

ارزیابی عملکرد آبخوان تحت تأثیر سناریوهای مختلف اقلیمی (مطالعه موردی: حوضه آبریز قره‌سو)

مهدی مفتاح‌هلقی^{۱*}، فرزانه ابارشی^۲، خلیل قربانی^۳، امیراحمد دهقانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

امروزه با توجه به تغییرات اقلیمی در سطح کره زمین و نیز اثرات آن بر منابع آبی، مدیریت سفره‌های آب زیرزمینی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع اصلی تامین آب شرب، کشاورزی و صنعت جایگاه ویژه‌ای را در مطالعات منابع آبی به خود اختصاص داده است. لذا در این پژوهش به منظور بررسی اثرات ناشی از تغییرات اقلیمی بر آبخوان قره‌سو در استان گلستان از نرم‌افزار GMS7.1 استفاده شد و شبیه‌سازی کمی آبخوان در دو حالت پایدار و ناپایدار انجام شد. نتایج حاصل از صحت‌سنجی مدل نشان داد که مقادیر سطح ایستابی پیش‌بینی شده توسط مدل با مقادیر مشاهداتی از تطابق خوبی برخوردارند و مقدار جذر میانگین مربعات خطا $0/810$ بدست آمد. پس از اطمینان از صحت مدل تهیه شده، سناریوهای متفاوتی مطرح گردید. براساس نتایج حاصل از سناریوها مسلم گردید که اجرای هر سناریو نه تنها در همان ماه، بلکه تا چندین ماه بعد نیز آفتی در آبخوان ایجاد می‌کند. به عنوان مثال با توجه به تعدد زیاد چاه‌ها در منطقه، سناریو افزایش برداشت حتی به میزان ۵ یا ۱۰ درصد در فصول مختلف، تأثیر زیادی در افت سطح آب زیرزمینی ایجاد خواهد کرد و این میزان افت در بعضی نقاط آبخوان بیش‌تر به چشم می‌آید، به گونه‌ایکه بیش‌ترین میزان افت مشاهده شده در اثر افزایش برداشت، مربوط به تیرماه و حداکثر آفتی به اندازه $۱,۶۶$ متر در نقاط بسیار کوچکی از آبخوان بوده است که این نقاط مربوط به نواحی با تمرکز چاه‌های بهره‌برداری زیاد و برداشت بالا (نواحی مرکزی و جنوبی دشت) می‌باشد. سناریوی حذف پساب شرب شهری مشخص کرد که این عمل منجر به میزان افت حداکثری متفاوتی را در ماه‌های مختلف با گذشت زمان می‌شود. به گونه‌ای که در مهرماه این میزان افت، حدود $0/۴۳$ و در شهریور به $۱/۹۹$ متر خواهد رسید و کاهش حجمی معادل $0/۶$ تا $0/۷$ میلیون مترمکعب را در هر ماه با توجه به میزان مصرف ماهانه ایجاد می‌کند. سناریوی کاهش آبدهی رودخانه‌ها، نشان داد که کاهش آبدهی در یک فصل، نه تنها در همان فصل بلکه بر فصل بعد نیز تأثیر زیادی خواهد گذاشت و کاهش آبدهی در فصل زمستان، مقدار افت بیش‌تری نسبت به سایر فصول ایجاد می‌نماید. به گونه‌ای که در دی، بهمن و اسفندماه حداکثر آفتی به میزان $۱/۲۷$ ، $۱/۷۴$ و $۱/۶۷$ متر را بیش‌تر در حوالی رودخانه‌های گرمابدشت و قرن‌آباد ایجاد خواهد کرد. سناریوی کاهش بارندگی موثر نشان داد، که کاهش ۲۰ درصدی بارندگی موثر در فصل زمستان افت بیش‌تری در آبخوان در همان فصل و فصل بعد ایجاد خواهد کرد. به گونه‌ای که این کاهش در فصل زمستان، حداکثر آفتی به میزان $0/۲$ متر در دی‌ماه، $0/۹۷$ در بهمن و در اسفندماه به میزان $0/۴$ متر را، بیش‌تر در نواحی جنوبی آبخوان و محدوده ایستگاه‌های شصت‌کلاته، ناهارخوران و پل اردوگاه که مربوط به ارتفاعات می‌شود ایجاد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: حوضه آبریز قره‌سو، مدل‌سازی، مدیریت سفره آب زیرزمینی، GMS7.1

مقدمه

تصمیمات مدیریتی، لازم و ضروری است. مدل ریاضی آب زیرزمینی در واقع، شبیه‌سازی یک سامانه هیدرولوژیکی است که از قوانین فیزیک و ریاضی کمک می‌گیرد و دو مولفه اصلی آن مدل مفهومی و مدل ریاضی می‌باشند. مدل مفهومی در واقع تصویر ساده شده‌ای از سامانه می‌باشد و مدل ریاضی مجموعه‌ای از فرمول‌های ریاضی است که با توجه به فرضیات خاص، به فرآیندهای فیزیکی فعال در درون سامانه آبخوان مقدار می‌بخشد. بدیهی است که مدل به خودی خود جزئیات واقعی سامانه آب زیرزمینی را شامل نمی‌شود، ولی رفتار یک مدل تقریباً نشان‌دهنده رفتار آبخوان می‌باشد. مدل آب زیرزمینی ابزاری در اختیار قرار می‌دهد تا بتوان داده‌های موجود را تبدیل به ویژگی‌های

در بحث مدیریت سیستم آب زیرزمینی، مدل و مدل‌سازی به عنوان ابزاری توانمند، جهت شناخت خصوصیات هیدرولوژیکی آبخوان و دستیابی به اطلاعاتی در مورد عکس‌العمل آینده سیستم به

- ۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
 - ۲- کارشناس مطالعات آب منطقه‌ای سمنان
 - ۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
 - ۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
- (*) نویسنده مسئول: (Email: meftahhalaghi@gmail.com)

سال ۱۹۹۰ و دیگری در حالت غیرماندگار از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶ بود، بهترین توزیع هدایت هیدرولیکی از منطقه را، با ترکیبی از روش سعی و خطا و معکوس خودکار به دست آوردند. نتایج حاصل از تحقیق ایشان نشان داد که هد هیدرولیکی آبخوان موردنظر به نفوذ طبیعی بارندگی و آب برگشتی کشاورزی وابسته است (El Yaouti et al., 2008).

در ایران نیز، شروع استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی از سال ۱۳۴۵ با شبیه‌سازی دشت ورامین آغاز شد. مدل‌های ریاضی به کار گرفته شده در ایران عمدتاً بر مبنای روش تفاضل محدود بوده و به طور محدودی با روش اجزای محدود نیز کار شده است (قاسمی، ۱۳۸۷). نجاتی جهرمی و همکاران (۱۳۸۸) تأثیر خشکسالی سال ۸۶-۸۷ را بر روی دشت عقیلی با استفاده از مدل ریاضی تفاضل محدود در محیط GMS انجام دادند. نتایج نشان‌دهنده صحت بسیار بالای پیش‌بینی مدل می‌باشد. به این معنا که مدل امکان پیش‌بینی خشکسالی در شرایط خاص و هم‌چنین میزان بارندگی‌های مختلف را دارد و مدیریت منابع آب زیرزمینی یک منطقه را با توجه به سناریوهای مختلف مدیریتی امکان‌پذیر می‌سازد. انصاری مهابادی و همکاران (۱۳۹۰) مدل‌سازی تغییرات سطح ایستابی دشت سفید دشت را به وسیله مدل GMS انجام دادند. نتایج نشان داد که با به کارگیری مدل GMS، پاسخ آب زیرزمینی در یک منطقه دارای اقلیم خشک و سرد به خوبی شبیه‌سازی شده و بررسی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در اثر تغییر در شرایط تغذیه براساس سناریوهای مختلف و طرح‌های موجود در دوره آبی صورت می‌گیرد.

محتشم و همکاران (۱۳۹۰) به منظور پیش‌بینی نوسانات سطح ایستابی در دشت بیرجند از نرم افزار GMS استفاده کردند. برای این منظور مدل ریاضی برای دو حالت ماندگار و غیرماندگار و در سه سناریوی ترسالی، نرمال و خشکسالی اجرا و مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که با استفاده از مدل ریاضی GMS تا ۲۴ ماه آینده و با دقت مناسبی می‌توان تغییرات سطح آب را پیش‌بینی نمود. ابارشی و همکاران (۱۳۹۲) نیز، به منظور مدیریت آبخوان زرین‌گل در استان گلستان از نرم‌افزار GMS7.1 استفاده کردند. نتایج حاصل از اجرای سناریوها در مدل نشان داد، که در شرایط کنونی تقریباً از حداکثر توان سفره آب زیرزمینی استفاده می‌شود و ممنوعیت‌های لازم در نواحی مرکزی و جنوبی دشت که از حساسیت‌های بالاتری نسبت به سایر نقاط آبخوان برخوردارند، صورت گیرد.

این پژوهش نیز، با هدف شناخت آبخوان قره‌سو در استان گلستان صورت گرفت و به منظور تهیه مدل جریان آب زیرزمینی دشت و بررسی خواص هیدرودینامیکی حاکم بر آن از نرم‌افزار GMS7.1 استفاده شده است. اگرچه منطقه مورد مطالعه به دلیل قرار گرفتن در شرایط خاص جوی، دارای منابع قابل توجهی از آب‌های سطحی می‌باشد، اما به دلیل عدم مدیریت در بهره‌برداری مناسب از این منابع

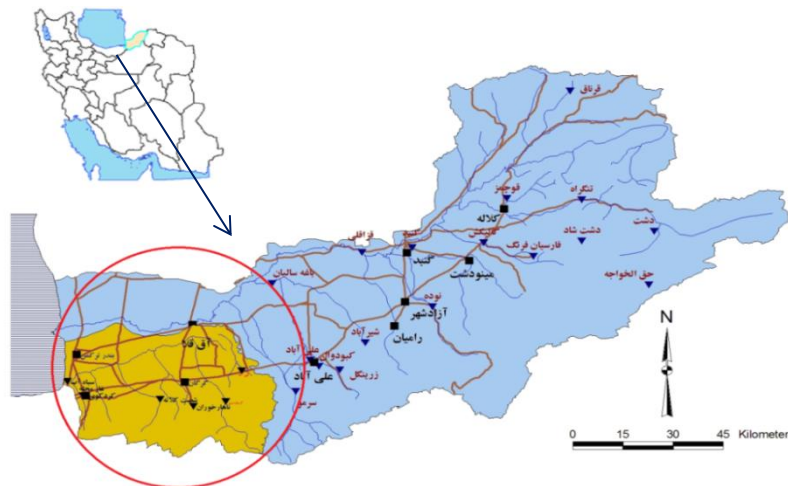
عددی برای سامانه آب زیرزمینی نمود. چنین مدلی تا حد قابل قبولی نماینده سامانه آب زیرزمینی خواهد بود و این امکان را به کارشناس می‌دهد که بتواند واکنش سامانه در برابر تنش‌های هیدرولوژیکی مثل آبیاری یا پمپاژ را به صورت عددی نشان می‌دهد.

خوشبختانه در کشور ما نیز در چند سال گذشته اهمیت نقش مدل‌سازی کمی و کیفی در مدیریت آبخوان در حال گسترش بوده است. در این میان آنچه توجه جدی کارفرمایان و دست‌اندرکاران مدیریت حوضه آبریز کشور را می‌طلبد، لزوم گسترش و بازنگری جدی در سامانه پایش کمی و کیفی و شبکه‌های نمونه‌برداری آبخوان‌ها است. شکی نیست شبکه‌های پایش و نمونه‌برداری تأمین‌کننده اصلی داده‌های مورد نیاز برای مدل‌های ریاضی آب زیرزمینی کشور می‌باشند و یکی از دلایل عمده ضعف مدل‌های تهیه شده نقص داده‌ها یا نادرست بودن آن‌ها بوده است. بنابراین مهم‌تر از تهیه مدل ریاضی در هر حوضه، ایجاد سامانه پایش و نمونه‌برداری مناسب برای آبخوان منطقه می‌باشد که با توجه به نیازهای مدل، طراحی و راه‌اندازی شده باشد (نشریه شماره ۳۳۷-الف). در زمینه استفاده از مدل عددی برای مدل‌سازی آبخوان، مطالعات متعددی هم در خارج و هم در داخل کشور انجام شده است.

جیمون و هرومادکا به منظور مدل‌سازی نوسانات سفره آب زیرزمینی در پاسخ به عملیات تغذیه مصنوعی، نشان دادند که مدل‌سازی عددی هنگامی که با شناسایی ژئوتکنیکی و تحلیل‌های هیدرولوژیکی مناسب ترکیب شود، ابزار قدرتمندی برای شبیه‌سازی نوسانات سفره‌های آب زیرزمینی خواهد بود (Guymon and Hromadka., 1985). انریک مقدار تغذیه آبخوان‌های مناطق خشک را با استفاده از مدل MODFLOW شبیه‌سازی نمود. بر این اساس مقدار مناسب تغذیه را در شرایط مختلف آب و هوایی تعیین نمود. وی نشان داد، ساده کردن سامانه انشعابی تغذیه آبخوان حاکم بر مدل، اولین قدم در راه تلفیق هیدرولوژی آب‌های جاری با هیدرولوژی آبخوان در مناطق خشک می‌باشد (Enrique., 2000). پیسیناراس و همکاران به ارزیابی و ارزیابی راهکارهایی جهت تعدیل اثرات ۸۷ حلقه چاه بهره‌برداری واقع در اراضی کشاورزی دشت ایسماریدا یونان به مساحت ۴۶/۷۵ کیلومترمربع پرداختند. جریان آب زیرزمینی در این آبخوان به واسطه وجود ۳ سال داده‌های صحرایی از طریق مدل MODFLOW شبیه‌سازی شد. نتایج بیانگر دقت بالای مدل در شبیه‌سازی وضعیت پتانسیومتری آبخوان می‌باشد (Pisinaras et al., 2007). یاوتی و همکاران برای مدل‌سازی آبخوان آزاد دشت Bou-Areg در شمال شرقی مراکش، مدل سه‌بعدی تفاضل محدود جریان آب زیرزمینی را با استفاده از نرم‌افزار MODFLOW در شرایط مختلف هیدرولوژیکی و تنش‌های متفاوت اجرا نمودند. ایشان توانستند با دو مرحله کالیبراسیون که یکی در شرایط ماندگار برای

گرمابدشت در حوضه آبریز قره‌سو می‌باشند که پس از الحاق به یکدیگر در مجاورت روستای قره‌سو، به خلیج گرگان جریان می‌یابند و رودخانه‌های قرن‌آباد، تقی‌آباد و محمد‌آباد، اصلی‌ترین رودخانه‌های موجود در مابقی محدوده مطالعاتی می‌باشند که در حوضه آبریز گرگانرود قرار داشته و به رودخانه بزرگ گرگانرود در شمال محدوده مطالعاتی می‌ریزند.

آبخوان، وسعتی حدود ۱۴/۱۴ کیلومترمربع داشته که از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین طول‌های ۵۳°۵۶' تا ۵۴°۴۶' شرقی و عرض‌های ۳۶°۴۵' تا ۳۷°۰۴' شمالی واقع شده است. جمعیت ساکن در منطقه نیز، براساس سرشماری سال ۱۳۹۰ حدود ۶۸۰۲۱۷ نفر می‌باشد که جمعیت کثیری از آن در شهرستان گرگان ساکن می‌باشد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را در ایران و در استان گلستان نمایش می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران و استان گلستان

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K_{xx} h \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_{yy} h \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_{zz} h \frac{\partial h}{\partial z} \right] - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

در معادله فوق K مقادیر هدایت هیدرولیکی در راستای x, y, z ، h هد آب زیرزمینی، w شار حجمی جریان در واحد حجم (بیانگر چشمه و چاهک جریان)، S_s ضریب ذخیره ویژه آبخوان و t زمان می‌باشد. معادله فوق به همراه شرایط اولیه و مرزی مناسب، سیستمی از معادلات را تشکیل می‌دهند که با حل آن‌ها مقدار h در زمان‌ها و مکان‌های مختلف در مدل به دست می‌آید.

مدل مفهومی و مرزهای آبخوان

ساختار مدل مفهومی آبخوان دشت قره‌سو شامل محدوده مدل‌سازی و توزیع اولیه پارامترهای هیدروژئولوژیکی (هدایت

و همچنین بهره‌برداری بالا از مخازن آب زیرزمینی در بعضی از نواحی دشت، در حال حاضر با مسائلی نظیر افت سطح آب زیرزمینی مواجه شده است. از این‌رو به منظور مدیریت بهتر و جلوگیری از افت بیش‌تر و هجوم سفره آب شور به سمت آبخوان، تهیه مدل جریان آب زیرزمینی دشت و تدابیر مدیریتی لازم و ارائه سناریوهای مدیریتی در این آبخوان ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی بخشی از حوضه آبریز گرگانرود-قره‌سو، در استان گلستان می‌باشد که تمامی حوضه آبریز قره‌سو و قسمت‌هایی از حوضه آبریز گرگانرود تا نزدیکی شهرستان علی‌آباد را شامل می‌شود. اصلی‌ترین رودخانه‌های موجود در منطقه، رودخانه دایمی قره‌سو به طول حدوداً ۵۵ کیلومتر، رودخانه‌های کردکوی، شصت کلاته، زیارت و

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز در مدل‌سازی

داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی در دو قالب فیزیکی و هیدروژئولوژیکی جای می‌گیرند. برای مدل‌سازی آبخوان قره‌سو، نقشه زمین‌شناسی، لوگ‌های سنگ‌شناسی چاه‌های اکتشافی و مشاهده‌ای، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و نیز نقشه ۱:۱۰۰۰ اطراف رودخانه قره‌سو، اطلاعات مربوط به سطح آب‌های زیرزمینی، اطلاعات مربوط به قابلیت انتقال چاه‌های اکتشافی، تغییرات زمانی و مکانی نرخ تبخیر و تعرق، میزان بارندگی، میزان پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری و تخلیه طبیعی زیرزمینی آبخوان جهت شناخت چارچوب هیدروژئولوژیکی سیستم با مراجعه به سازمان آب استان گلستان جمع‌آوری شد. معادله عمومی حاکم بر جریان آب زیرزمینی (با چگالی ثابت) که در نرم‌افزار MODFLOW به کار رفته عبارتند از (رابطه ۱).

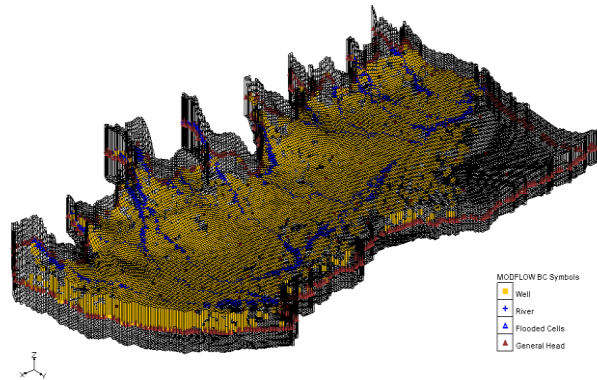
آبخوان، از بسته مربوط به شرایط مرزی استفاده می‌گردد. مرزهای آبخوان مطالعاتی به دو صورت مرز با بار ثابت و مرز با بار عمومی در مدل مفهومی تعریف می‌گردد. با توجه به قرارگیری رودخانه گرگانرود در سرتاسر مرز شمالی منطقه مطالعاتی، این مرز به عنوان مرز با بار ثابت در اولین اجرای مدل تعریف شد. در جنوب منطقه نیز ارتفاعات و سازندهای زون زمین‌شناسی البرز، جبهه ورودی آبخوان قره‌سو می‌باشد که به عنوان مرز با بار عمومی در نظر گرفته شده است. در قسمت شرق و شمال شرقی منطقه نیز، با توجه به تبادل جریان آب زیرزمینی بین این آبخوان با آبخوان مجاور، و جهت جریان آب زیرزمینی، این مرز به عنوان جبهه ورودی و مرز با بار عمومی در مدل معرفی گردید. مرز غربی آبخوان نیز، که جبهه خروجی آب زیرزمینی می‌باشد و به دریای خزر می‌ریزد، به عنوان مرز با بار عمومی در مدل معرفی شده است. از این رو در محل‌هایی از منطقه که مرز آبخوان از نوع مرز هیدرولیکی باشد، به علت تفاوت در گرادیان هیدرولیکی، مقداری جریان ورودی و یا خروجی خواهیم داشت. این میزان جریان با توجه به تفاوت هد بین سلول مرزی و سلول مجاور آن بدست می‌آید. در مدل تهیه شده دشت قره‌سو، با توجه به جهت جریان آب زیرزمینی، جبهه‌های جنوبی و شرقی منطقه، نقش تغذیه آبخوان را دارند و جبهه‌های غربی و شمال غربی به عنوان نواحی تخلیه آبخوان محسوب می‌گردند. تبخیر - تعرق نیز، به عنوان عامل دیگری که موجود هدر رفت آب، از آبخوان می‌گردد با توجه به بالا بودن سطح آب زیرزمینی در منطقه بر مدل اعمال شد.

توپوگرافی سطح زمین نیز، به عنوان مرز فوقانی و سنگ کف آبخوان به عنوان مرز تحتانی در مدل تعریف گردید.

هیدرولیکی و آبدهی ویژه، تخلیه چاه‌های بهره‌برداری، قنوات و چشمه‌ها، و میزان آب برگشتی آن‌ها، چاه‌های مشاهداتی، میزان تغذیه از سطح به آبخوان و شرایط مرزی است (شکل ۲). با توجه به قابلیت بالای نرم‌افزار GIS در توانایی ارتباط با GIS، در این مرحله کلیه اطلاعات مربوط به ساخت مدل مفهومی با استفاده از نرم‌افزار GIS فراخوانی شدند.

منابع تخلیه‌کننده آبخوان براساس آماربرداری سال ۱۳۸۸، شامل ۸۴۷۹ حلقه چاه عمیق و کم‌عمق با میزان تخلیه سالانه ۳۳۴/۵۹ میلیون مترمکعب و ۹۰ رشته قنات و ۵ دهنه چشمه با میزان تخلیه ۸/۱۳ میلیون مترمکعب می‌باشند، که عمدتاً جهت مصارف کشاورزی، شرب و صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تغذیه سطحی نیز، بر اساس حاصل جمع لایه‌هایی در مدل اعمال می‌گردد که بر مبنای مدل تفهیمی تعریف و مشخص شدند و می‌تواند در برگرفته در صدی از بارندگی، آب برگشتی حاصل از پساب شرب و صنعت و همچنین کشاورزی در منطقه و بالاخره آب نفوذی از طریق مسیل‌ها و تاسیسات تغذیه مصنوعی تعریف و اعمال گردد، که هر یک از عوامل مختلف به صورت بسته‌ای جداگانه در مدل تعریف شد. بررسی ارتباط بین آب سطحی و آب زیرزمینی نیز، از طریق پوشش رودخانه امکان‌پذیر گردید. بدین صورت که پس از مشخص نمودن موقعیت رودخانه‌ها در مدل مفهومی، مقادیر مربوط به هدایت هیدرولیکی بستر رودخانه و همچنین تراز آب رودخانه در ماه مربوطه، به مدل وارد گردید. مدل در هر گام زمانی با محاسبه تراز آب زیرزمینی و تراز آب رودخانه، زهکشی و یا تغذیه آبخوان را محاسبه می‌نماید. برای محاسبه حجم جریان‌های زیرزمینی ورودی و خروجی



شکل ۲- مدل مفهومی منطقه مورد مطالعه

پارامترهایی نظیر سنگ کف، ارتفاع سطح زمین، مقادیر هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره، مقادیر تغذیه سطحی و سطوح ایستایی اولیه متناسب با توزیع مکانی به هر یک از سلول‌های شبکه مدل اختصاص داده می‌شود. از این رو شبکه بندی مدل مجموعاً شامل ۴۵۰۰۰ سلول می‌باشد که تعداد ۲۲۶۰۵ سلول در داخل محدوده مورد

طراحی و اجرای مدل

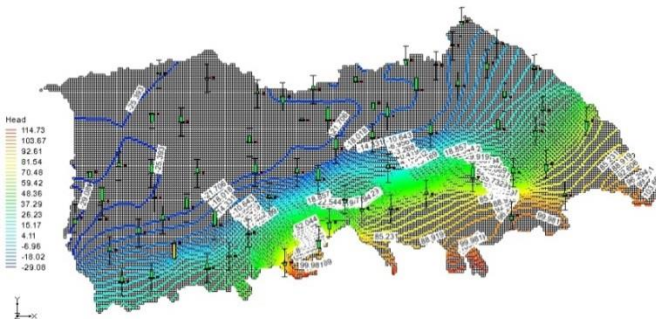
با توجه به وضعیت زمین‌شناسی، توپوگرافی، نقشه‌های هم‌پتانسیل، نقشه منابع آب و وسعت منطقه مورد مطالعه، شبکه‌ای با سلول‌هایی به ابعاد ۲۵۰×۲۵۰ متر مربع شامل ۳۰۰ سلول در جهت X و ۱۵۰ سلول در جهت Y برای محدوده مورد نظر تهیه شده است که

به ذکر است که مقدار خطای RMSE در مرحله ناپایدار ۰/۷۶ محاسبه گردید. در اشکال ۵ و ۶ نقشه‌های کالیبره شده ضریب هدایت هیدرولیکی و ضریب آبدهی ویژه نمایش داده شده است.

بعد از واسنجی در حالت ناپایدار، مدل نیازمند تایید یا صحت‌سنجی است، تا بتوان به آن اطمینان کرد. برای این منظور صحت‌سنجی برای یک دوره شش‌ماهه (سال ۹۱-۱۳۹۰) از مهر تا اسفند انجام گرفته است. در این مرحله مقدار جذر میانگین مربعات خطا ۰/۸۱ بدست آمد، که نشانگر دقت قابل قبولی در شبیه‌سازی وضعیت آبخوان است. در شکل ۷ نیز، مقادیر انواع مختلف خطا طول گام زمانی به نمایش گذاشته شده است.

مدیریت آبخوان

از خصوصیات منحصر به فرد مدل‌ها، توانایی مدیریت آبخوان در آینده است. با استفاده از مدل می‌توان نتیجه اعمال راهکارهای مختلف را با صرف کم‌ترین هزینه و امکانات مشاهده نمود. از این رو، پس از ورود کامل اطلاعات به نرم‌افزار و کالیبره نمودن مدل و اطمینان از صحت مدل تهیه شده، مدل قادر به پیش‌بینی نحوه تأثیر استرس‌های مختلف وارد بر سفره آب زیرزمینی مورد نظر در آینده می‌باشد. استرس‌هایی که می‌توانند از نوع تغییرات برداشت یا تغییرات تغذیه به آبخوان باشد. با توجه به اهداف تعیین شده در پژوهش، به ارائه سناریوهای ذیل پرداخته شده است.



شکل ۴- نتایج حاصل از واسنجی مدل در رژیم پایدار

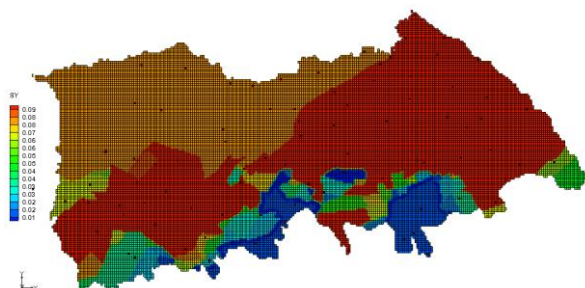
نظر (دشت مطالعاتی) به صورت سلول‌های فعال مورد بررسی قرار می‌گیرند (شکل ۲).

واسنجی و صحت‌سنجی مدل دشت زرین‌گل

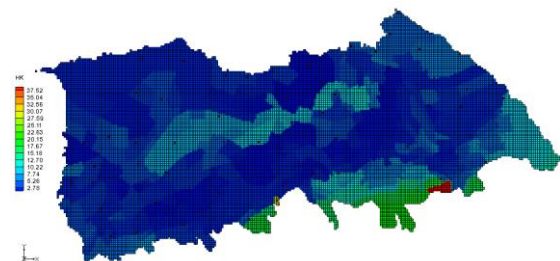
مدل ریاضی جریان آب زیرزمینی آبخوان قره‌سو برای دو حالت پایدار و ناپایدار تهیه شده است. مدل تهیه شده در شرایط پایدار به منظور برآورد برخی از پارامترهای نامشخص، خصوصاً ضرایب هیدرودینامیک و بر مبنای اطلاعات مهر ۱۳۸۸ ایجاد گردیده است. در این مرحله، معیار جذر میانگین مربعات خطا، ۰/۷۰۵ متر محاسبه گردید که نشانگر دقت قابل قبولی در شبیه‌سازی وضعیت آبخوان است (شکل ۳). شکل ۴ نتایج حاصل از واسنجی مدل را در رژیم پایدار نشان می‌دهد. همانطور که از شکل پیداست، در بیش‌تر پیژومترها خطای باقیمانده کم و دقت نتایج بیش‌تر از هدف واسنجی است. شرایط ناپایدار نیز بر اساس تقسیم چرخه هیدرولوژی سالانه برای سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ به دوازده دوره زمانی ماهانه تعریف گردیده است. به گونه‌ای که طول هر یک از دوره‌ها برابر با تعداد روزهای هر ماه می‌باشد. این دوازده دوره در MODFLOW به دوره‌های تنش معروفند چرا که تنش‌های هیدرولوژیکی مشخص شده از یک دوره به دوره بعد تغییر می‌کند و بیش‌تر تنش‌ها در طول هر دوره ثابت فرض می‌گردد در حالی که برخی از شرایط را می‌توان به صورت خطی از ابتدا تا انتهای هر استرس پیوند بین دو مقدار مشخص تغییر داد. لازم

Error Summary	
Head	
Mean Error:	0.241
Mean Abs. Error:	0.604
Root Mean Sq. Error:	0.705

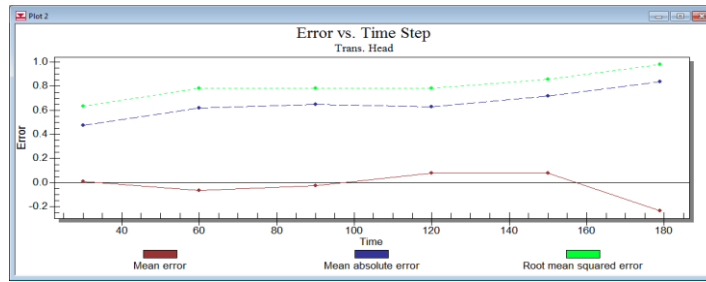
شکل ۳- انواع میانگین خطای واسنجی مدل در شرایط پایدار



شکل ۶- آبدهی ویژه بهینه در کلیه سلول‌های مدل در شرایط ناپایدار



شکل ۵- مقادیر هدایت هیدرولیکی واسنجی شده (برحسب متر بر روز)



شکل ۷- مقادیر ME، MAE و RMSE در دوره صحت‌سنجی

شد و همراه با آن افت سطح آب زیرزمینی در همان ماه و دو ماه بعد ترسیم گردید. همان‌گونه که در شکل (۸-۴) مشاهده می‌شود، افزایش ۱۰ درصدی برداشت در این ماه افت بیش‌تری را ایجاد کرده است چرا که مقادیر مربوط به برداشت در این ماه بیش‌تر از خردادماه بوده است. افزایش ۱۰ درصدی برداشت در تیرماه حداکثر افتی به اندازه ۱/۶۶ متر در نقاط بسیار کوچکی از آبخوان ایجاد کرده است که این نقاط مربوط به نواحی با تمرکز چاه‌های بهره‌برداری زیاد و برداشت بالا می‌باشد. اما بیش‌ترین نواحی افت مربوط به مقدار حدود ۰/۵ متر می‌باشد که به رنگ آبی پررنگ نمایش داده شده است. این افزایش برداشت افتی حداکثر به میزان ۰/۷ متر در مردادماه و ۰/۵ متر در شهریورماه ایجاد کرده است (شکل ۶، ۵-۸). لازم به ذکر است که میزان برداشت در هر یک از ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور به ترتیب به میزان ۱/۴۳، ۲/۹۳، ۲/۵۳ و ۱/۶۲ میلیون مترمکعب در روز بوده است. مسلم است که با توجه به رقم بالای برداشت در تیرماه، افزایش آن افت بیش‌تری در آبخوان ایجاد کند.

افزایش ۱۰ درصدی برداشت در مردادماه

نقشه‌های افت سطح آب زیرزمینی در اثر افزایش برداشت در مردادماه نیز در شکل (۸-۷) به تصویر کشیده شده است. آن‌گونه که مشهود است این افزایش برداشت، افت حداکثر ۱/۲ متری را در بعضی نواحی کوچک آبخوان ایجاد کرده است، اما افتی که در بیش‌تر آبخوان به چشم می‌خورد حدود ۰/۴ متر می‌باشد که به رنگ آبی پررنگ لحاظ شده است. در شهریورماه نیز، حداکثر افت ۰/۶ متر در نواحی بسیار کوچکی ایجاد شده، اما آنچه که بیش‌تر در نقشه دیده می‌شود افت بین ۰/۳ - ۰/۲ متری می‌باشد که در نقشه با رنگ آبی ترسیم شده است (شکل ۸-۸).

افزایش ۵ درصدی برداشت در شهریورماه

در شهریورماه برداشت از آبخوان، به میزان کم‌تری افزایش داده شد و مدل مجدداً اجرا گردید. در شکل ۹-۸ نقشه افت سطح آب زیرزمینی در اثر افزایش ۵ درصدی برداشت به تصویر کشیده است. همان‌گونه که مشهود است این افزایش برداشت، افتی حداکثر به

سناریو افزایش برداشت از آبخوان

با توجه به کاهش میزان بارندگی‌ها در سال‌های اخیر و افزایش برداشت‌ها از آبخوان، سناریوی بررسی افت سطح آب زیرزمینی ناشی از افزایش برداشت در منطقه، مطرح گردید. این سناریوها به منظور بررسی افت سطح آب زیرزمینی مطرح شد و اثرات آن تا دو ماه بعد بررسی گردید. از این‌رو، پس از ایجاد هر سناریو و اجرای مجدد مدل، نقشه‌های افت سطح آب زیرزمینی در محیط GIS ترسیم گردید. بدین‌صورت که پس از اعمال مقادیر جدید برداشت از منابع و ترسیم خطوط تراز سطح آب زیرزمینی با فواصل بسیار کم در نرم‌افزار GIS، مقادیر تراز به صورت یک لایه در ساختار نقطه‌ای به محیط GIS فراخوانی شد. پس از آن نقشه رستری اختلاف سطح آب زیرزمینی در حالت اولیه و جدید یا به عبارتی نقشه افت سطح آب زیرزمینی در نقاط مختلف از آبخوان بدست آمد.

افزایش ۱۰ درصدی برداشت در خردادماه

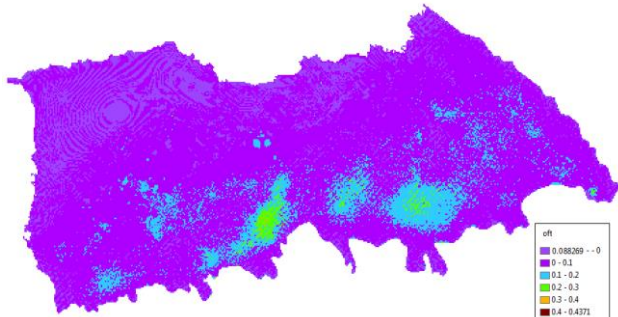
اولین سناریو تعریف شده در مدل، افزایش ۱۰ درصدی برداشت در کلیه نقاط آبخوان در خردادماه می‌باشد. برای این منظور، پس از اعمال مقادیر ۱۰ درصدی برداشت در خردادماه، نقشه‌های افت سطح آب زیرزمینی در اثر این افزایش برداشت در همین‌ماه و دو ماه بعد ترسیم گردید. همان‌گونه که در اشکال (۳، ۲، ۱-۸) مشاهده می‌گردد در اثر این افزایش برداشت در خردادماه، سطح آب زیرزمینی حداکثر به میزان ۰/۷ متر در همان ماه، ۰/۴ متر در تیرماه و ۰/۳ متر در مردادماه در نواحی بسیار کوچکی از آبخوان افت پیدا می‌کند، اما بیش‌ترین نواحی افتی که به چشم می‌خورد در خردادماه حدود ۰/۲ متر می‌باشد آن هم در نواحی جنوبی و مرکزی آبخوان که به رنگ آبی نمایش داده شده است. در تیرماه نیز افت بین ۰/۱ تا ۰/۲ متر در بعضی نواحی آبخوان و در مردادماه نیز در همین حد اما در نواحی بسیار کم‌تری از آبخوان به چشم می‌خورد.

افزایش ۱۰ درصدی برداشت در تیرماه

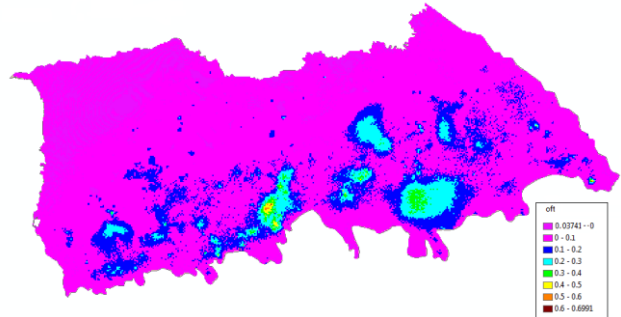
در تیرماه نیز مجدداً برداشت‌ها به میزان ۱۰ درصد افزایش داده

افت ناشی از افزایش برداشت در ماه‌های مختلف نمایش داده شده است.

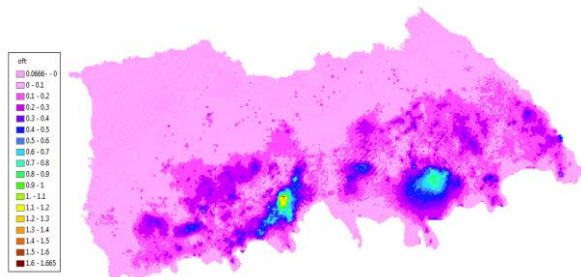
میزان ۰/۴ متر در بعضی نواحی کوچک ایجاد کرده است، اما افتی که در بیش‌تر نقاط به چشم می‌آید حدود ۰/۲-۰/۱ متر بوده که مربوط به نواحی تمرکز چاه‌های بهره‌برداری است. در جدول ۱ مقادیر حداکثر



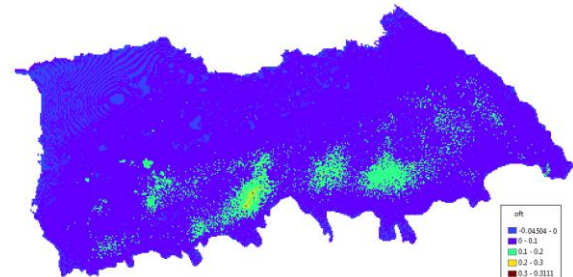
۸-۲- نقشه افت سطح آب زیرزمینی در تیرماه، در اثر افزایش برداشت ۱۰ درصدی در خردادماه



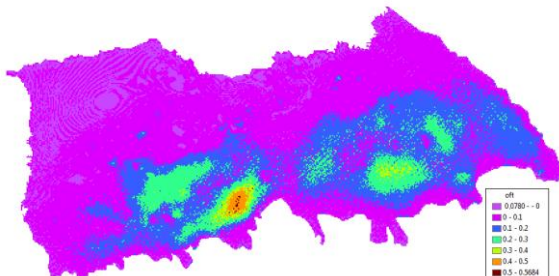
۸-۱- نقشه افت سطح آب زیرزمینی در خردادماه در اثر افزایش برداشت ۱۰ درصدی در هفتمین ماه



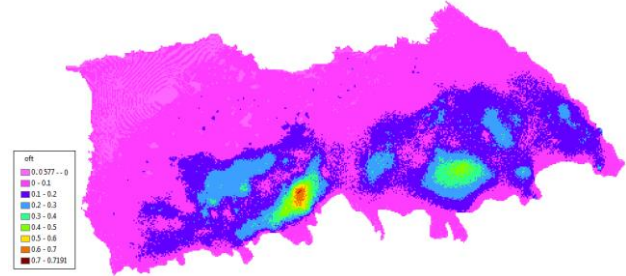
۸-۴- نقشه افت سطح آب زیرزمینی در تیرماه در اثر افزایش برداشت ۱۰ درصدی در هفتمین ماه



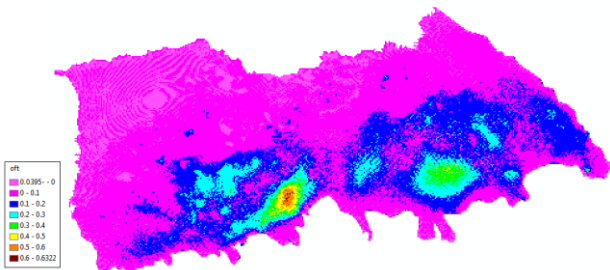
۸-۳- نقشه افت سطح آب زیرزمینی در مردادماه در اثر افزایش برداشت ۱۰ درصدی در خردادماه



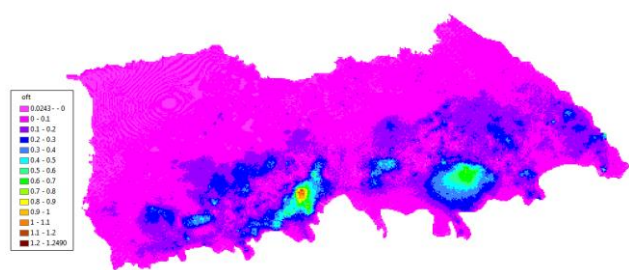
۸-۶- نقشه افت سطح آب زیرزمینی در شهریور، در اثر افزایش برداشت ۱۰ درصدی در تیرماه



۸-۵- نقشه افت سطح آب زیرزمینی در مرداد، در اثر افزایش برداشت ۱۰ درصدی در تیرماه



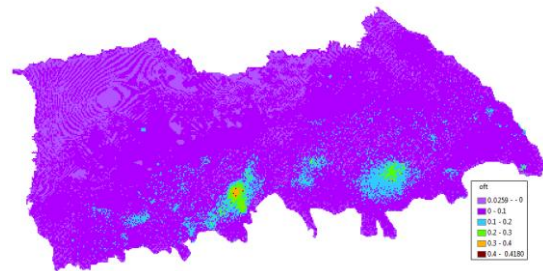
۸-۸- سطح آب زیرزمینی در شهریورماه، در اثر افزایش برداشت ۱۰ درصدی در مردادماه



۸-۷- نقشه افت سطح آب زیرزمینی در مردادماه، در اثر افزایش برداشت ۱۰ درصدی در هفتمین ماه

جدول ۱- مقادیر حداکثر افت ناشی از سناریوی افزایش برداشت

شهریور	مرداد	تیر	خرداد	سناریوی
حداکثر	حداکثر	حداکثر	حداکثر	افزایش
افت	افت	افت	افت	برداشت
*	۰/۳۱	۰/۴۴	۰/۶۹	خرداد
۰/۵۷	۰/۷۲	۱/۶	*	تیر
۰/۶۳	۱/۲۵	*	*	مرداد
۰/۴۲	*	*	*	شهریور



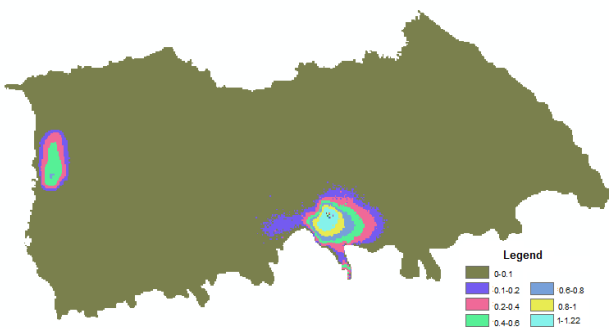
۸-۹- نقشه افت سطح آب زیرزمینی در شهریورماه، در اثر افزایش برداشت در همین ماه

شکل ۸- نقشه‌های افت سطح آب زیرزمینی در اثر افزایش برداشت

سناریو حذف پساب شرب شهری

با توجه به تغییر سیستم‌های دفع فاضلاب از چاه‌های جذبی به سیستم‌های بهداشتی جمع‌آوری فاضلاب در چندین سال اخیر در کل کشور و نیز در استان گلستان، سناریوی بررسی اثر حذف پساب شهرهای گرگان و بندرتارکمن بر سطح آب زیرزمینی منطقه بررسی گردید. در این سناریوها به منظور بررسی افت سطح آب زیرزمینی آبخوان در اثر حذف پساب شرب شهری، میزان تغذیه ناشی از پساب شرب شهرهای گرگان و بندرتارکمن صفر در نظر گرفته شده و مدل مجدداً اجرا گردید، و نقشه‌های سطح آب زیرزمینی در اثر این کاهش تغذیه استخراج شد. سپس در محیط نرم‌افزاری GIS نقشه‌های افت

سطح آب زیرزمینی در کلیه ماه‌های سال استخراج شد. شکل ۹ نقشه‌های افت سطح آب را در بعضی از ماه‌ها نمایش می‌دهد. با توجه به نقشه‌های افت مشاهده می‌گردد که، اثر حذف پساب میزان افت حداکثری متفاوتی را ماه‌های مختلف با گذشت زمان ایجاد نموده که در مهرماه این میزان افت حدود ۰/۴۳ و در شهریورماه به ۱/۹۹ متر رسیده است. از سویی دیگر حجم تغذیه ناشی از حذف این پساب، نیز مقداری بین ۰/۶ تا ۰/۷ میلیون مترمکعب در هر ماه با توجه به میزان مصرف آب بوده است. در جدول ۲ نیز مقادیر حداکثری افت در هریک از ماه‌ها نمایش داده شده است.



۹-۲- نقشه افت سطح آب زیرزمینی دی‌ماه در اثر حذف پساب شرب شهری



۹-۱- نقشه افت سطح آب زیرزمینی مهرماه در اثر حذف پساب شرب شهری



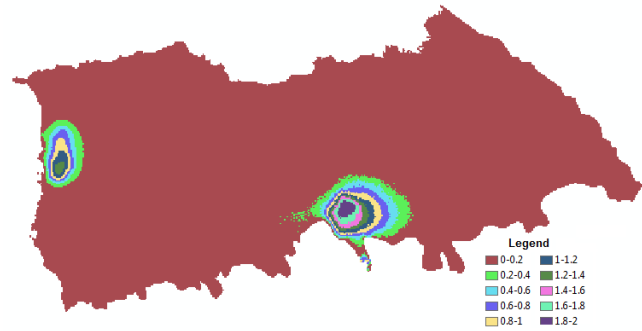
۹-۴- نقشه افت سطح آب زیرزمینی خردادماه در اثر حذف پساب شرب شهری



۹-۳- نقشه افت سطح آب زیرزمینی اسفندماه در اثر حذف پساب شرب شهری

جدول ۲- مقادیر حداکثر افت ناشی از سناریوی حذف پساب شرب شهری

ماده	حداکثر افت	ماه	حداکثر افت
مهر	۰/۴۳	فروردین	۱/۷۱
آبان	۰/۷۶	اردیبهشت	۱/۸
آذر	۱/۰۲	خرداد	۱/۹
دی	۱/۲۲	تیر	۱/۹۵
بهمن	۱/۴۴	مرداد	۱/۹۷
اسفند	۱/۵۶	شهریور	۲



۹-۹- نقشه افت سطح آب زیرزمینی شهریورماه در اثر حذف پساب شرب شهری

شکل ۹- نقشه‌های افت سطح آب در اثر حذف پساب شرب شهری

رودخانه‌های گرمادشت و قرن‌آباد ایجاد کرده است. در سایر نواحی آبخوان نیز افت‌هایی مشاهده می‌شود. در سه ماه بعد نیز به ترتیب حداکثر افت‌هایی به میزان ۰/۹۳، ۰/۸۸ و ۰/۵۲ متر در همان نواحی را ایجاد شده است. کاهش ۴۰ درصدی آبدهی رودخانه‌ها در فصل زمستان، مقدار افت بیشتری نسبت به فصل پاییز ایجاد نموده است. در جدول ۳ مقادیر حداکثری افت ناشی از هریک از سناریوهای کاهش آبدهی در فصول مختلف نمایش داده شده است.

سناریو کاهش بارش موثر ناشی از دگرگونی‌های اقلیمی

با توجه به وقوع پدیده تغییر اقلیم در سطح زمین و اثرات آن بر میزان بارش‌های جوی، چهارمین سناریو با هدف کاهش میزان بارندگی موثر، در فصول مختلف اجرا و اثرات آن بر سطح آب زیرزمینی بررسی گردید. برای این منظور پس از کاهش ۲۰ درصدی مقدار بارندگی موثر از طریق پلی‌گون‌های بارش، در هر یک از ماه‌های مختلف، نقشه‌های تراز سطح آب زیرزمینی از محیط GIS استخراج شده و سپس نقشه افت سطح آب در محیط GIS ترسیم شده است. تأثیر کاهش آبدهی بر بیلان آبخوان نیز بررسی گردیده و مقادیر آن در هر سناریو بیان شده است.

سناریو کاهش ۴۰ درصدی آبدهی رودخانه‌ها

سومین سناریوی تعریف شده در مدل، کاهش آبدهی رودخانه‌های موجود در محدوده مطالعاتی، بر اثر وقوع پدیده تغییر اقلیم در منطقه تعریف شده است. در این سناریو، مقادیر دبی رودخانه‌ها در فصول مختلف، به میزان ۴۰ درصد کاهش داده شده و اثرات آن در همان فصل و ماه‌های بعد بررسی می‌گردد. برای این منظور پس از کاهش ۴۰ درصدی مقادیر آبدهی، نقشه‌های تراز سطح آب زیرزمینی از محیط GIS استخراج شده و سپس نقشه افت سطح آب در محیط GIS ترسیم گردیده است. در شکل ۱، موقعیت و اسامی رودخانه‌ها، نمایش داده شده است.

سناریو کاهش آبدهی رودخانه‌ها در پاییز

در این سناریو مقادیر آبدهی رودخانه‌ها در فصل پاییز به میزان ۴۰ درصد در مدل عددی آبخوان کاهش داده شده و نقشه‌های تراز سطح آب زیرزمینی استخراج گردید. سپس نقشه‌های کلاسه بندی شده افت سطح آب در محیط GIS ترسیم شد (شکل ۱۰). همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در مهرماه حداکثر افتی به میزان ۱/۳۵ متر، در آبان‌ماه به میزان ۱/۴ و در آذرماه به میزان ۱/۵۲ متر در حوالی



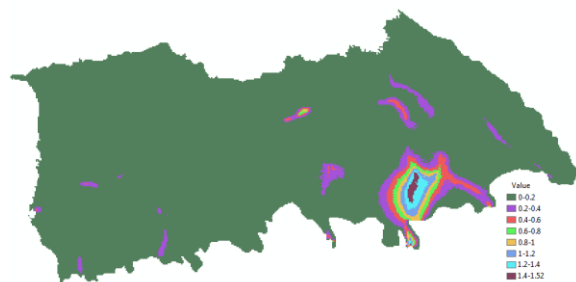
۱۰-۲- نقشه افت سطح آب زیرزمینی آبان‌ماه در اثر کاهش ۴۰ درصدی آبدهی رودخانه‌ها در پاییز



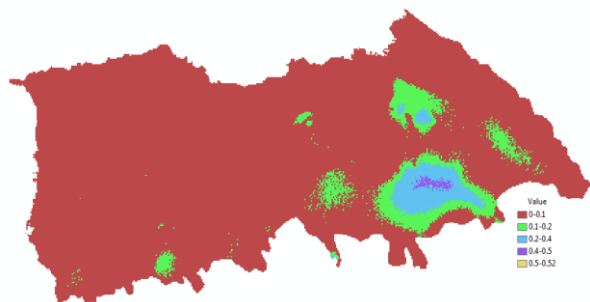
۱۰-۱- نقشه افت سطح آب زیرزمینی مهرماه در اثر کاهش ۴۰ درصدی آبدهی رودخانه‌ها در پاییز



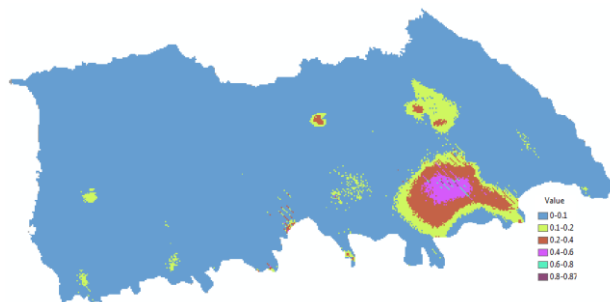
۱۰-۴- نقشه افت سطح آب زیرزمینی آذرماه در اثر کاهش ۴۰ درصدی آبدهی رودخانه‌ها در پاییز



۱۰-۳- نقشه افت سطح آب زیرزمینی آذرماه در اثر کاهش ۴۰ درصدی آبدهی رودخانه‌ها در پاییز



۱۰-۶- نقشه افت سطح آب زیرزمینی اسفندماه در اثر کاهش ۴۰ درصدی آبدهی رودخانه‌ها در پاییز



۱۰-۵- نقشه افت سطح آب زیرزمینی بهمن‌ماه در اثر کاهش ۴۰ درصدی آبدهی رودخانه‌ها در پاییز

شکل ۱۰- نقشه‌های افت سطح آب زیرزمینی در اثر کاهش ۴۰ درصدی آبدهی رودخانه‌ها در پاییز

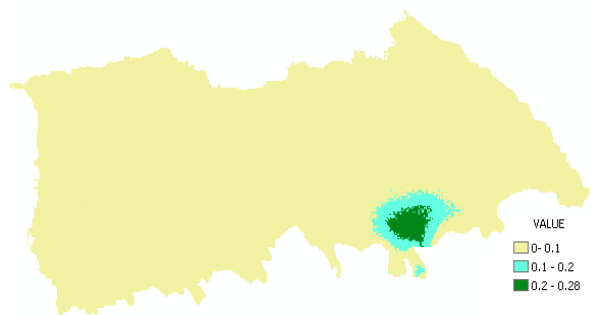
جدول ۳- مقادیر حداکثری افت، ناشی از سناریوی کاهش ۴۰ درصدی آبدهی رودخانه‌ها

پاییز	حداکثر افت	اثر پاییز بر زمستان	حداکثر افت	زمستان	حداکثر افت	اثر زمستان بر بهار	حداکثر افت
مهر	۱/۳۵	دی	۰/۹۳	دی	۱/۲۷	فروردین	۰/۸۳
آبان	۱/۴۰	بهمن	۰/۸۷	بهمن	۱/۷۴	اردیبهشت	۰/۶۴
آذر	۱/۵۲	اسفند	۰/۵۲	اسفند	۱/۶۷	خرداد	۰/۵۷
بهار	حداکثر افت	اثر بهار بر تابستان	حداکثر افت	تابستان	حداکثر افت	اثر تابستان بر بهار	حداکثر افت
فروردین	۱/۳۶	تیر	۰/۷۶	تیر	۱/۴۰	*	*
اردیبهشت	۱/۲۷	مرداد	۰/۵۳	مرداد	۱/۲۸	*	*
خرداد	۱/۵۷	شهریور	۰/۵۱	شهریور	۱/۵۰	*	*

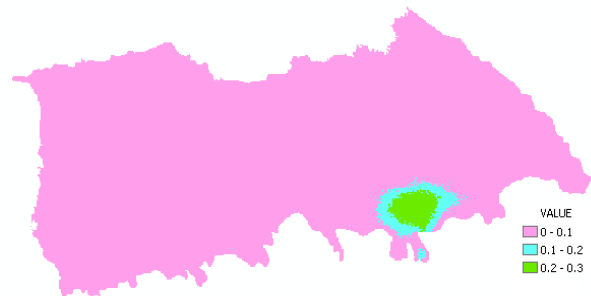
کاهش ۲۰ درصدی بارش مؤثر در فصل پاییز

در این سناریو مقادیر بارندگی مؤثر در سه ماه مهر، آبان و آذر، هریک به میزان ۲۰ درصد کاهش داده شده و سپس نقشه‌های افت سطح آب زیرزمینی در همان فصل و فصل زمستان به تفکیک برای هر ماه ترسیم گردیده است. بیش‌ترین میزان افت مشاهده شده در نقشه‌ها مربوط به بخش جنوب شرقی آبخوان و محدوده ایستگاه باران‌سنجی پل اردوگاه می‌باشد، که دارای میزان ریزش بارش بیش‌تری نسبت به سایر نواحی است. از سویی دیگر با توجه به بیلان محاسبه شده توسط مدل، در اثر این کاهش ۲۰ درصدی در میزان بارندگی مؤثر، به ترتیب به میزان ۰/۵۶، ۰/۳۳ و ۰/۴ میلیون متر

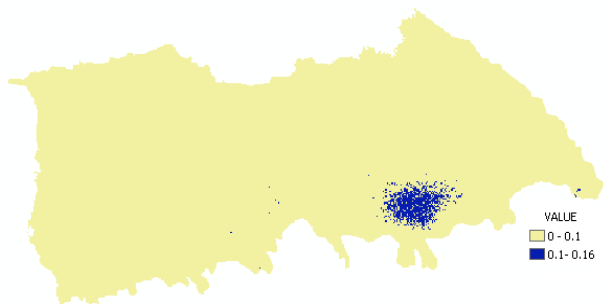
مکعب در سه ماه مهر، آبان و آذر از تغذیه آبخوان کاسته شده، که به ترتیب حداثر افتی به میزان ۰/۳۱، ۰/۲۹ و ۰/۳۲ متر را ایجاد کرده است. اثرات این کاهش تغذیه ناشی از بارندگی در سه ماه بعد نیز بررسی گردید و حداکثر افتی به میزان ۰/۱۷، ۰/۲ و ۰/۱۵ متر ایجاد کرده است (شکل ۱۱). در جدول ۴ نیز نتایج حاصل از حداکثر افت سطح آب، ناشی از اجرای این سناریو در هریک از فصول سال نمایش داده شده است.



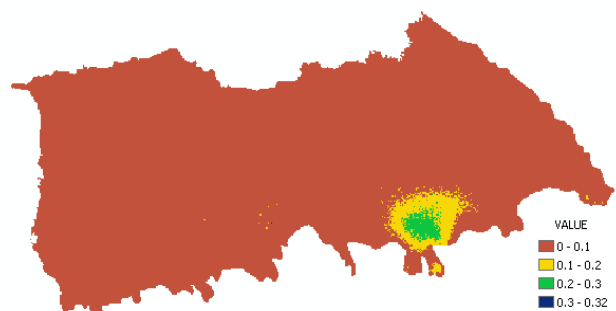
۱۱-۲- نقشه افت سطح آب زیرزمینی آبان‌ماه در اثر کاهش ۲۰ درصدی بارش موثر در پاییز



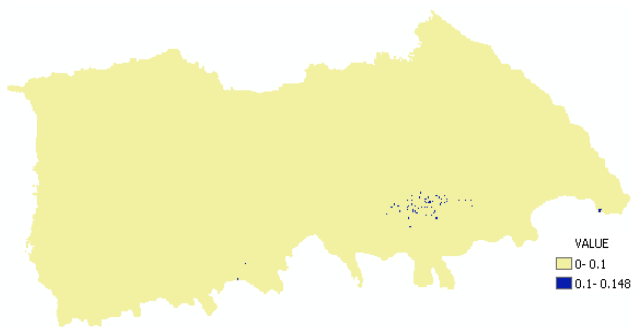
۱۱-۱- نقشه افت سطح آب زیرزمینی مهرماه در اثر کاهش ۲۰ درصدی بارش موثر در پاییز



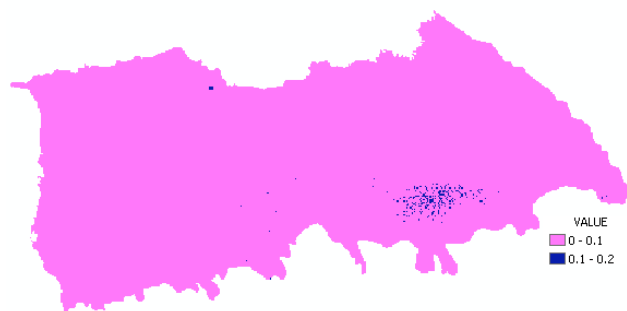
۱۱-۴- نقشه افت سطح آب زیرزمینی دی‌ماه در اثر کاهش ۲۰ درصدی بارش موثر در پاییز



۱۱-۳- نقشه افت سطح آب زیرزمینی آذرماه در اثر کاهش ۲۰ درصدی بارش موثر در پاییز



۱۱-۶- نقشه افت سطح آب زیرزمینی اسفندماه در اثر کاهش ۲۰ درصدی بارش موثر در پاییز



۱۱-۵- نقشه افت سطح آب زیرزمینی بهمن‌ماه در اثر کاهش ۲۰ درصدی بارش موثر در پاییز

شکل ۱۱- نقشه‌های افت سطح آب زیرزمینی در اثر کاهش ۲۰ درصدی بارش موثر در پاییز

جدول ۴- مقادیر حداکثری افت، ناشی از سناریوی کاهش بارندگی موثر

مهر	آبان	آذر	بهار	فروردین	اردیبهشت	خرداد
دی	بهمن	اسفند	اثر بهار بر تابستان	تیر	مرداد	شهریور
دی	بهمن	اسفند	اثر تابستان بر بهار	تیر	مرداد	شهریور
۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۳۳	حداکثر افت	۰/۵۵	۰/۳۲	۰/۳۲
۰/۱۷	۰/۲۰	۰/۱۵	حداکثر افت	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۲۰
۰/۲۱	۰/۹۷	۰/۴۳	حداکثر افت	۰/۲۸	۰/۴۹	۰/۶۲
فروردین	اردیبهشت	خرداد	اثر تابستان بر بهار	*	*	*
۰/۴۲	۰/۲۴	۰/۲۳	حداکثر افت	*	*	*

نتیجه گیری

در این مطالعه، دشت قره‌سو از نظر جریان آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده و مدل جریان آب زیرزمینی آن در شرایط پایدار و ناپایدار تهیه شده است. ابتدا به کمک اطلاعات خام و همچنین گزارش‌ها و نقشه‌های موجود، مدل مفهومی دشت تهیه شده است. سپس با ایجاد مدل عددی و شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی در شرایط پایدار و براساس واسنجی و داده‌های پایش شده، پارامترهای نامشخص نظیر هدایت هیدرولیکی و سنگ کف به همراه تغذیه سطحی در گستره دشت برآورد گردیده است. برآورد هدایت هیدرولیکی بر اساس نقاط هادی به روش دستی برآورد شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، تغییرات هدایت هیدرولیکی از حدود ۱۵ تا ۴۰ متر بر روز در مناطق مرکزی و شمالی تا کم‌تر از ۱ متر بر روز در حاشیه و مناطق جنوبی تغییر می‌نماید. همچنین آبدهی ویژه در محدوده مورد مطالعه با الگوی مشابه با هدایت هیدرولیکی، از حدود ۱ درصد تا ۹ درصد تغییر می‌نماید.

پس از اطمینان از صحت مدل تهیه شده و اعمال سناریوهای برداشت، معلوم گردید که در شرایط کنونی تقریباً از حداکثر توان سفره آب زیرزمینی استفاده می‌شود و افزایش مقادیر برداشت از سطح آب زیرزمینی در سال‌های آتی، منجر به افت چشمگیر در سفره آب زیرزمینی خواهد شد. به گونه‌ای که افزایش برداشت حتی به میزان ۵ یا ۱۰ درصد، تأثیر زیادی در افت سطح آب زیرزمینی ایجاد می‌کند و این میزان افت در بعضی نقاط بیش‌تر به چشم می‌آید. از سوی دیگر این افزایش برداشت‌ها نه تنها در همان ماه افت ایجاد خواهد کرد، بلکه تا دو الی سه ماه بعد نیز تأثیر خواهد گذاشت. بیش‌ترین میزان افت مشاهده شده در اثر افزایش ۱۰ درصدی برداشت مربوط به تیرماه و حداکثر افتی به اندازه ۱/۶۶ متر در نقاط بسیار کوچکی از آبخوان بوده است که این نقاط مربوط به نواحی با تمرکز چاه‌های بهره‌برداری زیاد و برداشت بالا می‌باشد. لازم به ذکر است که میزان برداشت در هر یک از ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور به ترتیب به میزان ۱/۴۳، ۲/۹۳، ۲/۵۳ و ۱/۶۲ میلیون مترمکعب در روز بوده است. مسلم است که با توجه به رقم بالای برداشت در تیرماه، افزایش برداشت در آن ماه افت بیش‌تری در آبخوان ایجاد کند. لذا آنچه به نظر می‌رسد این است، که با توجه به وضعیت آبخوان در شرایط کنونی، پیشنهاد می‌گردد که در صورت امکان از حفر چاه‌های جدید و نیز افزایش نرخ برداشت چاه‌های موجود جلوگیری به عمل آید و هم‌چنین ممنوعیت‌های لازم در نواحی مرکزی و جنوبی دشت که از حساسیت‌های بالاتری نسبت به سایر نقاط آبخوان برخوردارند، به عمل آید و در صورت لزوم، احداث چاه‌های جدید و یا افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در نواحی مرکزی و جنوبی دشت که افت کم‌تری دارند،

صورت گیرد در صورت لزوم و افزایش برداشت‌های انجام شده به صورت مرحله‌ای صورت گیرد و با اندازه‌گیری سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای تغییرات کمی سطح آب کنترل شود.

سناریوی بررسی اثر حذف پساب شرب شهرهای گرگان و بندرترکمن نیز، بر سطح آب زیرزمینی منطقه بررسی گردید. در اثر اجرای این سناریو مشخص گردید که اثر حذف پساب میزان افت حداکثری متفاوتی را در ماه‌های مختلف با گذشت زمان ایجاد می‌کند. به گونه‌ای، که در مهرماه این میزان افت حدود ۰/۴۳ و در شهریورماه به ۱/۹۹ متر خواهد بود. از سوی دیگر براساس نتایج حاصل از بیان مدل معلوم گردید که حذف پساب شرب شهری، کاهش حجمی معادل ۰/۶ تا ۰/۷ میلیون مترمکعب را در هر ماه با توجه به میزان مصرف ماهانه ایجاد می‌کند.

سناریوی کاهش آبدهی رودخانه‌ها نیز در فصول مختلف نیز، نشان داد که کاهش آبدهی در یک فصل، نه تنها در همان فصل بلکه بر فصل بعد نیز تأثیر زیادی خواهد گذاشت. بر اساس نتایج حاصل از این سناریو معلوم گردید که کاهش آبدهی در فصل زمستان، مقدار افت بیش‌تری نسبت به سایر فصول ایجاد می‌نماید. به گونه‌ای که در دی‌ماه حداکثر افتی به میزان ۱/۲۷ متر، در بهمن به میزان ۱/۷۴ متر و در اسفندماه به میزان ۱/۶۷ متر را بیش‌تر در حوالی رودخانه‌های گرمابدشت و قرن‌آباد ایجاد خواهد کرد. در سه ماه بعد نیز به ترتیب حداکثر افت‌هایی به میزان ۰/۸۳، ۰/۶۴ و ۰/۵۷ متر در همان نواحی را خواهیم داشت.

سناریوی کاهش بارندگی موثر نیز نشان داد، که کاهش ۲۰ درصدی بارندگی موثر در فصل زمستان افت بیش‌تری در آبخوان در همان فصل و فصل بعد ایجاد خواهد کرد. به گونه‌ای که کاهش بارندگی موثر در فصل زمستان، حداکثر افتی به میزان ۰/۲ متر در دی‌ماه و به میزان ۰/۹۷ در بهمن‌ماه و در اسفندماه به میزان ۰/۴ متر را، بیش‌تر در نواحی جنوبی آبخوان و محدوده ایستگاه‌های شصت کلاته، ناهارخوران و پل اردوگاه که مربوط به ارتفاعات می‌شود ایجاد می‌کند. اثرات این کاهش تغذیه ناشی از بارندگی در سه ماه بعد نیز، حداکثر افتی به میزان ۰/۴۲، ۰/۲۴ و ۰/۲۳ متر ایجاد کرده است. از سوی دیگر، براساس نتایج حاصل از بیان، این کاهش ۲۰ درصدی بارش موثر در دی‌ماه به میزان ۰/۵۳ و در بهمن‌ماه به میزان ۱/۶ و در اسفندماه به میزان ۱/۶۸ میلیون مترمکعب از تغذیه آبخوان کاسته است. لازم به ذکر است که منطقی می‌باشد که با توجه به مقدار بیش‌تر بارش‌ها در فصل زمستان، کاهش ۲۰ درصدی آن نیز افت بیش‌تری در آبخوان ایجاد کند.

تشکر و قدردانی

این تحقیق بخشی از یافته‌های طرح پژوهشی منعقد شده شرکت آب منطقه‌ای گلستان با معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به شماره (۱-۳۱۲/۴۴۰۵) با کد (GLW-92018) بوده که شایسته است در اینجا از مساعدت‌های مالی شرکت آب منطقه‌ای گلستان تشکر و قدردانی گردد.

منابع

- ابارشی، ف.، مفتاح هلقی، م.، دهقانی، ا.، کابلی، ع. و رحیمیان، م. ۱۳۹۲. مدل‌سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت زرینگل با استفاده از مدل ریاضی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۵۲ ص.
- انصاری مهابادی، ت.، شمسایی، ا. و مساح بوانی، ع. ۱۳۹۰. مدل‌سازی تغییرات سطح آب‌ریززمینی سفید دشت به وسیله مدل GMS. دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران.
- قاسمی، ع.، زارع‌ابیان، ح.، معروفی، ص.، سپهری، ن. و حسن‌نژاد، م. ص. ۱۳۸۷. بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی دشت همدان - بهار در سال‌های ۸۴ و ۸۵. مجموعه مقالات دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران.
- محتشم، م. ۱۳۹۰. برآورد سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت بیرجند با استفاده از مدل MODFLOW و شبکه عصبی مصنوعی.

پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۲۱ ص.

نجاتی‌چهرمی، ز.، چیت‌سازان، م. و میرزایی، س. ی. ۱۳۸۸. تأثیر خشکسالی سال ۸۷-۸۶ بر روی دشت عقیلی با استفاده از مدل ریاضی تفاضلات محدود در محیط GMS6.5. اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت منابع آب.

وزارت نیرو. ۱۳۸۰. نشریه شماره ۳۳۷-الف. پیش‌نویس راهنمای تهیه مدل ریاضی آب‌های زیرزمینی، معاونت امور آب و آبفا، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، ۲۱۰ ص.

- El Yaouti, F., El Mandour, A., Khattach, D. And Kaufmann, O. 2008. Modeling groundwater flow and advective contaminant transport in the Bou-Areg unconfined aquifer (NE Morocco). Journal of Hydro-environment Research. 2:192-209.
- Enrique, R.V. 2000. Distributed aquifer recharge enhancement in arid zones, Massachusetts institute of technology.
- Guymon, G.L., Hromadka, T.V. 1985. Modeling of groundwater response to artificial recharge. Artificial recharge of groundwater Boston Massachusetts, Butterworth Publishers. 129-149.
- Pisinaras, V., Petalas, C., Tsihrintzis, V.A., Zagana, E. 2007. A groundwater flow model for water resources management in the Ismarida Plain, North Greece. Environmental modeling and assessment. 12:75-8

Assessment of Aquifer Performance Affected by Different Climate Scenarios (Case study: Qareso basin)

M. Meftah Halaghi^{1*}, F. Abareschi², Kh. Ghorbani³, A.A. Dehghani⁴

Received: Feb.26, 2018

Accepted: Jul.16, 2018

Abstract

Today, considering the climate change on the planet and its impacts on water resources, management of groundwater aquifers as one of the most important sources of drinking water, agriculture and industry has a special role in water resources studies. Therefore, in order to investigate the effects of climate change on Qareso aquifer located in Golestan province, the GMS7.1 software was used and quantitative simulation of aquifer in two steady and unsteady state was conducted. The results of model validation showed that the predicted and observed water levels had a good agreement and the average of root mean square error was 0.810. After ensuring the accuracy of the model, different scenarios were introduced. Based on the results of the scenarios, it was clear that the implementation of each scenario would cause a drawdown in the aquifer not only in the same month but several months later. For example, due to the large number of wells in the area, an increase in harvesting of 5 or 10 percent will have a major impact on groundwater level drawdown, and this decline is more noticeable in some places. The maximum observed drawdown due to an increase in the harvest was on July and equal to 1.66 meters in very small points of the aquifer, which is related to areas with high concentrations of harvesting wells (central and southern regions of the plain). The urban wastewater disposal has been determined that it leads to different maximum drawdown in different months over time. So, in October, this drawdown will be about 0.43 and in September to 1.99 meters and will result in a volume reduction of 0.6 to 0.7 cubic million meters per month, depending on monthly consumption. The scenario of reducing river discharge showed that the reduction in river discharge in a season will not only affect the season, but also the next season, and the decrease in river discharges in the winter will result in a much lower drawdown compared to the other seasons. So, in January, February and March, the maximum drawdown will be 1.27, 1.74 and 1.67 meters more near the Garmabdasht and Gharn-Abad rivers. An effective rainfall reduction scenario showed that a 20 percent decrease in effective rainfall during the winter season would lead to a further decline in the aquifer in the same and next seasons. This decrease in winter lead to the maximum decrease of 0.2 m in January, 0.97 m in February and 0.4 m in March, more in the southern aquifer and in the area of Shast-Kalateh, Naharkhoran and Pole-Ordougah stations which are in high altitudes.

Key Words: Groundwater table management, Modeling, QarESO watershed, GMS7.1

1- Associate Professor of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural science and Natural Resources
2- M.Sc of Water Resource Engineering, Semnan Regional Water Cooperation
3- Associate Professor of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural science and Natural Resources
4- Associate Professor of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural science and Natural Resources
(*- Corresponding Author Email: meftahhalaghi@gmail.com)