4th National Conference of
Water Crisis in Iran and the Middle East
WATERCONF www.WaterConf.ir

چهارمین همایش ملی
راهکارهای پیش‌روی
بحران آب
در ایران و
خاورمیانه

بررسی بیلان آب زیرزمینی با استفاده از مدل عددی MODFLOW

(مطالعه موردی دشت چنانه)

فاطمه فیاضی ، دکتر منوچهر چیت‌سازان ، دکتر سید یحیی میرزایی ارجنکی

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی گرایش هیدروژئولوژی ، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز

2-استادیار و عضو هیئت علمی گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز

3-استاد و عضو هیئت علمی گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده

مدیریت منابع آب در همه نقاط دنیا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است اما درمناطق خشک ونیمه‌خشک مانند ایران به دلیل شرایط اقلیمی و موقعیت جغرافیایی امری ضروری است. در این میان اطلاع از وضعیت بیلان آبی دشت ها برای اتخاذ روش‌های مدیریتی مناسب منطقه می‌تواند کمک کننده باشد.از این رو در این پژوهش به بررسی بیلان آب زیرزمینی دشت چنانه که واقع در استان خوزستان، شهرستان شوش و زیر مجموعه‌ی دشت های پای پل است می‌پردازیم.به این منظور ابتدا به تهیه مدل سازی عددی آب زیرزمینی با استفاده از مدل مادفلو تحت نرم افزار GMS اقدام گردید، و بیلان مدل استخراج شد. در مرحله بعد برای صحت‌سنجی بیلان محاسباتی مدل با استفاده ازنقشه مرز محدوده مورد مطالعه و داده‌های چاه‌های مشاهده‌ای منطقه هیدروگراف واحد برای دوره‌ی پنج ساله از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ تهیه شد. و بیلان آن با بیلان مدل مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیلان مدل مثبت و حاکی از بیشتر بودن جریان ورودی نسبت به خروجی است.همچنین روند صعودی هیدروگراف واحد و نزدیک بودن بیلان آن با بیلان مدل صحت مدل راتایید می‌کند. ادامه روند صعودی بیلان باعث ایجاد مناطق تبخیری و به خطر انداختن کشاورزی منطقه می‌شود از این رو مدیریت منابع آب این دشت امری ضروری است.

واژگان کلیدی: بیلان آب زیرزمینی، دشت چنانه، مدل مادفلو،GMS

۱-مقدمه

دانش کافی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در یک منطقه در مدیریت بهینه‌ی منابع آب ضروری است. و به کارشناسان و مهندسان منابع آب در جهت افزایش بهره‌وری کمک می‌کند. بیلان آب زیرزمینی از جمله پارامترهای موثر و اساسی است که برای مدیریت منابع آب باید به آن توجه شود.مدل‌سازی عددی آب زیرزمینی می‌تواند به عنوان ابزاری مهم برای شبیه‌سازی آبخوان و محاسبه بیلان آب زیرزمینی استفاده شود.

MODFLOW مدل مدولار جریان تفاضل محدود سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده است که یک کد کامپیوتری است که معادله جریان آب زیرزمینی را حل می‌کند. این برنامه توسط هیدروژئولوژیست ها برای شبیه‌سازی جریان آب‌های زیرزمینی در آبخوان استفاده می‌شود. کد منبع یک نرم‌افزار دامنه عمومی رایگان است،که عمدتاً در فرترن نوشته شده است و می‌تواند روی سیستم عامل‌های مایکروسافت ویندوز یا یونیکس کامپایل و اجرا شود.

در این تحقیق از نرم‌افزار Groundwater Modelling System (GMS) استفاده شده است. GMS نرم‌افزاری است که از MODFLOW به عنوان یک پیش و پس پردازشگر پشتیبانی می‌کند. داده‌های ورودی برای MODFLOW توسط GMS تولید شده و در مجموعه‌ای از فایل‌ها ذخیره می‌شود. هنگامی که MODFLOW از منوی MODFLOW راه اندازی می‌شود، این فایل‌ها توسط MODFLOW خوانده می‌شوند. سپس خروجی MODFLOW برای پردازش پس از آن به GMS وارد می‌شود.GMS مدل ریاضی است که ترکیبی از مدل آب زیرزمینی MODFLOW و GIS است، با استفاده از روش عددی تفاضل محدود، تراز آب زیرزمینی را شبیه‌سازی می‌کند.

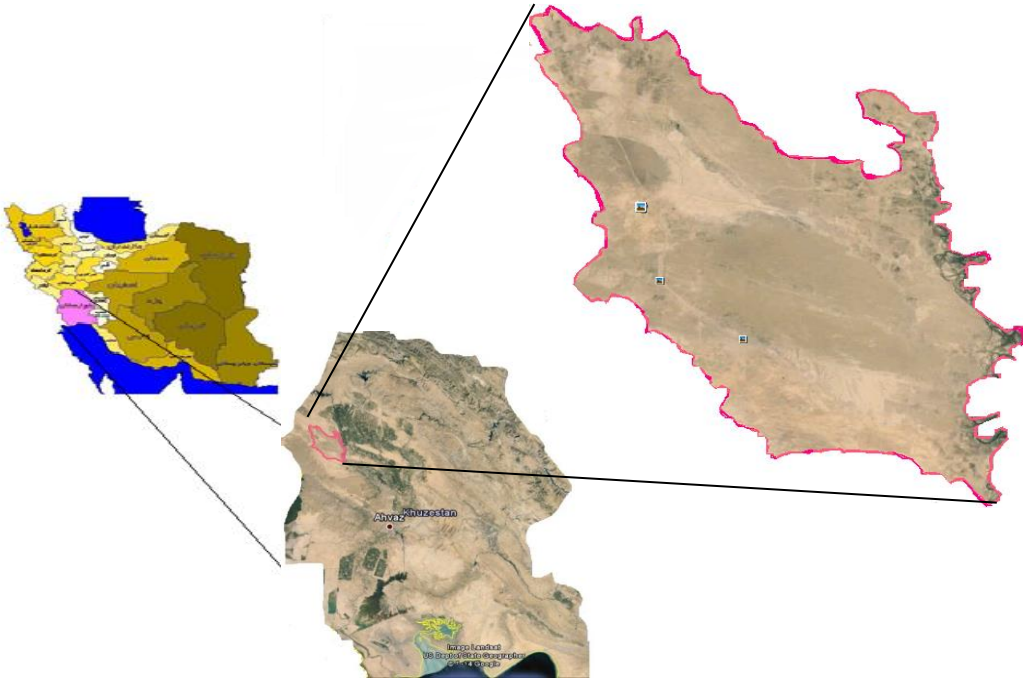
۲-روش پژوهش

۱- برای انجام این تحقیق اطلاعات مورد نیاز شامل موقعیت مرز آبخوان، تراز ارتفاعی سطح زمین، تراز سنگ‌کف، موقعیت و میزان برداشت از چاه‌های بهره‌برداری، موقعیت و تراز سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای، لایه هدایت هیدرولیکی و تغذیه هستند. پس از آماده‌سازی داده‌ها به تهیه مدل سازی عددی آب زیرزمینی اقدام شد در این راستا از مدل مادفلو تحت نرم‌افزار GMS استفاده شد بدین ترتیب مدل ماندگار به‌منظور کم کردن مجهولات معادله حاکم بر سیستم جریان آب‌زیرزمینی و استفاده از نتایج آن در تهیه مدل ناپایدار شبیه‌سازی شد وپس از واسنجی مدل در حالت ماندگار، مدل یک ساله (مرداد ماه ۹۴ تا تیر ۹۵) در حالت نامانداگار ساخته و اجرا گردید.و بیلان مدل استخراج شد.

۲- در مرحله بعد برای صحت‌سنجی بیلان محاسباتی مدل با استفاده ازنقشه مرز محدوده مورد مطالعه و داده های چاه‌های مشاهده‌ای منطقه هیدروگراف واحد برای دوره‌ی پنج ساله از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ تهیه شد.هدف از ترسیم هیدروگراف واحد آبخوان نشان دادن تغییرات سطح آب در طول یک دوره‌ی زمانی مشخص می‌باشد و از آن جهت تفسیر تغییرات کمّی آبخوان استفاده می شود. و بیلان آن با بیلان مدل مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

۳-موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

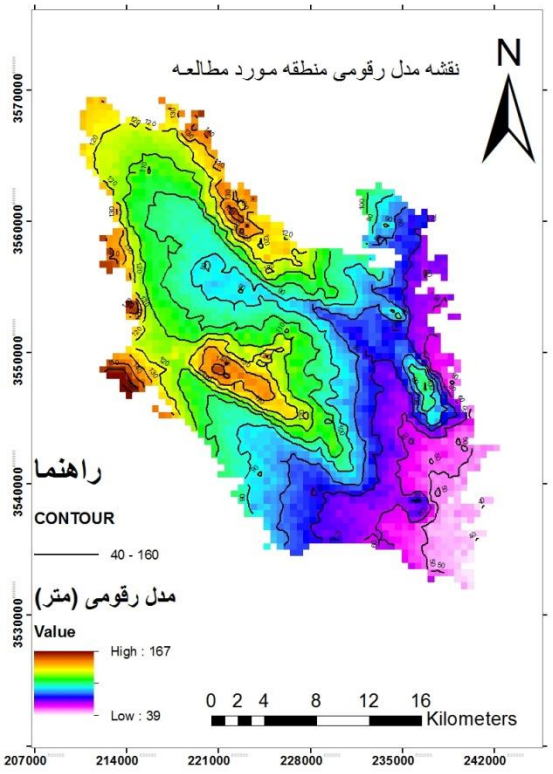
دشت چنانه زیر مجموعه‌ی دشت‌های پای پل می‌باشد که در غرب شهرستان شوش در استان خوزستان در ساحل راست رودخانه‌ی کرخه واقع شده است.این دشت دارای وسعت حدود ۶۳۴ کیلومتر مربع است و در بین طول‌های ۴۷/۹۲ و ۴۸/۲۷ درجه‌ی شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۱/۸۸ و ۳۲/۲۲ درجه‌ی شمالی قرار دارد.



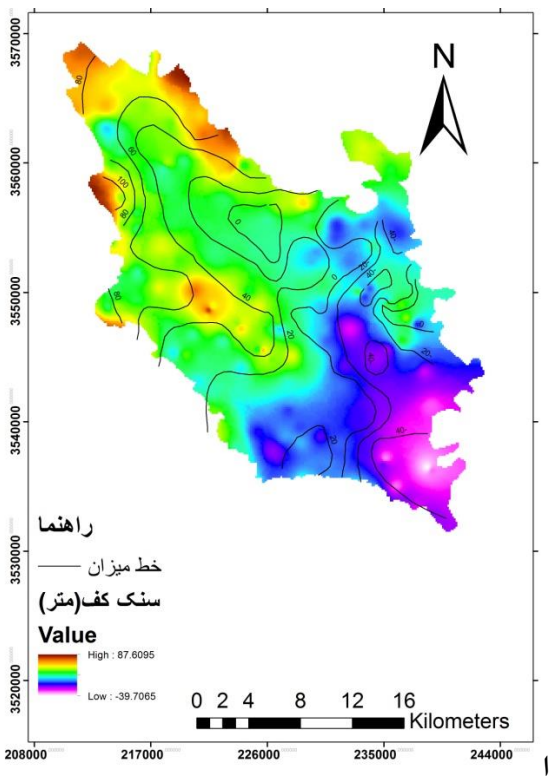
شکل۱- موقعیت جغرافیایی منطقه

۴- تهیه مدل عددی منطقه مورد مطالعه

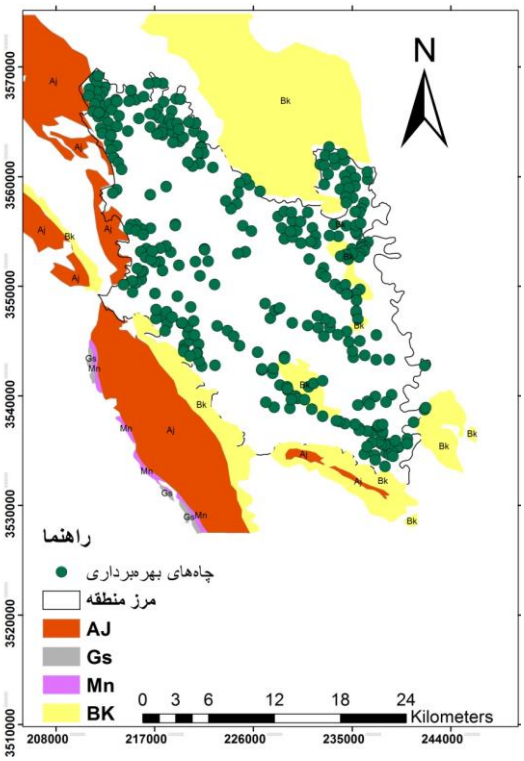
در این مطالعه ابتدا اطلاعات هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی و زمین‌شناسی منطقه شامل نقشه زمین‌شناسی نقشه توپوگرافی موقعیت چاه‌های منطقه و لاگ آن‌ها میزان بارندگی اطلاعات و آمار چاه‌های مشاهده‌ای و بهره‌برداری جمع‌آوری شدند.و نسبت به تهیه مدل مفهومی که یکی از مراحل مهم برای شبیه‌سازی عددی است اقدام گردید. مدل مفهومی در واقع توصیف ساده‌ای از سیستم آب زیرزمینی منطقه می‌باشد.هر چقدر مدل تفهیمی بتواند بهتر وضعیت آبخوان را پیش‌بینی کند، تهیه بیلان و مدل عددی آسانتر خواهد شد. سپس اطلاعات و داده‌های مورد نیاز به صورت بسته یا به صورت نقطه‌ای در ماژول2D point Scatter به مدل داده شد. این داده‌ها شامل: وارد کردن توپوگرافی سطحی و سنگ‌کف آبخوان بار هیدرولیکی اولیه، بسته چاه‌های مشاهده‌ای، بسته چاه‌های بهره‌برداری، تغذیه ناشی از بارندگی وآب برگشتی شبکه آبیاری و زهکشی و بسته رودخانه می‌باشد.

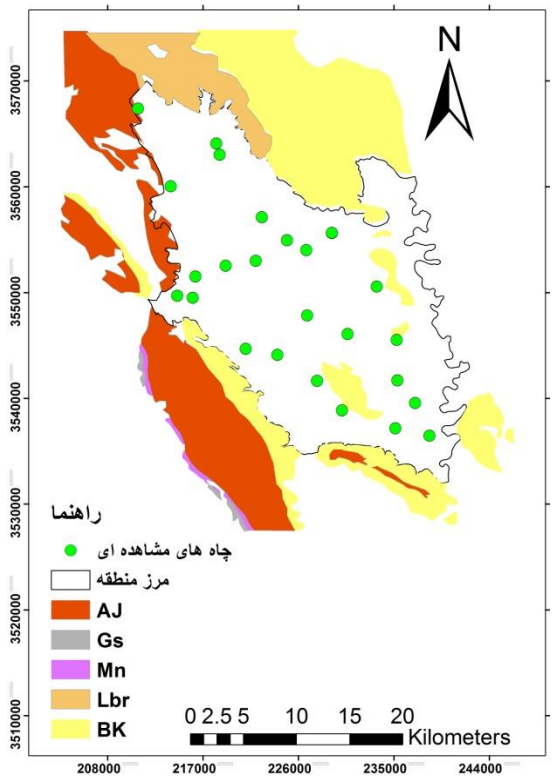


شکل ۲- مدل رقومی ارتفاعی منطقه



شکل۳- نقشه توپوگرافی سنککف منطقه مورد مطالعه





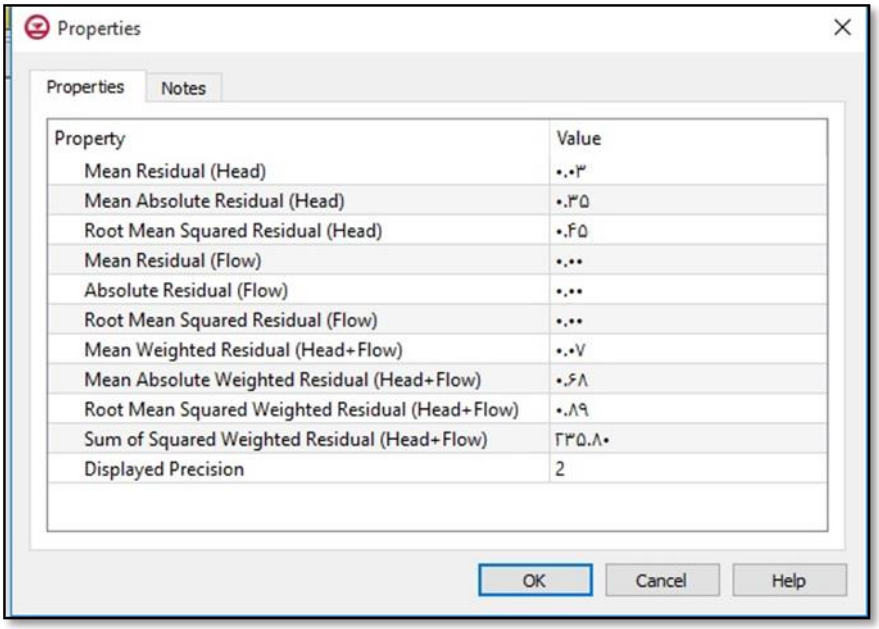
شکل ۴-موقعیت چاه‌های بهره‌برداری منطقه مورد مطالعه شکل ۵- موقعیت پیزومترهای منطقه‌ی مورد مطالعه

۴-۱-اجرای مدل[۱]

پس از ساخت واعمال تمام اطلاعات و پارامترهای مورد به مدل، مدل اجرا شد. یقینا اولین نتیجه‌ی به دست آمده بعد از اجرای مدل،با مقادیر اولیه پارامترها به صورت برازش قابل قبولی بین بار هیدرولیکی محاسبه شده و مشاهداتی نخواهد شد که احتمالاً به دلیل پارامترهایی است که با عدم قطعیت همراه هستند و برآورد دقیق آنها ناممکن است. بنابراین فرآیند واسنجی انجام می‌شود.

۴-۲-واسنجی[۲]

واسنجی عبارت است از فرایند پیدا کردن مجموعه‌ای از شرایط مرزی، تنش‌ها و پارامترهای هیدروژئولوژیک که نتایج به دست آمده از آن به‌صورت بسیار نزدیکی بر اندازه‌گیری‌های بار هیدرولیکی و جریان‌های اندازه‌گیری شده صحرایی برازش دارد(چیت‌سازان و کشکولی،۱۳۸۱). در این پژوهش واسنجی به صورت سعی و خطا (دستی) و با Interval نیم متر برای مدل انجام شد. نتایج واسنجی به صورت زیر است شکل ۶- میانگین خطای[۳] آخرین اجرای مدل دشت چنانه در حالت ناماندگار و شکل ۷- برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در حالت ناماندگار را نشان می‌دهد

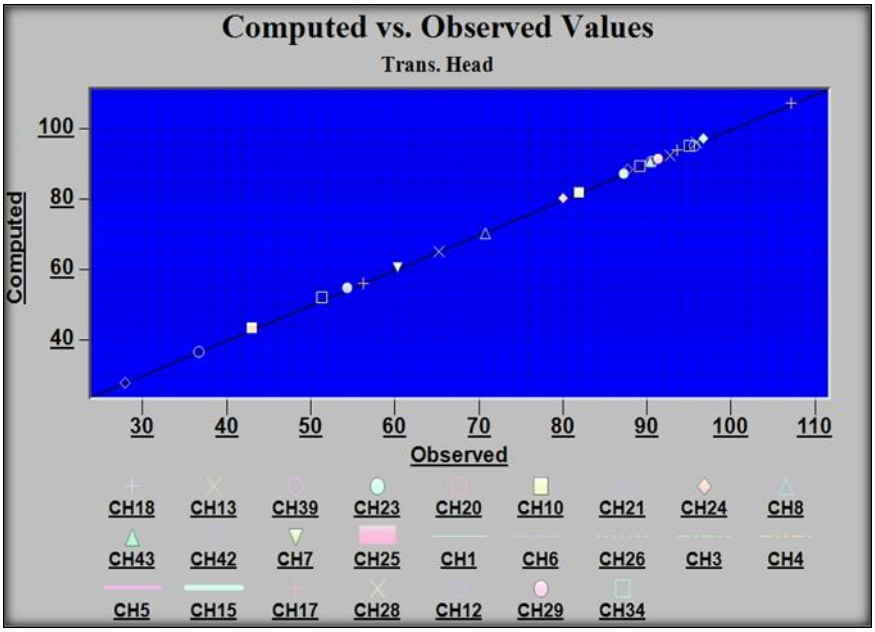


شکل ۶- میانگین خطای آخرین اجرای مدل دشت چنانه

[۱] -Model Run

[۲] -Calibration

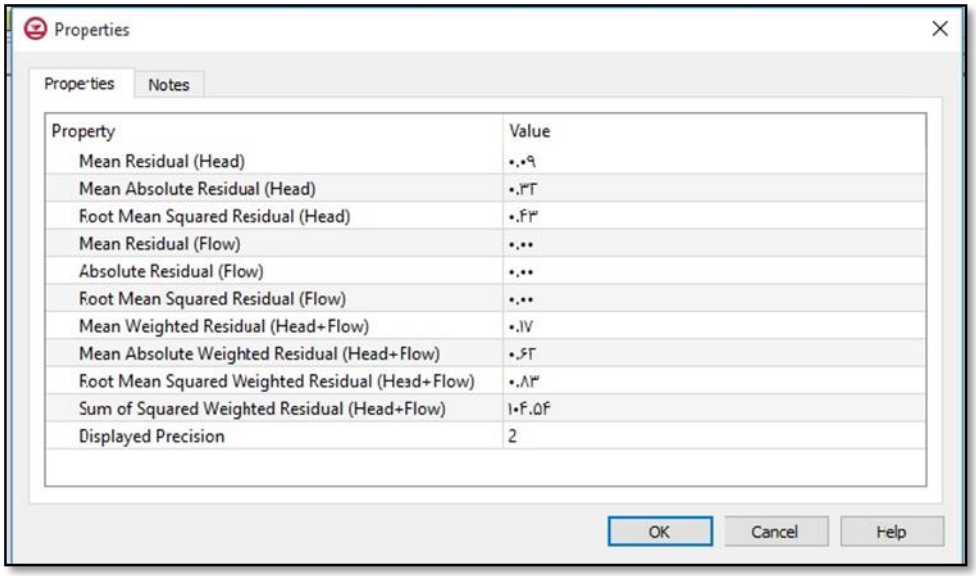
[۳] -Mean Residual



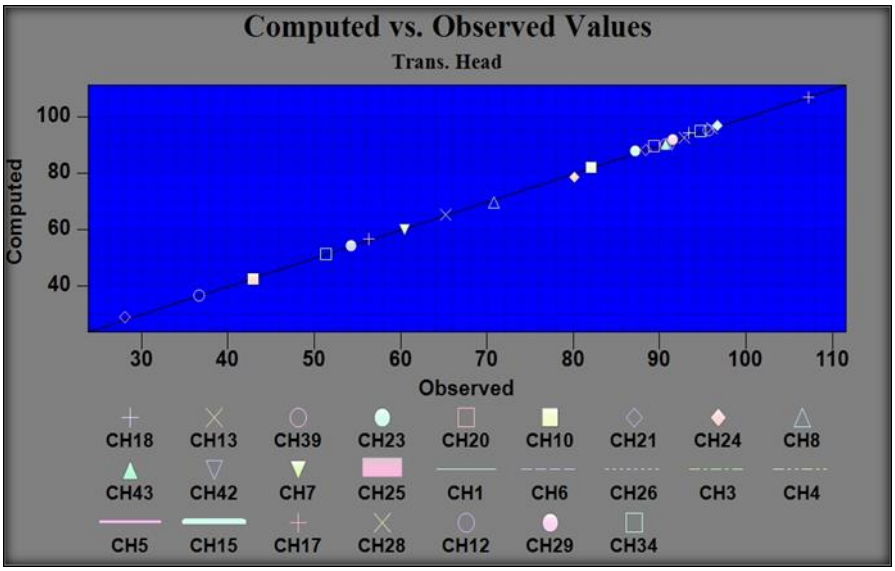
شکل ۷- برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در حالت ماندگار

۴-۳-صحت‌سنجی

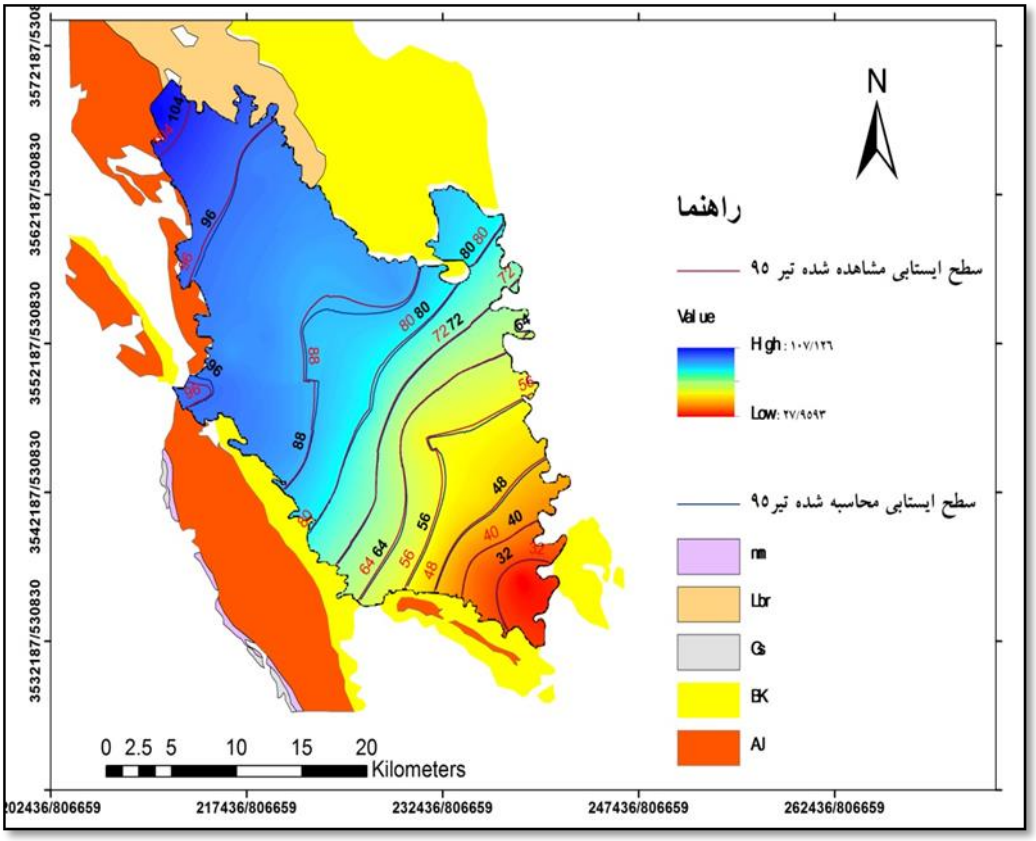
در طی فرآیند صحت‌سنجی مدل از نظر پارامترهای بدست آمده از مرحله واسنجی مورد ارزیابی قرار داده می‌شود. مدل نهایی زمانی مورد قبول است که کاربر بدون تغییر مقادیر هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه و درصد نفوذ آب بارندگی و شرایط مرزی اطلاعات بیلان را برای دوره زمانی دیگری که می تواند قبل یا بعد از زمان واسنجی باشد وارد مدل و اجرا کند در صورتی که خطا در حد قابل قبول و کمتر از مقدار خطای تعیین شده برای واسنجی باشد.مدل مورد اعتماد بوده و فرآیند شبیه سازی صحیح می‌باشد برای صحت‌سنجی مدل ناپایدار دشت چنانه از اطلاعات ۶ ماه (مرداد ۹۵ تا دی ۹۵) استفاده و اجراشد. در شکل ۸-میانگین خطای اجرای مدل در صحت سنجی را نشان می‌دهد.



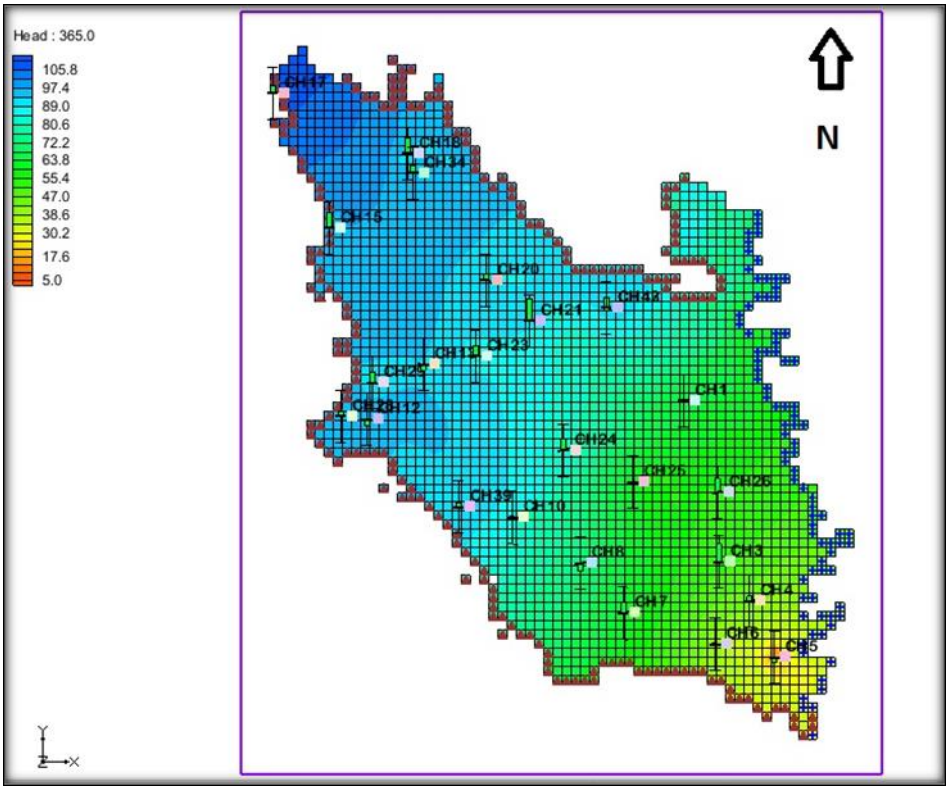
شکل ۸-میانگین خطای اجرای مدل در صحت سنجی



شکل ۹- برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی صحت سنجی



شکل ۱۰-مقایسه تراز سطح ایستابی مشاهده‌ای و محاسبه شده در مدل نامانداگار



-شکل ۱۱- نقشه سطح ایستابی و نمایش خطا مدل ناماندگار در آخرین گام زمانی بعد از واسنجی

۵-بررسی بیلان منطقه مورد مطالعه

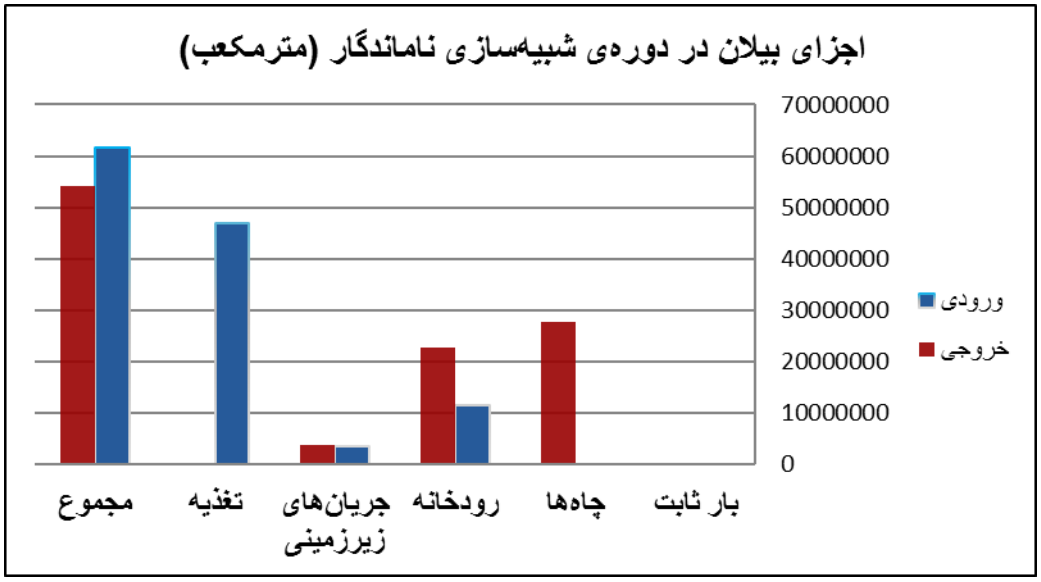
از مهم‌ترین اهداف مدل‌سازی آبخوان، تهیه بیلان آبی و شناخت دقیق مؤلفه‌های مختلف بیلان و محاسبه آن‌ها برای یک دوره‌ی مشخص می‌باشد (میزبان، ۱۳۹۶). از اختلاف مجموع مقادیر ورودی و مجموع مقادیر خروجی آب در یک سیستم آب‌زیرزمینی بیلان محاسبه می‌شود. در جدول زیر بیلان و اجزای آن طی دوره ی شبیه سازی (۹۵-۹۴) را نشان

اجزاء بیلان(متر مکعب)	ورودی	خروجی

می‌دهد.نتیجه بیلان مثبت و حاکی بیشتر بودن جریان ورودی نسبت به خروجی است

بار ثابت	۰	۰	
چاهها	۲۷۷۶۳۶۵۶		
رودخانه	۱۱۴۲۰۶۱۸	۲۲۷۶۸۳۶۰	
جریان های زیر زمینی	۳۴۰۸۳۷۹	۳۶۷۸۱۳۸,۵	
تغذیه	۴۶۹۱۵۶۸۰	۰	
مجموع	۶۱۷۴۴۶۷۷	۵۴۲۱۰۱۵۴,۵	
ورودی - خروجی		۷۵۳۴۵۲۲,۵	

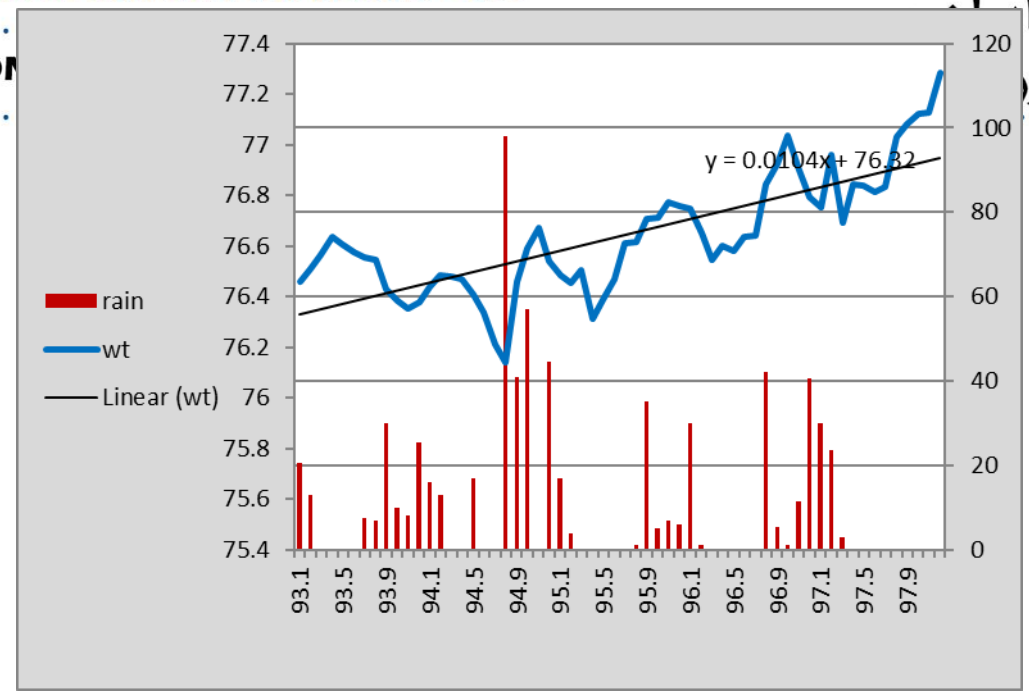
جدول ۱- اجزاء و مقادیر بیلان در مدل نامانداگار



شکل ۱۲- نمودار اجزای مختلف بیلان مدل آبخوان در سال آبی (۹۵-۹۶)

۶-هیدروگراف معرف منطقه مورد مطالعه

هیدروگراف معرف برای دوره‌ی پنج ساله از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ تهیه شد. و سطح آب با بارندگی ماهانه منطقه مورد مقایسه قرار گرفت با توجه به هیدروگراف معرف دشت تأثیرپذیری سطح آب پیزومترها از بارندگی مشاهده می‌شود همچنین روند کلی تغییرات سطح ایستابی در این دوره‌ی پنج ساله صعودی می‌باشد.



شکل ۱۳-هیدروگراف واحد دشت

برای محاسبه‌ی مقدار بیلان هیدروگراف معرف دشت از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$\text{مقدار بیلان} = Sy \times (h_{max} - h_{min}) \times A \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

A مساحت کل آبخوان، h_{max} حداکثر بار هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در طول شبیه‌سازی، h_{min} حداقل بار هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در طول شبیه‌سازی، Sy میانگین وزنی آبدهی ویژه.

هیدروگراف منطقه مورد مطالعه صعودی بوده و مقدار بیلان هیدروگراف با استفاده از فرمول فوق محاسبه گردید. آبدهی بکار رفته در بیلان هیدروگراف میانگین آبدهی ویژه تعدادی از چاه‌های بهره‌برداری منطقه است که با تفسیر آزمون پمپاژ آن‌ها بدست آمده است. اختلاف بین میزان بیلان هیدروگراف و بیلان مدل به اندازه‌ی **۸۴۹۵۸۱,۶۸** متر مکعب محاسبه شد. نزدیک بودن مقدار بیلان هیدروگراف و مدل نشان دهنده‌ی صحت بیلان بدست آمده از مدل می باشد زیرا آبدهی ویژه بکار رفته در مدل با استفاه از کالیبراسیون مدل بدست آمده است که با استفاده از اطلاعات متعدد و تمام منطقه بیلان صورت گرفته است.

جدول ۲- اجزای مختلف بیلان هیدروگراف معرف دشت

مساحت کل محدوده(A)	مقدار(متر مکعب)
مساحت کل محدوده(A)	۶۳۴۲۴۴۸۵۹.۶
حداکثر بار هیدرولیکی دوره شبیه‌سازی (h_{max})	۷۶.۷۵
حداقل بار هیدرولیکی دوره شبیه‌سازی(h_{min})	۷۶.۵۸
آبدهی ویژه (Sy)	۰.۰۶۲
بیلان هیدروگراف (متر مکعب بر روز)	۶۶۸۴۹۴۰,۸۲
بیلان مدل (متر مکعب بر روز)	۷۵۳۴۵۲۲,۵
تفاوت بیلان مدل و بیلان هیدروگراف	۸۴۹۵۸۱,۶۸

۷-بحث و نتیجه‌گیری

از بررسی بیلان آب زیرزمینی دشت چنانه چنین نتیجه گیری می‌شود که مدل کالیبره شده با دقت قابل قبولی توانسته سطح ایستابی چاه‌های پیزومتری را شبیه‌سازی کند. هیدروگراف معرف دشت نشان داد سطح ایستابی رو به افزایش است ، همچنین نتایج بیلان مدل آب زیرزمینی نیز نشان دهنده‌ی مثبت بودن بیلان است.با توجه به افزایش روز افزون سطح زیر کشت و حجم آب ورودی به آن‌ها و همچنین عدم استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی و اجرا نشدن شبکه های فرعی آبیاری و زهکشی دلیل این امر بوده است که باعث ایجاد مناطق تبخیری می‌شود و کشاورزی منطقه را با خطر مواجه می‌کند بنابراین مدیریت منابع آب این دشت و اجرایی شدن آن امری ضروری است.

۸-منابع

۱-چیت سازان، م، کشکولی، ح،۱۳۸۱، مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی و حل مسائل هیدروژئولوژی، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲-گزارش پروژه مطالعات نیمه تفصیلی دشت چنانه، شرکت تحلیل گران نوین زمین

۳- میزبان، ی. ۱۳۹۶. شبیه‌سازی عددی جریان و انتقال آلودگی در آب‌های زیرزمینی دشت لور اندیمشک با استفاده از مدل‌های MODFLOW و MODPATH . پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز

۴-سازمان آب منطقه ای خوزستان، ۱۳۹۹، معاونت مطالعات پایه منابع آب، آمار اندازه گیری سطح آب پیزومترها ، آمار و اطلاعات اندازه‌گیری شده دشت چنانه