

オマーン国

ワジ・ジジ農業開発計画実施設計調査

デザイン・レポート

昭和 61 年 6 月

国際協力事業団

JICA LIBRARY



1029258[9]

310
80.7
AFT

オマーン国

ワジ・ジジ農業開発計画実施設計調査

デザイン・レポート

昭和 61 年 6 月

国際協力事業団

国際協力事業団	
受入 月日 '86. 8. 4-	310
	80.T
登録No. 15044	AFT

序 文

オマーン国における農業用水資源は、その気象条件から殆ど地下水に依存しており、その代表的なものとしてファラージが開発されている。一方、近年の急激な生活水準の向上による水需要の増大や、水資源開発が不十分なため農業生産の停滞や農業開発の立ち遅れをきたしている。

かかる事情を背景にオマーン国政府は、第2次5ヶ年計画策定以来、農業開発を最優先施策とし、昭和55年2月に日本国政府に対し技術協力を要請した。

これに応え、日本国政府は国際協力事業団を通じ同国北部バチナ地方ソハール地区に位置するワジ・ジジ流域を対象とする開発調査を実施し、昭和58年2月にフィージビリティー報告書をオマーン国政府に提出した。

その後、オマーン国政府は、本件の実施にかかる実施設計調査を日本国政府に対し強く要望し、日本国政府は検討の結果、本件の実施を国際協力事業団を通じ実施することとし、昭和60年3月から昭和61年3月まで3次に亘り現地調査を実施した。

本報告書は、かかる現地調査及び国内解析の結果とオマーン国政府との協議を踏え取りまとめたものである。

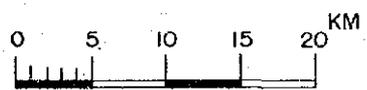
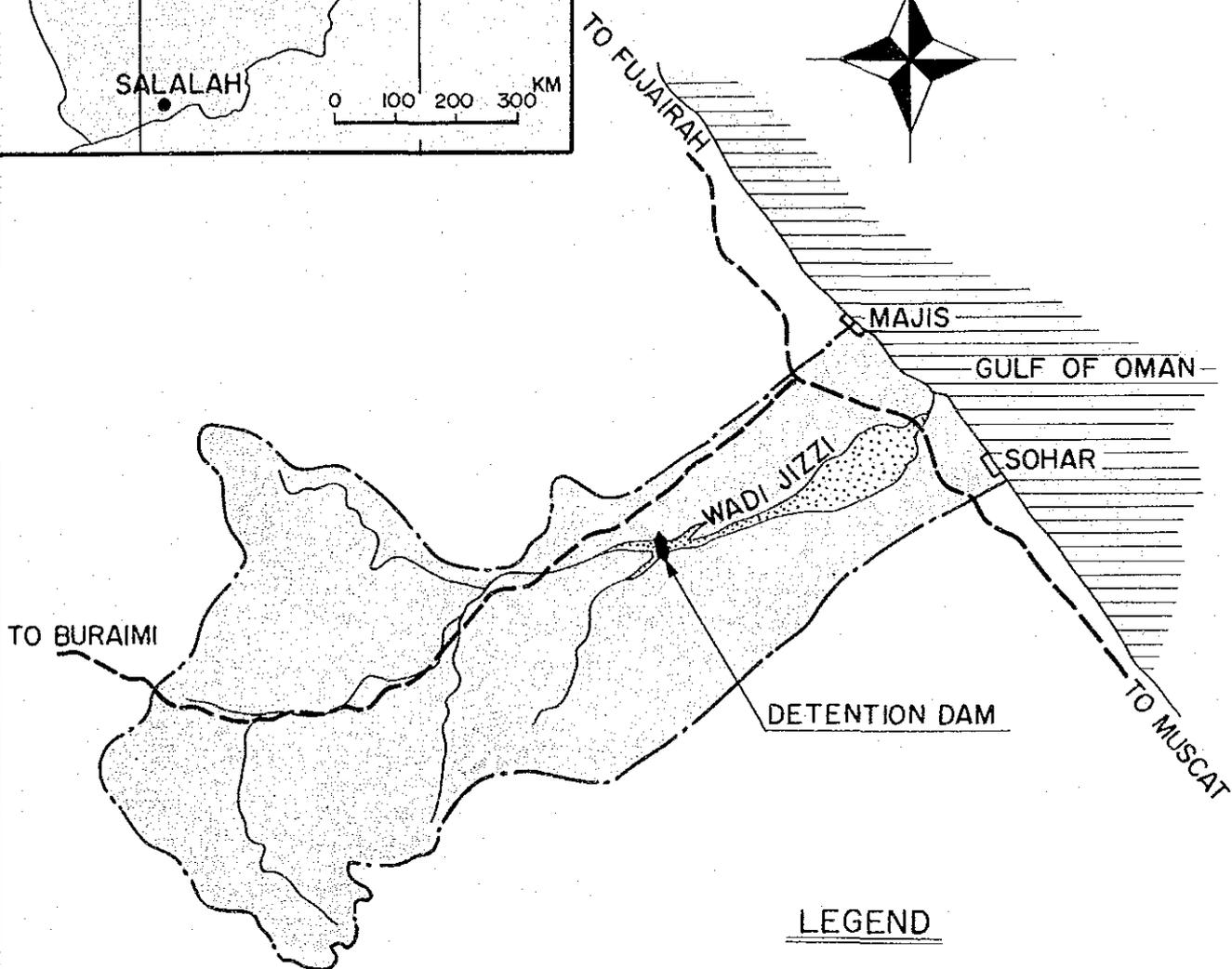
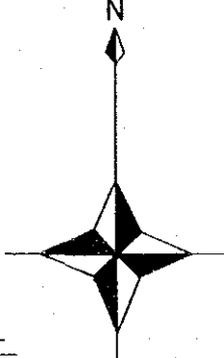
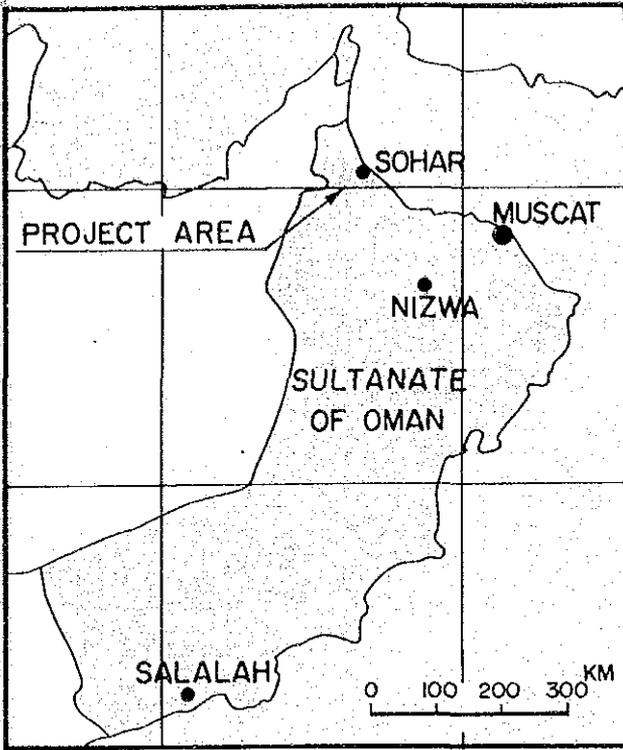
この報告書が、オマーン国のワジ・ジジ農業開発計画の実現に寄与するとともに、我が国とオマーン国との友好関係の増進に貢献することを切に願うものである。

最後に、本調査の実施に際し積極的な御支援と御協力を賜ったオマーン国政府、在オマーン日本国大使館、外務省、農林水産省及び日本輸出入銀行の関係各位に対し、深甚なる謝意を表する次第である。

昭和61年6月

国際協力事業団

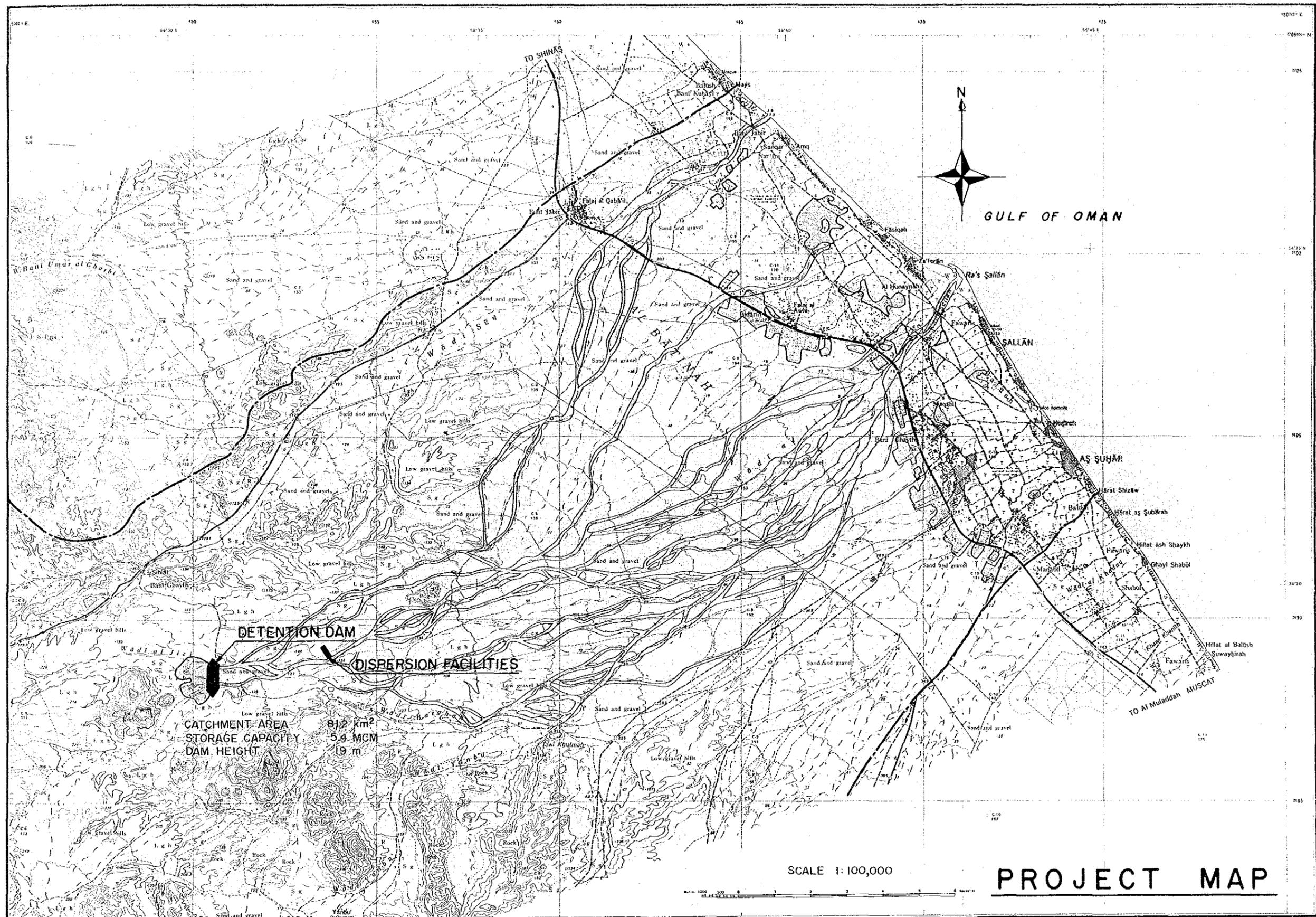
総 裁 有 田 圭 輔



LEGEND

- WATERSHED BOUNDARY
- WADI COURSE
- HIGHWAY

PROJECT LOCATION



目 次

計画一般図

表の目次	i
図の目次	ii
省略記号	iii
第1章	序 論	I - 1
1.1	事業の背景	I - 1
1.2	事業の目的	I - 1
1.3	調査の背景	I - 1
1.4	事業概要	I - 2
第2章	水文および農業	II - 1
2.1	表面水	II - 1
2.1.1	流 域	II - 1
2.1.2	気 象	II - 1
2.1.3	気象・水文観測	II - 2
2.1.4	表面水	II - 3
2.2	地下水	II - 7
2.3	農業の現状	II - 9
2.3.1	土地利用	II - 9
2.3.2	水利用	II - 9
2.3.3	作物パターンと必要水量	II - 10
第3章	事業計画	III - 1
3.1	事業のコンポーネント	III - 1
3.2	水資源開発計画	III - 1
3.2.1	開発計画	III - 1
3.2.2	流域の水収支	III - 3
3.2.3	水配分	III - 6
3.3	モニタリングシステム	III - 6

3.3.1	概 要	III - 6
3.3.2	地下水の電子計算機シュミレーションモデル	III - 8
3.3.3	地下水シュミレーション	III - 10
第4章	施設の設計	IV - 1
4.1	地形および地質	IV - 1
4.1.1	地 形	IV - 1
4.1.2	地 質	IV - 1
4.2	堤体および基礎	IV - 3
4.2.1	標準断面	IV - 3
4.2.2	安定解析	IV - 4
4.2.3	浸透解析	IV - 6
4.2.4	余 盛	IV - 8
4.2.5	フィルターおよびリップラップ	IV - 8
4.2.6	基礎処理	IV - 9
4.3	余水吐	IV - 10
4.3.1	型 式	IV - 10
4.3.2	設計洪水量	IV - 10
4.3.3	非常用洪水吐	IV - 10
4.4	放流設備	IV - 11
4.4.1	機能および設計流量	IV - 11
4.4.2	常用放流設備	IV - 11
4.4.3	非常用放流設備	IV - 12
4.5	拡散施設	IV - 12
第5章	モニタリングシステム	V - 1
5.1	観測施設	V - 1
5.1.1	観測施設の設置位置	V - 1
5.1.2	観測施設の規模	V - 1
5.2	観 測	V - 2
5.2.1	水位計	V - 2

5.2.2	観測井戸	V - 2
第6章	事業の実施計画	VI - 1
6.1	実施方法	VI - 1
6.1.1	事業の実施	VI - 1
6.1.2	事業実施工程	VI - 1
6.2	運営・管理計画	VI - 1
6.2.1	運 営	VI - 1
6.2.2	管 理	VI - 2
6.2.3	管理費	VI - 2
6.2.4	ワジジダムの維持管理方法	VI - 2
6.3	コンサルタンツの技術供与	VI - 3
6.3.1	目 的	VI - 3
6.3.2	コンサルタンツが実施する業務内容	VI - 4
第7章	入札書類	VII - 1
7.1	事前応札資格審査書類	VII - 1
7.2	入札書類	VII - 1
第8章	工事計画	VIII - 1
8.1	施工方法	VIII - 1
8.1.1	抑留ダムの施工	VIII - 1
8.1.2	掘削工事	VIII - 1
8.1.3	盛 土	VIII - 1
8.1.4	蛇かご	VIII - 2
8.1.5	コンクリート	VIII - 2
8.1.6	パイプ	VIII - 2
8.1.7	拡散施設	VIII - 2
8.1.8	モニタリング施設	VIII - 3
8.2	工事工程	VIII - 3
第9章	事業費	IX - 1
9.1	工事費	IX - 1

9.1.1	工事費のコンポーネント	IX - 1
9.1.2	労務単価および資材単価	IX - 1
9.2	その他の費用	IX - 2
9.3	事業費	IX - 2
9.3.1	工事費	IX - 2
9.3.2	補修費	IX - 2
9.3.3	コンサルタンツ技術供与	IX - 3
9.3.4	予備費	IX - 3
9.3.5	事業費	IX - 3
第10章	事業の評価	X - 1
10.1	経済分析	X - 1
10.1.1	経済費用	X - 1
10.1.2	経済便益	X - 3
10.1.3	経済内部収益率	X - 5
10.1.4	感度分析	X - 6
10.2	社会・経済的波及効果	X - 7
第11章	銅鉱山による鉱害	XI - 1
11.1	鉱害の調査	XI - 1
11.2	鉱害の種類	XI - 1
11.3	農作物と鉱害	XI - 1
11.4	鉱害による環境汚染の監視	XI - 2
11.4.1	鉱害防止の基本的事項	XI - 2
11.4.2	モニタリング	XI - 2
第12章	工事図面目録	

表 の 目 次

Table 2-1	Major Climatic Elements at Sohar	II - 13
2-2	Flood Runoff at Dam Site	II - 14
2-3	Flood Runoff at River-Mouth	II - 15
2-4	Groundwater Level.....	II - 16
2-5	Chemical Analysis Data	II - 17
2-6	Water Level Fluctuation and Change of Storage	II - 18
2-7	Unit Irrigation Water Supply Requirement by Crops ...	II - 19
2-8	Water Quality Analysis	II - 20
3-1	Summary of Ground Water Simulation (Case 0)	III - 11
3-2	- do -	(Case 1) III - 13
3-3	- do -	(Case 2) III - 15
3-4	- do -	(Case 3) III - 17
4-1	Summary of Design Values for Detention Dam	IV - 4
4-2	Results of Stability Analysis on Detention Dam	IV - 5
9-1	Project Cost	IX - 5
9-2	Disbursement Schedule	IX - 7
10-1	Economic Project Cost	X - 8
10-2	Project Cost and Benefits	X - 9

図 の 目 次

Figure 2-1	Seasonal Variation of Rainfall, Temperature, Relative Humidity and Pan-Evaporation	II - 21
2-2	Hydrological Map	II - 22
2-3	Base Flow Discharge at Mulayyinch	II - 23
2-4	Rainfall-Runoff Relation at Dam Site	II - 24
2-5	Rainfall-Runoff Relation at River-Mouth	II - 25
2-6	Frequency Analysis on Flood Height	II - 26
2-7	Observed Flood in February 1982	II - 27
2-8	Envelope Curves for Maximum Rainfall	II - 28
2-9	Location of Wadis and Rain Gauges	II - 29
2-10	Deviation Values of Well Water Level	II - 30
2-11	Groundwater Table Differences on 1978	II - 31
	(The High Water Period)	
2-12	Mean Groundwater Table Differences between APR. 1974 and MAY 1985	II - 33
2-13	ISO-EC Map	II - 35
2-14	Water Analysis Diagram	II - 37
2-15	Change of Storage	II - 38
2-16	Present Cropping Pattern	II - 39
3-1	Reservoir Emptying Time	III - 19
3-2	Present Water Balance (Before Project)	III - 20
3-3	Projected Water Balance in 1987	III - 21
3-4	Diagram of Monitoring System	III - 22
3-5	Modeling of Groundwater Basin (Present Condition) .	III - 23
3-6	- do - (Proposed Condition). .	III - 24
3-7	Simplified Flow Chart for Digital Computer Solution of Groundwater Problem	III - 25
3-8	Simulated Change of Groundwater Storage	III - 26
3-9	Deviation of Groundwater Level (Case 0)	III - 27
3-10	- do - (Case 1)	III - 28
3-11	- do - (Case 2)	III - 29
3-12	- do - (Case 3).....	III - 30
4-1	Typical Section of Detention Dam	IV - 14
4-2	Exemplary Model of Permeability for Detention Dam .	IV - 15
4-3	Grading Distribution of Interceptor Materials	IV - 16
4-4	Flow-out Capacity of Spillway (Service & Emergency /Spillway)	IV - 17
6-1	Implementation Schedule	VI - 6
6-2	Schedule of Consulting Services	VI - 7
8-1	Construction Schedule	VIII - 5
11-1	Flow Chart for Process of Effect to Agricultural Products	XI - 3

省 略 記 号

MEASUREMENTS

Length

mm	Millimeter
cm	Centimeter
m	Meter
km	Kilometer

Area

sq.cm, cm ²	Square centimeter
sq.m, m ²	Square meter
sq.km, km ²	Square kilometer
ha	Hectare
MSM, 10 ⁶ m ²	Million square meter

Capacity

l, lit	Liter
cu.m, m ³	Million cubic meter
barrel	31.5 gallon (U.S.), or 36 gallon (U.K.)
gallon	3.785 l (U.S.), or 4.564 l (U.K.)

Weight

g	Gram
Kg	Kilogram
ton, m.t	Metric ton

Others

EL	Elevation above mean sea level
FWL	Full water level
HWL	High water level
mamsl	Meter above mean sea level
mbmsl	Meter below mean sea level
mbgs	Meter below ground surface
sec	Second
min	Minute
hr	Hour
min	Minimum
max	Maximum
°C	Degree Centigrade
°F	Degree Fahrenheit
EC	Electric Conductivity
mho	Reciprocal ohm
mmho	Millimho
µmho	Micromho
mg/lit	Milligram of solid per liter of solution
ppm	Parts per million
%	Percent
FY	Fiscal Year

Conversion

R.O.	Omani Rial, 1 R.O. = 2.924 USD (1985)
	= 1,000 Baiza
U.S.D	U.S. Dollar, 1 USD. = 0.342 R.O. (1985)
Feddan	Omani unit of area measurement = 0.42 ha

ABBREVIATIONS

ADB	Asian Development Bank
FAO	Food and Agricultural Organization
IBRD	International Bank for Reconstruction and Development
JICA	Japan International Cooperation Agency
MAF	Ministry of Agriculture and Fisheries
MEW	Ministry of Electricity and Water
MLAM	Ministry of Land Affairs and Municipalities
MPM	Ministry of Petroleum and Minerals
MPW	Ministry of Public Works
PAWR	Public Authority of Water Resources
MC	Ministry of Communication

OMANI TERMINOLOGY

Ain	Spring
Aflaj	Plural from of Falaj
Falaj	Water distribution system under or above ground
Wadi	Dry river valley
Wali	Local Governor of an area
Wilaya	Local Governorate
Wilayat	Plural from of Wilaya

第 1 章 序 論

1.1 事業の背景

水資源開発はオマーン国における経済発展の重要な要素であるが、年間降雨量が 100～200mm 程度ということもあって、水資源は非常に限られたものになっている。農業は降雨に依存するわけにはいかず、ほとんど地下水に依存している。このため数 100 年以前よりファラージが開発されてきた。

近年になって農地の拡大にともなって多くの農民がポンプ付きの井戸を利用するようになってきており、これによって地下水の供給を上回るような過剰揚水が行われる傾向にある。

このようにかんがい用水の不足に加え、生活水準の急激な向上による水の消費量の増大も著しく、耕地の拡大はむづかしくなっている。特にバチナ・コーストでは無制限な地下水揚水によって、塩水侵入が生じており、耕地に塩害を与え生産力が低下している地域もある。

1.2 事業の目的

オマーン国の農業は石油の収入に次いで国家財政の収入源である。しかし農業生産は水源開発が不十分のため停滞している。また水源開発の不足は農民の耕地面積の拡張意欲を沈滞させている。加えて地下水の無計画な利用は地下水への海水侵入を生じている。

このような状況の中でワジジジ農業開発は抑溜ダムによる水資源開発を通じて農業生産の増加を図る。又間接的には地下水かん養によって海水侵入防止を図り既存の農地を改善すると共に工場や都市用水への供給を可能にする。

新規に開発される水資源は、現在海へ無効放流している洪水である。洪水は短時間に降る強い雨によって突発的に発生するがこの洪水を一時的に貯水地に貯留し、下流に放流して地下水涵養を行うものである。

1.3 調査の背景

第 2 次 5 ヶ年計画の実施にあたって、農業・水資源開発は最優先度が与えられてお

り、1980年2月オマーン政府は日本政府に対して本事業の調査、計画立案のための技術協力を要請してきた。

この要請を受けて、日本政府は、1981年3月より2ヶ月間および1982年11月より4ヶ月間の2回にわたってフィージビリティ調査団を派遣した。調査団は所定の調査を実施しフィージビリティ・レポートをオマーン国政府に提出した。

オマーン国政府はさらに事業実施に対する協力を日本政府に要請してきた。日本政府はこの要請を受け調査を実施することに決定した。

この決定により国際協力事業団は、1984年7月にオマーン国に事前調査団を派遣し、調査の実施方法について協議した。調査実施に関するR/Dは1984年7月に締結され、本調査は1985年3月より開始された。この調査の目的は次のとおりである。

- 1) フィージビリティ調査のレビュー
- 2) 実施設計および入札書類の作成
- 3) 調査実施をとおしてカウンターパートへの技術移転

1.4 計画の説明

(1) 計画地区

水資源開発事業の対象地域であるワジ・ジジ流域は北部バチナにあり、流域面積約1,300km²で、ソハール付近で広大な扇状地を形成している。ソハールはバチナ地域における11つのWilayat(県)の一つであり、ソハール市は、マスカットの北西約220kmにあり海岸に面している。

当計画地区はソハールを中心として、海岸線沿いに北はマジスより南はワジ・アル・カダックに至る巾5~7km、延長17kmの耕地及びこれに付随する非農地及び新規造成予定地であり、この面積は3,830haである。

(2) 気象

本計画地区は乾燥地帯に位置し、2つの季節がみられる。すなわち、冬期(11月~3月)と夏期であり、4月と10月は季節の移行期である。降雨のほとんどは冬期に集中している。

計画地区内の雨量は年別、及び季別の変化に富むが、ソハールにおける過去11ヶ年間の平均年雨量は102mmであり、その97%は10月から4月までの冬期(移行期を

含む)に集中する。

水資源局ソハール支所で観測された年平均気温は25.7℃である。6月が月平均の最高で32.6℃であり、1月が最低で18.2℃である。

(3) 地 質

ワジ・ジジ流域は地質的にはハワシナ・グループに属する堆積岩及び変成岩、セマイル輝緑岩及び第四紀堆積岩が主体である。

ダムサイトの地質は、現河床堆積物、中位段丘堆積物、上位段丘堆積物、基盤岩からなる。

両岸の表層部は風化してやや軟質であり、透水性は高い。

(4) 水資源

流域に降った降雨の一部は直接流出し、ある部分は土壤や岩石の割目を通して浸透し重力によって流下してワジに達する基底流となる。直接流出途中あるいは浸透の途中で降水の一部は蒸発散で失われる。

直接流出(以下洪水という)の大きさや継続時間および基底流量には多くの要素が関連しているが、1981年までは時間降雨およびハイドログラフは観測されていない。

水資源は地表水と地下水に区分される。地表水はほとんどが洪水であり、そして冬期(11月~3月)に発生する。この洪水はWadiを短時間で流下し海に注ぐので有効利用は不可能である。一方Wadi平原にある地下水はかんがい、都市用水及び工業用水の主要な水源である。この地下水の年平均消費量は約11.23 M C Mで、この内11.03 M C Mがかんがい用、0.2 M C Mが都市用水に使用されている。

Wadi Jizzi 平原は不透水性基礎、段丘堆積と扇状堆積物により構成されている。扇状堆積物は海岸近くに発達し、厚さ 100 m 巾 8 km のすぐれた滞水層である。

(5) 農業状況

計画地区 3,830haの現況土地利用は、概略樹園地 2,340ha、畑地 495ha、非農地 995haからなっている。

ほとんどの作物は井戸よりの地下水により栽培され、計画地区の主要作物はデザートでありその他の果樹として、ライム、バナナ、マンゴ等が栽培されている。主要畑作物は野菜と飼料作物で、玉ねぎ、ガーリック、トマト等の野菜はデザートの間作

として栽培されている。Wilayaソハールの家畜生産は、国内で重要な位置を占めている。

計画地区内の作物に対するかんがいは地下水に依存し揚水されている。一般的なかんがい方法は、i) 湛水かんがい、ii) 溝畔かんがい、iii) うね間かんがいである。2,835ha に対する年かんがい所要量は前述した通り、1,103万 m³である。

近年種々な目的を対象とし、海岸平野において地下水を過剰揚水するため、海岸線沿いの滞水層に海水が侵入し、既耕地の一部で高い塩分濃度のかんがい用水による損害をうけている。このような状況のもとで、地下水涵養による水資源の開発は当地域において重要かつ緊急なものである。

(6) 事業目的と構成

事業の直接目的は、i) 地下水涵養による水資源開発であり、間接的には、ii) 洪水調節と海岸地帯への海水の侵入防御に基づく既耕地の農業生産と生活環境改良、iii) 家庭飲料水と工業用水の安定供給である。

事業の構成は、i) 地下水涵養のための洪水抑留ダムの建設に基づくワジ・ジジ流域内の水資源の開発、ii) 地下水の変動状況を調査するためのモニタリングシステムの確立である。

(7) 年間調節洪水量

激しい降雨により年に1～2回の洪水が発生する。しかし洪水は短時間のうちにワジを流下し、現在のところ非常に少い洪水量だけが滞水層に浸透している。この洪水を水資源として有効に利用するため、6.63MCMの調節効果のある抑留ダムが計画された。この場合最大貯水量は5.4MCMである。

(8) 水資源開発計画（地下水）

水資源開発計画の方法は抑留ダムおよび拡散施設による地下水の涵養である。この場合ワジ・ジジ礫平原の浸透能は、水文解析結果にもとづき、13m³/sec と推定された。

現在海に流出している無効流出量を、このプロジェクトの開発可能水資源として転換した場合、開発される水量は、水収支計算によると年間3.47百万 m³と見込まれる。故に抑留ダムから、下流礫平原の浸透量に見合った放流がなされるなら、地下水の涵養は有効に促進される。

本事業計画によって開発される地下水の利用配分は以下のように計画した。

・ 開発水量	3.47百万m ³
・ 利用水量	
現在の水収支における不足容量の補充	1.02百万m ³
都市用水と鉱業用水	1.06百万m ³
1983までに農家に配分された耕地	1.39百万m ³
計	3.47百万m ³

(9) 施設計画

当プロジェクトにおいて建設される施設は、抑留ダム及び拡散施設でありこれらの主要諸元は下記のとおりである。

・ 抑留ダム

流域	812km ²
年間流入量(平均)	6.63M C M
ダム容量	5.4 M C M
基準滞砂量	53m ³ /km ² /年
満水面水位(F. W. S)	EL. 163.90 m
満水位貯水面積	1.25 km ²
設計洪水量	4,700m ³ /sec
最大可能洪水量	7,800m ³ /sec
非常用洪水吐設計洪水量	3,100m ³ /sec
設計洪水時水位	EL. 169.20 m
最大放流量	13m ³ /sec

堤体

ダム天端標高	EL 170.0 m
最低標高	EL 149.6 m
ダムの高さ(最大)	20.4 m
ダム天端長さ	1,249.7 m
内余水吐クレスト長さ	: 462.4 m
堤体積	630,000m ³

ダム型式

ゾーンタイプフィルダム

余水吐

常用余水吐・型式

自然溢流型

クレスト標高

EL 163.90 m

クレスト長さ

184.2 m

クレスト高さ

2.0 m

非常用余水吐・型式

自然溢流型

クレスト標高

EL 165.70 m

クレスト長さ

278.2 m

クレスト高さ

1.8 m

放流施設

型式(常用)

無調整鋼管(径 1,500mm)

長さ

124.4 m

放流量(最大)

13.0 m³/sec

型式(非常用)

調整ゲート付き鋼管(径 1,500mm)

長さ

78.0 m

放流量(最大)

10.19 m³/sec

拡散施設

位置

抑溜ダムの下流 3.3km

型式

蛇かごにより保護された堤防

高さ

3.7 m

長さ

243.0 m

連絡水路

開水路

水路底巾

12.5 m

長さ

469 m

モニタリング施設

自記水位計

1ヶ所

観測井戸

5本

3本 深さ 70m 井戸径 100mm

1本 " 40m "

1本 " 20m "

(10) モニタリングシステム

事業施行と平行して地表水・地下水及び環境汚染のモニタリングシステムが流域の地下水管理は勿論のこと、事業施設の適切な維持管理のために計画される。

流域の適正かつ有効な地下水利用を図るために、地下水管理行政が農漁業省の責任のもとに実施される。

流域の水文的水衡を解明するために、地表水文に関しては以下の施設を設置する。

- 貯水池への直接流入量、洪水吐越流量及び放流管放流量を解析するために、貯水池内に自記水位計を設置する。

地下水についてのモニタリングシステムは、i) 地下水涵養効果の評価、ii) 各生産井戸の地下水の水質コントロールを目的としている。これらを実施するための業務内容はおよそ次の通りである。

・ 地下水涵養効果の評価

建設された観測井戸及び既存の生産井戸の地下水位の観測によって得られた地下水のハイドログラフを解析し、プロジェクトによってもたらされる地下水涵養効果の評価する。また必要に応じて地下水の揚水量をコントロールする。

・ 生産井戸の地下水水質のコントロール

地下水層への海水侵入と、銅鉾山による地下水の化学的汚染を防止する。

(11) 事業費

事業費は土木工事費、補償費、コンサルタント技術供与、予備費に分けられる。

1985年6月時点の単価をもとに積算した結果は以下のとおりである。

土木工事費 7,050,058 R.O.

補償費 15,000

コンサルタント 326,000

小計 7,391,058

予備費 705,942

計

8,097,000 R.O.

(2) 事業の実施

水資源かんがい局は、オマーン国の主要な水資源かんがいプロジェクトの計画、プログラミング及び実施の所管庁であるため、本事業計画施行の実施機関となる。これに関係する他の政府機関は、この事業実施期間中援助並びに協力することになる。

本事業計画の工事实施期間は、約8ヶ月間の入札、契約期間を含んで1986年7月から1988年8月までの3ヶ年とした。

建設業者の選定にあたり入札及び工事契約は工事の規模を勘案しオマーン国内の希望入札者の応札資格審査をおこない、その結果を踏まえて施工業者を選択し契約を締結する。

(3) 経済評価

事業完成後、直接及び間接便益が見込まれる。計測可能な直接便益は、作物増産便益、洪水被害防止便益、デーツの塩害防止便益、ソハール及び銅精練場への飲料水、工事用水便益が考えられる。

内部経済収益率は12.2%である。

直接便益の他に間接便益が見込まれ、農家経済及び地域、国家経済両面への社会的経済的インパクトが与えられる。

(4) 鉱業発展による環境汚染

ラサイル鉱山の鉱石、岩石、砂礫あるいは坑山廃水等の試料を分析した結果をもとにして、廃水や廃煙の性質、性状を予想し、鉱害の発生する経過を仮定して汚染の形態等を検討した。その結果、鉱害因子は、酸性水、酸性水に含まれる重金属類、アルカリ性水、塩、あるいは排煙中のガスとフェームである。

環境汚染防止対策は、i) 廃水や排煙を化学的物理的に処理すること、およびii) 処理方法やその結果をモニタリングする組織の確立である。

第 2 章 水文及び農業

2.1 表面水

2.1.1 流 域

ワジ・ジジ川は、北部パチナ流域アル・ガルビ・マウンテンに水源を發し、北緯 $24^{\circ}03'$ ～ $24^{\circ}27'$ 、東經 $56^{\circ}06'$ ～ $56^{\circ}45'$ の範囲にまたがる流域面積約1,300 km²、延長約75kmの河川であり、ソハールの近傍でオマーン灣に流入している。

流域は、地形的に丘陵部と沖積海岸平野部に分割される。丘陵部は標高 800 mまでの山脈に南西部で面し、北西及び南東部は標高 1,400 mから 1,600 mの分水嶺につながっている。一方海岸平野部は河川の下流部、海岸線沿いに広がっている。河川勾配は、比較的急勾配であり、平均勾配は上流部で 1/100、下流部で 1/150である。

2.1.2 気 象

計画地域は乾燥地帯に属しているため、苛酷な気象条件下にあるといえる。年間の気候は夏期及び冬期に大別される。

冬期は11月から3月までの期間であり、熱帯性低気圧とそれに伴う豪雨及び洪水によって特徴づけられる。4月は冬期から夏期への移行期間である。5月から9月までの夏期は、極大陸性の気候に支配され気温は高く、乾燥する。4月頃よりだんだんと気温が上昇し、湿度が低下してくる。通常、5月と6月は最も暑く、かつ乾燥し、最高気温は45℃にも上昇する。この期間の日平均湿度は60%以下に低下する。10月は夏期から冬期への移行期間である。

降雨量は期別に、かつ年々相当の変化を示しているが、ソハールにおける年平均降雨量は 102mmであり、その97%は10月から4月の冬期及び移行期に集中している。日平均気温は6月の32.6℃から1月の18.2℃までの期別変化があり、年平均は25.7℃である。ソハールにおける主要気象要素を表2-1示す。

2.1.3 気象水文観測

ワジ・ジジの流量は、農漁業省水資源かんがい局によりムライナ地点において1977年以降自記水位観測が継続されているが、信頼できるデータが得られていない。1982年にF/S調査団により、4ヶ所の自記水位計が設置された。上記のムライナ地点は、河床堆積物が薄く基盤が露出しており、通年の流水が観測される地点であるため、高精度の洪水ハイドログラフを観測する目的でムライナ地点近傍に第1(S-1)及び第2(S-2)水位計を設置した。一方第3(S-3)及び第4(S-4)水位計は表流水の海への無効放流量を観測する目的で、河口付近に設置された。

しかしながら、第1及び第2水位計は、設置直後に発生した洪水(1982年2月)により破壊されており、更には第4水位計は自記装置が機能しないまま放置されてきた。このため、第1次詳細設計調査団により、第1、第2水位計のかわりに旧第1水位計の約300m上流の道路橋地点及び計画ダムサイト下流約500m地点に自記水位計が再設置された。一方、第4水位計は自記装置を取替えた。

ワジ・ジジ流域内には農漁業省により5ヶ所の雨量計が設置されており、1974年以降観測が継続されている。これらの雨量計に併設して、1982年にF/S調査団により自記雨量計が設定された。このうち3ヶ所(ダキク、キトナ及びワジ・ハイル)はその後故障したため、第1次詳細設計調査団により1985年に取替えられた。

地区内の雨量はティーセン法で計算された。

流 域	面 積	雨 量
	流域面積 (km ²)	面積雨量 (mm/年)
1. ダム地点(ダム上流部)	812	128
2. 残流域(ダム下流部)	471	110
3. 河口地点(全流域)	1,283	121
4. ソハール	-	102

表流水中の流砂については、オマーン国内ではいかなる観測値も経験値も得られなかった。FAOの現地文書第7号“オマーン国における流量観測”によれば、流量5m³/秒以内の小洪水では、河川水にはほとんど流砂成分が含まれないことが示

されている。それ以上の洪水には、かなりの流砂成分が含まれるが、一方流水は急速に地下に浸透する。これらの現象はワジ・ジジにおいても、1982年の洪水出水時に現場確認された。

量的かつ質的な意味においても、ワジ・ジジにおける流砂は、乾燥地帯における他の河川における例と著しい差はないものと考えられる。アル・ハウドダム (Wad, Al-Khawd Aquifer Recharge Project) の例にならい、アメリカ合衆国の乾燥地帯における流砂の実測値に基づき、ワジ・ジジ貯水池の堆砂量を推定する。すなわち、ユタ州ビュート貯水池、ニューメキシコ州マクミラー及びエレファント・ブッチ貯水池、ホバダ州ミード湖及びネブラスカ州エリクソン貯水池における観測例により、貯水池への堆砂量を $53\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ とした。

これより、約 $43,000\text{m}^3/\text{年}$ の堆砂量が見込まれるが、この堆砂量はダムが空虚になった後掘削・捨土される。しかしこの経費は、ダム施設の維持管理費に大きく影響するため、ダム完成後の実測値により修正される必要がある。

2.1.4 表面水

降雨の一部が表面流出として河道に到達し、また土中に浸透し、更には重力によって河道に到達し、基底流量となるが、大部分の降雨は蒸発散量として無効に消費される。表面流出（以降“洪水量”という）と基底流量の継続期間に直接的に影響する多くの複雑な要素のうち、時間雨量と時間単位の流出ハイドログラフが1981年以降観測されている。F/S調査期間中の1982年2月14日から3日間にわたって、ムライナ及び河口地点で時間降雨分布と洪水流出ハイドログラフが記録され、これらの記録に基づいて重相関法により、流域降雨量と洪水流出量が関係付けられた。

その後、データを追加・更新し、可能最大降雨量解析、ピーク洪水量解析等により、計画基礎水文諸元を以下のとおり確定した。

1) 基底流量

ムライナ地点は河床部が狭窄しており、基盤が露頭しているため、ムライナ地点流量がワジ・ジジ河の基底流量を表現していると考えられる。ムライナ流量

(流域面積 654km^2) は1977年以降、カレントメータにより流量観測がなされており、

同資料によれば平均基底流量は85リッター/秒、または0.13リッター/秒/㎥と推定される。

ワジ・ジジの全基底流量を推定するためには、流域内の村落かんがい（フェラジ）で消費している水量を考慮しなければならない。付属書B-1、表B-1に示すように、流域内フェラジの平均使用水量は78リッター/秒（0.12リッター/秒/㎥）と推算される。よってワジ・ジジ川の全基底流量は0.25リッター/秒/㎥となり、これは比流出高で表現すれば7.9mmとなる。また、これの全降雨量に対する比率（流出率）は6.2%である。

2) 洪水流出量

洪水流出量は、ダム地点と河口地点での降雨～流出の重相関法により定義付けられている。一方ムライナ地点において、1982年2月の洪水観測に基づき、一山降雨と洪水量の関係が解析された。ダムサイト地点の洪水量は上記解析結果に流域面積比率を適用し、ダム地点における洪水量を推算した。

その結果、年間平均洪水流出量はダム地点で6,630千 m^3 、河口地点で3,470千 m^3 である。これよりダム地点における比流出高は8.2mm、洪水の年間流出率は6.4%となる。従って年間総流出率は基底流出と洪水流出を合せて12.6%となる。

3) ピーク洪水流量

1982年2月のムライナ地点洪水ハイドログラフを図2-7に示す。なお、同図の洪水流量は観測された洪水位と河川断面から、マニング公式を適用して計算したものである。PAWRが常用しているマニングの粗度係数の $n=0.038$ を用いれば、同期間の洪水ピーク流量は770 m^3/sec と推定される。図2-7に示す観測結果より、以下の点が検討された。

- 2月13日以前の先行降雨は流域内で観測されていない。従って2月13日及び14日午前5時までの降雨は初期損失降雨であり、流域内の土層を飽和させるためのみに消費されたものと考えられる。
- 土層が一旦雨水によって飽和された後は、急激な洪水出水、鋭いピーク及び急激な減水で特徴づけられるとがった形の洪水ハイドログラフが観測される。洪水ピークが2回観測されているのは、午前8時と午後2～3時を中心とする2山の降雨によって起因されたものと考えられる。

- 一連の降雨期間内の降雨強度の変化は、その結果として得られたハイドログラフの形に反映されるものであるが、そういう強度変化の時間縮尺は主として流域の大小によって決定づけられる。それ故、ユニットグラフの定義に従えば、図2-7上で読み取れる洪水の到達時間3時間は、ワジ・ジジ流域においてはいかなる降雨強度が与えられても、共通して適用可能なものと考えられる。
- 2山の洪水ハイドログラフのうち、前者を抽出し、これをワジ・ジジ流域における洪水ハイドログラフの典型的な形とすれば、ピーク流量の洪水総流出量に対する比率は次のように与えられる。

$$\text{比率} = \frac{\text{ピーク流量}}{\text{洪水総量}} = \frac{770 \text{ m}^3 / \text{秒}}{7,715.8 \text{ 千m}^3} = 9.9795 \times 10^{-5} \text{ (秒}^{-1}\text{)}$$

同様に河口地点においては、

$$\text{比率} = \frac{\text{ピーク流量}}{\text{洪水総量}} = \frac{163 \text{ m}^3 / \text{秒}}{4,030 \text{ 千m}^3} = 4.045 \times 10^{-5} \text{ (秒}^{-1}\text{)}$$

4) 最大可能洪水量

a) 最大可能降雨量

長期間の降雨データとしては、首都マスカットにおいて1800年代後半からの約90年間の月降雨資料がある。マスカット資料を含む全ての降雨資料より、年間降雨量とその年の最大月雨量及び最大日雨量との比率を算出し、図2-8にプロットした。図にプロットした全ての点を含むような包絡線を引けば、この線は適切な年間降雨量が推定された場合の、可能最大月雨量及び日雨量を与えることになる。

マスカットの年降雨量を対数確率紙にプロットし、50年確率年間雨量を推定すると255mmとなる。年降雨量の地域差については、過去の記録によれば、ワジ・ジジの計画流域の面積雨量はマスカットの約1.4倍である。

また、アメリカ工兵隊の資料によれば、オマーン国及び近傍国における50年確率雨量と最大可能降雨量との比率として、便宜的に0.6:1を採用している。これより、

$$\text{マスカットにおける50年確率雨量} = 255 \text{ mm / 年}$$

$$\begin{aligned} \text{— マスカットにおける最大可能降雨量} &= 255 / 0.6 = 425 \\ &\approx 430 \text{ mm / 年} \end{aligned}$$

$$\text{— マスカットにおける最大可能日雨量} = 430 \times 0.4 = 172 \text{ mm / 日}$$

(この値は1981年5月2日にマスカットの南西約80km地点に位置するクリヤットで観測された140mm/日によって十分に説明できる。)

$$\begin{aligned} \text{— ワジ・ジジ流域における最大可能日雨量} \\ &= 172 \times 1.4 = 241 \text{ mm / 日} \end{aligned}$$

b) 最大可能洪水量

1982年2月のムライナにおける洪水観測記録に基づき、洪水のピーク流出率は以下のように算出される。

$$f_p = \frac{770 \text{ m}^3 / \text{秒} \times 3.6}{654 \text{ km}^2 \times 10.5 \text{ mm / 時}} = 0.40$$

ただし上式で、洪水の到達時間は前述のごとく3.0時間、到達時間内の平均降雨強度は2山目の降雨を対象とすれば10.5mm/時である。

ワジ・ジジ流域において、最大可能日降雨量241mm/日が洪水到達時間内に集中したとすれば、その間の平均降雨強度は

$$i = 241 / 3.0 = 80.3 \text{ mm / 時}$$

上値は1979年10月30日にソハールで記録された30分間降雨強度36mm/30分により、その妥当性が証明される。

以上の結果、合理式による最大可能洪水量(ピーク)は以下のように算出される。

$$\begin{aligned} Q_p &= 1/3.6 \times f_p \times i \times 812 \text{ km}^2 \\ &= 1/3.6 \times 0.40 \times 80.3 \times 812 = 7,245 \text{ m}^3 / \text{秒} \end{aligned}$$

またb)で述べた、洪水ピーク流量と洪水総量との比率を用いると、次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{— 洪水総量} &= 812 \text{ km}^2 \times 241 \text{ mm} \times 40\% \\ &= 78,277 \text{ 千 m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{最大可能洪水量} &= 78,277 \times 10^3 \times 9.9795 \times 10^{-5} \\ &= 7.828 \text{ m}^3/\text{秒} \end{aligned}$$

上式で求めた最大可能洪水量は、PAWRが提案するワジ・ジジに対する可能洪水量の推定値 7,700m³/秒に酷似しており、これより 7,800m³/秒を最大可能洪水量として採用する。

2.2 地下水

1) 地下水文単位

計画流域の地下水文単位は不透水層、段丘堆積物及び沖積物に大別される。このうち不透水性層はハワシナ層群、塩基性火山岩及び第3紀堆積物よりなり、ワジ・ジジ川上流域の主要部とその側面を構成している。

ハワシナ層群は珪酸石灰岩、泥岩及びチャートよりなる。塩基性火山岩は主としてセマイル蛇紋岩よりなり、ワジ・ジジ川の中流部に分布している。第3紀堆積層は砂礫原の西端に分布する。段丘堆積物はワジ・ジジ川の中流部に広く露頭しているが、その主要分布地は上流部に限られている。これら堆積物は塩基性火山岩や堆積岩が河川によって種々の粒度に破碎された砂礫や、部分的に固結した砂で構成されている。堆積物は非常水性と思われるが、これら堆積物間の未固結の砂や細粒の薄い層が時として帯水層の機能を果たす。

沖積物は河床沿いには局部的に露頭しているだけであるが、海岸平野部に入ると広範囲に分布する。堆積物の厚さは河床部で数m、砂礫原の入口部で10m程度、海岸平野部では80m以上となっており、すぐれた不圧帯水層を形成している。

2) 帯水層の特徴

計画地区内の主要帯水層は段丘堆積層と沖積層に限定される。ソハールExpansion Farmの第1生産井での帯水層試験結果によれば、貯留係数は平均値として0.05である。同様に透水係数は 2.0×10^{-2} m/分と推定されている。

3) 水理構造

段丘堆積層と沖積層により構成される地下水盆は、その北端及び西端で深度40m以内の不透水層に囲まれており、その層厚は最東端の海岸線部では100m以上におよぶ。また、地下水盆の南端は、地下水位の深い溝が存在するワジ・カダク付近に

及ぶものと考えられる。地下水盆の全域は海岸線沿いに幅10~20km, 延長10kmに達する。

4) 地下水位の変動

表2-4に地下水位の経年変化を示す。また図2-10に地下水位の全体的な経年変動を示す。これより1977年と1978年は豊水年, 1983年から1985年までは低水年であると考えられる。

図2-11は1978年の地下水位の等高線を描いたものである。地下水位はほとんど海岸線と平行に走っており, 海岸線上で平均海面高上 1.0mを保持している。図より平均地下水水面勾配は 1/600と算定される。1974年から1985年までの平均地下水位を図2-12に示す。

5) 地下水EC値

地下水表面のEC値分布を図2-13に示す。海岸線上の地下水の電気伝導度は, 3,000から 5,000mmho/cmの範囲で変動しており, 内陸部に向って漸減しており, 内陸部では 500mmho/cmとはぐ一様である。

6) 地下水の水質

1982年と1985年に実施された地下水の化学分析結果を表2-5に示す。化学分析の結果によれば, 大部分の地下水はタイプIに属し, 淡水とみなされるが, 海岸線付近で採取された地下水のうちいくらかはタイプIIIに属し, 海水侵入による汚染がみられる。

7) 地下水貯留量変化

1974年から1984年までの平均地下水貯留量減少高は43mmであり, これは 1.020千m³/年に相当する。各年別の貯留量変動は図2-15及び表2-6に示すとおりであり, 年間の過去最大増は1975年~1976年の10,130千m³/年であり, 最大減は1981~1982年の11,640千m³/年である。

8) 海への無効放流量

ダルシー式を適用して地下水の海への無効放流量を推算する。

$$Q = K \cdot A \cdot I$$

ただし, Q: 無効放流量

$$K: \text{透水係数} = 2.0 \times 10^{-2} \text{ m / 分}$$

A : 通水断面積 = L · H

$$= 10\text{km} \times 18.5\text{m} = 1.85 \times 10^5 \text{ m}^2$$

L : 海岸線延長

H : EC値分布に基づく淡水層の深さ

I : 動水勾配

動水勾配は過去11年間の平均値として0.0017 (= 1/600)であり、これより海への無効放流量は3,310千m³/年と推算される。

2.3 農業の現状

2.3.1 土地利用

ソハールを中心とする計画対象受益地区は、北端のマジスから南端のワジ・アルカダワまでの、海岸線に沿って幅5～7km、延長17kmに及ぶ農地、非農用地、開拓予定地を含む約3,830haの面積を持つ。現況の土地利用状況については、海岸線と国道に挟まれた帯状の範囲のほとんどでは樹齢30年以上のデーツが栽培されている。またこれらのデーツの樹間で野菜を栽培している農家もみられる。

国道西側（内陸側）には国道に沿って多数の新興農場が発展しており、主として野菜と果樹が栽培されている。

2.3.2 水利用

1) かんがいの状況

計画対象地区内の既耕地は、現地調査の結果2,835haと見積られた。

地区の主要なかんがい方式は湛水かんがい、ボーダーストリップかんがい及びフェローかんがいの3種に区分される。このうち湛水かんがい方式はデーツ、ライム、マンゴーのような果樹作物に適用されており、ボーダーストリップ方式はアルファルファやミシルバ等の飼料作物、フェローかんがいは主として野菜に対して応用されている。一方、上記の表面水かんがい方式に加えて、パイプライン、ドリップ式、スプリンクラー方式が局部的ではあるが国道沿いの農家で野菜・飼料作物に対して適用されている。

このような状況下で、かんがい効率は50%という低い値が推定された。損失の多くは蒸発量と深層土層への浸透水であるが、貧弱な水路施設と過剰かんがいに負うところも大きい。

2.835haの農用地に対する年間かんがい必要水量は、現況作目及び作付パターン、かんがい面積、作物消費水量等に基づき修正ペンマン法を適用した結果、11.03MCMm³/年と推算された。

2) 水 質

農漁業省のルマイルス農業試験場で、地区内15井戸の水質が検査されている。採取された井戸水は、アメリカ開拓局の基準によればC2-S1とC3-S1に分類され、平均的にはC2-S1に属することになる。1981年の調査結果と今回の値を比較すればpH値が8%程度増加しているものの、その他の項目はほとんど変化がない。従ってワジ・ジジ流域の地下水は、かんがい用水としてほとんどの作目に対し使用可能と判断される。

2.3.3 作付パターンと必要水量

現地調査結果によれば、既存農地の作目別作付率は以下のとおりである。

現況作物別作付率

全作付率	100.0%		
野菜作物	183ha	(6.5)	
玉ネギ	96	(3.5)	9月～1月
ニンニク	25	(0.9)	9月～5月
トマト	16	(0.6)	"
じゃがいも	15	(0.5)	11月～2月
オクラ	8	(0.3)	2月～6月
その他	23	(0.8)	11月～3月
果樹作物	2,340	(82.5)	
デーツ	1,820	(64.2)	通 年
ライム	309	(10.9)	"
バナナ	128	(4.5)	"

マンゴ	83	(2.9)	"
飼料作物	312	(11.0)	
アルファルファ	211	(7.4)	通 年
ソルガム	101	(3.6)	"
計	2,835	(100.0)	

計画地区内では過去3ヶ年間に約230haの新規農地が開発され、主として野菜と飼料作物が栽培されている。

期別の作物消費水量（蒸発散量）は、ソハール測候所での気象観測資料に基づき、修正ペンマン法により以下のように算出された。

ペンマン法による基準作物蒸発散量 (ET₀)

月	ET ₀ (mm/日)	ET ₀ (mm/月)
1月	2.9	89.9
2月	3.6	100.8
3月	4.7	145.7
4月	6.0	180.0
5月	7.7	238.7
6月	7.6	228.0
7月	7.1	220.1
8月	6.7	207.7
9月	6.3	189.0
10月	5.0	155.0
11月	3.5	105.0
12月	2.9	89.9
年 間		1,949.8 mm/年

各作物別のかんがい必要水量は下式によった。

$$V = \frac{10}{EP} \left[\frac{A(ET_c - RE)}{1 - LR} \right]$$

ただし、V：かんがい必要水量 (m³)

A：作付面積 (ha)

ETc : 作物消費水量 (mm)

RE : 有効雨量 (mm)

EP : かんがい効率 = 50%

LR : リーシング必要水量

$$= \frac{EC(W)}{2Max. EC(E)} \cdot \frac{1}{LE}$$

EC(W) : かんがい用水の電気伝導度 = 0.56mmho/cm

Max. EC(E) : 土壌水分消費点の最大限界EC

LE : リーシング効率 = 0.8 (砂壤土)

上記の手順に従い、作物別のかんがい必要水量を算出した。その結果、計画対象地区の既耕面積 2,835haに対して年間平均11,000千m³の必要水量が計上された。

Table 2-1 Major Climatic Elements at Sohar

Major Climatic Elements at Sohar

<u>Climatic Element</u>	<u>Jan.</u>	<u>Feb.</u>	<u>Mar.</u>	<u>Apr.</u>	<u>May</u>	<u>June</u>	<u>July</u>	<u>Aug.</u>	<u>Sep.</u>	<u>Oct</u>	<u>Nov.</u>	<u>Dec.</u>	<u>Annual</u>
<u>Rainfall (mm: 1974 - 1984)</u>	9.3	44.9	15.0	13.1	2.1	0.0	0.3	0.6	0.4	4.1	3.2	9.0	102.0
<u>Temperature (°C: 1973 - 1984)</u>													
Maximum	24.4	24.5	28.2	33.4	38.0	38.8	37.6	36.4	35.6	33.7	29.4	26.0	32.2
Minimum	11.9	12.6	15.7	18.4	22.2	25.4	27.6	26.7	23.5	18.1	14.0	13.2	19.1
Mean	18.2	18.6	22.0	25.9	30.1	32.1	32.6	31.6	29.6	25.9	21.7	19.6	25.7
<u>Relative Humidity (%: 1973 - 1984)</u>													
Maximum	95.4	94.8	94.3	92.5	88.3	93.5	95.6	96.7	96.1	95.1	95.8	96.7	94.6
Minimum	41.6	41.9	40.5	27.2	22.0	30.0	45.4	51.2	43.1	32.2	37.9	44.3	38.1
Mean	68.5	68.4	67.4	59.9	55.2	61.8	70.5	74.0	69.6	63.7	66.9	70.5	66.4
<u>Pan-Evaporation (mm/day: 1976 - 1984)</u>													
	3.1	3.6	4.7	6.8	8.3	7.8	7.2	6.5	5.9	5.0	3.9	3.0	5.5
<u>Sunshine Hours (hrs/day: 1973 - 1979)</u>													
	7.2	7.7	8.1	8.7	10.3	9.9	8.7	8.5	9.3	9.1	8.4	7.6	8.6
<u>Wind Velocity (Km/day: 1973 - 1984)</u>													
	56.4	61.0	67.2	70.3	73.3	75.2	85.3	84.9	71.0	58.6	49.6	46.3	66.6

Table 2-2 Flood Runoff at Dam Site
(Catchment = 812 sq.Km)

(Unit: MCM)

Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual
1974	-	1.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.91
		(0.28)											
		(4.14)											
1975	-	4.43	-	-	-	-	-	0.16	-	-	-	-	4.59
		(2.72)	(0.85)										
		(2.07)	(2.35)	(3.25)				(0.32)					
		(6.98)	(8.00)	(0.12)				(0.16)					
1976	1.05	11.77	11.21	3.37	-	-	-	0.49	-	-	0.28	-	28.18
						(0.16)							
						(0.12)							
1977	0.61	0.89	-	2.68	2.07	0.28	-	-	-	-	0.04	-	6.58
1978	-	2.35	-	-	-	-	-	0.28	-	-	-	-	2.64
1979	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.16	0.41
1980	-	0.16	0.73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.89
1981	-	-	-	-	0.53	-	0.12	-	-	-	-	-	0.65
		(0.13)											
		(8.53)	0.19										
		(5.18)	0.63										
1982	-	13.84	(0.83)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.66
				(0.24)									
				(0.63)									
1983	-	3.18	0.31	0.87	-	-	-	1.41	-	-	-	-	5.77
Total	-												66.28
Mean													6.63

Table 2-3

Flood Runoff at River-Mouth

(Catchment = 1,283 sq.Km)

Year	(Unit: MCM)												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual
1974	-	1.76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.76
		(0.05)											
		(2.04)											
1975	-	2.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.09
		(3.05)	(0.33)										
		(2.93)	(4.20)										
1976	0.51	5.98	4.53	1.87	-	-	-	-	-	-	-	-	12.89
1977	0.90	0.83	-	1.71	1.06	-	-	-	-	-	-	-	4.50
1978	-	1.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.45
1979	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.49	0.64
1980	-	-	0.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.31
1981	-	-	0.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.32
		(4.03)	(0.28)										
		(2.16)	(0.60)										
1982	-	6.18	0.89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.07
				0.13									
				0.38									
1983	-	2.00	0.46	(0.51)	-	-	-	0.68	-	-	-	-	3.66
Total													34.69
Mean													3.47

Table 2-4 Groundwater Level

Groundwater Level

	Mean Groundwater Level (Depth) (m)															Average (m)	Standard Deviation(m)
	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985					
OA-1	-	21.32	11.42	17.42	22.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AE-49	-	10.27	6.40	2.11	4.48	6.62	6.53	11.88	-	2.81	4.72	7.26	-	-	-	-	-
OA-2	6.49	6.15	6.05	6.07	5.79	6.12	6.03	6.25	6.26	6.45	6.47	6.60	6.23	0.35			
EA-1	24.38	(24.35)	(22.33)	21.38	21.65	23.31	22.85	22.05	25.60	(24.67)	24.47	25.60	23.30	1.58			
WSI-26	11.10	(10.95)	10.37	(10.11)	10.16	10.12	9.45	11.15	11.54	(11.82)	12.36	11.78	10.99	0.98			
AE-61	(9.82)	9.88	9.57	9.49	8.57	(9.55)	(9.47)	(9.85)	(10.17)	10.18	10.70	9.99	9.77	0.59			
AE-62	(9.07)	8.69	8.85	8.51	8.23	8.59	8.56	9.02	9.82	9.63	9.32	9.54	8.99	0.82			
AE-91	(8.78)	8.29	7.70	7.28	7.29	(8.11)	(8.00)	(8.82)	9.06	9.07	9.91	10.41	8.56	1.37			
AE-93	(1.78)	1.71	1.28	1.19	1.33	(1.52)	(1.46)	(1.79)	1.69	2.14	2.28	2.14	1.69	0.52			
AE-99	(1.73)	1.82	1.52	1.54	1.47	(1.62)	1.58	(1.74)	(1.87)	1.89	1.86	2.02	1.72	0.24			
AE-101	(9.69)	9.80	9.09	8.84	9.03	(9.34)	(9.03)	(9.71)	10.49	8.43	10.65	10.55	9.55	0.72			
AE-104	5.85	6.16	6.35	5.74	5.82	5.87	6.29	6.56	(6.32)	(6.37)	6.90	6.37	6.14	0.29			
AE-142	2.03	2.11	1.74	1.78	2.06	1.88	1.70	2.44	2.26	4.06	2.05	2.52	2.22	0.78			
AE-162	(4.32)	4.37	4.11	3.96	4.01	(4.19)	(4.16)	(4.33)	(4.46)	4.77	4.21	4.58	4.29	0.25			

Table 2-5 Chemical Analysis Data

Chemical Analysis Data

(1982)

Sample No.	Well No.	PH	EC Umhos/cm 25°C	Cations, me/L					Anions, me/L				
				Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Total	CO ₃ ⁼⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼	Total
1	JA-1	7.0	1,006	4.35	0.11	1.10	4.10	9.66	0.6	2.80	4.25	1.66	9.31
2	JA-2	7.4	367	1.74	0.06	—	2.50	3.74	0.6	1.45	1.10	0.16	3.31
3	JA-3	7.6	518	1.55	0.07	0.40	2.80	4.83	—	2.30	1.80	0.66	4.76
4	JA-4	7.7	489	1.30	0.07	0.20	3.45	5.02	0.6	2.30	1.30	0.42	4.62
5	JA-5	7.45	413	1.30	0.07	0.20	2.90	4.48	0.4	1.85	1.25	0.42	3.92

(1985)

Sample No.	Well No.	PH	EC Umhos/cm 25°C	Cations, me/L					Anions, me/L				
				Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Total	CO ₃ ⁼⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼	Total
1	JA-1	8.1	953	4.78	0.08	1.70	3.10	9.66	—	3.40	4.40	1.66	9.46
2	JA-2	7.9	379	1.35	0.04	0.26	2.14	3.84	—	2.30	1.20	0.16	3.66
3	JA-3	8.0	440	1.65	0.05	0.27	2.43	4.40	—	2.40	1.40	0.42	4.22
4	JA-4	8.0	562	2.22	0.05	0.55	3.05	5.87	—	2.80	2.05	0.66	5.51
5	JA-5	8.15	391	1.44	0.05	0.55	2.15	4.19	—	2.30	1.15	0.66	4.11
6	JA-6	8.05	367	1.27	0.10	1.48	0.97	3.82	—	2.30	0.60	0.66	3.56
7	OA-2	7.95	1,002	4.05	0.08	1.18	4.57	9.88	—	2.50	6.20	1.16	9.86
8	EA-1	7.90	416	1.99	0.06	0.58	1.57	4.22	—	2.40	1.75	—	4.15
9	MSI-26	8.15	623	2.93	0.06	1.07	2.48	6.54	—	3.50	2.35	0.66	6.51
10	AE-49	8.10	1,063	6.11	0.06	2.60	2.90	11.67	—	4.20	3.35	3.91	11.46
11	AE-62	8.05	966	3.15	0.08	1.05	5.65	9.93	—	2.80	5.20	1.91	9.91
12	AE-91	8.35	831	4.52	0.08	0.53	3.67	8.80	—	5.20	2.45	0.99	8.64
13	AE-93	8.05	1,467	10.67	0.09	1.05	3.60	15.43	—	2.40	11.40	0.99	14.74
14	AE-101	8.10	2,078	8.04	0.09	2.60	13.35	24.08	—	3.10	13.90	7.33	24.33
15	AE-2	8.15	574	2.37	0.08	1.05	2.20	5.70	—	2.60	3.05	—	5.65

Note: Analyzed by Ruma's Agricultural Research Station

Table 2-6 Water Level Fluctuation and Change of Storage

Water Level Fluctuation and Change of Storage

	1974 ~1975	1975 ~1976	1976 ~1977	1977 ~1978	1978 ~1979	1979 ~1980	1980 ~1981	1981 ~1982	1982 ~1983	1983 ~1984	Average 1974~1984
OA-2	+0.34	+0.10	-0.02	+0.28	-0.33	+0.19	-0.22	-0.01	-0.09	-0.02	
EA-1	+0.03	+2.02	+0.95	-0.27	-1.66	+0.46	+0.80	-3.55	+0.93	+0.20	
WSI-26	+0.15	+0.58	+0.27	-0.05	-0.46	+1.17	-1.70	-0.39	-0.28	-0.54	
AE-61	-0.05	+0.31	+0.08	+0.92	-0.98	+0.08	-0.38	-0.32	-0.01	-0.52	
AE-62	+0.38	-0.16	+0.34	+0.28	-0.36	+0.03	-0.46	-0.80	+0.19	+0.31	
AE-91	+0.49	+0.59	+0.42	-0.01	-0.82	+0.11	-0.82	-0.24	-0.91	-0.84	
AE-93	+0.07	+0.43	+0.09	-0.14	-0.19	+0.06	-0.33	+0.10	-0.45	-0.14	
AE-99	+0.09	+0.30	-0.02	+0.07	-0.15	+0.04	-0.16	+0.13	-0.02	+0.03	
AE-101	-0.11	+0.71	+0.25	-0.19	-0.31	+0.31	-0.68	-0.73	+2.06	-2.22	
AE-104	-0.31	-0.19	+0.61	-0.08	-0.05	-0.42	-0.27	+0.24	-0.05	+0.37	
AE-142	-0.08	+0.37	-0.04	-0.28	+0.18	+0.18	-0.74	+0.18	-1.80	+2.01	
AE-162	-0.05	+0.26	-0.15	-0.05	-0.18	+0.03	-0.17	-0.13	-0.31	+0.56	
Average (mm)	+0.11	+0.43	+0.23	+0.04	-0.44	+0.18	-0.43	-0.49	+0.01	-0.07	-0.04
Change of Storage (MCM/yr)	+1.88 (+2.51)	+10.13	+5.42	+0.94	-10.36	+4.24	-10.13	-11.64	+0.24	-1.65	-1.02

TABLE 2-7 UNIT IRRIGATION WATER SUPPLY REQUIREMENT BY CROPS

Average Monthly Water Supply Requirement per Hectar by Crops

(Unit: cu.m/ha)

Month	Vegetable										Fruit Crop					Feed Crop	
	Onion	Garlic	Tomato	Potato	Okra	Others	Average	Dates	Lime	Banana	Mango	Average	Alfalfa	Sorghum	Average		
	96ha	25ha	16ha	15ha	8ha	23ha	183ha	1,820ha	309ha	128ha	83ha	2,340ha	211ha	101ha	312ha		
Jan.	720	1,332	1,428	2,358		1,440	1,059	1,142	815	1,548	1,181	1,122	1,421	1,694	1,509		
Feb.		983	1,383	937	105	995	462	779	420	1,207	806	756	1,081	880	1,016		
Mar.		2,138	2,290		1,875	788	673	1,829	1,291	2,481	1,893	1,796	2,278	776	1,792		
Apr.		2,356	2,366		2,941		657	2,328	1,677	3,149	2,408	2,290	2,902		1,963		
May		1,206	1,585		3,947		476	3,359	2,465	4,477	3,475	3,306	4,143		2,802		
Jun.					2,835		124	3,228	2,385	4,293	3,339	3,179	3,963		2,680		
Jul.								3,116	2,302	4,144	3,223	3,069	3,826		2,587		
Aug.								2,940	2,173	3,911	3,042	2,895	3,610		2,441		
Sep.	395	677	388				334	2,675	1,977	3,559	2,767	2,634	3,285		2,222		
Oct.	1,274	1,525	313				904	2,139	1,559	2,856	2,213	2,104	2,628	531	1,949		
Nov.	1,489	1,457	942	949			837	1,439	1,068	1,939	1,489	1,419	1,785	1,246	1,611		
Dec.	1,276	1,249	899	1,821			1,175	1,146	820	1,553	1,186	1,127	1,425	1,699	1,514		
Total	5,154	12,923	11,594	6,066	11,704	5,236	7,151	26,120	18,951	35,117	27,021	25,697	32,348	6,825	24,086		

Table 2-8 Water Quality Analysis

Results of Water Quality Analysis

Sampling site : Sohar
 Laboratory : Rumais Agricultural Research Station
 Analyzed date : 24/March, 1982

Sample	PH	EC µmhos/cm at 25°C	T.S.S.	Cations, me/l							Total			
				Na	K	Ca	Mg	Total	S.A.R.	CO ₃		HCO ₃	Cl	SO ₄
JA-1	7.0	1,005.9	643.8	4.35	0.11	1.10	4.10	9.66	2.70	0.60	2.80	4.25	1.66	9.31
JA-2	7.4	367.0	234.9	1.17	0.06	-	2.50	3.73	1.05	0.60	1.45	1.10	0.16	3.31
JA-3	7.6	518.0	331.5	1.55	0.07	0.40	2.80	4.82	1.23	-	2.30	1.80	0.66	4.76
JA-4	7.7	489.4	313.2	1.30	0.07	0.20	3.45	5.02	0.97	0.60	2.30	1.30	0.42	4.62
JA-5	7.5	413.3	264.5	1.30	0.07	0.20	2.90	4.47	1.05	0.40	1.85	1.25	0.42	3.92
Average	7.4	558.7	357.6	1.93	0.08	0.38	3.15	5.54	1.40	0.55	2.14	1.94	0.66	5.18

FIGURE 2-1 SEASONAL VARIATION OF RAINFALL, TEMPERATURE, RELATIVE HUMIDITY AND PAN-EVAPORATION

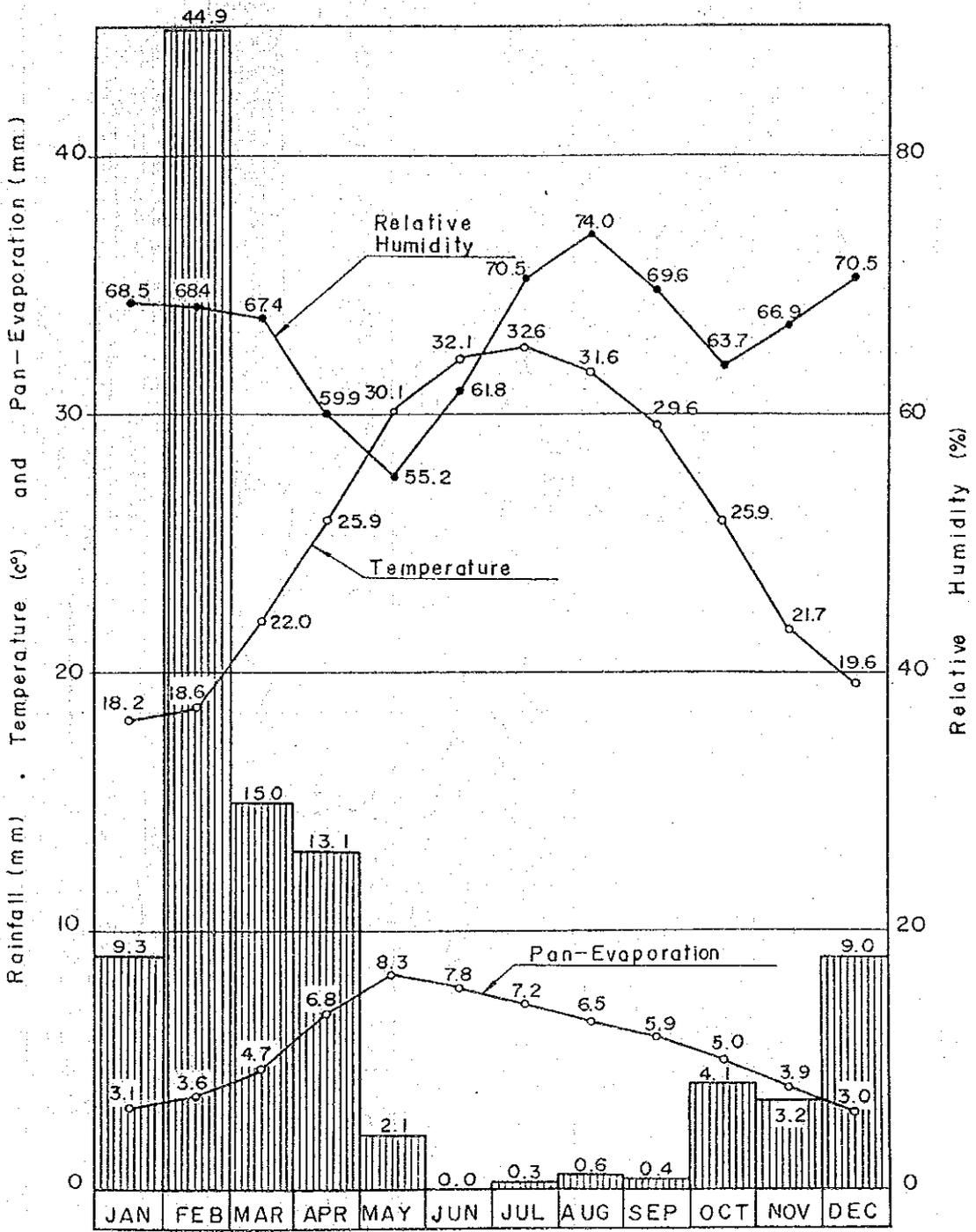


FIGURE 2-2 HYDROLOGICAL MAP

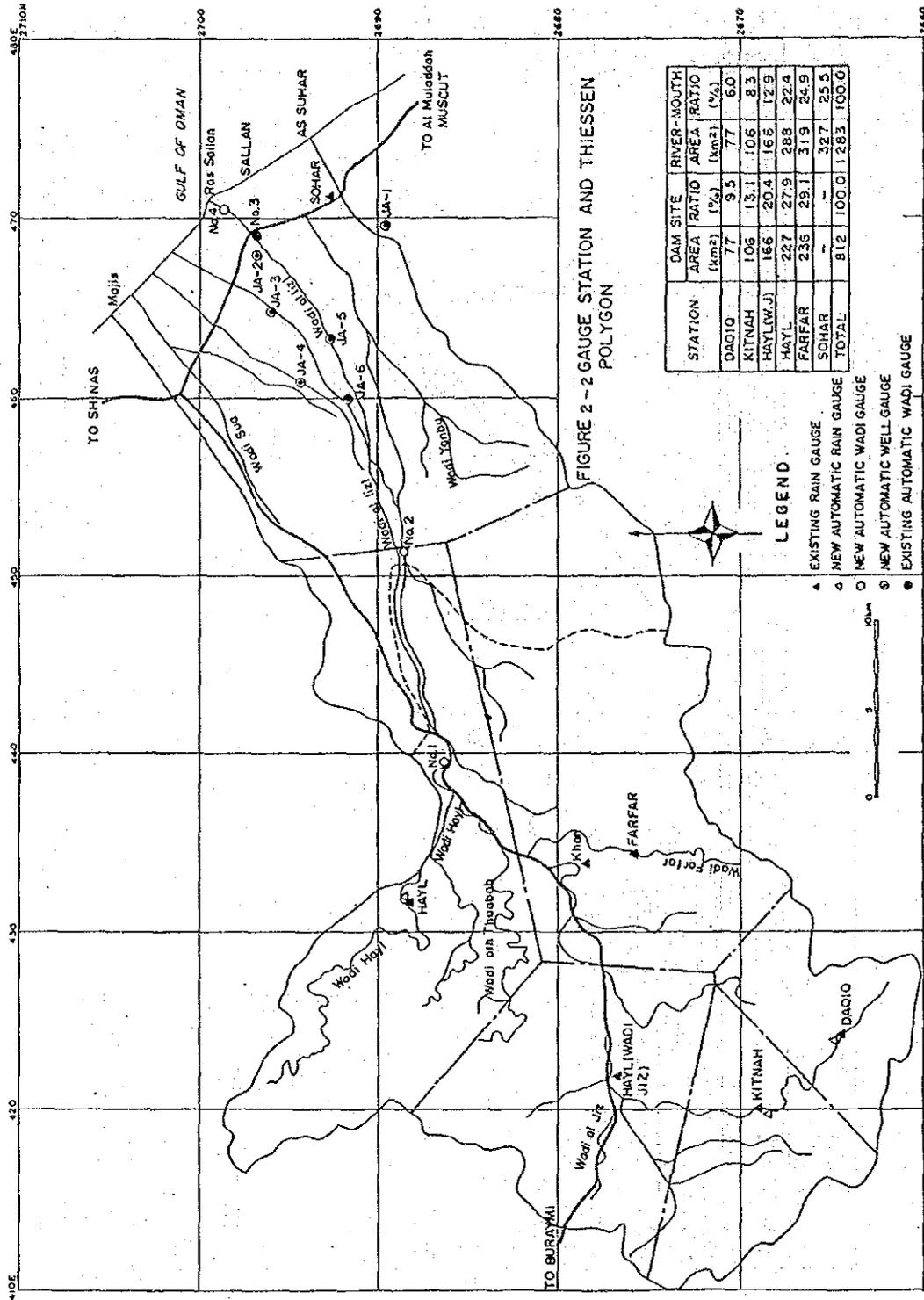


FIGURE 2-2 GAUGE STATION AND THIESSEN POLYGON

FIGURE 2-3 BASE-FLOW DISCHARGE AT MULAYYNAH

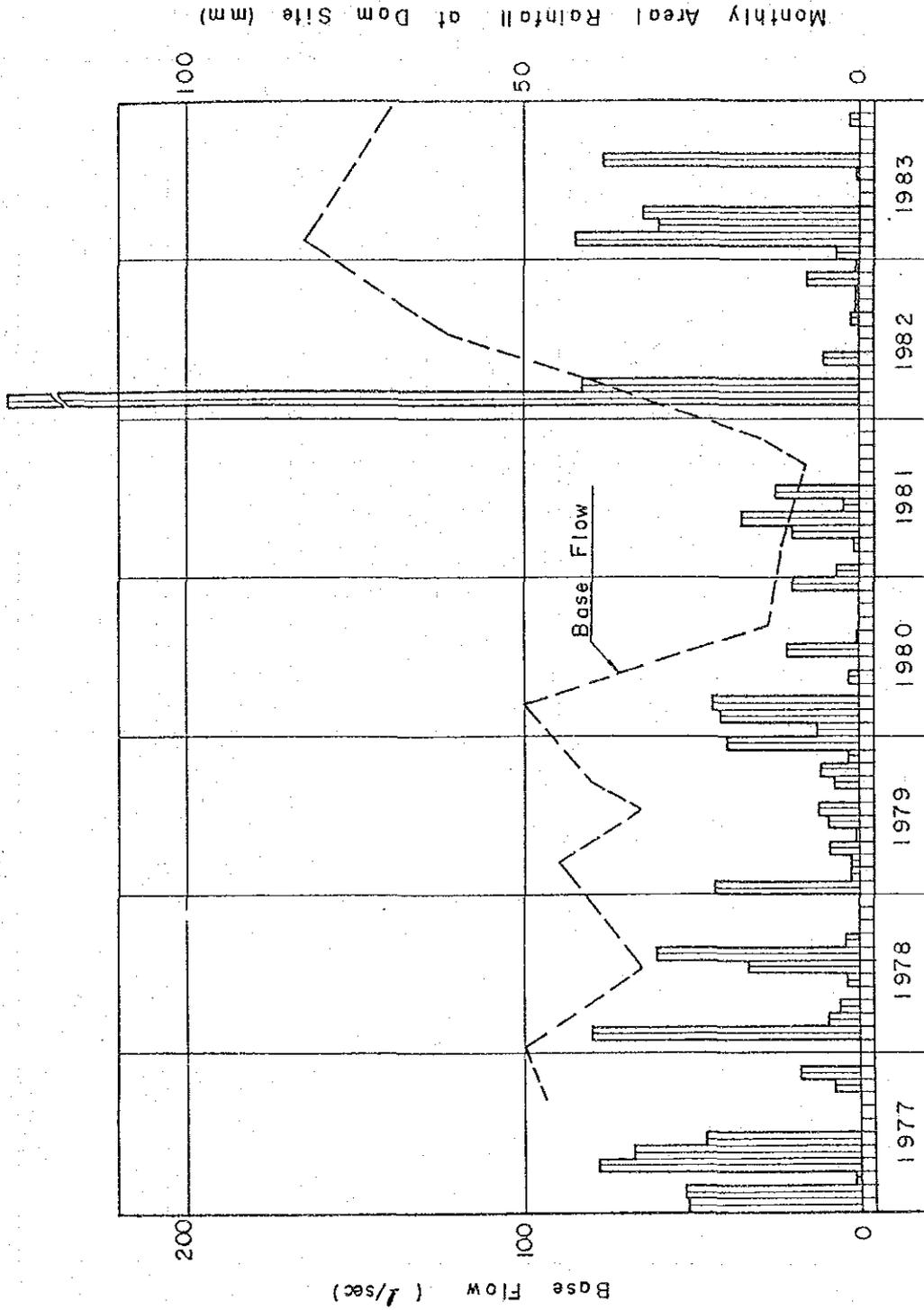


Figure 2-4 Rainfall-Runoff Relation at Dam Site

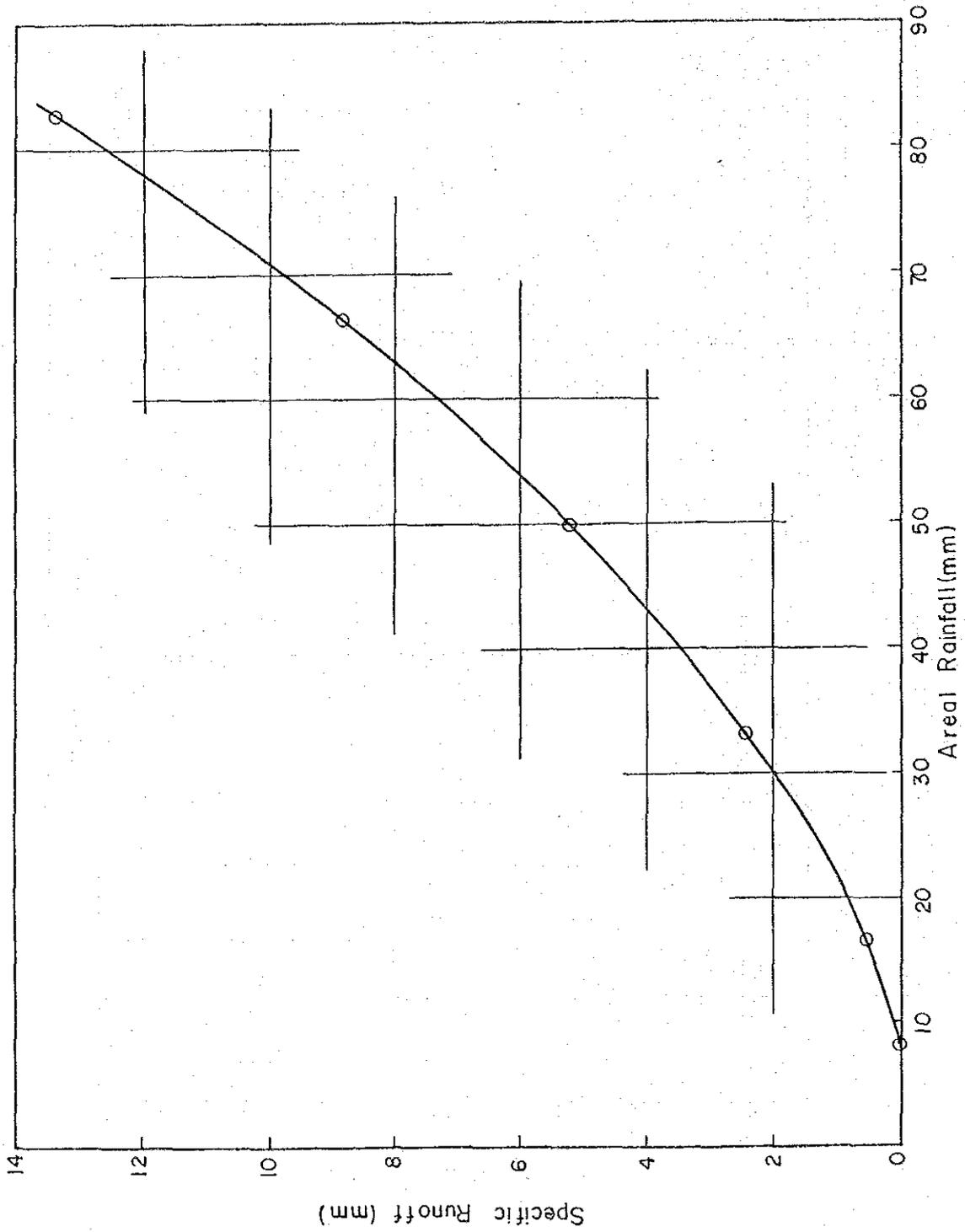


Figure 2-5 Rainfall-Runoff Relation at River Mouth

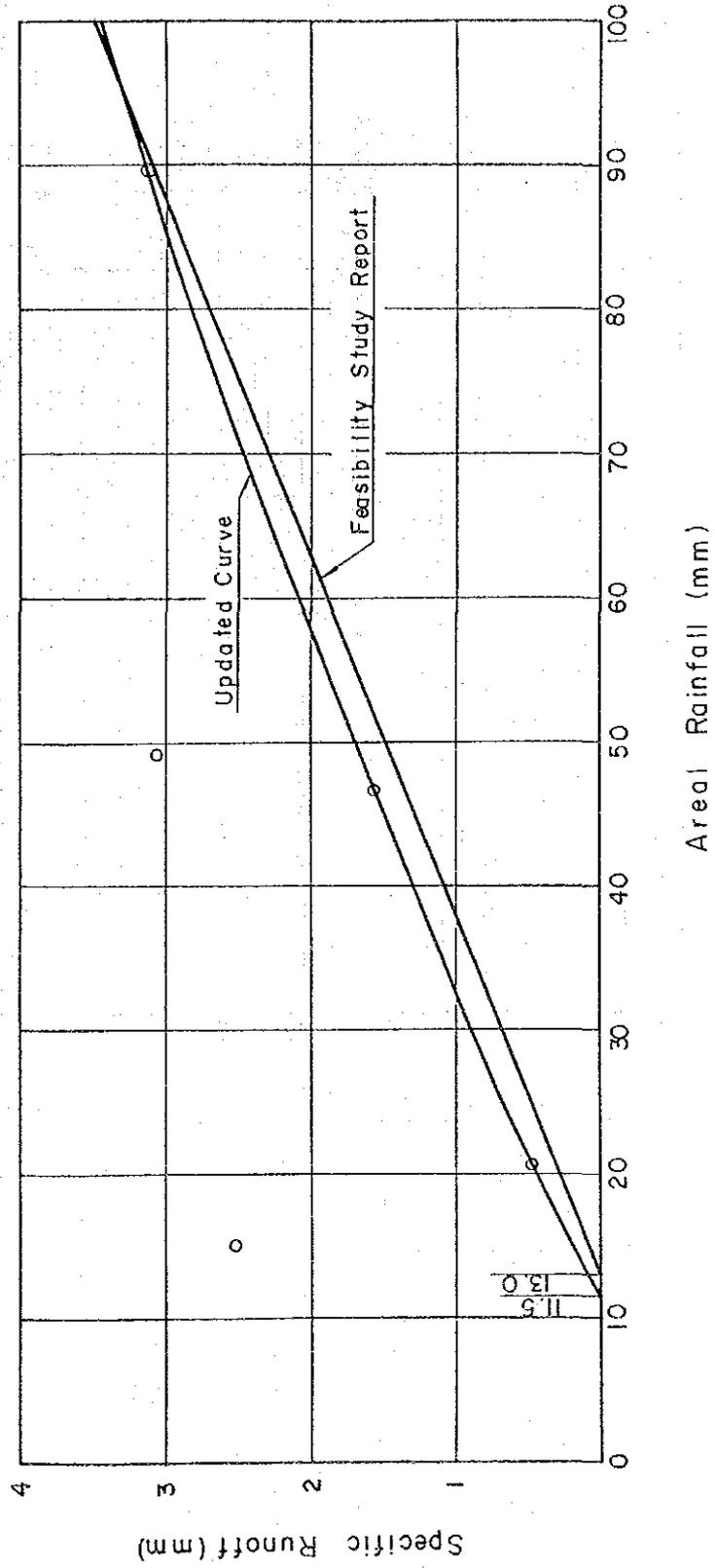


Figure 2-6 Frequency Analysis on Flood Hight

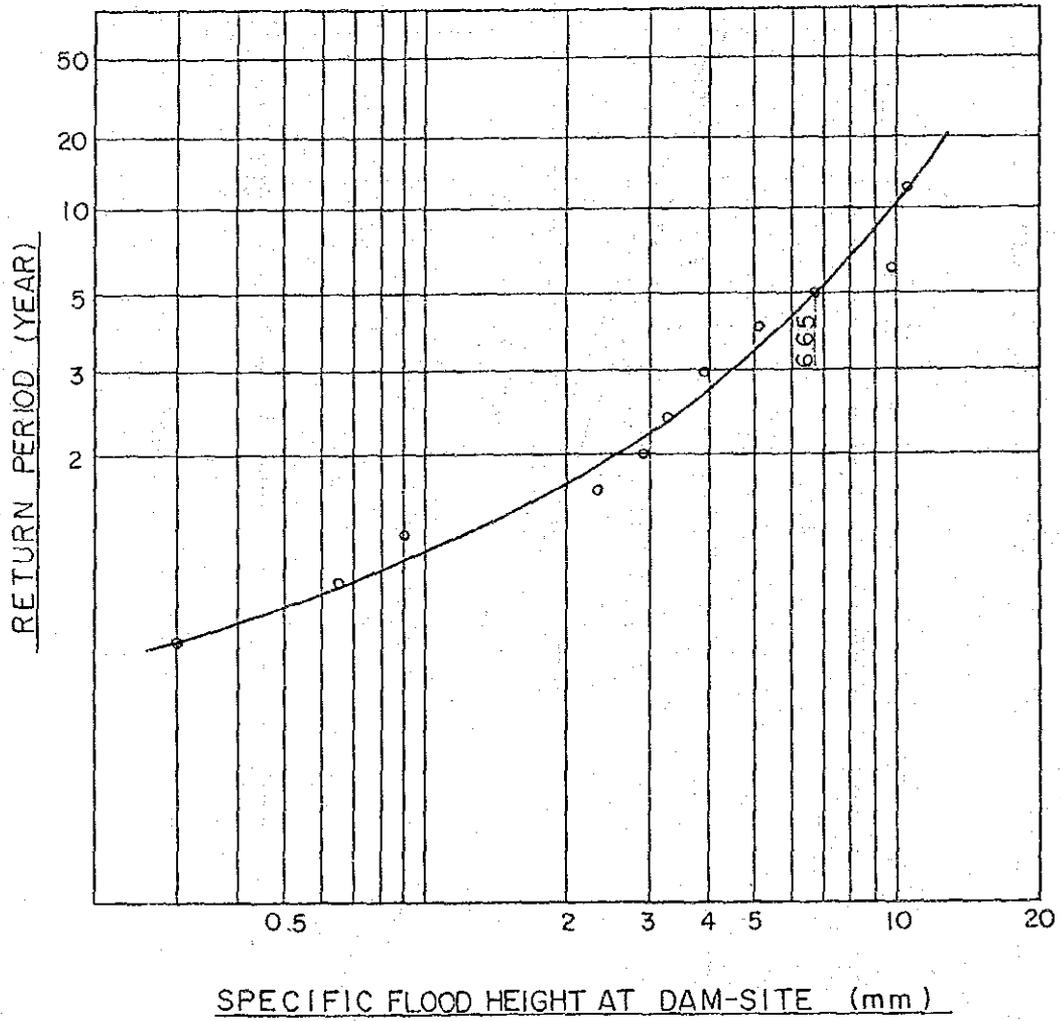


Figure 2-7 Observed Flood in February 1982

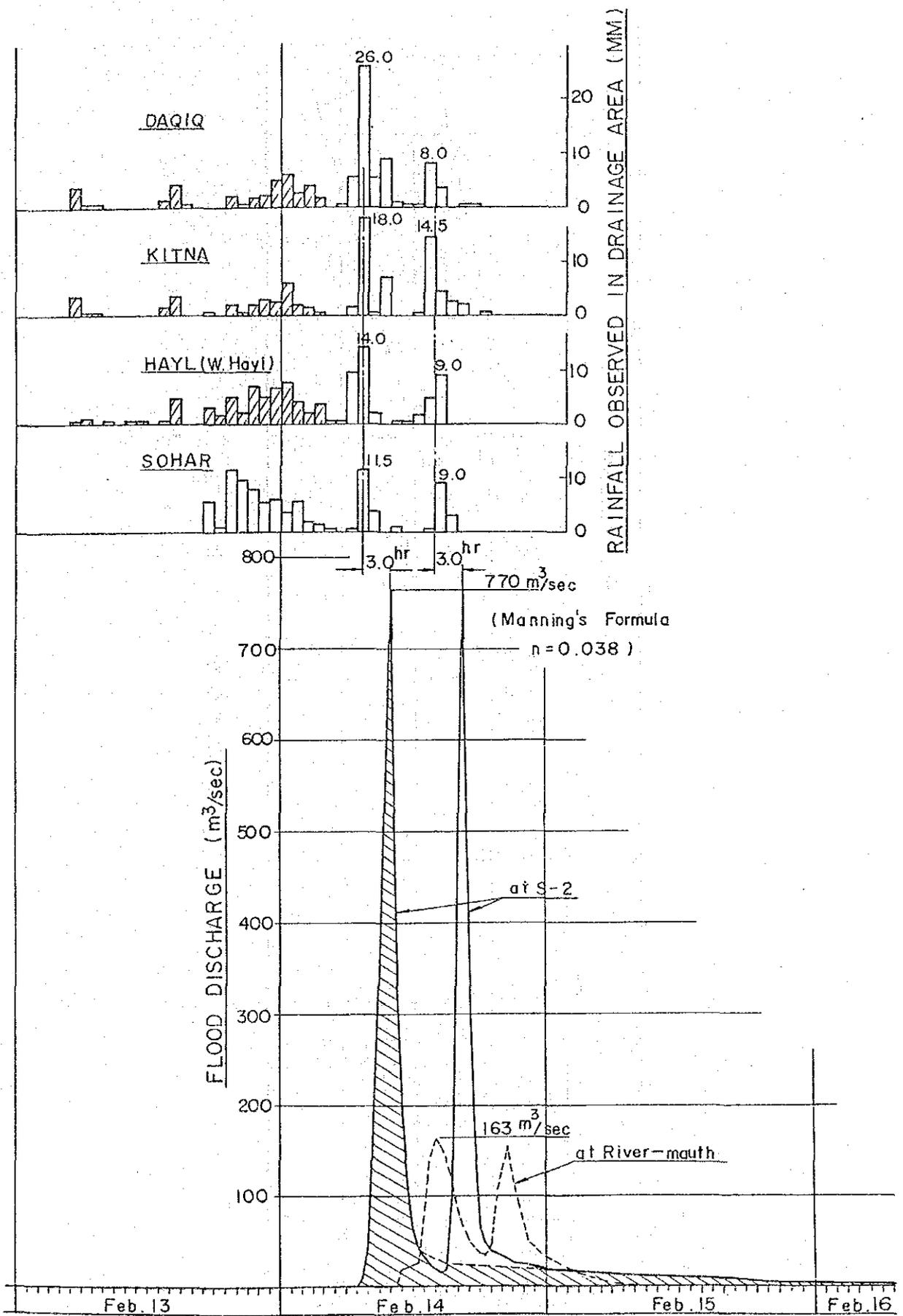


Figure 2-8 Envelope Curves for Maximum Rainfalls

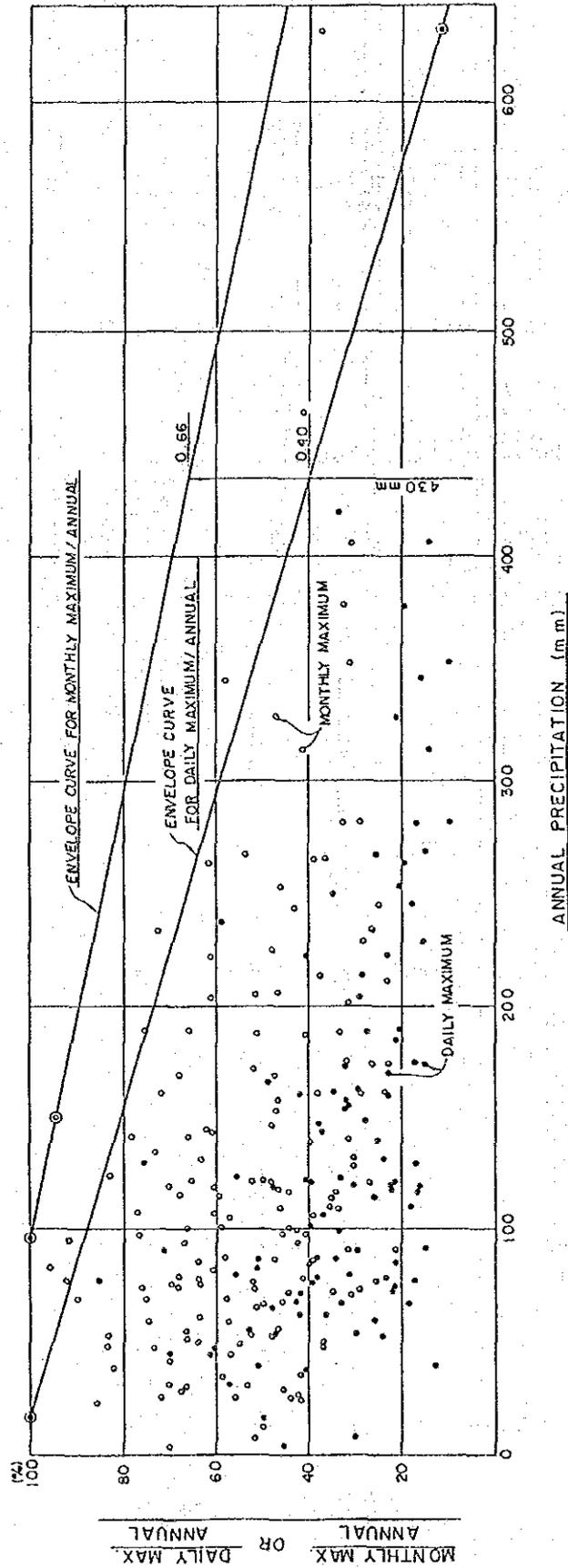


Figure 2-9 Location of Wadis and Rain Gauges

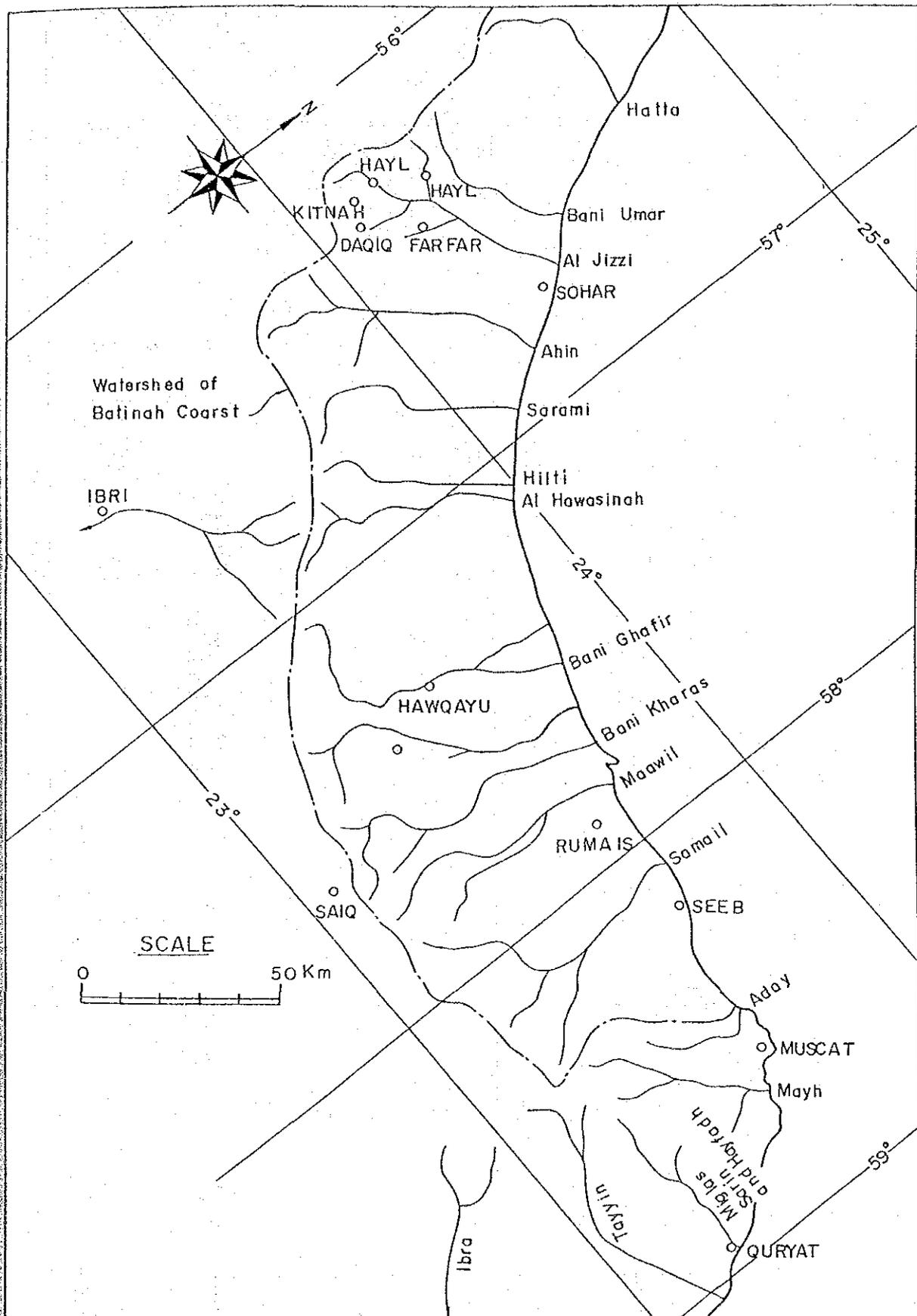


Figure 2-10 Deviation Values of Well Water Level

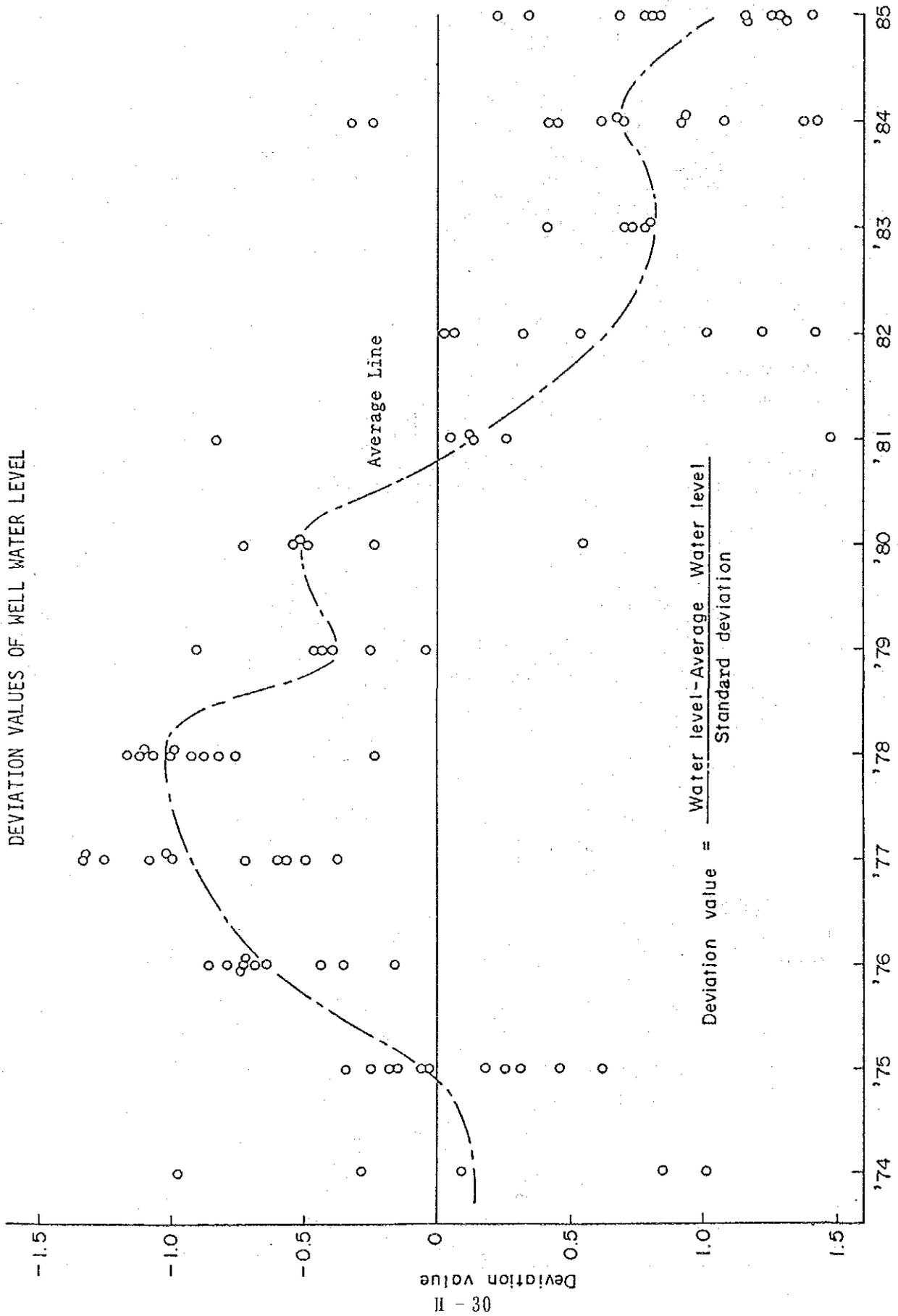
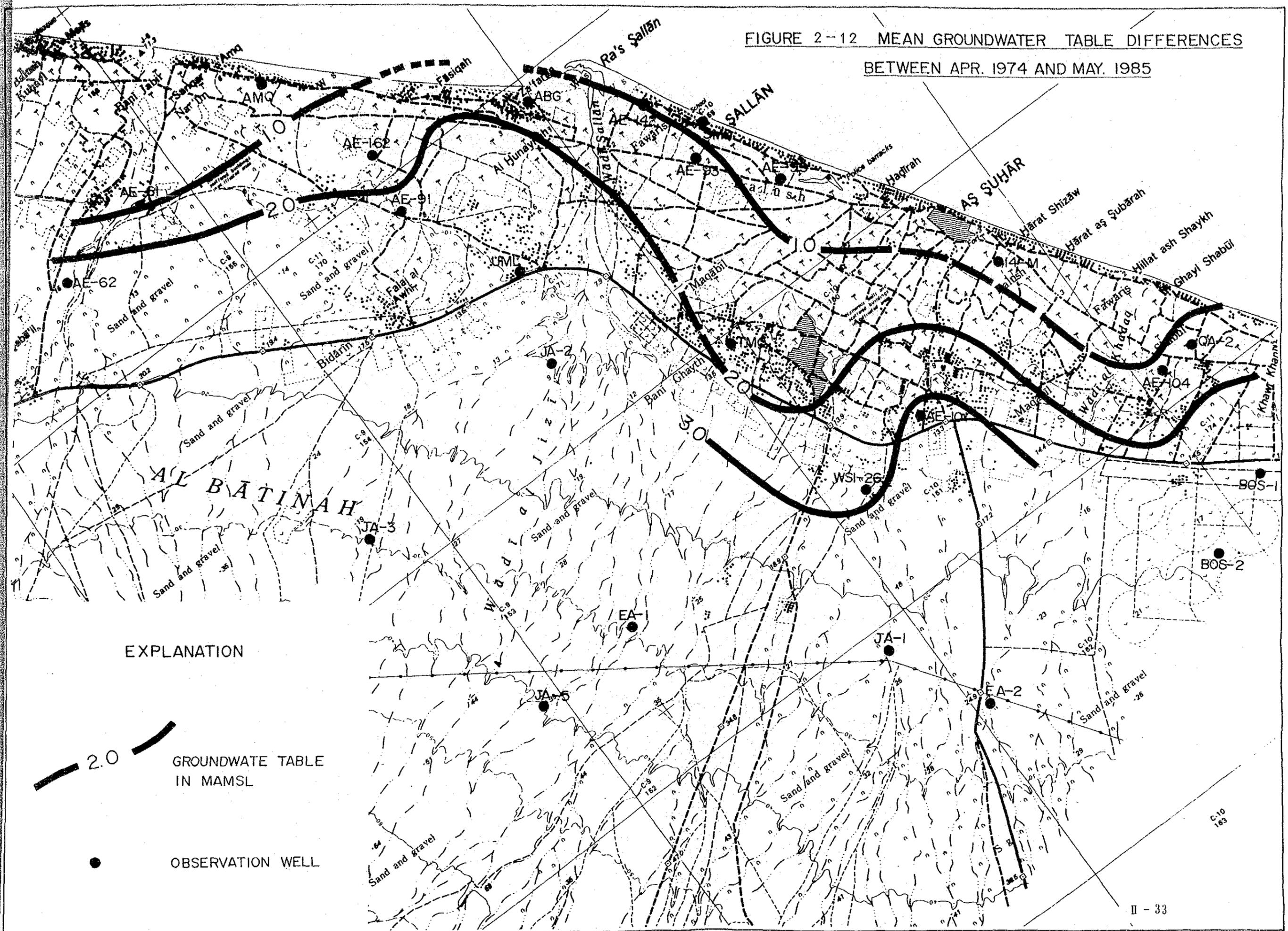


FIGURE 2-12 MEAN GROUNDWATER TABLE DIFFERENCES
 BETWEEN APR. 1974 AND MAY, 1985



EXPLANATION

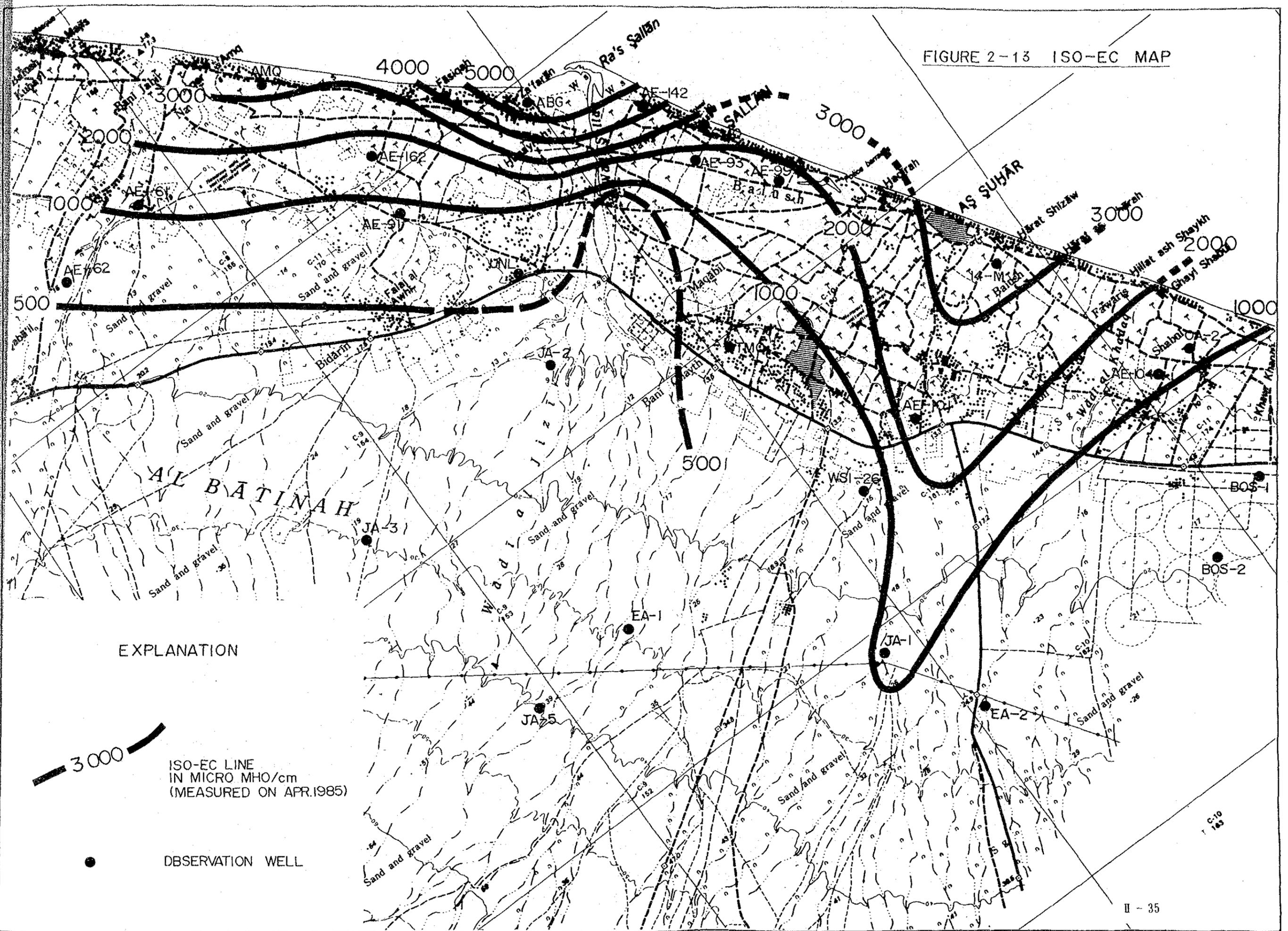
2.0

GROUNDWATER TABLE
 IN MAMSL

●

OBSERVATION WELL

FIGURE 2-13 ISO-EC MAP



EXPLANATION

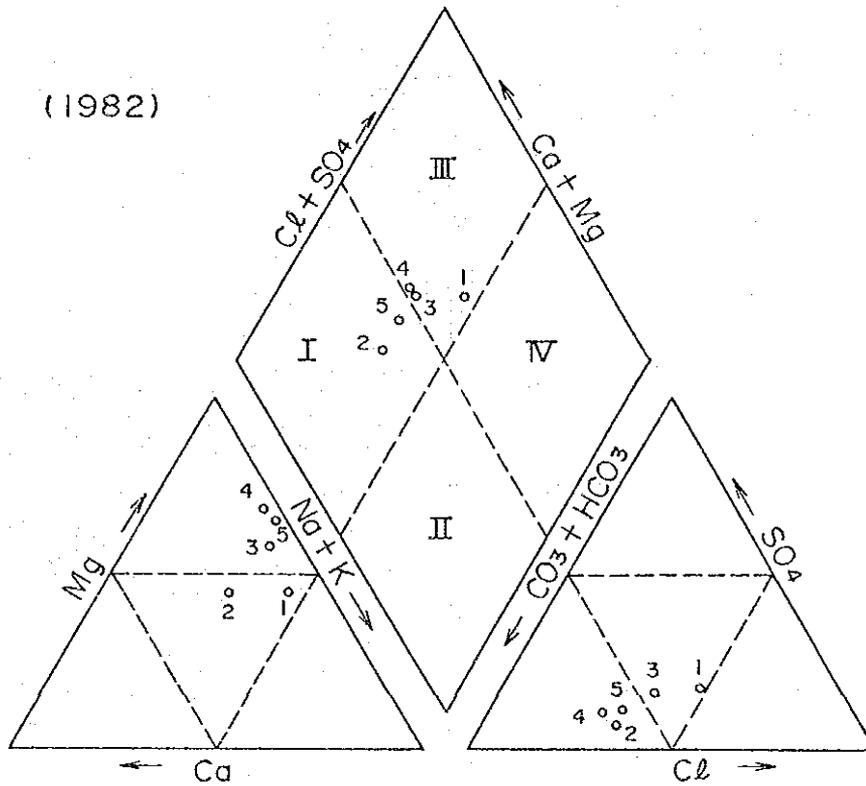
3000

ISO-EC LINE
IN MICRO MHO/cm
(MEASURED ON APR.1985)

● OBSERVATION WELL

FIGURU 2-14 WATER ANALYSIS DIAGRM

(1982)



(1985)

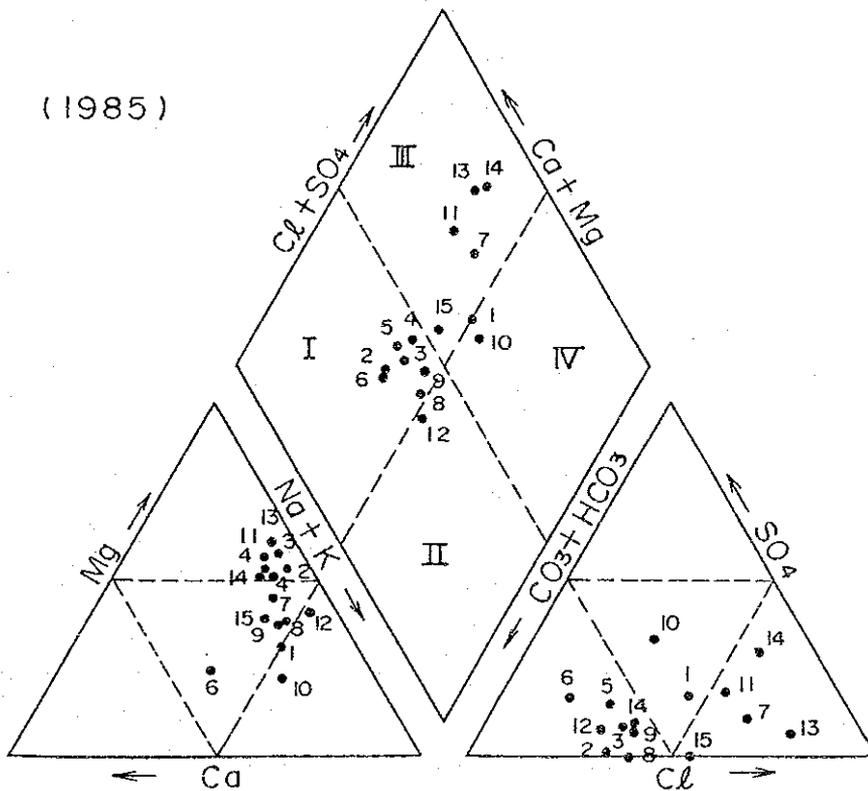


Figure 2-15. Change of Storage

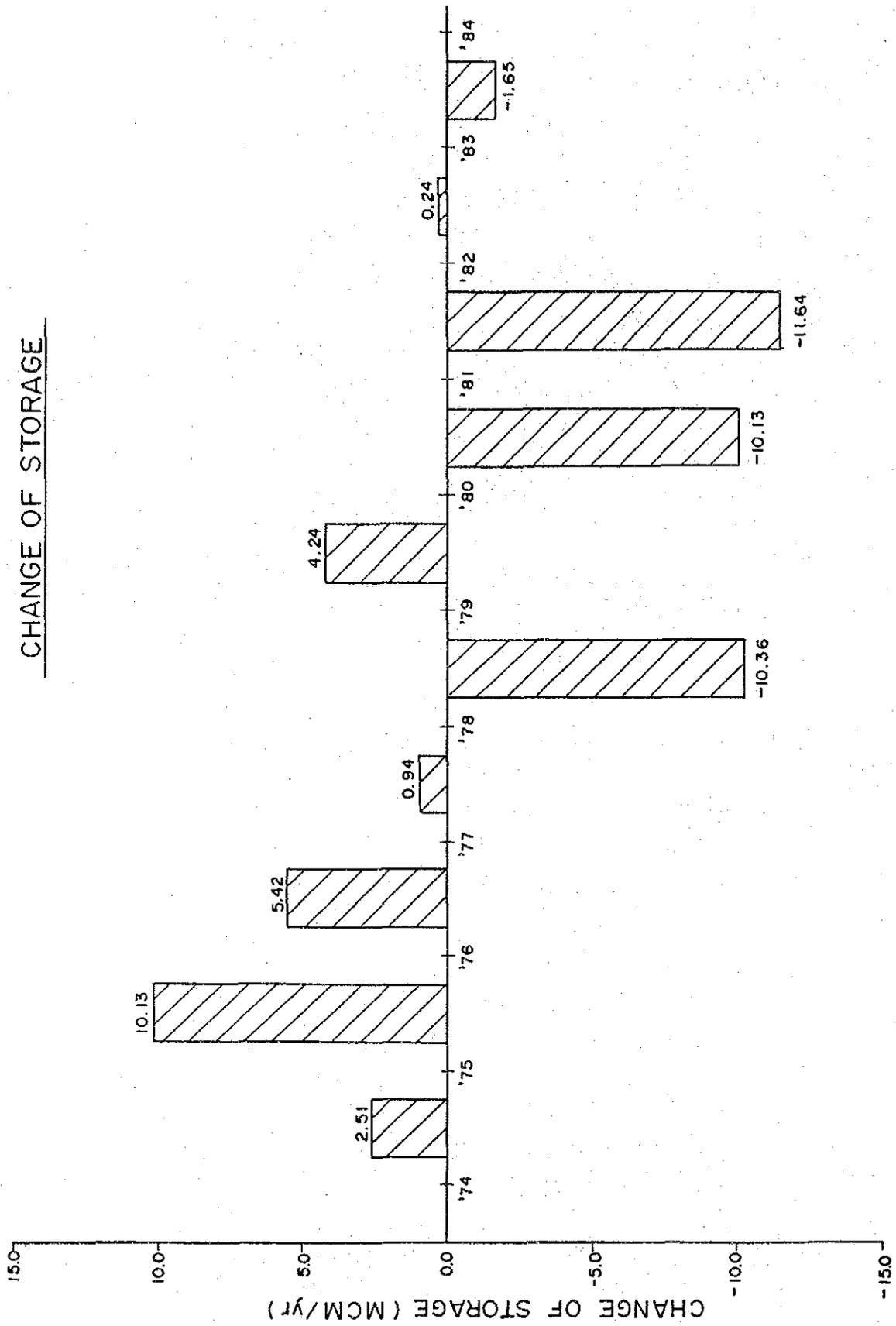
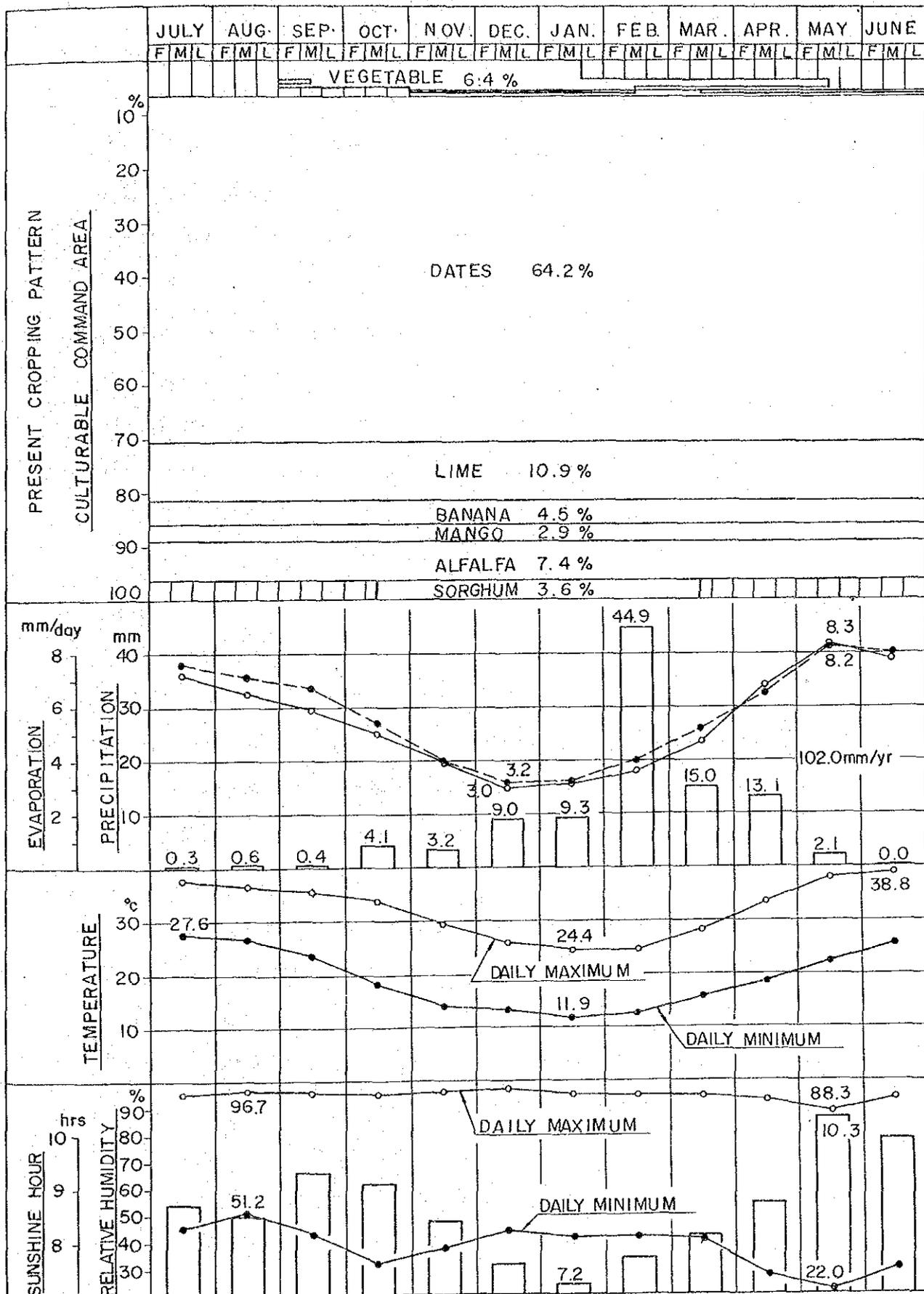


FIGURE 2-16 PRESENT CROPPING PATTERN



第 3 章 事業計画

3.1 事業のコンポーネント

この事業のコンポーネントはワジジジ抑留ダム及び拡散施設によって水資源開発を図ること及びこの抑留ダムによる地下水かん養とワジジジ平原の地下水の変動を明確にすることである。

抑留ダムとモニタリングには次の施設を含む。

- ・ 抑留ダム
- ・ 余水吐（非常用施設を含む）
- ・ 放流施設（非常用を含む）
- ・ 拡散施設
- ・ 自記水位計
- ・ 地下水観測施設

3.2 水資源開発計画

3.2.1 開発計画

水資源開発の基本概念は、D-2 調査地点に抑留ダムを建設することにより表面水の沖積帯水層への地下水涵養を促進することである。

1) 表面水

a) 計画洪水量

5年確率の一山降雨による単一洪水量を計画洪水量と定義し、確率計算より 5,400千 m^3 とする。

b) 貯水池容量

貯水池は単一洪水量を貯水・抑留するためのものであり、その容量は一般的には貯水池への流入・流出の水収支解析に基づいて決定される。しかしながら本計画においては安全のために計画洪水量総量を貯水池容量とした。それ故、

5,400千 m^3 が最大貯水池容量となる。

c) 計画ピーク洪水量

国際大ダム会議のアメリカ合衆国委員会が1970年に発行した“洪水吐容量決定のための基準と実績”によれば、最大可能洪水と計画基準洪水を以下のように定義している。

最大可能洪水(PMF)とはある特定の場所での極限的な降雨量と水文諸元の総合的な分析に基づく、理論的に可能な極限的な仮定の洪水量を定義し、計画基準洪水(SPF)はその流域における妥当な降雨の最も極限的な組合せによる集中的な流出を定義する。なお、同一流域で、かつ降雨の集中時間が4日間以内の場合、SPFはPMFの40%から60%に相当することが報告されている。

本計画においては、洪水吐の設計洪水量は2.2.4で前述した最大可能洪水量の60%を採用する。なお、本計画の重要性に鑑み、極限安全洪水量として最大可能洪水量の100%を定義することがオマーン国の要望により決定された。

$$\begin{aligned} \text{— 洪水吐設計洪水量} &= 7,800 \text{ m}^3 / \text{秒} \times 60\% \\ &= 4,680 \text{ m}^3 / \text{秒} \\ &\approx 4,700 \text{ m}^3 / \text{秒} \\ \text{— 極限安全洪水量} &= 7,800 \text{ m}^3 / \text{秒} \end{aligned}$$

d) 年間流入量

2.1.4及び表2-2に示すとおりである。

e) 放流管による放流量

放流管による放流量は下流地域での最大可能浸透能を超過しないように設定されなければならない。この観点から最大放流量は13m³/秒と決定された。このため径1,500mmのスチールパイプがダム堤体に埋設される。放流管はゲート操作なしの自然調節方式で設計される。

貯水量の放流に要する時間は図3-1に示すとおりであり、満水量から出発して7日間以内で全放流を終了する。

3.2.2 流域の水収支

(1) 現況水収支

流域の現況水収支状況は図3-2に示すとおりである。図中の各項目につき、以下に簡単な説明を加える。

項 目	説 明
1	ダム地点における年平均降雨量
2	総雨水量 = $128\text{mm}/\text{年} \times 812\text{km}^2 = 103,940\text{千m}^3/\text{年}$
3	フェラジ使用量 = $0.12\text{リッター}/\text{秒}/\text{km}^2 \times 812\text{km}^2$ = $3,070\text{千m}^3/\text{年}$
4	基底流出 = $0.13\text{リッター}/\text{秒}/\text{km}^2 \times 812\text{km}^2$ = $3,330\text{千m}^3/\text{年}$
5	ダム地点表面流出量 (表2-2参照)
6	蒸発散損失 = $2 - (3 + 4 + 5)$
7	ダム地点下流域の面積雨量
8	同上総雨水量 = $110\text{mm}/\text{年} \times 471\text{km}^2 = 51,810\text{千m}^3/\text{年}$
9	地下浸透がない場合のダム下流域の表面流出量 = 地下浸透がない場合の河口地点流出量 - 5 = $9,940 - 6,630 = 3,310\text{千m}^3/\text{年}$
10	雨水の地下への直接涵養量 = $7.9\text{mm}/\text{年} \times 471\text{km}^2 = 3,720\text{千m}^3/\text{年}$
11	河口地点表面流出量 (表2-3参照)
12	表面水からの地下涵養量 = $5 + 9 - 11$
13	現況地下水収支不均衡分 (地下水貯留減少量) (2.37)
14	地下水の海への無効放流量 (2.38)参照
15	かんがい必要水量
16	有効雨量 (ただし, かんがい必要水量計算に考慮済み)
17	現況上水道補給水量
18	地下水揚水量 = $15 + 17$
19	蒸発散損失 = $8 - (9 + 10 + 16)$

(2) 計画水収支 (1987年時点)

1987年時点のワジ・カダクからマジスまでの計画地区で予定される上水道補給水量は、以下のとおり 950千 m^3 /年と見込まれている。

- 総人口 : 20,800人
- 一人当り消費水量 : 100リッター/日
- 総需要量 : 950千 m^3 /年
- 現況補給水量 : 200千 m^3 /年
- 必要補給水量 (増加分) : 750千 m^3 /年

(注) ただし需要量には25%の水量損失を計上する。また、地区の人口は1978/79農業センサスによれば16,000人であり、年率3%の人口増が見込まれている。

工業用水需要量については、ソハール銅鋳業がワジ・ジジ流域内2ヶ所で地下水を揚水しており、年間総揚水量は310千 m^3 と推定されている。

$$70 m^3 / \text{時} \times 12 \text{時間} \times 365 \text{日} = 310 \text{千} m^3 / \text{年}$$

上記の諸数値より、1987年時点の流域の水収支状況は図3-3に示すとおりとなる。なお、図中の各項目につき、以下に簡単な説明を加える。

項目	説明
1	ダム地点における年平均降雨量
2	総雨量 = $128 \text{mm} / \text{年} \times 812 \text{km}^2 = 103,940 \text{千} m^3 / \text{年}$
3	$0.12 \text{リッター} / \text{秒} / \text{km}^2 \times 812 \text{km}^2 = 3,070 \text{千} m^3 / \text{年}$
4	$0.13 \text{リッター} / \text{秒} / \text{km}^2 \times 812 \text{km}^2 = 3,330 \text{千} m^3 / \text{年}$
5	ダム地点表面流出量 (表2-2参照)
6	蒸発散損失 = $2 - (3 + 4 + 5)$
7	$6,630 - 730 = 5,900 \text{千} m^3 / \text{年}$ (項目8参照)

項目	説明																											
8	ダムからの無効放流量 (ダム容量 5,400千 m^3)																											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">生起月日</th> <th colspan="2">洪水流出量</th> <th>無効放流</th> </tr> <tr> <th>mm</th> <th>千m^3</th> <th>千m^3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1976年2月</td> <td>8.60</td> <td>7,000</td> <td>1,600</td> </tr> <tr> <td>1976年3月</td> <td>9.85</td> <td>8,000</td> <td>2,600</td> </tr> <tr> <td>1982年2月</td> <td>10.50</td> <td>8,500</td> <td>3,100</td> </tr> <tr> <td>計</td> <td></td> <td></td> <td>7,300</td> </tr> <tr> <td>平均</td> <td></td> <td></td> <td>730</td> </tr> </tbody> </table>	生起月日	洪水流出量		無効放流	mm	千 m^3	千 m^3	1976年2月	8.60	7,000	1,600	1976年3月	9.85	8,000	2,600	1982年2月	10.50	8,500	3,100	計			7,300	平均			730
生起月日	洪水流出量		無効放流																									
	mm	千 m^3	千 m^3																									
1976年2月	8.60	7,000	1,600																									
1976年3月	9.85	8,000	2,600																									
1982年2月	10.50	8,500	3,100																									
計			7,300																									
平均			730																									
9	ダム地点下流域年平均降雨量																											
10	同上総雨水量 = $110\text{mm}/\text{年} \times 471\text{km}^2 = 51,810\text{千}m^3/\text{年}$																											
11	$9,940 - 6,630 = 3,310\text{千}m^3/\text{年}$																											
12	$7.9\text{mm}/\text{年} \times 471\text{km}^2 = 3,720\text{千}m^3/\text{年}$																											
13	ダム建設により、河川表流水の海への無効放流はなくなるものと期待される。																											
14	$8 + 11 - 13 = 4,040\text{千}m^3/\text{年}$																											
15	現況地下水収支不均衡分は計画によりカバーされる。																											
16	(2.37) 参照)																											
17	(2.38) 参照)																											
18	かんがい必要水量																											
19	有効雨量																											
20	現況上水道補給水量																											
21	同上、計画時点における増分 = $950 - 200 = 750\text{千}m^3/\text{年}$																											
22	工業用水必要水量																											
23	不特定目的地下水開発可能量																											
	$= 13,680 - (11,030 + 200 + 750 + 310) = 1,390\text{千}m^3/\text{年}$																											
24	地下水揚水可能量 = $(4 + 7 + 12 + 14) - 17$																											
	$= 3,330 + 5,900 + 3,720 + 4,040 - 3,310 = 13,680\text{千}m^3/\text{年}$																											
25	蒸発散損失 = $10 - (11 + 12 + 18)$																											

項 目	説 明
26	計画便益 = 16 + 21 + 22 + 23 = 1,020 + 750 + 310 + 1,390 = 3,470千m ³ /年

3.2.3 水配分

現況水収支解析，事業によって開発される地下水資源量，農業，上水道及び工業用水需要等に基づき，水配分計画は以下のように要約される。

- 地下水開発可能量	: (+) 3,470千m ³ /年
- 現況地下水収支不均衡分	: (-) 1,020
- 上水道補給水必要増分	: (-) 750
- 工業用水需要量	: (-) 310
- 不特定目的補給可能量	: (-) 1,390
- 水収支過不足量	: 0

3.3 モニタリングシステム

3.3.1 概要

地下水の安全利用可能量は，地下水盆の水収支的均衡を崩さずに経年的に揚水可能な水量と定義される。安全揚水量の決定は，現況もしくは将来時点での，流域に特有の地質・水文的条件によって左右され且つ，このような条件の変更は直接的に安全揚水量に影響を与える。例えば揚水量の位置的变化は地下水位に影響し，これはすなわち帯水層への流入・流出量の変更につながる。また土地利用の変更は，地下水涵養量の変化に密接な関連がある。したがって安全揚水量の想定は，各種条件の変更に応じて，きめ細かく検討がなされなければならない。

地下水資源の最大限に有効な利用を期待するために，モニタリングシステムを導入し，地下水収支に関する必要な情報・資料を収集・解析し，水資源の管理と行政に反映させることが重要となる。更に加えて，モニタリングシステムは事業によって期待される地下水開発可能量を検証する意味でも有用であろう。安全揚水量の決定には地下水域へ流入，流出する全ての水文要素を含む水収支の解析が必要とな

る。したがってモニタリングシステムは、以下に示す各項目をカバーするものでなければならない。

流入水：地表流入量＋地下流入量＋降雨量＋輸入水量＋地表貯留量減
＋地下貯留量減

流出水：地表流出量＋地下流出量＋消費水量＋輸水量＋地表貯留量増
＋地下貯留量増

よってモニタリングシステムは、施設として次のようなものが要求される。

- (1) 降雨量，蒸発散量，地表流出量，貯水量等の表面水文要素を測定し収集するための施設
- (2) 地下水涵養の機能及び状況，水質を評価するための，地下水位・水質を監視するための施設

地下水管理行政は農漁省により実施されることになるが，一般的な意味で地下水管理と監視の概要を図3-4に示す。また以下に各項目についての概要を述べる。概要を述べる。

- 1 : 計画地区内において新規に井戸を設置したり，既設の井戸施設諸元を変更しようとする者は，井戸の位置，深さ，ストレーナの深度，ポンプ能力，予定生産量等を明記した申請書を，60日前までに事務所に提出する。
- 2-4 : 事務所は申請書を検討し，必要ならば修正し，回答する。申請が受理された場合，地下水源の最適有効利用の観点から水位計や流量計の設置が義務付けられることもある。また，測定方法も統一されるべきである。
- 5-6 : 観測が義務づけられた井戸では，観測仕様に基づいた測定を行なう。事務所やその他の調査機関によって直接管理される観測井についても同様である。
- 7 : 観測項目は井戸の目的によって異なる。日常の揚水を行なわない観測井では静水位のみでよい。反面，日常の揚水を行なう井戸については，静水位，動水位及び水質の測定が必要となる。
- 8 : 測定の時間間隔については，1ヶ月に1回とする。水質の汚染がみられる場合は，それに応じて間隔を密にする必要がある。観測結果の精度を維持するために，事務所の職員が地区を巡回し，観測方法をチェックすること

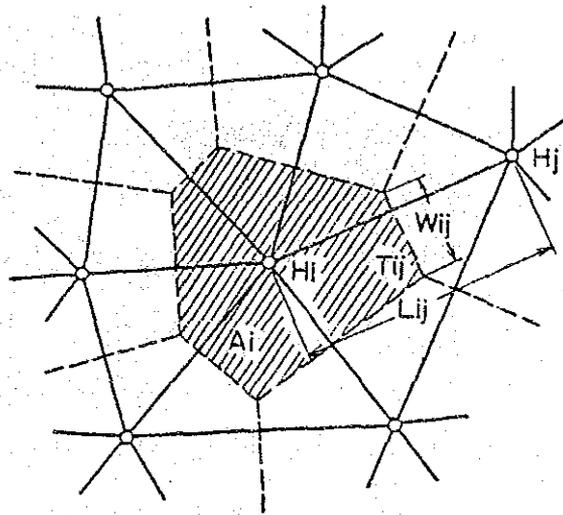
が望ましい。記録紙を交換するのも職員が行なうことが望ましい。

- 9 : 観測記録は早急に事務所に提出される。
- 10 : データは事務所の職員により整理・解析される。
- 11, 12 : 地下水源の最適利用を図るためには、井戸施設の管理のみでなく、地下水涵養機能を正確に把握するための、水文学的収支の数理解析が必要となる。よって事務所は降雨量、流量、浸透量、蒸発散量等の観測までカバーすることが必要となる。
- 13, 14 : 上記各種データは事務所によって解析される。これに基づいて農漁省は地下水位の年間変動、生産量、可能生産量、水質等に関する管理についての行政指導を行なう。調査によって得られた情報を公開するために、事務所は地下水年報や月報を発行することが望ましい。
- 15, 16 : 上記モニタリングシステム運営の経験と実績により、地下水生産と水質に関する許容限界値が定まってくるであろう。それら諸数値に基づき、必要な管理が実行されることになる。

3.3.2 地下水の電子計算機シミュレーションモデル

降雨と地下水の関係をシミュレーションするため、汎用電子計算機を利用して地下水盆の2次元拡散モデルを作成する。これにより所定の条件下での地下水の動向を解析し、予測することが可能となる。

まず、下図に示すように地下水流域を、各観測井を囲むような形で多角形に分割する。各多角形は単一の地下水位で代表されるが、この地下水位の時間に対する変動を追跡するのがモデルの目的である。多角形のサイズは流域における地下水涵養、揚水、浸透係数、貯留量及び地下水位の分布状況等に応じることが原則であるが、ここでは既設及び新設の試験井に対応させるものとする。過去の地下水位データによりモデルを検証するために、各多角形に流入したり、多角形から流出（揚水）する水量の時間的・平面的分布については、水文解析結果を基礎として決定した。



地下水収支の数値解は次式で与えられる。

$$\sum_j (h_j^{t+1} - h_i^{t+1}) \cdot Y_{i,j} = \frac{A_i \cdot S_i}{\Delta t} (h_i^{t+1} - h_i^t) + A_i \cdot Q_i^{t+1}$$

$$\text{and } Y_{i,j} = \frac{W_{i,j} \cdot T_{i,j}}{L_{i,j}}$$

ただし上式で

A_i : i 番目の多角形の面積 (km²)

$Y_{i,j}$: i 番目の多角形と j 番目の多角形間の地下水の伝導度 (百万トン/月/m)

S_i : i 番目の多角形の貯留係数

Q_i : 単位面積当りの通水量率 (百万トン/月/km²)

$T_{i,j}$: i 番目の多角形と j 番目の多角形間の透水量係数 (百万トン/月/m)

$L_{i,j}$: 多角形 i と j の間の距離 (km)

$W_{i,j}$: 多角形 i と j の接辺の長さ (km)

t : 時間 (月単位)

なお詳細説明とプログラムは付属書 B に示すとおりである。

上式の定義に従い、図 3-5 (現況) 及び図 3-6 (計画) に示すとおり、流域を多角形分割した。ただし現況と計画の違いは、計画時点では試験井が 3 本追加さ

れる。

モデルを構成するパラメータのうち、ファラジ消費量、基底流出量、ダム地点及び残流域表面流出量、降雨水の直接涵養量等については、水文解析結果を応用した。これら諸数値はいずれも面積雨量との関係で算出されるため、ダキク、キトナ、ハイル(ワジ・ジジ)、ハイル(ワジ・ハイル)、ファーファー及びソハールの日雨量観測値がモデルに入力される必要がある。また表面流からの地下水涵養量は、ワジ・ジジの主要流線に沿っての浸透路長に比例して多角形に配分した。

地下水から揚水されるかんがい用水の期別必要水量についても水文解析結果を参考とした。雨水の配分について有効雨量の評価が必要であり、FADの技術文書No.24の手続きをモデルに組み込んだ。なお、上・工水需要量については、期別変化は見込まない。

各観測井の初期水位、透水係数、貯留係数、その他透水層厚等の地形・地質データについては、水文地質調査結果を参照した。

3.3.3 地下水シミュレーション

地下水シミュレーションは下記4ケースについて行なわれた。

ケース	シミュレーションの条件
0	現況 : かんがい用水量11,000千 m^3 /年及び上水道補給水量200千 m^3 /年
1	計画(1): ダム建設後、ただし地下水利用量は現況と同じ
2	計画(2): 計画(1)に加えて上工水道補強水量として 860千 m^3 /年を追加
3	計画(3): 計画(2)に加えて不特定目的の利用可能水量 1,390千 m^3 /年を、農業用に利用するものとして追加

全解析を1974年から1984年までの11ヶ年間、月単位で行なった。地下水収支の解析結果を表3-1~3-4に示す。解析結果としての地下水位変動の偏差値を図3-9~3-12にプロットして示した。またケース別の地下水貯水量の経年変化を図3-8に整理した。これよりケース3においても地下水収支の均衡が保たれていることがわかる。

FIGURE 3-1 RESERVOIR EMPTYING TIME

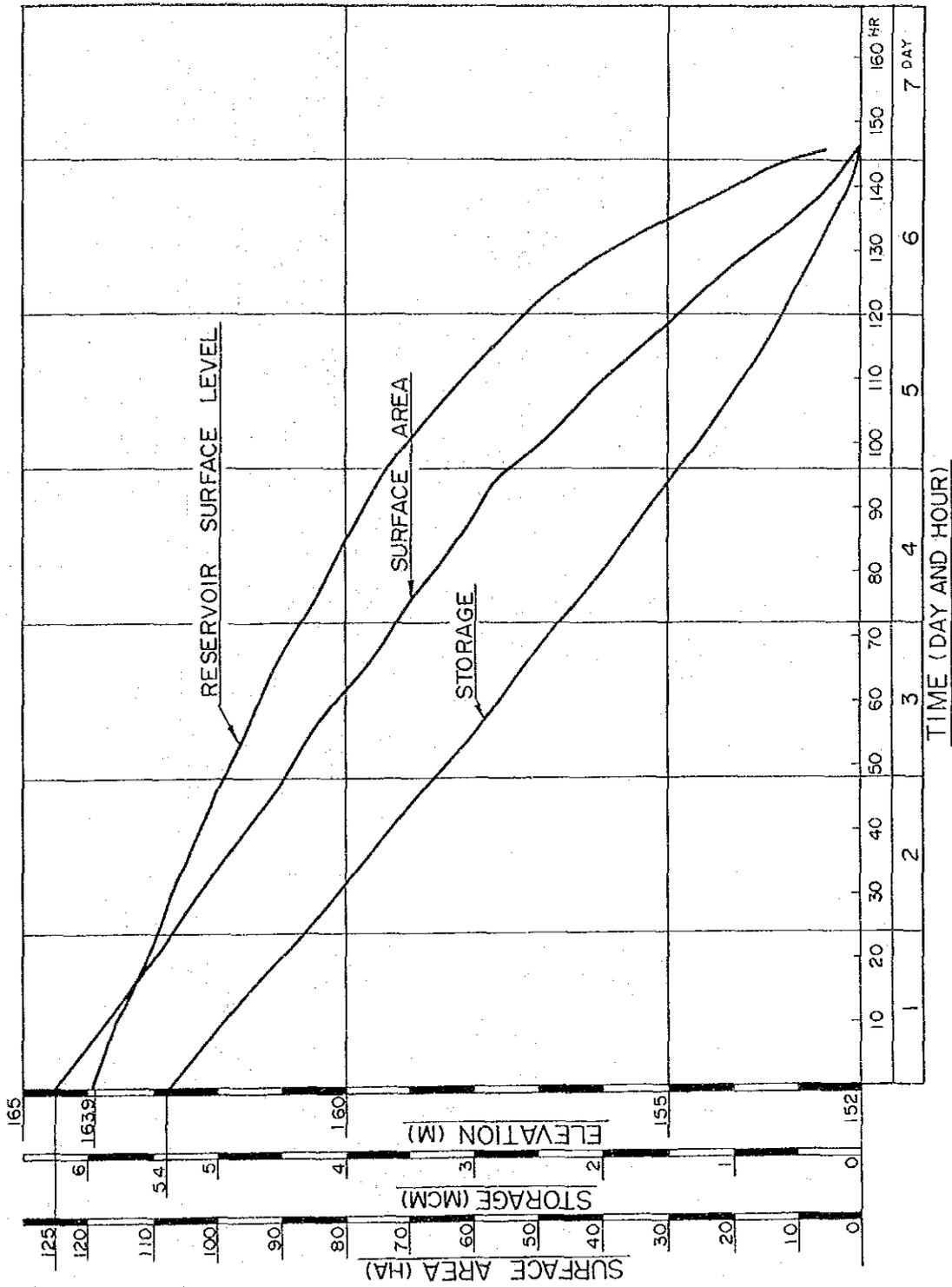


FIGURE 3-2 PRESENT WATER BALANCE (BEFORE PROJECT)

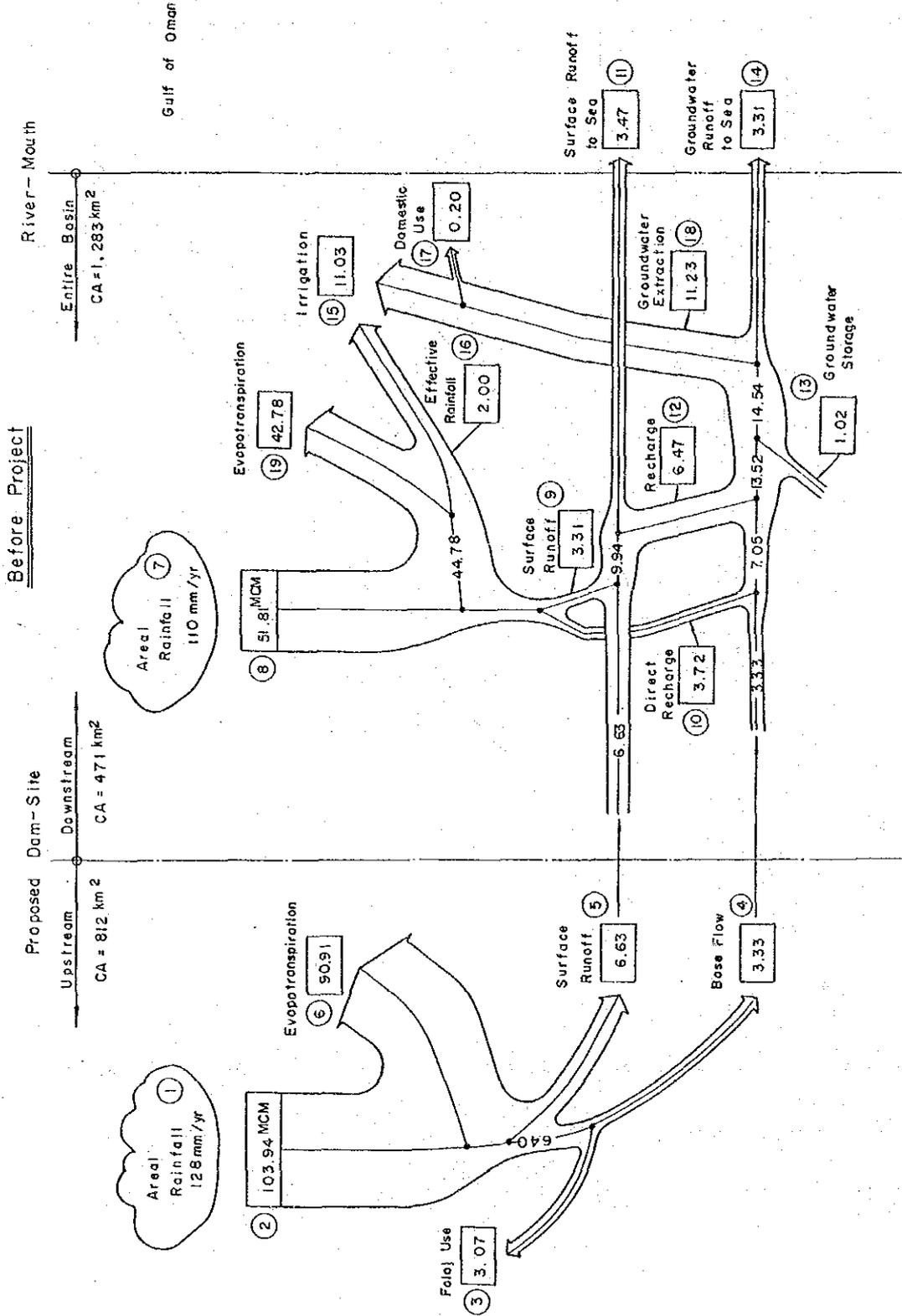


FIGURE 3-3 PROJECTED WATER BALANCE IN 1987

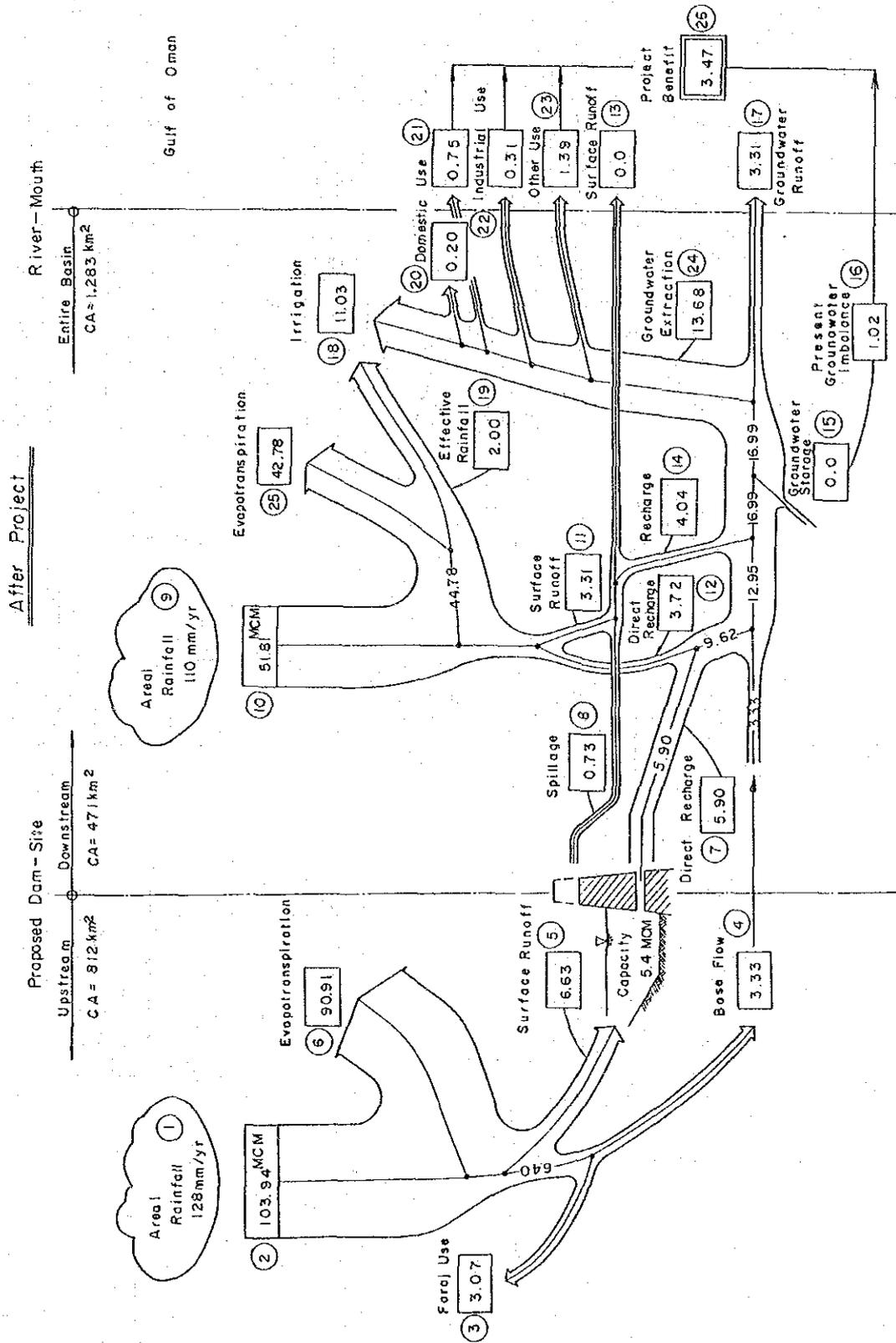


Figure 3-4 Diagram of Monitoring System

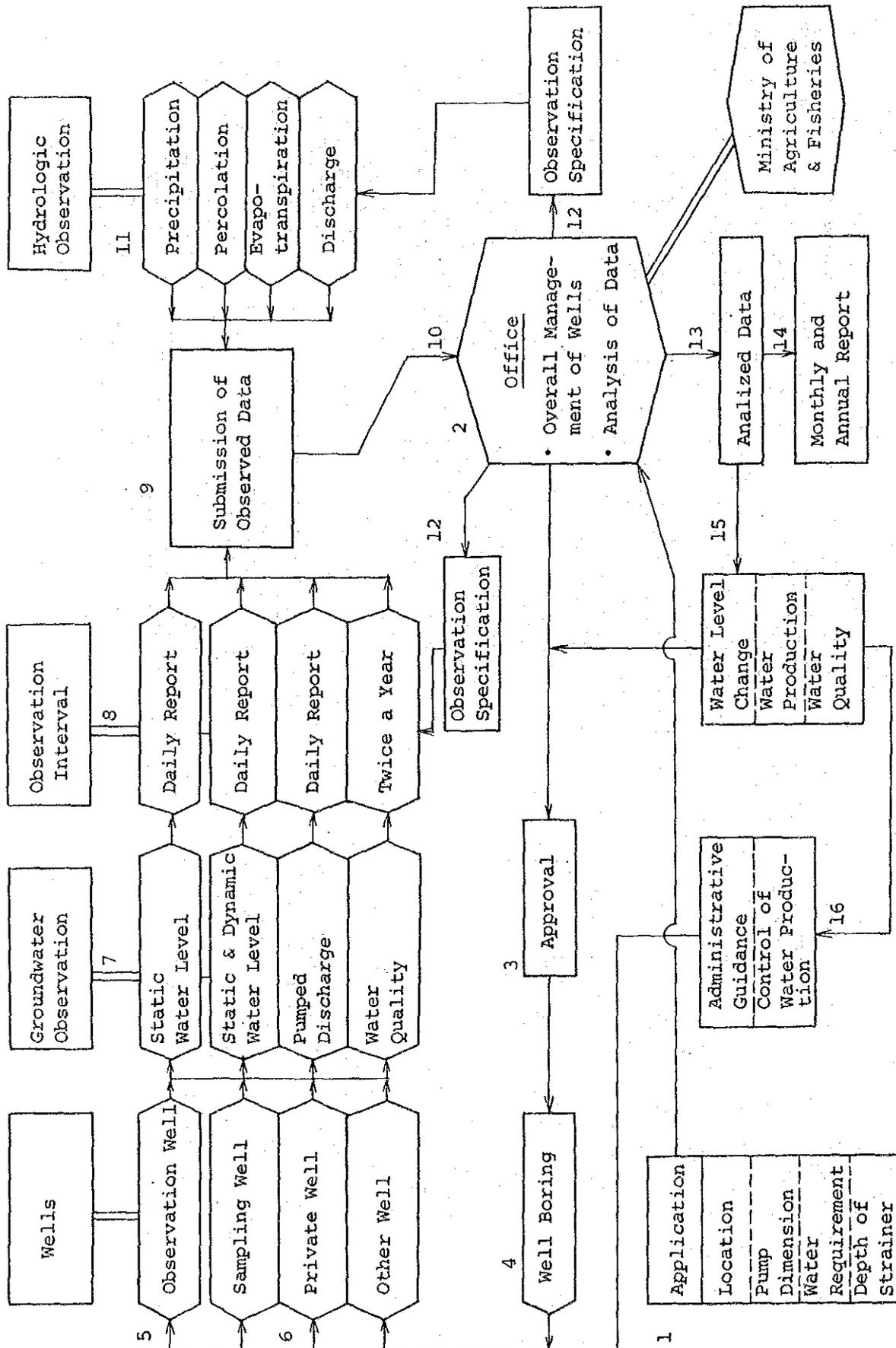


FIGURE 3-5 MODELING OF GROUNDWATER BASIN
(PRESENT CONDITION)

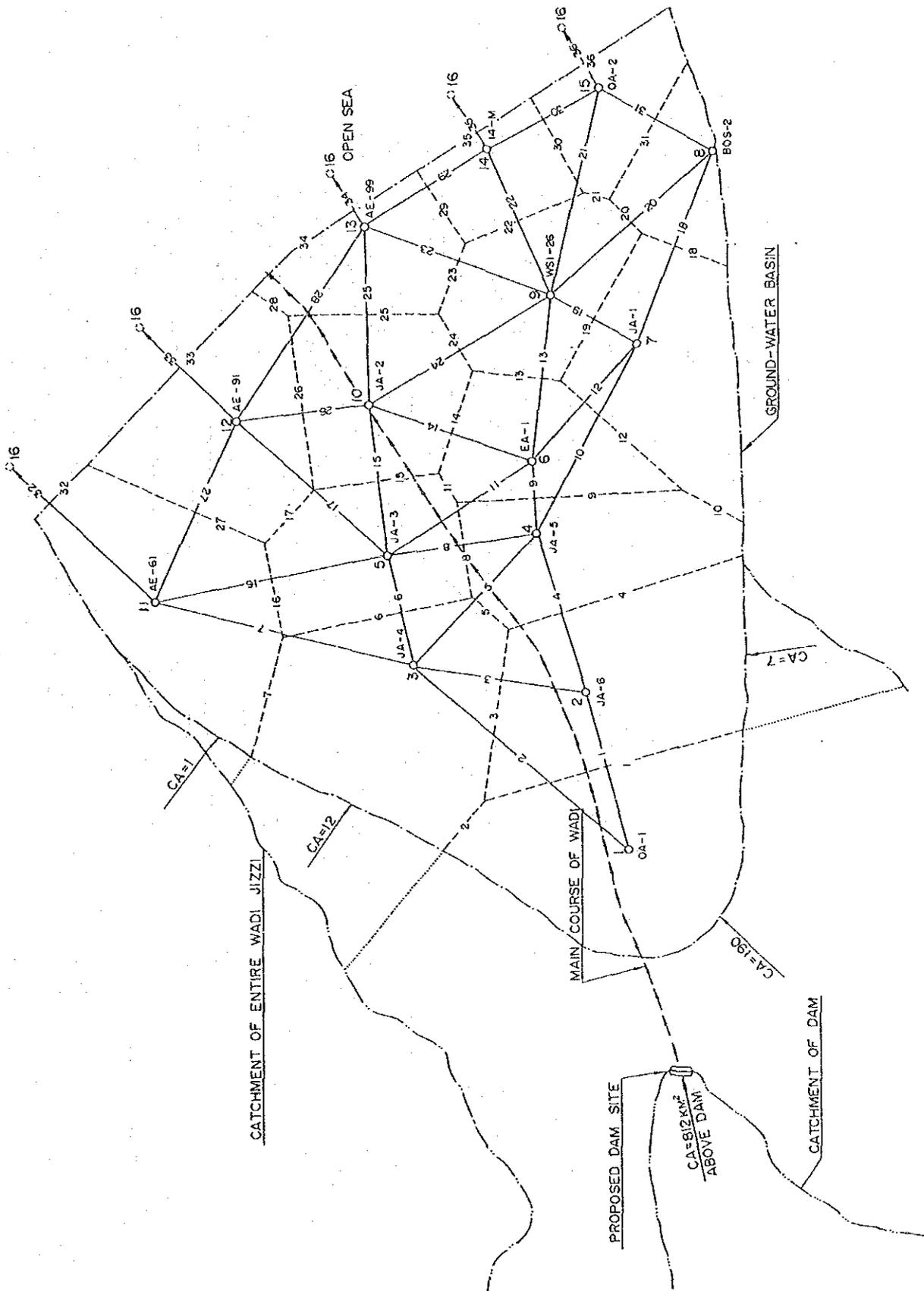


FIGURE 3-6 MODELING OF GROUNDWATER BASIN
(PROPOSED CONDITION)

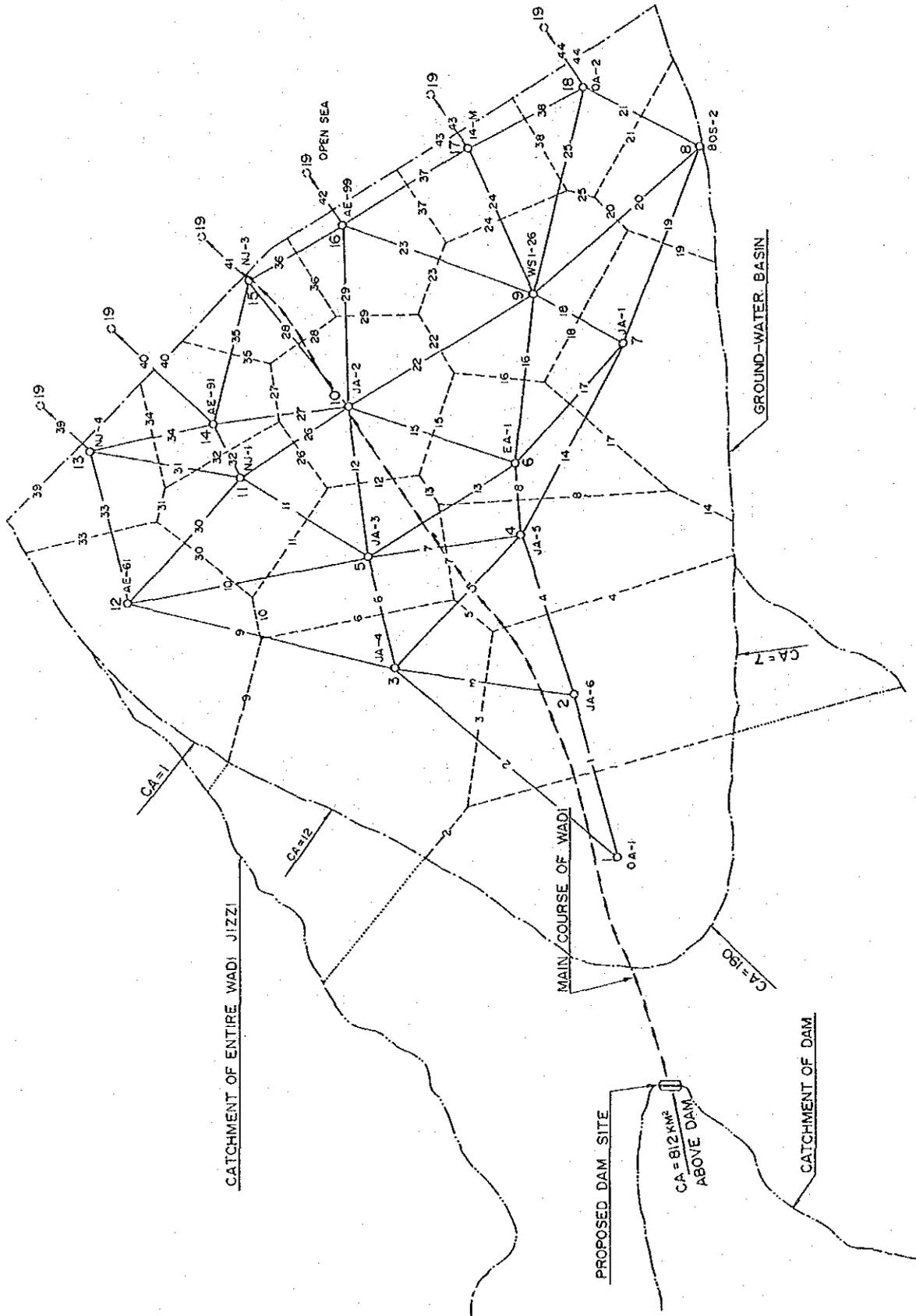


Figure 3-7 Simplified Flow Chart for Digital Computer Solution of Ground-Water Problem

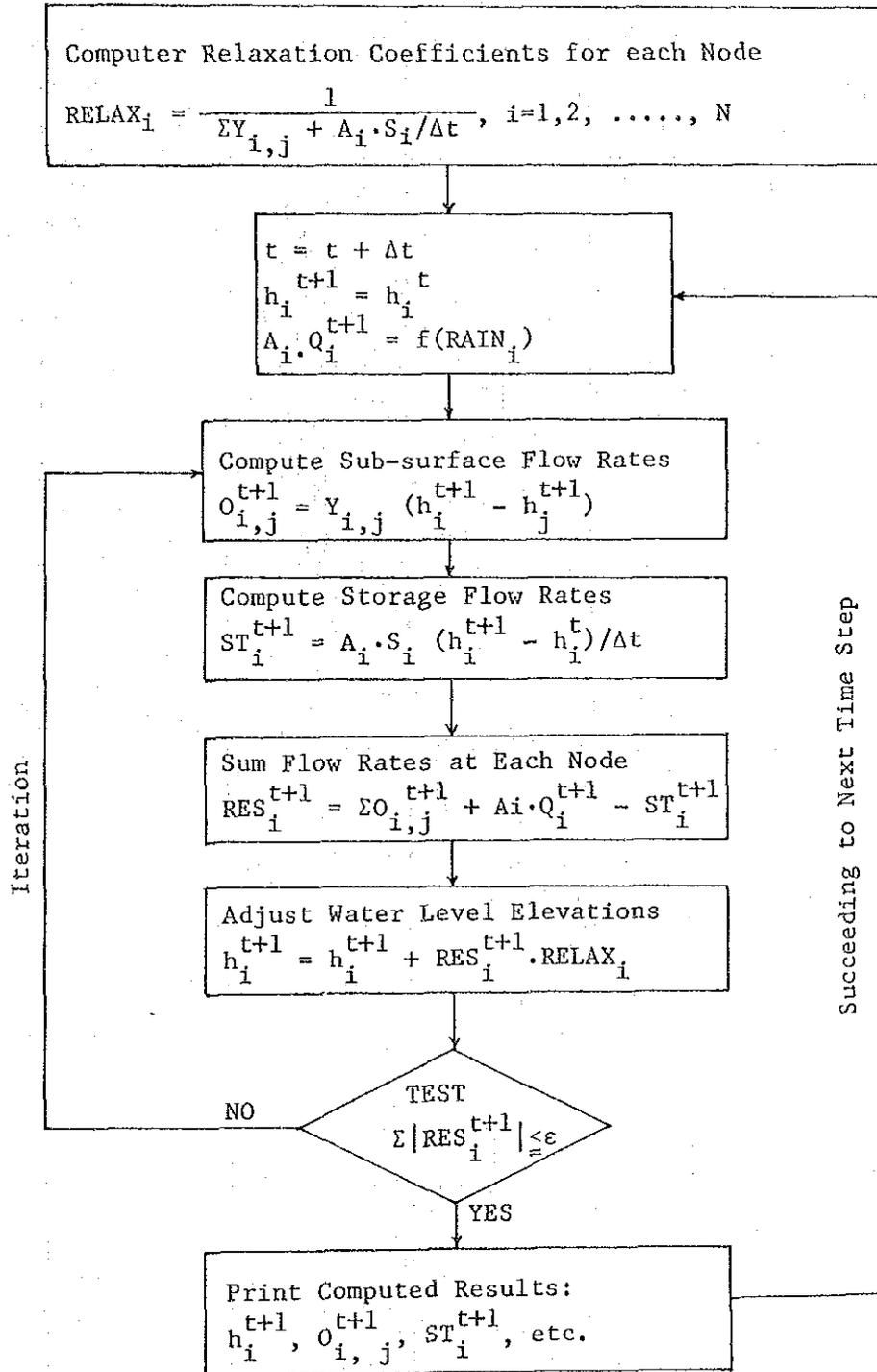
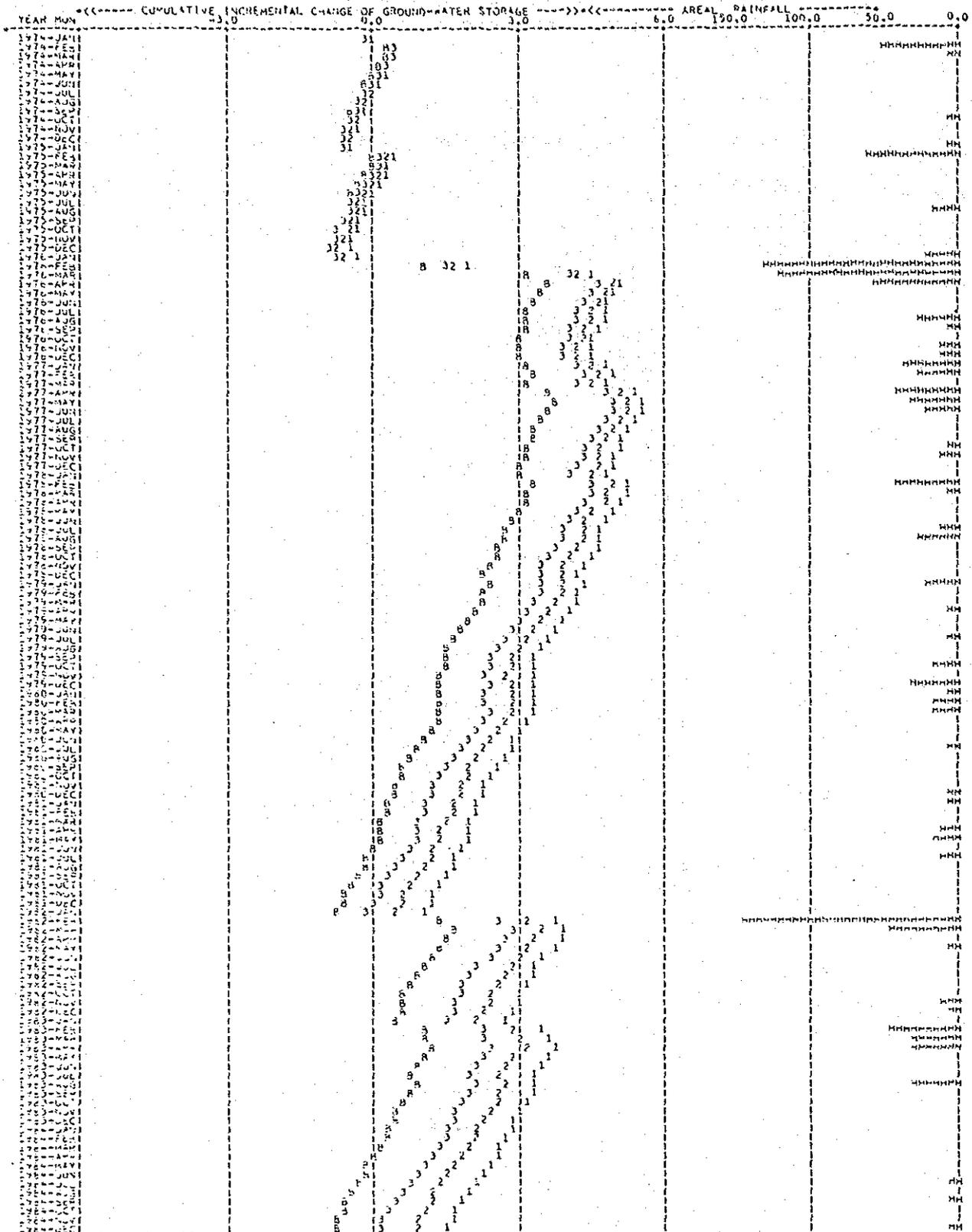


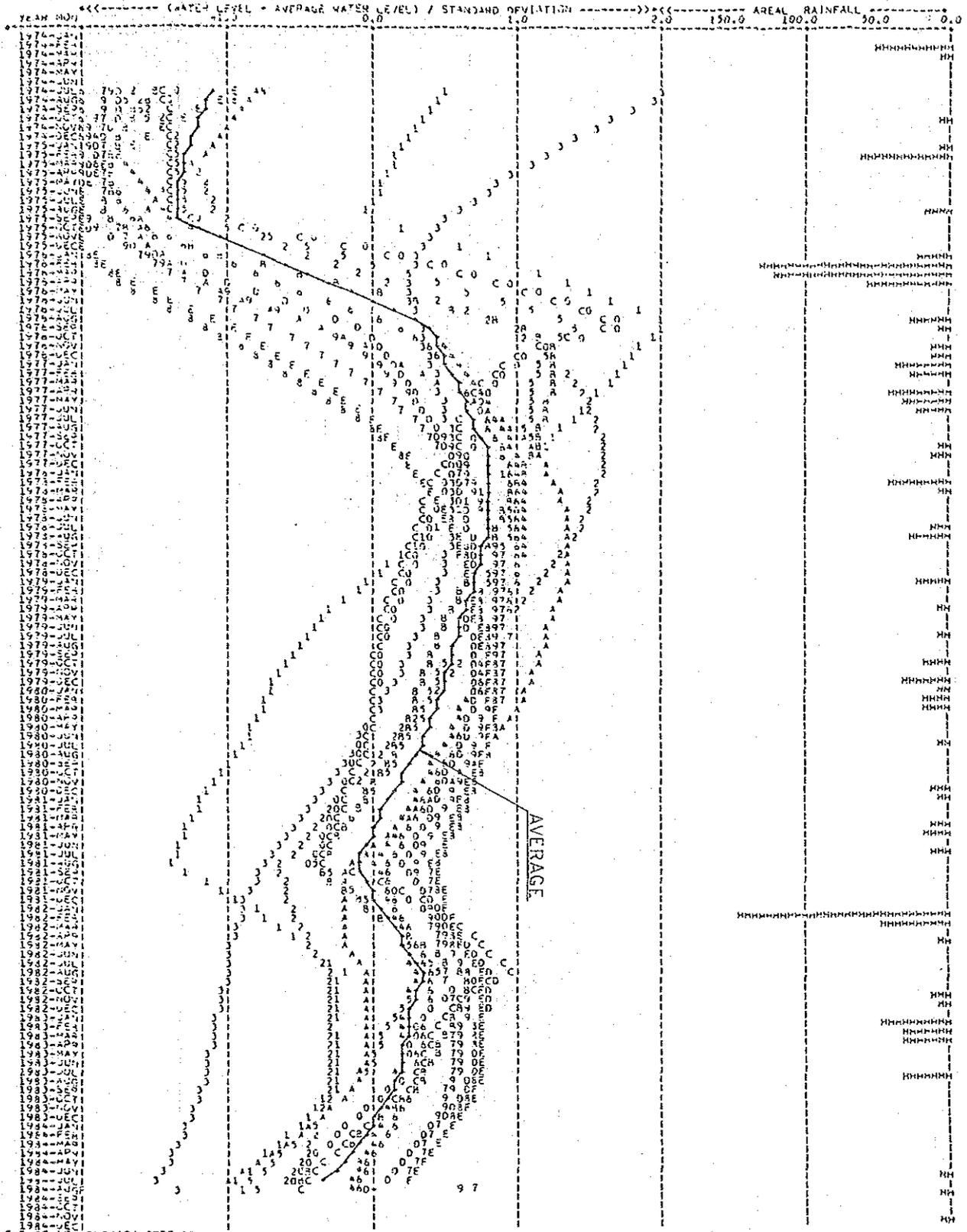
FIGURE 3-8 SIMULATED CHANGE OF GROUNDWATER STORAGE



EQ OF GOVERNMENTY CGL=16

SYMBOL	DESCRIPTION
B	PRESENT CONDITION (BEFORE CONSTRUCTION OF DAM)
1	PROPOSED-1 (EXTRACTION SAME AS PRESENT)
2	PROPOSED-2 (PRESENT WATER USE + 1.26MCM/YEAR)
3	PROPOSED-3 (PRESENT USE + 1.26 + 1.39MCM/YEAR)
H	MONTHLY AREAL RAINFALL (MM)

FIGURE 3-9 DEVIATION OF GROUNDWATER LEVEL (CASE 0)
(12-MONTHS MOVING AVERAGE)



SYMBOL	WELL	SYMBOL	WELL	SYMBOL	WELL	SYMBOL	WELL
1	QA-1	2	JA-6	3	JA-4	4	JA-5
5	JA-3	6	EA-1	7	JA-1	8	BOS-2
9	WSI-26	0	JA-2	A	AE-61	B	AE-91
C	AE-99	0	14-M	E	QA-2	F	SEA