T.C.
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İKİ BOYUTLU TEK FAZLI PETROL REZERVUAR SİMÜLASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çalışmayı Yöneten: Yard.Doç.Dr.Mustafa KARA

Yavuz Cabbar
(Kimya Mühendisi)

ESKİŞEHİR, 1985

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım esnasında beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen hocam Yrd.Doç.Dr. Mustafa KARA'ya, bilgisayar çalışmalarımda yardımcı olan Anadolu Üniversitesi Bilgi İşlem Merkezi Müdürü Dr. Ali GÜNEŞ ve personeline, çalışmalarımda bana büyük destek olan H. CANAN'a ve aileme teşekkür etmeyi bir görev sayarım.

ÖZET

Bu çalışmada iki boyutlu, tek fazlı ve yatışkın olmayan bir petrol rezervuarının matematiksel modeli geliştirilmiş ve elde edilen bu model iteratif olarak satırlarda ardışık düzeltmeler yöntemi ile çözülmüştür.

Çözüm için FORTRAN IV dilinde bir bilgisayar programı yazılmış ve bu program fiziksel özellikleri gerçeğe yakın olarak tanımlanan bir petrol rezervuarı için başarıyla denenmiştir.

ABSTRACT

In this work, a mathematical model of a two-dimensional, single-phase and unsteady state petroleum reservoir was developed. The mathematical model was solved by an iterative method, namely line successive over relaxation (LSOR).

A computer program was coded and succesfully run in FORTRAN IV, to simulate a petroleum reservoir of which the physical properties were close to a real reservoir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SEMBOLLER

A_x	X yüzeyinin alanı, ft^2
A_y	Y yüzeyinin alanı, ft^2
B	Akışkanın hacimsel oluşum faktörü, $ft^3/(ft^3)_{sş}$
B^o	Akışkanın referans basınçtaki oluşum faktörü
C_f	Akışkanın sıkıştırılabilirliği, 1/psia
C_R	Kayaç sıkıştırılabilirliği, 1/psia
g	Yerçekimi ivmesi, ft/sn^2
h	Rezervuar yüksekliği, ft
i	X yönündeki blok indisi
j	Y yönündeki blok indisi
K_x	Oluşumun X yönündeki geçirgenliği, Darcy
K_y	Oluşumun Y yönündeki geçirgenliği, Darcy
k	İterasyon sayacı
m_x	X yönünde birim yüzeyden geçen kütle, $lb/ft^2.sn$
m_y	Y yönünde birim yüzeyden geçen kütle, $lb/ft^2.sn$
T_x	X yönündeki transmissibilite
T_y	Y yönündeki transmissibilite
Δt	Zaman dilimi
p	Basınç, psia
p^o	Referans basınç, psia
V	Rezervuar şartlarındaki akışkan hacmi, ft^3
V^o	Standart şartlardaki akışkan hacmi, ft^3
V_b	Rezervuar bloklarının hacmi, ft^3
q	Birim zamanda üretilen veya injekte edilen petrol (injeksiyon için pozitif işaretli), $(varil)_{sş}/gün$
q^*	Birim zamanda, birim hacimde injekte edilen veya üretilen kütle (injeksiyon için pozitif işaretli), $lb/ft^3.gün$

ΔX	X yönündeki blok uzunlukları, ft
ΔY	Y yönündeki blok uzunlukları, ft
	Yunan Alfabesi
μ	Akışkanın vizkozitesi, Cp
u_x	Akışkanın X yönündeki lineer hızı, ft/sn
u_y	Akışkanın Y yönündeki lineer hızı, ft/sn
ρ	Akışkanın yoğunluğu, lb/ft^3
ρ^o	Akışkanın referans basınçtaki yoğunluğu, lb/ft^3
$\rho(GS)$	Gauss-Seidel matrisinin spektral yarıçapı
$\rho(SOR)$	Ardışık düzeltmeler yönteminin spektral yarıçapı
ϕ	Oluşum porozitesi
ϕ^o	Referans basınçtaki porozite
w	Ardışık düzeltmeler yönteminin düzeltme faktörü
w_{opt}	Ardışık düzeltmeler yönteminin optimum düzeltme faktörü

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Petrol, hızla gelişen teknolojiye paralel olarak hem enerji hem de petrokimyasal sentez kaynağı olarak büyük bir kullanım alanı bulmuştur. Ancak petrol rezervlerinin sonlu olması araştırmacıları petrolün büyük bir kısmını en uygun yöntemlerle üretebilme yollarını bulmaya zorlamıştır.

Petrol rezervlerinin içerdiği çok sayıdaki değişkeni bir arada incelemek oldukça güçtür. 1950 yıllarında bilgisayarlarda yazılım (software) ve donanım (hardware) teknolojilerinin, petrol rezervuar mühendisliğinin ve rezervuar simülasyonunun gelişmesi ile petrol üretimini etkileyen birçok değişkeni bir arada inceleme imkanı ortaya çıkmıştır.

Petrol rezervuar sistemlerinin içerdiği değişkenler, akışkan ve kayaç özellikleri olarak sınıflandırılabilir.

Akışkan özellikleri:

1- Hacimsel oluşum faktörü

2- Akışkan vizkozitesi

3- Akışkan sıkıştırılabilirliği

4- Fazlar arası denge ve kütle aktarımı

Kayaç özellikleri ise

1- Geçirgenlik (permeability)

2- Porozite

3- Oluşum kalınlığı

4- Oluşum yüksekliği

5- Sıkıştırılabilirlik

6- Bağıl geçirgenlik (relative permeability)

7- Akışkan doygunluğu (fluid satüration)

8- Kapiler basınçtır.

Rezervuar simülasyonu, gerçek bir petrol rezervuarının durumunu o rezervuarın modelinden takip edebilmektir. Model bir laboratuvar boyutlarında fiziksel olabileceği gibi, matematiksel de olabilir. Matematiksel model, bir rezervuarda oluşan fiziksel işlemleri gerçeğe yakın olarak ifade eden bir kısmi diferansiyel denklem sistemi ile uygun başlangıç ve sınır hallerinden ibarettir.

Genel olarak rezervuar simülasyonu çalışmalarında aşağıda sıralanan basamaklara gerek duyulur:

1- Petrol üretimindeki fiziksel olayları matematik olarak ifade eden ve kütle ve enerji korunumu, akış ve durum (hal) eşitlikleri ile başlangıç ve sınır koşullarını içeren matematiksel model geliştirilir. Bu model genellikle kısmi diferansiyel ve cebrik denklem sistemidir.

2- Rezervuar sistemi bloklara bölünüp, matematiksel modelden elde edilen kısmi diferansiyel denklem sistemi, sonlu farklar (finite-difference) yöntemi ile cebirsel eşitliklere dönüştürülerek herbir blok için yazılır.

3- Matematiksel modelden elde edilen kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünü analitik olarak bulmak bugün için hemen hemen imkansızdır. Buna karşı bugünün hızlı bilgisayarlarıyla ve geliştirilmiş nümerik metodlarla bu zorluk ortadan kaldırılmıştır. Böylelikle çok karmaşık rezervuarların matematik modellerinin yaklaşık çözümleri nümerik metodlarla kolayca yapılabilmektedir.

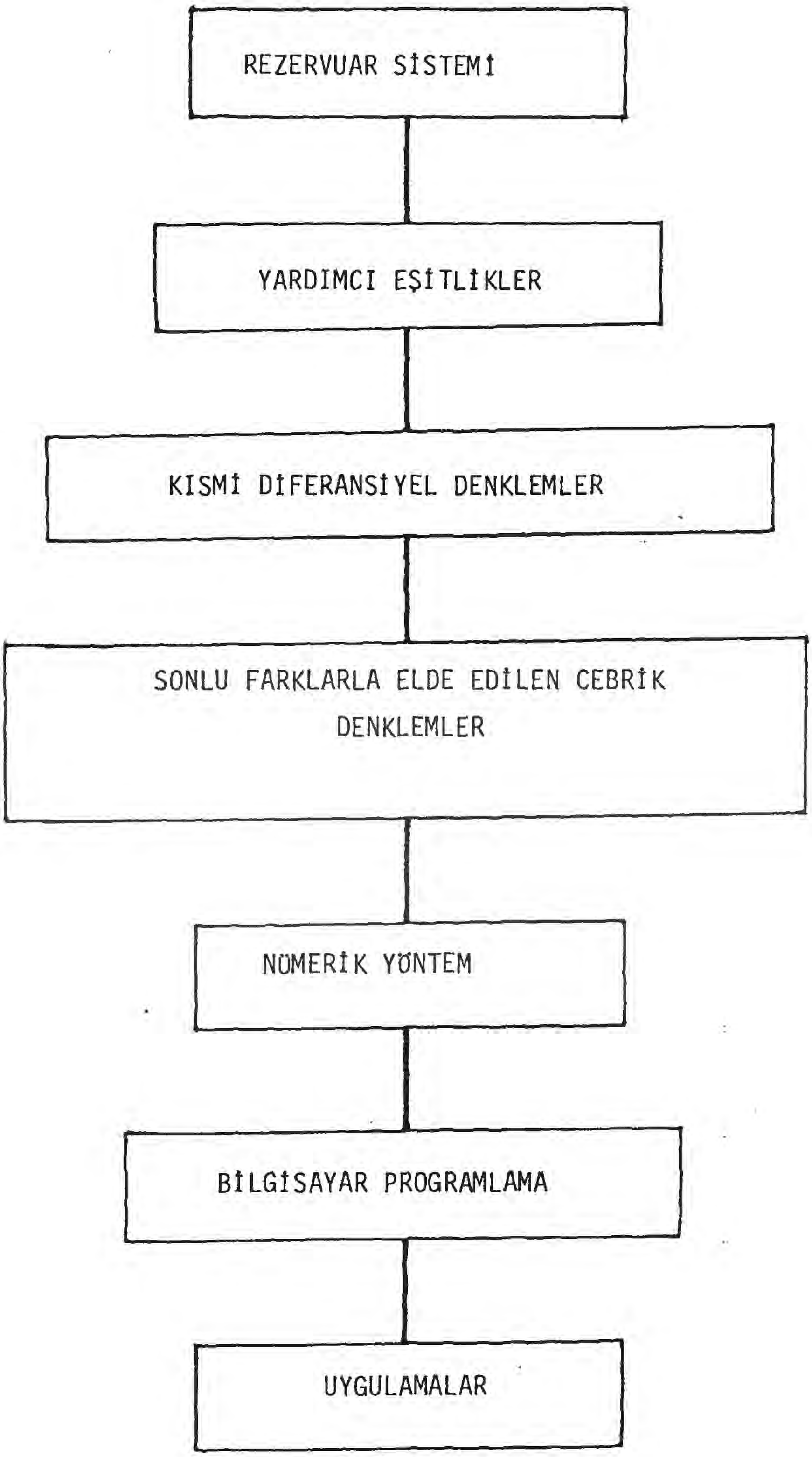
Buradan hareketle sistem için elde edilen cebirsel eşitlikleri çözebilmek için uygun bir sayısal (nümerical) çözüm yöntemi tesbit edilir.

4- Çözüm yöntemi için bir bilgisayar programı geliştirilir ve geçerliliği denenir.

Yukarıdaki anlatım şematik olarak Şekil 1.1 de gösterilmiştir.

Rezervuar modelleri boyutlarına göre; bir, iki ve üç boyutlu modeller olarak sınıflandırılabilir. Bir boyutlu modeller, yeni üretim alanları için matematiksel modellerin geliştirilmesi, proses veriminde değişken etkilerinin hesaplanması ve bir boyutlu laboratuvar modellerinden elde edilen deneysel veriler ile matematiksel modelden elde edilen verilerin karşılaştırılmasında kullanılır. İki boyutlu modeller; inceleme problemleri ve gerçek alansal sürüklenme çalışmaları ve üretimde kullanılır. Üç boyutlu modeller ise gerçek rezervuarlara en yakın olanıdır.

Bu çalışmada petrol rezervuarının sadece petrol fazından oluştuğu ve akımın iki boyutta olduğu durum incelenmiştir. Tek faz akış, kütle korunum ve durum (hal) eşitlikleri



Şekil 1.1. Rezervuar Simülasyonu

gözönünde bulundurularak, doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklemle ifade edilen matematiksel model elde edilmiştir.

Matematiksel modelden elde edilen doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklem, sonlu farklar yöntemi ile cebirsel eşitlik sistemi haline dönüştürülmüş ve bu sistem bir iteratif matris çözüm yöntemi olan satırlarda ardışık düzeltmeler yöntemi (line successive over relaxation, LSOR) ile çözülmüştür. Sistemden elde edilen ve özel bir matris olan üç köşegenli matris (tridioganal matrix) her iterasyonda Thomas yöntemi ile çözülmüştür.

Çözüm için FORTRAN IV dilinde geniş açıklamalı bir program yazılmış ve bu program IBM 4341 Bilgisayarında denenmiş ve başarılı olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 2

TEK FAZLI İKİ BOYUTLU PETROL REZERVUARININ MATEMATİKSEL MODELİ

Poroz ortamdan akışkanların akımı; atmosfer, borular ve ırmaklardaki akışkanların akımına benzerler. Her ortamdaki akışkan akımını açıklayan kanunlar birbirine benzemekle beraber poroz ortamdan akan akışkanların akımı daha karmaşıktır. Genellikle bu kanunlar; kütle, momentum ve enerjinin korunumu temeline dayanırlar.

Bird ve diğerleri {1}, Schlichting {2}, Monin ve Yağlom {3}, Bennet ve Myers {4} eserlerinde; kütle, momentum ve enerji korunumunu detaylı bir şekilde incelemişlerdir.

Darcy {5}, poroz ortamdan akışkan akımına yarıbasit bir yaklaşımla momentumun korunumu eşitliğini uygulamıştır.

Muskat {6}, poroz, homojen ortamda sıkıştırılamayan akışkanların basit eşitliklerinin analitik çözümlerini yapmıştır.

Polubarinova-Kochina {7}, yeraltı sularının akış denklemlerinin analitik çözümlerinin mümkün olduğunu göstermiştir.

Scheldeggar {8}, poroz ortamdan akışkan akımının fiziksel yönünü inceleyerek, yeraltı rezervuarlarından petrol üretimi için gerekli denklemlerin seçim yöntemlerini önermiştir.

Collins {9}, Amyx ve diğerleri {10}, petrol rezervuar mühendisliğinin teorik ve pratik yönlerini izah etmişlerdir.

Bear {11}, poroz ortamdaki akışkanların dinamik ve statiğini beraberce incelemiştir.

ERCB {12}, poroz ortamdan akışkan akım teorisini gaz kuyularının test edilmesinde kullanmıştır.

Aziz ve Settari {13}, Crichlow {14} ve Peaceman {15}, petrol rezervuarı akışkan akım eşitliklerini, rezervuar simülasyon eşitliklerini ve değişik nümerik çözüm yöntemlerini incelemişlerdir.

El-Khatip {16}, poroz ortamdan çok fazlı, çok bileşenli akışkanların ısı ve kütle aktarımı, sıcaklık altında kimyasal reaksiyon ve faz dengelerini içeren bir model önermiştir.

Gochnour {17}, iki boyutlu, üç fazlı akışkan akımının matematiksel modelini geliştirmiş, doygunluk ve basınç dağılımını nümerik olarak hesaplamıştır.

Gerçek rezervuar sistemlerinde akışkan akımı üç boyutta olmaktadır. Ancak birçok pratik çalışmada, üç boyuttan herhangi biri ihmal edilerek akımın iki boyutta olduğu varsayılabilir.

Bu çalışmada koordinat sisteminin yanlız x ve y yönünde akımın olduğu ve akışkanın tek faz (petrol) içerdiği varsayılmıştır.

Akışkanın ve oluşum porozitesinin az olmakla birlikte sıkıştırılabilirliği göz önüne alınmış ve yatışkın olmayan-hal incelenmiştir.

Matematiksel modelin geliştirilebilmesi için kütle korunum, hız ve durum (hal) eşitliklerinin beraberce ele alınması gerekmektedir.

2.1 Kütle Korunum Eşitliği

Kütle korunum eşitliğini türetebilmek için rezervuar ortamından Şekil 2.1 de görülen bir hacim elemanı alınır. Akımın x ve y yönünde olduğu kabul edilirse kütle denkliği;

(x deki kütle girişi) − (x + Δx deki kütle çıkışı) + (y deki kütle girişi) − (y + Δy deki kütle çıkışı) + (üretim veya injeksiyon) = birikim

şeklinde yazılır ve alışılmış sembollerle gösterilirse,

$$m_x|_x h\Delta y\Delta t - m_x|_{x+\Delta x} h\Delta y\Delta t + m_y|_y h\Delta x\Delta t -$$

$$m_y|_{y+\Delta y} h\Delta x\Delta t + q^* h\Delta x\Delta y\Delta t = [(\phi\rho)_{t+\Delta t} - (\phi\rho)_t]\, h\Delta x\Delta y \qquad (2.1)$$

Yukarıdaki eşitlikte;

m_x : x yönünde birim zamanda birim yüzeyden geçen kütle

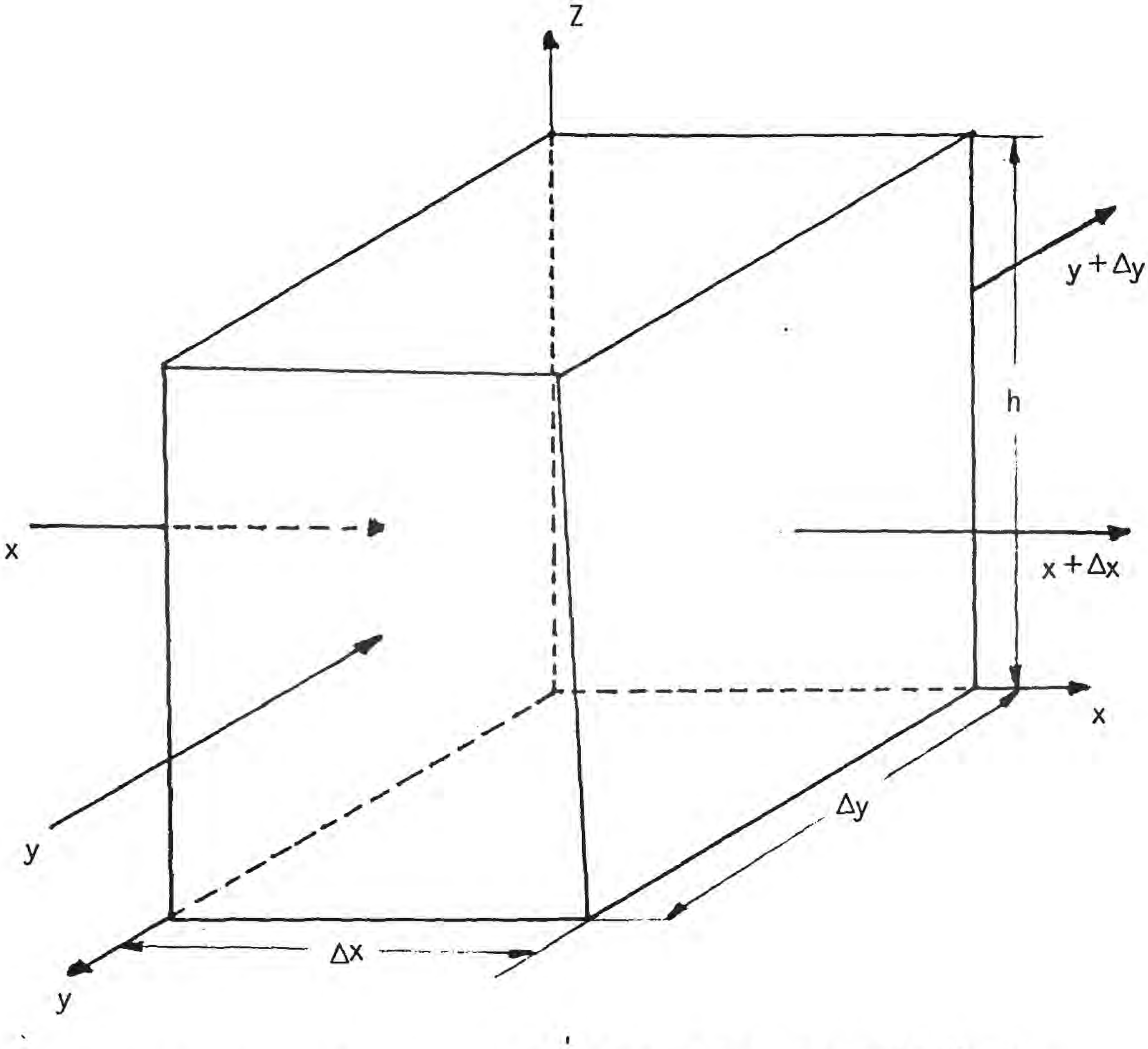
m_y : y yönünde birim zamanda birim yüzeyden geçen kütle

$h, \Delta x, \Delta y$: hacim elementinin yüksekliği, x ve y yönlerindeki uzunlukları

Δt : zaman aralığı

q^* : birim zamanda, birim hacimde injekte edilen veya üretilen kütle

ρ : akışkanın yoğunluğu



Şekil 2.1. Akışkanın Rezervuar Ortamından Aktığı bir Hacim Elemanı

ϕ : oluşum porozitesi

(2.1) eşitliği $h\Delta x \Delta y \Delta t$ ile bölünerek

$$\frac{m_x|_x - m_x|_{x+\Delta x}}{\Delta x} + \frac{m_y|_y - m_y|_{y+\Delta y}}{\Delta y} + q^{\star} = \frac{(\phi\rho)_{t+\Delta t} - (\phi\rho)_t}{\Delta t} \qquad (2.2)$$

elde edilir ve Δx, Δy, $\Delta t \rightarrow 0$ yaklaştığında limit alınır ve türev tanımı uygulanırsa;

$$-\frac{\partial m_x}{\partial x} - \frac{\partial m_y}{\partial y} + q^{\star} = \frac{\partial(\phi\rho)}{\partial t} \qquad (2.3)$$

eşitliği elde edilir. Ayrıca $m = u\rho$ olduğu göz önüne alındığında,

$$-\frac{\partial(u_x\rho)}{\partial x} - \frac{\partial(u_y\rho)}{\partial y} + q^{\star} = \frac{\partial(\phi\rho)}{\partial t} \qquad (2.4)$$

genel denklemi elde edilir. Burada porozite, ϕ, nin zamanla değişebileceği düşünülerek türev içerisinde bırakılmıştır.

Akışkanların poroz ortamdan akışında, doğrusal hızın basınca bağlılığı Darcy kanunu ile ifade edilebilir,

$$u_x = -\frac{K_x}{\mu}\left(\frac{\partial p}{\partial x} - \rho g \frac{\partial h}{\partial x}\right) \qquad (2.5)$$

$$u_y = -\frac{K_y}{\mu}\left(\frac{\partial p}{\partial y} - \rho g \frac{\partial h}{\partial y}\right) \qquad (2.6)$$

burada,

K_x, K_y : oluşumun x ve y yönündeki geçirgenliği

μ : akışkanın vizkozitesi

g : yerçekimi ivmesi

p : basınç

Akımın x ve yönlerinde (yatay düzlemde) olduğu varsayımı hatırlanarak, (2.5) ve (2.6) eşitliklerindeki yüksekliğin türevi olan terimler ihmal edilir ve (2.4) eşitliğinde yerine konulursa;

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{K_x \rho}{\mu}\frac{\partial p}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{K_y \rho}{\mu}\frac{\partial p}{\partial y}\right) + q^{\star} = \frac{\partial(\phi\rho)}{\partial t} \qquad (2.7)$$

eşitliği elde edilir.

2.2 Akışkan Yoğunluğu ve Oluşum Porozitesi

Gerçek bir rezervuar, üç fazlı bir akışkan sistemini, gaz, petrol ve su içerir. Bu akışkanlardan gaz yoğunluğu, basıncın önemli bir fonksiyonu olmasına rağmen, petrol ve su yoğunluğu basınçla çok fazla değişmemektedir. Hatta bazı rezervuar simülasyonlarında petrol ve su sıkıştırılamayan akışkan olarak kabul edilebilmektedir.

Bu çalışmada rezervuarın sıkıştırılabilirliği az olan petrol fazından oluştuğu varsayılmıştır. Bu tip akışkanın yoğunluğu aşağıdaki (2.8) eşitliği ile verilebilir {13},

$$\rho = \rho^{o}\, e^{-C_f(p-p^{o})} \qquad (2.8)$$

burada,

C_f : akışkanın sıkıştırılabilirliği

p^o : referans basıncı

ρ^o : referans basınçtaki akışkanın yoğunluğu

(2.8) eşitliğinin Taylor açılımı yapıldığında,

$$\frac{\rho}{\rho^{o}} = 1 + C_f(p-p^{o}) + \frac{1}{2!}C_f^2(p-p^{o})^2 + \ldots \qquad (2.9)$$

elde edilir. Akışkanın sıkıştırılabilirliği, c_f, yaklaşık $10^{-5} - 10^{-6}$ değerlerinde olduğu göz önüne alınırsa, Taylor açılımında ilk iki terim alınmakta fazla hata yapılmamış varsayılabilir ve

$$\frac{\rho}{\rho^o} = 1 + c_f(p - p^o) \qquad (2.10)$$

eşitliği elde edilir.

Rezervuar mühendisliğinde, akışkan yoğunluğu yerine daha çok akışkanın hacımsal oluşum faktörü kullanılır ve aşağıdaki eşitlikle tanımlanır.

$$B = \frac{v}{v^o} \qquad (2.11)$$

burada;

v : rezervuar şartlarındaki akışkan hacmi

v^o : standart şartlardaki akışkan hacmi (genellikle depolama şartlarındaki) dir.

O halde,

$$\frac{\rho}{\rho^o} = \frac{B^o}{B} = 1 + c_f(p - p^o) \qquad (2.12)$$

yazılır. Burada,

B^o : referans basınçtaki hacimsel oluşum faktörüdür.

Aynı şekilde oluşum porozitesi de basıncın bir fonksiyonu olarak aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir {13}.

$$\phi = \phi^o\,[1 + c_R(p - p^o)] \qquad (2.13)$$

Burada,

C_R : kayacın sıkıştırılabilirliği

ϕ^o : referans basınçtaki porozite

(2.12) ve (2.13) eşitlikleri (2.7) eşitliğinde yerine konarak;

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\rho^o B^o K_x}{\mu B}\frac{\partial p}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\rho^o B^o K_y}{\mu B}\frac{\partial p}{\partial y}\right) + q^{\star} = \rho\frac{\partial \phi}{\partial t} + \phi\frac{\partial \rho}{\partial t} \tag{2.14}$$

elde edilir.

Ayrıca aşağıdaki türev özelliği kullanılarak:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial \phi}{\partial p}\cdot\frac{\partial p}{\partial t} \tag{2.15}$$

ve

$$\frac{\partial \phi}{\partial p} = \phi^o\, C_R \tag{2.16}$$

elde edilir.

Aynı şekilde;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial \rho}{\partial p}\cdot\frac{\partial p}{\partial t}$$

ve

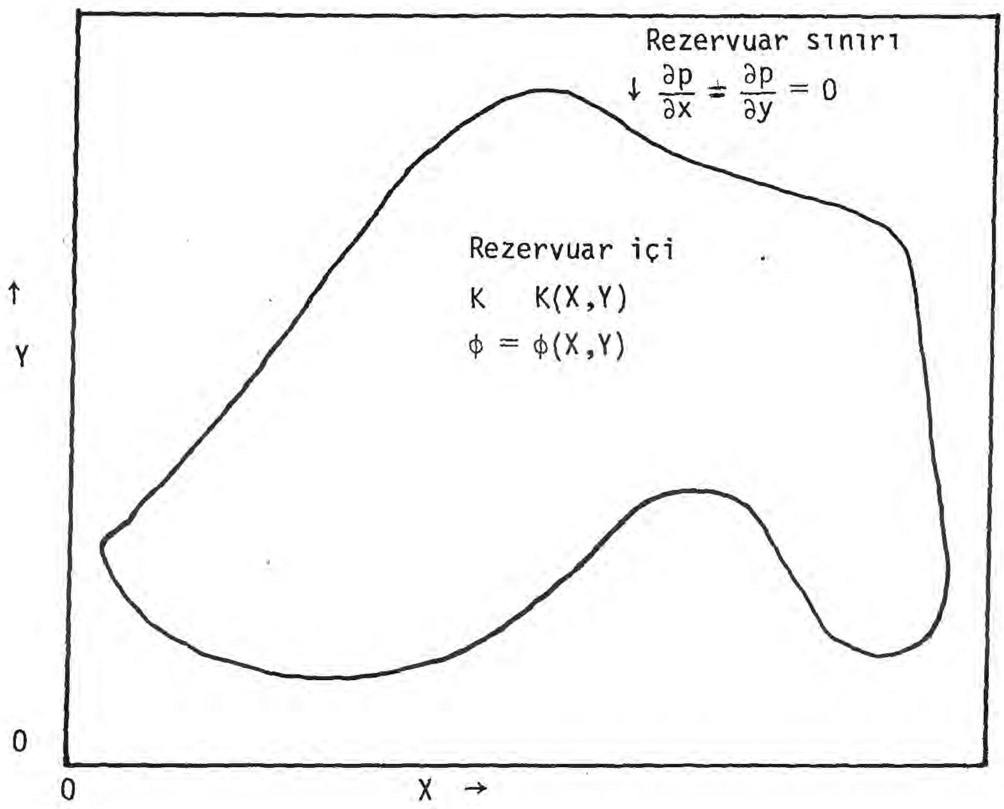
$$\frac{\partial \rho}{\partial p} = \rho^o\, C_f \tag{2.18}$$

olarak alınabilir.

Bunlar (2.14) eşitliğinde yerine konur ve gerekli kısaltmalar yapılırsa,

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{K_x}{\mu B}\frac{\partial p}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{K_y}{\mu B}\frac{\partial p}{\partial y}\right) + \frac{q^{\star}}{\rho^o B^o} = \left(\frac{\phi^o C_R}{B} + \frac{\phi C_f}{B^o}\right)\frac{\partial p}{\partial t} \tag{2.19}$$

doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklemi elde edilir. Bu eşitlik tek fazlı akışkanın (petrol) iki boyutlu, x-y, yatay, poroz bir ortamda yatışkın olmayan akım eşitliğidir.



Şekil 2.2. Matematiksel Modelin Sınır Koşulları

Bu eşitlik ancak başlangıç ve sınır koşullarıyla tam ve çözüme hazırdır. Değişik sınır koşulları Aziz ve Settari {13} ve Chirichlow {14} tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada rezervuar sınırlarından rezervuara veya rezervuar dışına bir akım olmadığı kabul edilmiş, injeksiyon ve üretim, q^* terimiyle hesaba katılmıştır. Başlangıçta, yani $t = 0$ anında rezervuardaki basınç sabit bir değer olarak varsayılmıştır.

Şekil 2.2 matematiksel modelin sınır koşullarını göstermektedir.

BÖLÜM 3

SONLU FARKLAR YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

İkinci bölümde elde edilen (2.19) eşitliği, ikinci mertebeden doğrusal olmayan bir kısmi diferansiyel denklemdir.

Bu eşitliğin cebrik eşitlik sistemine dönüştürülmesi için sonlu farklar yöntemi kullanılmıştır. Sonlu farklar yönteminin açıklandığı birçok nümerik analiz ve çeşitli mühendislik alanlarında yazılmış kitaplar bulunabileceğinden burada kısaca üzerinde durulacaktır. Çözüm yöntemi, Şekil 3.1'de görülen bloklara bölünmüş rezervuar sistemini ve herbir blok için yazılmış basınç dağılımını kapsar.

3.1 Türevlerin Sonlu Farklarla Yaklaşık Değerleri

(2.19) eşitliğindeki türevlerin yaklaşık değerleri Taylor açılımı ile bulunabilir.

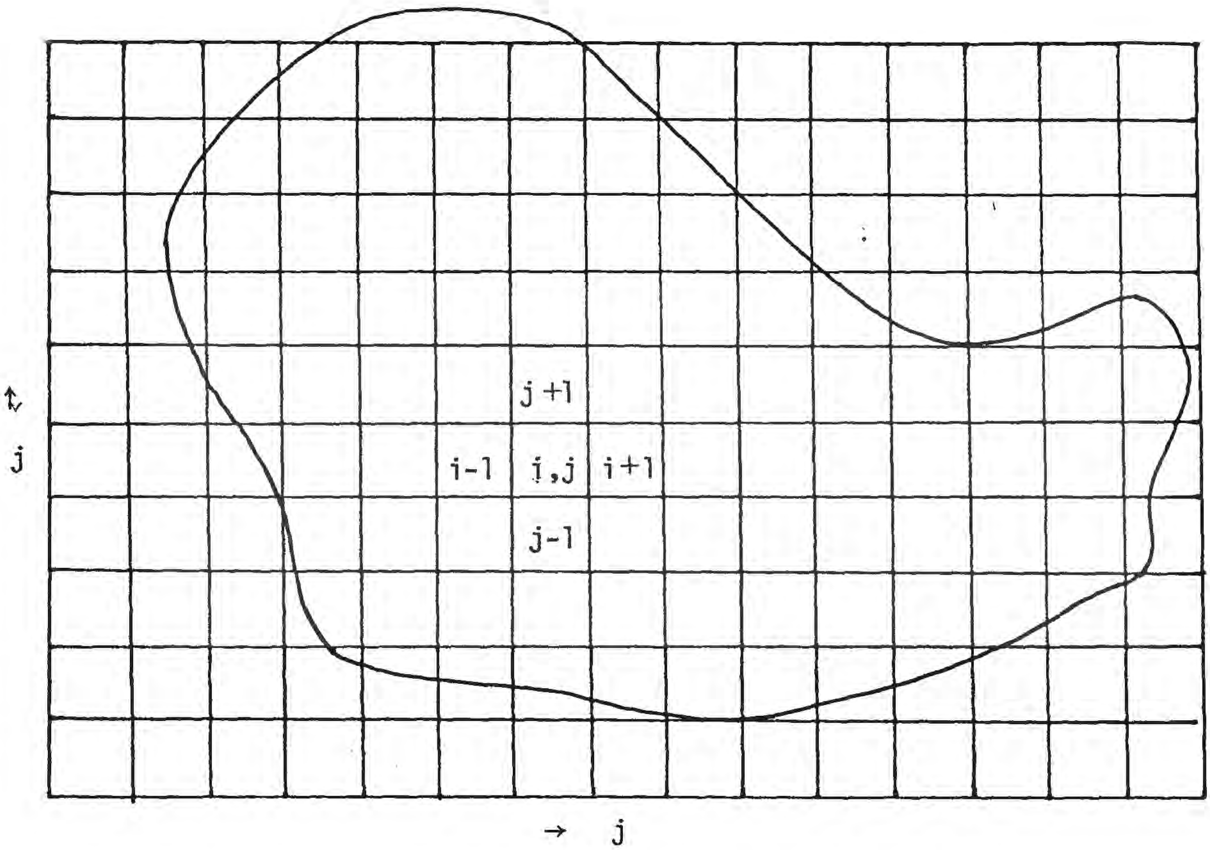
Genel olarak bir P fonksiyonu için Taylor açılımı yazılırsa (Şekil 3.2);

İleri farklılık:

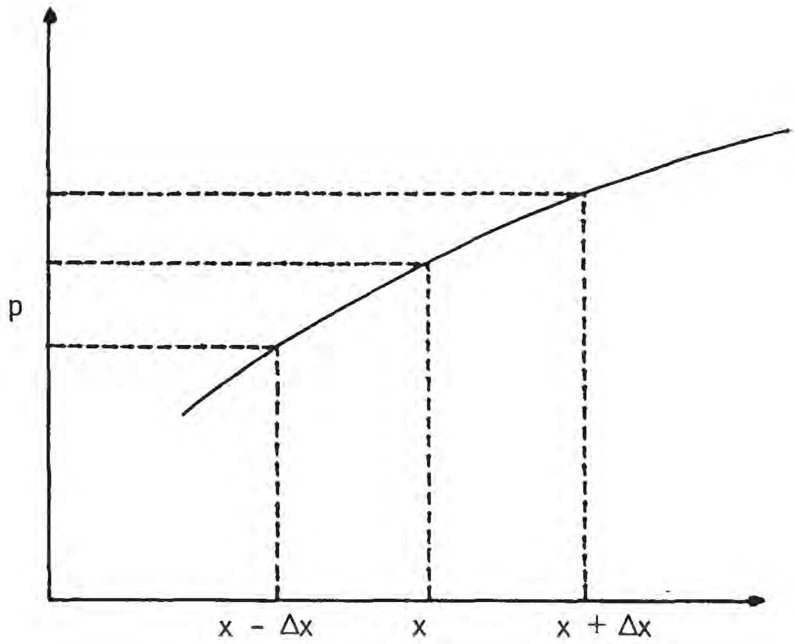
$$P(x+\Delta x) = P(x) + \Delta x P'(x) + \frac{1}{2!}(\Delta x)^2 P''(x) + \frac{1}{3!}(\Delta x)^3 P'''(x) + \frac{1}{4!}(\Delta x)^4 P^{iv}(x) + \ldots \quad (3.1)$$

geri farklılık:

$$P(x-\Delta x) = P(x) - \Delta x P'(x) + \frac{1}{2!}(\Delta x)^2 P''(x) - \frac{1}{3!}(\Delta x)^3 P'''(x) + \frac{1}{4!}(\Delta x)^4 P^{iv}(x) - \ldots \quad (3.2)$$



Şekil 3.1. Bloklara bölünmüş rezervuar sistemi



Birinci türev :

İleri : $\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{p(x+\Delta x) - p(x)}{\Delta x}$

geri : $\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{p(x) - p(x - \Delta x)}{\Delta x}$

merkez : $\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{p(x+\Delta x) - p(x - \Delta x)}{2 \Delta x}$

Şekil 3.2. Birinci Türevler

şeklindedir. Burada;

$$P'(x) = \frac{\partial p}{\partial x} \text{ i}$$

$$P''(x) = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}$$ yi P''' ve P^{1V} de benzer şekilde üçüncü ve dördüncü türevleri göstermektedir.

Elde edilen Taylor açılımı eşitlikleri birinci ve ikinci türevler için çözülebilir.

$$P'(x) = \frac{P(x+\Delta x) - P(x)}{\Delta x} + O(\Delta x) \qquad (3.3)$$

ve

$$P'(x) = \frac{P(x) - P(x-\Delta x)}{\Delta x} + O(\Delta x) \qquad (3.4)$$

Bu eşitlikler sırası ile birinci türev için ileri ve geri farklılıklardır. İki eşitlik birbirinden çıkartıldığında, birinci türev için merkezdeki farklılık elde edilir.

$$P'(x) = \frac{P(x+\Delta x) - P(x-\Delta x)}{2\Delta x} + O(\Delta x)^2 \qquad (3.5)$$

$O(\Delta x)$ ve $O(\Delta x)^2$ kesilme hatası (trunction error) olarak adlandırılır.

İkinci türev için Taylor açılımından elde edilen iki eşitlik birbiri ile toplanırsa ve P" çekilirse;

$$P'' = \frac{P(x+\Delta x) - 2P(x) + P(x-\Delta x)}{(\Delta x)^2} + O(\Delta x)^2 \qquad (3.6)$$

buradaki $O(\Delta x)^2$ de ikinci türevden gelen kesilme hatasıdır.

3.2 Sonlu Farkların Poroz Ortamdaki Akıma Uygulanması

İkinci bölümde elde edilen (2.19) eşitliğine sonlu farklar yöntemi uygulanarak doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklem, cebrik denklemler sistemine kolayca dönüştürülebilir.

(2.19) eşitliği türetilirken herhangi bir özel birim sistemi dikkate alınmamıştır. Güncel olarak rezervuar sisteminde özel bir birim sistemi kullanılır. Örneğin, uzunluklar ft, vizkozite cp, basınç psia, petrol hacmi varil, zaman gün, kayaç geçirgenliği darcy gibi. Bu nedenle (2.19) eşitliği İngiliz Birim Sistemine çevrildiğinde eşitlikte bazı çevirme faktörleri bulunacaktır. Üretim ve injeksiyon genellikle varil/gün olarak alınır.

(2.19) eşitliği $h\Delta x\Delta y$ ile çarpılır ve $A_x = h\Delta y$, $A_y = h\Delta x$, $V_b = h\Delta x\Delta y$ olduğu göz önünde bulundurulursa aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1{,}127A_xK_x}{\mu B}\frac{\partial p}{\partial x}\right)\Delta x + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{1{,}127A_yK_y}{\mu B}\frac{\partial p}{\partial x}\right)\Delta y + q$$

$$= \frac{V_b}{5{,}615}\left(\frac{\phi^o C_R}{B} + \frac{\phi C_f}{B^o}\right)\frac{\partial p}{\partial t} \qquad (3.7)$$

Burada;

$$q = \frac{q^{*}h\Delta x\Delta y}{5{,}615\rho^o B^o} \quad ; \ (\text{varil})_{sş}/\text{gün} \qquad (3.8)$$

Rezervuar sistemi blok merkezli ağ şeklinde düşünülerek (3.7) eşitliğine sonlu farklar yöntemi uygulandığında aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$TX_{i+1/2,j}\,P_{i+1,j} - TX_{i-1/2,j}\,P_{i,j} - TX_{i+1/2,j}\,P_{i,j} +$$

$$TX_{i-1/2,j}\,P_{i-1,j} + TY_{i,j+1/2}\,P_{i,j+1} - TY_{i,j-1/2}\,P_{i,j} -$$

$$TY_{i,j+1/2}\,P_{i,j} + TY_{i,j-1/2}\,P_{i,j-1} + q =$$

$$\frac{V_b}{5{,}615}\left(\frac{\phi^o C_R}{B} + \frac{\phi C_f}{B^o}\right)\frac{\partial p}{\partial t} \qquad (3.9)$$

Burada;

$$TX = \frac{1{,}127\ A_x\ K_x}{\mu B\ \Delta x}$$

$$TY = \frac{1{,}127\ A_y\ K_y}{\mu B\ \Delta y}$$ dir.

TX ve TY terimleri blok merkezli iki rezervuar bloğu arasındaki tranmissibiliteyi ifade ettiği için bu, iki komşu rezervuar sınırında hesaplanır ve hesaplarda harmonik ortalama kullanılır.

(3.9) eşitliğinin sağ tarafındaki türeve sonlu farklar yöntemi ilerideki çözüm bölümünde uygulanacağı için burada uygulanmamıştır.

BÖLÜM 4

ÇÖZÜM YÖNTEMİ

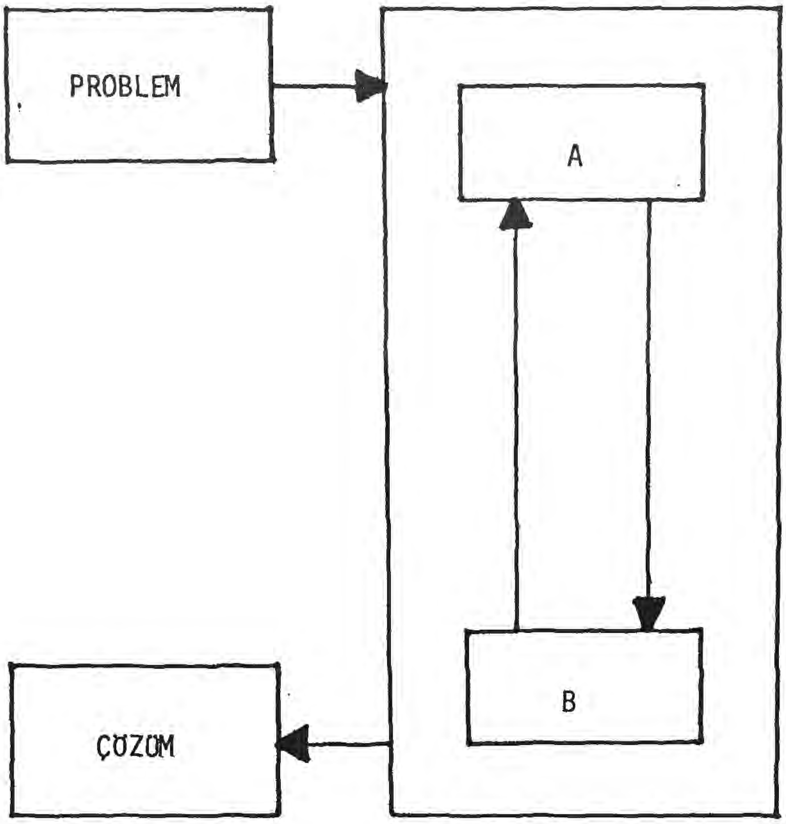
Bir rezervuarın matematiksel modelinden elde edilen kısmi diferansiyel denklem, sonlu farklar yöntemiyle cebrik denklemler sistemine dönüştürüldüğünde elde edilen matrisin birçok elemanı sıfırdır (sparse matrix).

Direk çözüm yöntemleri verilen katsayı matrisinin elemanlarını işlemler sırasında değiştirirler ve başlangıçta çok sıfırlı olan katsayı matrisi, sıfır elemanları daha az olan bir yoğun (dense) matrise dönüşür. Buna karşılık iteratif yöntemler katsayı matrisindeki sıfır olan elemanları değiştirmez. Bu nedenle büyük ve çok sıfırlı bir katsayı matrisine sahip denklem sistemlerinde genellikle iteratif yöntemler kullanılır. Direk ve iteratif yöntemlerin şematik olarak anlatımı Şekil 4.1 de gösterilmiştir.

Şekil 4.1 den görüldüğü gibi direk yöntemde ancak belirli sayıda işlemden sonra çözüm elde edilir. Bu belirli sayıdaki işlem tamamlanmadıkça çözüm elde edilemez. Yine şekilden görüldüğü gibi iteratatif yöntemde bilinmeyenler için seçilen tahmini çözüm işlem yapıldıkça doğru çözüme yaklaşır. İstenilen yaklaşıma bağlı olarak işlem durdurulabilir.

Yukarıdaki nedenlerden ötürü rezervuar simülasyonunda genellikle iteratif yöntemler kullanılır.

a. DİREK YÖNTEMLER



b. İTERATİF YÖNTEMLER

Şekil 4.1. Direk ve İteratif Yöntemler

Bu bölümde en çok bilinen iteratif yöntemler hakkında kısaca bilgi verilecektir. Daha geniş bilgi değişik nümerik analiz kitaplarında bulunabilir {18-20}.

Bu yöntemler:

1- Jacobi yöntemi

2- Gauss-Seidel yöntemi

3- Ardışık Düzeltmeler yöntemi (Successive over relaxation, SOR,)

Genel olarak,

$$A.P = b \tag{4.1}$$

matrisi şeklinde yazılmış cebrik denklem sistemi herbir dizi için yazılıp; bilinmeyen p değeri çekildiğinde;

$$\begin{aligned} p_1 &= \frac{1}{a_{11}} [b_1 - (a_{12}p_2 + a_{13}p_3 + \ldots + a_{1n}p_n)] \\ p_2 &= \frac{1}{a_{22}} [b_2 - (a_{21}p_1 + a_{23}p_3 + \ldots + a_{2n}p_n)] \\ &\vdots \\ p_n &= \frac{1}{a_{nn}} [b_n - (a_{n1}p_1 + a_{n2}p_2 + \ldots + a_{nn-1}p_n)] \end{aligned} \tag{4.2}$$

çözüm denklemleri elde edilir. Çözüme p nin yaklaşık bir değeri ile başlanarak, istenen toleranstaki değer elde edilene kadar devam edilir.

4.1 Jacobi Yöntemi

İteratif yöntemlerden ilkidir.(4.1) eşitliği ile gösterilen matris sistemini, (4.2) eşitliklerini sürekli olarak uygulanıp iteratif olarak çözülmesini sağlar. Genel olarak,

$$p_i^{k+1} = \frac{1}{a_{ii}} (b_i - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} a_{ij} \, p_j^k) \quad i = 1,2,\ldots,n \qquad (4.3)$$

denklemi ile gösterilir. Burada k, iterasyon sayacıdır. Herbir iterasyonda p vektörünün bütün değerleri hesaplandıktan sonra yeni bir iterasyonda kullanılır.

4.2 Gauss-Seidel Yöntemi

Jacobi yönteminin benzeridir, ancak (4.3) eşitliğindeki p_j^k yerine $j < 1$ olduğu durumda p_j^{k+1} değeri gelmektedir. Formüle edilmiş hali;

$$p_i^{k+1} = \frac{1}{a_{ii}} (b_i - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} a_{ij} \, p_j^{k+1}) \qquad (4.4)$$

şeklindedir. Bu yöntem Jacobi yönteminden daha çabuk çözüme yaklaşır, çünkü bir iterasyon sırasında p vektörünün en son hesaplanan elemanları kullanılır.

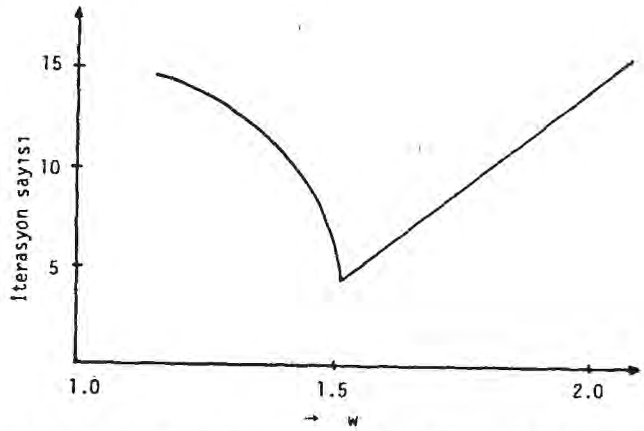
4.3 Ardışık Düzeltmeler Yöntemi

Gauss-Seidel yönteminin p vektörünün aynı başlangıç değeriyle Jacobi yönteminden daha hızlı çözüme yaklaştığına yukarıda değinilmişti. Gauss-Seidel yöntemine değeri 1-2 arasında olan bir düzeltme faktörü w katılmasıyla çözüme daha az sayıda iterasyonla yaklaşıldığı görülmüştür. Bu yöntem aşağıdaki eşitlikle gösterilebilir:

$$p_i^{k+1} = wp_i^{k+1} + (1 - w)p_i^k \qquad (4.5)$$

Düzeltme faktörünün 1 ile 2 arasında bir değer alabilmesine rağmen optimum değeri çözüme belirli toleransta yaklaşabilmek için en az sayıda iterasyon gerektirir.

Optimum düzeltme faktörünün yaklaşık değeri bu faktörün Şekil 4.2 de gösterilen tipik grafiğinden bulunabilir. Şekilde aynı yaklaşıklıkla çözüme ulaşan ve en az iterasyon



Şekil 4.2 Optimum düzeltme faktörünün seçimi

gerektiren w değeri optimum düzeltme faktörü olarak kullanılabilir. Optimum düzeltme faktörünün diğer hesaplanma yöntemleri Carre {21} ve Reid {22} tarafından verilmiştir.

En sık kullanılan yöntemlerden biri, iterasyona $w = 1$ (Gauss-Seidel) alınarak başlanır. Birkaç iterasyonla spektral yarıçap $\rho(GS)$ aşağıda görüldüğü gibi hesaplanır.

$$\rho(GS) = \frac{|d^{k+1}|_{max}}{|d^k|_{max}}, \quad k \to \infty \tag{4.6}$$

Burada,

$$|d^{k+1}|_{max} = \max_i |p_i^{k+1} - p_i^k| \tag{4.7}$$

Hesaplanan $\rho(GS)$ aşağıdaki eşitlikte kullanılarak

$$W_{opt} = \frac{2}{1 + \sqrt{1 - \rho(GS)}} \tag{4.8}$$

optimum düzeltme faktörü bulunabilir ve daha sonraki iterasyonlara bulunan bu W_{opt} ile devam edilir.

Bu çalışmada yukarıdaki yöntemin değişik bir şekli olan ve Young {23} tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde W için tahmini bir değer seçilir. Birkaç iterasyon bu değerle yapılarak ardışık düzeltmeler yöntemi için spektral yarıçap bulunur.

$$\rho(SOR) = \frac{|d^{k+1}|_{max}}{|d^{k}|_{max}} \qquad (4.9)$$

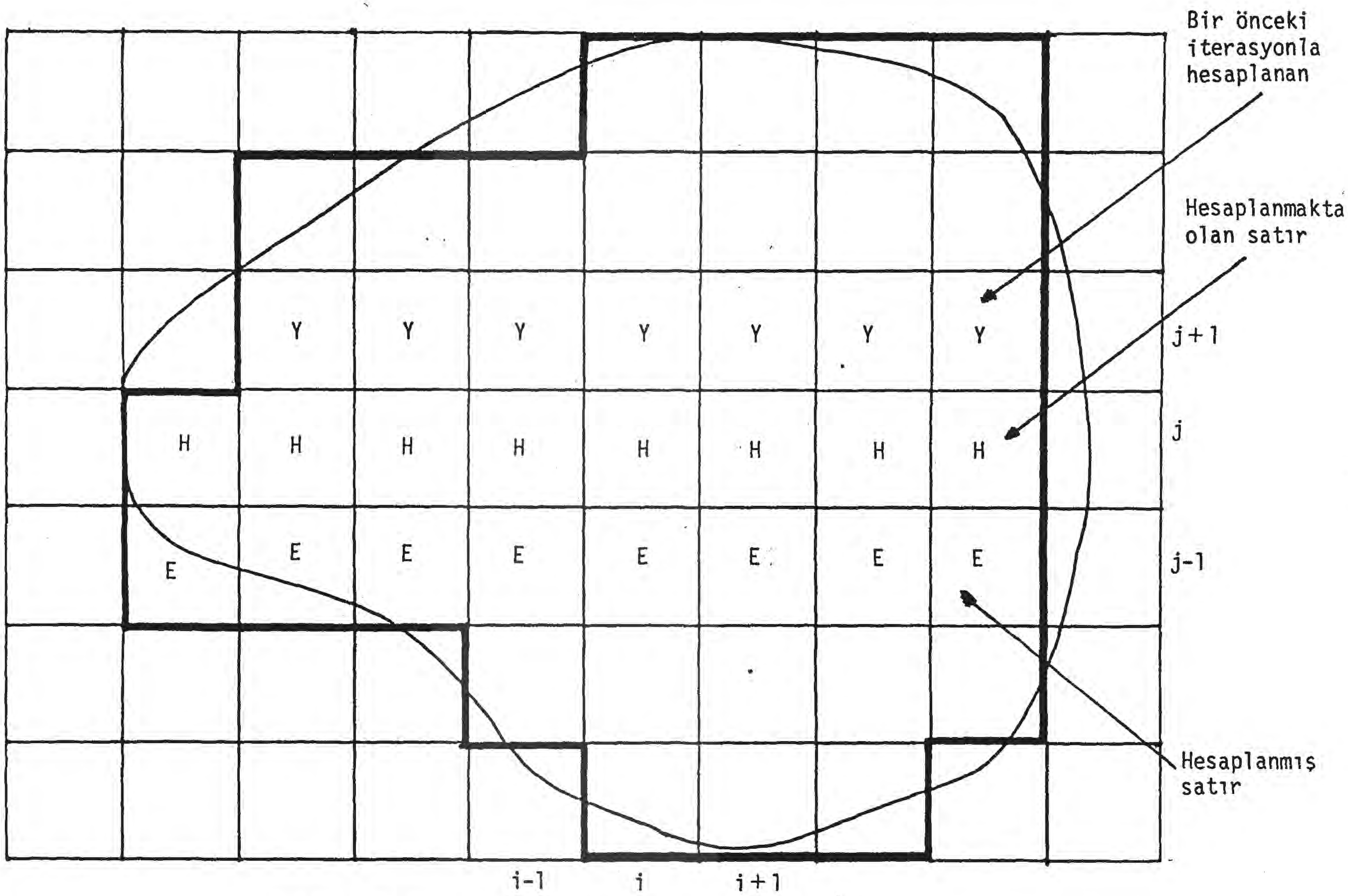
Hesaplanan bu değerle Gauss-Seidel yönteminin spektral yarıçapı hesaplanır,

$$\rho(GS) = \frac{[\rho(SOR) + w - 1]^2}{\rho(SOR)\; w^2} \qquad (4.10)$$

ve (4.8) eşitliğinden optimum düzeltme faktörü, w_{opt}, hesaplanarak iterasyona bu değerle devam edilir.

Yukarıda anlatılan ardışık düzeltmeler yöntemi bir rezervuar sisteminde herbir bloğa ayrı ayrı uygulandığında (point successive over relaxation, PSOR) bilinmeyen tek değer, eşitliğin sol tarafında bırakılarak açık olarak (explicit) hesaplanır. Bu yöntemin daha geliştirilmiş bir şekli olan satırlarda ardışık düzeltmeler yöntemi (line successive over relaxation, LSOR) bir sıradaki blokların tümüne birden uygulanabilir ve kapalı (impilicit) olarak bilinmeyenler aynı anda hesaplanır. Bu çalışmada uygulanan yöntem de bu son, yani satırlarda ardışık düzeltmeler yöntemidir.

İki boyutlu bir rezervuarda akım eşitliği bu yöntemle Şekil 4.3 den de görüldüğü gibi tek boyutlu bir rezervuara dönüştürülmüş olur.



Şekil 4.3. Satırlarda ardışık düzeltmeler yöntemi

BÖLÜM 5

MODELİN SATIRLARDA ARDIŞIK DÜZELTMELER YÖNTEMİYLE ÇÖZÜMÜ

Bu bölümde satırlarda ardışık düzeltmeler yöntemi, matematiksel modelden elde edilen doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denkleme sonlu farkların uygulanmasıyla türetilen (3.9) eşitliğinin çözümünde kullanılacaktır.

Genellikle iki boyutlu bir rezervuarın simülasyonunda sonlu farkların uygulanmasıyla elde edilen cebrik denklemler bir beş köşegenli (pentadiogonal) matris oluşturur. Fakat bu beş köşegenli matris satırlarda ardışık düzeltmeler yöntemi ile kolaylıkla üç köşegenli matrise, yani tek boyutlu rezervuar sistemine dönüştürülebilir. Her bir yatay sıradaki bloklar aynı anda hesaplanır. Şekil 4.2 den de görüldüğü gibi bir alt yatay sıradaki (j-1) bloklar bulunulan iterasyonda hesaplanmış, bir üst satırdaki (j+1) bloklar ise bir önceki iterasyonda hesaplanmıştır. Böylelikle bütün satırlardaki bloklar hesaplanana kadar işleme devam edilir ve yeni bir zaman dilimine geçilir.

5.1 Üç Köşegenli Matrisin Elde Edilişi

(3.9) eşitliği yeniden ele alınarak aşağıdaki işlemler yapılır.

$$TX_{i-1/2,j}\, P^{k+1}_{i-1,j} - (TX_{i-1/2,j} + TX_{i+1/2,j} + TY_{i,j-1/2} +$$

$$+ TY_{i,j+1/2})\, P^{k+1}_{i,j} + TX_{i+1/2,j}\, P^{k+1}_{i+1,j} + TY_{i,j+1/2}\, P^{k}_{i,j+1}$$

$$+ TY_{i,j-1/2}\, P^{k+1}_{i,j-1} + q$$

$$= \frac{V_b}{5{,}615} \left(\frac{\phi^o C_R}{B} + \frac{\phi C_f}{B^o} \right) \frac{P^{k+1}_{i,j} - P^{k}_{i,j}}{\Delta t} \qquad (5.1)$$

Eşitliğin sağ tarafındaki ifade

$$\frac{V_b}{5{,}615} \left(\frac{\phi^o C_R}{B} + \frac{\phi C_f}{B^o} \right) = \gamma \quad \text{olsun.} \qquad (5.2)$$

O halde

$$TX_{i-1/2,j}\, P^{k+1}_{i-1,j} - (TX_{i-1/2,j} + TX_{i+1/2,j} + TY_{i,j-1/2} +$$

$$+ TY_{i,j+1/2} + \frac{\gamma_{i,j}}{\Delta t})\, P^{k+1}_{i,j} + TX_{i+1/2,j}\, P^{k+1}_{i+1,j} + TY_{i,j+1/2}\, P^{k}_{i,j+1}$$

$$+ TY_{i,j-1/2}\, P^{k+1}_{i,j-1} + q = -\frac{\gamma_{i,j}}{\Delta t}\, P^{k}_{i,j} \qquad (5.3)$$

Aşağıdaki yeni terimler tanımlanarak,

$$B_{i,j} = TY_{i,j-1/2}$$

$$D_{i,j} = TX_{i-1/2,j}$$

$$E_{i,j} = -(TX_{i-1/2,j} + TX_{i+1/2,j} + TY_{i,j-1/2} + TY_{i,j+1/2} + \frac{\gamma_{i,j}}{\Delta t})$$

$$F_{i,j} = TX_{i+1/2,j}$$

$$H_{i,j} = TY_{i,j+1/2}$$

$$Q1_{i,j} = -q_{i,j} - \frac{\gamma_{i,j}}{\Delta t} P^{k}_{i,j}$$

ve $E_{i,j}$ bu yeni terimler cinsinden yazılarak,

$$E_{i,j} = -(B_{i,j} + D_{i,j} + F_{i,j} + H_{i,j} + \frac{\gamma_{i,j}}{\Delta t})$$

elde edilir.

(5.3) eşitliği bu yeni tanımlanan terimlerle yazıldığında

$$D_{i,j}\, P^{k+1}_{i-1,j} + E_{i,j}\, P^{k+1}_{i,j} + F_{i,j}\, P^{k+1}_{i+1,j} + H_{i,j}\, P^{k}_{i,j+1}$$

$$+ B_{i,j}\, P^{k+1}_{i,j-1} = Q1_{i,j} \qquad (5.4)$$

elde edilir. (5.4) eşitliğinde $P^{k+1}_{i,j}$ terimi eşitliğin sol tarafında bırakılıp satırlarda ardışık düzeltmeler yöntemi uygulandığında aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$P^{k+1}_{i,j} = \frac{w}{E_{i,j}} (Q1_{i,j} - B_{i,j}\, P^{k+1}_{i,j-1} - D_{i,j}\, P^{k+1}_{i-1,j} - F_{i,j}\, P^{k+1}_{i+1,j} -$$

$$- H_{i,j}\, P^{k}_{i,j+1}) + (1 - w) P^{k}_{i,j} \qquad (5.5)$$

(5.5) eşitliği herhangi bir yatay sıra (j değeri) için yazıldığında aşağıda görüldüğü gibi üç köşegenli matris elde edilir.

$$\frac{wD_{i,j}}{E_{i,j}} P^{k+1}_{i-1,j} + P^{k+1}_{i,j} + \frac{wF_{i,j}}{E_{i,j}} P^{k+1}_{i+1,j} =$$

$$\frac{w}{E_{i,j}} (Q1_{i,j} - B_{i,j}\, P^{k+1}_{i,j-1} - H_{i,j}\, P^{k}_{i,j+1}) + (1-w) P^{k}_{i,j} \qquad (5.6)$$

(5.6) eşitliğindeki sağ taraf bilinen değerler, bilinmeyenler ise k+1 inci iterasyonda $P_{i-1,j}$, $P_{i,j}$ ve $P_{i+1,j}$ elemanlarıdır. Bu eşitlik daha basit olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$a_i\, P^{k+1}_{i-1,j} + b_i\, P^{k+1}_{i,j} + c_i\, P^{k+1}_{i+1,j} = d_i \tag{5.7}$$

burada,

$$a_i = \frac{wD_{i,j}}{E_{i,j}}$$

$$b_i = 1$$

$$c_i = \frac{wF_{i,j}}{E_{i,j}} \quad \text{ve}$$

$$d_i = \frac{w}{E_{i,j}}(Q1_{i,j} - B_{i,j}P^{k+1}_{i,j-1} - H_{i,j}P^{k}_{i,j+1}) + (1-w)P^{k}_{i,j}$$

(5.7) eşitliği iki boyutlu rezervuarın tek boyuta dönüştürülmüş hali olup elde edilen üç köşegenli matris Thomas yöntemi ile çözülebilir. Thomas yönteminin kısaca izahı Ek 1 de verilmiştir.

Satırlarda ardışık düzeltmeler yöntemiyle bir sıradaki bloklarda bir iterasyon sonunda elde edilen basınç dağılımı bir önceki iterasyonda elde edilen basınç dağılımı ile kıyaslanarak seçilen bir toleranstan küçük olup olmadığına bakılır. Küçükse işleme son verilir, değilse iterasyona devam edilir.

5.2 Kütle Denkliğinin Uygulanması

Bir rezervuarda bloklar arası akışkan akımı olduğu gibi rezervuar dışından rezervuara akışkan injeksiyonu veya rezervuardan akışkan üretimi söz konusudur.

Belirli zaman aralıklarında rezervuardaki kuyulardan injekte edilen veya üretilen akışkan (petrol) bilinen belirli değerlerdir.

Zaman aralıklarının başında ve sonunda rezervuar blokları içindeki net akışkanın hacmi de kolaylıkla hesaplanabilir. Böylece her zaman aralığının sonunda kütle denkliğinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Sağlanıyorsa yeni bir zaman aralığına geçilir. Sağlanmıyorsa iterasyona devam edilerek yeni bir basınç dağılımı hesaplanır.

BÖLÜM 6

ÇÖZÜMÜN BİLGİSAYAR PROGRAMI

Elde edilen nümerik model IBM 4341 bilgisayar sisteminde çözülmüştür. Çözüm için bir ana program, yedi altprogram (subroutine), iki fonksiyon altprogramı (function subroutine) ve çok hassas olması gereken bazı büyüklüklerde çift hassasiyet (dauble precision) kullanılmıştır.

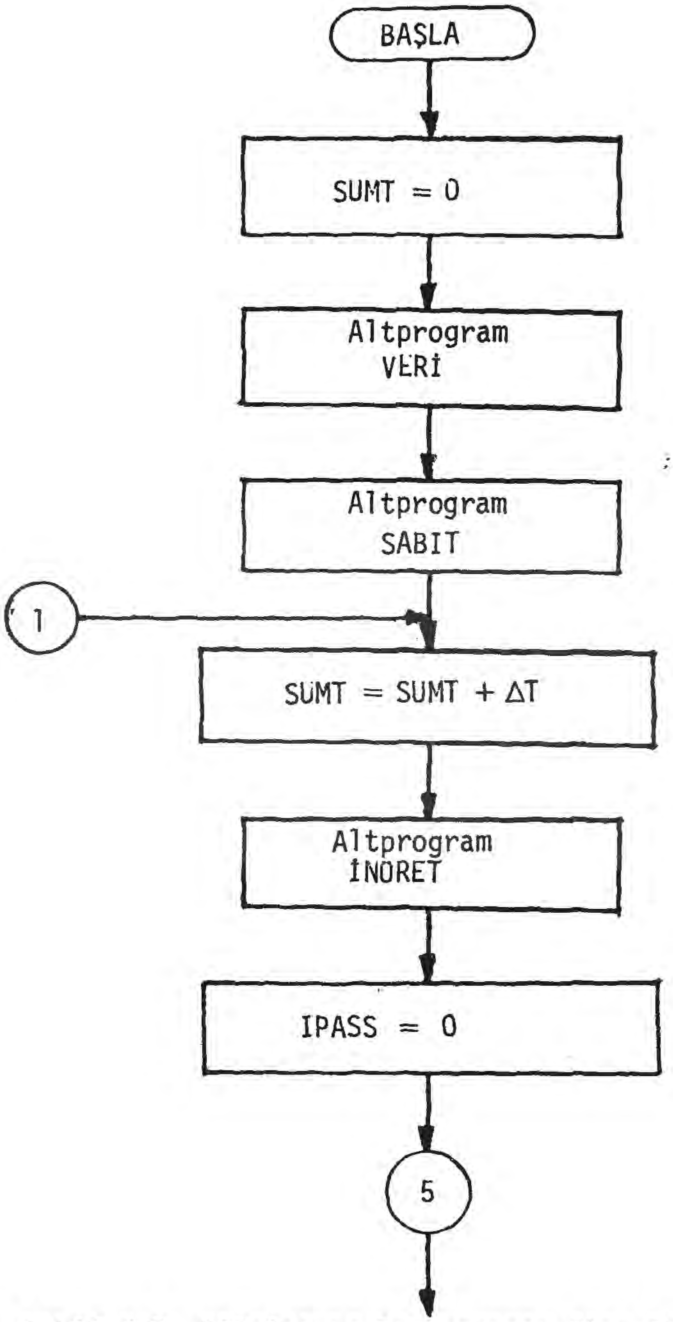
6.1 Programın Açıklanması

Şekil 6.1 de akım şeması verilen ana programda simülasyon başlatılır. Gerekli alt programlar çağırılarak yeni zaman aralığında hesaplanan yeni basınç dağılımı bir önceki basınçdağılımına eşitlenir. Zamanı, alınan zaman dilimi kadar arttırıp aynı işlemler yapılır. Toplam simülasyon zamanı sona erdiğinde program durdurulur.

VERİ altprogramında rezervuar, akışkan ve kayaç ile ilgili veriler okunur ve yazdırılır. Rezervuarın herhangi bir özelliği her yerde aynı ise bu özellik tek bir sabit olarak okutulur ve bir DO döngüsü ile her yerde eşitlkkılınır, aksi halde veriler herbir blok için ayrı ayrı okutulur.

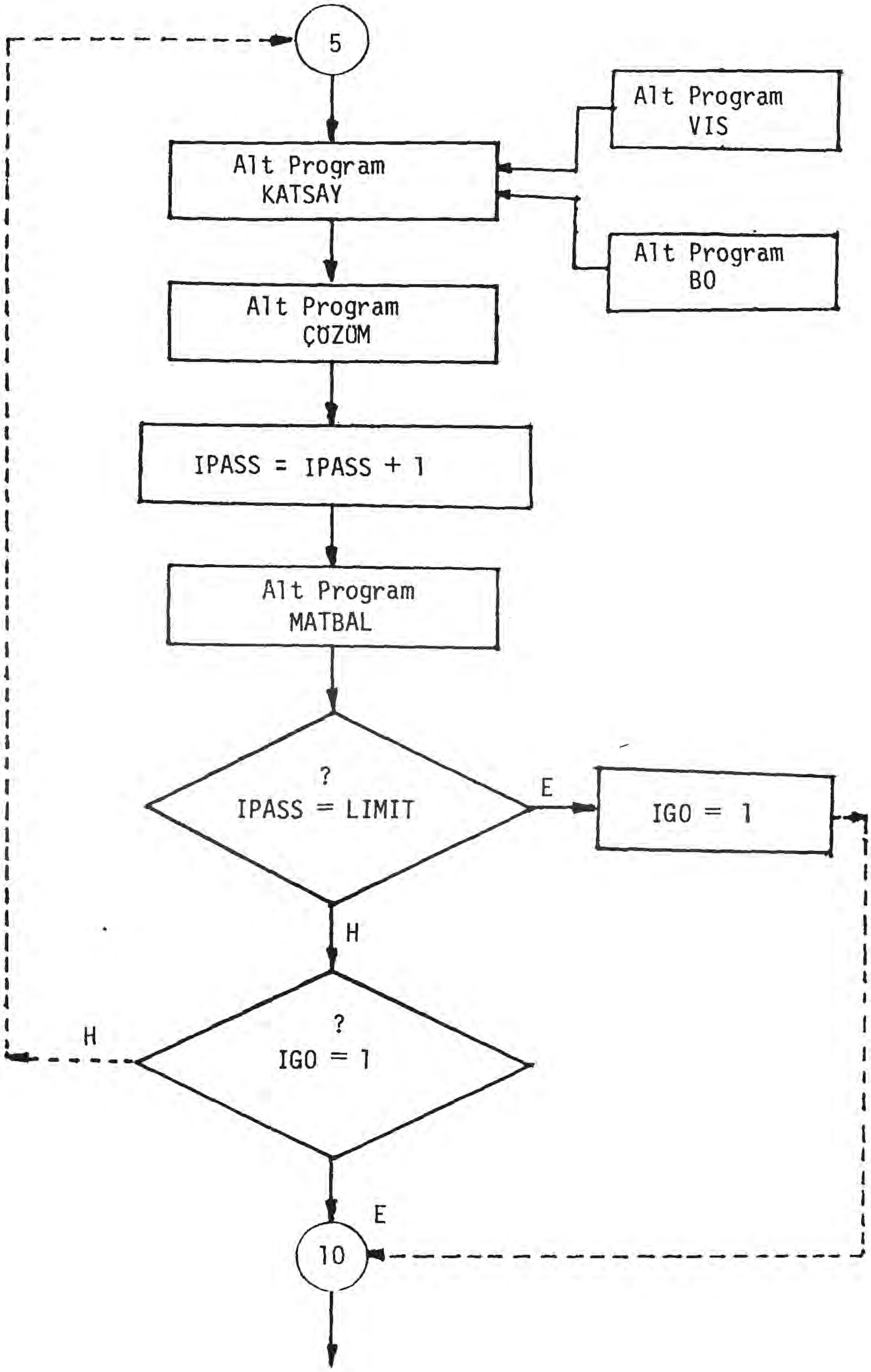
SABİT altprogramında, transmissibilitelerin sabit olan yani basıncın, dolayısıyla zamanın fonksiyonu olmayan katsayıları ve başlangıç rezervi ile blok hacimleri hesaplanır.

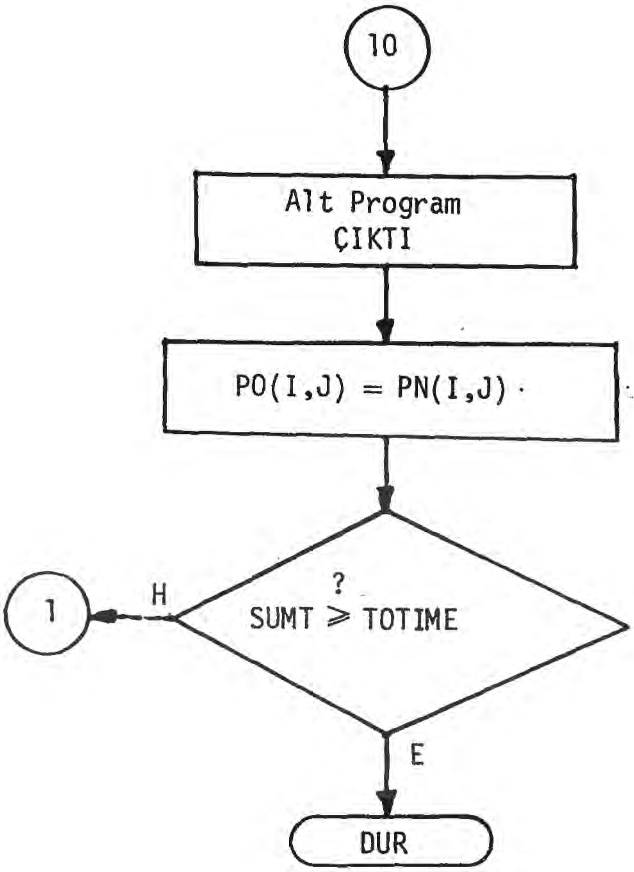
İNÜRET altprogramında, bulunulan zaman aralığında kuyulardaki üretim ve injeksiyon okutulur ve yazdırılır.



Şekil 6.1. Bilgisayar Programının Akım Şeması

Şekil 6.1 in devamı




10
Alt Program
ÇIKTI
PO(I,J) = PN(I,J)
?
SUMT ≥ TOTIME
H
1
E
DUR

KATSAY altprogramında transmissibiliteler ve basınç eşitliğindeki değişken katsayılar hesaplanır.

ÇÖZÜM altprogramında yeni zaman dilimindeki rezervuar basınç dağılımı satırlarda Ardışık Düzeltmeler Yöntemi kullanılarak hesaplanır. Basınç dağılımında elde edilen üç köşegenli matris Thomas yöntemi ile çözülür. Bu altprogramda optimum iterasyon parametresinin değeri de hesaplanır. Ancak bu programda optimum iterasyon parametresinin hesaplandığı kısım çalıştırılamamıştır ve parametrenin 1,2 sabit değeri ile hesaplama yapılmıştır. Çözümde, bir satırda sadece bir tek blok rezervuar sınırları içerisinde kalmışsa o blok rezervuar dışı kabul edilerek hesaba katılmamıştır.

MATBAL altprogramında iç ve dış üretimler hesaplanarak madde denkliğinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir.

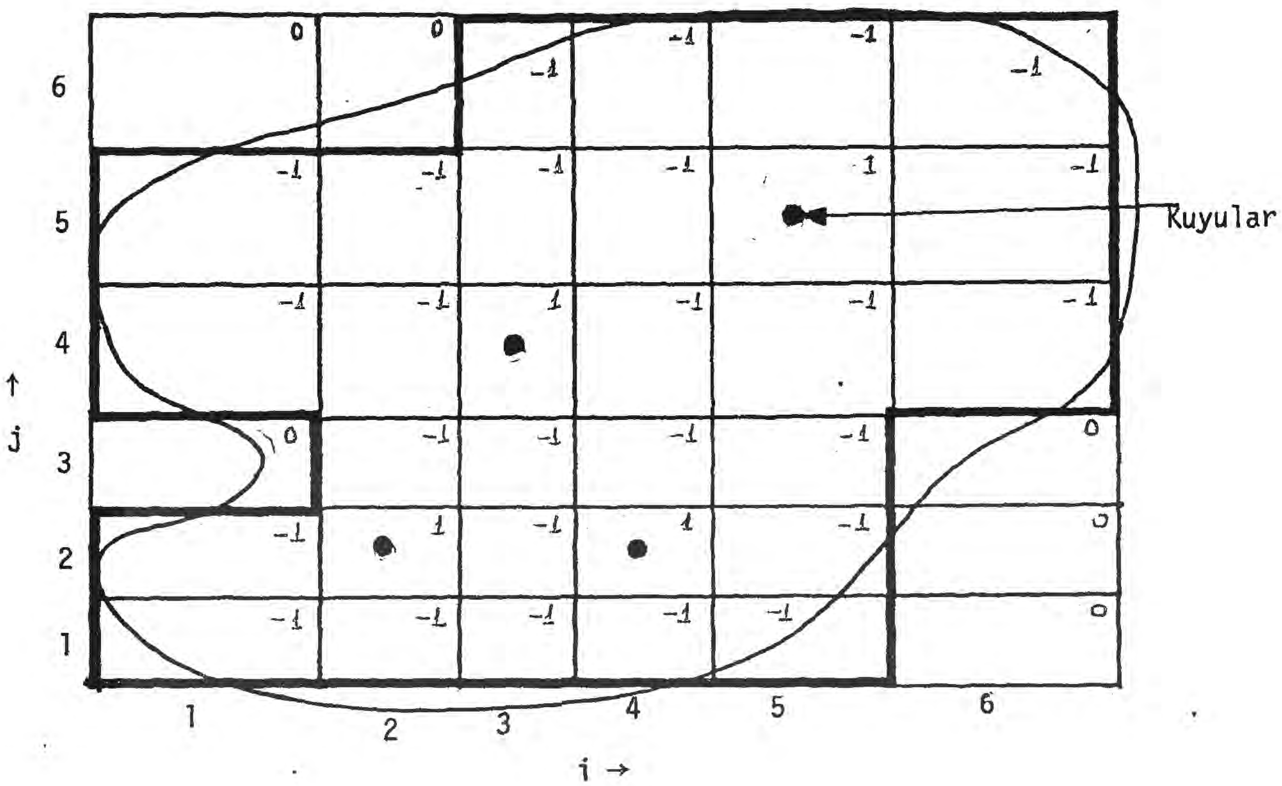
ÇIKTI altprogramında rezervuarın hesaplanan yeni basınç dağılımı üretim ve model hakkında gerekli bilgiler yazdırılır.

VIS fonksiyon altprogramında akışkan vizkozitesi basınçla doğrusal olarak değiştiği kabul edilerek hesaplanmıştır.

BO fonksiyon altprogramında hacimsel oluşum faktörü hesaplanmıştır.

6.2 Programın Uygulanması

Bu bilgisayar programıyla 6x6, dört kuyu içeren ve Şekil 6.2 de gösterilen bir rezervuarın simülasyonu yapılmıştır.



IND (I,J): 0 ise rezervuar dışı
IND (I,J): -1 ise rezervuar içi fakat kuyu yok
IND (I,J): 1 ise rezervuar içi ve kuyu var

Şekil 6-2: Modelin Uygulandığı Rezervuar Sistemi

Rezervuar ve akışkanın fiziksel özellikleri, boyutları ve zaman aralıkları ile bu aralıklardaki üretim ve injeksiyon program dökümünde açıkça belirtildiğinden burada ayrıca bahsedilmemiştir. Program liste ve dökümü EK 3 de verilmiştir.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada iki boyutlu, tek fazlı, yatışkın olmayan bir rezervuarın matematiksel modeli türetilmiş, elde edilen doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklem sonlu farklar metodu ile cebrik eşitliklere dönüştürülmüştür. Cebrik denklem sistemi satırlarda ardışık düzeltmeler yöntemiyle üçköşegenli matris şekline getirilmiş ve bu matris Thomas yöntemiyle çözülmüştür. Nümerik modelin FORTRAN IV dilinde bilgisayar programı yazılmış ve bu program IBM 4341 sisteminde birer aylık zaman aralıklarıyla bir yıl için çalıştırılmıştır.

Program dökümünden görüldüğü gibi her bir zaman aralığında istenilen toleranstaki basınç dağılımına yaklaşık 80-90 iterasyonda ulaşılmıştır. Bu programda ardışık düzeltmeler faktörünün optimum değeri bulunamadığı için w = 1,2 değeri alınmış ve satırlarda ardışık düzeltmeler yöntemi w nin bu değeriyle uygulanmıştır. Uygun seçilebilecek bir optimum w değeriyle 80-90 iterasyonun daha da aşağı düşebileceği sanılmaktadır.

Kütle denkliği ilk 10 ayda ilk uygulamada sağlanmış son iki ayda, ikinci uygulamalarda sağlanabilmiştir.

Program basınç dağılımı ve kütle denkliğinde istenilen toleranslarda başarıyla çalıştırılmıştır.

Bu model ve program değişik koordinatlara, çok fazlı rezervuar sistemlerine ve gerçek rezervuarlara uygulanması için daha da geliştirilmelidir. Ayrıca optimum düzeltme faktörü, w nin program içinde hesaplanması için değişik yöntemler denenmelidir.

EK 1

THOMAS YÖNTEMİ

Bu yöntem sonlu farklar yöntemi ile elde edilen üç köşegenli matrisin çözümünde kullanılmıştır. Yöntem, aşağıda görülen üç köşegenli matrisin çözümüne uygulanarak açıklanacaktır.

$$\begin{vmatrix} B_1 & C_1 & 0 \\ A_2 & B_2 & C_2 \\ 0 & A_3 & B_3 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{vmatrix}$$

$$w_1 = C_1/B_1 \quad , \quad g_1 = D_1/B_1$$

$$w_2 = \frac{C_2}{B_2 - w_1 A_2} \quad , \quad g_2 = \frac{D_2 - g_1 A_2}{B_2 - w_1 A_2}$$ olarak tanımlanırsa

matris sistemi

$$\begin{vmatrix} 1 & w_1 & 0 \\ 0 & 1 & w_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \end{vmatrix}$$

şeklini alır ve sırasıyla x_3, x_2 ve x_1 bilinmeyenleri hesaplanır.

Yöntem genel olarak n bilinmeyenli üç köşegenli matris sistemi için yazılırsa;

$$x_n = g_n$$

$$x_i = g_i - w_i x_{i+1} \quad , \quad i = n-1, n-2, n-3, \ldots$$

$i = 2, 3, \ldots, n$ olmak üzere

$$w_i = \frac{C_i}{B_i - A_i w_{i-1}}$$

$$g_i = \frac{D_i - A_i g_{i-1}}{B_i - A_i w_{i-1}}$$

olarak bulunur.

EK 2

TRANSMİSSİBİLİTE TERİMLERİNİN HESAPLANMASI

X yönündeki transmissibilitelerin hesaplanması: seçilen rezervuar sistemi blok merkezli rezervuar sistemi olduğundan, transmissibiteler blokların ortalarından diğer bloklara olan geçirgenliği ifade ettiklerindin;

$$Tx_{i\pm 1/2,j} = \frac{\Delta y.h.K_x}{\Delta x} . \frac{1}{\mu B}\Big|_{i\pm 1/2,j} = Cx_{i\pm 1/2,j} \frac{1}{\mu B}\Big|_{i\pm 1/2,j}$$

Y yönündeki transmissibilitelerin hesaplanması:

$$Ty_{i,j\pm 1/2} = \frac{\Delta x.h.K_y}{\Delta y} . \frac{1}{\mu B}\Big|_{i,j\pm 1/2} = Cy_{i,j\pm 1/2} \frac{1}{\mu B}\Big|_{i,j\pm 1/2}$$

Cx ve Cy terimleri iki blok arasındaki geçişi gösterdiklerinden bu iki blok geçirgenliklerinin harmonik ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

$$Cx_{i\pm 1/2,j} = 2\ (Cx^{-1}_{i\pm 1,j} + Cx^{-1}_{i,j})^{-1}$$

$$Cy_{i,j\pm 1/2} = 2\ (Cy^{-1}_{i,j\pm 1} + Cy^{-1}_{i,j})^{-1}$$

$\frac{1}{\mu B}\Big|_{i\pm 1/2,j}$ terimlerindeki vizkotize ve hacimsel oluşum faktörü iki blokun eski ve yeni basınç ortalamalarından hesaplanmıştır.

EK 3

BİLGİSAYAR PROGRAMI LİSTESİ VE DÖKÜMÜ

```
C                             YAVUZ CABBAR
C   ******************************************************************
C   *                                                                *
C   * BU ANA PROGRAMDA SIMULASYON BASLATILIR. GEREKLI ALT PROGRAM-   *
C   * LAR CAGRILIR, DOGRU OLARAK BULUNAN YENI ZAMAN INTERVALINDEKI   *
C   * YENI BASINC DAGILIMI BIR ONCEKI BASINC DAGILIMINA ESITLENIR.   *
C   * ZAMANI, ALINAN ZAMAN DILIMI KADAR ARTTIRIP AYNI ISLEMLER YA-   *
C   * PILIR. SIMULE EDILECEK ZAMAN SONA ERDIGINDE PROGRAM DURDURU-   *
C   * LUR.                                                           *
C   *                                                                *
C   ******************************************************************
C
      REAL*8 PN(9,9)
      COMMON/ARRAY1/PO(9,9),IND(9,9)
      COMMON/BLOCK1/IE,JE
      COMMON/CONS3/SUMT,TOTIME,DT,IPASS,LIMIT
      COMMON/ALL/NDEBUG
      COMMON/WELLS/WELL(20,10),NTS,NW,NDT
C
C   ARA BASAMAKLARDAKI HESAP SONUCLARI YAZOIRILMAK
C   ISTENIRSE  NDEBUG=1, AKSI HALDE NDEBUG=0
C
      NDEBUG=0
C   SIMULASYON ZAMANINI BASLAT
      SUMT=0.0
C   VERILER VE ZAMANA BAGLI OLMAYAN ALT PROGRAMLARI CAGIR
      CALL VERI(PN)
      CALL SABIT(PN)
      NTS=0
    1 SUMT=SUMT+DT
      NTS=NTS+1
      CALL INURET(PN)
C   MADDE DENKLIGI TEST SAYACINI BASLAT
      IPASS=0
    5 CONTINUE
      CALL KATSAY(PN)
      CALL COZUM(PN)
      IPASS=IPASS+1
      CALL MATBAL(IGO,PN)
C   MADDE DENKLIGI YETERLI SAYIDA TEST EDILDIGI HALDE HALA
C   SAGLANAMADI ISE YENI ZAMAN INTERVALINE GEC
      IF(IPASS.EQ.LIMIT) IGO=1
      IF(IGO.EQ.1) GO TO 10
      GO TO 5
   10 CONTINUE
C   BU ZAMAN INTERVALINDEKI SONUCLARI YAZDIR
      CALL CIKTI(PN)
      DO 15 J=1,JE
      DO 15 I=1,IE
      IF(IND(I,J).EQ.0) GO TO 15
C   BU ZAMAN DILIMINDE HESAPLANAN BASINC DAGILIMINI BIR
C   SONRAKI ZAMAN DILIMINDE BASLANGIC BASINC DAGILIMINA ESITLE
      PO(I,J)=PN(I,J)
   15 CONTINUE
C   SIMULASYON ZAMANININ SONA ERIP ERMEDIGINI TEST ET
      IF(SUMT.GE.TOTIME) GO TO 2
      GO TO 1
    2 STOP
      END
```

```
      SUBROUTINE VERI(PN)
C
C ******************************************************************
C *                                                                *
C * BU ALT PROGRAMDA RESERVUARLA ILGILI VERILER OKUNUR VE YAZDI-   *
C * RILIR. REZERVUARIN HERHANGI BIR OZELLIGI HER YERDE AYNI ISE    *
C * BU OZELLIK TEK BIR SABIT OLARAK OKUTULUR VE BIR DO DONGUSU     *
C * ILE HER YERDE ESIT KILINIR, AKSI HALDE VERILER HERBIR BLOK     *
C * ICIN AYRI AYRI OKUTULUR.                                       *
C *                                                                *
C ******************************************************************
C
      REAL *8 PN(9,9)
      COMMON/ARRAY1/PO(9,9),IND(9,9)
      COMMON/BLOCK1/IE,JE
      COMMON/WELLS/WELL(20,10),NTS,NW,NDT
      COMMON/BLOCK3/MAXIT,TOLP,TOLM
      COMMON/CONS1/VISMIN,VISMAX,PMIN,PMAX
      COMMON/CONS2/CR,C,PINIT,BZERO,PZERO
      COMMON/BLOCK4/AKX(9,9),AKY(9,9),H(9,9),DX(9),DY(9)
      COMMON/CONS3/SUMT,TOTIME,DT,IPASS,LIMIT
      COMMON/ARRAY4/POR(9,9),Q(9,9),VB(9,9)
C
C VERILERIN OKUTULUP YAZDIRILMASI
C
      READ(5,100) IE,JE,NW,NDT,LIMIT,MAXIT
      READ(5,100)IDX,IDY,IH,IPOR,IKX,IKY,IPO
      READ(5,105)TOTIME,TOLP,TOLM,TOLINT,DT,CR,C
      READ(5,105)PZERO,BZERO,VISMIN,VISMAX,PMIN,PMAX,PINIT
C
      WRITE(6,201)IE,JE,LIMIT,MAXIT,NW,NDT
      WRITE(6,202) IDX,IDY,IH,IPOR,IKX,IKY,IPO
      WRITE(6,203)TOTIME,TOLP,TOLM,TOLINT,DT
      WRITE(6,204)CR,C,BZERO,VISMIN,VISMAX,PMIN,PMAX,PZERO,PINIT
      WRITE(6,205)
C REZERVUAR DUZENINI OKUT VE YAZDIR
C IND(I,J)=0, OLAN BLOKLAR REZERVUAR DISI
C IND(I,J)=1, KUYU BULUNAN BLOKLAR
C IND(I,J)=-1, REZERVUAR SINIRLARI ICINDEKI BLOKLAR
C
      DO 1 J=1,JE
      READ(5,100)(IND(I,J),I=1,IE)
      WRITE(6,300)(IND(I,J),I=1,IE)
    1 CONTINUE
C X YONUNDEKI BLOK UZUNLJKLARI FARKLI
      IF(IDX.EQ.1) GO TO 2
      READ(5,105)(DX(I),I=1,IE)
      WRITE(6,210)
      WRITE(6,305)(DX(I),I=1,IE)
      GO TO 4
C X YONUNDEKI BLOK UZUNLJKLARI AYNI
    2 READ(5,105)ADX
      WRITE(6,210)
```

```
        DO 3 I=1,IE
        DX(I)=0.0
        DX(I)=ADX
 3      CONTINUE
        WRITE(6,305)(DX(I),I=1,IE)
C  Y YONUNDEKI BLOK UZUNLUKLARI FARKLI
 4      IF(IDY.EQ.1) GO TO 5
        READ(5,105) (DY(J),J=1,JE)
        WRITE(6,215)
        WRITE(6,305)(DY(J),J=1,JE)
        GO TO 7
C  Y YONUNDEKI BLOK UZUNLUKLARI AYNI
 5      READ(5,105) ADY
        WRITE(6,215)
        DO 6 J=1,JE
        DY(J)=0.0
        DY(J)=ADY
 6      CONTINUE
        WRITE(6,305) (DY(J),J=1,JE)
C  BLOK YUKSEKLIKLERI FARKLI
 7      IF(IH.EQ.1) GO TO 10
        WRITE(6,220)
        DO 9 J=1,JE
        READ(5,105) (H(I,J),I=1,IE)
        WRITE(6,305) (H(I,J),I=1,IE)
 9      CONTINUE
        GO TO 13
C  BLOK YUKSEKLIKLERI AYNI
 10     READ(5,105) AH
        WRITE(6,220)
        DO 12 J=1,JE
        DO 11 I=1,IE
        H(I,J)=0.0
        IF(IND(I,J).EQ.0) GO TO 11
        H(I,J)=AH
 11     CONTINUE
        WRITE(6,305) (H(I,J),I=1,IE)
 12     CONTINUE
C  BLOK POROZITELERI FARKLI
 13     IF(IPOR.EQ.1) GO TO 15
        WRITE(6,225)
        DO 14 J=1,JE
        READ(5,105) (POR(I,J),I=1,IE)
        WRITE(6,305) (POR(I,J),I=1,IE)
 14     CONTINUE
        GO TO 18
C  BLOK POROZITELERI AYNI
 15     READ(5,105) APOR
        WRITE(6,225)
        DO 17 J=1,JE
        DO 16 I=1,IE
        POR(I,J)=0.0
        POR(I,J)=APOR
 16     CONTINUE
        WRITE(6,305) (POR(I,J),I=1,IE)
 17     CONTINUE
```

```
C   X YONUNDEKI PERMEABILITELER FARKLI
 18    IF(IKX.EQ.1) GO TO 20
       WRITE(6,230)
       DO 19 J=1,JE
       READ(5,105) (AKX(I,J),I=1,IE)
       WRITE(6,305) (AKX(I,J),I=1,IE)
 19    CONTINUE
       GO TO 23
C   X YONUNDEKI PERMEABILITELER AYNI
 20    READ(5,105) AAKX
       WRITE(6,230)
       DO 22 J=1,JE
       DO 21 I=1,IE
       AKX(I,J)=0.0
       IF(IND(I,J).EQ.0) GO TO 21
       AKX(I,J)=AAKX
 21    CONTINUE
       WRITE(6,305) (AKX(I,J),I=1,IE)
 22    CONTINUE
C   Y YONUNDEKI PERMEABILITELER FARKLI
 23    IF(IKY.EQ.1) GO TO 25
       WRITE(6,235)
       DO 24 J=1,JE
       READ(5,105) (AKY(I,J),I=1,IE)
       WRITE(6,305)(AKY(I,J),I=1,IE)
 24    CONTINUE
       GO TO 28
C   Y YONUNDEKI PERMEABILITELER AYNI
 25    READ(5,105) AAKY
       WRITE(6,235)
       DO 27 J=1,JE
       DO 26 I=1,IE
       AKY(I,J)=0.0
       IF(IND(I,J).EQ.0) GO TO 26
       AKY(I,J)=AAKY
 26    CONTINUE
       WRITE(6,305) (AKY(I,J),I=1,IE)
 27    CONTINUE
C  BASLANGICTAKI BASINC DAGILIMI FARKLI
 28    IF(IPO.EQ.1) GO TO 30
       WRITE(6,240)
       DO 29 J=1,JE
       READ(5,105) (PO(I,J),I=1,IE)
       WRITE(6,305) (PO(I,J),I=1,IE)
 29    CONTINUE
       GO TO 33
C  BASLANGICTAKI BASINC DAGILIMI AYNI
 30    READ(5,105) APO
       WRITE(6,240)
       DO 32 J=1,JE
       DO 31 I=1,IE
       PO(I,J)=0.0
       IF(IND(I,J).EQ.0) GO TO 31
       PO(I,J)=APO
 31    CONTINUE
       WRITE(6,305) (PO(I,J),I=1,IE)
```

```
32    CONTINUE
33    DO 34 J=1,JE
      DO 34 I=1,IE
      PN(I,J)=0.0
      IF(IND(I,J).EQ.0) GO TO 34
C  YENI BASINC DAGILIMINI ESKI BASINC DAGILIMINA ESITLE
      PN(I,J)=PO(I,J)
34    CONTINUE
C
C  FORMATLAR
C
100   FORMAT(7I10,I1)
105   FORMAT(8F10.4)
305   FORMAT(4X,9(1X,F9.3))
300   FORMAT(14X,8I5,/)
201   FORMAT(//////,1H1,4X,'IE=',I2,4X,'JE=',I2,5X,'MADDE DENKLIGI LIMIT
     *=',I2,//4X,'MAXIMUM ITERASYON SAYISI=',I3,4X,'KUYU SAYISI=',I2,//4
     *X,'ZAMAN INTERVALLERI SAYISI=',I3)
202   FORMAT(/,4X,'IDX=',I1,4X,'IDY=',I1,4X,'IH=',I1,3X,'IPOR=',I1,3X,'I
     *KX=',I1,4X,'IKY=',I1,4X,'IPO=',I1,4X,/)
203   FORMAT(/,4X,'TOPLAM SIMULASYON ZAMANI, GUN=',F6.2,//4X,'BASINCTAKI
     *TOLERANS=',F6.2,//4X,'KUTLE DENKLIGINDEKI TOLERANS=',F6.2,//4X,'UR
     *ETIM = 0 OLDUGU ZAMANKI TOLERANS=',F7.2,//4X,'ZAMAN DILIMI, GUN=',
     *F6.2,/)
204   FORMAT(/,8X,'*FIZIKSEL OZELLIKLER*',//4X,'CR=',F9.7,4X,'C=',F9.7,4
     *X,'BZERO=',F5.3,//4X,'VISMIN=',F5.3,4X,'VISMAX=',F5.3,//4X,'PMIN='
     *,F5.2,6X,'PMAX=',F7.2,//4X,'PZERO=',F5.2,5X,'PINIT=',F6.1,/)
205   FORMAT(//////,1H1,20X,'* RESERVUAR DUZENI *',//)
210   FORMAT(//,10X,'* X YONUNDEKI BLOK UZUNLUKLARI, FEET *',/)
215   FORMAT(//,10X,'* Y YONUNDEKI BLOK UZUNLUKLARI, FEET *',/)
220   FORMAT(//,20X,'* BLOK YUKSEKLIKLERI, FEET *',/)
225   FORMAT(//////,1H1,25X,'*, POROZITELER *',/)
230   FORMAT(/,17X,'* X YONUNDEKI PERMEABILITELER, DARCY *',/)
235   FORMAT(/,17X,'* Y YONUNDEKI PERMEABILITELER, DARCY *',/)
240   FORMAT(/,15X,'* BASLANGICTAKI BASINC DAGILIMI, PSIA *',/)
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE SABIT(PN)
C
C ****************************************************************
C *                                                              *
C * BU ALT PROGRAMDA TRANSMISSIBILITELERIN SABIT OLAN, YANI ZA-  *
C * MANIN VE DOLAYSIYLA BASINCIN FONKSIYONU OLMAYAN KATSAYILAR   *
C * VE BASLANGIC RESERVI ILE BLOK HACIMLARI HESAPLANIR.          *
C *                                                              *
C ****************************************************************
C
      REAL *8 PN(9,9)
      DIMENSION CXX(9,9),CYY(9,9)
      COMMON/ARRAY1/PO(9,9),IND(9,9)
      COMMON/BLOCK1/IE,JE
      COMMON/BLOCK4/AKX(9,9),AKY(9,9),H(9,9),DX(9),DY(9)
      COMMON/ARRAY4/POR(9,9),Q(9,9),VB(9,9)
      COMMON/CONS2/CR,C,PINIT,BZERO,PZERO
      COMMON/ARRAY2/CX(9,9),CY(9,9)
      DOUBLE PRECISION BO
C
C BLOK HACIMLARI HESABI
      DO 5 J=1,JE
      DO 5 I=1,IE
      VB(I,J)=0.0
      IF(IND(I,J).EQ.0) GO TO 5
      VB(I,J)=DX(I)*DY(J)*H(I,J)
    5 CONTINUE
C BASLANGIC REZERVI HESABI
      RESERV=0.0
      DO 7 J=1,JE
      DO 7 I=1,IE
    7 RESERV=RESERV+VB(I,J)*POR(I,J)/(BO(PINIT)*5.615)
C TRANSMISSIBILITELERDEKI SABIT KATSAYILARIN HESABI
      DO 10 J=1,JE
      DO 10 I=1,IE
      CXX(I,J)=1.127*AKX(I,J)*H(I,J)*DY(J)/DX(I)
      CYY(I,J)=1.127*AKY(I,J)*H(I,J)*DX(I)/DY(J)
   10 CONTINUE
      IA=IE+1
      DO 15 J=1,JE
      CX(1,J)=0.0
      CX(IA,J)=0.0
C CX VE CY TERIMLERININ HESABINDA HARMONIK ORTALAMALAR ALINMISTIR
      DO 15 I=2,IE
      IF(IND(I-1,J).EQ.0.OR.IND(I,J).EQ.0) GO TO 13
      CX(I,J)=2.0/(1.0/CXX(I-1,J)+1.0/CXX(I,J))
      GO TO 15
   13 CX(I,J)=0.0
   15 CONTINUE
      JA=JE+1
      DO 20 I=1,IE
      CY(I,1)=0.0
      CY(I,JA)=0.0

      DO 20 J=2,JE
      IF(IND(I,J-1).EQ.0.OR.IND(I,J).EQ.0) GO TO 18
      CY(I,J)=2.0/(1.0/CYY(I,J-1)+1.0/CYY(I,J))
      GO TO 20
   18 CY(I,J)=0.0
   20 CONTINUE
      WRITE(6,502) RESERV
  502 FORMAT(//,14X,'BASLANGIC RESERVI=',F10.1,/)
      RETURN
```

```
      SUBROUTINE INURET(PN)
C
C ******************************************************************
C *                                                                *
C * BU ALT PROGRAMDA BULUNULAN ZAMAN INTERVALINDE KUYULARDAKI      *
C * URETIM VE INJEKSIYON OKUTULUR VE YAZDIRILIR.                    *
C *                                                                *
C ******************************************************************
C
      REAL *8 PN(9,9)
      COMMON/ARRAY1/PO(9,9),IND(9,9)
      COMMON/BLOCK1/IE,JE
      COMMON/ARRAY4/POR(9,9),Q(9,9),VB(9,9)
      COMMON/WELLS/WELL(20,10),NTS,NW,NDT
C
C KUYULARDAKI URETIM VE INJEKSIYONUN OKUTULMASI
      DO 10 N=NTS,NTS
      READ(5,150) (WELL(N,N1),N1=1,NW)
10    CONTINUE
15    L=0
      DO 20 J=1,JE
      DO 20 I=1,IE
      Q(I,J)=0.0
      IF(IND(I,J).NE.1) GO TO 20
      L=L+1
      Q(I,J)=WELL(NTS,L)
20    CONTINUE
150   FORMAT(8F10.2)
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE KATSAY(PN)
C
C ******************************************************************
C *                                                                *
C * BU ALT PROGRAMDA TRANSMISSIBILITELER VE BASINC ESITLIGINDEKI   *
C * DEGISKEN KATSAYILAR HESAPLANIR.                                *
C *                                                                *
C ******************************************************************
C
      REAL *8 PN(9,9)
      DIMENSION TX(9,9),TY(9,9),GAMMA(9,9),PORN(9,9)
      COMMON/ARRAY1/PO(9,9),IND(9,9)
      COMMON/BLOCK1/IE,JE
      COMMON/ARRAY2/CX(9,9),CY(9,9)
      COMMON/ARRAY3/B(9,9),D(9,9),E(9,9),F(9,9),HI(9,9),QI(9,9)
      COMMON/ARRAY4/POR(9,9),Q(9,9),VB(9,9)
      COMMON/ARRAY5/PORO(9,9)
      COMMON/CONS2/CR,C,PINIT,BZERO,PZERO
      COMMON/CONS3/SUMT,TOTIME,DT,IPASS,LIMIT
      COMMON/A11/NDEBUG
      COMMON/BLOCK4/AKX(9,9),AKY(9,9),H(9,9),DX(9),DY(9)
      COMMON/WELLS/WELL(20,10),NTS,NW,NDT
      DOUBLE PRECISION B,D,E,F,HI,QI
      DOUBLE PRECISION BO
C
C X YONUNDEKI TRANSMISSIBILITELERIN HESABI
      IA=IE+1
      DO 10 J=1,JE
      TX(1,J)=0.0
      TX(IA,J)=0.0
      DO 10 I=2,IE
      IF(IND(I-1,J).EQ.0.OR.IND(I,J).EQ.0) TX(I,J)=0.0
      TX(I,J)=CX(I,J)/(VIS((PO(I,J)+PO(I-1,J)+PN(I,J)+PN(I-1,J))/4.)*BO
     *(PO(I,J)+PO(I-1,J)+PN(I,J)+PN(I-1,J))/4.))
   10 CONTINUE
C Y YONUNDEKI TRANSMISSIBILITELERIN HESABI
      JA=JE+1
      DO 20 I=1,IE
      TY(I,1)=0.0
      TY(I,JA)=0.0
      DO 20 J=2,JE
      IF(IND(I,J-1).EQ.0.OR.IND(I,J).EQ.0) TY(I,J)=0.0
      TY(I,J)=CY(I,J)/(VIS((PO(I,J)+PO(I,J-1)+PN(I,J)+PN(I,J-1))/4.)*BO
     *(PO(I,J)+PO(I,J-1)+PN(I,J)+PN(I,J-1))/4.))
   20 CONTINUE
C BASINC ESITLIGININ SAG TARAFININ HESABI
      DO 30 J=1,JE
      DO 30 I=1,IE
      PORO(I,J)=0.0
      PORN(I,J)=0.0
      GAMMA(I,J)=0.0
      IF(IND(I,J).EQ.0) GO TO 30
      PORO(I,J)=POR(I,J)*(1.+CR*(PO(I,J)-PINIT))
```

```
            PORN(I,J)=POR(I,J)*(1.+CR*(PN(I,J)-PINIT))
            GAMMA(I,J)=VB(I,J)*(POR(I,J)*CR/BO(PO(I,J))+PORN(I,J)*C/BZERO)/5.6
           *15
     30     CONTINUE
      C  BASINC ESITLIGINDEKI DEGISKEN KATSAYILARIN HESABI
            DO 40 J=1,JE
            DO 40 I=1,IE
            B(I,J)=TY(I,J)
            D(I,J)=TX(I,J)
            E(I,J)=-(TX(I+1,J)+TX(I,J)+TY(I,J)+TY(I,J+1)+GAMMA(I,J)/DT)
            F(I,J)=TX(I+1,J)
            H1(I,J)=TY(I,J+1)
            Q1(I,J)=-Q(I,J)-GAMMA(I,J)*PO(I,J)/DT
     40     CONTINUE
      C  GEREKTIGINDE ARA BASAMAKLARIN YAZDIRILMASI
            IF(NDEBUG.EQ.0) GO TO 150
            WRITE(6,499)
            WRITE(6,500)
            DO 50 J=1,JE
     50     WRITE(6,100) (TX(I,J),I=1,IA)
            WRITE(6,501)
            DO 50 J=1,JE
     60     WRITE(6,100)(TY(I,J),I=1,IE)
            WRITE(6,502)
            DO 70 J=1,JE
     70     WRITE(6,100)(GAMMA(I,J),I=1,IE)
            WRITE(6,503)
            DO 80 J=1,JE
     80     WRITE(6,100)(B(I,J),I=1,IE)
            WRITE(6,504)
            DO 90 J=1,JE
     90     WRITE(6,100)(D(I,J),I=1,IE)
            WRITE(6,505)
            DO 110 J=1,JE
    110     WRITE(6,100)(E(I,J),I=1,IE)
            WRITE(6,506)
            DO 120 J=1,JE
    120     WRITE(6,100)(F(I,J),I=1,IE)
            WRITE(6,507)
            DO 130 J=1,JE
    130     WRITE(6,100)(H1(I,J),I=1,IE)
            WRITE(6,508)
            DO 140 J=1,JE
    140     WRITE(6,100)(Q1(I,J),I=1,IE)
      C
      C  FORMATLAR
    499     FORMAT(/,4X,'COEFF ALT PROGRAMINDA HESPLANAN DEGERLER',/)
    500     FORMAT(/,4X,'X YONUNDEKI PERMEABILITELER:',/)
    501     FORMAT(/,4X,'Y YONUNDEKI PERMEABILIYELER:',/)
    502     FORMAT(/,4X,'GAMMA(I,J) TERIMLERI:',/)
    503     FORMAT(/,4X,'B(I,J) TERIMLERI:',/)
    504     FORMAT(/,4X,'D(I,J) TERIMLERI:',/)
    505     FORMAT(/,4X,'E(I,J) TERIMLERI:',/)
    506     FORMAT(/,4X,'F(I,J) TERIMLERI:',/)
    507     FORMAT(/,4X,'H1(I,J) TERIMLERI:',/)
    508     FORMAT(/,4X,'Q1(I,J) TERIMLERI:',/)

    100     FORMAT(4X,10(2X,F10.4))
    150     CONTINUE
            RETURN
            END
```

```
      SUBROUTINE COZUM(PN)
C
C     *************************************************************
C     *                                                           *
C     * BU ALT PROGRAMDA YENI ZAMAN INTERVALINDEKI RESERVUAR BASINC *
C     * DAGILIMI * LSOR * LINE SUCCESSIVE OVER RELAXATION METODU  *
C     * KULLANILARAK HESAPLANIR. BASINC DAGILIMINDA ELDE EDILEN UC *
C     * KUSEGENLI MATRIS (TRIDIOGONAL MATRIX) THOMAS METODU ILE CO- *
C     * ZULUR.                                                    *
C     * AYRICA BU ALT PROGRAMDA OPTIMUM ITERASYON PARAMETRESI * WO * *
C     * DE HESAPLANIR.                                            *
C     * EGER BIR SATIRDA SADECE TEK BIR BLOK RESERVUAR SINIRLARI I- *
C     * CINDE ISE O BLOK RESERVUAR DISI KABUL EDILEREK HESABA KATIL- *
C     * MAZ.                                                      *
C     *                                                           *
C     *************************************************************
C
      REAL *8 PN(9,9)
      DIMENSION A1(9),B1(9),C1(9),D1(9),W1(9),G1(9),PT(9,9)
      COMMON/ARRAY1/PO(9,9),IND(9,9)
      COMMON/BLOCK1/IE,JE
      COMMON/ARRAY3/B(9,9),D(9,9),E(9,9),F(9,9),H1(9,9),Q1(9,9)
      COMMON/BLOCK3/MAXIT,TOLP,TOLM
      COMMON/CONS4/PRODIN,PRODEX,TOPROD,W,NITER,ERROR
      COMMON/WELLS/WELL(20,10),NTS,NW,NDT
      COMMON/ARRAY4/POR(9,9),Q(9,9),VB(9,9)
      COMMON/BLOCK4/AKX(9,9),AKY(9,9),H(9,9),DX(9),DY(9)
      DOUBLE PRECISION B,D,E,F,H1,Q1
      DOUBLE PRECISION PT,W1,G1,A1,B1,C1,D1
      DOUBLE PRECISION BO
C
C     ITERASYONDA KULLANILACAK BASINC DAGILIMINI YENI
C     BASINC DAGILIMINA ESITLE
      DO 1 J=1,JE
      DO1 I=1,IE
      PT(I,J)=PN(I,J)
    1 CONTINUE
      W=1.2
      WOPT=0.0
      DMAX=0.0
      RHO1=0.0
      NITER=0
    3 DMAX1=DMAX
      RHO=RHO1
    4 NITER=NITER+1
      DMAX=0.0
      DO 20 J=1,JE
      JF=J+1
      JB=J-1
      IF(J.EQ.1) JB=1
      IF(J.EQ.JE) JF=J
      N=0
      DO 10 I=1,IE
```

```
      IF(IND(I,J).EQ.0) GO TO 10
      N=N+1
C  UC KOSEGENLI MATRISIN KATSAYILARINI HESAPLA
      A1(N)=W*D(I,J)/E(I,J)
      B1(N)=1.0
      C1(N)=W*F(I,J)/E(I,J)
      D1(N)=W*(Q1(I,J)-B(I,J)*PN(I,JB)-H1(I,J)*PT(I,JF))/E(I,J)+(1.-W)*P
     *T(I,J)
      IF(I.EQ.IE.OR.IND(I+1,J).EQ.0) GO TO 5
      GO TO 10
C  MATRISI YENI BASINC DAGILIMI ICIN COZ
C  COZUMDE THOMAS METODU KULLANILMISTIR
    5 IF(N.EQ.1) GO TO 10
      W1(1)=C1(1)/B1(1)
      G1(1)=D1(1)/B1(1)
      DO 7 II=2,N
      W1(II)=C1(II)/(B1(II)-A1(II)*W1(II-1))
      G1(II)=(D1(II)-A1(II)*G1(II-1))/(B1(II)-A1(II)*W1(II-1))
    7 CONTINUE
      PN(I,J)=G1(N)
      IM1=I-1
      DO 8 II=1,IM1
      N=N-1
      IK=IM1-II+1
      PN(IK,J)=G1(N)-W1(N)*PN(IK+1,J)
C  BIR SATIRDA SADECE BIR BLOK VARSA ONU REZERVUAR DISI VARSAY
      IF(N.EQ.1) GO TO 9
    8 CONTINUE
    9 N=0
   10 CONTINUE
   20 CONTINUE
C  YAKLASIK COZUMDEKI MAKSIMUM HATAYI HESAPLA
      DO 30 J=1,JE
      DO 30 I=1,IE
      IF(IND(I,J).EQ.0) GO TO 30
      DN=ABS(PT(I,J)-PN(I,J))
      IF(DN.GT.DMAX) DMAX=DN
      PT(I,J)=PN(I,J)
   30 CONTINUE
C  YAKLASIMIN YETERLI OLUP OLMADIGININ TESTI
      IF(DMAX.LE.TOLP) GO TO 45
C  YETERLI SAYIDA ITERASYON YAPILIP YAPILMADIGININ TESTI
      IF(NITER.GE.MAXIT) GO TO 45
      IF(W.EQ.WOPT) GO TO 4
      GO TO 4
   35 IF(NITER-1)40,3,40
C  OPTIMUM ITERASYON PARAMETRESI *WOPT* NIN HESABI
   40 RHO1=DMAX/DMAX1
      DIFRHO=ABS(RHO1-RHO)
      IF(DIFRHO.GT.0.0005) GO TO 3
      RHOG=(RHO1+W-1.)**2/(W**2*RHO1)
      IF(NITER.GE.MAXIT) GO TO 45
      IF(RHOG.GE.1.0) GO TO 3
      WOPT=2.0/(1.+SQRT(1.-RHOG))
      IF(NITER.GE.MAXIT) GO TO 45
      W=WOPT
      GO TO 4
   45 CONTINUE
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE MATBAL(IGO,PN)
C
C  ****************************************************************
C  *                                                              *
C  * BU ALT PROGRAMDA IC VE DIS URETIMLER HESAPLANARAK MADDE      *
C  * DENKLIGININ SAGLANIP SAGLANMADIGI KONTROL EDILIR.            *
C  *                                                              *
C  ****************************************************************
C
      REAL *8 PN(9,9)
      DIMENSION PORN(9,9)
      COMMON/ARRAY1/PO(9,9),IND(9,9)
      COMMON/BLOCK1/IE,JE
      COMMON/ARRAY4/POR(9,9),Q(9,9),VB(9,9)
      COMMON/ARRAY5/PORO(9,9)
      COMMON/CONS2/CR,C,PINIT,BZERO,PZERO
      COMMON/CONS3/SUMT,TOTIME,DT,IPASS,LIMIT
      COMMON/CONS4/PRODIN,PRODEX,TOPROD,W,NITER,ERROR
      COMMON/BLOCK3/MAXIT,TOLP,TOLM
      DOUBLE PRECISION BO
C
C  DIS  URETIM
      PRODEX=0.0
      DO 10 J=1,JE
      DO 10 I=1,IE
      IF(IND(I,J).EQ.1) PRODEX=PRODEX+Q(I,J)
   10 CONTINUE
C  TOPLAM DIS URETIM
      PROD1=PRODEX
      TOPROD=PROD1*SUMT
      PRODEX=PRODEX*DT
C  IC URETIM
      FLN=0.0
      FLN1=0.0
      DO 15 J=1,JE
      DO 15 I=1,IE
      IF(IND(I,J).EQ.0) GO TO 15
      FLN=FLN+VB(I,J)*PORO(I,J)/(BO(PO(I,J))*5.615)
      PORN(I,J)=POR(I,J)*(1.+CR*(PN(I,J)-PINIT))
      FLN1=FLN1+VB(I,J)*PORN(I,J)/(BO(PN(I,J))*5.615)
   15 CONTINUE
      PRODIN=FLN1-FLN
      IF(PRODEX.EQ.0.0) GO TO 20
C  MADDE DENKLIGININ SAGLANIP SAGLANMADIGININ TESTI
C  SAGLANIYORSA IGO=1
C  SAGLANMIYORSA IGO=0
      DMAT=ABS((PRODEX-PRODIN)/PRODEX)
      IF(DMAT.LE.TOLM) GO TO 30
      IGO=0
      RETURN
   20 IF(PRODIN.LE.100.) GO TO 30
      IGO=0
      RETURN
   30 IGO=1
C  MADDE DENKLIGINDE YAPILAN % HATA
      ERROR=100.*DMAT
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE CIKTI(PN)
C
C ****************************************************************
C *                                                              *
C * BU ALT PROGRAMDA HESAPLANAN YENI RESERVUAR BASINC DAGILIMI,  *
C * URETIM VE MODEL HAKKINDA GEREKLI BILGILER YAZDIRILIR.        *
C *                                                              *
C ****************************************************************
C
      REAL *8 PN(9,9)
      COMMON/ARRAY1/PO(9,9),IND(9,9)
      COMMON/BLOCK1/IE,JE
      COMMON/CONS3/SUMT,TOTIME,DT,IPASS,LIMIT
      COMMON/CONS4/PRODIN,PRODEX,TOPROD,W,NITER,ERROR
      COMMON/WELLS/WELL(20,10),NTS,NW,NDT
C
      WRITE(6,100) SUMT
      WRITE(6,102)
      DO 5 N=NTS,NTS
      WRITE(6,103) (WELL(N,N1),N1=1,NW)
    5 CONTINUE
      WRITE(6,105) IPASS,NITER,W
      WRITE(6,110) PRODIN,PRODEX,TOPROD,ERROR
      WRITE(6,112)
      DO 10 J=1,JE
   10 WRITE(6,115) (PN(I,J),I=1,IE)
C
C FORMATLAR
  100 FORMAT(//////,1H1,2X,F10.2,5X,'GUN SONRA CIKTI VERILERI',//)
  102 FORMAT(9X,'BU ZAMAN ARALIGINDA URETIM/INJEKSIYON',/)
  103 FORMAT(4X,9(2X,F8.1))
  105 FORMAT(/,9X,'COZUM ALGORITMASININ PERFORMANSI',//9X,'YAPILAN KUTL
     * DENKLIGININ SAYISI=',I2,//9X,'BASINC DAGILIMININ HESAPLANMASINDA
     *ITERASYON SAYISI=',I3,//9X,'OPTIMUMM ITERASYON PARAMETRESININ DEG
     *RI=',F6.4,/)
  110 FORMAT(/,9X,'NET IC URETIM, VARIL=',F10.1,//9X,'NET DIS URETIM, V
     *RIL=',F10.1,//9X,'SIMDIYE KADARKI TOLAM DIS URETIM, VARIL=',F10.1
     *//9X,'% HATA=',F6.3,//)
  112 FORMAT(/,15X,'***  BASINC DAGILIMI, PSIA  ***',//)
  115 FORMAT(/,4X,9(1X,F8.1))
      RETURN
      END
```

```
      FUNCTION VIS(P)
C
C  ******************************************************************
C  *                                                                *
C  * BU ALT PROGRAMDA AKISKANIN (HAM PETROL) VISKOZITESI BASIN-     *
C  * CIN BIR FONKSIYONU OLARAK HESAPLANIR.                          *
C  *                                                                *
C  ******************************************************************
C
      COMMON/CONS1/VISMIN,VISMAX,PMIN,PMAX
C
      AC=(VISMIN*PMAX-VISMAX*PMIN)/(PMAX-PMIN)
      BC=(VISMAX-VISMIN)/(PMAX-PMIN)
      VIS=AC+BC*P
      RETURN
      END
```

```
      DOUBLE PRECISION FUNCTION BO(P)
C
C ********************************************************************
C *                                                                  *
C * BU ALT PROGRAMDA HACIMSAL OLUSUM FAKTORU ASAGIDAKI ESITLIK-      *
C * TEN BASINCIN FONKSIYONU OLARAK HESAPLANIR.                       *
C *                                                                  *
C ********************************************************************
C
      COMMON/CONS2/CR,C,PINIT,BZERO,PZERO
C
      BO=BZERO*EXP(-C*(P-PZERO))
      RETURN
      END
```

```
IE= 6     JE= 6     MADDE DENKLIGI LIMIT= 3

MAXIMUM ITERASYON SAYISI=100     KUYU SAYISI= 4

ZAMAN INTERVALLERI SAYISI= 12

IDX=0     IDY=0     IH=0     IPOR=0     IKX=0     IKY=0     IPO=1

TOPLAM SIMULASYON ZAMANI, GUN=368.40

BASINCTAKITOLERANS=  0.10

KUTLE DENKLIGINDEKI TOLERANS=  0.02

URETIM = 0 OLDUGU ZAMANKI TOLERANS= 100.00

ZAMAN DILIMI, GUN= 30.40

    *FIZIKSEL OZELLIKLER*

CR=0.0000000     C=0.0000031     BZERO=1.000

VISMIN=2.000     VISMAX=3.000

PMIN=14.70       PMAX=3000.00

PZERO=14.70      PINIT=3800.0
```

* RESERVJAR DUZENI *

0	0	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	1	-1
-1	-1	1	-1	-1	-1
0	-1	-1	-1	-1	0
-1	1	-1	1	-1	0
-1	-1	-1	-1	-1	0

* X YONUNDEKI BLOK UZUNLUKLARI, FEET *

1000.000	600.000	500.000	600.000	800.000	1000.000

* Y YONUNDEKI BLOK UZUNLUKLARI, FEET *

400.000	400.000	400.000	600.000	600.000	600.000

* BLOK YUKSEKLIKLERI, FEET *

0.000	0.000	40.000	50.000	40.000	35.000
30.000	65.000	80.000	100.000	85.000	45.000
45.000	100.000	145.000	150.000	145.000	45.000
0.000	60.000	100.000	145.000	100.000	0.000
25.000	40.000	60.000	100.000	40.000	0.000
20.000	25.000	30.000	50.000	30.000	0.000

* POROZITELER *

0.220	0.220	0.220	0.230	0.230	0.230
0.220	0.220	0.220	0.230	0.230	0.230
0.220	0.220	0.220	0.230	0.230	0.230
0.270	0.270	0.270	0.250	0.250	0.250
0.270	0.270	0.270	0.250	0.250	0.250
0.270	0.270	0.270	0.250	0.250	0.250

* X YONUNDEKI PERMEABILITELER, DARCY *

0.050	0.050	0.050	0.080	0.080	0.080
0.050	0.050	0.050	0.080	0.080	0.080
0.050	0.050	0.050	0.080	0.080	0.080
0.075	0.075	0.075	0.100	0.100	0.100
0.075	0.075	0.075	0.100	0.100	0.100
0.075	0.075	0.075	0.100	0.100	0.100

* Y YONUNDEKI PERMEABILITELER, DARCY *

0.050	0.050	0.050	0.095	0.095	0.095
0.050	0.050	0.050	0.095	0.095	0.095
0.050	0.050	0.050	0.095	0.095	0.095
0.075	0.075	0.075	0.125	0.125	0.125
0.075	0.075	0.075	0.125	0.125	0.125
0.075	0.075	0.075	0.125	0.125	0.125

* BASLANGICTAKI BASINC DAGILIMI, PSIA *

0.000	0.000	3800.000	3800.000	3800.000	3800.000
3800.000	3800.000	3800.000	3800.000	3800.000	3800.000
3800.000	3800.000	3800.000	3800.000	3800.000	3800.000
0.000	3800.000	3800.000	3800.000	3800.000	0.000
3800.000	3800.000	3800.000	3800.000	3800.000	0.000
3800.000	3800.000	3800.000	3800.000	3800.000	0.000

BASLANGIC RESERVI=28233808.0

30.40 GJN SONRA CIKTI VERILERI

BU ZAMAN ARALIGINDA JRETIM/INJEKSIYON

-300.0 -450.0 -100.0 -300.0

COZUM ALGORITMASININ PERFORMANSI

YAPILAN KUTLE DENKLIGININ SAYISI= 1

BASINC DAGILIMININ HESAPLANMASINDA ITERASYON SAYISI= 80

OPTIMUMM ITERASYON PARAMETRESININ DEGERI=1.2000

NET IC URETIM, VARIL= -35280.0

NET DIS URETIM, VARIL= -34960.0

SIMDIYE KADARKI TOLAM DIS URETIM, VARIL= -34960.0

% HATA= 0.915

*** BASINC DAGILIMI, PSIA ***

0.0	0.0	3390.5	3393.6	3385.7	3425.0
3451.3	3404.4	3377.4	3389.7	3373.0	3423.7
3450.4	3396.7	3340.0	3387.6	3393.4	3424.5
0.0	3398.2	3385.3	3390.9	3401.0	0.0
3444.3	3387.8	3390.0	3374.0	3401.6	0.0
3450.5	3416.2	3405.1	3394.6	3407.5	0.0

60.80 GUN SONRA CIKTI VERILERI

BU ZAMAN ARALIGINDA URETIM/INJEKSIYON

-300.0 -450.0 -100.0 -300.0

COZUM ALGORITMASININ PERFORMANSI

YAPILAN KUTLE DENKLIGININ SAYISI= 1

BASINC DAGILIMININ HESAPLANMASINDA ITERASYON SAYISI= 83

OPTIMUMM ITERASYON PARAMETRESININ DEGERI=1.2000

NET IC URETIM, VARIL= -35200.0

NET DIS URETIM, VARIL= -34960.0

SIMDIYE KADARKI TOLAM DIS URETIM, VARIL= -69919.9

% HATA= 0.687

*** BASINC DAGILIMI, PSIA ***

0.0	0.0	2986.1	2989.2	2982.0	3022.5
3053.5	3001.6	2973.5	2985.4	2969.7	3021.2
3052.5	2993.9	2937.4	2983.3	2989.4	3021.9
0.0	2994.9	2981.4	2985.7	2996.6	0.0
3046.6	2986.2	2986.4	2970.5	2997.4	0.0
3053.1	3014.9	3001.9	2990.7	3003.3	0.0

91.20 GJN SONRA CIKTI VERILERI

BU ZAMAN ARALIGINDA URETIM/INJEKSIYON

-300.0 -450.0 -100.0 -300.0

COZUM ALGORITMASININ PERFORMANSI

YAPILAN KUTLE DENKLIGININ SAYISI= 1

BASINC DAGILIMININ HESAPLANMASINDA ITERASYON SAYISI= 85

OPTIMUMM ITERASYON PARAMETRESININ DEGERI=1.2000

NET IC URETIM, VARIL= -35168.0

NET DIS URETIM, VARIL= -34960.0

SIMDIYE KADARKI TOLAM DIS URETIM, VARIL= -104879.9

% HATA= 0.595

*** BASINC DAGILIMI, PSIA ***

0.0	0.0	2583.3	2586.2	2579.4	2618.3
2649.0	2598.5	2571.3	2582.6	2567.6	2617.1
2648.1	2591.1	2536.7	2580.6	2586.4	2617.8
0.0	2591.9	2578.8	2583.8	2593.3	0.0
2642.5	2583.8	2583.7	2568.4	2594.0	0.0
2648.8	2611.4	2598.6	2587.7	2599.7	0.0

121.60 GUN SONRA CIKTI VERILERI

BU ZAMAN ARALIGINDA URETIM/INJEKSIYON

-300.0 -400.0 -100.0 -300.0

COZUM ALGORITMASININ PERFORMANSI

YAPILAN KUTLE DENKLIGININ SAYISI= 1

BASINC DAGILIMININ HESAPLANMASINDA ITERASYON SAYISI= 88

OPTIMUMM ITERASYON PARAMETRESININ DEGERI=1.2000

NET IC URETIM, VARIL= -33600.0

NET DIS URETIM, VARIL= -33440.0

SIMDIYE KADARKI TOLAM DIS URETIM, VARIL= -133759.9

% HATA= 0.478

*** BASINC DAGILIMI, PSIA ***

0.0	0.0	2200.2	2201.5	2193.4	2229.2
2261.4	2215.0	2190.2	2198.3	2182.1	2228.0
2260.6	2208.3	2160.6	2196.6	2200.2	2228.8
0.0	2207.6	2195.7	2198.8	2206.8	0.0
2252.2	2197.9	2198.2	2183.2	2207.2	0.0
2258.0	2223.4	2211.5	2201.2	2212.3	0.0

152.00 GUN SONRA CIKTI VERILERI

BU ZAMAN ARALIGINDA URETIM/INJEKSIYON

-250.0 -400.0 -100.0 -300.0

COZUM ALGORITMASININ PERFORMANSI

YAPILAN KUTLE DENKLIGININ SAYISI= 1

BASINC DAGILIMININ HESAPLANMASINDA ITERASYON SAYISI= 90

OPTIMUMM ITERASYON PARAMETRESININ DEGERI=1.2000

NET IC URETIM, VARIL= -31984.0

NET DIS URETIM, VARIL= -31920.0

SIMDIYE KADARKI TOLAM DIS URETIM, VARIL= -159599.9

% HATA= 0.201

*** BASINC DAGILIMI, PSIA ***

0.0	0.0	1832.9	1835.6	1831.6	1863.5
1887.5	1844.9	1822.8	1832.3	1822.2	1862.4
1886.7	1838.4	1794.1	1829.9	1836.0	1862.8
0.0	1837.6	1827.2	1831.1	1840.4	0.0
1877.5	1827.6	1829.0	1815.4	1839.3	0.0
1882.9	1851.4	1841.1	1832.1	1843.4	0.0

182.40 GJN SONRA CIKTI VERILERI

BU ZAMAN ARALIGINDA URETIM/INJEKSIYON

-250.0 -400.0 250.0 -200.0

COZUM ALGORITMASININ PERFORMANSI

YAPILAN KUTLE DENKLIGININ SAYISI= 1

BASINC DAGILIMININ HESAPLANMASINDA ITERASYON SAYISI= 84

OPTIMUMM ITERASYON PARAMETRESININ DEGERI=1.2000

NET IC URETIM, VARIL= -18240.0

NET DIS URETIM, VARIL= -18240.0

SIMDIYE KADARKI TOLAM DIS URETIM, VARIL= -109439.9

% HATA= 0.000

*** BASINC DAGILIMI, PSIA ***

0.0	0.0	1607.4	1608.5	1599.8	1621.4
1655.3	1627.3	1601.8	1607.8	1592.5	1620.9
1655.4	1628.6	1579.8	1609.4	1608.1	1621.8
0.0	1651.9	1622.4	1617.4	1616.6	0.0
1733.0	1724.8	1649.1	1616.8	1622.5	0.0
1729.0	1702.7	1658.3	1631.6	1629.4	0.0

212.80 GUN SONRA CIKTI VERILERI

BU ZAMAN ARALIGINDA URETIM/INJEKSIYON

-250.0 -250.0 250.0 -200.0

COZUM ALGORITMASININ PERFORMANSI

YAPILAN KUTLE DENKLIGININ SAYISI= 1

BASINC DAGILIMININ HESAPLANMASINDA ITERASYON SAYISI= 81

OPTIMUMM ITERASYON PARAMETRESININ DEGERI=1.2000

NET IC URETIM, VARIL= -13616.0

NET DIS URETIM, VARIL= -13680.0

SIMDIYE KADARKI TOLAM DIS URETIM, VARIL= -95759.9

% HATA= 0.468

*** BASINC DAGILIMI, PSIA ***

0.0	0.0	1455.2	1451.7	1437.9	1453.1
1495.9	1476.1	1453.9	1451.9	1431.3	1452.9
1496.2	1479.0	1442.4	1454.5	1447.0	1454.0
0.0	1499.6	1471.0	1460.8	1455.9	0.0
1578.3	1570.0	1493.2	1459.0	1461.8	0.0
1573.9	1546.7	1500.7	1472.7	1468.3	0.0

243.20 GUN SONRA CIKTI VERILERI

BU ZAMAN ARALIGINDA URETIM/INJEKSIYON

-250.0 -250.0 250.0 -200.0

COZUM ALGORITMASININ PERFORMANSI

YAPILAN KUTLE DENKLIGININ SAYISI= 1

BASINC DAGILIMININ HESAPLANMASINDA ITERASYON SAYISI= 82

OPTIMUMM ITERASYON PARAMETRESININ DEGERI=1.2000

NET IC URETIM, VARIL= -13616.0

NET DIS URETIM, VARIL= -13680.0

SIMDIYE KADARKI TOLAM DIS URETIM, VARIL= -109439.9

% HATA= 0.468

*** BASINC DAGILIMI, PSIA ***

0.0	0.0	1299.0	1295.3	1281.3	1295.4
1339.1	1319.9	1298.0	1295.6	1274.9	1295.2
1339.4	1322.7	1286.7	1298.1	1290.4	1296.3
0.0	1342.9	1314.6	1304.3	1299.1	0.0
1420.3	1411.9	1336.3	1302.6	1304.9	0.0
1415.9	1389.0	1343.5	1315.9	1311.3	0.0

273.60 GUN SONRA CIKTI VERILERI

BU ZAMAN ARALIGINDA URETIM/INJEKSIYON

-200.0 -250.0 250.0 -200.0

COZUM ALGORITMASININ PERFORMANSI

YAPILAN KUTLE DENKLIGININ SAYISI= 1

BASINC DAGILIMININ HESAPLANMASINDA ITERASYON SAYISI= 81

OPTIMUMM ITERASYON PARAMETRESININ DEGERI=1.2000

NET IC URETIM, VARIL= -12064.0

NET DIS URETIM, VARIL= -12160.0

SIMDIYE KADARKI TOLAM DIS URETIM, VARIL= -109439.9

% HATA= 0.789

*** BASINC DAGILIMI, PSIA ***

0.0	0.0	1160.3	1158.0	1147.7	1159.6
1196.0	1178.7	1158.7	1158.0	1142.7	1159.4
1196.2	1181.5	1147.3	1159.8	1154.8	1160.2
0.0	1201.2	1174.3	1165.1	1161.6	0.0
1275.1	1268.2	1195.1	1162.8	1166.1	0.0
1270.7	1245.4	1201.8	1175.4	1171.6	0.0

304.00 GUN SONRA CIKTI VERILERI

BU ZAMAN ARALIGINDA URETIM/INJEKSIYON

-200.0 -250.0 250.0 -200.0

COZUM ALGORITMASININ PERFORMANSI

YAPILAN KUTLE DENKLIGININ SAYISI= 1

BASINC DAGILIMININ HESAPLANMASINDA ITERASYON SAYISI= 82

OPTIMUMM ITERASYON PARAMETRESININ DEGERI=1.2000

NET IC URETIM, VARIL= -12112.0

NET DIS URETIM, VARIL= -12160.0

SIMDIYE KADARKI TOLAM DIS URETIM, VARIL= -121599.9

% HATA= 0.395

*** BASINC DAGILIMI, PSIA ***

0.0	0.0	1021.5	1019.4	1009.5	1021.3
1055.9	1039.3	1019.9	1019.4	1004.6	1021.1
1056.2	1042.0	1008.7	1021.1	1016.3	1021.9
0.0	1061.4	1035.2	1026.3	1023.0	0.0
1133.4	1127.0	1055.5	1023.9	1027.2	0.0
1129.1	1104.6	1062.0	1036.2	1032.6	0.0

334.40 GUN SONRA CIKTI VERILERI

BU ZAMAN ARALIGINDA URETIM/INJEKSIYON

-200.0 -250.0 250.0 0.0

COZUM ALGORITMASININ PERFORMANSI

YAPILAN KUTLE DENKLIGININ SAYISI= 2

BASINC DAGILIMININ HESAPLANMASINDA ITERASYON SAYISI= 5

OPTIMUMM ITERASYON PARAMETRESININ DEGERI=1.2000

NET IC URETIM, VARIL= -5968.0

NET DIS URETIM, VARIL= -6080.0

SIMDIYE KADARKI TOLAM DIS URETIM, VARIL= -66879.9

% HATA= 1.842

*** BASINC DAGILIMI, PSIA ***

0.0	0.0	948.2	947.2	936.5	944.3
974.3	963.6	947.3	948.5	932.7	944.4
974.7	967.4	938.0	952.3	945.6	945.5
0.0	989.1	967.1	961.9	954.8	0.0
1055.8	1055.7	993.3	973.2	964.1	0.0
1051.5	1034.0	998.9	979.3	970.4	0.0

364.80 GJN SONRA CIKTI VERILERI

BU ZAMAN ARALIGINDA URETIM/INJEKSIYON

-200.0 -250.0 250.0 0.0

COZUM ALGORITMASININ PERFORMANSI

YAPILAN KUTLE DENKLIGININ SAYISI= 2

BASINC DAGILIMININ HESAPLANMASINDA ITERASYON SAYISI= 5

OPTIMUMM ITERASYON PARAMETRESININ DEGERI=1.2000

NET IC URETIM, VARIL= -6000.0

NET DIS URETIM, VARIL= -6080.0

SIMDIYE KADARKI TOLAM DIS URETIM, VARIL= -72959.9

% HATA= 1.316

*** BASINC DAGILIMI, PSIA ***

0.0	0.0	879.1	878.3	867.6	874.8
903.5	894.0	878.2	879.5	863.8	874.9
903.9	897.8	869.1	883.5	876.8	876.0
0.0	919.7	898.2	893.2	886.0	0.0
985.2	985.8	924.4	904.7	895.5	0.0
981.0	964.3	930.1	910.8	901.9	0.0

REFERANSLAR

1. BIRD,R.B., STEWARD,W.E. and LIGHFOOT,E.N.
Transport Phenomena. J. Wiley and Sons, New York (1960).

2. SCHLIGHTING, N.
Baundary Layer Theory, 6th edn., Mc Graw-Hill, New York (1968).

3. MONIN, A.S. and YAGLOM, A.M.
Statistical Fluid Mechanis: Mechanics of Turbulance, MIT Press, Cambridge, Mass (1981).

4. BENNETT, C. O. and MYERS, J.E.
Momentum, Heat, and Mass Transfer, Mc Graw Hill, New York (1962)

5. DARCY, H.
Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon, Dalmount, Paris (yeni baskı Hubbert, 1969) (1856)

6. MUSKAT, M.
Flow of Homogeneous Fluids Through Porous Media, Mc Graw-Hill, New York (1937)

7. PALUBARİNOVA - KOCHİNA, P.Ya.
Theory of Ground Water Movement, çeviren J.M. Roger de Wiest, Princetion University Press, New Jersey (1962).

8. SCHEIDEGGER, A.E.
Physics of Flow Through Porous Media, 3rd edn., University of Toronto Press, Toronto (1974).

9. COLLINS, R.E.

Akışkanların Gözenekli Ortamdaki Akışı, Çeviren Tuncay Saydam, Çağlayan Basımevi, İstanbul (1973)

10. AMYX, J.W., BASS, D.M.JR., and WHITING, R.L.

Petroleum Reservoir Engineering: Physical Properties, Mc Graw-Hill (1960).

11. BEAR, J.

Dynamics of Fluids in Porous Media, American Elsevier, New York (1972).

12. ERCB.

The Theory and Practice of the Testing of Gas Wells, 3rd edn., Energy Reseurces Conservation Board (1975).

13. AZİZ, K. and SETTARİ, A.

Petroleum Reservoir Simülation.Applied Science Publishers, London (1979)

14. CRICHLOW, H.B.

Modern Reservoir Engineering. Prentice-Hall, Inc., New Jersey (1977).

15. PEACEMAN, D.W.

Fundamentals of Nümerical Reservoir Simülation. American Elsevier, New York (1977).

16. EL-KHATİP, N.A.T.

A General Mathematical Model For Oil Recevery Processes, Özel Haberleşme, Petroleum Engineering Department University of Riyad, Sauidi Arabia (1984).

17. GOCHNOUR, J.R.

A Two Dimensional, Three Phase Reservoir Simulation, Ph.D.Thesis, Pitsburg University, USA (1978).

18. DAHIQUIST, G. and BJORCK, A.

Nümerical Methods, Translated by N. Anderson. Prentice-Hall, Inc., New Jersey (1974)

19. SHAMPINE, L.F. and ALLEN, JR.R.L.

Numerical Computing: an introduction W.B. Sounders Company, Philadelphia (1973).

20. GOULT, R.J. and at all.

Computational Methods in Linear Algebra. John Wiley and Sons, New York (1974).

21. CARRE, B.D.

The determination of the optimum accelerating factor for successive overrelaxation, Compt.J., 4, pp.73-8 (1961).

22. REID, J.K.

A method for finding optimum successive overrelaxation factor, Comt.J., 9, pp.200-4 (1966).

23. YOUNG, D.M.

Iterative Solution of Large Linear Systems, Academic Press, New York (1971).