



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش آبشناسی

مدیریت آبخوان شیروان با استفاده از مدل ریاضی PMWIN

نگارش:

اعظم محمدی

اساتید راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

دکتر فرامرز دولتی ارده جانی

استاد مشاور:

مهندس رمضان کاظمی گلیان

بهمن ۱۳۸۶

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc. thesis

Hydrogeology

Management of Shirvan Aquifer by PMWIN Mathematical model

By:

Azam Mohammadi

Supervised by:

Dr. G. H. Karami

Dr. F. Dolati Ardehjani

Advisor:

Ramezan Kazemi Gelian

January 2008

Abstract

Ghochan-Shirvan plain is the greatest and most important watershed of Atrak river that since 1987 is not allowed to dig more producing boreholes in this plain of Khorasan province. Due to hydrogeological conditions of this plain and the considerable decrease in the water level during last two decades, hydraulic connection has been cutted from Borzel Abad village and it was divided into two Shirvan and Ghochan aquifers. Mathematical models are used as an important tools in management of groundwater resources and appropriate discharge of these storages. In order to optimize the hydraulic parameters and considering the effect of Barzo dam on the recharge water into Shirvan aquifer and also the aquifer behavior in different management subjects, this aquifer was simulated by PMWIN model. After aggregating required information and data, the model developed and first information inputted in the model. the developed model was run for December 2002 (steady state) and hydraulic conductivity and the coefficient conductance of boundaries calibrated. After calibrating the model for steady state conditions, the model was run in unsteady state and the hydraulic parameters such as specific yield, recharge and discharge were determined. In the verification stage using observed data of two water years (i.e. 2004-2005 and 2005-2006) the developed model was run and the result obtained from the model compared with observed data. Then the results was used for aquifer management. Exerting the model for the maintained two water years

showed that it can precisely predict the values of water table. After achieving to the validity of developed model, the results obtained from the model were used for the management of the aquifer. According to the obtained results, the annual water budget of Shirvan aquifer for three calibration years shows an increase trend due to development of irrigation systems of the dam and also increase in the annual rainfall.

In order to evaluate the effects of irrigation systems of dam in different parts of the aquifer, the study area classified into three zones namely eastern, central and western zones. The model was considered each zone as a separated system and the results of water budgets for the different zones showed that, the annual water budget in eastern and western zones are negative but it is positive for the central zone.

نقد و
پیشنهاد

پدر و مادر عزیزم

چکیده

دشت قوچان- شیروان بزرگترین و مهمترین حوضه آبرگیر رودخانه اترک می‌باشد، که از سال ۱۳۶۶ جزو دشتهای ممنوعه استان خراسان محسوب می‌شود. به سبب وضعیت هیدروژئولوژیکی دشت و افت سطح آب طی دو دهه اخیر، ارتباط هیدرولیکی آبخوان از منطقه برزل آباد قطع و آبخوان مزبور به دو آبخوان شیروان و قوچان تفکیک شده است. مدل‌های ریاضی به عنوان یک ابزار مهم در مدیریت منابع آبهای زیرزمینی و برداشت صحیح از این ذخایر مورد استفاده قرار می‌گیرند. به منظور بهینه سازی پارامترهای هیدرولیکی آبخوان شیروان و بررسی تأثیر شبکه آبیاری سد بارزو بر تغذیه آبخوان و همچنین رفتار آبخوان با اعمال گزینه‌های مدیریتی مختلف، این آبخوان با استفاده از مدل PMWIN شبیه‌سازی گردید. در همین راستا پس از گردآوری اطلاعات و داده‌های مورد نیاز، مدل تهیه و اطلاعات اولیه در آن وارد گردید. مدل تهیه شده برای ۱۳۸۲ تحت شرایط پایدار اجرا و هدایت هیدرورویکی و ضریب هدایت مرزها کالیبره گردید. بعد از واسنجی مدل در حالت پایدار، این کار در حالت ناپایدار نیز انجام و ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان از قبیل آبدهی ویژه، مقدار تغذیه و تخلیه بهینه برای سال آبی ۸۳-۱۳۸۲ تعیین گردید. در مرحله صحت سنجی، با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای دو سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ و ۸۵-۱۳۸۴ مدل اجرا و نتایج حاصل از مدل با شرایط معلوم و حاکم بر آبخوان مورد مقایسه قرار گرفت. واسنجی مدل برای این دو سال نشان داد که مدل قابلیت پیش‌بینی دقیق مقادیر سطح آب را دارا می‌باشد. پس از حصول اطمینان به مدل ساخته شده از نتایج آن برای مدیریت آبخوان استفاده شد. بر اساس نتایج مدل، بیلان آبخوان برای سه سال واسنجی روندی افزایشی داشته که علت آن گسترش شبکه آبیاری سد و افزایش بارندگی می‌باشد. برای بررسی تأثیر شبکه آبیاری سد بر بخشهای مختلف آبخوان، منطقه مورد مطالعه به سه منطقه شرقی، مرکزی و غربی

تقسیم گردید. مدل هر یک از این مناطق را به عنوان یک سیستم مجزا در نظر گرفته و بیلان را برای هر کدام به طور جداگانه محاسبه نمود. پس از محاسبه بیلان برای هر یک از مناطق مشخص گردید که دو منطقه شرقی و غربی همچنان دارای کسری مخزن بوده و بیلان سالانه منفی دارند در حالیکه بیلان بخش مرکزی در هر سه سال مثبت می باشد.

فهرست مطالب

a.....	چکیده.....
b.....	فهرست مطالب
g.....	فهرست اشکال
j.....	فهرست جداول
۱.....	فصل اول: کلیات
۱-۱.....	۱-۱- مقدمه.....
۲.....	۲-۱- بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق
۳.....	۳-۱- ساماندهی پایان نامه
۴.....	۴-۱- موقعیت جغرافیایی و راههای ارتباطی
۵.....	۵-۱- هواشناسی منطقه
۵-۱.....	۵-۱-۱- بارندگی
۷.....	۵-۲-۱- درجه حرارت منطقه
۷.....	۵-۳-۱- اقلیم منطقه
۸.....	۶-۱- زمین شناسی منطقه
۹.....	۶-۱-۱- چینه شناسی منطقه
۱۱.....	۶-۱-۱-۱- سازند مزدوران/لا $(J_{mz/l})$
۱۲.....	۶-۱-۲-۱- سازند شورجه (K_{sh})
۱۲.....	۶-۱-۳-۱- سازند تیرگان (K_{tr})
۱۳.....	۶-۱-۴-۱- سازند سرچشمه (K_{sr})

۱۳	 (K_{sn}) سازند سنگانه ۵-۱-۶-۱
۱۳	 (K_{at}) سازند آتامیر ۶-۱-۶-۱
۱۴	 (K_{ab}) سازند آبدراز ۷-۱-۶-۱
۱۴	 (K_{kt}) سازند کلات ۸-۱-۶-۱
۱۴	 (E_p) سازند پستلیق ۹-۱-۶-۱
۱۴	 (N) سازند نئوژن ۱۰-۱-۶-۱
۱۵	 (Q_t) رسوبات آبرفتی دوران چهارم ۱۱-۱-۶-۱
۱۶	 ۲-۶-۱ تکتونیک منطقه
۱۷	 ۷-۱ مورفولوژی منطقه
۱۹	 ۸-۱ هیدروولوژی منطقه
۲۱	 ۱-۸-۱ رودخانه اترک
۲۱	 ۲-۸-۱ رودخانه اوغاز (هنامه)
۲۲	 ۳-۸-۱ رودخانه قلجق
۲۳	 ۴-۸-۱ رودخانه تنسوان-گلیان
۲۳	 ۵-۸-۱ کال آغچه
۲۳	 ۶-۸-۱ مسیل دوین
۲۴	 ۷-۸-۱ رودخانه شورک
۲۴	 ۸-۸-۱ رودخانه‌های فرعی
۲۴	 ۹-۱ هیدروژئولوژی منطقه
۲۶	 ۱-۹-۱ چاه‌های عمیق و نیمه عمیق
۲۶	 ۲-۹-۱ قنوات
۲۷	 ۳-۹-۱ چشمه‌ها
۲۷	 ۱۰-۱ هیدروشیمی آبخوان

فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین ۳۲

۳۲	 ۱-۲ تحقیقات انجام گرفته به وسیله مدل‌های عددی
۳۳	 ۱-۱-۲ تحقیقات انجام گرفته در جهان
۳۹	 ۲-۱-۲ مطالعات انجام شده در ایران
۴۶	 ۲-۲ مطالعات قبلی انجام شده در دشت شیروان
۴۷	 ۱-۲-۲ آزمایشات پمپاژ

۴۸-۲-۲- سابقه مدل‌سازی در منطقه.....

فصل سوم: معادلات اساسی جریان آب زیرزمینی، مدل‌های آب زیرزمینی و مدل مورد استفاده..... ۴۹

۴۹-۱-۳- تعریف مدل‌سازی.....

۵۰-۲-۳- معادلات اساسی حاکم بر جریان آب زیرزمینی.....

۵۱-۲-۳- معادله عمومی جریان آب زیرزمینی در لایه آبدار تحت فشار.....

۵۱-۲-۳-۱- شرایط ناپایدار.....

۵۳-۲-۳-۲- شرایط پایدار.....

۵۴-۲-۳- معادله عمومی جریان آب زیرزمینی در لایه آبدار آزاد.....

۵۶-۳-۲-۳- معادله عمومی جریان آب زیرزمینی با مؤلفه تغذیه یا تخلیه.....

۵۷-۳-۳- طبقه‌بندی مدل‌های آب زیرزمینی.....

۵۸-۳-۳-۱- مدل‌های فیزیکی.....

۵۸-۳-۳-۱-۱- مدل‌های کوچک مقیاس.....

۶۰-۳-۳-۲-۱- مدل‌های آنالوگ.....

۶۱-۳-۳-۲- مدل‌های ریاضی.....

۶۲-۳-۳-۱-۲- مدل‌های تحلیلی.....

۶۲-۳-۳-۲-۲- مدل‌های عددی.....

۶۶-۴-۳- طراحی یک مدل عددی.....

۶۹-۵-۳- معرفی مدل PMWIN.....

۶۹-۵-۳-۱- شرح مدل PMWIN.....

۷۱-۵-۳-۲- مفاهیم طراحی سیستم جریان آب زیرزمینی با مدل PMWIN.....

۷۱-۵-۳-۱-۲- تقسیم‌بندی فضایی.....

۷۳-۵-۳-۲-۲- تقسیمات زمانی.....

۷۴-۵-۳-۲-۳- معادله تفاضل محدود.....

۸۳-۵-۳-۲-۴- معادلات ذخیره در MODFLOW.....

۸۴-۵-۳-۲-۵- معادلات اساسی هدایت هیدرولیکی در MODFLOW.....

۹۳-۵-۳-۲-۶- بسته تبخیر و تعریق.....

۹۵-۵-۳-۲-۷- بسته چاه.....

۹۵-۵-۳-۲-۸- بسته زهکشی.....

۹۶-۵-۳-۲-۹- بسته مرز با بار هیدرولیکی عمومی.....

۹۸.....	۳-۵-۲-۱۰- بسته رودخانه
۹۹.....	۳-۵-۲-۱۱- بسته تغذیه
۱۰۰.....	۳-۵-۲-۱۲- بسته نهر
۱۰۱.....	۳-۵-۲-۱۳- بسته مانع در برابر جریان افقی
۱۰۱.....	۳-۵-۲-۱۴- بسته ذخیره بین لایه‌ای
۱۰۱.....	۳-۵-۲-۱۵- بسته مخازن
۱۰۲.....	۳-۵-۲-۱۶- بسته قابلیت تر بودن

فصل چهارم: ساخت مدل عددی دشت شیروان با استفاده از مدل **PMWIN**..... ۱۰۴

۱۰۴.....	۴-۱- تهیه مدل مفهومی
۱۰۵.....	۴-۱-۱- ضخامت و وضعیت سفره آبرفتی
۱۰۵.....	۴-۱-۲- مقاطع زمین شناسی دشت شیروان
۱۰۹.....	۴-۲- ساخت مدل عددی
۱۰۹.....	۴-۲-۱- تعریف وضعیت هندسی مدل
۱۰۹.....	۴-۲-۱-۱- طراحی شبکه
۱۱۲.....	۴-۲-۱-۲- شرایط مرزی
۱۱۴.....	۴-۲-۲- پارامترهای ورودی مدل
۱۱۴.....	۴-۲-۲-۱- تقسیمات مکانی
۱۱۵.....	۴-۲-۲-۲- شرایط اولیه و انتخاب گامهای زمانی
۱۱۶.....	۴-۲-۲-۳- پارامترهای هیدروژئولوژیکی
۱۱۸.....	۴-۲-۳- چاههای تخلیه
۱۲۳.....	۴-۳- اجرای مدل
۱۲۴.....	۴-۴- واسنجی مدل برای شرایط پایدار
۱۲۶.....	۴-۵- واسنجی مدل برای شرایط ناپایدار
۱۳۸.....	۴-۶- صحت سنجی

فصل پنجم: مدیریت آبخوان دشت شیروان..... ۱۴۴

۱۴۴.....	۵-۱- مدیریت آبخوان شیروان
۱۵۰.....	۵-۱-۱- منطقه شرقی

۱۵۳.....	۵-۱-۱-۱-کاهش تخلیه آبخوان
۱۵۶.....	۵-۱-۲-تغذیه مصنوعی
۱۶۳.....	۵-۱-۲-منطقه مرکزی
۱۶۷.....	۵-۱-۳-منطقه غربی
۱۷۰.....	۵-۱-۳-کاهش تخلیه آبخوان
۱۷۴.....	فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۷۴.....	۶-۱-نتیجه گیری
۱۷۵.....	۶-۲-پیشنهادهات
۱۷۷.....	منابع فارسی
۱۸۱.....	REFERENCE
۱۸۳.....	پیوست: هیدروگراف ۱۵ چاه مشاهده ای قرار گرفته در محدوده مدل
	فهرست شکلها
۴.....	شکل ۱-۱- موقعیت محدوده مطالعاتی شیروان در استان خراسان شمالی و راههای ارتباطی آن
۷.....	شکل ۱-۲- نمودار بارندگی سالیانه ایستگاه سه یک آب برای دوره آماری ۲۰ ساله
۸(۱۳۸۵).....	شکل ۱-۳- نمودار آمپروژه دشت شیروان (مدیریت مطالعات پایه منابع آب خراسان شمالی)
۱۰.....	شکل ۱-۴- نقشه زمین شناسی محدوده مطالعاتی
۲۰.....	شکل ۱-۵- موقعیت ایستگاههای هیدرومتری، رودخانه ها، مسیله ها و محدوده حوضه آبرگیر آنها
۲۵.....	شکل ۱-۶- موقعیت چاههای عمیق، نیمه عمیق، چشمه ها و قناتها در محدوده مورد مطالعه
۲۹.....	شکل ۱-۷- مقایسه هدایت الکتریکی در سه منطقه شرقی، مرکزی و غربی
۲۹.....	شکل ۱-۸- موقعیت چاههای نمونه برداری و نقشه هدایت الکتریکی سال ۱۳۸۵
۳۰.....	شکل ۱-۹- نمودار شولر ترسیم شده برای بخشهای غربی، شرقی و مرکزی
۳۱.....	شکل ۱-۱۰- نمودار پایپر برای بخشهای شرق، غرب و مرکز
۵۹.....	شکل ۳-۱- طبقه بندی انواع مدلهای آب زیرزمینی (T. A. Prickett, 1975)
(Wang and Anderson 1981).....	شکل ۳-۲- دستگاه مختصات در نظر گرفته شده برای حل معادلات جبری
۶۴.....	شکل ۳-۳- یک سیستم آبخوان فرضی تقسیم بندی شده در MODFLOW
(Ching and Kinzelbach 2000).....	شکل ۳-۴- آرایش مرکز بلوکی و مرکز نقطه ای در روش عددی تفاضل محدود (کازمی گلیان ۱۳۸۱)
۷۳.....	

- شکل ۳-۵- سلول i, j, k و نمایه‌ها برای شش سلول مجاور (کاظمی گلیان ۱۳۸۱)..... ۷۵
- شکل ۳-۶- نمایش جریان از سلول $i, j-1, k$ به سلول i, j, k (کاظمی گلیان ۱۳۸۱)..... ۷۶
- شکل ۳-۷- هیدروگراف سلول i, j, k (کاظمی گلیان ۱۳۸۱)..... ۸۰
- شکل ۳-۸- منشوری از مواد متخلخل برای بیان قانون داریسی ۸۴
- شکل ۳-۹- محاسبه قابلیت هدایت از طریق چند منشور که به صورت سری قرار گرفته‌اند (Harbaugh et al 2000)..... ۸۶
- شکل ۳-۱۰- محاسبه قابلیت هدایت بین گره‌ها با استفاده از مقادیر قابلیت انتقال و ابعاد سلولها (Harbaugh et al 2000)..... ۸۸
- شکل ۳-۱۱- محاسبه قابلیت هدایت عمودی بین دو گره (Ching and Kinzelbach 2000)..... ۹۲
- شکل ۳-۱۲- محاسبه قابلیت هدایت عمودی بین دو گره با واحد نیمه محبوس کننده بین گره‌ها (Ching and Kinzelbach 2000)..... ۹۲
- شکل ۳-۱۳- نمودار شماتیکی برای نشان دادن بسته نرم افزاری مرز با بار هیدرولیکی عمومی (Mc Donald and Harbaugh 1988)..... ۹۷
- شکل ۳-۱۴- رسم جریان Q_b از یک مرز بار هیدرولیکی عمومی به داخل یک سلول به صورت تابعی از بار هیدرولیکی، در سلولی که در آن h_b بار هیدرولیکی منبع است (Mc Donald and Harbaugh 1988)..... ۹۸
- شکل ۴-۱- موقعیت مقاطع زمین شناسی دشت شیروان (اداره کل آبهای زیرزمینی ۱۳۴۹)..... ۱۰۶
- شکل ۴-۲- مقاطع زمین شناسی شیروان (اداره کل آبهای زیرزمینی ۱۳۴۹)..... ۱۰۷
- شکل ۴-۳- لاگ حفاری چاههای مشاهده‌ای و اکتشافی (ساز آب شرق ۱۳۸۱)..... ۱۰۸
- شکل ۴-۴- شبکه بکار رفته برای محدوده آبخوان و موقعیت چاههای مشاهده‌ای ۱۱۱
- شکل ۴-۵- سلولهای فعال و غیر فعال محدوده مدل ۱۱۳
- شکل ۴-۶- نقشه هم پتانسل دشت شیروان (آذر ۱۳۸۲)..... ۱۱۴
- شکل ۴-۷- شرایط مرزی آبخوان شیروان ۱۱۴
- شکل ۴-۸- هیدروگراف واحد دشت شیروان در مقایسه با بارندگی ایستگاه بارانسنجی سه یک آب ۱۱۸
- شکل ۴-۹- سلولهای حاوی چاههای بهره برداری و سلولهای مرزی با بار هیدرولیکی عمومی..... ۱۲۱
- شکل ۴-۱۰- اراضی تحت پوشش آبیاری سد مخزنی بارزو و موقعیت چاههای مشاهده‌ای..... ۱۲۳
- شکل ۴-۱۱- منطقه بندی پارامتر هدایت الکتریکی و مقادیر مربوط به هر منطقه ۱۲۶
- شکل ۴-۱۲- برازش بارهای هیدرولیکی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در مرحله کالیبراسیون در شرایط ناپایدار ۱۲۷
- شکل ۴-۱۳- منطقه بندی و مقادی بهینه شده پارامتر آبدهی ویژه در مرحله کالیبراسیون در شرایط ناپایدار ۱۲۸
- شکل ۴-۱۴- برازش مقادیر محاسبه‌ای و مشاهده‌ای ۱۲ دوره تنش (۸۳-۱۳۸۲)..... ۱۲۹

- شکل ۴-۱۵- موقعیت و مقادیر بهینه شده مناطق تغذیه ۱۲۹
- شکل ۴-۱۶- حجم آب برداشت شده توسط چاههای بهره برداری در هر دوره تنش ۱۳۰
- شکل ۴-۱۷- مقایسه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده در چاههای مشاهدهای کارخانه قند، اراضی منصوران و جاده حسین آباد ۱۳۲
- شکل ۴-۱۸- مقایسه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده در چاههای مشاهدهای زیارت، غرب شیروان و سه یک آب ۱۳۳
- شکل ۴-۱۹- مقایسه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده در چاههای مشاهدهای جاده قدیم، شرق شیروان و امیر آباد ۱۳۴
- شکل ۴-۲۰- مقایسه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده در چاههای مشاهدهای شمال شرق الله آباد، مزرعه کال و جاده دوین ۱۳۵
- شکل ۴-۲۱- مقایسه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده در چاههای مشاهدهای سکه، شورک و برزل آباد ۱۳۶
- شکل ۴-۲۲- واسنجی مدل برای شرایط ناپایدار دشت شیروان (مهر ۱۳۸۲) ۱۳۷
- شکل ۴-۲۳- مقایسه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده در چاههای مشاهدهای کارخانه قند، اراضی منصوران و جاده حسین آباد ۱۳۹
- شکل ۴-۲۴- مقایسه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده در چاههای مشاهدهای اراضی زیارت، غرب شیروان و سه یک آب ۱۴۰
- شکل ۴-۲۵- مقایسه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده در چاههای مشاهدهای جاده قدیم، شرق شیروان و امیر آباد ۱۴۱
- شکل ۴-۲۶- مقایسه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده در چاههای مشاهدهای شمال شرق الله آباد، مزرعه کال و جاده دوین ۱۴۲
- شکل ۴-۲۷- مقایسه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده در چاههای مشاهدهای سکه، شورک و برزل آباد ۱۴۳
- شکل ۵-۱- بیلان ماهانه سطح آب در مقابل ارتفاع واحد سطح آب ۱۴۷
- شکل ۵-۲- مقایسه حجم تخلیه، تغذیه و بیلان سالانه بر حسب میلیون متر مکعب ۱۴۸
- شکل ۵-۳- مقایسه بین بارندگی سالیانه منطقه و نفوذ مؤثر محدوده مدل ۱۴۸
- شکل ۵-۴- منطقه بندی آبخوان شیروان به سه منطقه شرقی، غربی و مرکزی ۱۵۰
- شکل ۵-۵- نمودار بیلان ماهانه منطقه شرقی ۱۵۲
- شکل ۵-۶- مقایسه مقادیر تغذیه، تخلیه و بیلان سالانه منطقه شرقی ۱۵۲
- شکل ۵-۷- نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال ۲۰ درصد کاهش دبی در چاه مشاهدهای امیر آباد ۱۵۳

- شکل ۵-۸- نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال ۲۰ درصد کاهش دبی در چاههای مشاهدهای شمال شرق الله آباد، مزرعه کال و جاده دوین ۱۵۴
- شکل ۵-۹- نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال ۲۰ درصد کاهش دبی در چاه مشاهدهای مشاهدهای سکه، شورک و برزل آباد ۱۵۵
- شکل ۵-۱۰- بیلان سالانه با اعمال ۲۰ درصد کاهش دبی در چاههای بهره برداری ۱۵۶
- شکل ۵-۱۱- مناطق تغذیه مصنوعی توسط حجم سیلاب دو رودخانه دوین و کال آغچه ۱۵۷
- شکل ۵-۱۲- نتایج حاصل از مدل با اعمال ۱۵ درصد حجم سیلاب رودخانه دوین در چاه مشاهدهای امیر آباد، شمال شرق الله آباد ومزرعه کال ۱۵۸
- شکل ۵-۱۳- نتایج حاصل از مدل با اعمال ۱۵ درصد حجم سیلاب رودخانه دوین در چاههای مشاهدهای جاده دوین، سکه و شورک ۱۵۹
- شکل ۵-۱۴- نتایج حاصل از مدل با اعمال ۱۵ درصد حجم سیلاب رودخانه دوین در چاه مشاهدهای برزل آباد ۱۶۰
- شکل ۵-۱۵- نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال تغذیه ناشی از ۱۵ درصد حجم آورد سالانه رودخانه اوغاز در چاههای مشاهدهای امیر آباد و شمال شرق الله آباد ۱۶۱
- شکل ۵-۱۶- نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال تغذیه ناشی از ۱۵ درصد حجم آورد سالانه رودخانه اوغاز در چاههای مشاهدهای، مزرعه کال، جاده دوین و سکه ۱۶۲
- شکل ۵-۱۷- نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال تغذیه ناشی از ۱۵ درصد حجم آورد سالانه رودخانه اوغاز در چاههای مشاهدهای شورک و برزل آباد ۱۶۳
- شکل ۵-۱۸- نمودار بیلان ماهانه منطقه مرکزی ۱۶۶
- شکل ۵-۱۹- مقایسه بین تغذیه کل آبخوان نسبت به تغذیه منطقه مرکزی ۱۶۶
- شکل ۵-۲۰- مقایسه بین تغذیه، تخلیه و بیلان سالانه منطقه مرکزی ۱۶۷
- شکل ۵-۲۱- نمودار بیلان ماهانه منطقه شرقی ۱۶۹
- شکل ۵-۲۲- مقایسه بین تغذیه، تخلیه و بیلان سالانه منطقه غربی ۱۶۹
- شکل ۵-۲۳- نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال ۲۲ درصد کاهش دبی، در چاه مشاهدهای کارخانه قند ۱۷۰
- شکل ۵-۲۴- نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال ۲۲ درصد کاهش دبی، در چاههای مشاهدهای اراضی زیارت و جاده حسین آباد ۱۷۱
- شکل ۵-۲۵- بیلان سالانه منطقه شرقی با اعمال ۲۲ درصد کاهش دبی در چاههای بهره برداری ۱۷۱
- شکل ۵-۲۶- نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال ۲۵ درصد تغذیه حجم سیلابهای رودخانه کال آغچه در چاه مشاهدهای غرب کارخانه قند ۱۷۲
- شکل ۵-۲۷- نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال ۲۵ درصد تغذیه حجم سیلابهای رودخانه کال آغچه در چاه مشاهدهای اراضی منصوران و جاده حسین آباد ۱۷۳

فهرست جداول

- جدول ۱-۱- میانگین و درصد بارندگی فصلی برای دوره آماری ۶
- جدول ۲-۱- متوسط بارندگی ماهیانه برای دوره آماری شاخص (بر حسب میلیمتر) ۶
- جدول ۳-۱- لیتولوژی، وسعت و درصد گسترش سازندها و واحدهای زمین‌شناسی قابل رخنمون در منطقه ۱۱
- جدول ۴-۱- موقعیت و مشخصات ایستگاههای فعال دشت شیروان (مدیریت پایه منابع آب خراسان شمالی ۱۳۸۵) ۲۰
- جدول ۵-۱- متوسط حجم ماهانه رواناب رودخانه اوغاز بر حسب میلیون متر مکعب (سرو آب ۱۳۷۵) ۲۲
- جدول ۶-۱- توزیع دبی متوسط ماهانه دو ایستگاه رودخانه قلجق (مدیریت مطالعات پایه منابع آب خراسان شمالی ۱۳۸۵) ۲۲
- جدول ۷-۱- نتایج آنالیز نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه (غلظت یونها بر حسب میلی اکیوالان بر لیتر) ۲۸
- جدول ۱-۲- مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره برای چاههای منطقه (مهاب قدس ۱۳۶۴) ۴۸
- جدول ۱-۳- خلاصه‌ای از داده‌های مورد نیاز برای ساخت مدل ریاضی ۶۷
- جدول ۲-۳- بسته‌های نرم افزاری موجود در MODFLOW ۷۰
- جدول ۱-۴- مختصات جغرافیایی و مشخصات چاههای مشاهده‌ای دشت شیروان ۱۱۷

- جدول ۴-۲- حجم آب برداشت شده توسط چاههای بهره برداری بدست آمده توسط مدل در هر دوره تنش ۱۳۰
- جدول ۵-۱- حجم تغذیه، تخلیه، جریانهای ورودی، خروجی و بیلان در سه سال واسنجی بر حسب متر مکعب ۱۴۶
- جدول ۵-۲- حجم جریانهای ورودی، خروجی، تخلیه، تغذیه و بیلان سالانه میلیون متر مکعب.. ۱۴۷
- جدول ۵-۳- حجم تغذیه، تخلیه، جریانهای ورودی، خروجی تغییرات افقی و بیلان بدست آمده توسط مدل برای منطقه شرقی در سه سال واسنجی بر حسب متر مکعب ۱۵۱
- جدول ۵-۴- حجم تغذیه، تخلیه و بیلان آبی سالانه منطقه شرقی بر حسب متر مکعب ۱۵۲
- جدول ۵-۵- حجم تغذیه، تخلیه، جریانهای ورودی، خروجی تغییرات افقی و بیلان بدست آمده توسط مدل برای منطقه مرکزی در سه سال واسنجی بر حسب متر مکعب ۱۶۵
- جدول ۵-۶- حجم تغذیه، تخلیه و بیلان آبی سالانه منطقه مرکزی بر حسب متر مکعب ۱۶۷
- جدول ۵-۷- حجم تغذیه، تخلیه، جریانهای ورودی، خروجی تغییرات افقی و بیلان بدست آمده توسط مدل برای منطقه غربی در سه سال واسنجی بر حسب متر مکعب ۱۶۸
- جدول ۵-۸- حجم تغذیه، تخلیه و بیلان آبی سالانه منطقه غربی بر حسب متر مکعب ۱۶۹

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه

آبهای زیرزمینی هر منطقه از مهمترین منابع آب شیرین محسوب می شود که باعث رشد و توسعه آن منطقه در ابعاد مختلف کشاورزی، صنعتی، بهداشت و محیط زیست می گردد. بنابراین مطالعه کمی و کیفی آبهای زیرزمینی بسیار مهم می باشد. بدون شک بهترین حالت شناخت رفتارهای یک سیستم آب زیرزمینی، مستلزم یکسری تحقیقات طولیل مدت برای هر منطقه خاص می باشد که با توجه به وضعیت کنونی در

خصوص فقر شدید آمار و اطلاعات پایه مورد اطمینان و سقف محدود بودجه‌های پژوهشی امکان پذیر نیست. مطالعه مستقیم آبهای زیرزمینی یک حوضه گسترده نیاز به حفر تعداد زیادی چاه اکتشافی و انجام عملیات ژئوفیزیک در منطقه مورد مطالعه دارد که با صرف هزینه‌های فراوان عملی می‌گردد. شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی یک روش غیر مستقیم مطالعه است که با صرف هزینه‌های کمتر نسبت به روش مستقیم می‌تواند مشکلات را تا حدود زیادی رفع نماید شبیه سازی جریان آب زیرزمینی عمدتاً وسیله‌ای برای پیش بینی عکس العمل سفره آب زیرزمینی تحت سیاستهای مختلف بهره برداری است. این کار با حل مدل‌های ریاضی جریان آب زیرزمینی که با فرمول بندی معادله بوزینسکی بصورت تفاضلهای محدود و یا اجزاء محدود صورت می‌گیرد نوشته می‌شود.

۱-۲- بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق

هدف از مدل یک سفره آب زیرزمینی، شبیه سازی طبیعی آبخوان با استفاده از یک سری روابط ریاضی می‌باشد. اگر شبیه سازی جامعی از آبخوان صورت گرفته و با شرایط طبیعی تطبیق داده شود آنگاه به سهولت می‌توان با تغییر در محل، مقدار و زمان برداشت به بررسی اثرات بهره برداری از سفره پرداخت.

منطقه مورد مطالعه بخشی از دشت قوچان- شیروان می‌باشد. دشت قوچان - شیروان بزرگترین و مهمترین بخش از حوضه آبرگیر رودخانه اترک را شامل می‌شود. این دشت از سال ۱۳۶۶ جزو دشتهای ممنوعه استان خراسان محسوب شده و این ممنوعیت در سال ۱۳۸۵ تمدید شده است. به سبب وضعیت هیدروژئولوژیکی دشت و افت سطح آب طی دو دهه اخیر ارتباط هیدرولیکی سفره از منطقه برزل آباد قطع شده و آبخوان مزبور به دو آبخوان شیروان و قوچان تفکیک شده است. مدلسازی آبخوان قوچان به منظور مدیریت آبخوان در سال ۱۳۸۱ با استفاده از مدل MODFLOW انجام گردیده است (کاظمی گلیان ۱۳۸۱). اما مدلسازی آبخوان شیروان تا کنون انجام نشده است بنابراین مدلسازی این آبخوان می‌تواند اطلاعات گرانبهایی را در خصوص مدیریت بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی دشت فراهم کند. با توجه به ممنوعه بودن این دشت تنها کاهش ساعات کارکرد چاه های بهره برداری، تغذیه مصنوعی و تغییر الگوی کشت، راهکارهای مؤثر به منظور

مدیریت آبخوان در راستای توسعه پایدار می‌باشد. به منظور استفاده و همچنین مهار آبهای سطحی سد بارزو (۴۰ کیلومتری شیروان) بر روی رودخانه قلجق با اهداف تنظیم و تأمین آب کشاورزی، شرب و کنترل سیلاب احداث شده است. در این پایان نامه از کد PMWIN یا Processing MODFLOW for Windows 5.3 (نرم افزار PMWIN 2007) برای شبیه سازی آبخوان شیروان استفاده شده و مدل این آبخوان تهیه گردیده است. بر مبنای مدل کمی شبیه سازی آبخوان می‌توان اثرات کاهش کارکرد سالیانه چاههای بهره برداری در قسمت‌های مختلف دشت، تأثیر شبکه‌های آبیاری و زهکشی پائین دست سد بارزو و همچنین پروژه های تغذیه مصنوعی را بررسی نمود.

۱-۳- ساماندهی پایان نامه

فصل اول: در این فصل به کلیاتی راجع به اهمیت مسئله و معرفی منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است.

فصل دوم: در این فصل به تحقیقات انجام گرفته توسط مدل‌های عددی در جهان و ایران و همچنین مطالعات قبلی انجام شده در شیروان پرداخته شده است.

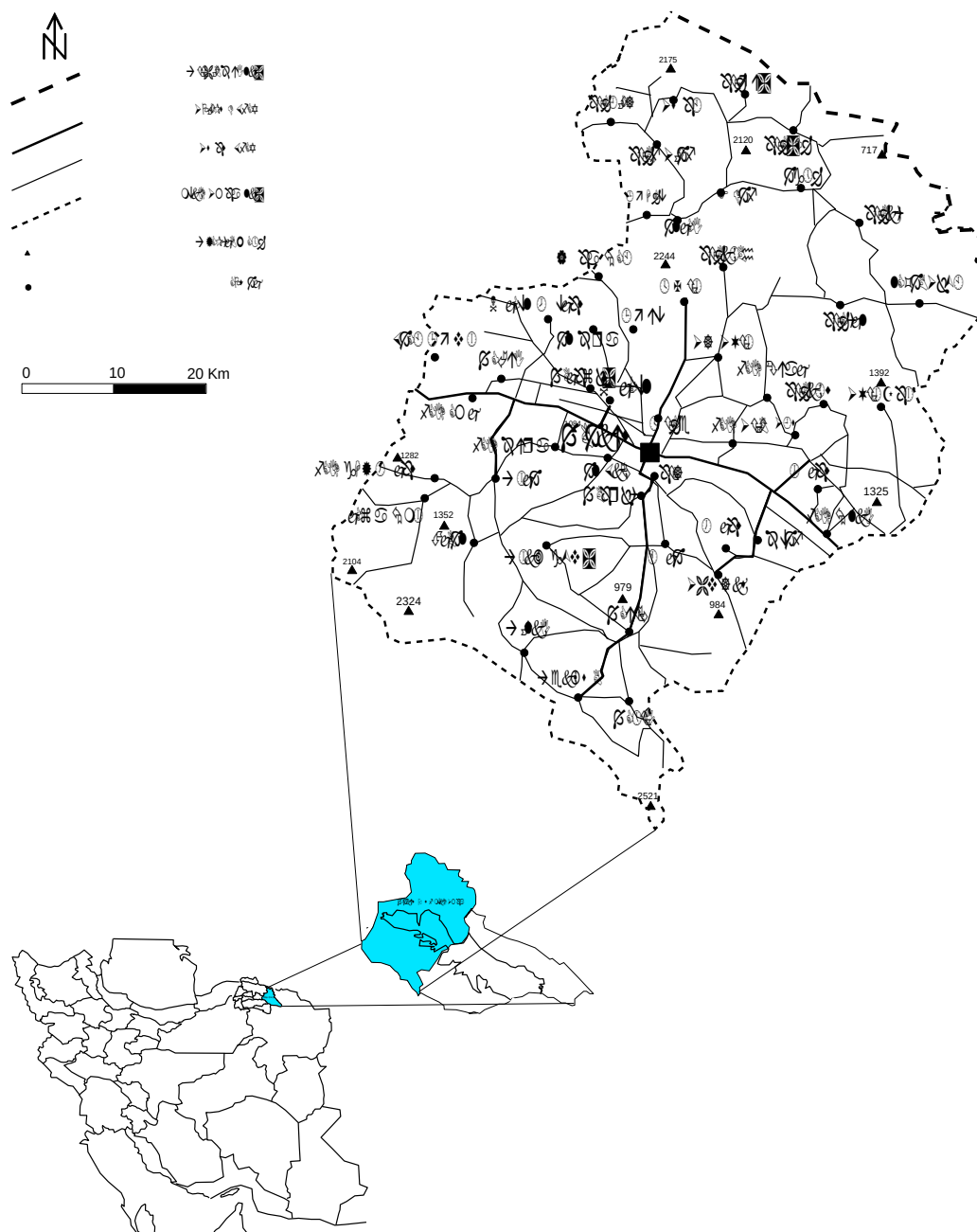
فصل سوم: در این فصل تعریف مدلسازی، معادلات اساسی حاکم بر جریان آب زیرزمینی، طبقه بندی مدل‌های آب زیرزمینی و مراحل طراحی یک مدل عددی آورده شده است.

فصل چهارم: در این فصل پس از تهیه مدل مفهومی دشت، مدل عددی آبخوان تهیه گردید. مدل تهیه شده برای یک سال آبی کالیبره و برای دو سال آبی صحت صنجی گردید.

فصل پنجم: در این فصل با استفاده از خروجی‌های مدل، بیلان سالانه آبخوان مذکور برای سه سال آبی ۸۵-۱۳۸۲ محاسبه گردیده و گزینه های مدیریتی در آن بررسی می‌شود.

۱-۴- موقعیت جغرافیایی و راههای ارتباطی

دشت شیروان در شرق و جنوب شرق استان خراسان شمالی، در فاصله تقریبی ۵۵ کیلومتری غرب بجنورد و در قسمت علیای حوضه آبگیر رودخانه اترک واقع شده است. این دشت از شمال به ارتفاعات الله اکبر و هزار مسجد، از جنوب به ارتفاعات آلاداغ و شاه جهان، از شرق به دشت قوچان (امتداد حوضه آبگیر رودخانه اترک) و از غرب به حوضه آبگیر دشتهای مانه و بجنورد محدود می‌باشد. شکل (۱-۱) موقعیت حوضه آبگیر دشت قوچان- شیروان را در استان خراسان شمالی و همچنین محدوده مطالعاتی شیروان را در دشت قوچان- شیروان و راههای ارتباطی آن را نشان می‌دهد. از نظر موقعیت جغرافیایی، دشت مذکور در محدوده ۵۷ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۸ درجه عرض شمالی واقع شده است. وسعت کل حوضه آبگیر دشت شیروان ۲۵۹۳/۷ کیلومتر مربع می‌باشد که ۴۰۳ کیلومتر مربع از آن را دشت و ۲۱۹۰ کیلومتر مربع از آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهد.



شکل (۱-۱): موقعیت محدوده مطالعاتی شیروان در استان خراسان شمالی و راههای ارتباطی آن

رودخانه اترک تقریباً در طول و مرکز این دشت جریان داشته و شاخه قلجق (واقع در شمال دشت)، از شاخه‌های اصلی آن به شمار می‌آید. ارتفاع بلندترین نقطه از سطح دریا ۳۰۳۲ متر در کوه شاه جهان و پست

ترین نقطه ۱۰۰۰ متر در محل خروجی دشت (غرب رضا آباد) و ارتفاع شهر شیروان به طور متوسط ۱۰۹۵ متر می باشد.

۱-۵- هواشناسی منطقه

۱-۵-۱- بارندگی

در حوضه آبریز دشت شیروان در مجموع دو ایستگاه باران سنجی وجود دارد. ایستگاه بارزو با ارتفاع ۱۴۱۰ متر از سطح دریا (۳۸ سال آمار) و ایستگاه سه یک آب با ارتفاع ۱۱۱۰ متر از سطح دریا (۳۸ سال آمار) که معرف بارندگی در دشت می باشد. بر اساس بررسی های آمار دو ایستگاه فوق برای دوره شاخص ۲۰ ساله (سال آبی ۶۶-۱۳۶۵ تا ۸۵-۱۳۸۴) مشخص شده است که بارندگی غالب دشت شیروان در ۴ ماه از سال (بهمن لغایت اردیبهشت) اتفاق می افتد و یک دوره ۵ ماهه خشک (خرداد لغایت مهرماه) نیز در منطقه وجود دارد. در دوره مذکور تغییرات بارندگی سالانه ایستگاه بارزو بین حداقل ۱ میلیمتر (سال آبی ۸۰-۱۳۷۹) و حداکثر ۱۱۰/۵ میلیمتر (سال آبی ۶۶-۱۳۶۵) متغیر می باشد و متوسط بارندگی سالانه این ایستگاه نیز ۲۹۵/۸ میلیمتر می باشد. تغییرات بارندگی سالیانه ایستگاه سه یک آب در همین دوره بین حداقل ۳ میلیمتر (سال آبی ۷۸-۱۳۷۷) و حداکثر ۹۳/۵ میلیمتر (سال آبی ۸۱-۱۳۸۰) می باشد (متوسط بارندگی سالانه این ایستگاه نیز برابر با ۲۴۶/۱۵ میلیمتر محاسبه شده است). میانگین بارندگی فصلی و ماهانه برای دوره آماری شاخص ۲۰ ساله در جدولهای (۱-۱) و (۲-۱) آورده شده است.

جدول (۱-۱): میانگین و درصد بارندگی فصلی برای دوره آماری

ایستگاه	پائیز		زمستان		بهار		تابستان	
	مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد
بارزو	۷۱/۳	۲۴/۱۳	۱۰۱/۲۲	۳۴/۲۶	۱۰۴	۳۴/۲۰	۱۸/۹	۶/۴
سه یک آب	۵۹/۷۸	۲۴/۲۸	۱۰۰/۳۸	۴۰/۷۷	۸۶/۲	۳۵/۰۱	۱۷/۸	۷/۲۳

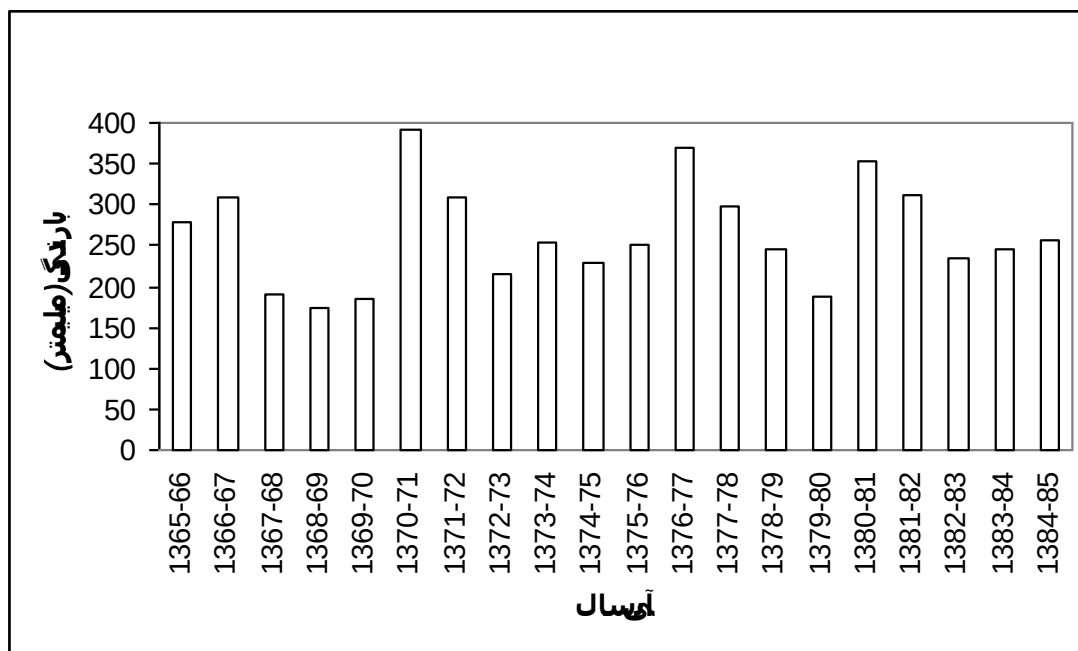
همانطور که در جدول بالا ملاحظه می‌گردد در هر دو ایستگاه بیشترین درصد بارندگی برای فصل زمستان و کمترین درصد بارندگی برای فصل تابستان می‌باشد.

جدول (۲-۱): متوسط بارندگی ماهیانه برای دوره آماری شاخص (بر حسب میلیمتر)

ایستگاه	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر
بارزو	۱۰/۳	۲۰/۲	۲۰/۸	۲۶/۴	۲۹/۸	۴۵	۴۵/۶	۴۲/۲	۱۴/۱	۹/۷	۴/۸
سه یک آب	۸/۱۵	۲۴/۵	۲۷/۱	۲۵	۳۰	۴۵/۴	۳۹/۶	۳۴	۱۳	۶/۱	۸/۵

بر اساس مطالعات انجام گرفته توسط شرکت مهندسين مشاور سروآب (۱۳۷۵) با استفاده از آمار ایستگاههای مجاور (۱۳ ایستگاه) در یک دوره شاخص ۲۳ ساله، معادله $P=0/13H+110/66$ بین بارندگی سالیانه (بر حسب میلیمتر) و ارتفاع از سطح دریا (بر حسب متر) برقرار می‌باشد.

از آنجائیکه ایستگاه سه یک آب در محدوده شبکه مدل دشت شیروان قرار می‌گیرد نمودار بارندگی سالیانه آن برای دوره شاخص در شکل (۲-۱) نشان داده شده است.

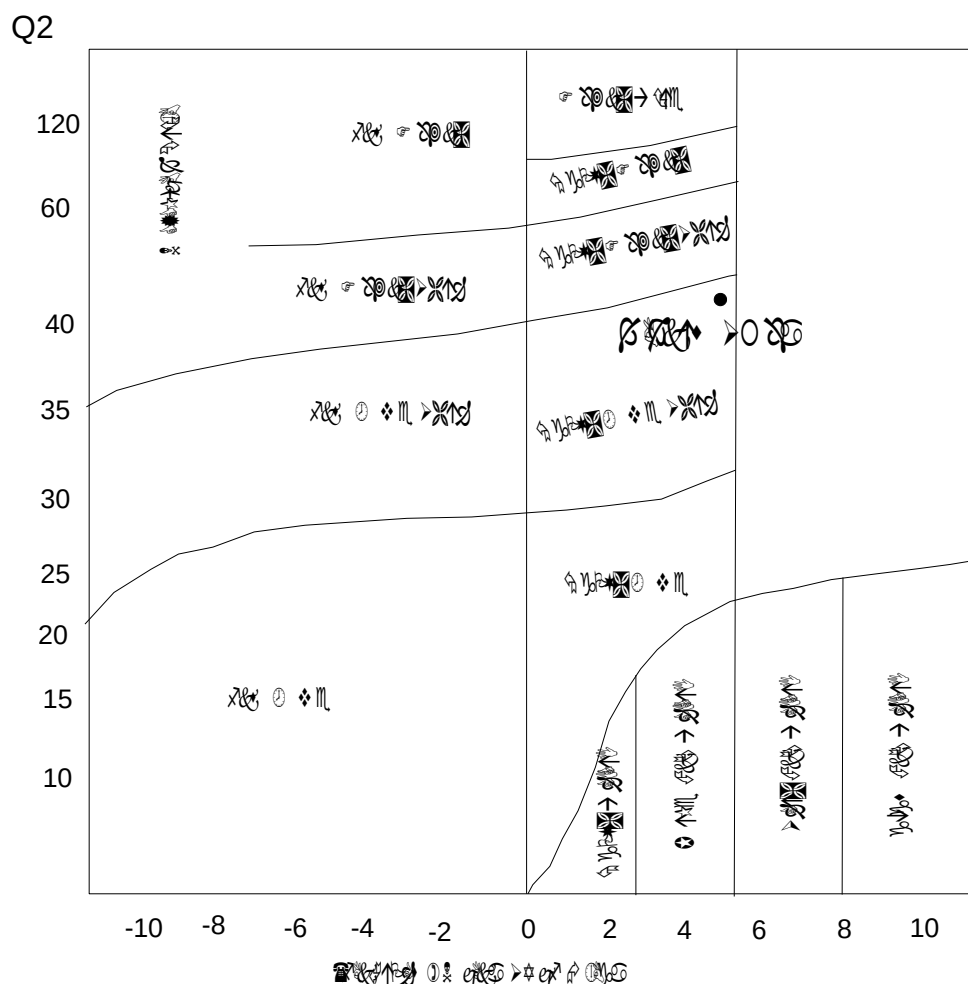


شکل (۲-۱): نمودار بارندگی سالیانه ایستگاه سه یک آب برای دوره آماری ۲۰ ساله

۱-۵-۲- درجه حرارت منطقه

با توجه به آمار گزارش شده از ایستگاه سه یک آب در منطقه مورد مطالعه، جدول و نمودار مربوط به درجه حرارت مطلق حداقل و حداکثر ماهانه در دوره دراز مدت آماری تهیه شده است. بر اساس رقوم ثبت شده در این ایستگاه، حداکثر درجه حرارت مطلق در تیر ماه به ۴۵/۵ درجه سانتیگراد و در بهمن ماه به حداقل مطلق ۳۲- درجه سانتیگراد رسیده است. گرادیان حرارتی با استفاده از آمار درجه حرارت متوسط ۱۸ ساله (۵۵-۱۳۵۴ تا ۷۲-۱۳۷۱)، ایستگاه‌های مجاور نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه بازاء هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع، متوسط درجه حرارت سالانه به میزان ۵/۴ درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد، معادله کلی گرادیان متوسط درجه حرارت منطقه به صورت $T = -0.0054H + 19.3$ است که در این معادله T متوسط درجه حرارت سالانه بر حسب درجه سانتیگراد و H ارتفاع از سطح دریا بر حسب متر می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر چهار نوع توده هوای مدیترانه‌ای، شمالی و غربی، پرفشار سبیری و خیزی قرار گرفته که منشأ تشکیل هر یک از آنها متفاوت می‌باشد. بنابراین هر یک از آنها بسته به منشأ و مسیر حرکت خود تغییرات خاصی را در وضعیت اقلیمی آب و هوای منطقه ایجاد می‌کند. آب و هوای حاکم بر منطقه در تابستانها معتدل و در زمستانها سرد و طولانی می‌باشد. با توجه به نمودار آمبروزه در شکل (۱-۳) دشت شیروان در ناحیه نیمه خشک معتدل قرار گرفته است (مدیریت مطالعات پایه منابع آب خراسان شمالی ۱۳۸۵).



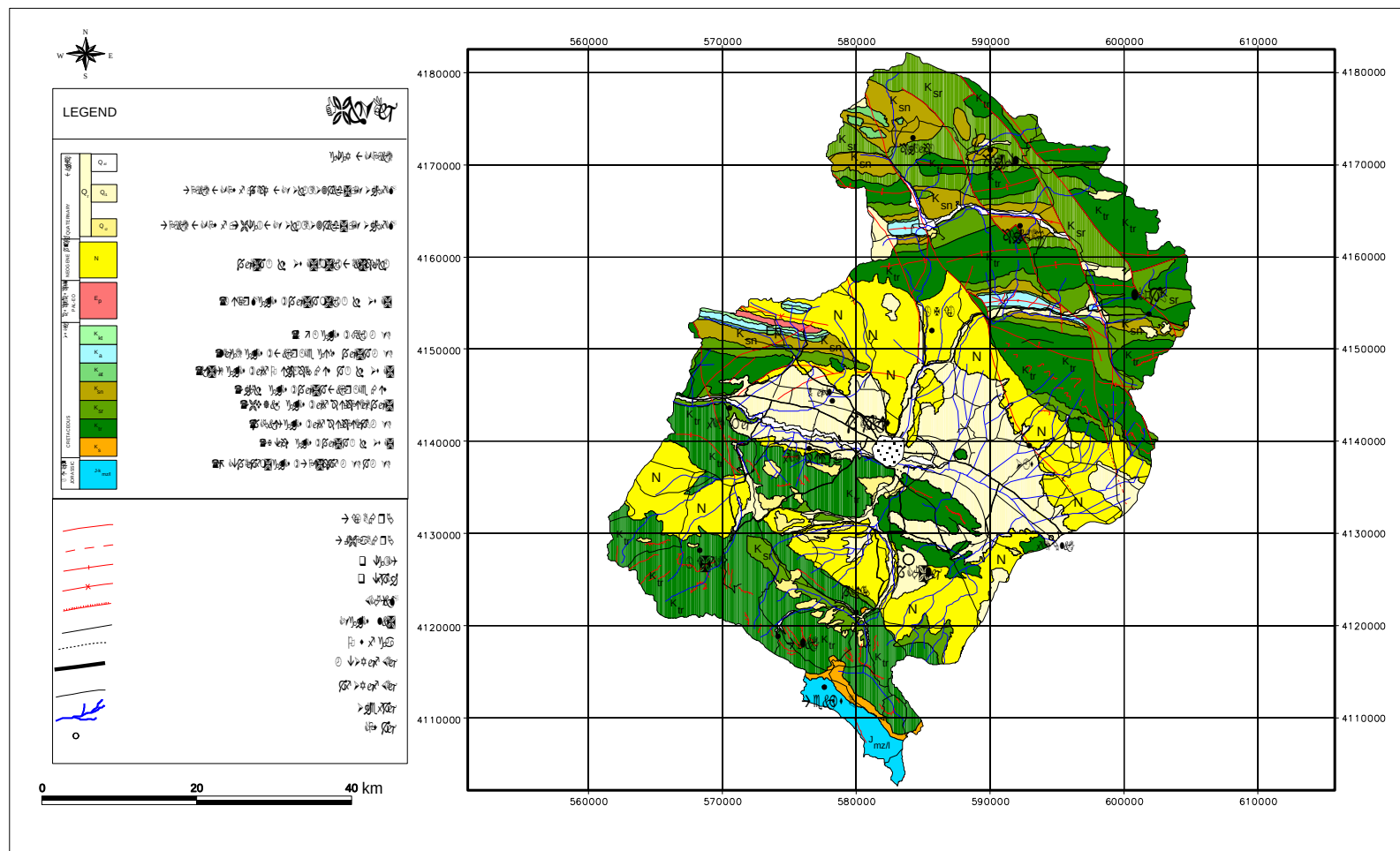
شکل (۱-۳): نمودار آمبروزه دشت شیروان (مدیریت مطالعات پایه منابع آب خراسان شمالی ۱۳۸۵).

۱-۶- زمین شناسی منطقه

زمین شناسی منطقه مورد مطالعه بر اساس گزارشات شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس (۱۳۶۴ و ۱۳۶۵)، گزارش شرکت مهندسی مشاور سرو آب (۱۳۷۵) و نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه‌های شیروان و فاروج و همچنین نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ورقه بجنورد مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از مطالعه زمین شناسی منطقه، شناخت و بررسی سازندهای مختلف، پراکندگی و اثرات آنها بر روی مخازن آبهای سطحی و زیرزمینی می‌باشد. محدوده زمین شناسی مورد مطالعه شامل دشت شیروان و ارتفاعات اطراف آن بوده که ارتفاعات شمالی بخشی از سیستم کپه داغ و ارتفاعات جنوبی بخشی از ارتفاعات البرز (ارتفاعات بینالود) می‌باشد. نقشه زمین شناسی محدوده مطالعاتی در شکل (۱-۴) نشان داده شده است. گستره آبگیر دشت شیروان (اترک علیا) بخشی از منطقه کپه داغ است که در شرق و جنوب استان خراسان شمالی واقع شده است. حوضه مورد نظر توسط رخساره‌های چین خورده دوران دوم که در حوضه کپه داغ بر روی هم انباشته شده محصور گشته و توسط رودخانه اترک زهکش می‌شود. منطقه مورد نظر، در حوضه رسوبی نسبتاً آرامی در دوران دوم زمین شناسی قرار داشته و ته‌نشست‌های رسوبی ضخیمی نیز در آن بر جای گذاشته شده است. این رسوبات با حرکات کوهزایی آلپین در اوایل دوران سوم چین خورده و مورفولوژی کنونی منطقه متأثر از این حرکات می‌باشد. دشت شیروان بخشی از ناودیس شیروان- قوچان با محور شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد که بین دو رشته کوه موازی ارتفاعات الله اکبر و هزار مسجد در شمال و کوههای آلا داغ و شاه جهان در جنوب قرار گرفته و رودخانه اترک در مرکز آن قرار دارد.

۱-۶-۱- چینه شناسی منطقه

لیتولوژی، وسعت و درصد سازندهای قابل رخنمون منطقه در جدول (۱-۳) آورده شده است. توالی رسوبی که در منطقه با آهکهای ژوراسیک شروع شده و تا دوره ائوسن ادامه داشته شامل سازندهای مزدوران/لار، شوریجه، سرچشمه، سنگانه، آتامیر، آبدراز، کلات، پستلیق، کنگلومرای نئوژن و آبرفتهای عهد حاضر می‌باشد که در ادامه توضیح داده می‌شوند:



شکل (۴-۱): نقشه زمین شناسی محدوده مطالعاتی

جدول (۱-۳): لیتولوژی، وسعت و درصد گسترش سازندها و واحدهای زمین‌شناسی قابل رخنمون در منطقه

ردیف	زمان زمین‌شناسی	علامت اختصاری	لیتولوژی	وسعت (کیلومتر مربع)	درصد
۱	کواترنری	Qal	آبرفت‌های عهد حاضر	۲۸/۹۷	۱/۱۱
۲		Qt2	دشت‌های آبرفتی، پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های جوان	۴۶۷/۶۳	۱۸/۰۲
۳		Qt1	پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های قدیمی	۳۷/۰۸	۱/۴۲
جمع واحدهای زمین‌شناسی دوران چهارم					
				۵۳۳/۶۸	۲۰/۵۷
۴	نتوژن	N	ماسه سنگ، کنگلومرای قرمز و مارن	۵۲۵/۱۹	۲۰/۲۴
۵	پالئوژن	Ep	ماسه سنگ قرمز، رس و شیل (سازند پستلیق)	۶/۱۴	۰/۲۴
جمع سازندها و واحدهای زمین‌شناسی دوران سوم					
				۵۳۱/۳۳	۲۰/۴۸
۶	کرتاسه فوقانی	Kkt	آهک کرم ماسه‌ای (سازند کلات)	۵/۶۹	۰/۲۲
۷		Ka	آهک و مارن سفید خاکستری (سازند آبدراز)	۲۲/۲۶	۰/۸۶
۸		Kat	ماسه سنگ و شیل سبز گلاکونیت‌دار (سازند آتامیر)	۱۷/۴۴	۰/۶۷
۹	کرتاسه تحتانی	Ksn	شیل خاکستری با لایه‌های جزیی سیلتستون (سازند سنگانه)	۱۴۶/۵۳	۵/۶۴
۱۰		Ksr	مارن و تناوب شیل با لایه‌های نازک آهک (سازند سرچشمه)	۳۷۶/۱۴	۱۴/۵۰
۱۱		Ktr	آهک اوربیتولین‌دار (سازند تیرگان)	۹۰۵/۳۱	۳۴/۹۰
۱۲		Ks	ماسه سنگ قرمز، شیل، کنگلومرا و ژپیس (سازند شوریجه)	۱۴/۹۴	۰/۵۷
۱۳	ژوراسیک	Jmz/l	آهک، آهک دولومیتی و دولومیت (سازند م)	۳۶/۴۲	۱/۴
جمع سازندهای زمین‌شناسی دوران دوم					
				۱۵۲۴/۷۳	۵۸/۷۸
جمع کل					
				۲۵۹۳/۷	۹۹/۸۳

۱-۱-۶-۱- سازند مزدوران/لار' ($J_{mz/l}$)

این سازند از لایه‌های نازک تا ضخیم آهکی به رنگهای خاکستری روشن و سفید تشکیل شده است. در بخشهای زیرین سنگ آهک به آهکهای سفید متمایل به صورتی تبدیل می‌شود. سازند مزدوران در هسته مرکزی تاقدیسهای منطقه واقع شده و از این جهت گسترش آن محدود خط

۱- هم ارز منطقه‌ای سازند لار در کپه داغ سازند مزدوران می‌باشد (آقانیانی، ۱۳۸۵) و (نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه بجنورد)

الرأس ارتفاعات به خصوص ارتفاعات جنوبی می باشد (سروآب ۱۳۷۵). این سازند کارستی بوده و ذخایر آبی نسبتاً زیادی را در خود جای داده است اما گسترش این سازند در محدوده مطالعاتی کم (۳۶/۴۲ کیلومتر مربع) و بنابراین تأثیر چندانی بر تغذیه آبخوان ندارد.

۱-۲-۱- سازند شوریه (K_{sh})

سنگهای کربناته مزدوران (در قسمت‌های بالای سازند) با تغییر رخساره به سنگ های آواری قرمز رنگ متعلق به کرتاسه زیرین تغییر یافته که در ارتفاعات جنوب غربی منطقه به صورت نوار باریکی در حد فاصل سازندهای مزدوران و تیرگان رخمون دارد. لیتولوژی این سازند (با ضخامت حدود ۴۰۰ متر) شامل ماسه سنگ، کنگلومرای قرمز رنگ، سیلتستون همراه با شیل، کمی ژپس و آهکهای آلیتی می‌باشد. سازند شوریه در منطقه مورد مطالعه گسترش کمی داشته (۱۴/۹۴ کیلومتر مربع) اما به دلیل دارا بودن لایه‌های گچی باعث تغییر کیفیت آب می‌گردد (سروآب ۱۳۷۵). تغییر سریع آهک مزدوران به ماسه سنگ قرمز شوریه مؤید آن است که یک نوع ناپیوستگی بین دو سازند وجود دارد و سازند شوریه با پسروری دریای ژوراسیک و شروع کرتاسه در محیط قاره‌ای برجای گذاشته شده است (مهاب قدس ۱۳۶۴). رسوبات این سازند بیانگر محیط رسوبگذاری کم ژرفا از محیط جزر و مدی تا نواحی کم ژرفای محیط نریتیک (محیطهای کم عمق با حداکثر عمق ۲۰۰ متر) می‌باشد.

۱-۲-۱- سازند تیرگان (K_{tr})

این سازند از آهک آلیتی و اوریتولین دار با منشأ تخریبی و آلی و آهک مارنی با لایه های مارنی خاکستری رنگ تشکیل شده است. این سازند بیشترین گسترش (۹۰۵/۳۱ کیلومتر مربع) را در محدوده مطالعاتی دارد و ۳۵ درصد از کل سازندهای قابل رخمون را تشکیل می‌دهد. ضخامت آن در برخی نقاط به ۱۲۰۰ متر می‌رسد و اغلب در ارتفاعات شمالی منطقه گسترش دارد. این سازند به علت داشتن درزه و شکستگی زیاد و رخمون بیشتر در سطح حوضه، در تأمین آب منطقه نقش

مؤثری دارد (سروآب ۱۳۷۵). هم اکنون به علت پتانسیل زیاد ذخیره آب، چندین حلقه چاه عمیق به منظور آب شرب شهرستان شیروان در رخنمون موجود در وسط دشت (۸ کیلومتری شرق شیروان واقع در تپه امیر آباد) حفر گردیده است.

۱-۶-۱-۴- سازند سرچشمه (K_{sr})

لیتولوژی این سازند شامل مارن سبز تیره و میان لایه هایی از آهک رس دار می باشد. این سازند اغلب در محور ناودیس ها و نواحی پست و کم ارتفاع حوضه رخنمون دارد. وسعت این سازند در محدوده مطالعاتی ۳۷۶/۱۴ کیلومتر مربع می باشد. به علت غیر قابل نفوذ بودن، مانع نفوذ آب به داخل سازند زیرین (سازند تیرگان) می گردد. ضمناً انحلال سازند مذکور در مسیر جریان های سطحی و یا قرارگیری در مجاورت سفره آب زیرزمینی سبب نامطلوب شدن کیفیت آب می گردد. رخنمون این سازند در شمال شرق امیر آباد (شمال شرق شیروان) مشاهده می شود که سبب نامطلوب شدن کیفیت آب می گردد (مهاب قدس ۱۳۶۴).

۱-۶-۱-۵- سازند سنگانه (K_{sn})

این سازند در منطقه مورد مطالعه گسترش محدودی دارد (۱۴۶/۵۳ کیلومتر مربع) و لیتولوژی آن متشکل از شیل و شیل آهکی خاکستری به نسبت یکنواخت می باشد و به ندرت میان لایه های نازک ماسه سنگی، سیلتستونی و سنگ آهک ماسه ای در آن دیده می شود. به دلیل نفوذ پذیری پائین، گسترش محدود و فاصله زیاد از دشت، نقش مؤثری در تغذیه آبخوان ندارد.

۱-۶-۱-۶- سازند آتامیر (K_{at})

لیتولوژی این سازند شامل ماسه سنگ گلاکونیتی همراه با شیل سبزرنگ (گلاکونیت دار) می باشد. سازند آتامیر غیرقابل نفوذ، ضخامت کم و تنها در محور ناودیس شیخ در شمال حوضه آبگیر

رخنمون دارد که به طور هم شیب بر روی سازند سنگانه قرار می گیرد (سروآب ۱۳۷۵). وسعت این سازند در محدوده مطالعاتی ۱۷/۴۴ کیلومتر مربع می باشد.

۱-۶-۱-۲- سازند آبدراز (K_{ab})

این سازند به طور هم شیب بر روی سازندهای قدیمی تر قرار گرفته و از آهک مارنی و مارن سفید رنگ تشکیل شده است. گسترش این سازند در سطح حوضه کم بوده (۲۲/۲۶ کیلومتر مربع) و تنها در ناودیس شیخ در شمال غرب حوضه دیده می شود و به واسطه غیر قابل نفوذ بودن و ضخامت کم لایه ها، نقش مؤثری در پتانسیل آبی منطقه ندارد (سروآب ۱۳۷۵). در فاصله ۴۰ کیلومتری شمال شهرستان شیروان، سد بارزو بر روی رودخانه قلجق (سرشاخه رود خانه اترک) در سازند آبدراز در حال بهره برداری می باشد.

۱-۶-۱-۱- سازند کلات (K_{kt})

قسمت بالایی رسوبات دوره کرتاسه شامل آهک ماسه دار کرمی رنگ می باشد که در سطحی محدود (۵/۶۹ کیلومتر مربع) در ناودیس شیخ در شمال غرب حوضه آبگیر دشت شیروان رخنمون دارد. این سازند به علت نیمه تراوا بودن، ضخامت کم و گسترش ناچیز، از نظر پتانسیل منابع آب اهمیت ندارد (سروآب ۱۳۷۵).

۱-۶-۱-۹- سازند پستلیق (E_p)

لیتولوژی این سازند شامل ماسه سنگ و سیلتستون قرمز رنگ، شیل و رس سنگ همراه با لایه های گچ می باشد. به علت گسترش محدود (۶/۱۴ کیلومتر مربع) نقش مؤثری بر کیفیت و کمیت آبهای منطقه ندارد. سازند مذکور مؤید پسروری دریا در اواخر دوره کرتاسه و خاتمه دوران دوم زمین شناسی در منطقه می باشد (سروآب ۱۳۷۵).

1-7-1-1- سازند نئوژن (N)

لیتولوژی این سازند شامل کنگلومرا و رس قرمز رنگ همراه با تعداد کمی لایه های سیلتی و ماسه سنگی می باشد که به صورت دگرشیب بر روی سازندهای قدیمی تر در دامنه تاقدیس ها و ناودیس ها قرار گرفته است. منشأ تشکیل این رسوبات اکثراً تخریبی بوده و به علت غیر قابل نفوذ بودن و قرارگیری در زیر آبرفت دشت شیروان، سنگ کف (bed rock) منطقه و دشت مذکور را بوجود آورده است. گسترش این سازند در محدوده مطالعاتی قابل توجه بوده (۵۲۵/۱۹ کیلومتر مربع) و ۲۰ درصد از کل سازندهای قابل رخنمون را در بر می گیرد که در اکثر نقاط منطقه مورد مطالعه نظیر سرتاسر حاشیه شمالی و جنوب دشت گسترده شده است. خصوصاً آنکه تا دامنه ارتفاعات آهکی مشرف به منطقه ادامه داشته و از تغذیه سفره آب زیرزمینی توسط سازندهای آهکی جلوگیری می نماید. همانطور که در قسمت زمین شناسی ارتفاعات و حاشیه دشت ملاحظه گردید تنوع لیتولوژی قابل توجهی در محدوده مورد مطالعه وجود دارد، بالطبع آبرفت حاصل از فرسایش این ارتفاعات نیز از نظر جنس، ضخامت، اندازه ذرات و حتی لیتولوژی یکنواخت نمی باشد.

1-7-1-1- رسوبات آبرفتی دوران چهارم (Q_1)

ادامه رسوبگذاری دوران سوم زمین شناسی، آبرفت های کواترنر می باشد. این رسوبات در اثر فرسایش ته نشست های قدیمی تر حاصل شده و اکثراً از نوع رسوبات مخروطه افکنه ها، تراس های آبرفتی و نهشته های جدید می باشد که سطح دشت و کف دره ها را پوشانده است. رسوبات نوع مخروطه افکنه ای، دارای دانه بندی منظم بوده و اکثراً گوشه گرد می باشند که قطعات بزرگتر در ابتدای دره ها و قطعات کوچکتر به طرف دشت کشیده شده است. این رسوبات در تغذیه سفره آب زیرزمینی اهمیت بسزایی دارد. واریزه های پای ارتفاعات اکثراً دانه درشت و زاویه دار بوده و در دامنه ارتفاعات آهکی مشرف به دشت وسعت زیادی را پوشش می دهد و به علت نفوذپذیری زیاد در تغذیه سفره آب زیرزمینی مؤثر هستند. تراس های آبرفتی خود شامل پادگانه های آبرفتی قدیمی تر (Q_1)، پادگانه های آبرفتی جدید یا به عبارتی نهشته های آبرفتی (Q_2) و آبرفت های جوان (Q_{al}) می باشد. پادگانه های آبرفتی قدیمی تر یا قدیمی ترین رسوبات کواترنر (Q_1) از شن و

قلوه سنگ رودخانه ای تشکیل شده است و گاهی به علت وجود سیمان نیمه سخت، حالت کنگلومرای نیمه متراکم به خود گرفته است. پادگانه‌های آبرفتی جدید (Q_2) رسوبات منفصلی می‌باشد که توسط رودخانه‌ها، حمل شده و بر روی سنگ کف ناهموار نئوژن بر جای گذاشته شده است اغلب از شن، ریگ، ماسه و مقادیر زیادی رس تشکیل شده است. این تنوع جنس و اندازه ذرات سبب ناهمگنی و غیر همسویی آبخوان آبرفتی می‌گردد. آبرفت‌های جوان (Q_{al}) نیز شامل آبرفت‌های دانه درشت تا متوسط با نفوذپذیری زیاد می‌باشد. این رسوبات با ضخامت کم در بستر رودها و مسیل‌ها بر جای گذاشته شده و محل خوبی برای تغذیه آبخوان اصلی دشت می‌باشد و در بستر سرشاخه‌های ورودی به رودخانه اترک (رودخانه اصلی دشت) نیز دیده می‌شود (سروآب ۱۳۷۵).

۱-۶-۲- تکتونیک منطقه

تکتونیک (زمین ساخت) منطقه از سیستم کپه داغ تبعیت می‌نماید. سیستم کوهزائی کپه داغ متشکل از چند رشته چین خوردگی‌های نسبتاً موازی با امتداد شمال غرب- جنوب شرق تشکیل شده است که در تمامی قسمت شمال خراسان (از حدود گرگان تا مرز افغانستان) ادامه دارد. دشت شیروان بر روی ناودیس وسیعی با محور شمال غرب- جنوب شرق قرار گرفته که شروع این ناودیس بزرگ از حدود شیروان و خاتمه آن بعد از مشهد می‌باشد. این ناودیس که از رسوبات آبرفتی و لایه‌های قرمز چین خورده نئوژن پر شده، سیستم کپه داغ (ارتفاعات الله اکبر و هزار مسجد در شمال) را از البرز (ارتفاعات بینالود در جنوب) جدا می‌کند. چین خوردگی‌های بخش مرکزی کپه داغ که تقریباً دشت شیروان در جنوب آن واقع می‌باشد توسط گسل‌های عرضی با امتداد تقریبی شمال غرب- جنوب شرق، جابجایی افقی حاصل نموده است این گسل‌ها اکثراً موازی می‌باشند. دسته دیگری از گسل‌های موجود در منطقه (ارتفاعات شمال) روند تقریبی شرقی- غربی دارد که جابجایی افقی چندانی را ایجاد نکرده ولی جابجایی عمودی لایه‌ها را سبب شده است. علی‌رغم وجود دو دسته گسل با امتداد متفاوت در ارتفاعات شمالی دشت، ارتفاعات جنوبی منطقه فاقد گسل‌هایی با روند مشخص و قابل توجه می‌باشد (مهاب قدس ۱۳۶۴).

۱-۷- مورفولوژی منطقه

منطقه از نظر مورفولوژی در مراحل جوانی به سر می‌برد. دشتهای صاف و هموار، ولی محدود که به طور عمده به کشاورزی اختصاص یافته‌اند از ویژگی‌های منطقه می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه ارتفاعات نیمه شمالی نسبت به نیمه جنوبی آن از ارتفاع کمتری برخوردار می‌باشد. مورفولوژی منطقه رابطه مستقیم با زمین ساخت، جنس واحدهای سنگی و ساختمان زمین شناسی آن دارد. از کهن‌ترین واحدهای سنگی رخنمون یافته، به ویژه در شمال منطقه، سازند آهکی تیرگان است. این سازند مجموعه‌ای صخره ساز بوده که بیشتر، ارتفاعات را در منطقه ایجاد کرده است این واحد سنگی، هسته بیشتر تاقدیسها را در منطقه تشکیل می‌دهد. اشکال Canyon (دره‌های ژرف و دراز)، Flatiron (برجستگی‌ها و پشته‌های کوتاه و مثلثی شکل که بر روی یال کوهها دیده می‌شوند) و ساختمانهای کارستی از اشکال مورفولوژی می‌باشند که توسط سازند تیرگان در منطقه بوجود آمده است. سازندهای سرچشمه و سنگانه در مقایسه با واحد سنگی تیرگان، ارتفاعات پست‌تری را بوجود آورده، طرح دندربیتی آبراهه و اشکال تپه ماهوری (Badland)، از نماهایی هستند که در این سازندها دیده می‌شوند. از لحاظ چین خوردگی، چین‌ها در گستره این ورقه به طور معمول ارتفاع ساز نمی‌باشند. یالهای تاقدیسها و ناودیسها اغلب با شیب بسیار کم، چین خوردگی بسیار کمی را بوجود آورده‌اند و ارتفاع به نسبت کمی را تشکیل داده‌اند و هر چند یالهای برخی از چینها دارای شیب زیاد هستند ولی باز ارتفاع بلندی را بوجود نیاورده‌اند. با وجود راندگی‌های بزرگی که در منطقه رخ داده است ولی ارتفاعات حاصل از راندگی‌ها در این ناحیه از دیدگاه مورفولوژی از اهمیت چندانی برخوردار نیستند. در پایانی‌ترین نقطه شمالی ورقه (محدوده روستای کاری) در اثر رانده شدن سازند تیرگان بر روی سازند سرچشمه ارتفاعات به نسبت متوسطی ایجاد شده است. حرکت گسلهای راستا لغز باعث بریده شدن و جابجایی ارتفاعات و تغییر مسیر رودخانه‌ها شده است. آبراهه‌های بسیاری از رودخانه‌ها، در مسیر گسلهای راستا لغز جای دارد. مورفولوژی منطقه باعث شده است تا توپوگرافی آن رابطه مستقیمی با ساختار زمین شناسی آن داشته باشد به عبارتی تاقدیسها و واحدهای سنگی، نواحی مرتفع حوضه آبرگیر را تشکیل می‌دهند و ناودیسها و

رخساره‌های مارنی و رسی سبب تشکیل دشتهای میان کوهی، دره‌ها و نواحی پست حوضه گردیده است. در نتیجه سه واحد مورفولوژیک کاملاً مشخص در منطقه قابل بررسی است.

۱-۷-۱- واحد شمالی

این واحد منطقه کوهستانی و مرتفعی می باشد که اغلب توسط سازندهای دوران دوم زمین شناسی پوشانده شده است. سنگهای کربناته سازند تیرگان واحد سنگی صخره ساز ارتفاعات شمالی منطقه و سازند سرچشمه و سنگانه از جمله واحدهای سنگی نرم و دره ساز می باشد که نواحی کم ارتفاع و پست را تشکیل می دهد. این واحد با توجه به ساختار زمین شناسی و چین خوردگی های موجود نسبت به ارتفاعات جنوبی (واحد جنوب) ناهموارتر و شیب دره ها بیشتر می باشد. حداکثر ارتفاع در این واحد برابر با ۲۹۰۳ متر (کوه آق کمر در شمال حوضه) می باشد که به تدریج به سمت جنوب کاهش یافته و در حاشیه دشت (حاشیه شمالی دشت) به ۱۴۰۰ متر از سطح دریا می رسد. در حاشیه ارتفاعات که سازندهای نئوژن گسترش دارد اراضی ناهموار بوده و از شیب توپوگرافی کاسته شده است (سرو آب ۱۳۷۵).

۱-۷-۲- واحد جنوبی

این واحد نیز منطقه کوهستانی و مرتفعی می باشد که حوضه آبگیر اترک را از حوضه آبگیر کویر مرکزی جدا می نماید به عبارتی ارتفاعات بین دشت شیروان و دشت اسفراین می باشند. سازندهای مزدوران، تیرگان و سنگ های آذرین خروجی (آندزیت و توف) از جمله سنگهای صخره ساز می باشد. این واحد نسبت به واحد شمالی گسترش کمتری دارد و شیب آن توپوگرافی نیز با توجه به ساختار زمین شناسی موجود ملایم تر می باشد. حداکثر ارتفاع در این واحد برابر با ۳۰۳۲ متر کوه شاه جهان در جنوب حوضه می باشد.

۱-۷-۳- واحد مرکزی

این واحد پهنه آبرفتی وسیعی می‌باشد که توسط رسوبات حمل شده رودخانه اترک و سرشاخه‌های آن پوشیده شده و آبخوان آبرفتی منطقه را در خود جای داده است. رسوبات آبرفتی با توجه به جنس سنگهای حاشیه دشت و ارتفاعات آن بیشتر از ذرات دانه متوسط تا ریز دانه تشکیل شده است. شیب عمومی این واحد در جهت جریان رودخانه (از شرق به غرب) و از دامنه ارتفاعات شمالی و جنوبی به طرف مرکز دشت می‌باشد. حداکثر ارتفاع دشت در حاشیه ارتفاعات شمالی برابر با ۱۴۰۰ متر است که به سمت شمال غرب منطقه خروجی دشت (واقع در غرب شهرستان شیروان) به ۱۰۰۰ متر کاهش می‌یابد. ارتفاع متوسط دشت برابر با ۱۲۵۰ متر از سطح دریا گزارش شده است.

۱-۸- هیدرولوژی منطقه

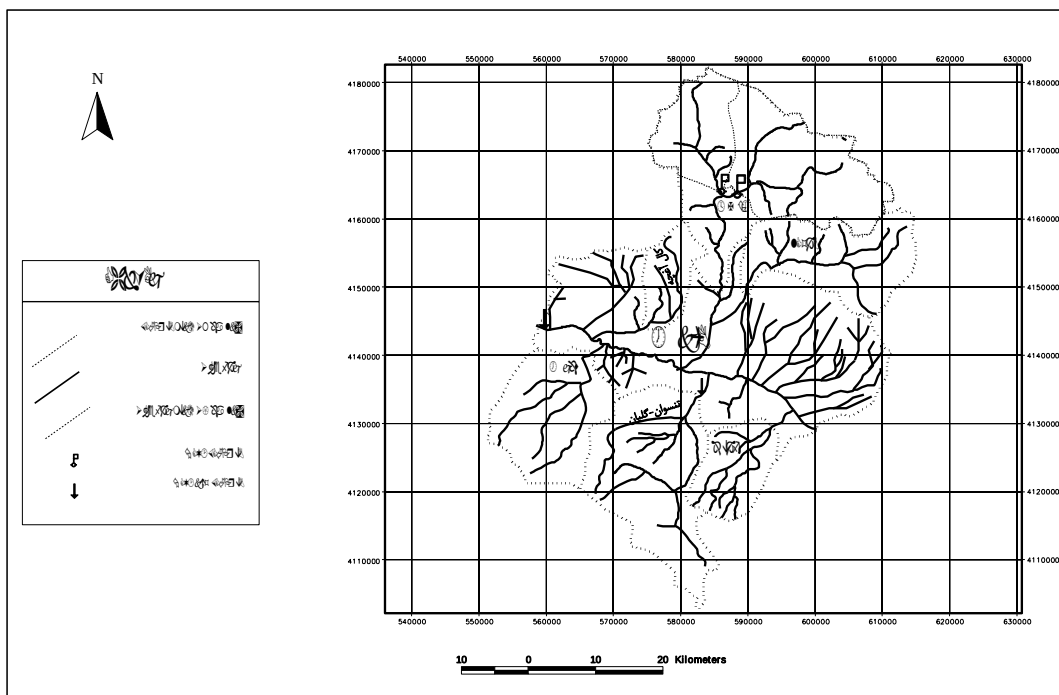
دشت شیروان بخشی از قسمت علیای حوضه آبرگیر رودخانه اترک را تشکیل می‌دهد که این رودخانه پس از پیوستن چندین سرشاخه اصلی و فرعی در ارتفاعات شمالی و جنوبی دشت در مسیر شرقی غربی به سمت خروجی دشت (روستای رضا آباد) در جریان می‌باشد و در ادامه پس از گذشتن از قسمت میانی و پایانی حوضه آبرگیر رودخانه اترک به دریای خزر می‌پیوندد. در حوضه آبرگیر دشت شیروان ۴ ایستگاه هیدرومتری وجود دارد که متأسفانه در حال حاضر فقط ۲ ایستگاه فعال می‌باشد. از مجموع این ۴ ایستگاه دو ایستگاه اندازه‌گیری مقدار آب سرشاخه‌های رودخانه قلجق را بر عهده دارند و دو ایستگاه دیگر که عبارتند از ایستگاه رضا آباد (در خروجی دشت) و ایستگاه چلو به دشت (در محل ورود رودخانه تنسوان- گلیان)، در حال حاضر غیر فعال می‌باشند. موقعیت جغرافیایی و مشخصات دو ایستگاه فعال در دشت شیروان در جدول (۱-۴) آورده شده است.

جدول (۴-۱): موقعیت و مشخصات ایستگاههای فعال دشت شیروان

(مدیریت مطالعات پایه منابع آب خراسان شمالی ۱۳۸۵)

تجهیزات		سال تاسیس	تعداد سال آماري	مساحت حوزه (کیلومتر مربع)	متوسط حجم سالیانه M.C.M	متوسط دبی CMS	UTM(Y)	UTM(X)	نام ایستگاه
اشل	لیمینگراف								
✓	✓	۱۳۷۵	۶	۲۳۰	۱۸/۰۹	۰/۵۷	۴۱۶۶۵۲۶	۵۸۴۱۸۰	کورکانلو
✓	✓	۱۳۷۶	۵	۱۲۵	۲۴/۰۴	۰/۷۶	۴۱۶۸۳۱۶	۵۸۱۰۳۲	قوردانلو

حوضه آبرگیر دشت شیروان شامل چندین رودخانه، مسیل و آبراهه می باشد که در ادامه توضیح داده شده است. موقعیت ایستگاههای فعال، غیر فعال، رودخانه ها، آبراهه ها، مسیلها و حوضه آبرگیر آنها در شکل (۵-۱) نشان داده شده است.



شکل (۱-۵): موقعیت ایستگاههای هیدرومتری فعال، غیر فعال، رودخانه‌ها، مسیله‌ها و محدوده حوضه آبریز آنها

۱-۸-۱- رودخانه اترک

این رودخانه پس از پیوستن مجموع رودخانه‌ها و مسیله‌های دشت قوچان به صورت زهکش پس از طی مسیر در جهت تقریباً شرقی- غربی در محل روستاهای فیض آباد و برزل آباد وارد دشت شیروان می‌گردد. در ادامه مسیر خود را در دشت شیروان در جهت شرقی- غربی به صورت زهکش طی می‌نماید و در محل روستای رضاآباد از دشت شیروان خارج می‌گردد. قسمت انتهایی رودخانه، زهکش سفره آب زیرزمینی است و بقیه مسیر فاقد آب می‌باشد، به طوری که فقط در مواقع پر آبی سیلاب در آن جریان می‌یابد. وسعت حوضه آبریز این رودخانه تا ایستگاه رضا آباد (در حال حاضر غیر فعال می‌باشد) ۸۳۵ کیلومتر مربع است. براساس آمار چند ساله این ایستگاه، جریان سطحی معادل ۶۷ میلیون متر مکعب بر آورد گردیده که حداکثر آن برابر با ۱۵۵/۷۴۲ میلیون متر مکعب (

سال آبی ۵۵-۱۳۵۴ و حداقل آن برابر ۱۰/۹۵۷ میلیون متر مکعب (۶۵-۱۳۶۴) بر آورد شده است. کیفیت آب رودخانه اترک در طول مسیر حرکت تغییر می‌نماید.

۱-۸-۲- رودخانه اوغاز (هنامه)

این حوضه از زیر حوضه های شمالی رودخانه اترک بوده که در شمال شرق شهر شیروان واقع شده است. مساحت حوضه آبرگیر این رودخانه تا محل ورود به دشت حدود ۲۴۸/۵ کیلومتر مربع بوده و حداکثر ارتفاع آن ۲۷۱۸ متر و حداقل آن ۱۳۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. رواناب متوسط سالانه حوضه رودخانه اوغاز از چندین روش بر آورد شده است و نهایتاً حجم متوسط سالانه ۲۲/۵ میلیون متر مکعب برای این حوضه پذیرفته شده است. توزیع ماهانه رواناب با استفاده از رودخانه بارزو که در مجاورت آن واقع شده صورت گرفته است متوسط حجم ماهانه رواناب رودخانه اوغاز در طی یک دوره آماری ۲۱ ساله (سال ۵۳-۱۳۵۲ تا سال ۷۳-۱۳۷۲) در جدول (۱-۵) درج شده است (سروآب ۱۳۷۵).

جدول (۱-۵): متوسط حجم ماهانه رواناب رودخانه اوغاز بر حسب میلیون متر مکعب (سروآب ۱۳۷۵)

م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م
م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م
میان	۰/۸۲	۰/۸۹	۱/۰۶	۱/۱۰	۱/۲۶	۳/۰۴	۴/۲۴	۳/۳۶	۲/۷۱	۱/۷۰	۱/۲۶	۰/۷۶	۵۷۵/۲۲

۱-۸-۳- رودخانه قلیج

رودخانه قلیج از ارتفاعات شمالی (کوههای الخاص) دشت شیروان سرچشمه می‌گیرد و پس از طی مسیر تقریباً شمالی - جنوبی به رودخانه اترک ملحق می‌شود. این رودخانه مهمترین منبع آب سطحی است که دشت شیروان را تغذیه می‌نماید (مهاب قدس ۱۳۶۵). در سالهای اخیر به علت ایجاد سد بر روی این رودخانه، ایستگاههای جدید بر روی دو شاخه فرعی، به نامهای کورکانلو (در محل روستای کورکانلو) با مساحت حوضه ۲۲۹ کیلومتر مربع و میانگین تخلیه سالانه ۱۳/۰۹ میلیون متر مکعب و قوردانلو (در محل روستای قوردانلو) با مساحت حوضه ۱۲۵ کیلومتر مربع و متوسط تخلیه سالانه ۲۲/۵۰ میلیون متر مکعب در سال بجای ایستگاه قبلی (در محل سد بارزو) احداث شده است. توزیع دبی متوسط ماهانه دو ایستگاه در جدول (۱-۶) آورده شده است.

جدول (۱-۶): توزیع دبی متوسط ماهانه دو ایستگاه رودخانه قلیج

(مدیریت مطالعات پایه منابع آب خراسان شمالی ۱۳۸۵)

نام ایستگاه	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر
اسفند	فروردین	اردیبهشت	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر
۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۲	۰/۲۴	۰/۳	۰/۸۹	۱/۴۵	۱/۵۴	۱/۷۲	۰/۴۴	۰/۵۵	۰/۱۶	۰/۵۷	قلیج - کورکانلو
۰/۴۱	۰/۶۷	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۳۳	۱/۰۴	۱	۳/۵۹	۰/۵۹	۰/۳۲	۰/۹۹	۰/۰۷	۰/۷۶	قلیج - قوردانلو

۱-۸-۴- رودخانه تنسوان - گلیان

سرچشمه رودخانه تنسوان در دامنه های شمالی رشته کوه های آلا داغ قرار دارد. این رودخانه در امتداد جنوب به شمال جریان یافته و در جنوب شهر شیروان به رودخانه اترک ملحق می‌شود. بر روی رودخانه تنسوان در محل روستای چلو (در طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۵۵ دقیقه و عرض ۳۷ درجه و ۲۷ دقیقه) یک ایستگاه هیدرومتری مجهز به اشل وجود داشت که دارای ۶ سال آمار

می‌باشد. وسعت حوضه آبخیز رودخانه برابر ۳۸۰ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط آن ۱۴۳۰ متر از سطح دریاست. با استفاده از رابطه همبستگی که بین آبدهی رودخانه تبارک (رودخانه‌ای در حوضه آبخیز قوچان) و تنسوان برقرار است، آمار ۱۵ ساله رودخانه تنسوان محاسبه شده است. دبی متوسط ۱۵ ساله برابر با ۰/۳۴۳ متر مکعب در ثانیه و معادل ۱۰/۸ میلیون متر مکعب برآورد گردیده است (سروآب ۱۳۷۵).

۱-۸-۵- کال آغچه

این مسیل در شمال شهر شیروان در غرب رودخانه قلیجق واقع شده است. حوضه آبخیز این رودخانه با رودخانه قلیجق مرز مشترک داشته و قبل از روستای زیارت وارد دشت می‌شود. مساحت حوضه آبخیز این رودخانه حدود ۱۵۰ کیلومتر مربع است. این مسیل قنات روستای زیارت را تغذیه نموده و جریانهای مازاد پس از عبور از دشت به طرف رودخانه اترک جریان می‌یابد.

۱-۸-۶- مسیل دوین

مساحت حوضه آبخیز ۷۷/۱ کیلومترمربع و حجم آورد متوسط سالانه آن ۴/۸ میلیون متر مکعب است (سروآب ۱۳۷۵).

۱-۸-۷- رودخانه شورک

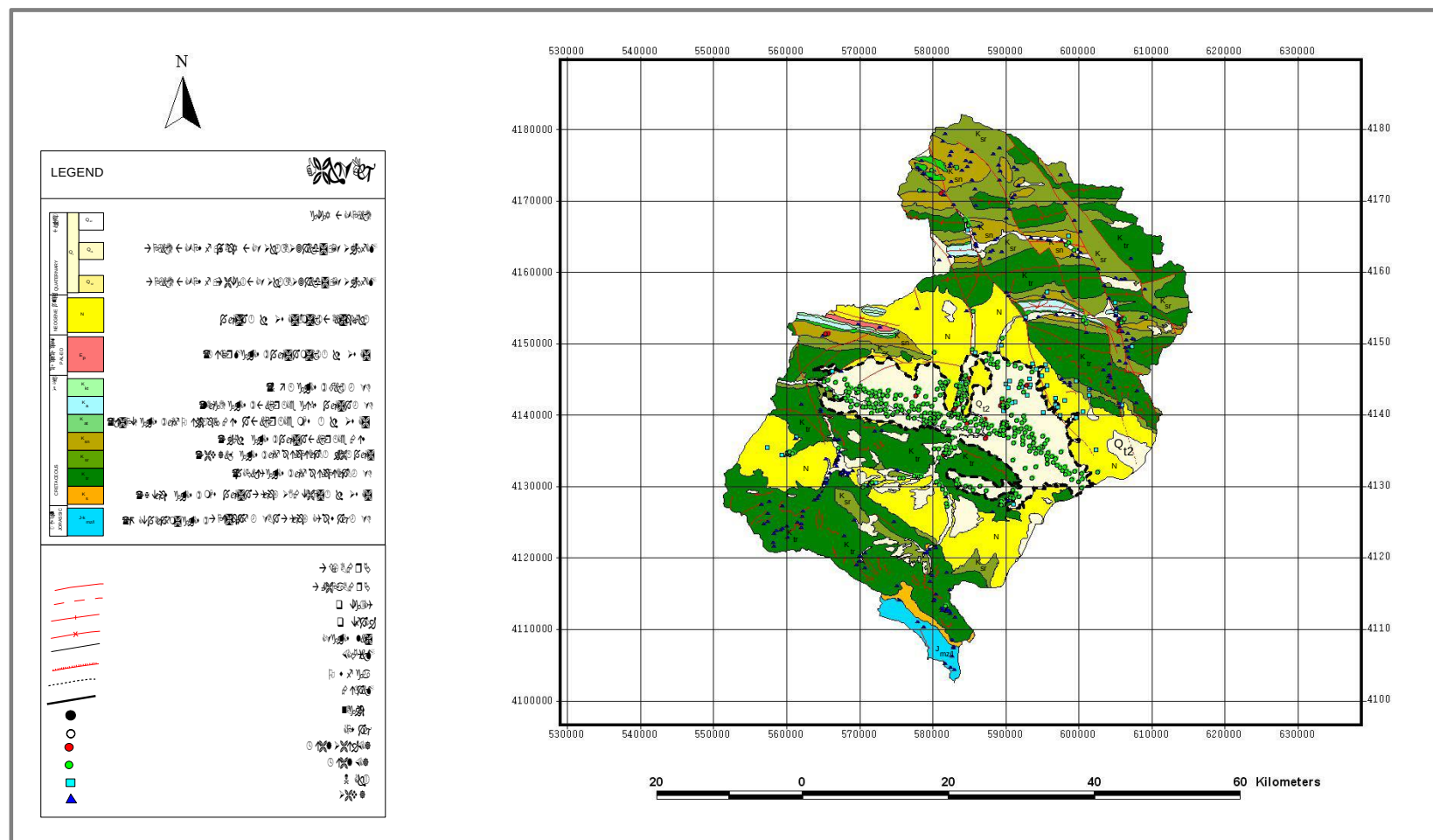
حوضه آبخیز این رودخانه با مساحت ۹۵ کیلومتر مربع در جنوب غربی شهرستان شیروان واقع شده است. حجم آورد سالانه این رودخانه معادل ۸/۷ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است (سروآب ۱۳۷۵).

۱-۸-۸- رودخانه‌های فرعی

تعدادی مسیل و آبراهه از ارتفاعات شمالی و ارتفاعات جنوبی دشت شیروان وارد این دشت شده و به رودخانه اترک ملحق می‌شود. این مسیله‌ها فقط در مواقع سیلابی دارای جریان می‌باشند که نقش تغذیه آب زیرزمینی را طریق مخروطه افکنه‌ها و بستر بر عهده دارند.

۱-۹- هیدروژئولوژی منطقه

مطالعه منابع آب زیرزمینی این حوضه از سال ۱۳۴۶ آغاز گردیده و کنترل تغییرات کمی و کیفی منابع آب و بررسی نوسانات سطح آب به طور مستمر ادامه دارد. تمرکز چاههای بهره‌برداری در دشت شیروان عمدتاً در مرکز دشت و در دو طرف جاده ارتباطی اصلی می‌باشد. بر همین اساس پراکندگی چاهها در این دشت به سمت شمال و جنوب کاهش می‌یابد. بهره برداری از چاههای مزبور عمدتاً به منظور مصارف کشاورزی، بعضاً شرب و صنعت انجام می‌گیرد. سالیانه بیش از ۱۰۰ میلیون متر مکعب از ذخایر آب زیرزمینی آبخوان حوضه شیروان توسط ۳۵۰ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق، ۵۶ رشته قنات دایر و ۲۳۸ دهنه چشمه برداشت می‌شود. ارقام و اطلاعات ذکر شده متعلق به آماربرداری سال ۱۳۸۱ می‌باشد.



شکل (۱-۶): موقعیت چاههای عمیق، نیمه عمیق، چشمه‌ها و قنات‌ها در محدوده مورد مطالعه

ذکر این نکته ضروری است که خشک‌سالی‌های اخیر باعث کاهش شدید آبدهی منابع موجود در دشت شیروان گردیده است این در حالی است که سازند های سخت این حوضه (آهک های مزدوران و تیرگان) شرایط لازم را جهت ذخیره منابع آب دارند و سالیانه حجم زیادی از نیاز آبی منطقه از طریق چشمه های کارستی منطقه و ۳ حلقه چاه آهکی تأمین می‌شود. موقعیت چاههای بهره‌برداری، چشمه‌ها و قناتها در شکل (۱-۶) ارائه شده است.

۱-۹-۱- چاههای عمیق و نیمه عمیق

چاههای حفر شده در حوضه شیروان شامل ۳۲۶ حلقه چاه عمیق و ۲۴ حلقه چاه نیمه عمیق با برداشت سالانه بیش از ۶۰ میلیون متر مکعب در سال است. آبدهی چاههای منطقه از ۰/۳۴ تا ۵۱/۸ لیتر در ثانیه متفاوت است. متوسط آبدهی چاهها ۷/۹ لیتر در ثانیه و مجموع دبی لحظه‌ای آنها برابر ۲۳۸۰ لیتر در ثانیه می‌باشد. عمق چاهها با عنایت به تغییرات سطح آب زیرزمینی متغیر است، از حداکثر ۲۰۰ تا حداقل ۴ متر تغییر می‌کند.

۱-۹-۲- قنوات

در این حوضه در آخرین دوره آماری تعداد ۵۴ رشته قنات دایر و ۲ قنات بایر موجود می‌باشد. که مجموع دبی لحظه‌ای این قنوات حدود ۵۹۰ لیتر در ثانیه گزارش شده است. حداکثر، حداقل و متوسط آبدهی قنوات فوق نیز به ترتیب ۷۵/۸، ۰/۱ و ۱۰/۹ لیتر در ثانیه گزارش شده است. اکثر قنوات در نواحی کوهپایه‌ای و دامنه‌ای واقع شده‌اند که در سال های اخیر با متداول شدن حفر چاه و افت سطح آب زیرزمینی اکثر قنوات داخل دشت خشک شده‌اند. حداکثر طول قنوات منطقه ۳۶۰۰ متر و حداقل ۹ متر می‌باشد. حداکثر عمق مادر چاه ۵۰ متر و حداقل ۲ متر در ارتفاعات شمالی دشت می‌باشد.

در آماربرداری سال ۱۳۸۲ که در سطح حوضه انجام شده، از ۲۳۸ دهانه چشمه با مجموع برداشت ۲۸/۷۲ میلیون متر مکعب در سال بازدید گردیده است. این چشمه‌ها در نواحی کوهستانی در امتداد گسله‌ها و داخل دره‌ها ظاهر شده و حداکثر آبدهی در چشمه قرق قیز (واقع در روستای تنسوان) ۴۶ لیتر در ثانیه است. آبدهی متوسط و حداقل چشمه‌های منطقه شیروان به ترتیب ۳/۸۲ و ۰/۰۵ لیتر در ثانیه گزارش شده است. لازم به ذکر است به علت خشک‌سالی‌های چند ساله اخیر، آبدهی چشمه‌های فوق به شدت کاهش یافته است.

۱۰-۱- هیدروشیمی آبخوان

به منظور بررسی تغییرات کیفیت آبهای زیرزمینی در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه و همچنین ارتباط بین کیفیت آبهای نواحی مختلف با سازندهای زمین شناسی و فاضلابهای شهری و صنعتی از نتایج آنالیزهای انجام شده توسط شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان شمالی استفاده شده است. این نمونه‌ها از ۲۱ حلقه چاه عمیق در قسمت‌های مختلف دشت برداشت شده و سپس مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفته‌اند (جدول ۷-۱). دشت شیروان را از لحاظ کیفی می‌توان به سه منطقه شرقی، مرکزی و غربی تقسیم نمود. به منظور سادگی و درک بهتر، متوسط داده‌های مختلف در هر منطقه محاسبه شده و سپس بر اساس داده‌های میانگین نمودارهای پایپر و شولر ترسیم شده است. هدایت الکتریکی به طور قابل توجهی در جهت جریان آب زیرزمینی افزایش پیدا می‌کند. هدایت الکتریکی در منطقه شرقی حد وسط، مرکزی حداقل و در منطقه غربی حداکثر مقدار را دارا می‌باشد. شکل (۷-۱) هدایت الکتریکی را در سه منطقه شرقی، غربی و مرکزی نسبت به هم نشان می‌دهد همچنین در شکل (۸-۱) نقشه هدایت الکتریکی منطقه ترسیم شده است. بررسی نقشه هدایت الکتریکی نشان می‌دهد که میزان تغییرات هدایت الکتریکی در قسمت‌های مختلف دشت از ۱۰۰۰ تا حدود ۱۰۰۰۰

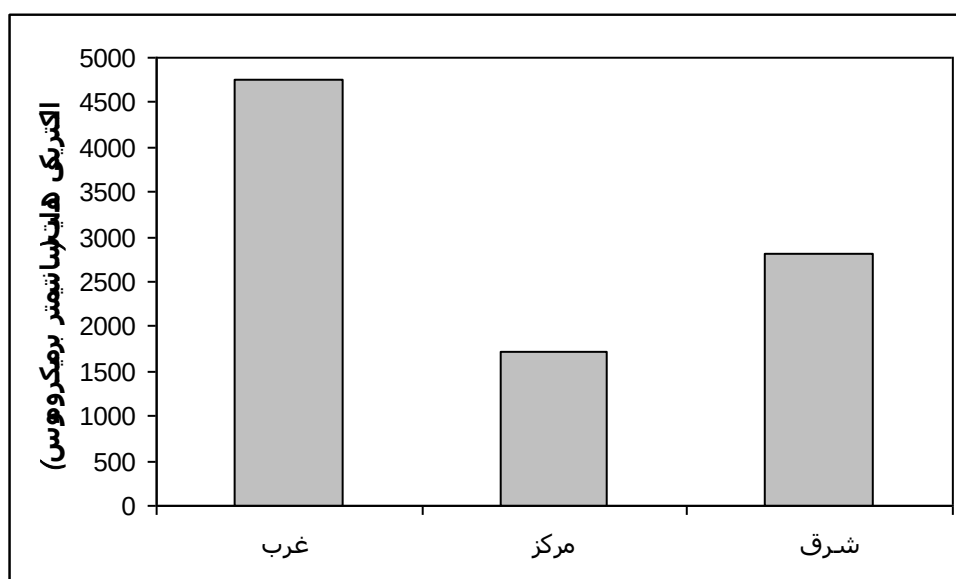
میکروموس بر سانتیمتر متغیر است که این تغییرات به علت وجود یونهای مختلف در آب می باشد. میزان هدایت الکتریکی در منطقه شرقی دشت در حدود ۳۵۰۰ میکروموس بر سانتیمتر می باشد که بالا بودن نسبی هدایت الکتریکی در این ناحیه به علت تأثیر سازندهای زمین شناسی (وجود تشکیلات نئوژن در ارتفاعات شمالی و سازند مارنی شور یجه در ارتفاعات جنوبی) می باشد.

جدول (۷-۱): نتایج آنالیز نمونه های آب منطقه مورد مطالعه (غلظت یونها بر حسب میلی اکیوالان بر لیتر)

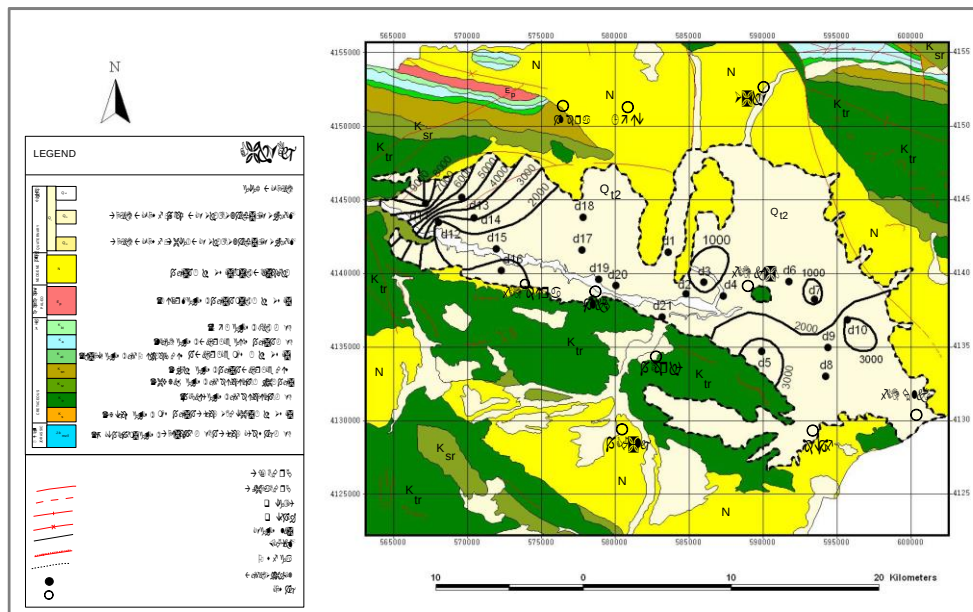
UTM(X)	UTM(Y)	well	EC×10-6 25°C	T.D.S mg / lit	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
۵۸۳۶۰۰	۴۱۴۴۷۵۰	D1	۱۶۷۴	۱۰۵۵	۸/۱	۲/۵	۷	۵/۳	۸/۲	۴
۵۸۴۸۰۰	۴۱۴۳۴۵۰	D2	۱۷۷۳	۱۱۱۷	۶/۵	۲/۸	۹/۴	۳/۸	۱۰	۴/۷
۵۸۶۰۰۰	۴۱۴۵۱۵۰	D3	۲۲۸۰	۱۴۳۶	۴/۶	۷	۱۰/۹	۲/۹	۸	۱۱/۹
۵۸۷۳۲۵	۴۱۴۳۷۵۰	D4	۱۹۱۳	۱۲۰۵	۴/۵	۵/۶	۹/۱	۲/۱	۷/۶	۹/۵
۵۸۹۹۲۵	۴۱۴۱۶۵۰	D5	۴۱۱۰	۲۵۸۹	۳	۱۶	۲۲	۸/۷	۹/۷	۲۲
۵۹۱۷۷۵	۴۱۴۱۲۰۰	D6	۱۳۰۴	۸۲۲	۴/۴	۴/۴	۴/۲	۲	۳/۴	۷/۶
۵۹۳۵۰۰	۴۱۴۱۵۷۵	D7	۶۴۰	۴۰۳	۳/۸	۱	۱/۶	۲	۲/۲	۲/۲
۵۹۴۲۵۰	۴۱۴۳۸۰۰	D8	۲۵۷۰	۱۶۱۹	۴/۵	۶/۳	۱۵/۵	۳/۳	۷/۷	۱۵/۱
۵۹۴۴۰۰	۴۱۳۹۵۸۸	D9	۲۹۱۰	۱۸۳۳	۴/۴	۹/۲	۱۶	۵/۲	۷/۸	۱۶/۵
۵۹۵۷۲۵	۴۱۳۹۱۵۰	D10	۳۱۲۰	۱۹۶۶	۲/۵	۱۷/۸	۱۰/۹	۴/۹	۸	۱۸/۳
۵۹۷۱۷۵	۴۱۳۷۰۲۵	D11	۹۷۰۰	۶۱۱۱	۴/۴	۵۶/۵	۳۶/۱	۲۳/۶	۳۵	۳۵/۲
۵۹۸۰۵۰	۴۱۴۱۴۲۵	D12	۲۳۰۰	۱۴۴۹	۵/۴	۶/۹	۱۱/۶	۴/۶	۵/۶	۳۵/۵
۵۹۹۶۵۰	۴۱۳۸۶۰۰	D13	۶۴۳۰	۴۰۵۱	۵/۵	۳۶	۲۴	۱۵/۶	۱۹/۶	۲۹
۵۷۰۴۵۰	۴۱۳۹۳۷۵	D14	۴۱۳۰	۲۶۰۲	۵/۱	۱۸	۱۹	۸/۴	۱۴	۱۹
۵۷۱۹۵۰	۴۱۳۴۷۰۰	D15	۲۱۴۰	۱۳۴۸	۵/۳	۷	۱۰/۳	۴/۵	۶/۲	۱۱/۷
۵۷۲۳۰۰	۴۱۳۹۴۲۵	D16	۳۸۴۰	۲۴۱۹	۳/۵	۱۰/۵	۲۵	۱۰/۲	۱۰/۲	۱۸/۴

۵۷۷۷۵۰	۴۱۳۸۲۲۵	D17	۱۵۰۳	۹۴۷	۵	۲/۲	۷/۷	۱/۵	۳/۳	۱۰/۹
۵۷۷۸۵۰	۴۱۳۳۰۰۰	D18	۱۵۴۸	۹۷۵	۴/۴	۳/۱	۹	۱/۶	۷/۴	۷/۳
۵۷۸۸۸۰	۴۱۳۴۹۵۰	D19	۱۷۸۴	۱۱۲۴	۵	۵/۲	۸/۳	۳/۱	۸	۷/۲
۵۸۰۰۵۰	۴۱۳۶۸۵۰	D20	۱۹۳۶	۱۲۲۰	۵/۴	۵/۳	۱۰	۳/۱	۸	۹/۴
۵۸۳۱۷۵	۴۱۲۲۲۷۵	D21	۹۹۵	۶۲۷	۴/۲	۱/۷	۳/۹	۱/۸	۱/۸	۶/۷

این افزایش میزان هدایت الکتریکی از نواحی امیر آباد تا حوالی غرب شهرستان شیروان (منطقه مرکزی) به علت وجود مخروطه افکنه‌های شمالی و جنوبی و تغذیه از ارتفاعات آهکی جنوبی به مقدار قابل ملاحظه‌ای کم می‌شود (هدایت الکتریکی در این ناحیه بین ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر متغیر است) اما مجدداً در منطقه غربی دشت به ویژه منتهی‌الیه شمالی دشت میزان هدایت الکتریکی بالا رفته به طوری که به بیش از ۹۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر می‌رسد. افزایش هدایت الکتریکی طبق بررسیهای انجام شده عمدتاً به این دلیل می‌باشد که لایه‌های مخرب کیفیت آب (از جمله واحدهای گچ دار نئوزن) در این منطقه باعث افزایش املاح محلول در آب زیرزمینی شده است.

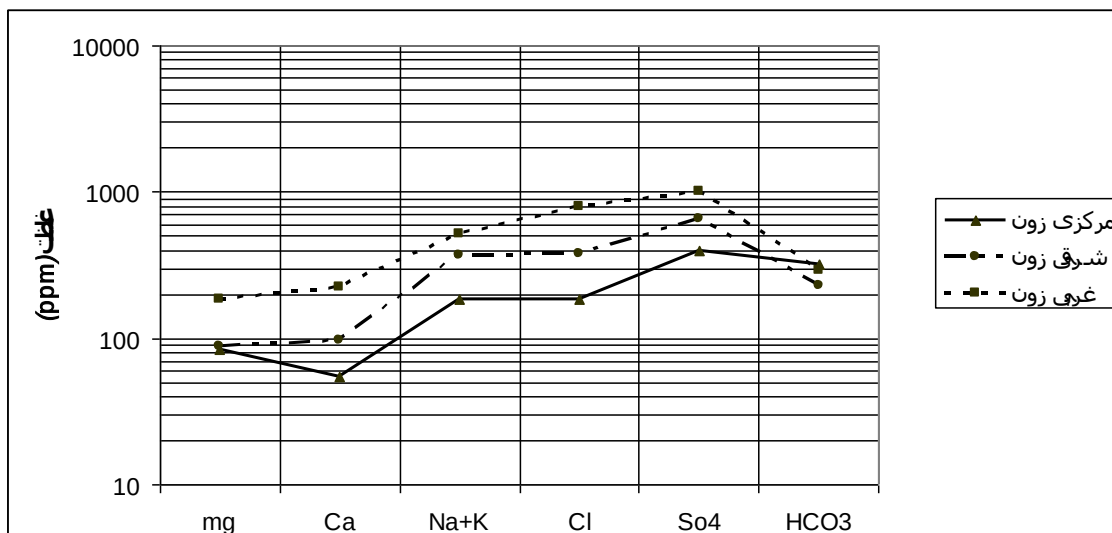


شکل (۱-۷): مقایسه هدایت الکتریکی در سه منطقه شرقی، مرکزی و غربی



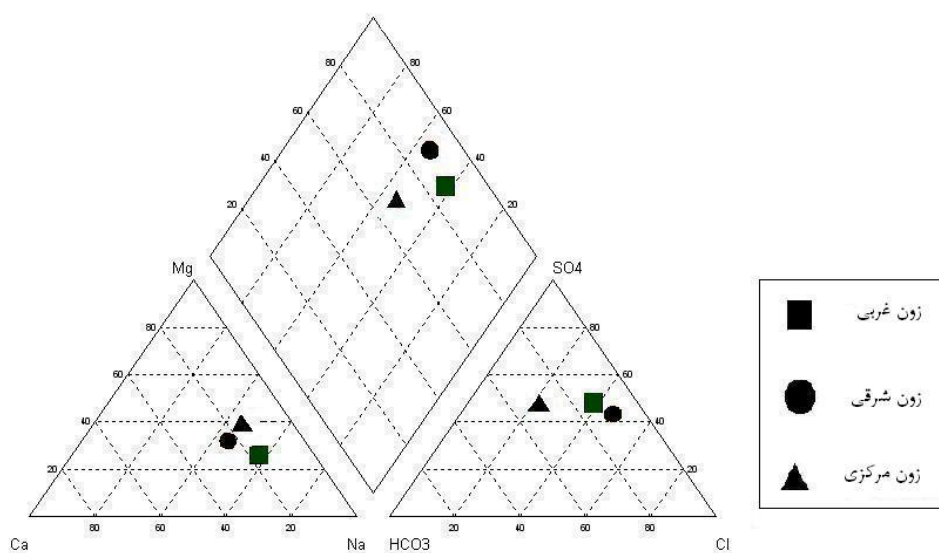
شکل (۱-۸): موقعیت چاههای نمونه برداری و نقشه هدایت الکتریکی سال ۱۳۸۵

نمودار شولر ترسیم شده برای منطقه مورد مطالعه نشان دهنده این واقعیت است که مقادیر آنیونهای کلر، سولفات و کاتیونهای سدیم و کلسیم نیز از روند تغییرات هدایت الکتریکی تبعیت می‌کند (شکل ۱-۹) به این ترتیب که غلظت این یونها در منطقه شرقی در حد وسط، در منطقه مرکزی حداقل و در منطقه غربی حداکثر می‌باشد. علت تغییرات غلظت این یونها نیز همانند تغییرات هدایت الکتریکی به نقش لایه‌های مخرب کیفیت آب مربوط می‌شود.



شکل (۹-۱): نمودار شولر ترسیم شده برای بخشهای غربی، شرقی و مرکزی

به منظور بررسی اختلاف تیپ آبها در مناطق مذکور از نمودار پایپر استفاده شده است. شکل (۱۰-۱) نمودار پایپر را برای مناطق شرقی، مرکزی و غربی دشت شیروان نشان می‌دهد.



شکل (۱۰-۱): نمودار پایپر برای بخشهای شرق، غرب و مرکز

همانطور که شکل (۱۰-۱) نشان می‌دهد، موقعیت قرارگیری نقاط در روی نمودار پایپر برای بخشهای مختلف به طور قابل توجهی متفاوت می‌باشد. بنابراین تیپ آب در این سه منطقه متفاوت می‌باشد. به این ترتیب که در مناطق شرقی و غربی درصد اسیدهای قوی در مقایسه با منطقه مرکزی به طور قابل توجهی بیشتر می‌باشد و همچنین در منطقه غربی درصد کاتیونهای قلیایی در مقایسه با دو منطقه دیگر بیشتر می‌باشد.

فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشینان

۱-۲- تحقیقات انجام گرفته به وسیله مدلهای عددی

در هیدروژئولوژی زیرسطحی، مدلهای ریاضی به طور مؤثری از سال ۱۹۶۰ در جهان بکار گرفته شده و آبخوانهای مختلف با شرایط و زمین شناسی پیچیده با استفاده از مدلهای ریاضی مورد بررسی قرار

گرفته‌اند. بعد از شبیه سازی شرایط هیدروژئولوژیکی آبخوان، مدل برای پیش بینی و مدیریت بهتر مخازن آب زیرزمینی در آینده بکار برده می شود. مطالعه آبخوانهای مختلف در ایران نیز به وسیله روشهای عددی به صورت اصولی از سال ۱۹۶۲ شروع شده است و تا سال ۱۹۷۸ بیش از ۲۰۰ آبخوان در فاز مقدماتی و حدود ۸۰ آبخوان در فاز نیمه تفضیلی مورد بررسی قرار گرفته است. در سال ۱۹۶۷ مدل های ریاضی، به عنوان ابزاری برای بررسی و ارزیابی آبهای زیرزمینی ایران معروف شد. مدل های ریاضی بکار گرفته شده در ایران عمدتاً بر مبنای روش تفاضل محدود و در مواردی نیز بر مبنای عناصر یا اجزاء محدود می باشد (Ghasmei 1980). از این مدلها به منظور دستیابی به اطلاعات بیشتر در مورد توزیع پارامترهای آبخوان از قبیل قابلیت انتقال، ضریب ذخیره، شرایط مرزی و غیره استفاده می شود.

۲-۱-۱- تحقیقات انجام گرفته در جهان

در منطقه صنعتی تولمایس (Ptolemais) در یونان، به منظور مدیریت بهینه، ابتدا مدل تحلیلی آبخوان تهیه و سپس با استفاده از مدل ریاضی آبخوان شبیه سازی گردید. بعد از مقایسه نتایج محاسبه شده و داده های موجود، مدل کالیبره و حداکثر تخلیه موجود از سفره تحت افزایش پیوسته پمپاژ محاسبه شد. در نهایت روابط تحلیلی حاصل گردید که به طور کیفی، توسعه پایدار را تحت شرایط پمپاژ توصیف می نمود (Tolikas et al. 1983).

یک سفره گچی^۱ در نزدیکی لایژه (Liege)، در کشور بلژیک وجود دارد که از طریق لسه های قرار گرفته در بالای آبخوان تغذیه می شود. چاهها و تونلهای جمع آوری آب روزانه حدود ۶۰۰۰۰ متر مکعب آب را از این سفره خارج می کند اما تعادل هیدروژئولوژیکی سفره نشان داده است که آبدهی متوسط تا ۱۰۰۰۰۰ متر مکعب در روز نیز برای آبخوان ممکن است. به منظور پیش بینی ارتفاع سطح آب و

^۱ - Chalky aquifer

بدست آوردن اطلاعات بیشتری درباره محور اصلی زهکش آبخوان، این آبخوان توسط مدل اجزاء محدود شبیه سازی شد (Radu and Charlier 1988).

در کنزاس (Kansas) مرکزی، تأثیر دو رودخانه آرکنزاس (Arkansas) و راتلنساک گریک- اویوانتیشن (Rattlelensake greek-Avivantation) بر آبخوان زیرین آنها توسط مدل‌های عددی شبیه سازی شد. پس از کالیبره کردن مدل و انجام آنالیزهای حساسیت، تصمیمات مدیریتی گرفته شد. بر اساس مدل شبیه سازی شده تأثیر هر یک از دو رودخانه بر سفره و سهم آب هر یک از دو رودخانه از آبخوان مشخص گردید (Theodossiov 1993).

روستای مارتون (Marthon) در نزدیکی شهر کرتلند (Cortland) در نیویورک واقع شده است این روستا دارای سه حلقه چاه می‌باشد که در یک سفره ماسه‌ای و گراولی، نازک لایه و محدود در دره رودخانه تیوگنیگو (Tioughniogo) حفر شده اما فقط آب یکی از چاهها مورد استفاده قرار می‌گیرد (آب دوچاه دیگر یکی توسط نشت از تانکرهای نفت و دیگری با غلظت‌های بالای منگنز آلوده شده است). مدل MODFLOW برای شبیه سازی این آبخوان استفاده شد تا اولاً بار هیدرولیکی آبخوان تحت شرایط پایدار و ثانیاً فضایی که باعث تغذیه دو چاه غیر فعال می‌شود تعیین گردد (Miller 2000).

تغذیه آبهای زیرزمینی معیاری برای محاسبه ذخایر آب می‌باشد. در تگزاس (Texas) به منظور تعیین تغذیه آبخوانها مطالعاتی انجام گرفت. بیشتر آبخوانهای این منطقه با استفاده از مدل MODFLOW به منظور تعیین مقدار تغذیه شبیه سازی گردید. مدل‌های ساخته شده بر اساس داده‌های بار هیدرولیکی موجود کالیبره و در نهایت مقادیر تغذیه و تخلیه آبخوان مشخص گردید (Scanlon and Dutton 2000).

حوضه آبرگیر وت والنوت کریک (Wet Walnut Creek) در غرب کنزاس (Kensas) مرکزی واقع شده است. به منظور ارزیابی ارتباط هیدرولیکی آب آبیاری استفاده شده در نه‌رها و ترازهای آب آبخوان، مدل آن تهیه شد. مدل سازی نشان داد که مقدار آب استفاده شده برای آبیاری بر ترازهای آب زیرزمینی تأثیر دارد و آبیاری یک پارامتر اصلی بیلان در مدیریت ذخایر آب زیرزمینی این حوضه آبرگیر می‌باشد (Ramiveddygri et al. 2000).

تداخل سفره و اتمسفر در مناطقی که سفره کم عمق (کمتر از ۲ متر) است مهم می‌باشد. سطح ایستابی کم عمق، رطوبت را برای خاک و گیاهان فراهم می‌کند و بنابراین منبعی برای تبخیر به شمار می‌رود. حوضه آبگیر میل گریک (Mill Greek) که در شمال شرق کنزاس قرار گرفته است دارای یک آبخوان کم عمق می‌باشد. به منظور بررسی تداخل سیستمهای اتمسفر، سطح زمین و آبخوان مدل ترکیبی اتمسفر- سطح زمین- آبخوان این منطقه توسعه داده شد. برای شبیه سازی آبخوان این حوضه آبگیر از مدل عددی MODFLOW استفاده شد (York et al. 2002).

در سال ۱۹۸۳ بر روی رودخانه هاگتون (Haughton) به منظور تهیه آب مورد نیاز برای آبیاری نیشکر، بند وال- بیرد (Val-Bird) احداث گردید. ساخت این بند باعث بالا آمدن سطح آب و افزایش پتانسیل شوری در زمینهای اطراف شد. برای مشاهده تأثیر کاهش ارتفاع ۱ و ۲ متری بند وال- بیرد بر سطح ایستابی، منطقه مورد نظر با استفاده از مدل عددی MODFLOW شبیه سازی گردید. نتایج شبیه سازی نشان داد که کاهش در ارتفاع بند وال- بیرد، سطح ایستابی را در منطقه رودخانه هاگتون کاهش می‌دهد. کاهش ارتفاع بند بیشترین تأثیر را در سمت شرق نشان داد چون سمت شرق آبخوان محتوی ماسه بیشتری بوده و هدایت هیدرولیکی بالاتری دارد (Narayan et al. 2004).

ساختارهای زمین شناسی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر رژیم جریان آب زیرزمینی در آبخوان کربناته صحرای جودین (Judean Desert) واقع در اسرائیل داشته است. ساختارهای چین خورده در این منطقه باعث ایجاد الگوی جریان مئاندری^۱ و زیر حوضه‌ها در لایه بالایی آبخوان شده است. این حوضه در شرق دریای سیاه واقع شده و عمدتاً توسط چشمه‌هایی که در موازات خط ساحل قرار گرفته‌اند تخلیه می‌گردد. آبخوان قرار گرفته در زیر این آبخوان یک آبخوان سه لایه بوده و دو لایه بالا و پائین توسط یک لایه با نفوذ پذیری کم^۲ از هم مجزا می‌گردند. به منظور تعیین مقدار نشت بین دو لایه بالا و پائین، جریان بین دو زیر حوضه مجاور، بیلان آب و خصوصیات هیدرولیکی آبخوان، مدل آن با استفاده از نرم افزار MODFLOW شبیه سازی گردید. در مرحله کالیبراسیون، هدایت هیدرولیکی، ضریب نشت عمودی و ضریب هدایت مرزها تعیین گردید (Ben-Itzhak et al. 2005).

^۱ - Meandering

^۲ - Aquitard

کاهش در سطح استاتیک یک آبخوان، بر روی محیط و چرخه آب زیرزمینی آن تأثیر گذاشته و می‌تواند موجب جریانهای عمودی بین دو آبخوان مجاور شود. این فرآیند در حوضه رسوبی کریری (Cariri) واقع در شمال شرق برزیل اتفاق افتاده است. این حوضه از دو آبخوان تشکیل شده که توسط یک لایه محدود کننده از هم جدا می‌شوند. طی یک دوره خشکسالی ۴ ساله (۱۹۸۹-۱۹۹۳) سطح آب در این منطقه به شدت پائین آمده، به طوری که بیشتر چاههای منطقه خشک و تغییراتی نیز در پوشش گیاهی منطقه ایجاد شده است. طی سالهای ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۶ بارندگی زیاد منطقه باعث برگشت سطح استاتیک آبخوان شد اما تغییرات زیست محیطی ایجاد شده همچنان باقی ماند. با استفاده از داده‌های آزمایشات پمپاژ منطقه، مدل آبخوان با استفاده از مدل MODFLOW88 تهیه گردید. این آبخوان تحت شرایطی که آبخوان بالایی و پائینی هیچ ارتباطی با یکدیگر ندارند و تحت شرایطی که با هم ارتباط هیدرولیکی دارند شبیه سازی گردید فقط نتایج به دست آمده از حالت دوم توانست رفتار واقعی آبخوان را شبیه سازی کند (Mendonca et al. 2005).

مدفن بهداشتی (Landfill) محلی است که برای دفن زباله احداث می‌گردد و اگر با بررسی‌های هیدرولوژیکی، مهندسی و مطالعات زمین شناسی همراه نباشد باعث مسائل زیست محیطی بسیار به ویژه آلودگی آب می‌گردد. در کشور برزیل بیش از ۲۰۰۰۰ لندفیل کنترل نشده از لحاظ بهداشتی وجود دارد. یکی از این لندفیل‌ها در نزدیکی شهر پوکوس دی کالداس (Pocos de Caldas) در شرق برزیل واقع شده است. به منظور بررسی تأثیر لندفیل بر آبخوان زیرین مدل جریان آب زیرزمینی آن با استفاده از MODFLOW و مدل انتقال آلاینده آن با استفاده از MT3D تهیه گردید. با توجه به نتایج به دست آمده از مدل تغییر محل دفن زباله و حفر چاههای استخراجی بهترین گزینه برای کاهش غلظت آلاینده و گسترش پلوم (Plum) آلودگی در آبخوان منطقه می‌باشد (Zuquette et al. 2005).

در سفره‌های نواحی ساحلی، افزایش تقاضای آب باعث هجوم آب شور به آبخوان می‌گردد. منطقه ساحلی شیروشی (Shiroishi) جز مناطق حالصخیز جزیره کیوشو (Kyushu)، (جنوب غرب ژاپن) به حساب می‌آید. برداشت بیش از حد از آبخوان سبب ایجاد مشکلاتی از جمله پائین رفتن سطح آب، نشست زمین و هجوم آب شور شده است. با استفاده از مدل MODFLOW و MT3D مدل جریان و انتقال مواد محلول آن تهیه گردید. پارامترهای هیدرولیکی و پراکندگی در مرحله کالیبراسیون با استفاده از داده‌های اندازه

گیری شده سطح آب، نشست و غلظت کلرید بهینه گردید. بر اساس نتایج به دست آمده از مدل بخش مرکزی دشت مستعد نشست در آینده می‌باشد همچنین با روند فعلی بهره‌برداری، هجوم آب شور به آبخوان به شدت افزایش می‌یابد. برای کاهش تأثیر پمپاژ در این منطقه بهره‌برداری از آبهای سطحی، کاهش تقاضای آب و بالا بردن راندمان آبیاری در بخش کشاورزی پیشنهاد شده است (Don et al. 2005).

منطقه جنوب شرق ویسکانسین (Wisconsin) یکی از مناطق سریع توسعه یافته در ایالت متحده می‌باشد. رشد اقتصادی و گسترش حومه شهر باعث افزایش مصرف آب در این منطقه شده است. افزایش مصرف، باعث کاهش سطح آب در منطقه مورد مطالعه شده، به طوری که طبق آمار اندازه گیری شده چاههای عمیق، طی ۵۰ سال گذشته، علاوه بر افت سطح آب، کیفیت آب منطقه نیز با افزایش مواد جامد محلول و مواد رادیواکتیویته کاسته شده است. مدیریت آبی آبهای زیرزمینی در جنوب شرق ویسکانسین یک درک جامع از هیدروژئولوژی جریان آبهای زیرزمینی منطقه نیاز دارد. به همین منظور مدل شبیه سازی شده جریان آب زیرزمینی منطقه با استفاده از مدل عددی MODFLOW توسط^۱ SWRPC در سال ۱۹۸۸ تهیه شد. برای تهیه این مدل، ابتدا داده‌های هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی منطقه جمع آوری، سپس مدل مفهومی تهیه و پس از آن مدل عددی شبیه سازی گردید. پس از کالیبره کردن مدل از آن برای ارزیابی تأثیر پمپاژ بلند مدت بر چرخه آبهای زیرزمینی استفاده شد (Feinstein et al. 2005).

به منظور ارزیابی و پیش بینی کیفیت و کمیت آبهای سطحی و زیر سطحی حوضه آبریز بنلو (Benello) در ایتالیا مدل شبیه سازی شده حوضه تهیه شد. برای شبیه سازی این حوضه آبریز از مدل هیدروژئولوژی S_{wat} ، مدل آبهای زیرزمینی MODFLOW و مدل انتقال آلاینده MT3DMS استفاده شد (Galbiati et al. 2006).

برداشت بیش از حد آب از آبخوان پائبل والی (Puebla Valley) واقع در مکزیک باعث هجوم آبهای ژئوترمال از آبخوانهای عمیق‌تر شده است. طی یک دوره ۲۹ ساله (۲۰۰۲-۱۹۷۳) مخروط افتی با بیش از ۸۰ متر افت در جنوب این آبخوان ایجاد شده است همچنین آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب از سال ۱۹۹۰ نشان دهنده افزایش TDS در محدوده مخروط افت می‌باشد. به منظور ارزیابی

^۱ - Southeastern Wisconsin Regional Planning Commission

هیدروژئولیکی آبخوان و بررسی هجوم آبهای ژئوترمال، مدل سه بعدی جریان و انتقال مواد محلول آن به ترتیب با نرم افزارهای MODFLOW و MT3D تهیه گردید. بر اساس نتایج به دست آمده از مدل، با ادامه روند برداشت فعلی در سال ۲۰۱۰ مخروط افت ایجاد شده ۱۵ متر گسترش خواهد داشت همچنین در ۱۸ سال آینده میزان TDS در این آبخوان به علت هجوم آبهای ژئوترمال ۴۰٪ افزایش می یابد (Flores-Marquez et al. 2006).

دیواره‌های سدی غیر واکنشی با نفوذپذیری پائین، برای باز داشتن آلودگی در یک سفره و جلوگیری از پراکندگی بیشتر آلودگی در سفره مورد استفاده قرار می گیرند. طی تحقیقی که در سال ۲۰۰۶ انجام شد این سدها با استفاده از مدل عددی MODFLOW و مدل انتقال آلاینده MOC3D شبیه سازی شدند تا اولاً خصوصیات پخش و پراکندگی را برای گرادیانهای غلظت در سد و سفره مجاور بررسی کنند ثانیاً به طور دقیق پراکندگی از گرادیانهای غلظت و جریانهای مواد محلول نزدیک سدها را محاسبه کنند (Harte et al. 2006).

مدلسازی آب زیرزمینی شامل هم کمیت و هم ملاحظات کیفی آب می شود. مدل کیفی آب زیرزمینی در واقع فرم ریاضی معادلات بیلان و حرکت، انتقال مواد محلول در محیط آب زیرزمینی را نشان می دهد که با تطبیق آنها و با فرض پیوستگی محیط، معادلاتی به صورت معادلات دیفرانسیل جزئی نتیجه می شود. این معادلات در نقاط مختلف یک آبخوان نوشته شده و از طریق روشهای مختلف برای مکانها و زمانهای گوناگون حل می شوند.

اردن یک کشور خشک با ذخایر آب محدود است. آبخوان موجیب (Mujib) در بخش مرکزی اردن قرار گرفته است و اصلی ترین مخزن آب آشامیدنی برای چند شهر می باشد. برداشت بیش از حد از آبخوان موجیب طی سالهای اخیر منجر به کاهش کیفیت و پائین رفتن سطح ایستابی شده است بنابراین مدیریت این آبخوان ضروری به نظر می رسد. به منظور بررسی گزینه های مدیریتی مدل جریان آب زیرزمینی این آبخوان توسط مدل عددی MODFLOW شبیه سازی و رفتار سیستم تحت استرسهای مختلف بررسی شد (Abdulla and Al Asssa'd 2006).

تریفا (Trifa) یکی از حوضه‌های حاصلخیز در شمال شرقی مراکش می‌باشد. توسعه فعالیت‌های کشاورزی در طی چند دهه اخیر باعث شده است که آب‌های زیرزمینی به عنوان منبعی برای تأمین آب مورد نیاز آبیاری و مصارف خانگی مورد توجه قرار گیرد. همین موضوع باعث افت شدید آب‌های زیرزمینی به ویژه در دوره‌های خشک شده است. به منظور تعیین مقدار آب پمپاژ شده از چاه‌ها و همچنین مقدار تغذیه مدل هیدروژئولوژیکی این حوضه توسط نرم افزار MODFLOW ساخته شد. پس از ساخت مدل از آن برای بررسی سناریوهای مدیریتی استفاده گردید. نتایج به دست آمده نشان دادند که برای رسیدن به شرایط پایدار در این حوضه کاهش حدود ۲۵ درصد برداشت کنونی لازم می‌باشد (El Idrysy and Smedt 2006).

به منظور مدیریت آبخوان ایسماریدا (Ismarida) این آبخوان توسط مدل عددی MODFLOW شبیه سازی گردید این آبخوان یک آبخوان تک لایه می‌باشد که در شمال یونان واقع شده است. پس از ساخت شبکه مدل، تعیین شرایط مرزی و ورود پارامترهای هیدروژئولوژیکی، مدل اجرا و جریانهای ورودی و خروجی آن برای یک سال (مارچ ۲۰۰۳ تا مارچ ۲۰۰۴) کالیبره گردید. مدل تهیه شده برای سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۵ صحت سنجی و نتایج به دست آمده از آن رضایت بخش بود. پس از اطمینان به نتایج به دست آمده از مدل، از آن برای شبیه سازی گزینه‌های مدیریتی در طی یک دوره ۲۰ ساله استفاده گردید. نتایج به دست آمده از مدل نشان دادند که با ادامه روند برداشت فعلی، در سال ۲۰۲۳ بخش شمالی آبخوان کاملاً خشک و بخش‌های شرقی و مرکزی دچار افت جدی می‌شوند اما بخش‌های جنوبی و غربی به علت قرار گرفتن در مسیر جریان آب زیرزمینی خیلی تحت تأثیر قرار نمی‌گیرند. همچنین برای یکسان ماندن سطح آب در سال ۲۰۲۳ نسبت به سطح اولیه آب (مارچ ۲۰۰۳) کاهش ۳۳ درصدی و برای افزایش یک متری سطح آب در سال ۲۰۲۳ نسبت به سطح اولیه کاهش ۴۱ درصدی از میزان برداشت فعلی چاه‌های بهره برداری نیاز است (Pisinaras et al. 2006).

حوضه آبگیر مقدونیه (Megdonia) در شمال شرق یونان واقع شده است. دو دریاچه کورونیا (Koronia) و ولوی (Volvi) بر روی آبخوان این حوضه واقع شده‌اند. بستر دو دریاچه بر اساس داده‌های آزمایش پمپاژ غیر قابل نفوذ (10^{-9} متر بر ثانیه) بوده و از لحاظ تئوری ارتباط بین آبخوان و رودخانه‌ها بستگی به تراز آب در آبخوان دارد. آبخوان مقدونیه از دو آبخوان کم عمق و عمیق تشکیل شده که توسط یک

لایه نفوذ ناپذیر رسی از هم جدا می گردند. آبخوان بالایی یک آبخوان نامحصور با عمق ۴۰ تا ۶۰ متر می باشد که توسط بارشهای سطحی تغذیه می گردد و آبخوان پائینی یک آبخوان محصور با عمق ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر است که توسط جریانهای جانبی و بارشهای سیلابی تغذیه می گردد. برای تعیین ارتباط هیدرولیکی دو آبخوان و همچنین آبخوان و دریاچه، مدل ریاضی این آبخوان با استفاده از مدل کامپیوتری MODFLOW ساخته شد. براساس مدل ساخته شده دو آبخوان در حواشی با یکدیگر ارتباط هیدرولیکی دارند همچنین تغییرات حجم آب دریاچه ارتباط نزدیکی با نوسانات تراز آب زیرزمینی آبخوان دارد. بر اساس نتایج به دست آمده از مدل، سالیانه ۷/۵ میلیون متر مکعب آب از ذخایر غیر قابل تجدید آبخوان خارج و باعث افزایش نیم متری افت در چاههای مشاهده ای می گردد (Mylopoulos et al. 2007).

۲-۱-۲- مطالعات انجام شده در ایران

آبخوان مهیار شمالی در ۳۰ کیلومتری جنوب اصفهان از بحرانی ترین آبخوانهای ایران محسوب می شود که در طی ۲۵ سال اخیر سطح آب آن حدود ۷۵ متر افت کرده است. جهت اعمال یک مدیریت صحیح بهره برداری ابتدا مدل ریاضی با روش اجزاء محدود برای دشت تهیه و پس از واسنجی و صحت سنجی جهت بررسی اثرات گزینه های مختلف تغذیه یا تخلیه به کار گرفته شده است. ابتدا اثر روند کنونی در ۵ سال آینده مورد ارزیابی قرار گرفت و با استفاده از روش آنالیز سری های زمانی با نرم افزار Quack Quest وضعیت مرزهای آینده سفره پیش بینی و به عنوان مرز ثابت پایان دوره به مدل داده شد. همچنین با روش تلسکوپی قسمت مرکزی دشت که وضعیت حادثتری را نشان می دهد مورد مطالعه دقیق تر قرار گرفت و اثر طرح انتقال آب رودخانه زاینده رود به دشت مهیار (اجرا شده توسط شرکت سهامی آب منطقه ای اصفهان) در شرایط مختلف بهره برداری ارزیابی شد (چیت سازان و توسلی ۱۳۷۷).

کمبود آب کشاورزی در دشت رامهرمز (استان خوزستان) مطالعه منابع آب این دشت را جهت اعمال مدیریت صحیح ایجاب می‌نماید، بدین منظور از مدل ریاضی جهت مطالعه آبخوان استفاده شد که پس از تهیه، مدل مورد نیاز واسنجی و سپس صحت سنجی گردید و پس از اطمینان صحت عملکرد مدل تهیه شده جهت پیش بینی وضعیت آبخوان، تحت تأثیر گزینه‌های مختلف از جمله اجرای شبکه آبیاری و زهکشی مورد استفاده قرار گرفت (پیرهادی و چیت سازان ۱۳۷۸).

مدلهای تحلیلی یکی از ابزارهای مطالعه کمی حرکت آلاینده‌های محلول و نحوه گسترش آنها در آبهای زیرزمینی می‌باشد. مدل‌های تحلیلی به خاطر ساده‌نگری در تدوین دارای محدودیتهایی هستند اما به خاطر سادگی در کاربرد، محدود بودن پارامترهای آنها و حجم کم محاسبات بر مدل‌های عددی برتری دارند. در سال ۱۳۷۶ محدودیتهای استفاده از این مدلها در دشت شیراز در مقایسه با مدل عددی PMWIN در مطالعه گسترش آلاینده‌های محلول (یون نترات) بررسی شد. علاوه بر آن نحوه برآورد پارامترهای انتقال جرم در سفره آب زیرزمینی از جمله قابلیت پراکندگی در مناطقی که آزمایشات دقیق آزمایشگاهی یا صحرایی انجام نشده بود بررسی شد (سامانی و محمدی ۱۳۷۸).

از آنجائی که قنات نیز به عنوان فنی برای برداشت منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌توان جهت استفاده از دستاوردهای نوین علمی کاربردی مدل MODFLOW را برای شناخت قنات مطرح کرد. از این رو برای شبیه‌سازی سیستم قنات صادق‌آباد (با عمق مادرچاه ۸۷ متر و طول ۲۵ کیلومتر واقع در دشت ابراهیم‌آباد مهریز در فاصله ۳۶ کیلومتری یزد) به منظور نشان دادن خطوط هم پتانسیل و توانایی میزان آبدهی، تخمین برخی از پارامترهای هیدروژئولوژیکی و پیش‌بینی وضعیت آتی آن، مدل MODFLOW به همراه PMWIN به کار گرفته شد (دانائیان ۱۳۷۹).

با توجه به ناکافی بودن آمار مربوط به ضریب ذخیره در بیشتر دشتهای ایران استفاده از روش بیلان جزء به جزء روش مناسبی جهت بهینه سازی پارامترهای هیدرولیکی آبخوان می‌باشد. در روش بیلان جزء به جزء با معلوم بودن یکی از ضرایب هیدرودینامیکی سفره، ضریب دیگر محاسبه می‌گردد. به منظور تعیین ضریب ذخیره در نقاط مختلف آبخوان سلطانیه (زنجان) مدل ریاضی این آبخوان تهیه شده و با استفاده از شبکه تعریف شده در مدل و ارتفاع پیزومتری در زمان t و Δt (به ترتیب مهر و

اردیبهشت) برای هر سلول از شبکه و معلوم بودن ضریب قابلیت انتقال، ضریب ذخیره تک تک سلولهای شبکه محاسبه گردید (ناصری ۱۳۷۹).

یکی از کاربردهای دیگر مدل‌های ریاضی محاسبه بیلان آبهای زیرزمینی می‌باشد. به همین منظور محدوده‌ای از دشت زنجان در سال ۱۳۷۹ با استفاده از مدل MODFLOW مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا با توجه به کمبود آمار و اطلاعات و در مجموع عدم شناخت کافی از آبخوان، مدل مفهومی تهیه شده از دقت کافی برخوردار نبود که این مطلب باعث گردید مرحله واسنجی مدل با مشکل مواجه شود. پس از واسنجی مدل برای شرایط پایدار و ناپایدار، نتایج حاصله مورد آنالیز حساسیت قرار گرفت. در نهایت مشخص گردید که آمار و اطلاعات موجود در مورد منابع تخلیه آبخوان و همچنین پارامترهای هیدرولیکی در نظر گرفته شده برای آبخوان در محاسبات بیلان از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد. همچنین با توجه به نتایج حاصله از مدل، بیلان آب محدوده مطالعاتی منفی نمی‌باشد (نجفی کوهستانی ۱۳۷۹).

دشت شیراز یکی از دشتهایی است که به علت قرارگیری شهر شیراز بر روی این دشت و همچنین توسعه گسترده شهر با معضل بالا آمدن سطح آب همراه است. جهت حل این مشکل و پایین آوردن سطح آب زیرزمینی در آبخوان شیراز، زهکشهایی با سیستم قنات تعبیه شده است که آبخوان را زهکشی می‌نماید به منظور بررسی تأثیر زهکشها بر روی سطح آب زیرزمینی مدل این آبخوان با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW ساخته شد. در همین راستا ضرایب هیدرودینامیک و ضریب نفوذ منطقه کالیبره و مدل صحت سنجی گردید پس از صحت سنجی مشخص شد که مدل طراحی شده بخوبی می‌تواند شرایط آبخوان را شبیه سازی کند اما از آنجایی که این زهکشها هنوز به طور کامل اجرا نشده و پیش بینی می‌شد که اجرای آنها ۱۰ سال به طول انجامد، لذا برای اجرای آنها استراتژیهای مختلفی در نظر گرفته شد و تأثیر هر استراتژی به مدت ۱۰ الی ۲۰ سال پیش بینی شد (زارع و همکاران ۱۳۸۱).

نفوذ فاضلابهای شهری، کشاورزی و صنعتی باعث بالا آمدگی آب در آبخوان شمال شرق کرمان شده است. با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW تهیه شده برای این دشت، میزان بالا آمدگی و توانایی برداشت آب را تا حدی که فقط از بالا آمدگی جلوگیری نموده و آبخوان را دچار افت ننماید تخمین زده

شده است. همچنین با استفاده از مقادیر به دست آمده می‌توان مشکل افزایش سطح آب را در این مناطق، محدود ساخت تا در آینده بتوان این مشکل را به طور کلی از میان برداشت (احمدی افزادی و چیت سازان ۱۳۸۱).

به منظور بررسی گزینه‌های مدیریتی آبخوان خاتون آباد (بخشی از آبخوان شهر بابک - خاتون آباد) این آبخوان توسط مدل MODFLOW شبیه سازی گردید. در این مورد نیز پس از کالیبره کردن مدل، از مدل شبیه سازی شده جهت بررسی گزینه‌های مختلف مدیریتی استفاده شد. مقایسه بین داده‌های سطح آب اندازه گیری شده موجود و داده‌های پیش‌بینی شده انطباق خوبی نشان داد که این نشان دهنده صحت داده‌های پیش‌بینی شده است. بر اساس داده‌های به دست آمده از مدل، بهترین راه حل جهت کنترل نوسانات سطح آب، صرفه جویی در مصرف آب تشخیص داده شد (علی پور ۱۳۸۱).

دشت نیریز با آب و هوای گرم و خشک (میانگین ۲۰ ساله بارندگی معادل ۲۷۵ میلیمتر در سال) در مجاورت ابرگسله زاگرس قرار گرفته است. به منظور شناسایی روند شکستگی و گسل‌های مدفون، آبخوان نیریز نیز با استفاده از مدل MODFLOW شبیه سازی شده است. سنگ کف منطقه دارای چین خوردگی و برآمدگی‌های زیرزمینی بوده که بر ضخامت رسوبات آبرفتی منطقه شدیداً تأثیر گذاشته است. گسترش روند احتمالی گسل بختگان، در شمال غربی دشت پیشنهاد شده بود که پس از شبیه سازی، کالیبره و صحت سنجی مدل این آبخوان، روند احتمالی این گسل توسط مدل ساخته شده نیز تأیید گردید (ماجدی و چیت سازان ۱۳۸۱).

یکی از مراحل مهم ساخت مدل‌های عددی مرحله کالیبراسیون یا واسنجی می‌باشد. هدف کالیبراسیون پیدا کردن مقادیر بهینه برای ورود به مدل می‌باشد. روش کالیبراسیون خودکار یکی از روش‌های پیدا کردن مقادیر بهینه می‌باشد. به طور کلی روش‌های خودکار را می‌توان به روش‌های تعیینی و تصادفی تقسیم بندی نمود که خود این روشها نیز به نوبه خود دارای تقسیماتی می‌باشند. در روش تعیینی، بهینه سازی بر اساس مشتق تابع هدف نسبت به مشاهدات صورت پذیرفته در حالی که در نوع تصادفی، فرآیند بهینه سازی نیازی به اخذ مشتق مذکور ندارد و به همین دلیل واژه تصادفی برای آن برگزیده شده است. به منظور تعیین پارامترهای هیدرولیکی آبخوان داریان (استان فارس) مدل این دشت با

توجه به آمار و اطلاعات موجود و با استفاده از مدل عددی MODFLOW 2000 تهیه گردید. برای بهینه کردن پارامترهای هیدرولیکی این آبخوان هم از روشهای تعیینی و هم از روشهای تصادفی استفاده گردید. روش تعیینی استفاده شده در آن، روش رگرسیون غیر خطی مارکوات و روش تصادفی استفاده شده، روش الگوریتم ژنتیک می باشد. روش خودکار رگرسیون غیر خطی علاوه بر سرعت بخشیدن به پروسه بهینه سازی، آمارها و ارقام زیادی را فراهم می کند که از مجموع آنها می توان در جهت بررسی صحت ساختار مدل، ارزیابی پروسه بهینه سازی و شناسایی و تقلیل منابع مختلف عدم قطعیت استفاده کرد. اما این روش یک ایراد اصلی دارد و آن اینست که پتانسل زیادی برای گیر افتادن در نقاط کمینه محلی داشته و این احتمال وجود دارد که نتواند نقاط کمینه اصلی را پیدا کند. برای رفع این ایراد و اطمینان بیشتر به نتایج به دست آمده از روش تعیینی، با کمک نرم افزار ویزوال بیسیک، یک الگوریتم ژنتیک به مدل MODFLOW 2000 متصل شده و پارامترهای مورد نظر به کمک الگوریتم ژنتیک (روش تصادفی) بهینه گردید. بر عکس روش قبل، این روش توانایی زیادی در پیدا کردن نقاط کمینه اصلی دارد. نتایج به دست آمده از دو روش تعیینی و تصادفی یکسان بوده است به عبارت دیگر علی رغم وجود تعداد زیادی پارامتر در کالیبراسیون تعیینی، این روش توانسته بود نقاط کمینه اصلی را معرفی نماید (یوسفی ناغانی ۱۳۸۱).

به منظور تهیه بیلان آب برای تعیین تغییرات حجم سفره آب زیرزمینی دشت ایرانشهر (سیستان و بلوچستان) تغییرات حجم سفره با استفاده از معادله بیلان به طور دستی و سپس این تغییرات حجم با استفاده از مدل عددی PMWIN شبیه سازی شد. بر اساس نتایج خروجی مدل در یک سال واسنجی، بیلان آب زیرزمینی محاسبه شده نشان می دهد که خروجی سالانه نسبت به ورودی آن بیشتر می باشد که این کاهش ذخیره سفره با سیر نزولی هیدروگراف واحد دشت و بیلان دستی مطابقت دارد (شهابی فرد و همکاران ۱۳۸۱).

به منظور ارزیابی شرایط مرزی آبخوان دشت ایزه (شمال شرق استان خوزستان) در شرایط پایدار و ناپایدار مدل ریاضی این دشت با استفاده از مدل MODFLOW تهیه شد. پس از واسنجی مدل در شرایط پایدار و ناپایدار، مقادیر بدست آمده در هر دو مرحله با هم مقایسه شد. نتایج نشان دادند که مقادیر مذکور در شرایط ناپایدار همواره کمتر از شرایط پایدار می باشد (احمدی ۱۳۸۱).

هیدروگراف واحد دشت لادیز (سیستان و بلوچستان) نشان دهنده شروع روند نزولی سطح آب زیرزمینی این دشت از مردادماه سال ۱۳۷۸ می‌باشد که این روند هم اکنون نیز ادامه دارد. شناسایی سیستم هیدروژئولوژیکی دشت جهت بررسی امکان بهبود روند فعلی ضروری به نظر می‌رسد. به همین منظور، آبخوان مزبور با استفاده از برنامه MODFLOW به منظور شناسایی سیستم هیدروژئولوژیکی، بهینه کردن ضرائب هیدرودینامیکی، پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی و بکارگیری آن در جهت بررسی تغذیه مصنوعی، شبیه سازی شده و مدل آن تهیه شد (اصلانی و همکاران ۱۳۸۲).

سطح آب زیرزمینی آبخوان آب باریک بم در سالهای اخیر به دلیل برداشت زیاد و کاهش بارندگی، متغیر بوده و از سال ۱۳۶۱ به بعد به ویژه در سال ۱۳۷۰ افت زیادی داشته است به منظور پیش بینی وضعیت آینده این آبخوان و نیز ارزیابی کمی تأثیر پروژه تغذیه مصنوعی این آبخوان مدل عددی آن با استفاده از نرم افزار MODFLOW تهیه گردید. در بخشی از محدوده مورد مطالعه آبخوان آب باریک بم اقدام به ایجاد یک عرصه پخش سیلاب به وسعت ۲۰۰۰ هکتار شده است. این عرصه در سال ۱۳۷۵ آگیری شده است. نتایج شبیه سازی نشان داده است که در اثر پخش سیلاب (به منظور تغذیه مصنوعی) به طور متوسط طی سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۸، ۱۲/۶ میلیون متر مکعب آب به آبخوان اضافه افزوده شده است هر چند این میزان تغذیه باعث کاهش نرخ افت سطح ایستابی شده اما نتوانسته است روند افت را در این آبخوان متوقف سازد (کتیبه ۱۳۸۳).

پارامترهای هیدرودینامیکی سفره از مهمترین ورودی‌های مدل ریاضی به شمار می‌آیند هر چه این پارامترها قطعیت بیشتری داشته باشند مدل ایجاد شده نیز مقبولیت بیشتری خواهد داشت. به منظور مطالعه آبخوان و بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی، مدل ریاضی دشت هرزندات (تبریز) تهیه شده است. در همین راستا ابتدا کلیه اطلاعات و داده‌های مورد نیاز جمع آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مدل طی یک دوره زمانی یکساله اجرا و کالیبره گردید. در مرحله صحت سنجی مدل نشان داد که از مقبولیت خوبی برخوردار نیست که دلیل آن عدم قطعیت داده‌های ورودی تشخیص داده شد. به همین دلیل راهکارهایی از قبیل محاسبه T از طریق رابطه همبستگی بین T و RT، محاسبه S از طریق بیلان جزء به جزء و اصلاح شرایط مرزی برای مقابله با عدم قطعیت ریاضی انجام شد. صحت سنجی

مجدد مدل نشان داد که مدل می‌تواند شرایط طبیعی آبخوان را شبیه سازی کند و به عنوان ابزار مدیریتی آبخوان مورد استفاده قرار گیرد (اصغری مقدم و آقازاده ۱۳۸۳).

مدلهای معکوس به عنوان ابزاری قوی برای بررسی و تعیین مقادیر بهینه پارامتری معروف هستند. اینگونه مدلها با تولید یکسری خصوصیات آماری بصورت خروجی، امکان کمی سازی عدم قطعیت در مدل که می‌تواند ناشی از عدم قطعیت در داده‌های ورودی و یا در ساختار مدل باشد را تأمین و در پیشبرد واسنجی مدل کمک به سزایی نمایند. به منظور بررسی رفتار جریان آب زیرزمینی آبخوان کازرون (۱۰۰ کیلومتری غرب شیراز) و همچنین تعیین مقادیر بهینه پارامترهای هیدرولیکی آن، این آبخوان با استفاده از مدل MODFLOW 2000 شبیه‌سازی شده و سپس با استفاده از سه خصوصیت آماری Composite Scale Sensitive، ماتریس ضریب همبستگی و فواصل اطمینان پارامتری، پارامترهای هیدرودینامیکی این دشت بهینه گردید (سالک و همکاران ۱۳۸۳).

همانطور که قبلاً نیز گفته شد تعیین شرایط مرزی فیزیکی یکی از مراحل مهم در ساخت مدل‌های عددی می‌باشد. انتخاب نادرست شرایط مرزی سبب ایجاد خطا در مدل می‌گردد و پاسخ مدل به استرس‌های وارده را متفاوت از پاسخ سیستم واقعی می‌نماید. دشت ارسنجان به منظور انتخاب شرایط مرزی مناسب توسط مدل عددی MODFLOW شبیه‌سازی شد. در این تحقیق نقش پارامترهای ۳ بسته نرم‌افزاری MODFLOW یعنی CHD, WELL و GHB که معرف سه نوع جریان می‌باشند در جوابهای مدل با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که مرز نوع سوم GHB، بهترین نوع مرز برای دشت ارسنجان می‌باشد (صدقی و چیت‌سازان ۱۳۸۳).

به منظور بررسی گزینه‌های مدیریتی در دشت شورو (۹۰ کیلومتری زاهدان) مدل این دشت با استفاده از نرم افزار MODFLOW تهیه شده است. در مورد این آبخوان نیز پس از انجام مطالعه زمین شناسی و هیدروژئولوژی ناحیه‌ای منطقه، وضعیت کمی و کیفی آبخوان دشت شورو مورد بررسی قرار گرفت و سپس وضعیت آبخوان با توجه به آمار موجود بررسی شده و با برآورد اولیه‌ای از بیلان آب زیرزمینی با استفاده از نرم‌افزار MODFLOW، مدل ریاضی دشت شورو تهیه شد. پس از کالیبراسیون مدل پارامترهای هیدروژئولوژی و میزان تخلیه و تغذیه مورد بررسی قرار گرفته و نهایتاً وضعیت آینده سفره با در نظر

گرفتن گزینه‌های مختلف شامل دوره‌های برداشت پایه، افزایش بهره‌برداری و انجام تغذیه مصنوعی جهت مدیریت آبخوان پیش‌بینی شد (نخعی و همکاران ۱۳۸۴).

جهت بررسی اثر مدیریت‌های مختلف یا تغییرات اقلیمی احتمالی آینده مدل ریاضی دشت سرچاهان (استان فارس) با استفاده از نرم افزار MODFLOW تهیه گردید. آبخوان سرچاهان تأمین کننده جریان پایه رودخانه اعظم می‌باشد. نتایج به دست آمده از مدل نشان داد که این آبخوان در حال حاضر در وضعیت تعادل بوده و کسری مخزن چندانی ندارد و با ۳۰٪ افزایش در برداشت فعلی از آبخوان، آبخوان دچار افت به ویژه در بخش جنوب شرقی می‌شود که این افت با افزایش ۵۰ درصدی باران جبران می‌گردد (زارع ۱۳۸۵).

۲-۲- مطالعات قبلی انجام شده در دشت شیروان

دشت شیروان بخشی از دشت قوچان- شیروان می‌باشد که با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعات ژئوالکتریک سال ۴۹-۱۳۴۸ که توسط شرکت مهندسی مشاور آب و خاک انجام شد و همچنین با توجه به دلایل متعددی (از قبیل عمق سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای، بالا آمدگی سنگ کف و رخنمون سازند تیرگان در جنوب غرب روستای بزرل آباد و دیگر عوامل)، از نواحی روستای بزرل آباد به دو دشت شیروان و قوچان تفکیک شده است و در حال حاضر ارتباط هیدرولیکی بین دو دشت مذکور برقرار نمی‌باشد (کاظمی گلیان ۱۳۸۱). دشت قوچان- شیروان (کد محدوده مطالعاتی ۱۷۰۸ و ارتفاع متوسط ۱۲۵۰ متر از سطح دریا) در حال حاضر یکی از ۱۲ دشت در دست مطالعه و نظارت شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان شمالی می‌باشد. سال شروع مطالعه ۱۳۴۲ بوده و مطالعات اولیه، نیمه تفصیلی و تفصیلی در این دشت توسط معاونت مطالعات منابع آب شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان و همچنین شرکتهای مهندسی مشاور صورت گرفته است. اندازه‌گیری مقادیر عمق سطح آب در این دشت توسط ۱۵ حلقه چاه مشاهده‌ای صورت می‌گیرد. آمار برداری از منابع آب در سالهای ۱۳۴۹، ۱۳۶۱، ۱۳۷۰ و ۱۳۸۱ انجام گرفته است. بررسی‌های اکتشافی در سفره آب زیرزمینی از نظر ضخامت، نوع آبرفت، جنس

و اندازه ذرات توسط اداره کل آبهای زیرزمینی وزارت نیرو در سالهای ۴۹-۱۳۴۸ به صورت عملیات پراکنده در منطقه انجام گرفته و به دنبال آن مطالعات ژئوفیزیک به روش ژئوالکتریک با تراکم یک سونداژ در ۴/۳۳ کیلومتر مربع صورت گرفته است. مطالعات آبهای زیرزمینی دشت شیروان (۱۳۶۴) به منظور اثرات اجرای سد بارزو (بر روی رودخانه قلجق یکی از سرشاخه‌های اصلی رودخانه اترک واقع در ارتفاعات شمالی دشت شیروان) و انتقال آب تنظیم شده آن جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت در این دشت توسط شرکت مهندسين مشاور مه‌اب قدس انجام و مطالعه مدل آب زیرزمینی این دشت توسط همین شرکت در سال ۱۳۶۵ صورت گرفته است. در سال ۱۳۶۸ مطالعات پراکنده‌ای بر روی سازندهای سخت منطقه به منظور تأمین آب شرب شهرستان شیروان صورت گرفته و به علت نامطلوب بودن کیفیت آب آبرفت از نظر شرب، عملیات حفاری در سازند تیرگان واقع در ۸ کیلومتری شرق شیروان (تپه امیرآباد) انجام گرفت. این حفاری ۵۰۰ متری مشخص کرد که علاوه بر توسعه کارست در عمق و به حساب آوردن پتانسیل آبی سازندهای سخت به عنوان منابع مکمل (نه منابع جدید) نیاز آبی شهرستان شیروان تا اجرا و بهره‌برداری سد بارزو مرتفع خواهد شد. مطالعات ژئوفیزیکی به روش ژئوالکتریک در سال ۱۳۶۸ در منطقه دشت شیروان انجام گرفت که بررسی نیمرخهای ژئوالکتریک، افقهای نسبتاً ضخیمی از نهشته‌های دوران چهارم (به ویژه در قسمتهای شمالی) را نمایان می‌سازد. مطالعات جدید در دشت شیروان در سال ۱۳۷۵ توسط شرکت مهندسين مشاور سروآب انجام گرفته است. در این مطالعات ضمن بررسی و تجزیه و تحلیل آمار هواشناسی و هیدرولوژی منطقه، وضعیت منابع آب زیرزمینی و بیلان دشت نیز ارائه شده است.

۲-۱- آزمایشات پمپاژ

آزمایشات پمپاژ معمولاً بایستی بعد از حفاری‌های اکتشافی به خصوص در سطح دشت محدوده‌های مطالعاتی به منظور تعیین ضرایب هیدرودینامیکی سفره‌های آب زیرزمینی صورت گیرد. به علت

پراکندگی سال‌های انجام آزمایش پمپاژ، آمار و اطلاعات حاصله به طور کامل جمع‌آوری و ارائه نشده است. همچنین سوابق آزمایشات پمپاژ (گزارش و غیره) در آرشیو شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان موجود نمی‌باشد. جهت بررسی ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان در برنامه مطالعات نیمه تفصیلی آبهای زیرزمینی دشت شیروان (۱۳۴۸)، ۳ حلقه چاه اکتشافی و ۹ حلقه چاه بهره برداری خصوصی مورد آزمایش قرار گرفته است. اطلاعات بدست آمده از آزمایشات پمپاژ ۱۲ حلقه چاه اکتشافی و بهره برداری در جدول (۲-۲) (برگرفته شده از مه‌اب قدس ۱۳۶۴) آورده شده است. اما از آنجائیکه سطح آب زیرزمینی در سالهای اخیر افت زیادی داشته است بنابراین نتایج در حال حاضر شاخص منطقه نمی‌باشند و نیاز به انجام آزمایشات پمپاژ جدیدتری می‌باشد.

جدول (۲-۲): مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره برای چاههای منطقه (مه‌اب قدس ۱۳۶۴)

ردیف	مختصات شبکه	عمق چاه (متر)	قابلیت انتقال (متر مربع بر روز)	ضریب ذخیره (درصد)
۱	565-4140-1-D	۵۰	۴۴۶	-
۲	570-4140-4-D	۷۰	۲۲۵۱	-
۳	570-4140-24-D	۶۶	۳۸۵	-
۴	570-4140-9-D	۶۷	۲۲۱۵	-
۵	570-4135-4-D	۶۸	۶۴۷	-
۶	590-4135-27-D	۷۶	۱۴۶۵	-
۷	590-4135-2-D	۷۲	۱۳۱۱	-
۸	590-4130-10-D	۶۵	۴۵۸	-
۹	590-4135-18-D	۷۲	۱۵۵۲	-
۱۰	590-4135-26-D	۱۱۸	۵۸۲	-
۱۱	575-4140-3-D	۸۵	۲۰۰	-
۱۲	580-4135-25-D	۱۰۰	۵۰۰	۴/۴

۲-۲-۲- سابقه مدلسازی در منطقه

همانطور که گفته شد دشت شیروان بخشی از دشت بزرگ قوچان-شیروان می‌باشد. مدلسازی آبخوان قوچان به منظور مدیریت بهینه و تأثیر گزینه‌های مدیریتی بر آبخوان در سال ۱۳۸۱ توسط کاظمی گلیان انجام شده است. پس از ساخت مدل آبخوان قوچان، از مدل تهیه شده برای بررسی تأثیر تغذیه

ناشی از سد تبارک آباد و همچنین مهار ۲۵ درصد حجم سیلابهای حاشیه شمالی و جنوبی دشت استفاده گردید. اما مدلسازی آبخوان شیروان تا کنون انجام نشده است به این دلیل مطالعه حاضر در آبخوان مذکور انجام می گیرد

فصل سوم: معادلات اساسی جریان آب زیرزمینی، مدلهای آب زیرزمینی و مدل مورد استفاده

۳-۱- تعریف مدلسازی

سیستمهای جریان آب زیرزمینی را می توان به سه روش تحلیلی، مطالعات صحرایی یا با استفاده از مدلها بررسی کرد. موقعی که تجزیه و تحلیل مستقیم عملی نباشد و بررسی های صحرایی با توجه به شرایط مختلف میسر نگردد، مطالعه با مدل و روشهای تجزیه و تحلیل عددی بهترین روش می باشند. مدل آب زیرزمینی از سوی محققین مختلف تعاریف مختلفی شده است در یک تعریف ساده مدل در واقع یک سمبل، یک نماینده یا یک الگو از یک محیط یا از یک سیستم واقعی است که ممکن است در آن فرآیندهای مختلفی در حال وقوع باشد. به کار بردن مدل و نتایج حاصل از آن اصطلاحاً شبیه سازی نامیده می شود. یک مدل آب زیرزمینی در واقع فرم ساده شده ای از یک سیستم واقعی آب

زیرزمینی است که به طور تقریبی، همبستگی بین عمل و عکس العمل هیدرودینامیکی را در یک سیستم ارائه می‌دهد. در واقع سعی مدل‌های آب زیرزمینی بر آن است که مسائل پیچیده جریان آب زیرزمینی را حل نمایند (Prickett 1975).

مدلسازی آب‌های زیرزمینی به منظور تأمین آب، مسائل کیفی، مطالعات نشست زمین ناشی از پمپاژ بیش از حد، شناخت کلی و بهتر سیستم‌های آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل‌هایی که بتوان از آنها در حل معادلات جریان آب زیرزمینی استفاده کرد، متعدد می‌باشد. معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم بر جریان آب زیرزمینی در یک محیط متخلخل که بر مبنای معادله پیوستگی حاصل می‌شود، معادلات اساسی برای مدل‌های عددی می‌باشد. با اعمال فرضیات حاکم، معادلات مزبور با توجه به هندسه آبخوان، خصوصیات هیدرولیکی، شرایط آبخوان، شرایط اولیه و شرایط مرزی قابل حل می‌باشد. در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌ها به خصوص مدل‌های عددی بسیار مرسوم شده است. مدل‌ها در زمینه‌های چگونگی راهبری فرآیند جریان در یک سیستم، ارائه نمایش‌های فیزیکی ساده‌ای از سیستم و نمایش‌های ریاضی از سیستم‌های فیزیکی کارآیی دارند. با وجود کاربرد وسیع و فراگیر مدل‌های عددی، چون نتایج تعدادی از مدل‌های آب زیرزمینی با خطا همراه بوده است، برخی از هیدروژئولوژیست‌ها، معتقدند که مدل‌های آب زیرزمینی کارآیی مناسب را ندارند و بی اعتبار می‌باشند (Konikow and Bredehoeft 1992). ولی همچنان که اشاره شد این مدل‌ها به عنوان ابزاری کارآمد و مفید برای حل مسائل پیچیده منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرند و بعضی از شیوه‌های مدیریتی به این طریق قابل اجرا و پیگیری می‌باشند. قبل از شروع و توضیح تقسیمات مدل‌ها، معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم بر جریان آب زیرزمینی در یک محیط متخلخل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۲- معادلات اساسی حاکم بر جریان آب زیرزمینی

معادلات اساسی حاکم بر جریان آب زیرزمینی شامل قانون دارسی^۱ (۳-۱) معادله پیوستگی (۳-۲) می‌باشد (Freeze and Cheery 1970).

$$q_{xj} = k_{xj} \frac{\partial h}{\partial xj} \quad (۳-۱)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} q_x + \frac{\partial}{\partial y} q_y + \frac{\partial}{\partial z} q_z = 0 \quad (۳-۲)$$

h : بار هیدرولیکی (L)

k : ذخیره ویژه $\left(\frac{L}{T}\right)$

q : دبی جریان $\left(\frac{L^2}{T}\right)$

x, y, z : محورهای مختصات عمود بر هم

۳-۲-۱- معادله عمومی جریان آب زیرزمینی در لایه آبدار تحت فشار

رفتار یک سفره محبوس توسط معادله عمومی جریان بررسی می‌گردد که از ترکیب معادلات اساسی نظیر معادله پیوستگی و اصل بقای انرژی یا جرم مشتق شده است.

^۱-Darcy's law

۳-۲-۱-۱- شرایط ناپایدار

معادله حاکم بر جریان آب زیرزمینی در شرایط غیر همسو، ناهمگن، ناپایدار، سه بعدی و برای شرایط محبوس عبارتست از:

$$\frac{\partial}{\partial x} [k_x \frac{\partial h}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [k_y \frac{\partial h}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [k_z \frac{\partial h}{\partial z}] = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3-3)$$

که در این معادله:

h : بار هیدرولیکی (L)

S_s : ذخیره ویژه (L^{-1})

t : زمان (T)

x, y, z : محورهای مختصات عمود بر هم

این معادله یک معادله دیفرانسیل جزئی خطی است که توزیع مکانی و زمانی بار هیدرولیکی را نشان می‌دهد.

با فرض شرایط همگن معادله بالا به صورت زیر خلاصه می‌شود:

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3-4)$$

وچنانچه لایه آبدار همگن و ایزوتروپ فرض گردد معادله (۳-۴) بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S_s}{k} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (5-3)$$

معادله (5-3) برای شرایط پایدار، همسو و دو بعدی به صورت زیر نوشته می شود:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S_s}{k} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (6-3)$$

با قرار دادن $S = S_s b$ و $T = kb$ در معادله (6-3)، می توان در حالت یک بعدی نتیجه گرفت:

$$T \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (7-3)$$

که در این معادله :

S : ضریب ذخیره (بدون بعد)

T : قابلیت انتقال ($L^2 S^{-1}$)

b : ضخامت سفره (L)

ضریب ذخیره یک لایه آبدار، عبارت است از حجم آبی که هر واحد از سطح افقی سفره، به ازاء واحد افت سطح ایستابی (در سفره های آزاد) یا سطح پیزومتریک (در سفره های تحت فشار) می تواند آزاد کند. در لایه های آبدار آزاد ضریب ذخیره همان آبدهی ویژه است.

۳-۲-۱-۲- شرایط پایدار

یعنی تغییرات بار هیدرولیکی نسبت به زمان ثابت می‌باشد که در این صورت میزان حجم آب ورودی و خروجی برابر است و هیچ تغییری در حجم ذخیره بوجود نمی‌آید البته به شرطی که:

اولاً: آب تراکم ناپذیر باشد.

ثانیاً: هیچ منبع مصرف یا تولیدی^۱ وجود نداشته باشد.

تحت چنین شرایطی، عبارت $\frac{\partial h}{\partial t}$ در سمت راست معادله عمومی جریان صفر شده و شرایط جریان پایدار برقرار می‌شود در اینصورت معادله عمومی جریان در حالت سه بعدی بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(-k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(-k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad (۸-۳)$$

که این معادله در واقع، معادله مشهور لاپلاس می‌باشد.

در حالتی که محیط جریان همسو و همگن باشد معادله لاپلاس شکل ساده تری پیدا می‌کند و به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (۹-۳)$$

با معرفی عملگر لاپلاس ∇^2 معادله (۹-۳) به صورت زیر نوشته می‌شود:

^۱ - Sink or Source

$$\nabla^2 h = 0$$

که ∇^2 همان مشتقات دوم بار آبی نسبت به متغیرهای مکانی می‌باشد.

۳-۲-۲- معادله عمومی جریان آب زیرزمینی در لایه آبدار آزاد

در سفره‌های آزاد، آب در اثر زهکشی منافذ، انبساط آب و فشردگی سفره خارج می‌گردد ولی سهم دو مکانیزم انبساط و فشردگی سفره معمولاً ناچیز می‌باشد. بنابراین آبی که از لایه های آبدار آزاد توسط چاهها پمپاژ خارج می‌شود حاصل زهکشی از منافذ سفره و بی‌آب شدن بخشی از سفره، در حین پائین رفتن سطح ایستابی است بنابراین برداشت آب از یک سفره موجب کاهش حجم آب ذخیره آن می‌شود. مقدار این کاهش حجم در لایه های آبدار آزاد به سهولت از حاصلضرب حجم سفره بین دو سطح ایستابی قبل و بعد از تخلیه در میانگین آبدهی ویژه بدست می‌آید.

در لایه های آبدار آزاد، محل و موقعیت سطح ایستابی نسبت به مکان را می‌توان با حل معادله زیر در صورتی که $S_s = 0$ باشد بدست آورد :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right] = 0 \quad (۱۰-۳)$$

این معادله در سفره های همسو و همگن به معادله لاپلاس (Laplace) تبدیل می‌شود.

سمت راست معادله (۱۰-۳) صفر است، نه به این دلیل که جریان پایدار می‌باشد چون $S_s = 0$ می‌باشد. دامنه نوسان جریان برای حل معادله (۱۰-۳) ثابت نیست، زیرا موقعیت سطح آب نسبت به زمان متغیر می‌باشد. راه حل ریاضی جریان در لایه آبدار آزاد، حل معادله (۱۰-۳) در منطقه اشباع شده می‌باشد که در نتیجه توزیع مکانی و زمانی ارتفاع سطح آب بازاء تغییرات ذخیره سفره محاسبه خواهد شد. مشکلات حاکم بر حل معادله مزبور، سبب گردید که هیدروژئولوژیستها یک راه حل تقریبی را بکار گیرند. به

منظور بدست آوردن راه حل معادله بالا در سفره آزاد، دوپوئی (Dupuit) در سال ۱۸۶۳ فرضیاتی را وضع کرد که عبارتند از:

- ۱- سرعت جریان با تانژانت شیب هیدرولیکی صرف نظر از علامت آن متناسب می باشد.
- ۲- جریان در هر مقطع قائمی از سفره، افقی و یکنواخت است. به عبارت دیگر سفره و سنگ زیرین آن افقی است.

فرضیات دوپوئی^۱ علاوه بر حل تقریبی معادله (۳-۱۰)، سبب محدودیت کاربرد همه جانبه آن نیز می شود. با در نظر گرفتن فرضیات دوپوئی-فورشهیمر^۲ و مفهوم تعادل جرمی^۳ و چنانچه آب به عنوان یک سیال بدون قابلیت فشردگی در تعادل حجمی فرض شود، معادله بوزینسکی غیر خطی حاصل می گردد.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(kh \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(kh \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(kh \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_y \frac{\partial h}{\partial t} \quad (۳-۱۱)$$

این معادله برای لایه آزاد در شرایط همسو، غیر همگن، سه بعدی و ناپایدار به کار گرفته می شود. این معادله به علت غیر خطی بودن دارای راه حل تحلیلی بسیار پیچیده می باشد و احتیاج به ریاضیات پیشرفته دارد. برای شرایط همگن معادله (۳-۱۱) به صورت زیر نوشته می شود:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[h \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[h \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[h \frac{\partial h}{\partial z} \right] = \frac{S_y}{k} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \quad (۳-۱۲)$$

^۱-Dupuit assumption

^۲- Dupuit-Forchheimer assumption

^۳- Mass balance

چنانچه تغییرات h ، نسبت به h ناچیز باشد در این صورت ضخامت متغیر لایه اشباع با یک ضخامت متوسط (b) جایگزین گشته و معادله غیر خطی بوزینسکی، خطی می‌گردد که تحت عنوان معادله خطی بوزینسکی معروف می‌باشد.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S_y}{kb} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \quad (۱۳-۳)$$

معادله مزبور برای شرایط همسو، همگن، سه بعدی، آزاد و ضخامت اشباع ثابت به کار می‌رود که به سهولت به وسیله روشهای تحلیلی حل می‌گردد.

۳-۲-۳- معادله عمومی جریان آب زیرزمینی با مؤلفه تغذیه یا تخلیه

در تمام معادلات بالا فرض شد که هیچگونه منبع تغذیه یا تخلیه در لایه آبدار وجود نداشته باشد. بر این اساس تمام آبهای ورودی یا خروجی از سفره در طول مرزهای خارجی سیستم محاسبه می‌شود. به هر حال توابع تغذیه یا تخلیه نظیر پمپاژ چاهها، نشت از طریق لایه محبوس کننده، تبخیر و تعرق از سطح آب و تغذیه طبیعی یا مصنوعی ممکن است به طور یکنواخت توزیع گردد و یا نسبت به زمان و مکان در سفره تغییر نماید. در چنین شرایطی تابع عمومی ω به طرف راست معادله (۱۱-۳) اضافه می‌گردد، اگر علامت ω مثبت باشد نشانگر تابع تخلیه و در صورت منفی بودن حاکی از تغذیه سفره می‌باشد. در حالت‌های یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی تابع ω مبین میزان جریان به ترتیب بازای واحد طول، سطح و حجم می‌باشد که عبارتست از :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[kh \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[kh \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[kh \frac{\partial h}{\partial z} \right] = S_y \frac{\partial h}{\partial t} \pm \omega \quad (۱۴-۳)$$

با به کار بردن تعادل جرم و در نظر گرفتن جریان دو بعدی افقی در سفره محبوس معادله زیر حاصل می‌گردد:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S}{T} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{\omega}{k} \quad (15-3)$$

این معادله برای سفره محبوس در شرایط همسو، همگن، دو بعدی، ناپایدار و نفوذ ثابت به صورت مؤلفه قائم حاصل شده است. میزان نفوذ قائم ω یک کمیت اسکالر بازا واحد سطح می‌باشد با فرآیندی مشابه، در سفره های آزاد با مؤلفه نفوذ قائم ثابت داریم:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[h \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[h \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[h \frac{\partial h}{\partial z} \right] = \frac{S_y}{k} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{\omega}{k} \quad (16-3)$$

معادله مزبور در شرایط سفره همگن، همسو، سه بعدی، آزاد، ناپایدار و با مؤلفه نفوذ قائم ثابت برقرار می‌باشد چنانچه بر معادله حاکم بر جریان آب زیرزمینی در لایه آبدار آزاد با مؤلفه نفوذ قائم (در شرایط پایدار، یکنواخت، همسو و سه بعدی) تابع ω (تغذیه) اضافه گردد معادله مشهور پواسیون^۱ حاصل می‌گردد (Mc Whorter 1977). همچنین معادله عمومی جریان آبهای زیرزمینی در لایه آبدار آزاد در شرایط همسو، ناهمگن، دوبعدی و با وجود توابع تغذیه و تخلیه بصورت زیر خواهد بود:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[kh \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[kh \frac{\partial h}{\partial y} \right] + R(x, y, t) - Q(x, y, t) = S_y \frac{\partial h}{\partial t} \quad (17-3)$$

^۱ - Puasion equation

این معادله نیز به عنوان معادله بوزینسک معروف است که تابع $R(x, y, t)$ میزان تغذیه سطح آب و تابع $Q(x, y, t)$ میزان تخلیه از سطح آب با دیمانسیون $\frac{L}{T}$ می باشد.

۳-۳- طبقه بندی مدل‌های آب زیرزمینی

مدل‌های جریان آب زیرزمینی ممکن است به روش‌های متفاوتی تقسیم بندی شوند. مدل‌ها ممکن است بر اساس ابعاد فضایی به صورت یک، دو یا سه بعدی و یا شبه سه بعدی تقسیم بندی شوند. مدل‌ها ممکن است هم به صورت پایدار و هم ناپایدار و یا به طور اختیاری برای هر یک از دو وضعیت در نظر گرفته شوند. مدل‌ها ممکن است به مدل‌های جریان آب زیرزمینی و مدل‌های انتقال مواد محلول تقسیم بندی شوند. مشهورترین تقسیم بندی مدل‌ها در شکل (۳-۱) نشان داده شده است بر اساس این طبقه بندی یک سیستم واقعی به دو روش فیزیکی و ریاضی شبیه سازی می گردد.

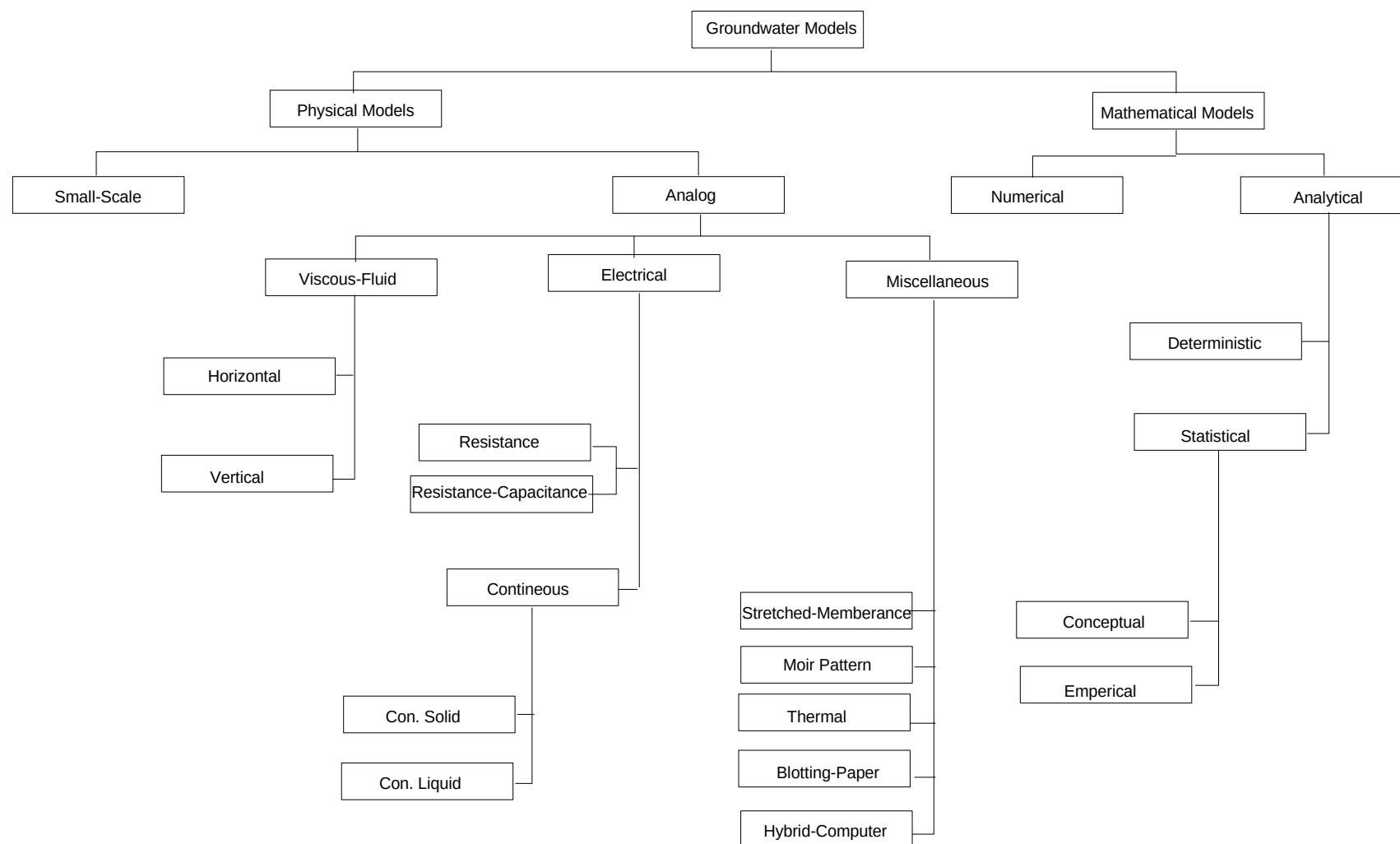
۳-۳-۱- مدل‌های فیزیکی

قبل از پیدایش کامپیوتر هیدرولوژیست‌ها بیشتر از این مدل‌ها برای تشریح هیدروژئولوژیکی استفاده می کردند. مدل‌های فیزیکی در یک تقسیم بندی کلی شامل مدل‌های Analog و Small scale می شوند.

۳-۳-۱-۱- مدل‌های کوچک مقیاس

از مهمترین مدل‌های کوچک مقیاس (Small scale) می توان به مدل‌های ماسه‌ای اشاره کرد که در واقع این مدل‌ها، مدل‌های فیزیکی کوچک شده‌ای از سیستم‌های جریان آب زیرزمینی می باشند که امکان عبور آب یا سیال دیگری را از خلال ماسه یا یک محیط متخلخل دیگر فراهم می کنند. ستون ماسه‌ای

دارسی نمونه‌ای از این مدلها می‌باشد. از دیگر مدلهای کوچک مقیاس می‌توان به تانکهای شیشه‌ای (Dye tracer) اشاره کرد که برای نشان دادن چگونگی پخش ردیابها در محیطهای متخلخل ساخته شده‌اند. این مدلها امروزه کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند چون علاوه بر پرمزینه بودن قادر به تشریح پیچیدگیهای موجود در سیستمهای هیدروژئولوژیکی نیستند.



شکل (۳-۱): طبقه بندی انواع مدل‌های آب زیرزمینی (T. A. Prickett, 1975)

۳-۱-۲- مدل های آنالوگ

مدلهای آنالوگ (Analog) بر اساس شباهتهای ریاضی قوانین حاکم بر متغیرهای کنترل کننده جریان آب زیرزمینی و آن دسته از متغیرهایی که جریانهای خطی سیاله گرما و الکتریسیته را توجیه می کنند، طراحی شده اند. که مهمترین این مدل ها شامل مدل های آنالوگ- الکتریک و آنالوگ- ویسکوز سیال می باشد.

الف- مدل آنالوگ- الکتریک

مدلهای الکتریکی از مهمترین مدلهای تشابهی برای مطالعه حرکت آبهای زیرزمینی است. در این مدلها جریان برق در مقاومتها یا دیگر محیطهای هادی، شبیه به جریان آب در محیطهای متخلخل در زیر زمین است. عبور جریان برق از یک محیط هادی با استفاده از قانون اهم به صورت زیر بیان می شود:

$$I = \varepsilon_0 \frac{dE}{dx} \quad (۱۸-۳)$$

ε_0 : هدایت الکتریکی ویژه

$\frac{dE}{dx}$: گرادیان ولتاژ

I : جریان در واحد سطح

این معادله شبیه به معادله داریسی می باشد:

$$q = k \frac{\partial h}{\partial x}$$

یک مدل آنالوگ- الکتریک از یک مدار الکتریکی که شامل مجموعه ای از خازنها و مقاومتها می باشد تشکیل شده است. ایجاد یک میدان الکتریکی در مدلی از منبع آب زیرزمینی، شبیه به جریان

زیرزمینی در نمونه اصلی است. بار هیدرولیکی با ولتاژ، گرادیان هیدرولیک با گرادیان ولتاژ، نفوذپذیری با هدایت الکتریکی ویژه و خطوط هم پتانسیل جریان آب با خطوط هم پتانسیل جریان برق قابل مقایسه می‌باشند. اولین مدل‌های کامپیوتری بر اساس همین مدل‌های آنالوگ ساخته شده‌اند. ایراد اصلی این مدل‌ها اینست که چون بر اساس یکسری شرایط، ساده‌سازیها، فرضیات و قاعده‌ها برای یک مشکل هیدروژئولوژیکی خاص طراحی شده‌اند در صورت عوض شدن مشکل مدل نیز باید عوض شود.

ب- مدل‌های ویسکوز-سیال

وقتی در مدل‌های دو بعدی از مایعی ویسکوز استفاده شود جریان ورقه‌ای را می‌توان با نزدیکتر کردن دیواره‌های مدل، به طوری که فاصله آن ۱ یا ۱۰ میلی‌متر شود ایجاد کرد. مدل‌های ویسکوز-سیال (Viscous-Fluid) را از دو صفحه شیشه‌ای یا پلاستیکی، با فاصله ثابت می‌سازند. مخازنی نیز برای کنترل جریان سیال بین دو صفحه، به طرفین یا دو انتهای مدل، نصب می‌کنند به مدل ساخته شده از طریق لوله‌های باریکی بین صفحات مایع اضافه شده یا برداشت می‌شود (برای شبیه‌سازی تغذیه و تخلیه). جریانهای یکنواخت مثل نفوذ باران با رشته‌ای از لوله‌ها شبیه‌سازی می‌شود. استفاده از روغن یا گلیسرین در مدل باعث کارکرد مطلوب آن می‌شود و افزودن رنگ به سیال باعث نمایش بهتر سطح ایستابی می‌شود.

۳-۲-۳- مدل‌های ریاضی

مدل‌های ریاضی (Mathematical model) بطور گسترده‌ای برای ارزیابی کمی و کیفی مخازن آبهای زیرزمینی به کار برده می‌شود. در مدل‌های ریاضی، سیستم‌های هیدروژئولوژی در دست بررسی و مطالعه به وسیله فرمول‌ها و روابط ریاضی حاکم، توصیف می‌گردد. پس از ارائه معادله ریاضی حاکم بر سیستم این معادله را می‌توان با مدل‌های تحلیلی یا عددی حل کرد. در سال‌های اخیر به علت پیشرفت و کاربرد وسیع کامپیوترهای شخصی، مدل‌های عددی به عنوان ابزاری کارآمد برای مدیریت و پیش‌بینی مسائل آبهای زیرزمینی مطرح شده و این کارایی نسبت به مدل‌های فیزیکی، آنها را کاربردی‌تر کرده است (Todd 1980). مدل‌های ریاضی نیاز به کنترل تجهیزات آزمایشگاهی ندارد،

کاربرد آنها آسان و نسبت به مدل‌های فیزیکی هزینه کمتری دارد در حالیکه می‌توانند مسائل گسترده و پیچیده‌ای را حل نمایند.

۳-۲-۱- مدل‌های تحلیلی

مدل‌های تحلیلی (Analytical model) ابزاری قوی برای ارزیابی مخازن آب‌های زیرزمینی می‌باشند که با استفاده از یک ماشین حساب با قابلیت برنامه نویسی یا به وسیله یک کامپیوتر شخصی می‌توان مدل‌های تحلیلی را سریع، دقیق و با هزینه کم حل کرد. در مدل‌های تحلیلی تمام پارامترها به صورت میانگین در نظر گرفته می‌شود و شرایط مرزی به صورت مرزهای ساده و با هندسه مشخص منظور می‌گردد. در واقع یک آبخوان با شکل هندسی معین، مورد بررسی قرار می‌گیرد و عکس العمل سیستم نسبت به پمپاژ و دیگر عوامل با کاربرد راه حل ثابت و معین معادله دیفرانسیلی مربوطه تعیین می‌شود. این مدل‌ها محدود به سیستم‌های فوق‌العاده ساده می‌باشند. حل معادله لاپلاس در واقع یک نوع مدل تحلیلی می‌باشد که به صورت تابع ریاضیاتی فرمول تایس بیان می‌گردد البته باید متذکر شد که این راه‌حل‌ها محدود به شرایط زیر می‌باشد:

۱- محیط باید از هندسه ساده‌ای برخوردار باشد.

۲- محیط باید همگن و همسو باشد.

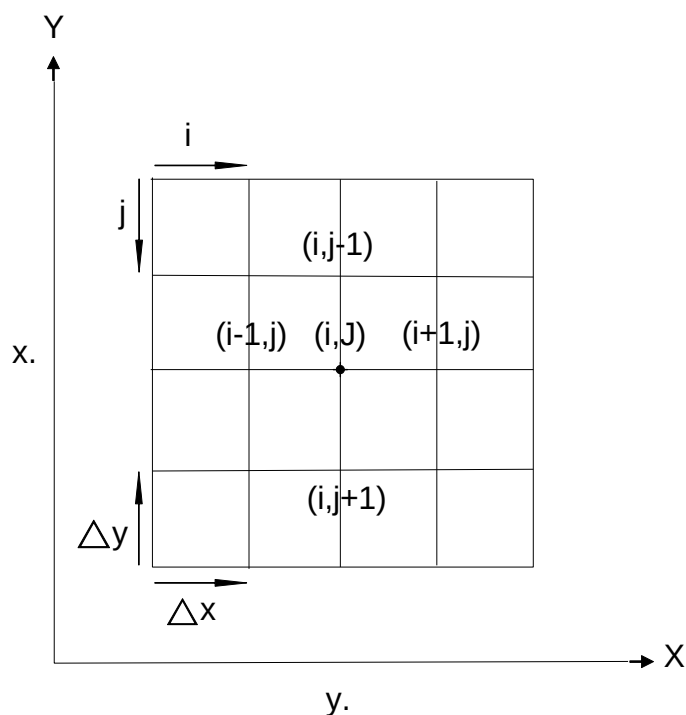
در بسیاری از مدل‌های تحلیلی فرض شده است که سفره همگن و همسو است و ضرایب نفوذپذیری، انتقال و ذخیره، ثابت است. چنین فرضیاتی سبب می‌شود که شبیه سازی انجام شده دقیق نباشد خصوصاً اگر سیستم تحت مدلسازی پیچیده باشد. این پیچیدگی سبب می‌شود که نتایج بدست آمده از مدلسازی تحلیلی بسیار خام باشد. در چنین مواردی معمولاً از مدل‌های عددی استفاده می‌شود. تا وضعیت سیستم‌های هیدروژئولوژیکی به خوبی در نظر گرفته شوند.

به دلیل شرایط پیچیده آبخوان، مرزهای هیدروژئولوژیکی پیچیده و شکل هندسی نامعین، استفاده از مدلهای تحلیلی عمدتاً محدود کننده و با پیشرفت تکنولوژی و ورود کامپیوترها در عرصه‌های علمی، کاربرد مدلهای عددی (Numerical model) رو به افزایش است. در مدلسازی عددی معادلات ریاضی که معمولاً به صورت معادلات دیفرانسیل است به یک مجموعه معادلات جبری تغییر داده می‌شود. این معادلات جبری نهایتاً به فرم یک ماتریس بزرگ در می‌آیند و در نهایت با فرآیندهای تکراری و با استفاده از کامپیوتر برای آن متغیر انتخابی که سیستم را توجیه کند تخمین لازم زده می‌شود. مدلهای عددی را می‌توان به صورت نوشتن برنامه‌های کامپیوتری با استفاده از نرم افزارها برای حل معادلات جبری حاصل از روشهای عددی استفاده کرد. بهترین برنامه‌های کامپیوتری آنهایی است که ورودیها یا داده‌ها را با مناسب‌ترین و ساده‌ترین شکل دریافت کرده و پس از پردازش، معادلات اساسی را حل و خروجی‌ها را به بهترین شکل ممکن (که بیشتر بصورت گرافیکی) است نشان دهد. مدلهای عددی بر اساس تقریب سازی معادلات دیفرانسیل جریان و روشهای حل عددی سیستم معادلات جبری، به ۵ روش سیستم جریان آبهای زیرزمینی را شبیه سازی می‌کنند که شامل روشهای تفاضل محدود، اجزاء محدود، المان حجمی محدود، تفاضل محدود کامل شده و روش معادله انتگرال مرزی می‌باشد (Wang and Anderson 1981). در روشهای عددی سیستم را به N نقطه محدود کرده سپس معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم بر جریان آب زیرزمینی با N معادله جبری برای N نقطه جایگزین می‌شود. دو روش تفاضل محدود و اجزاء محدود که روشهای کاربردی‌تر مدلهای عددی هستند در ادامه توضیح داده می‌شوند.

الف- روش تفاضل محدود

یکی از روشهای عددی مورد استفاده در هیدروژئولوژی که امروزه اساس حل بسیاری از مدلها و بسته‌های کامپیوتری را تشکیل می‌دهد روش تفاضل محدود (Finite Difference Method or FDM) می‌باشد. در این روش محیط جریان یا سیستم تحت بررسی به طور منظم شبکه بندی شده و سپس جریانهای مربوط به یک منطقه منفرد (Single zone) از سفره تحت

بررسی، تحلیل می‌شود و معادلات جبری آن در این شبکه بدست می‌آید. شکل (۲-۳) مختصات محلی یک سیستم را در یک دستگاه دکارتی نشان می‌دهد.



شکل (۲-۳): دستگاه مختصات در نظر گرفته شده برای حل معادلات جبری (Wang and Anderson 1981)

اصول روش تفاضل‌های محدود اینست که در این روش، مشتقات با تفاوت‌های بین نقاط گرهی جایگزین می‌شود. با توجه به تعریف مشتق اول، بار هیدرولیکی بین دو نقطه (i, j) و $(i+1, j)$ با استفاده از معادله زیر بدست می‌آید:

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\Delta h}{\Delta x} = \frac{h_{(i+1,j)} - h_{(i,j)}}{\Delta x} \quad (۱۹-۳)$$

و همچنین بار هیدرولیکی بین دو نقطه (i, j) و $(i-1, j)$ به صورت زیر است:

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} = \frac{h_{(i,j)} - h_{(i-1,j)}}{\Delta x} \quad (۲۰-۳)$$

مشتق دوم را نیز می‌توان از تفاوت مشتق اول در آن نقطه بدست آورد:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{(h_{(i+1,j)} - h_{(i,j)}) - (h_{(i,j)} - h_{(i-1,j)})}{\Delta x^2} \quad (21-3)$$

به روش مشابه می‌توان معادله (21-3) را برای محور y نیز نوشت:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{(h_{(i,j+1)} - h_{(i,j)}) - (h_{(i,j)} - h_{(i,j-1)})}{\Delta y^2} \quad (22-3)$$

و در نهایت برای هر دو محور معادله زیر را خواهیم داشت:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{(h_{(i,j+1)} - h_{(i,j)}) - (h_{(i,j)} - h_{(i,j-1)})}{\Delta y^2} + \frac{(h_{(i+1,j)} - h_{(i,j)}) - (h_{(i,j)} - h_{(i-1,j)})}{\Delta x^2} \quad (23-3)$$

با فرض شبکه‌ها مربعی، Δx و Δy برابر می‌باشند پس معادله بالا را می‌توان در شرایط پایدار به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$h_{(i-1,j)} + h_{(i+1,j)} + h_{(i,j-1)} + h_{(i,j+1)} - 4h_{(i,j)} = 0 \quad (24-3)$$

در واقع معادله جبری (۳-۲۴)، تخمین تفاضل محدود و برای معادله دیفرانسیل مرتبه دوم (معادله لاپلاس) می‌باشد که به کمک کامپیوترهای دیجیتالی به صورت عددی حل می‌شود. یکی از کاربردی-ترین مدل‌های تفاضل محدود که توسط^۱ USGS، تهیه شده و در اختیار هیدروژئولوژیست‌ها قرار گرفته است مدل MODFLOW می‌باشد.

ب- روش اجزاء محدود

روش اجزاء محدود^۲ بر خلاف روش تفاضل محدود در آن از شبکه‌های چهار گوش استفاده می‌شود، از شبکه‌های چند وجهی استفاده می‌گردد. به عبارت دیگر تفاوت این دو روش در چگونگی تقسیم بندی منطقه می‌باشد. در روش تفاضل محدود محل نقاط است که باید مشخص گردد ولی در این روش محل المانها می‌بایست تعیین شود. رعایت نظم مشخص در چگونگی شکل دادن به المانها اهمیتی ندارد و این گره‌ها می‌باشند که سیستم تحت مدلسازی را تعریف می‌کنند. المانها توسط گره‌ها تعریف می‌گردند، گره‌ها ممکن است در محل نقاط چند وجهی‌ها، درون آنها و یا وسط اضلاع در نظر گرفته شوند و در واقع نشانگر نقاطی می‌باشند که در آنها پارامترهای نامعلوم محاسبه خواهد شد. مساحت منطقه مورد مطالعه توسط گره‌ها در نظر گرفته شده تعیین می‌گردد. اساس ریاضی بکار گرفته شده در اجزاء محدود، در قیاس با روش تفاضل محدود مشکل‌تر می‌باشد و راه حل‌های روش اجزاء محدود بر اساس روش گالرکین^۳ استوار می‌باشد.

۳-۴- طراحی یک مدل عددی

ساخت یک مدل ریاضی شامل مراحل است که بطور خلاصه در زیر اشاره می‌گردد.

^۱-Unitate State Geological Survey

^۲-Finite Element Methohd or FEM

^۳-Galerkin's method

۱- طرح مسئله و تعیین هدف: در این مرحله مسئله مورد بحث مشخص و هدف از ساخت مدل روشن می‌گردد.

۲- آماده سازی داده‌های مورد نیاز برای مدل: داده‌های مورد نیاز برای ساخت یک مدل به طور خلاصه در جدول (۱-۳) آورده شده است. این داده‌ها را می‌توان به طور کلی به دو گروه تقسیم نمود. گروه (الف) داده‌هایی که سیستم جریان را از لحاظ هندسی تعریف می‌کند و شامل ضخامت و گسترش جانبی واحدهای هیدرواستراتیگرافی می‌باشد. گروه (ب) داده‌های هیدروژئولوژیکی که شامل اطلاعاتی درباره بارهیدرولیکی، جریانهایی که برای فرموله کردن مدل تحلیلی لازم است و همچنین خصوصیات سفره و استرسهای هیدروژئولوژیکی می‌باشند.

۳- مدل مفهومی: مدل مفهومی در واقع تعریف تصویری از یک سیستم جریان آب در قالب نقشه‌ها و مقاطع عرضی و پایگاه اطلاعات داده‌ای می‌باشد. هدف از ساخت یک مدل مفهومی درک کامل هیدروژئولوژی، هیدرولوژی و دینامیک جریان آبهای زیرزمینی در داخل و اطراف منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در واقع با توسعه یک مدل مفهومی، آزاد یا محصور بودن سفره، تغذیه و تخلیه، جریانهای مصرف و تولید، جریانهای ورودی و خروجی و جهت جریان آب زیرزمینی برای مدلساز مشخص می‌گردد.

جدول (۱-۳): خلاصه‌ای از داده‌های مورد نیاز برای ساخت مدل ریاضی

گروه	داده‌های مورد نیاز
الف: ساختار فیزیکی	مقاطع و نقشه‌های زمین شناسی برای تعیین گسترش عمودی و جانبی سفره و همچنین مرزهای سیستم
	نقشه‌های توپوگرافی
	نقشه‌های کنثوری مشخص کننده ارتفاع سنگ کف و لایه‌های محدود کننده
	نقشه‌های هم ضخامت آبخوان
	نقشه‌های نشان دهنده گسترش و ضخامت آبراهه‌ها و رسوبات برجای مانده از آنها
ب: ساختار هیدروژئولوژیکی	نقشه‌های هم پتانسیل و سطح ایستابی
	هیدروگرافهای ارتفاع آب زیرزمینی و ترازهای آب سطحی و مقادیر تخلیه.
	نقشه‌های هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال
	نقشه‌ها و مقاطع بیان کننده خصوصیات سفره و لایه‌های محدود کننده

مقدار هدایت الکتریکی و توزیع آن برای رودخانه ها و رسوبات بر جای مانده از آنها.	
توزیع زمانی و مکانی تبخیر و تعرق، تغذیه آبهای زیرزمینی، تداخل آبهای سطحی و زیرزمینی، تخلیه طبیعی و پمپاژ.	

۴- انتخاب معادله حاکم و کد رایانه‌ای: کد یک برنامه کامپیوتری است بر مبنای یک الگوریتم می‌باشد و مدل ریاضی را بصورت عددی حل می‌کند. کد رایانه‌ای انتخاب شده باید بتواند به بهترین وجه، آبخوان را شبیه سازی و هدف تهیه مدل را برآورد نماید.

۵- طراحی مدل: این مرحله شامل طراحی شبکه، انتخاب مراحل زمانی، شرایط اولیه و تنظیمات مرزی و انتخاب مقدماتی مقادیر پارامترهای سفره و استرسهای هیدروژئولوژیکی می‌شود.

۶- واسنجی: برای اینکه از مدل در جهت مدیریت بهره برداری از سفره استفاده گردد بایستی مدل با منطقه مورد نظر تطبیق داده شود. هر مدل آب زیرزمینی دارای یکسری پارامترهای مجهول است که بایستی در طول مراحل واسنجی (Calibration) مدل با مقایسه نتایج شبیه سازی و مشاهدات صحرایی تعیین شود. بدین صورت که مقادیر ضرایبی که عدم قطعیت در آنها وجود دارد آنقدر تغییر داده می‌شود تا مقادیر سطح آب مشاهده‌ای و محاسبه‌ای تقریباً و در حد قابل قبولی بر هم منطبق شود. روشهای واسنجی مدل‌های آب زیرزمینی شامل روشهایی مبتنی بر سعی و خطا و بهینه سازی اتوماتیک می‌باشد. روش سعی و خطا در واسنجی مدل آب زیرزمینی، یکی از قدیمی‌ترین و در عین حال مؤثرترین روشها می‌باشد. در این روش مقادیر پارامترهای مدل در ابتدا به عنوان داده ورودی به مدل داده می‌شود و پس از اجرای مدل، مقایسه بین مقادیر سطح آب مشاهده‌ای و محاسبه‌ای انجام می‌شود. در صورتیکه تفاوت قابل ملاحظه‌ای وجود داشته باشد پارامترها بایستی با دید کارشناسی تصحیح و مجدداً به مدل اضافه و اجراء گردد. این فرآیند تا حصول نتایج قابل قبول تکرار می‌گردد با توجه به محدودیتهای این روش، امروزه در مدلسازی آبهای زیرزمینی از روش کالیبراسیون اتوماتیک استفاده می‌شود. نیومن (Neuman) در سال ۱۹۷۷ برآورد پارامترها به طریق اتوماتیک را به دو روش مستقیم و غیر مستقیم (معکوس) تقسیم نموده است. در روش مستقیم تعداد معادلات موجود بیشتر از تعداد مجهولات می‌باشد در نتیجه از نظر ریاضی نمی‌تواند فقط دارای یک جواب باشد. بهر حال هدف نهایی اینست که خطاهای بوجود آمده بین مقادیر محاسبه‌ای و مشاهده‌ای کمینه گردد.

در روش غیر مستقیم ابتدا پارامترهای هیدرولیکی مشاهده‌ای و سایر پارامترها به مدل داده می‌شود و محاسبات از طرق حل پیشرونده انجام می‌گیرد. مقادیر محاسبه‌ای و مشاهده‌ای مقایسه شده و در صورت اختلاف داشتن، تصحیح مقادیر پارامترها با استفاده از کمینه سازی تابع هدف (Minimization) انجام می‌شود. در واقع معیار این روش بر مبنای حداقل کردن اختلاف مقادیر محاسبه‌ای و مشاهده‌ای می‌باشد. به طور ساده‌تر می‌توان بیان داشت که روش غیر مستقیم حل اتوماتیک روش دستی آزمون سعی و خطا می‌باشد. که در آن پارامترها تا رسیدن به جواب مطلوب به صورت تکراری تصحیح می‌شود. در این روش به دلیل بیشتر بودن تعداد مجهولات از تعداد معادلات، ناگزیر به استفاده از روشهای بهینه‌سازی می‌باشند. روش غیر مستقیم از نظر زمانی نسبت به روش مستقیم طولانی‌تر است ولی جوابهای حاصله از نظر فیزیکی منطقی‌تر می‌باشد. در حداقل کردن تابع هدف، بطور معمول از تئوری حداقل مربعات (Least squares) و یا حداکثر درست نمایی (Maximum likelihood) استفاده می‌شود. برای حل آن از روشهای مبتنی بر الگوریتم گوس- نیوتن و گرادیان استفاده می‌گردد. آنچه که در مرحله کالیبراسیون مدلسازی حائز اهمیت است علاوه بر تصحیح پارامترها در محل کنترل توزیع مکانی پارامترها در کلیه شبکه‌های مدل می‌باشد که اصطلاحاً پارامترسازی نامیده می‌شود. مدل MODFLOW از روش بهینه سازی غیر مستقیم برای کالیبراسیون استفاده می‌کند.

۷- صحت سنجی مدل: مرحله صحت سنجی (Verification) به منظور ایجاد اعتماد بیشتر به مقادیر پارامترهای کالیبره شده انجام می‌شود. در این مرحله از داده‌های صحرائی که تاکنون مورد استفاده قرار نگرفته‌اند استفاده می‌شود. با انجام مراحل بالا نتیجه موجود همان مدل ریاضی است که از توانایی بالا در جهت مدیریت سیستم و پیش بینی وضعیت آن در شرایط آینده برخوردار می‌باشد.

۸- پیش‌بینی: در مرحله پیش‌بینی (Prediction) پاسخ سفره نسبت به استرسهای آینده (استرسهایی که انتظار می‌رود در آینده تغییری نکنند) کمی می‌شود. برای انجام این مرحله می‌بایست استرسهای حاکم بر سفره در آینده تخمین زده شوند.

۳-۵- معرفی مدل PMWIN

۳-۵-۱- شرح مدل PMWIN

Processing MODFLOW for Windows یا همان PMWIN یک بسته نرم افزاری شبیه سازی برای مدلسازی جریان آب زیرزمینی و فرایند انتقال مواد محلول می‌باشد. PMWIN در واقع ترکیبی از مدل‌های MODFLOW88، MODFLOW96، MT3D، MT3DMS، PMPATH، PEST، MOC3D و UCODE می‌باشد. PMWIN برای شبیه سازی سیستم جریان آب زیرزمینی از دو کد اصلی MODFLOW (Harbughand and Mc Donald 1996a 1996b) و MODFLOW 96 (Mc Donald and MPDFLOW88 (Ching and Kinzelbach 2000)، استفاده می‌کند (Harbughand 1988). یک مدل تفاضل محدود، قطعه‌ای، سه‌بعدی به زبان فرترن ۷۷ است که توسط سازمان زمین شناسی ایالات متحده تهیه شده است. کاربرد MODFLOW توصیف و پیشگویی سیستم جریان آب زیرزمینی می‌باشد. از زمان انتشار اولین نسخه MODFLOW، کدهای گوناگونی در آن برای شبیه سازی اشکال خاص در سیستم جریان آب زیرزمینی توسط طراحان گوناگون توسعه داده شده است. MODFLOW می‌تواند تأثیر چاهها، رودخانه‌ها، زهکشها، بارهای هیدرولیکی وابسته به مرز، تغذیه و تبخیر و تعریق را توسط بسته‌های نرم افزاری شبیه سازی نماید. در جدول (۳-۲) بسته‌های نرم افزاری موجود در MODFLOW به همراه علامت اختصاری و بسته‌های استفاده شده در این تحقیق نشان داده شده است. علاوه بر برنامه شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی (MODFLOW)، PMWIN از چند برنامه دیگر برای شبیه‌سازی انتقال مواد محلول، مسیرهای جزئی حرکت و فرآیند تخمین پارامتر استفاده می‌کند. PMWIN برای شبیه سازی انتقال مواد محلول از سه برنامه MT3D (Zheng, 1990)، MT3DMS (Zheng and Wang, 1998) و MOC3D (Konikow et al, 1996) استفاده می‌کند (Ching and Kinzelbach 2000). هریک از این مدلها بطور مختصر در ادامه توضیح داده می‌شوند.

MT3D: یک مدل انتقال مواد محلول می‌باشد که معادلات انتقال، پهنرفت- پراکندگی- واکنش پذیر سه‌بعدی را با استفاده از روش Eulerian-Lagrangin حل می‌کند. ساخت این مدل بر این فرض استوار است که تغییر در غلظت حوضه، تأثیری بر جریان حوضه ندارد. این فرض به کاربر این امکان را

می‌دهد تا یک مدل جریان آب زیرزمینی را ساخته و کالیبره کند. بعد از کامل شدن مدل جریان، MT3D انتقال مواد محلول را با استفاده از بارهای هیدرولیکی محاسبه شده و ترمهای مختلف جریان (که در MODFLOW ذخیره شده است) شبیه سازی می‌کند. MT3D برای شبیه سازی تغییر غلظت یک نوع آلاینده منفرد در آب زیرزمینی با در نظر گرفتن فرآیندهای پهنرفت، پراکندگی و بعضی از واکنشهای شیمیایی ساده (واکنشهای برگشت پذیر یا تعادلی خطی و واکنشهای شیمیایی برگشت ناپذیر مرتبه اول مثل تخریب رادیو اکتیو و تجزیه بیوشیمیایی) به کار می‌رود.

جدول (۳-۲): بسته‌های نرم افزاری موجود در MODFLOW

ردیف	بسته‌های موجود در MODFLOW	علامت اختصاری	بسته‌های استفاده شده
۱	Density Package	-	
۲	Drain Package	-	
۳	Evapotranspiration	ET	
۴	General Head boundary Package	GHB	✓
۵	Horizontal Flow Barrier Package	HFB	
۶	Interbed Storage Package	-	
۷	Recharge Package	RECH	✓
۸	Reservoir Package	RES	
۹	River Package	RIV	
۱۰	Stream flow-Routing Package	STR	
۱۱	Time-Variant Specified-Head Package	-	
۱۲	Well Package	WEL	✓
۱۳	Wetting Capability Package	-	

MT3DMS: این مدل در واقع مدل MT3D توسعه یافته می‌باشد. پسوند MS آن بر گرفته شده از ساختار Multi-Species (چند-نوعی) می‌باشد. MT3DMS از سه روش، Eulerian-Lagrangian، TVD و روش اختلاف محدود استاندارد برای حل معادلات انتقال استفاده می‌کند.

MOC3D: مدل MOC3D تغییرات غلظت یک ترکیب شیمیایی واحد را که تحت تأثیر فرآیندهای پهنرفت، پراکندگی هیدرودینامیکی (پخش ملکولی و پراکندگی مکانیکی) مخلوط یا رقیق شدگی از منبع سیاله را محاسبه می‌کند.

PMWIN برای شبیه سازی مسیرهای جزئی جریان و زمان حرکت جریان از مدل Ching PMPATH (Ching and Kinzelbach 1994,1998) استفاده می کند. PMPATH نتایج محاسبات را به صورت خروجی های گرافیکی (خطوط کنتوری، خطوط هم افت و بردارهای سرعت) ارائه می دهد. دو برنامه دیگر ارائه شده در PMWIN، PEST (Doherty et al 1994) و UCODE (Poeter and Hill 1998) می باشند که برای فرآیند تخمین پارامتر بکار می روند (Ching and Kinzelbach, 2000).

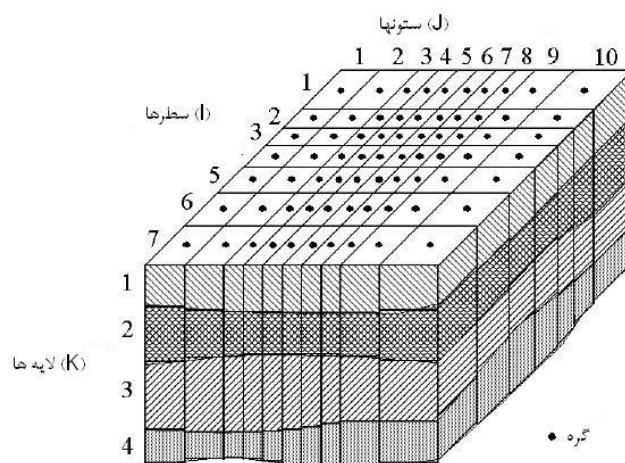
۳-۵-۲- مفاهیم طراحی سیستم جریان آب زیرزمینی با مدل PMWIN

همانطور که در بالا ذکر شد PMWIN برای شبیه سازی سیستم جریان آب زیرزمینی از برنامه MODFLOW استفاده می کند به همین علت در ادامه به توضیح جنبه های کلی مدل MODFLOW که شامل مفاهیم ساختاری و چگونگی کارکردشان می شود، پرداخته می شود.

۳-۵-۱- تقسیم بندی فضایی

شکل (۳-۳) تقسیم بندی فضایی (Space discretization) یک آبخوان را توسط یک شبکه از بلوکها نشان می دهد هر کدام از این بلوکها یک سلول نامیده می شود. موقعیت هر یک از بلوکها بر حسب شماره ردیف، ستون و لایه ها به وسیله یک سیستم شماره گذاری i, j, k مشخص می گردد. برای سیستمی با n سطر، n ستون و n لایه، i شماره سطر، j شماره ستون و k شماره لایه می باشد. برای مثال در شکل ۱، سیستمی با ۷ سطر، ۱۰ ستون و ۴ لایه نشان داده شده است. در نوشتن معادلات مدل، این فرض پذیرفته شده است که لایه ها معمولاً از واحدهای هیدروژئولوژیک افقی تشکیل شده اند بنابراین طبق مختصات کارتیزین، ضریب k تغییرات در جهت z را نشان می دهد. نظر به اینکه شماره گذاری لایه ها از بالا به پائین است، افزایش ضریب k به معنای کاهش ارتفاع می باشد. به همین ترتیب، ردیفها در جهت موازی محور x ها در نظر گرفته می شوند. به طوری که افزایش شماره ردیف (i) به معنای کاهش y است و ستونها در جهت موازی محور y طوری در نظر گرفته می شوند که

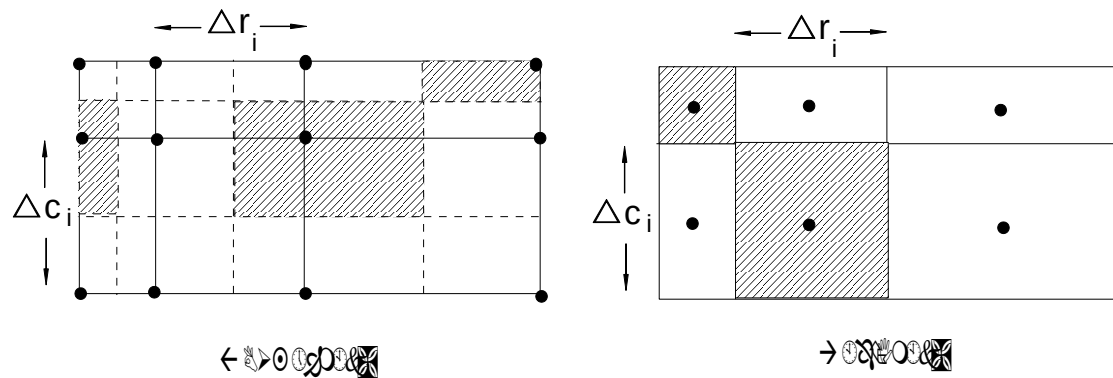
افزایش شماره ضریب z ، با افزایش x همراه باشد. شکل (۳-۳) با این فرضیات بنا گردیده است. در کاربرد مدل فرض بر آن است که ردیفها و ستونها در جهت موازی محورهای عمود بر هم در لایهها هستند بنابراین نیاز به مشخص کردن مختصات x, y, z نخواهد بود.



شکل (۳-۳): یک سیستم آبخوان فرضی تقسیم بندی شده

در MODFLOW (Ching and Kinzelbach 2000)

در هر سلول یک نقطه به نام گره قرار دارد که محاسبات بار هیدرولیکی برای این نقطه انجام می‌شود. شکل (۴-۳) دو طریقه برای قرار گرفتن سلولها نسبت به محل گرهها آرایش مرکز بلوکی (Block-centered) و آرایش مرکز نقطه‌ای (Point-centered) را نشان می‌دهد. در هر دو روش، آبخوان ابتدا به وسیله دو دسته خطوط موازی و عمود تقسیم می‌شود.



شکل (۳-۴): آرایش مرکز بلوکی و مرکز نقطه‌ای در روش تفاضل محدود (کازمی گلیان ۱۳۸۱)

در روش مرکز بلوکی، بلوکهای ایجاد شده از برخورد این خطوط موازی، سلولها را تشکیل می‌دهند و گره‌ها در مرکز این سلولها قرار دارند. در روش مرکز نقطه‌ای، گره‌ها در محل برخورد خطوط موازی قرار داشته و سلولها در اطراف این گره‌ها طوری ساخته می‌شوند که وجوه وابسته به آنها در مرکز بین دو گره مجاور قرار گیرند. در این حالت، فاصله گره‌ها طوری انتخاب می‌شود که خصوصیات هیدرولیکی سیستم به طور کلی در یک سلول یکنواخت باشد. معادلات تفاضل محدود برای هر دو روش مورد استفاده قرار می‌گیرد. ولی در مدل حاضر از روش مرکز بلوکی استفاده شده است.

۳-۲-۵-۲- تقسیمات زمانی

اصلی‌ترین مؤلفه در تقسیمات زمانی (Time discretization)، گام زمانی (Time step) می‌باشد که از اجتماع گام‌های زمانی، یک دوره استرس (Stress period) حاصل می‌گردد. برای هر دوره استرس، کاربر می‌بایست زمان کلی، تعداد گام‌های زمانی (NSTP) و ضریب افزایش قدم زمانی (TSMULT) را مشخص نماید. به طوری که طول گام زمانی m برابر با گام زمانی $(m-1)$ قبل ضربدر ضریب افزایش می‌باشد. سری که هر عدد آن برابر با ضریب ثابتی ضربدر مقدار قبلی می‌باشد، سری هندسی گفته می‌شود و طول اولین گام زمانی (Δt_1) از معادله زیر برای یک سری هندسی تعیین می‌گردد.

$$\Delta t_1 = \frac{TSMULT - 1}{TSMULT^{NSTP} - 1} \quad (25-3)$$

طول دوره استرس و گام زمانی در محاسبه مقادیر بار هیدرولیکی برای شرایط پایدار بی تأثیر می‌باشد. اطلاعات مربوط به تقسیمات زمانی در فایلی تحت عنوان فایل تقسیمات مکانی و زمانی (Discretization file) همراه با تقسیمات مکانی وارد می‌گردد.

۳-۲-۵-۳- معادله تفاضل محدود

معادله جریان آب زیرزمینی به طریق تفاضلهای محدود، از کاربرد معادله پیوستگی نتیجه می‌شود که در آن مجموع کل جریانهای ورودی و خروجی یک سلول، مساوی با میزان تغییرات ذخیره آن قرار داده می‌شود. با فرض ثابت بودن جرم مخصوص آب زیرزمینی، معادله پیوستگی برای نشان دادن بیلان جریان در یک سلول به قرار زیر است.

$$\sum Q_i = S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta V \quad (26-3)$$

Q_i : میزان جریان ورودی به سلول ($L^3 T^{-1}$)

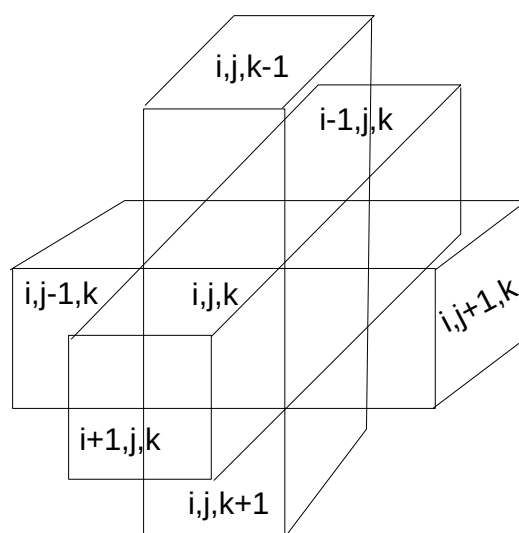
S_s : ذخیره ویژه در فرمول تفاضلهای محدود (L^{-1})

$\frac{\Delta h}{\Delta t}$: تغییر بار هیدرولیکی در طول زمان

ΔV : حجم سلول (L^3)

جمله سمت راست برابر با حجم آب اضافه شده به ذخیره آبخوان، در طول دوره Δt در ازای تغییر بار هیدرولیکی به میزان Δh است. معادله (۲۶-۳) بر حسب جریان ورودی و افزایش ذخیره نوشته

شده است. جریان خروجی تخلیه به صورت جریان ورودی با علامت منفی و تلفات نیز با علامت منفی نشان داده می‌شوند. شکل (۵-۳) یک سلول i, j, k و شش سلول مجاور آبخوان $i-1, j, k$ ، $i, j, k-1$ ، $i, j+1, k$ ، $i, j-1, k$ ، $i+1, j, k$ و $i, j, k+1$ را نشان می‌دهد.



شکل (۵-۳): سلول i, j, k و نمایه‌ها برای شش سلول مجاور (کاظمی گلیان ۱۳۸۱)

برای سهولت استدلال، جریان ورودی به سلول i, j, k مثبت فرض می‌شود و علامت منفی در مقابل فرمول دارسی از کلیه جملات حذف گردیده است. متعاقب این قراردادهای، جریان به داخل سلول i, j, k در جهت ردیفها از سلول $i, j-1, k$ (شکل ۶-۳) با استفاده از قانون دارسی بصورت زیر به دست می‌آید.

$$q_{i, j-\frac{1}{2}, k} = KR_{i, j-\frac{1}{2}, k} \Delta c_i \Delta v_k \frac{(h_{i, j-1} - h_{i, j, k})}{\Delta r_{j-\frac{1}{2}}} \quad (۲۷-۳)$$

که در این معادله:

$h_{i,j,k}$: بار هیدرولیکی در گره i, j, k (L)

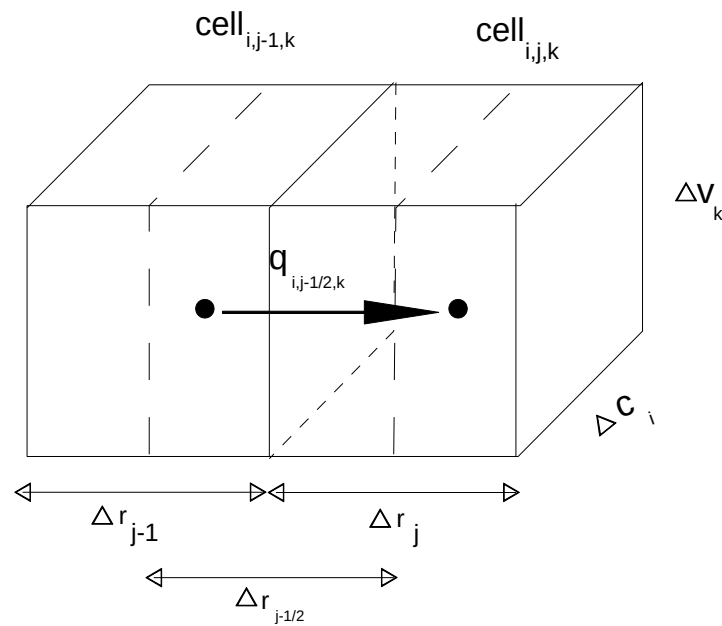
$h_{i,j-1,k}$: بار هیدرولیکی در گره $i, j-1, k$ (L)

$q_{i,j-\frac{1}{2},k}$: دبی خروجی از فاصله بین سلولهای i, j, k و $i, j-1, k$ (L^3T^{-1})

$KR_{i,j-\frac{1}{2},k}$: هدایت الکتریکی در امتداد ردیفها، بین گرههای i, j, k و $i, j-1, k$ (LT^{-1})

$\Delta c_i \Delta v_k$: مساحت وجه عمود بر جهت ردیفها (L^2)

$\Delta r_{j-\frac{1}{2}}$: فاصله بین گرههای i, j, k و $i, j-1, k$ (L)



شکل (۳-۶): نمایش جریان از سلول $i, j-1, k$ به سلو i, j, k (کازمی گلیان ۱۳۸۱)

با وجودی که این مبحث بر اساس جریان به سلول مرکزی شکل گرفته است ارتباط دادن اندیس

$j - \frac{1}{2}$ در معادله (۳-۲۷) با یک نقطه معین بین گرهها گمراه کننده است. ترجیحاً در معادله (۳-۳)

(۲۷) جمله $KR_{i,j-\frac{1}{2},k}$ هدایت هیدرولیکی مؤثر برای کل ناحیه بین گره‌هاست که معمولاً به صورت

یک میانگین هارمونیک محاسبه می‌شود. در این صورت معادله (۲۷-۳) مقدار دقیق جریان از بلوکهای i, j, k و $i, j-1, k$ با سطح مقطع $\Delta c_i \Delta v_k$ را برای حالت ثابت و یک بعدی نشان می‌دهد.

معادلات مشابهی برای جریان به داخل سلول از پنج وجه دیگر آن در ادامه آورده شده است:

$$q_{i,j+\frac{1}{2},k} = KR_{i,j+\frac{1}{2},k} \Delta c_i \Delta v_k \frac{(h_{i,j+1,k} - h_{i,j,k})}{\Delta r_{j+\frac{1}{2}}} \quad (28-3)$$

$$q_{i+\frac{1}{2},j,k} = KR_{i+\frac{1}{2},j,k} \Delta r_j \Delta v_k \frac{(h_{i+1,j,k} - h_{i,j,k})}{\Delta c_{i+\frac{1}{2}}} \quad (29-3)$$

$$q_{i-\frac{1}{2},j,k} = KR_{i-\frac{1}{2},j,k} \Delta r_j \Delta v_k \frac{(h_{i-1,j,k} - h_{i,j,k})}{\Delta c_{i-\frac{1}{2}}} \quad (30-3)$$

$$q_{i,j,k+\frac{1}{2}} = KR_{i,j,k+\frac{1}{2}} \Delta c_i \Delta r_j \frac{(h_{i,j,k+1} - h_{i,j,k})}{\Delta v_{k+\frac{1}{2}}} \quad (31-3)$$

$$q_{i,j,k-\frac{1}{2}} = KR_{i,j,k-\frac{1}{2}} \Delta c_i \Delta r_k \frac{(h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k})}{\Delta v_{j-\frac{1}{2}}} \quad (32-3)$$

هر یک از این معادلات جریان از یک وجه سلول i, j, k را بر حسب بار هیدرولیکی، ابعاد شبکه‌بندی و هدایت هیدرولیکی را بیان می‌کنند. با ترکیب نمودن اندازه‌های هر شبکه و هدایت الکتریکی در یک ضریب ثابت به نام رسانایی هیدرولیکی (Hydraulic conductance) فرمولها را می‌توان به صورت ساده‌تر بیان کرد:

$$CR_{i,j-\frac{1}{2},k} = KR_{i,j-\frac{1}{2},k} \Delta c_i \Delta v_k / \Delta r_{j-\frac{1}{2}} \quad (33-3)$$

که در این معادله:

رسانایی در ردیف i و لایه k ، بین گره‌های i, j, k و $i, j-1, k$: $(L^2 T^{-1}) CR_{i,j-\frac{1}{2},k}$

با جایگزین کردن رسانایی از معادله (33-3) در معادله (27-3) خواهیم داشت:

$$q_{i,j-\frac{1}{2},k} = CR_{i,j-\frac{1}{2},k} (h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k}) \quad (34-3)$$

به طرق مشابه معادلات (28-3) تا (32-3) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$q_{i,j+\frac{1}{2},k} = CR_{i,j+\frac{1}{2},k} (h_{i,j+1,k} - h_{i,j,k}) \quad (35-3)$$

$$q_{i-\frac{1}{2},j,k} = CR_{i-\frac{1}{2},j,k} (h_{i-1,j,k} - h_{i,j,k}) \quad (36-3)$$

$$q_{i+\frac{1}{2},j,k} = CR_{i+\frac{1}{2},j,k} (h_{i+1,j,k} - h_{i,j,k}) \quad (37-3)$$

$$q_{i,j,k-\frac{1}{2}} = CR_{i,j,k-\frac{1}{2}} (h_{i,j,k-1} - h_{i,j,k}) \quad (38-3)$$

$$q_{i,j,k+\frac{1}{2}} = CR_{i,j,k+\frac{1}{2}} (h_{i,j,k+1} - h_{i,j,k}) \quad (39-3)$$

معادلات (35-3) تا (39-3) برای جریان به داخل سلول i, j, k از شش وجه مختلف آن نوشته شده است. برای منظور نمودن سایر جریانهای ورودی به سلول که از پدیده‌های خارج از آبخوان سرچشمه می‌گیرند مانند رودخانه، زهکش، تغذیه، تبخیر و برداشت چاهها جملات بیشتری در فرمول مورد

نیاز است. این نوع جریان ممکن است به بار هیدرولیکی سلول تغذیه شونده بستگی داشته ولی از بار هیدرولیکی سایر نقاط آبخوان مستقل باشد یا به طور کامل از بار هیدرولیکی سلول تغذیه شونده مستقل باشد. جریان از خارج آبخوان را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$a_{i,j,k,n} = p_{i,j,k,n} \cdot h_{i,j,k} + q_{i,j,k,n} \quad (۴۰-۳)$$

که در این معادله:

$a_{i,j,k,n}$: جریان از n امین منبع خارجی به داخل سلول i, j, k $(L^3 T^{-1})$

$p_{i,j,k,n}$: ضریب ثابت $(L^2 T^{-1})$

$q_{i,j,k,n}$: ضریب ثابت $(L^3 T^{-1})$

به طور کلی اگر N منبع خارجی یا تنش داشته باشیم که بر سلول مورد نظر تأثیرگذار باشند، جریان ترکیبی همه آنها به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$QS_{i,j,k} = \sum_{n=1}^N a_{i,j,k,n} = \sum_{n=1}^N p_{i,j,k,n} h_{i,j,k} + \sum_{n=1}^N q_{i,j,k,n} \quad (۴۱-۳)$$

با ارائه تعاریف $p_{i,j,k}$ و $q_{i,j,k}$ به صورت زیر:

$$p_{i,j,k} = \sum_{n=1}^N p_{i,j,k,n} \quad (۴۲-۳)$$

$$q_{i,j,k} = \sum_{n=1}^N q_{i,j,k,n} \quad (43-3)$$

عبارت مربوط به میزان جریان خروجی به صورت زیر نوشته خواهد شد:

$$QS_{i,j,k} = P_{i,j,k} \cdot h_{i,j,k} + q_{i,j,k} \quad (44-3)$$

با استفاده از فرمول پیوستگی برای سلول i, j, k و در نظر گرفتن جریان از هر شش سلول مجاور و نیز شدت جریان خروجی (QS) خواهیم داشت:

$$(45-3)$$

$$q_{i,j-\frac{1}{2},k} + q_{i,j+\frac{1}{2},k} + q_{i-\frac{1}{2},j,k} + q_{i+\frac{1}{2},j,k} + q_{i,j,k-\frac{1}{2}} + q_{i,j,k+\frac{1}{2}} + QS_{i,j,k} = S_{si,j,k} \frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t} \Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k$$

که در این معادله:

$$\frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t} : \text{مقدار تقریبی مشتق بار هیدرولیکی نسبت به زمان}$$

$$SS_{i,j,k} (L^{-1}) : \text{ذخیره ویژه سلول } i, j, k$$

$$\Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k (L^3) : \text{حجم سلول } i, j, k$$

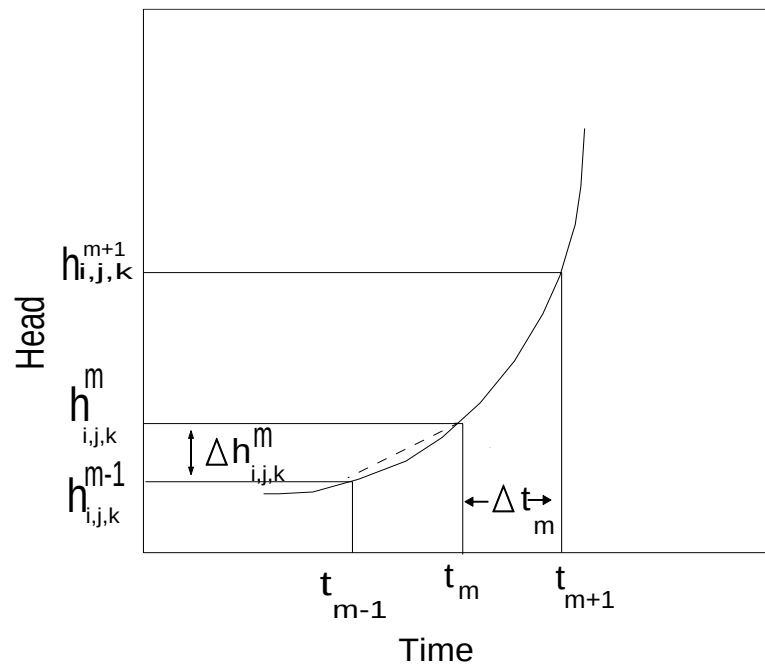
با جایگزینی معادلات (۳۴-۳) تا (۳۹-۳) در معادله (۴۵-۳) محاسبات تقریبی تفاضلهای محدود برای سلول i, j, k به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\begin{aligned}
& CR_{i,j-\frac{1}{2},k} (h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k}) + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} (h_{i,j+1,k} - h_{i,j,k}) + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} (h_{i-1,j,k} - h_{i,j,k}) \\
& + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} (h_{i+1,j,k} - h_{i,j,k}) + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} (h_{i,j,k+1} - h_{i,j,k}) + CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} (h_{i,j,k-1} - h_{i,j,k}) \quad (46-3) \\
& + P_{i,j,k} h_{i,j,k} + Q_{i,j,k} = S_{s_{i,j,k}} (\Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k) \frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t}
\end{aligned}$$

سپس محاسبات تقریبی تفاضل محدود، برای مشتق زمانی بار هیدرولیکی $\frac{(\Delta h_{i,j,k})}{\Delta t}$ باید بر حسب بار هیدرولیکی در زمانهای خاص نوشته شود. در شکل (۷-۳) هیدروگراف بار هیدرولیکی در گره i, j, k نشان داده شده است. در این شکل بر روی محور افقی دو مقطع زمانی t_m و t_{m-1} و در محور قائم بار هیدرولیکی در گره i, j, k در زمانهای t_m و t_{m-1} به ترتیب با $h_{i,j,k}^m$ و $h_{i,j,k}^{m-1}$ نشان داده شده است. مشتق زمانی بار هیدرولیکی در زمان t_m از تقسیم تفاضل بار هیدرولیکی $h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1}$ بر فاصله زمانی $t_m - t_{m-1}$ به دست می‌آید:

$$\left(\frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t} \right) = \frac{h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1}}{t_m - t_{m-1}} \quad (47-3)$$

بنابراین شیب هیدروگراف (مشتق زمانی) به طور تقریبی از تغییر بار هیدرولیکی گره مورد نظر در فاصله زمانی مشخص شده محاسبه می‌گردد.



شکل (۷-۳): هیدروگراف سلول i, j, k (کاظمی گلیان ۱۳۸۱)

این شیوه محاسباتی تقریبی، تفاضل پسرونده نامیده می‌شود زیرا $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ برای یک فاصله زمانی از زمان محاسبه جریان t_m به سمت عقب تخمین زده می‌شود. روشهای دیگری هم برای محاسبه $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ وجود دارد. به عنوان مثال می‌توان فاصله زمانی را طوری انتخاب کرد که از زمان محاسبه، جریان آغاز شود و به زمانهای بعدی منتهی گردد یا فاصله زمانی را طوری انتخاب نمود که زمان محاسبه جریان در مرکز آن قرار گیرد. این روشها ممکن است از لحاظ محاسباتی ناپایدار باشند به این معنی که در خلال محاسبه بار هیدرولیکی در فواصل زمانی متوالی، مقدار خطای محاسبات مرتباً افزایش می‌یابد. در حالت غیر ماندگار خطاها به هر دلیل که وارد محاسبات شوند در جریانهای متوالی محاسبات، مرتباً افزایش یافته و در نهایت از کنترل خارج می‌گردند. در حالیکه روش تفاضل پسرونده همیشه پایدار است به این معنی که، خطاهای ورودی به محاسبات در هر زمان به مرور کاهش می‌یابند. به این دلیل روش تفاضل پسرونده با وجودی که برای هر گام زمانی منجر به تعداد زیادی معادلات می‌شود که باید به طور هم زمان حل شوند، نسبت به روشهای دیگر ترجیح داده

می‌شوند. معادله (۴۶-۳) را می‌توان با استفاده از تفاضل پسرونده برای تعیین مقادیر جریان در زمان t_m (انتهای گام زمانی) نوشت و مشتق زمانی بار هیدرولیکی را در فاصله زمانی t_m و t_{m-1} به طور تقریبی به دست آورد:

$$\begin{aligned} & CR_{i,j-\frac{1}{2},k} (h_{i,j-1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} (h_{i,j+1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} (h_{i-1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) \\ & + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} (h_{i+1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} (h_{i,j,k+1}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} (h_{i,j,k-1}^m - h_{i,j,k}^m) \quad (48-3) \\ & + p_{i,j,k} h_{i,j,k}^m + Q_{i,j,k} = S_{si,j,k} \frac{(\Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k) (h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1})}{t_m - t_{m-1}} \end{aligned}$$

معادله (۴۸-۳) روش حل تفاضل پسرونده معادله دیفرانسیل جریان آب زیرزمینی است. از آنجائیکه بار هیدرولیکی در زمان t_m مجهول است پس عبارت بالا، یک معادله ۷ مجهولی است که مستقیماً قابل حل نمی‌باشد. اما اگر چنین معادله‌ای برای تک تک سلولهای فعال در شبکه نوشته شود n معادله n مجهولی به دست می‌آید که می‌توانند به طور هم زمان حل شوند. به طور کلی هدف مدلسازی عددی در حالت غیر ماندگار، پیش بینی توزیع بار هیدرولیکی در زمانهای متوالی با استفاده از بار هیدرولیکی اولیه، شرایط مرزی، پارامترهای هیدرولیکی و عوامل بیرونی است. توزیع بار هیدرولیکی اولیه، مقادیر $h_{i,j,k}^1$ را برای هر گره از شبکه مشخص می‌کند به این معنی که مقادیر بار هیدرولیکی در ابتدای اولین گام زمانی، روی محور زمان معلوم است. اولین گام در حل مسئله پیدا کردن بار هیدرولیکی ($h_{i,j,k}^2$) در زمان t_2 (انتهای گام زمانی اول) می‌باشد. معادله (۴۸-۳) در این حالت به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\begin{aligned}
& CR_{i,j-\frac{1}{2},k} (h_{i,j-1,k}^2 - h_{i,j,k}^2) + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} (h_{i,j+1,k}^2 - h_{i,j,k}^2) + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} (h_{i-1,j,k}^2 - h_{i,j,k}^2) \\
& + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} (h_{i+1,j,k}^2 - h_{i,j,k}^2) + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} (h_{i,j,k+1}^2 - h_{i,j,k}^2) + CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} (h_{i,j,k-1}^2 - h_{i,j,k}^2) \quad (49-3) \\
& + p_{i,j,k} h_{i,j,k}^2 + Q_{i,j,k} = S_{si,j,k} \frac{(\Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k) (h_{i,j,k}^2 - h_{i,j,k}^1)}{t_2 - t_1}
\end{aligned}$$

معادله‌ای به این شکل برای هر سلول از شبکه نوشته می‌شود که در آن بار هیدرولیکی با زمان متغیر است و برای به دست آوردن بار هیدرولیکی در زمان t_2 ، دستگاه معادلات چند مجهولی باید به طور هم زمان حل شود. با معلوم شدن بار هیدرولیکی، همین روال محاسبات برای تشکیل دستگاه معادلات چند مجهولی، این بار برای بار هیدرولیکی مجهول در زمان t_3 ، تنظیم و به طور هم زمان حل می‌شود تا بار هیدرولیکی در زمان t_3 به دست آید. این روال به تعداد گامهای زمانی مورد نیاز و حل مسأله برای طول زمان دلخواه، ادامه می‌یابد.

۳-۲-۴- معادلات ذخیره در MODFLOW

در بیان ذخیره (Storage)، این نکته مهم است که مقدار ضریب ذخیره در طی شبیه سازی ثابت باقی می‌ماند یا نه. برای لایه‌ای که ضریب ذخیره آن در طی شبیه سازی ثابت باقی می‌ماند، معادلات ذخیره به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = S_{si,j,k} (DEL R_j . DEL C_i . THICH_{i,j,k}) \frac{h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1}}{t^m - t^{m-1}} \quad (50-3)$$

$\frac{\Delta V}{\Delta t}$: مقدار ذخیره آب در سلول

(L) : ابعاد سلول $DEL C_i, DEL R_j$ and $THICH_{i,j,k}$

$h_{i,j,k}^m$: بار هیدرولیکی در سلول i, j, k در انتهای گام زمانی m

$h_{i,j,k}^{m-1}$: بار هیدرولیکی سلول i, j, k در انتهای گام زمانی $m-1$ (L)

t^m : زمان در انتهای گام زمانی $m(T)$

t^{m-1} : زمان در انتهای مرحله زمانی $m-1(T)$

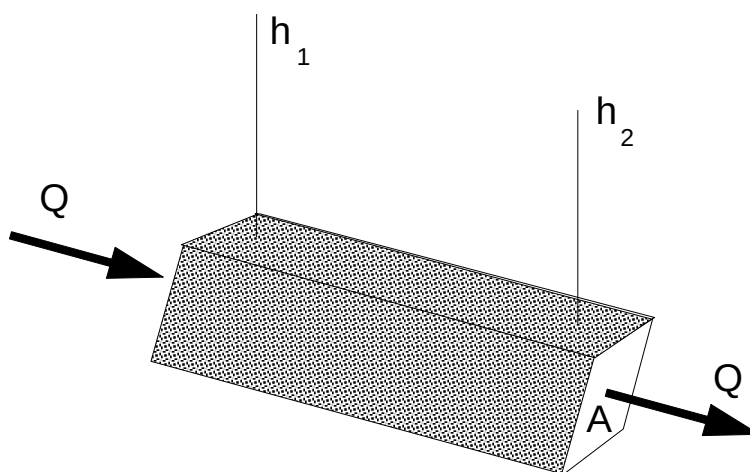
معادلات ذخیره در لایه‌ای که دارای سطح ایستابی می‌باشد به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = S_{y_{i,j,k}} (DEL C_i . DEL R_j) \frac{h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1}}{t^m - t^{m-1}} \quad (51-3)$$

که در این معادله $SY_{i,j,k}$ آبدهی ویژه سلول می‌باشد.

۳-۵-۵- معادلات اساسی هدایت هیدرولیکی در MODFLOW

هدایت هیدرولیکی یکی از مولفه‌های قانون داری می‌باشد. قانون داری برای جریان یک بعدی در منشوری از مواد متخلخل (شکل ۳-۸) به صورت زیر می‌باشد.



شکل (۸-۳): منشوری از محیط متخلخل برای بیان قانون داری

$$Q = \frac{-KA(h_1 - h_2)}{L} \quad (۵۲-۳)$$

Q : دبی عبوری (L^3T^{-1})

A : سطح مقطع عمود بر جریان (L^2)

$h_2 - h_1$: اختلاف مقادیر بار هیدرولیکی در عرض منشور و موازی با جریان (L)

با تعریف قابلیت هدایت (Conductance) به شکل زیر:

$$C = \frac{KA}{L} \quad (۵۳-۳)$$

آنوقت داری را می توان به صورت زیر نوشت:

$$Q = C(h_1 - h_2) \quad (۵۴-۳)$$

از طرف دیگر، تعریف C برای جریان افقی در یک منشور عبارت است از:

$$C = \frac{TW}{L} \quad (55-3)$$

که در این معادله:

T : قابلیت انتقال در جهت جریان (L^2T^{-1})

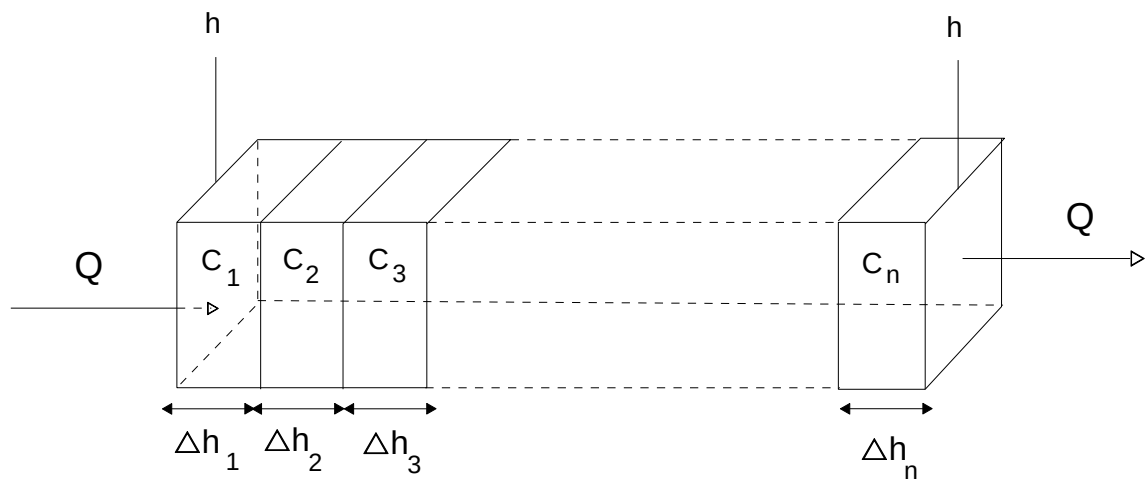
W : عرض منشور (L)

برای محیط غیرهمگن، قابلیت هدایت در سه جهت جریان یکسان نمی‌باشد. چنانچه منشور از مواد متخلخل شامل دو یا چند زیر مجموعه باشد که به طور سری در کنار هم قرار داشته باشند (شکل ۳-۹) و قابلیت هدایت هر مجموعه معین باشد، در اینصورت قابلیت هدایت کل منشور قابل محاسبه می‌باشد. قابلیت هدایت معادل برای کل منشور با میزان جریان عبوری در منشور به تغییرات بار آبی در عرض آن می‌باشد. به عبارت دیگر:

$$C = \frac{Q}{h_A - h_B} \quad (56-3)$$

با فرض پیوستگی مقادیر بار هیدرولیکی در عرض هر مقطع رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\sum_{i=1}^n \Delta h_i = h_A - h_B \quad (57-3)$$



شکل (۳-۹): محاسبه قابلیت هدایت از طریق چند منشور که به صورت سری قرار گرفته‌اند

(Harbaugh *et al* 2000)

با جایگزینی تغییرات بار هیدرولیکی در عرض هر مقطع با استفاده از قانون دارسی، معادله زیر حاصل می‌گردد.

(۳-۵۸)

$$\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{C_i} = h_A - h_B$$

از آنجائیکه جریان یک بعدی است و فرض می‌گردد که هیچگونه کاهش یا افزایشی در مقدار ذخیره وجود ندارد، تمام Q_i برابر با جریان کلی می‌باشد. بنابراین:

$$\frac{h_A - h_B}{Q} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (۳-۵۹)$$

$$Q \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} = h_A - h_B \quad (۶۰-۳)$$

با مقایسه معادلات (۶۰-۳) و (۵۶-۳) نتیجه می‌شود که:

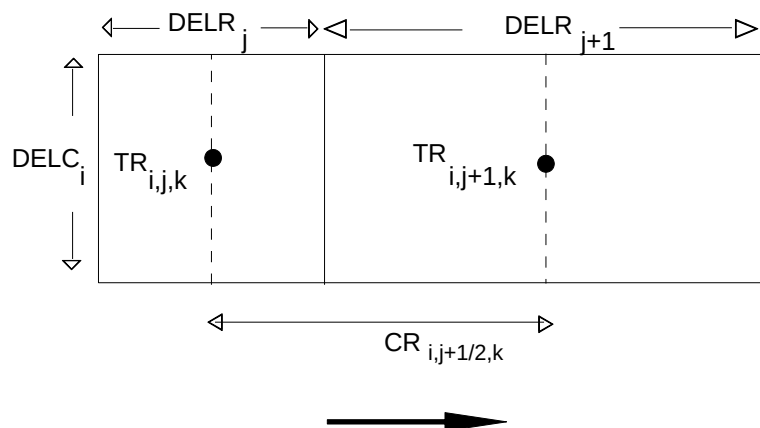
$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (۶۱-۳)$$

بنابراین برای یک مجموعه که به صورت سری ردیف می‌گردد، عکس قابلیت هدایت معادل برابر با مجموع عکس تک تک آنها می‌باشد. برای هر دو مقطع این قابلیت هدایت معادل برابر است با:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (۶۲-۳)$$

الف- هدایت هیدرولیکی افقی و قابلیت انتقال

معادلات تقاضل محدود در MODFLOW، قابلیت هدایت معادل بین گره‌های سلولهای مجاور را که قابلیت هدایت شاخه‌ای (Branch conductance) نامیده می‌شود بیشتر از خود سلولها به کار می‌گیرد. ترمهای CR و CC، قابلیت هدایت بین دو گره مجاور را به ترتیب در جهت ستونها و ردیفها تعیین می‌نماید. پرونده LPF، داده‌های ورودی مربوط به هدایت هیدرولیکی افقی برای تک تک سلولها را می‌خواند و قابلیت هدایت بین گره‌ها را با استفاده از روش زیر محاسبه می‌کند. بر اساس این روش مقدار قابلیت هدایت (حاصلضرب هدایت هیدرولیکی در ضخامت سلول) ثابت فرض می‌شود که این امر سبب تغییر گسسته قابلیت انتقال بین سلولها مجاور می‌گردد. با استفاده از این فرض و اینکه گره‌ها در مرکز سلول باشند، قابلیت هدایت بین دو گره، معادل قابلیت هدایت نصف سلولهایی می‌باشد که به صورت سری قرار گرفته‌اند. شکل (۱۰-۳) دو سلول را در جهت ردیف بر اساس فرضیات فوق نشان می‌دهد با جایگزینی قابلیت هدایت مربوط به هر نصف سلول (معادله ۳-۵۵) در معادله (۶۲-۳)، معادله زیر بدست می‌آید.



شکل (۳-۱۰): محاسبه قابلیت هدایت بین گره‌ها با استفاده از مقادیر قابلیت انتقال و ابعاد سلولها

(Harbaugh *et al* 2000)

$$CR_{i,j+\frac{1}{2},k} = \frac{\frac{TR_{i,j,k} \cdot DELC_i}{\frac{1}{2} DELR_j} \cdot \frac{TR_{i,j+1,k} \cdot DELC_i}{\frac{1}{2} DELR_{j+1}}}{\frac{TR_{i,j,k} \cdot DELC_i}{\frac{1}{2} DELR_j} + \frac{TR_{i,j+1,k} \cdot DELC_i}{\frac{1}{2} DELR_{j+1}}} \quad (3-63)$$

که در این معادله:

$TR_{i,j,k}$: قابلیت انتقال در جهت ردیف برای سلول i, j, k ($L^2 T^{-1}$)

$DELR_j$: عرض سلول در ستون $j(L)$

$DELC_i$: عرض سلول در ردیف $i(L)$

با ساده کردن این معادله، معادله (۳-۶۴) به دست می‌آید.

$$CR_{i,j+\frac{1}{2},k} = 2DEL C_i \frac{TR_{i,j,k} \cdot TR_{i,j+1,k}}{TR_{i,j,k} \cdot DELR_{j+1} + TR_{i,j+1,k} \cdot DELR_j} \quad (۶۴-۳)$$

معادله مزبور قابلیت هدایت معادل در جهت ردیف بین گره‌های i, j, k و $i, j+1, k$ را محاسبه می‌نماید. چنانچه همین مراحل برای گره‌های دو سلول مجاور در جهت ستونها بکار رود محاسبه $CC_{i+\frac{1}{2},j,k}$ به صورت زیر در می‌آید.

$$CC_{i+\frac{1}{2},j,k} = 2DELR_j \frac{TC_{i,j,k} \cdot TC_{i+1,j,k}}{TC_{i,j,k} \cdot DELC_{i+1} + TC_{i+1,j,k} \cdot DELC_i} \quad (۶۵-۳)$$

معادله (۶۵-۳) نیز هدایت معادل در جهت ستون بین گره‌های i, j, k و $i, j+1, k$ را محاسبه می‌نماید که در آن $TC_{i,j,k}$ قابلیت انتقال سلول i, j, k در جهت ستون می‌باشد. چنانچه قابلیت انتقال بین سلولها صفر باشد (T) معادلات (۶۰-۳) و (۶۱-۳) برای محاسبه قابلیت هدایت به کار برده نمی‌شوند در نتیجه قابلیت انتقال به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$TR_{i,jk} = THICH_{i,j,k} \cdot HK_{i,j,k} \quad (۶۶-۳)$$

$$TC_{i,j,k} = THICH_{i,j,k} \cdot HK_{i,j,k} \cdot HANI_{i,j,k} \quad (۶۷-۳)$$

که در این معادله:

$HK_{i,j,k}$: هدایت هیدرولیکی سلول i, j, k در جهت ردیف (LT^{-1})

$HANI_{i,j,k}$: نسبت هدایت هیدرولیکی در جهت ستونها به هدایت هیدرولیکی در جهت ردیفها

$THICH_{i,j,k}$: ضخامت اشباع سلول i, j, k (L)

مقادیر $HK_{i,j,k}$ و $HANI_{i,j,k}$ به صورت داده‌های ورودی تعیین و $THICH_{i,j,k}$ با استفاده از ارتفاع سلولها در فایل تقسیمات مکانی و زمانی محاسبه می‌شود.

محاسبه ضخامت به نوع لایه آبدار (آزاد یا محبوس) نیز بستگی دارد چنانچه لایه آبدار محبوس باشد ضخامت سلول برابر است با:

$$THICH_{i,j,k} = (TOP_{i,j,k} - BPT_{i,j,k}) \quad (۶۸-۳)$$

که در این معادله:

$TOP_{i,j,k}$: ارتفاع فوقانی سلول i, j, k (L)

$BOT_{i,j,k}$: ارتفاع تحتانی سلول i, j, k (L)

مقادیر $TOP_{i,j,k}$ و $BOT_{i,j,k}$ از داده‌های ورودی در فایل تقسیمات مکانی و زمانی تعیین می‌شود. چنانچه لایه آبدار، آزاد و یا قابل تبدیل باشد، ضخامت اشباع در طی شبیه سازی بر اساس بار هیدرولیکی ($HNEW_{i,j,k}$) محاسبه می‌شود.

$$if \rightarrow HNEW_{i,j,k} \geq TOP_{i,j,k} \Rightarrow THICH_{i,j,k} = (TOP_{i,j,k} - BOT_{i,j,k}) \quad (۶۹-۳)$$

$$if \rightarrow HNEW_{i,j,k} \geq BOT_{i,j,k} \Rightarrow THICK_{i,j,k} = (HNEW_{i,j,k} - BOT_{i,j,k}) \quad (۷۰-۳)$$

$$if \rightarrow HNEW_{i,j,k} \leq BOT_{i,j,k} \Rightarrow THICK_{i,j,k} = 0 \quad (۷۱-۳)$$

در ابتدای هر تکرار از معادلات جریان، ضخامت برای محاسبه قابلیت انتقال مجدداً با استفاده از معادلات بالا محاسبه می‌گردد. چنانچه سلولی خشک گردد (معادله ۳-۶۷) سلول مزبور هیچگونه جریانی ندارد و مرز آن غیر فعال می‌شود. به منظور جلوگیری از فراتر رفتن سطح ایستابی نسبت به ارتفاع بالایی لایه آبدار، بهتر است ارتفاع فوقانی لایه دارای سطح ایستابی برابر با ارتفاع سطح زمین باشد که در چنین وضعیتی، هیچ وقت سطح ایستابی به ارتفاع سطح زمین در طی شبیه سازی مدل نمی‌رسد.

به روش محاسبه قابلیت هدایت بین دو گره مجاور فوق الذکر، میانگین هارمونیک گفته می‌شود. دلیل این نامگذاری با باز نویسی معادله (۳-۶۴) یا (۳-۶۵) به صورت زیر محرز می‌گردد.

(۳-۷۲)

$$CR_{i,j+\frac{1}{2},k} = \left(\frac{\frac{1}{2} DELR_j + \frac{1}{2} DELR_{j+1}}{\frac{1}{2} DELR_j + \frac{1}{2} DELR_{j+1}} \right) \frac{DEL C_i}{\frac{1}{2} DELR_j + \frac{1}{2} DELR_{j+1}}$$

$$\left(\frac{\frac{1}{2} DELR_j}{T_{i,j,k}} + \frac{\frac{1}{2} DELR_{j+1}}{T_{i,j+1,k}} \right)$$

در این معادله عبارت داخل پرانتز، میانگین هارمونیک قابلیت انتقال دو نیمه سلول مجاور هم می‌باشد که با مقایسه معادله (۳-۵۴)، قابلیت هدایت معادل در امتداد ردیف بین گره‌ها i, j, k و $i, j+1, k$ را محاسبه می‌نماید.

ب- هدایت عمودی

محاسبه قابلیت هدایت عمودی با فرض اینکه گره‌ها در مرکز سلول و تغییرات هدایت هیدرولیکی عمودی، در مرز لایه‌ها باشد، صورت می‌گیرد شکل (۳-۱۱) وضعیت دو سلول در لایه‌های K و $K+1$ را نشان می‌دهد. تحت این شرایط قابلیت هدایت عمودی بین دو گره، معادل قابلیت هدایت نصف

دو سلول مجاور هم می‌باشد. با جایگزینی قابلیت هدایت نیمه سلولها (معادله ۳-۵۴) در معادله (۳-۳) -
 (۶۰)، معادله قابلیت هدایت عمودی بین دو گره به دست می‌آید:

(۳-۷۳)

$$CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} = \frac{1}{\frac{DEL R_j \cdot DEL C_i \cdot VK_{i,j,k}}{\frac{1}{2} THICK_{i,j,k}}} + \frac{1}{\frac{DEL R_j \cdot DEL C_i \cdot VK_{i,j,k+1}}{\frac{1}{2} THICK_{i,j,k+1}}}$$

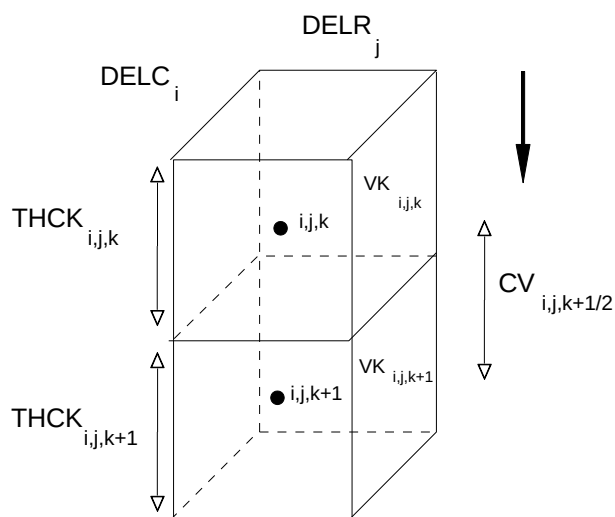
که در این معادله:

$VK_{i,j,k}$: هدایت هیدرولیکی عمودی سلول i, j, k (LT^{-1})

$THICK_{i,j,k}$: ضخامت اشباع سلول i, j, k (L)

معادله (۳-۷۳) را می‌توان به صورت ساده‌تر نوشت:

$$CV = \frac{DEL R_j \cdot DEL C_i}{\frac{\frac{1}{2} THICK_{i,j,k}}{VK_{i,j,k}} + \frac{\frac{1}{2} THICK_{i,j,k+1}}{VK_{i,j,k+1}}} \quad (۳-۷۴)$$



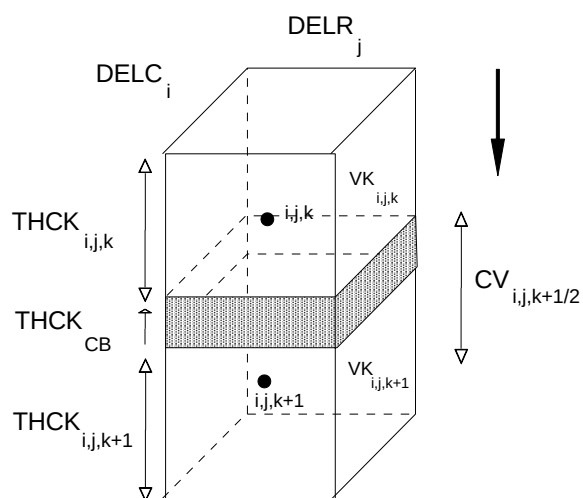
شکل (۳-۱۱): محاسبه قابلیت هدایت عمودی

بین دو گره (Ching and Kinzelbach 2000)

چنانچه لایه‌ای نیمه محبوس کننده‌ای سبب جدایی دو لایه K و $K+1$ گردد (شکل ۳-۱۲) با در نظر گرفتن فرضیات زیر می‌توان لایه محبوس کننده را در مدل شبیه سازی کرد.

۱- هدایت الکتریکی افقی با لایه محبوس کننده ناچیز باشد.

۲- تنها اثر لایه موجود، محدود کردن جریان عمودی بین سلولها باشد.



شکل (۳-۱۲): محاسبه قابلیت هدایت عمودی بین دو گره با واحد نیمه محبوس کننده

بین گره‌ها (Ching and Kinzelbach 2000)

در اینصورت اثر واحد نیمه محبوس کننده در محاسبه قابلیت هدایت عمودی بین گره‌ها در نظر گرفته می‌شود. چنین لایه‌هایی تحت عنوان لایه نیمه تروا معرفی می‌گردند (Mc Donald and Harbaugh 2000) در این حالت لایه تحتانی لایه فوقانی (K)، لایه نیمه محبوس کننده (CB) و نیمه بالایی لایه تحتانی (K+1) در محاسبه قابلیت هدایت عمودی به کار گرفته می‌شود.

(۳-۷۵)

$$CV = \frac{1}{\frac{DEL R_j \cdot DEL C_i \cdot VK_{i,j,k}}{\frac{1}{2} THICK_{i,j,k}}} + \frac{1}{\frac{DEL R_j \cdot DEL C_i \cdot VK_{CB_{i,j,k}}}{\frac{1}{2} THICK_{CB}}} + \frac{1}{\frac{DEL R_j \cdot DEL C_i \cdot VK_{i,j,k+1}}{\frac{1}{2} THICK_{i,j,k+1}}}$$

$VK_{CB_{i,j,k}}$: هدایت هیدرولیکی عمودی واحد نیمه محبوس کننده (LT^{-1})

$THICK$: ضخامت اشباع سلول (L)

۳-۲-۵- بسته تبخیر و تعریق

بسته نرم افزاری تبخیر و تعرق (Evapotranspiration) برای شبیه سازی تعرق گیاهان و تبخیر 10 است:

۱- وقتی سطح ایستابی بالاتر یا هم سطح با سطح تبخیر و تعریق باشد، تبخیر و تعریق از آبخوان با حداکثر شدت (که توسط کاربر تعیین می‌شود) صورت خواهد گرفت.

- ۲- اگر عمق سطح ایستابی نسبت به سطح تبخیر و تفرق از حد معینی که عمق توقف نامیده می‌شود بیشتر باشد، تبخیر و تفرق از سطح ایستابی متوقف خواهد شد.
- ۳- بین این دو حد، میزان تبخیر و تفرق از سطح ایستابی متوقف می‌شود. این موضوع را می‌توان با معادلات زیر بیان کرد:

$$R_{EM} = R_{ETM} \quad h > h_s \quad (75-3)$$

$$R_{ET} = 0 \quad h < h_s = d \quad (76-3)$$

$$R_{ET} = R_{ETM} \left[\frac{h - (h_s - d)}{d} \right] \quad (h_s - d) \leq h \leq h_s \quad (77-3)$$

که در معادلات بالا:

R_{ET} : مقدار تبخیر و تفرق در واحد سطح ایستابی ($L^3 L^{-2} t^{-1}$)

h_s : ارتفاع سطح تبخیر و تعریق (L)

h : ارتفاع سطح ایستابی در سلول مدل (L)

R_{ETM} : حداکثر مقدار تبخیر و تعریق ($L^3 L^{-2} t^{-1}$)

برای استفاده از روش تفاضلهای محدود، میزان حجمی تبخیر و تفرق مورد نیاز است که مقدار آن با استفاده از معادله زیر بدست می‌آید:

$$Q_{ET} = R_{ET} (DEL R_j . DEL C_i) \quad (76-3)$$

که در این معادله Q_{ET} ، تبخیر و تعرق به صورت حجم آب در واحد زمان می‌باشد.

تبخیر و تعرق تنها از یک سلول در ستون عمودی که در زیر منطقه $DELRC_i, DELR_j$ واقع است خارج می‌گردد. کاربر این سلول را به کمک یکی از دو گزینه زیر که توسط بسته فراهم شده است مشخص می‌کند:

۱- تبخیر و تعرق همواره از بالا ترین لایه مدل خارج می‌گردد.

۲- کاربر با استفاده از آرایه شاخص لایه (I_{ET}) تعیین می‌کند که تبخیر و تعرق از چه سلولی در ستون عمودی صورت می‌گیرد.

Q_{ET} ، هیچگونه تأثیری بر سلولهای با بار ثابت و غیر فعال ندارد.

۳- ۵-۲-۷- بسته چاه

بسته چاه (Well)، چاههای پمپاژ یا تزریقی را با استفاده از میزان مشخص شده توسط کاربر در هر دوره تنش، شبیه سازی می‌کند. مقادیر منفی Q ، نشان دهنده چاه تخلیه و مقادیر مثبت نشان دهنده چاه تزریقی است. از مقدار Q چاه به عنوان یک پارامتر برای کالیبراسیون اتوماتیک توسط مدلهای معکوس UCODE و PEST استفاده می‌شود. مقدار پمپاژ یا تزریق از یک سلول چاه در طی یک دوره استرس ثابت است و تابعی از مساحت و ارتفاع سلول می‌باشد البته با این فرض که چاه در کل ضخامت سلول حفر شده باشد. MODFLOW می‌تواند چاههایی که در بیش از یک لایه حفر شده‌اند را از طریق تصحیح کردن مقدار تزریق یا پمپاژ برای چاه شبیه سازی کند. مقدار تزریق یا پمپاژ برای یک چاه چند لایه‌ای برابر با مجموع آنها برای هر لایه خاص است. برای لایه‌های محبوس، مقدار پمپاژ یا تزریق برای هر لایه (Q_k) می‌تواند به طور تقریبی توسط فرمول زیر محاسبه شود.

$$Q_k = Q_{total} \frac{T_k}{\sum T} \quad (77-3)$$

که در این معادله:

$$Q_k: \text{دبی از لایه } K \text{ به یکی از چاهها در یک دوره تنش } (L^3T^{-1})$$

$$Q_{total}: \text{دبی کل دوره تنش } (L^3T^{-1})$$

$$T_k: \text{قابلیت انتقال لایه } \kappa (L^2T^{-1})$$

$$\sum T: \text{مجموع قابلیت انتقال همه لایه‌هایی که چاه در آنها قرار دارد}$$

۳-۵-۲-۱- بسته زهکشی

بسته زهکشی (Drain)، دو نوع زهکش باز و بسته را شبیه سازی می‌کند تفاوت آن با بسته رودخانه در این است که در بسته زهکشی جریان فقط از آبخوان به سمت زهکش می‌باشد و زمانی که بار هیدرولیکی در آبخوان به زیر ارتفاع زهکش نزول کرد، جریان متوقف می‌شود. میزان جریان ورودی به زهکش QD با استفاده از معادلات زیر محاسبه می‌شود:

$$QD = CD(h - d) \quad h > d$$

$$QD = 0 \quad h \leq d$$

$$CD: \text{هدایت هیدرولیکی زهکش } (LT^{-1})$$

$$h: \text{بار هیدرولیکی در سلول آبخوان } (L)$$

$$d: \text{ارتفاع زهکش } (L)$$

۳-۵-۲-۹- بسته مرز با بار هیدرولیکی عمومی

بسته جریان وابسته به بار هیدرولیک (General Head Boundury or GHB)، جریان وابسته به بار هیدرولیکی را که از یک مرز عبور می‌کند را شبیه سازی می‌کند. مقدار این جریان با استفاده از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$Q_{bi,j,k} = C_{bi,j,k} (h_{bi,j,k} - h_{i,j,k}) \quad (۷۸-۳)$$

که در این معادله:

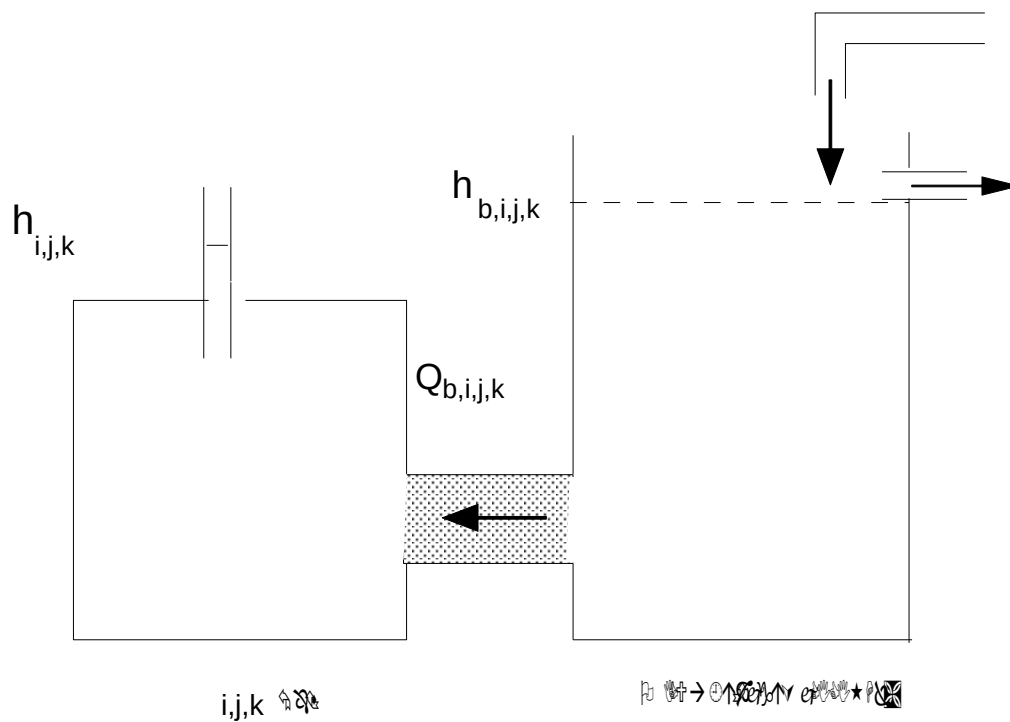
$Q_{bi,j,k}$: جریان به داخل سلول از منبع (L^3T^{-1})

$C_{bi,j,k}$: ضریب رسانایی بین منبع خارجی و سلول i, j, k (L^3T^{-1})

$h_{bi,j,k}$: بار هیدرولیکی منبع خارجی (L)

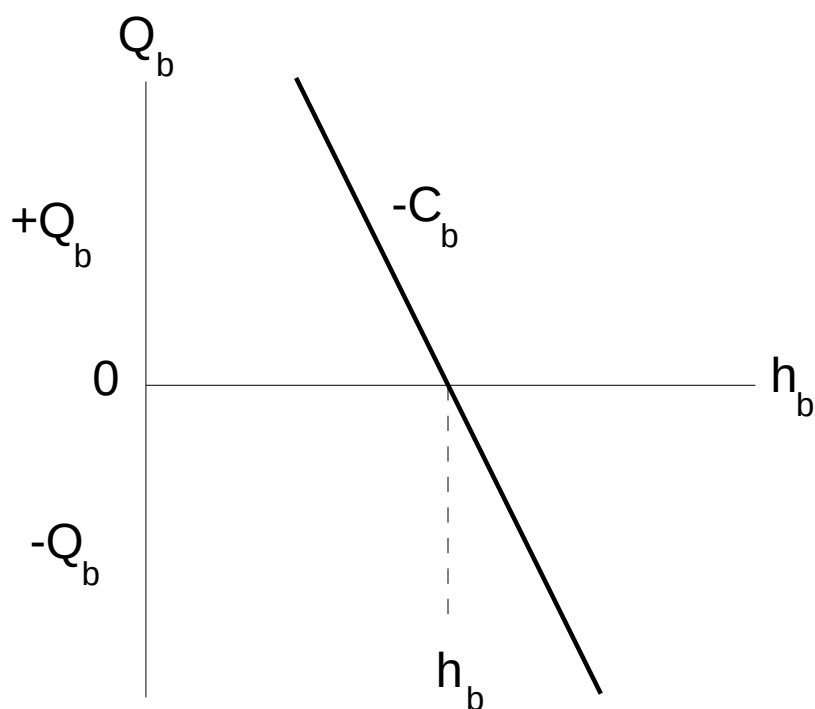
$h_{i,j,k}$: بار هیدرولیکی سلول i, j, k (L)

مقادیر $C_{bi,j,k}$ ، $h_{bi,j,k}$ در طی یک دوره استرس ثابت می‌باشند برای شبیه سازی حالت ناپایدار با چندین دوره استرس این مقادیر برای هر دوره می‌تواند متفاوت باشد. رابطه بین سلول i, j, k و منبع خارجی به صورت شماتیک در شکل (۳-۱۳) نشان داده شده است. بار هیدرولیکی منبع آب بدون توجه به سایر عوامل همواره در سطح $h_{bi,j,k}$ ثابت می‌باشد. شکل (۳-۱۴) منحنی رابطه $Q_{bi,j,k}$ را در مقابل $h_{i,j,k}$ ، مطابق با معادله (۷۸-۳) نشان می‌دهد. این بسته حدی برای مقدار جریان قائل نمی‌باشد و با افزایش اختلاف بار هیدرولیکی بین سلول i, j, k و منبع، جریان وارد و خارج گردیده از سلول بدون هیچگونه محدودیتی افزایش می‌یابد.



شکل (۳-۱۳): نمودار شماتیکی برای نشان دادن بسته نرم افزاری مرز با بار هیدرولیکی عمومی

(Mc Donald and Harbaugh 1988)



شکل (۳-۱۴): رسم جریان Q_b از یک مرز بار هیدرولیکی عمومی به داخل یک سلول به صورت تابعی از بار هیدرولیکی، در سلولی که در آن h_b بار هیدرولیکی منبع است (Mc Donald and Harbaugh 1988)

۳-۵-۲-۱۰- بسته رودخانه

بسته رودخانه (River)، جریان بین آبخوان و منبع آبهای سطحی، نظیر رودخانه یا دریاچه را شبیه سازی می‌کند اگر بار هیدرولیکی یک سلول رودخانه بیش از ارتفاع زیرین بستر رودخانه R_{BOT} باشد مقدار نشت از رودخانه به سفره از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_{RIV} = C_{RIV}(h_{RIV} - h) \quad (۳-۷۹)$$

که در این معادله:

Q_{RIV} : جریان بین رودخانه و آبخوان (L^3T^{-1})

H_{RIV} : بار هیدرولیکی رودخانه (L)

C_{RIV} : هدایت هیدرولیکی بستر رودخانه (L^2T^{-1})

h : بار هیدرولیکی سلول (L)

در صورتی که آب از رودخانه به سمت آبخوان جریان داشته باشد Q_{RIV} مثبت و برعکس آن منفی در نظر گرفته می‌شود.

$$C_{RIV} = \frac{kLW}{M} \quad (۸۰-۳)$$

که در آن k هدایت هیدرولیکی مواد بستر رودخانه، L طول آبراهه رودخانه در سلول، W عرض آبراهه رودخانه در سلول و M ضخامت بستر رودخانه است. زمانی که بار هیدرولیکی در آبخوان به زیر بسته رودخانه نزول پیدا کند مقدار نشت بستر رودخانه از معادله زیر بدست می‌آید:

k : هدایت هیدرولیکی مواد بستر رودخانه (LT^{-1})

L : طول آبراهه رودخانه در سلول (L)

W : عرض آبراهه رودخانه در سلول (L)

M : ضخامت بستر رودخانه (L) $h > R_{BOT}$

$$Q_{RIV} = C_{RIV}(h_{RIV} - R_{BOT}) \quad (۸۱-۳)$$

که در آن R_{BOT} ارتفاع کف رودخانه است.

بسته تغذیه (Richarge)، برای شبیه سازی مقدار تغذیه به سیستم آبهای زیرزمینی مورد استفاده قرار می گیرد. مقدار تغذیه در یک سلول آبخوان با توجه به فرمول زیر بدست می آید.

$$Q_R = I_R (DEL R_j, DEL C_i) \quad (۳-۸۲)$$

که در این فرمول I_R شدت تغذیه به یک سلول مدل می باشد. تغذیه در مورد یک سلول از کل شبکه سلولهای عمودی واقع در موقعیت (i, j) به کار می رود و نیازی نیست تا به طور همزمان تغذیه به همه سلولهای واقع در اعماق مختلف داده شود. زیرا تغذیه طبیعی از بالا به آبهای زیرزمینی راه می یابد. در ساده ترین حالت سطح فوقانی سیستم آبهای زیرزمینی روی لایه شماره یک مدل قرار می گیرد ولی موقعیت عمودی لایه فوقانی سیستم با مختصات افقی و زمان، با بالا و پائین رفتن سطح ایستابی تغییر می کند برای مشخص کردن سلول دریافت کننده تغذیه در ستون عمودی سلولهای شبکه، سه گزینه وجود دارد که عبارتند از:

۱- تغذیه فقط برای لایه بالایی شبکه بکار رود.

۲- دادن مقدار تغذیه به هر سلول از شبکه عمودی، شماره لایه با پارامتر $I_{RICH_{ij}}$ مشخص می شود.

۳- تغذیه برای فعالترین سلول در یک شبکه عمودی بکار رود و از آنجائیکه که کاربر می تواند لایه ای که در آن تغذیه بکار می رود پیش بینی کند این کار بطور اتوماتیک توسط نرم افزار انجام می شود.

بسته نرم افزاری نهر (Stream flow-Routing) شکل اصلاح شده بسته نرم افزاری رودخانه می باشد که توسط مک دونالد و هارباگ (۱۹۸۸) طراحی شده است. از این بسته برای روندیابی جریان از یک یا تعدادی رودخانه، نهر، کانال و یا جوی علاوه بر محاسبه تراوش بین سیستم رودخانه و آبخوان بکار

می‌رود. رودها و آبراهه‌ها به بازه‌ها و قطعاتی تقسیم می‌شوند. قطعه به آبراهه‌ای گفته می‌شود که جریان از منابع آبهای سطحی به ابتدای آن افزوده و در صورت برداشت از انتهای آن کاسته می‌شود. یک بازه، قسمتی از یک قطعه است که در یک سلول، در شبکه سلولهای مورد استفاده برای حل مسأله قرار می‌گیرد. یک قطعه امکان دارد از یک یا تعداد بیشتری بازه تشکیل شود. قطعات به ترتیب و از دورترین قطعه شماره گذاری می‌شوند هر دو قطعه باید به ترتیب به برنامه داده شوند. استفاده از قطعه در تفهیم روندیابی جریان رودخانه، محاسبه جریان در مقاطعی که شاخه‌ها بهم می‌پیوند یا از هم جدا می‌شوند را به سادگی در مدل امکان پذیر می‌سازد بازه‌ها مبنای محاسبه تراوش بین آبهای سطحی و زیرزمینی به شمار می‌رود.

۳-۵-۲-۱۳- بسته مانع در برابر جریان افقی

بسته مانع در برابر جریان افقی (Horizontal-Flow Barriers)، تأثیر اشکال زمین شناسی با نفوذپذیری پائین همانند گسلهای عمودی یا دیواره‌های سدی که مانع جریان افقی یا جریان قائم آب زیرزمینی می‌شود را محاسبه می‌کند از آنجائیکه عرض سد (مانع جریان) در مقابل ابعاد افقی سلولها در شبکه تفاضل محدود ناچیز است بنابراین عرض مانع، صریحاً در بسته مورد استفاده قرار نمی‌گیرد بلکه یکی از دو حالت زیر اتفاق می‌افتد:

۱- اگر لایه نامحدود باشد هدایت هیدرولیکی بر عرض تقسیم می‌شود.

۲- اگر لایه محدود باشد قابلیت انتقال تقسیم بر عرض می‌شود.

در ضمن ضریب ذخیره مانع صفر فرض می‌شود. عملکرد مانع باعث کم شدن رسانایی افقی بین دو سلول مجاور می‌شود.

۳-۵-۲-۱۴- بسته ذخیره بین لایه‌ای

بسته ذخیره بین لایه‌ای (Interlayer storage)، برای محاسبه حجم آب آزاد شده از ذخایر و شبیه سازی تراکم الاستیک و غیر الاستیک لایه‌های قابل تراکم موجود سفره به علت استخراج آب طراحی شده است. این بسته فقط در حالت ناپایدار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۵-۲-۱۵- بسته مخازن

این بسته برای شبیه سازی مخازن (Reservoir)، در حالتی که مخزن بزرگتر از منطقه باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. نشت بین مخزن و سیستم آب زیرزمینی برای هر سلول مدل در پاسخ به منطقه‌ای که مورد طغیان قرار می‌گیرد توسط معادله زیر شبیه سازی می‌شود:

$$C_{RES} = Hc_{RES} \times \frac{DEL C_i \times DEL R_j}{R_b} \quad (۸۳-۳)$$

که در این معادله:

$DEL C_i, DEL R_j$: ابعاد سلول (L)

Hc_{RES} : مراحل مخزن

ضخامت بستر مخزن از ارتفاع سطح زمین کم می‌شود تا ارتفاع بر اساس رسوبات بستر مخزن به دست آید. این ارتفاع در محاسبه نشت مورد استفاده قرار می‌گیرد. وقتی بار هیدرولیکی در سیستم آب زیرزمینی بالای اساس رسوبات مخزن باشد نشت Q_{RES} از سیستم آب زیرزمینی با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_{RES} = Q_{RES} (H_{RES} - h) \quad (۸۴-۳)$$

و وقتی بار هیدرولیکی در سیستم آب زیرزمینی کمتر از ارتفاع رسوبات بستر مخزن باشد نشت از مخزن به سیستم آب زیرزمینی توسط معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_{RES} = C_{RES} (H_{RES} - H_{RESBOT}) \quad (۸۵-۳)$$

که در این معادله H_{RESBOT} ، ارتفاع رسوبات بستر مخزن می‌باشد.

۳-۵-۲-۱۶- بسته قابلیت تر بودن

این بسته (Wetting capability)، برای شبیه سازی بالا آمدن سطح ایستابی در یک لایه غیر اشباع برای نشان دادن خشک یا تر بودن سلولها طراحی شده است. نوع اولیه این بسته (BCF1) که در نسخه‌های اصلی MODFLOW مورد استفاده قرار گرفته قادر است وقتی که ارتفاع سطح ایستابی کمتر از ارتفاع پائینی سلول باشد این سلول را به عنوان یک سلول خشک در نظر گرفته و IBOUND آن را با صفر تنظیم کند. به عبارت دیگر یعنی هیچ جریانی از سلول عبور نمی‌کند و سلول غیر فعال است. همه مقادیر هدایتی یک سلول خشک با صفر تنظیم می‌شود و هیچ آبی در طی فرآیند شبیه سازی از آن عبور نمی‌کند، حتی اگر سطح ایستابی بالا بیاید. برای غلبه بر این مشکل نوع جدید این بسته از مقدار THRESH (آستانه رطوبت) استفاده می‌کند. کدهای کامپیوتری با استفاده از آستانه رطوبت می‌توانند یک سلول خشک یا غیر فعال را به یک سلول تر یا فعال تبدیل کنند.

$TRESH = 0$ اگر سلول خشک یا غیر فعال باشد طوریکه نتواند مرطوب شود.

$TRESH < 0$ برای سلول زیر سلول خشک که می‌تواند سبب مرطوب شدن سلول شود.

$TRESH > 0$ برای سلول زیر سلول خشک و چهار سلول افقی مجاور که می‌توانند سبب مرطوب شدن سلول خشک شوند.

وقتیکه یک سلول خشک به یک سلول مرطوب تبدیل شد IBOUND کد آن سلول را با یک تنظیم می‌کند که نشان دهنده یک سلول با بار هیدرولیکی متغیر است.

فصل چهارم: ساخت مدل عددی دشت شیروان با

استفاده از مدل *PMWIN*

۴-۱- تهیه مدل مفهومی

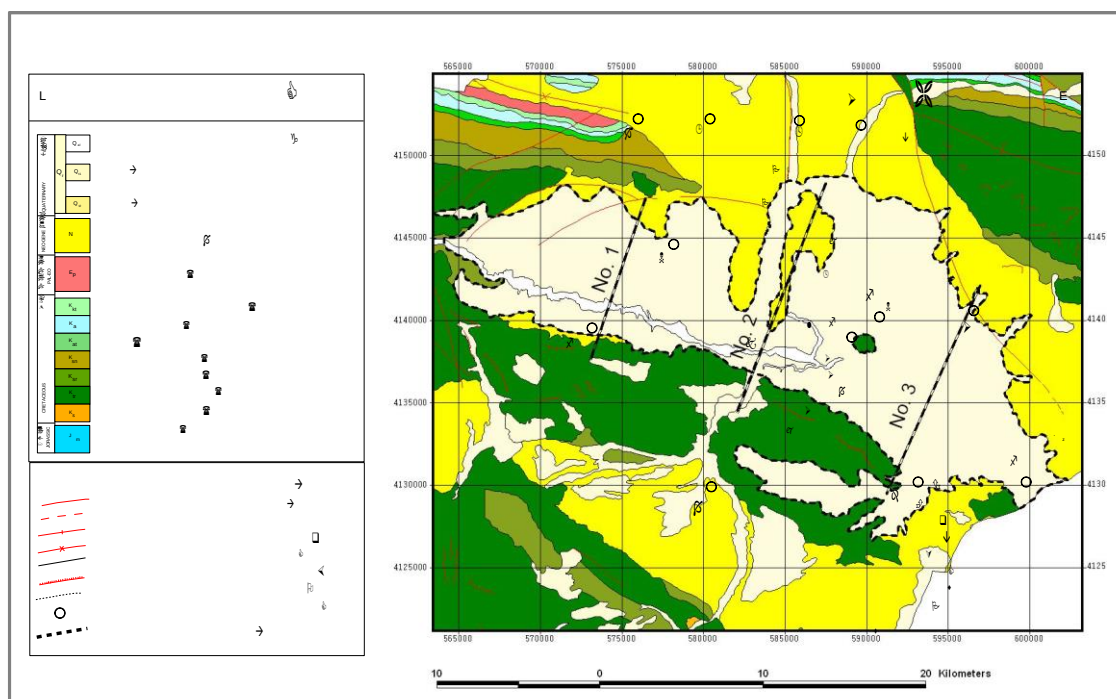
مرحله آغازین و شاید یکی از مهمترین مراحل در بکار گیری مدل به منظور مدیریت منابع آب زیرزمینی، تهیه مدل مفهومی منطقه می باشد. برای تبدیل موفق یک مدل مفهومی به یک مدل ریاضی وجود داده‌های پایه ضروری است. برای تهیه و آماده سازی این داده‌ها در شبیه سازی آب زیرزمینی لازم است که از مشخصات فیزیکی یک آبخوان اطلاعات حتی الامکان دقیق و کافی وجود داشته باشد. مشخصات فیزیکی آبخوان شامل موارد بسیاری از جمله موقعیت و گستردگی مکانی، ضخامت لایه‌های محصورکننده، موقعیت آب های سطحی و زمین ساخت می شود. در واقع هر چه شناخت ما از آبخوان بیشتر باشد نتیجه شبیه سازی به واقعیت نزدیکتر خواهد بود به همین علت در این قسمت وضعیت آبرفت که در تشکیل سفره آب زیرزمینی مؤثر می‌باشد و مقاطع زمین شناسی موجود در منطقه مورد بررسی قرار می‌گیرد. به علت طویل و کم عرض بودن دشت شیروان، تنوع سازند های زمین شناسی، وجود چندین رودخانه فصلی در حاشیه شمالی و جنوبی دشت که مخروط افکنه های متنوعی از لحاظ جنس و اندازه ذرات تشکیل می دهند سفره آبرفتی دشت شیروان یک سفره یکنواخت نمی‌باشد.

۴-۱-۱- ضخامت و وضعیت سفره آبرفتی

دشت شیروان با توجه به بررسی‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی به ۲ ناحیه یا منطقه هیدروژئولوژیکی تفکیک شده است (کاظمی گلیان ۱۳۸۱). ناحیه اول دشت شیروان (دشت شرقی شیروان)، از محل روستای برزل آباد شروع شده و تا شهر شیروان (بیرون زدگی محدود سازند تیرگان معروف به تپه امیرآباد) ادامه دارد. در این ناحیه، سفره آب زیرزمینی تقریباً از خواص هیدرودینامیکی یکسان و همچنین سنگ کف یکنواختی برخوردار می‌باشد. بنابراین رودخانه اترک ضمن شیب یکنواخت بستر از قسمت جنوبی بیرون زدگی، وارد دشت غربی شیروان می‌گردد. ناحیه دوم (دشت غربی شیروان) از شرق شیروان تا خروجی دشت ادامه دارد. نواحی شمالی این دشت (سمت راست جاده ارتباطی شیروان - بجنورد)، نسبتاً دانه ریز و فاقد منابع آب زیرزمینی قابل توجه است. در این ناحیه، رودخانه اترک تقریباً از حاشیه جنوبی دشت به سمت خروجی جریان دارد و آبرفت دانه درشت در این قسمت ته نشست شده است.

۴-۱-۲- مقاطع زمین‌شناسی دشت شیروان

در دشت شیروان ۳ مقطع زمین‌شناسی با امتداد شمال شرق - جنوب غرب زده شده است. موقعیت این مقاطع در دشت شیروان در شکل (۴-۱) نشان داده شده است. در ادامه بحث توضیحات مربوط به این هر یک از این مقاطع آورده شده است در شکل (۴-۲) مقاطع زمین‌شناسی دشت شیروان نشان داده شده است. همچنین از لاگهای حفاری مربوط به چند چاه اکتشافی و پیزومتری منطقه استفاده شده است (شکل ۴-۳). بر اساس لاگهای حفاری و عمق چاههای بهره‌برداری نقشه هم سنگ بستر ترسیم گردید.



شکل (۴-۱): موقعیت مقاطع زمین شناسی دشت شیروان (اداره کل آبهای زیرزمینی ۱۳۴۹)

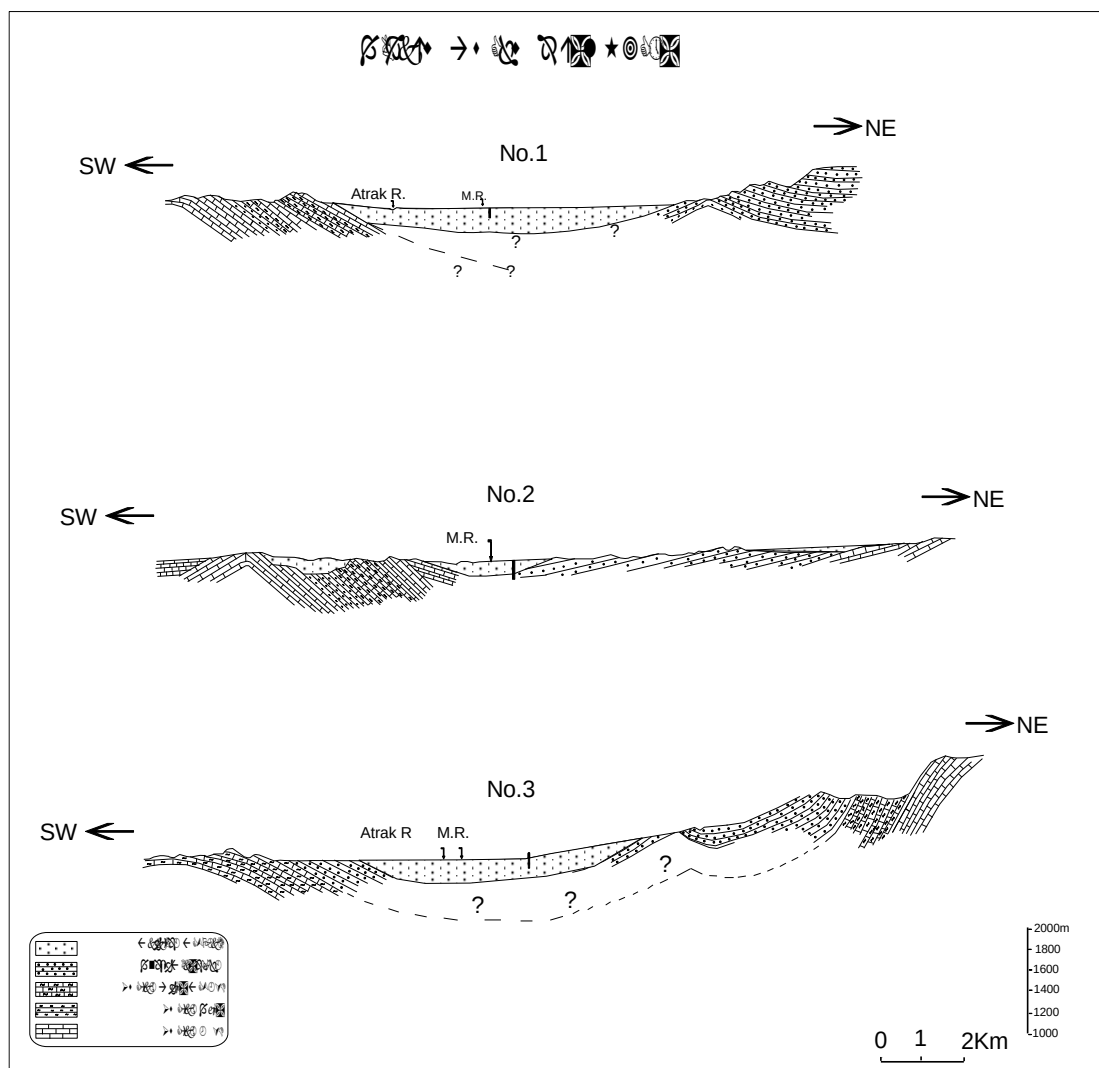
مقطع شماره ۱

این مقطع دارای امتداد شمالی جنوبی متمایل به شمال شرق - جنوب غرب می باشد و از شمال روستای زیارت تا چاه اکتشافی زیارت و ارتفاعات جنوبی حسین آباد امتداد دارد. در این ناحیه ضخامت کنگلومرا خیلی زیاد است و به نظر می رسد که ضخامت زیاد ناشی از وجود گسل ها باشد. در قسمت جنوبی، ضخامت کنگلومرا کم بوده و لایه های آهک مارنی و آهک کرتاسه در زیر آن قرار دارد.

مقطع شماره ۲

این مقطع از قسمت شرق شهرستان شیروان (روستای سه یک آب) تهیه گردیده و یک ناودیس و تاقدیس بزرگ را شامل می گردد که بعد از فرسایش محور ناودیس، کنگلومرای نئوژن و آبرفتهای دوران چهارم به جای آن جایگزین شده است. ضخامت آبرفت در این قسمت کم است و به صورت لایه نازکی بر روی طبقات کنگلومرا که خود به طور دگرشیب بر روی آهکهای کرتاسه قرار دارد، گذاشته شده است. عامل اصلی ایجاد آبرفت این ناحیه، رودخانه بارزو و تنسوان - گلیان می باشد. جنس

رسوبات این مقطع به ترتیب شامل آبرفت، کنگلومرا، آهکهای مارنی کرتاسه، آهک کرتاسه و آهکهای سیلیسی اواخر ژوراسیک می باشد.



شکل (۴-۲): مقاطع زمین شناسی شیروان (اداره کل آبهای زیرزمینی ۱۳۴۹)

مقطع شماره ۳

این مقطع در قسمت شمالی از روستای سکه شیروان شروع شده و در جنوب تا غرب روستای دوین امتداد دارد. ساختمان زمین شناسی این قسمت، ناودیس بزرگی است که شیب آهکها و آهکهای

مارنی کرتاسه در شمال زیاد بوده و در قسمت جنوبی ملایمتر می باشد. این ناودیس را طبقات کنگلومرای ضخیم و آبرفتهای کم ضخامت پر می نماید. رسوبات این مقطع به ترتیب شامل آبرفت، کنگلومرا، آهکهای مارنی کرتاسه و آهک کرتاسه می باشد.

۴-۲- ساخت مدل عددی

پس از شناخت کامل آبخوان و ساخت مدل مفهومی از منطقه، در این مرحله می‌توان برای ساخت مدل عددی منطقه اقدام کرد ساخت یک مدل عددی را می‌توان در دو مرحله تعریف وضعیت هندسی مدل و ورود پارامترها بررسی کرد.

۴-۲-۱- تعریف وضعیت هندسی مدل

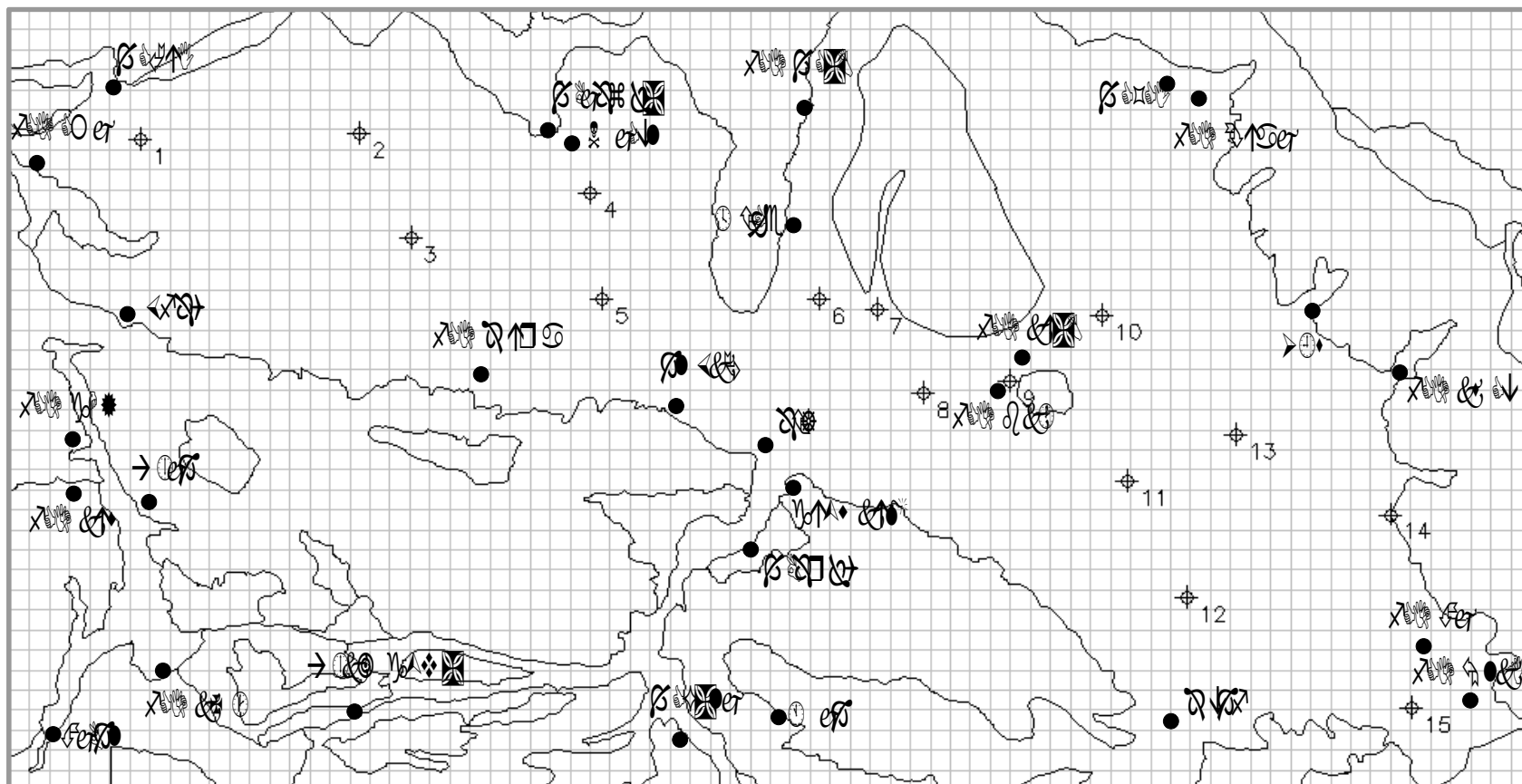
در این مرحله شکل و اندازه مدل، وضعیت مرزها و شبکه مدل تعریف می‌گردد.

۴-۲-۱-۱- طراحی شبکه

برای اینکه بتوان معادلات دیفرانسیل جزئی را حل کرد بایستی محیط به اجزاء کوچکتری که اصطلاحاً سلول نامیده می‌شود تقسیم گردد. در روش تفاضل محدود، معمولاً منطقه مطالعاتی با استفاده از دو دسته خطوط موازی عمود بر هم، به تعدادی سلول مستطیلی و یا مربعی تقسیم می‌گردد. معمولاً در مدلسازی آبهای زیرزمینی با توجه به وجود آمار و اطلاعات، ابعاد سلولها از ۵۰۰ متر تا ۲ کیلومتر به صورت یکنواخت و یک اندازه یا به صورت متغیر در نظر گرفته می‌شود. مدل ریاضی بکار گرفته شده در این تحقیق نیز نیازمند یک شبکه مربعی، مستطیلی یا هر چهار ضلعی دیگر می‌باشد، با توجه به وسعت دشت شیروان و آمار و اطلاعات موجود شبکه 500×500 متری مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور شبکه بندی دشت شیروان از نقشه های رقومی شده ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین شناسی و حد کوه و دشت (استخراج شده از لایه رقومی نقشه زمین شناسی) استفاده شده است. به منظور اطمینان بیشتر، این نقشه ها با نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ رقومی شده تطبیق و محدوده شبکه مدل تعیین گردید. سپس شبکه اختلاف تفاضل محدود بر روی منطقه مورد نظر قرار داده و بدین ترتیب، شبکه ای متشکل از ۳۹ سطر و ۷۶ ستون بوجود آمد. شکل (۴-۴) شبکه بکار گرفته شده برای محدوده مدل و موقعیت ۱۵ چاه مشاهده ای را نشان می‌دهد.

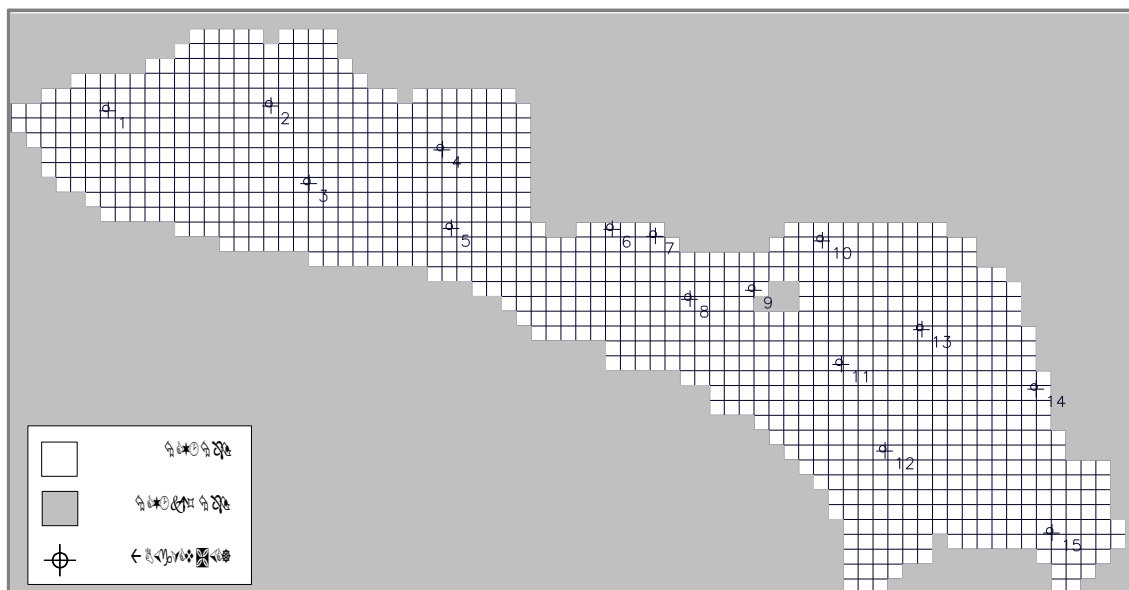
مرحله بعد از شبکه بندی محدوده مدل، تعیین نوع سلولهاست. ۳ نوع سلول در MODFLOW وجود دارد که شامل سلولهای فعال، غیر فعال و با بار ثابت می باشد.

سلولهای غیر فعال، سلولهایی است که در فرآیند شبیه سازی هیچ گونه جریانی به آنها وارد یا خارج نمی شود و مدل بار هیدرولیکی را برای سلولهای مذکور محاسبه نمی کند. این نوع سلولها در مدل با کد صفر در آرایه مرزی IBOUND مشخص می گردند. سلولهای فعال یا سلولهایی با بار هیدرولیکی متغیر، سلولهایی هستند که مدل برای آنها بار هیدرولیکی را محاسبه می کند، این سلولها با کد ۱ در آرایه مرزی IBOUND مشخص می گردند. سلولها با بار هیدرولیکی ثابت، سلولهایی است که برای توصیف مرزهای مدل که دارای بار هیدرولیکی دائم است نظیر تماس آبخوان با رودخانه بکار می روند و در آرایه مرزی IBOUND با کد ۱- مشخص می گردند. از مجموع ۲۹۶۴ سلول موجود در شبکه مدل، ۹۶۶ سلول فعال و ۱۹۹۸ سلول غیر فعال می باشد. شکل (۴-۵) سلولهای فعال و غیر فعال محدوده مدل را نشان می دهد ضمناً هیچ سلولی با بار هیدرولیکی ثابت در محدوده مدل وجود ندارد. علاوه بر سلول های قرار گرفته در خارج از محدوده آبخوان، ۵ سلول نیز در محدوده آبخوان به عنوان سلول های غیرفعال در نظر گرفته شده است. این سلولها نشان دهنده موقعیت تپه امیر آباد می باشد. این تپه آهکی در ۸۰ کیلومتری شرق شهرستان شیروان قرار گرفته و از آهکهای تیرگان متعلق به کرتاسه پائینی تشکیل شده است. سطح آب در این تپه آهکی نسبت به سطح آب در آبرفت پائین تر می باشد و در واقع آبرفت به عنوان یک منبع تغذیه کننده برای این آهکها محسوب می شود. در این تپه آهکی سه حلقه چاه بهره برداری وجود دارد که بخشی از آب شرب شهرستان شیروان را تأمین می کنند.

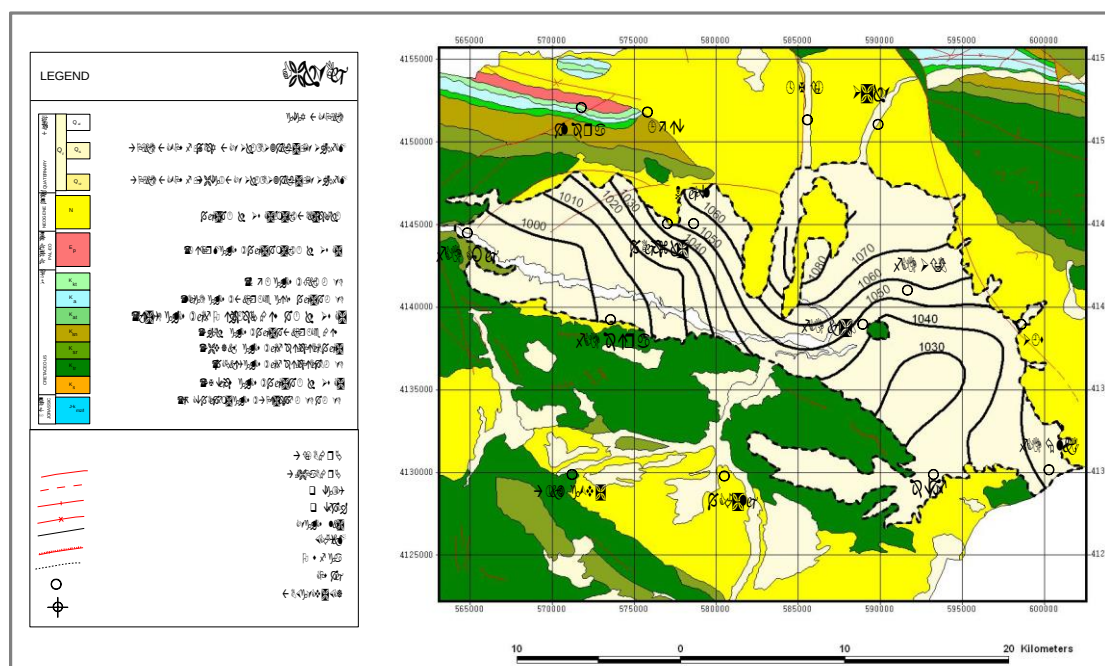


شکل (۴-۴): شبکه بکار رفته برای محدوده آبخوان و موقعیت چاههای مشاهده‌ای

حل معادلات دیفرانسیل جزئی آبهای زیرزمینی از طریق عددی مستلزم تعیین شرایط مرزی از نظر هیدرولیکی و استفاده از اطلاعات موجود در این مرزها می باشد در غیر اینصورت قابل حل نخواهند بود. تعیین شرایط مرزی یکی از مشکل ترین مراحل در مدلسازی آبهای زیرزمینی می باشد. شرایط طبیعی مانند مرزهای غیر قابل نفوذ و همچنین مناطق تغذیه و تخلیه آبخوان، در اغلب موارد خیلی دورتر از محدوده مورد نظر در مدل قرار دارد. به نظر می رسد بهترین کار، در کاهش خطای تعیین شرایط مرزی، بسط و توسعه محدوده مدل تا سرحدهای طبیعی سفره است که در اکثر موارد به دلیل حجیم شدن محدوده کاری، امکان پذیر نمی باشد. عدم وجود یک شبکه خوب اندازه گیری سطح آب سفره، انتخاب محدوده وسیعی را در مدلسازی توجیه نمی کند. محدوده بزرگ مدلسازی با اطلاعات و آمار اندک، نه تنها کمکی به اهداف تهیه مدل نمی کند، بلکه باعث ورود خطای بیشتر در نتیجه بالا رفتن عدم قطعیت ها (Uncertainty) در نتایج می شود. از اینرو محدوده بیلان و مدل در بیشتر حالات با محدوده سفره متفاوت می باشد. از طرف دیگر، مرزهای سفره عموماً به صورت خطوط مستقیم نمی باشد، در حالیکه در شبکه بندی، مرزهای مدل بصورت خط مستقیم در نظر گرفته می شود. در نتیجه مرزهای مدل کاملاً بر محدوده طبیعی محدوده بیلان سفره منطبق نبوده و بین این دو تفاوت وجود دارد. بدیهی است که این تفاوت، زمانی بیشتر می گردد که تعیین شرایط مرزی به دلیل ساختار زمین شناسی منطقه خیلی پیچیده باشد برای تعیین شرایط مرزی لازم است تا ارتفاع سطح ایستابی برای یک زمان معین مشخص باشد. مرزهایی که بر اساس ارتفاع سطح ایستابی تعریف می گردند تحت عنوان مرزهای هیدرولیکی نامگذاری می شوند (چیت سازان و کشکولی ۱۳۸۱). این مرزها می توانند به صورت مرزهای فاقد جریان (مرزهای موازی با خطوط جریان) یا به صورت مرزهای جریانی با بار هیدرولیکی معلوم باشند که با نقشه خطوط هم پتانسیل تعیین می گردند. به منظور تعیین مرزهای منطقه مورد مطالعه نقشه هم پتانسیل دشت شیروان برای آذر ۱۳۸۲ (شکل ۴-۶)، بر اساس مقادیر اندازه گیری شده سطح آب در ۱۵ حلقه چاه مشاهده ای ترسیم شده است. همانطور که در شکل (۴-۷) نیز مشخص است در منطقه ۳ نوع مرز، بدون جریان، ورودی و خروجی قابل تشخیص است.

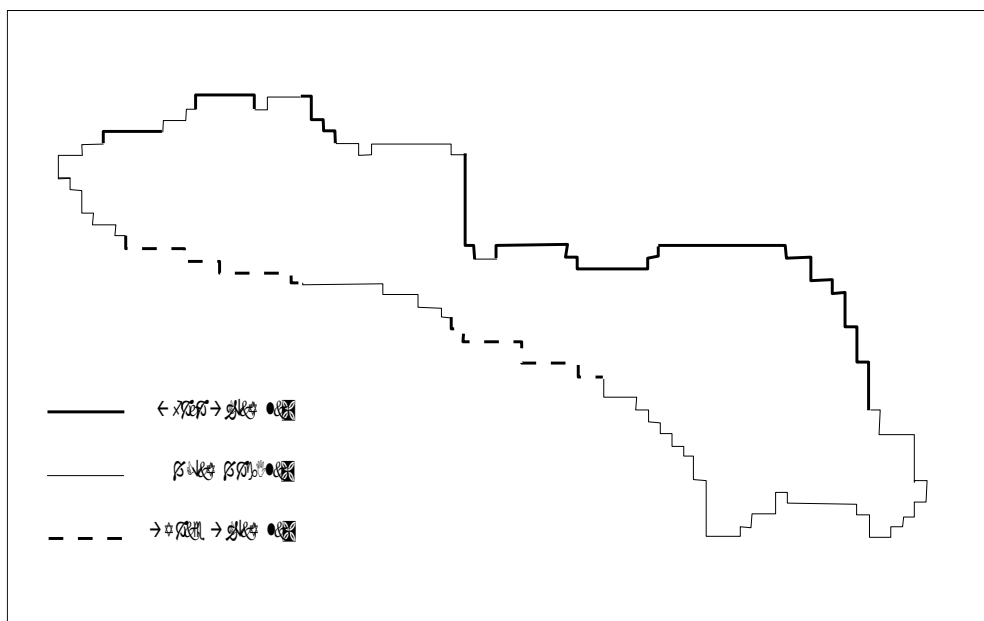


شکل (۴-۵): سلولهای فعال و غیر فعال محدوده مدل



شکل (۴-۶): نقشه هم پتانسل دشت شیروان برای (آذر ۱۳۸۲)

مرزهای شمالی منطقه بیشتر از نوع ورودی (Inflow) و مرزهای جنوبی منطقه از نوع خروجی (Outflow) می‌باشند. براساس نقشه سطح آب و الگوی جریان، انواع مختلف مرزهای سفره تعیین گردیده که در شکل (۷-۴) آورده شده است.



شکل (۷-۴): شرایط مرزی آبخوان شیروان

۲-۲-۴- پارامترهای ورودی مدل

پارامترهای ورودی مدل را می‌توان به سه گروه تقسیمات مکانی، تقسیمات زمانی و پارامترهای هیدروژئولوژیکی تقسیم کرد.

۱-۲-۲-۴- تقسیمات مکانی

به منظور تکمیل فایل تقسیمات مکانی می‌بایست ارتفاع بالایی و پائینی لایه مشخص گردد. یکی از مشکلات معمول در هنگام مشخص کردن بخش فوقانی و تحتانی لایه، موضوع درون یابی است. مدل‌های عددی آبهای زیرزمینی نیاز به تخصیص ارتفاع لایه تحتانی، فوقانی و پارامترهای دیگر به هر سلول دارد. چون داده‌های موجود غالباً محدود به نقاط پراکنده و نامنظم در محدوده مدل است، تخمین پارامترها برای تک تک سلول‌ها (درون یابی) امری ضروری و لازم می‌باشد. در کد اولیه

MODFLOW این پارامترها به صورت دستی برای تک تک سلول می‌بایست وارد می‌شد اما امروزه با استفاده از درون یابگرهای خارجی نظیر Surfer و یا درون یابگرهای داخلی این کار انجام می‌گیرد. Field Interpolator ابزاری است در PMWIW که عمل درون یابی برای سلول‌ها را با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری انجام می‌دهد به منظور تعیین ارتفاع بالایی در هر سلول از نقشه نقاط ارتفاعی و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ رقومی شده شیروان (۷۵۶۴-۱)، برزل آباد (۷۵۶۴-۴) (۷۶۶۴)، آغاز تازہ (۷۶۶۵-۳)، لوجلی (۷۵۶۵-۲)، سیساب (۷۵۶۴-۴)، فاروج (۷۶۶۴-۳) و گلیان (۷۵۶۴-۲) استفاده شده است. برای تعیین ارتفاع بالایی سلولها، نقاط ارتفاعی اندازه‌گیری شده با استفاده از ابزار Digitizer به صورت فایل XYZ درآمده و با پسوند dat ذخیره شدند. سپس با استفاده از ابزار Field Interpolator این فایل بازخوانی و به روش Kriging درون یابی گردید. بدین ترتیب ارتفاع بالایی تک تک سلولهای واقع در شبکه مدل تعیین گردید. ارتفاع پائینی سلولها (سنگ کف)، نیز مطابق با روش بالا و با استفاده از ماکزیمم چاههای بهره برداری در هر سلول، مقاطع زمین شناسی، بررسی‌های ژئوالکتریکی و اکتشافی تعیین گردید.

۴-۲-۲- شرایط اولیه و انتخاب گامهای زمانی

شرایط اولیه شامل مقادیر بار هیدرولیکی برای هر سلول فعال و سلول دارای بار هیدرولیکی ثابت در مدل محاسبه می‌شود. این مقادیر که باید بالاتر از ارتفاع کف سلولها باشند برای شروع محاسبات تکراری مدل ضروری هستند. برای تعیین شرایط اولیه از داده‌های اندازه‌گیری شده توسط ۱۵ چاه مشاهده‌ای موجود در منطقه استفاده شده است. با توجه به موقعیت چاههای مشاهده‌ای واقع در محدوده مدل، با استفاده از نقشه ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شده توسط شرکت مه‌اب قدس، شبکه تیسن منطقه تهیه شده و ارتفاع واحد سطح آب، از مهر ۱۳۷۶ تا شهریور ۸۵ محاسبه گردید سپس هیدروگراف واحد سطح آب از سال آبی ۷۷-۱۳۷۶ تا سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ ترسیم گردید. هیدروگراف واحد شیروان در مقایسه با مقادیر ارتفاع بارندگی اندازه‌گیری شده در ایستگاه سه یک آب (برحسب میلی متر) در شکل (۸-۴) آورده شده است. با توجه به نوسانات بسیار کم هیدروگراف

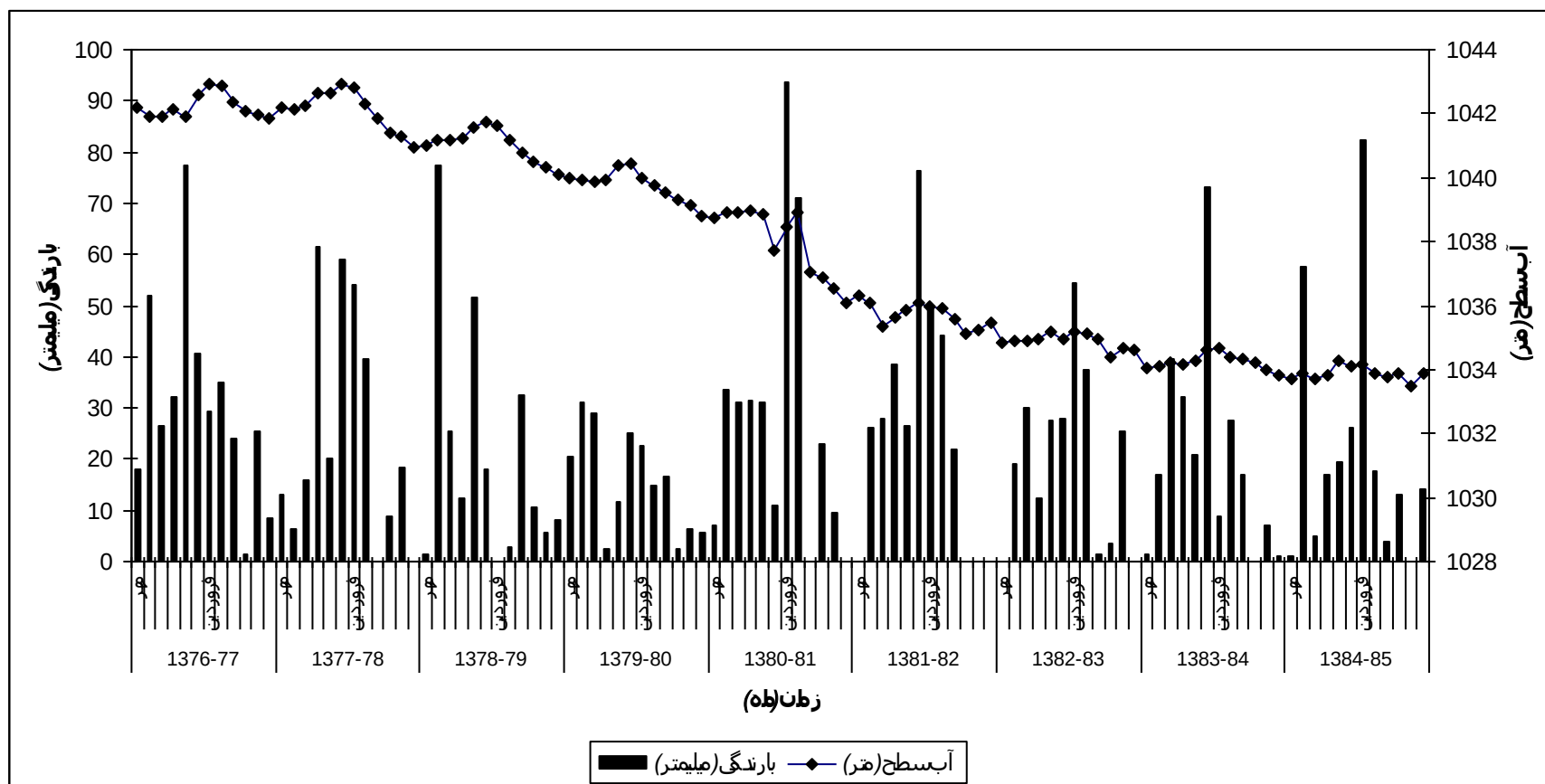
واحد دشت شیروان، در آذر ۱۳۸۲ نسبت به ماههای دیگر و با توجه به آماربرداری سال ۸۳-۱۳۸۲ از منابع آب دشت شیروان آذر ۱۳۸۲ به عنوان شرایط اولیه انتخاب گردید. سپس با استفاده از داده‌های ۱۵ چاه مشاهده ای در آذر ۱۳۸۲ بار هیدرولیکی اولیه به همه سلول های مدل از طریق درون یابی اختصاص داده شد. مشخصات ۱۵ حلقه چاه مشاهده‌ای و همچنین ارتفاع سطح آب این چاهها در آذر ۱۳۸۲ در جدول (۴-۱) آورده شده است. گام زمانی در حالت پایدار معمولاً سالانه و در حالت ناپایدار ماهانه می‌باشد. انتخاب این گام بستگی به داده‌ها و اطلاعات در دسترس دارد. در این تحقیق دوره و گام زمانی برای حالت پایدار و ناپایدار ماهانه می باشد و مدل برای یک سال (۱۲ دوره) واسنجی می گردد.

جدول (۴-۱): مختصات جغرافیایی و مشخصات چاههای مشاهده‌ای دشت شیروان (ساز آب شرق ۱۳۸۱)

شماره	نام چاه	UTM(X)	UTM(Y)	ارتفاع چاه (متر از سطح دریا)	عمق چاه (متر)	سال حفر	ارتفاع سطح آب (آذر ۸۲) متر
۱	غرب کارخانه قند	۵۶۷۵۵۰	۴۱۴۵۰۵۰	۱۰۳۷/۶۹	۶۷/۸	۱۳۶۳	۱۰۰۰/۵۳
۲	اراضی منصوران	۵۷۲۸۲۳	۴۱۴۵۹۱۵	۱۰۸۱/۴۱	۷۸	۱۳۷۵	۱۰۲۱/۲۱
۳	جاده حسین آباد	۵۷۴۰۵۶	۴۱۴۲۴۲۴	۱۰۴۵/۴۴	۶۶	۱۳۷۵	۱۰۰۰/۹۸
۴	زیارت	۵۷۸۵۳۳	۴۱۴۳۵۶۶	۱۱۱۵/۱۶	۶۲	۱۳۷۵	۱۰۵۶/۹
۵	غرب شیروان	۵۷۸۸۲۹	۴۱۴۰۹۶۳	۱۰۶۷/۳۷	۹۰	۱۳۶۳	۱۰۱۹/۱۶
۶	سه یک آب	۵۸۴۴۵۰	۴۱۴۰۷۰۰	۱۱۰۵/۳۰	۵۲/۵	۱۳۷۵	۱۰۸۳/۱۱
۷	جاده قدیم	۵۸۵۶۹۸	۴۱۴۰۶۲۹	۱۱۰۰/۴۲	۳۹/۳	۱۳۶۳	۱۰۸۰/۰۵
۸	شرق شیروان	۵۸۶۸۹۵	۴۱۳۸۵۶۱	۱۰۸۶/۵۰	۴۳/۹۵	۱۳۶۳	۱۰۵۴/۹۲
۹	امیر آباد	۵۸۹۰۳۵	۴۱۳۸۸۷۲	۱۱۰۵/۱۳	۷۴	۱۳۷۰	۱۰۳۷/۸۳
۱۰	شمال شرق الله آباد	۵۹۱۳۳۸	۴۱۴۰۵۲۶	۱۰۹۱/۶۵	۵۶	۱۳۷۰	۱۰۶۴/۸۷
۱۱	مزرعه کال	۵۹۱۹۶۶	۴۱۳۶۳۴۳	۱۰۹۷/۸۶	۸۰	۱۳۶۳	۱۰۲۳/۴۵
۱۲	جاده دوین	۵۹۳۴۰۰	۴۱۳۳۵۲۳	۱۱۰۶/۸۰	۸۵	۱۳۷۰	۱۰۴۰/۸
۱۳	سکه	۵۹۴۶۲۸	۴۱۳۷۵۱۵	۱۱۱۵/۸۸	۱۰۰	۱۳۴۸	۱۰۳۶/۴۳
۱۴	شورک	۵۹۸۴۶۰	۴۱۳۵۵۷۲	۱۱۳۷/۶۱	۹۵	۱۳۷۰	۱۰۶۹/۴۴
۱۵	برزل آباد	۵۹۹۰۰۰	۴۱۳۰۷۵۰	۱۱۲۱/۸۵	۸۵	۱۳۷۰	۱۰۵۲/۸۵

۴-۲-۳- پارامترهای هیدروژئولوژیکی

پارامترهای هیدروژئولوژیکی شامل هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره، آبدهی ویژه، ضریب نشت عمودی و موارد دیگر می شود. چون آبخوان دشت شیروان یک آبخوان تک لایه از نوع آزاد است لازم است تا هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه (در شرایط غیر ماندگار) برای سلول های شبکه مدل تعریف گردد. هدایت هیدرولیکی یک پارامتر حساس در تهیه مدل می باشد که باید سعی شود تا طراحی مدل با استفاده از مقادیر واقعی K که در صحرا و ترجیحاً توسط آزمایش پمپاژ بدست آمده صورت گیرد. از آنجائیکه آزمایشات پمپاژی در منطقه شیروان انجام نشده است ابتدا با استفاده از نقشه نفوذپذیری که توسط شرکت ساز آب شرق (۱۳۸۵) تهیه شده است مناطقی اولیه هدایت هیدرولیکی تعیین شده است.



شکل (۴-۸): هیدروگراف واحد دشت شیروان در مقایسه با بارندگی ایستگاه بارانسنجی سه یک آب

نقشه نفوذپذیری با هدف نمایش نفوذپذیری و پتانسیل آبی آبرفتها و سایر سازندهای زمین شناسی، به شکلی که حداقل اطلاعات موجود بر روی آن قابل استفاده در مرحله شناخت منابع آب باشد تهیه شده است. این نقشه با استفاده از نقشه های زمین شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ مربوط به سازمان زمین شناسی کشور و شرکت ملی نفت ایران برای تعیین حد بین سازندهای سخت و رسوبات آبرفتی و همچنین با بهره گیری از مطالعات اکتشافی و تصاویر ماهواره ای قسمتهای مختلف دشت تهیه شده است. این مناطق در طی مرحله کالیبراسیون تا حدودی تغییر داده شدند. مقادیر اولیه هدایت هیدرولیکی با استفاده از لوگ چاههای اکتشافی و مشاهده ای محاسبه و در طی مرحله کالیبراسیون تصحیح گردید.

۴-۲-۳- چاههای تخلیه

برای شبیه سازی چاههای تخلیه از بسته نرم افزاری چاه استفاده شده است. این بسته نرم افزاری برای شبیه سازی میزان برداشت آب از چاهها و یا مقدار تغذیه با جریان معین در یک دوره زمانی بکار می رود و مستقل از سطح شبکه و سطح آب زیرزمینی می باشد. مقادیر تخلیه و تغذیه توسط چاه بصورت جریان معین در مدل منظور می شود که این مقدار در هر گام زمانی مربوط به سفره، افزوده و یا از آن برداشت خواهد گردید. علامت منفی نشانگر برداشت و مثبت بیانگر تغذیه سفره می باشد. در این تحقیق، مقدار برداشت چاههای بهره برداری واقع در یک سلول، به مرکز آن (گره) اختصاص داده می شود. ۲۰۸ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق در محدوده مدل واقع می باشد. لازم به توضیح است که تمرکز چاههای بهره برداری در منطقه عمدتاً در مرکز دشت (دوطرف جاده ارتباطی قوچان-شیروان) می باشد. ۱۶۵ سلول واقع در محدوده مدل، حاوی چاههای بهره برداری یا قنوات می باشد (شکل ۴-۹)، که در هر دوره پمپاژ، برای هر سلول، اطلاعات لایه مورد پمپاژ، ردیف، ستون و مقدار پمپاژ بر حسب متر مکعب بر روز وارد گردید. با توجه به منابع بهره برداری آب زیرزمینی، هیچ چشمه ای در محدوده مدل قرار نگرفت، ولی ۲ قنات در این محدوده واقع شده است. که با توجه به طول قنات، مقدار دبی آنها بین سلولها توزیع گردید.

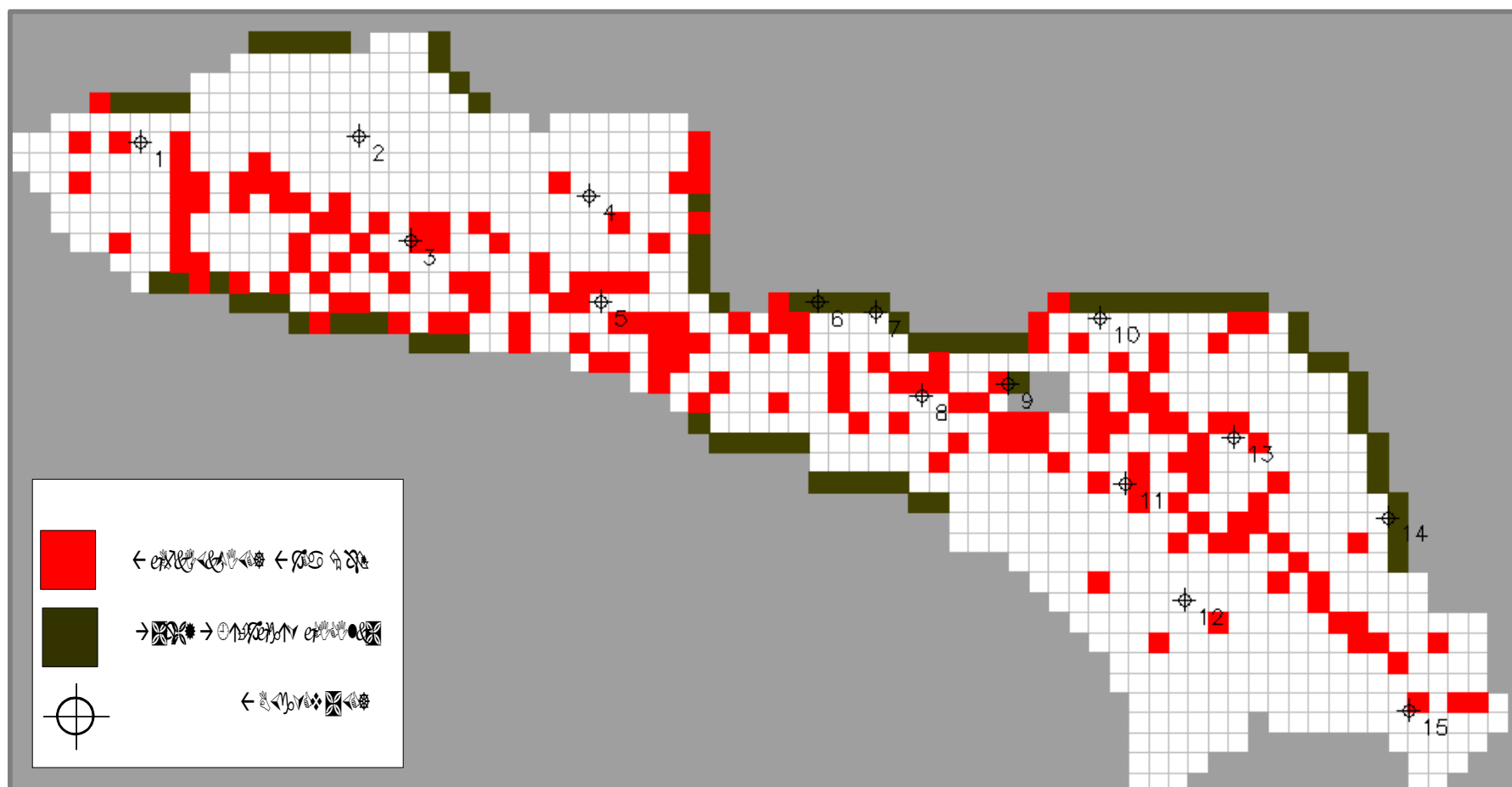
۴-۲-۴- مرز با بار عمومی یا GHB

برای شبیه سازی جریانهای عبوری از مرزها از بسته نرم افزار General Head Boundary استفاده شده است. برای هر سلول واقع در مرز می بایست یک فاکتور قابلیت هدایت (Conductance) و ارتفاع سطح آب تعریف کرد. سلولهای مرزی با بار هیدرولیکی معلوم در شکل (۴-۹) نشان داده شده اند. از آنجائیکه اطلاعاتی در مورد جریانهای ورودی و خروجی منطقه وجود ندارد ۷ فاکتور قابلیت هدایت اولیه برای مرزهای جریانی منطقه تعیین شد. این مقادیر در طی مرحله کالبراسیون در شرایط پایدار بهینه گردید و چون جریان ورودی تابعی از قابلیت هدایت می باشد مقادیر جریانهای ورودی و خروجی نیز به این ترتیب بهینه گردید. در مرزهای وابسته به بار هیدرولیکی، خروجی یا ورودی بودن مرز، به بار هیدرولیکی در سلول های مرزی و سلولهای مجاور آن بستگی دارد.

۴-۲-۵- تغذیه

مقادیر تغذیه هر سلول، به صورت شدت تغذیه به مدل داده می شود. مدل، جریان تغذیه را از حاصلضرب شدت تغذیه در مساحت سلول محاسبه می کند. به دلیل عواملی مثل جنس خاکها، پوشش گیاهی و کاربری آن، شدت بارش، شیب زمین، توپوگرافی و ساختارهای زمین شناسی، تغذیه در قسمتهای مختلف دشت یکسان نمی باشد. میزان تغذیه در واحد سطح و در واحد زمان بستگی به مقدار بارشهای جوی در آن دوره، شرایط آب و هوایی منطقه، سیلاب های جاری به دشت و نفوذپذیری خاک منطقه دارد. جهت محاسبه آب نفوذ یافته از نزولات جوی از آمار و اطلاعات تبخیر و تعریق و بارندگی ایستگاه سه یک آب استفاده شده است. با در نظر گرفتن ۲۰ درصد نیاز رطوبتی خاک منطقه (با توجه به اقلیم خاک معتدل منطقه) و محاسبه تبخیر و تعریق پتانسیل

برای آذر ۱۳۸۲، حجم بارندگی مفید بر روی آبخوان شیروان برآورد و به صورت شدت تغذیه به سلول های شبکه مدل داده شده است.



شکل (۴-۹): سلولهای حاوی چاههای بهره برداری و سلولهای مرزی با بار هیدرولیکی عمومی

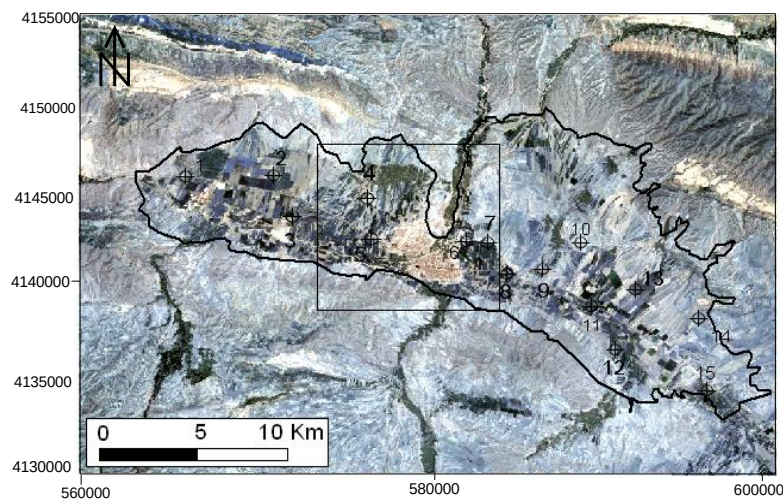
با استفاده از بسته تغذیه‌ای می‌توان تغذیه ناشی از آب برگشتی، صنعتی و شرب را نیز به صورت جداگانه برآورد و به مدل داد. به طور کلی میزان آب مصرفی کشاورزی در دشت شیروان نیز همانند سایر دشتهای ایران بیش از ۹۰ درصد کل آب برداشتی از آبخوان را شامل می‌شود که این مقدار در محدوده مطالعاتی حدود ۵/۵ میلیون متر مکعب در آذر ۱۳۸۲ می‌باشد. با توجه به اینکه آب برگشتی کشاورزی به آبخوان، تابع عوامل بسیاری از جمله نفوذپذیری خاک، سیستم آبیاری، تناوب آبیاری، نوع کشت و عوامل دیگر است لذا با توجه به نفوذ سطحی آبرفت دشت شیروان و سیستم آبیاری سنتی منطقه، حدود ۱۵ درصد از آب مصرفی در بخش کشاورزی به داخل آبخوان نفوذ می‌کند، بنابراین آب برگشتی کشاورزی به آبخوان حدود ۰/۵۵ میلیون متر مکعب محاسبه می‌گردد که این مقدار آب بر مساحت تعداد سلول‌هایی که در محدوده اراضی آبی کشاورزی قرار گرفته تقسیم، و مقدار تغذیه به صورت، شدت تغذیه به این سلول‌ها اختصاص داده شده است. حجم آب مصرفی در بخشهای شرب و صنعت در محدوده مطالعاتی شیروان در حدود ۰/۱۲ میلیون متر مکعب می‌باشد که با در نظر گرفتن ضریب ۹۰ درصد، حجم آب نفوذی ۰/۱۱ میلیون متر مکعب برآورد شده است. در این تحقیق برای در نظر گرفتن تغذیه ناشی از آبراهه‌ها و مسیلهای مربوط به، حاشیه شمالی و جنوبی دشت در هنگام بارندگی، منطقه‌ی تحت عنوان Rzones در فایل منطقه تعریف گردید که در طی شرایط ناپایدار برای هر ماه، این مقادیر بهینه گردیده است.

۴-۲-۶- داده‌های مشاهده‌ای

داده‌های مشاهده‌ای استفاده شده در این تحقیق ارتفاع سطح ایستابی اندازه‌گیری شده در ۱۵ چاه مشاهده‌ای در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. ارتفاع سطح آب در این ۱۵ چاه بصورت ماهانه از سال حفر اندازه‌گیری شده است. به منظور شناخت بهتر آبخوان هیدروگراف این چاهها از مهر ۱۳۷۶ تا شهریور ۱۳۸۵ ترسیم و در پیوست آورده شده است. هیدروگراف چاههای مشاهده‌ای علاوه بر نمایش تغییرات زمانی نوسانات سالانه سطح آب زیرزمینی آبخوان، بیانگر حالت استاتیک و دینامیک جریان آب زیرزمینی در سفره آبرفتی نیز می‌باشد (کاظمی گلیان ۱۳۸۲). رفتار هیدروگرافهای

شیروان را در دو گروه می‌توان بررسی کرد، گروه اول گروهی هستند که نوسانات سالانه و چند ساله خوبی را نشان می‌دهند چنین چاههای عمدتاً در مجاورت بستر رودخانه اترک و در محل تمرکز چاههای بهره برداری قرار گرفته‌اند و بیانگر رفتار واقعی سفره آب زیرزمینی و جریان حاکم بر آن می‌باشد. چاههای مشاهده‌ای برزل آباد، سکه، شورک، جاده دوین، امیر آباد و منصوران چاههایی هستند که در این گروه قرار می‌گیرند. گروه دوم چاههایی هستند که نوسانات سالانه بیشتری نسبت به چند ساله نشان می‌دهند. نوسانات سالانه بیشتر در این چاهها را می‌توان به تغذیه از طریق مخروطه افکنه‌ها یا در مسیر جریان قرار گرفتن این چاهها نسبت داد. چاههای مشاهده‌ای غرب کارخانه قند، حسین آباد، زیارت، غرب شیروان، سه یک آب، جاده قدیم، شرق شیروان، شمال شرق الله آباد و شورک چاههایی هستند که در این گروه قرار می‌گیرند.

نکته دیگری که از بررسی هیدروگرافها دریافت می‌شود این است که هیدروگراف پنج چاه مشاهده‌ای زیارت، سه یک آب، جاده قدیم، غرب شیروان و شرق شیروان (چاههای شماره ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸) بر خلاف چاههای مشاهده‌ای دیگر که در تمام مدت شیب منفی نشان می‌دهند در چهار، پنج سال اخیر شیب مثبت دارند به عبارت دیگر سطح آب در این چاهها در حال بالا رفتن است. علت بالا رفتن سطح آب در این چاهها را می‌توان به تغذیه این چاهها توسط شبکه‌های آبیاری سد مخزنی بارزو نسبت داد. لازم بذکر است که سد مخزنی بارزو در ۴۰ کیلومتری شهرستان شیروان بر روی رودخانه قلجق با اهداف تنظیم و تأمین آب کشاورزی، شرب و کنترل سیلاب احداث شده است. این سد در سال ۱۳۸۰ مورد بهره برداری قرار گرفته است. آب رها شده از این سد توسط سد انحرافی بارزو در شمال شرق شیروان به خطوط لوله اصلی در ساحل راست و چپ منتقل می‌گردد. سطحی برابر ۵۷۱۳ هکتار در شمال، شمال غربی و شمال شرقی شهر شیروان تحت پوشش این شبکه آبیاری قرار می‌گیرد. شکل (۴-۱۰) اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری و موقعیت چاههای مشاهده‌ای را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۱۰): اراضی تحت پوشش آبیاری مدرن سد مخزنی بارزو و موقعیت چاههای مشاهده‌ای

۴-۳- اجرای مدل

بعد از بازبینی، تصحیح اشتباهات احتمالی و رفع خطاهای اعلام شده توسط برنامه، مدل اجرا می‌شود. البته قبل از اجرای مدل، کاربر می‌بایست یکی از ۴ بسته محاسباتی موجود در MODFLOW را انتخاب کند. نقطه مشترک در تمام بسته‌های محاسباتی، معیار تغییر بار هیدرولیکی برای همگرایی و حداکثر تعداد تکرار مجاز است. اگر اجرای مدل به علت وجود خطا، پرت بودن مقادیر اولیه پارامترها در رگرسیون و یا مقدار نزدیک به صفر برای برخی پارامترها متوقف نشود، اتمام اجرای مدل از دو طریق انجام می‌پذیرد:

۱- چنانچه همگرایی با توجه به حداکثر تکرارها حاصل شود، بدین معنی که بار آبی برای همه سلول‌های فعال مدل در طول یک تکرار، کمتر از خطای مجاز (که توسط کاربر مشخص می‌شود) تغییر نماید، اجرای مدل متوقف می‌گردد.

۲- چنانچه تعداد تکرارها برابر با حداکثر تعداد تکرارها (که توسط کاربر مشخص می‌شود) گردد و هنوز همگرایی مورد نظر حاصل نشده باشد، اجرای مدل متوقف می‌شود، بدون اینکه نتیجه نهایی حاصل شده باشد. در این حالت بایستی تعداد تکرارها، پارامترهای سفره از قبیل هدایت

هیدرولیکی، شرایط مرزی (بیشتر برای حالت پایدار) ضریب ذخیره، آبدهی ویژه، تغذیه و دیگر عوامل را تغییر داد.

۴-۴- واسنجی مدل برای شرایط پایدار

واسنجی عبارت است از فرآیند پیدا کردن مجموعه ای از شرایط مرزی، تنش ها و پارامترهای هیدروژئولوژی که نتایج به دست آمده از آن به صورت بسیار نزدیکی با بارهای هیدرولیکی اندازه گیری شده و جریان های صحرایی برازش داشته باشد. در این تحقیق واسنجی مدل در حالت پایدار به منظور بهینه کردن پارامترهای هدایت هیدرولیکی و فاکتور قابلیت هدایت برای محاسبه جریان های ورودی و خروجی از مرزهای نفوذپذیر برای آذر ۱۳۸۲ (شرایط پایدار) صورت گرفته است. منطقه مورد مطالعه براساس نقشه نفوذپذیری، منطقه بندی و مقادیر هدایت هیدرولیکی مربوط به این منطقه ها براساس لاگ حفاری چاههای مشاهده ای و پیزومتری تعیین شده است. واسنجی مدل به منظور کم کردن تابع هدف به کمک الگوریتم لورنبرگ-مارکوات آغاز گردید. در ابتدای فرایند واسنجی، با وارد کردن همه پارامترهای مدل در رگرسیون، فرآیند تخمین پارامتر ممکن است با جوابهای مناسبی همراه نباشد که علت آن را باید در یکی از موارد زیر جستجو کرد (یوسفی ناغانی ۱۳۸۱):

- حساسیت پائین برخی از پارامترها

- وابستگی بالای برخی از پارامترها

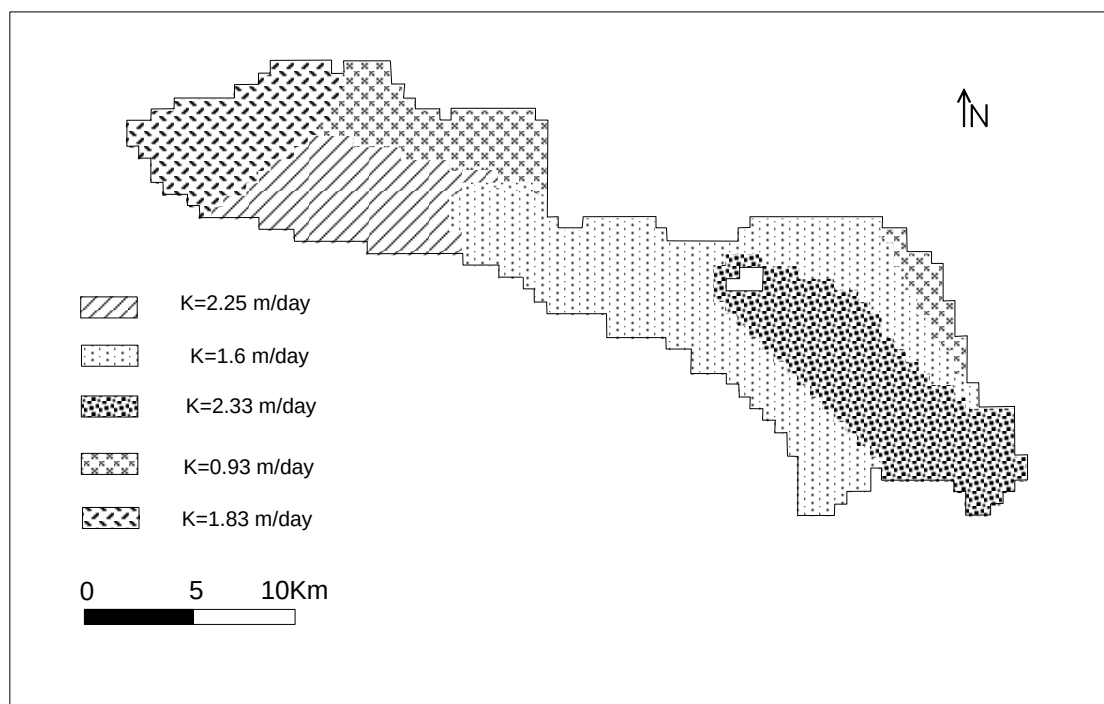
- عدم واگرایی برخی از پارامترها به مقادیر بهینه

- عدم نمایش واقعی از سیستم فیزیکی مدل

فرآیند واسنجی به کمک رگرسیون غیر خطی، برآورد مقدار پارامترهای مختلف به صورت تکراری صورت گرفت. تعداد ۱۴ راهنمایی مفید برای واسنجی مدل با استفاده از رگرسیون غیر خطی توسط هیل (Hill 1988) در سال ۱۹۸۸ پیشنهاد شده است. Composite scale sensitive، ماتریس ضرایب

همبستگی و فواصل اطمینان پارامتری سه خصوصیت آماری مهم در تعیین عدم قطعیت پارامترها می‌باشند. در این تحقیق به ویژه Composite scale sensitive به منظور بهینه کردن پارامترها استفاده شده است. بدین ترتیب که پس از اولین رگرسیون مدل، حساسیت پارامترها سنجیده و پارامترهای با حساسیت بیشتر که نشان دهنده دقیق‌تر بودن داده‌های مشاهده‌ای است در مرحله بعدی رگرسیون نیز وارد می‌شوند، اما پارامترهایی با حساسیت پائین که نشان دهنده کافی نبودن اطلاعات مشاهده‌ای است از رگرسیون خارج می‌گردند.

پس از دستیابی به مقادیر بهینه برای پارامترهای حساس، در مرحله بعد پارامترها با حساسیت پائین نیز وارد رگرسیون شده و مقادیر آنها نیز بهینه شده است. پس از دستیابی به مقادیر پارامتری نسبتاً بهینه، مقادیر نهایی پارامترها با اجرای متعدد مدل حاصل شده است. بدین ترتیب مقادیر مناسب هدایت هیدرولیکی و منطقه‌بندی نهایی آنها با رسیدن به برازش مناسب بین بارهای هیدرولیکی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای تثبیت شد. منطقه‌بندی نهایی پارامتر هدایت هیدرولیکی (K) و مقادیر مربوط به هر منطقه در شکل (۴-۱۱) آورده شده است.



شکل (۴-۱۱): منطقه بندی پارامتر هدایت الکتریکی و مقادیر مربوط به هر منطقه

به طور کلی در حالت پایدار، رژیم جریان آب در آبخوان به صورت پایدار فرض می‌شود (از تغییرات حجم آب در مخزن آب زیرزمینی صرف‌نظر می‌گردد) و با وجود داشتن تغذیه و تخلیه در سیستم معادله دیفرانسیلی جریان آبهای زیرزمینی، به صورت معادله لاپلاس می‌باشد. در مرحله کالیبراسیون در حالت پایدار بیشتر تصحیح مقادیر هدایت هیدرولیکی و میزان تغذیه و تخلیه طبیعی مدل مد نظر می‌باشد.

۴-۵- واسنجی مدل برای شرایط ناپایدار

بعد از واسنجی مدل در حالت پایدار، این کار در حالت ناپایدار نیز انجام می‌شود. واسنجی هر مدل، باید از قبل دارای هدفی از خطای قابل قبول باشد. دامنه خطای قابل قبول عمدتاً به هدف مدل بستگی دارد. این خطا برای شبیه سازی سیستم جریان آب زیرزمینی تا چند فوت قابل قبول است (چیت سازان و کشکولی ۱۳۸۱). واسنجی در حالت ناپایدار به دلایل زیر انجام می‌شود:

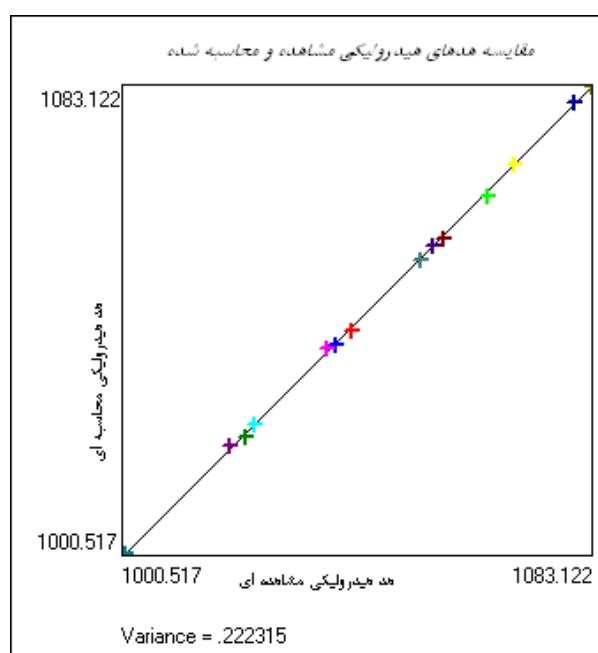
۱- جریان آب زیرزمینی به طور طبیعی غیر ماندگار است و اغلب در معرض تغییرات مصنوعی است.

۲- معمولاً هدف از مدلسازی پیش بینی می‌باشد که از لحاظ تعریفی وابسته به زمان است.

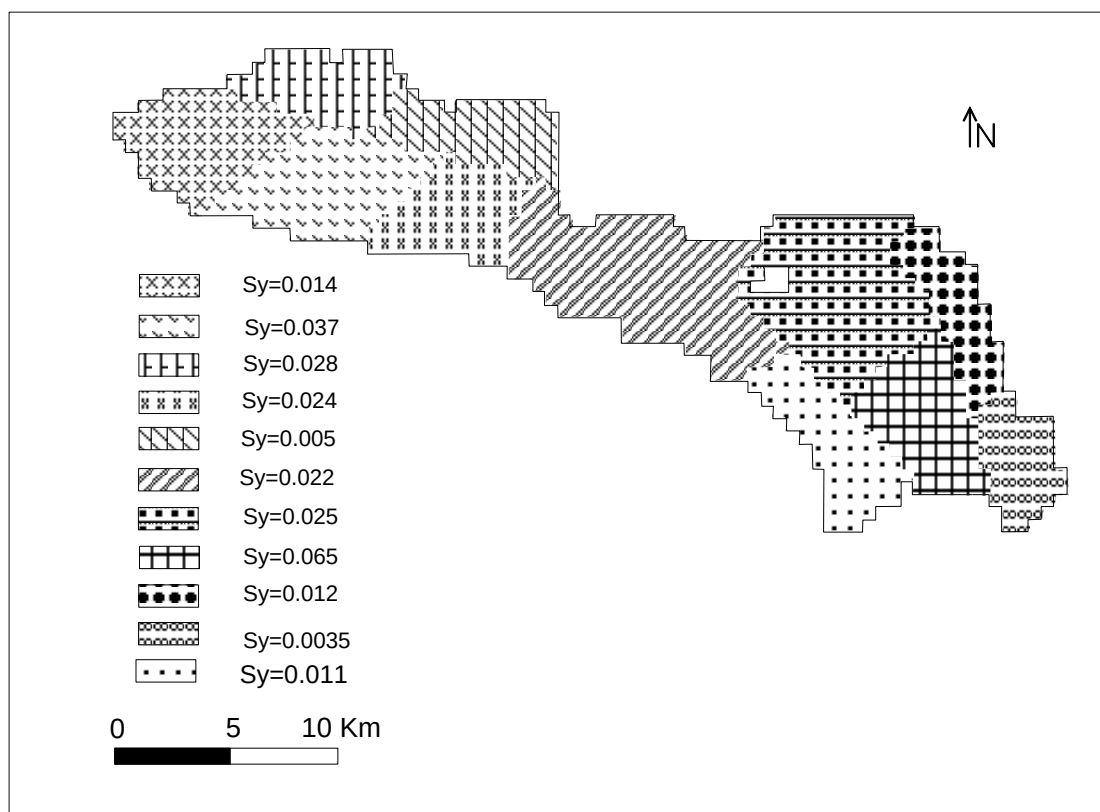
۳- پارامتر ذخیره‌ای آبخوان که برای پیش بینی مدل ضروری می‌باشد را نمی‌توان از حالت پایدار به دست آورد.

در این مرحله سایر ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان از قبیل آبدهی ویژه، مقدار تغذیه و تخلیه بهینه می‌گردد. در این تحقیق در شرایط ناپایدار ابتدا با ثابت در نظر گرفتن پارامترهایی که در مرحله

واسنجی پایدار بهینه شده، پارامتر آبدی ویژه و منطقه بندی آن برای آذر ۱۳۸۲ بهینه گردید. برازش بارهای هیدرولیکی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در شکل (۴-۱۲) آورده شده است. منطقه بندی و مقادی بهینه شده پارامتر آبدی ویژه در مرحله کالیبراسیون در شرایط ناپایدار در شکل (۴-۱۳) نشان داده شده است.

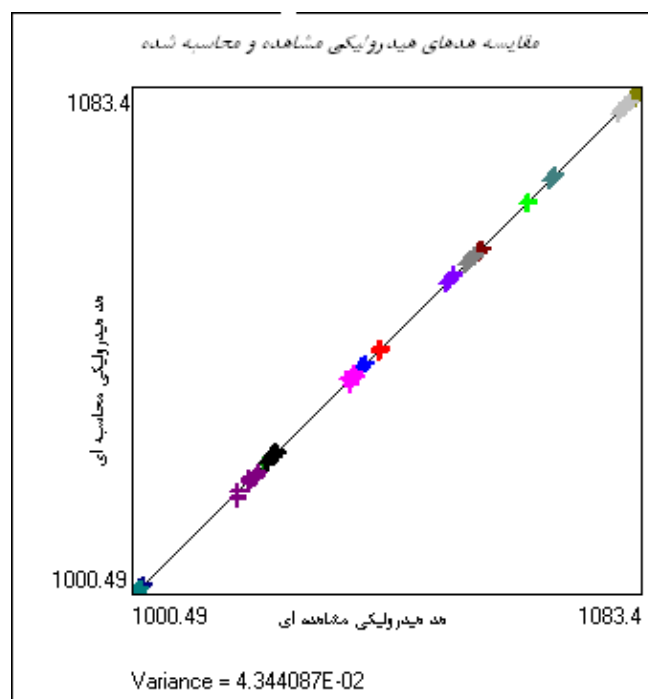


شکل (۴-۱۲): برازش بارهای هیدرولیکی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در مرحله کالیبراسیون در شرایط ناپایدار



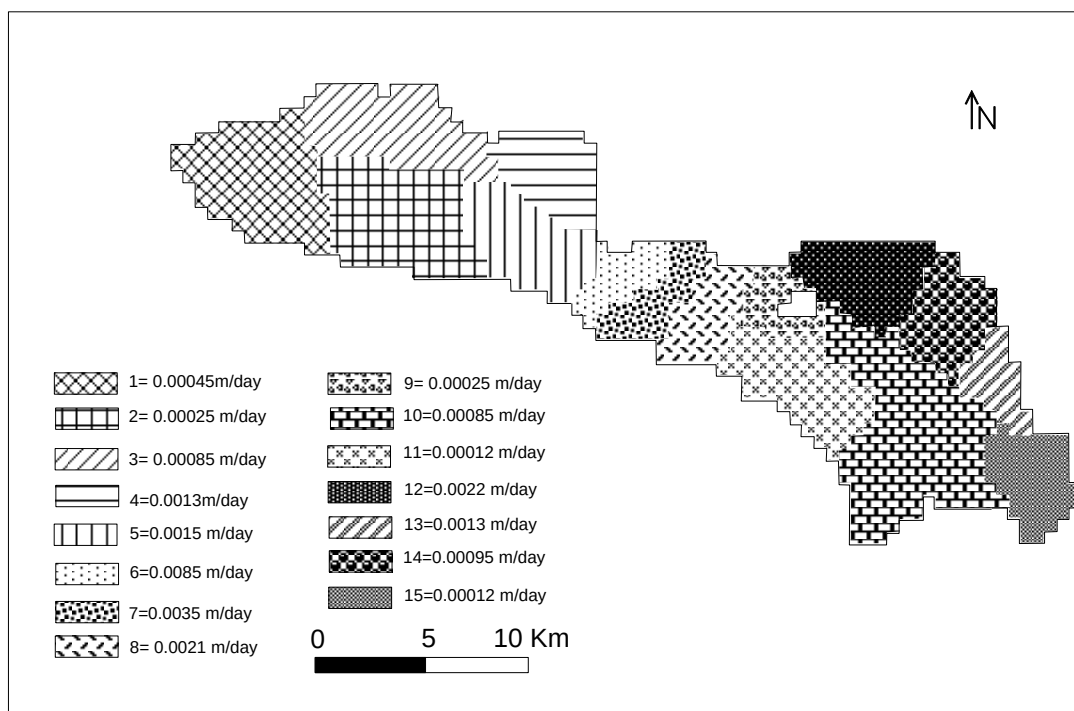
شکل (۴-۱۳): منطقه بندی و مقادیر بهینه شده پارامتر آبدهی ویژه در مرحله کالیبراسیون در شرایط ناپایدار

پس از انجام این مرحله، برای سال آبی ۸۳-۱۳۸۲ با انتخاب ۱۲ دوره تنش، پارامترهای تغذیه و تخلیه مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر مربوط به هر ماه بهینه گردید. برازش مقادیر محاسبه‌ای و مشاهده‌ای در شکل (۴-۱۴) آورده شده است. در هنگام بهینه کردن این مقادیر سعی شده است تا حداکثر تطابق با شرایط و خصوصیات محل وجود داشته باشد. برای بهینه کردن پارامتر تغذیه، ابتدا منطقه مورد مطالعه به منطقه‌های کوچکتری تقسیم و سپس در هر دوره تنش، مقادیر نسبت داده شده به هر منطقه به روش سعی و خطا و با توجه به موقعیت مناطق و ارتفاع بارندگی در آن دوره تا رسیدن به بهترین برازش بین بارهای هیدرولیکی و محاسبه‌ای تغییر داده شده است



شکل (۴-۱۴): برازش مقادیر محاسبه‌ای و مشاهده‌ای ۱۲ دوره تنش (۸۳-۱۳۸۲)

. موقعیت این مناطق و مقادیر بهینه شده آنها برای آبان ۱۳۸۲ در شکل (۴-۱۵) آورده شده است. مقادیر بدست آمده تطابق خوبی با شرایط و خصوصیات محل نشان می‌دهد.



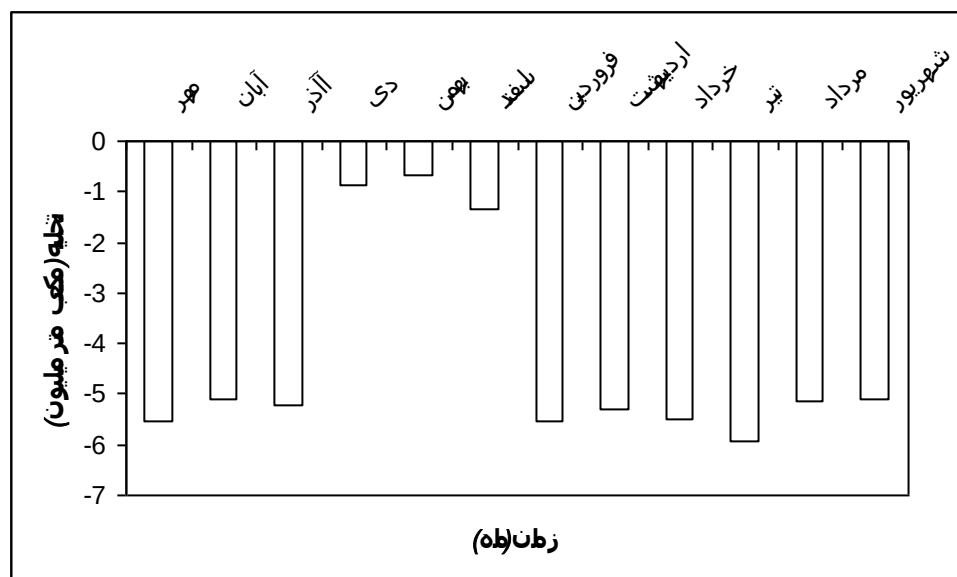
شکل (۴-۱۵): موقعیت و مقادیر بهینه شده مناطق تغذیه

همزمان با بهینه سازی پارامتر تغذیه، پارامتر تخلیه توسط چاههای بهره برداری نیز بهینه می گردد. حجم آب برداشت شده توسط چاههای بهره برداری بدست آمده توسط مدل در هر دوره تنش برحسب میلیون متر مکعب در جدول (۴-۲) آورده شده است و در شکل (۴-۱۶) این مقادیر نسبت به دوره های تنش نشان داده شده است.

جدول (۴-۲): حجم آب برداشت شده توسط چاههای بهره برداری بدست آمده توسط مدل در هر دوره تنش

شماره چاه	چاه ۱	چاه ۲	چاه ۳	چاه ۴	چاه ۵	چاه ۶	چاه ۷	چاه ۸	چاه ۹	چاه ۱۰	چاه ۱۱	چاه ۱۲
فصل	پائیز			زمستان			بهار			تابستان		
حجم آب (MCM)	۵/۴	۵/۰۲	۵/۱	۰/۸۸	۰/۶۷	۱/۳	۵/۳	۵/۰۸	۵/۲	۵/۶	۴/۹	۴/۸
مجموع آب خارج شده	۱۵/۵۲			۲/۸۵			۱۵/۵۸			۱۵/۳		

(MCM)				
-------	--	--	--	--

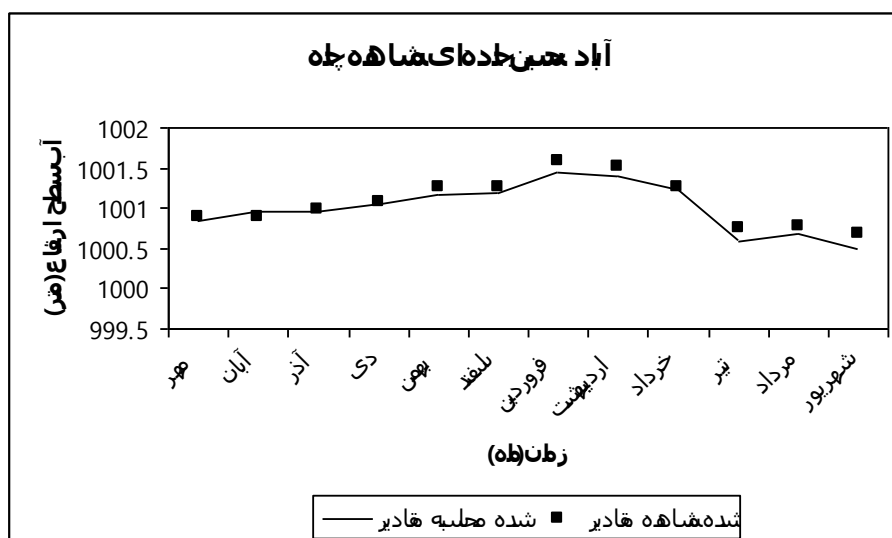
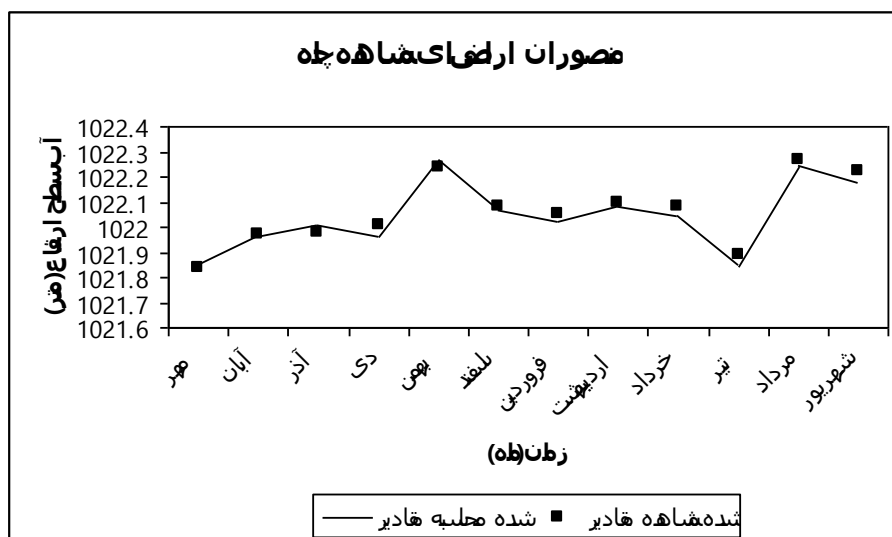
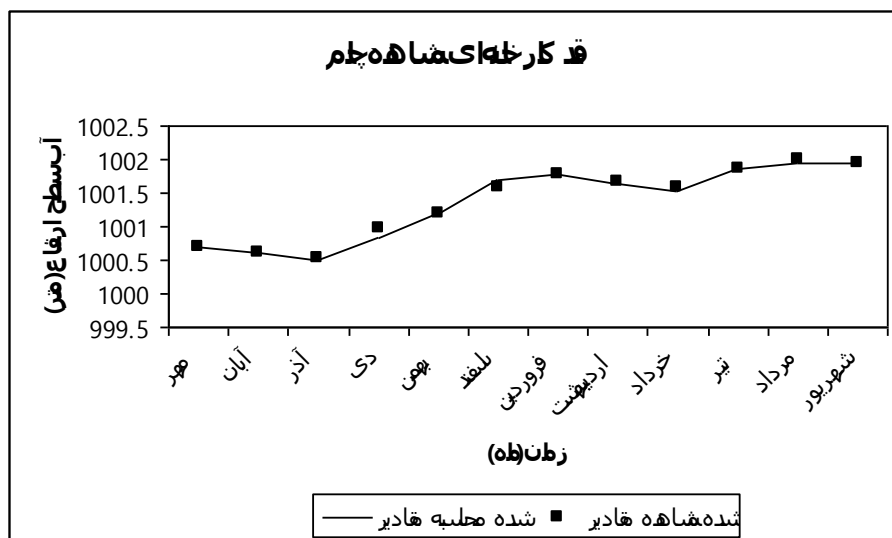


شکل (۴-۱۶): حجم آب برداشت شده توسط چاههای بهره برداری در هر دوره تنش

همانطور که نتایج نشان می‌دهد بیشترین حجم آب در فصل‌های بهار، تابستان و پائیز و کمترین مقدار آن در فصل زمستان از آبخوان خارج می‌گردد. نتایج بدست آمده با توجه به اقلیم منطقه و استفاده از اراضی کشاورزی منطقی می‌باشد. کشت اصلی منطقه مورد مطالعه گندم و جو می‌باشد که در فصل پائیز کشت می‌شود. زمینهای کشت شده تا اواخر آذر آبیاری می‌شود با شروع فصل زمستان، بارش برف و شروع یخبندان چاههای کشاورزی غیر فعال و فقط چاههای بهره‌برداری که به منظور مصارف شرب، دامداری و صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد، همچنان فعالیت می‌کنند. به همین علت در این فصل شاهد خارج شدن حجم آب کمی از آبخوان می‌باشیم. در فصل بهار چاههای غیر فعال شده مجدداً فعال می‌شوند ساعات کارکرد چاههای بهره‌برداری در این فصل نسبت به فصل پائیز بیشتر است چون علاوه بر آب مورد نیاز برای آبیاری زمینهای کشت شده گندم

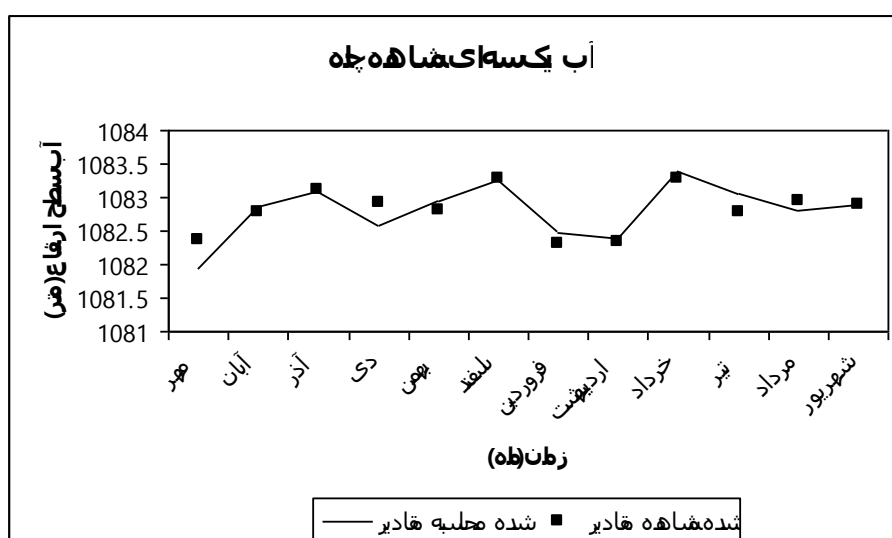
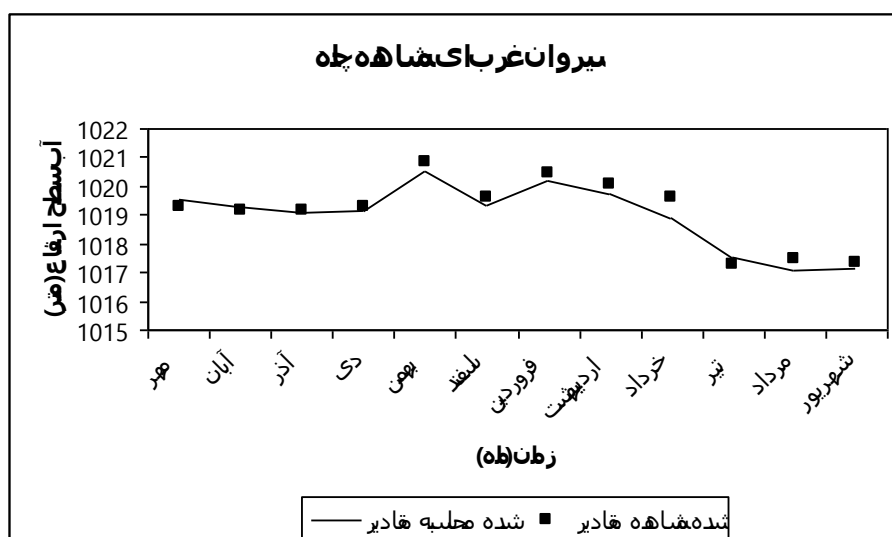
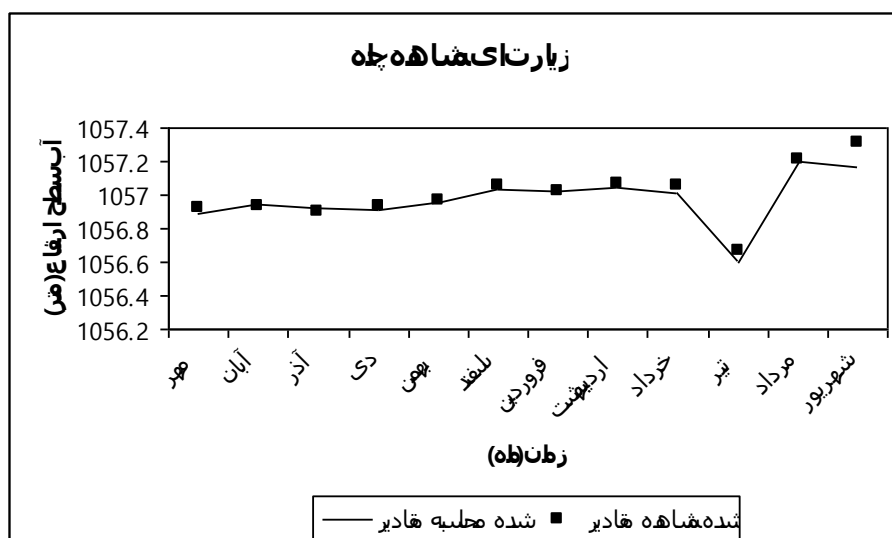
و جو، چغندر قند نیز اضافه می‌شود. در اواخر خرداد و اوایل تیر گندم و جو برداشت می‌شوند. اما پس از دوره کوتاهی (چند روز) زمینها مجدداً کشت می‌شوند. به علت کشت دومی که در تابستان صورت می‌گیرد در این فصل با برداشت محصول حجم آب برداشت شده از سفره نه تنها کم نمی‌شود بلکه در مواردی بیشتر نیز می‌شود. کل حجم آب خارج شده از چاههای بهره‌بردار در سال آبی ۸۳-۱۳۸۲، ۵۱/۲۴ میلیون متر مکعب می‌باشد.

با توجه به مراحل بالا و واسنجی مدل برای شرایط ناپایدار، نتایج نهایی مدل در شکلهای (۴-۱۷)، تا (۴-۲۱) و (۴-۲۲) آورده شده است. در شکلهای (۴-۱۷) تا (۴-۲۱) مقادیر سطح آب مشاهده و محاسبه شده توسط مدل در دوره واسنجی (مهر ۱۳۸۲ تا شهریور ۱۳۸۳) در قیاس با هم نشان داده شده و در شکلهای (۴-۲۲) نقشه هم پتانسیل سطح آب با استفاده از داده‌های مشاهده و محاسبه شده برای مهر ۱۳۸۲ ترسیم شده است.



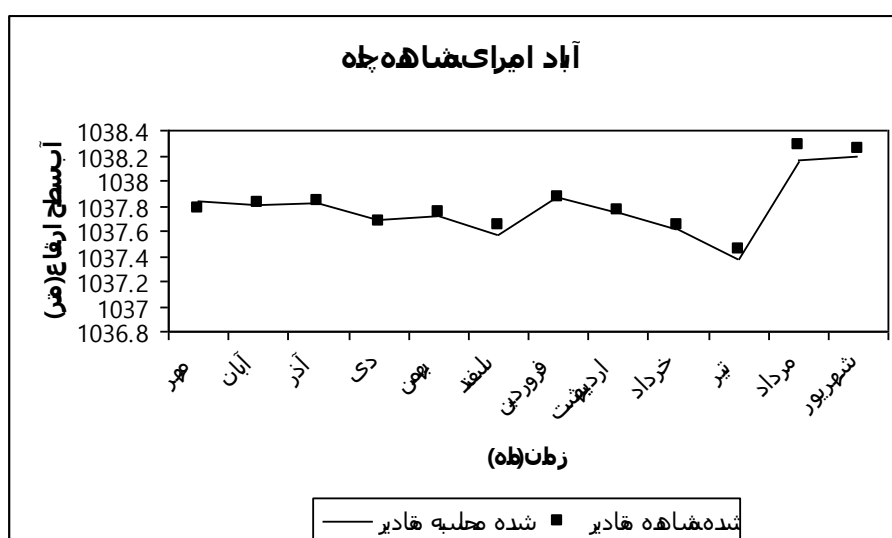
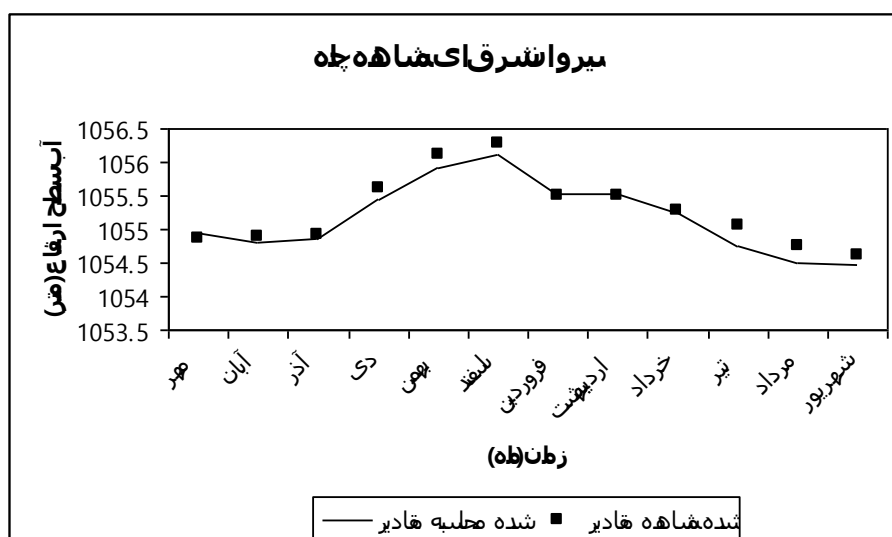
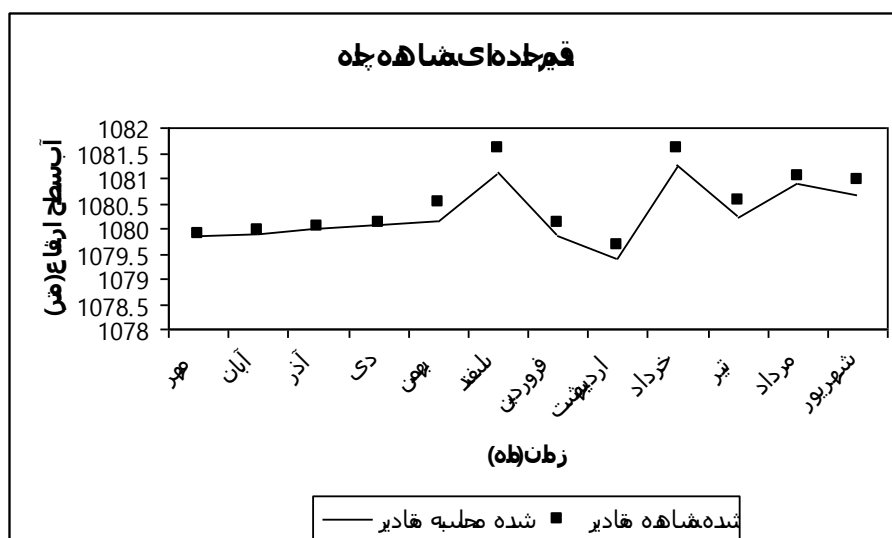
شکل (۴-۱۷): مقایسه مقادیر محاسبه شده و مشاهده شده در چاههای مشاهده‌ای کارخانه قند، اراضی منصوران

و جاده حسین آباد



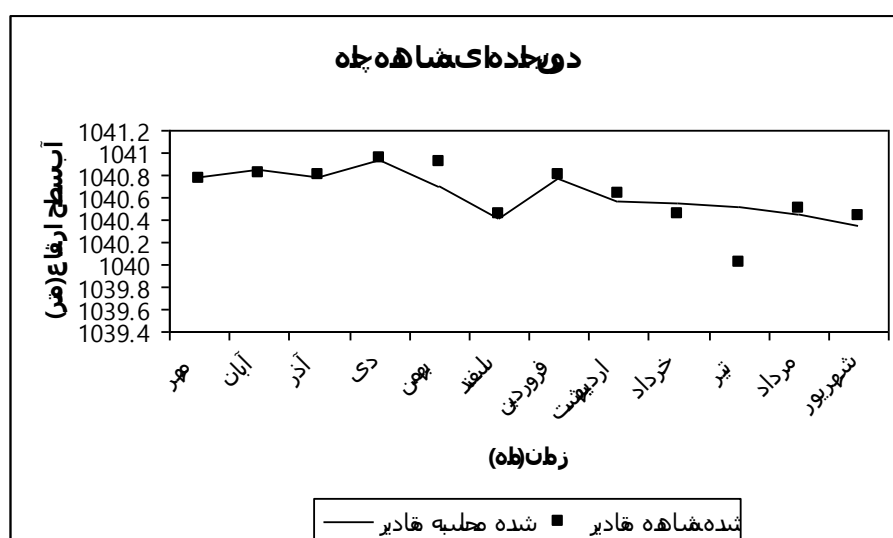
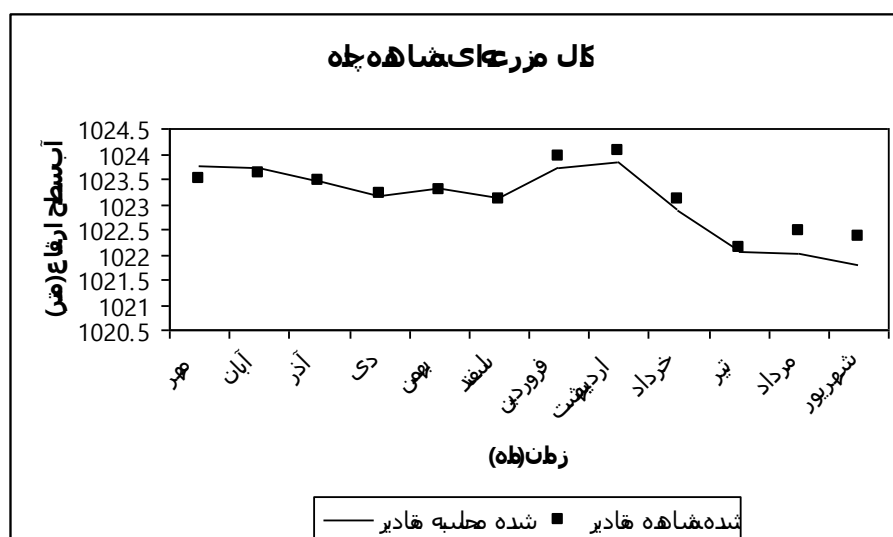
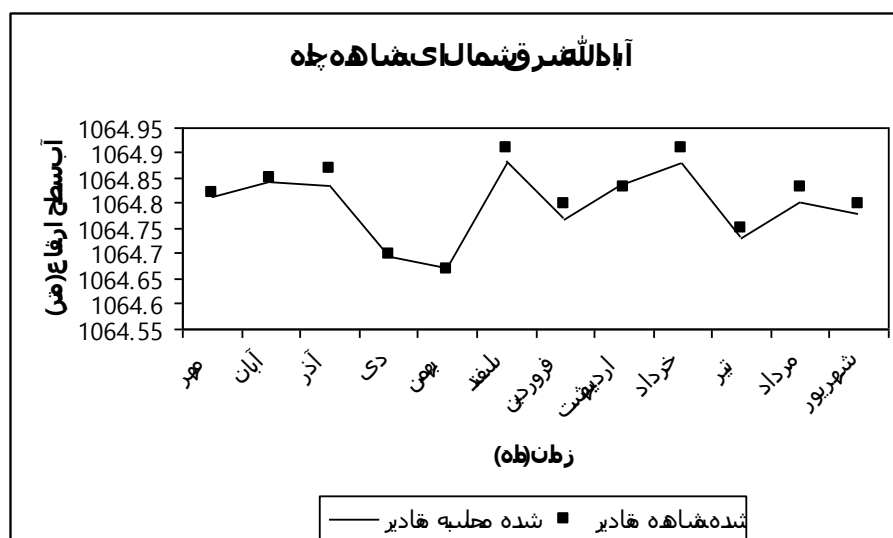
شکل (۱۸-۴): مقایسه مقادیر محاسبه شده و مشاهده شده در چاههای مشاهده‌ای زیارت،

غرب شیروان و سه یک آب



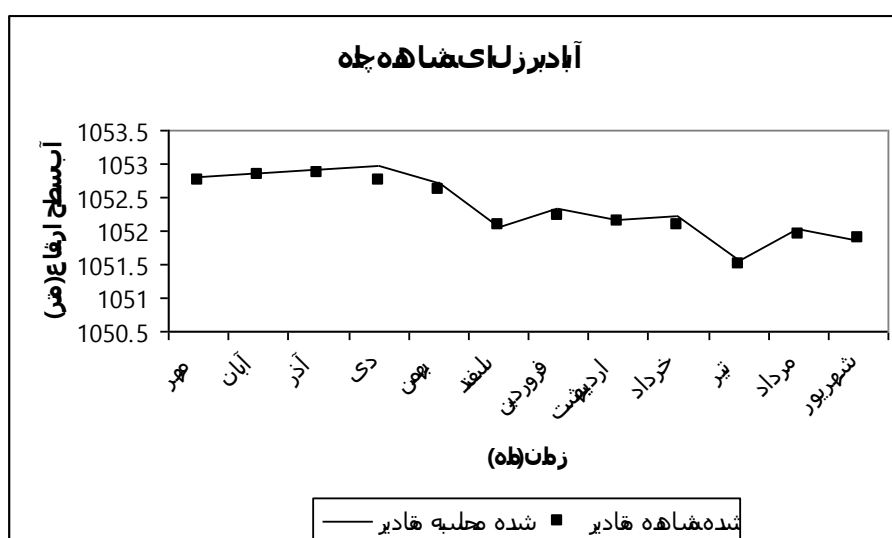
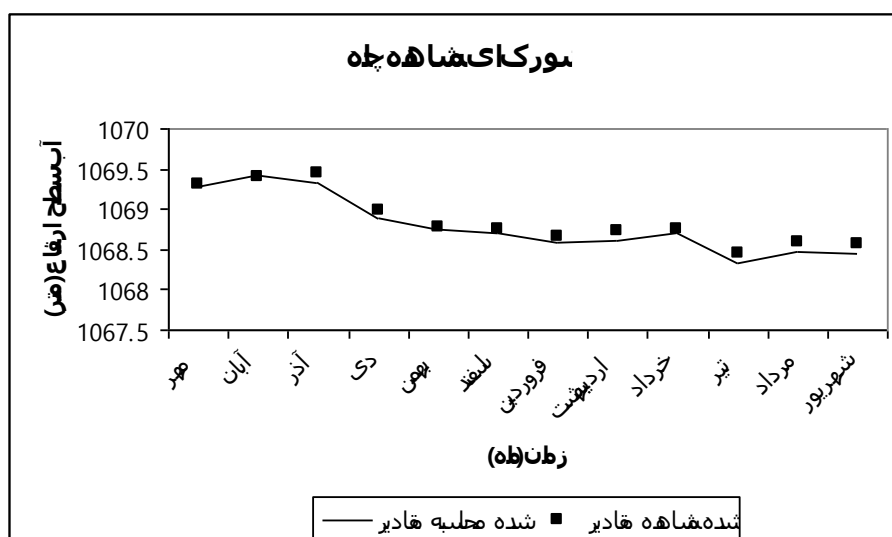
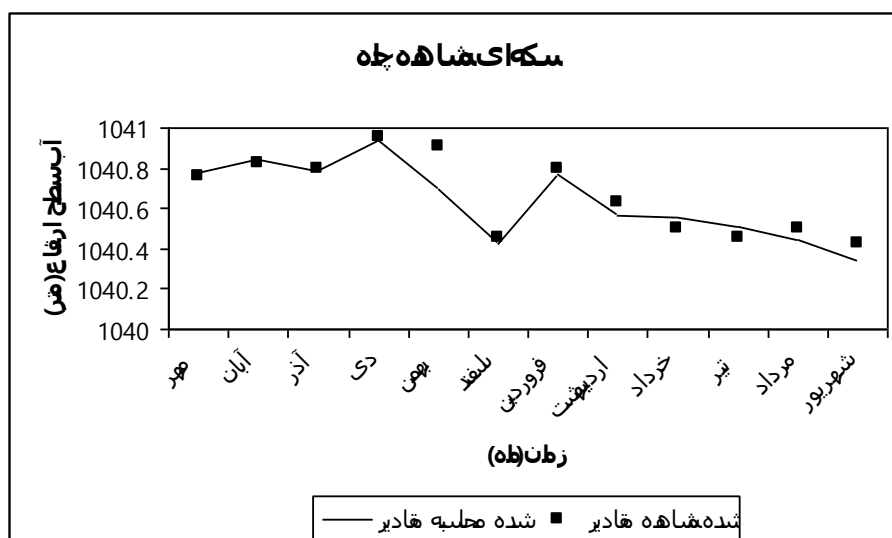
شکل (۱۹-۴): مقایسه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده در چاههای مشاهده‌ای

جاده قدیم، شرق شیروان و امیر آباد

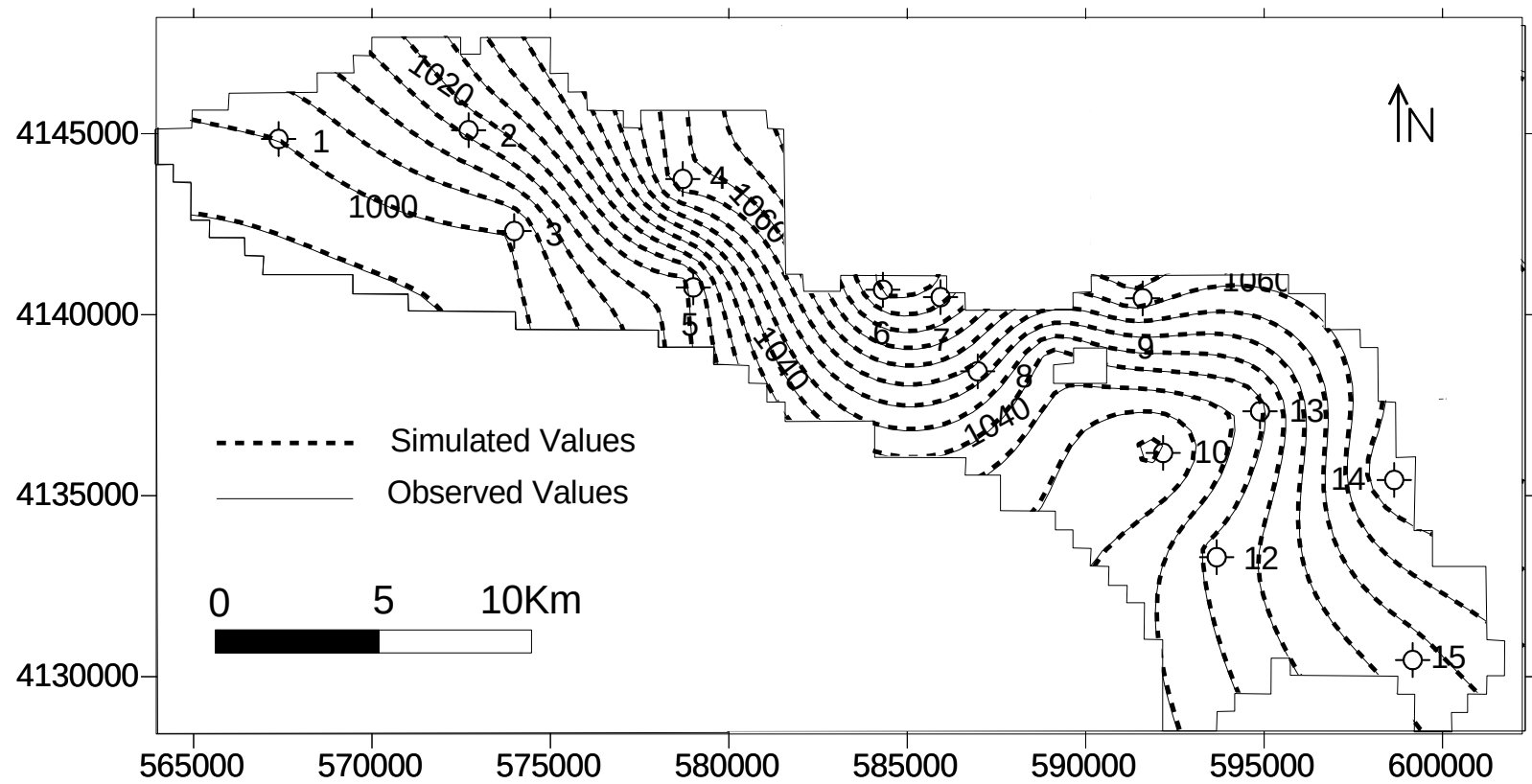


شکل (۴-۲۰): مقایسه مقادیر محاسبه شده و مشاهده شده در چاههای مشاهده‌ای

شمال شرق الله آباد، مزرعه کال و جاده دوین



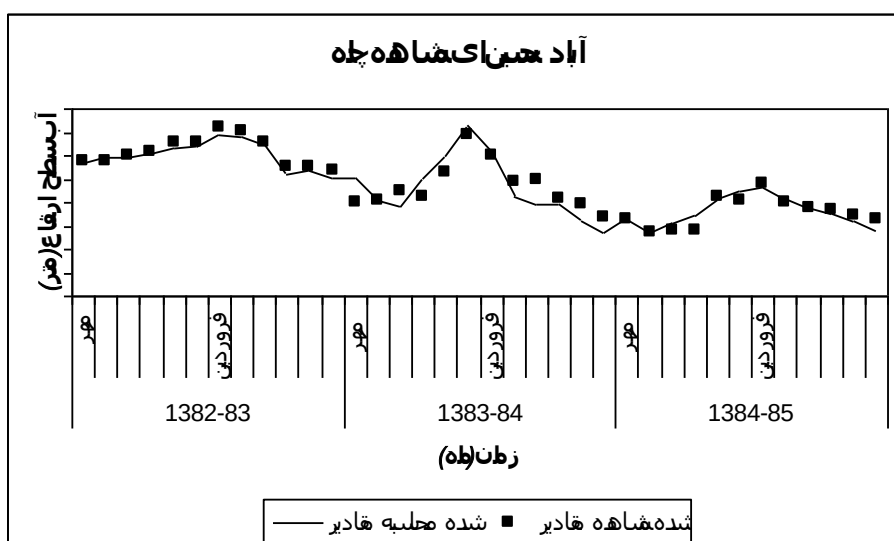
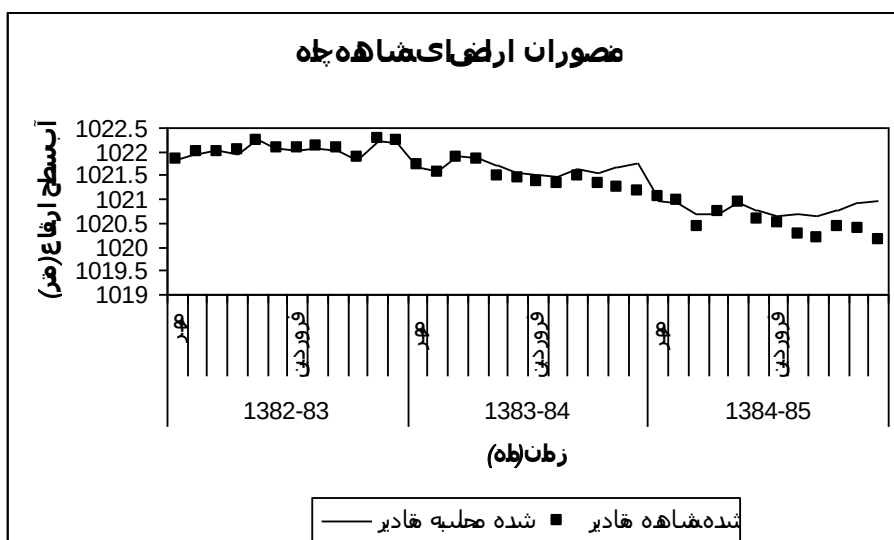
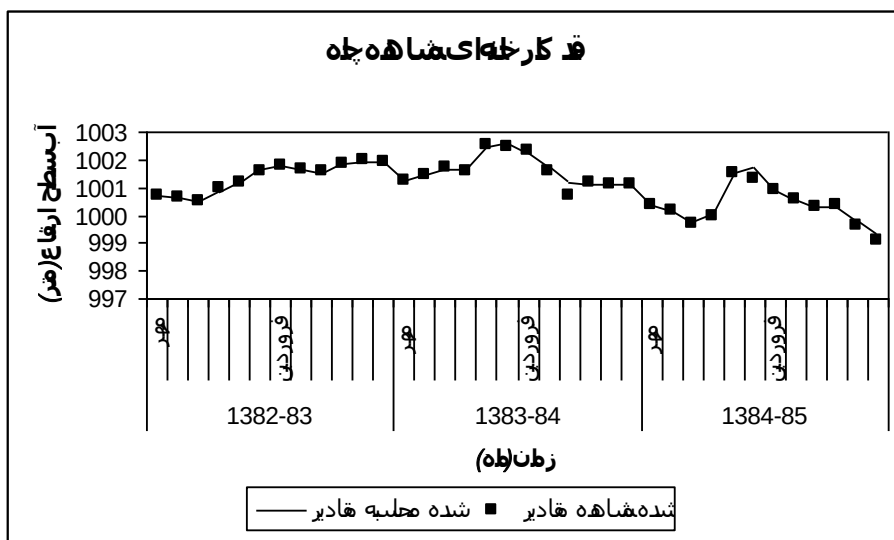
شکل (۴-۲۱): مقایسه مقادیر محاسبه شده و مشاهده شده در چاههای مشاهده‌ای سکه، شورک و برزل آباد



شکل (۴-۲۲): واسنجی مدل برای شرایط ناپایدار دشت شیروان (مهر ۱۳۸۲)

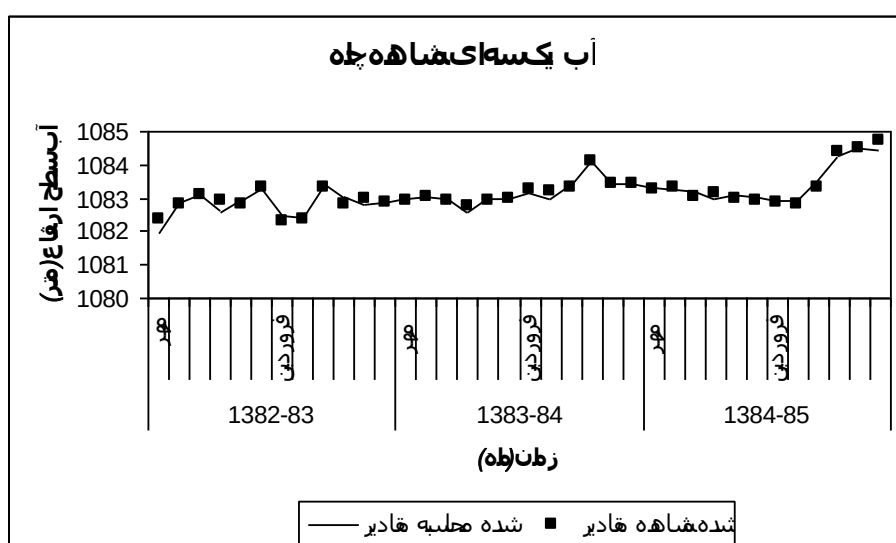
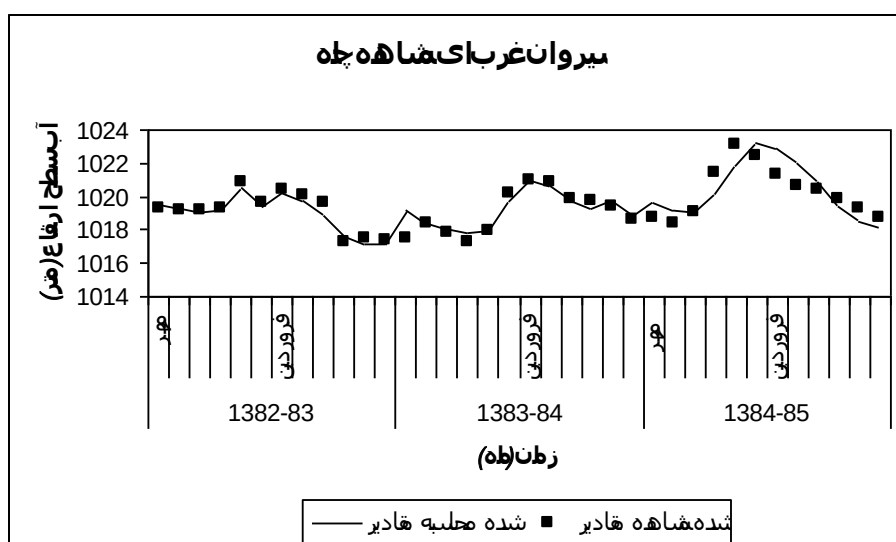
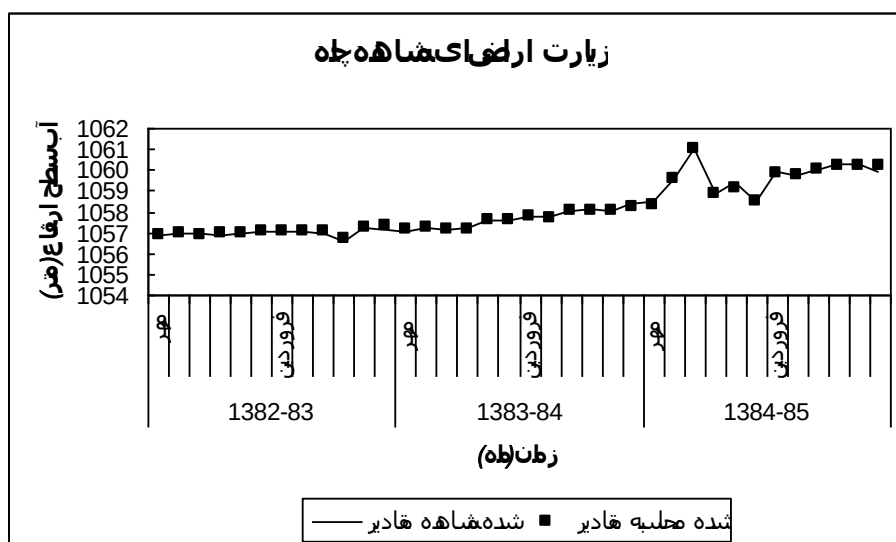
۴-۶- صحت سنجی

در مرحله صحت سنجی (Verification)، با استفاده از داده‌های اضافی که تاکنون مورد استفاده قرار نگرفته است مدل اجرا و شرایط حاصل از مدل با شرایط معلوم و حاکم بر آبخوان مورد مقایسه قرار می‌گیرد. پارامترهای بهینه شده در شرایط پایدار (هدایت هیدرولیکی و فاکتورهای قابلیت هدایت در بسته شرایط مرزی) و ناپایدار (آبدهی ویژه)، در این مرحله تغییر داده نمی‌شوند. مدل ساخته شده برای دو سال آبی ۱۳۸۳-۸۴ و ۱۳۸۴-۸۵ صحت سنجی و با توجه به نتایج خوبی که بدست آمده مدل تأیید شده است. برای هر سال آبی ۱۲ دوره تنش در نظر گرفته شده و داده‌های مشاهده‌ای اولین ماه هر سال آبی (مهر ۱۳۸۳ و مهر ۱۳۸۴) به عنوان شرایط اولیه در نظر گرفته شده است. از آنجائیکه بسته‌های چاه و تغذیه می‌بایست برای هر دوره زمانی بازنویسی گردد پارامترهای تغذیه و چاه بهینه شده در سال آبی ۱۳۸۲-۸۳ به عنوان مقادیر اولیه وارد می‌گردند. در این مرحله نیز بعد از بازبینی، تصحیح اشتباهات احتمالی و رفع خطای اعلام شده توسط برنامه، مدل مزبور پیوسته برای ۱۲ دوره در هر سال آبی اجراء می‌گردد. به منظور انطباق بیشتر بین مقادیر مشاهده‌ای و محاسبه‌ای، پارامتر تغذیه با عنایت به مقادیر بارندگی ماهانه ایستگاه سه‌یک‌آب و دیگر عوامل و همچنین پارامتر برداشت در هر دوره تا حدودی تغییر داده شده است. نتایج نهایی مدل به صورت هیدروگرافهای مقایسه‌ای بین مقادیر مشاهده‌ای و محاسبه‌ای بدست آمده در مرحله صحت سنجی (مهر ۱۳۸۳ تا شهریور ۱۳۸۵) و واسنجی (مهر ۱۳۸۲ تا شهریور ۱۳۸۳) در شکل‌های (۴-۲۳) تا (۴-۲۷) نشان داده شده است.



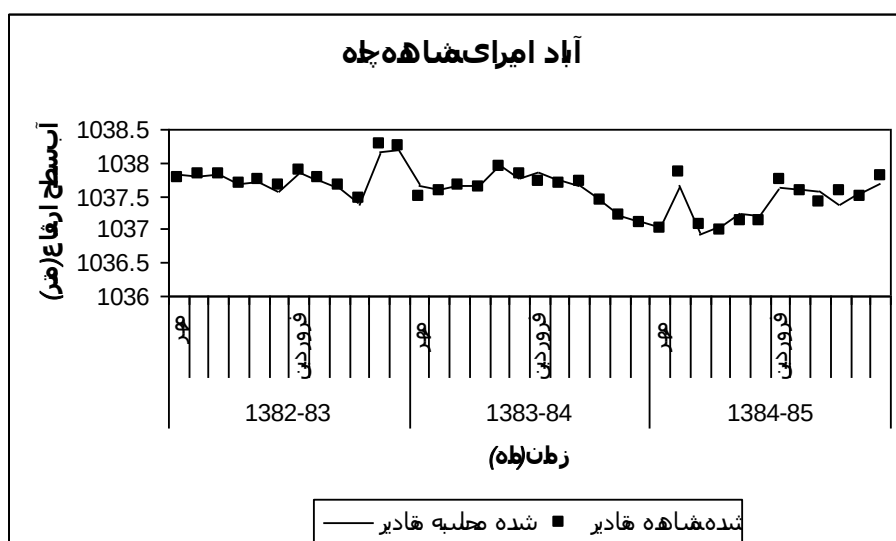
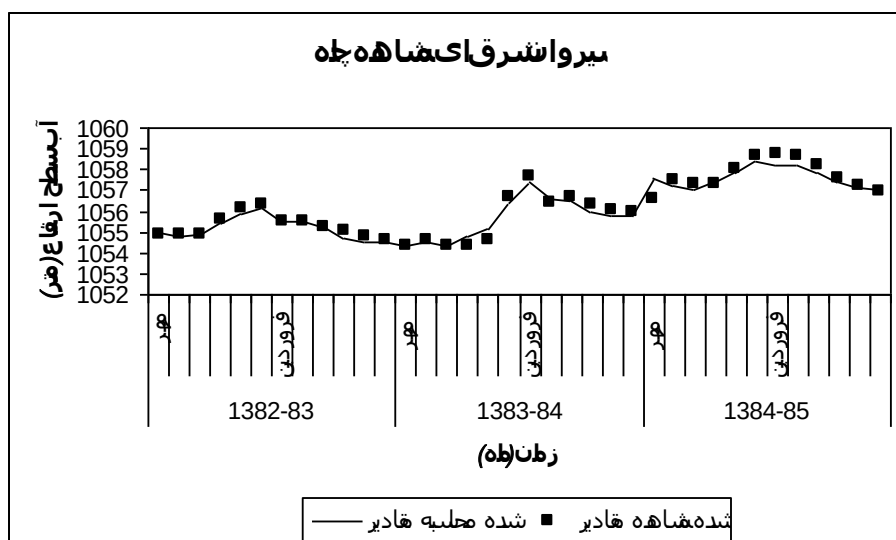
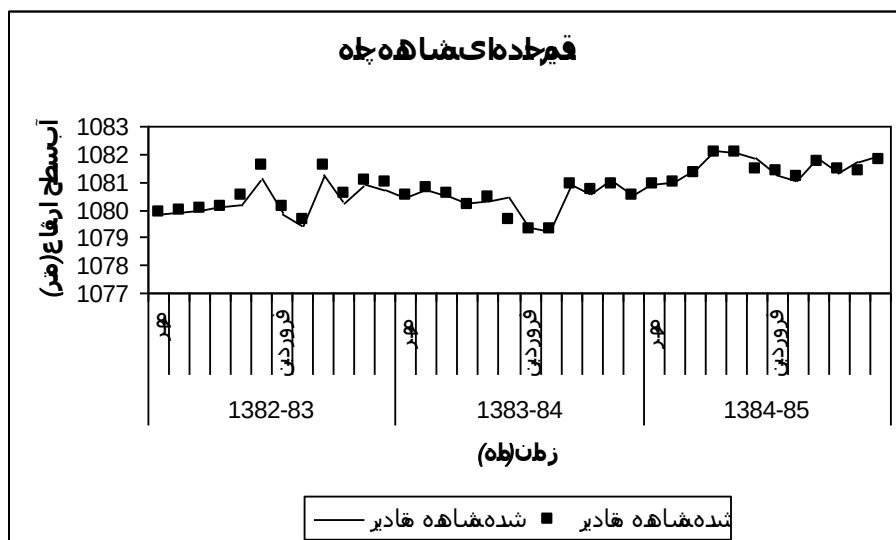
شکل (۴-۲۳): مقایسه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده در چاههای مشاهده‌ای

کارخانه قند، اراضی منصوران و جاده حسین آباد



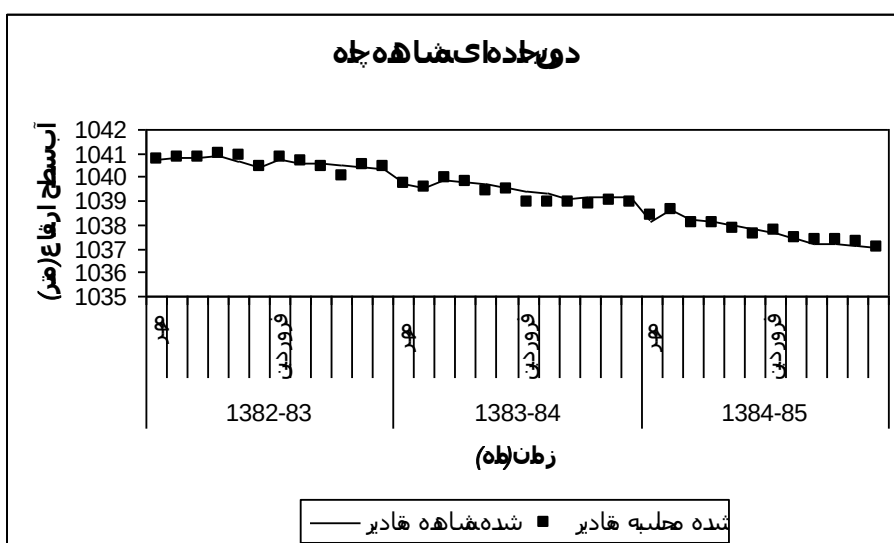
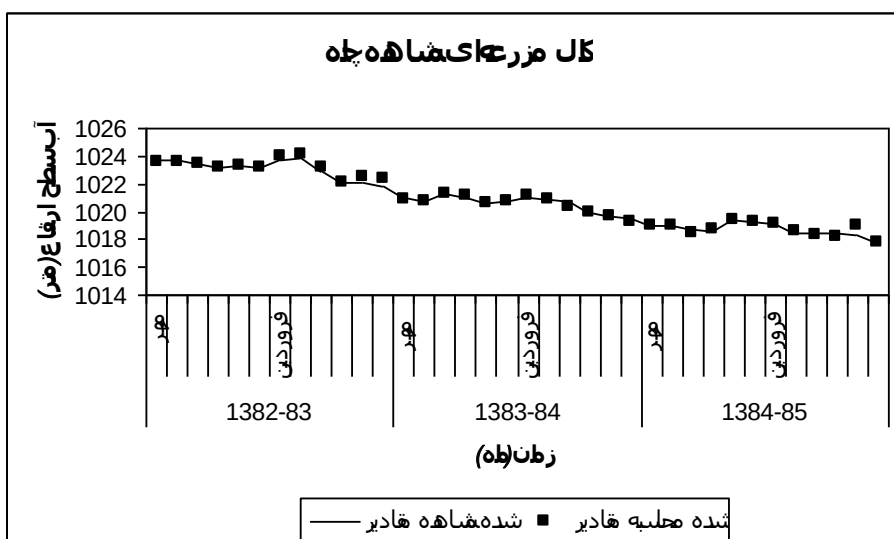
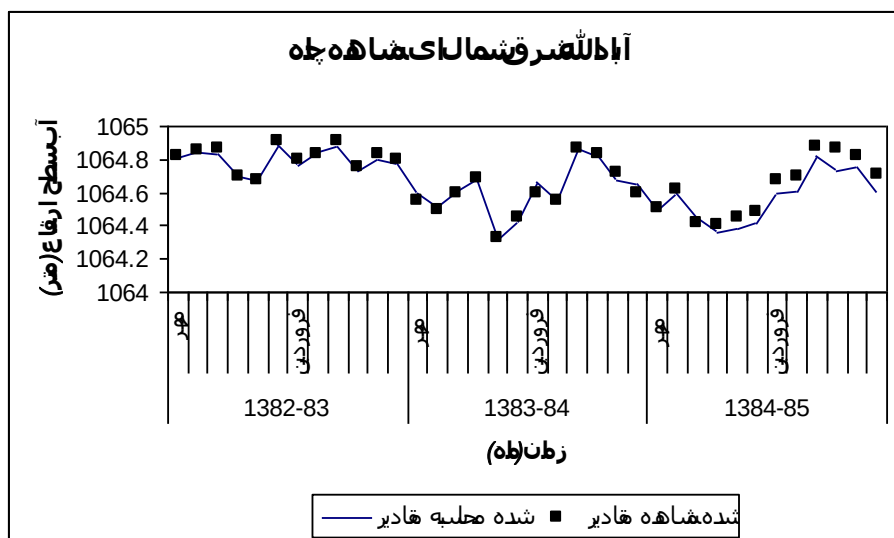
شکل (۴-۲۴): مقایسه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده در چاههای مشاهده‌ای

اراضی زیارت، غرب شیروان و سه یک آب



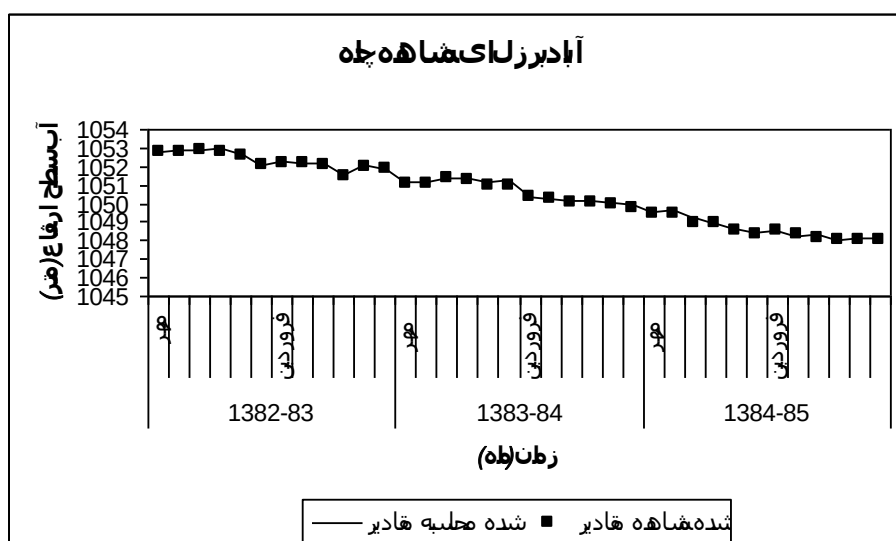
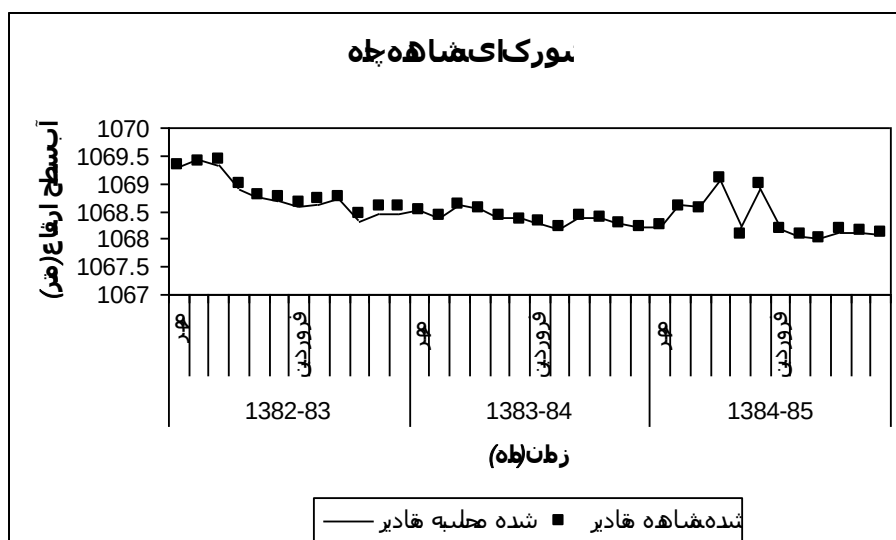
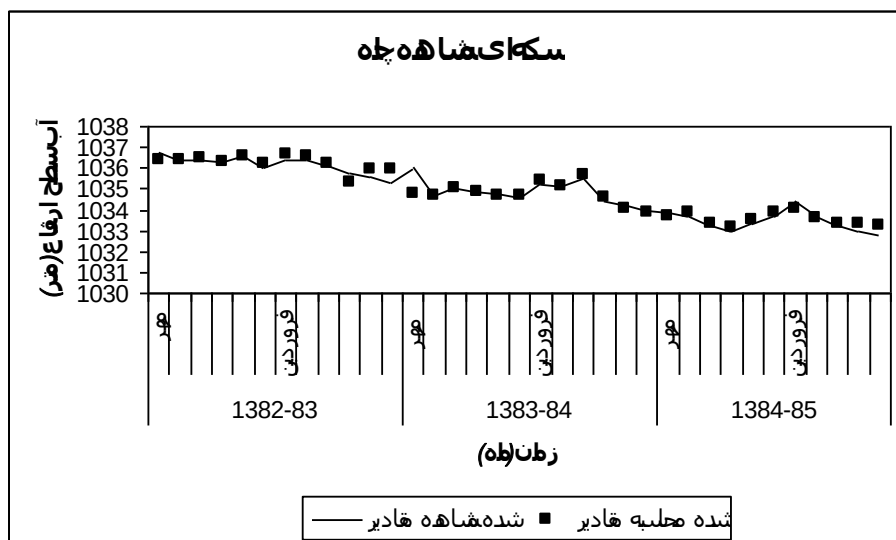
شکل (۴-۲۵): مقایسه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده در چاههای مشاهده‌ای

جاده قدیم، شرق شیروان و امیر آباد



شکل (۴-۲۶): مقایسه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده در چاههای مشاهده‌ای

شمال شرق الله آباد، مزرعه کال و جاده دوین



شکل (۴-۲۷): مقایسه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده در چاههای مشاهده‌ای سکه، شورک و برزل آباد

فصل پنجم: مدیریت آبخوان دشت شیروان

۵-۱- مدیریت آبخوان شیروان

پس از انجام مرحله صحت سنجی و تأیید مدل، می‌توان از مدل ساخته شده برای پیش بینی (Prediction) که هدف اصلی مدلسازی است، استفاده کرد. در میان انواع مختلف مدلها، مدلهایی که در گروه مدلهای پیش‌بینی قرار می‌گیرند، همواره بیشترین توجه بخشهای اجرایی و تحقیقاتی را متوجه خود ساخته است. زیرا این مدلها علاوه بر شبیه سازی سیستم سفره و شناسایی خوب آبخوان، عکس العمل آن را در برابر تنشهای مختلف از قبیل تغذیه، پمپاژ و دیگر عوامل بررسی می‌نماید. با پیش‌بینی عکس العمل سفره در برابر تنشهای مختلف می‌توان یک آبخوان را بهتر مدیریت نمود. هدف مدیریت آبهای زیرزمینی در یک محل، تأمین بیشترین مقدار ممکن آبهای زیرزمینی برای رفع نیازهای همه مصرف‌کنندگان داخل محدوده مورد مطالعه است. رسیدن به شرایط خاص از پیش تعیین شده، مانند شرایط کیفیت آب، محدود کردن هزینه توسعه و عملیات و ملاحظه محدودیتهای خاص قانونی، اجتماعی و سیاسی نیز مد نظر است و نحوه مدیریت باید به نحوی باشد که از اثرات منفی، مانند تخلیه زیاد آب، تخریب کیفیت آب و نشست زمین بر اثر پمپاژ

زیاد آب جلوگیری نماید. اگر در گذشته برنامه ریزی خوبی انجام می‌شد، بسیاری از مشکلات کنونی وجود نداشت. افزایش مداوم جمعیت و افزایش تقاضا برای آب در پی بالا رفتن استاندارد سطح زندگی در دهه‌های اخیر باعث ایجاد وضع نامطلوب فعلی در مورد آبهای زیرزمینی شده است. بهبود وضع آبخوانهای کشور برنامه ریزی دقیقی را می‌طلبد که به مجموعه این مسائل مدیریت منابع آب زیرزمینی گفته می‌شود. آبخوانها را امروزه نمی‌توان به صورت منابع نامحدود آب موجود با کیفیت خوب در نظر گرفت. افزایش فاضلابهای شهری و توسعه صنایع و کشاورزی وضع را به سمت بدتر شدن کیفیت آبهای زیرزمینی پیش می‌برند. در آبخوانهای ساحلی، افزایش تقاضای آب باعث هجوم آب شور در قسمتهای دور از دریا می‌گردد. بروز این مشکلات نشان دهنده نیاز برای اعمال مدیریت آبهای زیرزمینی در مناطق مختلف می‌باشد. لازم به ذکر است که اعمال مدیریت بهینه و اقتصادی آبهای زیرزمینی در یک محل نیاز به بررسی کامل و توأم مدیریت آبهای زیرزمینی و سطحی را دارد. در اکثر مواقع مدیریت جامع آبهای زیرزمینی فقط هنگامی مورد بررسی قرار می‌گیرد که مسائل زیان آور در محل اتفاق افتاده باشد. در گذشته توسعه آبهای زیرزمینی در یک محل معمولاً بر اساس اعمال روشهای مدیریت آبهای زیرزمینی نبوده و عمق و ظرفیت چاهها بر اساس فرمولهای مجزا تعیین می‌گردید. اصولاً مدیریت آبهای زیرزمینی باید با روش سازمان یافته‌ای انجام شود تا قابلیت و قدرت انجام سیاستهای مربوطه را داشته باشد.

در این تحقیق، مدیریت آبخوان شیروان با استفاده از مدل شبیه سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور مدیریت این آبخوان ابتدا با استفاده از نتایج خروجی از اجرای مدل برای شرایط پایدار و ناپایدار، ابتدا برای تمام پریودهای زمانی (مهر ۱۳۸۲ تا شهریور ۱۳۸۵)، اختلاف مجموع حجم تغذیه از سطح و جریان ورودی از طریق مرزهای نفوذپذیر با حجم تخلیه از طریق چاههای بهره‌برداری و جریان خروجی از طریق مرزهای نفوذپذیر بر حسب مترمکعب محاسبه گردیده است (جدول ۵-۱). انجام این کار به روش دستی بسیار وقت گیر و پر زحمت است زیرا لازم است تا اولاً آمار پارامترهای ورودی و خروجی برای زمان مورد نظر به صورت کامل تهیه شوند و ثانیاً تمام این

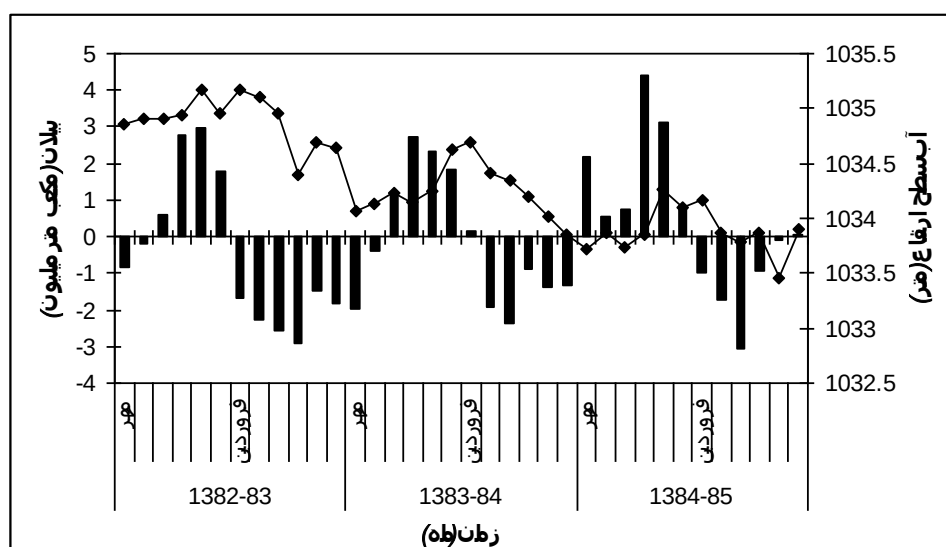
مقادیر در معادله بیلان قرار گیرند و محاسبات در مورد آنها انجام شود. در حالی که مدل قابلیت تکمیل آمار را در صورت وجود نقص در آن‌ها دارد و محاسبات را نیز بصورت خودکار انجام می‌دهد.

جدول (۵-۱): حجم تغذیه، تخلیه، جریانهای ورودی، خروجی و بیلان در سه سال واسنجی بر حسب متر مکعب

بیلان	جریانهای خروجی	جریانهای ورودی	چاه	تغذیه	زمان	
					ماه	سال
۱۳۸۱-۸۲	-845286	591011	123771	-5530696	5152650	مهر
	-191969	665713	159336	-5095718	5410125	آبان
	599459	857564	228216	-5224268	6453075	آذر
	2760685	764523	215232	-882540	4192515	دی
	2991026	781075	208941	-677100	4240260	بهمن
	1809839	1090560	177074	-1338000	4061325	اسفند
	-1698249	707088	391781	-5539190	4156248	فروردین
	-2245617	738336	315564	-5302517	3479673	اردیبهشت
	-2558642	851933	350434	-5490682	3433540	خرداد
	-2923607	786255	295687	-5917827	3484788	تیر
	-1488870	595830	495213	-5142275	3754023	مرداد
	-1828465	597137	380606	-5104285	3492352	شهریور
۱۳۸۳-۸۴	-1978922	754303	117167	-6494211	5152425	مهر
	-372510	733226	130992	-5448226	5677950	آبان
	1156472	738699	199046	-4897726	6593850	آذر
	2735908	725244	235111	-921009	4147050	دی
	2347512	731380	222523	-751431	3607800	بهمن
	1851937	945741	211220	-1210341	3796800	اسفند
	159589	1054115	385597	-5476441	6304548	فروردین
	-1913684	1018965	317723	-5332342	4119900	اردیبهشت
	-2371670	963408	272653	-5708841	4027926	خرداد
	-254180	1367362	242113	-5667916	6538985	تیر
	-1378321	958275	431153	-5375960	4524760	مرداد
	-1342815	905746	305801	-5196098	4453228	شهریور
۱۳۸۴-۸۵	2180067	1104469	390985	-5594394	8487945	مهر
	556962	914400	191919	-5102081	6381525	آبان
	757152	934175	202937	-5263186	6751575	آذر
	4415404	1328445	260818	-804009	6287040	دی
	3140125	1026377	204712	-656169	4617960	بهمن
	856087	1091018	207829	-1122297	2861573	اسفند
	-992002	1095242	383807	-5585364	5304798	فروردین

اردیبهشت	4515383	-5426473	284261	1122563	-1749393
خرداد	3454310	-5768610	330750	1064375	-3047926
تیر	6409312	-6092672	248351	1500312	-935321
مرداد	6276493	-5297365	441946	1530674	-109600
شهریور	6557740	-5284010	319151	1539382	53497.8

لازم به توضیح است که حجم تغذیه از سطح برای کلیه دوره های زمانی، شامل تغذیه ناشی از بارندگی و آب برگشتی کشاورزی می باشد. همچنین حجم تخلیه شامل برداشت از طریق چاههای بهره برداری و قنوت واقع در محدوده مدل (چشمه ای در محدوده مدل قرار نگرفته است) می باشد. در شکل (۱-۵) بیلان ماهانه سطح آب در مقابل ارتفاع واحد سطح آب برای سه سال واسنجی نشان داده شده است. همانطور که شکل (۱-۵) نشان می دهد ارتباط نسبتاً خوبی بین ارتفاع واحد سطح آب آبخوان و بیلان ماهانه آبخوان وجود دارد.

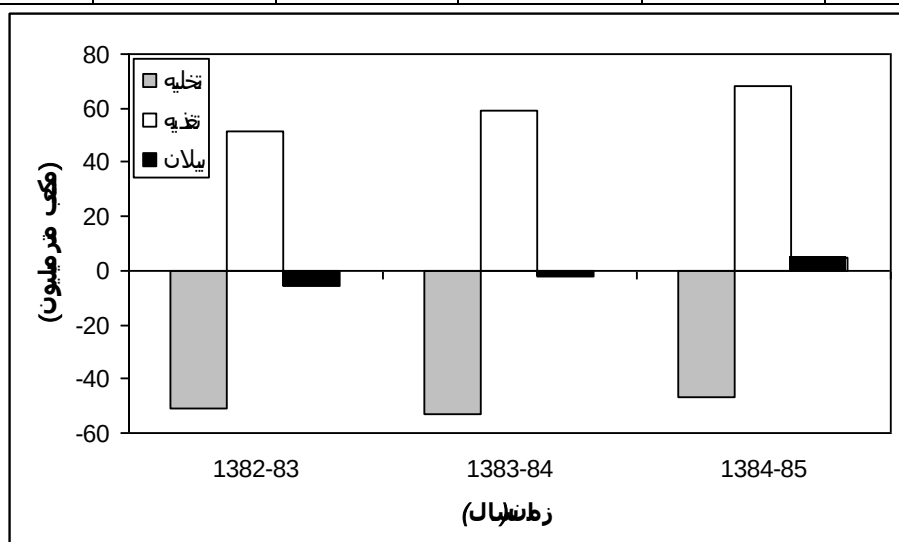


شکل (۱-۵): بیلان ماهانه آبخوان در مقابل ارتفاع واحد سطح آب

حجم جریانهای ورودی، خروجی، تخلیه، تغذیه و بیلان سالانه محدوده آبخوان در جدول (۲-۵) آورده شده است. همچنین در شکل (۲-۵) حجم تخلیه، تغذیه و بیلان سالانه به صورت نمودار نشان داده شده است.

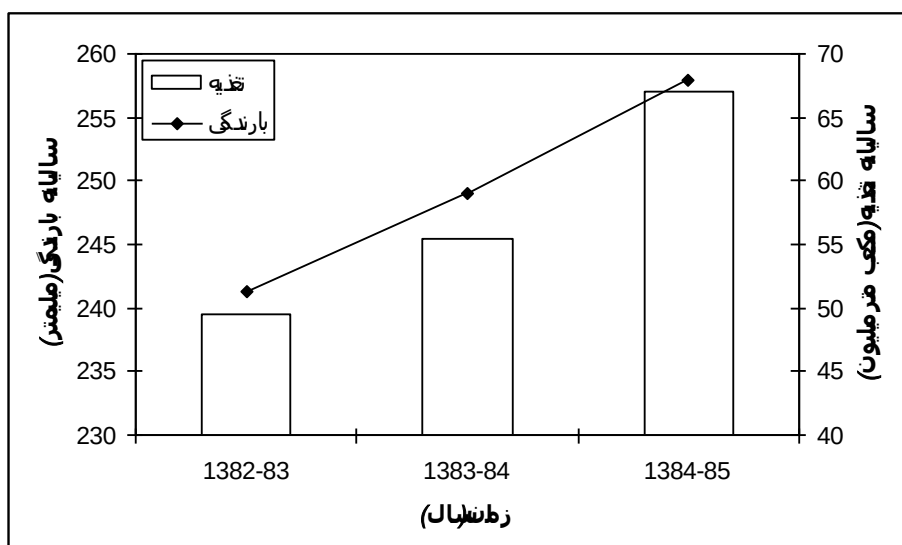
جدول (۲-۵): حجم جریانهای ورودی، خروجی، تخلیه، تغذیه و بیلان سالانه بر حسب میلیون متر مکعب

زمان	تغذیه	تخلیه	جریانهای ورودی	جریانهای خروجی	بیلان
۱۳۸۲-۸۳	51.3106	-51.245	3.34185	9.02703	-5.6197
۱۳۸۳-۸۴	58.9452	-53.11	3.0711	10.8965	-1.9897
۱۳۸۴-۸۵	67.9	-46.713	3.46747	14.2514	5.07156



شکل (۲-۵): مقایسه حجم تخلیه، تغذیه و بیلان سالانه بر حسب میلیون متر مکعب

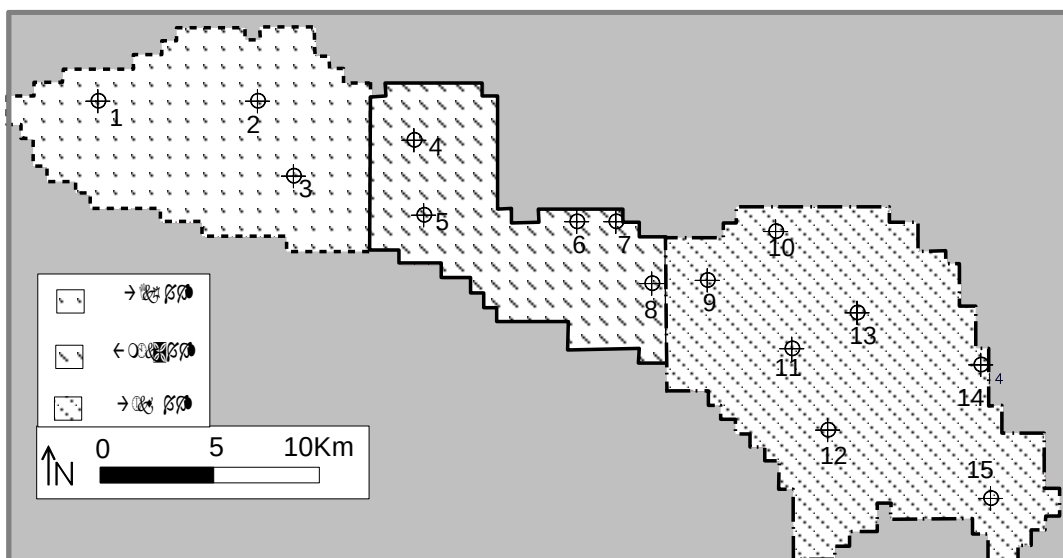
همانطور که در شکل (۲-۵) نیز مشخص است میزان تخلیه آبخوان توسط چاههای بهره‌برداری در سه سال مورد بررسی روندی افزایشی را نشان می‌دهد. روند تغذیه آبخوان نیز، افزایشی می‌باشد. افزایش تغذیه آبخوان در سه سال مورد بررسی با ارتفاع بارندگی سالیانه آبخوان تطابق خوبی را نشان می‌دهد (شکل ۳-۵).



شکل (۵-۳): مقایسه بین بارندگی سالیانه منطقه و نفوذ مؤثر سالانه محدوده مدل

نتایج بیلان بدست آمده نیز روندی افزایشی را نشان می‌دهد به طوری که از ۵/۶۱- میلیون متر مکعب در سال ۱۳۸۲-۸۳ به ۱/۹۸- میلیون متر مکعب در سال ۱۳۸۳-۸۴ رسیده و در سال ۸۵- ۱۳۸۴ بیلان به ۵/۰۷+ میلیون متر مکعب می‌رسد. نتایج بیلان بدست آمده را می‌توان قابل قبول دانست. زیرا اگر افت سطح آب را در هر سال با کم کردن ارتفاع واحد سطح آب در آخرین ماه سال آبی (شهریور) از اولین ماه (مهر) برای سه سال مورد مطالعه بررسی شود به ترتیب اعداد ۲۱/۰-، ۲۲/۰- و ۱۸/۰+ به دست می‌آید همانطور که نتایج بدست آمده از هیدروگراف واحد نیز نشان می‌دهد در دو سال اول سطح آب زیرزمینی در انتهای سال آبی، با افت سطح آب مواجه بوده، به عبارتی بیلان آب در این دو سال منفی بوده است در حالیکه در سال سوم نه تنها افتی به وجود نیامده است بلکه ارتفاع سطح آب در انتهای سال ۱۸/۰+ متر بالا رفته است که با بیلان مثبت به دست آمده از مدل همخوانی دارد. مثبت شدن بیلان در این سال را می‌توان به افزایش بارندگی و گسترش شبکه آبیاری سد نسبت داد. اگر چه نتایج بیلان به دست آمده از مدل و هیدروگراف واحد سطح آب روندی افزایشی را نشان داده و بیان کننده بهبود وضعیت آبخوان می‌باشد اما با بررسی هیدروگراف ۱۵ چاههای مشاهده‌ای موجود در محدوده مدل مشخص می‌شود که به جز

چاههای قرار گرفته در محدوده شبکه آبیاری سد بارزو بقیه چاهها روندی کاهشی را نشان می‌دهند. به منظور مدیریت بهتر و همچنین تأثیر شبکه آبیاری سد بارزو بر آبخوان، دشت مورد مطالعه را به سه منطقه (شکل ۵-۴) شرقی، مرکزی (محدوده تحت تأثیر سد) و غربی تقسیم نموده و بیلان آبی برای هر منطقه بصورت مجزا محاسبه شده است. خوشبختانه مدل MODFLOW این قابلیت را دارد که علاوه بر تعیین خلاصه بیلان آبی برای تمامی نواحی مورد بررسی، بیلان را برای مناطقی کوچکتری که به صورت محدوده‌های بسته‌ای در مدل تعریف می‌شوند را نیز محاسبه کند. مدل هر یک از این محدوده‌های بسته، به عنوان یک سیستم مجزا در نظر گرفته و پارامترهای ورودی و خروجی را برای این محدوده در هر دوره زمانی محاسبه و مقادیر آن را تعیین می‌کند.



شکل (۵-۴): منطقه بندی آبخوان شیروان به سه منطقه شرقی، مرکزی و غربی

۵-۱-۱- منطقه شرقی

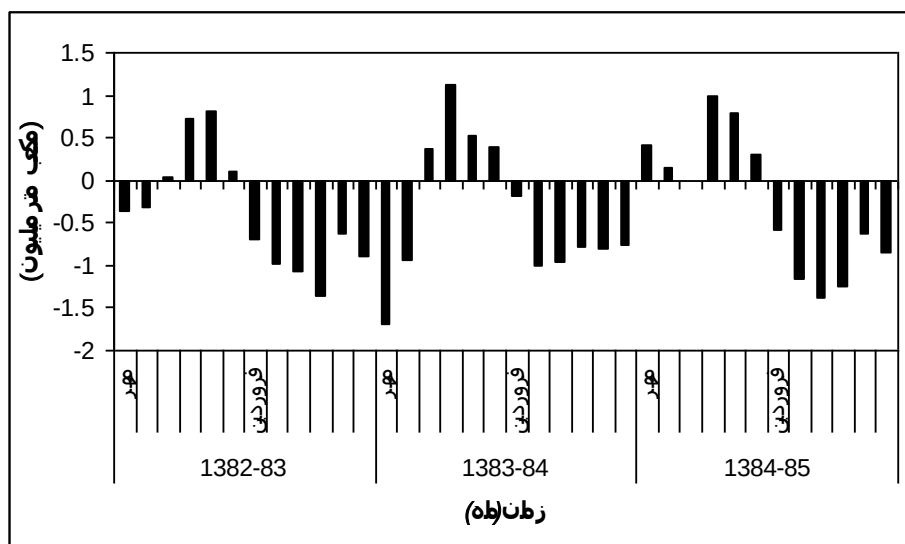
این منطقه از ابتدای آبخوان شروع شده و تا محدوده تحت تأثیر سد ادامه می‌یابد در این بخش یک مخروط افت وجود دارد. نتایج بدست آمده توسط مدل در غالب حجم تغذیه، تخلیه و بیلان

آب بر حسب متر مکعب برای سه سال واسنجی در جدول (۴-۵) آورده شده است. همچنین در شکل (۵-۵) بیلان ماهانه این بخش آورده شده است. به جز ماههای دی، بهمن، اسفند و آذر (که اغلب چاههای منطقه غیر فعال می باشند) در بقیه ماهها، بیلان آبی این منطقه از آبخوان منفی می باشد. یعنی حجم آبهای ورودی کمتر از حجم آبهای خروجی می باشد. حجم تغذیه، تخلیه و بیلان آبی سالانه در جدول (۴-۵) آورده شده است. شکل (۶-۵) نیز تغذیه، تخلیه و بیلان سالانه را نسبت به هم نشان می دهد.

جدول (۳-۵): حجم تغذیه، تخلیه، جریانهای ورودی، خروجی تغییرات افقی و بیلان بدست آمده توسط مدل برای منطقه شرقی در سه سال واسنجی بر حسب متر مکعب

بیلان	تغییرات افقی	جریانهای خروجی	جریانهای ورودی	چاه	تغذیه	زمان	
						سال	ماه
-366832	61333	236155	10787	-2367521	2164725	۱۳۸۲-۱۳۸۱	مهر
-319546	60537.4	163076	10486.2	-2168044	1940550		آبان
46606.6	50009	251786	4052.39	-2173594	2417925		آذر
719613	53953	212717	4644.06	-464957	1338690		دی
809915	53442.3	147431	10116.3	-394427	1288215		بهمن
107173	48725.3	141625	14389.5	-927017	1112700		اسفند
-703460	56581.1	160025	5289.75	-2071219	1465913		فروردین
-970360	57153.5	155489	6276.21	-2079551	1201250		اردیبهشت
-1074464	43667.3	149941	68806.6	-2223114	1186117		خرداد
-1347261	49971.7	197046	18107.6	-2560207	1341913		تیر
-616342	51942.8	129348	30787.8	-1967748	1398023		مرداد
-898881	55711.4	128209	29048.6	-1973253	1117821		شهریور
-1681892	57997.3	171265	10469.2	-2933368	1354275	۱۳۸۱-۱۳۸۰	مهر
-933502	58879.8	90315.6	19467.9	-2436684	1515150		آبان

	آذر	2250225	-1841184	14139.6	112587	50970.5	361564
	دی	1704375	-491427	16269.2	169662	53896.2	1113451
	بهمن	948225	-432759	47986.3	80439.3	52776.7	535790
	اسفند	1350750	-922359	25698.6	103666	51210.3	401634
	فروردین	2118695	-2146696	0	210035	63908.3	-174127
	اردیبهشت	1132818	-2081753	10328.3	125506	61198.2	-1002915
	خرداد	1555676	-2394738	30696.4	189218	45836.8	-951747
	تیر	1775370	-3021474	11315.1	236531	52152.5	-790893
	مرداد	1326568	-2113941	31622.2	107510	54910.4	-808350
	شهریور	1261235	-1992181	27055.4	113328	60151.3	-757068
	مهر	2755950	-2352320	39098.9	104518	80643.2	418854
۱۳۸۴-۸۵	آبان	2388450	-2222320	21622.3	120036	76532	144248
	آذر	2341500	-2293512	3473.24	130924	69117.3	-10344.9
	دی	1536990	-438027	5999.87	179604	69256.7	994616
	بهمن	1153290	-340497	15985.2	96947.5	66509.9	798341
	اسفند	1067010	-742287	30636.7	115810	63541.4	303092
	فروردین	1598825	-2093647	10483.1	164884	71265.6	-577957
	اردیبهشت	1104298	-2225252	13460.2	117903	71442.3	-1153954
	خرداد	1156590	-2539488	74596.1	135240	56899.9	-1386642
	تیر	1666870	-2765160	12818.8	216525	60930.6	-1241066
	مرداد	1504120	-2095248	20429.7	118436	61537.5	-627596
	شهریور	1280920	-2100589	19601.5	111855	62986.2	-848936



شکل (۵-۵): نمودار بیلان ماهانه منطقه شرقی

جدول (۴-۵): حجم تغذیه، تخلیه و بیلان آبی سالانه منطقه شرقی بر حسب میلیون متر مکعب

زمان	تغذیه	تخلیه	جریانهای ورودی	جریانهای خروجی	تغییرات افقی	بیلان
۱۳۸۲-۸۳	17.9738	-21.3707	0.21279	2.07285	0.64303	-4.61384
۱۳۸۳-۸۴	18.2934	-22.1803	0.24505	1.71006	0.66389	-4.68805
۱۳۸۴-۸۵	19.5548	-22.2083	0.26821	1.61268	0.81066	-3.18735



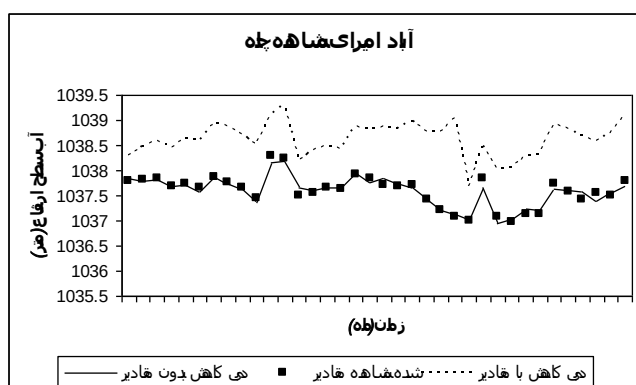
شکل (۴-۵): مقایسه مقادیر تغذیه، تخلیه و بیلان سالانه منطقه شرقی

نتایج محاسبه شده توسط مدل نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه در سه سال واسنجی به ترتیب ۴/۶۱، ۴/۶۸ و ۳/۱۸ میلیون متر مکعب کسری مخزن دارد. در مدیریت آبخوان با استفاده از مدل شبیه سازی، در صورت بحرانی بودن وضعیت آبخوان دو گزینه مدیریتی کاهش تخلیه و افزایش تغذیه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

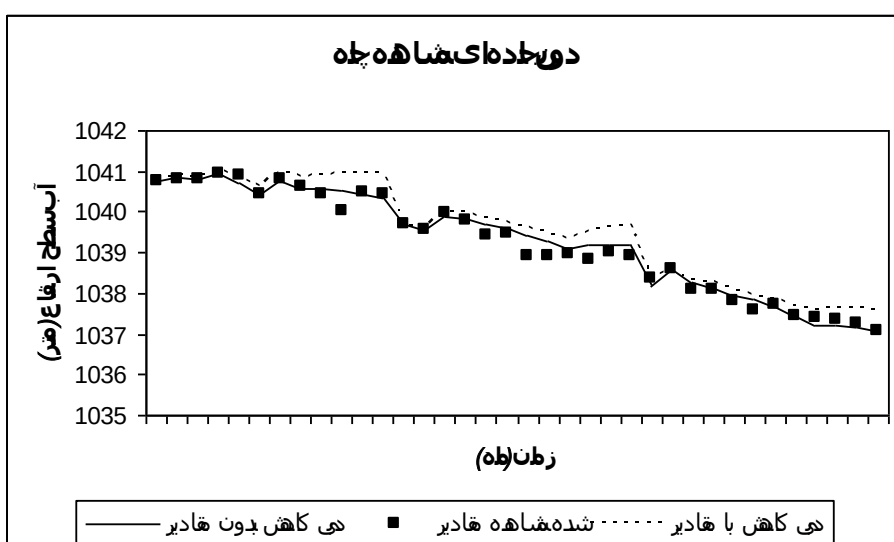
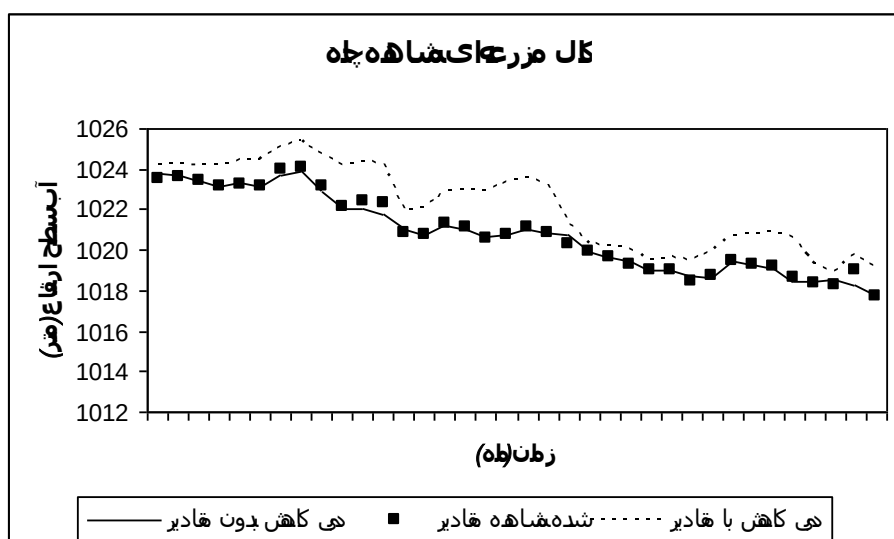
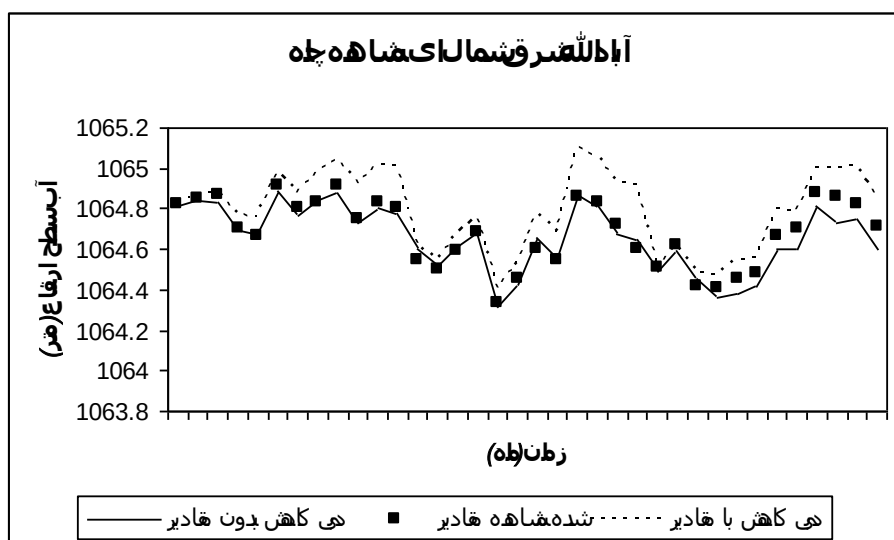
۵-۱-۱-۱- کاهش تخلیه آبخوان

برای بررسی گزینه کاهش تخلیه ابتدا بر اساس اطلاعات آخرین آمار برداری سال (۱۳۸۱) ساعات کارکرد سالیانه چاههای بهره برداری این منطقه استخراج شده است. ساعات کارکرد سالیانه این

منطقه ۳۵۲۹۶۵ ساعت می‌باشد که با توجه به نتایج به دست آمده از مدل سالیانه به طور متوسط ۲۲ میلیون متر مکعب آب از این منطقه خارج می‌شود که حدود ۴ میلیون متر مکعب از این آب اضافه برداشت می‌باشد. برای جبران این کسری مخزن بر اساس مطالب ذکر شده می‌بایست ۲۰ درصد از ساعات کارکرد چاههای بهره‌برداری کاهش یابد. بر همین اساس مدل با ۲۰ درصد کاهش دبی برای سه سال واسنجی اجرا گردید. مقادیر سطح آب چاههای مشاهده‌ای قرار گرفته در این منطقه با ۲۰ درصد کاهش دبی در قیاس با مقادیر سطح آب بدون کاهش دبی و مقادیر مشاهده شده در سه سال واسنجی در شکل (۷-۵) تا (۹-۵) نشان داده شده است. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده از مدل بیلان سالانه این منطقه محاسبه و در شکل (۱۰-۵) بر حسب میلیون متر مکعب نشان داده شده است.

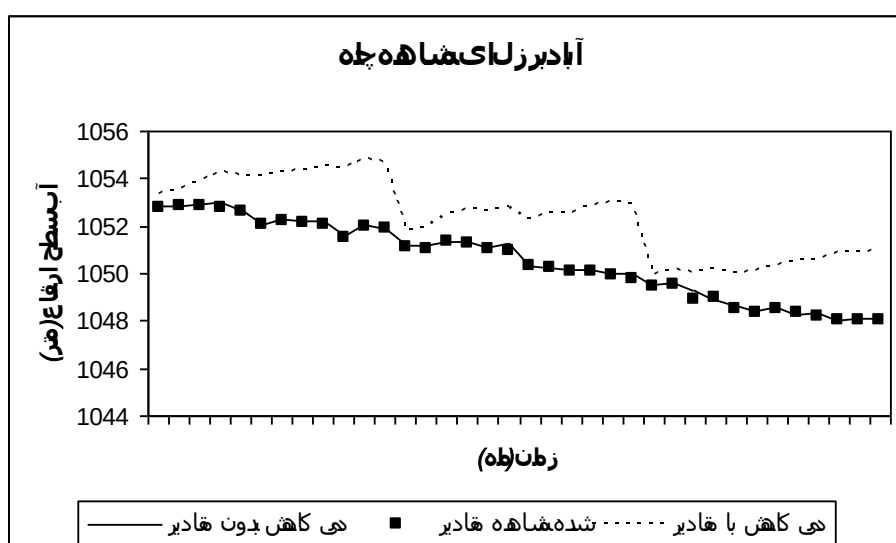
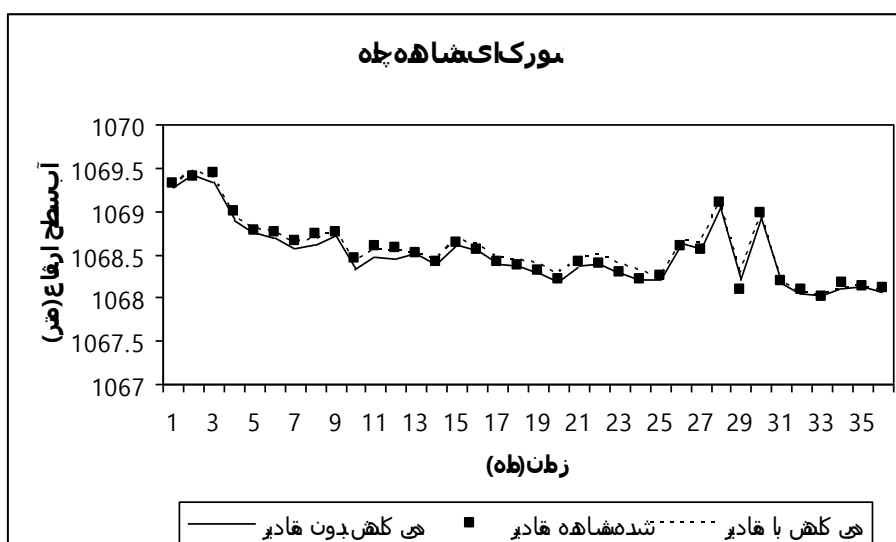
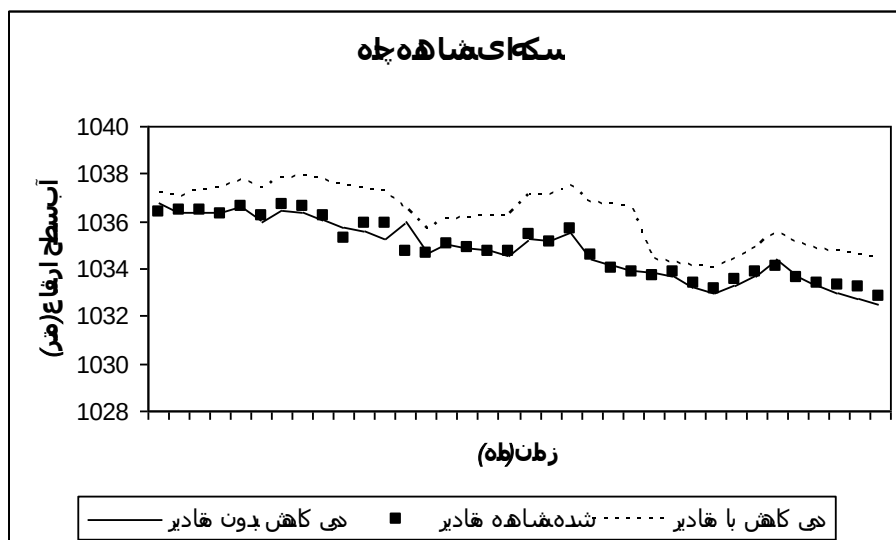


(۷-۵): نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال ۲۰ درصد کاهش دبی در چاه مشاهده‌ای امیر آباد



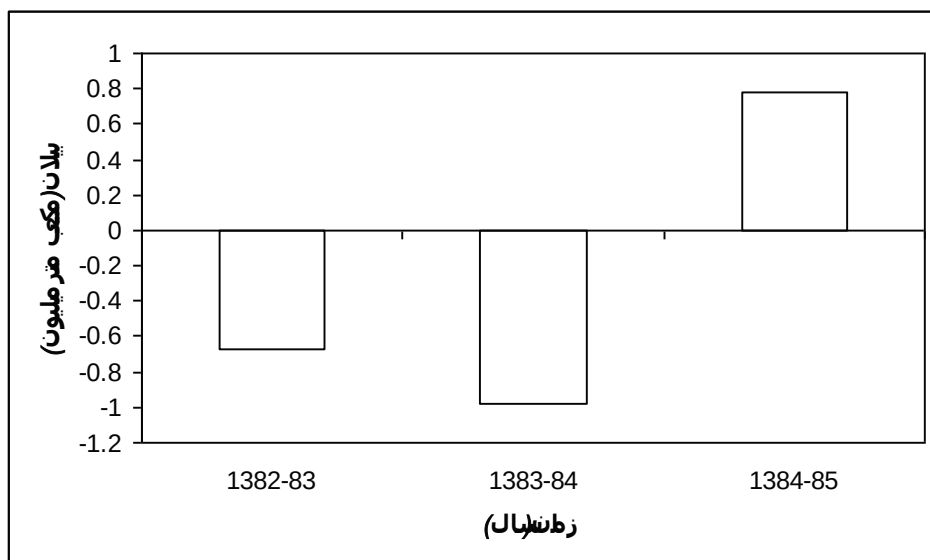
(۸-۵): نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال ۲۰ درصد کاهش دبی در چاههای مشاهده‌ای

شمال شرق الله آباد، مزرعه کال و جاده دوین



(۹-۵): نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال ۲۰ درصد کاهش دبی در چاه‌های مشاهده‌ای

سکه، شورک و برزل آباد



شکل (۵-۱۰): بیلان سالانه با اعمال ۲۰ درصد کاهش دبی در چاه‌های بهره برداری

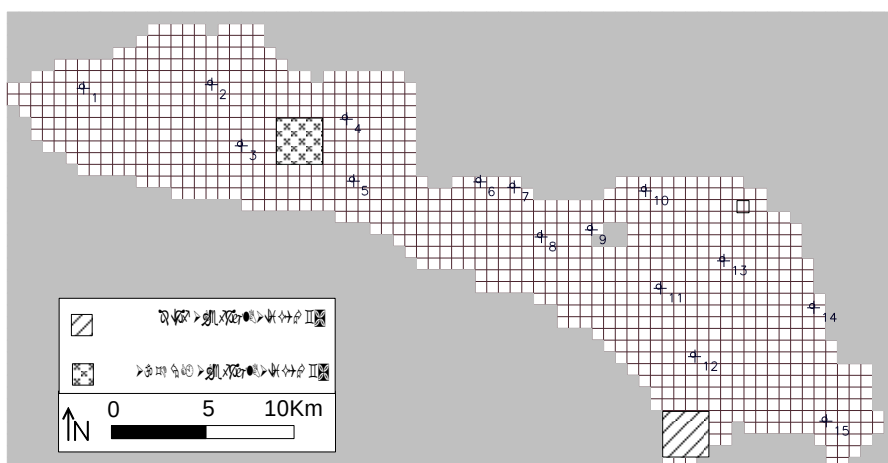
۵-۱-۱-۲- تغذیه مصنوعی

اصولاً تغذیه مصنوعی به منظور وارد کردن آب به سفره‌های آب زیرزمینی به منظور استفاده مجدد از آن با رژیم و کیفیتی متفاوت انجام می‌شود. امروزه تغذیه مصنوعی با اهداف تغییر در کیفیت شیمیایی، فیزیکی، جلوگیری از نوسانات شدید سطح ایستابی، بالا آوردن سطح ایستابی و افزایش و یا کاهش درجه حرارت انجام می‌شود. اما هدف اصلی توسعه طرح‌های تغذیه مصنوعی در مناطق خشک تقویت سفره‌های آب زیرزمینی و ایجاد تعادل در رژیم بهره‌برداری از منابع آب است. تصمیم‌گیری در مورد اجرای یک طرح تغذیه مصنوعی بستگی به عوامل زیادی از جمله وجود آب و زمین کافی، نفوذپذیری مناسب، مسائل اقتصادی و دیگر عوامل دارد. به طور کلی برای اجرای یک طرح تغذیه مصنوعی سه عامل محل، حجم و زمان تغذیه می‌بایست تعیین گردد. برای بررسی تغذیه مصنوعی در این منطقه پس از مطالعات هیدرولوژی مشخص شد که حوضه آبریز رودخانه اوغاز و مسیل دوین در محدوده حوضه آبریز این منطقه قرار می‌گیرد. یکی از ویژگی‌های دشت شیروان،

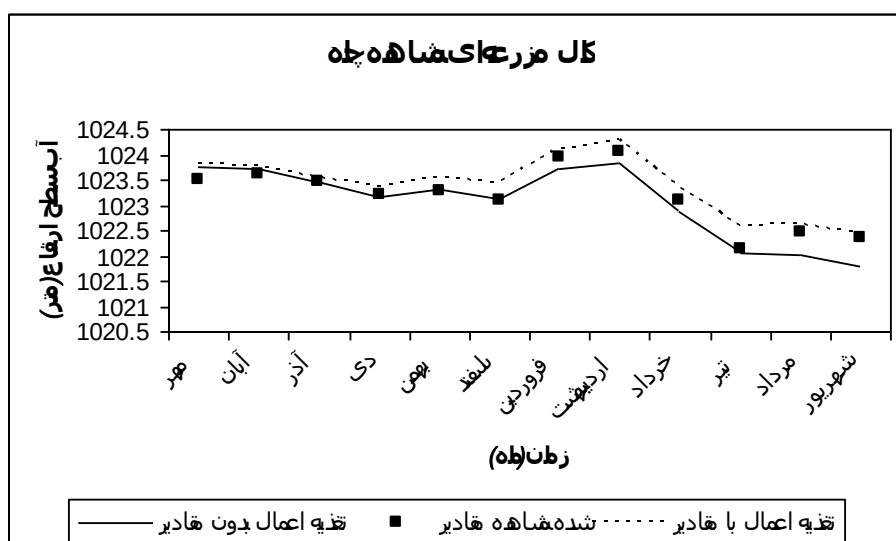
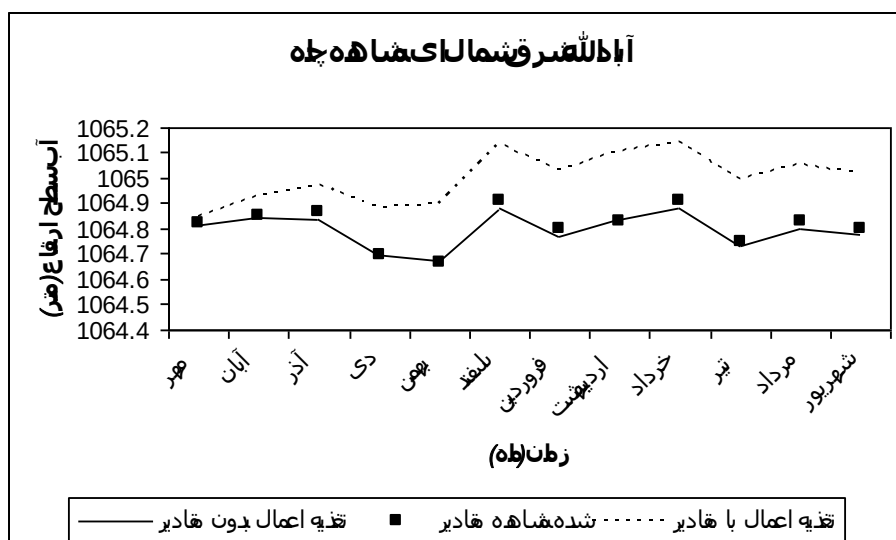
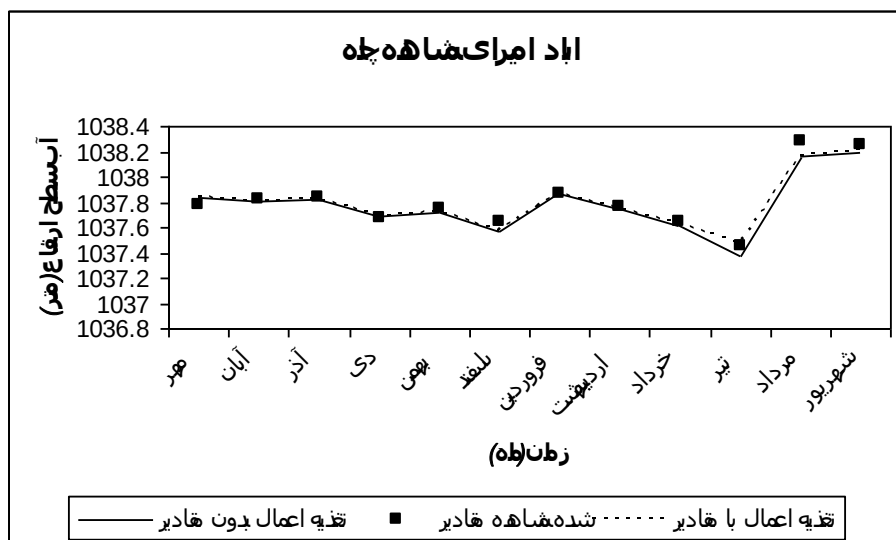
وجود اراضی کشت دیم و آبی حتی در مخروطه افکنه رودخانه‌ها است که باعث بروز مشکلات استملاک اراضی برای اجرای طرح تغذیه خواهد شد (جاماب ۱۳۷۴)

الف- مسیل دوین

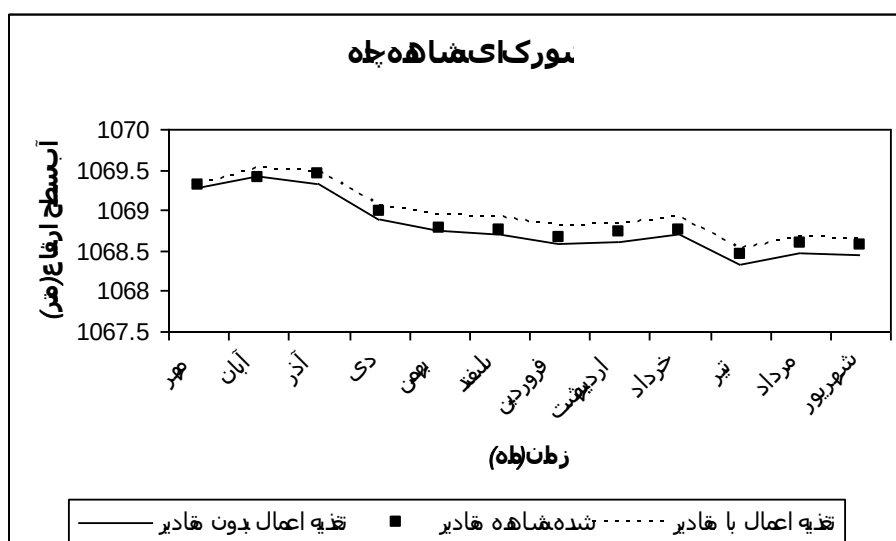
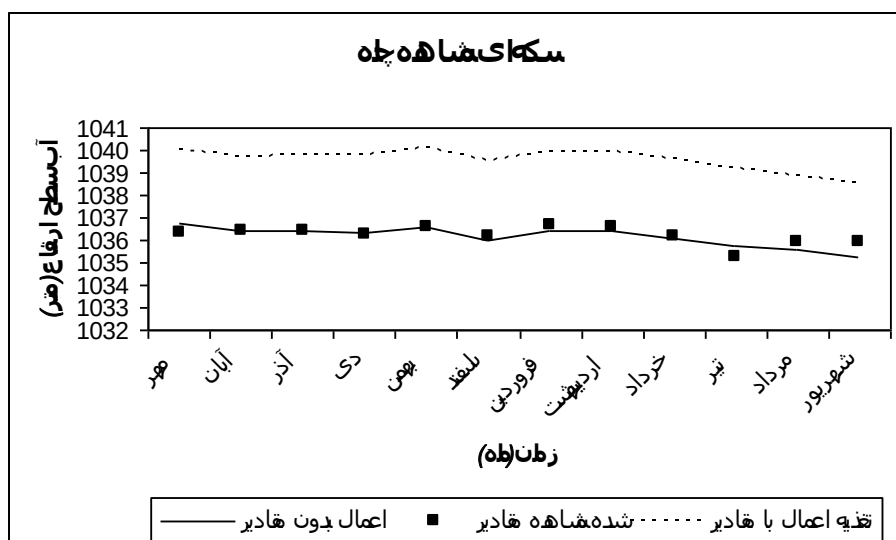
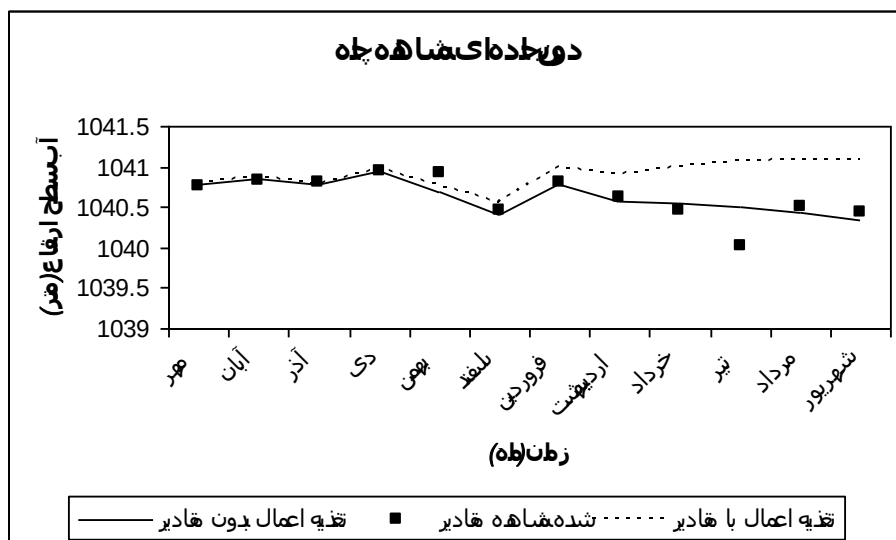
این مسیل در ۱۵ کیلومتری جنوب شرقی شیروان، حوالی روستای دوین وارد دشت می‌شود. روستای دوین، گنج آباد و محمد آباد از آب دائمی چشمه و آبراهه استفاده می‌کنند و در محدود مواردی سیلاب ناشی از بارندگی شدید به دشت و سپس به رودخانه اترک می‌ریزد. بخش عمده جریان سیل این آبراهه مورد استفاده کشاورزان قرار گرفته و یا در بستر نفوذ می‌کند و بخش اندکی از آن نیز از آبراهه عبور نموده و پس از طی مسیر کوتاهی به اترک می‌پیوندد. حجم متوسط آورد سالانه این مسیل ۴/۸ میلیون متر مکعب و مساحت حوضه آبریز آن ۷۷/۱ کیلومتر مربع است. به علت مشکل استملاک اراضی و همچنین کم بودن ضریب ذخیره در این منطقه بهترین روش تغذیه مصنوعی برای این مسیل استفاده مستقیم آب برای زراعت و پخش سیلاب می‌باشد (جاماب ۱۳۷۴). با اجرای طرح تغذیه مصنوعی در این منطقه و با در نظر گرفتن ضریب ۱۵ درصدی برای آب برگشتی کشاورزی سالانه ۰/۷۲ میلیون متر مکعب به آبخوان اضافه خواهد شد. بر اساس مطالب ذکر شده مدل برای سال آبی ۸۳-۱۳۸۲ با در نظر گرفتن ۱۶ سلول هر یک به مساحت ۰/۲۵ کیلومتر مربع و مدت زمان نفوذ ۱۵۰ روزه (ماههای دی تا اردیبهشت که بیشترین بارندگی اتفاق می‌افتد) مدل اجرا گردید. محل در نظر گرفته شده برای این تغذیه در شکل (۵-۱۱) نشان داده شده است. تأثیر تغذیه بر چاههای مشاهده‌ای این منطقه در شکل‌های (۵-۱۲) تا (۵-۱۴) نشان داده شده است.



شکل (۵-۱۱): مناطق تغذیه مصنوعی توسط حجم سیلاب دو رودخانه دوین و کال آغچه

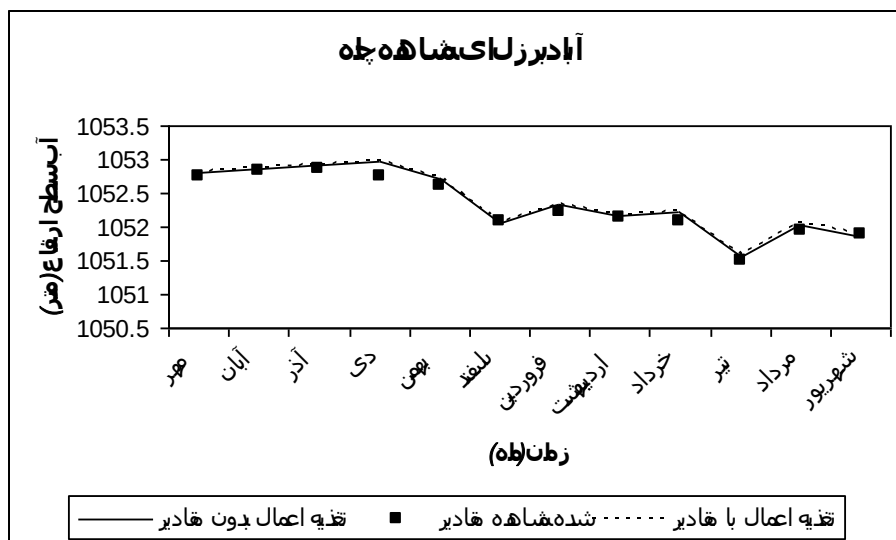


شکل (۵-۱۲): نتایج حاصل از مدل با اعمال ۱۵ درصد حجم سیلاب رودخانه دوین در چاههای مشاهده‌ای شمال امیر آباد، شمال شرق الله آباد و مزرعه کال



شکل (۵-۱۳): نتایج حاصل از مدل با اعمال ۱۵ درصد حجم سیلاب رودخانه دوین در چاههای مشاهده‌ای

جاده دوین، سکه، شورک

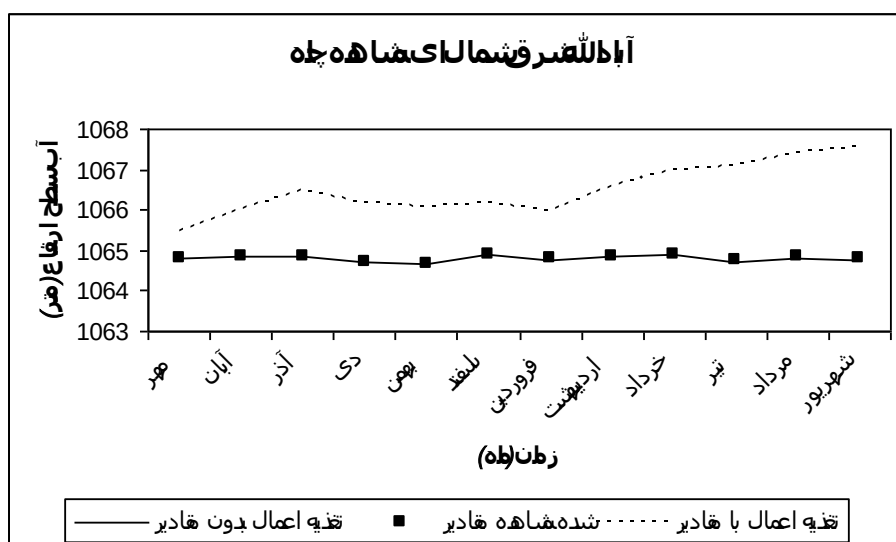
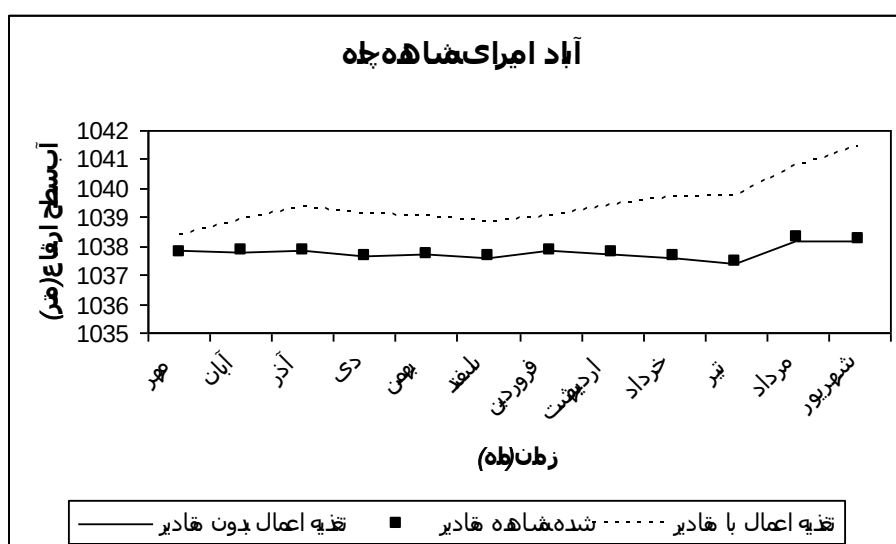


شکل (۵-۱۴): نتایج حاصل از مدل با اعمال ۱۵ درصد حجم سیلاب رودخانه دوین در چاه مشاهده‌ای برزل آباد

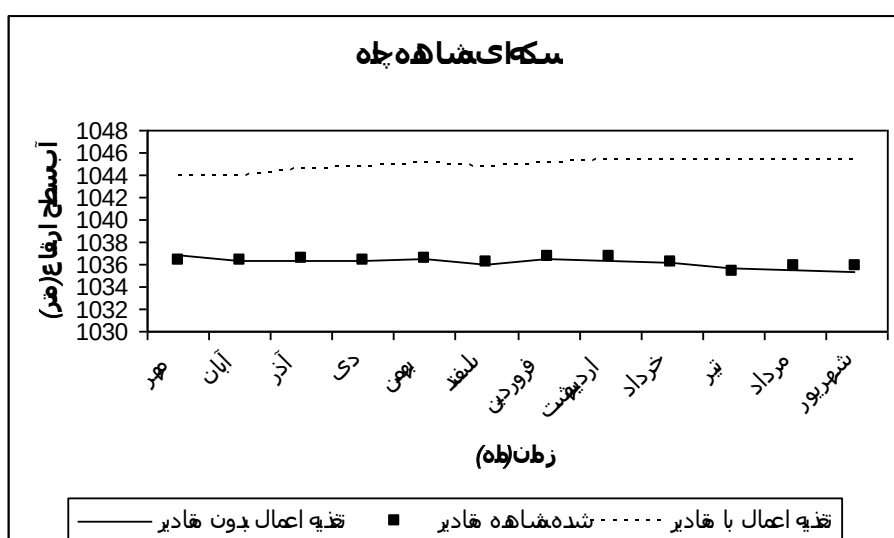
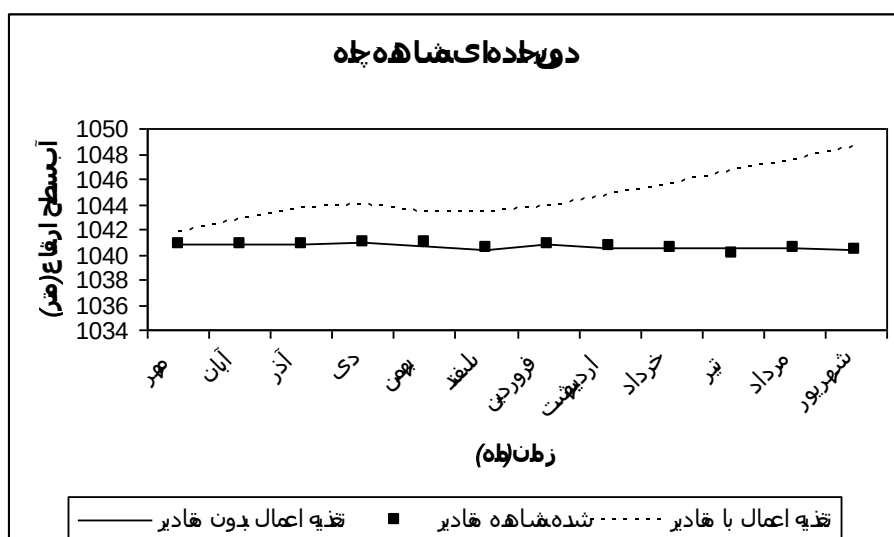
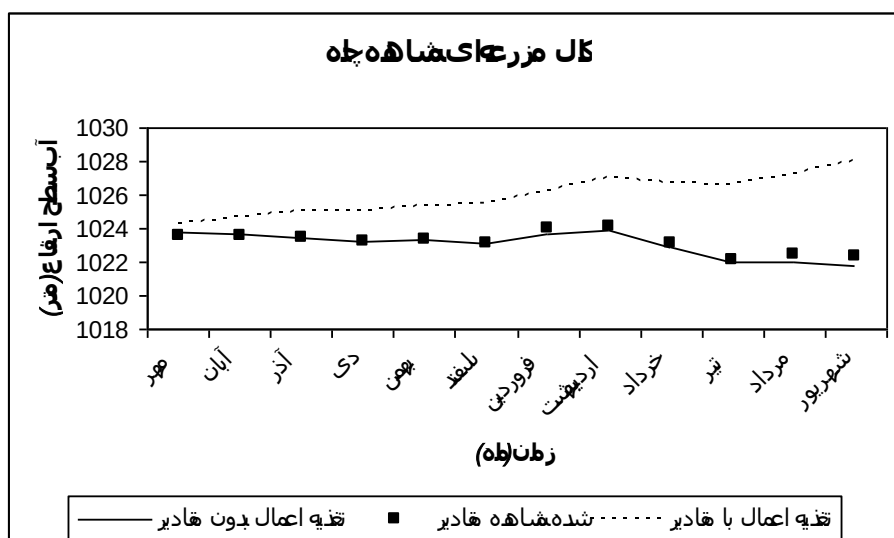
ب- رودخانه اوغاز

این حوضه از زیر حوضه‌های رودخانه اترک بوده که در بخش شمالی این منطقه (شمال شرق شهر شیروان) قرار گرفته است. متوسط حجم ماهانه رواناب این رودخانه در جدول (۱-۵) ذکر شده است. برآورد می‌شود که بخشی از دبی ماهانه این رودخانه را می‌توان به امر تغذیه اختصاص داد. اگر سالانه حدود ۵۰ درصد جریان ماههای فصل زمستان و ۳۰ درصد جریان فروردین و اردیبهشت ماه جهت تغذیه اختصاص یابد در مجموع حدود ۳/۵ میلیون متر مکعب را می‌توان در صورت وجود محلی مناسب به امر تغذیه اختصاص داد (سروآب ۱۳۷۵). معمولاً نقاط مناسب برای اجرای طرح تغذیه مصنوعی در محل ورود رودخانه به دشت می‌باشد که وجود شهر شیروان و اراضی حاشیه آن بر روی مخروطه افکنه این رودخانه یکی از موانع اصلی اجرای طرح تغذیه مصنوعی می‌باشد. به نظر می‌رسد برای بهره‌برداری و مهار آب این رودخانه اجرای طرحهای زیربنایی مثل احداث سد، بند انحرافی و شبکه‌های آبیاری بهترین راه حل باشد. با فرض وجود سد بر روی این رودخانه و

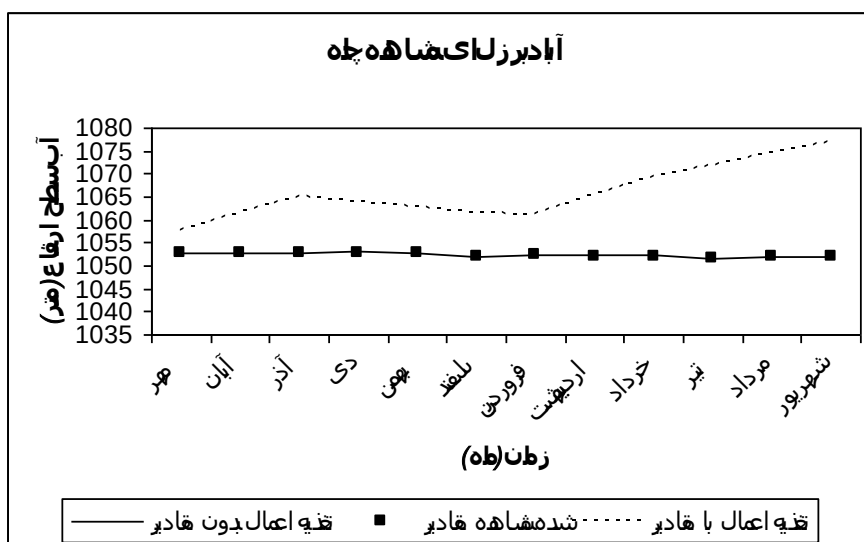
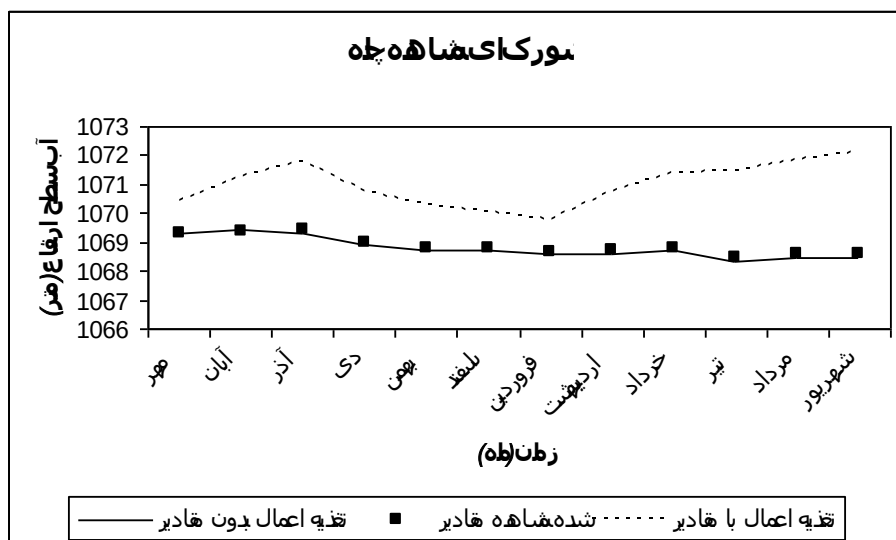
استفاده از رواناب سالانه این حوضه (۲۲/۵ میلیون متر مکعب) جهت آبیاری اراضی کشاورزی منطقه شرقی و با فرض وجود شبکه آبیاری و گسترش شبکه در کل منطقه (۴۶۳ سلول هریک به مساحت ۰/۲۵ کیلومتر مربع) و همچنین با در نظر گرفتن ضریب ۱۵ درصدی برای آب برگشتی کشاورزی مدل برای سال آبی ۸۳-۱۳۸۲ اجرا گردید. در این اجرا برای مدت زمان ۲۴۰ روز (اردیبهشت تا دی) ۰/۸ میلی متر بر روز به مقادیر تغذیه شده به دست آمده در مرحله واسنجی اضافه گردید. در شکل (۵-۱۵) تا (۵-۱۷) نتایج به دست آمده از این اجرا نشان داده شده است.



شکل (۵-۱۵): نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال تغذیه ناشی از ۱۵ درصد حجم آورد سالانه رودخانه اوغاز در چاههای مشاهده‌ای امیر آباد و شمال شرق الله آباد



شکل (۵-۱۶): نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال تغذیه ناشی از ۱۵ درصد حجم آورد سالانه رودخانه اوغاز در چاههای مشاهدهای مزرعه کال، جاده دوین و سکه



شکل (۵-۱۷): نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال تغذیه ناشی از ۱۵ درصد حجم آورد سالانه رودخانه اوغاز در چاههای مشاهدهای شورک و برزل آباد

۵-۱-۲- منطقه مرکزی

این منطقه در واقع همان محدوده تحت تأثیر شبکه آبیاری مدرن سد بارزو می باشد. همانطور که قبلاً نیز ذکر شد سد انحرافی بارزو در ۴۰ کیلومتری شمال شهر شیروان بر روی رودخانه قلجق با

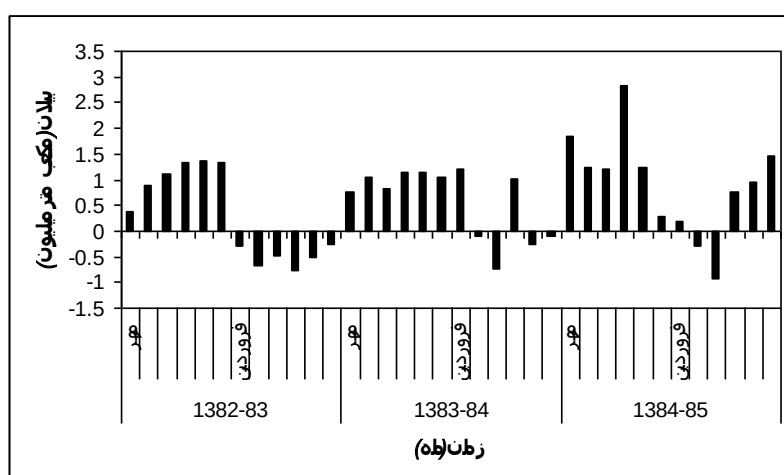
اهداف تنظیم و تأمین آب کشاورزی، شرب و کنترل سیلاب احداث شده است. آب رها شده از این سد توسط سد انحرافی بارزو در شمال شرق شیروان به خطوط لوله اصلی در ساحل راست و چپ منتقل می‌گردد. سد انحرافی بارزو در شمال شرق شیروان (بالا دست شهر شیروان) در ابتدای شبکه آبیاری دشت بارزو بر روی رودخانه قلجق احداث شده است و وظیفه آن انحراف آب رها شده از سد مخزنی به لوله های اصلی شبکه آبیاری بارزو و لوله آب شرب شهر شیروان می‌باشد. آب سد مخزنی از طریق مسیر طبیعی رودخانه به سد انحرافی می‌رسد. سرریز این سد انحرافی، اوجی شکل بوده و دارای سه دهانه جمعاً به طول ۵۴/۵ متر می‌باشد که برای عبور سیلاب با دوره برگشت صد ساله، با دبی ۲۷۱ متر مکعب بر ثانیه طراحی شده است. سد انحرافی بارزو خطوط لوله اصلی ساحل راست و ساحل چپ اجزای اصلی شبکه مدرن آبیاری بارزو را تشکیل می‌دهد. اراضی آبخور سد مخزنی بارزو تحت شرایط طرح با سطحی برابر ۵۷۱۳ هکتار می‌باشد که بخش عمده این اراضی شامل ۵۶۰۸ هکتار در پائین دست سد انحرافی بارزو (شامل ۱۹۰۲ هکتار بهبود و ۳۸۱۱ هکتار توسعه) تحت پوشش شبکه مدرن آبیاری بوده، ۱۰۵ هکتار باقیمانده مربوط به اراضی کشاورزی حوضه میانی این دشت (حد فاصل سد مخزنی و سد انحرافی) می‌باشد. این اراضی توسط خطوط لوله ساحل راست و چپ تأمین آب می‌گردند. اراضی دشت بارزو از نظر توپوگرافی امکان استفاده از آبیاری تحت فشار با استفاده از اختلاف ارتفاع موجود را دارد. لذا بخش بزرگی از این دشت تحت پوشش شبکه انتقال و توزیع تحت فشار قرار دارد و توسط لوله‌های تحت فشار آب تأمین می‌شود. شبکه زهکشی داخل دشت به گونه‌ای طراحی شده است که آب برگشتی از برخی مزارع زمینه بهبود آبیاری حدود ۱۰۰ هکتار اراضی پائین دست را فراهم می‌سازد. همچنین وجود جریان تنظیم شده توزیع و آبیاری داخل دشت باعث تقویت سفره آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی شده است. هیدروگراف چاههای مشاهده‌ای قرار گرفته در این منطقه تأثیر این تغذیه را به خوبی نشان می‌دهند. برای بررسی نتایج به دست آمده از مدل ابتدا مقادیر حجم تخلیه، تغذیه، جریان از مرزهای ورودی، جریانهای خروجی، تغییرات افقی و بیلان ماهانه بر حسب متر مکعب در جدول (۵-۵) آورده شده است.

جدول (۵-۵): حجم تغذیه، تخلیه، جریانهای ورودی، خروجی تغییرات افقی و بیلان بدست آمده توسط مدل برای منطقه مرکزی در سه سال واسنجی بر حسب متر مکعب

بیلان	تغییرات افقی	جریانهای خروجی	جریانهای ورودی	چاه	تغذیه	زمان	
						سال	ماه
۱۳۸۲-۸۱	386231	-158231	313457	13804.7	-1363961	2208075	مهر
	904202	-166004	456230	28022.1	-1135961	2634375	آبان
	1122539	-163548	546856	33854.2	-1228961	3028050	آذر
	1323883	-167143	520791	15290.9	-148850	2145375	دی
	1373937	-165431	621336	6949.36	-76940	2230695	بهمن
	1338615	-159997	879040	11677.9	-190250	2556225	اسفند
	-303304	-173874	534461	38400.1	-1411917	1778548	فروردین
	-673805	-174164	547054	57044.5	-1439662	1430030	اردیبهشت
	-496698	-163151	650062	39165	-1383862	1661213	خرداد
	-756843	-165414	555187	45026.3	-1596703	1515435	تیر
	-512324	-169544	438468	61598.7	-1356261	1390350	مرداد
	-252604	-174187	436215	44631.2	-1333011	1646178	شهریور
۱۳۸۳-۸۲	751769	-158691	534868	11357.1	-1518629	2952600	مهر
	1036282	-164616	573391	24718.3	-1197329	2946900	آبان
	832312	-158766	542722	33904.9	-1227329	2727225	آذر
	1135942	-161199	529971	23786.2	-160850	1964175	دی
	1157276	-159416	643102	6708.98	-112940	2066025	بهمن
	1036731	-160122	761135	33163.1	-79250	2004075	اسفند
	1216233	-179439	833211	29411.3	-1250441	3449913	فروردین
	-85507.5	-176975	868422	50792.6	-1392886	2301983	اردیبهشت
	-721525	-163207	717220	31160	-1399086	1526828	خرداد
	1000437	-168216	1076754	29764	-1494127	3709770	تیر
	-272790	-171854	815985	46927.1	-1359432	2027555	مرداد
	-111322	-175127	752813	26008.1	-1360635	2151245	شهریور
۱۳۸۴-۸۳	1848869	-175950	974116	8951.81	-1408961	4398945	مهر
	1222992	-174652	769523	10253	-1135961	3292875	آبان
	1222689	-171781	771437	6517.52	-1228961	3388350	آذر

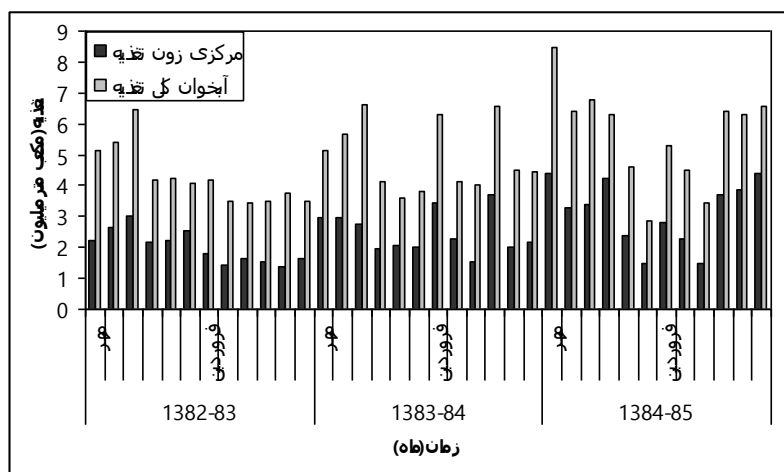
دی	4242375	-94250	11126.5	1140543	-177190	2841519
بهمن	2383470	-39440	565.105	918591	-180995	1245008
اسفند	1494638	-133250	11795	921596	-171447	280140
فروردین	2823635	-1543912	12665.4	923510	-181819	187059
اردیبهشت	2266798	-1439662	33947	966665	-179662	-285244
خرداد	1468470	-1383862	23401.9	866059	-163155	-921205
تیر	3728231	-1596703	16990.4	1228901	-164718	754899
مرداد	3873450	-1421708	34089.7	1381519	-163145	941168
شهریور	4414943	-1421708	25160.9	1401090	-162826	1454480

بیان ماهانه این بخش به صورت نمودار در شکل (۵-۱۸) نشان داده شده است. با توجه به شکل در بیشتر ماهها، بیان ماهانه آب مثبت می باشد.



شکل (۵-۱۸): نمودار بیان ماهانه منطقه مرکزی

همانطور که در بالا نیز ذکر شد تغذیه خوب این بخش مربوط به آبیاری اراضی این منطقه توسط شبکه آبیاری مدرن سد می باشد. در شکل (۵-۱۹) تغذیه کل آبخوان نسبت به تغذیه بخش مرکزی ترسیم شده است به طوری که بخش عمده ای از کل تغذیه مربوط به همین منطقه می باشد.

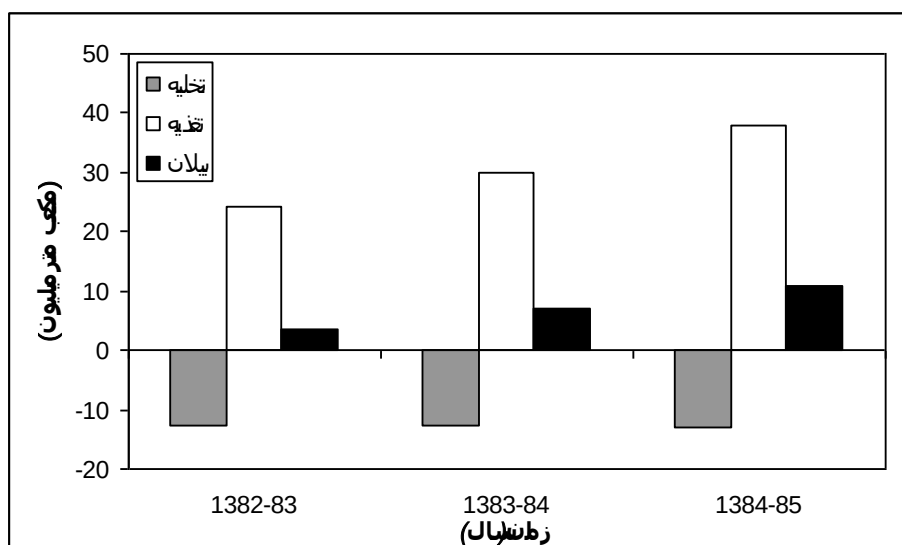


شکل (۵-۱۹): مقایسه بین تغذیه کل آبخوان نسبت به تغذیه بخش مرکزی

نتایج بیلان سالانه این بخش در جدول (۵-۶) آورده شده است. همچنین در شکل (۵-۲۰) تغذیه، تخلیه و بیلان سالانه بر حسب مترمکعب نسبت به هم نشان داده شده است.

جدول (۵-۶): حجم تغذیه، تخلیه و بیلان آبی سالانه منطقه مرکزی بر حسب متر مکعب

زمان	تغذیه	تخلیه	جریانهای ورودی	جریانهای خروجی	تغییرات افقی	بیلان
۱۳۸۲-۸۳	24.2245	-12.6663	0.39547	6.49916	-2.00069	3.45383
۱۳۸۳-۸۴	29.8283	-12.5529	0.3477	8.64959	-1.99763	6.97584
۱۳۸۴-۸۵	37.7762	-12.8484	0.19546	12.2635	-2.06734	10.7924



شکل (۵-۲): مقایسه بین تغذیه، تخلیه و بیان سالانه منطقه مرکزی

همانطور که نتایج نشان می‌دهند بیان سالانه این بخش از دشت مثبت بوده و تغذیه روندی افزایشی را نشان می‌دهد افزایش تغذیه ناشی از شبکه آبیاری سد می‌باشد.

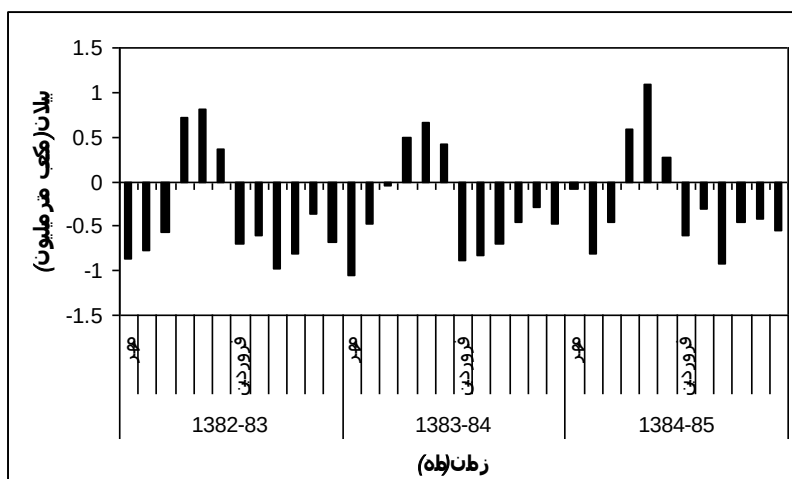
۵-۱-۳- منطقه غربی

این بخش از محدوده در واقع بخش انتهایی دشت می‌باشد و بنا بر گفته کارشناسان پس از بهره‌برداری سد بارزو کف شکنیهای انجام شده در این منطقه به شدت افزایش یافته است. حجم مقادیر تغذیه، تخلیه، جریان از مرزهای ورودی و خروجی، تغییرات افقی و بیان ماهانه این بخش از دشت در جدول (۵-۷) آورده و بیان ماهانه این بخش در شکل (۵-۲۱) نشان داده شده است.

جدول (۵-۷): حجم تغذیه، تخلیه، جریانهای ورودی، خروجی تغییرات افقی و بیان بدست آمده توسط مدل برای منطقه غربی در سه سال واسنجی بر حسب متر مکعب

بیان	تغییرات افقی	جریانهای خروجی	جریانهای ورودی	تخلیه	تغذیه	زمان	
						سال	ماه
-859094	102487	41399.2	99179.5	-1799211	779850	۱۳۸۲-۸۳	مهر
-776624	105467	46407.8	120828	-1791711	835200		آبان
-569685	113539	58922.1	190310	-1821711	1007100		آذر
717189	113190	31015.2	195297	-268732	708450		دی

	بهمن	721350	-205732	191875	12308.6	111989	807173
	اسفند	392400	-213374	151006	69895.3	107563	367700
	فروردین	911788	-2056055	348092	12601.8	117293	-691485
	اردیبهشت	848393	-1783304	252243	35794.1	117011	-601452
	خرداد	586210	-1883706	242462	51929.7	119484	-987480
	تیر	627440	-1760917	232553	34021.3	115443	-819502
	مرداد	965650	-1818267	402827	28015	117601	-360204
	شهریور	728353	-1798022	306926	32713	118476	-676980
۱۳۸۳-۸۴	مهر	845550	-2042211	95341	48171	100694	-1048798
	آبان	1215900	-1814211	86805.6	69519.9	105737	-475289
	آذر	1616400	-1829211	151002	83390.3	107796	-37404
	دی	478500	-268732	195055	25610.5	107303	486515
	بهمن	593550	-205732	167828	7838.62	106640	654447
	اسفند	441975	-201774	152358	80939.9	105281	416900
	فروردین	735940	-2079305	356186	10869.6	115530	-882519
	اردیبهشت	685100	-1857704	256602	25037.7	115777	-825263
	خرداد	945423	-1915016	210797	56971.2	117370	-698398
	تیر	1053845	-1781377	201034	54077.7	116064	-464512
	مرداد	1170638	-1902587	352604	34779.9	116944	-297182
	شهریور	1040748	-1843282	252737	39604.4	114976	-474426
۱۳۸۴-۸۵	مهر	1333050	-1833111	342935	25835.5	95307.2	-87655
	آبان	700200	-1743799	160043	24857.4	98119.8	-810294
	آذر	1021725	-1740711	192947	31814.4	102663	-455190
	دی	507675	-271732	243692	8298.81	107933	579269
	بهمن	1081200	-276232	188161	10838.8	114485	1096776
	اسفند	299925	-238535	165398	53612	104309	277485
	فروردین	882338	-1947805	360659	6848.89	110554	-601104
	اردیبهشت	1144288	-1761560	236854	37995.8	108219	-310195
	خرداد	1468470	-1383862	23401.9	866059	-163155	-921205
	تیر	1014212	-1730810	218542	54886.4	103787	-449156
	مرداد	898923	-1780410	387427	30719.7	101607	-423173
	شهریور	861878	-1761715	274388	26437.3	99839.4	-552047

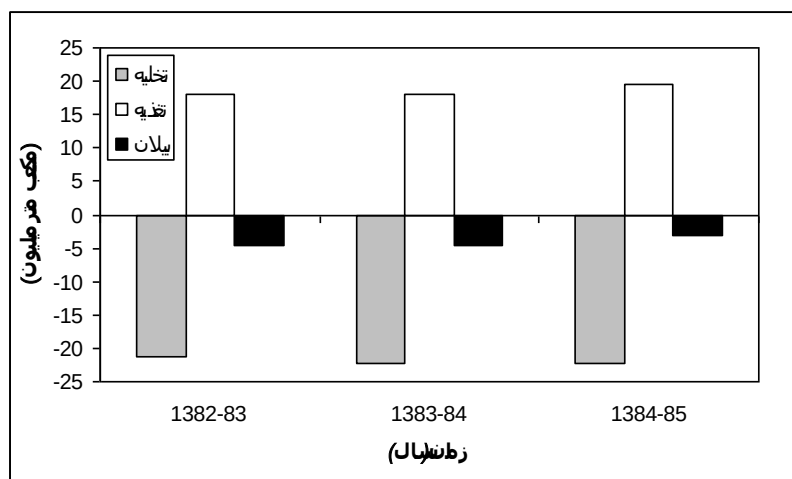


شکل (۵-۲۱): نمودار بیان ماهانه منطقه غربی

نتایج بیان سالانه این بخش در جدول (۵-۸) آورده شده است. همچنین در شکل (۵-۲۲) تغذیه، تخلیه و بیان سالانه بر حسب مترمکعب نسبت به هم نشان داده شده است.

جدول (۵-۸): حجم تغذیه، تخلیه و بیان آبی سالانه منطقه غربی بر حسب میلیون متر مکعب

زمان	تغذیه	تخلیه	جریانهای ورودی	جریانهای خروجی	تغییرات افقی	بیان
۱۳۸۲-۸۳	9.11218	-17.2007	2.7336	0.45502	1.35954	-4.45045
۱۳۸۳-۸۴	10.8236	-17.7411	2.47835	0.53681	1.33011	-3.64593
۱۳۸۴-۸۵	11.2139	-16.4703	2.79445	1.1782	0.98367	-2.65649

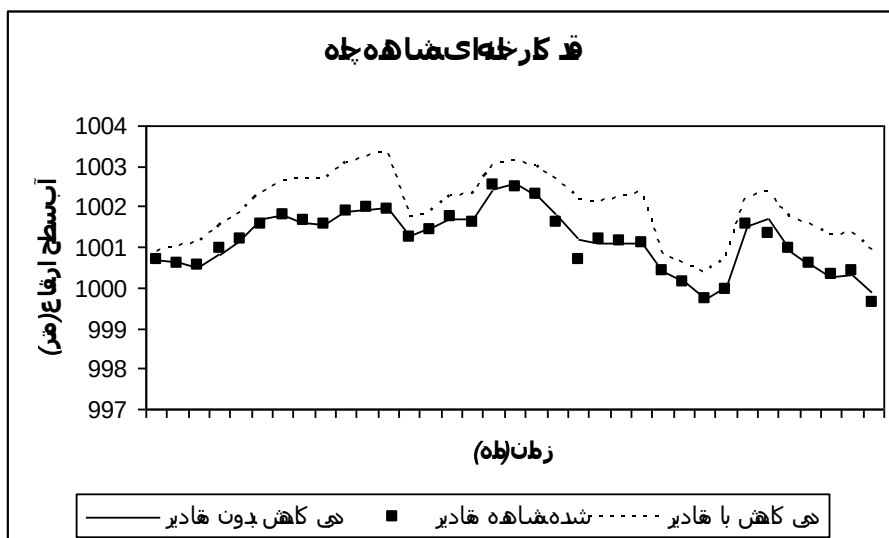


شکل (۵-۲۲): مقایسه بین تغذیه، تخلیه و بیان سالانه منطقه غربی

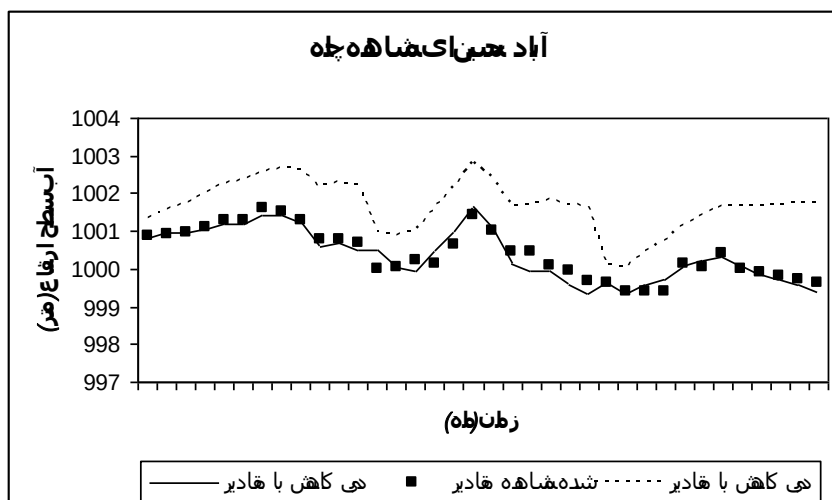
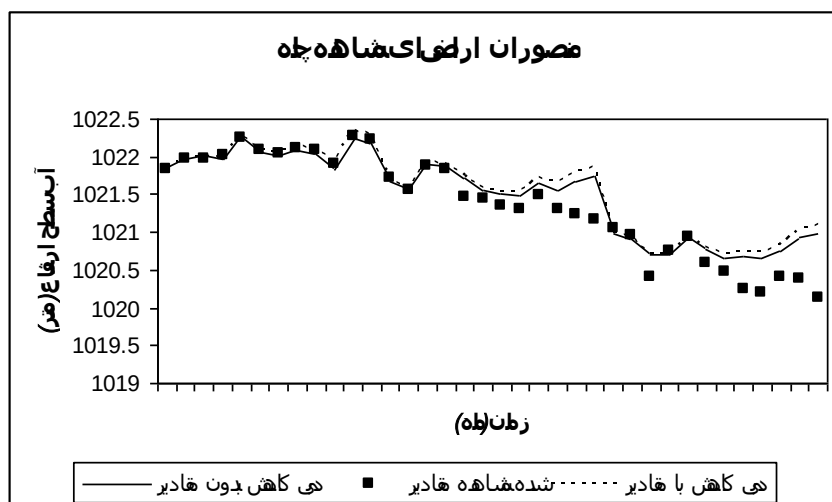
بر اساس نتایج به دست آمده از مدل بیان سالانه این منطقه از منطقه مورد مطالعه منفی می باشد. برای به تعادل رسیدن این منطقه نیز دو گزینه کاهش تخلیه و افزایش تغذیه مورد بررسی قرار می گیرد.

۵-۱-۳-۱- کاهش تخلیه آبخوان

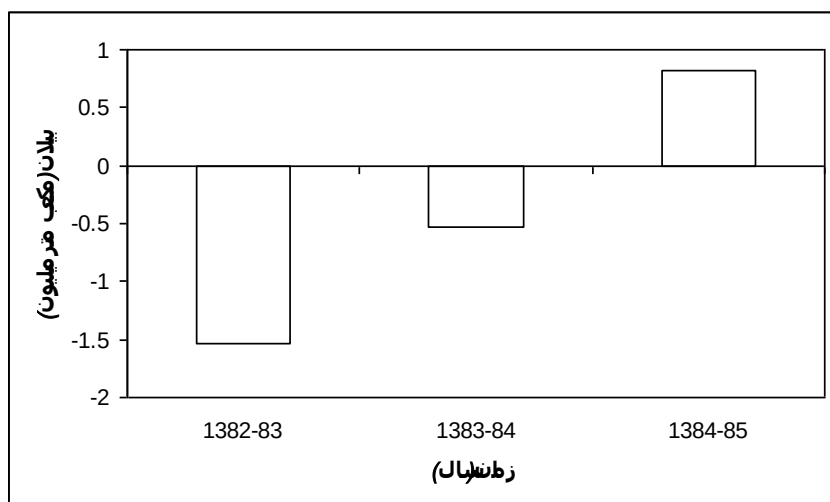
بر اساس آمار برداری سال ۱۳۸۱ ساعات کارکرد سالانه چاههای بهره برداری این منطقه ۲۶۲۴۰۸ ساعت گزارش شده است. با توجه به کسری مخزن سالانه و ساعات کارکرد سالانه چاههای بهره برداری، مدل برای سه سال واسنجی با کاهش ۲۲ درصد از دبی چاههای بهره برداری اجرا گردید. ارتفاع سطح آب چاههای مشاهده ای قرار گرفته در این منطقه با اعمال ۲۲ درصد کاهش دبی در قیاس با مقادیر اندازه گیری شده سطح آب و همچنین سطح آب بدون اعمال کاهش دبی در شکل های (۵-۲۳) و (۵-۲۴) نشان داده شده است. همچنین در شکل (۵-۲۵) بیان سالانه این منطقه با اعمال کاهش دبی نشان داده شده است.



شکل (۵-۲۳): نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال ۲۲ درصد کاهش دبی، در چاه مشاهده‌ای کارخانه قند



شکل (۲۴-۵): نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال ۲۲ درصد کاهش دبی، در چاههای مشاهده‌ای اراضی منصوران و جاده حسین آباد



شکل (۲۵-۵): بیلان سالانه منطقه شرقی با اعمال ۲۲ درصد کاهش دبی در چاههای بهره برداری

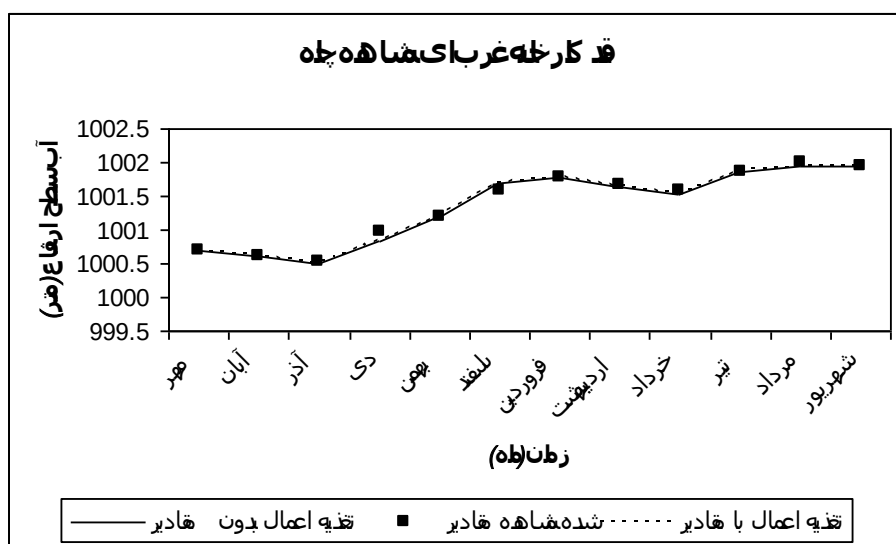
۵-۱-۳-۲- تغذیه مصنوعی

پس از بررسی گزینه کاهش تخلیه در منطقه غربی، در ادامه به بررسی تأثیر مهار سیلابها پرداخته می‌شود. حوضه آبگیر دو رودخانه کال آغچه و شورک در این منطقه قرار گرفته است.

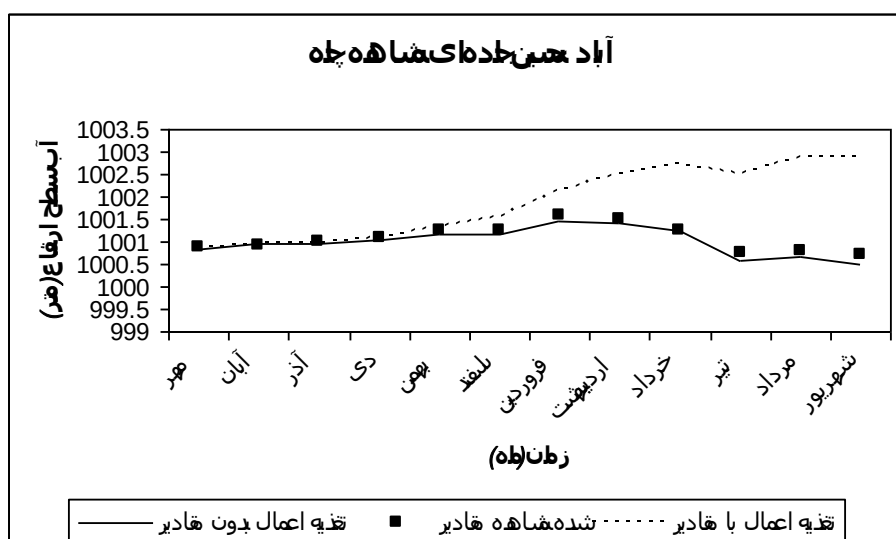
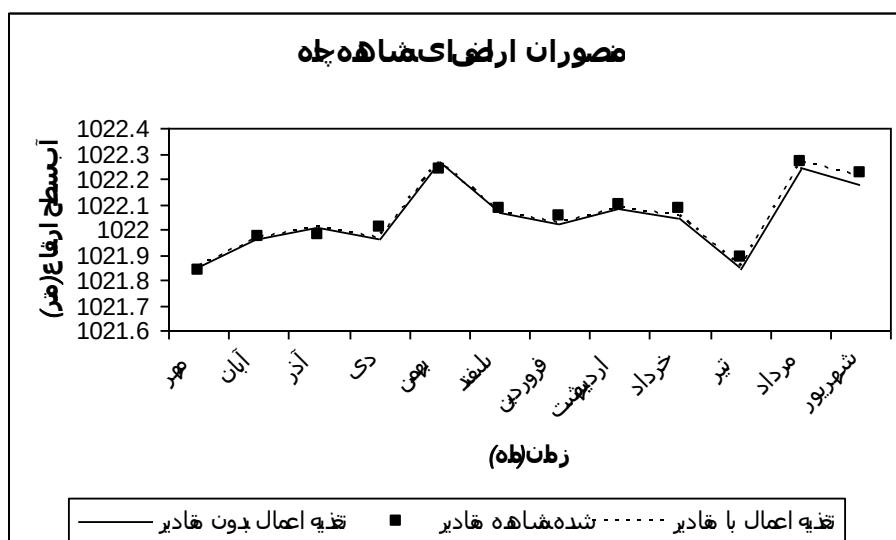
الف- کال آغچه

این مسیل در شمال غرب شهر شیروان قرار گرفته است. حجم متوسط رواناب این رودخانه ۱۲/۷ میلیون متر مکعب (مساحت حوضه آبریز ۱۵۰ کیلومتر مربع) می‌باشد. با توجه به اینکه عمده بارندگی در ماههای دی تا اردیبهشت اتفاق می‌افتد بر همین اساس ۲۵ درصد از رواناب سالانه این رودخانه به عنوان تغذیه در ماههای دی تا اردیبهشت به طور یکسان برای اجرای مدل از مهر ۱۳۸۲ تا شهریور ۱۳۸۳ بکار گرفته شد. به عبارتی با توجه به ۲۵ درصد رواناب متوسط سالانه این رودخانه (۳/۱۷۵ میلیون متر مکعب) و مدت زمان نفوذ (۱۵۰ روز) در محدوده ۱۶ سلول با مساحت ۰/۲۵ کیلومتر مربع نرخ تغذیه برای این سلولها برابر با ۵/۴ میلی‌متر برای مدت ۵ ماه وارد

می‌گردد. نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال تغذیه ناشی از ۲۵ درصد حجم سیلابهای رودخانه کال آغچه در شکل (۲۶-۵) تا (۲۷-۵) نشان داده شده است.



شکل (۲۶-۵): نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال ۲۵ درصد تغذیه حجم سیلابهای رودخانه کال آغچه در چاه مشاهده‌ای غرب کارخانه قند



شکل (۵-۲۷): نتایج حاصل از اجرای مدل با اعمال ۲۵ درصد تغذیه حجم سیلابهای رودخانه کال آغچه در چاههای مشاهده- ای اراضی منصوران و جاده حسین آباد

ب- رودخانه شورک

رودخانه شورک در جنوب غربی شهرستان شیروان واقع شده است. سد مخزنی شورک در ۲۵ کیلومتری غرب شهرستان شیروان با هسته خاکی سنگریزه‌ای به منظور تأمین آب کشاورزی بر

روی این سد احداث و مورد بهره‌بردای قرار گرفته است اما متأسفانه تاکنون آبی پشت این سد جمع نگشته است.

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه گیری

به طور کلی با توجه به بررسی‌های هیدروژئولوژیکی و هیدروشیمیایی، مقاطع زمین شناسی، لاگهای زمین شناسی چاههای مشاهده‌ای و اکتشافی، هیدروگراف چاههای مشاهده‌ای نتایج خروجی از واسنجی مدل و مدیریت آبخوان نتایج زیر حاصل می‌گردد.

- با توجه به بالا آمدگی سنگ کف آبخوان در محدوده برزل آباد، نقشه منابع آب دشت قوچان- شیروان، نقشه‌های هم پتانسیل ترسیم شده برای دشت های شیروان و قوچان ارتباط هیدرولیکی بین دو دشت شیروان و قوچان وجود ندارد. جهت جریان آب زیرزمینی در دشت شیروان از شرق به غرب بوده و در همین جهت نیز از کیفیت آب کاسته می‌گردد.

- دشت شیروان را از لحاظ کیفی می‌توان به سه منطقه شرقی، مرکزی و غربی تقسیم نمود. مقادیر هدایت الکتریکی، غلظت یونها و تیپ آب در هر سه منطقه مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج حاصله نشان می‌دهد که بخش شرقی به دلیل وجود سازند شوریه در ارتفاعات جنوبی، که به عنوان مخرب کیفیت آب بشمار می‌رود، دارای املاح محلول نسبتاً بالا و در نتیجه هدایت الکتریکی نسبتاً پائین می‌باشد. بخش مرکزی به دلیل تغذیه زیرزمینی توسط جریانهای شمالی و جنوبی و شبکه آبیاری سد بارزو املاح نسبتاً کمی را شامل می‌شود. اما آبهای بخش غربی از کیفیت مناسبی برخوردار نمی‌باشد که دلیل کیفیت پائین این بخش از دشت را می‌توان به سازندهای ژپس دار نئوژن، سازندهای مارنی سرچشمه، سنگانه و فاضلابهای صنعتی کارخانه قند نسبت داد.

- همانند منطقه بندی دشت به لحاظ کیفی، این دشت از لحاظ کمی نیز به سه منطقه شرقی، مرکزی (منطقه تحت تأثیر سد) و غربی تقسیم می‌شود. به طور متوسط در منطقه های شرقی و غربی به ترتیب ۴ و ۳/۷۵ میلیون متر مکعب اضافه برداشت وجود دارد و برای به تعادل رسیدن این منطقه ها کاهش ۲۰ و ۲۲ درصدی در ساعات کارکرد فعلی چاههای بهره‌برداری الزامی می‌باشد. اما منطقه مرکزی به علت تغذیه توسط شبکه آبیاری سد در وضعیت مطلوبی به سر برده و کسری مخزن ندارد.

- رفتار هیدروگراف پیزومترهای دشت شیروان را در دو گروه می‌توان بررسی کرد، گروه اول پیزومترهایی که نوسانات سالانه و دراز مدت آنها هماهنگی خوبی را نشان می‌دهند چنین پیزومترهایی عمدتاً در مجاورت بستر رودخانه اترک و در محل تمرکز چاههای بهره برداری قرار گرفته‌اند و بیانگر رفتار واقعی سفره آب زیرزمینی و جریان حاکم بر آن می‌باشد. گروه دوم پیزومترهایی هستند که نوسانات سالانه بیشتری نسبت به نوسانات دراز مدت نشان می‌دهند.

نوسانات سالانه بیشتر در این چاهها را می‌توان به تغذیه از طریق مخروطه افکنه‌ها یا در مسیر جریان قرار گرفتن این چاهها نسبت داد.

۶-۲- پیشنهادات

به طور کلی وضعیت سفره آب زیرزمینی دشت شیروان را می‌توان در سه منطقه شرقی، مرکزی و غربی بررسی نمود. منطقه شرقی به دلیل برداشت بی‌رویه از ذخیره آبخوان از لحاظ کمی در وضعیت نامطلوبی می‌باشد و ادامه این وضعیت صدمات جبران ناپذیری را در این منطقه از منطقه ایجاد می‌کند. منطقه مرکزی به علت قرارگیری در محدوده شبکه آبیاری سد از لحاظ کمی و کیفی در وضعیت مطلوبی می‌باشد. منطقه غربی که در منتهی الیه دشت قرار دارد هم از لحاظ کمی و هم از لحاظ کیفی دچار مشکل بوده و چنانچه این روند ادامه یابد علاوه بر مشکلات ناشی از افت سطح آب، مشکل شوری بیش از حد این منطقه نیز در دسر ساز خواهد شد. با توجه به نتایج حاصل از مدل ریاضی دشت شیروان، لازم است مدیریت و برنامه‌ریزی جهت بهبود وضعیت کمی و کیفی آبخوان شیروان انجام گیرد. ادامه روند کنونی، صدمات جبران ناپذیری به آبخوان دشت وارد خواهد نمود. لذا به همین خاطر موارد زیر پیشنهاد می‌گردد.

- از لحاظ توسعه بهره‌برداری پیشنهاد می‌گردد که منطقه‌های شرقی و غربی دشت شیروان همچنان ممنوعه بحرانی باقی مانده و علاوه بر آن برای جلوگیری از افت بیشتر سطح آب، ساعات کارکرد چاههای بهره‌برداری در این منطقه‌ها کاهش داده شود. اما منطقه مرکزی دیگر وضعیت ممنوعه بحرانی نداشته و با توجه به مثبت بودن بیلان سالانه آن، می‌توان میزان برداشت از این منطقه را افزایش داد.

- به علت عدم وجود داده‌های آزمایش پمپاژ جامع و کامل در نقاط مختلف دشت، پیشنهاد می‌شود که به منظور شناخت دقیق‌تر و کامل‌تر خصوصیات هیدرودینامیکی سفره در نقاط مختلف دشت آزمایشات پمپاژ انجام شود.

- یکی از راهکارهای اساسی برای بهبود آبخوانهایی که در وضعیت بحرانی به سر می‌برند انجام طرحهای تغذیه مصنوعی می‌باشد. با توجه به بحرانی بودن وضعیت آبخوان شیروان در منطقه‌های شرقی و غربی، مطالعه و انجام تغذیه مصنوعی در محل مناسب و با استفاده از مهار آبهای سطحی الزامی می‌باشد.

منابع فارسی

- آقاباتی، ع. (۱۳۸۵). زمین شناسی ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۶۰ ص.
- احمدی افزادی، ع. و چیت سازان، م. (۱۳۸۱). مدل ریاضی بخش شمال شرق آبخوان دشت کرمان جهت بررسی راههای مقابله با بالا آمدگی آبهای زیرزمینی و ارائه راه‌حلهای مدیریتی. مجموعه مقالات ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ص ۲۱-۱۷.
- اصلانی، ح. لشکری پور، غ.م. زارع، م. و نخعی، م. (۱۳۸۲). شبیه سازی جریان آب زیرزمینی دشت لادیز. مجموعه مقالات هفتمین همایش زمین شناسی ایران. ص ۶۷-۵۷.
- اصغری مقدم، ا. و آقازاده، ن. (۱۳۸۳). شبیه سازی سیستم جریان آب زیرزمینی دشت هرزندات با استفاده از مدل ریاضی. مجموعه مقالات هشتمین همایش زمین شناسی ایران، ص ۴۱۲-۴۰۴.
- بانک اطلاعات معاونت مطالعات پایه منابع آب، شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان، ریز آمار و اطلاعات کمی منابع آب زیرزمینی (چاه، چشمه و قنات) محدوده مطالعاتی قوچان-شیروان، (۱۳۸۱). شرکت مهندسين مشاور ساز آب شرق.

پیر هادی، ع. و چیت سازان، م. (۱۳۷۸). مدیریت منابع آب دشت رامهرمز با استفاده از مدل ریاضی. مجموعه مقالات سومین همایش زمین شناسی ایران، ص ۱۳۸-۱۳۶.

چیت سازان، م. و کشکولی، ج.ع. (۱۳۸۱). مدل سازی آبهای زیرزمینی و حل مسائل هیدروژئولوژی. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ۶۰۶ ص.

چیت سازان، م. و توسلی، م. (۱۳۷۷). مدیریت منابع آب دشت مهاباد شمالی با استفاده از مدل ریاضی. مجموعه مقالات سومین همایش زمین شناسی ایران، ص ۱۳۸-۱۳۶.

حاتمی ورزنده، م. و کبودانیا اردستانی، م. (۱۳۷۷). آشنایی با مدل سازی کامپیوتری در تحقیقات آبهای زیرزمینی. مجله آب و فاضلاب، شماره ۲۸، ص ۴۱-۲۷.

دانائیان، م. (۱۳۷۹). بررسی امکان کاربرد مدلهای کامپیوتری در مطالعه وضعیت قنات. مجموعه مقالات اولین همایش بین المللی قنات، ص ۳۲۲-۳۱۱.

زارع، م.، مهدی پور، ف. و ناصری، ج. (۱۳۸۲). پیش بینی تأثیر زهکشا بر آبخوان دشت شیراز با استفاده از مدل ریاضی و کد کامپیوتری Visual Modflow V.2.6. بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی کشور، <http://www.ngdir.ir>.

زارع، م. و رشیدی، م. (۱۳۸۵). بررسی اثر اعمال سیاستهای مختلف بهره برداری از آبخوان آبرفتی دشت سرچاهان شرقی بر دبی پایه رودخانه اعظم. بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی کشور، <http://www.ngdir.ir>.

سامانی، ن. و کاظمی گلیان، ر. (۱۳۸۱). هیدروژئولوژی و مدیریت آبخوان قوچان- شیروان با استفاده از مدل عددی MODFLOW 2000. مجموعه مقالات ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، صفحات ۴۳-۳۹.

سامانی، ن. و محمدی، ض. (۱۳۷۸). مقایسه کاربرد مدلهای تحلیلی و عددی انتقال آلاینده محلول در آب زیرزمینی. مجموعه مقالات سومین همایش زمین شناسی ایران، ص ۳۴۱-۳۳۸.

سالک، م.، چیت سازان، م. و عابدینی، م.ج. (۱۳۸۳). بهینه سازی پارامترهای هیدرولیکی دشت کازرون با استفاده از مدل سه بعدی تفاضل معین MODFLOW 2000. مجموعه مقالات هشتمین همایش زمین شناسی ایران، ص ۴۴۰-۴۳۱.

شمشکی، ا.، بلورچی، م.ج. و انتظام سلطانی، ا. (۱۳۸۴). فرونشست زمین در دشت تهران و عوامل مؤثر بر شکل گیری آن. بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین، <http://www.ngdir.ir>.

شهابی فرد، ف.، لشکری پور، غ.ر. و زارع، م. (۱۳۸۳). محاسبه بیلان آب زیرزمینی دشت ایرانشهر با روش دستی و مدل عددی. بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، <http://www.ngdir.ir>.

صدقی، م.م. و چیت سازان، م. (۱۳۸۳). تعیین شرایط مرزی مناسب برای مدل جریان آبهای زیرزمینی دشت ارسنجان. بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، <http://www.ngdir.ir>.

علی‌پور شمس آباد، م. و زارع، م. (۱۳۷۸). اعتبار داده‌های ارائه شده توسط مدل آبهای زیرزمینی در دشت کوار. مجموعه مقالات هفتمین همایش زمین شناسی ایران، ص ۴۲۵-۴۲۳.

علی‌پور، م. (۱۳۸۱). بررسی گزینه‌های مدیریتی دشت خاتون آباد با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW. مجموعه مقالات ششمین همایش زمین شناسی ایران، ص ۶۴-۵۵.

علیزاده، ا. (۱۳۸۵). اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ بیستم (با تجدید نظر)، دانشگاه امام رضا(ع)، ۸۰۸ صفحه.

کشکولی، ح.ع. (۱۳۷۷). نشت و آبهای زیرزمینی. انتشارات شهید چمران اهواز، ۵۵۰ ص.

کاظمی گلیان، ر.، کمالی، م. و محمدی گلرنگ، ب. (۱۳۸۲). بررسی رفتار آبخوانها با استفاده از هیدروگراف چاههای پیرومتری (مطالعه موردی دشت شیروان- قوچان). مجموعه مقالات هفتمین همایش زمین شناسی ایران، ص ۱۲۲-۱۱۲.

کاظمی گلیان، رمضان (۱۳۸۱). ارزیابی هیدروژئولوژیکی و مدیریت آبخوان قوچان-شیروان با استفاده از مدل عددی MODFLOW-2000، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، آشناسی (هیدروژئولوژی)، ۳۴۳ صفحه، دانشگاه شیراز، ایران.

کتیبه، ه. حافظی، س. (۱۳۸۳). بکارگیری مدل MODFLOW در مدیریت بهره برداری از آبهای زیرزمینی و ارزیابی عملکرد طرح تغذیه مصنوعی دشت آب باریک بم. مجله آب و فاضلاب، شماره ۵۰.

گزارش طرح تبارک آباد و بارزو (مطالعات آبهای زیرزمینی دشت قوچان- شیروان). جلد اول، (۱۳۶۴). شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۲۲۱ ص.

گزارش طرح تبارک آباد و بارزو (مدل ریاضی آب زیرزمینی دشت قوچان- شیروان). جلد دوم، (۱۳۶۵). شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۶۲ ص.

گزارش مطالعات منابع آب دشت قوچان- شیروان (هواشناسی و هیدرولوژی). جلد اول، (۱۳۷۵). شرکت مهندسی مشاور سرو آب.

گزارش مطالعات منابع آب دشت قوچان- شیروان (آب زیرزمینی). جلد دوم، (۱۳۷۵). شرکت مهندسی مشاور سرو آب، ۱۷۵ ص.

گزارش توجیهی تمديد ممنوعیت دشت قوچان-شیروان. (۱۳۸۵). مدیریت مطالعات پایه منابع آب، ۴۱ ص.

گزارش شناسائی حوضه آبریز دشت قوچان- شیروان. (۱۳۸۲). مدیریت مطالعات پایه منابع آب، ۲۵ ص.

گزارش مطالعات ژئوالکتریک دشت قوچان و بجنورد. جلد اول، (۱۳۴۸). شرکت مهندسی آب و خاک.

گزارش مطالعات ژئوالکتریک دشت قوچان و بجنورد. جلد دوم، (۱۳۴۹). شرکت مهندسی آب و خاک.

گزارش مطالعات امکان یابی تغذیه مصنوعی ۳۰ دشت خراسان، دشت قوچان-شیروان. (۱۳۷۴). شرکت مهندسی مشاور جاماب.

گزارش شناسایی مقدماتی سازندهای سخت بخشی از حوزه آبریز اترک. جلد اول، (۱۳۷۶). امور مطالعات و بررسی منابع آب، گروه سازندهای سخت.

گزارش آمار و اطلاعات و بررسی مقدماتی آن. جلد اول، (۱۳۸۴). مطالعات بهنگام سازی اطلس اترک (سال های ۷۵-۷۶ لغایت ۷۹-۸۰). شرکت مهندسین مشاور ساز آب شرق.

گزارش دستورالعمل شماره ۲۳ (تهیه نقشه نفوذپذیری). (۱۳۸۲). مهندسین مشاور ساز آب شرق.

گزارش بهره‌برداری و نگهداری از شبکه آبیاری بارزو. (۱۳۸۰). شرکت مهندسی مشاور مه‌اب قدس.

گزارش مطالعات بهره‌برداری بهینه از مخزن سد بارزو. مطالعات مرحله دوم انتقال آب و تصفیه خانه شیروان، (۱۳۸۰). شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان.

گزارش تلفیق مطالعات منابع آب حوزه آبریز اترک. جلد اول، ضمیمه ۳ (سطح آب چاه های مشاهده ای، حفاری و پمپاژ)، (۱۳۸۱). شرکت مهندسین مشاور ساز آب شرق.

گزارش تلفیق مطالعات منابع آب حوزه آبریز اترک. جلد اول (آمار و اطلاعات و بررسی های مقدماتی آن)، (۱۳۸۱). شرکت مهندسین مشاور ساز آب شرق.

گزارش مطالعات آب‌های زیرزمینی مناطق بجنورد و قوچان. گزارش اصلی شماره ۷۱، (۱۳۴۹). اداره کل آب‌های زیرزمینی، وزرات آب و برق، واحد آب.

ماجدی، ح. و جلیلیان، ع.ح. (۱۳۸۴). شبیه سازی جریان آب زیرزمینی آبخوان شمال شرق اهواز به منظور قطعیت دادن به پارامترهای تخصیصی آبخوان و محاسبه بیلان. مجموعه مقالات نهمین همایش زمین شناسی ایران، ص ۲۳۶-۲۳۰.

ماجدی، ح.ر. و چیت سازان، م. (۱۳۸۱). شبیه سازی آبخوان دشت نیریز با استفاده از مدل MODFLOW جهت شناسایی روند شکستگی‌های مرزی و گسل‌های مدفون آبخوان. مجموعه مقالات ششمین همایش زمین شناسی ایران، ص ۶۴-۶۰.

محمدزاده، ح.، کاظمی گلیان، ر. و علائی، م. (۱۳۷۸). بررسی هیدروشیمیایی آبهای زیرزمینی دشت شیروان و نقش آن در توسعه و گسترش شهر شیروان. مجموعه مقالات سومین همایش زمین شناسی ایران، ص ۵۹۷-۵۹۳.

نخعی، م.، لشکری پور، غ.ر. و میرزاوند، غ.ر. (۱۳۸۴). مدیریت آبخوان دشت شورو با استفاده از مدل آبهای زیرزمینی. مجله علوم و فنون دانشگاه صنعتی شاهرود، ص ۴۳-۳۳.

نجفی کوهستانی، ح.ر. (۱۳۷۹). هیدروژئولوژی و شبیه سازی منابع آب دشت زنجان با استفاده از مدل MODFLOW. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.

ناصری، ح.ر. و نجفی کوهستانی، ح.ر. (۱۳۷۹). کاربرد بیلان جزء به جزء در کالیبراسیون مدل ریاضی و برآورد ضریب ذخیره آبخوان دشت زنجان. چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ص ۷۸-۷۴.

نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ ورقه شیروان، تهیه شده توسط سازمان زمین شناسی کشور.

نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ ورقه فاروج، تهیه شده توسط سازمان زمین شناسی کشور.

نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰۰ ورقه بجنورد، تهیه شده توسط سازمان زمین شناسی کشور.

نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ ورقه بجنورد، تهیه شده توسط سازمان زمین شناسی کشور.

ولایتی، س.ا. و توسلی، س. (۱۳۷۰). منابع و مسائل آب خراسان. موسسه چاپ و انتشارات قدس رضوی، ۲۷۹ص.

یوسفی ناغانی، ب.، عابدینی، م.ج. و کمپانی زارع، م. (۱۳۸۲). شناسایی و تقلیل منابع عدم قطعیت (نایقینی) در مدلسازی

آبهای زیرزمینی با استفاده از روش واسنجی (کالیبراسیون) خودکار تعیینی، بیست و دومین گردهمائی علوم زمین،

<http://www.ngdir.ir>

Reference

- Anderson, M.P. and. Woessner, W.W. (1992). Applied Groundwater Modeling- Simulation of Flow and Advective Transport. Academic Press, Inc, 381pp.
- Abdulla, F. and Al Assa'd, T. (2006). Modeling of ground water flow for Mujib aquifer. *J. Earth Syst. Sci.* 115, 3: 289-297.
- Ben-Itzhak, L.L. and Gvirtzman, H. (2005). Groundwater flow along and across structural folding: an example from the Judean Desert, Israel. *Journal of Hydrology*, 312: 51-69.
- Ching, W.H. and Kinzelbach, W. (2000). 3D-Groundwater modeling with PMWIN. Springer-verlag, 346pp.
- Ching, W.H. and Kinzelbach, W. (1988). Processing MODFLOW, a simulation system for modeling groundwater flow and pollution. <http://www.ifu.ethz.ch>, 342pp.
- Don, N.C., Araki, H., Yamanishi, H. and Kenichi, K. (2005). Simulation of groundwater flow and environmental effects resulting from pumping. *Environmental Geology*, 47:361-374.
- El Idrysy, H. and De Smedt, F. (2006). Modeling ground water flow of the Trifa aquifer, Morocco. *Hydrogeology Journal*, 14: 1265-1276.
- Feinstein, D.T., Eaton, T.T., Hart, D.J., Krohelski, J.T. and Bradbury, K.R. (2005). A regional aquifer simulation model for south eastern Wisconsin, U.S, Geological Survey, Reports1, 165pp.
- Flores-Marquez, E.L., Jimenez-Suarez, G., Martinez-Serrano, R.G., Chavez, R.E. and Silva-Perez, D. (2006), Study of geothermal water intrusion due to groundwater exploitation in the Puebla Valley aquifer system, Mexico. *Hydrology Journal* 14: 1216-1230.
- Freeze, C.W. and Cheery, J.A. (1970). Groundwater. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs. N. J. 07632. U.S.A., 604pp
- Galbiati, L., Bouraoui, F., Elorza, F.J. and Bidoglio, G. (2006). Modeling diffuse pollution loading into a Mediterranean lagoon, Development and application of an integrated surface-subsurface model tool. *Ecological Modelling*, 193: 4-18.
- Gambolati, G., Pini, G. and Verri, G. (1989). Simulation of regional subsurface flow by finite element models. *Advances in Water Resources*, 12: 59-65
- . Mathematical model application for groundwater studies of Iran, *Ground Water*, A. Ghassemi, F. 19 14(4):359-365.
- Harte, P. T., Konikow, L.F. and Hornberger, G.Z. (2006). Simulation of solute transport across low-permeability barrier walls. *Journal of Contamination Hydrology* , 85: 247-270.
- Kumar, A., (2005). Spatial decision support system for groundwater management using numerical groundwater modeling approach in Margajo Watershed in hard rock are of Jharkhand, India. <http://www.mapindia.org/2005/papers/NRDMS/134.htm>.
- Konikow, L.F. and. Berdehofet. J.D. (1992). Ground water models can not be validated, *Advances in Water Recources*, 15:75-83.
- Kresic, N. (1997). Quantitative Solutions in Hydrogeology and Groundwater Modeling. Lewis Publishers, New York, 460p.

- Mc Whorter, D. and Sunada. K. (1977). Ground Water Hydrology and Hydraulic. New York: Mc Graw-Hill, Inc, 290pp.
- Mc Donald, M.G. and A. W. Harbaugh, A. W. 1984. A modular three dimensional finite difference ground water flow model, U.S. Geological Survey, 586pp.
- Mendonca, L. A. R., Frischkorn, H., Santiago, M. F. and Filho, J. M. (2005). Isotope measurement and groundwater flow modeling using environmental change cause by a well field in semiarid Brazil. *Environmental Geology*, 47:1045-1053.
- Miller, T. S. (2000). Simulation of groundwater flow in an unconfined sand and gravel aquifer at Marathon, Cortland County, New York. U.S. Geological Survey, Water-Resource Investigation Report 00-4026.
- Mylopoulos, N., Mylopoulos, Y., Veranis, N. and Tolikas, D. (2007). Groundwater modeling and management in a complex lake-aquifer system, *Water Resour Manage*, 21:469-496.
- Narayan, K.A., Hartmann, D., Charlesworth, P., Kemei, J. K. and Bristow, K. L. (2004). Modeling effects of Val-Bird Weir Height on water table along the Haughton River (Burdekin Haughton Water Supply System. CSIRO Land and Water Client Report for Burdekin Dry Tropics Board , 59pp.
- Neuman, S.P. (1973). Calibration of distributed parameter groundwater flow models viewed as a multiple-objective decision process under uncertainty. *Water Resources Research*, 9(4): 1006-1021 .
- Pisinaras, V., Petalas, C., Tsihrintzis, V.A. and Zagana, E. (2005). A groundwater flow model for water resources management in the Ismarida plain, North Greece. *Environmental Modeling and Assessment*, 12:75-155.
- Perikett, T. A. (1975). Modeling technique for ground water resource evaluated. *Advances in hydro science*. Vol. 10, Academic press, Inc. 418pp.
- Radu, J.P. and Charlier, R. (1988). Finite elements modeling of a large water table aquifer in transient condition. *Advances in Water Resources*, 11:58-66.
- Ramiveddygari, S.R., Sophocleous, M. A., Koelliker, J.K., Perkins, S.P. and Govindaraju, R.S. (2000). Development and application of a comprehensive simulation model evaluate stream flow and ground water: the case of Wet Walnut Creek Watershed, Kansas, USA, *Journal of Hydrology*, 236:223-246.
- Scanlon, B.R. Dutton, A. (2000). Groundwater recharge in Texas. Bureau of Economic Geology, The University of Texas at Austin, and Marios Sophocleous, Kansas Geological Survey, Lawrence, KS
- Tolikas, D., Latinopoulos, P., Tolikas, P. and Ganoulis, J. (1983). Optimum management of a regional confined aquifer. *Advances in Water Resources*, 21:469-494.
- Theodossiou, N.P. (2004). Application of non-linear simulation and optimisation models in groundwater aquifer management. *Water Resources Management*, 18: 125-141.
- Todd, D.K. (1980). Ground Water Hydrology, Second Edition, John Wiley and Sons, Inc, 535pp.
- York, J.P., Person, M., Gutowski, W.J. and Winter, T.C. (2002), Putting aquifer into atmospheric simulated model: an example from the Mill Creek Watershed, northeastern Kansas. *Advances in Water Resources*, 25:221-238.
- Yoosefi naghani, B. (2002). Parameter optimization daryan aquifer using deterministic (Nonlinear Regression) and stochastic (Genetic Algorithm) Methods. Shiraz University, 338pp.

Zuquette, L.V., Palma, J.B., Pejon, O.J. (2005). Environmental assessment of an uncontrolled sanitary landfill, Pocos de Caldas, Brazil. *Bull Eng Geol Environ*, 64:257-27.

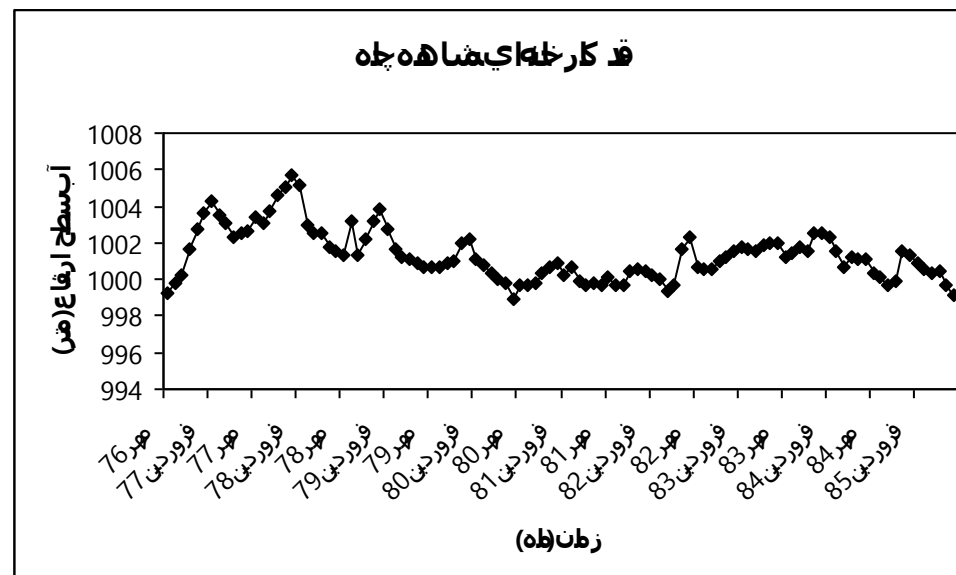
Wang, H.F. and Anderson, M.P. (1981). Introduction to Groundwater modeling Finite Difference and Methods. W. H. FREMANAND Company, 234pp.

www.pmwin.net

پیوست: هیدروگراف ۱۵ چاه مشاهده ای قرار گرفته در محدوده مدل

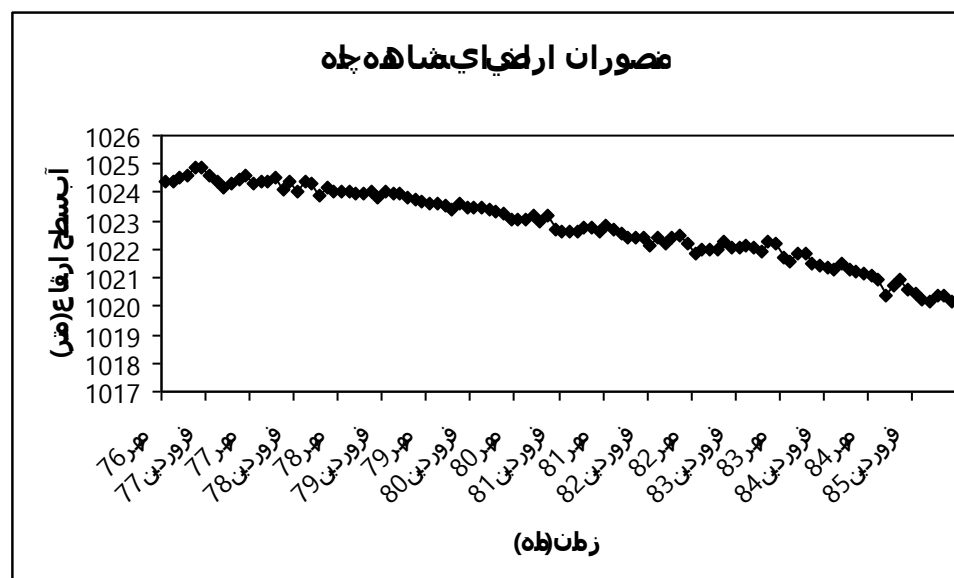
(از مهر ۱۳۷۶ تا شهریور ۱۳۸۵)

شماره ۱	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱۳۷۶-۷۷	999.24	999.79	1000.24	1001.64	1002.79	1003.59	1004.29	1003.54	1002.62	1002.51	1002.29	1003.04
۱۳۷۷-۷۸	1003.39	1003.09	1003.69	1004.64	1005.04	1005.65	1005.14	1002.99	1001.59	1001.79	1002.49	1002.49
۱۳۷۸-۷۹	1001.29	1003.19	1001.32	1002.19	1003.19	1003.84	1002.79	1001.69	1000.66	1000.86	1001.14	1001.19
۱۳۷۹-۸۰	1000.69	1000.69	1000.84	1001.04	1001.94	1002.17	1001.09	1000.76	998.94	999.76	999.99	1000.29
۱۳۸۰-۸۱	999.74	999.71	999.84	1000.39	1000.62	1000.94	1000.19	1000.62	999.69	999.76	999.66	999.91
۱۳۸۱-۸۲	1000.14	999.64	999.64	1000.44	1000.56	1000.49	1000.24	1000.04	1002.29	1001.69	999.69	999.32
۱۳۸۲-۸۳	1000.7	1000.61	1000.53	1000.98	1001.19	1001.57	1001.79	1001.66	1001.94	1001.99	1001.86	1001.57
۱۳۸۳-۸۴	1001.24	1001.44	1001.74	1001.59	1002.52	1002.49	1002.31	1001.59	1001.09	1001.14	1001.17	1000.69
۱۳۸۴-۸۵	1000.39	1000.15	999.73	999.96	1001.54	1001.34	1000.94	1000.58	999.09	999.64	1000.4	1000.32



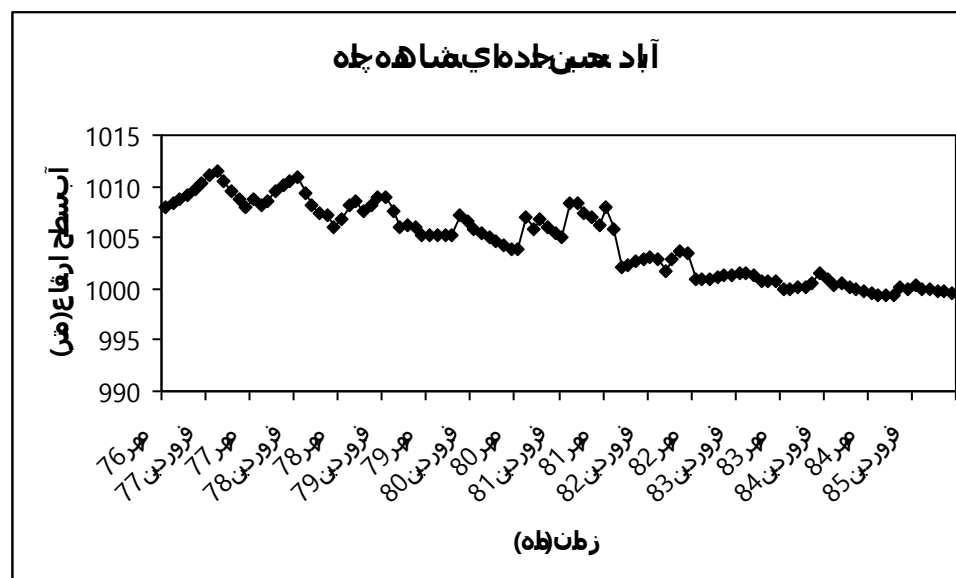
شماره ۲	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱۳۷۶-۷۷	1024.56	1024.44	1024.31	1024.185	1024.41	1024.56	1024.902	1024.91	1024.56	1024.51	1024.41	1024.41
۱۳۷۷-۷۸	1024.06	1024.16	1023.9	1024.31	1024.41	1024.01	1024.41	1024.08	1024.51	1024.41	1024.41	1024.31
۱۳۷۸-۷۹	1023.71	1023.76	1023.84	1023.94	1023.98	1024.04	1023.82	1024	1023.96	1023.94	1024	1024.06
۱۳۷۹-۸۰	1023.04	1023.26	1023.3	1023.41	1023.44	1023.46	1023.48	1023.61	1023.41	1023.56	1023.61	1023.61
۱۳۸۰-۸۱	1022.6	1022.76	1022.76	1022.64	1022.61	1022.66	1022.71	1023.19	1022.96	1023.21	1023.08	1023.07
۱۳۸۱-۸۲	1022.18	1022.47	1022.41	1022.21	1022.41	1022.16	1022.41	1022.41	1022.44	1022.56	1022.71	1022.81
۱۳۸۲-۸۳	1022.22	1022.27	1021.89	1022.08	1022.1	1022.05	1022.08	1022.24	1022.01	1021.98	1021.97	1021.84
۱۳۸۳-۸۴	1021.16	1021.23	1021.31	1021.49	1021.31	1021.36	1021.43	1021.47	1021.83	1021.87	1021.56	1021.71

۱۳۸۴-۸۵	1020.13	1020.38	1020.41	1020.19	1020.25	1020.48	1020.58	1020.93	1020.75	1020.41	1020.95	1021.05
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------



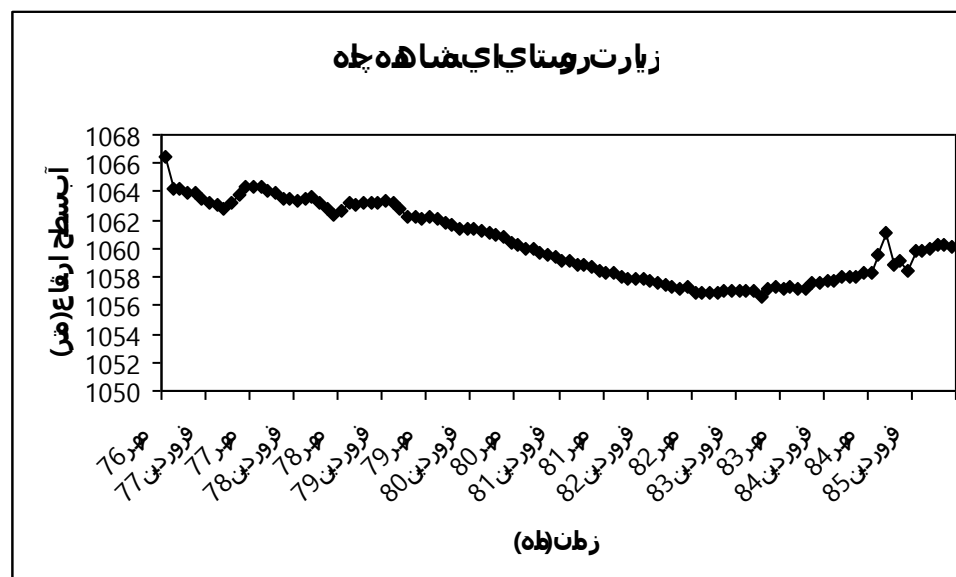
شماره ۳	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱۳۷۶-۷۷	1007.99	1008.74	1009.49	1010.44	1011.44	1011.04	1010.29	1009.79	1009.19	1008.71	1008.44	1007.94
۱۳۷۷-۷۸	1006.09	1007.09	1007.47	1008.21	1009.31	1010.99	1010.44	1010.04	1009.51	1008.64	1008.19	1008.84
۱۳۷۸-۷۹	1005.16	1005.97	1006.28	1005.99	1007.54	1008.87	1008.87	1008.19	1007.64	1008.47	1008.19	1006.84
۱۳۷۹-۸۰	1003.89	1004.29	1004.59	1005	1005.41	1005.82	1006.69	1007.12	1005.14	1005.14	1005.14	1005.24
۱۳۸۰-۸۱	1006.16	1006.94	1007.44	1008.44	1008.44	1005.04	1005.44	1005.94	1006.74	1005.74	1006.94	1003.94
۱۳۸۱-۸۲	1003.41	1003.64	1002.87	1001.79	1002.86	1003.04	1002.89	1002.69	1002.29	1002.14	1005.84	1007.97

۱۳۸۲-۸۳	1000.69	1000.78	1000.76	1001.27	1001.51	1001.59	1001.27	1001.27	1001.08	1000.98	1000.9	1000.88
۱۳۸۳-۸۴	999.67	999.94	1000.09	1000.46	1000.44	1000.99	1001.44	1000.64	1000.14	1000.24	1000.04	999.99
۱۳۸۴-۸۵	999.62	999.72	999.82	999.89	1000	1000.4	1000.04	1000.11	999.39	999.4	999.38	999.64

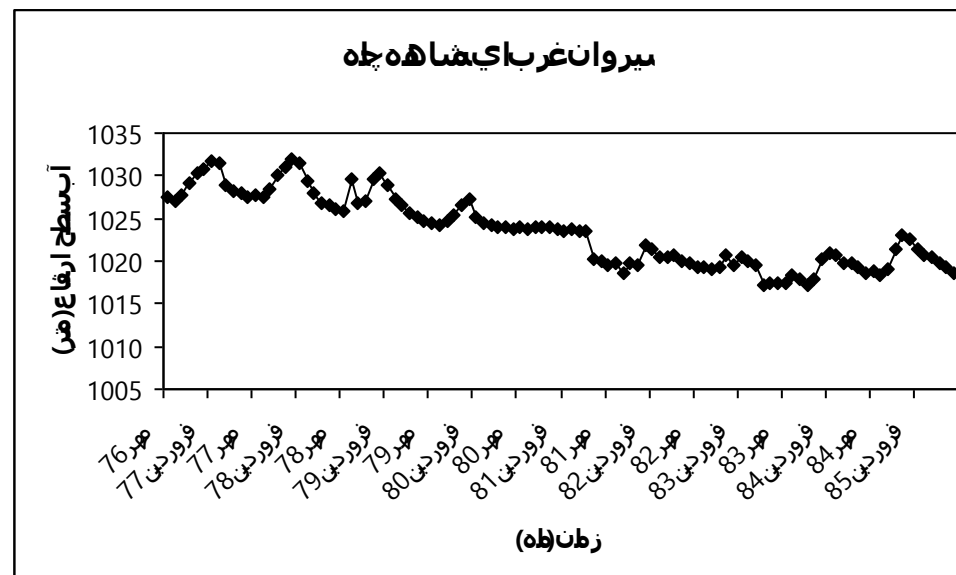


شماره ۴	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱۳۷۶-۷۷	1064.36	1063.76	1063.16	1062.76	1063.11	1063.26	1063.51	1063.96	1063.86	1064.16	1064.16	1066.41
۱۳۷۷-۷۸	1062.36	1062.81	1063.16	1063.58	1063.56	1063.41	1063.56	1063.45	1063.86	1064.06	1064.36	1064.41
۱۳۷۸-۷۹	1062.16	1062.3	1062.21	1062.76	1063.16	1063.42	1063.26	1063.21	1063.16	1063.06	1063.21	1062.66
۱۳۷۹-۸۰	1060.42	1060.78	1060.96	1061.16	1061.26	1061.33	1061.43	1061.38	1061.66	1061.81	1062.11	1062.26

۱۳۸۰-۸۱	1058.38	1058.76	1058.91	1058.91	1059.11	1059.11	1059.41	1059.51	1059.73	1059.99	1060.04	1060.26
۱۳۸۱-۸۲	1057.36	1057.16	1057.36	1057.46	1057.66	1057.73	1057.86	1057.81	1057.89	1058.01	1058.31	1058.36
۱۳۸۲-۸۳	1057.31	1057.21	1056.67	1057.06	1057.07	1057.02	1057.06	1056.97	1056.93	1056.9	1056.93	1056.92
۱۳۸۳-۸۴	1058.23	1058.06	1058.06	1058.01	1057.71	1057.78	1057.56	1057.61	1057.11	1057.16	1057.26	1057.18
۱۳۸۴-۸۵	1060.16	1060.22	1060.2	1060.02	1059.78	1059.84	1058.46	1059.16	1058.89	1061.16	1059.58	1058.32

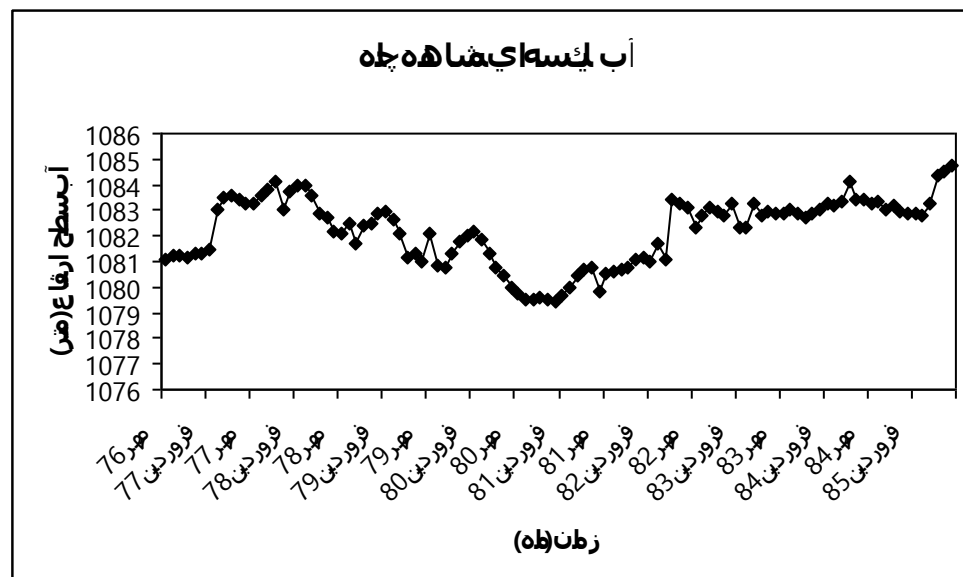


شماره ۵	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱۳۷۶-۷۷	1027.42	1027.87	1028.32	1028.87	1031.42	1031.77	1030.87	1030.22	1029.07	1027.62	1027.12	1027.47
۱۳۷۷-۷۸	1026.02	1026.47	1026.75	1027.87	1029.37	1031.37	1031.94	1031.06	1030.17	1028.37	1027.55	1027.72
۱۳۷۸-۷۹	1024.72	1025.07	1025.54	1026.52	1027.22	1029.02	1030.3	1029.68	1027.13	1026.7	1029.68	1025.97
۱۳۷۹-۸۰	1023.8	1023.87	1024.02	1024.15	1024.37	1025.16	1027.22	1026.62	1025.37	1024.67	1024.29	1024.37
۱۳۸۰-۸۱	1020.09	1020.29	1023.47	1023.46	1023.67	1023.57	1023.77	1023.87	1023.92	1023.87	1023.77	1023.9
۱۳۸۱-۸۲	1019.72	1020.02	1020.6	1020.44	1020.5	1021.37	1021.97	1019.6	1019.75	1018.49	1019.67	1019.5
۱۳۸۲-۸۳	1017.33	1017.47	1017.28	1019.57	1020.07	1020.42	1019.57	1020.82	1019.29	1019.16	1019.18	1019.28
۱۳۸۳-۸۴	1018.6	1019.37	1019.69	1019.84	1020.82	1021.02	1020.17	1017.97	1017.22	1017.87	1018.37	1017.52
۱۳۸۴-۸۵	1018.69	1019.32	1019.84	1020.4	1020.6	1021.33	1022.47	1023.05	1021.37	1019.11	1018.39	1018.72



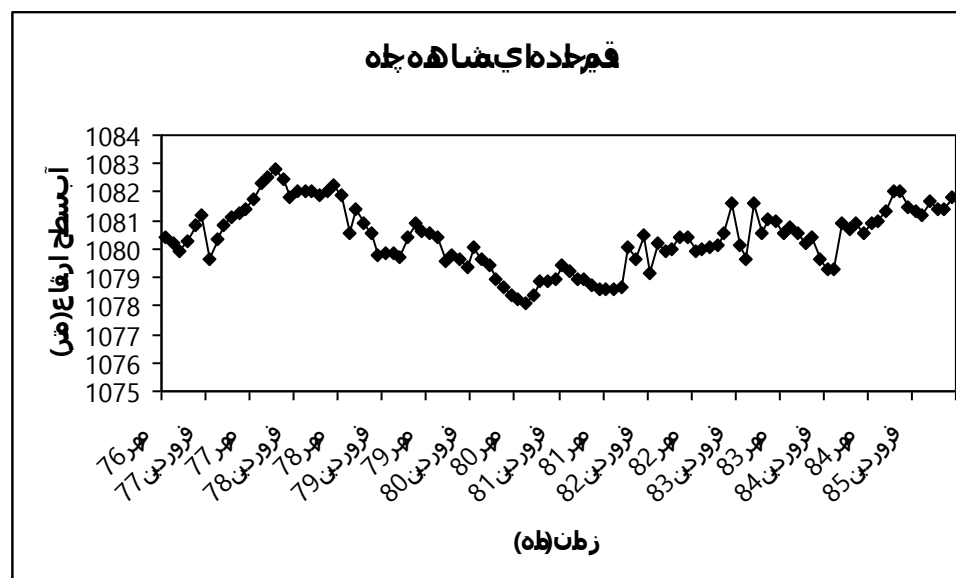
شماره ۶	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱۳۷۶-۷۷	1083.3	1083.43	1083.55	1083.5	1083	1081.5	1081.3	1081.35	1081.15	1081.23	1081.23	1081.05
۱۳۷۷-۷۸	1082.2	1082.72	1082.85	1083.55	1083.95	1084	1083.7	1083.02	1084.1	1083.8	1083.6	1083.28
۱۳۷۸-۷۹	1081	1081.35	1081.15	1082.12	1082.65	1082.94	1082.84	1082.5	1082.43	1081.7	1082.5	1082.1
۱۳۷۹-۸۰	1080.02	1080.45	1080.75	1081.35	1081.83	1082.19	1081.98	1081.75	1081.28	1080.75	1080.87	1082.1
۱۳۸۰-۸۱	1079.79	1080.75	1080.7	1080.43	1080	1079.65	1079.45	1079.53	1079.6	1079.55	1079.5	1079.77
۱۳۸۱-۸۲	1083.08	1083.23	1083.43	1081.05	1081.73	1081.03	1081.13	1081.08	1080.75	1080.7	1080.6	1080.55
۱۳۸۲-۸۳	1082.89	1082.95	1082.79	1083.29	1082.34	1082.3	1083.29	1082.8	1082.93	1083.11	1082.79	1082.36
۱۳۸۳-۸۴	1083.44	1083.45	1084.1	1083.33	1083.2	1083.25	1083	1082.9	1082.75	1082.9	1083.05	1082.9

۱۳۸۴-۸۵	1084.72	1084.51	1084.37	1083.3	1082.83	1082.89	1082.9	1082.96	1083.15	1083.05	1083.32	1083.28
---------	----------------	----------------	----------------	---------------	----------------	----------------	---------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

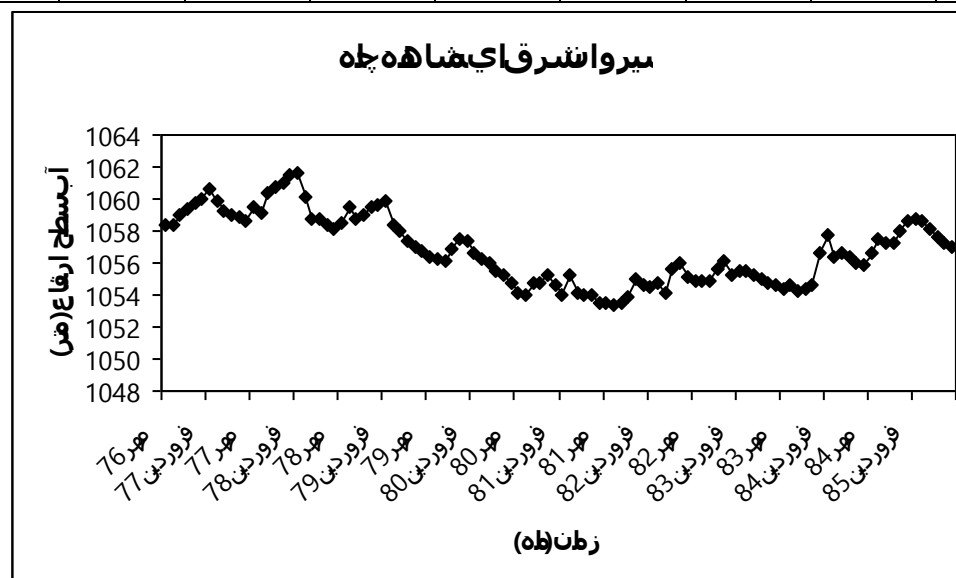


شماره ۷	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱۳۷۶-۷۷	1081.37	1081.24	1081.12	1080.82	1080.32	1079.67	1081.22	1080.82	1080.27	1079.92	1080.17	1080.42
۱۳۷۷-۷۸	1082.27	1082.05	1081.91	1082.02	1082.02	1082.02	1081.82	1082.42	1082.82	1082.52	1082.29	1081.77
۱۳۷۸-۷۹	1080.64	1080.92	1080.42	1079.74	1079.87	1079.87	1079.79	1080.52	1080.89	1081.4	1080.52	1081.88
۱۳۷۹-۸۰	1078.37	1078.67	1078.92	1079.42	1079.67	1080.08	1079.37	1079.62	1079.8	1079.59	1080.42	1080.57
۱۳۸۰-۸۱	1078.57	1078.72	1078.92	1078.97	1079.22	1079.42	1078.97	1078.89	1078.87	1078.38	1078.1	1078.25
۱۳۸۱-۸۲	1080.38	1080.42	1080	1079.92	1080.17	1079.17	1080.46	1079.67	1080.05	1078.64	1078.57	1078.57

۱۳۸۲-۸۳	1080.96	1081.02	1080.56	1081.58	1079.65	1080.1	1081.58	1080.53	1080.11	1080.05	1079.98	1079.9
۱۳۸۳-۸۴	1080.52	1080.92	1080.72	1080.9	1079.27	1079.3	1079.62	1080.42	1080.17	1080.54	1080.76	1080.52
۱۳۸۴-۸۵	1081.8	1081.4	1081.42	1081.7	1081.17	1081.35	1081.47	1082.03	1082.06	1081.34	1080.99	1080.93

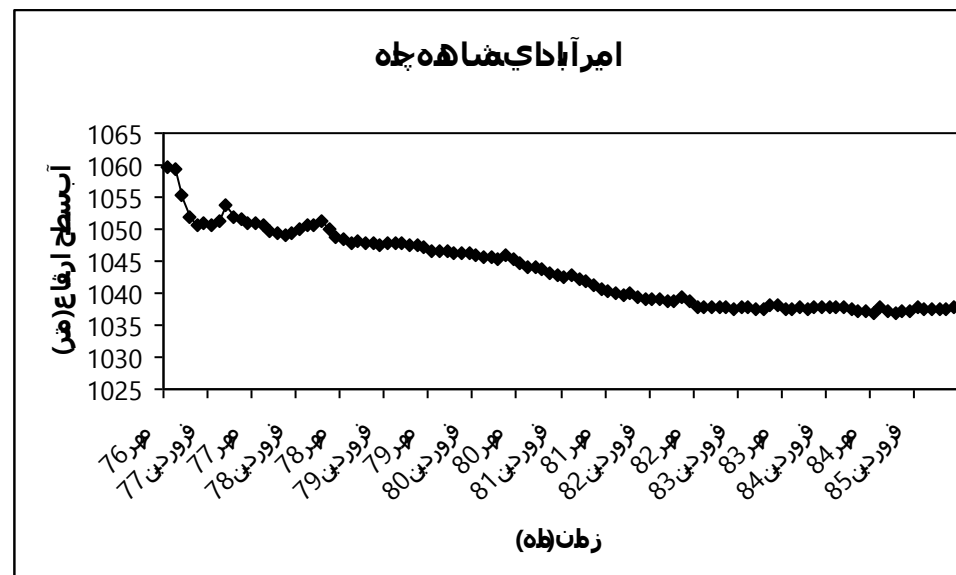


شماره ۸	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱۳۷۶-۷۷	1058.65	1058.85	1059.05	1059.25	1059.93	1060.65	1060.05	1059.75	1059.38	1059	1058.37	1058.4
۱۳۷۷-۷۸	1058.15	1058.38	1058.7	1058.75	1060.15	1061.6	1061.5	1061.04	1060.8	1060.35	1059.1	1059.5
۱۳۷۸-۷۹	1056.7	1057.05	1057.35	1058.05	1058.4	1059.9	1059.6	1059.45	1059	1058.77	1059.45	1058.5
۱۳۷۹-۸۰	1054.8	1055.25	1055.5	1056	1056.22	1056.65	1057.32	1057.5	1056.85	1056.1	1056.2	1056.35
۱۳۸۰-۸۱	1053.52	1053.97	1053.97	1054.15	1055.3	1054	1054.65	1055.2	1054.73	1054.7	1054	1054.08
۱۳۸۱-۸۲	1055.16	1055.95	1055.6	1054.17	1054.7	1054.5	1054.65	1055	1053.93	1053.5	1053.43	1053.53
۱۳۸۲-۸۳	1054.61	1054.75	1055.05	1055.27	1055.5	1055.5	1055.27	1056.11	1055.61	1054.92	1054.9	1054.85
۱۳۸۳-۸۴	1055.92	1056.05	1056.35	1056.64	1056.37	1057.7	1056.65	1054.6	1054.35	1054.31	1054.6	1054.38
۱۳۸۴-۸۵	1056.97	1057.19	1057.59	1058.16	1058.66	1058.71	1058.65	1058	1057.3	1057.27	1057.46	1056.6



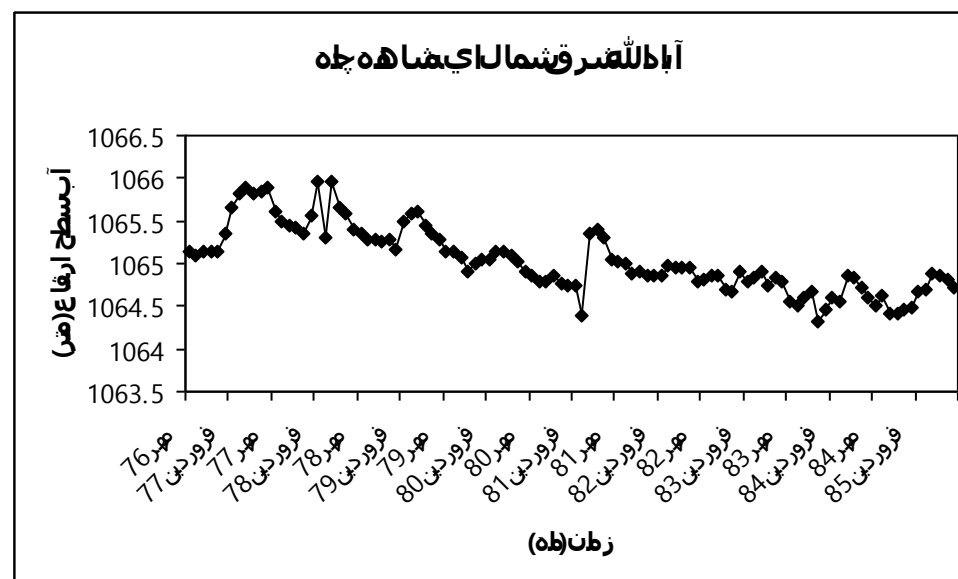
شماره ۹	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
---------	-----	------	-----	----	------	-------	---------	----------	-------	-----	-------	--------

۱۳۷۶-۷۷	1050.88	1051.63	1052.03	1053.63	1051.28	1050.48	1050.98	1050.68	1051.88	1055.18	1059.48	1059.73
۱۳۷۷-۷۸	1048.68	1049.93	1051.13	1050.53	1050.7	1049.93	1049.43	1049.07	1049.38	1049.68	1050.68	1051.08
۱۳۷۸-۷۹	1047.13	1047.35	1047.58	1047.7	1047.81	1047.83	1047.62	1047.83	1047.95	1048.07	1047.83	1048.53
۱۳۷۹-۸۰	1045.23	1045.88	1045.33	1045.68	1045.7	1045.86	1046.13	1046.23	1046.23	1046.43	1046.68	1046.68
۱۳۸۰-۸۱	1040.62	1041.38	1041.73	1042.06	1042.76	1042.43	1042.68	1043.01	1043.76	1044.13	1044.18	1044.63
۱۳۸۱-۸۲	1038.83	1039.33	1038.83	1038.83	1039.13	1039.11	1039.18	1039.48	1039.96	1039.7	1040.13	1040.43
۱۳۸۲-۸۳	1038.25	1038.28	1037.45	1037.65	1037.76	1037.87	1037.65	1037.75	1037.68	1037.83	1037.82	1037.78
۱۳۸۳-۸۴	1037.09	1037.2	1037.43	1037.71	1037.68	1037.71	1037.83	1037.93	1037.63	1037.66	1037.56	1037.5
۱۳۸۴-۸۵	1037.8	1037.5	1037.56	1037.41	1037.58	1037.73	1037.13	1037.13	1036.97	1037.08	1037.84	1037.01



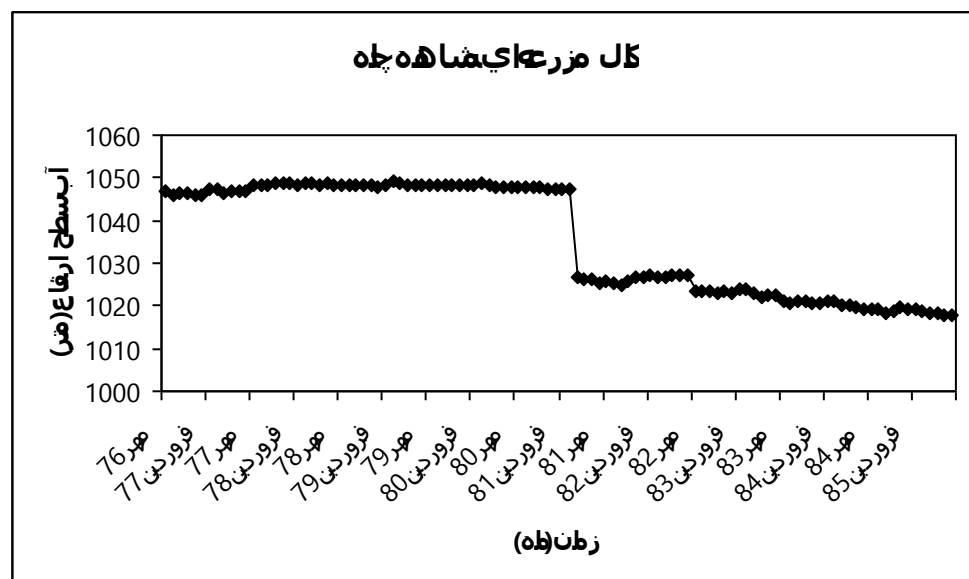
شماره ۱۰	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱۳۷۶-۷۷	1065.9	1065.85	1065.82	1065.9	1065.82	1065.65	1065.35	1065.15	1065.15	1065.15	1065.1	1065.15
۱۳۷۷-۷۸	1065.4	1065.58	1065.65	1065.95	1065.3	1065.95	1065.57	1065.34	1065.43	1065.45	1065.5	1065.6
۱۳۷۸-۷۹	1065.28	1065.35	1065.45	1065.6	1065.58	1065.5	1065.16	1065.27	1065.25	1065.27	1065.27	1065.35
۱۳۷۹-۸۰	1064.9	1065.02	1065.1	1065.15	1065.13	1065.05	1065.05	1065	1064.9	1065.07	1065.15	1065.15
۱۳۸۰-۸۱	1065.04	1065.3	1065.4	1065.35	1064.4	1064.75	1064.75	1064.77	1064.85	1064.8	1064.8	1064.87
۱۳۸۱-۸۲	1064.8	1064.958	1064.958	1064.95	1064.98	1064.85	1064.85	1064.85	1064.9	1064.88	1065	1065.03
۱۳۸۲-۸۳	1064.8	1064.83	1064.75	1064.91	1064.83	1064.8	1064.91	1064.67	1064.7	1064.87	1064.85	1064.82
۱۳۸۳-۸۴	1064.6	1064.72	1064.83	1064.86	1064.55	1064.6	1064.45	1064.33	1064.68	1064.59	1064.5	1064.55

۱۳۸۴-۸۵	1064.71	1064.82	1064.86	1064.88	1064.7	1064.67	1064.48	1064.45	1064.41	1064.42	1064.62	1064.51
---------	----------------	----------------	----------------	----------------	---------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------



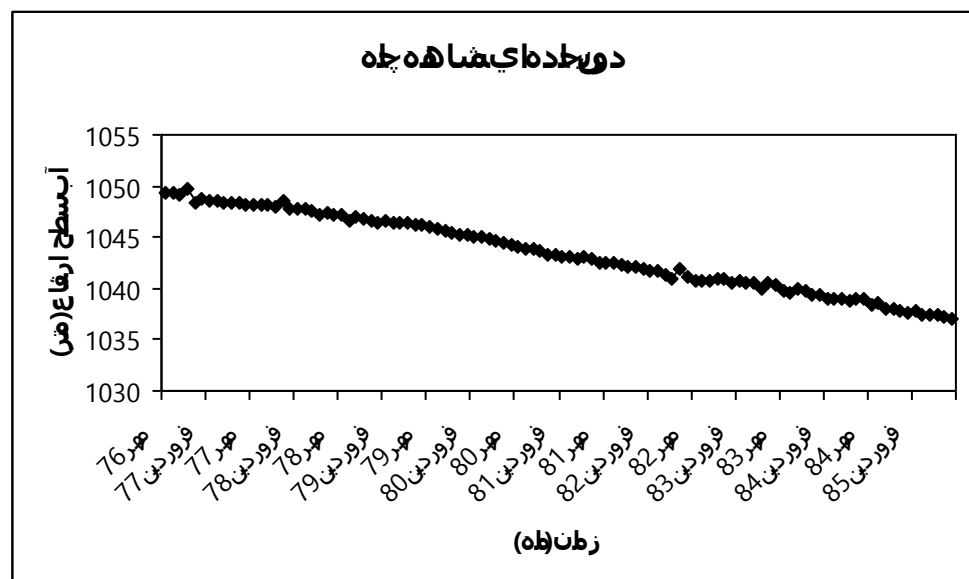
شماره ۱۱	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱۳۷۶-۷۷	1046.66	1046.83	1047.01	1046.31	1047.36	1047.21	1045.96	1046.11	1046.36	1046.31	1045.86	1047.06
۱۳۷۷-۷۸	1048.43	1048.56	1048.38	1048.81	1048.86	1048.11	1048.78	1048.57	1048.79	1048.49	1048.33	1048.21
۱۳۷۸-۷۹	1048.06	1048.23	1048.43	1048.74	1049.36	1048.06	1047.96	1048.11	1048.36	1048.48	1048.11	1048.48
۱۳۷۹-۸۰	1047.71	1047.86	1048.01	1048.36	1048.69	1048.11	1048.28	1048.19	1048.26	1048.5	1048.31	1048.11
۱۳۸۰-۸۱	1025.46	1026.19	1026.21	1026.56	1047.36	1047.16	1047.41	1047.51	1047.68	1047.76	1047.58	1047.71
۱۳۸۱-۸۲	1027.15	1027.28	1027.39	1026.79	1026.83	1027.11	1026.85	1026.76	1025.61	1024.91	1025.34	1025.64

۱۳۸۲-۸۳	1022.36	1022.45	1022.13	1023.11	1024.06	1023.96	1023.11	1023.28	1023.19	1023.45	1023.6	1023.51
۱۳۸۳-۸۴	1019.28	1019.63	1019.96	1020.33	1020.86	1021.11	1020.76	1020.61	1021.11	1021.28	1020.71	1020.88
۱۳۸۴-۸۵	1017.74	1019.02	1018.23	1018.31	1018.61	1019.15	1019.26	1019.46	1018.71	1018.48	1019.03	1019.01



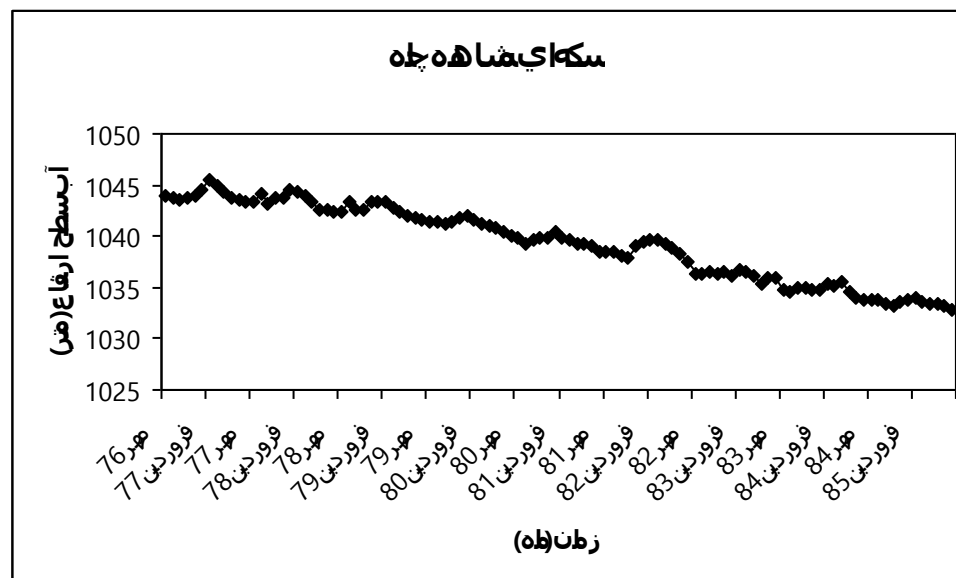
شماره ۱۲	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱۳۷۶-۷۷	1048.25	1048.3	1048.37	1048.45	1048.5	1048.6	1048.7	1048.3	1049.67	1049.07	1049.25	1049.3
۱۳۷۷-۷۸	1047.25	1047.3	1047.14	1047.6	1047.7	1047.7	1047.85	1048.57	1048	1048.1	1048.2	1048.25
۱۳۷۸-۷۹	1046.13	1046.22	1046.32	1046.45	1046.5	1046.6	1046.4	1046.62	1046.85	1046.9	1046.62	1047.2
۱۳۷۹-۸۰	1044.25	1044.55	1044.72	1044.9	1044.97	1045.1	1045.3	1045.3	1045.4	1045.66	1045.8	1045.92

۱۳۸۰-۸۱	1042.58	1042.87	1043	1042.9	1043	1043.1	1043.25	1043.35	1043.67	1043.83	1043.9	1044.1
۱۳۸۱-۸۲	1041.2	1041.9	1041	1041.4	1041.73	1041.8	1041.95	1042.07	1042.15	1042.25	1042.5	1042.57
۱۳۸۲-۸۳	1040.43	1040.5	1040.02	1040.45	1040.63	1040.8	1040.45	1040.91	1040.95	1040.8	1040.82	1040.76
۱۳۸۳-۸۴	1038.9	1039	1038.82	1038.95	1038.9	1038.9	1039.45	1039.4	1039.8	1039.97	1039.55	1039.7
۱۳۸۴-۸۵	1037.07	1037.27	1037.37	1037.38	1037.44	1037.72	1037.57	1037.8	1038.1	1038.08	1038.6	1038.36



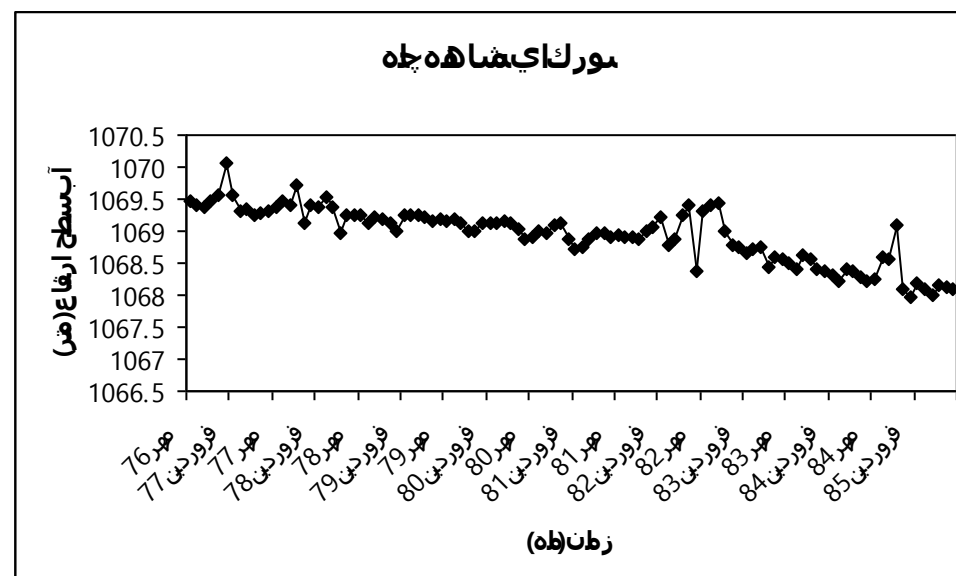
شماره ۱۳	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱۳۷۶-۷۷	1043.28	1043.51	1043.73	1044.26	1044.88	1045.43	1044.48	1043.88	1043.73	1043.53	1043.73	1043.88
۱۳۷۷-۷۸	1042.38	1042.63	1042.55	1043.33	1043.88	1044.28	1044.48	1043.83	1043.68	1043.13	1044.18	1043.38

۱۳۷۸-۷۹	1041.63	1041.8	1042.04	1042.48	1042.85	1043.34	1043.37	1043.42	1042.66	1042.55	1043.42	1042.3
۱۳۷۹-۸۰	1040.03	1040.4	1040.73	1041.03	1041.23	1041.63	1041.93	1041.78	1041.36	1041.18	1041.38	1041.43
۱۳۸۰-۸۱	1038.4	1039.1	1039.28	1039.31	1039.58	1039.93	1040.45	1039.78	1039.82	1039.58	1039.34	1039.88
۱۳۸۱-۸۲	1037.44	1038.28	1038.88	1039.18	1039.58	1039.66	1039.55	1039.01	1037.98	1038.03	1038.38	1038.48
۱۳۸۲-۸۳	1035.9	1035.9	1035.27	1036.18	1036.6	1036.67	1036.18	1036.58	1036.27	1036.43	1036.41	1036.36
۱۳۸۳-۸۴	1033.88	1034.03	1034.58	1035.64	1035.11	1035.43	1034.7	1034.68	1034.88	1035.03	1034.63	1034.73
۱۳۸۴-۸۵	1032.85	1033.24	1033.32	1033.36	1033.63	1034.08	1033.88	1033.55	1033.14	1033.33	1033.88	1033.71



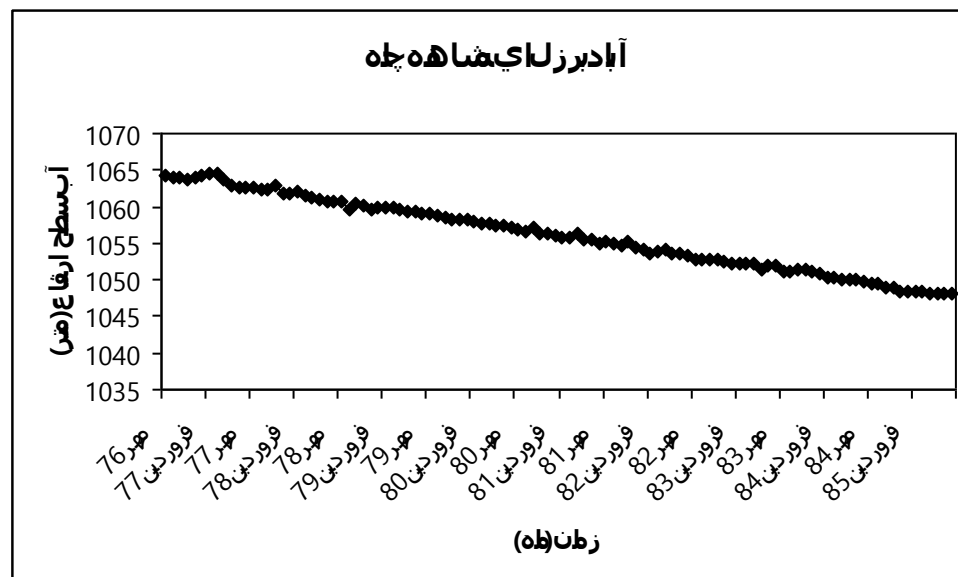
شماره ۱۴	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
----------	-----	------	-----	----	------	-------	---------	----------	-------	-----	-------	--------

۱۳۷۶-۷۷	1069.31	1069.29	1069.26	1069.33	1069.31	1069.56	1070.06	1069.56	1069.46	1069.36	1069.41	1069.46
۱۳۷۷-۷۸	1069.26	1069.26	1068.98	1069.36	1069.54	1069.36	1069.4	1069.11	1069.71	1069.41	1069.46	1069.36
۱۳۷۸-۷۹	1069.18	1069.16	1069.23	1069.26	1069.24	1069.26	1069	1069.11	1069.2	1069.21	1069.11	1069.26
۱۳۷۹-۸۰	1068.86	1069.03	1069.11	1069.16	1069.14	1069.14	1069.11	1069.01	1069.01	1069.11	1069.18	1069.16
۱۳۸۰-۸۱	1068.91	1068.96	1068.96	1068.86	1068.76	1068.71	1068.86	1069.11	1069.08	1068.96	1069.01	1068.91
۱۳۸۱-۸۲	1089.39	1069.41	1069.251	1068.86	1068.78	1069.21	1069.06	1069.01	1068.86	1068.91	1068.91	1068.94
۱۳۸۲-۸۳	1068.57	1068.59	1068.45	1068.76	1068.73	1068.65	1068.76	1068.77	1068.99	1069.44	1069.4	1069.31
۱۳۸۳-۸۴	1068.21	1068.28	1068.39	1068.41	1068.21	1068.31	1068.36	1068.41	1068.56	1068.63	1068.41	1068.51
۱۳۸۴-۸۵	1068.1	1068.13	1068.17	1068.01	1068.08	1068.18	1067.98	1068.08	1069.09	1068.56	1068.6	1068.25



شماره ۱۵	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱۳۷۶-۷۷	1062.6	1062.73	1062.85	1063.7	1064.55	1064.65	1064.35	1063.85	1063.7	1063.85	1064.05	1064.3
۱۳۷۷-۷۸	1060.65	1060.71	1060.9	1061.37	1061.58	1061.95	1061.87	1061.7	1062.8	1062.45	1062.42	1062.53
۱۳۷۸-۷۹	1059.15	1059.3	1059.45	1059.65	1059.75	1059.85	1059.75	1059.65	1060.22	1060.33	1059.65	1060.7
۱۳۷۹-۸۰	1057.05	1057.37	1057.52	1057.75	1057.81	1057.98	1058.2	1058.25	1058.35	1058.65	1058.77	1058.95
۱۳۸۰-۸۱	1055.07	1055.46	1055.6	1056.2	1055.65	1055.78	1055.98	1056.3	1056.25	1057.1	1056.68	1056.88
۱۳۸۱-۸۲	1053.35	1053.55	1053.55	1054.05	1053.98	1053.5	1054.17	1054.42	1055.1	1054.75	1054.85	1055.13
۱۳۸۲-۸۳	1051.9	1051.95	1051.49	1052.09	1052.15	1052.21	1052.09	1052.62	1052.74	1052.85	1052.82	1052.76
۱۳۸۳-۸۴	1049.75	1049.95	1050.05	1050.1	1050.21	1050.35	1050.97	1051	1051.27	1051.35	1051.05	1051.1

۱۳۸۴-۸۵	1042.3	1042.62	1048.027	1048.184	1048.341	1048.498	1048.36	1048.52	1048.99	1048.9	1049.49	1049.41
---------	--------	---------	----------	----------	----------	----------	---------	---------	---------	--------	---------	---------



فصل اول: کلیات ۱۷

۱-۱- مقدمه ۱۷

۱-۲- بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق ۱۸

۱-۳- ساماندهی پایان نامه ۱۹

۱-۴- موقعیت جغرافیایی و راههای ارتباطی ۲۰

۱-۵- هواشناسی منطقه ۲۲

۱-۵-۱- بارندگی ۲۲

۱-۵-۲- درجه حرارت منطقه ۲۴

۱-۵-۳- اقلیم منطقه ۲۵

۱-۶- زمین شناسی منطقه ۲۶

۱-۶-۱- چینه شناسی منطقه ۲۶

۱-۶-۱-۱- سازند مزدوران/لار ($J_{mz/l}$) ۲۸

۱-۶-۱-۲- سازند شوربجه (K_{sh}) ۲۹

۱-۶-۱-۳- سازند تیرگان (K_{tr}) ۲۹

۱-۶-۱-۴- سازند سرچشمه (K_{sr}) ۳۰

۱-۶-۱-۵- سازند سنگانه (K_{sn}) ۳۰

۱-۶-۱-۶- سازند آتامیر (K_{at}) ۳۰

۱-۶-۱-۷- سازند آبدراز (K_{ab}) ۳۱

۱-۶-۱-۸- سازند کلات (K_{kt}) ۳۱

۱-۶-۱-۹- سازند پستلیق (E_p) ۳۱

۱-۶-۱-۱۰- سازند نئوژن (N) ۳۲

۱-۶-۱-۱۱- رسوبات آبرفتی دوران چهارم (Q_4) ۳۲

۱-۶-۲- تکتونیک منطقه ۳۳

۱-۷- مورفولوژی منطقه ۳۴

۱-۸- هیدرولوژی منطقه ۳۶

۱-۸-۱- رودخانه اترک ۳۸

- ۱-۸-۲- رودخانه اوغاز (هنامه) ۳۹
- ۱-۸-۳- رودخانه قلجق ۴۰
- ۱-۸-۴- رودخانه تنسوان-گلیان ۴۰
- ۱-۸-۵- کال آغچه ۴۱
- ۱-۸-۶- مسیل دوین ۴۱
- ۱-۸-۷- رودخانه شورک ۴۱
- ۱-۸-۸- رودخانههای فرعی ۴۲
- ۱-۹- هیدروژئولوژی منطقه ۴۲
- ۱-۹-۱- چاههای عمیق و نیمه عمیق ۴۴
- ۱-۹-۲- قنوات ۴۴
- ۱-۹-۳- چشمه ها ۴۵
- ۱-۱۰- هیدروشیمی آبخوان ۴۵

فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین ۵۰

- ۱-۲- تحقیقات انجام گرفته به وسیله مدل‌های عددی ۵۰
- ۱-۱-۲- تحقیقات انجام گرفته در جهان ۵۱
- ۲-۱-۲- مطالعات انجام شده در ایران ۵۸
- ۲-۲- مطالعات قبلی انجام شده در دشت شیروان ۶۵
- ۱-۲-۲- آزمایشات پمپاژ ۶۶
- ۲-۲-۲- سابقه مدلسازی در منطقه ۶۷

فصل سوم: معادلات اساسی جریان آب زیرزمینی، مدل‌های آب زیرزمینی و مدل مورد استفاده ۶۸

- ۱-۳- تعریف مدلسازی ۶۸
- ۲-۳- معادلات اساسی حاکم بر جریان آب زیرزمینی ۷۰
- ۱-۲-۳- معادله عمومی جریان آب زیرزمینی در لایه آبدار تحت فشار ۷۰
- ۱-۱-۲-۳- شرایط ناپایدار ۷۱
- ۲-۱-۲-۳- شرایط پایدار ۷۳

- ۷۴..... ۲-۲-۳- معادله عمومی جریان آب زیرزمینی در لایه آبدار آزاد
- ۷۶..... ۳-۲-۳- معادله عمومی جریان آب زیرزمینی با مؤلفه تغذیه یا تخلیه
- ۷۸..... ۳-۳- طبقه بندی مدل‌های آب زیرزمینی
- ۷۸..... ۱-۳-۳- مدل‌های فیزیکی
- ۷۸..... ۱-۱-۳-۳- مدل‌های کوچک مقیاس
- ۸۱..... ۲-۱-۳-۳- مدل‌های آنالوگ
- ۸۲..... ۲-۳-۳- مدل‌های ریاضی
- ۸۳..... ۱-۲-۳-۳- مدل‌های تحلیلی
- ۸۴..... ۲-۲-۳-۳- مدل‌های عددی
- ۸۷..... ۴-۳- طراحی یک مدل عددی
- ۹۱..... ۵-۳- معرفی مدل PMWIN
- ۹۱..... ۱-۵-۳- شرح مدل PMWIN
- ۹۳..... ۲-۵-۳- مفاهیم طراحی سیستم جریان آب زیرزمینی با مدل PMWIN
- ۹۳..... ۱-۲-۵-۳- تقسیم بندی فضایی
- ۹۵..... ۲-۲-۵-۳- تقسیمات زمانی
- ۹۶..... ۳-۲-۵-۳- معادله تفاضل محدود
- ۱۰۶..... ۴-۲-۵-۳- معادلات ذخیره در MODFLOW
- ۱۰۷..... ۵-۲-۵-۳- معادلات اساسی هدایت هیدرولیکی در MODFLOW
- ۱۱۸..... ۶-۲-۵-۳- بسته تبخیر و تعریق
- ۱۲۰..... ۷-۲-۵-۳- بسته چاه
- ۱۲۱..... ۸-۲-۵-۳- بسته زهکشی
- ۱۲۱..... ۹-۲-۵-۳- بسته مرز با بار هیدرولیکی عمومی
- ۱۲۴..... ۱۰-۲-۵-۳- بسته رودخانه
- ۱۲۶..... ۱۱-۲-۵-۳- بسته تغذیه
- ۱۲۶..... ۱۲-۲-۵-۳- بسته نهر
- ۱۲۷..... ۱۳-۲-۵-۳- بسته مانع در برابر جریان افقی
- ۱۲۸..... ۱۴-۲-۵-۳- بسته ذخیره بین لایه‌ای
- ۱۲۸..... ۱۵-۲-۵-۳- بسته مخازن
- ۱۲۹..... ۱۶-۲-۵-۳- بسته قابلیت تر بودن

فصل چهارم: ساخت مدل عددی دشت شیروان با استفاده از مدل PMWIN.....۱۳۱

- ۱-۴-۱ تهیه مدل مفهومی ۱۳۱
- ۱-۴-۱-۱ ضخامت و وضعیت سفره آبرفتی ۱۳۲
- ۱-۴-۲ مقاطع زمین شناسی دشت شیروان ۱۳۲
- ۲-۴-۲ ساخت مدل عددی ۱۳۷
- ۲-۴-۱-۲ تعریف وضعیت هندسی مدل ۱۳۷
- ۲-۴-۱-۱-۱ طراحی شبکه ۱۳۷
- ۲-۴-۱-۲-۱ شرایط مرزی ۱۴۰
- ۲-۴-۲-۲ پارامترهای ورودی مدل ۱۴۲
- ۲-۴-۱-۲-۱ تقسیمات مکانی ۱۴۲
- ۲-۴-۲-۲-۱ شرایط اولیه و انتخاب گامهای زمانی ۱۴۳
- ۲-۴-۲-۲-۳ پارامترهای هیدروژئولوژیکی ۱۴۵
- ۲-۴-۳-۲ چاههای تخلیه ۱۴۷
- ۳-۴-۳ اجرای مدل ۱۵۳
- ۴-۴-۱ واسنجی مدل برای شرایط پایدار ۱۵۴
- ۴-۵-۱ واسنجی مدل برای شرایط ناپایدار ۱۵۶
- ۴-۶-۱ صحت سنجی ۱۷۴

فصل پنجم: مدیریت آبخوان دشت شیروان.....۱۸۵

- ۱-۵-۱ مدیریت آبخوان شیروان ۱۸۵
- ۱-۵-۱-۱ منطقه شرقی ۱۹۱
- ۱-۵-۱-۱-۱ کاهش تخلیه آبخوان ۱۹۴
- ۱-۵-۱-۲ تغذیه مصنوعی ۱۹۹
- ۱-۵-۲-۱ منطقه مرکزی ۲۰۹
- ۱-۵-۳-۱ منطقه غربی ۲۱۴
- ۱-۵-۳-۱-۱ کاهش تخلیه آبخوان ۲۱۷

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات.....۲۲۲

۶-۱- نتیجه گیری..... ۲۲۲

۶-۲- پیشنهادات ۲۲۴

منابع فارسی..... ۲۲۵

REFERENCE..... ۲۳۰

پیوست: هیدروگراف ۱۵ چاه مشاهده ای قرار گرفته در محدوده مدل..... ۲۳۳



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc. thesis

Hydrogeology

Management of Shirvan Aquifer by PMWIN Mathematical model

By:

۲۵۷

Azam Mohammadi

Supervised by:

Dr. G. H. Karami

Dr. F. Dolati Ardehjani

Advisor:

Ramezan Kazemi Gelian

January 2008

Abstract

Ghochan-Shirvan plain is the greatest and most important watershed of Atrak river that since 1987 is not allowed to dig more producing boreholes in this plain of Khorasan province. Due to hydrogeological conditions of this plain and the considerable decrease in the water level during last two decades, hydraulic connection has been cutted from Borzel Abad village and it was divided into two Shirvan and Ghochan aquifers. Mathematical models are used as an important tools in management of groundwater resources and appropriate discharge of these storages. In order to optimize the hydraulic parameters and considering the effect of Barzo dam on the recharge water into Shirvan aquifer and also the aquifer behavior in different management subjects, this aquifer was simulated by PMWIN model. After aggregating required information and data, the model developed and first information inputted in the model. the developed model was run for December 2002 (steady state) and hydraulic conductivity and the coefficient conductance of boundaries calibrated. After calibrating the model for steady state conditions, the model was run in unsteady state and the hydraulic parameters such as specific yield, recharge and discharge were determined. In the verification stage using observed data of two water years (i.e. 2004-2005 and 2005-2006) the developed model was run and the result obtained from the model compared with observed data. Then the results was used for aquifer management. Exerting the model for the maintained two water years showed that it can precisely predict the values of water table. After achieving to the validity of developed model, the results obtained from the model were used for the management of the aquifer. According to the obtained results, the annual water budget of Shirvan aquifer for three calibration years shows an increase trend due to development of irrigation systems of the dam and also increase in the annual rainfall.

In order to evaluate the effects of irrigation systems of dam in different parts of the aquifer, the study area classified into three zones namely eastern, central and western zones. The model was considered each zone as a separated system and the results of water budgets for the different zones showed that, the annual water budget in eastern and western zones are negative but it is positive for the central zone.