir. Değişkenlerin olasılıkla ve şansa bağlı olarak dağılımını ve varyanslarını hesaba katan stokastik (şansa dayanan) programlama teknikleri geliştirilmiş ve optimum çözümlerin zaman içinde tesbiti için dinamik programlama algoritmaları kullanılmıştır. Öte yandan ileri sürülen bütün itirazlara rağmen doğrusal programlama modelleri su kaynakları sistemlerinin veya alt sistemlerinin en iyilenmesinde geniş şekilde kullanılmaktadır.

Büyük bir sisteme ait doğrusal programlama modelinin geliştirilmesi uzun süreli gayret gerektiren ve pahalı bir iştir. Bu nedenle bir model geliştirildiğinde ondan en çok faydanın elde edilmesi şarttır. Pratik uygulamalarda doğrusal modellerin katsayıları ve amaç fonksiyonları birçok belirsizlikler içerir. Bununla beraber bu katsayıların maksimum veya minimum değerlerini seçmek, hatta bazıları için varyans ve kovaryanslarını belirlemek mümkün olabilir. Duyarlık analizleri (veya parametrik programlama) bu nedenden belirsizlikleri incelemek için geliştirilmiştir.

Toplam faydanın en çok olması arzu edilen bir sistemin doğrusal programlama modeli en geniş şekilde aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} \text{En büyük } \{f(\bar{x})\} \quad & \text{Kısıtlar } A\bar{x} \leq \bar{b} \\ \bar{x} \quad & \bar{x} \geq 0 \end{aligned} \quad (2.9)$$

2.9 ifadesinde  $A = [a_{ij}]$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$   
 $j = 1, 2, \dots, n$

şeklinde yazılabilmekte  $a_{ij}$  ise A matrisinin i sıra ve j kolonundaki bir katsayı olmaktadır.  $\bar{b}$  ise m boyutlu bir kolon vektör olup  $b_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  şeklinde ifade edilebilir. Öte yandan

$$f(x) = \sum_{j=1}^m c_j x_j \quad (2.10)$$

olup, 2.10 ifadesinde  $c_j$ , maliyet ve fayda katsayılarıdır.

Bir doğrusal programlama modelinin oluşturulabilmesi için  $\bar{c}$ , A ve  $\bar{b}$  katsayılarının tayini gerekir. Doğrusal programlama modellerinde duyarlık analizleriyle  $\bar{A}$ ,  $\bar{b}$  ve  $\bar{c}$  katsayılarındaki belirsizliklerin neticeye tesiri ve yeni bir x değerinin modele ilavesinin en iyi değere etkisi aranabilir. Bu analizler doğrusal programlama modellerinin bilgisayarlar vasıtasıyla müteaddit defalar çözülmesiyle yürütülebilirse de böyle bir yaklaşım zahmetli ve düşük randımanlı olacaktır. Bu nedenle parametrik programlama teknikleri geliştirilmiştir. Parametrik programlamayla değişebilecek katsayılar, katsayıların değişebilecekleri sınırlar, modele eklenebilecek yeni değişkenler ve kısıtlar tarif edilerek bir algoritma vasıtasıyla kısıtlar tanımlanan sınırlar arasında sürekli olarak değiştirilir. Neticede verilen bir kısıtın iki ayrı değeri için bulunan en iyi çözümler arasında doğrusal bir ilişki bulunur. Parametrik programla algoritmalarının detayı çeşitli kaynaklarda mevcuttur[7,8,107]. Bununla beraber, bu konu halen tamamen genelleştirilmiş çözümler mevcut bulunmayan ve yoğun araştırma yapılan bir sahadır.

En iyileme sonrası analizleri diye de adlandırılan duyarlık analizlerinin, çözümünü en kesinlikle belirlediği sahalardan biri  $\bar{b}$  veya  $\bar{c}$  parametrelerinden birinin doğrusal olarak değişmesi halidir.  $\bar{b}$  veya  $\bar{c}$  parametrelerinden birinin süreksiz (ayrık) veya sürekli olarak değişmesi halinde ayrı hesap yöntemleriyle optimum değere etkileri incelenir. 2.9 denkleminin sağ tarafındaki  $\bar{b}$  parametresinin ayrık (diskrit)

değişmelerinin optimum çözüme etkisini incelemek üzere  $\bar{b} + \delta\bar{b}$ 'nin 2.9 denklemini sağ tarafının yeni değeri olduğu varsayalım.  $\bar{b}$  katsayısı değişmeden önce en iyi temel çözümdeki katsayılar  $\bar{B}$ , eski  $\bar{B}$  vektörüne dayanan yeni en iyi çözüm ise  $\bar{x}^{-1B}$  olsun.  $(\bar{b} + \delta\bar{b})$  değeri için yeni optimum çözüm 2.11'deki gibi olacaktır.

$$\begin{aligned} \bar{x}^{-1B} &= B^{-1} (\bar{b} + \delta\bar{b}) \\ &= \bar{x}^{-B} + B^{-1}(\delta\bar{b}) \end{aligned} \quad (2.11)$$

Böylece değişmiş katsayılı model için yeni çözüm eski modelle ait çözüm, katsayısı, ve eski temel çözümün tersi kullanılarak hesaplanabilir. Bu hesabın detayı doğrusal programlama modellerinin çözümünde kullanılan simpleks metodu incelendiğinde daha iyi anlaşılacaktır. 2.11'de verilen çözümün olurlu (fizibil) ve en iyi olup olmadığının araştırılması gerekir.  $\bar{x}^{-1B}$  ifadesinin en iyi olması için

$$\bar{x}^{-B} + B^{-1} (\delta\bar{b}) \geq 0 \quad (2.12)$$

$$\bar{x}^{-1} = \bar{x}^{-B} + \bar{B} (\delta\bar{b}) < 0$$

olmalıdır. Çözümün optimum olmayıp olurlu olması halinde, optimum değer ikicil (dual) simpleks algoritma kullanılarak ilave denemelerle bulunabilir.

2.11'de ayrıık olarak değiştiği kabul edilen  $\bar{b}$  değeri sürekli olarak da değişebilir.

$$\bar{b} = \bar{b}_0 + \theta\delta \quad (2.13)$$

Yukardaki tanımda  $\bar{b}_0$  ve  $\delta$  sabit vektörlerdir.  $\bar{x}_0^{-B}$  ise  $\bar{b}$  değişmeden önceki çözüm vektörüdür.  $\bar{b}$  katsayısı  $\theta$  parametresinin bir fonksiyonu olarak sürekli şekilde değişir. Bu durumda  $\theta$  değişse bile  $\bar{B}$  sabit kaldıkça çözüm optimum kalacaktır. Simpleks çözüm metodunda [8],  $(Z_j - C_j)$  farkıyla optimum hesaplanırken  $\theta$  tesir etmemektedir. Temel çözümün en iyi olması için aşağıdaki durumun olması gerekir.



$$\bar{x}^{-B} = \bar{x}^{-B} = \bar{B}^{-1} \bar{b}_0 + \theta \bar{B}^{-1} \delta = \bar{x}_0^{-B} + \theta \bar{B}^{-1} \delta \quad (2.14)$$

2.14'de  $\bar{x}^{-B}$  değeri  $\theta = 0$  olması halinde  $\bar{x}^{-B}$  ile aynı olacaktır. Esas problem  $\theta$ 'nın hangi değeri için  $\bar{x}^{-B}$ 'in en iyi olmayacağıdır.

$$\begin{array}{ll} \text{Çözüm} & \theta \geq 0 \text{ değerleri için} \\ & \bar{B}^{-1} \delta \geq 0 \end{array} \quad (2.15)$$

olması halinde en iyi olacaktır. 2.15'deki değerin negatif olması halinde  $\theta$ 'nın kritik bir değerinden sonra  $\bar{x}^{-B}$  en iyi olmayacaktır. Bu durumda optimum çözümü tayin için dual (ikicil) simpleks algoritması kullanılır.

Yukarda 2.9'da  $\bar{b}$  elemanının kesikli ve sürekli değişimlerinin optimum çözüme etkileri incelenmiştir. Benzer yöntemler  $\bar{c}$  vektörünün ve  $\bar{A}$  matrisi elemanlarının değişmesi halinde de uygulanabilir.

Kesin bağıntılı (deterministik) doğrusal modelde parametrelerde olabilecek değişmelerin optimuma etkisi Tablo 2.1'de özetlenmiştir. Tablo 2.1'de en iyi temel (baz) çözüm terimi, amaç fonksiyonunu en iyileyen temel değişkenlerin tümünü göstermek için kullanılmıştır. Temel değişkenler, doğrusal modelin çözümü olan ve değeri sıfır olmayan değişkenlerdir. Değeri sıfır olan değişkenler ise temel olmayan değişken diye adlandırılabilirler.

Bir su kaynakları sistem modeli için Tablo 2.1'den çıkarılacak sonuçlar, özet olarak, aşağıdaki gibidir.

a. Bir su kaynakları modelindeki akım değerleri doğrusal modelde  $\bar{b}$  vektörüne tekabül edecektir. Bu nedenle gerek hidrolojik akım değerlerinin stokastik (rastlansal) karakterleri sebebiyle ve gerekse de çeşitli eksiklik ve hatalardan ötürü akım değerlerinde olacak hatalar orijinal temel değişkenlerin değerini değiştirebilir veya gerekirci çözümleri geçersiz kılabilir.

b. Su kaynakları modelindeki birim fiyat ve maliyetler, doğrusal modelde maliyet katsayıları " $c$ " ile ifade



TABLO 2.1

## A, b ve c KATSAYILARININ DEĞİŞİMİNİN DOĞRUSAL MODELE ETKİLERİ

Değişiklik	Çözüm ve sonuçlara etkiler	
1. Temel değişkenlerin "a" katsayısındaki değişiklikler 2. "c" katsayısındaki değişiklikler 3. Temel olmayan değişkenlerin "a" katsayısındaki değişiklikler	En iyi çözüm değişebilir	
1. Orijinal temel (baz) değişkenlerin "a" katsayısındaki değişiklikler 2. "b" katsayısındaki değişiklikler	Orijinal çözüm barını değiş-tirmeyebilirler ancak	Orijinal temel değişkenlerin değeri değişebilir.
1. Baz olmayan değişkenlerin "a" katsayısındaki değişkenler 2. Amaç fonksiyonun değerini değiştiren temel değişkenlerin "c" katsayılarındaki değişiklikler		Orijinal temel değişkenlerin değeri değişmeye-bilir.

edilecektir. Eğer bu değişkenlerdeki hatalar ve değişiklikler yeter derecede büyükse orijinal en iyi çözüm değişebilir. Ancak değişiklik yüzdesi küçükse çözüm değişmiyecek ancak en iyi değer değişecektir.

c. Sulama suyu ve diğer su talepleri A matrisinin katsayılarıdır. Su taleplerinde olan değişiklikler, bulunan optimum çözümü değiştirebilir veya deterministik modeli uygulanamaz yapabilir. Birinci halde amaç fonksiyonunun en iyi değerlerini ayarlamak modeli geçerli yapacaktır.

### 2.3.2. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELLERİNİN OLASILIKLI DEĞİŞKENLERLE UYGULANMASI :

Su kaynakları sistemlerindeki bir çok değişkenler deterministik değil ve fakat istatistikidir. 2.9 ve 2.10 denklemlerinde verilen ilişkilerde bulunan a , b ve c bazan kesin değerli değil ve fakat ortalama değerleri  $\bar{a}_{ij}$ ,  $\bar{b}_i$ ,  $\bar{c}_i$  ve varyansları  $S_{aij}$ ,  $S_{bi}$ ,  $S_{ci}$  ile

$$\bar{a}_{ij} \pm \bar{S}_{aij} ; \bar{b}_j \pm \bar{S}_{bj} ; \bar{c}_i \pm \bar{S}_{ci}$$

şeklinde ifade edilebilirler. Modeldeki katsayıların kesinlikle bilinmediği hallerde bir nehrin akım değerleri gibi parametrelerin ortalama değerleri ve varyansları rasatlardan çıkarılabilir. Bazı hallerde varyanslara ilaveten kovaryans değerleri de bulunabilir. Birçok hallerde de sadece C katsayısı belirsizlikler içerirken b ve a katsayıları rastgele değişkenler olacaktır. Bu tip problemler literatürde "belirsizlikler altında doğrusal programlama", "şans sınırlı programlama", "stokastik doğrusal programlama" gibi adlarla anılan çeşitli matematiksel programlama teknikleriyle incelenmiştir. Bütün bu ve benzeri tekniklerde bir veya daha fazla katsayı kesinlikle bilinmemekte ve ortalama ve varyans değeri ile tanımlanmaktadır.

Doğrusal programla modellerinin kısıtlarının eşitsizlikler olması ve olasılıklı değişkenler bulunması hali çözümde önemli güçlükler arz etmektedir. Bu durumlarda kısıtların mı yoksa olasılıklı değişen elemanların mı önemli olduğuna karar vermek gerekir. Kısıtların daha önemli olarak düşünüldüğü hallerde model, olasılıklı değişkenlerin ortalama

değerleri kullanılarak standart metodlarla çözülür. Olasılı değişkenlerin önem kazandığı hallerde model kısıtlar ihmal olunarak veya benzetim metodları ile analiz olunabilir. Örneğin analitik çözümlerin olmadığı bazı problemlerde Monte Carlo yöntemiyle akım simülasyonu yapılmaktadır.

Amaç fonksiyonu ve sınırlayıcı şartların ihtimali değişkenlerden oluştuğu durumda problem şu şekilde formüle edilebilir, [108].

$$\begin{aligned} z &= \bar{c} \bar{x} + \bar{f} \bar{y} \\ \bar{A} \bar{x} + \bar{d} \bar{y} &= \bar{b} \\ \bar{y} &\geq 0 \end{aligned} \quad (2.16)$$

Bu formülasyonda amaç fonksiyonuna  $f$  ve  $y$  vektörlerinin çarpımı, kısıtlara ise  $\bar{d}$  ve  $\bar{y}$  vektörlerinin çarpımı eklenmiştir. Genellikle amaç fonksiyonu orijinal  $\bar{x}$  ve  $\bar{y}$  vektörlerine bağlı olacaktır. 2.16'da eşitsizlik kısıtı,  $d$  ve  $y$  vektörleri çarpımı eklenerek eşitlik haline getirilmiştir. Negatif ve sıfır olmama şartı yeni  $y$  değişkeni için de geçerlidir. Vajda [108] amaç fonksiyonun en küçük değerinin  $x$  değişkeninin bir dışbükey (Konveks) fonksiyonu olduğunu göstermiştir. Amaç fonksiyonunun  $y$  değişkenine göre en küçük değeri ise  $\bar{A}$  ve  $\bar{b}$  katsayılarının bir dışbükey fonksiyonudur. Bu nedenle, özellikle hataların amaç fonksiyonunda olduğu hallerde, bir çok stokastik veya olasılı doğrusal programlama modeli kuadratik programlama problemi olarak çözülebilir.

#### 2.3.2.1. OLASILI KATSAYILARIN SADECE AMAÇ FONKSİYONUNDA OLMASI DURUMU:

Eğer orijinal problemde sadece amaç fonksiyonu olasılı veya rastgele değişkenlerden oluşuyorsa bu takdirde problem,

$$\begin{aligned} z &= \bar{c} \bar{x} - (\bar{x}^T \bar{B} \bar{x})^{1/2} \\ \bar{A} \bar{x} &\leq \bar{b} \\ \bar{x} &\geq 0 \end{aligned} \quad (2.17)$$

şeklinde ifade edilir. [109] B olasılı değişkenin nxn boyutlu varyans - kovaryans matrisidir. 2.17 ifadesi de kuadratik programlama metoduyla çözülebilir.

#### 2.3.2.2. OLASILI KATSAYILARIN KISITLARIN SINIRI OLMASI DURUMU:

Sadece  $\bar{b}$  parametresi kesikli ihtimal dağılımına göre değişiyorsa çözüm ikicil (dual) problem yazılarak yapılabilir. [108]

#### 2.3.2.3. KISITLAR MATRİSİNDE OLASILI DEĞİŞKENLER BULUNMASI DURUMU:

Bu durumun genel ifadesi aşağıdaki şekilde olacaktır.

Amaç fonksiyonu

$$\text{Minimum } f = \bar{C} \bar{x}$$

Kısıtlar

$$f(x) = \bar{a}'\bar{x} + k(\bar{x}^T \bar{V} \bar{x})^{1/2} \geq \beta$$

$$\bar{A} \bar{x} \geq \bar{b} \quad (2.18)$$

$$\bar{x} \geq 0$$

Yukarda a bir ortalama değer, V ise simetrik kovaryans matrisi olmaktadır.  $\beta$  bir alt sınır, k ise normal standard sapmadır. 2.18 denklemindeki haliyle problem doğrusal olmayan programlama haline dönüşmüştür. Amaç fonksiyonu doğrusal olmakla beraber kısıtlar dışbükey eğrisel fonksiyonlardan oluşmaktadır. Problem eğrisel programla tekniği ile çözülmelidir.

## 2.4. EĞRİSEL PROGRAMLAMA İLE EN İYİLEMEDE DUYARLIK İRDELEMESİ

### 2.4.1. EĞRİSEL MODEL

Eğrisel modellerde duyarlık irdelemesine örnek olmak üzere bir sistem modeli seçilerek parametrelerin değişik değerleri için çözümler yapılmıştır. Doğrusal modellerle de karşılaştırmaya imkan vermek amacıyla örnek model olarak Dorfman [ 54 ] tarafından geliştirilen bir model seçilmiştir.

Şekil 2.1'de görüldüğü üzere sistem iki rezervuar (baraj) sahası, sulama sistemi ve nehir hidroelektrik santralinden ibarettir. Bir yılda yağışlı ve kurak olmak üzere iki akım mevsimi olduğu kabul edilmiştir.

Mevsimlik ortalama akımlar Şekil 2.2'de nehrin muhtelif noktalarında verilmiştir. Üstteki değer yağ (akımın yüksek olduğu) mevsime, alttaki değer ise kurak (akımın alçak olduğu) mevsime tekabül eden değerlerdir. Akım değerleri  $10^6$  acre-ft =  $1.23 \times 10^9$  m<sup>3</sup> cinsinden ifade edilmiştir. Problem, dört karar değişkeni Y, Z, I ve E'nin değerlerinin tayin edilmesidir. Y, şekil 2.2'deki A barajının aktif hacmi, Z ise B barajının aktif hacmidir. I, yıllık toplam sulama suyu miktarı olup, E ise hidroelektrik santral tarafından üretilen bir yıllık enerji ( $10^9$  kw-saat) olmaktadır.

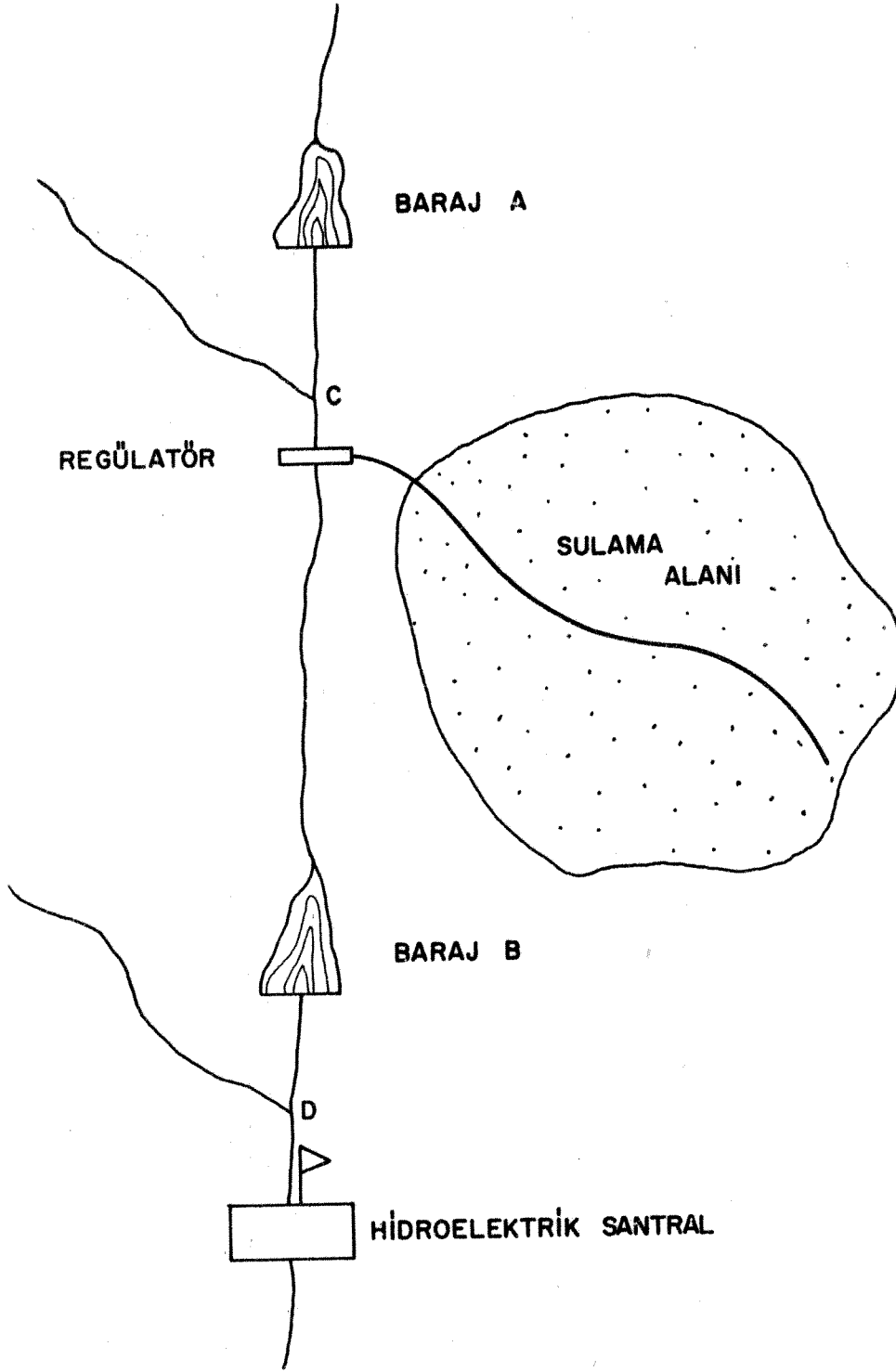
Barajların suyu yağ mevsimde depoladıkları, kurak mevsimde ise sarfettikleri varsayılmaktadır.

Yağ mevsimde toplam sulama suyunun %42.5'u kullanılmakta ve toplam suyun %15'i drenaj yolu ile nehre dönmektedir. Kurak mevsimde ise sulama suyunun %57.5'u kullanılmakta ve %45'i nehre drene edilmektedir.

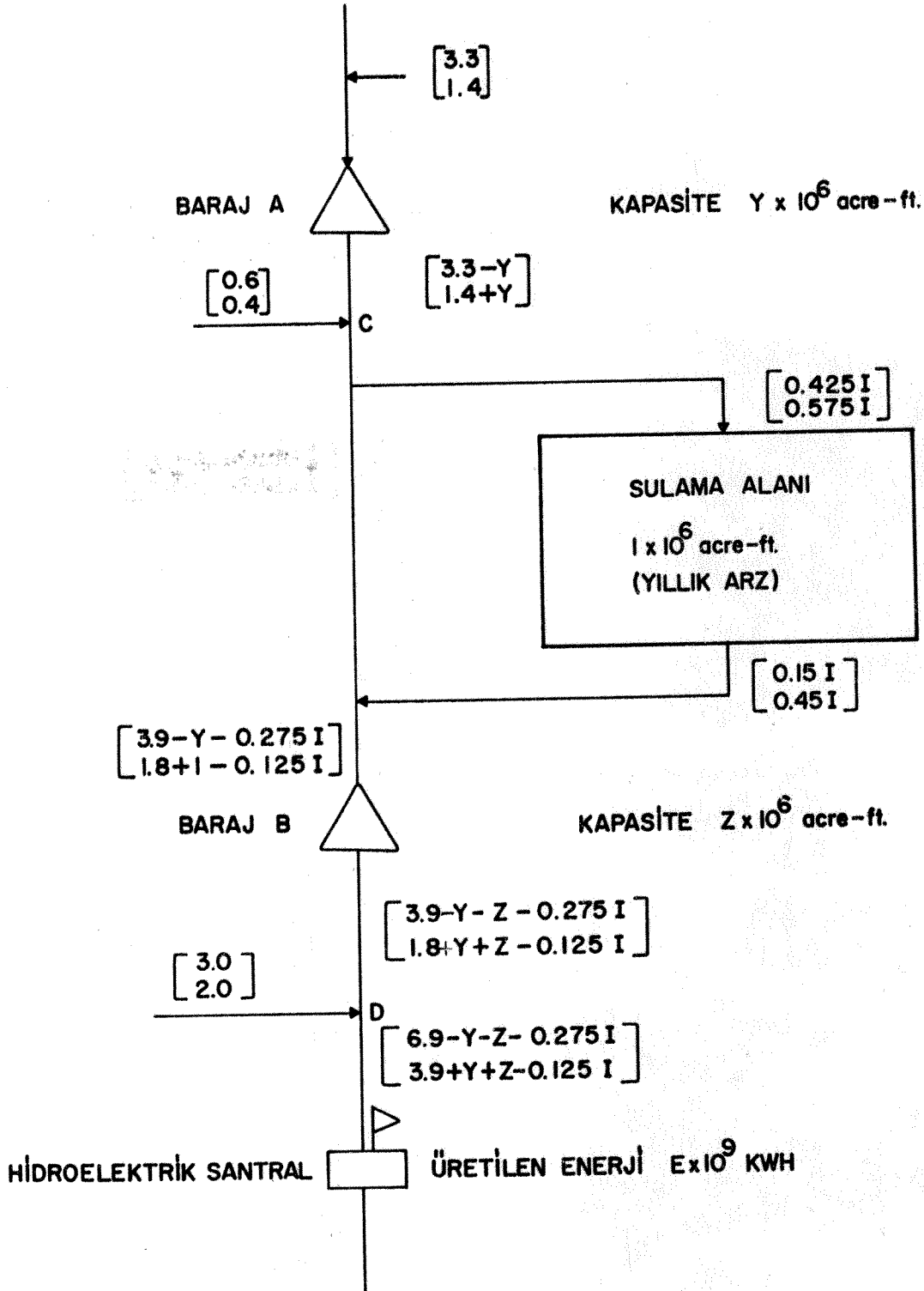
Bu sistemin, modelinin amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [ 54 ].

$$f(E, I, Y, Z) = B_1(E) + B_2(I) - C_1(Y) - C_2(Z) - C_3(E) - C_4(I) \quad (2.19)$$

(2.19) bağıntısında  $f(E, I, Y, Z)$ , sistemden elde edilen net faydanın şimdiki değeridir. ( $10^6$  dolar)  $B_1(E)$ ,  $B_2(I)$  ise hidroelektrik santrali ve sulamadan elde edilen kârları ( $10^6$  dolar) ifade etmektedir.  $C_1(Y)$ ,  $C_2(Z)$ ,  $C_3(E)$ ,  $C_4(I)$  ise A ve B baraj-



ŞEKİL 2.1. SU KAYNAKLARI SİSTEMİ



ŞEKİL 2.2. SU KAYNAKLARI SİSTEMİNİN ŞEMASI



ları ile hidroelektrik santral ve sulamanın maliyet fonksiyonlarıdır. Gerek kâr, gerekse maliyet ifadeleri ilgili sistemlerin kapasitelerinin fonksiyonu olup aşağıda verilmişlerdir.

$$C_1(Y) = \frac{43 Y}{(1 + 0.2Y)} \quad (2.20)$$

$$C_2(Z) = \frac{47 Z}{(1 + 0.3Z)} \quad (2.21)$$

$$C_3(E) = 20.6E - E^2 \quad (2.22)$$

$$C_4(I) = 44 I_1 + 64I_2 + 4.5I_1^+ + 0.5I_2^+ \quad (2.23)$$

$I_1$  cazibeyle sulanabilecek arazinin,  $I_2$  ise pompajla sulanabilecek arazinin su ihtiyacını göstermektedir. Cazibe ile sulanabilecek arazinin en çok su ihtiyacı  $3 \times 10^6$  acre-ft olarak belirlidir. (2.23) denklemine ek olarak

$$I_1 + I_2 = I \quad (2.24)$$

ve  $I_1 \leq 3 \quad (2.25)$

kısıtları vardır.  $I_1^+$  ve  $I_2^+$  değerleri  $I > 0$  olduğu hallerde 1, diğer hallerde ise 0 olmaktadır. Fayda fonksiyonları da aşağıdaki gibi alınmıştır.

$$B_1(E) = 250E \quad (2.26)$$

$$B_2(I) = 45.4 I_1 + 15.3I_2 + 1045 \log(1+0.2I_1+0.2I_2) \quad (2.27)$$

Fayda ve maliyet ifadeleri (2.19) denkleminde yerlerine konduğunda amaç fonksiyonu aşağıdaki şekli alacaktır.

$$\begin{aligned} F = f(E, I_1, I_2, Y, Z) = & 229.4E + E^2 + 1.4I_1 - 48.7 I_2 \\ & + 1045 \log_{10}(1+0.2I_1 + 0.2I_2) - 4.5I_1^+ - 0.5I_2^+ \\ & - \frac{43 Y}{(1+0.2Y)} - \frac{47 Z}{(1+0.3Z)} \end{aligned} \quad (2.27)$$

Amaç fonksiyonunun kısıtları ise aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned}
3.3 - Y &\geq 0 & (2.28) \\
3.9 - Y - 0.425 I &\geq 0 & (2.29) \\
1.8 + Y - 0.575 I &\geq 0 & (2.30) \\
3.9 - Y - Z - 0.275 I &\geq 0 & (2.31) \\
Y + Z + 0.275 I + 3.47 E &\leq 6.9 & (2.32) \\
-Y - Z + 0.125 I + 3.47 E &\leq 3.9 & (2.33)
\end{aligned}$$

2.28 - 2.31 kısıtları nehrin her kesiminde akımın negatif olmamasını ifade eden süreklilik şartlarıdır. 2.32 ve 2.33 kısıtları ise yağ ve kuru mevsimde üretilen enerjinin yeterli olmasını ifade etmektedir.

Ek olarak aşağıdaki şartlar da sağlanmalıdır.

$$\begin{aligned}
I_1 + I_2 &= 1 & (2.34) \\
I_1 &\leq 3 & (2.35) \\
I_1 &\geq 0 & (2.36) \\
I_2 &\geq 0 & (2.37) \\
Z &\geq 0 & (2.38) \\
Y &\geq 0 & (2.39) \\
E &\geq 0 & (2.40)
\end{aligned}$$

#### 2.4.2. MODELİN ÇÖZÜMÜ

En iyileme problemi (2.28) - (2.40) denklemleriyle verilen kısıtlar muvacehesinde (2.27) amaç fonksiyonunu en büyük kılacak karar değişkenleri ( $E, Y, Z, I_1, I_2$ ) değerlerinin tayinidir. (2.27) nolu amaç fonksiyonu denkleminin incelenmesinden görüleceği gibi model doğrusal olmayıp eğriseldir. Ancak tüm kısıtların doğrusal olması nedeniyle amaç fonksiyonunu doğrusal yaklaşıklama sonucu model doğrusal hale sokularak çözümlenebilir. Eğrisel programlama ve arama tekniklerinin çok gelişmemiş olduğuyıllarda Dorfman [54] bu modeli doğrusal yaklaşıklama uygulayarak çözmüştür. Karar değişkenlerinin her biri beş ayrı doğrusal halinde ifade edilmiş ve elde edilen doğrusal modelin en iyi çözümü garantilemek amacıyla çeşitli kereler çözülmesi gerekmiştir. Hesaplama tekniği, amaç fonksiyonunun eğrisel olmakla beraber her parçası bir karar değişkeninin fonksiyonu olacak şekilde parçalara ayrılabilmesi özelliği nedeniyle başarılı olmuştur. Doğrusal programlamayla çözüm neticesi basit su

kaynakları sisteminin optimum çözümü aşağıdaki gibi bulunmuştur. [ 54 ]

$$\begin{aligned} E &= 1.384 \times 10^9 \text{ kw.saat} \\ I_1 &= 3.0 \times 10^6 \text{ acre-ft} \\ I_2 &= 0.0 \\ Y &= 0.0 \\ Z &\equiv 1.275 \times 10^6 \text{ acre-ft.} \\ F &= 494.6 \times 10^6 \text{ dollars} \end{aligned}$$

(2.27) - (2.40) denklemleriyle verilen sistem modeli eğrisel programlama yöntemiyle de en iyilenebilirdi. Bu tip bir modelin çözümünde kullanılabilecek arama tekniği algoritmaları Tablo 1.1'de gösterilmiştir. Bu algoritmalarından biri olan Rosen algoritması [ 110 ] eğrisel amaç fonksiyonlarını ve doğrusal eşitsizlik kısıtlarını içeren modelleri çözebilmektedir. Rosen algoritması eğim projeksiyonu metoduna dayanmakta olup, TBTA, MAG-296, projesinde de kullanılmıştı.

Bu proje kapsamında (2.27) - (2.40) denklemleriyle ifade edilen basit su kaynakları sistem modeli eğrisel programlama (Rosen algoritması) yardımıyla en büyüklenmiştir. Hesaplamalar ODTÜ, Elektronik Hesap Bilimleri Merkezi'nin IBM 360/40 bilgisayar ile yürütülmüştür. Çözüm için bilgisayar programına sistem modelini ve amaç fonksiyonunun karar değişkenlerine göre kısmi türevlerini içeren bir alt program eklenmiş, çözüm hassasiyeti ile ilgili çeşitli tolerans miktarları belirlenmiştir. Yerel bir eniyi çözüme değil de toptan en iyi (global optimum) çözüme erişildiğini görmek amacıyla dört ayrı çözüm yapılmış ve her defasında aynı ve doğrusal programlama sonuçlarına eşit sonuçlar elde edilmiştir. Algoritma randımanlı, hızlı ve kararlı bir şekilde sonuçlara ulaşmış olup, hesaplama süresi bir dakikanın altındadır. Yapılan dört ayrı çözümde kabul edilen ilk değerler ve sonuçlar Tablo 2.2'de verilmiştir.

Modelin doğrusal programlamayla çözümü, eğrisel amaç fonksiyonu doğruyla yaklaşıldığı için hata içerecektir. Bu hata ancak çok sayıda yaklaşık doğru kullanılarak küçültülebilir ki, bu çok sayıda çözüm gerektirecektir. Örneğin

yukardaki modelde amaç fonksiyonu 5 doğru parçasıyla yaklaşıkları olduğu için 5 çözüm gerekmiştir. Öte yandan yukardaki eğrisel model karar değişkenlerinin ayrılabilir parçalarından oluşmasaydı doğrusal çözüm hiç mümkün olmayacaktı. Bu tip eğrisel modeller için eğrisel arama algoritmalarının kullanılması verimlilik yönünden faydalı, yakınsaklık yönünden de mahzursuzdur.

TABLO 2.2  
EĞRİSEL MODELİN ROSEN ALGORİTMASIYLA ÇÖZÜMÜ

Değişken	İlk Değerler, Çözüm No				Çözüm
	1	2	3	4	Sonuçları
E	1.7	1.8	0.9	0.8	1.383
I <sub>1</sub>	1.7	3.5	0.9	2.5	3.0
I <sub>2</sub>	1.7	0	0.9	0	0
Y	1.7	0	0.9	0	0
Z	1.7	1.7	0.9	0.7	1.275
F	-	-	-	-	488.9

#### 2.4.3. DUYARLIK İRDELEMESİ

Ekonomik ve hidrolojik donelerdeki yetersizlik ve hataların en iyi çözüme etkisini araştırmak ve duyarlık irdelemesi yöntemini eğrisel modellerde göstermek amacıyla, önceki bölümlerde anlatılan eğrisel model çeşitli defalar çözülerek karar değişkeninin en iyi değerleri bulunmuştur. Çözümlerde Rosen'in [110] eğim projeksiyonu algoritması kullanılmış, ve hesaplar IBM 360/40 bilgisayarıyla yapılmıştır. Bulgular aşağıda özetlenmiştir.

a. Ekonomik donelerdeki eksiklik veya hataların optimum sonuçlara etkisini bulmak için maliyet ve fayda fonksiyonları, her defasında sadece biri olmak üzere, %30 ve %10 nisbetinde arttırılmıştır. Yapılan 9 çözümün özetleri, Tablo 2.3'de verilmiştir.

TABLO 2.3

AMAÇ FONKSİYONUNUN MALİYET DEĞERLERİNİN %10 ve %30 ARTTIRIL-  
MASININ OPTİMUM NETİCEYE ETKİSİ

Artan Değişken	% 10 Artış		% 30 Artış	
	Optimum fayda (Fx10 <sup>6</sup> dolar)	Fark yüzdesi %	Optimum fayda (Fx10 <sup>6</sup> dolar)	Fark yüzdesi %
B <sub>1</sub> (E)	523.5	7.1	592.6	21.1
B <sub>2</sub> (I)	523.8	7.1	614.1	25.6
C <sub>1</sub> (Y) ve C <sub>2</sub> (Z)	484.6	-0.9	475.9	-2.7
C <sub>3</sub> (E)	486.2	-0.5	480.9	-1.6
C <sub>4</sub> (I)	-	-	352.0	-28.1

Ekonomik değişkenlerde olacak ufak hataların, eğer bu değişkenler, sadece amaç fonksiyonunda iseler optimum faydayı az bir miktar değiştirdikleri ancak karar değişkenlerinin optimum değerlerini değiştirmedikleri görülmüştür. Eğer ekonomik değişkenler, bağlayıcı şartlarda da yer alıyorsa, bu takdirde hatalar önemli olmaktadır. Örneğin C<sub>4</sub>(I) değerinin %30 artmasına tekabül eden optimum çözüm aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$\begin{aligned}
 E &= 0.91 \times 10^9 \text{ kw-saat} \\
 I_1 &= 3.0 \times 10^6 \text{ acre-ft} \\
 I_2 &= 0 \\
 Y &= 0.85 \times 10^6 \text{ acre-ft} \\
 Z &= 0.0
 \end{aligned}$$

Yukarda verilen çözüm, Tablo 2.2'de verilen orijinal optimum çözümden önemli ayrılıklar göstermektedir.

b. Hidrolojik donelerdeki hataların, "hakiki optimum" çözüme etkileri de yukardakine benzer şekilde araştırılmıştır. Sistemin matematiksel modeli, akım değerlerinde  $\pm 10$  ve  $\pm 30$  hata kabul edilerek 4 kez çözülmüş elde edilen çözümler Tablo 2.4'de derlenmiştir.

Elde edilen neticeler, yine Tablo 2.4'de verilen hakiki optimum değerlerle karşılaştırılarak değerlendirilebilir. Neticeler uzun süreli ortalama akımlardaki hataların sistem modelinin çözümünü önemli şekilde etkileyeceğini göstermektedir.

TABLO 2.4  
AKIM DEĞERLERİNDEKİ HATALARIN OPTIMUM ÇÖZÜME ETKİLERİ

	E 10 <sup>9</sup> kw-saat	I <sub>1</sub> 10 <sup>6</sup> acre-ft	I <sub>2</sub> 10 <sup>6</sup> ac-ft	Y 10 <sup>6</sup> ac-ft	Z 10 <sup>6</sup> ac-ft	Net fayda (10 <sup>6</sup> dolar)
Hakiki optimum	1.38	3.0	0	0	1.27	488.9
Ortalama akımda % 10 azalma	1.23	3.0	0	0	1.02	455.8
Ortalama akımda % 10 artma	1.54	3.0	0	0	1.40	520.9
Ortalama akımda % 30 azalma	0.92	3.0	0	0.83	0	393.1
Ortalama akımda % 30 artma	1.85	3.0	0	0	1.73	587.4

c. Yukardaki duyarlık irdellemesi çalışmaları ışığın-  
da seçilen gerekirci (deterministik) sistem modelinde akım  
parametreleri ile ilgili hata ve eksikliklerin, ekonomik pa-  
rametrelerdeki hatalardan daha ehemmiyetli olduğu sylenebi-  
lir. Ancak, bu irdellemelerde ekonomik veya hidrolojik para-  
metrelerin her çözümde yalnızca biri değiştirilmiştir. Bu  
parametrelerin müşterek etkileri ayrıca incelenebilir.

Yukardakine benzer duyarlık irdellemesi tüm eğrisel  
modeller için geçerlidir. Su kaynakları sistem en iyileme-  
sindeki belirsizleri tayin için diğer bir örnek alışma  
Aşağı Ceyhan - Aslantaş projesi için yapılmıştır. Daha nce  
Waziruddin ve Altınbilek [1,100] tarafından yürütülen TBTAk,  
MAG-296 projesinde Aşağı Ceyhan havzasında inşa edilecek  
Aslantaş projesi için bir matematiksel model geliştirilmiş-  
tir. Detayları ilgili raporda anlatılan bu matematik model,  
hidroelektrik üretim ve sulama amaçlı bir barajın net fayda-  
sını en byklemeyi amaçlamaktaydı. 4 mevsimlik modelde fay-  
da, maliyet ve hidrolojik doneler  $\pm 30$  oranında değiştiri-  
lerek en iyi çözüme etkisi incelenmiştir. Aslantaş modeli  
duyarlık irdellemesi çalışması neticesi modelin hidroelektrik  
santral ve baraj ile ilgili ekonomik donelere karşı az duyar-  
lı olduğu, ancak sulama ile ilgili ekonomik verilerle, akım  
donelerindeki değişikliklere karşı hassas olduğu tesbit edil-  
miştir.



### 3. SİSTEM ANALİZİ İÇİN GEREKLİ EKONOMİK VERİLER

#### 3.1. GİRİŞ

Su kaynakları geliştirilmesinde kullanılan sistem analizi teknikleri ekonomik verilere ihtiyaç göstermektedir. Ekonomik veriler sistemin faydası, maliyeti ve amortisman miktarını tayin edecek faiz oranını içermektedir.

Su kaynakları sistemlerinin paraya çevrilebilen, çevrilemeyen, dolaysız ve dolaylı faydaları vardır. Bu faydaların tesbiti ele alınacak su kaynakları sisteminin cinsine göre değişir. Taşkın koruma ve sulama sistemlerinde faydalar önlenen taşkınların sebep olabileceği hasar ve sulamalarla artacak verimlerle hesaplanabilir. Her iki projede de faydalar ilgili hizmetlerle çevreye sağlanan gelir cinsinden ölçülmektedir. Hidroelektrik üretimi ve nehir ulaşımı gibi diğer bazı su kaynakları sistemlerindeyse faydalar aynı hizmetlerin başka yollardan görülmesiyle yapılacak masraflar gözönünde tutularak hesaplanabilir. Örneğin bir hidroelektrik santralın faydası aynı miktar enerjinin termik veya nükleer santraller ile üretilmesi maliyeti hesaplanarak; nehir ulaşımının faydası ise aynı taşımanın karayolu ile yapılması maliyeti incelenerek bulunur. Bu kriter, örneğin sulama sistemlerinin faydasını tesbitte kullanılamaz. Zira sulama sonucu tarlada olan üretim ve gelir artışı sulama yapmadan başka bir yolla sağlanamaz. Şehirlere içme, kullanma ve endüstri suyu temini sistemlerinde ise durum değişiktir. Her nekad, su insan varlığı için vazgeçilmez bir unsursa da suyun gerçek değerini dolayısıyla faydasını tesbit etmek son derece zordur. Bu nedenle su temini sistemleri, genellikle, zorunlu alt yapı tesislerinin parçası olarak kabul edilirler ve fayda değerlendirmesi yapılmayarak hizmeti yeterli şekilde karşılayacak tesislerin maliyetinin en küçüklenmesine çalışılır. Bir çok havza geliştirilmesi probleminde içme suyu temini projelerine birinci öncelikte su tahsis edilir, ekonomik değerlendirme ve su tahsisleri diğer amaçlarla önerilen tesislerin fayda ve maliyetlerine göre yapılır.

Sistem analizinde gerekecek fayda fonksiyonları su kaynakları sisteminin amaçlarına ve boyutlarına göre hesap edileceğinden önceden genellemeler yapılması zor ve gereksizdir. Bir taşkın önleme sisteminde fayda tesbiti arazinin topoğrafyası, ekonomik, demoğrafik ve arazi kullanımı özellikleriyle yakından ilişiktir. Bu özelliklerde önceden bilmeyeceğinden fayda tesbiti işleminin her proje için ayrı yapılması uygun olacaktır.

Su kaynakları sistemlerinin maliyetleri, sistemleri oluşturan elemanların ilk yatırım, işletme ve bakım giderlerinden oluşur. Su kaynakları sistemleri çok sayıda tesisden oluşabilir. Barajlar, su alma yapıları, tüneller, boru hatları, kanallar, pompa tesisleri, su tasfiye tesisleri, vanalar, şutlar, enerji kırıcı tesisler, seddeler ve diğer çok sayıda elemanın bir kısmı birleşerek tek veya çok amaçlı bir sistem oluştururlar. Bir kati proje uygulamasında toplam maliyet, bu tesislerin maliyetleri en detaylı şekilde hesaplanarak tesbit olunur. Ancak geliştirme ve olabilirlik (fizibilite) etüdlerinde, sistem maliyetinin bu kadar detaylı tesbiti zor ve gereksizdir. Sistem analizinde maliyet doneleri bir tek sabit boyutta tesis için değil ve fakat çeşitli kapasitedeki bir seri tesis için gerekecektir. Olabilirlik çalışmaları sırasında gerekli tesislere henüz kesin karar verilmediğinden maliyetler detaylı hesaplanamaz veya hesaplanması büyük çalışma ve masraf gerektirir. Sistem analizi çalışmalarını, ilk etapta daha az detaylı, tüm sistemin maliyetini toptan tahmin eden ve çabuk elde edilebilen maliyet verileriyle yürütmek verimli ve kabul edilmiş bir yöntemdir. İlk etapta yapılacak en iyileme çalışmalarını izleyecek diğer çalışmalarda maliyet doneleri daha az sayıda seçenekler için daha detaylı elde edilebilir. Ön çalışmalarda maliyet verileri proje sırasında çıkarılabileceği gibi bazı hallerde benzer mevcut tesislerin bilinen gerçek maliyetlerinin kullanılması da yeterli olabilir.

Sistem analizi için gerekli ön maliyet verileri çeşitli boyuttaki sistemlerin maliyetini karar değişkenlerinin fonksiyonu olarak ifade etmelidir. Örneğin toprak barajların maliyetleriyle hacimleri veya yıllık verimleri arasındaki

ilişki çeşitli boyuttaki barajlar için bilinmelidir. Bu nedenle mevcut maliyet verilerinin fonksiyonel şekilde ifadesi gereklidir.

Halen ülkemizde sistem analizi metodları yaygın şekilde kullanılmadığından gerekli ön maliyet verileri toplanmamaktadır. Ancak bu veriler mevcut olmadığı için de sistem analizi ve en iyileme yöntemlerinin uygulamasına geçilmesi mümkün değildir. Sistem analizi uygulamasında gerekli olacak ön maliyet verilerinin Türkiye'deki mevcudiyeti TBTA, MAG - 296, "Aşağı Ceyhan-Aslantaş Projesi için Matematiksel Modelleme ve Optimizasyon Çalışması" projesi kapsamında S.Waziruddin ve D.Altınbilek tarafından incelenmiştir. [1] Bu projenin sonuç ve tavsiyeleri arasında aşağıdaki kısım, Türkiye'deki ön veri durumunu özetlemektedir.

"Ceyhan-Aslantaş projesi için bir matematiksel model geliştirilirken (MAG-296 projesi) Türkiye'deki ön bilgi (done) durumları da incelenmiştir. Çalışma sonunda Türkiye'de su kaynaklarının modellenmesi için yeterli ekonomik ve teknik ön bilginin mevcut olduğu söylenebilir. Ancak bu çalışmanın kapsamı ve süresinin kısıllığı sebebi ile bu çalışmada kullanılan doneler ve matematiksel ilişkiler sadece bir örnek olarak kabul edilmelidir. Çalışmada kullanılan ve ilgili teşkilâtlardan genellikle gayri resmi şekilde toplanan doneler bütün gayret ve iyi niyetlere rağmen bazı hallerde yanlışlıklar ihtiva edebilecektir. Bu çalışma ileride düzeltilerek genelleştirilebilecek bir örnek ve pilot çalışma olarak kabul edilmelidir".

Bu araştırmada (TBTA, MAG-343) incelenmesi teklif edilen hususlar arasında su kaynaklarının en iyilemesinde gerekli ön verilerin (baraj, sulama, içme suyu sistemleri, hidroelektrik santral ve benzeri sistemlerin ilk yatırım, işletme ve bakım maliyetlerinin) toplanması, etüdü, tablo, eğri veya fonksiyon olarak ifadesi yer almaktadır.

### 3.2. YÖNTEM

Su kaynakları sistemlerinin maliyetlerini fonksiyonel şekilde ifade edebilmek amacıyla gerekli veriler uygulayıcı kuruluşlardan (Devlet Su İşleri, Türkiye Elektrik Kurumu, İller Bankası, v.b.) toplanmıştır. Toplanan maliyet verileri geçmişte inşa edilmiş benzer tesislerin inşa edildikleri yıldaki maliyetleri ve tesisle ilgili kapasite değerlerinden oluşmaktaydı.

Değişik yıllara ait maliyet değerleri, Ticaret Bakanlığı, Konjonktür ve Yayın Müdürlüğünce yayınlanan [11] yapı malzemesi fiyat artış endeksleri kullanılarak aynı yıla (1972) getirilmiştir. Tablo 3.1'de verilen yapı malzemesi fiyat endeksleri yedi çeşit inşaat malzemesindeki (çimento, tuğla, kireç, kereste, çivi, cam, putrel) ağırlıklı fiyat artışlarını içermektedir.

Aynı baza (1972) getirilmiş maliyet değerleri etüd edilerek karar değişkeni olabilecek parametreler cinsinden ifade edilip edilemeyeceği araştırılmıştır. Bunun kolaylıkla mümkün olduğu halde ilişkiler grafiksel şekilde ifade edilmiştir. Bazı hallerde ise sistemin özelliklerini temsil eden başlıca parametrelerle maliyet arasındaki ilişki açık olmadığından önce faktör analizi, sonra regresyon çalışması yapılmıştır.

Faktör analizi bağımsız değişkenlerin ve değişken gruplarının aralarındaki doğrusal ilişkileri ve bağımlı bir değişkene yaptıkları katkıları inceleme olanağı sağlayan bir metod olup hazır bilgisayar programları vasıtasıyla uygulanabilir. Faktör analizinde ortak karakteristikleri olan değişkenler bağımsız üniteler teşkil edecek şekilde gruplara ayrılırlar. Bu bağımsız gruplara "faktör" adı verilir. Her değişkene bu faktörlerin ne oranda tesir ettiği her faktör için verilen faktör katsayılarından görülür. Değişkenin varyansının (değişiklik) ne kadarını hangi faktörün ifade ettiği faktör katsayılarının karesi gösterir. Hangi faktör, bu değişirliği en yüksek şekilde ifade ediyorsa bu faktörü meydana getiren değişkenlerin hangileri olduğu ve ne ağırlıkta olduğu faktör katsayılarının incelenmesiyle tesbit

TABLO 3.1

## YAPI MALZEMELERİ FİYAT ARTIŞ ENDEKSLERİ

Yıl	Endeks (1963 temel alınarak)	Endeks 1972 temel alınarak)
1954	0.39	4.75
1955	0.43	4.28
1956	0.56	3.31
1957	0.54	3.44
1958	0.77	2.40
1959	0.98	1.88
1960	1.02	1.81
1961	0.95	1.93
1962	0.97	1.90
1963	1.00	1.85
1964	1.03	1.78
1965	1.10	1.68
1966	1.22	1.51
1967	1.28	1.44
1968	1.32	1.40
1969	1.40	1.32
1970	1.51	1.22
1971	1.66	1.11
1972	1.85	1.00

edilir, ve ele alınan değişkenin hangi değişken veya değişkenlere ne oranda bağlı bulunduğu böylece tesbit edilir. Ayrıca verilen korrelasyon katsayıları tablosundan bağımlı değişkenin, bağımsız değişkenlerin herbiri ile olan ilişkisinin kuvveti görülür. Korrelasyonun istatistiki açıdan kabul edilebilirliğinin tesbiti için, korrelasyon katsayısının dağılımına göre hazırlanmış tablolar kullanılır.

Çoklu regresyon analizi ise bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ampirik bağıntıların denklemlerinin en küçük kareler metoduyla bulunmasını sağlayan bir analiz metodudur.[2]. Bu raporun 1.2.2. bölümünde çoklu regresyon analizi daha geniş şekilde izah edilmiş olup uygulamalar genellikle hazır bilgisayar programları kullanılarak yapılır.

Bu raporda, faktör analizi ve regresyon çalışması neticesi bulunabilen anlamlı ilişkilere yer verilmiştir. Bazı hallerde done yetersizliklerinden veya benzer kapasitede bir sistemin diğerinden büyük maliyet farkları gösterilmesi nedeniyle fonksiyonel ilişkiler elde edilememiştir. Böyle sistemler için maliyet bilgileri ele alınan sistemin özelliklerine uygun olarak ayrıca tesbit edilmelidir.

Bazı hallerde ise çeşitli kaynaklarda tablo veya grafik halinde mevcut bazı maliyet verileri bu araştırmaya aktarılmıştır. [1,101,114]

### 3.3. BARAJ MALİYET İLİŞKİLERİ

Barajların toplam maliyetlerine etki eden faktörleri bulmak ve fonksiyonel ilişkiler geliştirmek amacıyla Türkiye'de 1956-1972 arasında inşa edilmiş 41 adet baraja ait çeşitli bilgiler toplanarak Tablo 3.2'de verilmiştir. Mevcut barajların 25 adedi toprak dolgu, 4 adedi beton ağırlık, 5 adedi kaya dolgu, 7 adedi ise toprak-kaya dolgudur. Barajların büyük kısmı nisbeten küçük depolama hacimli olup sadece 12 barajın depolama hacmi  $100 \times 10^6 \text{ m}^3$ 'den büyüktür. Tablo 3.2'de barajların cinsi, temelden ve talvegden yüksekliği, toplam depolama hacmi, amaçları, (sulama sahası, enerji üretimi, v.b.), inşa edildiği yılda ve 1972'deki toplam yatırım maliyeti de yer almıştır.

Baraj maliyetlerinin etüdünde toprak dolgu barajlar esas alınmıştır. Ayrıca  $200 \times 10^6 \text{ m}^3$  hacimden küçük ve büyük barajlar iki ayrı grup halinde incelenmiştir. Depolama hacmi  $200 \times 10^6 \text{ m}^3$  den küçük olan barajlar için hacim-maliyet ilişkisi Şekil 3.1'de görülmektedir. Bu barajlar için yapılan faktör analizi sonucu maliyeti etkileyen en önemli değişkenin toplam depolama hacmi olduğu tesbit edilmiştir. Regresyon çalışması neticesi Şekil 3.1'deki noktalara tekbül eden en uygun ilişkinin (3.1) denklemiyle verilen doğru olduğu saptanmıştır.

$$C = 0.712596 V - 1.415 \quad (3.1)$$

$$20 \leq V \leq 100$$

C, baraj maliyeti ( $10^6$  TL); V ise depolama hacmidir ( $10^6 \text{ m}^3$ ). (3.1) denkleminin çoklu korrelasyon katsayısı 0.862 olup, aynı doğru Şekil 3.1'de de görülmektedir. Doğrusal ilişki toprak dolgu barajlara ait olmakla beraber diğer tip barajlar için de kullanılabilir. Diğer tipteki barajlar sayıları az olduğu için ayrıca analiz edilmemişler ancak Şekil 3.1'de gösterilmişlerdir.

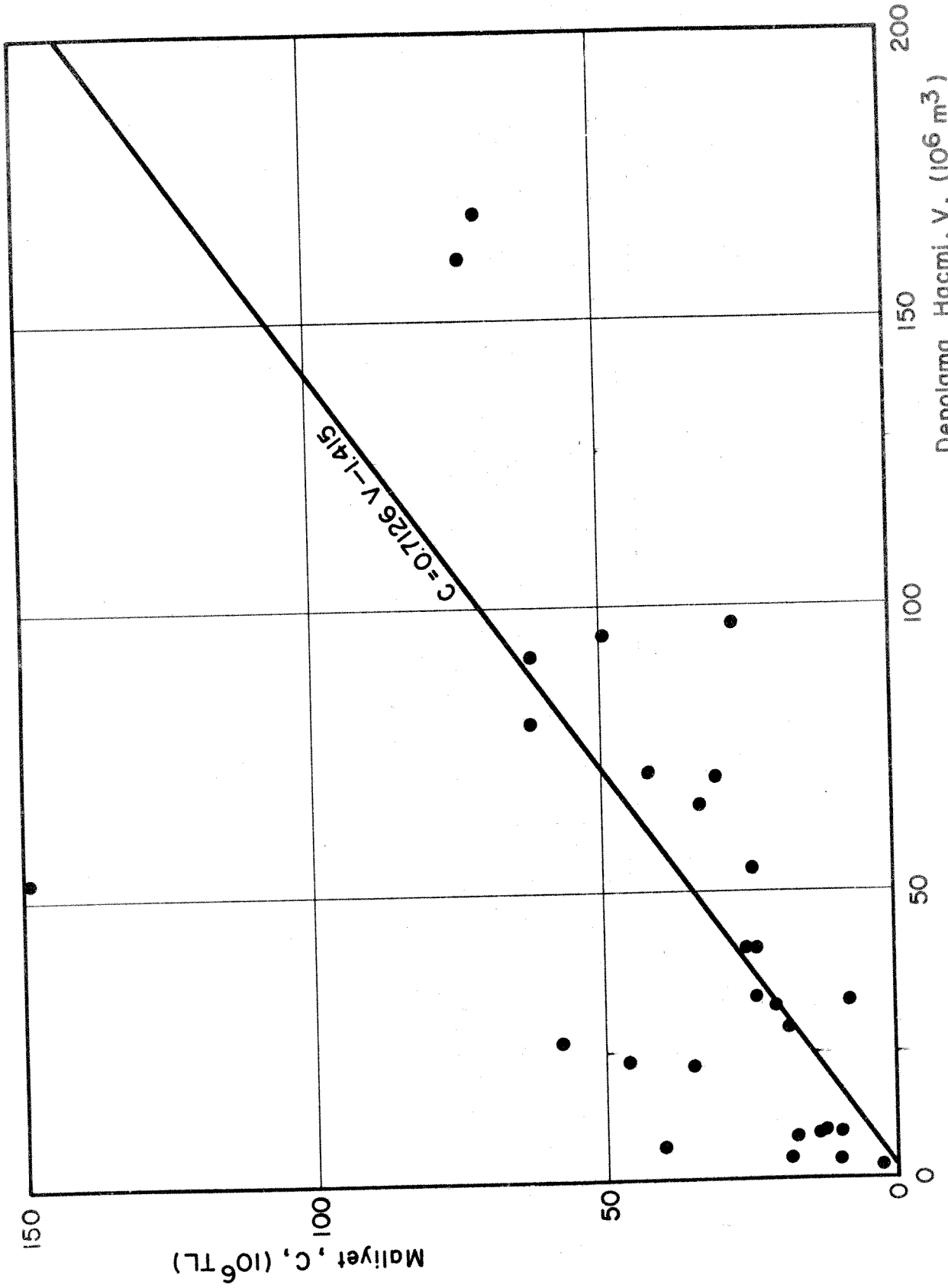
Depolama hacmi  $200 \times 10^6 \text{ m}^3$ 'den fazla olan barajların hacmi - maliyet ilişkileri Şekil 3.2'de görülmektedir. Bu barajlar için daha önceki çalışmada [1]. Aşağıdaki ilişki elde edilmiştir.



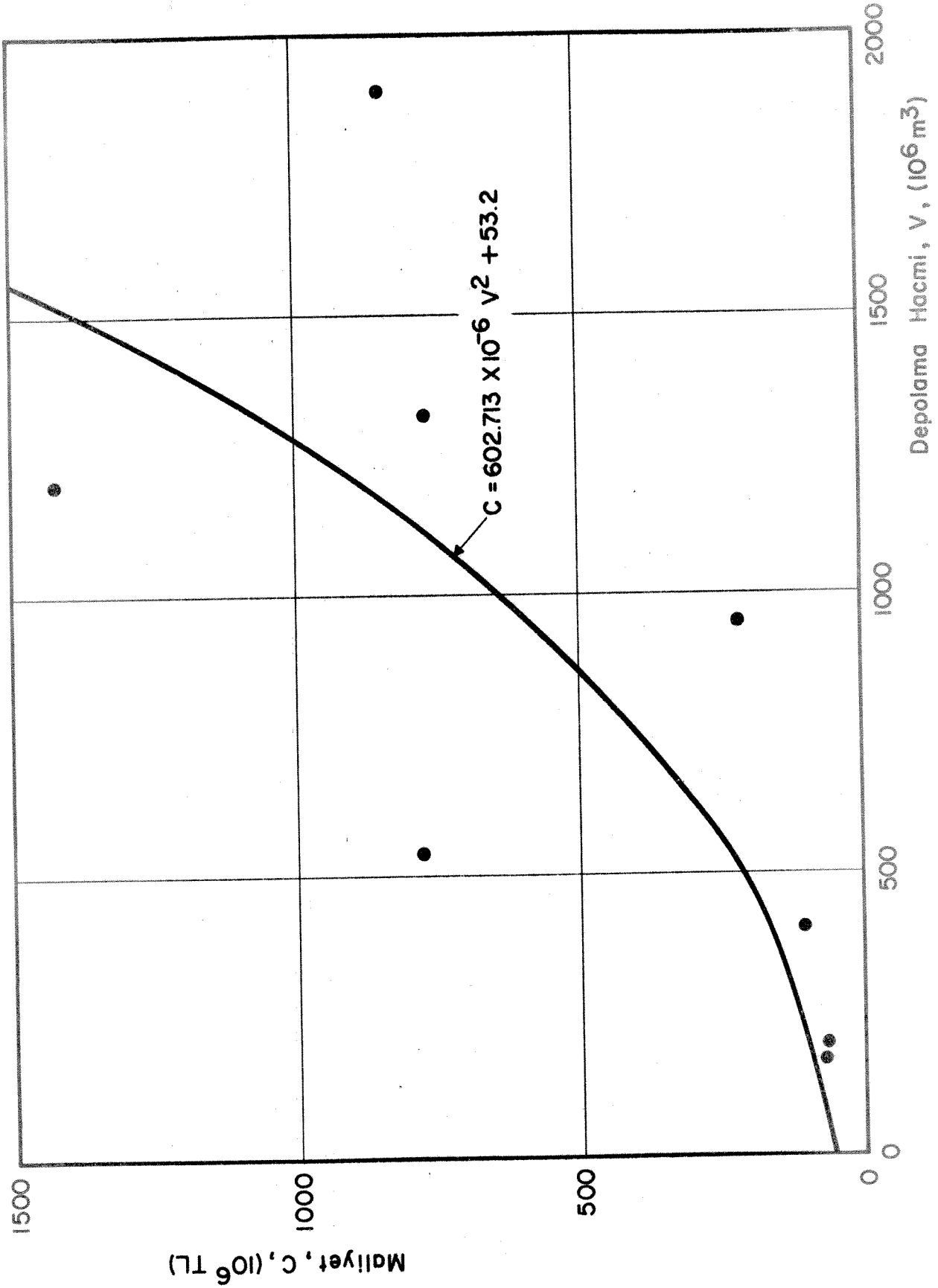
TABLO 3.2

## TÜRKİYE'DE İNŞAATI BİTİRİLEREK İŞLETMEYE AÇILMIŞ BARAJLAR

Sıra No.	A D I	Bitiş tarihi	Y e r i		Yüksekliği		Top. Dep. Hac. (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	F a y d a s ı				Toplam Bedelli Milyon TL.	1972 yılı değeri Milyon TL.		
			Akarsu adı	İli	Tipi	Tenaiden Talvegden (m)		Temel Dep. (m)	Maksadı	Sulama ha.	Enerji Mw.			Kwh. Ko. (Ha.)	Taşk. Kur. ha.
1	Çubuk I	1936	Çubuk	Ankara	B. Ağır	58.00	25.00	12.50	I	-	-	-	14	3.500	-
2	Göbbaşı	1938	Aksu	Bursa	Top. d.	14.00	10.70	12.75	T	-	-	-	-	0.600	-
3	Gebere	1940	Uzandı	Niğde	Top. d.	17.00	13.00	13.00	S	110	-	-	-	0.600	-
4	Porsuk I	1948	Porsuk	Eskişehir	B. Ağır	43.50	30.50	141.00	SHT	22000	-	8680	-	10.500	-
5	Elmalı II	1955	Göksu	İstanbul	Payand.	49.00	42.50	10.00	I	-	-	-	10	-	-
6	Damsa	1956	Damsa	Kayseri	Top. d.	26.00	24.00	3.27	S	475	-	-	-	2.990	9.897
7	Sarıyer	1956	Sakarya	Ankara	B. Ağır	108.00	90.00	1900.00	E	160	400.0	-	-	254.800	843.388
8	Ayrancı	1958	Kocadere	Konya	Top. d.	36.00	34.00	26.50	SHT	54	285.0	42000	-	429.900	1.422.969
9	Hirfanlı	1958	Akçay	Aydın	B. Ağır	113.50	108.50	5980.00	S	5438	-	-	-	7.581	18.194
10	Kemer	1958	Kırşehir	Kırşehir	K. dolg.	83.00	78.00	1320.00	SHT	38000	48	145.0	3000	322.900	774.960
11	Demirköprü	1960	Gediz	Manisa	Top. d.	77.00	74.00	5980.00	E	-	110	400.0	-	411.100	986.640
12	Sille	1960	Silve	Konya	K. dolg.	40.00	39.00	31.00	SHT	97310	69	192.0	12000	424.000	767.440
13	May	1960	Ulunmak	Niğde	Top. d.	19.60	19.10	40.10	SHT	180	-	200	-	4.320	7.819
14	Mamasın	1961	Çarşamba	Konya	Top. d.	30.80	29.80	98.00	S	15685	-	4000	-	14.000	25.340
15	Seyitler	1962	Seyitler	Afyon	Top. d.	27.00	26.00	169.00	S	18840	-	-	-	14.000	27.020
16	Çubuk II	1964	Çubuk	Ankara	Top. d.	32.00	31.40	40.00	S	2908	-	-	-	37.000	70.300
17	Selavir	1964	Kalı	Afyon	Top. d.	31.00	30.00	24.60	I	-	-	-	18	12.700	24.130
18	Bayındır	1965	Cip	Elazığ	Top. d.	24.00	23.00	7.00	SHT	8060	-	-	-	33.000	58.740
19	Kızılısu	1965	Kızılısu	Burdur	Top. d.	7.80	6.20	2.00	T	800	-	-	53	17.000	30.260
20	Almus	1966	Yeşilır.	Ankara	Top. d.	93.50	78.50	950.00	SHT	27216	27	106.0	-	10.410	17.488
21	Kesikköprü	1966	Güllüç	Zonguld.	B. Ağır	22.00	14.50	6.00	E	-	76	175.0	-	1.490	2.500
22	Buldan	1966	Derbent	Manisa	T.K.Dl.	61.00	59.00	54.00	T+G	2190	-	-	-	144.500	218.195
23	Kurtboğazı	1967	K.Boğazı	Ankara	T.dol.	52.60	51.60	20.00	SHT	2000	-	-	6	26.960	192.676
24	Akköy	1967	Gündüçler	Niğde	T.dol.	30.60	25.00	8.50	S	10030	-	-	27	16.380	24.734
25	Onaç	1967	Onaç	Burdur	T.dol.	31.00	25.00	3.70	S	130	-	-	68	24.320	35.020
26	Altınayazı	1967	Asarcık	Kayseri	T.K.Dl.	42.50	41.50	1.80	SHT	2000	-	5500	-	42.850	61.700
27	Tatların	1967	Derinöz	Neveşehir	T.K.Dl.	42.00	40.00	31.90	S	2331	-	1490	-	9.080	13.075
28	Sarımsaklı	1968	S.Saklı	Kayseri	Top.d.	59.00	57.00	71.00	S	755	-	-	-	12.700	18.288
29	Çaygören	1970	Simav	Balıkesir	Top.d.	53.50	52.50	161.00	SHT	41770	-	-	-	6.820	9.820
30	Porsuk II	1971	K.Melen	Bolu	K.dol.	72.80	70.80	95.00	SHT	25230	-	-	-	6.820	9.820
31	Kartalkaya	1969	Aksu	Maraş	Top.Dl.	64.70	49.70	412.00	SHT+I	32990	-	8680	-	14.540	20.938
32	Kozan	1970	K.Suyu	Seyhan	Top.Dl.	60.40	59.40	195.00	S	30665	-	-	-	10.030	14.443
33	Devegeçiti	1970	Kilgen	Seyhan	T.K.dl.	82.50	78.50	190.00	S	8600	-	-	-	4.810	6.926
34	Kadıköy	1971	Furtakşa	D.Bakır	K.dol.	34.80	32.80	195.00	S	9750	-	-	-	32.190	24.066
35	Alakır	1971	Davant	Edirne	T.Dol.	36.50	34.10	65.68	SHT+I	10166	-	-	-	17.490	42.886
36	Gölköy	1971	Alakır	Antalya	T.Dol.	47.00	46.00	80.00	T	4428	-	-	2	60.565	73.889
37						24.50	21.50	21.00	S	12040	-	-	-	49.053	49.053
38									SHT	8150	-	-	-	106.000	106.000
39									SHT+I	8680	-	-	-	69.435	69.435
40									S	32990	-	-	-	150.209	150.209
41									S	30665	-	-	-	123.122	123.122
42									S	8600	-	-	-	57.670	57.670
43									S	9750	-	-	-	50.541	50.541
44									S	10166	-	-	-	61.660	61.660
45									SHT+I	4428	-	-	2	33.697	33.697
46									T	2000	-	-	-	56.482	56.482
									S	1360	-	-	-	35.760	35.760



ŞEKİL 3.1. BARAJLAR İÇİN DEPOLAMA HACMI-MALİYET İLİŞKİSİ ( $V < 200 \times 10^6 \text{ m}^3$ )



ŞEKİL 3.2. BARAJLAR İÇİN DEPOLAMA HACMI-MALİYET İLİŞKİSİ  
(V > 200x10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>)

$$C = 6.03 \times 10^{-4} \cdot V^2 + 53.2 \quad (3.2)$$

$$100 \leq V \leq 1600$$

Şekil 3.2'de gösterilen (3.2) eğrisel ilişkisinin sınırları yeniden incelenerek  $1600 \times 10^6 \text{ m}^3$  hacimli barajlara kadar kullanılabileceği saptanmıştır.

Barajlar için yıllık işletme ve bakım giderlerinin de derlenerek, fonksiyonel ilişkiler şeklinde ifadesine çalışılmıştır. Ancak DSİ teşkilatı yıllık bütçelerinde, baraj işletme ve bakım masraflarını ayrıca göstermemekte, sorumlu Bölgenin genel bütçesi içinde düşünmektedir. Bu nedenle çok az sayıda barajın yıllık işletme bütçesi temin edilebilmiştir. Mesire amacıyla halka açık barajlarda (Çubuk I, Seyhan v.b.) işletme giderleri nisbeten fazla olmaktadır. Bazı barajlarda mesire yeri temin etme amacıyla yapılan harcamalar başka kalemlerde gözükmektedir. Örneğin, ağaçlandırma, park yerleri bakımı masrafları, "erozyon önleme" kalemine dahil edilmektedir. Yukarda sayılan nedenlerle barajların yıllık işletme ve bakım giderleri fonksiyonel ilişkiler haline sokulamamıştır. Sistem analizi çalışmalarında yıllık işletme ve bakım giderlerinin, ilk yatırım giderinin belli bir yüzdesi olarak alınması uygun ve gerekli olacaktır. Bu yöntem, esasen, fizibilite çalışmalarında kullanılmaktadır.

### 3.4. HİDROELEKTRİK SANTRALLARIN MALİYET İLİŞKİLERİ

#### 3.4.1. İLK YATIRIM MALİYETİ

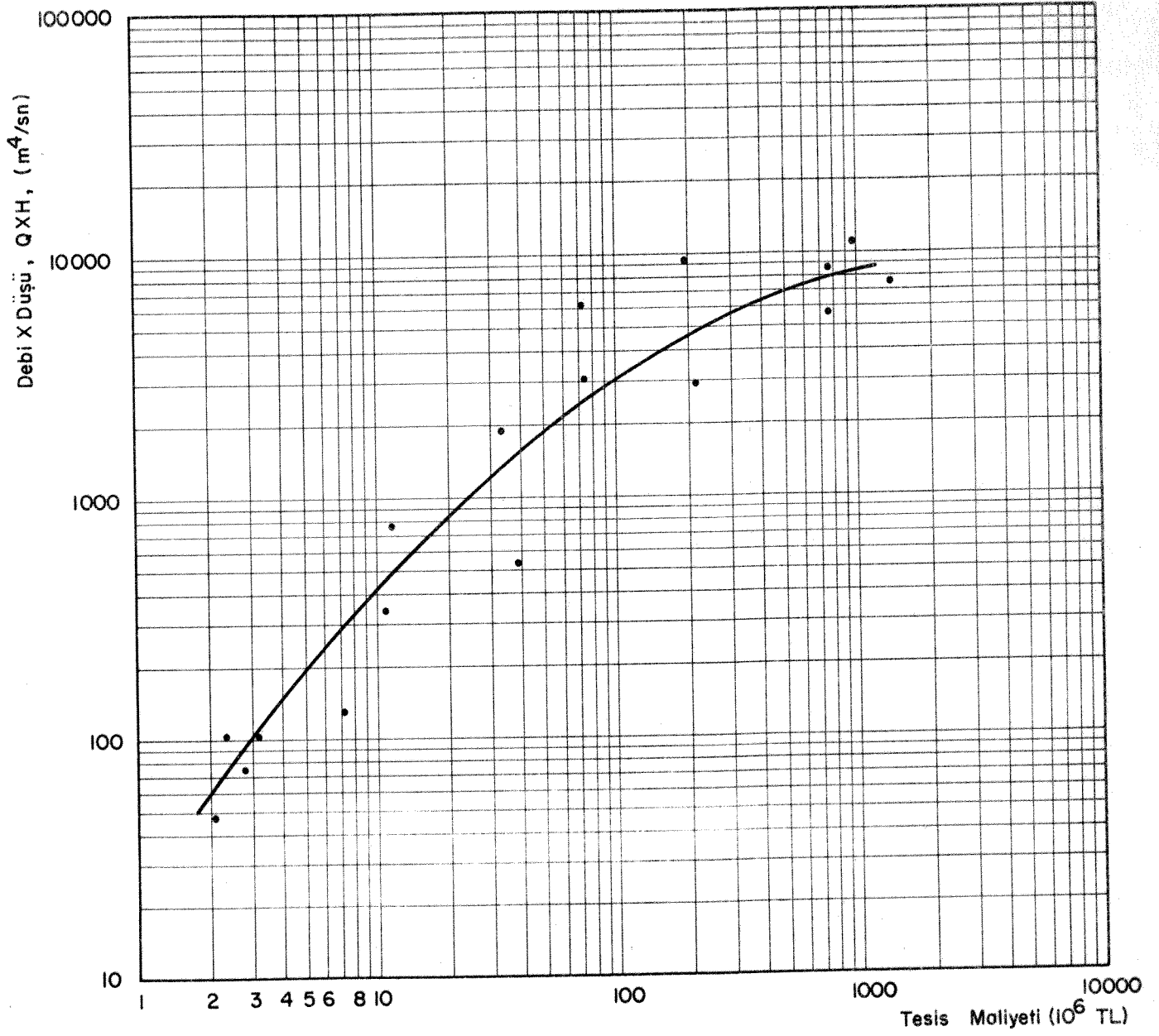
Ülkemizde DSI tarafından inşa edilerek halen işletilen 17 adet hidroelektrik santrala ait bilgiler ve ilk yatırım maliyetleri toplanarak Tablo 3.3'de sunulmuştur. Barajlarda inşa edilmiş hidroelektrik santralları için toplam tesis maliyeti, baraj inşaa bedelini de içermektedir. Bazı hallerde santral maliyeti tesbit edilebilmişse de bir çok hallerde santral maliyeti baraj maliyetine dahil edildiğinden ayrıca tesbit edilememiştir. Baraj maliyetleriyle ilgili analizler bir önceki bölümde sunulmuştu.

Hidroelektrik santrallarla ilgili olarak yürütülen çalışmada maliyeti en çok etkileyen faktörün düşü, toplam debi, devir hızı ve toplam güç değişkenlerinden oluştuğu görülmüştür. Debi (Q) ve düşü (H) değişkenlerinin güç denklemlerinde de yer alan ve karar değişkeni olabilecek değişkenler olduğu gözönüne alınarak toplam maliyet bu değişkenler cinsinden ifade edilmeye çalışılmış ve böyle bir ilişki Şekil 3.3'de sunulmuştur. Toplam üretilen güç Q ve H değişkenlerinin fonksiyonu olduğundan Şekil 3.4'de verilen maliyet - güç ilişkisi de Şekil 3.3'e benzemektedir. Şekil 3.3 ve 3.4'de verilen toplam tesis maliyetleri 1972'ye indirgenmiş değerler olup baraj maliyetlerini de içermektedir.

Hidroelektrik santrallar için belki de daha önemli olan ve ilerdeki araştırmalarda daha çok kullanabilecek maliyet değeri kw başına teçhizat maliyetini gösterir bir ilişkidir. Bu maliyet değeri baraj maliyetini içermemekte olup önerilen bir baraj için gerekli toplam teçhizat (elektrik teçhizatı ve makine) maliyeti bu ilişkiyle tesbit edilerek ilave edilebilir. Devlet Su İşleri, Barajlar ve Hidroelektrik Santrallar Dairesince geliştirilmiş bu tip bir ilişki Şekil 3.5'te sunulmuştur. Şekil 3.5'teki maliyetler 1972 değerine indirgenmemiş değerlerdir.

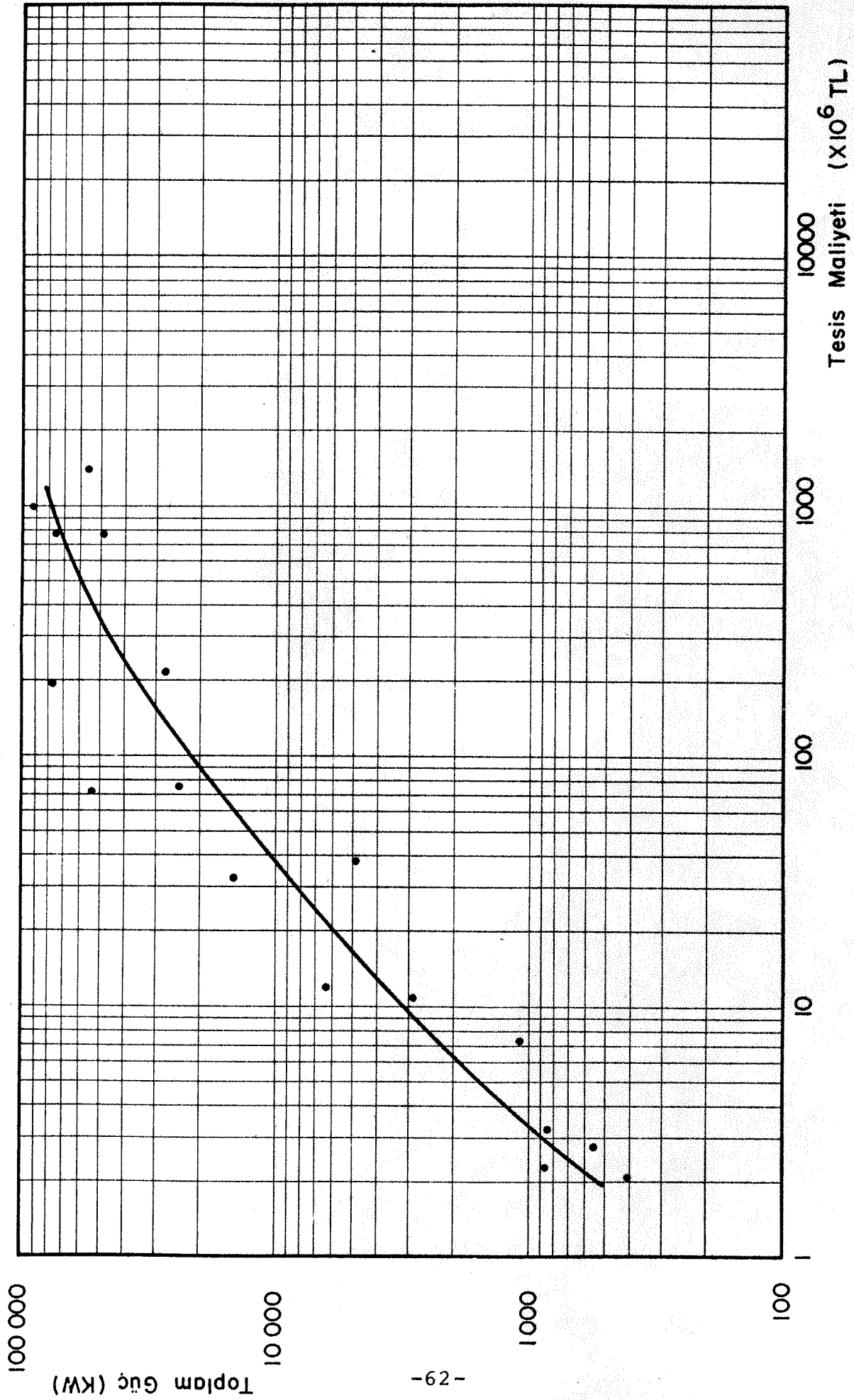
TABLO 3.3  
MEVCUT HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN ÖZELLİKLERİ VE MALİYETLERİ

SANTRAL İSMİ	Yılı	Ünitede Debisi (m <sup>3</sup> /sn)	Proje düşüğü (m)	Ünitede Sayısı	Toplam Turbin Gücü (10 <sup>3</sup> kw)	İnşaat Maliyeti (10 <sup>6</sup> TL)		Cebri Boru Maliyeti (10 <sup>6</sup> TL)	Toplam Tesis Maliyeti (10 <sup>6</sup> TL)	Toplam Tesis Maliyetinin 1972 değeri (10 <sup>6</sup> TL)
						Santral	Toplam			
Hirfanlı	1958	62	60.0	3	97.2	-	363.5	-	47.6	986.8
Demirköprü	1960	26.8	107.5	3	71.4	-	366.4	12.6	45.1	767.5
Kemer	1958	22.2	81.5	3	49.2	-	283.7	2.1	37.1	775.1
Kesikköprü	1966	115.0	39.6	2	78.0	8.0	69.4	2.7	55.6	192.8
Almus	1966	12.5	62.2	3	27.0	10.0	127.4	2.7	14.5	218.3
Kovada II	1971	8	384.0	2	53.0	-	110.7	9.2	17.1	152.1
Harşit	1971	5.4	185.0	3	24.6	-	148.5	9.4	12.9	189.6
Girlevik (ek)	1954	0.87	151.3	1	1.08	-	0.8	-	0.8	7.2
Iğdır-Kiti	1966	12.5	13.7	2	2.90	3.0	3.9	-	3.4	11.0
Kemek	1964	2.5	41.1	1	0.87	0.2	0.5	-	0.8	2.4
Yüreğir	1970	90	8.7	1	6.15	5.0	5.8	-	4.2	12.1
Van-Engil	1966	3.5	50.0	3	4.8	4.0	23.6	1.3	3.2	39.4
Van-Erciş	1968	1.73	29.2	2	0.84	1.0	1.6	-	0.7	3.3
Silifke	1966	12.5	3.9	1	0.41	0.5	0.5	-	0.8	2.1
Anamur	1967	1.5	25.0	2	0.57	0.3	1.3	-	0.6	2.8
Çağ-Çağ	1968	9.2	69.0	3	14.7	3.0	17.3	0.7	5.4	32.8
Seyhan	1956	77	32.0	3	55.8	-	403.6	4.0	22.4	1423.0

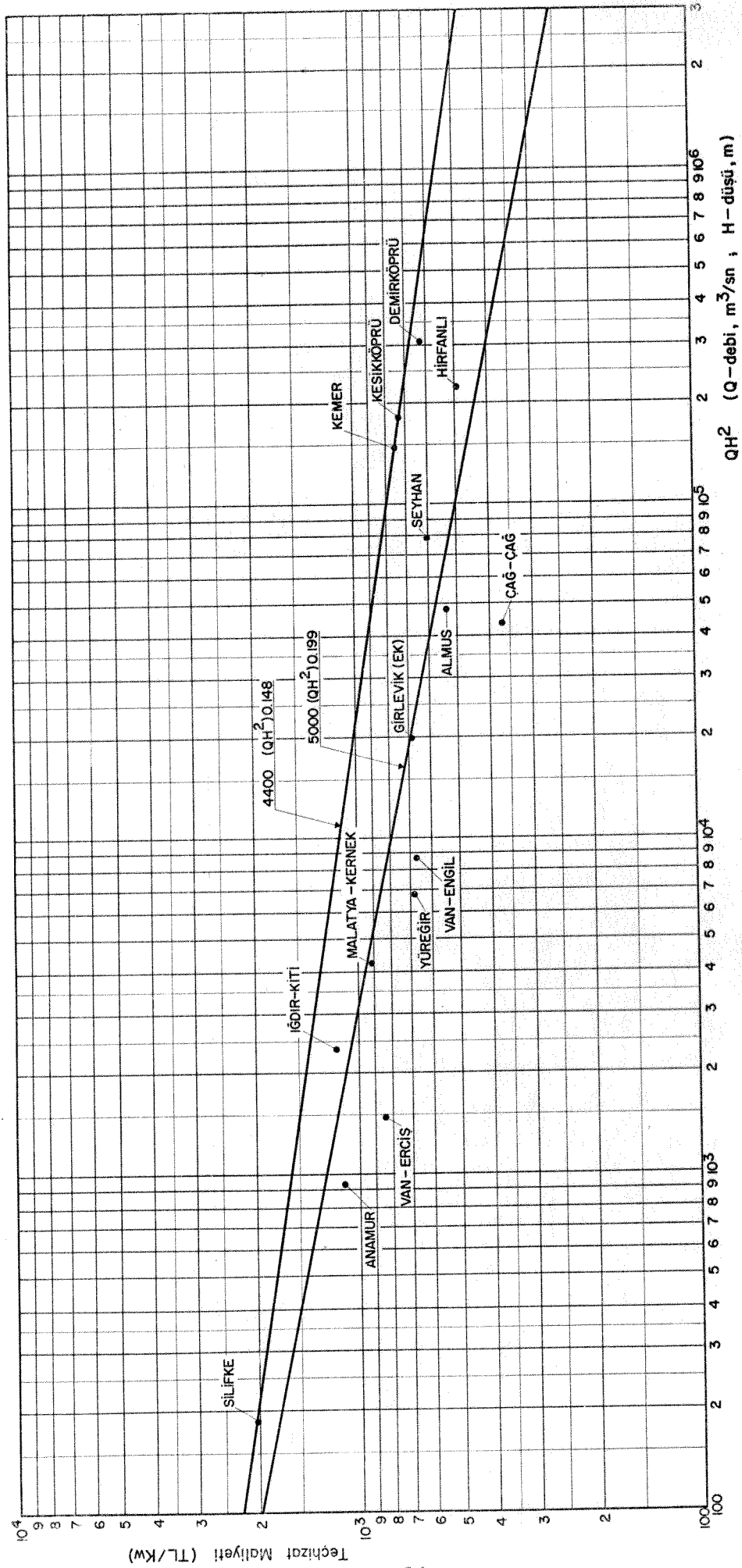


ŞEKİL 3.3. HİDROELEKTRİK SANTRALLARIN TOPLAM TESİS MALİYETİNİN 1972 DEĞERİ





ŞEKİL 3.4. HİDROELEKTRİK SANTRALLARIN TOPLAM TESİS MALİYETİ (1972)



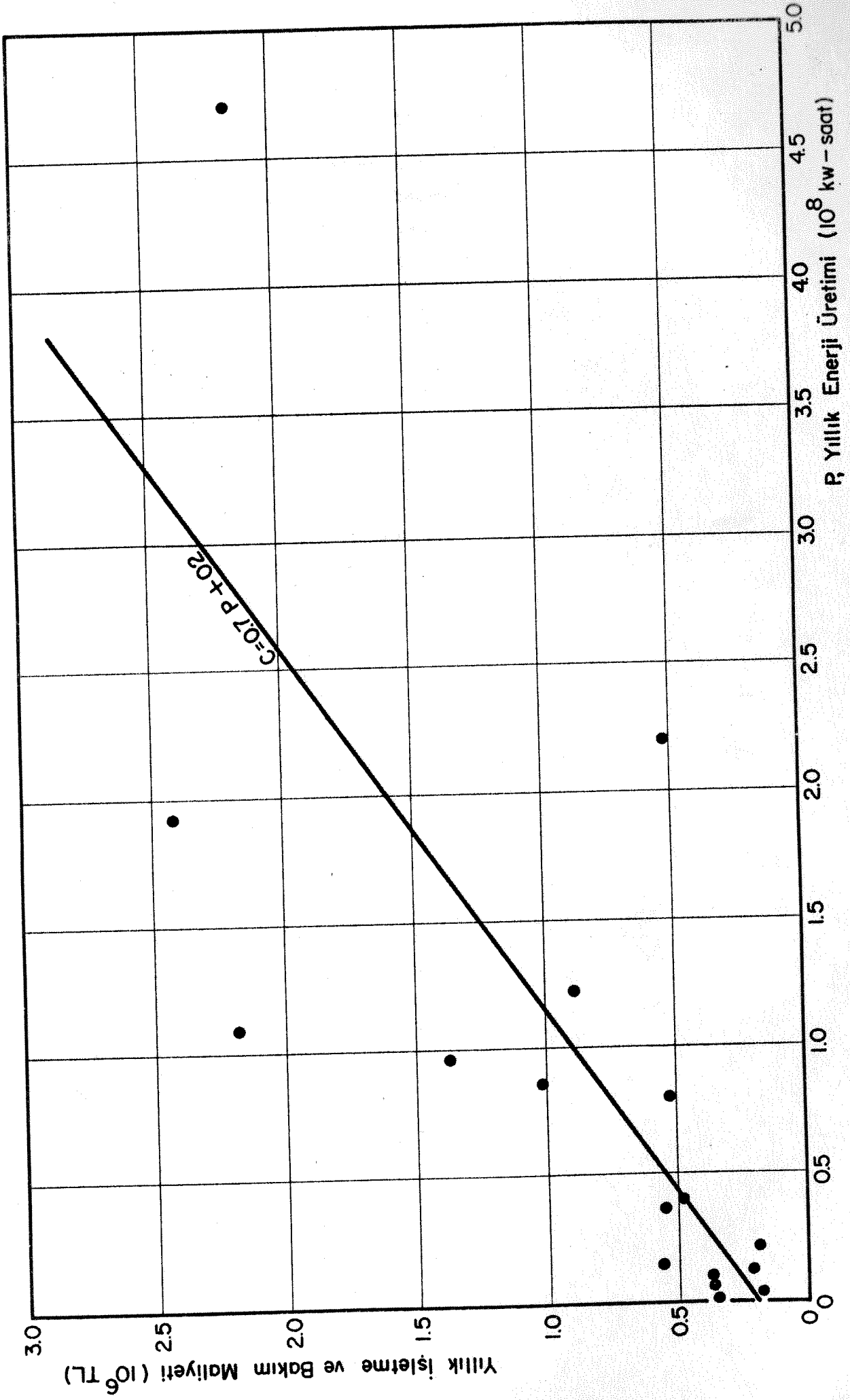
ŞEKİL 3.5. HİDROELEKTRİK SANTRALLARIN TOPLAM TEÇHİZAT MALİYETİ

### 3.4.2. YILLIK İŞLETME VE BAKIM GİDERLERİ

Türkiye'de halen işletilmekte olan 25 hidroelektrik santrale ait 1972 yılı işletme ve bakım giderleri Türkiye Elektrik Kurumu'ndan temin edilerek Tablo 3.4'de sunulmuştur. Hidroelektrik santralların yıllık işletme ve bakım giderleriyle yıllık enerji üretimi arasındaki ilişki Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

TABLO 3.4  
HİDROELEKTRİK SANTRALLARIN İŞLETME VE BAKIM GİDERLERİ

Tesis	Üretilen Yıllık Enerji (10 <sup>6</sup> kw-saat)	İşletme ve Bakım Masrafı (10 <sup>6</sup> TL)
Sarıyer	470.7	2.170
Hirfanlı	192.1	2.429
Kesikköprü	123.7	0.873
Kemer	97.2	1.375
Demirköprü	109.6	2.199
Almus	85.1	1.032
Durucasu	2.52	0.168
Girlevik	13.9	0.552
Çağ çağ	41.0	0.491
Kiti	5.12	0.363
Ercis	1.56	0.349
Enğil	10.3	0.379
Kernek	2.73	0.188
Silifke	1.86	0.209
Anamur	1.75	0.222
Kovada II	220.4	0.521
Doğan Kent	80.5	0.517
Kaya Köy	12.2	0.212
İkizdere	37.8	0.555
Kovada I	20.1	0.148
Denizli	5.38	0.223
Dinar	2.48	0.131
Visera	0.99	0.109
Tortum	21.6	0.189
Göksu	19.2	0.283



ŞEKİL 3.6. HİDROELEKTRİK SANTRALLARIN YILLIK İŞLETME VE BAKIM GİDERLERİ (1972)

### 3.5. SULAMA SİSTEMLERİNİN MALİYET İLİŞKİLERİ

#### 3.5.1. İLK YATIRIM MALİYETİ

Bir sulama sisteminin tesis maliyeti, malzeme işçilik, kazı, taşıma, proje bedeli, istimlak, idari giderlere ve diğer görünmeyen kalemlerden oluşur. Bu maliyet kalemleri sulamanın tipine, topoğrafyasına, sosyal şartlara, toprak cinsine ve iklime bağlı olarak değişir. Bu yüzden sulamalarla ilgili genel maliyet eğrileri çıkarılması son derece zordur. Bununla beraber sistem analizi çalışmalarında ilk yaklaşımlarda kullanılmak üzere maliyet eğrileri çıkarılmasına çalışılmıştır.

Tablo 3.5'de son yıllarda bitirilen 13 sulama sisteme ait ilk yatırım maliyetleri ve 1971 değerleri görülmektedir. Şekil 3.7'de sulama sistemlerinin ilk yatırım maliyetleriyle alanları arasındaki ilişki görülmektedir. Şekil 3.7'deki eğrisel ilişki regresyon analizi sonucu bulunmuş olup 1000 - 10 000 ha. arasındaki alanlarda geçerlidir.

$$C = -0.25 A^2 + 5980 A + 0.8 \times 10^6 \quad (3.3)$$

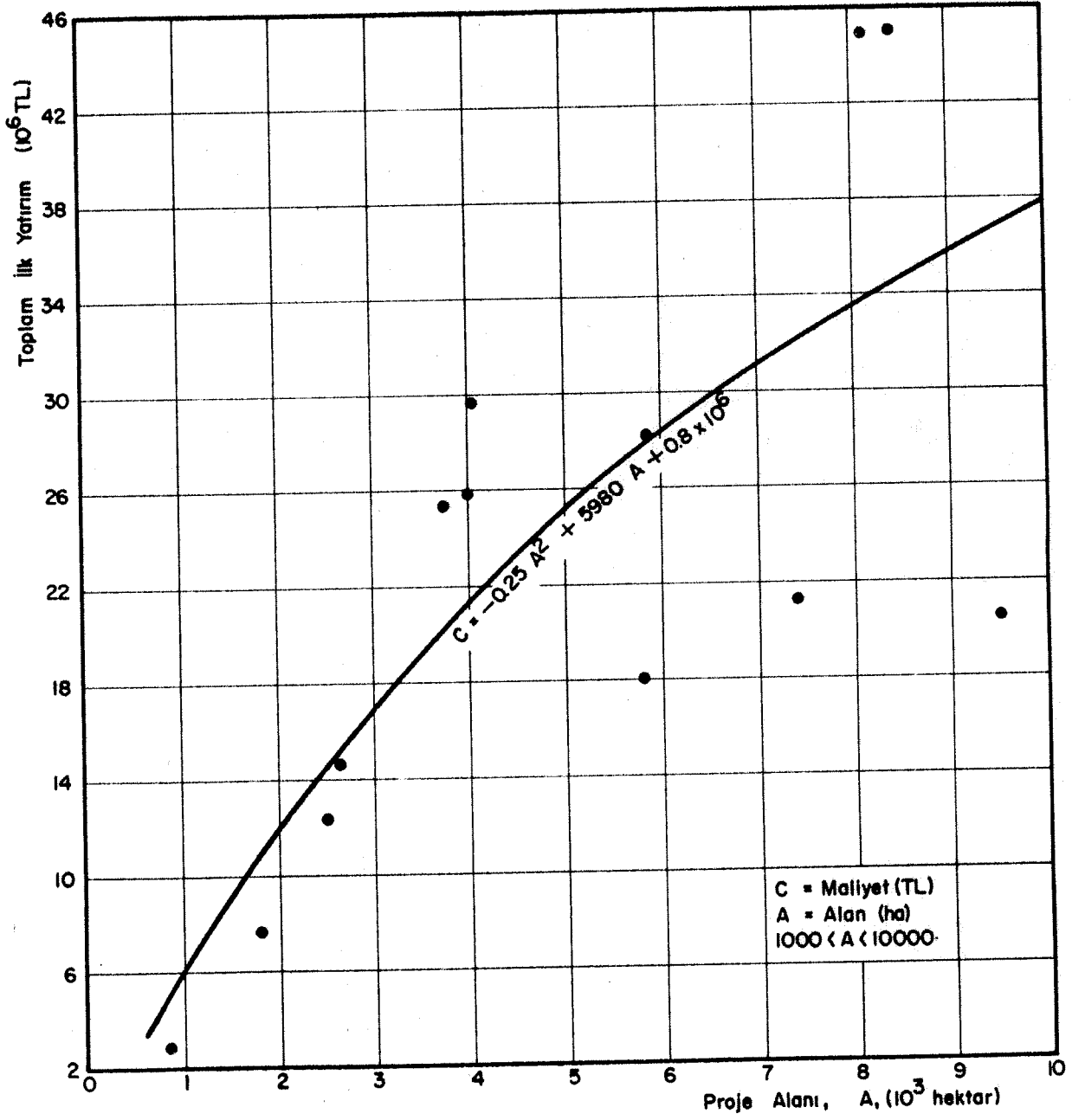
$$1000 < A < 10000$$

A, hektar cinsinden sulama alanı; C ise lira olarak 1971 sulama maliyetini göstermektedir.

Sulama sistemlerinin maliyetlerinin topoğrafyaya çok bağımlı olması nedeniyle (3.3) ilişkisi ancak çok kaba yaklaşımlar için kullanılabilir. Bir çok sistem analizi probleminde (3.3) denklemi yeterli olmayıp, sistem maliyetinin eldeki probleme göre tesbiti gerekir. Ancak projesi henüz mevcut olmayan gelişme ve fizibilite problemlerinde detaylı maliyet tahminleri yapmakta olanaksızdır. Bu gibi durumlarda maliyet tahminlerinin bazı genellemeler yapılarak elde edilmesi zorunludur. Sulama sistemlerinin genel vaziyet planlarını ve sistem kapasitelerini etkileyen iki önemli faktör arazi eğimi (S) ve debidir (Q). Bu iki parametrenin değişen değerleri için istimlak fiyatları sabit alınarak kanal ve kanalet tipi sulamaların birim alan başına fiyatı hesaplanarak fonksiyonel ilişkiler geliştirilebilir [115] DSI,

TABLO 3.5  
SULAMA SİSTEMLERİNİN İLK YATIRIM MALİYETLERİ

Sulama	Bitirildiği Yıl	Sulama Alanı (ha.)	Toplam Maliyet (106TL)	Toplam Yatırımın 1971 değeri (106 TL)
Niksar	1968	5800	13.2	18.2
Tokat	1968	1815	5.5	7.6
İpsala	1968	4050	21.5	29.6
Malatya	1968	9500	15.1	20.4
Erzurum	1968	2500	8.9	12.3
Tahtaköprü	1971	3747	25.3	25.3
Malatya-Erkenek	1964	845	1.65	2.86
Kesikköprü-Bala	1970	2675	12.0	14.5
Bingöl	1970	4000	21.3	25.8
Muş	1972	5851	33.1	28.2
Adıyaman	1969	8135	35.0	45.0
Malatya	1970	7400	17.5	21.2
Balıkesir	1970	8450	37.0	45.0



ŞEKİL 3.7. SULAMA SİSTEMLERİNİN İLK YATIRIM MALİYETLERİ (1972)



1971 birim fiyatları kullanılarak böyle bir çalışma yapılmış, sonuçlar Şekil 3.8 ve 3.9'da sunulmuştur. Hipotetik bir alanda değişik S ve Q değerleri için DSİ proje kriterlerine göre kanal ve kanalletli sistemler oluşturulmuş, bu sistemlerin (drenaj sistemi dahil) hektar başına maliyeti hesaplanmıştır. Fiyatlar istimlak bedellerini, yedek ve ana kanal maliyetlerini içermemektedir. Hesapların detayı diğer bir kaynakta mevcuttur.[115] Şekil 3.8 ve 3.9'daki bilgiler, projesi mevcut olmayan bir sulama sisteminin maliyetinin hesaplanmasında yararlı olacaktır.

### 3.5.2. YILLIK İŞLETME VE BAKIM GİDERLERİ

Sulama sistemlerinin işletme ve bakım giderleri sulama alanı, metodu, kanal uzunluğu, kanal cinsi ve iklime göre değişmektedir. İşletme giderleri personel, enerji, akaryakıt, vasıta ve diğer masraflardan, bakım masrafları ise yıllık ve periyodik bakım ve onarım masraflarından oluşmaktadır. Sulama şebekelerinin işletme ve bakım giderlerini fonksiyonel şekilde ifade edebilmek DSİ Genel Müdürlüğü'nden işletilen 106 sulama sistemine ait 1972 yılı yıllık giderleri elde edilmiştir.

1972 yılında işletilen 80 cazibeli sulama sistemi için yapılan faktör analizi sonucu toplam yıllık işletme giderleriyle, fiilen sulanan alan (dekar) arasındaki ilişki önemli bulunarak, regresyon analizi sonucu aşağıdaki iki ilişki bulunmuştur.

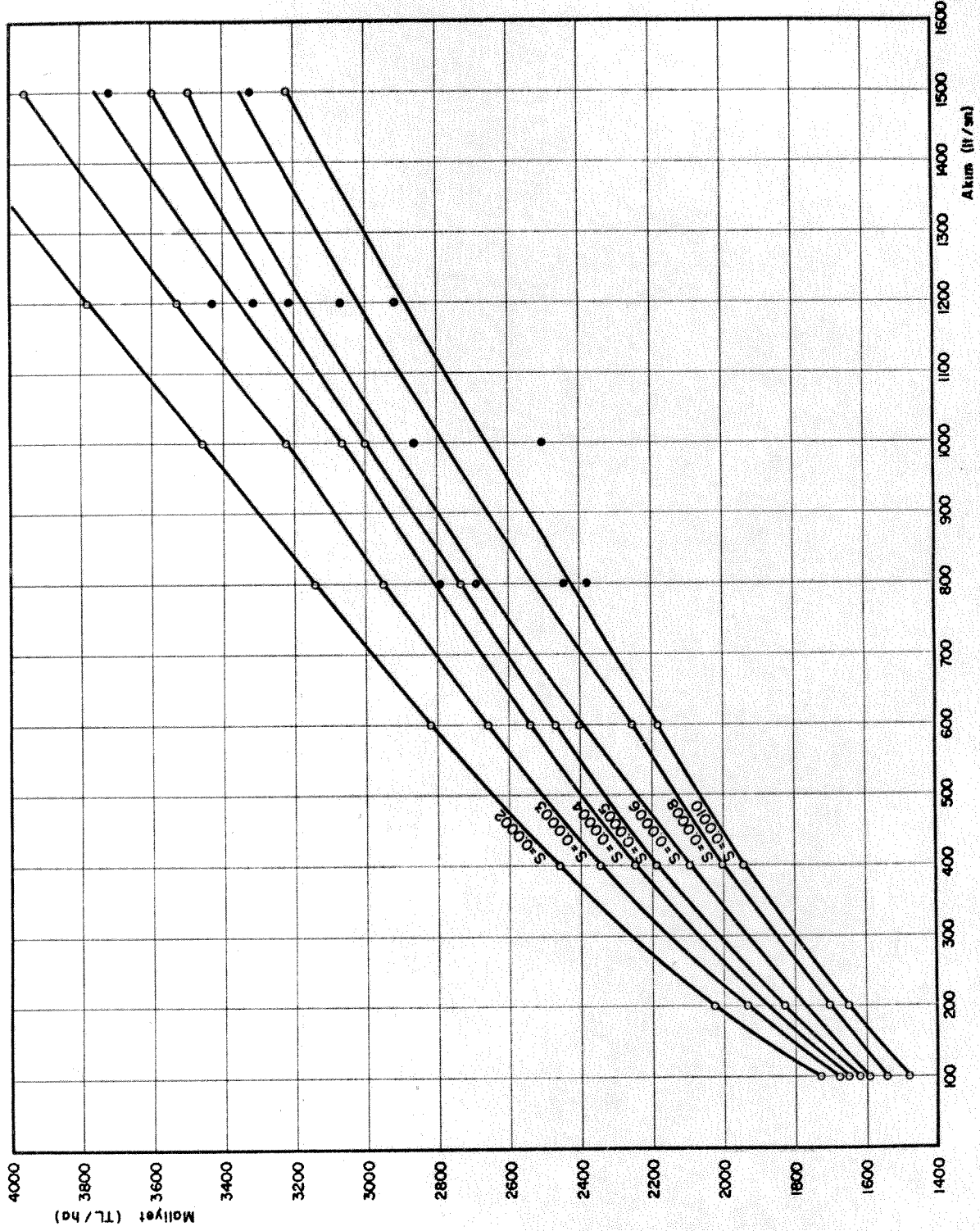
$$C = 29.1 A - 49900 \quad (3.4)$$

$$C = 3.5065 \cdot 10^{-5} A^2 + 13.8058A + 2.8101 \times 10^5 \quad (3.5)$$

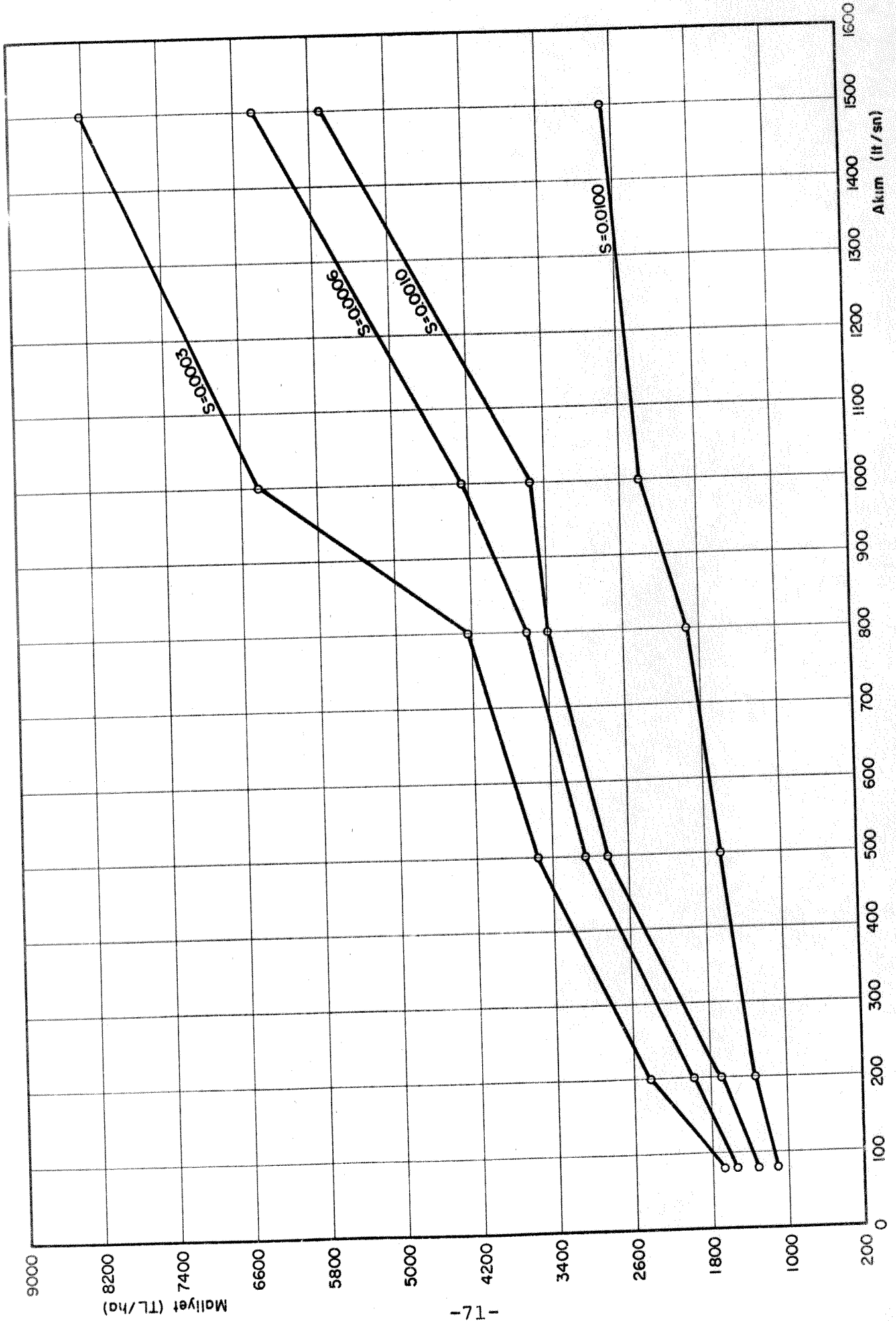
(3.4) ilişkisinin korelasyon katsayısı 0.94, (3.5) ilişkisinin korelasyon katsayısı ise 0.97 bulunmuştur. C, yıllık işletme ve bakım masrafı (TL), A ise fiilen sulanan alandır (dekar). Her iki ilişkide aşağıdaki sulama alanları için geçerlidir.

$$500 \text{ ha.} < A < 20.000 \text{ ha} \quad (3.6)$$

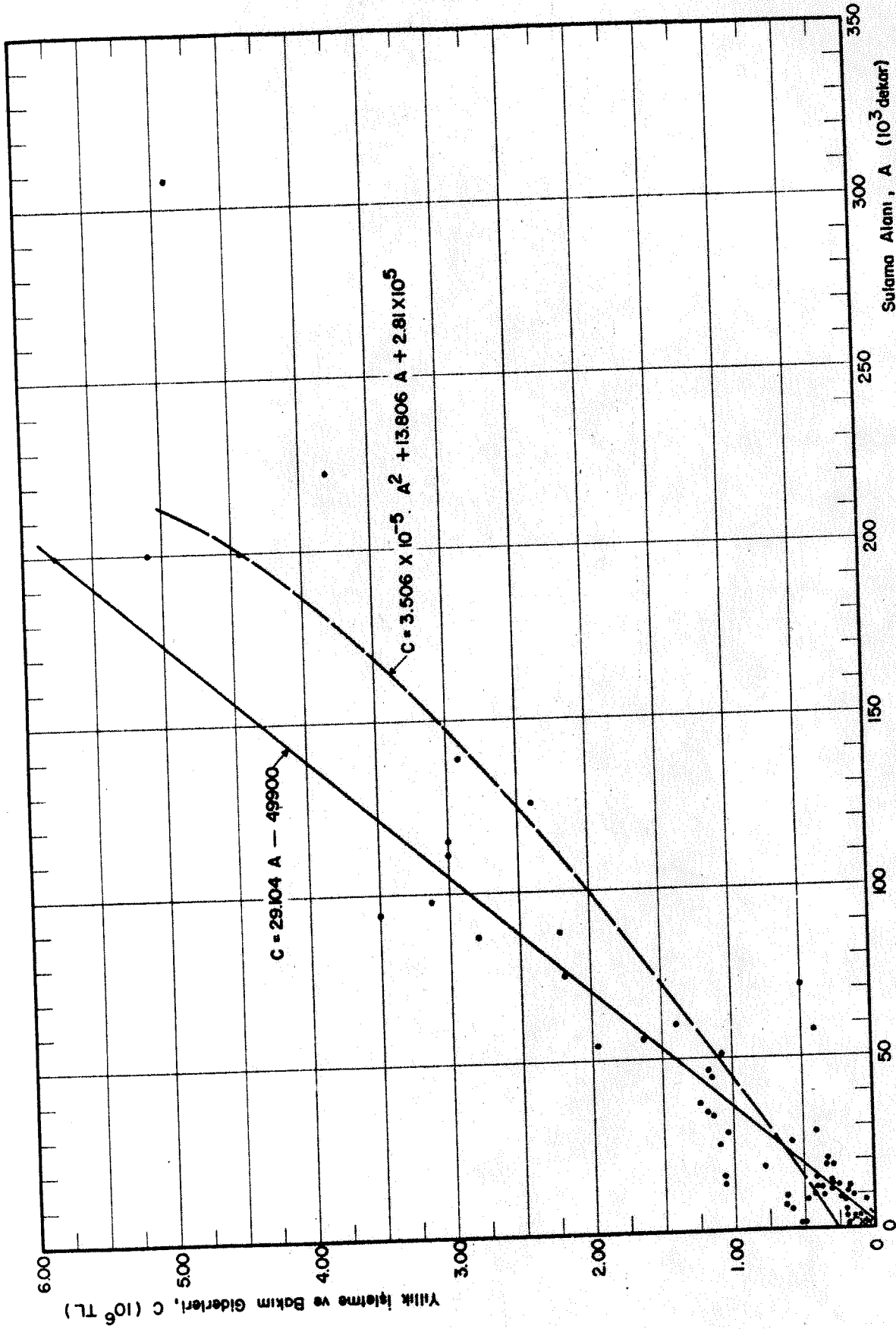
Kullanılan doneler ve elde edilen ilişkiler Şekil 3.10'da görülmektedir.



ŞEKİL 3.8. KAPLAMALI TERSİYER KANALLARDA EĞİM-DEBİ-MALİYET İLİŞKİSİ (1971)



ŞEKİL 3.9. KANALETLERDE EĞİM-DEBİ-MALİYET İLİŞKİSİ (1971)



ŞEKİL 3.10. SULAMA SİSTEMLERİNİN YILLIK İŞLETME VE BAKIM GİDERLERİ-ALAN İLİŞKİSİ (1972)

### 3.6. İÇME SUYU SİSTEMLERİNİN MALİYET İLİŞKİLERİ

Bir içme suyu sistemi, isâle ve terfi hattı, tasfiye ve klorlama tesisi, besleme boruları, servis depoları, ana ve tali dağıtım boruları, buster pompaları, vanalar, yangın muslukları, basınç kırıcı tesisler ve servis bağlantılarının oluşur. Ancak bir şebekede bulunacak elemanlar, sistemin özelliklerine bağlı bulunduğundan genel bir içme suyu sistemi tarifi vermek mümkün değildir. Bununla beraber sistemin elemanları ve dağıtım şebekesi için fonksiyonel maliyet eğrileri geliştirilmiştir.

#### 3.6.1. SERVİS DEPOLARI

İçmesuyu servis depoları yapım tekniğine göre kârgir, beton, betonarme olarak sınıflandırılır. Servis depoları zemininden yüksekliğine göre de gömme ve ayaklı depolar olarak sınıflandırılır.

Ayaklı depolar, topoğrafyanın müsait olmadığı yerlerde kullanılan tesisler olup 1975 birim fiyatları ve İller Bankası tip projelerine göre hazırlanmış hacim-maliyet ilişkileri Şekil 3.11'de verilmiştir. Ayaklı depoların maliyetleri aşağıdaki ilişkiyle ifade edilebilir.

$$C = 1.625 \times 10^{-3}V + 0.475 \quad (3.7)$$

$$100 < V < 1600$$

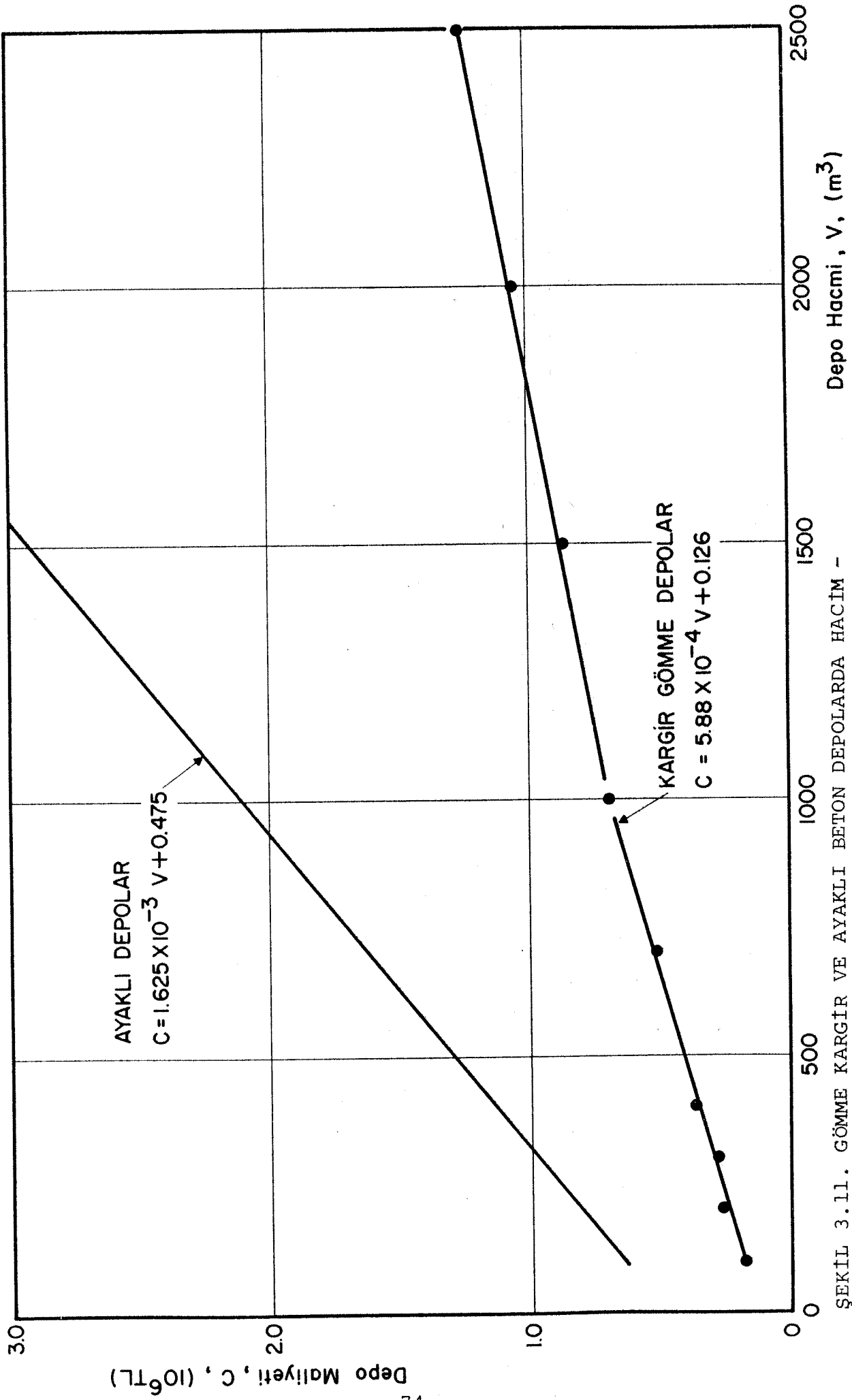
Şekil 3.11'de yine İller Bankası tip projelerine göre 1975 yılı birim fiyatlarıyla hesaplanmış kargir gömme depo fiyatları görülmektedir. Kargir depolar için:

$$C = 5.88 \times 10^{-4}V + 0.126 \quad (3.8)$$

$$100 < V < 1000$$

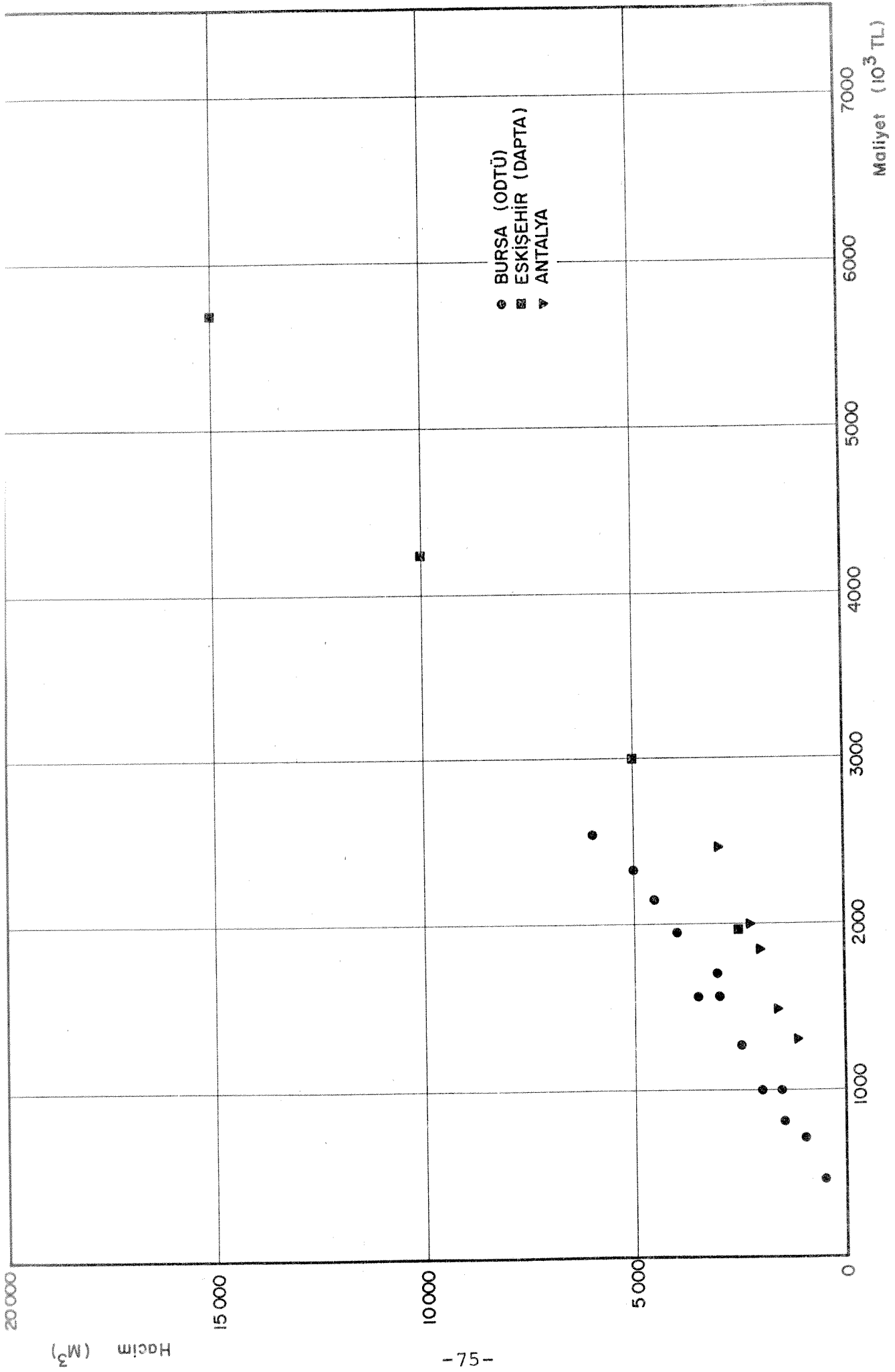
C, milyon TL. maliyet, V ise m<sup>3</sup> hacimdir.

Daha büyük hacimli betonarme depoların maliyetleri ise Şekil 3.12'de ve 3.13'de görülmektedir. [101, 114] Depo fiyatları 1975 birim fiyatlarına göredir.



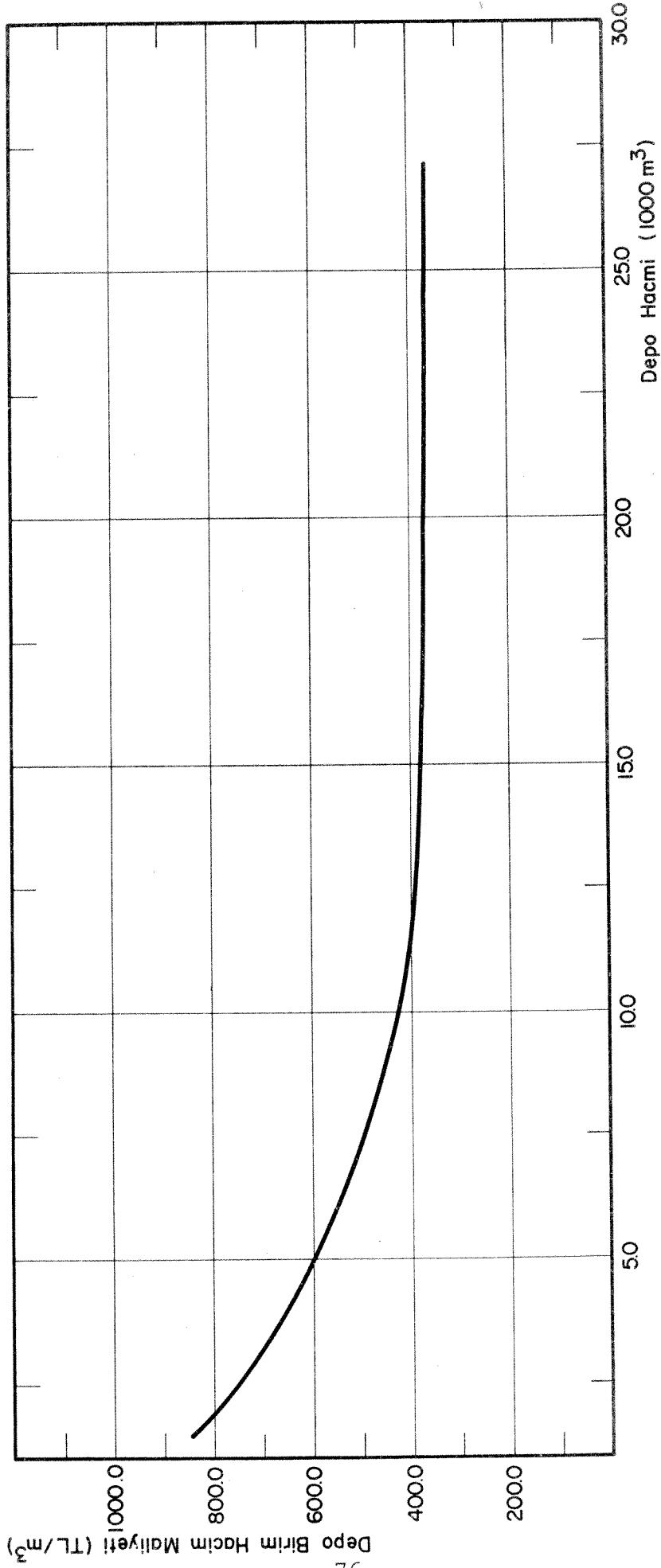
ŞEKİL 3.11. GÖMME KARGIR VE AYAKLI BETON DEPOLARDA HACİM -

MALİYET İLİŞKİSİ (1975 BİRİM FİYATLARI)



ŞEKİL 3.12. SU DEPOLARININ HACİM - MALİYET EĞRİSİ (1975)





ŞEKİL 3.13. BETONARME GÖMME DEPO BİRİM HACİM MALİYETLERİ (1975)

### 3.6.2. TASFIYE TESİSLERİ

Büyük şehirlerin içme suyu sistemlerinde, tasfiye tesisleri en önemli bir maliyet unsuru olabilmektedir. Tasfiye tesislerinin maliyet ve işletme masraflarını 1975 birim fiyatlarına göre gösterir bir abak Şekil 3.14'de görülmektedir.[101]

### 3.6.3. BORULAR

Bir içmesuyu şebekesinin esas unsuru borulardır. Borular genellikle malzeme cinsine göre PVC, font, asbestli çimento boru, çelik, düktil font ve betonarme olarak sınıflandırılırlar. Boruların fiyatları hesaplanırken fabrika boru bedelleri, özel parçalar, nakliye, yükleme, boşaltma, depolama, istif bedeli, hendek kazısı, boruların döşenmesi, baş bağlanması, tesbit kitlesi betonu, basınç deneyi, hendek dolgusu, kaldırım sökülmesi ve tamiri bedelleri hesaplanır [101]. Çaplara göre en ekonomik boru tipleri, boru bedellerindeki devamlı oynamalar yüzünden sık sık değişmektedir. Şekil 3.15'de 1974 yılı birim fiyatları itibariyle Ankara, İstanbul ve İzmir'de kullanılacak boruların yerine döşenmiş maliyetlerinin analizi görülmektedir [116]. Bununla beraber, sistem analizi çalışmalarında kullanılmak üzere yerine döşenmiş boru maliyetlerini boru çapları cinsinden ifade etmek mümkündür. Tablo 3.6'da İzmir İçmesuyu Kati Projesi [117] çalışmalarından alınmış 1974 yılı itibariyle çaplara göre en ekonomik yerine döşenmiş boru maliyetleri görülmektedir. Bu maliyetler regresyon analizine tabi tutulduğunda aşağıdaki ilişki elde edilmiştir.

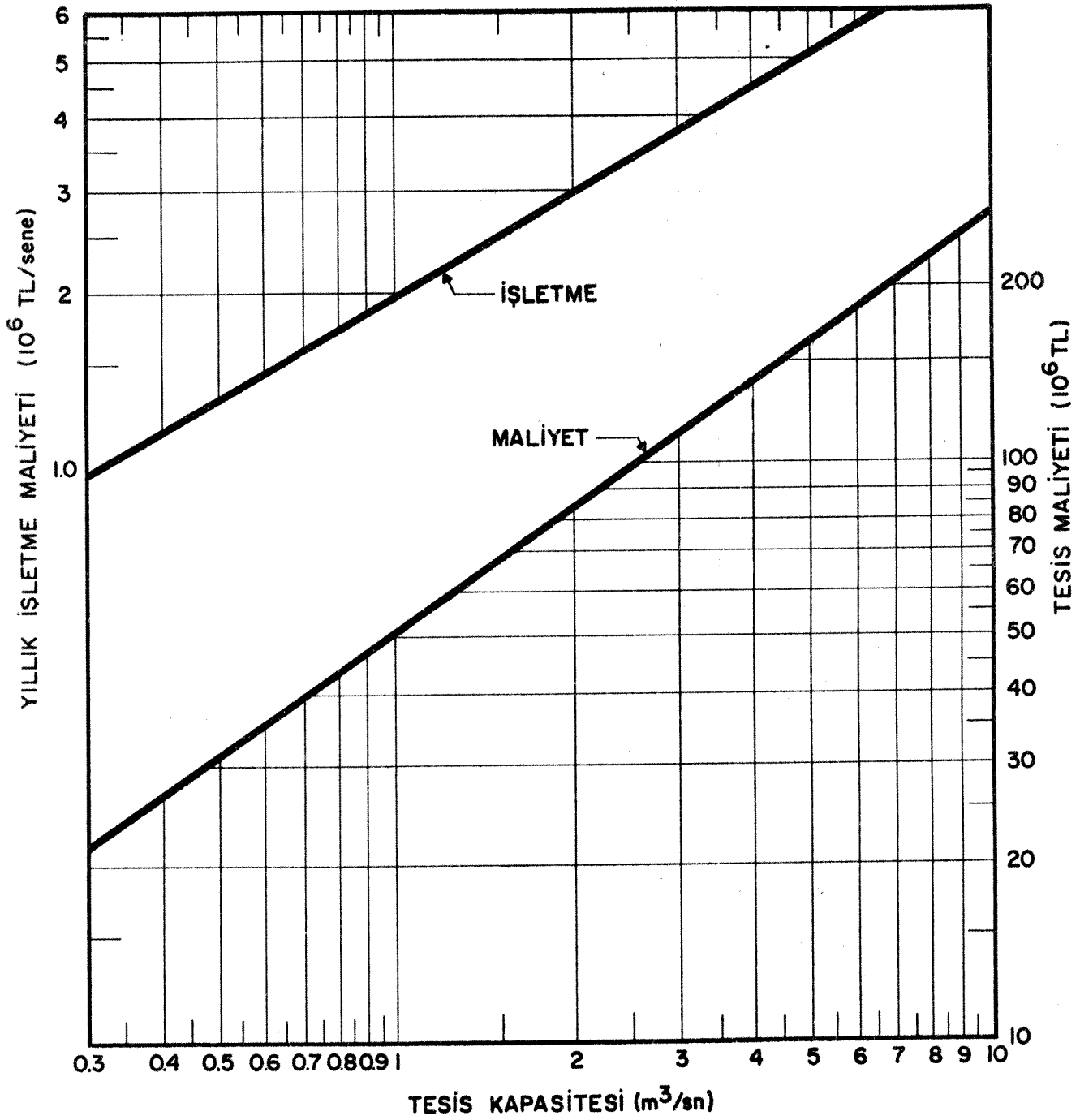
$$C = -93.4 + 1020 D + 1883 D^2 - 392 D^3 \quad (3.9)$$

$$0.1 \leq D < 2.0$$

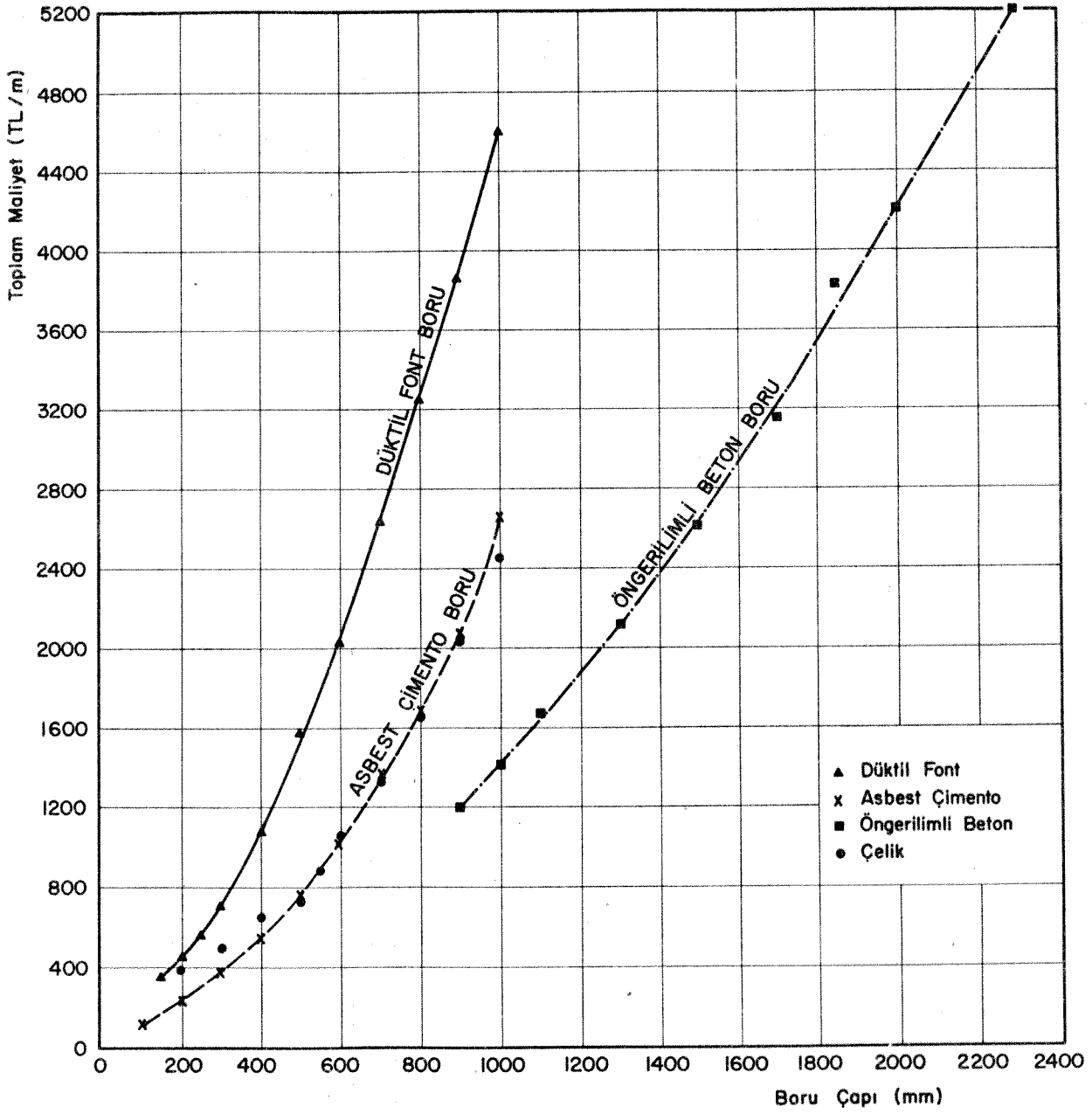
(3.9) ilişkisinde boru çapı, D, metre, yerine döşenmiş boru maliyeti C değeri TL.'dir. (3.9) denkleminin eğrisi Şekil 3.16'da görülmektedir.

### 3.6.4. TOPLAM ŞEBEKE MALİYETİ İLİŞKİLERİ

Su dağıtım şebekelerinin toptan maliyetlerini veren ilişkiler sistem analizi çalışmalarında yararlı olabilir.



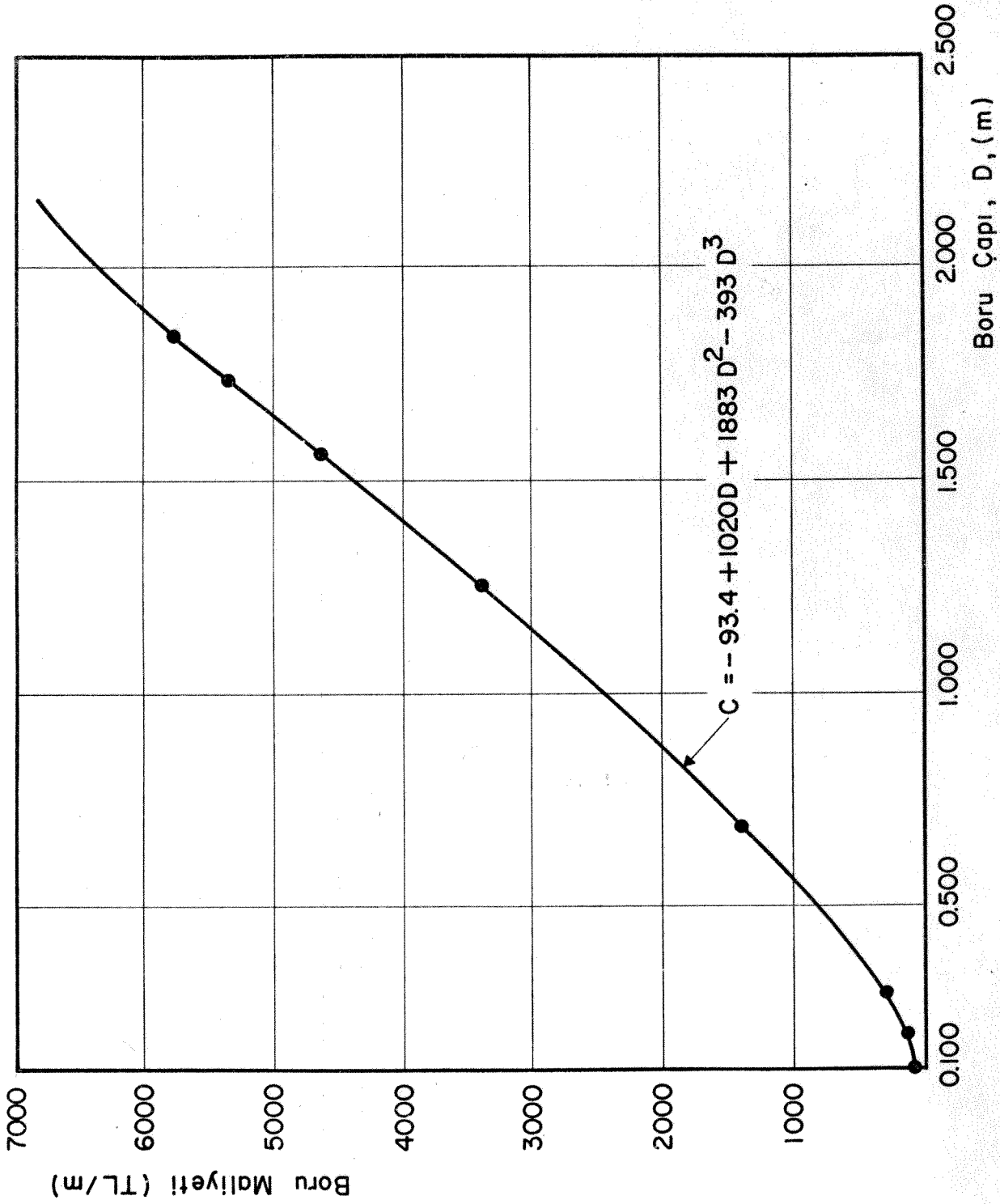
ŞEKİL 3.14. SU TASFIYE TESİSLERİ İÇİN MALİYET EĞRİLERİ (1975)



ŞEKİL 3.15. ÇAPLARA GÖRE YERİNE DÖŞENMİŞ BORU MALİYETLERİ  
(1974 FİYATLARI)

TABLO 3.6  
BİRİM BORU MALİYETİ (1974)

Çap (mm)	MALİYET (TL/m)	MALZEME
Ø 200	199.50	Asbestli Çimento
Ø 250	250.50	" "
Ø 300	321.10	" "
Ø 350	403.00	" "
Ø 400	484.00	" "
Ø 450	739.80	Çelik
Ø 500	804.60	"
Ø 550	981.20	"
Ø 600	1082.90	"
Ø 700	1403.00	"
Ø 800	1904.90	"
Ø 900	2153.04	"
Ø1000	2683.08	"
Ø1100	2500.00	Betonarme
Ø1200	3000.00	"
Ø1300	3500.00	"
Ø1400	4000.00	"
Ø1500	4500.00	"
Ø1700	5000.00	"
Ø1800	5500.00	"
Ø1900	6000.00	"
Ø2000	6500.00	"
Ø2200	7000.00	"
Ø2400	8000.00	"
Ø2500	8500.00	"
Ø2600	9000.00	"



ŞEKİL 3.16. YERİNE DÖŞENMİŞ EN EKONOMİK BORULARIN MALİYET-ÇAP İLİŞKİSİ (1974)

Ancak su dağıtım şebekelerinin maliyeti şehirlerin topoğrafyası ve yerleşme durumuyla yakından ilişkilidir [120]. Bu nedenle şebeke maliyetini etkileyen değişkenler çok ve çeşitlidir. Şebeke alanı, hizmet edilen nüfus, toplam su ihtiyacı, toplam boru boyu gibi faktörler şebeke maliyetini etkileyecektir. Şebeke toplam maliyetine etki eden faktörler İstanbul Su Temini Projesi, Fizibilite Raporu[121] kapsamında incelenmiş ve bazı fonksiyonel ilişkiler geliştirilmişti. Ancak bu ilişkilerin dayandığı analizler ve done belirtilmemişti.

Toplam şebeke maliyeti ilişkilerini geliştirmek amacıyla [119] iller Bankası'nca son yıllarda projelendirilmiş 13 şehrin 38 bağımsız basınç bölgesine ait şu bilgiler toplanmıştır: Değişik çaplardaki boruların uzunlukları, şebeke alan, nüfus ve maksimum günlük debisi. Ancak bu şebekeler muhtelif yıllarda inşa oldukları için şebeke maliyetleri için gerçek inşaat bedelleri yerine, 1974 birim fiyatlarıyla (Tablo 3.6) ve sadece borular için yeni maliyet değerleri geliştirilmiştir. Elde edilen şebeke maliyet değerleri borular dışındaki vana, yangın musluğu gibi şebeke teçhizatını ve depo maliyetlerini içermemektedir. Elde edilen, şebeke toplam boru maliyet değerleri ile etken faktörler arasında faktör analizi ve regresyon çalışması yapılmıştır [119].

Şebeke toplam boru maliyetini etkileyen en önemli faktör şebeke alanıdır. Şekil 3.17'de görülen boru maliyeti alan ilişkisi aşağıdaki denklemle de yaklaşıklanabilir.

$$C = 8200 A - 8270 \quad (3.10)$$

$$10 < A < 500$$

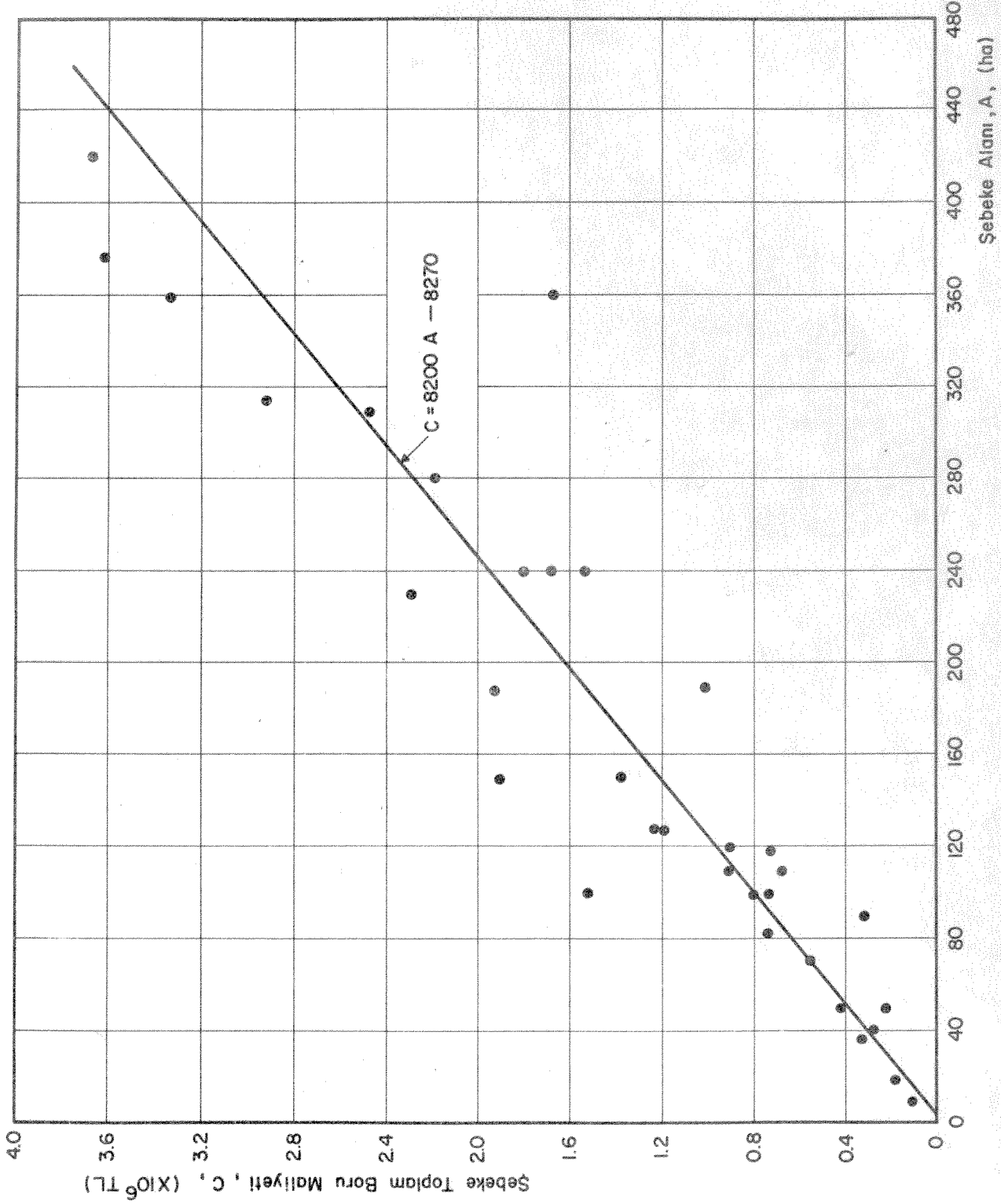
C, toplam şebeke boru maliyeti (TL), A ise hektar cinsinden şebeke alanıdır. (3.10) ilişkisinin korelasyon katsayısı 0.92'dir.

Şebeke toplam boru maliyeti ile hizmet edilen nüfus arasında da oldukça belirgin bir ilişki vardır. Şekil 3.18'de gösterilen ilişkinin denklemi

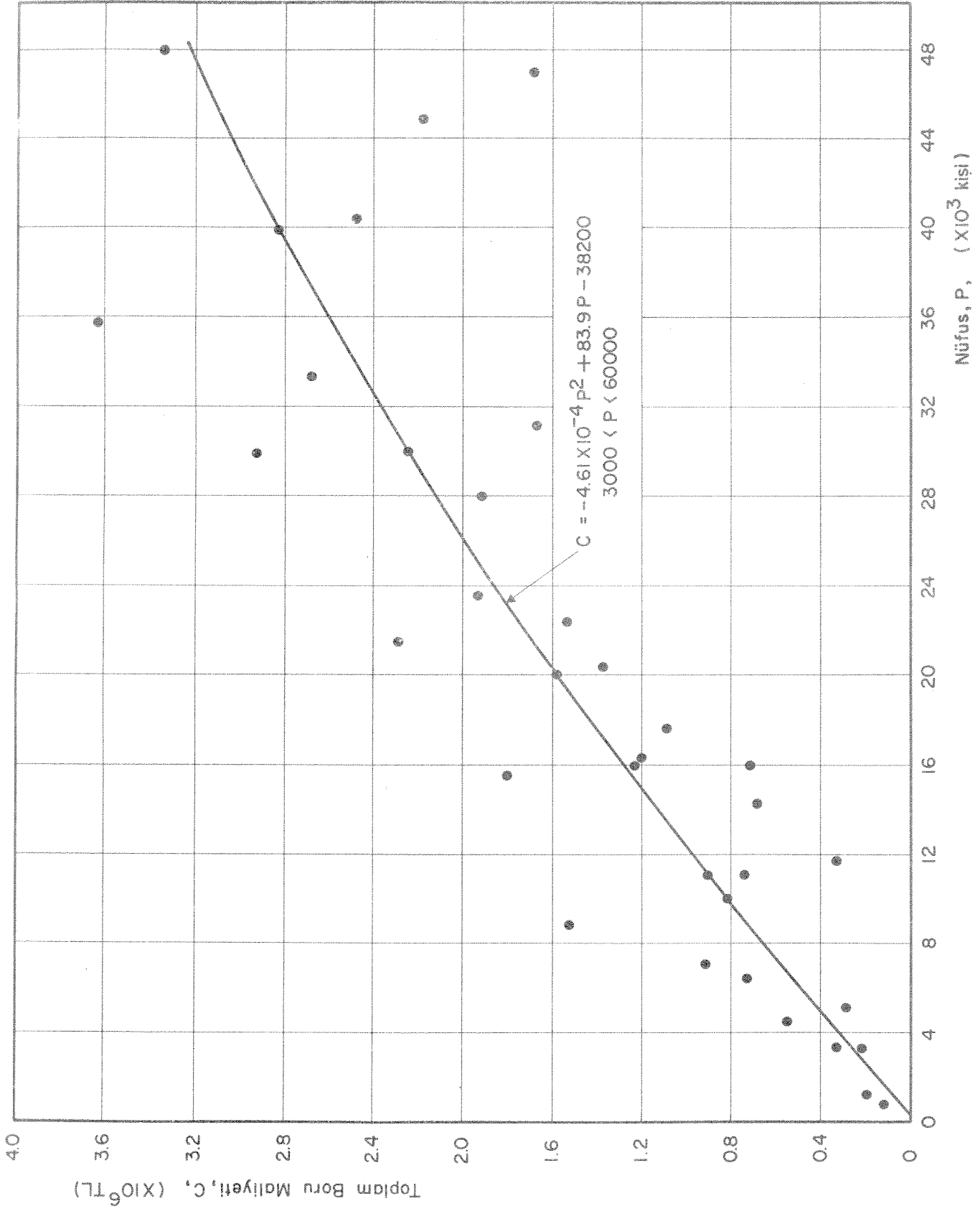
$$C = -4.61 \times 10^{-4} P^2 + 83.9P - 38200 \quad (3.11)$$

$$3000 < P < 60000$$





ŞEKİL 3.17. ŞEBEKE TOPLAM BORU MALİYETİ - ALAN İLİŞKİSİ



ŞEKİL 3.18. ŞEBEKE TOPLAM BORU MALİYETİ - NÜFUS İLİŞKİSİ

olmaktadır. (3.11) denkleminin korelasyon katsayısı 0.88'dir.

(3.10) ve (3.11) denklemleri şüphesizki birbirinden bağımsız değildir. Zira, P, hizmet edilen nüfus değişkeniyle, A, hizmet alanı değişkenleri bağımlıdır. Benzer şekilde, (3.11) ilişkisi, kişi başına bir su tüketimi varsayımıyla boru maliyeti su tüketimi ilişkisine çevrilebilir. Önemle üzerinde durulması gereken husus (3.10) ve (3.11) denklemlerinin nüfusu 3000 - 100.000 arasında olan şehirler için İller Bankası'nca projelendirilen sistemlere ait verilerden 1974 birim fiyatlarıyla elde edildiğidir. C değerleri şebekede toplam yerine döşenmiş boru maliyeti olup diğer şebeke elemanlarını içermemektedir. Sistem analizi çalışmalarında bu ilişkilerin, toplam şebeke maliyetini elde edecek şekilde belirli faktörlerle düzeltilmesi gerekir. İlişkiler kullanılırken uygulayıcı teşkilatlar arası projelendirme kriterlerinin farklılığı da unutulmamalıdır. Örneğin 60000 nüfuslu bir basınç bölgesinde minimum boru çapı, İller Bankasınca Ø80 mm, DSI'ce Ø 150 mm. olarak kabul edilmektedir. Ancak bütün bu ayrıcalıklar dikkatle değerlendirildiğinde sunulan ilişkiler diğer şartlarda kullanılabilir. Nitekim, Bursa Su Projesi, Fizibilite Çalışması, tali dağıtım şebekesi maliyeti tahmininde [101] bahsedildiği gibi bir etüd ve düzeltme sonucu bu ilişkiler kullanılabilmiştir.

#### 4. BARAJ İŞLETMESİNİN POLİTİKA YİNELEME METODU VE DİNAMİK PROGRAMLAMAYLA EN İYİLENMESİ

##### 4.1. GİRİŞ

Önemli bir su kaynakları problemi olan çok amaçlı barajların en iyi işletilmesi sorunu arka arkaya gelen kararları içermesi nedeniyle dinamik programlama uygulamasına son derece uygundur. Literatür araştırması bölümünde incelendiği üzere baraj işletmelerinde dinamik programlamayla en iyileme üzerine çok sayıda çalışma vardır [102]. Ancak barajlara giren akımların zaman içinde değişir ve olasılıklı değerler olması en iyi işletme politikasının tayininde akımlar arasındaki dizisel ilişkinin de hesaba alınmasını gerektirmektedir [41,112]. Ancak rastlansal (Stokastik) dinamik programlama uygulamaları, çok verimli olmakla beraber baraj işletme problemlerini nisbeten kısa planlama süreleri için çözmekte ve sınır durumu olasılıklarını içermemektedir. Sınır durumları için bir yaklaşım elde edilebilmesi için rastlansal dinamik programlama modellerinin, sistem değişmez duruma gelinceye kadar çok sayıda durak için çözülmesi gerekir. Bu nedenle uzun süreli planlama tahminleri istenen baraj işletme problemlerinde rastlansal dinamik programlama çok fazla hesaplama gerektirebilir. Ayrıca yinelenme sürecinin değişmez duruma eriştiğini saptayacak bir kriter de yoktur.

Uzun süreli işletme problemleri için Howard [113] tarafından önerilen politika yineleme metodu faydalı olabilir. Bu metod, baraj işletmesi probleminin Markov süreci karakteristiğini kullanarak dinamik programlama ile çözüm getirmektedir. Bu araştırmada, yeni bir uygulama tekniği geliştirmek, dinamik programlamanın baraj işletme problemine ve akımların olasılı ve Markov zinciri özelliklerinin sistem analizinde kullanılışına örnek getirmek amacıyla politika yineleme metoduyla baraj işletme problemi araştırılmıştır. İki adet varsayımlı örneğe ilaveten, metod, Aslantaş barajına uygulanmaya çalışılmış, sonuçlar eksik hidrolojik donenin etkileri açısından tartışılmıştır.

#### 4.2. POLİTİKA YİNELEME METODU (POLICY ITERATION METHOD)

Howard [113] tarafından önerilen politika yineleme metodu iki işlemden oluşur: değer tesbiti işlemi ve politika iyileştirme işlemi. Belirli bir politika için, değer tesbiti işleminde sistemin göreceli (relatif) faydası tesbit edilir. Eski politikanın göreceli faydaları kullanılarak, politika iyileştirme işlemiyle daha iyi bir işletme politikasına karar verilir. İki işlem ilk ve ikinci politika aynı olunca-ya kadar tekrar edilerek en iyi politika tesbit edilir. Howard tarafından bir varsayımlı oyuncak yapım ve satış probleminde izah edilen [113] politika yineleme metodu, baraj işletmesi probleminde de uygulanabilir.[122,123]

Bir barajdan bırakılması gereken suyla ilgili en iyi işletme politikası, bir durum vektörünün fonksiyonudur. Bu durum vektörünün elemanları barajda ilk başta depolanmış hacim, zaman ve baraja giren akımlar olacaktır. Barajdan bırakılacak su, her dönemin başında giren akımlar biliniyor varsayılarak kararlaştırılır. Nehir akımlarının  $n$  döneminden  $n + 1$  dönemine geçerken değişimini ifade eden geçiş ihtimal matrisi bulunur. Ayrıca, her dönem bırakılan su miktarına ( $Y_n$ ) karşı elde edilen fayda da bilinmelidir. Barajın su seviyesinin  $i$  kotundan  $j$  kotuna  $k$  politikasıyla geçişi ihtimali olan  $P_{ij}^k$ , geçiş mümkün olabilecek baraj seviyeleri için tablo halinde bilinir. Bir dönemde (zaman periodu) su seviyesi (hacim) değişikliğinden beklenebilecek fayda  $q_i^k$  aşağıdaki gibi olacaktır.

$$q_i^k = \sum_{j=1}^N P_{ij}^k r_{ij}^k \quad (4.1)$$

(4.1) denkleminde  $r_{ij}^k$ ,  $i$  seviyesinde  $j$  seviyesine  $k$  politikası (bırakılan su) ile geçildiğindeki faydadır.

Problemin çözümünde Howard [113] tarafından geliştirilen teknik uygulanarak değer tesbiti işlemiyle belirli bir su çekim politikası için her seviyede bulunmanın göreceli değeri tayin edilir. Bu sonuçlar en iyi değilse, politika iyileştirme işlemiyle daha iyi bir su çekim politikası tesbitinde kullanılır. Çevrime ard arda tesbit edilen iki politika eş oluncaya

kadar devam edilir. Değer tesbiti denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$g + V_i = q_i + \sum_{j=1}^N P_{ij} V_j \quad (4.2)$$

$$i = 1, 2, \dots, N$$

(4.2) ifadesinde  $g$  belirli bir işletme politikasıyla birim zamanda elde edilen ortalama faydadır. İşletme politikası,

$$\sum_{i=1}^N R_i q_i$$

olarak ifade edilirse,  $R_i$ ,  $i$  durumunda sınır durumu olasılığıdır.  $V_i$  ise bu işletme politikasıyla  $i$  durumunda (su seviyesi) başlamak şartıyla  $n$  durak sonra beklenen toplam faydadır. Her  $i$  durumu için (4.2) denkleminin sağ yanını en büyükleleyen  $k$  politikası,  $V_i$  ve çözümden bulunan  $V_j$  değerleri kullanılarak tesbit edilir. Çözüme işletme politikası değişmeyinceye kadar devam edilir.

Yukarda izah edilen metod, baraj işletme problemlerinde çok mevsimli bir politika tesbitini mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşım bazı araştırmacılar tarafından varsayımlı (hipotetik) sistemler için uygulanmıştır. [122, 123] Bu çözümler neticesi kullanılan denklemlerin basit olmasına rağmen büyük bilgisayar belleği gerektirdiği gözlenmiştir. Aşağıda tekniğe ışık tutması amacıyla varsayımlı bir örnek çözüm sunulmuştur.

#### 4.3. ÇOK AMAÇLI BİR BARAJ İŞLETMESİ İÇİN VARSAYIMLI ÖRNEK

Sulama, taşkın kontrol ve mesire amaçlı bir barajda senenin dört mevsiminde sulama için çekilecek suyun miktarının tayini istenmektedir. Baraj işletmesinin amacı 10 yıllık bir sürede toplam faydayı en büyük yapmaktır. Nehir akımların 0, 1, 2, 3, 4, 5 ayrık tamsayı değerlerini alabileceği varsayılarak her mevsimde bu değerlerin gelmesi olasılığı aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

TABLO 4.1  
NEHİR AKIMLARININ OLASILIĞI

Akım	1.Mevsim	2. Mevsim	3. Mevsim	4. Mevsim
0	0.05	0.10	0.15	0.06
1	0.10	0.12	0.12	0.10
2	0.35	0.38	0.30	0.30
3	0.25	0.23	0.18	0.35
4	0.15	0.11	0.15	0.14
5	0.10	0.06	0.10	0.05

Sulama ana kanalının maksimum kapasitesi 5 birim, sulama için bırakılabilecek su 0, 1, 2, 3, 4 veya 5 birim, baraj kapasitesi ise 10 birim varsayılınsın. Barajda depolanmış su hacmi aşağıdaki olasılık geçiş matrisine sahip bir Markov zinciri teşkil eder.

$$P_k^s = I \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & \dots & 9 & 10 \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} & \begin{matrix} f_k^s & f_{k+1}^s & f_{k+2}^s & \dots & f_{k+9}^s & h_{k+10}^s \\ f_{k-1}^s & f_k^s & f_{k+1}^s & \dots & f_{k+8}^s & h_{k+9}^s \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ f_{k-10}^s & f_{k-9}^s & f_{k-8}^s & \dots & f_{k-1}^s & h_k^s \end{matrix} \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

$$s = 1, 2, 3, 4. \quad k = 0, 1, \dots, 5.$$

$f_k^s$ , period s'de k miktar suyun baraja girmesi olasılığını göstermektedir.



$$F_k^S = f_0^S + f_1^S + \dots + f_k^S \quad (4.4)$$

$$h_k^S = f_k^S + f_{k-1}^S + \dots + f_1^S \quad k \leq 5 \quad (4.5)$$

$$= 0 \quad k > 5$$

$h_k^S$ , birikimli olasılık olup, dolusavaktan su ziyanı ihtimalini de içermektedir. Örneğin s mevsiminde baraj 10 durumundayken k kadar su bırakıldığında dolusavaktan su ziyanı olasılığı,

$$\sum_{i=k-1}^5 f_i^S$$

olur. İki birim su ziyanı olasılığı ise  $f_{k+2}^S$  olur. Su azlığı nedeniyle barajdan k birim su bırakılmaması olasılığı  $F_k^S$ 'e dahildir.

Mevsimlik azami sulama suyu ihtiyacı 3 birim kabul edilsin. Sulama faydası bırakılan suyun miktarına bağlı olup ihtiyacın tamamı karşılanmadığı takdirde en çok faydadan bir azalma (yitim fonksiyonu) olacaktır. Örnek problemde sulamanın net faydası,

$$B_I = a(s) - b(s)[x(s) - 3]^2 \quad s = 1, 2, 3, 4 \quad (4.6)$$

taşkınların zararı

$$C_T = C X_{sp}^2(s) \quad s = 1, 2, 3, 4 \quad (4.7)$$

mesire faydası

$$B_R = d(s) - e(s)[X_R(s) - 9]^2 \quad (4.8)$$

şeklinde alınmıştır. Yukardaki varsayımlı bağıntılarda  $X(s)$ ,  $X_{sp}$ , ve  $X_R$  ilgili amaçlar için bırakılan debi olup, fonksiyonların katsayıları çeşitli mevsimler için aşağıdaki gibi kabul edilmiştir.

Tablo 4.2'de verilen fayda katsayıları ve 4.6, 4.7, 4.8 denklemleri kullanılarak  $R_k^S$  fayda matrisi kurulabilir.  $R_k^S$  fayda matrisi,  $P_k^S$  olasılık geçiş matrisine tekabül etmektedir. İzah edilen örnek problem Howard [113] tarafından önerilen değer yineleme metoduyla çözülebilir.

TABLO 4.2  
FAYDA FONKSİYONLARININ VARSAYILAN  
KATSAYILARI

Katsayı	Mevsim s = 1	Mevsim s = 2	Mevsim s = 3	Mevsim s = 4
a(s)	8.5	6.0	4.6	9.0
b(s)	1.0	0.67	0.6	1.0
c	10	10	10	10
d(s)	3.0	2.5	1.5	4.0
e(s)	0.05	0.03	0.02	0.05

$q_i^{k,s}$ , i seviyesinde, s mevsiminde, k birim su salınmasından elde edilecek faydadır.

$$q_i^{k,s} = \sum_{j=0}^{10} p_{ij}^{k,s} r_{ij}^{k,s} \quad i = 1, 2, \dots, 10 \quad (4.9)$$

$p_{ij}^{k,s}$  ve  $r_{ij}^{r,s}$ ,  $p_k^s$  ve  $R_k^s$  matrislerinin elemanlarıdır.

$V_j[(n-1),s]$  ifadesinin j durumundan başlanarak n yılda ve s mevsimde elde edilecek toplam faydayı temsil ettiği kabul edilirse, en iyi politika için

$$V_i[(n-1),s+1] = \text{en büyük}_k \sum_{j=0}^{10} p_{ij}^{k,s} [r_{ij}^k + V_j((n-1),s)] \quad (4.10)$$

$$i = 0, 1, \dots, 10.$$

yukardaki amaç fonksiyonu dinamik programlamanın doğurgan denklemi haline konulduğunda;

$$V_i[(n-1),s+1] = \text{en büyük}_k [q_i^{k,s} + \sum_{j=0}^N p_{ij}^k V_j((n-1),s)] \quad (4.11)$$

Denklem 4.11 dinamik programlamanın geriye hesaplama algoritmasıyla çözümlenerek, en iyi baraj işletme politikası 10 yıllık bir planlama süresi için hesaplanmış, sonuçlar Tablo 4.3'de özetlenmiştir. Barajın her seviyesi için her mevsimde bırakılacak optimum su miktarı Tablo 4.3'te belirlenmiştir. Sonuçlar 3 yılda en iyi çözüme yakınsamakta 1-3 yılları için en iyi işletme politikası aynı olmaktadır.

TABLO 4.3  
OPTİMUM İŞLETME POLİTİKASI

Baraj hacmi	1 ve 8'inci yıllarda bırakılacak su				9 yılda bırakılacak su				10 yılda bırakılacak su			
	mevsim s = 4	mevsim s = 3	mevsim s = 2	mevsim s = 1	mevsim s = 4	mevsim s = 3	mevsim s = 2	mevsim s = 1	mevsim s = 4	mevsim s = 3	mevsim s = 2	mevsim s = 1
0	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	3	3	5	3	5	0	5	1	5	0	0	1
2	2	3	3	3	1	0	0	1	1	0	0	1
3	3	3	3	3	3	0	0	3	1	0	0	1
4	3	3	3	3	3	0	1	3	1	0	1	3
5	3	3	3	3	4	0	1	3	3	0	1	3
6	3	4	4	3	4	1	3	3	3	1	3	3
7	3	4	4	4	4	1	3	3	3	1	3	3
8	3	4	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3
9	3	4	4	4	4	3	3	4	4	3	3	4
10	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

#### 4.4. METODUN ASLANTAŞ BARAJINA UYGULANMASI

Varsayımlı örneklerle izah edilen baraj işletmesi en iyilemesi yöntemini, gerçek bir problemde deneme amacıyla Ceyhan nehri üzerinde inşa edilmekte olan Aslantaş barajı işletme çalışması yapılmıştır [118,124]. Aslantaş barajı azami 139000 hektar sulanabilir alana sahip sulama, taşkın kontrolu ve enerji üretimi amaçlı bir barajdır. Sulama, enerji ve taşkın kontrolu kârları sistemin faydasını, yatırım, işletme ve bakım giderleri ise maliyeti oluşturmaktadır. Aslantaş barajı işletmesinde, baraj fayda ve maliyetlerinin hesaplanmasında önceki çalışmalarda [100,1] geliştirilen matematiksel model esas alınmıştır. Esasen, bu proje yürütülürken Aslantaş barajı projesi henüz kesin şeklini almamıştı. Aslantaş Projesi fizibilite raporlarından elde edilmiş, [1] proje kapsamını ve fonksiyonlarını gösterir blok şeması Şekil 4.1'de verilmiştir. Bu model için, TBTA, MAG-296 projesinde [1,100] elde edilen matematiksel model Tablo 4.4'de görülmektedir. Aynı çalışmada, matematiksel model en iyilendiğinde baraj için  $2000 \times 10^6 \text{ m}^3$  hacmine tekabül eden bir boyut optimum bulunmuştu. Bu raporda anlatılan işletme çalışması  $2000 \times 10^6 \text{ m}^3$  hacimli baraj için yürütülmüş olup, projenin halen uygulanan halinden önemli değişiklikler göstermektedir.

İşletme en iyilemesi problemi, eldeki sistem matematiksel modeline uygun olarak senede dört mevsim esasıyla yürütülmüştür. İşletme çalışmasının amacı, 50 yıllık bir işletme döneminde barajın net faydasını en büyük yapacak mevsimlik bırakılan su değerlerinin tayinidir. İşletme mevsimleri, baraja giren akımların gösterdiği değişimlere göre Eylül-Kasım, Aralık-Ocak, Mart-Mayıs ve Haziran-Ağustos dönemlerinden oluşmaktadır. Sistem modelinin amaç fonksiyonu, baraj, hidroelektrik santrali ve sulama sistemlerinin ilk yatırım, işletme ve bakım masrafları yanısıra mevsimlik sulama ve enerji üretimi faydalarını da içermektedir. Şüphesiz bu faydalar barajdan bırakılan mevsimlik su miktarlarının (karar değişkenleri) fonksiyonu olarak yazılmıştır.



TABLO 4.4

## ASLANTAŞ PROJESİ İÇİN DÖRT MEVSİMLİK MATEMATİKSEL MODEL

AMAÇ FONKSİYONUBARAJ:İlk Yatırım Maliyeti  $C_D = 602.713 \times 10^6 x_D^2 + 53.238$ İşletme ve Bak.Maliyet  $OMR = 0.1345 \times 10^{-2} x_D - 0.0117 \times 10^{-4} x_D^2 + 0.0007 \times 10^{-6} x_D^3$ HİDROELEKTRİK SANTRAL:İlk Yatırım Maliyeti  $C_P = 43.9 \times 10^{-2} x_P + 14.8 \times 10^{-4} x_P^2$ İşletme ve Bakım Maliyeti  $OMP(n) = 1.896 \times 10^{-3} y_P(n) - 1.24 \times 10^{-6} y_P^2(n) + 0.59 \times 10^{-9} y_P^3(n)$   $n=1,2,3,4$ n mevsimindeki fayda  $R_P(n) = 0.023606 y_P(n)$   $n=1,2,3,4$ SULAMA:İlk Yatırım Maliyeti  $C_I = 7.67209 + 0.0005 \times 10^{-2} x_I^2$ İşletme ve Bakım Maliyeti  $OMI(n) = 2.821 A(n) - 0.54 A^2(n)$   $0 \leq A(n) \leq 1.65$  $= 1.62 A(n) + 0.60$   $n=1,2,3,4$  $A(1) = 0.662859 + 0.006418 y_I(1)$  $A(2) = 13.9$  $A(3) = -0.299591 + 0.07374 y_I(3)$  $A(4) = -0.362155 + 0.01767 y_I(4)$ Faydalar:Mevsim 1  $R_I(1) = -31.22 + 1.5411 y_I(1)$ Mevsim 2  $R_I(2) = 146.04$ Mevsim 3  $R_I(3) = -27.43652 + 2.3624 y_I(3)$ Mevsim 4  $R_I(4) = -173.13647 + 0.7743 y_I(4)$ Yıllık Fayda  $B = \sum_{i=1}^4 [R_P(i) + R_I(i)]$ Yıllık Maliyet  $C = r(C_D + C_P) + C_I + OMR + \sum_{i=1}^4 [OMI(i) + OMP(i)]$ Amaç Fonksiyonu  $B - C$ KISITLAR $y_{rv}(n) = y_{rv}(n-1) + I(n) - y_D(n) - f_e(y_{rv}(n-1))$   $n=1,2,3,4$  $f_e(y_{rv}(0)) = 0.0082 + 77 f_e(y_{rv}(1)) = 0.0026 y_{rv}(1) + 2.5$  $f_e(y_{rv}(2)) = 0.007 y_{rv}(2) + 6.4 f_e(y_{rv}(3)) = 0.015 y_{rv}(3) + 14.5$  $1000 \leq x_D \leq 2000$  $1.1 y_{rv}(n) \leq x_D$  $y_{rv}(n) \geq 0$  $n = 1,2,3,4$  $y_D(n) \geq 0$  $0 \leq x_P \leq 600$  $1.15 y_P(n) \leq x_P$  $y_P(n) \geq 0$  $n = 1,2,3,4$  $431.00 \leq x_I \leq 884.0$

$$1.1 \ y_I(n) \leq x_I \quad n = 1,2,3,4$$

$$114.00 \leq y_I(1) \leq 226.00$$

$$y_I(2) = 0.00$$

$$92.00 \leq y_I(3) \leq 191.50$$

$$391.00 \leq y_I(4) \leq 803.00$$

$$y_I(n) \leq y_D(n) - 1.315$$

$$y_p(n) \leq y_D(n) \quad n = 1,2,3,4$$

$$y_D(n) - 0.7 \ y_I(n) - 1.315 \leq 18360$$

$$y_D(n) - 0.7 \ y_I(n) - 1.315 \geq 1.83$$

Birim: a. Fayda ve Maliyet değerleri -  $10^6$  TL.

b. Hidroelektrik Santral kapasitesi -  $10^2$  kw.

c. Diğer bütün değişkenler -  $10^6$  m<sup>3</sup>

İşletme çalışmasında barajdan bırakılacak en çok su miktarı  $1000 \times 10^6 \text{ m}^3$ /mevsim olarak kabul edilerek bu miktarın 6 ayrıık değer halinde (0,200,400,600,800,1000x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) olabileceği kabul edilmiştir. Baraj işletme hacmi de yine 11 ayrıık değer olarak (0,200,400,...,2000 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) yaklaşıklanmıştır. Howard tarafından önerilen değer yineleme metodunun uygulanabilmesi için önceden izah edilen olasılı geçiş matrisi,  $P_k^S$  ile buna tekabül eden fayda matrisi,  $R_k^S$ 'in teşkili gerekir.

Olasılı geçiş matrisinin, nehirin mevsimlik akım değişmelerinin geçiş olasılık matrisi kullanılarak bir işletme yöntemi için baraj seviyeleri arasındaki geçiş ihtimallerini verecek şekilde teşkili gerekir. Ceyhan nehrinin kabul edilen ayrıık akım değerleri için (0,200,400,...,1000x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) olasılıklar hesap edilmiştir. Ancak Ceyhan nehri akım rasatlarının sadece 15 yıl için mevcut olması nedeniyle olasılı geçiş matrisi Markov zinciri teşkil edecek şekilde hesaplanamamıştır. Buna rağmen çalışmanın gerçek çözüm getirmek amacından çok, örnek çalışma yapmak amacına dönük olduğu gözönünde tutularak çalışmaya aşağıdaki önemli varsayım yapıları olarak devam edilmiştir. Barajın ancak komşu durumları arasında geçiş yapılacaktır. Yani baraj i durumdayken, geçiş sonrası i + 1 veya i - 1 durumuna geçiş yapacaktır. Bu varsayımla baraj girdi olasılık matrisi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$P_k^S = \begin{bmatrix} F_k^S & f_{k+200}^S & f_{k+400}^S & \dots & f_{k+1800}^S & h_{k+2000}^S \\ F_{k-200}^S & f_k^S & f_{k+200}^S & \dots & f_{k+1600}^S & h_{k+1800}^S \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ f_{k-2000}^S & f_{k-1800}^S & f_{k-1600}^S & \dots & f_{k-200}^S & h_k^S \end{bmatrix}$$

s mevsimleri k'den bırakılan su miktarlarını göstermektedir. Örneğin  $P_0^1$  matrisinin  $P_0^{200}$  elemanı başta barajda hiç su yokken mevsim sonunda  $200 \times 10^6 \text{ m}^3$  su bulunması ihtimali hesaplanarak



$$P_{0,200} = F_{k+200}^S = F_{0+200}^1 = 0,191$$

şeklinde hesaplanmıştır [118, 124]. Toplam 24 adet  $P_k^S$  matrisi (4 mevsim x 6 ayık akım değeri) mevcuttur.

Fayda matrisleri,  $R_k^S$ 'de 24 adet olup her biri 11 x 11 boyutundadır. Fayda matrislerinin her elemanı hesap edilirken sulama, enerji üretimi ve taşkın kontrolundan elde edilen mevsimlik faydalar ile baraj, hidroelektrik santrali ve sulama sistemlerinin mevsime indirgenmiş maliyetleri gözönüne alınmıştır. Ekonomik kriter olarak (fayda-maliyet) farkının en büyüklenmesi esas alınmıştır. Tüm fayda matrisleri bir başka kaynakta bulunabileceğinden [124], bu raporda verilmemiştir. Bir matrisin hazırlanışında bütün amaçlar için mevsimlik fayda ve maliyet değerleri hesaplanmıştır. Örneğin,  $R_0^1$  matrisinin bir elemanı şöyle hesaplanabilir.  $R_0^1$  matrisi S=1 mevsiminde k=0 miktar su bırakılması ile ilgili net fayda matrisidir.

Sulama faydası,  $R(1)$ :

$$R(1) = 0.668 Y_1(1) + 0.4 = 0.4 \times 10^6 \text{ TL.}$$

Enerji üretimi faydası,  $R_p(1)$ :

$$R_p(1) = 0.20 \cdot 0.218 \cdot Y_p(1) = 14.56 \times 10^6 \text{ TL.}$$

Taşkın kontrol faydası,  $R_f(1)$ :

$$R_f(1) = 3.79 \times 10^6 \text{ TL.}$$

Baraj, Sulama ve Hidroelektrik santralın bir mevsimlik ilk yatırımı:

$$C_I(1) = 20.21 \times 10^6 \text{ TL.}$$

Barajın mevsimlik işletme ve bakım giderleri:

$$\text{OMR} = 96250 \text{ TL.}$$

Hidroelektrik santralın işletme ve bakım giderleri

$$\text{OMP}(1) = 0.52 \times 10^6 \text{ TL.}$$

Sulama sisteminin işletme ve bakım giderleri

$$\text{OMI} = 2.79 \times 10^6 \text{ TL.}$$

Yukardaki değerler birleştirildiğinde toplam net fayda bulunur.

$$\begin{aligned} \text{net fayda} = r_i^j &= R(1) + R_p(1) + R_f(1) - C_I(1) - \text{OMR} - \text{OMP}(1) - \text{OMI} \\ &= -4.87 \times 10^6 \text{ TL.} \end{aligned}$$

Barajın ancak komşu durumlar arasında ( $i$ 'den sadece  $i + 1$  veya  $i - 1$  seviyesine) geçiş yapabileceği varsayıldığından  $R_0^1$  matrisin son kolonu hariç bütün elemanları, yukarıda bulunan  $q_1^j$  değerini alacaktır. Son kolon baraj dolusavaşından su salınması halini göstermekte olup bu durumda taşkın faydası daha az olacağından değerler değişiktir.

Baraj hacmindeki bir geçişten beklenen fayda

$$q_i^{k,s} = \sum_{j=0}^{2000} p_{i,j}^{k,s} \cdot R_{i,j}^{k,s} \quad (4.12)$$

olarak yazılabilir. 50 yıllık dönemde beklenen toplam fayda  $V_j(n,s)$  olarak gösterilirse, en iyi politikaya tekabül eden dinamik programlama denklemi şöylece yazılabilir.

$$V_i(n,s) = \max_k \left[ q_i^{k,s} + \sum_{j=0}^{2000} p_{i,j}^{k,s} \cdot V_j((n-1),s) \right] \quad (4.13)$$

$i = 0, 200, \dots, 2000$  (baraj hacminin durumu)

$h = 1, 2, 3, \dots, 50$  (planlama durakları)

$s = 1, 2, 3, 4$  (mevsim)

$k = 0, 200, \dots, 200$  (bırakılan su)

(4.13) denkleminin çözülebilmesi için sınır şartı  $V_j(0)$  tarif edilmelidir.  $V_j(0)$  değerleri sıfır alınarak problem IBM 360/40 bilgisayar yardımıyla çözülmüştür. Çözüm sırasında bilgisayar bellek kapasitesi yetersiz kaldığından çözüm iki kısımda yürütülmüştür. Birinci kısımda  $q_i^{k,s}$  matrisleri hesaplanmış daha sonra dinamik programlama çözümü yapılmıştır. Çözümde mevsimlik bırakılacak sular genellikle hızla en iyi değerlere yakınsamışlar sadece üçüncü mevsim için yakınsaklama uzun zaman almıştır. Optimum bırakılan sular Tablo 4.5'te özetlenmiştir.

TABLO 4.5  
EN İYİ İŞLETME DEĞERLERİ

Baraj hacmi $10^6 m^3$	Bırakılacak Sular ( $10^6 m^3$ /mevsim)			
	1. mevsim	2. mevsim	3. mevsim	4. mevsim
0	800	400	1000	1000
200	1000	400	1000	1000
400	1000	400	1000	1000
600	800	400	1000	1000
800	1000	400	1000	1000
1000	1000	200	1000	1000
1200	1000	400	1000	1000
1400	1000	400	1000	1000
1600	1000	400	400	1000
1800	1000	400	600	1000
2000	1000	400	800	1000

#### 4.5. ÇOK AMAÇLI ÇOK SAYIDA BARAJ İŞLETMESİ İÇİN VARSAYIMLI ÖRNEK

Politika yinelemesi metoduyla işletme en iyilemesi yöntemi, çok sayıda barajın arasında bir seçim yapmak amacıyla da kullanılabilir. Uygulayıcı kuruluşun hazırlamakta olduğu bir havza geliştirmesi ana planının bir nehrin muhtelif kollarında 3 ayrı potansiyel baraj yeri içerdiğini ve bunlardan bir seçim yapmak gerektiğini varsayalım. Uygun bir seçim kriteri olarak yıllık net faydanın en büyük olması kabul edilebilir. Barajların nehrin değişik kollarında olması nedeniyle gerek akım girdileri, gerekse de ilk yatırım maliyetleri,  $C_i$ , farklı olacaktır. A, B ve C olarak adlandırılacak bu üç potansiyel barajdan sulama, taşkın önleme ve mesire (rekreasyon) amacı beklendiği varsayılırsa, her baraj yeri için ayrı fayda fonksiyonları da olacaktır. A, B veya C barajlarından sadece biri inşa olunacaktır. A barajı  $S_1$  nehir kolunda, B barajı  $S_2$  nehir kolunda, C barajı ise  $S_3$  nehir kolunda olsun. Her baraja giren akımların değişik bir olasılık dağılımı olacaktır.  $j$  ve  $j+1$  dönemleri arasında  $i$  nehrinin akımını  $x_{i,j}$  olarak adlandıırırsak, baraj girdi ihtimal dağılımı, ayrık şekilde şöyle yazılabilir.

$$P(x_{i,j} = k) = f_{i,k} \quad \begin{matrix} k = 0,1,2,\dots,n_i \\ i = 1,2,3. \end{matrix} \quad (4.14)$$

$n_i$  simgesi  $i$  nehrinden gelebilecek en büyük akım değeridir. Örnek problemde nehir kollarının akımlarının ayrık 1, 2 ve 3 tamsayı değerlerini alabileceğini ve ayrık akım değerlerinin olasılık dağılımının aşağıdaki gibi olduğu kabul edelim.

Akım	Akımların Olasılığı, $P(x_{i,j})$		
	$S_1$	$S_2$	$S_3$
1	0.22	0.18	0.16
2	0.60	0.56	0.54
3	0.18	0.26	0.30

inşa edilecek barajın sulama amacıyla bir yılda  $Z_i = 2$  birim su vermesi gerektiği kabul edilsin.  $j+1$  döneminde  $i$  barajında mevcut su miktarı olan  $G_{i,j+1}$  değerinin  $y_i$ 'den küçük veya

eşit olduğunu kabul ederek, su bırakma (işletme) politikası şöyle yazılabilir.

$$\text{bırakılan su } Z_i = \text{en küçük } (Z_i, G_{i,j+1}) \quad (4.15)$$

$$i = 1, 2, 3.$$

$(G_{i,j})$  değerleri zaman içinde homojen markov zinciri teşkil ederler. Bu markov zincirinin daha önce izah edildiği gibi bir  $P_i$  geçiş olasılık matrisi de mevcuttur. A, B ve C barajları, 2 birim sulama suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla (4.15) denklemdeki prensiple işletildiğinde geçiş olasılık matrislerinin aşağıdaki gibi olacağını kabul edelim.

$$P_1 = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.82 & 0.18 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.22 & 0.60 & 0.18 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.22 & 0.60 & 0.18 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.22 & 0.60 & 0.18 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.22 & 0.60 & 0.18 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.22 & 0.78 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.16)$$

$$P_2 = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.74 & 0.26 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.18 & 0.56 & 0.26 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.18 & 0.56 & 0.26 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.18 & 0.56 & 0.26 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.18 & 0.56 & 0.26 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.18 & 0.82 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.17)$$

$$P_3 = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.70 & 0.30 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.16 & 0.54 & 0.30 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.16 & 0.54 & 0.30 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.16 & 0.54 & 0.30 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.16 & 0.54 & 0.30 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.16 & 0.84 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.18)$$

Potansiyel barajların her birinin en büyük depolama hacminin 5 birim olabileceği ve barajda sadece 4.16, 4.17 ve 4.18 denklemlerindeki ayırık geçişlerin olabileceği varsayılmıştır. Her barajın  $G_{i,j}$  durumundan  $G_{i,j+1}$  durumuna geçtiğinde  $r_i$  faydası vardır.  $r_i$  değerleri  $P_i$  matrisine tekabül eden bir fayda matrisi,  $R_i$  teşkil ederler.

$$R_i = \begin{matrix} & 0 & 1 & & Y_i \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{i,0,0} & r_{i,0,1} & \dots & r_{i,0,Y_i} \\ r_{i,1,0} & r_{i,1,1} & \dots & r_{i,1,Y_i} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{i,Y_i,0} & r_{i,Y_i,1} & \dots & r_{i,Y_i,Y_i} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.19)$$

$i = 1, 2, 3.$

(4.19) denkleminde  $r_{i,1,0}$  terimi  $i$  barajında depolanan su, 1 hacminden 0 hacmine geçtiğinde elde edilecek net faydadır.  $r_i$  değerleri, sulama ve mesire faydalarından ilk yatırım giderlerini ve taşkın zararlarını çıkararak hesaplanabilir.

Sulama hedef değeri 5 birim su sağlanamadığı takdirde olacak kayıp,  $C_I$ , (4.20), yitim fonksiyonu ile ifade edilsin.

$$C_I = 2.5 (5 - X) \quad (4.20)$$

$x$ , bir dönemde barajdan bırakılan su olup, (4.20) denklemi üç baraj içinde aynı alınabilir.

Taşkın hasarları,  $C_F$ , her baraj için ayrı olacaktır.

$$C_{F1} = 5.5 X_S^2 \quad (4.21)$$

$$C_{F2} = 7 X_S^2 \quad (4.22)$$

$$C_{F3} = 5.5 X_S^2 \quad (4.23)$$

$X_S$  dolusavaktan atılan miktardır.

Mesire faydaları da her baraj için ayrı olacaktır.

$$R_{r1} = 2 - 0.3 (S - 3)^2 \quad (4.24)$$

$$R_{r2} = 3.5 - 0.4 (S - 4)^2 \quad (4.25)$$

$$R_{r3} = 2.5 - 0.6 (S - 3)^2 \quad (4.26)$$

S, işletme hacmidir. Barajların, ilk yatırım giderlerinin yıllık değeri sırasıyla 5.0, 6.5 ve 5.5 değer birimi kabul edilsin.

Yukardaki fayda ve maliyet değerleri kullanılarak (4.19) denklemiyle verilen fayda matrisleri her baraj için hesap edilebilir.

$$R_1 = \begin{bmatrix} -1.369 & 0.8 & 1.7 & 2.0 & 1.7 & 0.8 \\ -0.7 & 0.8 & 1.7 & 2.0 & 1.7 & 0.8 \\ -0.7 & 0.8 & 1.7 & 2.0 & 1.7 & 0.8 \\ -0.7 & 0.8 & 1.7 & 2.0 & 1.7 & 0.8 \\ -0.7 & 0.8 & 1.7 & 2.0 & 1.7 & 0.8 \\ -0.7 & 0.8 & 1.7 & 2.0 & 1.7 & -0.47 \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} -5.0 & -1.6 & 1.2 & 1.6 & 2.0 & 1.6 \\ -4.4 & -1.6 & 1.2 & 1.6 & 2.0 & 1.6 \\ -4.4 & -1.6 & 1.2 & 1.6 & 2.0 & 1.6 \\ -4.4 & -1.6 & 1.2 & 1.6 & 2.0 & 1.6 \\ -4.4 & -1.6 & 1.2 & 1.6 & 2.0 & 1.6 \\ -4.4 & -1.6 & 1.2 & 1.6 & 2.0 & -0.62 \end{bmatrix} \quad (4.28)$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} -4.03 & -0.4 & 1.4 & 2.0 & 1.4 & -0.4 \\ -3.4 & -0.4 & 1.4 & 2.0 & 1.4 & -0.4 \\ -3.4 & -0.4 & 1.4 & 2.0 & 1.4 & -0.4 \\ -3.4 & -0.4 & 1.4 & 2.0 & 1.4 & -0.4 \\ -3.4 & -0.4 & 1.4 & 2.0 & 1.4 & -0.4 \\ -3.4 & -0.4 & 1.4 & 2.0 & 1.4 & -2.36 \end{bmatrix} \quad (4.29)$$

4.16, 4.17, 4.18 denklemleriyle verilen  $P_i$  matrisleri ve 4.27, 4.28, 4.29 denklemleriyle verilen  $R_i$  matrisleri kullanılarak problem politika yineleme metoduyla en iyilenebilir. Amaç, faydası en fazla olacak barajın seçimidir.  $q_{G_i}$  simgesi  $i$  barajının  $G_i$  durumunda olmasının faydasını,  $P_{G_i}$  ise  $i$  barajının  $G$  seviyesinde olmasının zamanla değişmez ihtimalini gösterebilir.  $i$  barajından planlama döneminde gelebilecek fayda  $a_i$  şöyle olacaktır.

$$a_i = \sum_{G_i=0}^{Y_i} P_{G_i} q_{G_i} \quad i = 1, 2, 3. \quad (4.30)$$

(4.30) denklemi kullanılarak Howard tarafından önerilen [113] politika yineleme metodu uygulanabilir. En büyükle-  
necek ifade [113] şu şekildedir.

$$a + V_G = q_G + \sum_{j=1}^Y P_{G,j} V_j \quad (4.31)$$

$$G = 1, \dots, Y$$

(4.31) denklemi  $y + 1$  bilinmeyen içeren  $y$  denklemdir.  $y + 1$  bilinmeyen  $V_1, V_2, \dots, V_y$  ve  $a$ 'dır.  $V_G(n)$  barajın  $G$  durumundan başlanarak  $n$  yılda getireceği faydadır.  $V_G$  ise  $V_G(n)$  değişkenin çok sayıdaki  $n$  için asimtotudur.  $P_{G,j}$  ise  $P_i$  matrislerinin elemanlarıdır. (4.31) denklem grubunu çözmek için  $V$  değerlerinden biri varsayılır. Diğer  $V$ 'lerin çözülecek değerleri varsayılan  $V$ 'ye bağlı olmakla beraber en iyi çözüm etkilenmez. [113] Yineleme metodunun her çevriminde iki işlem vardır.

a. Değer tesbiti işlemi: Eldeki politikanın  $P_{G,j}$  ve  $q_G$  değerleri kullanılarak, ve  $V_y = 0$  alınarak  $V_G$  ve  $a$ 'nın tüm relatif değerleri hesap edilir.

b. Politika iyileştirme işlemi: Değer tesbiti işleminde tayin edilen  $V_G$  değerleri kullanılarak her  $G$  durumu için

$$[q_{G_d} + \sum_{j=D}^{Y_d} P_{G,j} V_j]$$

ifadesini en büyükleyen  $d'$  bulunur.  $d'$  vektörü  $G$  durumunda yeni karar vektörü olur.  $q_{G_d}$  ise  $q_G$  olur.

c. Yukardaki a. ve b. adımları iki ardarda politika aynı oluncaya kadar devam edilir.

Varsayımlı örnek problem yukarda anlatılan yöntemle çözülmüştür. İlk politika olarak politika iyileştirme işleminde tüm  $V_G$  değerleri, değer tesbiti işleminde ise tüm  $V_y$  değerleri sıfır alınmıştır. En iyi çözüme 3 yinelemede varılmıştır. Neticelerin yakınsaklaşması Tablo 4.6'da gösterilmiştir.



TABLO 4.6  
ÖRNEK PROBLEMDE ÇÖZÜMÜN YAKINSAKLAŞMASI

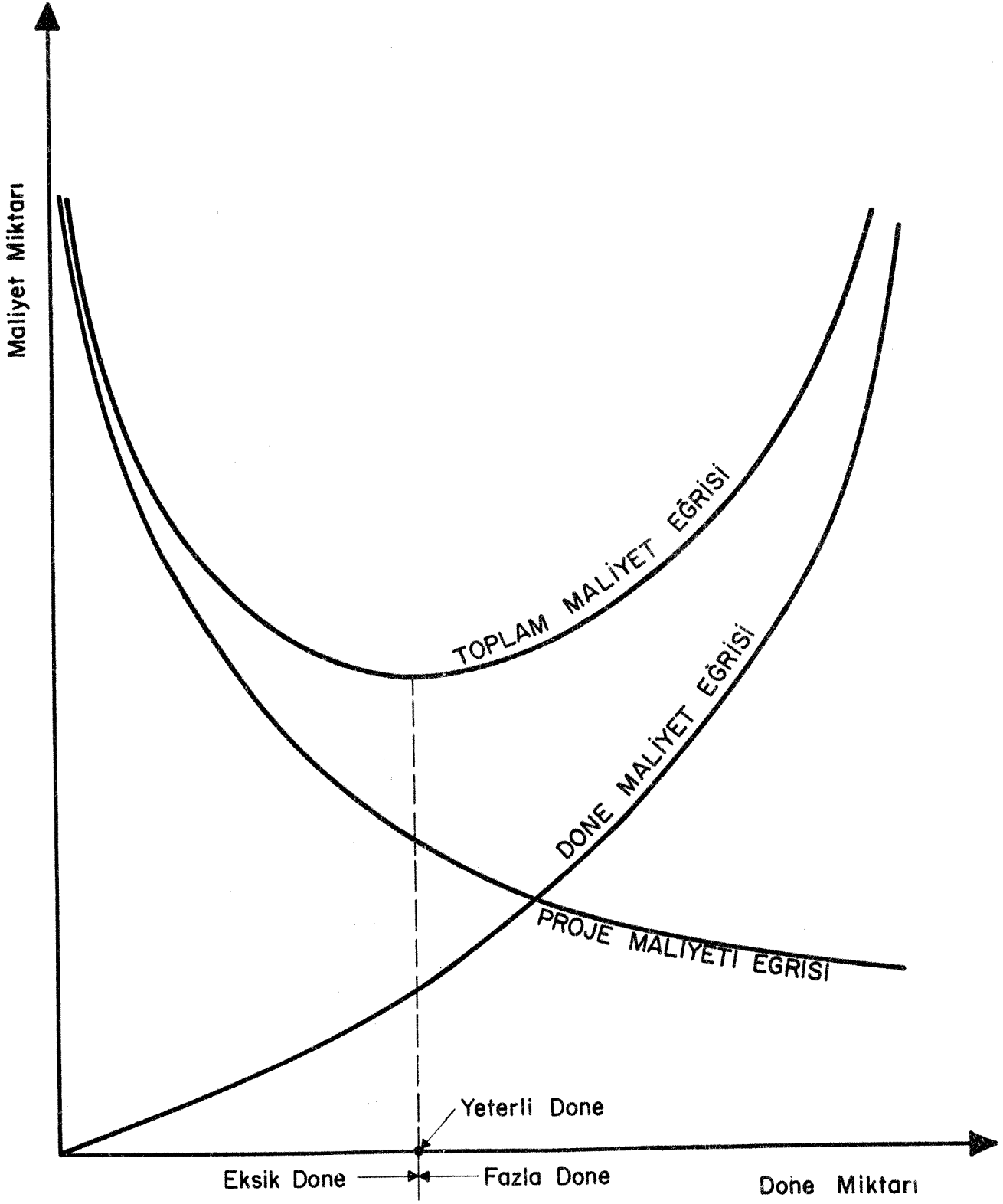
durum	ilk Politika	1.Yineleme	2.Yineleme	3.Yineleme
0	A	A	A	A
1	A	C	C	C
2	A	C	C	C
3	A	C	A	C
4	B	B	A	A
5	A	A	A	A
Fayda	0.617	0.897	0.927	0.937

3. yineleme sonucunda en büyük fayda 0.937 olarak tesbit edilmiştir. Çözüm sonucu baraj uzun vadede ortalama % 60'in üstünde bir depolama hacmiyle işletilecekse A barajı uygundur. Baraj, % 20-60 arasında bir ortalama depolama hacmiyle işletilecekse C barajı uygundur. Barajın hangi ortalama depolama hacmiyle işletileceği, şüphesiz, taşkın kontrolü için istenecek boş hacim ve mesire amacı için suyun tutulması gereken seviyelere bağlı bir karar olacaktır.

## 5. SONUÇLARIN TARTIŞILMASI

Bu araştırmanın konusu eksik hidrolojik ve ekonomik bilgilerle su kaynakları sistem analizi uygulamasıdır. Su kaynakları sistemlerinin projelendirilmesinde ne miktar donenin gerekli ve yeterli olduğu henüz tamamen açıklığa kavuşmamış bir konudur. Yeterli done miktarı ile ilgili kesin bir tarif olmaması, kısmen, su kaynakları sistemlerinin çok çeşitli ve amaçlı olmasındandır. Yeterli done miktarı her projenin özellikleri ile yakından ilgilidir. Bazı projeler kademeli, esnek bir gelişme olanağı verirken bazı projelerde kararlar "geri dönülemez" cinstendir. Örneğin bir baraj inşa kararı teknik, ekonomik ve çevre yönünden "geri dönülemez" bir karardır. Bu tip projelerin etüdü için yeterli done miktarı "değişebilir" bir sisteminkinden fazla olacaktır. "Değişebilir" veya "esnek" şekilde plânlanmış sistemler, genellikle kapasite yönünden arttırılabilen, işletme politikaları değiştirilebilen, ihtiyaç tipi değişikliklerine uyabilen ve kademeler halinde inşa edilebilen sistemlerdir. Su kaynakları geliştirilmesinde donenin eksik olması halinde sistemlerin mümkün mertebede esnek şekilde projelendirilmesi gereği açıktır.

Yeterli done miktarı su kaynakları sistemleri için bir ekonomi yaklaşımıyla genel olarak tarif edilebilir. Hidrolojik ve ekonomik bilgilerin artmasıyla bir projenin toplam maliyeti Şekil 5.1'de gösterildiği şekilde azalacaktır. Örneğin daha uzun bir seriyle yapılan bir yıllık maksimum taşkın analizi, daha küçük bir dolusavak kapasitesi tesbitine elverecek ve proje maliyeti düşecektir. Ancak, özellikle, hidrolojik done toplamak masraflı bir işlemdir. Done miktarının artması done toplama maliyetinin artması ile mümkündür. Done masraflarına bir projenin gecikmesi nedeniyle gelecek ekonomik ve sosyal zararlar dahildir. Şekil 5.1'de görüldüğü gibi done maliyet eğrisi ve proje maliyet eğrisi toplandığında toplam maliyet eğrisi çıkmaktadır. "Yeterli" done, toplam maliyet eğrisini en küçük yapan miktardır. Toplam maliyet eğrisini en küçük yapan done miktarından daha azı "yetersiz" veya "eksik", daha çoğu ise "fazla" olarak



ŞEKİL 5.1. MALİYET-DONE MİKTARI İLİŞKİSİ

tanımlanabilir. Halen su kaynakları plânlaması için gerekli hidrolojik donenin yeterliliğini belirleyici kabul edilmiş bir kriter yoktur. Bununla beraber bu konudaki araştırmalar yaygındır.

Su kaynakları plânlamasında yalnızca hidrolojik done değil ve fakat ekonomik, demoğrafik, politik ve teknolojik donelere de ihtiyaç vardır. Tüm bu donelerde ki eksiklik, yanlışlıkların yanı sıra belirsizliklerde mevcuttur. Doneydeki belirsizlikler genellikle ya hidrolojik süreçlerin rastgele oluşundan veya gelecekteki su ihtiyaçlarının, teknik gelişmelerin ve politik tercihlerin bilinemeyişinden olur. İkinci tipteki belirsizlikler genellikle önce değinilen "esnek" projelendirme yöntemiyle kısmen veya tamamen çözümlenebilir. Birinci tip (hidrolojik donede) belirsizlikler ise sentetik hidroloji yöntemleriyle azaltılabilir. Ancak sentetik hidroloji algoritmaları en çok benzetim metodlarında kullanılmakta olup analitik en iyileme metodlarıyla birlikte kullanımları yaygın değildir.

Bu raporun ikinci bölümünde incelenen duyarlık irdelemesi yöntemleri verilerin yetersiz ve yanlış olması halinde yararlı olmaktadır. Çok kullanılan doğrusal programlama yönteminde modelin sabit kabul edilen katsayılarındaki hatanın çözüme etkisi gerekirci ve olasılı durumlar için incelenmiş ve Tablo 2.1'de genellenmiştir. Duyarlık irdelemesi yöntemleri eğrisel ve benzetim modellerine de uygulanabilmektedir. Duyarlık irdelemesi halen karmaşık ve sistem analizi bilgisinin sınırında bir konu olmakla birlikte basit doğrusal modellerde uygulaması yaygınlaşmaktadır. Orta basitlikteki eğrisel ve benzetim modellerinde de duyarlık irdelemesi başarılı olabilir. Duyarlık irdelemeleri bir modele etki eden ekonomik, hidrolojik ve benzer girdilerin önem sırasını tayinde de kullanılabilir.

Raporun üçüncü bölümünde sistem analizi için gerekli ekonomik veriler incelenerek, barajlar, hidroelektrik santraller, sulama ve içmesuyu sistemlerinin maliyet ilişkileri fonksiyonel ve grafik şekilde ifade edilmişlerdir. Bu ilişkilerin bir kısmı done yetersizliğinden bir kısmı ise maliyeti etkileyen faktörlerin çokluğundan ötürü istenildiği kadar düzgün de-

ğildir. Bu ilişkiler su kaynakları geliştirilmesi ve planlanması uygulama çalışmalarında ilk kaba yaklaşımlar olarak kullanılmalıdır. Bu tip çalışmalarla en iyi çözümler elde edildikten sonra daha detaylı çalışmalarda gerçek maliyetler kullanılabilir. Üçüncü bölümde sunulana benzer maliyet ilişkileri, henüz ülkemizde sistem metodları kullanılmadığı için uygulayıcı kuruluşlarca geliştirilmemiştir. Bu nedenle bu ilişkilerin plânlama çalışmaları yanı sıra sistem analizi araştırmalarında ve akademik çalışmalarda da yararlı olacağı umulmaktadır. Maliyet ilişkilerinin geçmiş yıllara ait olması önemli bir mahzur olmayıp Tablo 3.1'dekine benzer bir endeksle düzeltilerek istenilen yıl için kullanılabilir.

Dördüncü bölümde baraj işletmesinde politika yineleme metoduyla ve dinamik programlamayla bir en iyileme yöntemi önerilmiş ve yöntem üç örnekle izah edilmiştir. Önerilen basit yöntem çeşitli problemlere uygulanabilir. Politika yineleme metodunun stokastik dinamik programlamaya olan esas üstünlüğü yakınsaklaşmanın hızlı olmasıdır. Raporun 4.5 bölümünde sunulan çok amaçlı çok sayıda baraj işletmesi örneğinde çözüme 3 yinelemede ulaşılmıştır. Aynı örnek, stokastik dinamik programlama ile 30 duraktan sonra en iyi çözüme yakınsamaktadır. Önerilen metod hesaplama işlemi sayısı açısından avantajlı olmakla beraber büyük bilgisayar bellek kapasitesi gerektirmektedir. Metodun bir diğer dezavantajı da hidrolojik süreçlerin markov zinciri şeklinde ifadesi gereğidir. Türkiye için çözülmeye çalışılan bir örnekte bu Markov özelliği taşıyacak geçiş olasılık matrisi done yeterliliğinden oluşturulamamıştır. Ancak yöntemin önemli avantajları olup bir çok değişik problemle, örneğin, bir seri çözümle baraj kapasitesi tayini problemine çözüm getirebilir. Dördüncü bölümde sunulan varsayımlı örneklerin bir diğer özelliği, mesire, taşkın kontrolü gibi su kaynaklar geliştirilmesinde yer alan bazı amaçların modele ithalidir. Mesire amacı barajın belli bir su seviyesinde tutulması gerektiği ve bu gerçekleşmezse en büyük faydadan bir azalma olacağı esasıyla bir yitim fonksiyonu ile ifade edilebilir. Barajdan mesire faydasının maddi olarak tesbiti yeni araştırılan bir konu olmakla beraber bazı esaslar gelişmiştir[5].

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada eksik hidrolojik ve ekonomik bilgilerle su kaynakları sistem analizi uygulaması incelenmiştir. Araştırmanın sonuçları olarak aşağıdaki hususlar sıralanabilir.

a. Eksik doneler, su kaynakları sistem analizinde üç alanda önem kazanmaktadır: Modelin seçimi, seçilen bir modelin parametrelerinin tahmini ve gelişme hedeflerinin modele aktarılması. Duyarlık irdemesi yöntemleri seçilen bir modelde, verilerdeki hatanın en iyi çözüme etkisini tesbitte başarıyla kullanılabilir.

b. Su kaynakları sistemlerinden aşağıdakiler için maliyet eğrileri karar değişkenleri cinsinden ifade edilmiştir. Barajlar, hidroelektrik santraller, sulama sistemleri, içme suyu sistemleri (depo, tasfiye tesisi, boru, şebeke) ilk yatırım maliyetleri yıllık işletme ve bakım giderleri. Bu ilişkiler istenilen yıl için bir enflasyon endeksi ile düzeltilerek kullanılabilecektir.

c. Sistem analizinde sistemlerin fayda fonksiyonlarının her uygulamada ayrı olarak tesbiti uygundur.

b. Baraj işletmesinde politika yineleme metoduyla ve dinamik programlamayla bir en iyileme yöntemi önerilmiştir. Uzun vadeli planlamalarda bu yöntem güçlü bir hesap tekniği getirmektedir. Hesap yöntemi hızlı yakınsaklaşmakta olup az hesap gerektirmektedir. Ancak metod, gerçek problemlerde geniş bilgisayar bellek kapasitesi gerektirmektedir. Bazı uygulamalarda, Markov süreci özelliği de döne yönünden zorlayıcı olmaktadır.

e. Yeterli donenin literatürde kesin bir tarifi olmayıp, en basit şekilde done toplama ve proje tesis maliyetlerini en küçük yapacak done miktarı olarak tarif edilebilir. Yetersiz donelerle yapılan projeler, mümkün mertebe, "geri dönüşülemez" kararlar yerine "esnek" kararlar içermelidir.

## ÖZET

Su kaynakları geliştirilmesinde mühendislik ve ekonomi unsurlarını birleştirerek en uygun çözüm elde edilmesini sağlayan sistem analizi uygulaması yaygınlaşmaktadır. Sistem analizi için gerekli hidrolojik, hidrometeorolojik ve ekonomik bilgiler eksiklikler, hatalar ve belirsizlikler içerirler. Yeterli done, proje maliyeti ile done toplama maliyetini içeren toplam proje maliyetini en küçük yapan done miktarı olarak tarif edilebilir. Yetersiz donelerle yapılan projeler, mümkün mertebe, "geri dönülemez" kararlar yerine "esnek" kararlar içermelidir.

Eksik doneler, su kaynakları sistem analizini üç yönden etkilemektedir. Modelin seçimi, seçilen bir modelin parametrelerinin tahmini ve gelişme hedeflerinin modele aktarılması. Bu çalışmada sistem analizi metodları ve ilgili literatür etraflıca incelenmiş olup bir etüdlar model seçiminde yararlı olacaktır. Bir model seçildikten sonra duyarlık irdelemesi yöntemleri verilerdeki hataların en iyi çözüme etkisini tesbitte başarıyla kullanılabilir. Çok kullanılan doğrusal programlama yöntemi için modelin sabit kabul edilen katsayılarındaki hatanın çözüme etkisi gerekirci ve olası durumlar için incelenmiş, eğrisel modellerde duyarlık irdelemesinin bir örnekle gösterilmiştir.

Su kaynakları sistemlerinden aşağıdakiler için maliyet eğrileri karar değişkenleri cinsinden ifade edilmiştir: Barajlar, hidroelektrik santraller, sulama sistemleri, içme suyu (depo, tasfiye tesisi, boru, şebeke) sistemleri ilk yatırım giderleri, yıllık işletme ve bakım giderleri. Bu ilişkiler sistem analizi uygulamalarında bir enflasyon endeksi ile düzeltilerek kullanılabilir.

Baraj işletmesinde politika yineleme metoduyla ve dinamik programlamayla bir en iyileme metodu önerilmiş ve yöntem üç örnekle izah edilmiştir. Değişik problemlere uygulanabilen bu basit yöntem uzun vadeli planlamalarda yararlı olabilir. Hesap tekniği randımanlı olup hızlı yakınsaklaşmaktadır. Ancak metod gerçek problemlerde geniş bilgisayar bellek kapasitesi gerektirmektedir.

## İNGİLİZCE ÖZET - SUMMARY

### APPLICATION OF SYSTEMS ANALYSIS TO WATER RESOURCES DEVELOPMENT WITH SCARCE HYDROLOGICAL AND ECONOMICAL DATA

In water resources development problems, the application of systems analysis methods which combines economical and engineering aspects to obtain optimum results is becoming common. The hydrometeorological, hydrological and economical data needed for systems analysis includes inadequacies, inaccuracies, and uncertainties. Adequate data can be defined as the amount which makes the total project cost minimum. Total project cost is the summation of project cost and data collection and processing cost. Projects should include flexible decisions rather than irreversible decisions for protection against inadequate data.

Inadequate data affects water resources systems analysis in three aspects: Choice of the model, the estimation of parameters of a chosen model and transferring development policy goals into the model. The extensive methodology and literature survey which is included in this report, can be helpful in model selection. After a model is selected, sensitivity analysis methods would be useful in determining the effect of data inaccuracies on optimum results. In this report sensitivity analysis methods are surveyed for linear models with deterministic and probabilistic coefficients. A numerical example is presented for sensitivity analysis on nonlinear models.

Cost relations as a function of decision variables are obtained for following water resources systems: Capital cost, operation and maintenance costs of dams, hydropower stations, irrigation and municipal water supply systems. These relations can be used in system analysis application after corrected by an inflation index.

A reservoir operation optimization procedure was proposed utilizing policy iteration technique and dynamic programming. The procedure was illustrated by three example. Policy iteration problems can be applied to a wide range of problems with long planning horizon. The technique is advantageous from numerical computations and convergence view points. But it requires large computer memory.



## KAYNAKLARIN LİSTESİ

1. Waziruddin, S., D.Altınbilek, "Aşağı Ceyhan-Aslantaş Projesi için Matematiksel Modelleme ve Optimizasyon Çalışması", TBTAk, MAG-296, Kesin Rapor, 1973.
2. Draper, N.R., ve H.Smith, "Applied Regression Analysis", John Wiley, New York, 1966.
3. Brown, R.G., "Smoothing, Forecasting and Prediction of Discrete Time Series", Prentice Hall, Engelwood Cliffs, N.J., 1963.
4. Hadley, G., "Nonlinear and Dynamic Programming", Addison-Wesley Pub. Co., Reading, Mass., 1964.
5. James, L.D., R.R.Lee, "Economics of Water Resources Planning", Mc Graw-Hill Co., 1971.
6. Kuiper E., "Water Resources Project Economics", Butterworths, London, 1971.
7. Dantzig, G.B., "Linear Programming and Extensions", Princeton Univ. Press, Princeton, N.J., 1963.
8. Hadley, G., "Linear Programming", Addison-Wesley Pub.Co., Reading, Mass, 1962.
9. "UHELP Linear Programming Program, User's Manual", Document No. CC-75-10-P030, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektronik Hesap Merkezi, Ekim, 1975.
10. "Mathematical Programming System Extended, MPSX, User's Guide", Document no. CC-76-01-P032, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektronik Hesap Merkezi, 1976.
11. Gomory, R.E., "An Algorithm for Integer Solutions to Linear Programs", "Recent Advances in Mathematical Programming", editor: R.L.Graves ve P.Wolfe, Sayfa 269-303, McGraw-Hill Book Co. New York, 1963.
12. Llewellyn, R.W., "Linear Programming", Holt, Rinehart and Winston, New York, 1964.
13. Lawler, E.L., ve D.E. Wood, "Branch-and-Bound Methods: A Survey", Operations Research, 14(4), Sayfa 699-719, 1966.

14. Madansky, A., "Linear Programming Under Uncertainty", "Recent Advances in Mathematical Programming", editor: R.L. Graves ve P.Wolfe, Sayfa 103-111, McGraw-Hill Book Co., New York, 1963.
15. Charnes, A. ve W.W.Cooper, "Chance-Constrained Programming", Management Science, 6, Sayfa 73-80, 1959.
16. Mannos, N., "An Application of Linear Programming to Efficiency in Operation of a System of Dams", Econometrica, 23(3), Sayfa 335-356, 1955.
17. Masse P., ve R. Gilbrat, "Application of Linear Programming to Investment in the Electric Power Industry", Management Science, 3(2), Sayfa 149-166, 1957.
18. Lynn, W.R., "Stage Development of Waste Water Treatment Works", Journal of Water Pollution Control Federation, 36(6), Sayfa 722-751, 1964.
19. Pavelis, G.A., ve J.F.Timmom, "Programming Small Watershed Developments, Journal of Farm Economics, 42(2), Sayfa 225-240, 1960.
20. Dorfman, R., "Mathematical Models: The Multistrukture Approach", "Design of Water-Resources Systems", editörler: Maass, Hufschmidt, Dorfman, Thomas, Marglin, Fair; Sayfa 494, 539, Harvard University, Press, Cambridge, Mass., 1962.
21. Manne, A.S., "Linear Programming and Sequential Decisions", Management Science, 6(3), Sayfa 259-267, 1960.
22. Manne, A.S., "Product-mix Alternatives: Flood Control, Electric Power and Irrigation", Cowles Foundation Paper No. 175, Yale University, New Haven, Conn., 1960.
23. Thomas, H.A., ve P.Watermeyer, "Mathematical Models: A Stochastic Sequential Approach", "Design of Water-Resources Systems", Editörler: Maass ve diğerleri, Sayfa 540-564, Harvard Univ.Press, Cambridge, Mass., 1962.
24. Thomas, H.A., ve R.Revelle, "On Efficient Use of the High Aswan Dam for Hydropower and Irrigation", Management Science, 12(8), Sayfa B 296-B311, 1966.

25. Dracup, J.A., "The Optimum Use of a Ground-Water and Surface-Water System: A Parametric Linear Programming Approach", Contribution No. 107, Water Resources Center, Univ. of Calif., Berkeley, 1966.
26. Hall, W.A., ve R.W. Shephard, "Optimum Operations for Planning of a Complex Water Resources System", UCLA, Engineering Report No. 67-54, Water Resources Center, University of California, Los Angeles, 1967.
27. Lynn, W.R., J.A. Logan ve A. Charnes, "Systems Analysis for Planning Waste Water Treatment Plants", Journal of Water Pollution Control Federation, 34(6), Sayfa 565-581, 1962.
28. Deininger, R.A., "Water Quality Management-The Planning of Economically Optimal Pollution Control Systems", Proceedings, First Annual Meeting of American Water Resources Association, Sayfa 254-282, Chicago, 1965.
29. Loucks, D.P., C.S. Revelle, ve W.R. Lynn, "Linear Programming Models for Water Pollution Control", Management Science, 14(4), Sayfa B166-B181, 1967.
30. Liebman, J.C., ve D.H. Marks, "Balas Algorithm for Zoned Uniform Treatment", Journal of Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers, 94 (SA4), Sayfa 585-593, 1968.
31. Bellman, R.E., "Dynamic Programming", Princeton Univ. Press, Princeton, N.J. 1957.
32. Bellman, R.E., ve S.E. Dreyfus, "Applied Dynamic Programming", Princeton Univ. Press, Princeton, N.J., 1962.
33. Buras, N., "Dynamic Programming in Water Resources Development", "Advances in Hydroscience", Cilt 3, Editor, V.T. Chow, Sayfa 367-409, Academic Press, New York, 1966.
34. Hall, W.A., ve N. Buras, "The Dynamic Programming Approach to Water Resources Development", Journal of Geophysical Research, 66(2), Sayfa 517-520, 1961.

35. Hall W.A., "Optimum Design of Multiple-Purpose Reservoir", Journal of Hydraulic Division, American Society of Civil Engineers, 90 (HY4), Sayfa 141-149, 1964.
36. Young, G.K., "Finding Reservoir Operating Rules", Journal of Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers, 93 (HY6), 297-321, 1967.
37. Hall W.A., W.S. Butcher ve A. Esagbue, "Optimization of the Operation of a Multiple Purpose Reservoir by Dynamic Programming", Water Resources Research, 4(3), Sayfa 471-477, 1968.
38. Amir, R., "Optimum Operation of Multi-Reservoir Water Supply System", Report No. EEP-24, Department of Engineering-Economic Planning, Stanford Univ., Palo Alto, Calif. 1967.
39. Buras, N., "A Three-Dimensional Optimization Problem in Water Resources Engineering", Operations Research Quarterly, 16(4), Sayfa 419-427, 1965.
40. Meier, W.L. ve C.S. Beightler, "An Optimization Method for Branching Multi-Stage Water Resources Systems", Water Resources Research, 3(3), Sayfa 645-652, 1967.
41. Schweig, Z., ve J.A. Cole, "Optimum Control of Linked Reservoirs", Water Resources Research, 4(3), Sayfa 479-498, 1968.
42. Buras, N., ve W.A. Hall, "An Analysis of Reservoir Capacity Requirements for Conjunctive Use of Surface and Groundwater Storage", Pub. No. 57, Sayfa 556-563, International Association of Scientific Hydrology, Genbrugge, Belgium, 1961.
43. Buras, N., "Conjunctive Operation of Dams and Aquifers", Journal of Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers, 89 (HY6), Sayfa 111-131, 1963.
44. Buras, N., ve J. Bear, "Optimal Utilization of a Coastal Aquifer", 4 th International Congress of Agricultural Engineers, Lausanne, Switzerland, Pages 1-11, 1964.

45. Hall, W.A., "Aqueduct Capacity Under and Optimum Benefit Policy", Journal of Irrigation and Drainage Division, American Society of Civil Engineers, 87 (IR3), Sayfa 1-11, 1961.
46. Hall, W.A., ve W.S. Butcher, "Optimal Timing of Irrigation", J. of Irrigation and Drainage Div., American Society of Civil Engineers, 94 (IRZ), Sayfa 267-275, 1968.
47. Hall, W.A., ve T.G. Roefs, "Hydropower Project Output Optimization", Journal of Power Division, American Society of Civil Engineers, 92(1), Sayfa 67-79, 1966.
48. Kuhn, H.W., ve A.W. Tucker, "Nonlinear Programming", "Proceeding, Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability", editor J. Neyman, Sayfa 481-492, University of California Press, 1961.
49. Duffin, R.J., "Cost Minimization Problems Treated by Geometric Means", Operations Research, 10(5), Sayfa 668-675, 1962.
50. Duffin, R.L., E.L. Peterson ve C. Zener, "Geometric Programming-Theory and Application", Johny Wiley and Sons, New York, 1967.
51. Wilde, D.J., "Optimum Seeking Methods", Prentice-Hall Inc., Englewood, Calif. N.J., 1964.
52. Kuester, J.L., ve J.H. Mize, "Optimization Techniques with Fortran", McGraw-Hill Book Co., 1973.
53. Lynn, W.R., "Application of Systems Analysis to Water and Waste Treatment", Journal of American Water Works Assoc., 58(6), Sayfa 651-656, 1966.
54. Maass, A., M.M. Hufschmidt, R. Dorfmann, H.A. Thomas, S.A. Marglin, G.M. Fair, "Design of Water Resource Systems", Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1966.
55. Hufschmidt, M.M. ve M.B. Fiering, "Simulation Techniques for Design of Water-Resource Systems", Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass., 1966.

56. Lewis, D.J. ve L.A.Shoemaker, "Hydrosystem Power Analysis by Digital Computer", Journal of Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers, 88 (HY3), Sayfa 113-130, 1962.
57. Hall, W.A., ve J.A. Dracup, "Water Resources Systems Engineering", McGraw-Hill Book.Co., 1970.
58. Buras, N., "Scientific Allocation of Water Resources", Elsevier Pub.Co., 1972.
59. Stephenson, D., "Optimum Design of Water Resource Projects", Journal of Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers, 96(HY6), Sayfa 1229-1246, 1970.
60. Revelle, C., E.Joeres ve W.Kirby, "The Linear Decision Rule in Reservoir Management and Design", Water Resources Research, 5(4), Sayfa 767-777, 1969.
61. Eastman J. ve C.Revelle, "Linear Decision Rule in Reservoir Management and Design", Water Resources Research, 9(1), Sayfa 29, 1973.
62. Nayak, S.C. ve S.R.Arora, "Optimal Capacities, for a Multireservoir System Using a Linear Decision Rule", Water Resources Research, 7(3), Sayfa 485-498, 1971.
63. Windsor, J.S. ve V.T.Chow, "Multireservoir Optimization Model", Journal of Hydraulic Division, American Society of Civil Engineers, 98(10), 1972.
64. Karmeli, D., Y.Gadish ve S.Meyers, "Design of Optimal Water Distribution Networks", Journal of Pipeline Division, American Society of Civil Engineers, Ekim, 1968.
65. Calhoun, C.A., "Optimization of Pipe Systems by Linear Programming", "Control of Flow in Closed Conduits", editor J.P.Tullis, Colorado State Univ. Press, 1971.
66. Case, E.C., ve J.White, "A Linear. Programming Formulation of a Water Supply Problem", Transactions, AIIE, 4(2), Sayfa 85-91, 1972.
67. Kally, E., "Computerized Planning of the Least Cost Water Distribution Network", Water and Sewage Works, No. 119, 1972.

68. Clyde C.G. ve A.B.King, "Optimal Allocation of Water Resources in Utah", Journal of Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers, 99(HY10), Sayfa 1777-1794, 1973.
69. Alam, A.M.Z., "Optimization Model For Churchill River Diversion", Journal of Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers, 98(HY8), Sayfa 1351-1366, 1972.
70. Butsch, R.J. "Reservoir System Design Optimization", Journal of Hydraulic Division, ASCE, 96(HY1), Sayfa 125-130, 1970.
71. Harboe, R.C., F.Mobasheri, W.Yeh, "Optimal Policy for Reservoir Operation", Journal of Hydraulic Division, ASCE, 96(HY11), Sayfa 2297-2308, 1970.
72. Croley, T.E., "Sequential Deterministic Optimization in Reservoir Operation", Journal of Hydraulic Div., ASCE, 100 (HY3), sayfa 443-459, 1974.
73. Trott, W.J., W.G. Yeh, "Optimization of Multiple Reservoir System", Journal of Hydraulic Div., ASCE, 99(HY10), 1973.
74. Mobasheri, F., ve R.C.Harboe, "A Two-Stage Optimization Model for Design of Multipurpose Reservoir", Water Resources Research, 6(1), Sayfa 22-31, 1970.
75. Saleem, Z.A., C.E.Jacob, "Optimal Use of Coupled Leaky Aquifers", Water Resources Research, 7(2), Sayfa 382-393, 1971.
76. Hinomoto, H., "Dynamic Programming of Capacity Expansion of Municipal Water Treatment Systems", Water Resources Research, 8(5), Sayfa 1178-1187, 1972.
77. Kuiper J. ve L.Ortolano, "A Dynamic Programming-Simulation Strategy For the Capacity Expansion of Hydroelectric Power System", Water Resources Research, 9(6), 1973.
78. Morin, T.L., "Optimal Sequencing of Capacity Expansion Projects", Journal of Hydraulic Div., ASCE, 99(HY10), 1973.

79. Morin T.L., A.M.Esogbue, "Some Efficient Dynamic Programming Algorithms for Optimal Sequencing and Scheduling of Water Supply Projects", Water Resources Research, 7(3), 1971.
80. Dudley, N.J., ve O.R.Burt, "Stochastic Reservoir Management and System Design for Irrigation", Water Resources Research, 9(3), 1973.
81. Hall, W.A. ve J.Hammond, "Preliminary Optimization of an Aqueduct Route", Journal of Irrigation Division, ASCE, 91(IR1), 1965.
82. Buras, N., ve Z.Schweig, "Aqueduct Route Optimization by Dynamic Programming", J. of Hydraulics Div., ASCE, 95(HY5), 1969.
83. Yang, K., T.Liang, ve I.Wu, "Design of Conduit System with Diverging Branches", J. of Hydraulics Div., ASCE, Ocak 1975.
84. Liang, T., "Design Conduit System by Dynamic Programming", J. of Hydraulics Div., ASCE, Mart 1971.
85. Argonan, Y., U.Shamir, E.Spivak, "Design of Optimal Sewerage System", J. of Environmental Eng. Div., ASCE, 99 (EE5), 1973.
86. Lee E.S. ve S.Waziruddin, "Applying Gradient Projection and Conjugate Gradient Method to Optimum Operation of Reservoirs", Water Resource Bulletin, Journal of American Water Resources Association, Eylül 1970.
87. Lee, E.S., ve S. Waziruddin, "Optimization of Water Resources Systems by the Gradient Projection and Conjugate Gradient Methods", Special Report 91, Kansas State University Bulletin, 1971.
88. Jacoby, S.L.S., "Design of Optimal Hydraulic Networks", Journal of Hydraulics Div., ASCE, 94(HY3), Sayfa 641-661, 1968.
89. Lam, C.F., "Discrete Gradient Optimization of Water Systems", Journal of Hydraulics Div., ASCE, Haziran 1973.



90. Shamir, U., "Optimal Design of Water Distribution Systems", Water Resources Research, 10 (1), Şubat, 1974.
91. Aron G. ve V.H.Scott, "Dynamic Programming for Conjunctive Water Use", Journal of Hydraulics Div., ASCE, 97(HY5), Sayfa 705-721, 1971.
92. Watanatada, T., "Least-Cost Design of Distribution Systems", J. of Hydraulics Division, ASCE, 99(HY9), 1973.
93. Liu, C., ve A.C.Tedrow, "Multilake River System Operation Rules", Journal of Hydraulics Div., ASCE, 99(HY9), Sayfa 1369-1381, 1973.
94. Carrol, J.L., ve M.S.Bronzini, "Simulation of Waterway Transport Systems", Journal of Transportation Eng., ASCE, 97(TE3), Sayfa 527-539, 1971.
95. McKean, Ronald, A., "Criteria for Selection of Water Resources Projects", Journal of Operation Research and Systems Analysis, 52(4), 1956.
96. Mobasheri, F., "Economic Evaluation of Water Resources Development Projects in a Developing Country", Water Resources Center, No. 126, Hydraulic Lab., University of California, Berkeley, 1968.
97. Altouney, E.G., "The role of Uncertainties in the Economic Evaluation of Water Resources Projects", Ph.D. Dissertation, Stanford University, Calif., 1963.
98. Coşkun, E., "Dinamik Programlamanın Su Kaynaklarının Geliştirilmesi Problemlerinde Kullanılışı", İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Bülten, Sayı 5, Mart 1971.
99. "Ankara Project, A Feasibility and Master Plan For Water Supply", Camp-Harris-Mesera, Cilt II, 1969.
100. Waziruddin, S. ve D.Altınbilek, "Mathematical Modelling and Optimization of the Ceyhan Aslantaş Project in Turkey", IAHR, XIV. Kongre, Cilt 4, İstanbul, 1973.
101. "Bursa Su Temini Projesi, Ana Plân ve Fizibilite Raporu", ODTÜ, Su Kaynakları Raporu, 2 Cilt, 1976.

102. Adigüzel, İ., "The Optimum Transmission Line Capacity and The Optimum Operation of Selahattin Saygı Dam", M.S. Tezi, ODTÜ, İnşaat Müh. Böl., 1976.
103. "Symposium on the Design of Water Resources Projects with Inadequate Data", Proceedings, 2 Cilt, Unesco, WMO, IAHS, Madrid, 1973.
104. "Decisions with Inadequate Hydrological Data", Proceedings, Second International Symposium, Colorado State University, 1973.
105. "Stochastic and Deterministic Modelling and Optimization Techniques for the Design Construction and Operation of Water Resources Systems", Cilt 4, Proceedings, XIV. Congress of IAHR, Istanbul, 1973.
106. Garcia-Martinez, L.E., "The Effect of Data Limitations on the Effect of Systems Analysis to Water Resources Planning in Developing Countries", Water Management, Tech. Report 7, Colorado State University, 1971.
107. Beale, E.M., "Mathematical Programming in Practice", John Wiley and Sons, 195. Sayfa, 1968.
108. Vajda, S. "Mathematical Programming", Addison-Wesley, 310 Sayfa, 1961.
109. Sinha, S.M., "Programming with Standard Errors in Constraints and the Objectives", "Recent Advances in Mathematical Programming", McGraw-Hill Co. Sayfa 121, 1963.
110. Rosen, J.B., "The Gradient Projection Method for Nonlinear Programming, Part I., Linear Constraints", J.Soc. Ind. Appl. Math., Vol. 8, 181-217, 1960.
111. Ticaret Bakanlığı, Konjonktür ve Yayın Müdürlüğü, Ocak-Aralık Dergisi, Seri A, Yıl 31, No. 1-12, Sayfa 14.
112. Hall, W.A. ve D.T.Howell, "The Optimization of a Single Purpose Reservoir Design with Application to Dynamic Programming to Synthetic Hydrology Samples", Journal of Hydrology, No 1, Sayfa 355-363, 1963.

113. Howard, R.A., "Dynamic Programming and Markov Processes", John Wiley, New York, 1960.
114. "Eskişehir İçmesuyu Projesi, Ana Plan ve Fizibilite Raporu", Dapta ve Black and Veatch Int., İller Bankası Genel Müdürlüğü, Cilt II, 1975.
115. Mesci, Ü., "Design Principles and Economic Analysis of Irrigation Systems In Turkey", Master Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, 159 Sayfa, 1972.
116. "Report on Pipeline Materials for Feeder and Distribution Mains to Serve the Principal Cities of Turkey", Binnie and Partners, London, 43 Sayfa, 1974.
117. "İzmir İçme Suyu Kati Projesi", Su-Teknik Müh. Bürosu, DSİ, Proje ve İnşaat Dairesi, 1975.
118. Altınbilek, D., M.Çalapöver, "Baraj İşletmesinin Değer Yineleme Metoduyla En İyilenmesi", Yöneylem Araştırması, 2. Ulusal Kongresi, ODTÜ, 1976.
119. Doğruyol, T., "A Study on Water Transmission Line Route Optimization and Water Distribution System Zoning", Master Tezi, İnşaat Müh. Böl., ODTÜ, 65 Sayfa, 1975.
120. Altınbilek, D., S.Sevük, "Bilgisayarlarla Boru Şebeke Hesapları", Üniversite Sonrası Kurslar Notları, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, 218 Sayfa, 1976.
121. "Master Plan and Feasibility Report for Water Supply and Sewerage for Istanbul Region", DAMOC, 1971.
122. Falkson, L., "An Application of Howard's Policy-Alteration Method for the Solution of Sequential Decision Processes to the Problem of Determining the Optimal Operation Procedure of a Water Resource System", Water Resources Group, Harvard University, Cambridge, Mass., 1961.
123. Waziruddin, S., "Computational Techniques for Optimization of Dynamic Operations Research Models", Doktora Tezi, Kansas State University, Kansas, 1971.
124. Çalapöver, H.M., "Optimization of Reservoir Operation Using Value Iteration Method", Master Tezi, ODTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Temmuz, 1975.