

T. C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

+ SULAMA SUYU AMAÇLI HAZNELERİN
ENİYİ İŞLETME POLİTİKALARININ DOĞRUSAL
MODEL İLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yöneten : Doç. Dr. Ferhat TÜRKMAN
Hazırlayan : İnş. Müh. Nesrin GİLASIN

T152/1-1

Ana Bilim Dalı : İNŞAAT
Programı : HİDROLİK

EYLÜL, 1987

ÖNSÖZ

Türkiye'nin sulama suyu gereksiniminin karşılanmasında ülkenin sulama suyu potansiyelinden azami ölçüde yararlanılması gerekmekte, bu potansiyelin ise özellikle baraj haznelerinden sağlanabileceği olası görülmektedir.

Ülkemizde mevcut $166 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'lık su potansiyelinin $80 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'lık kısmı sulamaya ayrılabilmekte ancak bunun günümüz teknolojisiyle büyük bir kısmı kullanılamamakta ve özellikle kurak dönemlerde su açığı doğmaktadır.

Bu çalışma ile sadece sulama amaçlı işletildiği düşünülen bir hazneden maximum geliri sağlayacak mevsimlik sulama suyu miktarlarını verecek doğrusal model tanıtılmakta, kurak ve sulak dönemler için elde edilen optimum sonuçlar verilmektedir.

Tez konusunun seçilmesinde ve yönetilmesinde değerli katkılarda bulunan Doç.Dr. Ferhat Türkman'a her türlü yakınlık ve desteği gösteren Doç.Dr. Ali Doğan'a, Araş.Gör Bilgi Akkaya'ya ve Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Bölümü elemanlarına, bilgisayar çalışmalarında yardımcı olan Ege Üniversitesi bilgisayar araştırma ve ulaştırma merkezinden Doç.Dr. Halis Püskülcü'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos, 1987, DENİZLİ

Nesrin Cilasın

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
SİMGELERİN LİSTESİ	V
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	VII
TABLoların LİSTESİ	VIII
ÖZET	IX
SUMMARY	X
BÖLÜM 1. GİRİŞ	
1.1. Amaç	2
1.2. Kapsam	3
BÖLÜM 2. ENİYİLEME YÖNTEMLERİ	
2.1. Giriş	5
2.2. Model, sistem, model kurma	5
2.3. Doğrudan matematik yöntemler	7
2.4. Marjinal analizler ve grafik yöntemler	8
2.5. Doğrusal Programlama	8
2.6. Eğrisel Programlama	9
2.6.1. Eğrisel Programlamanın Temel Esasları	9
2.6.2. Kuadratik Programlama	10
2.6.3. Geometrik Programlama	11
2.6.4. Arama Yöntemleri	11
2.7. Dinamik Programlama	12
2.8. Benzetim Yöntemi	13
BÖLÜM 3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA	
3.1. Doğrusal Programlamanın Tanımı	16
3.2. Doğrusal Programlama yönteminin Esasları	16
3.2.1. Doğrusallık	16
3.2.2. Bölünebilirlik	16
3.2.3. Toplanabilirlik	17
3.2.4. Sınırlılık	17
3.3. Doğrusal Programlamanın matematiksel tanımı	17
3.3.1. Genel	17
3.3.2. Amaç Fonksiyonu	18

3.3.3. Kısıtlar (Sınırlayıcılar)	18
3.3.4. Pozitiflik Koşulları	19
3.4. Genel Matematik Model	19
3.4.1. Modelin Matris notasyonu ile gösterilmesi	19
3.4.2. Modelin kurulmasında dikkat edil- mesi gereken kurallar	21
3.4.3. Modelin Çözüm Yöntemleri	21
3.4.3.1. Grafik Çözüm	21
3.4.3.2. Cebrik Çözüm	21
3.4.3.3. Simplex Yöntemi	22
3.5. LP Modelleri ve Bilgisayarlar	22
BÖLÜM 4. HAZNE SİSTEMLERİ VE ÇÖZÜMÜNDE KULLANILAN ENİYİLEME YÖNTEMLERİ	
4.1. Hazne Sistemlerinin Tanıtımı	24
4.2. Hazne sistemlerinin çözümünde temel yaklaşımlar	26
4.3. Hazne Sistemlerinin Çözümünde Kullanılan Eniyileme yöntemleri	27
4.3.1. Eniyileme Yöntemi Seçimi	
4.3.2. Eniyileme yöntemlerinin hazne sis- temlerine uygulanması	30
4.3.3. LP ile yapılmış hazne işletme ve boyutlandırma çalışmaları	34
BÖLÜM 5. GEDİZ HAVZASININ TANITIMI VE MODEL İÇİN GEREKLİ BÜYÜKLÜKLERİN BELİRLENMESİ	
5.1. Havzanın tanıtılması	38
5.2. Sulama açısından gelişmeyi gerektiren nedenler	39
5.3. Havza ile ilgili yapılmış çalışmalar ...	40
5.4. Havzadaki hazne ve sulama sistemleri ...	40
5.4.1. Demirköprü	40
5.4.2. Hazneden yararlanan sulama sistemleri	43
5.5. Model için gerekli sayısal değerlerin belirlenmesi	47
BÖLÜM 6. AŞAĞI GEDİZ SULAMALARININ DOĞRUSAL MODELİ	
6.1. Modelin genel yapısı	51
6.2. Doğrusal Model	53

6.2.1. Amaç Fonksiyonu	53
6.2.2. Kısıtlar	54
6.2.2.1. Hazne Kısıtları	54
6.2.2.2. Sulama Kısıtları	55
6.2.2.2.1. Adala Sula- maları	55
6.2.2.2.2. Ahmetli Sula- maları	56
6.2.2.2.3. Menemen Sula- maları	57
BÖLÜM 7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	58
BÖLÜM 8. KAYNAKLAR	65
BÖLÜM 9. EKLER	
EK-A: - GİRİDİ LİSTESİ	
EK-A: - ÇIKTI LİSTESİ	
EK-C: - NAG Kullanım Örneği	
BÖLÜM 10. ÖZGEÇMİŞ	72

SİMGELERİN LİSTESİ

- B_t : t zaman süresi içinde hazne yüzeyinden buharlaşma ile oluşan kayıplar.
- B_k : Kış mevsimu boyunca hazne yüzeyinden buharlaşma ile oluşan kayıplar.
- B_I : ilkbahar mevsimi boyunca hazne yüzeyinden buharlaşma ile oluşan kayıplar.
- B_y : Yaz mevsimi boyunca hazne yüzeyinden buharlaşma ile oluşan kayıplar.
- B_s : Sonbahar mevsimi boyunca hazne yüzeyinden buharlaşma ile oluşan kayıplar.
- C_t : Sulama için t zaman süresine bırakılan akım
- G_t : t zaman süresi içinde sistem dışından giren akımlar.
- k : Blaney Criddle formülünde aylık bitki su gereksinimi katsayısı,
- N : Sistemdeki hazne sayısı
- p : Blaney Criddle formülünde aylık gündüz saatli toplamının yıllık gündüz saatleri toplamına oranı.
- Q_{min} : Akarsudan denize bırakılan minimum su miktarı.
- Q_{njik} : Sulama yerine, mevsimine ve diğer parametrelere bağlı sulama suyu seçeneği.
- Q_{yillik} : Yıllık sulama suyu miktarı
- Q_k : Kış mevsiminde hazneye giren akım,
- Q_I : ilkbahar mevsiminde hazneye giren akım,
- Q_y : Yaz mevsiminde hazneye giren akım,
- Q_s : Sonbaharda hazneye giren akım
- S_t : t zaman süresince savaklanan akım.
- S : Gelir-sulama suyu ilişkisi eğrisinde doğrusallaştırılan kısmın eğimi.
- S_{njik} : İçinde bölgede yetişen bitki türü, miktarı, geliri, bölgesi vb. parametreleri içeren gelir-sula-

ma seçeneği için eğim değeri.

- S_k : Kış mevsiminde sulamaya verilebilecek sulama suyu miktarı.
- S_I : ilkbahar mevsiminde sulamaya verilebilecek sulama suyu miktarı.
- S_y : Yaz mevsiminde sulamaya verilebilecek sulama suyu miktarı
- S_s : Sonbahar mevsiminde sulamaya verilebilecek sulama suyu miktarı.
- t : Blaney Criddle formülünde aylık ortalama sıcaklık
- u : Blaney Criddle formülüyle bulunan aylık bitki su gereksinimi (mm/ay)
- V_t : t zaman süresinde hazne hacmi.
- V_{max} : Maximum hazne hacmi.
- V_{min} : Minimum hazne hacmi.
- V_{ort} : Ortalama hazne hacmi.

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

No:	Adı	Sayfa
2-1	Benzetim modelinin genel şeması	14
2-2	Benzetim yöntemiyle yapılacak bir araştı- tırmanın akış diyagramı	15
4-1	Tek hazneli basit sistem	24
4-2	Çok hazneli paralel sistem	25
4-3	Çok hazneli Seri Sistem	25
4-4	Çok hazneli karmaşık sistem	26
4-5	Eniyileme yöntemlerinin uygulama sırası ..	28
4-6	Hazne sistemlerinin eniyilenmesinde uy- gulanan yaklaşımlar	29
5-1	Gediz Havzasındaki tesisler ve Su Kulla- nımı akış Şeması	44
5-2	Gediz Nehri Havzası ve Aşağı Gediz Sulamaları	45
5-3	Gelir-Sulama Suyu Gereksinimi ilişkisi ...	49
6-1	Eniyilenmesi yapılan Aşağı Gediz Sulama Sistemlerinin Şeması	51
6-2	Modelin çözüm akış şeması	52
7-1	Tablo 7-1 deki koşullarda Demirköprü haznesinin mevsimsel işletme politikası ..	59
7-2	Tablo 7-2 deki koşullarda Demirköprü haznesinin mevsimsel işletme politikası ..	60
7-3	Tablo 7-3 deki koşullarda Demirköprü haznesinin mevsimsel işletme politikası...	61
7-4	Tablo 7-4 deki koşullarda Demirköprü haznesinin mevsimsel işletme politikası ..	62
7-5	Tablo 7-5 deki koşullarda Demirköprü haznesinin mevsimsel işletme politikası ..	63

TABLolarIN LİSTESİ

No:	Adı	Sayfa
5-1	Demirköprü haznesinin karakteristikleri ..	41
5-2	Demörköprü haznesinden oluşan net bu- harlaşma değerleri	41
5-3	Demirköprü barajı aylık akımları	42
5-4	Aşağı Gediz Sulamalarının Sayısal ka- rakteristikleri	46
5-5	Havzaya özgü sayısal değerler	48
5-6	Mevsimlik gelirler ve sulama suyu ge- lirleri	50
6-1	Amaç fonksiyonu-sulama Seçeneği katsayıları	54
7-1	Kurak bir yılda başlangıç değeri olarak haznede asgari su seviyesi kabul edilerek ve işletme periyodu sonunda hazne hacmine kısıt konulmadan yapılan çalışmanın sonuç- ları	59
7-2	Kurak bir yılda başlangıç değeri olarak haz- nede ortalama su seviyesi kabul edilerek ve işletme periyodu sonunda hazne hacmi- nin ortalamada olması istenen çalışmanın sonuçları	60
7-3	Sulak bir yılda başlangıç değeri olarak haz- nede ortalama su seviyesi kabul edilerek ve işltme periyodu sonunda hazne hacmine kısıt konulmadan yapılan çalışmanın sonuç- ları	61
7-4	Sulak bir yılda başlangıç değeri olarak haznede ortalama su seviyesi kabul edile- rek ve işletme periyodu sonunda hazne hac- minin ortalamada olması istenen çalışmanın sonuçları	62
7-5	Sulak bir yılda başlangıç değeri olarak haz- nede asgari su seviyesi kabul edilerek ve işletme periyodu sonunda hazne hacminin kı- sıtsız olduğu durumda yapılan çalışmanın sonuçları	63

CİLASIN, N.(1987): "Sulama suyu amaçlı haznelerin en iyi işletme politikalarının doğrusal model ile belirlenmesi", Isparta, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hidrolik Programı Yüksek Lisans tezi.

ANahtar Kelimeler: Eniyileme, doğrusal programlama, matematiksel modelleme, sulama suyu temini.

ÖZET

Ülkemizde genel su bütçesine bakıldığında sulama için yeterli su bulunduğu gözlenmekte, ancak yerel olarak su potansiyelinin sulama için yetersiz kaldığı pekçok bölge bulunmaktadır. Özellikle kurak dönemlerde sulama suyu açığı daha da belirginleşmektedir.

Bu çalışmada, Aşağı Gediz Sulamalarının mevcut sulama suyu potansiyelinden eniyi şekilde yararlanmak, diğer bir deyişle sulama sahasına kıt su kaynağını sahadan en büyük geliri alacak şekilde paylaştırmak üzere doğrusal modelle kurulmuş, sulama suyu gereksinimini karşılayacak Demirköprü haznesinin eniyi işletme politikası belirlenmiştir.

Aşağı Gediz Sulamalarının 3 ay zaman periyodlu, 72 karar değişkenli 28 kısıtlı doğrusal modeli kurularak, Gediz nehrinin kurak ve sulak dönemleri Demirköprü haznesinin değişik başlangıç koşullarına göre 5 kez lineer program kullanılarak çözülmüş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

CHLASIN, N, (1987) : Determination of the optimal operation policy by linear modelling for reservoirs supplying irrigation Water. Keywords: Optimization, lineer proppramming, mathematical modelling, irrigation water supply.

SUMMARY

The general water budget of Turkey shows ample sources for irrigation yet locally in several regions lack of irrigation water appears to be significant. Deficit of irrigation water becomes more apparent especially in dry seasons.

In this study, a lineer model for Lower Gediz Irrigation system is prepared in order to optimize the limited irrigation water potential of the area, in other words to distribute available irrigation water such as to maximize the income obtained from the area. To achieve this goal, optimum operating policy of Demirköprü reservoir is determined.

The lineer model prepared for the Lower Gediz Irrigation System includes 72 decision variables, 28 constraints for an application period of 3 months. Dry and wet seasons of Gediz river is solved five times for the different initial conditions of the Demirköprü reservoir and the results evaluated.

1. GİRİŞ

1.1. Amaç

Dünya nüfusunun hızla artışına karşılık toprak kaynaklarının sınırlı kalması, insanların besin ve tarıma dayalı gereksinimlerini kısıtlamaktadır. Çağdaş gelişmeye paralel olarak daha da artan gereksinimler ancak birim alandan alınacak ürün artışıyla karşılanabilir. Üretimdeki artış, sulama, gübreleme, tarımsal mücadele, yüksek verimli tohum kullanılması ve modern bir teknolojinin uygulanması ile gerçekleşir. Bunlardan en etkilisi sulama olup diğer etkenlerle birlikte birim alandan alınan ürünü kuru tarıma göre 5-10 kat arttırmaktadır. Bu nedenle bütün dünyada sulama büyük önem kazanmaktadır.

Arazilerinin büyük bir kısmını kurak ve yarı kurak toprakların oluşturduğu memleketlerde ürünün sulama yolu ile arttırılması tarım faaliyetlerinin önemli bir kısmını oluşturur. Günümüzde sulama yapılmaksızın insanlığın gereksinim duyduğu ürünü sağlama olasılığı yoktur.

Ülkemizde devlet eliyle ilk sulamanın 20. yüzyılın başlarında Osmanlı Devleti zamanında Konya ovasında başladığını görmekteyiz. Büyük boyutlarda sulama şebekelerinin inşasına 6200 Sayılı yasa gereği 1954 yılında DSI Genel Müdürlüğünün kurulması ile başlanmıştır. 1965 yılına kadar klasik şebekeli sulamalar inşa edilmiş, bu tarihten sonra batı ülkelerinde uygulanan prefabrik bir inşaat olan kanaletli sulama şebekelerinin uygulaması yaygınlaşmıştır.

Türkiye'nin büyük bir kısmı genellikle yarı kurak Akdeniz ikliminin etkisindedir. Yağış alan bölgelerimizde de yağışın sulama periyodlarına rastlamaması nedeniyle sulamaya gerek duyulmaktadır.

Türkiye'de mevcut tarım alanları 25 milyon hektar olarak belirlenmiştir. Bu alanın günümüz teknolojisiyle limitler içinde 8.5 milyon hektarının sulanabileceği

saptanmıştır. Ancak bu alan değişen ekonomik koşullara bağlı olarak daha da artabilir.

Türkiye'de yıllık ortalama yağış 670 mm.dir. Buna karşılık gelen su potansiyeli $518 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'dır. Bunun akış haline geçen kısmı 214 mm veya $166 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'dır. Bu değerlerin tamamının sulamada kullanılmasına çeşitli nedenlerle olanak yoktur. Bu nedenlerden bazıları şöyle sıralanabilir:

1. Komşu ülkelere akan Fırat, Dicle, Aras, Arpaçay gibi nehirlerin sularının bir kısmının onların hak ve gereksinimleri için ayrılması,

2. Deniz sularının, akarsuların denize döküldükleri yerlerden içeri girmesini engellemek için bir miktar suyun denize bırakılması,

3. Suların kirlenmesini önlemek ve doğal yaşamı korumak için akarsuyun tamamen kurutulmaması,

4. Bazı havzaların depolama olanağı vermemesi ve depolama sırasında kaçınılmaz kayıpların oluşması.

Ayrıca enerji üretimi, içme ve kullanma suyu gibi diğer gereksinimlere de büyük miktarlarda pay ayrılması gerekir.

Bu nedenlerle sulamada kullanılacak yüzeysel su potansiyelinin $80 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olduğu kestirilmektedir. Bu sular düzenlendiği takdirde 17,5 milyon hektar arazinin sulanması sağlanabilecektir. Dolayısıyla sulama için su kaynaklarımızın ülkemiz genelinde yeterli olduğu söylenebilir (KIZILKAYA, 1983).

Ancak yerel olarak su potansiyelinin sulama için genelde yetersiz kaldığı pekçok bölge bulunmaktadır. Özellikle kurak dönemlerde bu açık daha da belirginleşmektedir. Havzalar arası sulama suyu iletiminin ise oldukça pahalı yatırımlar getireceği açıktır.

Bu nedenle mevcut su kaynaklarının en iyi şekilde değerlendirilmesi gerekmekte ve sorunun çözümü için su kaynakları sistemlerinin çözümünü istenilen duyarlılıkta verecek, sistemin tüm yönlerini kapsayan matematiksel modellerin kurulması gerekmektedir (TÜRKMAN, 1982).

Bu çalışmanın amacı mevcut sulama suyu potansiyelinden en iyi şekilde yararlanmak, diğer bir deyişle sulama sahasına kit su kaynağını, sahadan en büyük geliri alacak şekilde paylaşdırmak üzere sulama suyu gereksimimini karşılayacak haznenin eniyi işletme politikasını doğrusal matematik model kurarak belirlemek olmaktadır.

1.2. Kapsam

Bu çalışma Aşağı Gediz sulamalarına Gediz nehrinin değişik akım koşulları altında verilecek suyun bölgenin toplam tarımsal gelirini en büyük kılacak şekilde belirlenmesini kapsamaktadır. Gerçekte oldukça karmaşık hidrolojisi olan Gediz nehri makul bir model kurmak için oldukça basitleştirilmiş bir hale getirilecek, akımları düzenliyen hazne olan Demirköprü haznesi çok amaçlı (enerji üretimi, taşkın kontrolu, sulama suyu temini) hizmet görmesine rağmen sadece sulama suyu düzenlenmesi amacına yönelik işletileceği varsayılarak basitleştirilmiş bu sulama sisteminin mümkün olduğunca gerçek değerleri kullanılarak kurulacak doğrusal model Gediz mehrinin değişik su verimleri ve Demirköprü haznesinin değişik başlangıç koşulları altında çözülecektir.

Çalışmanın ikinci bölümünde matematiksel modelleme ve eniyileme yöntemleri öz olarak tanıtılacaktır.

Üçüncü bölümde çalışmada önerilen sistem yaklaşımı çerçevesinde kullanılan temel kavramlar verilecek ve doğrusal programlama genel özellikleriyle tanıtılacaktır.

Dördüncü bölümde hazne sistemleri tanıtılacak, bir problemin çözümü için kullanılabilecek eniyileme yöntemi

seçimi ve hazne sistemlerinin eniyilenmesinde başlıca araştırmacıların benemsemiği yol belirtilerek; hazne sistemlerine eniyileme yöntemlerini uygulama çalışmaları ve özellikle doğrusal programlama yöntemi kullanılarak yapılmış hazne işletme ve boyutlandırma çalışmaları özetlenecektir.

Beşinci bölümde modellemesi yapılacak havza coğrafi, topografik, ekonomik ve sosyal özellikleriyle tanıtılacak, sulama açısından gelişmeyi gerektiren nedenler, bugüne kadar havza ile ilgili yapılmış çalışmalar özetlenecek ve havzadaki hazne sistemlerinin özellikleri ile sayısal değerleri verilecektir.

Altıncı bölümde havzaya göre doğrusal modelin kuruluşu amaç fonksiyonu ve kısıtlar tanımlanacaktır.

Yedinci bölümde ise model paket bir bilgisayar programı yardımıyla çeşitli hidrolojik durumlar için çözülecek sonuçlar verilecek ve irdelenecektir.

2. ENİYİLEME YÖNTEMLERİ

2.1. Giriş

Kaynakların amaçlar arasında ekonomik olarak paylaşımına eniyileme veya optimizasyon denir. Su kaynakları projelerinde optimum çözümün bulunması ile, su kaynağının hangi amaçlarla ve ne ölçüde kullanılacağı, bu sırada hangi tesislerin kurulması gerektiği ve bunların büyüklükleri de bulunmuş olur. Su kaynakları plânlamasında asıl amaç, teknik yönden yapılması olası seçenekler arasından ekonomik yönden optimum olanın bulunmasıdır (KARATABAN, 1976).

Su kaynakları plânlaması sürecinin en önemli aşamalarından birisi plânlamada veya sistemlerin analizinde matematik modellerin kurulmasıdır. Modelleme konusu bölüm 2.2.de, sistemin ve problemin yapısı kurulacak model ve çözüm yöntemleri ise bölüm 4 ve 5'de özetlenmiştir.

2.2. Model, Sistem, Model Kurma

Model, gerçek sistemlerin idealize edilmiş, başka bir deyişle soyutlanmış şeklidir. İnceleme konusu gerçek bir sistem ise modelin amacı, sistemin performansını geliştirmek ve sistemin davranışlarının analizidir. İnceleme konusunun uygulamaya konulmak üzere düşünülen (hayali) bir sistem olması halinde ise modelin amacı, sistemin bileşenleri arasında fonksiyonel ilişkileri içeren ideal yapısını tanımlamaktır (HALAÇ, 1978).

Modelden elde edilecek çözümün güvenilirliği, gerçek sistemin temsili olan modelin geçerliliğine bağlıdır. O halde modelden elde edilen çözüm, modelle temsil edilen hayali sisteme uygulanır ve modelin geçerliliği denenir. Gerçek ve varsayılan sistem modellerinin çözümleri arasındaki fark doğrudan doğruya orijinal sistemin davranışlarını tanımlayan modelin doğruluğuna bağlıdır.

Genel olarak modeller (1). uyuşum (iconic), (2). benzeşim (analogue) ve (3). sembolik (matematik) olarak sınıflanmaktadır.

Uyuşum modeli fiziksel bir büyüklüğün belirli bir ölçekle gösterimidir (Maketler vs..). Benzeşim modellerinde gerçek büyüklükler tanımı ve üzerinde işlem yapılması kolay diğer büyüklükler kümesi ile temsil edilir. Benzeşim modeli çözüldükten sonra çözüm orijinal sisteme dönüştürülür. Örneğin; frekans dağılımları, PERT-CPM şebeke diyagramları, grafikler, karar ağaçları vb... Matematik model ise incelenen sistem veya problemin matematik anlamda semboller takımı ile temsil edilmesidir. Soyutlamada sistemin karar değişkenleri esas alınır. Problemin çözümü, matematik teknikleri modele uygulayarak elde edilir. Matematik modeller sisteme bakışı tam yansıtmayıp, sistemi örneklerle açıklamayı, ekonomik ve fiziki sonuçları görmeyi sağlar.

Bunlardan başka bilgisayarların gelişimi ile iki yeni model kurma tekniği daha geliştirilmiştir. Simülasyon modelleri ve ilkesiz yaklaşım (heuristik) modelleri. Simülasyon modelleri sayısal (digital) bilgisayar kullanarak bir sistemin davranışını çok sayıda deneme ile inceleme işlemidir. Matematik olarak formüle edilemeyen karmaşık sistemleri inceleme olanağı simülasyonla sağlanabilir. Dolayısıyla simülasyon modellerinin matematik modellere göre daha esnek bir özelliği vardır (HALAÇ, 1978).

Modeller değişik kriterlere göre de sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma şu başlıklar altında toplanabilir.

1. Uyuşum modeli,
2. Kalitatif model,
3. Kantitatif model,
 - a. İstatistik model,
 - b. Benzeşim modeli,
 - c. Matematik model.

Diğer bir sınıflandırma incelenen sistemin davranışları açısından yapılmaktadır.

1. Deterministik (gerekirci) model,
2. Probabilistik (olasılıklı) model,
3. Stokastik (rastlansal) model.

Davranışları açısından yapılan bu sınıflama sonucu sistem bu sınıflardan birine sokulabilmekte ve çözüme uygun eniyileme yöntemleri kullanılarak gidilebilmektedir.

Modelin kuruluş yapısına göre amaç fonksiyonu doğrusal, eğrisel, sürekli, kesikli, gerekirci veya olasılıklı ifadelerden oluşturulmakta ve kendisini en büyük veya en küçük yapan karar değişkenleri "en iyi" olarak nitelendirilmekte, kısıtlar ise eşitlik, eşitsizlik veya bunların karışımı şeklinde ifade edilmektedir (TÜRKMAN, 1982).

2.3. Doğrudan Matematik Yöntemler

Doğrudan matematik yöntemler amaç fonksiyonunun en iyi değerlerini yinelemeye (iterasyon) gerek olmadan verirler, ancak basit alt sistemlerin eniyilenmesinde kullanılabilirler (TÜRKMAN, 1982).

Doğrudan matematik yöntemler içinde differansiyel yöntemler Isaac Newton zamanından beri bilinen eniyileme yöntemleri olup ancak kısıtlayıcı koşulları olmayan modeller için kullanılabilir. Kısıtları bulunan modeller için Lagrange çarpanları kullanılabilir. Böyle bir problem için fonksiyonu:

$$Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.1)$$

ve kısıtlar

$$g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = G_i, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilebilir (SOKOLNIKOFF, 1966). Eğer '2.1' ve '2.2' ile ifade edilen fonksiyonların herikisinin de diferansiyeli varsa ve enaz biri doğrusal değilse, Lagrange çarpanları $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$ kullanılarak ve '2.3' de verilen fonksiyonun $x_1, x_2, \dots, x_n$ 'e ve $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ 'e göre diferansiyeli alınarak problem çözümlenir.

$$L = f(x_1, x_2, \dots, x_n) - \sum_{i=1}^m \lambda_i (g_i - G_i) \quad (2.3)$$

Kısıtların eşitsizlik olması halinde de çözüm benzer şekilde bulunabilir (ADBY, 1978).

Lagrange çarpanları, diferansiyel yöntemlerle aynı dezavantajlara sahip olmakla beraber dinamik programlama problemlerinde boyutluluğu azaltmakta yararlıdır (ALTINBİLEK, 1976).

2.4. Marjinal analizler ve grafik yöntemler

Marjinal analizler ve grafik yöntemler birbirleriyle yakından ilgili tekniklerdir (JAMES, 1971; KUIPER, 1971). Grafik eniyileme yöntemleri, model fonksiyonlarının çok sayıda değişkene bağlı olmadığı hallerde kullanılabilir ve basit sistemlerin çözümünde modern ancak nispeten karmaşık yöntemlerden daha yararlı olabilmektedir. Marjinal analiz yöntemi ise amaç fonksiyonunun sürekli, ancak diferansiyelinin olmadığı durumlarda yararlı olmaktadır.

2.5. Doğrusal Programlama

Doğrusal amaç fonksiyonu ve doğrusal sınırlayıcı koşullarla ifade edilebilen sistemler doğrusal programlama tekniği ile eniyilenebilir. Doğrusal programlama probleminin ifade şekli ve özellikleri 3. bölümde belirtilmiştir.

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

olması, çözüm sahasının dışbükey olma zorunluluğu, zaman ve alan içinde birbirlerini takip eden kararlardan oluşan sistemlerde denklem sayısının çok artmasıdır (GÜREL, 1966)

Doğrusal programlama problemlerinin çözümü için, en tanınmış Simplex algoritması olmak üzere grafik ve analitik yöntemler vardır. (HADLEY, 1962; DANTZİG, 1963). Ayrıca doğrusal programlamanın bilgisayar yardımı ile çözülebilmesi için çok sayıda hazır paket program vardır (ODTÜ, 1975; ODTÜ, 1976).

Doğrusal programlama formülasyon ve çözüm kolaylığı nedenleri ile sistemlerin eniyilenmesinde yaygın şekilde kullanılmakta ancak rastlansal değişkenleri, içbükey ve eğrisel fonksiyonları zaman veya alan içinde ardışıklı kararları içeren dinamik sistemlerin formülasyonunda uygulamamaktadır (ALTINBİLEK, 1976). Doğrusal programlamayı sayılan durumlarda geçerli kılabilmek için parametrik programlama (HADLEY, 1962), tamsayı programlaması (GOMORY, 1963; LAWLER, 1966), stokastik doğrusal programlama (MADANSKY, 1963), şans sınırlı doğrusal programlama (CHARNES, 1959) ve ardışıklı doğrusal programlama (DANTZİG, 1963) gibi teknikler geliştirilmiştir.

2.6. Eğrisel Programlama

2.6.1. Eğrisel Programlamanın Temel Esasları

Eğrisel programlama modellerinde amaç fonksiyonu ve kısıtların karar değişkenlerinin doğrusal fonksiyonu olması zorunluluğu yoktur. Eniyilenecek amaç fonksiyonu:

$$Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.4)$$

ve kısıtları

$$g_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_j \quad (2.5)$$

$$x_j \geq 0 \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilebilen eğrisel programlama modelinin enbüyükleme ve enküçükleme problemleri birbirine bağımlı

olup en küçükleme probleminin her tarafı '-1' le çarpıldığında enbüyüklenme problemi elde edilir. Eğrisel programlama probleminde eniyi çözüm Kuhn-Tucker şartları (KUHN ve TUCKER, 1961) ile belirlenir.

Üzerinde ençok çalışılan eğrisel programlama modelleri eğrisel amaç fonksiyonu ve doğrusal kısıtlar içeren modellerdir. Kısıtları da karar değişkenleri de eğrisel fonksiyonlardan oluşan modellerin çözümü çok daha karmaşık olup, bu durumda çözüm yöntemi olarak en fazla çok değişkenli arama metodları kullanılmaktadır (TÜRKMAN, 1982).

2.6.2. K u a d r a t i k P r o g r a m l a m a

Kuadratik programlama, doğrusal kısıtlar, doğrusal ve ikinci derece terimlerden oluşan amaç fonksiyonunu içeren bir eğrisel programlama problemi. Amaç fonksiyonunun dışbükey olması hali için çeşitli çözüm teknikleri geliştirilmiştir (HADLEY, 1964).

Kuadratik programlamada amaç fonksiyonunun genel formu c_i ve d_i katsayı, x_i ler değişken olmak üzere

$$F = \sum_{i=1}^N C_i \cdot x_i^2 + \sum_{i=1}^n d_i \cdot x_i \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilebilir (WILDE, 1967). Çalışma yöntemi amaç fonksiyonunun en büyüklenmesi veya enküçüklenmesi esası üzerine kurulmuştur.

Doğrusal eşitsizlikler şeklinde olan kısıtlar a_{ki} ve b_k katsayı olmak üzere

$$\sum_{i=1}^n a_{ki} \cdot x_i \leq b_k \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (2.8)$$

şeklinde ifade edilir.

Sistemin çözümü için doğrusal eşitlik ve eşitsizliklerin dönüşümünün yapılması gerekir. Bunun için '(2.8)' eşitsizliği x_{n+k} yardımcı değişkenleri ile

$$\sum_{i=1}^n a_{ki} \cdot x_i + x_{n+k} = b_k \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (2.9)$$

şekline dönüştürülür ve x_i değişkeninin ve x_{n+k} yardımcı değişkeninin negatif olmama koşulları uygulanarak genişletilmiş sınır şartlar sistemi matris ifade ile

$$\vec{A} \cdot \vec{x} = \vec{B} \quad (2.10)$$

$$\vec{x} \geq 0 \quad (2.11)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $\vec{x}$, 'n+m' bileşenden oluşan bir vektör, $\vec{B}$ de bir sütun vektörü niteliğindedir. $\vec{A}$ ise sistemin katsayı matrisidir ve 'm' satır 'n+m' sütundan oluşmuştur.

Doğrusal sınır koşulları ile ikinci derecede (Quadratic amaç fonksiyonlu problem, bağıntıların simplex yöntemin (Bölüm, 3.4.3.3) uygulanabileceği forma dönüştürülmesi ile çözülebilir. Bu gereksinme, kuadratik fonksiyonun kısmi türevleri doğrusal fonksiyonlar vermesi ile sağlanmaktadır. Kısmi türevleri kapsayan KUHN-TUCKER koşullarının kullanılmasıyla kuadratik programlama problemi, bir LP problemine indirgenebilir (HALAÇ, 1978).

2.6.3. Geometrik Programlama

Geometrik programlama, kısıtların eğrisel olması veya amaç fonksiyonunun ikinci dereceden daha büyük üslü terimler içermesi hallerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir (DUFFIN, 1962; DUFFIN, 1967). Geometrik programlama algoritması doğrusal veya ikinci derece yaklaşıma gerek kalmaksızın problemi çözebilmektedir. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar negatif katsayılar içerebilir veya eşitsizlik işaretleri yön değiştirebilir. Geometrik programları tekniğinin uygulanabilmesi için gerekli şart, eniyileme problemlerinin karar değişkenlerinin üstlü polinomlar cinsinden ifade edilmesidir (ALTINBILEK, 1976).

2.6.4. Arama Yöntemleri

Arama yöntemleri bir anlamda marjinal analizlerin iki boyuttan daha büyük uzaya uygulanmasıdır. Amaç fonksiyonunun karar değişkenlerine göre marjinal farkı veya kısmi türevi analitik yada nümerik olarak hesaplanır ve amaç fonksiyonunun değeri daha iyilenemediğinde veya kısmi

türevlerdeki farkların toplamı sıfır olduğunda eniyiye ulaşılır. Arama yöntemleri sına ma yanılma esaslı olduklarından her kez mutlak eniyideğ ere ulaşmazlar.

Arama yöntemleri çözülecek problemin karar değ işkeni sayısına göre tek değ işkenli ve çok değ işkenli arama olarak sınıflandırılır. Aynı zamanda kısıtlı ve kısıtsız arama olarak gruplandırılabilir. Bu genel gruplara düş en ve çeş itli arama yöntemleri kullanan çok sayıda algoritma bulunmaktadır (WILDE, 1964; KUESTER, 1974).

2.7. Dinamik Programlama

Doğrusal programlamada, amaç fonksiyonu ve kısıtların doğrusal olması gerekmektedir. Birçok su kaynakları geliştirme projelerinde bu koşulların gerçekleştirilmesi ya olanaksız yada çok kaba kabullerin yapılmasını zorunlu kılar. Bu nedenle daha genel halde aşamalara bölünebilen optimizasyon problemlerinin çözülebilmesi için dinamik programlama Bellman tarafından geliştirilmiştir (BELLMAN, 1957; 1962). Bu yöntemin esas ı çözüme kademeli olarak yaklaşmasıdır. Dinamik programlamada doğrusallık önemli olmadığı gibi bir sistemi tüm olarak ele almak gerekmemektedir. Bunun yerine sistem birbiri arkasına sıralanmış işlemler olarak ele alınıp ardış ık iki işlem arasında fonksiyonel bir bağıntı kurmak yoluna gidilmektedir.

Bellman dinamik programlamanın temel prensibini "Başlangıç değ erleri ve başlangıçta alınan karar ne olursa olsun, herhangi bir adımda en elverişli olarak seçilen yolun özelliğ i ilk alınan kararın sonucu olarak varılan duruma göre en elverişli olacak şekilde geriye kalan kararların alınmasını gerektirecek şekildedir" şeklinde ifade etmiştir.

Dinamik programlamanın uygulanabileceğ i problemler, her aşamada bir karar gerektiren aşamalara bölünebilmesi, her aşamada problemin alacağı sınırlı sayıda durum bulunması, her aşamadaki kararın, problemin aşamadaki bir durumdan gelecek aşamadaki bir diğ er duruma dönüştürülebilmesi ve herhangi bir aşamada alınacak kararların daha önceki

aşamalardan bağımsız olması, özelliklerine sahip olmalıdır.

Dinamik programlama doğrusal programlamadaki gibi değişkenlerin doğrusal olması, fonksiyonların sürekli ve dışbükey olması koşuluyla bağımlı olmadığından yaygın şekilde kullanılmakta, ancak standart bir matematik ifadesi bulunmamakta, her problem için özel denklemlerin yazılması gerekmektedir (GABLINGER, 1980). Dinamik programlama ile çözülecek modellerin amaç fonksiyonunun tam içbükey veya tam dışbükey olmaması halinde birden fazla eniyi bulunabilmekte, bunu dikkate alan kontrol işlemlerinin modele ilavesi gerekmektedir (YOUNG, 1967).

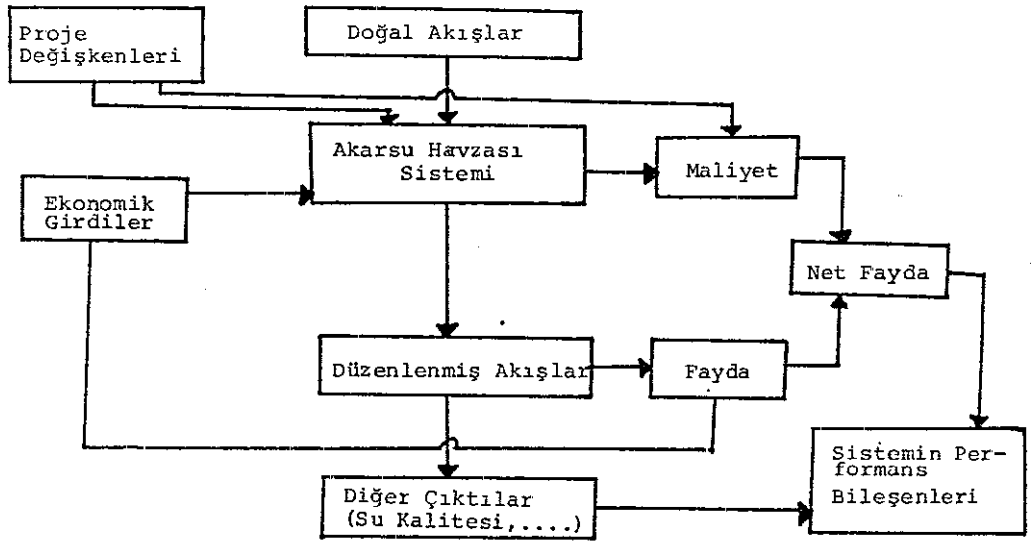
2.8. Benzetim Yöntemi

Fiziksel sistemlerin davranışını inceleme tekniği olan benzetim yöntemi uzun bir geçmişe sahip bulunmasına rağmen ancak bilgisayarların gelişmesi ile geniş bir kullanım alanı bulmuştur (HUFSCMIDT, 1966). Bu yöntemde sistem fiziksel olarak tekrar edilmeden analog veya digital yöntemlerle sistemin özellikleri ve çalışması yaratılır (ACKOFF, 1961). Bu nedenle benzetim yöntemi analitik olarak çözülemeyen ve fiziksel modeli kurulamayan sistemlerin çözümünde sıklıkla kullanılır.

Benzetim (simülasyon) modelleri geçmişteki girdi, çıktı ve sistem işleyiş tarzına göre kalibre edilir. Modeldeki parametreler modeldeki işleyişin gerçek sisteme benzeyene kadar ayarlanır, model kurulduktan sonra, yeni girdilere göre çalıştırılarak sistemin işleyişi bulunur.

Benzetim (simülasyon) yöntemi gerçek anlamda bir optimizasyon yöntemi olmamakla birlikte sistemin performansının belirlenmesi ve elde edilen sonuçlara göre en iyi çözümün aranmasına dayanır.

Benzetimin esası gözönüne alınan sistemin davranışının matematik ve lojik işlemlerden oluşan bir modelle benzetirilerek bilgisayarda izlenmesidir. Bir su kaynakları sisteminin benzetim modelinin genel şeması Şekil 2.1'de gösterildiği gibi şu elemanlardan oluşur:



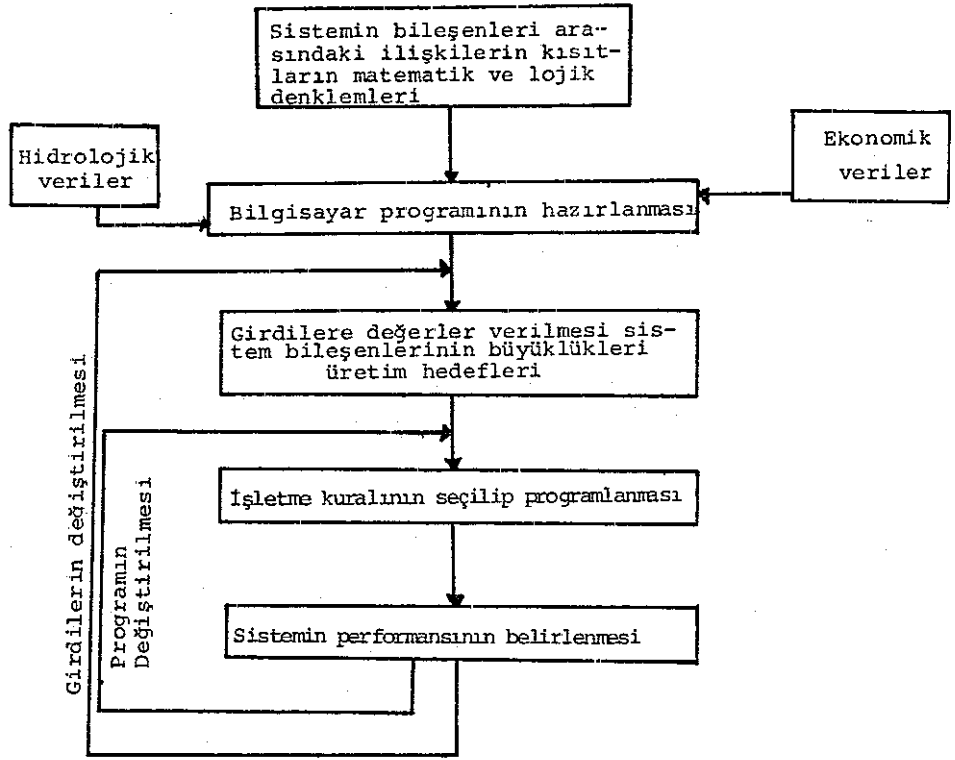
Şekil 2-1: Benzetim modelinin genel şeması
(BAYAZIT, 1983)

Benzetim modelinde incelenen sistemin özellikleri üzerinde herhangi bir kısıtlama yoktur. Sistem çok bileşenli çok amaçlı olabileceği için karmaşık sistemlerin davranışını bu yöntemle izlemek mümkündür. Ancak bilgisayar programlama ve işletme giderleri sistemin mümkün olduğu kadar basitleştirilmesini gerektirir (BAYAZIT, 1983).

Bir su kaynakları sistemi için optimum çözümün benzetim yöntemiyle araştırılmasında akış diyagramı Şekil 2-2'de gösterilmiştir:

Benzetim modelinde sistem bileşenlerinin büyüklükleriyle ilgili girdilerin (hazne kapasiteleri gibi) ve üretim hedeflerinin (sulama suyu hedefleri gibi) değiştirilmesi kolaylıkla yapılabilir. Buna karşılık işletme kurallarındaki değişiklikler (hazne işletme kuralı) bilgisayar programının değiştirilmesini gerektirdiği için daha zordur. Genellikle seçilen bir işletme kuralına göre girdileri değiştirerek optimum çözümü aradıktan sonra işletme kuralını değiştirip bu çözümü daha iyileştirmeye gayret edilir (BAYAZIT, 1983).

Benzetim modelleri genellikle doğrusal ve dinamik programlama modellerinden daha az sayıda basitleştirici



Şekil 2-2: Benzetim yöntemiyle yapılacak bir araştırmanın akış diyagramı (BAYAZIT, 1983).

varsayım gerektirir, ancak uzun ve yüklü bir bilgisayar programı gerektirdiği gibi sistem değişikliklerini modele yansıtmak masraflı ve zaman alıcı olmaktadır (ALTINBİLEK, 1976).

3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

3.1. Doğrusal Programlamanın Tanımı

Doğrusal programlama (LP) doğrusal ilişkilerden optimum sonucu almayan yarayan para, malzeme, makina, zaman, insangücü, mevcut teknoloji,... gibi kaynakların çeşitli kısıtlar altında optimal faydayı sağlayacak şekilde kombine edilmelerini sağlayan matematiksel bir yöntem olarak tanımlanabilir. Kıt kaynakların en etkin bir şekilde kullanımının zorunlu olduğu II. Dünya savaşı sırasında mühendislik ve ekonomi alanında LP geniş olarak kullanım alanı bulmuştur (KOBU, 1981).

LP'nin esasını, incelenen problemi bir matematik model ile tanımlayan matematiksel bağıntılar oluşturur. "Lineer veya doğrusal" sıfatı matematik modeldeki bütün bağıntıların doğrusal fonksiyonlar olduğunu belirtir. "Programlama" kelimesi ise "planlama" ile eş anlamda kullanılır.

3.2. Doğrusal Programlama Yönteminin Esasları

3.2.1. Doğrusallık

LP'da bütün ilişkilerin doğrusal olma zorunluluğu vardır. Buna göre etkinliğin ve kaynakların orantılı olması gerekmekte, bunları ifade eden denklemlerin tek katsayı ile belirlenen doğrusal formda denklemler olması gerekmektedir. Örneğin; belli bir üründen bir ünite üretebilmek için belli bir kaynaktan A ünite gerekiyorsa, iki ünite için aynı kaynaktan 2A kadarına gereksinim olacaktır.

3.2.2. Bölünebilirlik

Birçok durumlarda bilinmeyenler veya bir başka deyişle karar değişkenleri tamsayı oldukları zaman anlam taşırlar. Ancak LP'nin genel çözümünde tamsayı çözüm ga-

ranti edilemez. Kaynakların ve kullanım miktarlarının kesirlerle tanımlanabilen küçük ünitelerinin kullanılabilmesi ve üretilmesi olanağına bölünebilirlik denilmektedir. Örneğin; bir LP probleminin çözümü 2,3 kamyon gibi bir sonuç verebilir. 0,3 gibi bir kamyon olamayacağından 2 veya 3 kamyon alınmalıdır. Ancak bu gibi özel durumlarda ya basit matematiksel yöntemlerle sonuçların tamsayıya dönüştürülmesi veya LP'nin özel bir türü olan integer programlama ile tamsayılı sonuçlar alınması mümkündür.

3.2.3. Toplanabilirlik

Bu varsayım çeşitli faaliyetler tarafından kullanılan kaynaklar toplamının kullanılan toplam kaynak miktarına eşit olması koşuludur. Doğrusal amaç fonksiyonu olabilmesi için faaliyetlerin toplanabilir olması gerekir. Bu zorunluluk kısıtlar için de geçerlidir. Örneğin x_1 , x_2 , x_3 üretim faaliyetlerinin kullanmış oldukları kaynak miktarları toplamının mevcut kaynak miktarına eşit (kaynakların h psi kullanılıyorsa) veya küçük olması (kaynakların hepsi kullanılmıyorsa) gerekmektedir. Toplanabilirlik şartı incelenirse faaliyetler tarafından kullanılan kaynak miktarları toplamının mevcut kaynak miktarlarından, küçük veya eşit olması gerektiği görülür.

3.2.4. Sınırlılık

Kaynakların ve kullanım alanlarının sayı bakımından sınırlı olma koşulunun yanısıra bazı kaynakların miktar bakımından sınırlı olma koşulu sınırlılık varsayımı olarak tanımlanabilir. Sayısal sınırlılık LP dan sonuç elde etmek için, miktar bakımından sınırlılık ise kaynak kullanımının özelliğinden dolayı bir zorunluluk olmaktadır. Sınırsız sayıda kaynağın ve sınırsız sayıda ve miktarda kullanım belli bir modele konu olması olanaksızdır.

3.3. Doğrusal Programlamanın matematiksel tanımı

3.3.1. Genel

Herbirinin kendine özgü farkları dışında bütün doğrusal programlama problemlerinde üç temel özellik vardır.

3.3.2. Amaç Fonksiyonu

Bütün LP problemlerinde birçok değişkenin doğrusal fonksiyonundan oluşan bir amaç fonksiyonu bulunur. Bu doğrusal fonksiyon Z , değişkenler $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ve sabit katsayılar $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$ ile gösterilmek üzere amaç fonksiyonu

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots + c_nx_n \quad (3.1)$$

şeklinde gösterilir. Problemin amacı Z 'yi maximum veya minimum yapan $x_1, x_2, \dots, x_n$ değerlerinin bulunmasıdır. Örneğin; amaç fonksiyonu kârı veya faydalı ifade ediyorsa Z 'yi maximum, masrafları veya maliyeti gösteriyorsa Z 'yi minimum yapan $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ değerleri aranır.

$$Z_1 = c_1(kx_1) + c_2(kx_2) + \dots + (kx_n) = kZ \quad (3.2)$$

$x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}$ ve $x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n}$ iki değişken takımı olmak üzere,

$$\begin{aligned} Z &= c_1(x_{11} + x_{21}) + c_2(x_{12} + x_{22}) + \dots + c_n(x_{1n} + x_{2n}) \\ &= (c_1x_{11} + \dots + c_nx_{1n}) + (c_1x_{21} + \dots + c_nx_{2n}) \\ &\doteq Z_1 + Z_2 \end{aligned} \quad (3.3)$$

koşullarını aynı zamanda sağlaması gerekir.

3.3.3. Kısıtlar (Sınırlayıcılar)

Bütün doğrusal fonksiyonlar pozitif sonsuzda maximum ve negatif sonsuzda minimum değerini alırlar. Dolayısıyla bütün amaç fonksiyonları aynı maximum ve minimuma sahiptirler. Pratik açıdan anlamı bulunmayan böyle bir çözümden kaçınmak için $x_1, x_2, \dots, x_n$ değişkenlerine bazı kısıtların konulması gerekir. LP'da değişkenler üzerindeki kısıtlar; $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{ij}, \dots, a_{mn}$ ve $b_1, b_2, \dots, b_m$ sabit sayılar olmak üzere

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &\leq b_2 \\ &\vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &\leq b_m \end{aligned} \quad (3.4)$$

şeklindeki doğrusal eşitsizliklerden oluşan bir sistem ile tanımlanır.

Kısıtları tanımlayan bu sistem, problemin çözümü olabilecek $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ takımının içinde bulunduğu bir çözüm bölgesini tanımlar. Dolayısıyla bir LP problemini çözüm bölgesinde bulunan $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ takımı arasından amaç fonksiyonu Z' 'yi maximum veya minimum yapan karar değişkenlerinin seçilmesi şeklinde tanımlamak mümkündür.

3.3.4. Pozitiflik Koşulları

LP teknikleri gerçek, işletme, planlama ve mühendislik problemlerine uygulandığından değişkenlerin negatif değerler almasının bir anlamı yoktur. Örneğin; üretilcek ürün- enerji miktarı, hazne kapasitesi, zaman vs... gibi değerler ve gerçek problemlerle ilgili büyüklükler daima pozitif değerler alırlar. Bu nedenle LP modellerinde bütün değişkenlerin pozitif olması koşulu her zaman vardır ve matematik olarak,

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \quad (3.5)$$

eşitsizliği ile tanımlanır. Pozitiflik koşulu doğrusal programlama problemlerinin birçok geçersiz çözümünü bir anda elimine ettiğinden optimum çözüme ulaşmayı önemli ölçüde kolaylaştırır.

3.4. Genel Matematik Model

3.4.1. Modelin Matris Notasyonu ile Gösterilmesi

Bir amaç fonksiyonu, kısıtlar ve pozitiflik koşullardan oluşan bir LP modeli matris notasyonları ile ifade edilebilir. LP modeli genel olarak 3.1, 3.4 ve 3.5 ifadeleri ile karakterize edilir. Bu ifadeler matris ve vektörlerin tanımları ve işlemsel özellikleri gözönüne alınarak incelenirse amaç fonksiyonu elemanları $c_1, c_2, \dots, c_n$ olan bir C satır vektörü ile elemanların $x_1, x_2, \dots, x_n$ olan bir X sütun vektörünün çarpımından oluştuğu görülür.

Benzer şekilde sınırlayıcıların sol tarafı elemanları, değişkenlerin katsayıları olan (m,n) boyutlu bir matris ile X vektörünün çarpımı ve sağ tarafları ise $b_1, b_2, \dots, b_n$ 'den oluşan bir sütun vektörü ile gösterilebilir. O halde,

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

$$P_o = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix}, \quad 0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \quad C = [c_1, c_2, \dots, c_n] \quad (3.7)$$

ile gösterilmek üzere LP modelini,

$$\text{Amaç Fonksiyonu} \quad : \quad Z = CX \quad (3.8)$$

$$\text{Kısıtlar} \quad : \quad AX \leq P_o \quad (3.9)$$

$$\text{Pozitiflik Koşulları} \quad : \quad X \geq 0 \quad (3.10)$$

şeklinde tanımlamak olasıdır. Bazı analizlerde LP modelinin anlatılan bu iki şekilden farklı olarak aşağıda verildiği gibi gösterilmesi daha uygun olabilir.

$$j = 1, 2, 3, \dots, n \text{ için; } P_j = \begin{bmatrix} a_{1j} \\ a_{2j} \\ \vdots \\ a_{mj} \end{bmatrix}, \quad P_o = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

olmak üzere,

$$\text{Amaç Fonksiyonu} \quad : \quad Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j \quad (3.12)$$

$$\text{Kısıtlar} \quad : \quad \sum_{j=1}^n X_j P_j \leq P_o \quad (3.13)$$

$$\text{Pozitif Koşulları} \quad X_j \geq 0 \quad (3.14)$$

LP modelinin çözüm tekniği ve problemin özelliğine göre en uygun ifade şeklini kullanmak gerekir.

3.4.2 Modelin Kurulmasında Dikkat Edilmesi Gereken Kurallar

Bir LP modelinin kurulmasında dikkat edilmesi gereken önemli noktalar aşağıda sıralanmıştır:

a) Model kurarken sistemin görünür özelliklerinin yanında görünmeyen özelliklerini de ortaya çıkarmak gerekebilir. Bu ise araştıracının teknik bilgisinin yanısıra sezme yeteneğinin ve tecrübesinin durumu ile yakından ilgilidir.

b) Ele alınan sistemin LP modellerinin gerektirdiği şartlara uyup uymadığı araştırılmalıdır. Bazı durumlarda problemi LP modeli ile ifade edilebilir hale getirecek varsayımlar yapmak gerekebilir.

c) Problemin amacı ve buna bağlı değişkenler iyi tanımlanmalıdır.

d) Değişkenler arasındaki bağıntılar ve kısıtlar matematiksel olarak ifade edilmelidir.

3.4.3. Modelin Çözüm Yöntemleri

3.4.3.1. Grafik Çözüm:

İki veya üç değişkenli basit LP modellerinin çözümünde kullanılır. İki veya üç değişkenli fonksiyonlar düzlemde ve uzayda doğrular ve düzlemlerle gösterilebilirler. Dolayısıyla basit bir LP modelinin çözümü ile ilgili bütün işlemler ve çözüm geometrik şekillerle ifade edilebilirler.

3.4.3.2. Cebrik Çözüm

Bir LP modelinde değişken sayısının üç ve daha fazla olması halinde- modelin çiziminde meydana gelen güçlükler nedeniyle- geometrik (grafik) çözümün uygulanması pratik değildir. Aslında cebrik çözüm sınırlayıcıların oluşturduğu polihedronun köşelerinin araştırılmasından ibaret olup değişken sayısının daha fazla olması halinde

de uygulanabilir. Ancak bu takdirde, köşe sayısı büyük bir hızla artacağından çözüm pratik olmaktan çıkar.

Cebrik çözümde önce bütün köşe çözümler saptanır ve burada bulunan değerler sıra ile amaç fonksiyonunda yerlerine konularak Z değerleri elde edilir. Z 'yi maksimum veya minimum yapan değişken takımı aranan çözümdür. Köşe noktalarının bulunması, kısıtlar olarak verilen eşitsizliklerin temsil ettiği doğruların kesişme noktalarının hesaplanmasından ibarettir.

3.4.3.3. Simplex Yöntemi

Grafik çözümde değişken sayısının sınırlı oluşu, cebrik çözümün ise gereğinden fazla yorucu ve ekonomik olmayan bir uğraşmayı zorunlu kılması LP problemlerinin çözümünde yeni ve daha pratik bir yöntem gerektirmiştir.

LP modellerinin çözümlerinin sistematik olarak araştırılmasında uygulanan Simplex Yönteminin ilk temellerini G.B. DANTZIG kurmuştur. Daha sonraları Charnes, Cooper, Henderson ve diğerleri tarafından çeşitli varyasyonları geliştirilen bu yöntemin temel prensibi, optimum çözüme ardışık yaklaşım (iterasyon) yolu ile ulaşmaktır. Simplex yöntemle sorunun çözümlenebilmesi için gerekli bilgilerin belli bir formda bir tabloya (Simplex Tablo) aktarılması gerekir.

3.5. LP Modelleri ve Bilgisayarlar

Bilgisayarlar, matematik ifadelerden oluşan sistemlerin modellerini yapıları içinde kuran ve bunlarla ilgili işlemleri büyük bir hızla yapan elektronik aletlerdir. Bilgisayarlar analog ve sayısal olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Analog bilgisayarlar integral, diferansiyel denklemler, türev gibi sürekli değişkenler kapsayan matematiksel işlemleri büyük bir hızla yaparlar. Sayısal bilgisayarlar hız, duyarlılık ve bellek kapasitesi bakımından analog bilgisayarlardan üstündür.

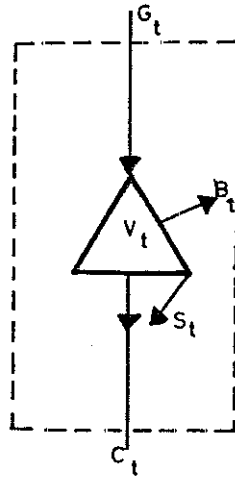
Tanımdan da anlaşılacağı gibi bir LP probleminin çözümünde (Özellikle Simplex Yöntemle) basit fakat defalarca tekrarlanan çok sayıda matematik işlemler yapılmaktadır. Bu nedenle duyarlık ve bellek üstünlüğüne sahip olan sayısal bilgisayarlar LP problemlerinin çözümünde tercihen kullanılmaktadır.

Bir LP probleminin bilgisayar yardımı ile çözülebilmesi için problemin çözüm algoritmasını belirleyen komutlar dizisinin, yani programın bilgisayara verilecek şeklinin hazırlanması gerekir. Problemin hangi aşamalardan geçilerek çözüleceğini bilgisayarın anlayabileceği sistematik ve standart bir dil ile bildiren programların hazırlanma teknikleri son yıllarda sistem mühendisliği adı verilen bir meslek dalının doğmasına yol açacak kadar önem kazanmıştır.

4. HAZNE SİSTEMLERİ VE ÇÖZÜMÜNDE KULLANILAN ENİYİ- LEME YÖNTEMLERİ

4.1. Hazne Sistemlerinin Tanıtımı

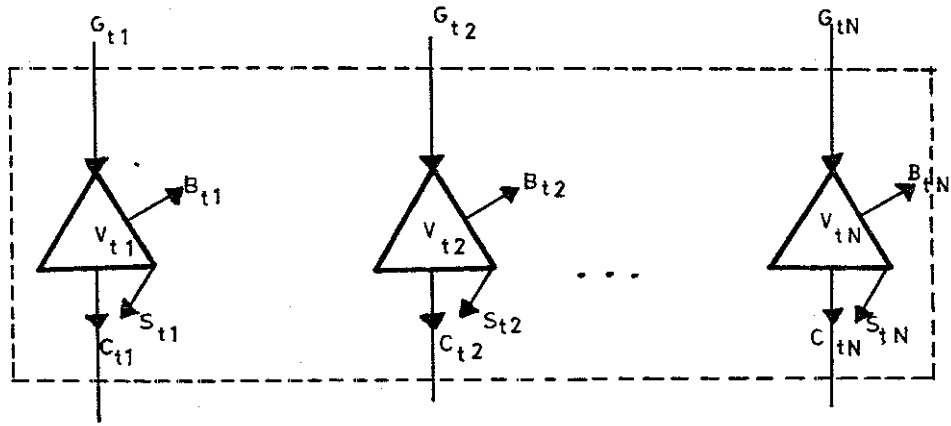
Baraj hazneleri, taşkın kontrolü, sulama suyu temini, enerji üretimi gibi belirli ana amaçların emniyette sağlanmasına yönelik bir sistem olarak ele alındığında, tek bir amaç için diğer haznelerden bağımsız olarak oluşturulan ve işletilen hazne, tek amaçlı basit hazne sistemi olarak nitelendirilir. Birden fazla ana amaç için tasarlanan ve işletilen tek hazne, çok amaçlı olarak nitelendirilmekte ancak basit sistem niteliğini yitirmemektedir. Şekil 4.1 de şematik olarak gösterilen basit hazne sisteminde, hazneye t zaman süresi içinde, sistem dışından giren akımlar G_t , sulama, enerji üretimi gibi belirli bir amaca yönelik olarak bırakılan su S_t , hazne yüzeyinden buharlaşma ile oluşan kayıplar B_t ve haznede bulunan su miktarı V_t ile ifade edilmiştir.



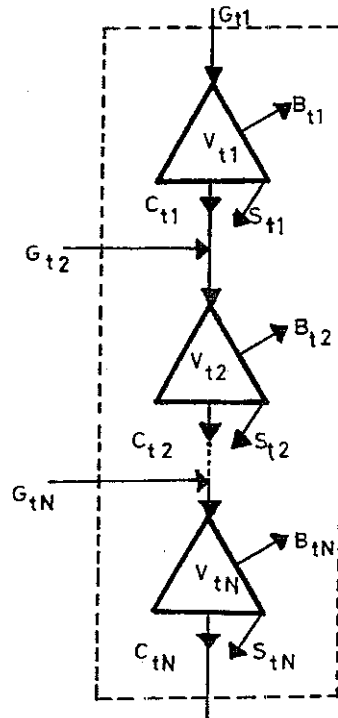
Şekil 4-1: Tek hazneli basit sistem.

Hazneden oluşan sızma kayıpları jeolojik problemleri olan hazneler hariç, diğer büyüklüklerin yanında ihmal edilebilecek mertebededir.

Belirli bir amaca yönelik olarak tasarlanan ve işletilen birden fazla hazne içeren sistemler, tek amaçlı ve çoklu hazne sistemi olarak isimlendirilir. Çoklu hazne sistemleri, Şekil 4-2'de şematik olarak gösterildiği gibi paralel hazne sistemi, şekil 4-3'de belirtildiği gibi seri hazne sistemi ve şekil 4-4'de belirtildiği gibi seri ve paralel konumlu hazneleri içeren karmaşık hazne sistemi olabilir.

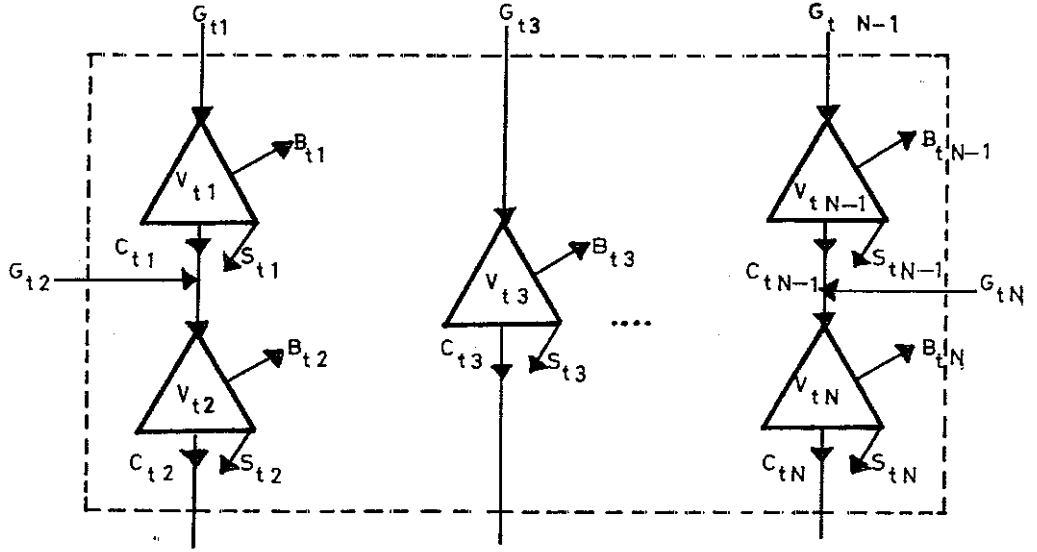


Şekil 4-2: Çok hazneli paralel sistem



Şekil 4-3: Çok hazneli seri sistem.

Hazne girdi ve çıktılarındaki alt indisi i ($i=1,2,3,\dots,N$) sistem içindeki hazneleri belirtmekte, N ise sistem içindeki toplam hazne sayısı olmaktadır.



Şekil 4-4: Çok hazneli karmaşık sistem.

4.2. Hazne Sistemlerinin Çözümünde Temel Yaklaşımlar

Bir hazne sistemi içinde bulunan suyun zaman içinde nasıl kullanılacağını belirten kurallara sistemin işletme kuralları denilmektedir. Bu kurallar, genelde bir amaçla yönelik su eksikliğini en az düzeye indirecek şekilde veya su kullanımı ile elde edilen faydaların en büyüklenmesi esasına göre oluşturulmaktadır. Dolayısıyla hazne işletme kurallarının saptanması, hazne biriktirme kapasitesi, iletim yapıları kapasitesi, kurulu hidroelektrik santral gücü gibi fiziksel kısıtların yanısıra kütle denge denklemlerinin getirdiği kısıtlar altında, belirli bir amacın eniyilenmesi problemi olmaktadır.

Hazne sistemlerinin, sistem tek amaçlı olsa dahi, işletme kurallarının saptanması karmaşık bir problem niteliğini taşımakta, problemin boyutları sistem içindeki hazne sayısı ile üstel olarak artmaktadır. (MEJIA v.d., 1974; HIRSCH v.d., 1977). Sistem içindeki haznelerin tek olarak eniyilenmesi Şekil 4-1 ifadesinde belirtildiği gibi

$$ENiyi(A) + ENiyi(B) \neq ENiyi(A+B) \quad (4.1)$$

sistemin eniyilenmesi anlamına gelmemekte, sistemin bütün olarak eniyilenmesi gerekmektedir (ROEFS, 1970).

Hazne sistemlerinin eniyilenmesi problemine değişik yöntemlerle yaklaşılabilmektedir, hazne sisteminin en önemli özelliklerini ve az sayıda karar değişkenini içeren basitleştirilmiş matematik model ile temsil edilmesi yaygın olarak kullanılmaktadır (BURAS, 1968). Kurulan matematik modelin gerek verdiği sonuçların, gerekse modelin işleyiş şeklinin, pratikteki gerçek durum ile asgari uyumu sağlıyabilmesi gerekmektedir.

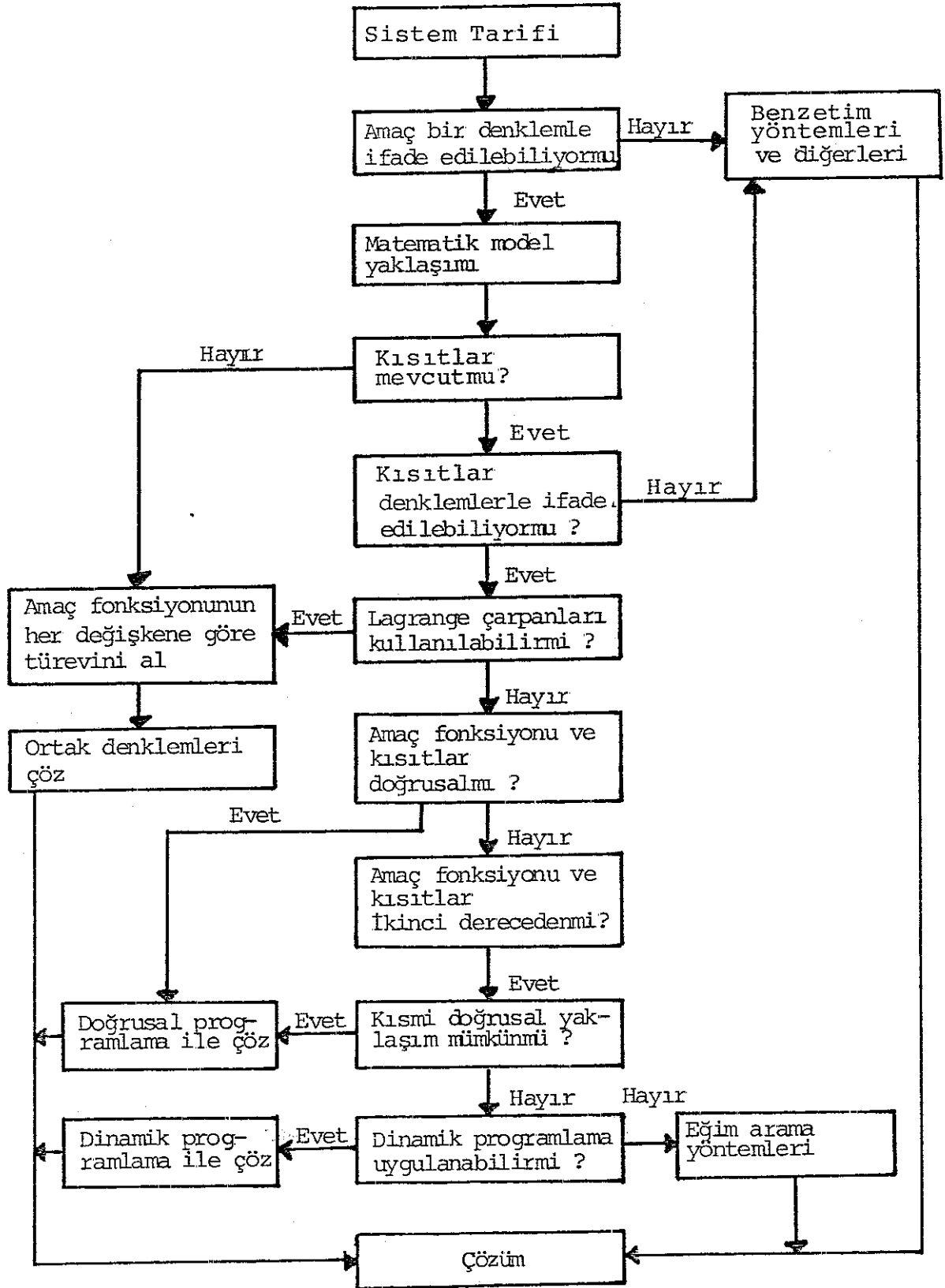
Diğer bir yaklaşım ise, hazne sistemini daha küçük boyutlu alt sistemlere ayrıştırarak alt sistemleri, bağımsız olarak çözmektir. Ancak alt sistemin çıktısı diğer bir alt sistemin girdisi olduğu için, alt sistemlerin ilk sisteme dönüştürülmesi ardışık yaklaşımlar gerektirmektedir. Bu çözüm yaklaşımı ile N hazneli sistemi, N tane tek hazneli sistemi indirgemek mümkün ise de ardışık çözülmesi gereken alt problem sayısı çok uzun bilgisayar zamanı gerektirmektedir.

4.3. Hazne Sistemlerinin Çözümünde Kullanılan Eniyileme Yöntemleri

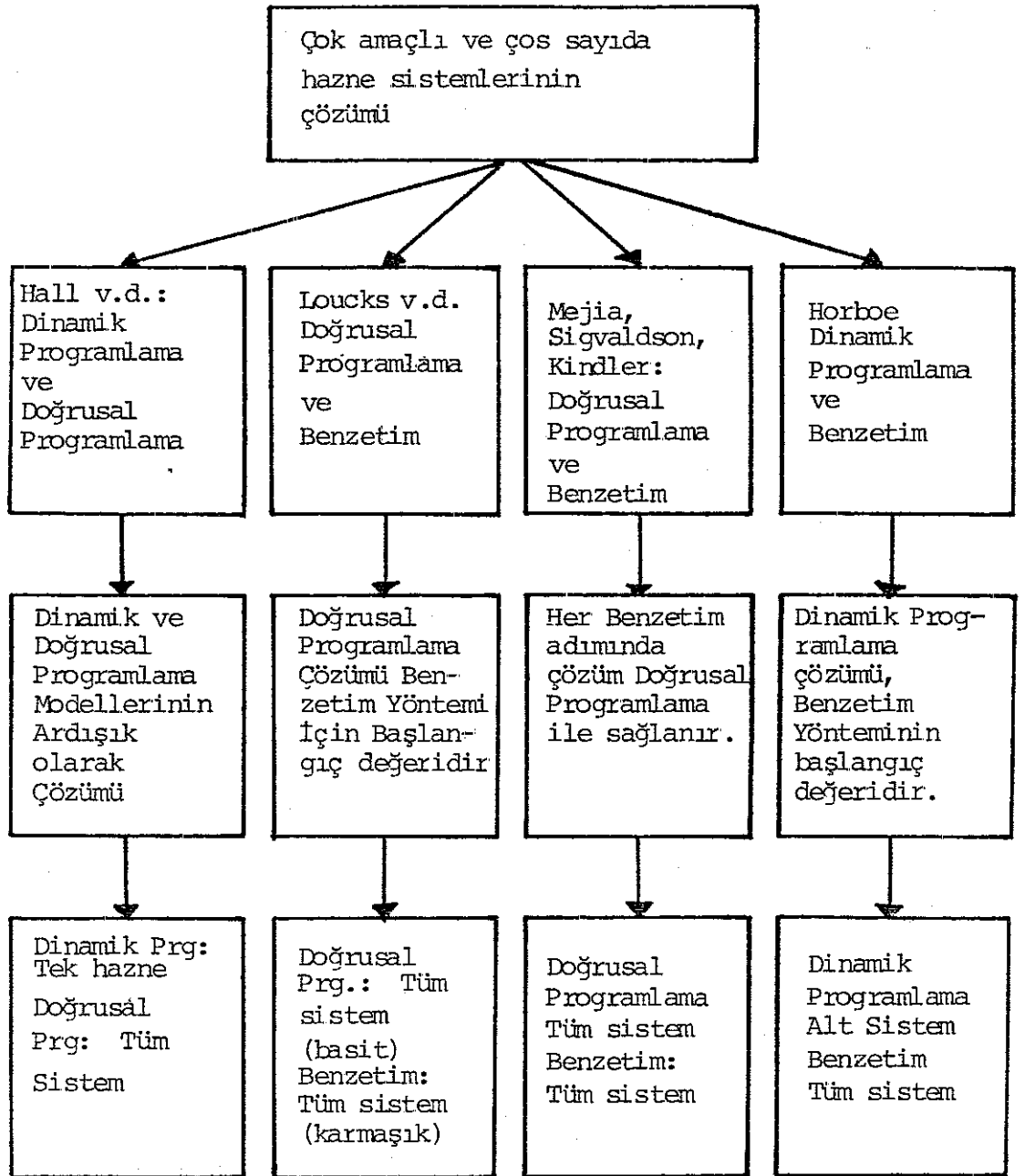
4.3.1. E n i y i l e m e Y ö n t e m i S e ç i m i

Bir sistemin çözümü için kullanılacak eniyileme yöntemi seçiminde genelde uygulanması uygun olan sıra Şekil 4-3'de akış diyagramı olarak verilmiştir. Ancak bir problemin çözümü için en uygun metod tam olarak kestirilememekte, değişik çalışma grupları da biraz da sübjektif olarak belirli yöntemleri benimsemektedir (HARBOE, 1981).

Eniyileme yöntemleri gerek sistemlerin tasarımında, gerekse mevcut sistemlerin en uygun işletme kurallarının oluşturulmasında kullanılabilmekte, ancak çözüm yaklaşımları sistemin özellikleri yanısıra uygulayıcının tercihi göre değişmektedir. Değişik çalışma gruplarının, yöntemlerin uygulanması açısından, karmaşık sistemlerin



Şekil 4-5 : Eniyileme yöntemlerinin uygulama sırası



Şekil 4-6 : Hazne sistemlerinin eniyilenmesinde uygulanan yaklaşımlar

eniyilenmesine yaklaşımları Şekil 4-6 de verilmiştir.

Hall ve arkadaşları karmaşık sistemin alt bölümlerinin çözümünde dinamik programlama kullanmakta, tüm sistemin çözümü içinde doğrusal programlama uygulamaktadırlar (HALL, 1970).

Loucks ve arkadaşları sistemin basitleştirilmiş halini doğrusal programlama ile çözmekte, bulunan eniyi değerleri başlangıç karar değişkenleri olarak alarak sistemin işleyişini benzetim yöntemi ile saptamaktadır (LOUCKS, 1974).

Mejia, Kindler ve Sigvaldason tüm sistem için benzetim yöntemini kullanmakta, problemin her adımını ise doğrusal programlama ile çözmektedir. (MEJIA, 1974; SIGVALDASON, 1976; KINDLER, 1977).

Harboe ve arkadaşları ilk aşamada dinamik programlama kullanarak sistemin eniyi işletme kurallarını ortaya koymakta, ikinci aşamada ise yapay verilerle benzetim metodunu uygulayarak işletme kurallarını geliştirmektedir (HORBOE, vd, 1981).

4.3.2. E n i y i l e m e Y ö n t e m l e r i n i n H a z n e S i s t e m l e r i n e U y g u l a n m a s ı

Hazne sistemlerinin matematik modellerinin çözümüne eniyileme yöntemlerinin uygulanması konusunda günümüze dek pek çok çalışma yapılmışsa da, burada LP uygulamaları dışında önemli görülen bazıları özetlenmiştir. LP yönteminin hazne sistemine uygulanması ile ilgili çalışmalar bölüm 4.3.2.'de belirtilmiştir.

Hall ve arkadaşları karmaşık bir hazne sistemini alt sistemlerin çözümünde dinamik programlama yöntemi kullanmışlar ve tüm sistemin eniyilenmesini de doğrusal programlama yöntemi uygulayarak gerçekleştirmişlerdir (HALL, 1967).

Young bir haznenin eniyi işletme politikasını yapay

girdiler kullanarak ve Hadley'in ileri hesap algoritmini kullanan gerekirci dinamik programlama yöntemi kullanarak araştırmıştır (YOUNG, 1967).

Reefs ve Bodin eğrisel özellikler gösteren çoklu bir hazne sisteminin eniyilenmesi için eğrisellikleri Dantzig-Wölfe ayrıştırma prensibine uygun olarak parçalıyarak 36 aylık 3 hazneli bir sistemi dinamik programlama ile çözmüşlerdir. (ROEFS ve BODIN, 1970)

Trott ve Yeh dinamik programlama ve düzeltilmiş artış yaklaşımları ile altı hazneli bir sistem içindeki haznelerin eniyi boyutlarını araştırmışlardır (TROTT ve YEH, 1973).

Harboe ve arkadaşları Wupper nehri üstündeki beş hazneli bir sistemin en düşük akımların enbüyüklenmesi amacı ile gerekirci dinamik programlama ve benzetim metodunu kullanarak eniyilemişlerdir (HARBOE, v.d., 1980).

Türkiye'de hazne sistemlerine eniyileme yöntemleri uygulamaları nispeten yenidir. Coşkun, dinamik programlama ile baraj işletmesine ve kanal kapasitesi belirlenmesine örnekler vermiştir (COŞKUN, 1971).

Akın, üretilmiş akımlar ile santral çevirme kapasitesi ve kurulu gücünü parametrik olarak değiştirmek suretiyle ortalama enerji üretiminin eniyi değerini ve çalışma sürelerini benzetim yöntemi ile incelemiştir (AKIN, 1972).

Çok amaçlı Ceyhan- Aslantaş barajı için Wazirruddin ve Altınbilek tarafından hazırlanan ve eğrisel bir amaç fonksiyonuyla doğrusal kısıtlar içeren model eğim projeksiyonu arama tekniğiyle eniyilenmiştir (WAZIRUDDIN ve ALTINBİLEK, 1973).

Benzeden, baraj santrallerindeki enerji üretimlerinin stokastik analizine dayanarak, kuraklığın enter konnekte sisteme etkilerinin hesabı için bir yöntem geliştirmiş ve bu konu Sarıyar Hirfanlı sistemine uygulamıştır (BENZEDEN, 1975).

Adıgüzel, Bursa su temini projesinin bir parçasını oluşturan Selahattin Saygı barajının eniyi işletme politikasını dinamik programlama kullanarak araştırmıştır (ADIGÜZEL, 1976).

Altınbilek ve Aygün seri bağlantılı iki barajın eniyi ortak işletme kurallarını saptayacak bir dinamik programlama modeli kurmuşlar ve modeli Sakarya nehri üzerindeki Sarıyar ve Gökçekaya Barajlarının ortak eniyi işletme kurallarını belirlemek için uygulamışlardır (ALTINBİLEK ve AYGÜN, 1979).

Sevük ve arkadaşları artırmalı dinamik programlama yöntemine dayanan üçbarajlı bir eniyileme modelinin ardışık uygulaması ile Çoruh havzasında yer alan barajların toplam birincil enerjilerini enbüyük yapan işletme politikasını saptamışlardır (SEVÜK, v.d., 1979).

O.D.T.Ü. Su Kaynakları Laboratuvarı ve Su Kaynakları Mühendisliği Araştırma Enstitüsü ile EİE Genel Direktörlüğünün ortaklaşa çalışması sonucu bir ve birdenfazla hazneli seri hidroelektrik santral içeren sistemin güvenilir enerji üretimini ve bu üretimi sağlayan işletme kurallarını tesbit için dinamik programlama ve benzetim programları geliştirilmiş, programlar Sarıyar-Gökçekaya sistemine uygulanmıştır (E.İ.E., 1981).

Türkman ayrı akarsu haznelerinde yer alan baraj hazneli su kuvveti tesislerinin enerji üretimini bütünleştirme-ayrıştırma modeli kullanarak modeli kuadratik ve dinamik programlama teknikleri ile çözerek eniyilemiştir (TÜRKMAN, 1982).

TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsünce Uluslararası Matematiksel Programlama Sempozyumuna aynı akarsuda kurulmuş bir hidroelektrik enerji santralleri serisinin optimum boyutlandırma ve işletmesi ile ilgili bir optimizasyon sistem planı sunulmuştur. Mevcut hidrolojik akım verileri modellenmiş ve böylece gerekli zaman aralıkları için sentetik akım serileri türetilmiştir.

Verilen bir sistemin boyutlar seti için optimum işletme politikaları dinamik programlama ile, (güvenilir gücün) sabit enerjinin riskleri ve toplam enerji üretiminin sistemin ekonomik ömrü üzerinde daha önceden belirlenen optimum işletme politikaları kullanılarak bir simülasyon modeli aracılığıyla belirlenmiş ve bu çalışma Aşağı Fırat nehrinin en üstünde Munzur Projesi olarak uygulanmıştır (SERT, KIZILTAN, DALGIÇ, 1982).

TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsünde yapılan bir başka çalışmada Sakarya Havzası Optimal Enerji Üretimi Projesinin, ülkemizde çok barajlı ve çok amaçlı havza planlaması tekniklerinin geliştirilmesi amacı ile modern sistem analizi yöntemleri kullanılarak örnek bir çalışma olarak yapılması düşünülmüştür (SERT, ÖCAL, OKTAY, ERTUĞLU, 1983).

TÜBİTAK, Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü Yöneylem Araştırması Bölümünde bir akarsu üzerinde inşa edilecek bir seri barajdan en yüksek faydayı elde etmek için optimal işletme kurallarının belirlenmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Sistemin verilen boyutları için güvenilir gücü ve toplam enerjiyi enbüyükleyen optimal işletme politikaları bir dinamik programlama optimizasyon modeli çerçevesinde belirlenmektedir. Mevcut hidrolojik verilerin modellenmesi ile istenilen uzunlukta akım serileri türetilmekte ve bunlar, belirlenen optimal işletme politikaları ile birlikte bir benzetim modelinde kullanılarak sistemin ekonomik ömrü boyunca güvenilir gücün gerçekleşme oranı ve üretilen toplam enerji, (güvenilir gücün parametrik olarak değiştirilmesiyle) ayrıntılı olarak incelenmektedir. Bu çalışma, Keban-Karakaya-Atatürk barajları sisteminden elde edilecek hidroelektrik enerjinin enbüyüklenmesi için uzun dönem optimal işletme kurallarının belirlenmesine yöneliktir. Fakat çalışmada kullanılan yöntemler ve bilgisayar programları genel bir nitelik taşımakta olup, diğer havzalara da uygulanabileceklerdir (SERT ve ÖCAL, 1983).

İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü'nün ortak yaptığı bir çalışmada çeşitli yenilebilir ve alışılmış enerji kaynaklarından (hidroelektrik, termik, nükleer, jeotermal, güneş, rüzgâr) belirli ısı ve elektrik enerji taleplerini en ekonomik bir şekilde karşılayacak genel amaçlı bir sistemin tanımlaması yapılmış ve bu sistemin optimizasyonu için kurulan matematiksel modeller sunulmuştur. Sistemin optimizasyonu için, birbirleriyle uyumlu olarak kullanılacak bir doğrusal programlama optimizasyon modeli ve bir benzetim modeli öngörülmüştür. Benzetim modelinde kullanılmak üzere rassal enerji kaynakları verilerinin (hidrolik, güneş, rüzgâr) matematiksel modellemesi yapılarak istenilen uzunlukta sentetik seriler türetilmiştir. Optimizasyon modeli ile sistemin optimal tesis kapasiteleri, kurulu güçleri ve işletme politikaları belirlenmiş ve bunlar türetilen sentetik serilerle birlikte benzetim modeline girdi olmuştur (MAE; EİE; 1984).

4.3.4. L P İ l e Y a p ı l m ı ş H a z n e İ ş l e t m e v e B o y u t l a n d ı r m a Ç a l ı ş m a l a r ı

Su kaynakları planlaması ve işletimde lineer programlama (LP) basit problemlerden karışık işletme durumlarını içeren sistemlerin çözümüne kadar kullanılmıştır.

Özellikle tek veya çok hazneli sistemlerin matematik modellerinin çözümünde LP tekniğinin uygulamaları konusunda pekçok yayın göstermek mümsünse da aşağıda önemli görülen bazı çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

Masse ve Gilbrat doğrusal programlamayı termik ve hidroelektrik santrallerin eniyi seçeneklerinin belirlenmesinde kullanmışlardır (MASSE VE GILBRAT, 1957).

Manne geliştirdiği rastlansal modeli doğrusal programlamayla eniyilemiş, ayrıca tek barajlı ve üç mevsimlik bir model geliştirerek barajın taşkın kontrol, güç üretimi ve sulama amacıyla en iyi işletme esasını belirlemiştir. (MANNE, 1960 a: 1960 b)

Dorfman doğrusal programlama ile bir hazne ve çeşitli sulama sahalarını içeren bir sistemi her model bir öncesinden kompleks olmak üzere üç değişik model kurarak incelemiştir. Basitleştirilmiş havza planlama modeli olan modelde yıllık akımlar kurak ve sulak olmak üzere iki basit sürece ayrılmış ve kendi içlerinde bağımsız olarak çözülmüşlerdir. İkinci modelde, gelecek yıla yapılacak depolama için kritik dönem analizi kullanılmıştır. Üçüncü modelde ise akışlar stokastik olarak ele alınmıştır. Ekonomik amaç fonksiyonunun maximize edilebilmesi için, süreklilik ve teknolojik sınırlamaların yerine getirilmesi sağlanmış, depolama kapasitesi ve sulama suyu miktarları karar değişkenleri olarak ele alınmıştır (DORFMAN, 1962).

Thomas ve Revelle LP ile Nil nehrindeki Asvan Barajının eniyi işletme politikasını tayin etmişlerdir (THOMAS ve REVELLE, 1966).

Parikh sistemlerin parçalanması yoluna gitmiş, alt sistemleri dinamik programlama (DP) uygulayarak belirlemiş, daha sonra her alt sistemdeki bırakılan su miktarlarını uzaysal LP kullanarak saptamıştır (PARIKH, 1966).

Meier ve Beightler paraler hazne sistemlerinin parçalanmasında, dallanma sıkıştırma tekniğini getirmişler ancak modellerinde mevsimler arası düzenleme gözönüne alınmamıştır (MEIER ve BEIGHTLER, 1967).

Hall ve Stephard DP-LP tekniği ile kaynak-hazne problemini ana problemden yola çıkarak ayırmışlar ve geliştirmişlerdir. Bu çalışmada ana problem bir koordinatör işlevini görmekte, alt problemler ise tamamen tek hazne çalışması şeklinde kurulmaktadır. Bu çalışmada alt problemler DP ile çözülmüş, belirlenen akış ve enerji üretimi değerleri ana problemde toplanmış ve problem LP ile çözülmüştür (HALL ve STEPHARD, 1967).

Loucks Oswego nehri havzasındaki Five Fingers göllerinin işletilmesi amacı ile, dört mevsimli beş kesikli hazne hacmi ve altı kesikli net akım durumunu içeren bir

rastlansal modeli doğrusal programlama ile çözmüştür (LOUCKS, 1968).

Dorfman bir LP modeli ile bir nehir havzasındaki çok amaçlı barajlardan elde edilecek enerji üretimi ve sulama faydalarının enbüyüklenmesini amaçlamıştır. (DORFMAN, 1968 b).

Ankara içmesiye projesinde altı barajda toplanabilecek suyun çeşitli hatlarla şehre iletilmesi problemi LP ile analiz edilerek daha detaylı analizler için üç ayrı seçenek belirlenmiştir. (CAMP-HARRIS-MESARA, 1969).

Reefs ve Bodin Parikh'in metodunu geliştirmiş ancak üçlü bir hazne sistemine uygulanmasında birtakım zorluklarla karşılaşmışlardır (ROEFS ve BODIN, 1970).

Windsor çok hazneli taşkın kontrol sistemlerinin analizinde LP kullanılacak bir metod geliştirmişlerdir. Bu çalışmada parçalara bölünen havzadaki taşkın hareketi formüle edilmeye çalışılmıştır. Taşkın yayılımının boyutları memba-mansap şartlarına, nehir yatak kapasitesi ve dolusavak boyutlarına bağlanmıştır. Sistemden salınacak akım, havzadaki taşkın zararlarına bağlı olarak akış hidrografları şeklinde verilmiştir. (WINDSOR, 1973).

Becker ve Yeh Kaliforniya Central Valley Projesi için DP+LP kombinezonundan oluşan bir model önermişlerdir. Sınır şartlarının içine diğer yan amaçları yerleştirerek her dönemdeki haznedeki su boşaltım politikalarından kaynaklanan toplam potansiyel enerji kaybını minimize etmişlerdir. Buradan alınan LP sonuçları, ileriye dönük optimizasyon çalışmaları için gerçekleştirilen DP'da veri olarak kullanılmıştır (BECKER ve YEH, 1974).

Takeuchi ve Moreau, DP+LP kombinezasyonundan oluşan stokastik bir model geliştirmişlerdir. Bu modelde amaç fonksiyonu ay içindeki ekonomik kayıplar ve haznedeki su seviyelerinin değişimlerinin yaratacağı kayıpların bugünkü değeri olarak iki kısımdan oluşturulmuştur (TAKEUCHI ve MOREAU, 1974).

Degli ve Miles seri bağılı dört barajdan oluşan sistemin çözümü için bir basit yaklaşım önermişlerdir. Amaç fonksiyonu olarak haznedeki suyun yıllık toplam düşüşü maximize edilmiştir. Hidrolik düşü her haznede depolanan suyun bir fonksiyonu olduğundan, amaç fonksiyonu ve bazı sınırlar nonlineer formda oluşmuş problem lineerize edilerek LP ile çözülmüştür. (DAGLI ve MILES, 1980)

TEK Türkiye'nin 1984-2003 yılları arasını kapsayan uzun dönem elektrik enerjisi gereksinmesinin karşılanması için gerekli üretim tesislerini LP kullanarak incelemiş; bu döneme ilişkin üretim maliyetleri ve ilk yatırım harcamaları toplamını enküçüğe indirmek için bir üretim yatırım programı ve bu programla ilgili eniyi işletme programını saptamıştır. (TEK, 1980)

5. GEDİZ HAVZASININ TANITIMI ve MODEL İÇİN GEREKLİ BÜYÜKLÜKLERİN BELİRLENMESİ :

5.1. Havzanın Tanıtılması

Bu çalışmada uygulama sahası olarak Ege Bölgesinde Gediz Havzasındaki Aşağı Gediz Sulamaları olarak adlandırılan sulamalar grubu seçilmiştir. Sulama sistemlerinin modellenmesine geçmeden önce havzanın ve sulamaların genel tanıtımının uygun olacağı düşünülmüştür.

Gediz nehri havzası Batı Anadolu'da Ege Denizi ile Küçük Menderes ve Bakırçay havzaları arasındadır. 2224 m. yükseklikteki Murat dağı yakınından doğan, Kula yakınındaki volkanik bölgeyi katederek sağ ve soldan Deliniş Çayı, Kumçayı, Demirci Çayı, Alaşehir Çayı, Nif Çayı vb. yan kolları alarak Emiralem boğazına doğru 100 km genişliğinde bir vadi içerisinde akan ve uzunluğu 300 km'yi bulan Gediz nehri İzmir'in 38 km kuzeybatısında Foça yakınlarında İzmir körfezine dökülür.

Gediz havzası tipik Akdeniz ikliminde olup, yıllık ortalama yağış 640 mm, yıllık ortalama sıcaklık 16.8°C, drenaj alanı 17500 km²'dir. Havzadaki topoğrafik eğim genellikle nehir akışına uygun olarak doğu-batı yönünde- ayrıca güneyde ve kuzeyde Gediz nehrine doğrudur. Topoğrafya düz ve düze yakındır.

1. ve 3. jeolojik zamanda oluşan dağların aşınan kısımların akarsular tarafından taşınarak vadi içinde yığılması alüvyon oluşumlu havzayı oluşturmuştur. Toprak yapısı genellikle granülerdir. 4. zamanda oluşan kısımların alt horizonlarında masif yapıya rastlanmakta ise de bunların miktarı azdır. Toprak derinliği her türlü derin köklü bitki yetiştirmesine uygun olup bünye kaba kum ile kil arasında değişim göstermektedir. Profillerde çok seyrek olarak taş

ve kum katmanına rastlanır. Havza toprakları geçirgenliklerinin genelde iyi olmasına karşın, ağır bünyeli bir kısım killi topraklar ile fazla miktarda değişebilir sodyum içeren topraklardageçirgenlik 0,50 cm/saat'ten azdır. Topraklar çamur pH bakımından da çok nötr ve nötre yakındır. Fazla miktarda sodyum ve kireç içeren sahalarda pH 8'in üzerinde olup toprak bazik niteliktedir.

Sulama suları C_2S_1 kalitesinde olup orta derecede tuz ve çok az miktarda sodyum içerirler. İçerdikleri sodyum ve potasyum miktarı Ca^{++} ve Mg^{++} miktarından az olduğundan artık $CO_3^{=}$ ve HCO_3^{-} sakıncası yoktur, sodiklik sorunu yaratmayacağından her türlü tarım bitkisinin sulanmasında emniyetle kullanılabilirler.

Havzadaki ekonomik aktivitenin esasını, tarım ürünleri oluşturmaktadır. Halen tarım arazilerinin 3/4'ü tarım ürünleri, 1/5'i bağ, geri kalan ise sebze ve meyve bahçeleridir. En fazla ekilen ürünler; tahıl, pamuk, tütün, çeltik, baston- susamdır. Tütün, kuru üzüm, incir, palamut, ceviz, zeytin, keten ve susam ihracat ürünleridir.

Havzadaki ticari faaliyetin temeli tarım olup en önemli ticaret merkezleri Manisa, Akhisar ve Salihli'dir.

5.2. Sulama Açısından Gelişmeyi Gerektiren Nedenler

Aşağı Gediz Projesi, Alaşehir Projesi ve Toprak-Su kooperatifleri gibi diğer küçük projeler ile sulanan arazinin toplamı Aşağı Gediz ovalarından (Adala, Ahmetli, Menemen ovaları) sulanabilir arazi miktarının altında kalmaktadır. Özellikle Alaşehir Sulaması ile, Adala sol sahil sulaması arasında 14000 ha kadar bir arazinin mevcut sulamaların dışında kalması sosyal açıdan büyük bir adaletsizlik oluşturmaktadır.

Öte yandan Menemen sulamasından dönen sularla birlikte, Emiralem regülatöründen de bir miktar su, deniz suyunun içerilere girmesini engellemek amacı ile tampon suyu olarak denize bırakılmaktadır (DSİ, 1981).

5.3. Havza ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Gediz nehri havzasında etüdlere ilk defa 1939 yılında başlanmıştır. E.İ.E idaresince 1949 yılında Amerikan K.T.A Engineering Company Gediz nehri havzası amenajmanı çalışmalarını yapmakla görevlendirilmiştir. Böylece 1960 yılında "Gediz Havzası Amenajmanı Raporu" hazırlanmıştır. Bu raporda Alaşehir ve Akhisar Proje alanları etüd dışı bırakılmıştır.

1961 yılında Alaşehir Projesi istikşaf raporu, 1963 yılında Akhisar Projesi istikşaf raporu, 1964 yılında Alaşehir projesi planlama raporu, 1965 yılında Gediz Havzası istikşaf özet raporu, 1966 yılında Akhisar Projesi Planlama raporu yayınlanmıştır.

DSİ II. Bölge Müdürlüğü tarafından 1970 yılında "Alaşehir ve Gediz Sel Kapanları Projesi Master Plan Raporu", Gediz ovaları için Arazi Tasnif ve drenaj raporları ile 1977 yılında "Yukarı Gediz Özköy Barajı Planlama Raporu" 1981 yılında "Gediz Su Düzeni Master Plan Raporu" yayınlanmıştır.

5.4. Havzadaki Hazne ve Sulama Sistemleri

5.4.1. D e m i r k ö p r ü

Gediz nehri üzerinde planlama aşamasında bulunan Özköy baraj ve hidroelektrik santralının hemen mansabında bulunan Demirköprü 1960 yılında hizmete girmiştir. Asıl amacı düzenli sulama suyu olmakla birlikte önemli miktarda enerji üretmekte ve taşkın kontrolü amacına da hizmet etmektedir. Demirköprü haznesine ait temel karakteristikler Tablo 5-1'de verilmiştir.

KARAKTERİSTİKLER	BİRİM	DEĞER
Yağış Alanı	km ²	6950
Ortalama Yağış	mm/yıl	630
Ortalama Akış	10 ⁶ m ³ /yıl	681
Azami işletme kotu	m	244,2
Azami işletme kotunda hacim	10 ⁶ m ³	1320
Asgari işletme kotu	m	221,8
Asgari işletme kotunda hacim	10 ⁶ m ³	420
Ölü hacim	10 ⁶ m ³	165

Tablo 5-1 : Demirköprü haznesinin karakteristikleri
(DSİ, 1967).

Demirköprü hacim-satış ilişkisi:

$$A = 0,4039 \times 10^1 + 0,7155 \times 10^{-1} + V - 0,3000 \times 10^{-4} V^2 \quad (5.1)$$

olarak, Demirköprü haznesinde oluşan aylık ortalama net buharlaşma değerleri Tablo 5-2'de,

Hazne	Birim	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	Yıllık
Özköy ve Demirköprü	mm/ay	26.7	-	-	-	-	-	29.4	81.4	135.8	178.3	174.8	97.5	724

Tablo 5-2: Özköy ve Demirköprü haznelerinden oluşan net buharlaşma değerleri (BAYRAKTAR, 1973).

Demirköprü barajı aylık akımları da Tablo 5-3'de verilmiştir.

YIL	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	YILLIK AKIM
1939	14	14	28	50	27	194	56	25	27	11	6	25	477
1940	10	10	179	248	162	133	126	96	47	20	11	7	765
1941	15	14	470	263	351	128	102	67	29	16	9	9	1473
1942	16	27	39	197	173	126	72	49	18	11	14	13	641
1943	21	45	45	147	51	37	30	54	32	11	6	12	491
1944	19	28	54	69	336	245	131	64	37	18	12	13	723
1945	21	12	39	272	123	90	72	34	14	8	10	12	716
1946	12	13	32	35	97	93	65	68	48	13	4	17	437
1947	21	26	150	160	161	81	41	28	19	17	5	4	713
1948	10	22	12	209	187	85	81	68	27	10	5	7	720
1949	10	10	14	20	36	123	74	39	15	9	4	6	370
1950	0	21	33	42	49	54	72	81	27	11	5	7	402
1951	0	17	25	71	75	165	68	47	24	10	3	8	513
1952	14	27	23	98	264	95	51	42	23	20	7	5	669
1953	10	65	50	155	277	53	55	52	12	4	7	3	743
1954	9	10	14	51	95	135	87	56	18	5	2	3	485
1955	5	1	41	71	63	42	49	40	8	7	2	8	337
1956	13	259	121	95	324	161	82	63	18	10	8	8	1163
1957	9	12	13	19	24	42	17	24	14	3	6	8	191
1958	0	11	38	87	81	90	50	90	32	19	10	9	527
1959	16	14	30	215	71	81	29	25	21	10	8	8	528
1960	8	11	32	181	108	104	63	22	15	16	7	2	569
1961	7	7	236	99	175	40	42	28	34	10	11	4	694
1962	5	6	13	53	119	133	75	36	14	10	8	8	443

Tablo 5-3: Demirköprü Barajı aylık akımları ($10^6 m^3/ay$) (BAYKAN, 1973).

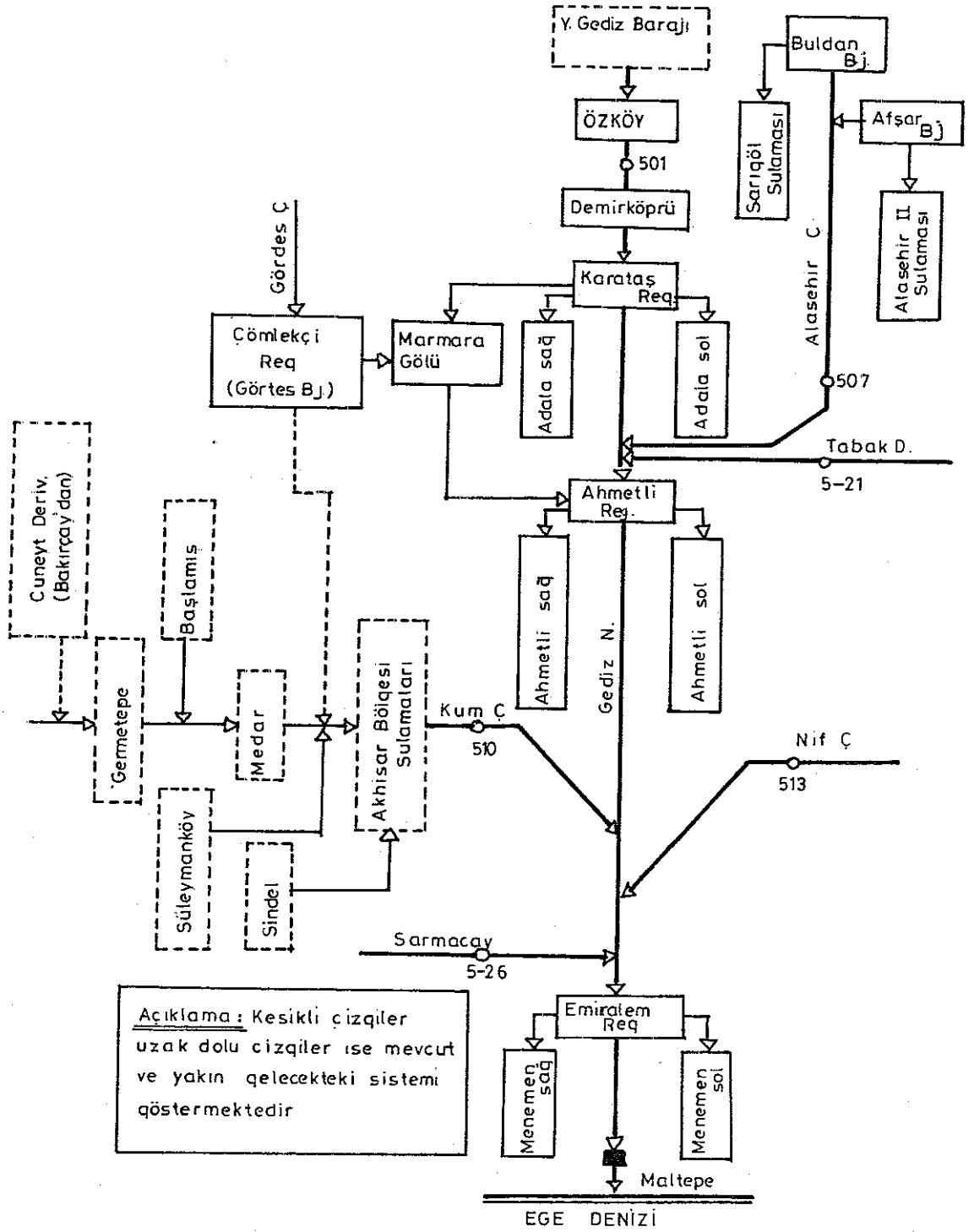
5.4.2. H a z n e d e n Y a r a r l a n a n S u l a m a S i s t e m l e r i

Gediz Havzasındaki Tesisler ve su kullanımı akış şeması Şekil 5-1'de sağ ve sol sahillerdeki sulama alanları Şekil 5-2'de arayı tasnif haritasında gösterilmektedir. Şekil 5-1'de belirtilen bağlama su sulamalarından doğrusal modellemeye esas olanların karakteristikleri Tablo 5-4'de verilmiştir.

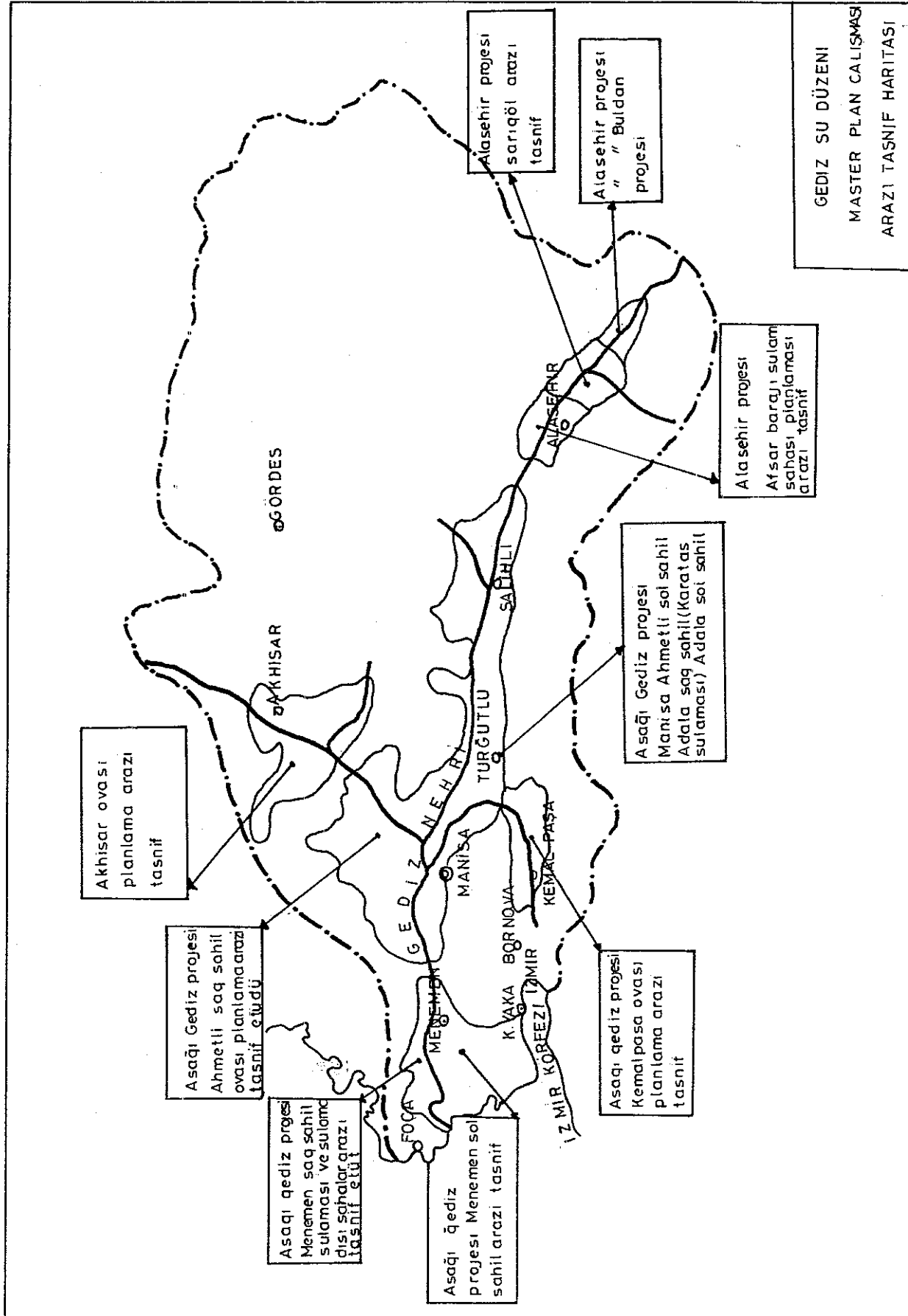
Demirköprü barajının 5 km mansabındaki dolu gövdeli Karataş (Adala) Regülatörü Adala sulamasının 20.4 km lik sağ ve 76.6 km.lik sol ana kanallarına su verilmektedir.

Adala'da sonra Gediz üzerinde gene dolu gövdeli Ahmetli Bağlaması Ahmetli ovası sulamasında en önemli rolü oynamaktadır.

Aşağı Gediz Projesinin son kısmı kapaklı Emiralem Bağlamasından su alan Menemen ovası sulamasıdır.



Şekil 5-1: Gediz Havzasındaki tesisler ve Su kullanımı akış şeması (TÜRKMAN, BENZEDEN, ÖZİŞ; 1980).



	ADALA SULAMALARI		AHMETLİ SULAMALARI		MENEMEN SULAMALARI	
	Sağ Sahil	Sol Sahil	Sağ Sahil	Sol Sahil	Sağ Sahil	Sol Sahil
Sulama Sahası	7200 Ha.	16680 Ha.	29150 Ha.	25700 Ha.	4720 Ha.	14000 Ha.
Sebeke cinsi	Klasik	4925 Ha.Klasik 11755 Ha.Kanalet	24000 Ha.Klasik 5150 Ha.Kanalet	Kanalet Şeb.	Kanalet Şeb.	Klasik
Ana kanal boyu	20400 m.	76600 m.	119400 m.	69100 m.	35000 m.	11000 m.
Yedek kanallar boyu	41000 m.	34700 m.	133100 m.	42300 m.	-	51200 m.
Tersiyerler	253400 m.	71000 m.	281000 m.	-	-	137000 m.
Kanaletler	-	325000 m.	167600 m.	416000 m.	135000 m.	-
Tahliye kanalları	48100 m.	94500 m.	205200 m.	129000 m.	57800 m.	182500 m.
Drenaj kanalları	230000 m.	75000 m.	340200 m.	55000 m.	11300 m.	101500 m.

Tablo 5-4: Aşağı Gediz Sulamalarının Sayısal Karakteristikleri
(DSİ, 1981)

5.5. Model için gerekli sayısal değerlerin belirlenmesi

Havzada yetiştirilen bitki türü, ekiliş yüzdeleri, maximum kanal kapasiteleri, sağ sol sahillere ait sulama alanları, akarsuya ait aylık maksimum akımlar, girdi akımların aylık değerleri, buharlaşma değerleri, maximum-minimum hazne kotları, Maltepe kesitinde denize verilen tampon suyu miktarı vb. havzaya özel değerler DSİ İzmir Bölge Müdürlüğü,nden ve sulamaların bulunduğu ilçelerdeki ilgili Şube Müdürlüklerinden alınmıştır.

Havzada yetiştirilen bitkilerin ekiliş yüzdeleri ve yıllık üretim miktarları ilgili Tarım İl Müdürlüklerinden, bu bitkilere ait kg fiatları da günlük Ticaret Gazetesi Borsa fiatlarından alınmıştır.

Havzada yetişen bitkilerden ekiliş yüzdeleri en fazla olanlar ana bitki kabul edilmiş, düşük olanlar gözönüne alınmamıştır. Bitki su gereksinimleri

$$U = 25,4 \text{ k} \cdot \frac{1,8t + 32}{100} \cdot P \quad (5.2)$$

eşitliğiyle verilen Blaney Criddle formülüyle aylık olarak hesaplanmış ve bu miktarlar mevsimlik sulama suyu gereksinimlerine çevrilerek havzaya özgü diğer değerlerle birlikte Tablo 5-5'de verilmiştir.

Yıllık gelirin mevsimlere paylaştırılması ise;

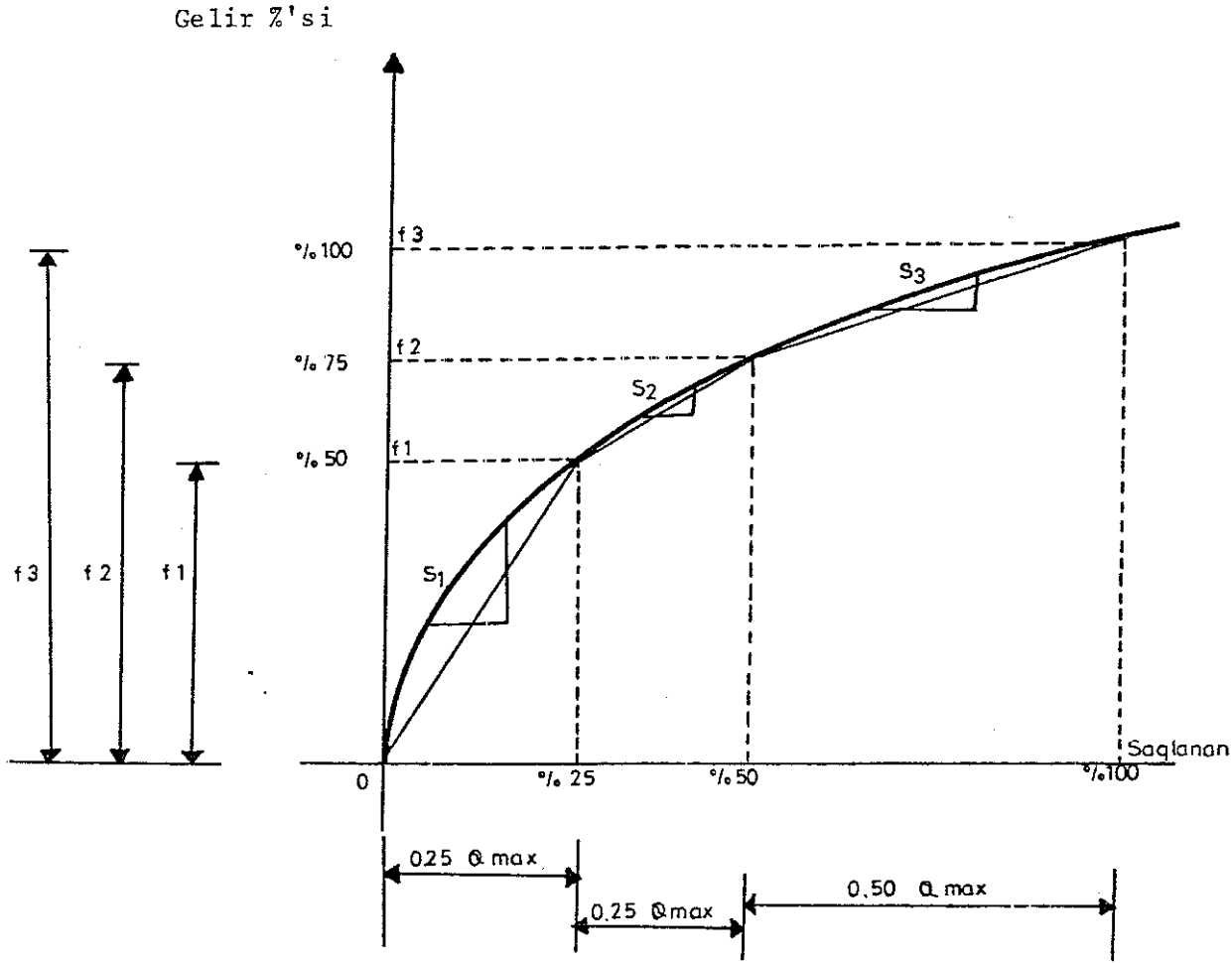
$$\text{Mevsimlik gelir} = \text{Yıllık gelir} \times \frac{\text{Mevsimlik Sulama Suyu gereksinimi}}{\text{Yıllık Sulama Suyu gereksinimi}}$$

şeklinde yapılmıştır.

Bitkiye sağlanabilecek su (bitki su gereksinimine göre) ile bitkidен elde edilecek gelir arasında bir ilişkinin literatürde belirtildiği gibi Şekil 5-3'de verilen eğri formunda değiştiği düşünülmüştür.

SULAMA SAHASI ADI	SULANAN ALAN (ha)	MAXİMUM KANAL KAPASİTELERİ m ³ /sn	BİTKİLERİN EKİLİŞ YÜZDELERİ %	ANA BİTKİ TÜRÜ	K	I	Y	S	SULAM SUYU GERESİNMELERİ	YILLIK SULAMA SUYU GEÇİRMİ
ADALA	8173	30.000	70	Pamuk	0	142,92	462,75	127,58		733,25
SAĞ SAHİL			30	Bağ	0	149,2	394,18	76,20		619,58
ADALA	12539	20.000	70	Pamuk	0	142,92	462,75	127,58		733,25
SOL SAHİL			30	Bağ	0	149,2	394,18	76,20		619,58
AHMETLİ	23875	25.60	70	Pamuk	0	142,92	462,75	127,58		733,25
SAĞ SAHİL			30	Bağ	0	149,2	394,18	76,20		619,58
AHMETLİ	22230	24.00	70	Pamuk	0	142,92	462,75	127,58		733,25
SOL SAHİL				Bağ	0	149,2	394,18	76,20		619,58
MENEMEN	6046	20.00	70	Pamuk	0	142,92	462,75	127,58		733,25
SAĞ SAHİL			30	Çeltik	0	0	564,93	305,48		870,41
MENEMEN	11060	22.00	70	Pamuk	0	142,92	462,75	127,58		733,25
SOL SAHİL				Çeltik	0	0	564,93	305,48		870,41

Tablo 5-5: Havzaya özgü sayısal değerler.



Şekil 5-3: Gelir-Sulama Suyu Gereksinimi ilişkisi.

Eğri kısım olarak doğrusallaştırıldığında her kısmın eğimi

$$S_1 = \frac{f_1 - 0}{0,25 Q_{\max}} , \quad S_2 = \frac{f_2 - f_1}{0,25 Q_{\max}} , \quad S_3 = \frac{f_3 - f_2}{0,50 Q_{\max}} \quad (5.3)$$

şeklinde olacaktır.

Yukarıda verilen eğri formu her bitkinin bulunduğu sulama alanına bağlı verimi ve satış fiyatı kullanılarak hesaplanan bitki gelirlerinin mevsimlere dağılımı yapılmış ve ilgili değerler Tablo 5-6'da sunulmuştur.

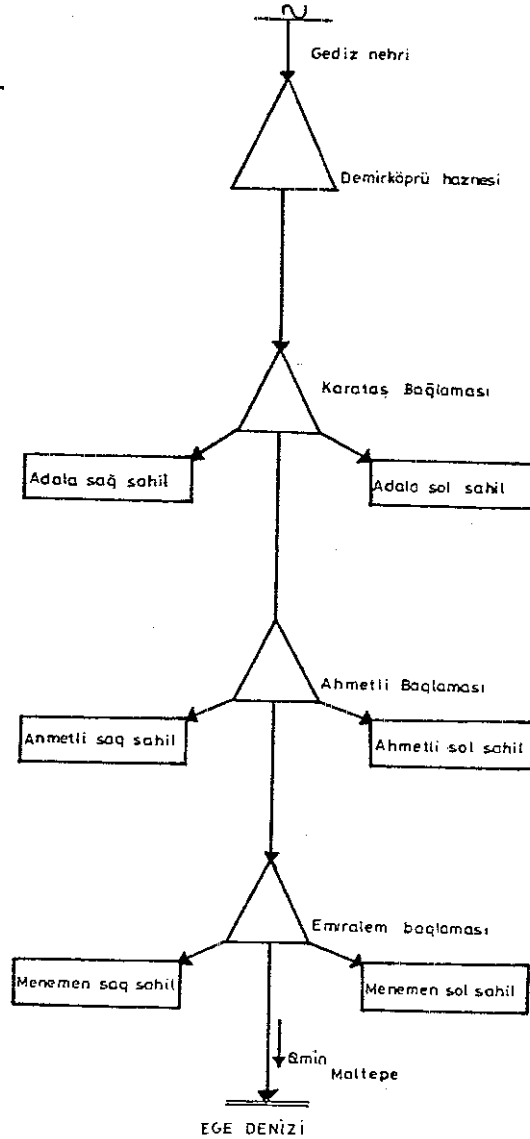
SULAMA SAHASI ADI	SULANAN ALAN	ANA BİTKİ TÜRÜ	EKİLİŞ YÜZDELERİ- NE GÖRE ALAN	BİTKİ VERİMİ	BUGÜNKÜ FİATLARI	MAXİMUM YILLIK GELİR	YILLIK GELİRİN MEVSİMLERE PAYLAŞTIRILMASI 10 ⁶ TL/Mevsim			
							K	I	Y	S
	(ha)		(ha)	Kg/Da	TL/Kg.	10 ⁶ TL/Yıl/Ha.				
ADALA SAĞ SAHİL	8173	Pamuk	5721	250	1700	24263	-	4736	15301	4226
		Bağ	2452	400	500	4966	-	1197	3161	608
ADALA SOL SAHİL	12539	Pamuk	8777	250	1700	37508	-	7309	23671	6528
		Bağ	3762	400	500	7625	-	1835	4851	939
AHMETLİ SAĞ SAHİL	23875	Pamuk	16713	250	1700	70769	-	13796	44661	12312
		Bağ	7163	400	500	14141	-	3403	8987	1751
AHMETLİ SOL SAHİL	22230	Pamuk	15561	250	1700	66186	-	12902	41769	11515
		Bağ	6669	400	500	13443	-	3237	8553	1653
MENEMEN SAĞ SAHİL	6046	Pamuk	4232	260	1700	18496	-	3537	11452	3507
		Çeltik	1814	450	460	3706	-	-	2406	1300
MENEMEN SOL SAHİL	11960	Pamuk	7742	260	1700	34155	-	6640	21511	6004
		Çeltik	3318	450	460	3401	-	-	4438	2401

Tablo 5-6 : Mevsimlik gelirler ve sulama suyu gereksinimleri.

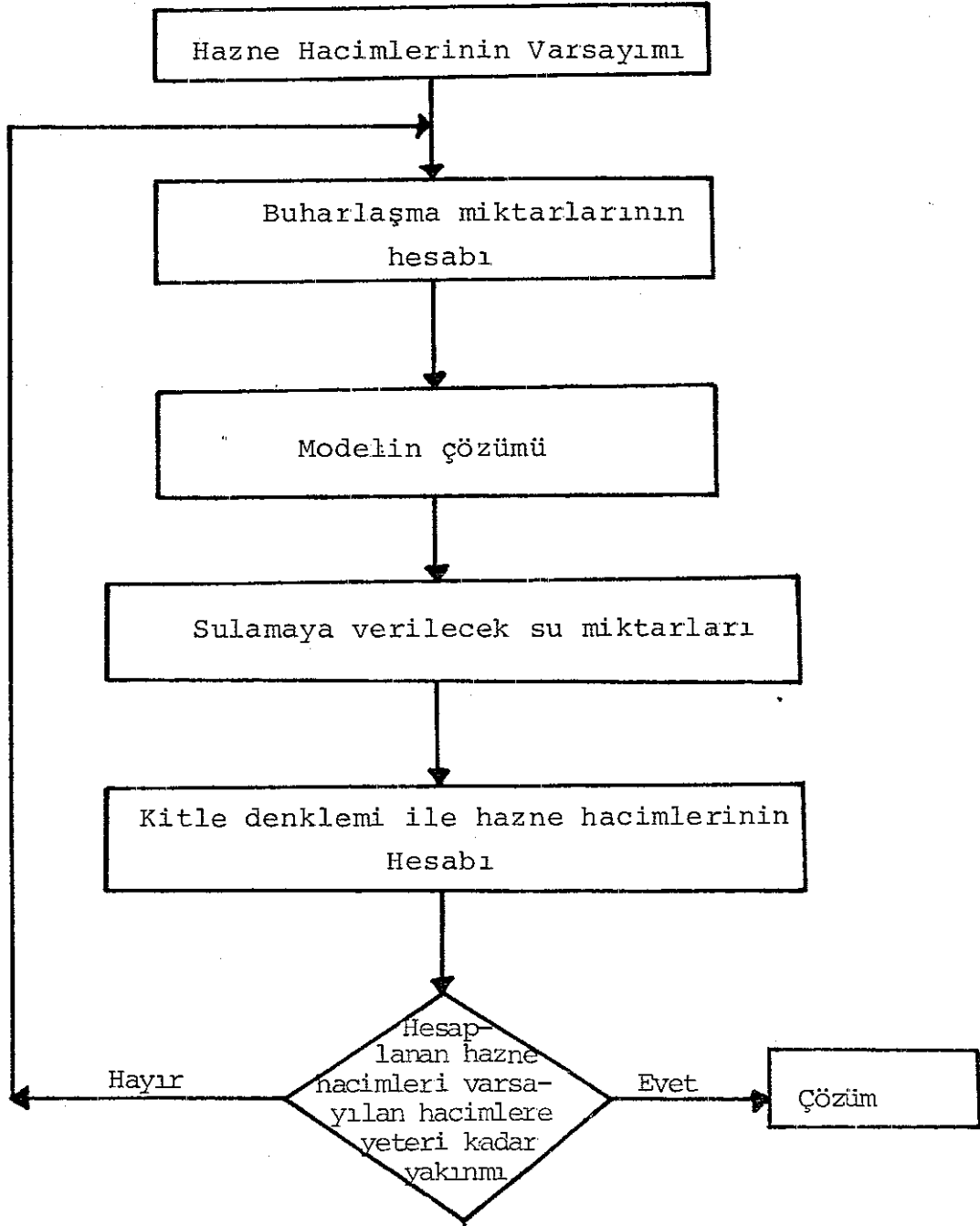
6. AŞAĞI GEDİZ SULAMALARININ DOĞRUSAL MODELİ

6.1. Modelin Genel Yapısı

Aşağı Gediz havzasının genel şeması Şekil 5-1'de verilmiştir. Söz konusu sulamaların doğrusal modelini kurmak için bu şema şekil 6-1'de verilen duruma indirgenmiştir.



Şekil 6-1: Eniyilenmesi yapılan Aşağı Gediz Sulama Sistemlerinin Şeması.



Şekil 6-2 : Modelin Çözüm Akış Şeması

Ana düzenleyicisi hazne olan Demirköprü haznesi gerçekte çok amaçlı işletilmesine rağmen burada sadece sulama amacına yönelik çalıştırılacağı düşünülmüştür. Gerçekte oldukça karmaşık hidrolojisi olan Gediz nehri oldukça basit bir hale dönüştürülmüş, Demirköprü haznesine yardımcı olarak çalıştırılan Marmara gölü depolaması ve Gediz nehrine Demirköprü barajından sonra katılan Tabak deresi, Kum çayı, Sarmaçay, Nif Çayı akımları modele dahil edilmemiştir.

Amacı tarım sahalarından elde edilecek geliri en büyük kılacak şekilde, Demirköprü haznesinde düzenlenen akımları sulama sahalarına paylaştırmak olan modelin zaman periyodu olarak 1 yıl alınmış, yıl ise mevsimsel olarak 4 sürece ayrılmıştır.

Sulama sahaları olarak da özellikleri 5. bölümde verilen Adala, Ahmetli, Menemen Sulamaları Sağ ve Sol sahilleri olarak iki kısımda modellenmiştir. Böylece 6 sulama sahası, 4 mevsim ve 5. bölümde belirtildiği gibi verilecek su miktarının 3 mevsimiçi bölümünmesinden oluştuğu 72 değişkenli model kurulmuştur. Modele haznedeki oluşan buharlaşma kayıpları da dahil edilmiştir. Buharlaşma kayıpları göl yüzey alanının bir fonksiyonu olduğu için ve göl yüzey alanlarının ise sulamaya verilecek olan dolayısıyla aranılan büyüklüklerin bir fonksiyonu olması modelin iterasyon (yineleme) ile çözülmesini gerektirir. Modelin çözüm akış şeması Şekil 6-2'de verilmiştir.

6.2. Doğrusal Model

6.2.1. A m a ç F o n k s i y o n u

Aşağı Gediz Sulamalarının eniyilenmesi probleminde amaç sulama alanından elde edilecek toplam gelirin enbüyüklenmesidir. Amaç fonksiyonuna geçmeden önce sulamalarla ilgili gerekli sayısal değerlerin belirlenmesi gerekmektedir. Sulama seçeneklerini de,

$$Q_{(Yer)(Sağ-sol Sahil)(Mevsim)(Mevsimiçi)} = Q_{njik} \text{ olarak}$$

tanımlandığında amaç fonksiyonu ;

$$\max Z = \{S_{nj1k} \times Q_{nj1k}\} \quad (6.1)$$

$$Q_{Yıllık} = \sum_{n=1}^3 \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^4 \sum_{k=1}^3 Q_{nj1k} \text{ şeklinde düşünüldüğünde}$$

72 adet sulama değişkeni ortaya çıkmıştır. Bölüm 5'deki sulama suyu gereksinimleri, sulanan alanın verimi ve ürünlerden elde edilebilecek gelir ve Şekil 5-3'de verilen genel eğri kullanılarak amaç fonksiyonu katsayıları her sulama sahası için ayrı ayrı hesaplanmış ve Tablo 6-1'de verilmiştir.

Q_{1111} 0	Q_{1112} .0	Q_{1113} 0	Q_{1121} 989	Q_{1122} 494	Q_{1123} 247	Q_{1131} 1026	Q_{1132} 513	Q_{1133} 256
Q_{1141} 1074	Q_{1142} 537	Q_{1143} 277	Q_{1211} 0	Q_{1212} 0	Q_{1213} 0	Q_{1221} 1016	Q_{1222} 508	Q_{1223} 254
Q_{1231} 1019	Q_{1232} 509	Q_{1233} 255	Q_{1241} 1067	Q_{1242} 533	Q_{1243} 267	Q_{2111} 0	Q_{2112} 0	Q_{2113} 0
Q_{2121} 983	Q_{2122} 491	Q_{2123} 246	Q_{2131} 1012	Q_{2132} 506	Q_{2133} 253	Q_{2141} 1042	Q_{2142} 521	Q_{2143} 260
Q_{2211} 0	Q_{2212} 0	Q_{2213} 0	Q_{2221} 1009	Q_{2222} 504	Q_{2223} 252	Q_{2231} 1027	Q_{2232} 513	Q_{2233} 257
Q_{2241} 1053	Q_{2242} 527	Q_{2243} 263	Q_{3111} 0	Q_{3112} 0	Q_{3113} 0	Q_{3121} 1179	Q_{3122} 590	Q_{3123} 295
Q_{3131} 924	Q_{3132} 462	Q_{3133} 231	Q_{3141} 801	Q_{3142} 401	Q_{3143} 200	Q_{3211} 0	Q_{3212} 0	Q_{3213} 0
Q_{3221} 1476	Q_{3222} 590	Q_{3223} 295	Q_{3231} 944	Q_{3232} 472	Q_{3233} 236	Q_{3241} 841	Q_{3242} 421	Q_{3243} 210

Tablo 6-1: Amaç fonksiyonu-sulama değişkeni katsayıları.

6.2.2. Kısıtlar

6.2.2.1. H a z n e K ı s ı t l a r ı

Hazne kısıtları haznede biriktirilebilecek su miktarını, haznenin fiziksel kapasitesini aşmıyacak şekilde sınırlar. Haznedeki su miktarı hazne kapasitesinden fazla olamayacağı gibi ölü hacmin altına inmesinde önlenmesi

gerekir. Süreklilik denklemi, hazne başlangıç hacmi, sulanabilir arazilere tuzlu su girişini engellemek için Ege Denizine sürekli bırakılması gereken sabit (Z_s) su miktarı ve değerleri aranan sulama suyu miktarları cinsinden belirlenen hazne kısıtları aşağıda verilmiştir.

$$V_{ort} + Q_k - S_k - B_k - Z_s \leq V_{max} \quad (6.2)$$

$$V_{ort} + Q_k - S_k - B_k - Z_s \geq V_{min} \quad (6.3)$$

$$V_{ort} + (Q_k + Q_1) - (S_k + S_1) - (B_k + B_1) - 2Z_s \leq V_{max} \quad (6.4)$$

$$V_{ort} + (Q_k + Q_1) - (S_k + S_1) - (B_k + B_1) - 2Z_s \geq V_{min} \quad (6.5)$$

$$V_{ort} + (Q_k + Q_1 + Q_Y) - (S_k + S_1 + S_Y) - (B_k + B_1 + B_Y) - 3Z_s \leq V_{max} \quad (6.6)$$

$$V_{ort} + (Q_k + Q_1 + Q_Y) - (S_k + S_1 + S_Y) - (B_k + B_1 + B_Y) - 3Z_s \geq V_{min} \quad (6.7)$$

$$V_{ort} + (Q_k + Q_1 + Q_Y + Q_S) - (S_k + S_1 + S_Y + S_S) - (B_k + B_1 + B_Y + B_S) - 4Z_s = V_{ort} \quad (6.8)$$

6.2.2.2. S u l a m a K ı s ı t l a r ı

Amaç fonksiyonu yazılırken her bir sulama seçeneği Q_{njik} olarak indislenmiştir.

Sulama kısıtları da her üç mevsimiçi sulamalarının toplamının her bir sulama için o kanalın kapasitesinden küçük veya eşit olacak ve her bir sulama seçeneğinin o sulama bölgesindeki mevsimlik bitki su gereksiniminin 0.25, 0.25, 0.50 sinden (Şekil 5-6'da belirtilen şekliyle) küçük veya eşit olacak şekilde yazılmıştır.

6.2.2.2.1. A d a l a S u l a m a l a r ı

$$Q_{1111} + Q_{1112} + Q_{1113} \leq Q_{11_{max}} \quad (6.9)$$

$$Q_{1121} + Q_{1122} + Q_{1123} \leq Q_{11_{max}} \quad (6.10)$$

$$Q_{1131} + Q_{1132} + Q_{1133} \leq Q_{11_{max}} \quad (6.11)$$

$$Q_{1141} + Q_{1142} + Q_{1143} \leq Q_{11_{\max}} \quad (6.12)$$

$$Q_{1211} + Q_{1212} + Q_{1213} \leq Q_{12_{\max}} \quad (6.13)$$

$$Q_{1221} + Q_{1222} + Q_{1223} \leq Q_{12_{\max}} \quad (6.14)$$

$$Q_{1231} + Q_{1232} + Q_{1233} \leq Q_{12_{\max}} \quad (6.15)$$

$$Q_{1241} + Q_{1242} + Q_{1243} \leq Q_{12_{\max}} \quad (6.16)$$

Herbir sulama için mevsimiçi sulamaları da şu şekilde yazılmıştır:

$$Q_{1111} \leq 0,25 G_{k_{\max}} , \quad Q_{1121} \leq 0,25 G_{1_{\max}} \quad (6.17)$$

$$Q_{1112} \leq 0,25 G_{k_{\max}} , \quad Q_{1122} \leq 0,25 G_{1_{\max}} \quad (6.18)$$

$$Q_{1113} \leq 0,50 G_{k_{\max}} , \quad Q_{1123} \leq 0,50 G_{1_{\max}} \quad (6.19)$$

Diğer sulama bölgeleri ve diğer mevsim içi sulamaları için de kısıtlar benzer şekilde yazılacaktır.

6.2.2.2.2. Ahmetli Sulamaları

$$Q_{2111} + Q_{2112} + Q_{2113} \leq Q_{21_{\max}} \quad (6.20)$$

$$Q_{2121} + Q_{2122} + Q_{2123} \leq Q_{21_{\max}} \quad (6.21)$$

$$Q_{2131} + Q_{2132} + Q_{2133} \leq Q_{21_{\max}} \quad (6.22)$$

$$Q_{2141} + Q_{2142} + Q_{2143} \leq Q_{21_{\max}} \quad (6.23)$$

$$Q_{2211} + Q_{2212} + Q_{2213} \leq Q_{22_{\max}} \quad (6.24)$$

$$Q_{2221} + Q_{2222} + Q_{2223} \leq Q_{22_{\max}} \quad (6.25)$$

$$Q_{2231} + Q_{2232} + Q_{2233} \leq Q_{22_{\max}} \quad (6.26)$$

$$Q_{2241} + Q_{2242} + Q_{2243} \leq Q_{22_{\max}} \quad (6.27)$$

6.2.2.2.3. Menemen Sulamaları

$$Q_{3111} + Q_{3112} + Q_{3113} \leq Q_{31_{\max}} \quad (6.28)$$

$$Q_{3121} + Q_{3122} + Q_{3123} \leq Q_{31_{\max}} \quad (6.29)$$

$$Q_{3131} + Q_{3132} + Q_{3133} \leq Q_{31_{\max}} \quad (6.30)$$

$$Q_{3141} + Q_{3142} + Q_{3143} \leq Q_{31_{\max}} \quad (6.31)$$

$$Q_{3211} + Q_{3212} + Q_{3213} \leq Q_{32_{\max}} \quad (6.32)$$

$$Q_{3221} + Q_{3222} + Q_{3223} \leq Q_{32_{\max}} \quad (6.33)$$

$$Q_{3231} + Q_{3232} + Q_{3233} \leq Q_{32_{\max}} \quad (6.34)$$

$$Q_{3241} + Q_{3242} + Q_{3243} \leq Q_{32_{\max}} \quad (6.35)$$

Ahmetli ve Menemen Sulamaları içinde sulama seçeneklerinin mevsimlik bitki su gereksiniminin belirli yüzdele-riyle sınırlandırıldığı kısıtlar 6.2.2.2.1 dekilere benzer şekilde yazılmıştır.

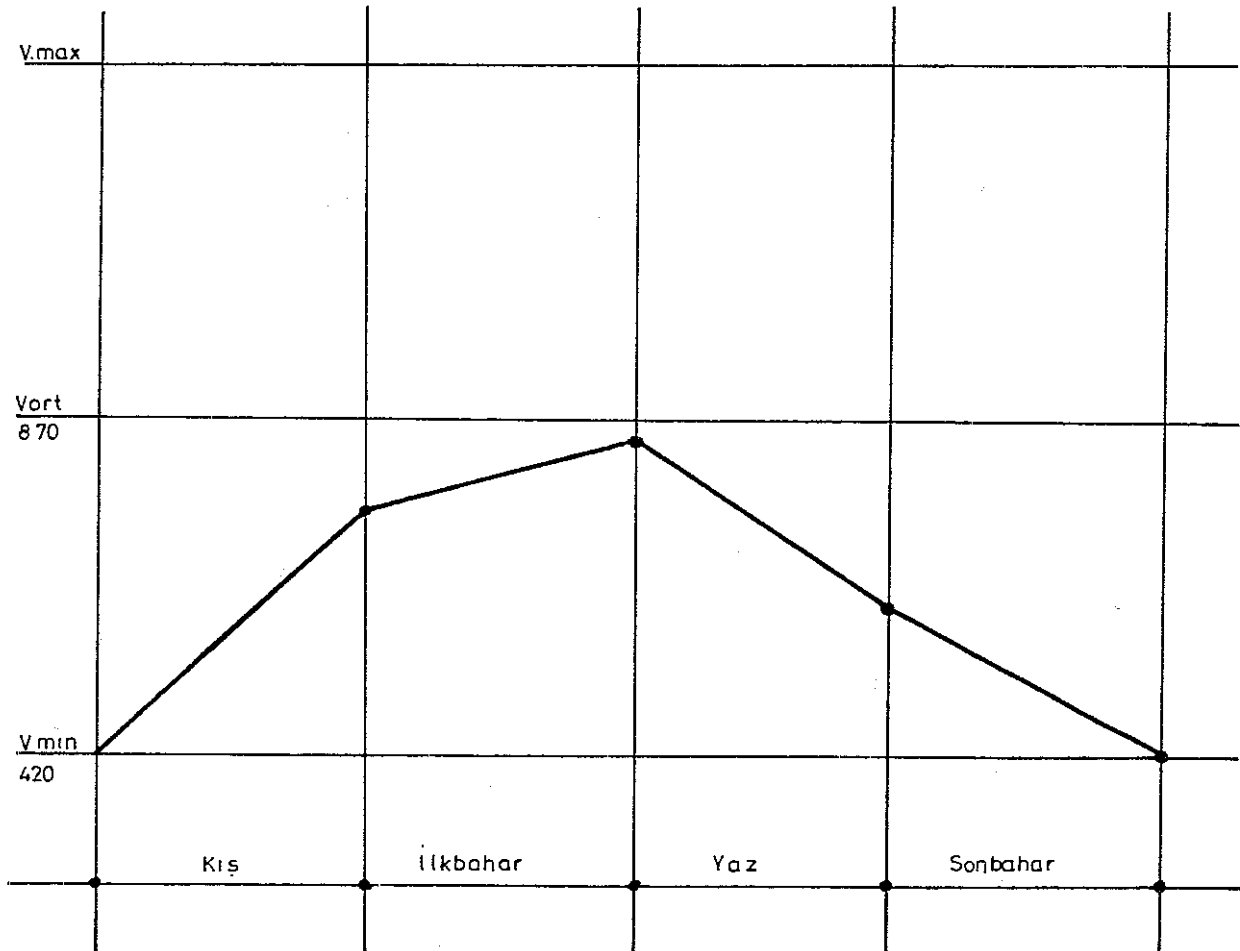
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Aşağı Gediz sulamalarının amacı sulama sahalarından elde edilecek geliri en büyük kılmak olan doğrusal modeli değişik hazne başlangıç ve son koşullarında Gediz nehri akımlarının en büyük ve en küçük yıllık toplamı verdiği 1941 ve 1960 yılları akımları için 5 kez çözülmüştür. Modelin çözümü ile elde edilecek geliri en büyük kılmak için, hangi sulama alanına hangi mevsimde ne kadar su yolanması gerektiği belirlenmiştir. Tablo 7-1, 7-2, 7-3, 7-4 ila 7-5'de belirlenen en uygun sulama suyu miktarları verilmiştir. Şekil 7-1, 7-2, 7-3, 7-4, 7-5'de ise Demirköprü haznesinin hacim gidiş eğrileri diğer bir deyişle işletme politikaları verilmiştir.

Belirlenen sulama suyu miktarları bölüm 6.2.2.1'deki hazne kısıtlarında yerine konularak V_k , V_1 , V_y ve V_s hacimleri bulunmuş ve bunlara göre hacim gidiş eğrileri çizilmiştir.

SULAMA SAHASI ADI	SULAMA SUYU MİKTARLARI ($10^6 \text{ m}^3/\text{mevsim}$)			
	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Adala Sağ Sahil	0	6	36	9
Adala Sol Sahil	0	18	56	14
Ahmetli Sağ Sahil	0	18	58	28
Ahmetli Sol Sahil	0	16	100	24
Menemen Sağ Sahil	0	6	28	6
Menemen Sol Sahil	0	12	28	10

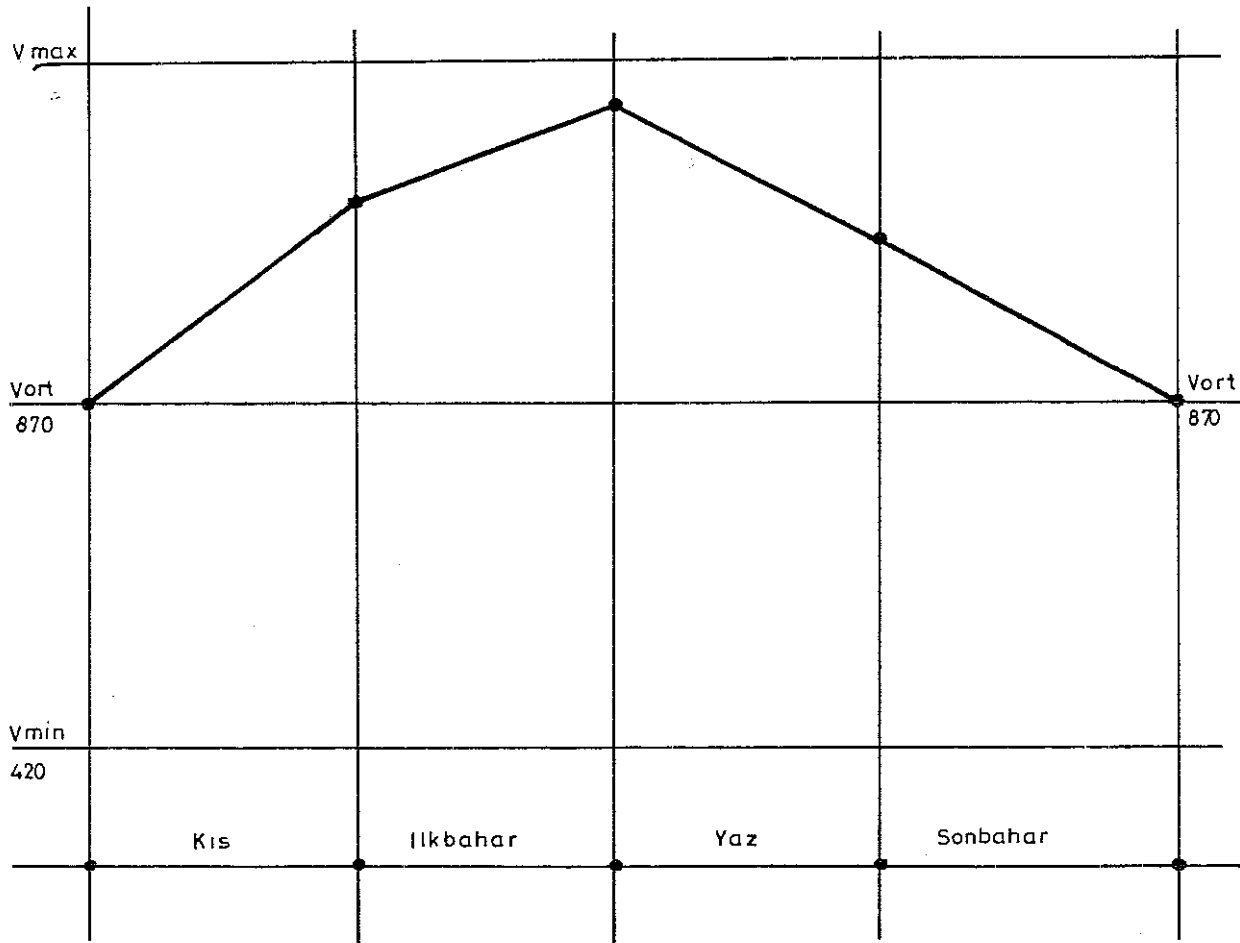
Tablo 7-1: Kurak bir yılda başlangıç değeri olarak haznede asgari su seviyesi kabul edilecek ve işletme periyodu sonunda hazne hacmine kısıt konulmadan yapılan çalışmanın sonuçları.



Şekil 7-1: Yukarıda verilen koşullarda Demirköprü haznesinin mevsimsel işletme politikası

SULAMA SAHASI		SULAMA SUYU MİKTARLARI ($10^6 \text{ m}^3/\text{mevsim}$)			
ADI		Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Adala	Sağ Sahil	0	6	36	9
Adala	Sol Sahil	0	18	56	14
Ahmetli	Sağ Sahil	0	18	84	28
Ahmetli	Sol Sahil	0	16	100	24
Menemen	Sağ Sahil	0	6	28	6
Menemen	Sol Sahil	0	12	28	10

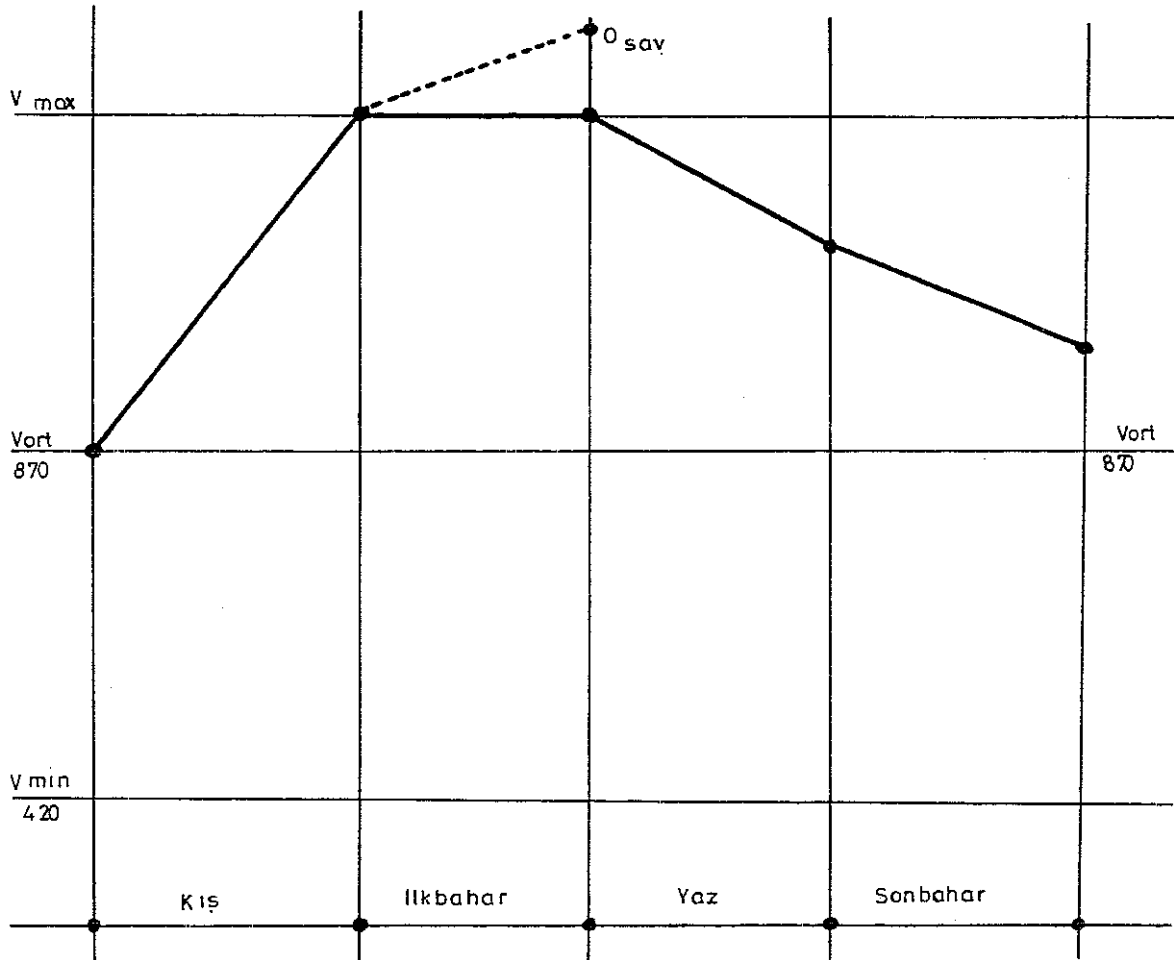
Tablo 7-2: Kurak bir yılda başlangıç değeri olarak haznede ortalama su seviyesi kabul edilerek ve işletme periyodu sonunda hazne hacminin ortalamada olması istenen çalışmanın sonuçları.



Şekil 7-2: Yukarıda istenen koşullarda Demirköprü haznesinin mevsimsel işletme politikası

SULAMA SAHASI ADI		SULAMA SUYU MİKTARLARI ($10^6 \text{ m}^3/\text{mevsim}$)			
		Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Adala	Sağ Sahil	234 (0)	117	36	9
Adala	Sol Sahil	0	18	56	14
Ahmetli	Sağ Sahil	0	56	108	28
Ahmetli	Sol Sahil	0	32	100	24
Menemen	Sağ Sahil	0	6	56	12
Menemen	Sol Sahil	0	12	56	20

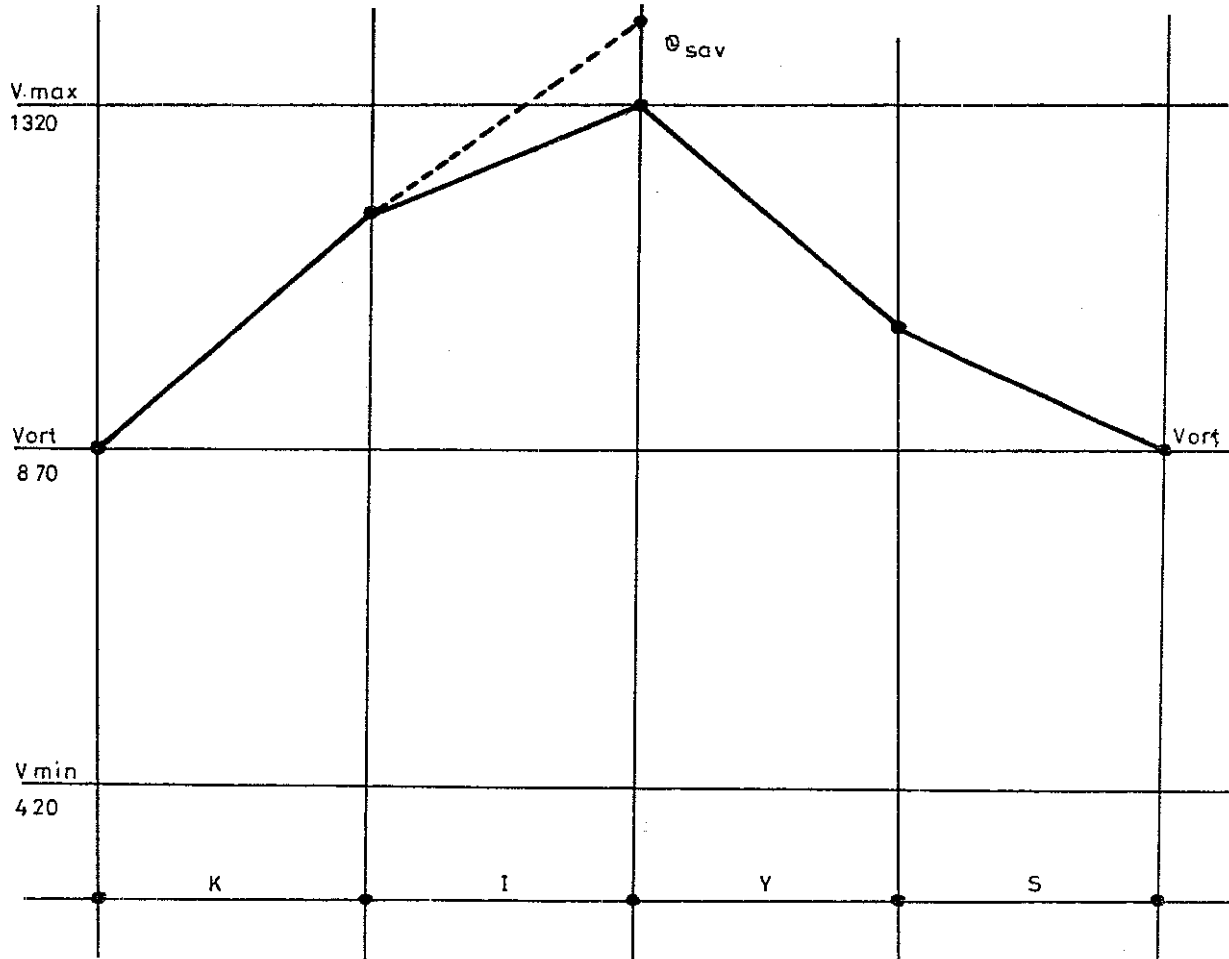
Tablo 7-3: Sulak bir yılda başlangıç değeri olarak haznede ortalama su seviyesi kabul edilerek ve işletme periyodu sonunda hazne hacmine kısıt konulmadan yapılan çalışmanın sonuçları.



Şekil 7-3: Yukarıda verilen koşullarda Demirköprü haznesinin mevsimsel işletme politikası.

SULAMA SAHASI		SULAMA SUYU MİKTARLARI ($10^6 \text{ m}^3/\text{mevsim}$)			
ADI		Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Adala	Sağ Sahil	234	(0) 12	36	9
Adala	Sol Sahil	156	(0) 18	56	14
Ahmetli	Sağ Sahil	200	(0) 36	108	28
Ahmetli	Sağ Sahil	178	(0) 32	100	24
Menemen	Sağ Sahil	0	6	56	12
Menemen	Sol Sahil	0	12	56	20

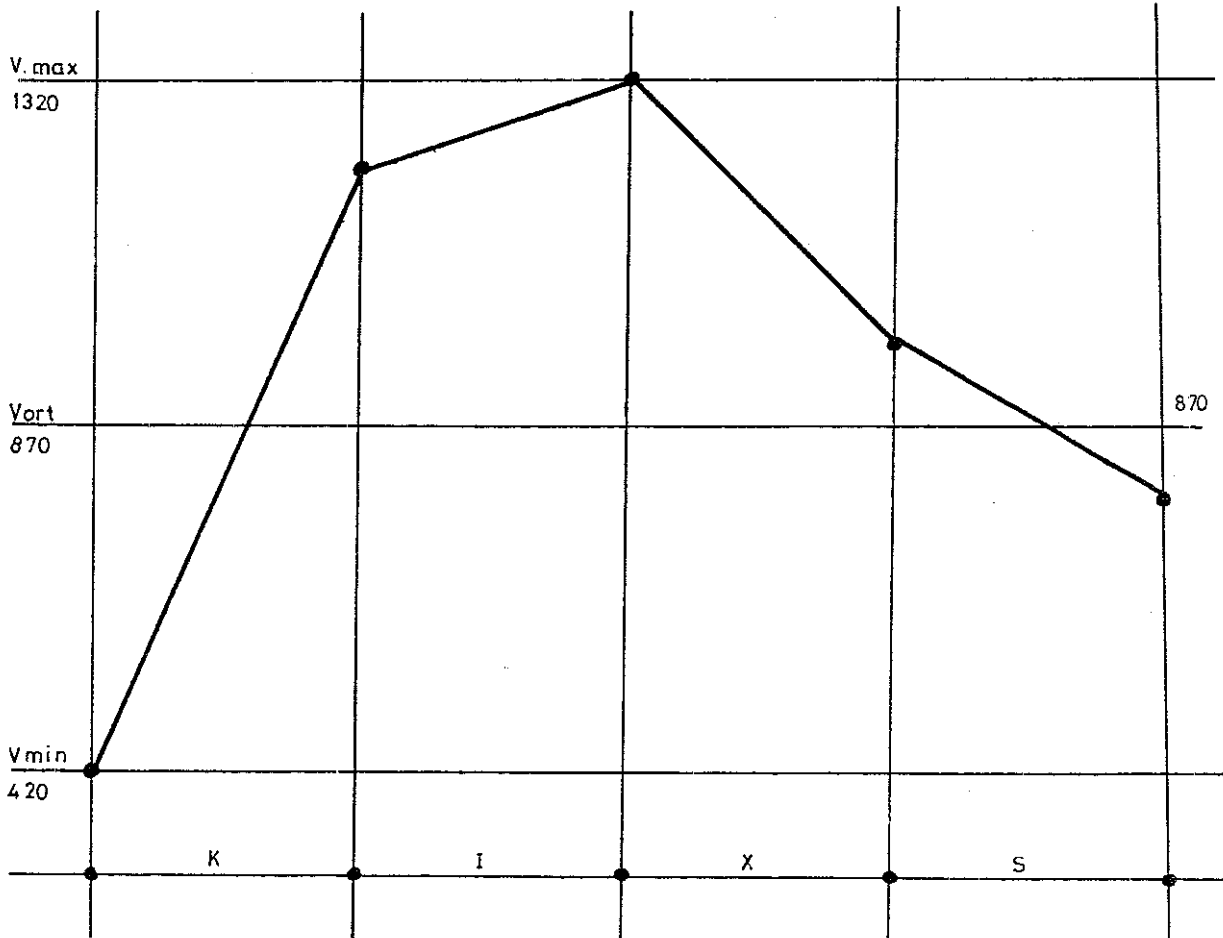
Tablo 7-4: Sulak bir yılda başlangıç değeri olarak haznede ortalama su seviyesi kabul edilecek ve işletme periyodu sonunda hazne hacminin ortalamada olması istenen çalışmanın sonuçları.



Şekil 7-4: Yukarıda istenen koşullarda Demirköprü haznesinin mevsimsel işletme politikası.

SULAMA SAHASI ADI		SULAMA SUYU MİKTARLARI ($10^6 \text{ m}^3/\text{mevsim}$)			
		Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Adala	Sağ Sahil	234 (0)	117	36	9
Adala	Sol Sahil	0	18	56	14
Ahmetli	Sağ Sahil	0	56	108	28
Ahmetli	Sol Sahil	0	32	100	24
Menemen	Sağ Sahil	0	6	56	12
Menemen	Sol Sahil	0	12	56	20

Tablo 7-5: Sulak bir yılda başlangıç değeri olarak haznede asgari su seviyesi kabul edilecek ve işletme periyodu sonunda hazne hacminin kısıtsız olduğu durumda yapılan çalışmanın sonuçları.



Şekil 7-5: Yukarıda istenen koşullarda Demirköprü haznesinin mevsimsel işletme politikası.

Demirköprü haznesinin yalnız sulama amacına yönelik çalıştırılacağı varsayımı üzerine kurulan doğrusal modelin verdiği sonuçlar şüphesiz pratikte doğrudan yararlanılabilecek nitelikte değildir. Ayrıca modelin parametre sayısını sınırlı tutmak amacıyla alışılagn gelen sulama suyu ihtiyacı hesaplarında kullanılan aylık zaman dilimleri yerine 3 aylık peryodların kullanılması sonuçların duyarlılığını daha da azaltmaktadır. Yıllık tarım gelirlerinin mevsim içine paylaştırılmaları mevsimlik sulama suyu gereksinmesinin yıllık toplam gereksinmeye oranı şeklinde formüle edilmiştir. Bu yaklaşım oldukça tartışılabilir nitelikte olup daha değişik şekillerde oluşturulması gerekebilir.

Hazneden oluşan buharlaşma kayıplarının sulamaya verilen su miktarlarına kıyasla az olması iterasyon gerektiren çözümlerin iki adımda aranılan duyarlılıkta bulunmasına yol açmaktadır.

Beş değişik başlangıç ve yıllık ortalama akarsu akımı koşullarında çözülen model sonuçları incelendiğinde kurak dönemlerde yeterli sulama suyunun sağlanamadığı gözlenmekte mevcut su amaç fonksiyonunun katsayılarının büyüklüğü oranında sulama alanlarına paylaştırılmaktadır. Tablo 7-3 ila 7-5'de görüldüğü gibi sulama suyu gereksinmesi olmayan kış aylarında modelin sulama sahalarına ayırdığı su hazneden savaklanması gereken su miktarını göstermekte; ilgili tablolarda sıfır olan kış sulama suyu gereksinmeler parantez içinde verilmektedir.

Demirköprü haznesinin diğer işlevlerini de gözönünde bulunduran zaman periyodu olarak aylık süreçleri alan, havzanın fiziksel ve hidrolojik yapısını daha gerçekçi yansıtan bir model daha uygun sonuçlar verebilecektir, ancak parametre ve kısıt sayısının çok artması çözümü bulmayı oldukça zorlaştıracaktır.

KAYNAKLAR

- ACKOFF, R.L.(1961): "Progress in operation research". New-york, John Wiley.
- ADBY,P.R; DEMPSTER,M.A.H.(1978): "Introduction to optimization methods", London, Chapman and Hall, 204 s.
- ADIGÜZEL,İ.(1976): "The optimum transmission line capacity and the optimum operation of Selahattin Saygı dam". Ankara, ODTÜ İnş. Böl., Yüksek Lisans Tezi.
- AKIN,Ü.(1972): "A simülation study for the maximization of hydropelectric energy in the Keban rerevoir". ANKARA, ODTÜ, Yüksek Lisans Tezi, 90 s.
- ALTINBİLEK, H.D.(1976): Sarıyar ve Gökçekaya Barajlarının toplam güvenilir enerji üretimlerinin dinamik programlama ile enbüyüklenmesi. İstanbul, "Birinci Ulusal Hidroloji Kongresi",
- BAYAZIT, M.(1983): Su Kaynaklarının Geliştirilmesinde Sistem Analizinin Uygulanması.
- BELLMAN,R.E.(1957): "Dynamic programming". Princeton, Princeton Univ. Press.
- BENZEDEN,E. (1975): "Enterkonnekte sistemi besleyen baraj hazneli santrallarının üretim eksikliği ve fazlalığının stokastik analizi". İzmir, E.Ü. Mühendislik Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidroloji ve Su Yapıları, Doktora Tezi; n.2, 109 s.
- COŞKUN,E. (1971): Dinamik programlamanın su kaynaklarının geliştirilmesi problemlerinde kullanılışı. Ankara, "İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Bülteni", n.5.
- DANTZIG, G.B.(1963): "Lineer programming and extension". Princeton, Princeton Univ. Press, 627 s.

- DORFMAN, R. (1968b): Mathematical models: the multistrukture approach. "Design of water resources systems", part II. (Ed: Maass et al), Harvard University Press, s.494-539.
- DROBNY, N.L. (1971): Linear Programming applications in water resources, Water Resource, Bull., 7(6), 1180-1193.
- DSI. (1981): Gediz Su Düzeni Master Plan Raporu DSI II. Bölge Müdürlüğü.
- DUDLEY, N.J.; O.R., BURT. (1973): Stochastic-reservoir management and system design for irrigation Water Resource. Res; 9(3), 507-522.
- EASTMAN, J; C, REVELLE. (1973): The Linear decision rule in reservoir management and intra-season constraints, Water Resource Res, 9(1), 29-43.
- EİE. (1982): "Çoklu baraj ve hidroelektrik santrallerden oluşan sistemlerin elektrik enerjisi üretim maksimizasyonu üzerine bir etüd ve Sarıyar-Gökçekaya ikili sistemine uygulanması". Ankara, Enerji Kaynakları Etüd İdaresi, Enerji Kaynaklı Serisi, n.1, 24 s.
- DUFFIN, R.J; PETERSON, E.L; ZENNER, C. (1967): "Geometric programming-theory and application", New York, John Wiley.
- GOMORY, R.E. (1963): An algorithm for integer solutions to linear programs. New York", Recent Advances in Mathematical Programming", (Ed: R.L.Graves; P.Wolfe), Mc Graw-Hill, s.269-303.
- GUNDELACH, J; C.REVELLE. (1975): Linear decision rule in reservoir management and design 5; A general algorithm, Water Resources Res. 11(2), 204-207.
- HADLEY, G. (1964): "Nonlinear and dynamic programming", Massachusetts Addison-Wesley, 484 s.

- HALAÇ, O.(1978): Kantitatif Karar Verme Teknikleri.
- HALL,W.A.(1971): Optimal state dynamic programming for multiple reservoir hydroelectrical systems". Colorado, Colorado State University.
- HARBOE,R.; SCHULTZ,G.A.; DUCKSTEIN,L.(1980): Low-flow and flood control: Distributed versus lumped reservoir model, Cleveland" IFAC Symposium on water and Related Land Resources Systems". Oxford Pergamon Press, s.393-401.
- HARRIS-CAMP-MESAARA (1969): "Ankara project a feasibility and master plan for water supply", Ankara, DSİ Genel Müdürlüğü, Vol.II.
- HOUCK,M.H;J.L.COCHON; C.RE VELLE.(1980): Linear decision rule in reservoir design and management, 6,Incorporation of economic efficiency benefits and hydroelectric energy generation, Water Resource. Res. 16(1), 196-200.
- HUFSCMIDT, M.M.; FIERING, M.B.(1966); Simulation techniques for design of water resource systems". Massachussets, Harvard University Press.
- JAMES,L.D.; LEE,R.R.(1971): "Economics of water resources planning". New York, Mc Graw-Hill, 615 s.
- JOERES, E.F; G.J.SEUS; H.M, ENGELMANN.(1981); The linear decision rule (LDR) reservoir problem with correlated inflows, 1, Model development, Water Resource Res. 17(1), 18-24.
- KARATABAN,A.Y.(1976): Su Kaynaklarının Planlama ve İdare-sinde Ekonomik ve Mali Fizibilite.
- KIZILKAYA,T.(1983): Sulama ve Drenaj, Ankara, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü Genel Yayınları.
- KUESTER,J.L; MIZE,J.H.(1974): "Optimization techniques with fortran". New York, Mc Graw-Hill 600 s.

- KUHN,H.W; TUCKER,A.W.(1961): Nonlinear programming "Second Berkley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Proceedings", (Ed.: J.Neyman). Üniversity of California Press.
- LAWLEK,E.L; WOOD D.E.(1966): Branch-and-bound methods: A Survey, "Operations Research". n.14, s.699-719.
- LOUCKS,D.P.(1968): Computer models for flow regulation. "J. of Sanitary Eng. Div". Proceedings of the ASCE, v. SA.4.
- LOUCKS,D.P.(1970a): Some comments on linear decision rules and change constraints Water Resource Res. 6(2), 668-671.
- LOUCKS,D.P; L.M.FALKSON.(1970b): A comparision of some dynamic, lineal and policy iteration methods for reservoir operation, Watel Resour, Bull.6(3).384-400.
- LOUCKS,D.P; L.M.FALKSON.(1975); An evaluation of some linear decision rules in change constrained models for reservoir planning and operation, Water Resources Research. 11(6), 777-782.
- MAE (1981):"Ulusal Isı ve Elektrik Arzı Planlaması için bir eniyileme Modeli", TÜBİTAK Marmara Araştırma Enstitüsü Yöneylem Araştırması Grubu.
- MAE (1983);"Sakarya Havzası Optimal Enerji Üretim Projesi.
- MAE (1984); "Yenilebilir ve alışılmış enerji kaynaklarının bileşik kullanımı ile optimal enerji üretimi".
- MAE (1985);"Yenilebilir ve alışılmış enerji kaynaklarının bileşik kullanımı ile optimal enerji üretim uygulama sonuçlarının değerlendirilmesi".
- MADANSKY,A.(1963); Lineer programming under uncertainty, New York, "Recent Advances in Mathematical Programming (Ed.R.L. Graves P.Wolfe). Mc Graw-Hill, s.103-111.

- MANNE,A.S.(1960a); Linear programming and Sequential decisions. "Management Science", n.6(3), s.259-267.
- MANNE,A.S.(1960b) "Pruduct-mix att alternatives: Flood Control, electric power and irrigation". New Haver Cowles Foundation Paper, n.175.
- MASSE,P.; GILBRAT,R.(1957); Application of linear programming to Investment in the electric power industry. "Management Science", n.3(2), s.149-166.
- MEJIA,J.M.; EGLI,P.; LECLERC,A.(1974); Evaluating multireservoir operating rules, "Water Resources", vol.10 (6).
- MOHAMMADI,BEHZAD,(1984): Reservoir operation: Chorce of objective functions. Univ of California, Davis,Calif. USA. Journal of Water Resources Planning and Management v.110 n.1, Jan 1984, p.15-29.
- NAG: Ege Üniversitesi Bilgisayar Araştırma ve Ulaştırma Merkezi "Doğrusal Programlama Bilgisayar Programı".
- NAYAK,S.C.; ARORA,S.R.(1974): Linear decision rule: A note on control volume being constant, Water Resource Res. 10(4), 637-642.
- ODTÜ (1975); "UHELP Linear programming program, users manval". Ankara, ODTÜ, Elektronik Hesap Merkezi, CC-75-10-PO 30, 215.
- REVELLE,C; KIRBY,W. JOERES,E.(196); The linear decision rule in reservoir management and design; Development of the Stochastic model, Water Resource Res., 5(4), 767-777.
- REVELLE, C; W. KIRBY.(1970); Linear decision rule in reservoir management and design, 2,Performance optimization, Water Resource Res, 6(4), 1033-1044.
- REVELLE, C; GUNDELACH,J.(1975); Linear decision rule in reservoir management and design, 4,A rule that

- minimizes output variance, Water Resource Res., 11(2), 197-203.
- ROEFS, T.G; BODIN, L.D. (1970); Multi-reservoir operation studies, "Water Resources", vol.6, n.2.
- SERT, M; ÖCAL, M. (1983); Keban-Karakaya-Atatürk Barajları için Optimal İşletme Çalışma Yöntem Araştırması S. Ulusal Kongresi O.D.T.Ü., Ankara, 21-23.
- SEVÜK, S.; ALTINBİLEK, D.; URAN, A. (1979); Çoruh hidroelektrik sistemi optimizasyon ve benzetim modelleri", Ankara, ODTÜ, Su Kaynakları Laboratuvar, Teknik Yayın, n.13, 109 s.
- SIGVALDASON, O.T. (1976); A Simulation model for operating a multipurpose multireservoir System. "Water Resources Research", n.2.
- TEK, (1980); "Doğrusal programlama yöntemi ile Türkiye uzun dönem elektrik enerjisi üretim-tüketim incelemesi", Ankara, TEK Genel Müdürlüğü, PKD-229, s.A1-A7.
- THOMAS, H.A; REVELLE, C. (1966); On efficient use of the high Aswan dam for hydropower and irrigations. "Management Science". n.12(8), s.296-311.
- TROTT, W.J.; YEH, W.W.G. (1973); Optimization of multiple reservoir systems. "Journal of the Hydraulics Division", Proceedings of the ASCE, vol.99.(HY-10), s.1865-1884.
- TÜRKMAN, F. (1982); Ayrı Akarsu Havzalarında yer alan baraj hazneli Su Kuvvetli Tesisleri Enerji Üretiminin Bütünleştirme-Ayrıştırma Sistem yaklaşımıyla eniyilmesi.
- TÜRKMAN, F; BENZEDEN, E.; ÖZİŞ, Ü. (1980); TÜBİTAK ÇEVRE araştırmaları grubu VII. bilim kongresi. "Kullanılmış Suların Akarsulara Boşaltımında Sulama Sistemlerinin düşük akımlara etkisi".

WAZIRUDDIN, S.; ALTINBILEK, D. (1973); Mathematical modelling and optimization of the Ceyhan Aslantaş project in Turkey, İstanbul "IAHR, IV Congress", CIH 4.

WILDE, D.J.; BEIGHTER, P. (1967; "Foundations of optimization", Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 480 s.

YOUNG, G.K. (1967; Finding reservoir operating rules. "Journal of the Hydraulics Division", Proceedings of the ASCE, vol. 93. (HY.G.), s. 297-321.

FILE: NESRIN DATA A EGE UNIVERSITESI <CMS REL.3.1.>

[illegible]

FILE: MESRIN DATA A EGE UNIVERSITESI <CMS REL.3.1.>

A-TT

FILE: NESRIN DATA A EGE UNIVERSITESI <CMS REL.3.1.>

[illegible]

FILE: NESRIA DATA A EGE UNIVERSITESI <CMS REL.3.1.>

FILE: MESRIN DATA A ECE UNIVERSITESI <CMS REL.3.1.>

[illegible]

FILE: NESRIN DATA A EGE UNIVERSITESI <CMS REL.3.1.>

FILE: NESRIN DATA A EGE UNIVERSITESI <CMS REL.3.1.>

```

0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 1. 1. 1. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 1. 1. 1.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
624. 905. 530. 1403. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 3. 3. 6. 9. 9. 18.
2.25 2.25 4.5 0. 0. 0. 4.5 4.5 9.
14. 14. 28. 3.5 3.5 7. 0. 0. 0.
9. 9. 18. 27. 27. 54. 7. 7. 14.
0. 0. 0. 8. 8. 16. 25. 25. 50.
6. 6. 12. 0. 0. 0. 1.5 1.5 3.
14. 14. 28. 3. 3. 6. 0. 0. 0.
3. 3. 6. 14. 14. 28. 5. 5. 10.
1524. 1805. 1830. 1403. 234. 234.
234. 234. 156. 156. 156. 156. 200. 200. 200. 200.
187. 187. 187. 187. 156. 156. 156. 156. 170. 170. 170. 170.
0. 0. 0. 3. 3. 6. 9. 9. 18.
2.25 2.25 4.5 0. 0. 0. 4.5 4.5 9.
14. 14. 28. 3.5 3.5 7. 0. 0. 0.
9. 9. 18. 27. 27. 54. 7. 7. 14.
0. 0. 0. 8. 8. 16. 25. 25. 50.
6. 6. 12. 0. 0. 0. 1.5 1.5 3.
14. 14. 28. 3. 3. 0. 0. 0. 0.
3. 3. 6. 14. 14. 28. 0. 0. 794.

```

EK-B : 5 KEZ ÇÖZÜLEN DOĞRUSAL MODEL ÇIKTILARINDAN
BİR ÖRNEK

KURAK, HAZNE MIN DE, SEVİYE KISITSIZ, İKİNCİ ÇÖZÜM ****
WORKSPACE PROVIDED IS 144, M(5000).
TO SOLVE PROBLEM WE NEED 144, M(2212).

EXIT LP PHASE. IFAIL = 0
NO. OF ITERATIONS = 44

VARBL	STATE	VALUE	LOWER BOUND	UPPER BOUND	LAGR MULT	RESIDUAL
V 1	EQ	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	253.0	0.000000E+00
V 2	EQ	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	253.0	0.000000E+00
V 3	EQ	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	253.0	0.000000E+00
V 4	UL	3.000000	0.0000000E+00	3.000000	736.0	0.000000E+00
V 5	UL	3.000000	0.0000000E+00	3.000000	241.0	0.000000E+00
V 6	LL	0.0000000E+00	0.0000000E+00	6.000000	6.000	0.000000E+00
V 7	UL	9.000000	0.0000000E+00	9.000000	773.0	0.000000E+00
V 8	UL	9.000000	0.0000000E+00	9.000000	260.0	0.000000E+00
V 9	UL	18.00000	0.0000000E+00	18.00000	-3.000	0.000000E+00
V 10	UL	2.250000	0.0000000E+00	2.250000	821.0	0.000000E+00
V 11	UL	2.250000	0.0000000E+00	2.250000	284.0	0.000000E+00
V 12	UL	4.500000	0.0000000E+00	4.500000	-24.00	0.000000E+00
V 13	EQ	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	253.0	0.000000E+00
V 14	EQ	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	253.0	0.000000E+00
V 15	EQ	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	253.0	0.000000E+00
V 16	UL	4.500000	0.0000000E+00	4.500000	763.0	0.000000E+00
V 17	UL	4.500000	0.0000000E+00	4.500000	255.0	0.000000E+00
V 18	LL	9.000000	0.0000000E+00	9.000000	-1.000	0.000000E+00
V 19	UL	14.00000	0.0000000E+00	14.00000	1015.	0.000000E+00
V 20	UL	14.00000	0.0000000E+00	14.00000	381.0	0.000000E+00
V 21	UL	28.00000	0.0000000E+00	28.00000	-64.00	0.000000E+00
V 22	UL	3.500000	0.0000000E+00	3.500000	814.0	0.000000E+00
V 23	UL	3.500000	0.0000000E+00	3.500000	-280.0	0.000000E+00
V 24	UL	7.000000	0.0000000E+00	7.000000	-14.00	0.000000E+00
V 25	EQ	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	253.0	0.000000E+00
V 26	EQ	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	253.0	0.000000E+00
V 27	EQ	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	253.0	0.000000E+00
V 28	UL	9.000000	0.0000000E+00	9.000000	730.0	0.000000E+00
V 29	UL	9.000000	0.0000000E+00	9.000000	-230.0	0.000000E+00
V 30	LL	0.0000000E+00	0.0000000E+00	18.00000	7.000	0.000000E+00
V 31	UL	27.00000	0.0000000E+00	27.00000	759.0	0.000000E+00
V 32	UL	27.00000	0.0000000E+00	27.00000	-253.0	0.000000E+00
V 33	FR	4.000000	0.0000000E+00	54.00000	0.00000E+00	4.000
V 34	UL	7.000000	0.0000000E+00	7.000000	789.0	0.000000E+00
V 35	UL	7.000000	0.0000000E+00	7.000000	-268.0	0.000000E+00
V 36	UL	14.00000	0.0000000E+00	14.00000	7.000	0.000000E+00
V 37	EQ	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	253.0	0.000000E+00
V 38	EQ	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	253.0	0.000000E+00
V 39	EQ	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	253.0	0.000000E+00
V 40	UL	8.000000	0.0000000E+00	8.000000	756.0	0.000000E+00
V 41	UL	8.000000	0.0000000E+00	8.000000	-251.0	0.000000E+00
V 42	LL	0.0000000E+00	0.0000000E+00	16.00000	1.000	0.000000E+00
V 43	UL	25.00000	0.0000000E+00	25.00000	774.0	0.000000E+00
V 44	UL	25.00000	0.0000000E+00	25.00000	-260.0	0.000000E+00
V 45	UL	50.00000	0.0000000E+00	50.00000	-4.000	0.000000E+00
V 46	UL	6.000000	0.0000000E+00	6.000000	800.0	0.000000E+00
V 47	UL	6.000000	0.0000000E+00	6.000000	-274.0	0.000000E+00
V 48	UL	12.00000	0.0000000E+00	12.00000	-10.00	0.000000E+00
V 49	EQ	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	253.0	0.000000E+00
V 50	EQ	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	253.0	0.000000E+00
V 51	EQ	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	253.0	0.000000E+00
V 52	UL	1.500000	0.0000000E+00	1.500000	926.0	0.000000E+00
V 53	UL	1.500000	0.0000000E+00	1.500000	-337.0	0.000000E+00
V 54	UL	3.000000	0.0000000E+00	3.000000	-42.00	0.000000E+00
V 55	UL	14.00000	0.0000000E+00	14.00000	671.0	0.000000E+00
V 56	UL	14.00000	0.0000000E+00	14.00000	-209.0	0.000000E+00
V 57	LL	0.0000000E+00	0.0000000E+00	28.00000	22.00	0.000000E+00
V 58	UL	3.000000	0.0000000E+00	3.000000	548.0	0.000000E+00
V 59	UL	3.000000	0.0000000E+00	3.000000	-148.0	0.000000E+00
V 60	LL	0.0000000E+00	0.0000000E+00	6.000000	55.00	0.000000E+00
V 61	EQ	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	253.0	0.000000E+00
V 62	EQ	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	253.0	0.000000E+00
V 63	EQ	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	253.0	0.000000E+00
V 64	UL	3.000000	0.0000000E+00	3.000000	1223.	0.000000E+00
V 65	UL	3.000000	0.0000000E+00	3.000000	-337.0	0.000000E+00
V 66	UL	6.000000	0.0000000E+00	6.000000	42.00	0.000000E+00
V 67	UL	14.00000	0.0000000E+00	14.00000	691.0	0.000000E+00
V 68	UL	14.00000	0.0000000E+00	14.00000	-219.0	0.000000E+00
V 69	LL	0.0000000E+00	0.0000000E+00	28.00000	17.00	0.000000E+00
V 70	UL	5.000000	0.0000000E+00	5.000000	-503.0	0.000000E+00
V 71	UL	5.000000	0.0000000E+00	5.000000	-163.0	0.000000E+00
V 72	LL	0.0000000E+00	0.0000000E+00	10.00000	45.00	0.000000E+00

LNCON	STATE	VALUE	LOWER BOUND	UPPER BOUND	LAGR MULT	RESIDUAL
L 1	FR	0.0000000E+00	-590.0000	311.0000	0.0000E+00	211.0
L 2	FR	75.00000	-415.0000	484.0000	0.0000E+00	408.0
L 3	FR	382.0000	-407.0000	493.0000	0.0000E+00	111.0
L 4	UL	473.0000	401.0000	473.0000	-253.0	0.0000E+00
L 5	FR	0.0000000E+00	0.0000000E+00	234.0000	0.0000E+00	0.0000E+00
L 6	FR	6.000000	0.0000000E+00	234.0000	0.0000E+00	6.000
L 7	FR	36.00000	0.0000000E+00	234.0000	0.0000E+00	36.00
L 8	FR	9.000000	0.0000000E+00	234.0000	0.0000E+00	9.000
L 9	FR	0.0000000E+00	0.0000000E+00	156.0000	0.0000E+00	0.0000E+00
L 10	FR	18.00000	0.0000000E+00	156.0000	0.0000E+00	18.00
L 11	FR	56.00000	0.0000000E+00	156.0000	0.0000E+00	56.00
L 12	FR	14.00000	0.0000000E+00	156.0000	0.0000E+00	14.00
L 13	FR	0.0000000E+00	0.0000000E+00	200.0000	0.0000E+00	0.0000E+00
L 14	FR	18.00000	0.0000000E+00	200.0000	0.0000E+00	18.00
L 15	FR	58.00000	0.0000000E+00	200.0000	0.0000E+00	58.00
L 16	FR	28.00000	0.0000000E+00	200.0000	0.0000E+00	28.00
L 17	FR	0.0000000E+00	0.0000000E+00	187.0000	0.0000E+00	0.0000E+00
L 18	FR	16.00000	0.0000000E+00	187.0000	0.0000E+00	16.00
L 19	FR	100.0000	0.0000000E+00	187.0000	0.0000E+00	37.00
L 20	FR	24.00000	0.0000000E+00	187.0000	0.0000E+00	24.00
L 21	FR	0.0000000E+00	0.0000000E+00	156.0000	0.0000E+00	0.0000E+00
L 22	FR	6.000000	0.0000000E+00	156.0000	0.0000E+00	6.000
L 23	FR	28.00000	0.0000000E+00	156.0000	0.0000E+00	28.00
L 24	FR	6.000000	0.0000000E+00	156.0000	0.0000E+00	6.000
L 25	FR	0.0000000E+00	0.0000000E+00	170.0000	0.0000E+00	0.0000E+00
L 26	FR	12.00000	0.0000000E+00	170.0000	0.0000E+00	12.00
L 27	FR	28.00000	0.0000000E+00	170.0000	0.0000E+00	28.00
L 28	FR	10.00000	0.0000000E+00	170.0000	0.0000E+00	10.00

EXIT E04MBF - OPTIMAL LP SOLUTION FOUND.

LP OBJECTIVE FUNCTION = -2.8648170+05

NO. OF ITERATIONS = 44

E04MBF - NAG FORTRAN Library Routine Document

NOTE: before using this routine, please read the appropriate implementation document to check the interpretation of *bold italicised* terms and other implementation-dependent details. The routine name may be precision-dependent.

1. Purpose

E04MBF is an easy-to-use routine for solving linear programming problems, or for finding a feasible point for such problems. It is not intended for large sparse problems.

2. Specification

```

SUBROUTINE E04MBF (ITMAX, MSGLVL, N, NCLIN, NCTOTL, NROWA,
1      A, BL, BU, CVEC, LINOBJ, X, ISTATE, OBJLP, CLAMDA, IWORK,
2      LIWORK, WORK, LWORK, IFAIL)
C      LOGICAL LINOBJ
C      INTEGER ITMAX, MSGLVL, N, NCLIN, NCTOTL, NROWA, LIWORK, LWORK,
C      1      IFAIL, ISTATE(NCTOTL), IWORK(LIWORK)
C      real OBJLP, A(NROWA,N), BL(NCTOTL), BU(NCTOTL), CVEC(N), X(N)
C      1      CLAMDA(NCTOTL), WORK(LWORK)
    
```

3. Description

E04MBF solves linear programming (LP) problems of the form

$$\underset{x \in \mathbb{R}^n}{\text{minimize}} \ c^T x \quad \text{subject to} \ l \leq \begin{pmatrix} x \\ Ax \end{pmatrix} \leq u \quad (\text{LP})$$

where c is an n element vector and A is an m by n matrix i.e. there are n variables and m general linear constraints. m may be zero in which case the LP problem is subject only to bounds on the variables. Notice that upper and lower bounds are specified for all the variables and constraints. This form allows full generality in specifying other types of constraints. For example the i (th) constraint may be specified as equality by setting $l_i = u_i$. If certain bounds are not present the associated elements of l or u can be set to special values that will be treated as $-\infty$ or $+\infty$.

The routine allows the linear objective function to be omitted in which case a feasible point for the set of constraints is sought.

The user must supply an initial estimate of the solution.

Users who wish to exercise additional control and users with problems whose solution would benefit from additional flexibility should consider using the comprehensive routine E04NAF.

4. References

- [1] GILL, P.E., MURRAY, W. and WRIGHT, M.H.
Practical Optimization.
Academic Press, London, 1981.
- [2] GILL, P.E., MURRAY, W., SAUNDERS, M.A. and WRIGHT, M.H.
User's Guide for SOL/QPSOL. Report SOL 83-7.
Department of Operations Research, Stanford University, California 94305, U.S.A., 1983.

5. Parameters and Description of Printed Output

5.1. Input Parameters

ITMAX - INTEGER

On entry, ITMAX must specify an upper bound on the number of iterations to be taken. If ITMAX is not positive, then the value 50 is used in place of ITMAX.

Unchanged on exit

MSGLVL - INTEGER

On entry, MSGLVL must specify whether or not printout is required at the final solution. When printing occurs the output is on the advisory message channel (see NAG Library routine X04ABF). A description of the printed output is given in Section 5.2. The level of printing is determined as follows:

$MSGLVL < 0$

No printing

$MSGLVL = 0$

Printing only if an input parameter is incorrect, or if the problem is so ill-conditioned that subsequent overflow is likely. This setting is strongly recommended in preference to $MSGLVL < 0$.

$MSGLVL = 1$

Printing at the solution.

$MSGLVL > 1$

Values greater than 1 should normally be used only at the direction of NAG Central Office; such values may generate large amounts of printed output.

Unchanged on exit.

N - INTEGER

On entry, N must specify the number of variables.

$N \geq 1$.

Unchanged on exit

NCLIN - INTEGER

On entry, NCLIN must specify the number of general linear constraints in the problem

$NCLIN \geq 0$

Unchanged on exit

NCTOTL - INTEGER

On entry, NCTOTL must specify the value $(N + NCLIN)$

Unchanged on exit

NROWA - INTEGER

On entry, NROWA must specify the first dimension of the array A as declared in the calling (sub)program.

$NROWA \geq \max(1, NCLIN)$

Unchanged on exit.

A - *real* array of DIMENSION (NROWA, nca), where $nca \geq N$.

Before entry, the leading NCLIN by N part of A must contain the NCLIN general constraints, with the coefficients of the i(th) constraint in the i(th) row of A. If NCLIN = 0, then A is not referenced.

Unchanged on exit.

BL - *real* array of DIMENSION at least (NCTOIL).

Before entry, the first N elements of BL must contain the lower bounds on the N variables, and when NCLIN > 0, the next NCLIN elements of BL must contain the lower bounds on the NCLIN general linear constraints. To specify a non-existent lower bound ($l_j = -\infty$), set $BL(j) \leq -1.0E+20$.

Unchanged on exit.

BU - *real* array of DIMENSION at least (NCTOIL).

Before entry the first N elements of BU must contain the upper bounds on the N variables, and when NCLIN > 0, the next NCLIN elements of BU must contain the upper bounds on the NCLIN general linear constraints. To specify a non-existent upper bound ($u_j = +\infty$), set $BU(j) \geq 1.0E+20$.

$BL(j) \leq BU(j)$ for $j = 1, \dots, NCTOIL$.

Unchanged on exit.

CVEC - *real* array of DIMENSION at least (N).

Before entry with $LINOBJ = \text{.TRUE.}$, CVEC must contain the coefficients of the objective function. If $LINOBJ = \text{.FALSE.}$, then CVEC is not referenced.

Unchanged on exit.

LINOBJ - LOGICAL.

On entry, LINOBJ must specify whether or not a linear objective function is present. If $LINOBJ = \text{.TRUE.}$, then the full LP problem is solved, but if $LINOBJ = \text{.FALSE.}$, only a feasible point is found and the array CVEC is not referenced.

Unchanged on exit.

5.2 Input/Output Parameters

X - *real* array of DIMENSION at least (N).

Before entry, X must contain an estimate of the solution, or of a feasible point. Even when $LINOBJ = \text{.TRUE.}$, it is not necessary for the point supplied in X to be feasible. In the absence of better information all elements of X may be set to zero.

On successful exit, X will contain the solution to the LP problem when $LINOBJ = \text{.TRUE.}$, or a feasible point when $LINOBJ = \text{.FALSE.}$

When no feasible point exists (see IFAIL = 1 in Section 6) then X contains the point for which the sum of the infeasibilities is a minimum. On return with IFAIL = 2, 3 or 4, X contains the point at which E04MBF terminated.

5.3. Output Parameters

ISTATE - INTEGER array of DIMENSION at least (NCTOTL).

On successful exit, or on exit with IFAIL < 5, ISTATE indicates the status of every constraint at the final point. The first N elements of ISTATE refer to the upper and lower bounds on the variables and when NCLIN > 0 the next NCLIN elements refer to the general constraints.

Their meaning is:

ISTATE(j)	Meaning
-2	The constraint violates its lower bound. This value cannot occur for any element of ISTATE when a feasible point has been found.
-1	The constraint violates its upper bound. This value cannot occur for any element of ISTATE when a feasible point has been found.
0	The constraint is not in the working set (is not active) at the final point. Usually this means that the constraint lies strictly between its bounds.
1	This inequality constraint is in the working set (is active) at its lower bound.
2	This inequality constraint is in the working set (is active) at its upper bound.
3	This constraint is included in the working set (is active) as an equality. This value can only occur when BL(j) = BU(j).

OBJLP - real.

When LINOBJ = .TRUE., then on successful exit, OBJLP contains the value of the objective function at the solution, and on exit with IFAIL = 2, 3 or 4, OBJLP contains the value of the objective function at the point returned in X.

When LINOBJ = .FALSE., then on successful exit OBJLP will be zero and on return with IFAIL = 1, OBJLP contains the minimum sum of the infeasibilities corresponding to the point returned in X.

CLAMDA - real array of DIMENSION at least (NCTOTL).

When LINOBJ = .TRUE., then on successful exit, or on exit with IFAIL = 2, 3, or 4, CLAMDA contains the Lagrange multipliers (reduced costs) for each constraint with respect to the working set. The first N components of CLAMDA contain the multipliers for the bound constraints on the variables and the remaining NCLIN components contain the multipliers for the general linear constraints.

If ISTATE(j) = 0 so that the j(th) constraint is not in the working set then CLAMDA(j) is zero. If X is optimal and ISTATE(j) = 1, then CLAMDA(j) should be non-negative, and if ISTATE(j) = 2, then CLAMDA(j) should be non-positive.

When LINOBJ = .FALSE., all NCTOTL elements of CLAMDA are returned as zero.

5.4. Workspace Parameters

IWORK - INTEGER array of DIMENSION (LIWORK).

Used as workspace.

LIWORK - INTEGER.

On entry, LIWORK must specify the length of the array IWORK as declared in the calling (sub)program.

LIWORK $\geq 2N$.

Unchanged on exit.

WORK - *real* array of DIMENSION (LIWORK).

Used as workspace.

LWORK - INTEGER.

On entry, LWORK must specify the length of the array WORK as declared in the calling (sub)program.

When $N \leq NCLIN$ then

$$LWORK \geq 2 \times N^2 + 6 \times N + 4 \times NCLIN + NROWA$$

When $0 < NCLIN \leq N$ then

$$LWORK \geq 2 \times NCLIN^2 + 4 \times NCLIN + 6 \times N + NROWA$$

When $NCLIN = 0$ then

$$LWORK \geq 6 \times N + 3 + NROWA$$

Unchanged on exit.

5.5. Diagnostic Parameter

IFAIL - INTEGER.

Before entry, IFAIL must be set to 0 or 1. Users who are unfamiliar with this parameter should refer to Chapter P01 for details. IFAIL contains 0 on exit if LINOBJ = *TRUE* and X contains the optimal solution, or if LINOBJ = *FALSE* and X contains a feasible point.

For this routine, because the values of the output parameters may be useful even if IFAIL $\neq$ 0 on exit, users are recommended to set IFAIL to 1 before entry. It is then essential to test the value of IFAIL on exit.

5.6. Description of the Printed Output

When MSGVL = 1, then E04MBF will produce output on the advisory message channel (see NAG Library routine X04ABF), giving information on the final point. The following describes the printout associated with each variable.

Output	Meaning
VARBL	The name (V) and index j, j = 1, 2, ..., N, of the variable.
STATE	The state of the variable (FR if neither bound is in the working set, EQ for a fixed variable, LL if on its lower bound and UL if on its upper bound) If the value of the variable lies outside the upper or lower bound then STATE will be '+' '+' or '-' '-' respectively.
VALUE	The value of the variable at the final iteration.
LOWER BOUND	The lower bound specified for the variable.
UPPER BOUND	The upper bound specified for the variable.
LAGR MULT	The value of the Lagrange multiplier for the associated bound.
RESIDUAL	The difference between the value of the variable and the nearer of its bounds.

For each of the general constraints the printout is as above with variable replaced by constraint so that, for example, VALUE refers to the j(th) element of Ax, except that VARBL is replaced by:

LNCON The name (L) and index $j, j = 1, 2, \dots, NCLIN$ of the constraint.

6. Error Indicators and Warnings

Note: When MSGVLV = 1 a short description of the error is printed.

IFAIL = 1

No feasible point could be found. Moving violated constraints so that they are satisfied at the point returned in X gives the minimum moves necessary to make the LP problem feasible.

IFAIL = 2

The solution to the LP problem is unbounded.

IFAIL = 3

A total of 50 changes were made to the working set without altering X. Cycling is probably occurring. The user should consider using NAG Library routine E04NAF with MSGVLV ≥ 5 to monitor constraint additions and deletions in order to determine whether or not cycling is taking place.

IFAIL = 4

The limit on the number of iterations has been reached. Increase ITMAX or consider using NAG Library routine E04NAF to monitor progress.

IFAIL = 5

An input parameter is invalid. Unless MSGVLV < 0 a message will be printed.

Overflow

If the printed output before the overflow occurred contains a warning about serious ill-conditioning in the working set when adding the j (th) constraint, then either the user should try using NAG Library routine E04NAF and experiment with the magnitude of FEATOL(j) in that routine, or the offending linearly dependent constraint (with index j) should be removed from the problem.

7. Auxiliary Routines

Details are distributed to sites in machine-readable form.

8. Timing

The time taken by each iteration is approximately proportional to $\min(N^2, NCLIN^2)$.

9. Storage

There are no large internally declared arrays.

10. Accuracy

The routine implements a numerically stable active set strategy and returns solutions that are as accurate as the condition of the LP problem warrants on the machine.

11. Further Comments

Sensible scaling of the problem is likely to reduce the number of iterations required and make the problem less sensitive to perturbations in the data, thus improving the condition of the LP problem. In the absence of better information it is usually sensible to make the Euclidean

lengths of each constraint of comparable magnitude. See [1] for further information and advice.

Note that the routine allows constraints to be violated by an absolute tolerance equal to the relative machine precision (see NAG Library routine X02AAF).

12. Keywords

Linearly Constrained Optimization,
Linear Programming,
Feasible Point.

13. Example

To minimize the function

$$-0.02x_1 - 0.2x_2 - 0.2x_3 - 0.2x_4 - 0.2x_5 + 0.04x_6 + 0.04x_7$$

subject to the bounds

$$-0.01 \leq x_1 \leq 0.01$$

$$-0.1 \leq x_2 \leq 0.15,$$

$$-0.01 \leq x_3 \leq 0.03,$$

$$-0.04 \leq x_4 \leq 0.02,$$

$$-0.1 \leq x_5 \leq 0.05,$$

$$-0.01 \leq x_6$$

$$-0.01 \leq x_7$$

and the general constraints

$$\begin{array}{rcl} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 & = & -0.13 \\ 0.15x_1 + 0.04x_2 + 0.02x_3 + 0.04x_4 + 0.02x_5 + 0.01x_6 + 0.03x_7 & \leq & -0.0049 \\ 0.03x_1 + 0.05x_2 + 0.08x_3 + 0.02x_4 + 0.06x_5 + 0.01x_6 & \leq & -0.0064 \\ 0.02x_1 + 0.04x_2 + 0.01x_3 + 0.02x_4 + 0.02x_5 & \leq & -0.0037 \\ 0.02x_1 + 0.03x_2 & \leq & -0.0012 \\ -0.0992 \leq 0.70x_1 + 0.75x_2 + 0.80x_3 + 0.75x_4 + 0.80x_5 + 0.97x_6 & & \\ -0.003 \leq 0.02x_1 + 0.06x_2 + 0.08x_3 + 0.12x_4 + 0.02x_5 + 0.01x_6 + 0.97x_7 & \leq & 0.002 \end{array}$$

The initial point, which is infeasible, in

$$x_0^T = (-0.01, -0.03, 0.0, -0.01, -0.1, 0.02, 0.01)$$

13.1. Program Text

WARNING: This single precision example program may require amendment for certain implementations. The results produced may not be the same. If in doubt, please seek further advice (see Essential Introduction to the Library Manual).

```

C      E04MBF EXAMPLE PROGRAM TEXT
C      MARK 11 RELEASE. NAG COPYRIGHT 1983
C      .. LOCAL SCALARS ..
C      REAL OBJLP
C      INTEGER I, IFAIL, ITMAX, J, LIWORK, LWORK, MSGLEV, N, NCLIN
C      * NCTOTL, NIN, NOUT, NROWA
C      LOGICAL LINDBJ
C      .. LOCAL ARRAYS ..
C      REAL A(7,7), BL(14), BU(14), CLAMDA(14), CYEC(7), TITLE(7)
C      * WORK(200), X(7)
C      INTEGER ISTATE(14), IWORK(50)
C      .. SUBROUTINE REFERENCES
C      E04MBF, X04ABF
C

```

```

DATA NIN /5/, NOUT /6/
DATA NROWA /7/, LIWORK /50/, LWORK /200/
C
READ (NIN,99999) (TITLE(I),I=1,7)
WRITE (NOUT,99998) (TITLE(I),I=1,6)
C
CALL XD4ABF(1, NOUT)
N = 7
NCLIN = 7
NCTOTL = N + NCLIN
ITMAX = 20
MSGVLV = 1
LINOBJ = .TRUE.
C
READ (NIN,99997) (CVEC(J),J=1,N)
READ (NIN,99997) ((A(I,J),J=1,N),I=1,NCLIN)
READ (NIN,99997) (BL(J),J=1,NCTOTL)
READ (NIN,99997) (BU(J),J=1,NCTOTL)
READ (NIN,99997) (X(J),J=1,N)
C
IFAIL = 1
CALL ED4MBF(ITMAX, MSGVLV, N, NCLIN, NCTOTL, NROWA, A, BL,
* BU, CVEC, LINOBJ, X, ISTATE, OBJLP, CLAMDA, IWORK, LIWORK,
* WORK, LWORK, IFAIL)
STOP
C
99999 FORMAT (6A4, 1A3)
99998 FORMAT (4(1X/), 1H , 5A4, 1A3 7HRESULTS/1X)
99997 FORMAT (7E10.2)
END

```

13.2. Program Data

ED4MBF EXAMPLE PROGRAM DATA

-0.02	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	0.04	0.04
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
15	04	02	04	02	01	03
03	05	08	02	06	01	0
02	04	01	02	02	00	0
02	03	00	00	01	00	0
7	75	8	75	8	97	0
02	06	08	12	02	01	97
-0.01	-0.1	-0.01	-0.04	-0.1	-0.01	-0.01
-0.13	-1.0E+21	-1.0E+21	-1.0E+21	-1.0E+21	-0.0992	-1.003
0.01	0.15	0.03	0.02	0.05	1.0E+21	1.0E+21
-0.13	-0.0049	-0.0064	-0.0037	-0.0012	1.0E+21	0.002
-0.01	-0.03	0.00	-0.01	-0.1	0.02	0.01

13.3. Program Results

E04MBF EXAMPLE PROGRAM RESULTS

WORKSPACE PROVIDED IS IW(50) W(200)
 TO SOLVE PROBLEM WE NEED IW(14) W(175)

EXIT LP PHASE. IFAIL = 0
 NO OF ITERATIONS = 7

VARBL STATE	VALUE	LOWER BOUND	UPPER BOUND	LAGRMULT	RESIDUAL
V 1 LL	-0.1000000E-01	-0.1000000E-01	0.1000000E-01	0.3301	0.0000
V 2 LL	-0.1000000	-0.1000000	0.1500000	0.1438E-01	0.0000
V 3 UL	0.3000000E-01	-0.1000000E-01	0.3000000E-01	-0.9100E-01	0.0000
V 4 UL	0.2000000E-01	-0.4000000E-01	0.2000000E-01	-0.7661E-01	0.0000
V 5 FR	-0.6748534E-01	-0.1000000	0.5000000E-01	0.0000	0.3251E-01
V 6 FR	-0.2280130E-02	-0.1000000E-01	NONE	0.0000	0.7720E-02
V 7 FR	-0.2345277E-03	-0.1000000E-01	NONE	0.0000	0.9765E-02

LNCON STATE	VALUE	LOWER BOUND	UPPER BOUND	LAGRMULT	RESIDUAL
L 1 EQ	-0.1300000	-0.1300000	-0.1300000	-1.431	0.5551E-16
L 2 FR	-0.5479544E-02	NONE	-0.4900000E-02	0.0000	0.5795E-03
L 3 FR	-0.6571922E-02	NONE	-0.6400000E-02	0.0000	0.1719E-03
L 4 FR	-0.4849707E-02	NONE	-0.3700000E-02	0.0000	0.1150E-02
L 5 FR	-0.3874853E-02	NONE	-0.1200000E-02	0.0000	0.2675E-02
L 6 LL	-0.9920000E-01	-0.9920000E-01	NONE	1.501	0.2776E-16
L 7 LL	-0.3000000E-02	-0.3000000E-02	0.2000000E-02	1.517	-0.4337E-17

EXIT E04MBF - OPTIMAL LP SOLUTION FOUND.

LP OBJECTIVE FUNCTION = 2.359548E-02

NO. OF ITERATIONS = 7

10. ÖZGEÇMİŞ

Yazar 1961 yılında Denizli'nin Tavas ilçesinin Kızılcabölük bucağında doğmuştur. Denizli lisesini ve Denizli Mühendislik ve Mimarlık Akademisi İnşaat Bölümünü bitirmiştir. Yüksek lisans öğrenimini Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yapmakta olup halen Dokuz Eylül Üniversitesi Denizli Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü Hidrolik Anabilim dalında araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.