شبیه‌سازی کمی آب‌های زیرزمینی شهر هرات با استفاده از مدل MODFLOW

نظام‌الدین تیموری[1]

چکیده

شهر هرات در جنوب غرب افغانستان موقعیت دارد. این شهر یکی از بزرگترین و مهم ترین شهرهای افغانستان می‌باشد که تقریبا یک میلیون نفوس را در خود جای‌داده است. شهر هرات از جمله مناطق نیم‌خشک محسوب شده و متوسط بارندگی در این شهر ۲۰۰ میلی متر در سال می‌باشد. منابع آب سطحی هرات عمدتا شامل سه رودخانه که از داخل شهر می‌گذرد می‌شود. جهت جریان آب زیرزمینی نیز با توجه به خطوط هم پتاسیل از شمال شرق به طرف جنوب غرب شهر می‌باشد. نظر به اطلاعات دست یافته سطح آب در سال‌های اخیر افت چشم‌گیری در این ناحیه داشته. به منظور شناخت دقیق‌تر آبخوان از نظر هیدروژیولوژیکی و بهره‌برداری بهینه از منابع آب‌های زیرزمینی، مدل ریاضی آبخوان شهر هرات با استفاده از مدل MODFLOW تهیه شده است. در ابتدا اطلاعات مورد نیاز شامل اطلاعات هواشناسی، هیدرولوژی، هیدروژیولوژی و سایر اطلاعات صحرایی و مورد نیاز گردآوری شده و سپس با استفاده از اطلاعات دست داشته مدل مفهومی اولیه دشت تهیه شد. در این مرحله با استفاده از نرم افزار GIS اطلاعاتی در خصوص ضخامت آبرفت، شرایط مرزی مانند نقشه توپوگرافی، اطلاعات بیلان و غیره تهیه گردیده و به مدل ریاضی منطقه مورد نظر وارد شد. این مدل برای سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ با اعمال ۱۲ گام زمانی اجرا شد. هنگامی که مدل برای اولین بار اجرا شد نتایج حاصل از بار محاسباتی و بار مشاهداتی در محدوده قابل قبولی قرار نداشت، از این رو واسنجی مدل برای شرایط ماندگار و غیرماندگار به صورت دستی انجام شد.

واژگان کلیدی: شبیه سازی آب های زیرزمینی، شهر هرات، مدل MODFLOW، هیدروژئولوژی، منابع آبی

---

[1] ماستر آب و سازه‌های هایدرولیکی

بیان مسأله

آب مهم‌ترین منبع طبیعی کره زمین است. آب عنصر حیات بخش زمین و بخش جدایی ناپذیری از زندگی را تشکیل می‌دهد. هرجایی که آب باشد امکان زندگانی و حیات هم می‌باشد. نقش آب در تمام ارکان زندگی بشری نیز کاملا هویدا است، از مسائل سلامت و بهداشت گرفته تا زراعت ،صنعت و تولید مواد غذایی. از گذشته ای دور، دسترسی به آب یکی از مزیّت‌های جوامع بشری بوده است. از همین روست که بیشتر تمدن‌های بزرگ جهان در کنار رودخانه ها و دره ها شکل گرفته اند. باوجود اینکه سه چهارم از سطح کره زمین را آب پوشانده است اما حدود ۹۷ درصد از این آب‌ها در اقیانوس‌ها و دریاها قرار دارند که شور بوده و قابل استفاده ساکنین کره زمین نمی‌باشد. از سه درصد باقیمانده نیز حدود ۶۹ درصد آن به صورت برف و یخ در قطبین زمین و همچنین در یخچال‌های کوهستان‌ها قرار داشته که از دسترس خارج هستند. از مقدار باقیمانده، ۳۰ درصد آب‌های زیرزمینی را تشکیل می‌دهند.

بنابراین مساله تامین آب یکی از مسائل بسیار مهم در توسعه جوامع بشری می‌باشد. دسترسی به آب بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک جهان از اهمیت بسیار بیشتری نسبت به سایر نقاط کره زمین برخوردار می‌باشد. آب‌های زیرزمینی مهم ترین منبع آب شیرین جهان هستند. آب آشامیدنی ۲ میلیارد نفر مستقیما از آبهای زیرزمینی تامین می‌شود و برای آبیاری بزرگترین بخش تهیه غذا در جهان استفاده می‌شود. با این حال، در بسیاری از مناطق در سراسر جهان، منابع آب زیرزمینی تحلیل می‌روند، زیرا با سرعتی بیش از بارش باران و برف و فرو رفتن آنها در خاک، از زیر زمین برداشت می‌شوند. رشد نفوس در کشورهای آسیای نسبت به تمام قاره‌ها ازدیاد یافته‌است. در صورت ادامه چنین حالت نه تنها کمبود آب برای کشاورزی بلکه برای نوشیدن به مشکلات مواجه خواهد شد. افغانستان یکی از کشورهای است که در چند ده اخیر رشد نفوس چشم‌گیری داشته است. آبهای زیرزمینی یکی از منابع اصلی تأمین آب نوشیدنی در تمام نقاط افغانستان می‌باشد. کاهش شدید سطح آب‌های زیرزمینی در افغانستان زنگ خطر درباره بحرانی شدن وضعیت آب را به صدا در آورده است از سوی دیگر استفاده آبهای شیرین برای باغداری و زراعت از سوی زارعین و همچنین پارک‌های آبی، حوض‌ها و سوناهای موجود در افغانستان باعث افت آبهای زیرزمینی این کشور شده است.

شهر هرات یکی از شهر های افغانستان می‌باشد که با این معضل به صورت جدی گرفتار است. عدم مدیریت درست از آب های زیرزمینی و استفاده بی رویه از آنها در سالهای اخیر سفره‌های آبی این منطقه را تا عمق ۷ متر و در ساحات شمالی شهر تا حدود ۲۰ متر کاهش داده است. مصرف بیجا از آب‌های شیرین و حفر خودسر چاه‌های عمیق از دلایل عمده و اساسی افت آب‌های زیرزمینی در این ولایت می‌باشد. دهاقین هرات طی سال‌های اخیر برای آبیاری زمین‌های‌شان اقدام به حفر چاه‌های عمیق نموده و با استفاده از سولرها به گونه افراطی هزاران هکتار زمین را آب‌یاری کرده‌اند. از آنجایکه مصرف شهروندان شهر هرات تنها از منابع آب زیرزمینی می‌باشد این موضوع

باعث نگرانی شهروندان این شهر شده است که در آینده میتواند مشکلات کم آبی جدی را در این ناحیه به وجود آورد.

دراین تحقیق سعی می‌شود که آب های زیرزمینی شهر هرات از نظر کمی بررسی شده و روش های مناسب و علمی برای جلوگیری از افت آب های زیرزمینی پیشنهاد شود. روش تحقیق در این پایان نامه متکی بر شبیه سازی کامپیوتری آب های زیر زمینی هرات خواهد بود. این امر با جمع آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز و برپاسازیی مدل آب زیرزمینی و سپس تلاش برای واسنجی این مدل صورت خواهد گرفت. با در دست داشتن این مدل می توان سناریوهای بهره برداری آینده آبخوان را تعریف و شبیه سازی کرد تا اثرات آنها در آینده آبخوان اشکار شود.

سوالات تحقیق

- مقدار اثرات تغییرات برداشت به روند بهربرداری روی سطح آب های زیرزمینی چقدر است ؟
- تغییرات سطح آب های زیرزمینی در دوره مورد مطالعه چگونه است؟

اهداف تحقیق

- تخمین مناطق بحرانی آبخوان و کنترول از برداشت غیرمجاز
- مدیریت بهربرداری از منابع آب های زیرزمینی
- میزان کمی آب های زیرزمینی شهر هرات
- شبیه سازی نوسانات سطح آب های زیرزمینی

اهمیت و ضرورت انجام تحقیق

ضرورت و اهمیت این تحقیق شناخت بیش تر از سیستم های منابع آب زیرزمینی شهر هرات برای ارایه راه حل های مدیریتی از نکته نظر بهربرداری پایدار می‌باشد. اگر مدل به نحو مطلوبی تنظیم و ساخت شود، میتواند وسیله ای قابل قبول جهت پیش بینی های لازم به منظور مدیریت بهربرداری از منابع آب زیرزمینی باشد. بدیهی است که چنین اطلاعاتی می‌تواند در مدیریت کنترل منابع آب زیرزمینی شهر هرات موثر واقع شود.

عدم وجود مدل شبیه سازی برای آبخوان هرات باعث خواهد شد که روند آینده آبخوان در نتیجه برداشت های رو به تزاید قابل پیش بینی و هشدار نباشد. اما در صورت تهیه مدل میتوان ادامه روند موجود و یا سناریوی بهره‌برداری متفاوت نسبت به وضع موجود را شبیه سازی و اثرات آن را مشاهد نمود. بدیهی است که مدل تهیه شده در این پژوهش بعنوان نخستین تلاش در این زمینه، یک مدل اولیه خواهد بود و باید در تلاش های بعدی مورد صحت سنجی و بروزرسانی قرارگیرد.

فرضیه‌های تحقیق

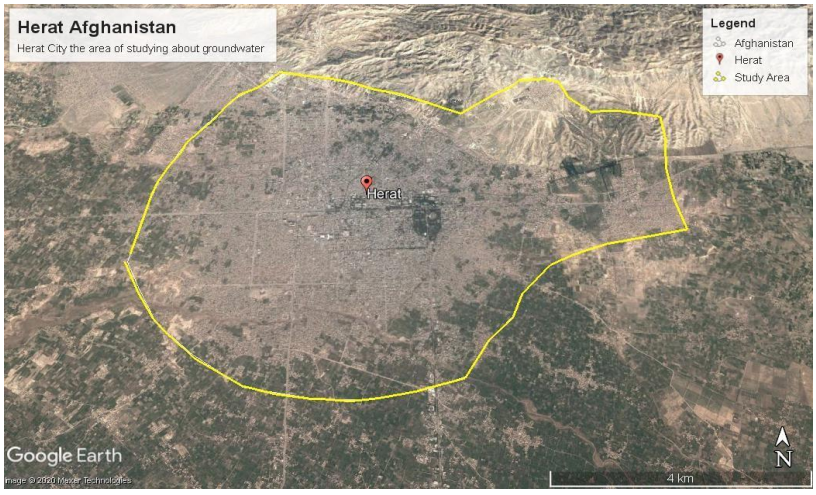
به نظر می‌رسد با شبیه‌سازی کمی و برنامه‌ریزی مدیریت آبخوان شهر هرات بتوان میزان خسارات احتمالی در آینده را کاهش داد.

به نظر می رسد میزان افت سطح آب در آبخوان منطقه مورد مطالعه درآینده از روند افزایش برخوردار باشد.

مشخصات منطقه مورد مطالعه

ولایت باستانی هرات، از جمله ولایات بزرگ و مهم افغانستان است. پس از کابل، دومین شهر پرجمعیت افغانستان محسوب می‌شود. هِرات قطب صنعتی و مهمترین کانون فرهنگی-هنری افغانستان به شمار می‌آید. رودخانه معروف هریرود از کنار این شهر می‌گذرد و نام هرات از نام این رود گرفته شده است. هرات از طرف شمال به ولایت بادغیس و جمهوری ترکمنستان، از طرف جنوب به ولایت فراه، از طرف شرق به ولایت غور و از طرف غرب با جمهوری اسلامی ایران هم مرز است.

شهر هرات مرکز این ولایت است. این شهر دارای ۱۵ ناحیه می‌باشد که طبق برآورد منابع داخلی، یک میلیون از جمعیت سه میلیونی ولایت هرات، در این شهر زندگی می‌کنند. ولایت هرات از جمله ولایات سرد سیر به شمار رفته، تابستان آن گرم وزمستان آن سرد می‌باشد. گرچه معلومات دقیق دررابطه با ترسبات اتومسفیری ونوسانات درجه حرارت درسال وجود نداشته ولی یخبندان دراین ولایت درموسم زمستان آغاز می‌گردد و ندرتاً به منفی ۱۰ درجه می‌رسد. در زمستان سال ۱۳۸۷ به طور استثنایی درجه حرارت به منفی ۲۰ درجه سانتی گرید رسید. درتابستان درجه حرارت به ۳۵ درجه سانتی گرید وبعضا الی ۴۵ درجه سانتی صعود می‌نماید. ولایت هرات از سطح بحر ۹۶۴ متر ارتفاع داشته آب و هوای آن درتابستان خیلی گرم و در زمستان سرد می‌باشد.



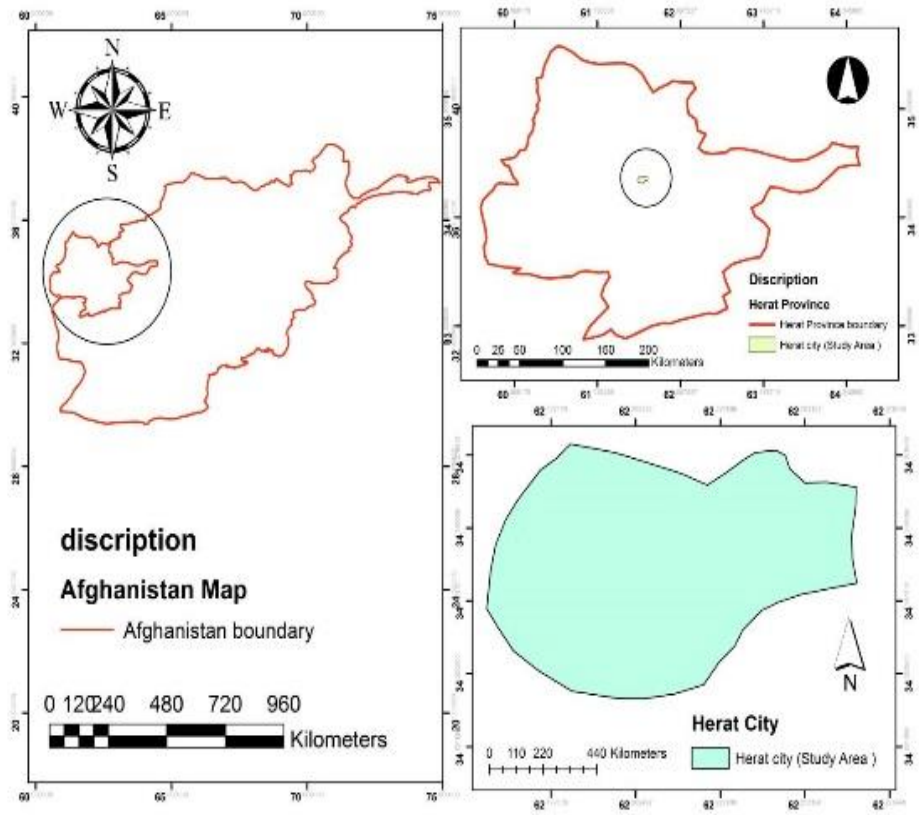
شکل ۱. منطقه مورد مطالعه (استان هرات)

به طور عموم گفته می‌توانیم که هرات دارای سه نوع اقلیم می‌باشد.

- ا قلیم معتدل که ساحه وادی هریرود را احتوا می‌کند.
- اقلیم نیمه صحرایی که شامل ولسوالی‌های کشک کهنه ،رباط سنگی ،کهسان، گلران وقسمت از ولسوالی غوریان وزنده جان می‌گردد.
- اقلیم صحرایی که ساحات جنوب –غرب ولایت هرات مانند دشت آتشان/ نمک سار ولسوالی غوریان الی سرحدات ولایت فراه را در بردارد.

شهر هرات در یکی از هموارترین مناطق جغرافیایی افغانستان موقعیت دارد. هرات از لحاظ موقعیت جغرافیایی در ۶۲ درجه ۲۰ دقیقه طول شرقی و۳۴ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی واقع شده است.

وسعت محدوده مورد مطالعه ۶۰ کیلومتر مربع می‌باشد.



شکل ۲. منطقه مورد مطالعه (استان هرات)

اطلاعات منابع آب های زیرزمینی

آب دهی منابع آب زیرزمینی شهر هرات:

طبق آمار و اطلاعات حوضه هریرود در محدوده شهر هرات تعداد ۴۵۰ چاه عمیق و نیم عمیق وجود دارد که آب دهی این چاه ها قرار ذیل است.

جدول ۱. آب دهی چاه ها منطقه مورد مطالعه (استان هرات)

موقعیت	تعداد چاه	مصارف	آب دهی $M^3/YEAR$	M3/SEC
شبکه آبرسانی	۳۰ حلقه	خانگی فضای سبز صنعتی شرب اطفایه	۱۷۰۰۰۰۰۰	۰٫۵۴
چاه های عمیق در نقاط متفاوت شهر	۳۰۰ حلقه	خانگی فضای سبز صنعتی شرب اطفایه	۱۲۰۰۰۰۰۰	۰٫۳۸
چاه های نیم عمیق در نقاط متفاوت شهر	۱۲۰حلقه	خانگی فضای سبز صنعتی شرب	۳۰۰۰۰۰۰	۰٫۰۹۵

اطلاعات هواشناسی شهر هرات[1]

ریزش های جوی در شهر هرات

افغانستان در منطقه نیمه‌خشک زمین قرار گرفته است. درجه حرارت در این کشور از ۱۰- درجه سانتیگراد در زمستان تا ۳۴ درجه سانتیگراد در تابستان متغیر است. متوسط بارندگی در سطح کشور ۳۲۷ میلی متر در سال می‌باشد که البته این میزان در سطح کشور متغیر است. بیشترین میزان بارندگی در ارتفاعات مرکزی و شمال شرقی

[1] وزارت انرژی و آب افغانستان

کشور و کمترین آن در جنوب غربی کشور می‌باشد. توزیع بارندگی در سطح کشور نشان می‌دهد که بیشتر از ۵۰ درصد کشور کمتر از ۳۰۰ میلیمتر بارندگی دارند.

بطورکلی میزان بارندگی در غرب کشور از اوسط بارندگی کل کشور کمتر می‌باشد. طبق آمار موجود از سال ۱۹۴۱ تا ۱۹۸۸ و از سال ۲۰۰۱ تا سال ۲۰۱۱، متوسط بارندگی سالیانه در هرات ۲۴۸ میلی متر می‌باشد. بنابراین منطقه هرات نسبت به اوسط کل کشور دارای بارندگی کمتری بوده و وابستگی شدیدی به آب‌های جاری منطقه دارد.

تغییرات درجه حرارت از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ نشان می‌دهد که بیشترین درجه حرارت ثبت شده در هرات ۳۷ درجه سانیگراد در سالهای ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ و کمترین آن ۶- درجه سانتیگراد در سال ۲۰۱۴ می‌باشد. بررسی ها نشان می‌دهد که دمای هوای هرات از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ بالاتر شده و هوای منطقه گرم تر شده است. بطوریکه از سال ۲۰۱۵ تاکنون هیچگاه دمای زیر صفر ثبت نشده است. بیشترین میزان تبخیر در هرات که معرف حوضه هریرود پایینی می‌باشد در ماه جولای بیش از ۲۴۰ میلی متر گزار ش شده است. بارندگیهای حوضه هریرود بین ماههای اکتوبر تا جون سال آینده اتفاق می‌افتد و در ماههای جولای، اگوست و سپتمبر در منطقه بارندگی به وقوع نمی‌پیوندد. برهمین اساس بیشترین میزان بارندگی در هرات در ماه مارچ و فبروی به وقوع می‌پوندد.

جدول ۲. مقدار بارندگی ماهانه در استان هرات در سال های ۲۰۱۶ و۲۰۱۷

۲۰۱۶

Jan	Feb	March	April	May	June	July	August	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
۲۴.۱	۰	۶۷.۱	۴۸.۱۱	۱۵.۶	۱.۳	۳	۰	۰	۰	۲.۸	۱.۷۴	۱۶۴

۲۰۱۷

Jan	Feb	March	April	May	June	July	August	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
۳۰	۴۳.۵	۵۱.۱	۴.۳۸	۱.۵۸	۰.۱	۰	۰.۱۴	۰.۲	۰.۲	۸.۱۹	۰	۱۴۰

جدول -۳. مقدار بارندگی ماهانه در استان هرات در سال های ۲۰۱۸ و۲۰۱۹

۲۰۱۸

Jan	Feb	March	April	May	June	July	August	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
۱۶.۵	۲۸.۳	۲۳.۹	۱۷.۲	۱۴.۳	۰	۰	۰	۰.۵	۲۴.۵	۱۳.۵	۴.۵	۱۴۳.۲

۲۰۱۹

Jan	Feb	March	April	May	June	July	August	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
۲۸	۱۰۶	۹۹	۷۲	۰.۳	۰	۰	۰	۰	۲۴.۸	۲۸	۲۲	۳۸۰

دما:

در تهیه ی مدل ریاضی آب های زیرزمینی پامتراهای هواشناسی و هیدرولوژی اهمیت زیادی دارند. ایستگاه دما سنج در محدوده ی مطالعاتی، پارمترهای پنجگانه حرارتی (حداکثر مطلق، متوسط حداکثر، متوسط، متوسط حداقل، حداقل مطلق) را اندازه گیری کرده است. آمار این ایستگاه به صورت روزانه می‌باشد.

جدول ۴. متوسط درجه حرارت استان هرات در سال های ۲۰۱۸ و۲۰۱۹

۲۰۱۸

Jan	Feb	March	April	May	June	July	August	Sep	Oct	Nov	Dec
۵	۸	۱۵	۱۵	۲۰	۲۶	۲۹	۲۶	۲۱	۲۰	۱۴	۱۲

۲۰۱۹

Jan	Feb	March	April	May	June	July	August	Sep	Oct	Nov	Dec
۱۱	۹	۱۵	۲۲	۲۷	۳۱	۳۵	۳۱	۲۷	۲۱	۱۰	۹

جدول ۵. حداکثر درجه حرارت استان هرات در سال های ۲۰۱۸ و۲۰۱۹

۲۰۱۸

Jan	Feb	March	April	May	June	July	August	Sep	Oct	Nov	Dec
۱۰	۱۲	۱۹	۲۰	۲۵	۳۱	۳۴	۳۱	۲۷	۲۷	۱۷	۱۵

۲۰۱۹

Jan	Feb	March	April	May	June	July	August	Sep	Oct	Nov	Dec
۱۴	۱۲	۱۸	۲۵	۳۰	۳۳	۳۸	۳۵	۳۲	۲۵	۱۳	۱۷

رطوبت

رطوبت هوا به طور کلی به دو صورت رطوبت مطلق هوا و رطوبت نسبی هوا در نظر گرفته می‌شود. رطوبت مطلق عبارت است از مقدار بخار آبی که در واحد حجم هوا موجود باشد. مقدار بخار آبی که برای اشباع یک حجم معین از هوا نیاز است، با افزایش دمای هوا بیشتر می‌شود. رطوبت نسبی مقدار رطوبت موجود در یک حجم هوا با دمای مشخص به حداکثر رطوبتی است که آن هوا می‌تواند در همان دما داشته باشد. هوای بدون بخار آب را هوای خشک می‌گویند. این نوع هوا در جو وجود ندارد، حتی در جو روی بیابان ها و عرض های بالا هوای خشک به علاوه رطوبت را هوای مرطوب می‌گویند. تبخیر که عامل مرطوب ساختن هوای خشک است، از سطح اقیانوس ها و آب های سطحی و تعرق، منبع رطوبت هوا، ایجاد ابرها و بارندگی است.

جدول ۶. متوسط رطوبت ماهانه استان هرات در سال های ۲۰۱۸ و۲۰۱۹

۲۰۱۸

Jan	Feb	March	April	May	June	July	August	Sep	Oct	Nov	Dec
۳۴	۴۱	۴۲	۴۰	۳۰	۱۸	۱۴	۱۷	۱۶	۲۸	۳۷	۳۴

۲۰۱۹

Jan	Feb	March	April	May	June	July	August	Sep	Oct	Nov	Dec
۳۷	۴۵	۴۲	۴۰	۲۳	۱۸	۱۵	۱۸	۲۲	۳۴	۴۷	۳۳

تبخیر شهر هرات

تبخیر سطحی یا بخارشدگی انگلیسی نوعی تبخیر است که از سطح یک مایع به سمت یک فاز گازی اشباع نشده از ماده تشکیل دهنده مایع، روی می‌دهد. مثال بارز در این خصوص تبخیر آب سطح دریاها و اقیانوس‌ها می‌باشد. این تبخیر در هر دمایی رخ می‌دهد و دمای مایع باقی مانده در این صورت کاهش می‌یابد. میزان تبخیر روزانه در ایستگاه واسج در حوضه دریایی هریرود اندازه گیری شده است.

جدول ۷. متوسط تبخیرماهانه استان هرات در سال های ۲۰۱۸ و۲۰۱۹

۲۰۱۸

Jan	Feb	March	April	May	June	July	August	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
۵۵	۶۶	۹۳	۹۳	۱۱۲	۱۳۵	۱۴۶	۱۳۵	۱۱۶	۱۱۲	۸۹	۸۰	۱۲۳۲mm

۲۰۱۹

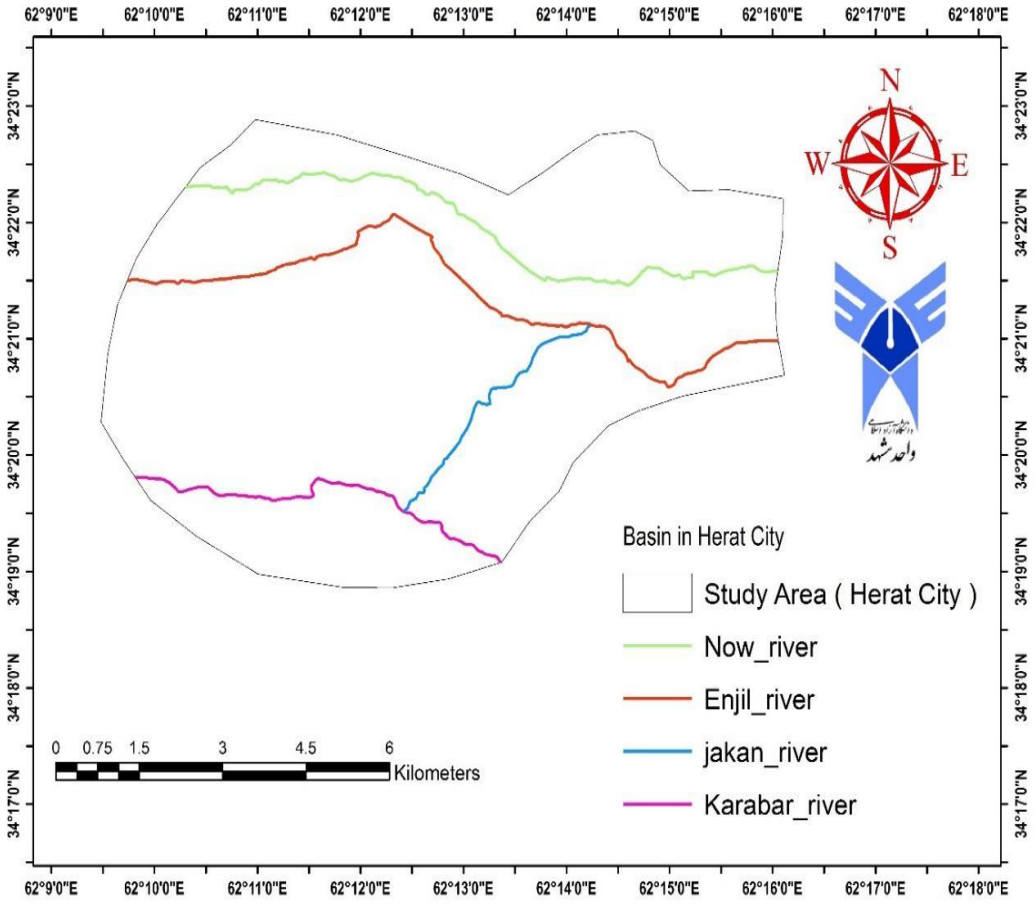
Jan	Feb	March	April	May	June	July	August	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
۸۰	۷۰	۹۳	۱۲۰	۱۳۸	۱۵۴	۱۶۹	۱۵۴	۱۳۸	۱۱۶	۸۰	۹۲	۱۴۰۴mm

اطلاعات منابع آب سطحی در هرات

رود باران هرات از روزگاران بسیار قدیم در این خطه باستان جریان داشته و به سان شاهرگ های حیات بخش جسم فیاض این ولایت تر و تازه نگه داشته اند، که هریرود به عنوان شاهرگ اصلی شایان توصیف افزون است . هنگام آب خیزی، رودهای خورد و بزرگ هرات در هنگام بارانهای زمستانی و بیشتر در موسم بهار است: زمانیکه برفهای کوهساران آب شده و بارش های زمستانی و بهاری شدت می‌یابد. هرگاه با استفاده از تخنیک پیشرفته و جدید سیلابهای بهاری این رودها مهار شده و در مسیر آب های جاری رودخانه ای بندهای آبی مناسب احداث شود، بی شک ظرفیت آبهای متذکره در فصل تابستان افزایش چشمگیر پیدا می‌کند و میدانهای زراعتی ولایت هرات توسعه افزون می‌آبند.

رود خانه های که از داخل شهر هرات عبور می‌کنند قرار ذیل است.

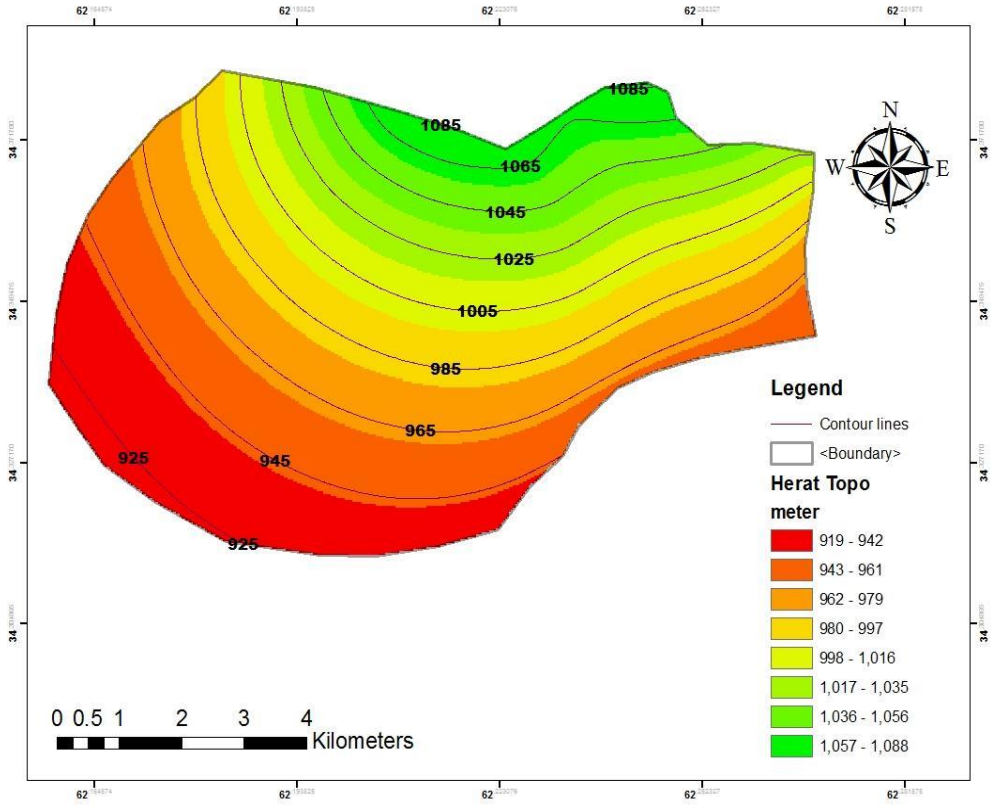
- رودخانه انجیل
- رودخانه نو
- رودخانه کاربار
- رودخانه جکان



شکل ۳. جریان رودخانه ها درمنطقه مورد مطالعه

توپوگرافی محدوده مطالعاتی

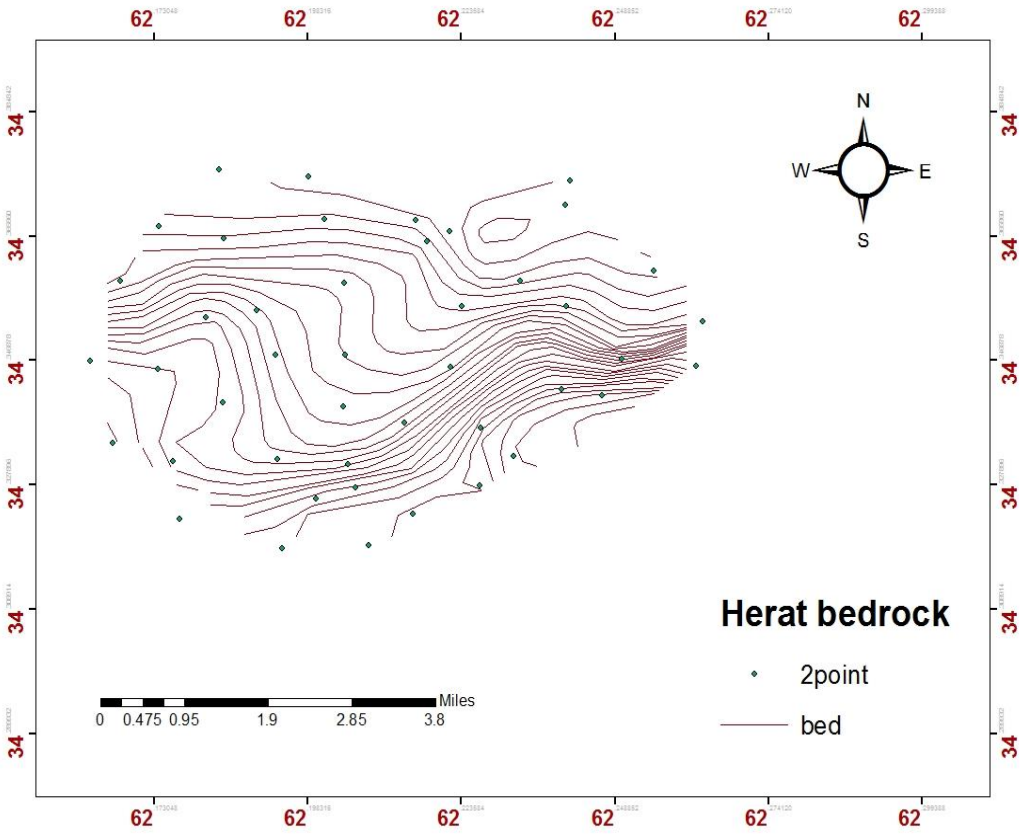
نقشه توپوگرافی به دلیل تنوع سازندهای زمین شناسی متغییر است. توپوگرافی منطقه مورد مطالعه از شمال شرق به طرف جنوب غرب می‌باشد. بلندترین نقطه ۱۰۸۰ متر ارتفاع از سطح بحر دارد که در قسمت شمال شرق استان هرات واقع شده است. و پست ترین نقطه در قسمت جنوب غرب استان هرات موقعیت دارد که ۹۲۵ متر از سطح بحر ارتفاع دارد. توپو استان هرات از طرف شمال شرق به طرف جنوب غرب کم شده میرود که در مرکز شهر معمولا به ارتفاع ۹۵۰ متری میرسد.



شکل ۴. نقشه توپوگرافی محدوده مورد مطالعه

نقشه هم ارتفاع سنگ کف آبخوان

با استفاده از اطلاعاتی که از طرف وزارت انرژی و آب در اختیار بود نقشه سنگ کف در سراسر آبخوان در نرم افزار ArgGis ترسیم گردید. با توجه به شکل (۵) تراز سنگ کف از ۴۳۲ الی ۹۷۰ متر متغییر بوده که در نواحی جنوب غرب به حداقل ارتفاع خود می‌رسد. سنگ کف آبخوان دشت دارای پستی و بلندی فراوانی بوده که شیب عمده آن نیز از شمال شرق به جنوب غرب می‌باشد.



شکل ۵. نقشه سنگ بستر محدوده مورد مطالعه

واسنجی مدل در حالت ماندگار

واسنجی مدل یک گام احساس والزامی در فرآیند مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی است. به منظور دستیابی به یک انطباق خوب و مناسب بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی، تعدادی پارامترهای تعدیلپذیر و قابل تنظیم تغییر داده می‌شود. پارامترهایی با حساسیت پایین، بهترین مقادیرشان همان مقادیرصحرایی است که در ابتدا به مدل وارد گردید

(لی و همکاران ۲۰۰۹). ضریب همبستگی نمودار برازش بار محاسباتی و مشاهداتی بایستی بیش از ۰.۹۹ درصد باشد (گالاردو و همکاران ۲۰۰۵). بعد از واسنجی باید مرزهای ورودی و خروجی و جهت جریان شبیه‌سازی شده با مرزها و جهت جریان مشاهداتی مطابقت داشته باشد.

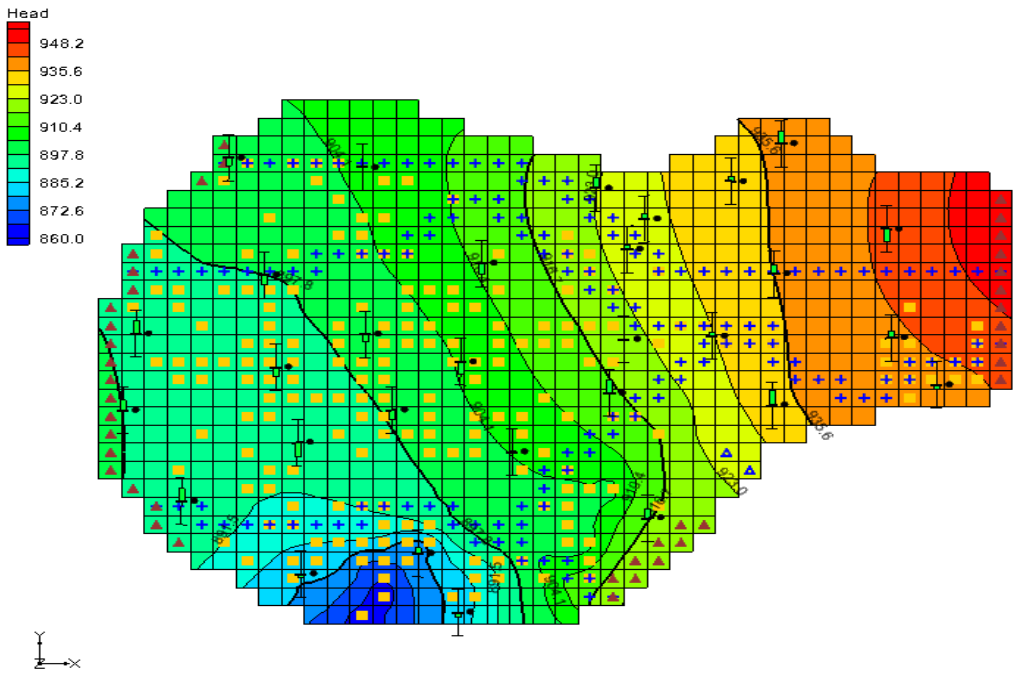
در مدل پایدار استان هرات، پارامترهای هدایت هیدرولیکی، قابلیت انتقال در مرزهای ورودی و خروجی، نفوذ از بارندگی و روشهای درونیابی مورد استفاده در ارتفاع تراز سنگ کف و سطح ایستابی بصورت دستی مورد واسنجی

قرار گرفت. با اولین اجرای مدل خطاهایی درسطح آب مشاهده‌ای و محاسبه‌ای وجود دارد. در واسنجی دستی با تغییر مقادیر تغذیه و تخلیه در مناطقی که دارای عدم قطعیت بودند، مدل گام به گام تصحیح گردید.

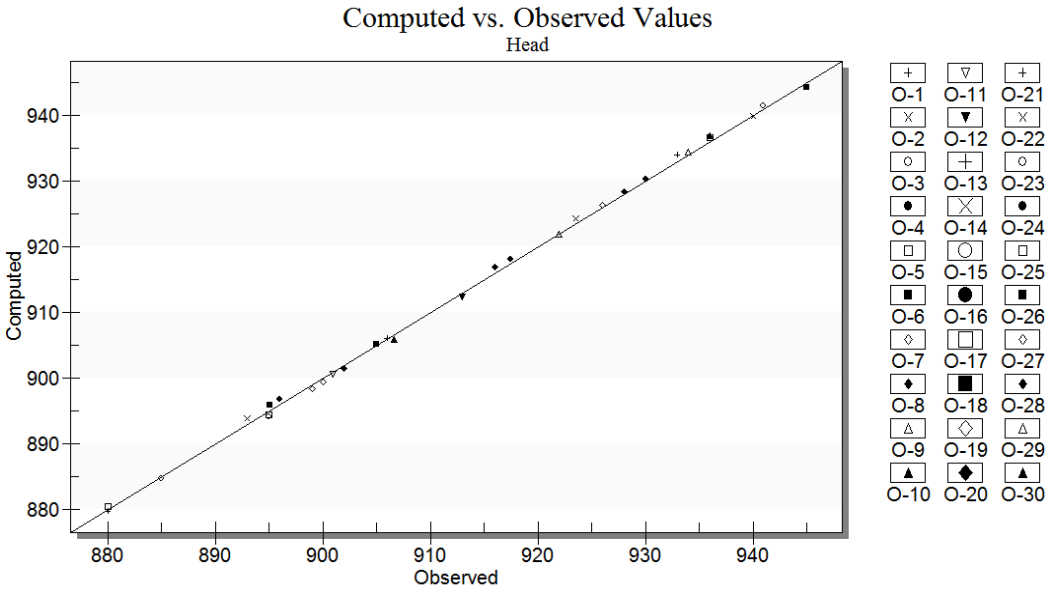
در واسنجی دستی، هر اجرا و مشاهده نتایج آن، پیامی را در بردارد که تفسیر این پیام باعث می‌شود هیدروژئولوزیست بیشتر با واقعیت منطقه آشنا گردد. هر چه تعداد اجراها بیشتر باشد ضرایب بدست آمده بیشتر به مدل مفهومی نزدیک می‌گردند و در نتیجه میزان خطاها کمتر می‌گردد.

باید توجه داشت که کاهش دادن خطاها بدون توجه به مدل مفهومی نتایج مناسبی را در بر نخواهد داشت و شبیه سازی یک شبیه سازی کاذب خواهد بود. پس از انجام واسنجی در حالت دستی به منظور افزایش دقت محاسبات در مرحله آخر واسنجی، پارامتر هدایت هیدرولیکی با استفاده از کد نرمافزار با استفاده از روشهای معکوس هدایت هیدرولیکی بهینه شد. در بهینه سازی هدف رسیدن به نقط های است که مجموع مربعات خطا کمتر باشد.

در نهایت برآورد پارامترها را با توجه به شرایط مشخص‌شده و به منظور رسیدن به کمترین مجموع مربعات خطا، با اجرای مکرر انجام داده تا بهترین پاسخ بدست آید. در این روش نیز نتیجه تخمین پارامتر، حاصل شدن همبستگی بالا و دقیق موقعیت سطح ایستابی آبخوان را در برداشت. پس از اتمام واسنجی و بدست آمدن مقدیر بهینه برای پارامترها وضعیت سطح ایستابی موجود از لحاظ خطای مشاهداتی و محاسباتی به صورت شکل (۶) و تراز آب زیرزمینی محاسباتی بعد از واسنجی به صورت شکل (۶) درآمد که میزان همبستگی این مقادیر در نمودار (۷) آورده شده است.



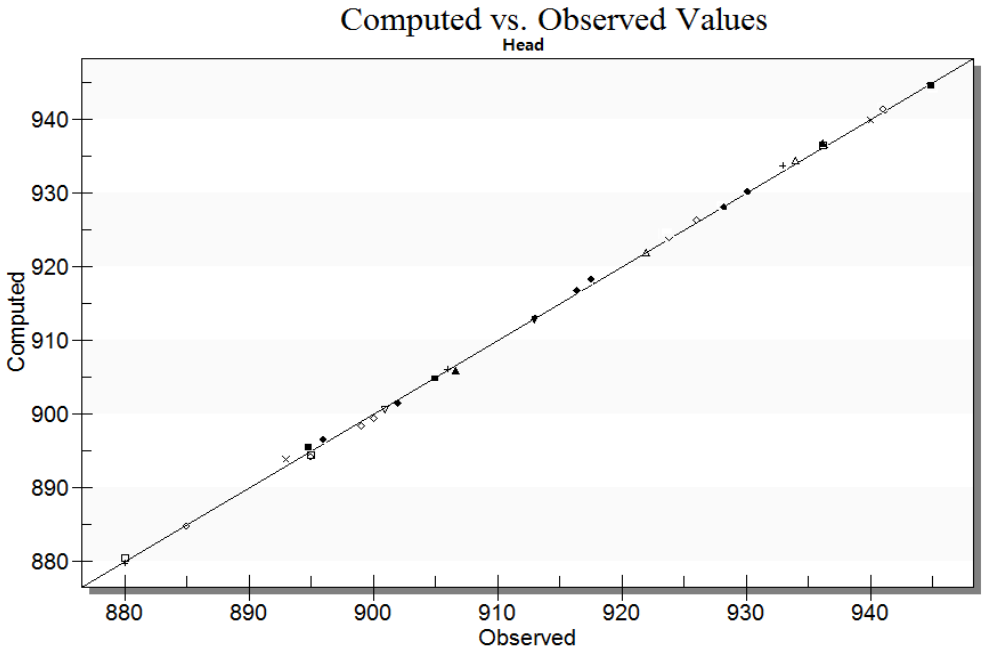
شکل ۶. نقشه سطح ایستابی



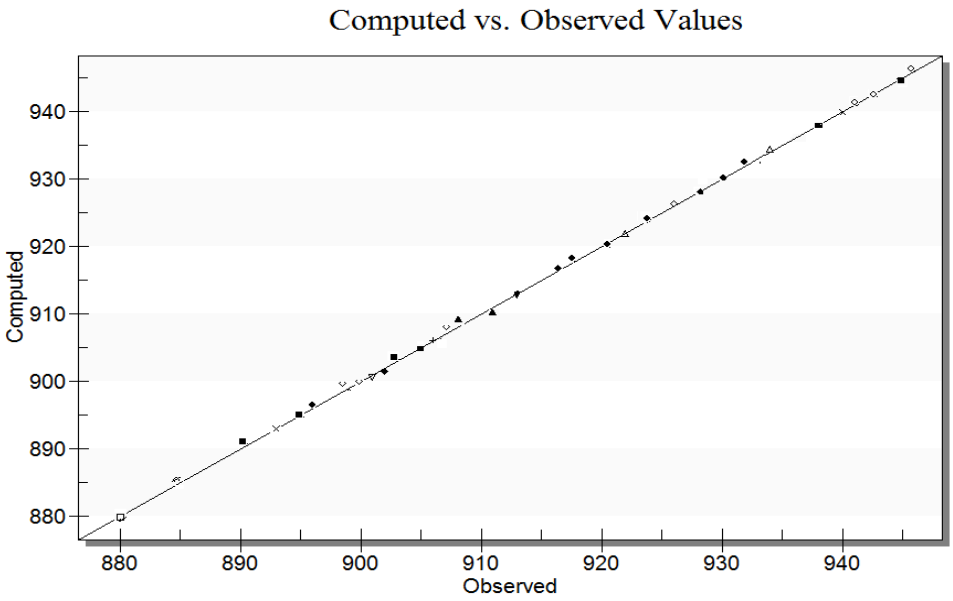
شکل ۷. برازش مقادیر تراز آب مشاهداتی و محاسباتی پس از واسنجی در حالت ماندگار

اجرای مدل در حالت غیرماندگار

برای ایجاد یک مدل غیرماندگار، معمولا بایستی حجم عظیمی از اطلاعات و داده‌های ناپایدار از منابع مختلف مثل داده‌های مربوط به پمپاژ، داده‌های تغذیه آبخوان، داده‌های مربوط به رودخانه وسطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای را مدیریت کرد. جمع‌آوری و کار با چنین اطلاعاتی می‌تواند بسیار وقت‌گیر و خسته‌کننده باشد. GMS ابزارهایی را برای واردکردن اطلاعات مربوط به سری‌های زمانی و نیز تبدیل این اطلاعات به ورودی هایی برای مدل MODFLOW فراهم کرده است. در شرایط غیرماندگار، علاوه بر داده‌های ذکر شده در شرایط ماندگار، اطلاعات مربوط به میزان آبدهی ویژه نیز بایستی به مدل وارد شود. بر اساس معلومات به دست آمده و جنس رسوبات تشکیل دهنده آبخوان، متوسط ضریب آبدهی استان هرات در حدود ۵ درصد برآورد شده است. شرایط اولیه آبخوان مهرماه سال ۱۳۹۷ در نظر گرفته شد. شکل‌های(۸) و (۹) نمودارهای برازش را در گام دوم و انتهایی در اولین اجرای مدل نشان می‌دهند.



شکل ۸. نمودار برازش اولین اجرای مدل در حالت غیر ماندگار در گام دوم (آبان/عقرب۱۳۹۷ و ۱۳۹۸)

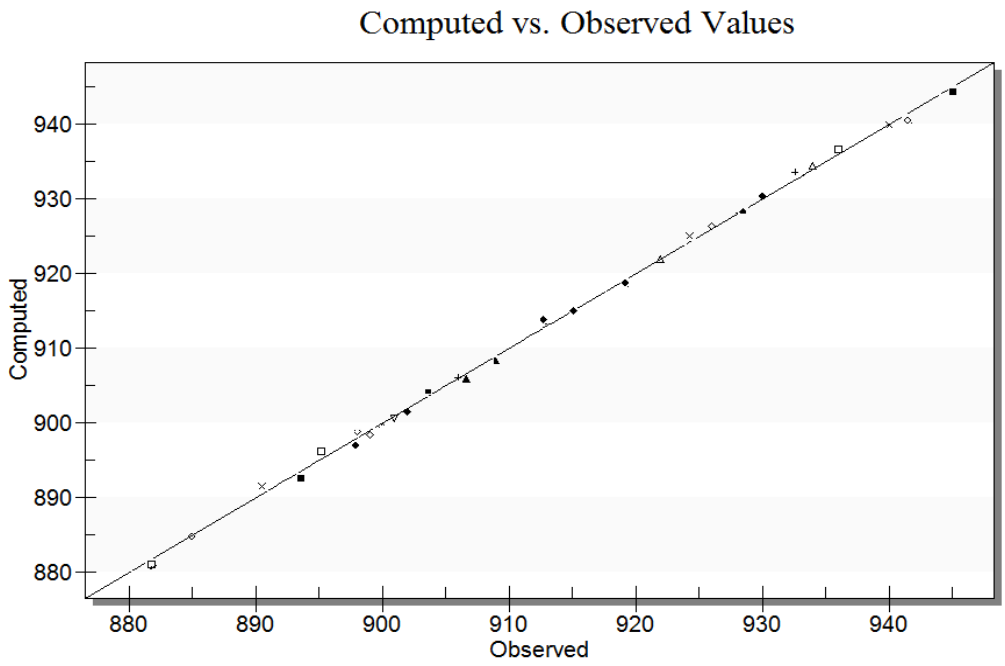


شکل -۹. نمودار برازش اولین اجرای مدل در حالت غیر ماندگار در گام انتهایی (شهریور/میزان ۱۳۹۸)

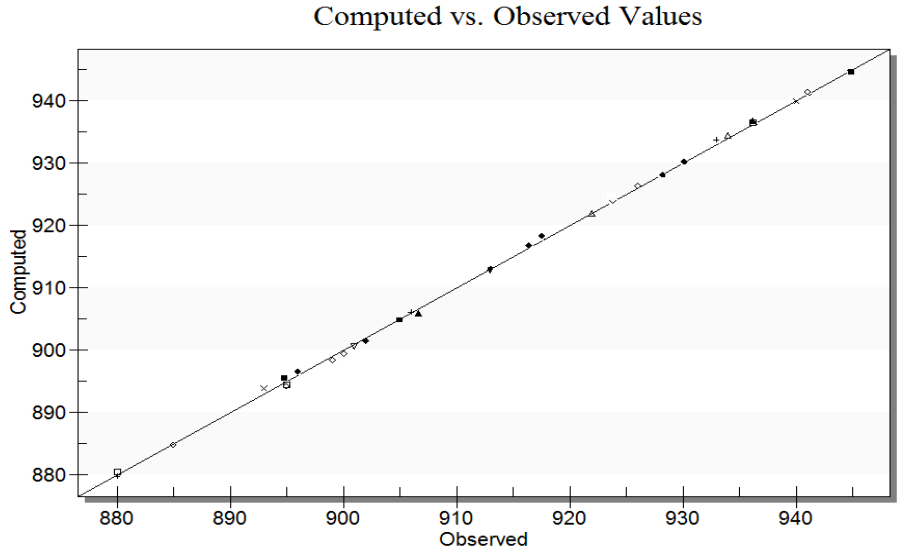
واسنجی مدل در حالت غیرماندگار

پس از اجرای مدل در شرایط غیرماندگار، واسنجی آن به صورت دستی با آزمون وخطا و با تغییر توام پارامترهای حساس برای ۱۲ دوره تنش انجام گرفت. پارامترهایی که در حالت غیرماندگار واسنجی می‌شوند شامل تراز مرزهای ورودی و خروجی آبخوان، تغذیه از بارش، تغذیه از جریان های سطحی وضریب آبدهی ویژه به منظور دستیابی به سطح آب محاسباتی قابل قبول می‌باشد. زمان اتمام واسنجی در حالت غیرماندگار بستگی به دقت مدل در حالت پایدار و تعداد گام‌های زمانی دارد. نتایج حاصل از واسنجی را به صورت گام‌های سه ماهه، به منظور نشان دادن دقت واسنجی در طول دوره در مدل را نشان می‌دهند. همان طور که مشاهده می‌کنید پراکندگی نقاط نسبت به خط y=x کم است و ضریب تبیین محاسبه شده دقت زیاد مدل را در شبیه سازی نشان می‌دهد.

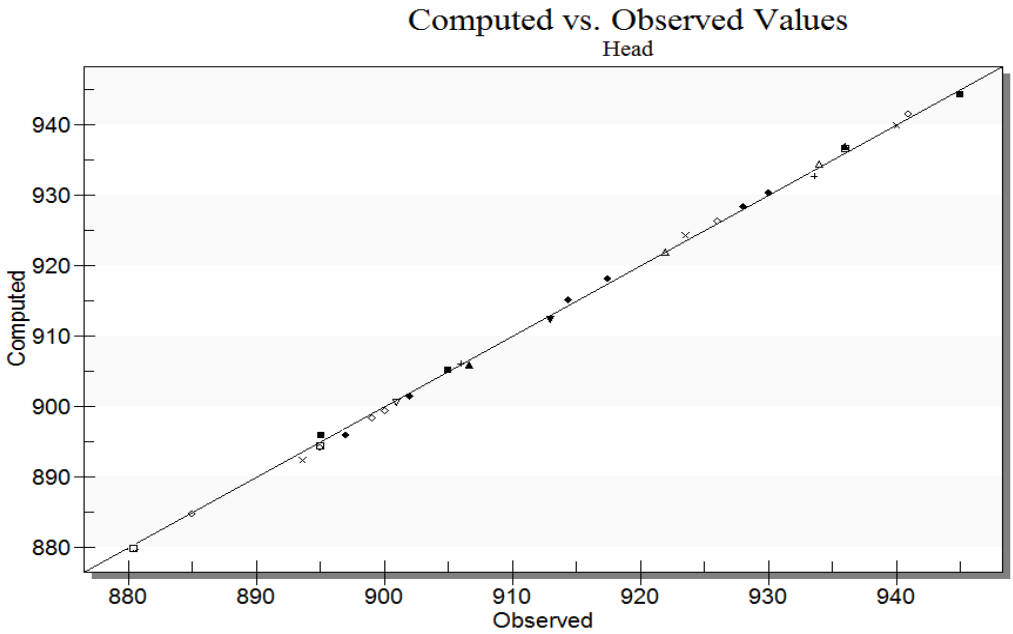
با این حال در تمامی گام ها مقدار RMSE در محدوده مجاز و حتی بهتر از آن قرار دارد و این مقادیر بیانگر دقت بالای مدل‌سازی می‌باشند.



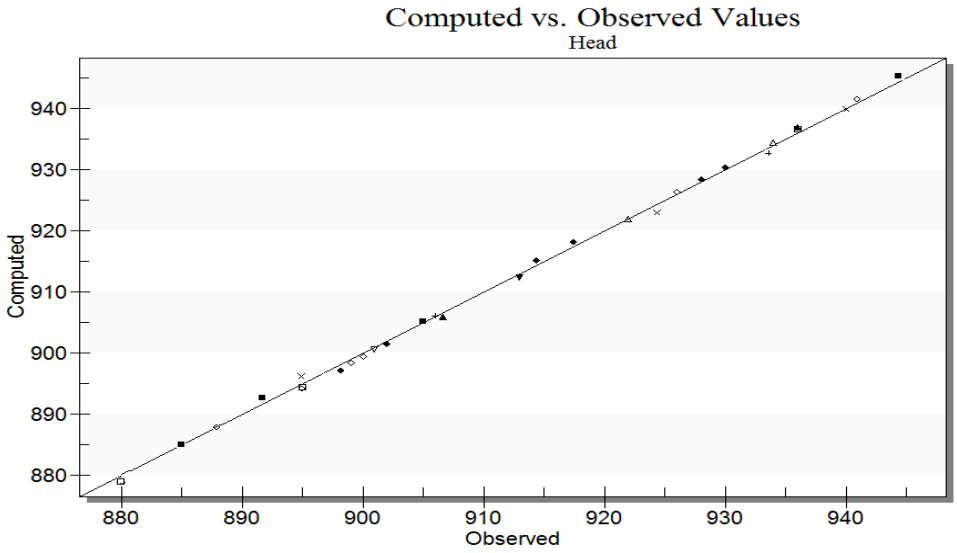
شکل ۱۱. نمودار برازش بار محاسباتی و مشاهداتی پس از واسنجی در حالت غیر ماندگار درگام سوم (جدی/دی ۱۳۹۷)



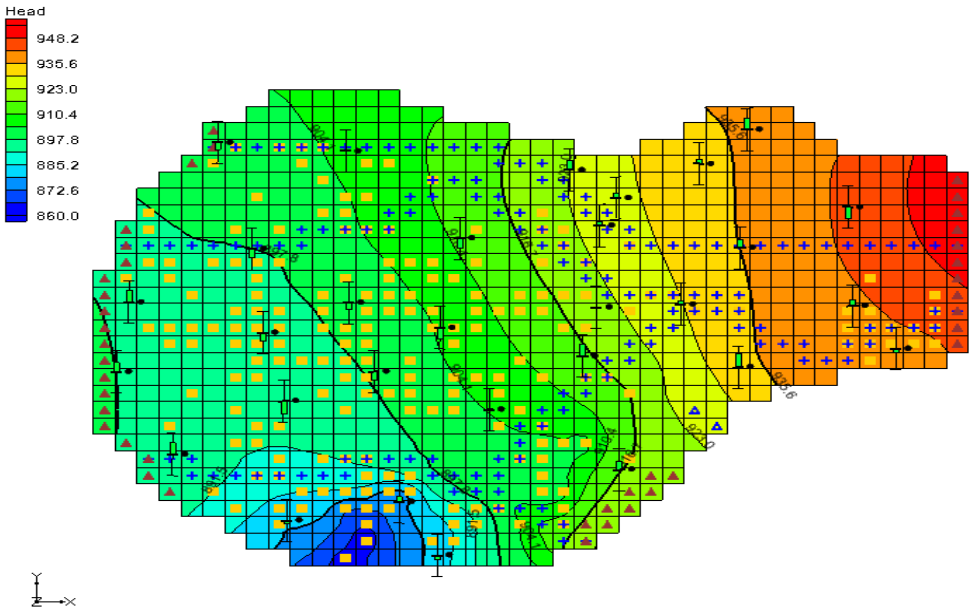
شکل ۱۲. نمودار برازش بار محاسباتی و مشاهداتی پس از واسنجی در حالت غیر ماندگاردرگام ششم (حمل/فروردین ۱۳۹۸)



شکل ۱۳. نمودار برازش بار محاسباتی و مشاهداتی پس از واسنجی در حالت غیر ماندگاردرگام نهم (جوزا/تیر ۱۳۹۸)



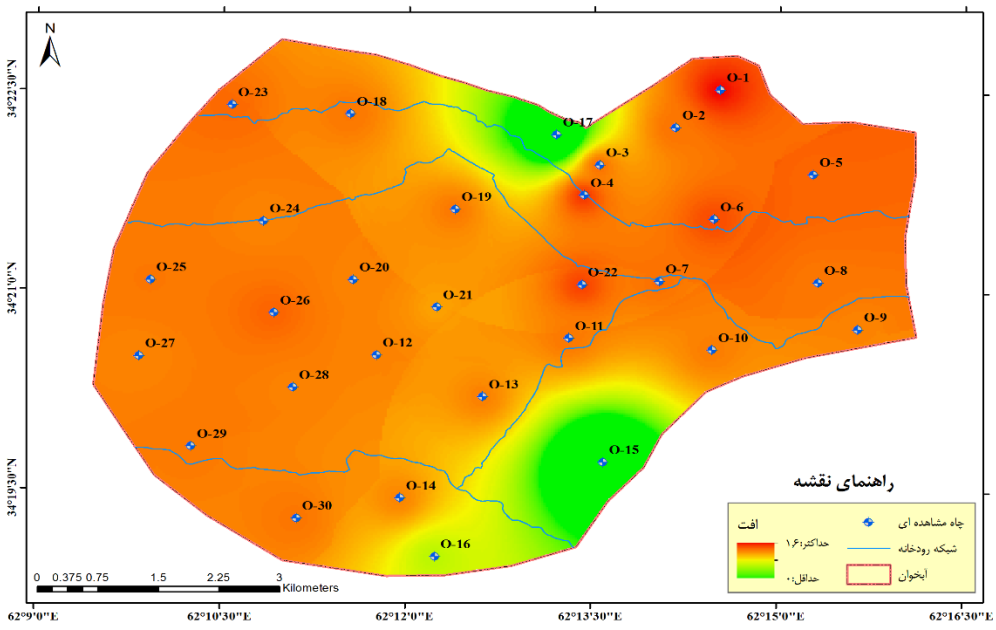
شکل ۱۴. نمودار برازش بار محاسباتی و مشاهداتی پس از واسنجی در حالت غیر ماندگار درگام دوازدهم (سنبله/شهریور ۱۳۹۸)



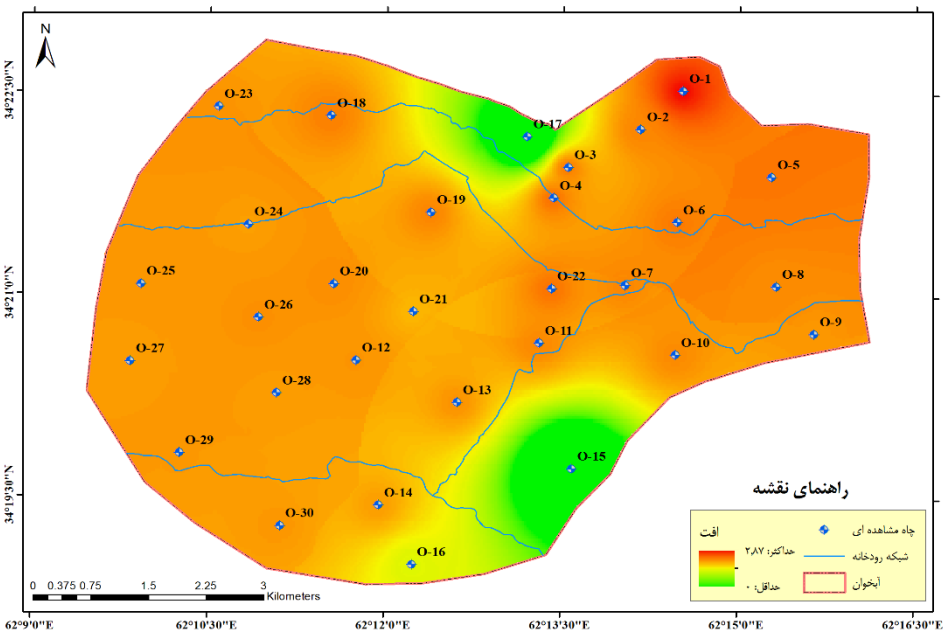
شکل ۱۵. نقشه سطح ایستابی در حمل سال ۱۳۹۸

پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی

به‌منظور ارزیابی تأثیر سیاست فعلی برداشت از آب زیرزمینی برآبخوان، مدل واسنجی شده برای دوره سه ساله و پنج ساله پس از واسنجی و صحت‌سنجی اجرا شد. نتایج نشان می‌دهد که با شرایط فعلی روند افت آبخوان محدوده‌ی مورد مطالعه ادامه خواهد داشت و در پایان دوره پیش‌بینی بین ۱.۵ الی ۲.۵ متر افت خواهد داشت.



شکل -۱۷. پیش‌بینی افت آب‌های زیرزمینی استان هرات در سه سال آینده



شکل ۱۸. پیش‌بینی افت آب‌های زیرزمینی استان هرات در پنج سال آینده

خلاصه کار پژوهشی انجام شده

در این پژوهش هدف مدل‌سازی کمی آب های زیرزمینی استان هرات و اعمال سناریو مدیریتی در برداشت از چاه‌های بهره‌برداری بود که بدین منظور پس از بررسی شرایط عمومی منطقه مورد مطالعه و پارامترهای هیدرولیکی و هواشناسی، مدل‌سازی بر روی آبخوان صورت گرفت. این مدل‌سازی در دو حالت ماندگار در مهر ماه سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ و حالت غیرماندگار به مدت ۱۲ماه مورد واسنجی قرار گرفت. جهت صحت‌سنجی مدل سال آبی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ معادل ۱۲ماه دیگر در نظر گرفته شد که با دقت قابل قبولی هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی به پایان رسید. پس از پایان واسنجی و صحت‌سنجی، مدل برای اعمال سناریوی مدیریتی در برداشت مجاز از چاه‌های بهره‌برداری آماده شد. این سناریو به مدت ۲۴ ماه (سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸) بر مدل اعمال شد که نتایج آن به صورت مقایسه‌ای در برابر تغییرات تراز آب مشاهده‌ای بدون اعمال سناریو ترسیم شد و در نهایت جهت پیش‌بینی مدل سال آبی ۱۳۹۹-۱۳۹۷ در نظر گرفته شد که با توجه به نتایج قابل قبول و اختلاف جزئی پیش‌بینی صورت گرفت که در صورت وجود اطلاعات تکمیلی می‌توان برای سال‌های آتی نیز پیش‌بینی هایی را ارائه داد.

۵-۲ نتایج حاصل از بررسی منطقه مورد مطالعه

- نقشه تراز آب زیرزمینی استان هرات نشان می‌دهد که بالاترین تراز آب زیرزمینی برابر ۸۵ متر، در بخش شمال شرقی آبخوان وکمترین تراز آب زیرزمینی برابر با ۶ متر، در بخش جنوب غربی آبخوان می‌باشد.
- نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی نشان می‌دهد که حداقل عمق برخورد به آب در جنوب استان هرات در قریه نوین واقع شده که دارای عمقی کمتر از ۶ متر بوده و بیشترین عمق برخورد به آب حدود ۸۰ متردر حوالی خواجه عبدالله انصار می‌باشد.
- از آنجایکه استان هرات یک استان زراعتی است و مصرف بی‌جا از آب‌های شیرین و حفر خودسر چاه‌های عمیق از دلایل عمده و اساسی افت آب‌های زیرزمینی در این ولایت می‌باشد. دهاقین هرات طی سال‌های اخیر برای آبیاری زمین‌های‌شان اقدام به حفر چاه‌های عمیق نموده و با استفاده از سولرها خورشیدی به گونهٔ افراطی هزاران هکتار زمین را آب‌یاری می‌کنند که این روند باعث افت چشم‌گیر آب‌های زیرزمینی شهر هرات شده است.
- با اجرای سناریوی کاهش و افزایش در میزان برداشت از چاه‌های بهره‌برداری این نتیجه حاصل شد که با کاهش چاه‌های سولری در استان هرات درصدی در نرخ برداشت افت تراز آب زیرزمینی از بین رفته و حتی کمی بهبود حاصل می‌شود. لذا برای تثبیت تراز سطح آبخوان در وضعیت فعلی کاهش چاه‌های سولری در میزان بهره‌برداری توصیه می‌گردد.
- با اجرای سناریوی دیگر برای جلوگیری از چاه‌های عمیق که خود سرانه در نقاط مختلف استان هرات حفر می‌شوند می‌توان افزایش ۱۰ درصدی در آب های زیرزمینی شهر هرات مشاهد کرد.

- باتوجه به اطلاعات حاصل از مطالعات ژئوفیزیک، و اطلاعات زمین شناسی می‌توان نتیجه گرفت که این آبخوان از نوع آزاد است.
- جهت کلی جریان در استان هرات از نواحی شمال شرق به جنوب غرب می‌باشد با تفاوت ارتفاع ۱۵۵ متر، و در بسیاری از نواحی ورودی آبراهه‌ها جریان آب زیرزمینی به آبخوان وارد می‌گردد. جهت جریان آب زیرزمینی نیز کم و بیش از این وضعیت تبعیت می‌نماید.
- با بررسی نتایج حاصل از صحت‌سنجی مشخص شد که مدل توانسته شرایط طبیعی آبخوان را شبیه‌سازی کند و می‌توان به ترکیب پارامترهای به کار رفته در مرحله واسنجی و مرزهای هیدرولیکی آبخوان اطمینان حاصل کرد.
- عدم تغذیه کافی آبخوان و پمپاژ بیش از حد آب‌های زیرزمینی که برای مصارف گوناگونی از جمله کشاورزی، شرب و صنعت خارج می‌شود سبب بروز این پدیده می‌شود
- پیش‌بینی مدل برای سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۸ انجام گرفت که باتوجه به مقایسات انجام شده بین تراز آب محاسباتی توسط مدل GMS و تراز آب مشاهداتی می‌توان استنباط کرد که هم-پوشانی مناسبی بین نمودارها وجود دارد. اختلاف جزئی در نمودارها می‌تواند به این دلیل باشد که در تراز آب مشاهداتی شرایط مختلف جریان در حالت طبیعی حکم فرما است. و در صورت وجود داده‌های تکمیلی می‌توان برای سال‌های آتی نیز پیش‌بینی هایی را ارائه داد.
- در مرحله واسنجی به علت ایجاد سلول خشک در برخی نقاط آبخوان نیاز به تغییرات سنگ کف بود که در نهایت با انجام تغییرات لازم نتایج حاصل از واسنجی مدل حاکی از این بود که مدل توانسته به خوبی سطح آب را شبیه‌سازی کند.
- نتایج بیانگر این است که عمق سنگ بستر استان هرات در نواحی شمال شرق کمترین ارتفاع را به خود می‌گیرد. از نواحی شمال شرق عمق سنگ بستر زیاد شده، و به قسمت های مرکزی استان هرات به بیشترین عمق خود می‌رسد. سپس عمق سنگ بستر از نواحی مرکزی به طرف جنوب غرب کم شده می‌رود. می‌توان گفت که آب های زیرزمینی استان هرات در داخل یک شکل دره مانند واقع شده است.
- بیشترین تغذیه آب های زیرزمینی شهر هرات از رودخانه هریرود و پشتان می‌باشد.
- پیش‌بینی مدل نشان می‌دهد که در سه سال آینده افت آب‌های زیرزمینی استان هرات ۱.۵ متر و در پنج سال آینده ۲.۵ متر خواهد رسید.

هدایت هیدرولیکی منطقه براساس داده‌های ارائه شده از نتایج آزمایش پمپاژ صورت گرفته بر روی این دشت بعد از تصحیح ضخامت اشباع جدید استخراج گردید مقادیر حداقل و حداکثر هدایت هیدرولیکی۱ و ۲۱ متر بر روز به دست آمد.

منابع و مآخذ

۱. اژدری مقدم، م؛ و بندانی، ا. (۱۳۸۶). "شبیه سازی آبخوان شورو با استفاده از مدل ریاضی آبهای زیرزمینی. " بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین.

۲. اکبرپور، ع؛ عزیزی، م؛ آقا حسین، ع؛ و شیرازی، م. (۱۳۸۹) "مدیریت بهره برداری از آبهای زیرزمینی آبخوان مختاران با استفاده از مدل ریاضی GMS." نهمین کنفرانس هیدرولیکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۳. بارانی، س؛ (۱۳۸۹). " شبیه سازی آبخوان دشت مروست"، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه یزد.

۴. حسینی، سید علی؛ " هری رود" انتشارات انستیتوت مطالعات استراتژیک افغانستان، کابل، چاپ اول، ۱۳۹۷.

۵. زارع، م. (۱۳۹۰). " بررسی تاثیرات احداث شبکه آبیاری و زهکشی سد گوشان بر روی منابع آب زیرزمینی دشت میاندربند با استفاده ار مدل مفهومی، ریاضی GMS6.5". پایان نامه کارشناسی ارشد منابع آب. دانشکده کشاورزی. دانشگاه رازی کرمانشاه.

۶. شاهی دشت، ع. ر. و عباس نژاد، ا. (۱۳۸۹). "ارزیابی اثرات زیست محیطی افت سطح آب های زیرزمینی در دشت زرند و ارائه راه کارهای مدیریتی". مجله پژوهش آب ایران، شماره ۷، ص ۱۲۴-۱۱۹.

۷. شایان نژاد، م؛ عابدی، م. ع. (۱۳۸۵). "تاثیر تغذیه مصنوی در بهره برداری بهینه از منابع آب." اولین کنفرانس منطقه ای برای بهره برداری بهینه از منابع آب رودخانه کارون و حوضه های رودخانه زاینده رود.

۸. شمسایی، م؛ و امیربیگی، م. ع. (۱۳۸۳). "مدیریت بهره برداری آبهای زیرزمینی یزد با ستفاده از مدل ریاضی." اولین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

۹. شهسواری، ع؛ خدایی، ک. (۱۳۸۴). "تهیه مدل جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت بهبهان با استفاده از GIS." مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.

۱۰. صداقت، محمود؛ " زمین و منابع آب"، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران، چاپ اول، ۱۳۸۶.

۱۱. طاهری تیزرو، ع؛ کمالی، م. (۱۳۹۵). "مدل سازی آبخوان دشت نویسرکان با مدل MODFLOW و ارزیابی وضعیت هیروژیولوژی تحت شرایط موجود و آینده." فصل نامه علمی - پژوهشی مهندسی منابع آب.

۱۲. علیزاده، امین؛ " اصول هیدرولوژی کاربردی "، انتشارات استان قدس رضوی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۹.

۱۳. غلامی، فضلی اولی. (۱۳۹۲). "شبیه سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل GMS6.5 آبخوان دشت ساری-نکا." ششمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع و خاک کشور، دانشگاه تهران.

۱۴. قبادیان، ر؛ فتاحی، ع؛ مجیدی، ص؛ زارع، م. "شبیه سازی سفره آب زیرزمینی با استفاده از مدل GMS آبخوان دشت میان دربند. " اولین همایش ملی چالش های منابع آب و کشاورزی، انجمن آبیاری و زهکشی ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.
۱۵. قدرتی، م؛ و ثعبانی، م. (۱۳۹۱). "مدل های ریاضی آب های زیرزمینی آموزش کاربردی مدل GMS. " انتشارات سیمای دانش.
۱۶. کردوانی، پ؛ (۱۳۸۵). "زیوهیدرولوژی" چاپ سوم انتشارات دانشگاه تهران.
۱۷. کرمان با استفاده از روش زمین آماری مناسب طی یک دوره آماری ۱۰ ساله ۱۳۸۵-۱۳۷۵." فصل نامه ی علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد۱۹، شماره ۱، ص ۷۱-۶۰.
۱۸. محمدی، ص. سلاجقه، ع. مهدودی، م. و باقری، ر. (۱۳۹۱) "بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی دشت
۱۹. محمودیان، شوشتری، م؛ "هیدرولیک آب های زیرزمینی"، انتشارات دانشگاه شهید چمران، آهواز، چاپ دوم، (۱۳۸۹). صفوی، حمید؛ "هیدرولوژی مهندسی" انتشارات ارکان، اصفهان، چاپ سوم، (۱۳۸۵).
۲۰. مرادی، مریم. (۱۳۹۶). " مدل سازی کمی آب های زیرزمینی دشت خوی با نرم افزار GMS" پایان نامه کارشناسی ارشد کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز.
۲۱. مقدم، اصغری؛ " اصول شناخت آب های زیرزمینی"، انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز، چاپ اول، ۱۳۸۸.
۲۲. بانژاد، ح. محب زاده،ح. قبادی،م. ح. حیدری، م. (۱۳۹۱). "شبیه سازی عددی جریان و انتقال الودگی در آب های زیرزمینی دشت نهاوند". نشریه دانش آب و خاک، جلد بیست و سوم، شماره دوم، سال ۱۳۹۲.
۲۳. زارع، م. (۱۳۸۹). "بررسی امکان تغذیه مصنوی با استفاده از مدل مفهومی و ریاضی در آبخوان دشت ماهیدشت". پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی. انشگاه رازی کرمانشاه
۲۴. کتیبه، ه. و حافظی، س. (۱۳۸۳). "به کارگیری مدل MODFLOW و مدیریت بهره برداری از آب های زیرزمینی و ارزیابی عملکرد طرح تغذیه مصنوعی دشت آب باریک بم". مجله آب و فاضلاب. جلد ۵۰. شماره ۱. ص ۵۸-۴۵
۲۵. مهجوری مجد، ن. ف غضبان، ف. و اردستانی، م. (۱۳۸۵). " کاربرد مدل الگوریتم ژنتیک و شبکه های عصبی مصنوعی در مدیریت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی". مجموعه مقالات دومین کنفرانس مدیریتی منابع آب. دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.
۲۶. مهدوی، م. فرخ زاده، ب. سلاجقه، ع. ملکیان، آ، سوری، م. (۱۳۹۰). " شبیه سازی آبخوان دشت همدان-بهار وبررسی سناریوهای مدیریتی با ستفاده از مدل PMWIN". پزوهش های آبخیزداری شماره نود و هشت، بهار ۱۳۹۲

۲۷. ناصری، م. (۱۳۷۹). " بهره برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی یا کنترل تراز آب در سفره". پایان نامه کارشناسی ارشد عمران-آب، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

28. Bear, J. (1979) "Hydraulics of groundwater", Mc Graw Hill Series in Water
29. Resources and Environmental Engineering
30. Brewer, K. (2003) Uncertainty Analysis with Site Specific Groundwater Models:
31. Experiences and Observations (No. ERD-EN-2003-0126). Savannah River Site (US).
32. Kresic, N., 1997. Quantitative Solutions in Hydrogeology and Groundwater Modeling .
33. Lewis Publishers, U.S.
34. Jacob, C.E., 1950. Flow of groundwater. In Engineering Hydraulics, John Wiley &
35. Sons, New York.
36. Emace, R., Chodhury, A., Anaya, R., Way, S.C., 2000. A numerical groundwater flow
37. model of the upper and middle Trinity aquifer. Hill Country area, Texas Water
38. Development Board, Open _ file Report 00.
39. Treidel, H., Martin-Bordes, J.J., Gurdak, J.J., (Eds.), 2012. Climate Change Effects on
40. Groundwater Resources: A Global Synthesis of Findings and Recommendations.
41. International Association of Hydrogeologists (IAH), International Contributions to
42. Hydrogeology, Taylor & Francis publishing.
43. Donald, M.C. Harbaugh, A.W. (1998)" Modflow a modular three-dimensional finite
44. difference groundwater flow model, US, Geological survey."
45. Kresic, n. (2007) Hydrogeology and groundwater modelling. second edition. CRC
46. press/Taylor and Francis, bocarton, newYork, lindon.
47. Wang, H.F., and Anderson, p. A., 1988. Introduction to groundwater modeling. w.H .
48. freeman, Sanfransisco.
49. Treidel, H., Martin-Bordes, J.J., Gurdak, J.J., (Eds.), 2012. Climate Change Effects on

50. Groundwater Resources: A Global Synthesis of Findings and Recommendations.
51. International Association of Hydrogeologists (IAH), International Contributions to
52. Hydrogeology, Taylor & Francis publishing.
53. Anderson, M., and Woessner, W., 1992. Applied groundwater modeling flow and adjective transport. Academic Press, San Diego. 381p. Andersen, Peter. F., 1993. A manual of instructional problems for U.S.G.S. Modflow Model, Geo Trans, Inc
54. .۵۶Don, N.C., Araki, H., Yamanishi, H., Koga, K. (2005). "Simulation of groundwater flow and environmental effects resultingfrom pumping", Environmental Geology, 47:361-374
55. .۴۸Bear, J. (1979) "Hydraulics of groundwater", Mc Graw Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering, 569 p