فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی
سال ۸ (۱۳۹۱)، شماره ۳: ۲۶۳-۲۵۵
www.appliedgeology.ir

شبیه‌سازی تاثیر تغذیه مصنوعی آبخوان دشت کلاچوی دهدشت

ناصر عبادتی*[1] و خدارحم شفیعی‌مطلق[2]

۱) استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، drebadati@yahoo.com

۲) مربی گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دهدشت

*) عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ۹۱/۳/۳ ؛ دریافت اصلاح شده: ۹۱/٤/۲۰؛ پذیرش: ۹۱/٤/۲۲؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۱/۱۲/۵

چکیده

در سال های اخیر، برداشت بی رویه از چاه های بهره برداری دشت کلاچوی دهدشت، موجب کاهش کیفیت آب و کاهش سطح آب های زیرزمینی شده است. بر این اساس، ارزیابی هیدروژئولوژیکی و مدیریت آبخوان ضروری به نظر می رسد. در این تحقیق، شناسایی سیستم هیدروژئولوژیکی بهینه کردن ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان، پیش بینی سطح آب در آینده و بررسی اثر طرح های تغذیه مصنوعی، از طریق مدل سازی ریاضی و به کمک نرم‌افزار (VISUAL MODFLOW 2.6) انجام شد. در این پژوهش ارزیابی هیدروژئولوژیکی دشت دهدشت بر اساس نتایج حاصل از آزمون های پمپاژ، لاگ‌ها و مقاطع زمین شناسی هیدروگراف چاه ها، سونداژهای ژئو الکتریکی و بازدیدهای صحرایی انجام شد. رسم شبکه تیسن بر اساس هفت حلقه چاه مشاهده ای و هیدروگراف واحد دشت، نوسانات کم سطح آب در آبان ماه سال ۱۳۸۱ و آمار برداشت از منابع آب زیرزمینی در سال های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۳، نشان داد که این حوضه از نوع پایدار می‌باشد. همچنین با در نظر گرفتن مدل تفهیمی آبخوان و تهیه کلیه فایل های ورودی کالیبراسیون مدل برای شرایط پایدار به منظور بهینه نمودن مقادیر پارامتر نفوذ پذیری و جریان ورودی از مرز ها، با اعمال چاه های تغذیه مجازی انجام گردید. در ادامه، مقادیر پارامتر ضریب ذخیره بهینه و پارامتر نفوذ (بارندگی و آب برگشتی) کالیبره شدند. کالیبراسیون مدل در مدت یکسال و صحت سنجی آن در مدت چهار سال انجام شد. نتایج، بیانگر توانایی مدل در کارهای مدیریتی است. در نهایت، وضعیت آینده آبخوان با در نظر گرفتن گزینه های مختلف شامل افزایش بهره برداری و انجام تغذیه مصنوعی در شمال شرق دشت واقع در تنگ هیگون و تنگ سپو، جهت مدیریت آبخوان پیش بینی گردید. نتایج نشان‌دهنده‌ی تاثیر مثبت تغذیه مصنوعی بر سطح آب زیر زمینی دشت می‌باشد.

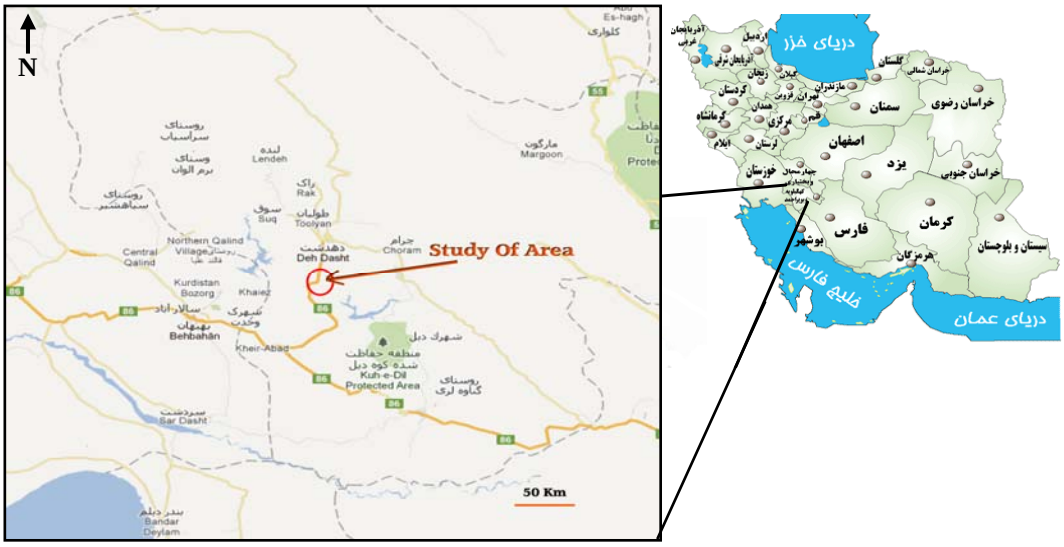
واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، تنگ سپو، تنگ هیگون، چاه‌های مشاهده‌ای.

۱- مقدمه

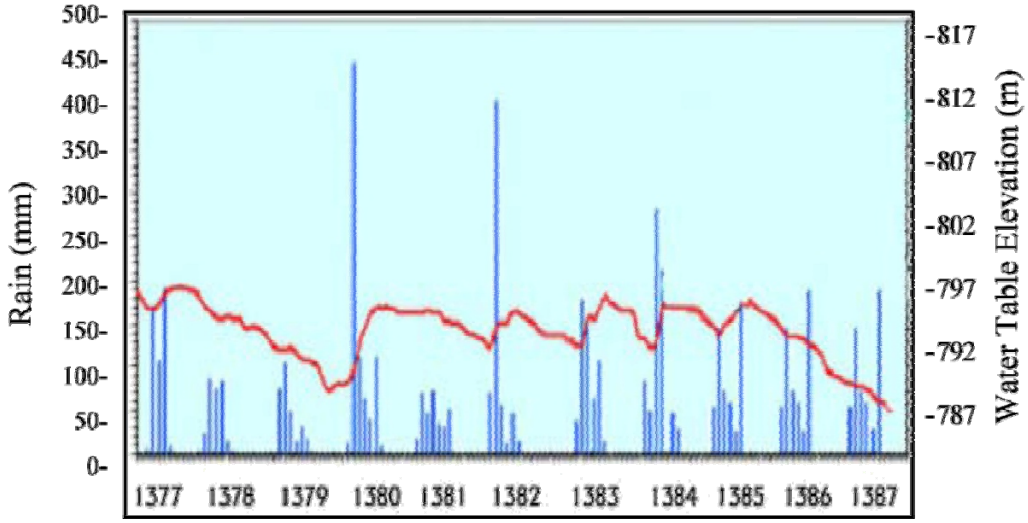
مدل آب زیرزمینی، منطق ریاضی قوانین آبهای زیرزمینی است که به زبان ریاضی، سیستم حاکم بر جریان آب را توصیف نموده و در تعیین رفتار و خصوصیات آب زیرزمینی ما را یاری می‌نماید (علیزاده ۱۳۹۰). با توجه به وضعیت کنونی و محدودیت های موجود، استفاده از مدل های عددی، ابزاری کار آمد و مفید می‌باشند (Spitz & Moreno 1996). در تصویر ۱، موقعیت جغرافیایی دشت کلاچو در جنوب غرب ایران در استان کهگیلویه و بویر احمد نشان داده شده است.

حوضه آبریز کلاچو از نظر اقلیمی بر طبق طبقه بندی دمارتن دارای اقلیم نیمه خشک و بر اساس اقلیم نمای آمبرژه دارای اقلیم بیابانی است (احمدی ۱۳۸٦). با توجه به آمار سی ساله موجود ایستگاه های هواشناسی منطقه متوسط درجه حرارت و بارندگی به ترتیب در حدود

۱۸/۱ سانتیگراد و ۳۹٤ میلیمتر می باشد . نقاط مسکونی این دشت روستاهای ضرغام آباد، دستگرد، طولیان،روستای شهید بهشتی و کوشک برآفتاب می باشد که در نقاط مختلف دشت محدوده مطالعاتی قرار گرفته و ارتباط این روستا ها با شهردهدشت اطراف از طریق نزدیک ترین جاده ها شامل جاده دهدشت، تنگ پیرزال و دهدشت، قلعه رئیسی صورت می گیرد. در این حوضه استحصال بی رویه از آب های زیر زمینی دشت سبب منفی شدن بیلان از سال ۱۳۷۸ و افت پیوسته سطح آب زیر زمینی شده است. این عوامل سبب نامطلوب شدن وضعیت آبخوان دشت از نظر کمی و کیفی گردیده است. در تصویر ۲ هیدروگراف واحد دشت به خوبی افت سطح آب زیرزمینی را نشان می‌دهد.



تصویر ۱- نقشه موقعیت منطقه.



تصویر ۲- هیدروگراف واحد دشت کلاچو سال های ۱۳۸۷-۱۳۷۷.

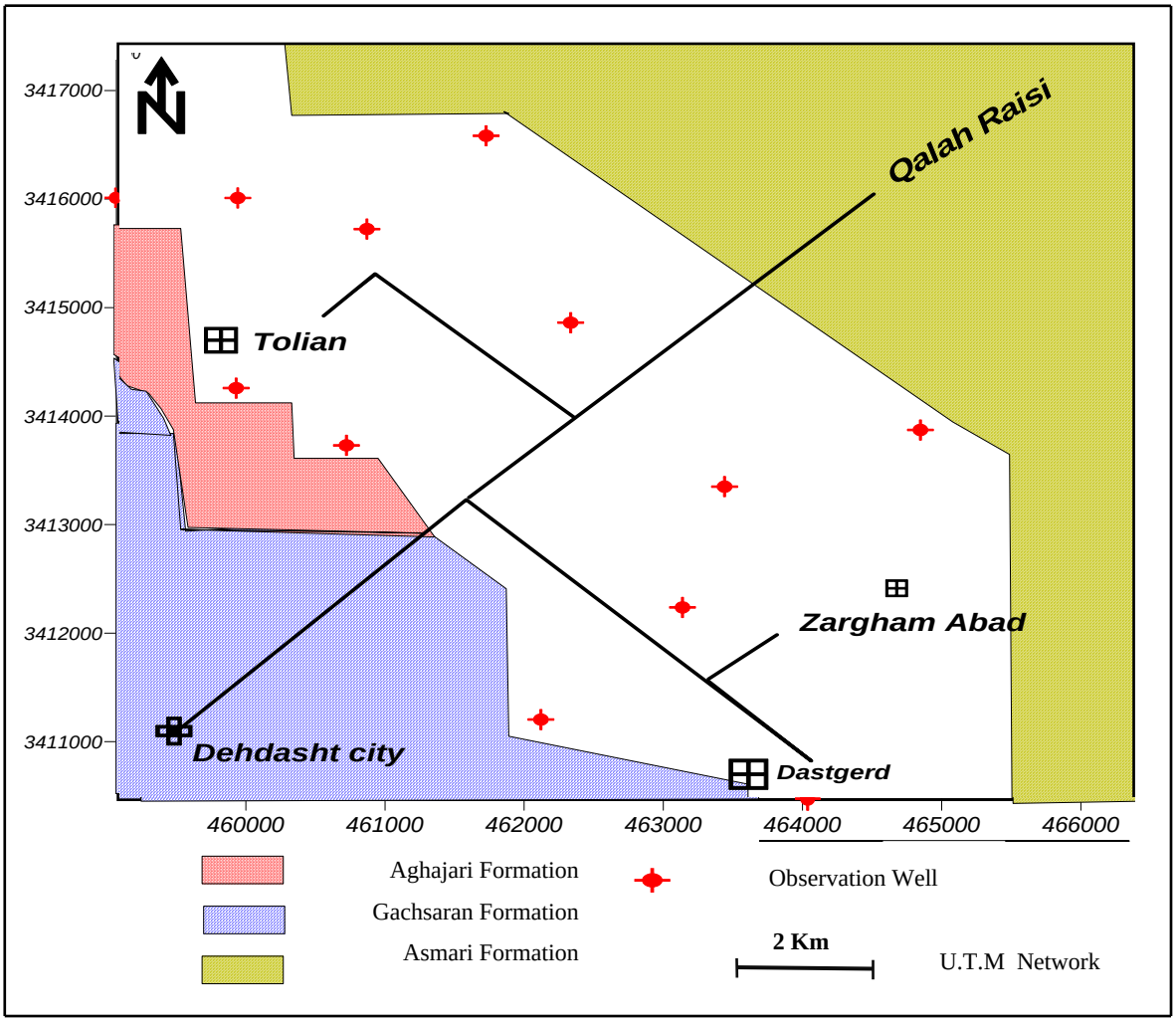
بنابراین، مدیریت و پایش منابع آب در این دشت بسیار ضروری به نظر می‌رسد (سازمان آب منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد ۱۳۸۸). در یک سیستم هیدروژئولیک، بررسی و مدیریت هر فرآیند نیازمند شناخت و تجزیه و تحلیل خود سیستم است. شناسایی و درک تحلیلی آبخوان ها نیز کار بسیار مشکلی است. در این شرایط معمولاً از مدل‌هایی برای شبیه سازی و شناسایی فرآیندهای حاکم بر سیستم استفاده می شود. مدل های ریاضی یا عددی، با حل روابط حاکم بر سیستم هیدرولوژیک، راهبردهای عملی برای مدیریت و بهسازی وضع موجود ارائه می دهند. بنابراین مدل های ریاضی، به عنوان ابزاری برای درک بهتر فرآیندها و پدیده ها در یک سیستم هیدروژئولوژیک قابل

استفاده می باشند (Fetter 1992) . تا کنون مدل ویژه ای جهت شبیه سازی رفتار و خصوصیات آبخوان ها برای شرایط مختلف در ایران ارائه نشده است. بر اساس مطالعات و بررسی ها، مدل (MODFLOW) می تواند به عنوان یک مدل جامع آب زیرزمینی برای شرایط مختلف مورد استفاده قرار گیرد (van Genuchten & Alves 1982). کاظمی گلیان (۱۳۸۱) و اصلانی (۱۳۸۲)، از این مدل برای بررسی آبخوان استفاده نمودند. در این مقاله برای بررسی وضعیت کمی آبخوان دشت کلاچو نیز از مدل (MODFLOW) استفاده شد.

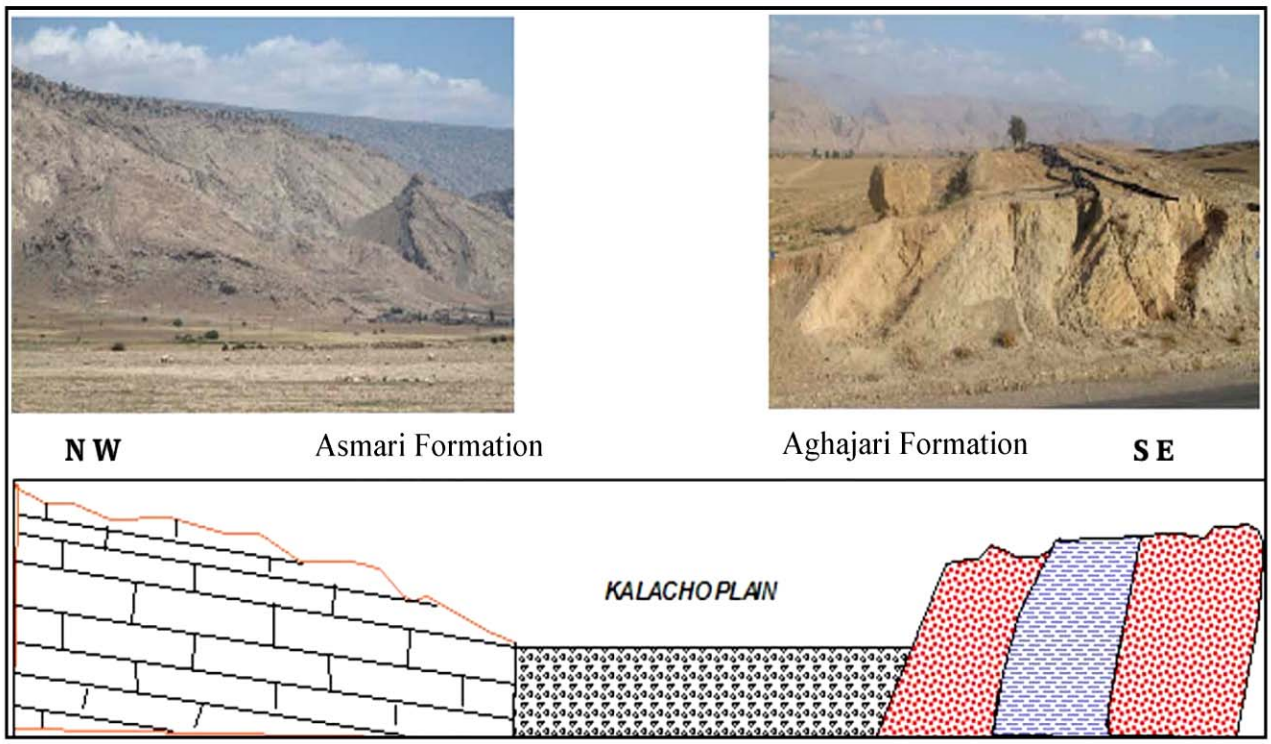
۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

استان کهگیلویه و بویراحمد از نظر زمین شناسی در ناحیه زاگرس مرتفع- چین خورده قرار گرفته است. زاگرس مرتفع از سمت شمال شرقی توسط زون سنندج-سیرجان و از جنوب غربی توسط زون چین خورده زاگرس احاطه شده است. تصویر ۳ نقشه زمین‌شناسی و راه های دسترسی به منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد. تغییرات توپوگرافی منطقه بین حدود ۱۸۵۰ متر در ارتفاعات کوه سیاه در محدوده شمال و شمال غرب دشت تا حدود ۸۶۰ متر در حاشیه روستای دستگرد متغیر است.

بر اساس نقشه زمین‌شناسی دهدشت (تصویر ۳)، سن رخنمون سازندهای آسماری، پابده و گورپی در محدوده مورد مطالعه به خوبی مشخص است روند شمال غرب _ جنوب شرق دشت کلاچو نیز از روند عمومی زاگرس تبعیت می کند. نیروهای تکتونیکی در محدوده سازندهای آسماری و جهرم، موجب چین خوردگی، تشکیل گسل و برگشتگی لایه ها شده است. و سنگ های آهکی و دولومیتی که عمدتاً سازندهای آسماری و جهرم را تشکیل داده اند، توسط سازندهای ناتراوا محصور شده اند و دگرشکلی ها باعث خردشدگی و افزایش تراوایی سنگ‌ها شده اند (بهرامی و رحیمی ۱۳۸۸). پروفیل دشت کلاچو در محور طولیان- تنگ هیگون با طرح قلمی به صورت شماتیک در تصویر ٤ نشان داده شده است.



تصویر ۳- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه- اصلاح شده نقشه زمین‌شناسی دهدشت (Llewellyn & Eivaz 1979).



تصویر٤- نیمرخ شماتیک دشت کلاچو در راستای طولیان - تنگ هیگون.

۳- هیدروژئولوژی منطقه

در دشت کلاچو، جهت جریان و شیب آب زیرزمینی از شیب توپوگرافی تبعیت می‌کند و از غرب و شمال غرب به سمت مرکز و جنوب شرق دشت جریان دارد. منحنی های تراز آب زیرزمینی در این دشت، مقادیر ۸۸۸/۵ متر تا ۸۵۸ متر را نشان می‌دهند. منحنی ۸۵۸ متر در نوار شمال غربی دشت قرار دارد و نشان دهنده بالاترین تراز آب زیرزمینی آبخوان می باشد. منحنی ۸۵۸ که پایین‌ترین تراز را نشان می‌دهد، در مقطع خروجی و جنوب شرق دشت قرار گرفته است. جهت جریان آب زیرزمینی با توجه به تصویر ۳، از شمال و شمال غرب به سمت جنوب و جنوب شرق و خروجی دشت می‌باشد.

میزان گرادیان هیدرولیکی نیز در نواحی شمال و شرق دشت که جبهه ورودی آب زیرزمینی و محل تغذیه آبخوان است، حداکثر حدود ٤ در هزار می‌باشد. به تدریج به سمت مرکز وخروجی دشت در ناحیه جنوب و جنوب شرق از شدت آن کاسته شده و به حدود ۳ در هزار می رسد.

متوسط شیب آب زیرزمینی نیز در این دشت حدود ۳/۵ در هزار محاسبه گردید. تصویر ۵، نقشه تراز آب زیرزمینی را براساس آمار برداشت در آبان ماه سال ۱۳۸۱ نشان می‌دهد (آبان، اولین ماه شبیه‌سازی رفتار آبخوان (حالت غیر ماندگار) در این بررسی بوده است).

۴- روش تحقیق

در مدیریت سیستم آب های زیر زمینی، تصمیم‌گیری‌ها با توجه به کیفیت و کمیت آب انجام می‌شود. یکی از روش های رایج و مفید در حل مسائل مربوط به آب های زیرزمینی، ساخت مدل سیستم جریان آب زیرزمینی می باشد. مدل، ابزاری طراحی شده برای ارائه نسخه ای ساده شده از واقعیت یک پدیده یا سیستم است. با استفاده از این مدل می‌توان بهترین عملکرد و مناسب‌ترین راه کارهای مدیریتی را تعیین نمود (Wang & Anderson 1982). در این تحقیق از نرم افزار «پروتکل مدلسازی» ارائه شده توسط آندرسن و وایزنر (Anderson & Woesner 1992)، جهت ایجاد مدل ریاضی آبخوان دشت کلاچو استفاده شد. روش به کار گرفته مطابق معمول تعریف طرح و اهداف جمع آوری اطلاعات وآمار، برپاسازی و اجرای مدل کالیبراسیون، صحت سنجی و پیش بینی منطبق با انتخاب و اجرا می باشد (Maidment 1993)، که اولین بار توسط مدونالد و هاربوق (McDonald & Harbugh 1988)، منتشر شد.

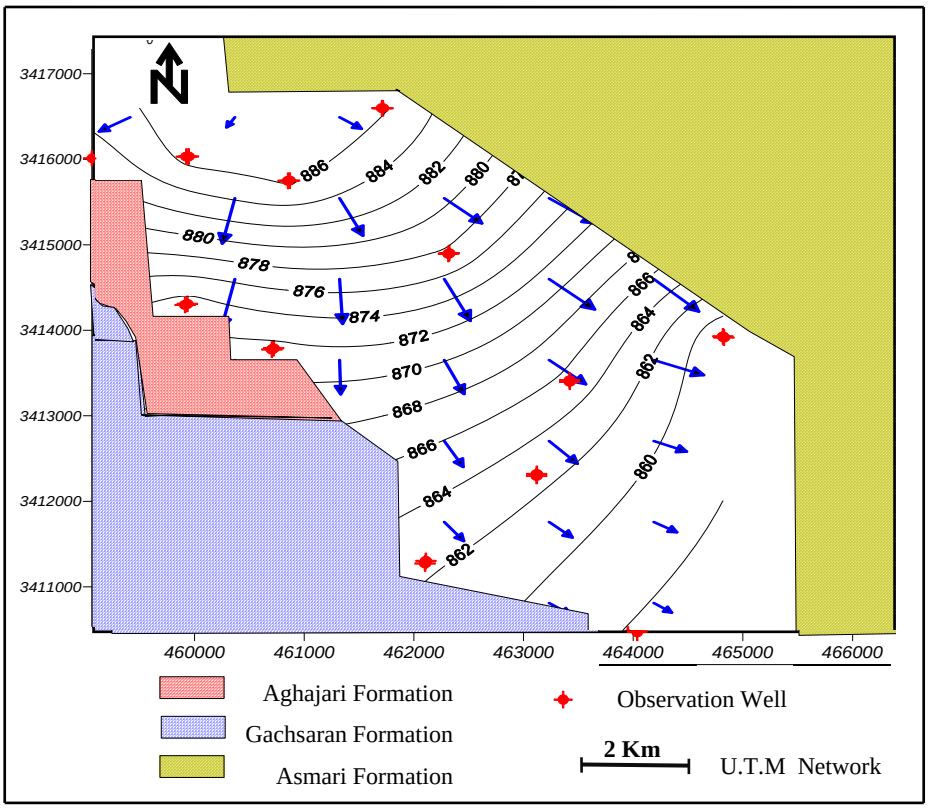
در این تحقیق، از برنامه (Visual. Modflow V.2.6) که در سال ۱۹۹۷ توسط گایگر و فرانز (Guigure & Fraunz 1997) منتشر گردید، استفاده شد. در این برنامه، ورودی و خروجی به صورت گرافیکی و با رنگ‌های مختلف مشخص می‌شوند. از قابلیت‌های این برنامه می‌توان به شبیه‌سازی جریان آبخوان ها در حالت سه بعدی برای

۶۰ لایه (در هر لایه ۲۵۰×۲۵۰ بلوک و برای n پریود زمانی) و همچنین شبیه‌سازی انتقال محلول توسط برنامه MT3D و مسیریابی جریان توسط برنامه Modpat اشاره نمود.

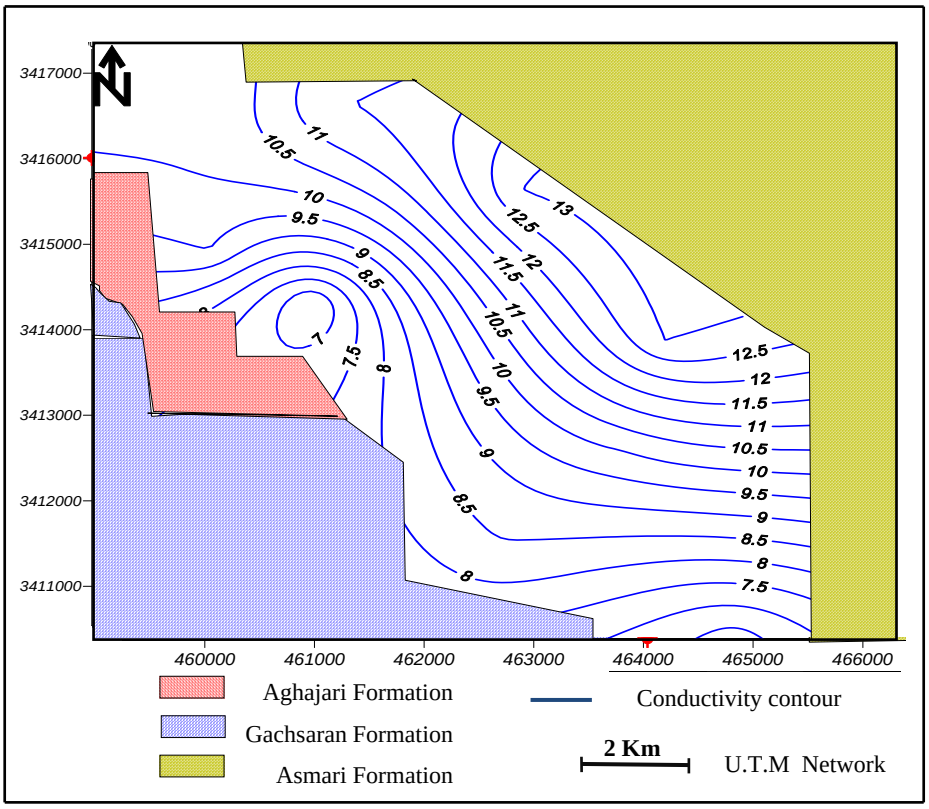
۵- شبکه بندی و شرایط مرزی

برای حل معادلات دیفرانسیل جزئی محیط باید به اجزای کوچکتری که در اصطلاح «سلول» نامیده می‌شود، تقسیم‌بندی شود. بر اساس آمار و اطلاعات موجود، ابعاد سلول‌ها در مدلسازی آب های زیر زمینی ۲۰۰ متر تا ۲ کیلومتر در نظر گرفته می‌شود (Guigure & Fraunz 1997). در این پژوهش به علت کمبود داده های دشت، تعداد سلول ها کمتر در نظر گرفته شد. همچنین با توجه به وضعیت زمین‌شناسی، توپوگرافی، نقشه های هم پتانسیل و منابع آب، برای مدلسازی دشت کلاچو از سلول های با ابعاد ۲۰۰ در ۲۰۰ (شامل ۵۰ ستون و ۷۶ ردیف تقسیم بندی شده اند) استفاده گردید (تصویر ۶). شرایط مرزی باید به گونه ای طراحی شوند که نشان‌دهنده‌ی مرزهای هیدرولیکی و فیزیکی باشند. مرزهای فیزیکی معمولاً مربوط به وجود یک سازند زمین‌شناسی یا آب سطحی قسمت های آبدار می‌باشند. مرز نفوذناپذیر، مرزهای جانبی یا پایینی سیستم هایی را که باید مدل شوند، شکل داده و توجیه کننده هدایت هیدرولیکی بین دو واحد است (Anderson & Woesner 1992). در دشت کلاچو، قسمت شمال غرب و شمال جبهه ورودی آب زیر زمینی و حدود جنوب و جنوب شرقی دشت، جبهه خروجی آب زیرزمینی است. بنابراین مناطق (مرزهای ورودی و خروجی) به صورت مرز با بار مشخص (Groundwater Head Boundary, GHB) به مدل داده شده است. دیگر قسمت های محدوده شبکه بندی شده جریانی به دشت وارد نمی‌شوند، یعنی تقریباً به موازات خطوط جریان قرار می گیرند و به صورت مرز بدون جریان (no flow) به مدل داده شده است. پس از بررسی های هیدروژئولوژیکی و با توجه به مقاطع زمین‌شناسی و لاگ زمین‌شناسی چاه های مشاهده ای و اکتشافی و نتایج آزمون های پمپاژ، مدل مفهومی تهیه گردید.

با توجه به شبکه تیسن و هیدروگراف واحد دشت، بر اساس ۱۲ حلقه چاه مشاهده ای و وجود نوسانات کم سطح آب زیر زمینی، آبخوان از نوع پایدار می‌باشد. خصوصیات و تغییرات سنگ شناسی سازندهای آسماری و گچساران و نفوذ پذیری در میان لایه های ریز دانه و پدیده کارست، عوامل تأثیر گذار در شدت جریان آب زیرزمینی در این سازندها می‌باشند (Hakimi et al. 2010). بنابراین، با توجه به تأثیر این عوامل در مرزبندی دقیق، باید در مدلسازی مورد توجه قرار گیرند.



تصویر ۵- نقشه وضعیت سطح ایستابی و جهت جریان آب زیرزمینی دشت کلاچو.



تصویر ٦- نقشه هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت کلاچو بعد از اتمام واسنجی مدل (متر در روز).

۶- برسنجه نمودن

برسنجی، عبارت است از فرآیند پیدا کردن مجموعه‌ای از شرایط مرزی، تنش ها و پارامترهای هیدروژئولوژیک که نتایج آن با نتایج حاصل از اندازه گیری های هیدرولیکی و جریان های صحرایی هم‌خوانی و برازش دارند. برسنجی به دو روش سعی و خطا (Manual trial and error) و برسنجی خودکار (Automatic calibration) انجام می‌شود (کلانتری ۱۳۸۷).

کالیبراسیون این مدل برای جریان پایدار، به صورت آزمون و خطا انجام شد. در این مرحله، جهت کالیبراسیون و تطابق نتایج با مطالعات مشاهده ای، مقادیر هدایت هیدرولیکی، منطقه بندی و در نهایت توزیع مکانی تخلیه و تغذیه تغییر داده شد. پس از تطبیق خطوط پتانسیل شبیه سازی شده با مطالعات مشاهده ای، کالیبراسیون به پایان رسیده و نتایج آن برای جریان ناپایدار مورد استفاده قرار گرفت. کالیبراسیون دوره ناپایدار بلافاصله بعد از دوره پایدار انجام شد.

در این مرحله، ۱۲ دوره تنش در سال های ۱۳۸۲-۱۳۸۱ انتخاب گردید. در ادامه، با تغییر اندک مقادیر هدایت هیدرولیکی تغییر آبدهی ویژه و تغییر توزیع زمانی و مکانی تخلیه و تغذیه، نتایج حاصل از محاسبات و مشاهدات با هم انطباق داده شد که نتیجه آن نیز قابل قبول بود (تصویر ۷).

در این دشت، مدل شبیه سازی با کمترین میزان خطا (Root Mean Squared Error)، برابر ۰/۲٦ درصد تهیه شد (تصویر ۸).

۷- صحت سنجی

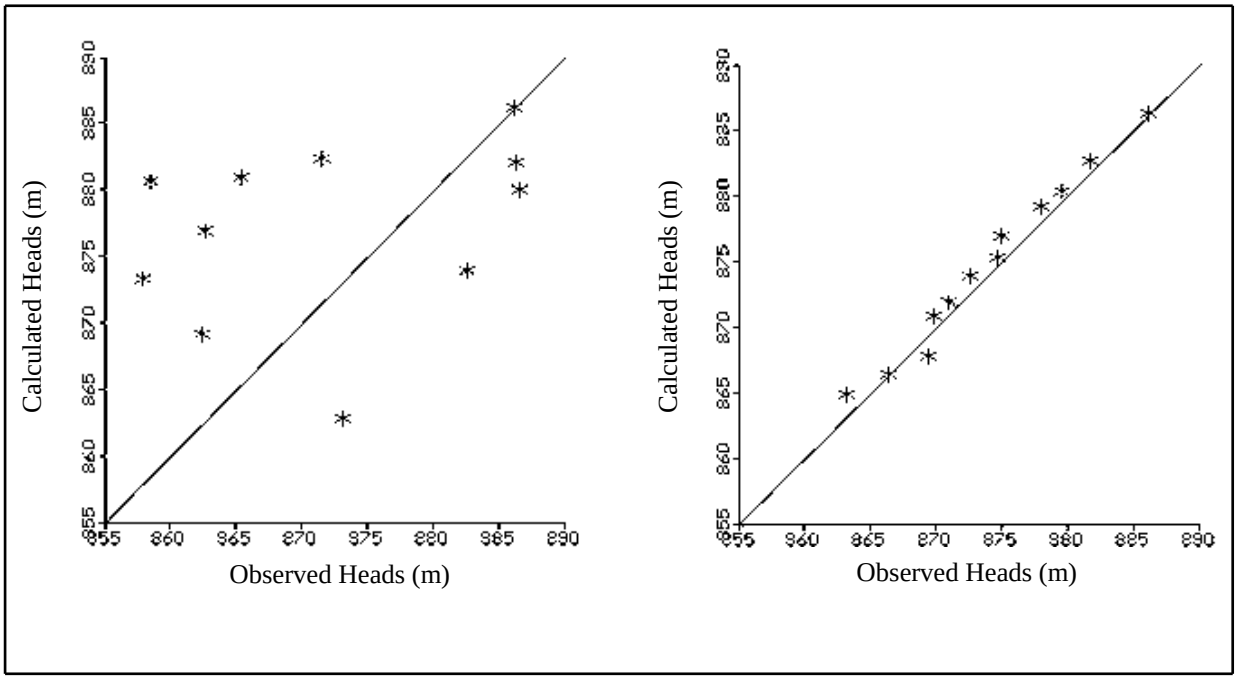
در این پژوهش، مدل آبخوان دشت کلاچو برای یک دوره چهارساله مورد صحت سنجی قرار گرفت (تصویر ۹).

۸- پیش بینی و اثر تغذیه مصنوعی

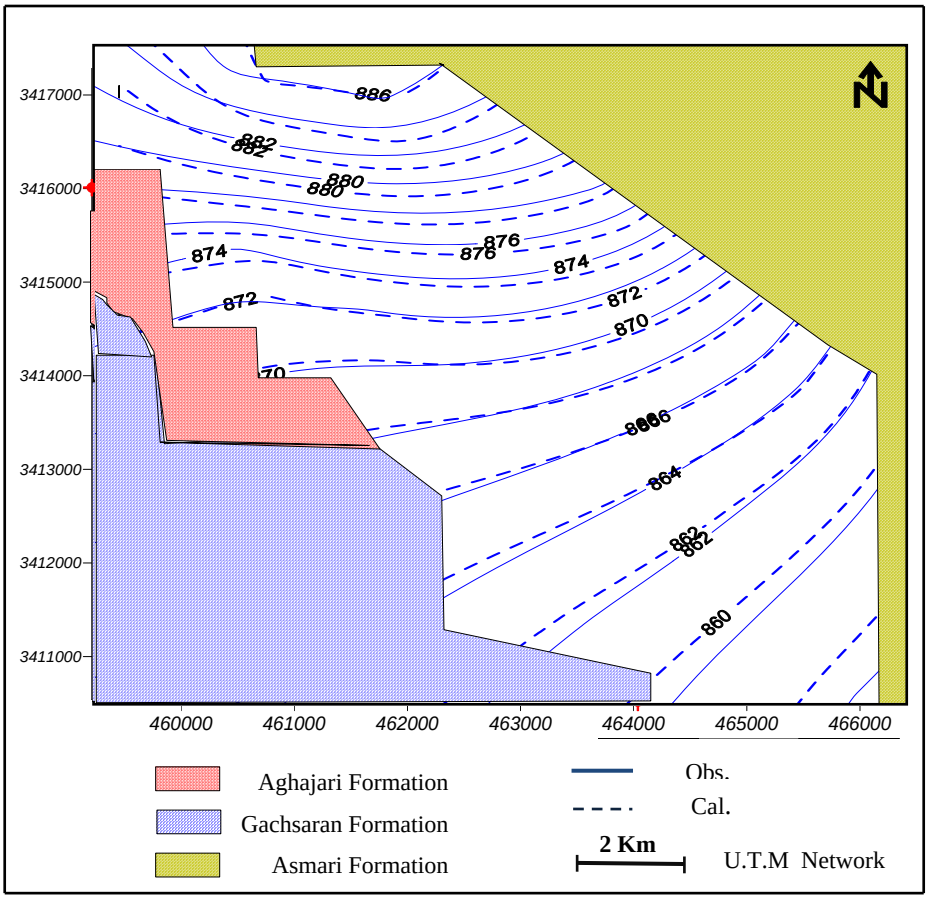
پیش بینی وضعیت یک آبخوان، مستلزم تخمین صحیح استرس هایی است که در آینده بر سفره اعمال می‌شود. خطای مدل ها در پیش بینی آینده، اغلب به دلیل به کار بردن مدل مفهومی (conceptual model) نامناسب و یا خطا در تخمین استرس‌هایی است که در آینده به سفره تحمیل می‌شود (Guigure & Fraunz 1997).

هدف از تهیه مدل ریاضی، بررسی وضعیت آینده آبخوان می باشد. پیش بینی وضعیت آبخوان بستگی به شرایط هیدرولوژیک و میزان تخلیه دارد (بنابراین می توان گزینه های مختلفی را در نظر گرفت). در این پژوهش، از مدل کالیبره شده برای دوره های برداشت کنونی و افزایش برداشت در آینده و همچنین شرایط تغذیه مصنوعی تنگ‌هیگون و تنگ‌سپو (در شمال دشت) استفاده شد. تصویر ۱۰، نتایج

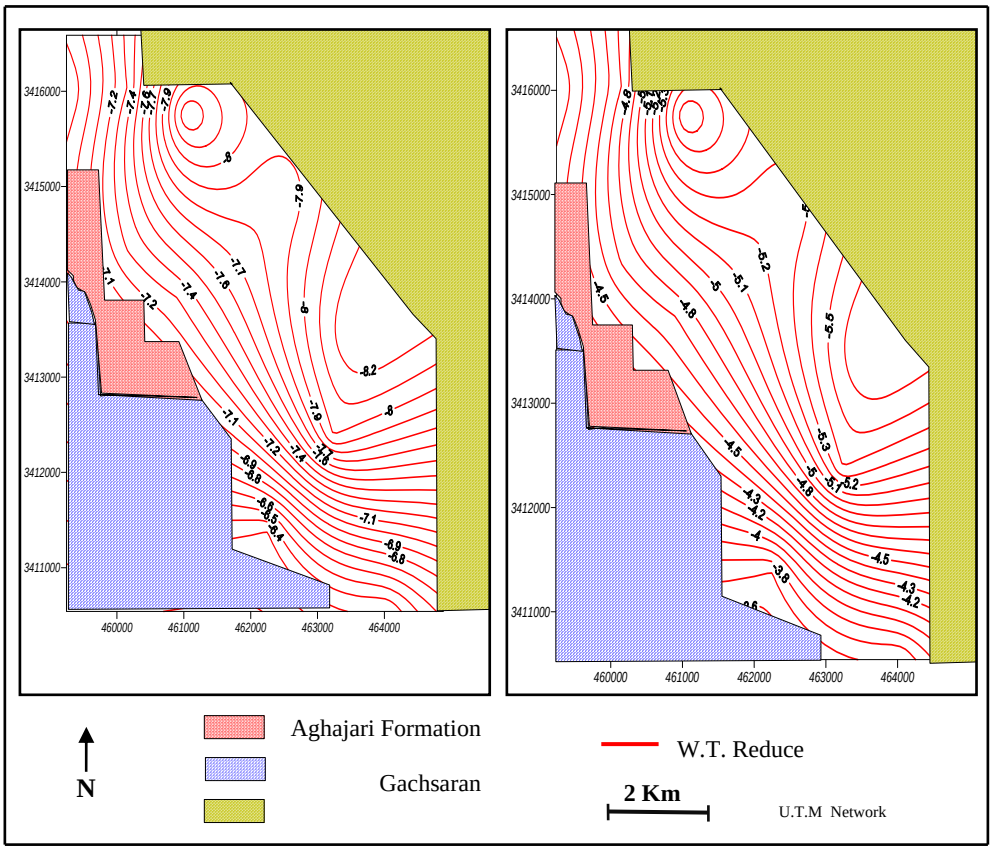
منفی در پیش بینی ۵ تا ۱۰ سال آینده را با روند کنونی و همچنین نتایج مثبت تغذیه مصنوعی را بخوبی نشان می‌دهند.



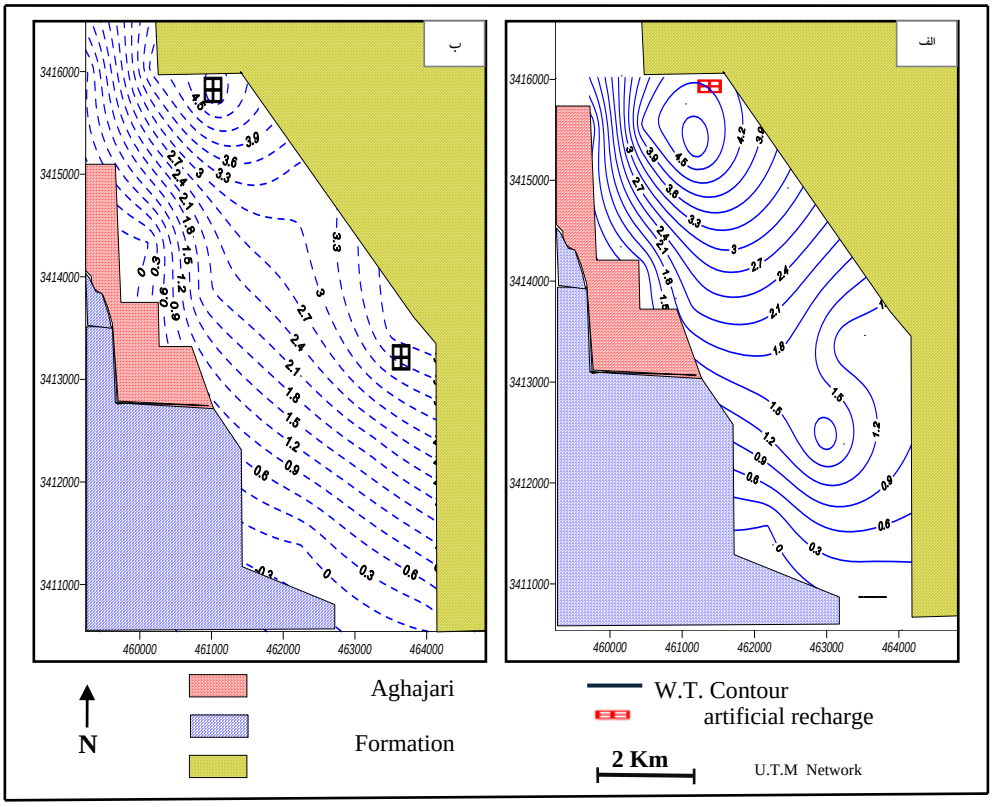
تصویر ۷- نمودار مقایسه سطح آب مشاهده‌ای و محاسباتی پیزومترها.



تصویر ۸ – مقایسه سطح آب مشاهداتی و محاسباتی پریود اول در صحت سنجی مدل.



تصویر ۹- پیش بینی مدل برای ۵ سال (سمت راست) و ۱۰ سال (سمت چپ) با روند کنونی.



تصویر ۱۰- (الف) پیش بینی مدل برای ۵ سال و (ب) ۱۰ با اعمال تغذیه مصنوعی تنگ هیگون و تنگ سپو.

۹- نتیجه گیری

سفره آب زیر زمینی دشت کلاچو در حال حاضر از نظر کمی و کیفی در اکثر نواحی با مشکل روبرو است. برداشت بی رویه، موجب کاهش ذخیره و شوری بیش از حد آبخوان خواهد شد. ادامه این روند، صدمات جبرا ن ناپذیری را به آبخوان دشت وارد خواهد کرد. بر اساس نتایج حاصل از مدل ریاضی دشت کلاچو، لازم است مدیریت و برنامه ریزی در جهت بهبود وضعیت کمّی و کیفی سفره آب زیر زمینی انجام شود.

بنابراین، پیشنهاد می‌شود که بهره‌برداری از این دشت همچنان ممنوعه باقی بماند. چاه های غیر مجاز نیز باید شناسایی و تعطیل گردیده و بهره برداری از آنها به طور دقیق کنترل گردد. همچنین، مطالعه و انجام تغذیه مصنوعی در مکان بهینه دشت با استفاده از مهار آب های سطحی لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

تشکر و قدردانی

در پایان نویسندگان مقاله از مدیریت پژوهش شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب به جهت تأمین اطلاعات مورد نیاز این مقاله تشکر و قدردانی می‌نمایند. هم‌چنین از زحمات خانم‌ها بهاره الهی (بخش‌های واحدهای جریان هیدرولیکی) و سمیه قنادزاده (بخش شبکه‌ی عصبی) تقدیر و تشکر می‌گردد.

مراجع

اصلانی، ح.، ۱۳۸۲، "کاربرد مدل ریاضی آب‌های زیرزمینی در مدیریت آب‌های دشت لادیز"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ٦٥ ص.*

احمدی، ص.، ۱۳۸٦، "شبیه‌سازی رفتار سفره آب زیرزمینی دشت امامزاده جعفر"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد، آب‌شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۲۲ ص.*

بهرامی، م. و رحیمی، ع.، ۱۳۸۸، "محاسبه میزان انتقال بار کل رسوب رودخانه قره آغاج در مقطع کوار با استفاده از روش‌های هیدرولیک رسوب"، *فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان ، سال ۵ (۳): ۲۲۹-۲۲۰.*

علیزاده ، ا.، ۱۳۹۰، "اصول هیدرولوژی کاربردی"، *انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا، ۹۱۲ ص.*

کاظمی گلیان، ر.، ۱۳۸۱، "ارزیابی هیدروژئولوژیکی و مدیریت آبخوان شیروان- قوچان با استفاده از مدل عددی Modflow_2000"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد، آبشناسی، دانشگاه شیراز، ۳٦۰ ص.*

کلانتری، ن.، ۱۳۸۷، "بکارگیری روش‌های برسنجی در شبیه‌سازی هیدرولیک جریان آب"، *فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، سال ٤ (۱): ۳٦۹-۳٦۱.*

سازمان آب منطقه‌ای کهگیلویه و بویراحمد، ۱۳۸۸، "گزارش مطالعات دشت کلاچوی دهدشت"، *۱٦٥ ص.*

Anderson, M. P. & Woessner, W. W., 1992, "Applied ground water modeling simulation of flow and advective transport", *San Diego, CA: Academic Press, 381 pp.*

Fetter, C. W., 1992,"Applied hydrogeology", *3th edition, Macmillian College, New York, 691 pp.*

Guigure, N. & Franz, T., 1997, "User manual for visual Modflow: The fully integrated T three dimensional graphical modeling environments for professional ground water flow and contaminant transport modeling", *U.S. Geological Survey, 54 pp.*

Hakimi, F., Ahmadi-Khalaji, A., Dolatsha, T., Mollaei, H. & Shahrokhi, V., 2010, "Investigation of geology condition and hydrogeology Kuhdasht area, Lorestan province, Iran", *The 1st International Applied Geological Congress, Department of Geology, Mashad Branch Islamic Azad University, Iran, 26-28 April: 390-394.*

Llewellyn, M. & Eivaz, J., 1979, "Abrasive dusts as a mechanism for aphid control", *Entomologia Experimentalis et Applicata, Vol. 26 (2): 219–222,*

McDonald, M. G. & Harbaugh, A. W., 1988, "A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model", *Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey, Series Number: 6 (A1), 586 pp.*

Maidment, D., 1993, "Handbook of Hydrology", *McGraw-Hill Professional, 1th edition, 1024 pp.*

Spitz, K. & Moreno, J., 1996, "A partial guide to groundwater and solute transport modeling", *Wily New York, 461 pp.*

Wang, H. F. & Anderson, M. P., 1982, "Introduction to groundwater modeling-Finite difference and finite element methods", *San Francisco, W. H. Freeman, 237 pp.*

van Genuchten, M. T. & Alves, W. J., 1982, "Analytical solutions of the one-dimensional convective-dispersive solute transport equation", *US Department of Agriculture, Technical Bulletin No. 1661, Washington, DC, USA, 151 pp.*