

آنالیز حساسیت رفتار هیدرولیکی آبخوان دشت شیراز با استفاده از مدل PMWIN

احمد رضا کریمی پور^۱ غلامرضا رخشنده‌رو^۲

(دریافت ۸۸/۶/۱۸ پذیرش ۸۹/۶/۱۰)

چکیده

در این تحقیق رفتار هیدرولیکی آبخوان دشت شیراز با مساحت حدود ۳۰۰ کیلومتر مربع به کمک مدل PMWIN شبیه‌سازی گردید. در این مدل، زهکش‌های در حال احداث در این دشت نیز در نظر گرفته شد و پارامترهای مؤثر بر رفتار هیدرولیکی آبخوان مورد مطالعه قرار گرفت. اطلاعات بارندگی و تبخیر اندازه‌گیری شده در دشت، میزان تغذیه و تخلیه سفره از طریق قنات‌ها و مسیر رودخانه خشک و چنارراهدار و همچنین میزان برداشت آب از چاه‌ها و تغذیه آبخوان به علت فاضلاب برگشتی، در مدل منظور گردید. پس از واسنجی مدل، ضرایب هیدرودینامیکی دشت تعیین شد و حساسیت مدل نسبت به چهار پارامتر مهم مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج حاصله بیانگر آن است که مدل اولاً نسبت به میزان تغذیه و ثانیاً به هدایت هیدرولیکی حساس است. به طوری که تغییر کوچکی در این دو پارامتر می‌تواند تغییر فاحشی در توزیع بار هیدرولیکی در دشت ایجاد نماید. ضریب آبدهی ویژه آبخوان نیز در دامنه نوسانات فصلی سطح آب زیرزمینی تأثیر زیادی می‌گذارد ولی تأثیر ضریب رسانایی زهکش فقط محدود به ناحیه شعاع تأثیر زهکش می‌شود و در کل مدل تأثیر محسوسی ندارد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، شبیه‌سازی، دشت شیراز، مدل PMWIN، آنالیز حساسیت، پارامترهای مؤثر

Sensitivity Analysis for Hydraulic Behavior of Shiraz Plain Aquifer Using PMWIN

Ahmad Reza karimipour¹

Gholam Reza Rakhshandehroo²

(Received Sep. 9, 2009 Accepted Sep. 1, 2010)

Abstract

In this study, hydraulic behavior of Shiraz plain aquifer, with an area of ~300 km², was simulated using PMWIN model. The performance of recently constructed drainage system in the plain was modeled and parameters affecting hydraulic behavior of the aquifer were analyzed. Measured rainfall and evaporation rates in the plain, recharge and discharge rates through the aqueducts, Khoshk and Chenar Rahdar rivers, as well as amount of water discharged from production wells and recharge due to returned wastewater were considered in the model. Plain hydrodynamic coefficients were estimated via calibration and sensitivity analysis of the model was performed for four important parameters. Results showed that the model is most sensitive to recharge rate and hydraulic conductivity, respectively, such that a small variation in these two parameters causes a dramatic change in hydraulic head distribution in the plain. Furthermore, specific yield coefficient influences the seasonal water level fluctuations, but the aqueducts conductance coefficient only affects the aqueduct radius of influence with little effect on the overall hydraulic behavior of the plain.

Keywords: Groundwater, Simulation, Shiraz Plain, PMWIN Model, Sensitivity Analysis, Effective Parameters.

1. Instructor of Civil and Hydraulic Structure, Ardal Training Center, Islamic Azad University, Shahrekord Branch, Shahrekord, Iran (Corresponding Author) (+98 381) 3336749 ahm.karimipour@gmail.com

2. Assoc. Prof. of Civil Eng., Dept. of Eng., Shiraz University, Shiraz

۱- مربی مهندسی عمران- سازه هیدرولیکی، مرکز آموزشی اردل، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهرکرد (نویسنده مسئول) ۳۳۳۶۷۴۹ (۰۳۸۱) ahm.karimipour@gmail.com

۲- دانشیار بخش مهندسی راه و ساختمان، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز، شیراز

و Modflow توسط کارلوس و همکاران^{۱۳} در سال ۲۰۰۸ است. همچنین مقایسه دبی‌های محاسبه شده توسط Modflow و یک مدل آمیخته به دوتریم بر روی سایت آزمایشی نوادی^{۱۴} شرقی و حومه آن توسط روسماری و همکاران^{۱۵} در سال ۲۰۰۸ انجام شد [۹-۱۱].

از جمله تحقیقات دیگری که در زمینه مطالعه آبهای زیرزمینی صورت گرفته است می‌توان به پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت همدان- بهار با مدل سری‌های زمانی توسط رحمانی و سدهی در سال ۱۳۸۳، بررسی تأثیر نشست حاصل از تخلیه آب زیرزمینی بر تخریب لوله جدار توسط آل خمیس و همکاران در سال ۱۳۸۵، مدل شبیه‌سازی کمی- کیفی اندرکنش آبراه با سفره زیرزمینی توسط صفوی و همکاران در سال ۱۳۸۶، بهینه‌سازی مکان‌یابی ایستگاههای پایش کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از تئوری آنتروپی توسط معصومی و کراچیان در سال ۱۳۸۷، مقایسه کاربرد روشهای کاوشی در بهره‌برداری بهینه از منابع آب توسط برهانی و مرتضوی در سال ۱۳۸۷ و استفاده از الگوریتم ژنتیک برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی سفره آزاد توسط اصغری مقدم و همکاران در سال ۱۳۸۸ اشاره کرد [۱۲-۱۷].

در این تحقیق رفتار هیدرولیکی آبخوان دشت شیراز با استفاده از مدل PMWIN که هسته اصلی آنرا همان نرم افزار Modflow تشکیل می‌دهد، شبیه‌سازی شد. در این مدل، زهکش‌های بزرگ در حال احداث در این دشت نیز دیده شد و اطلاعات بارندگی و تبخیر اندازه‌گیری شده در دشت، میزان تغذیه و تخلیه سفره از طریق قنات‌ها و مسیر رودخانه خشک و چنارراهدار و همچنین میزان برداشت آب از چاهها و تغذیه آبخوان به‌علت فاضلاب برگشتی در مدل منظور گردیدند. پس از واسنجی مدل، ضرایب هیدرودینامیکی دشت تعیین شد و با انجام آنالیز حساسیت، چهار پارامتر مهم شناسایی و مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند.

۲- معرفی منطقه مورد بررسی

محدوده مورد بررسی در ناحیه جنوب و جنوب شرق دشت شیراز قرار گرفته است و از شمال به ارتفاعات بابا کوهی و کفتوک، از شمال غربی به ارتفاعات کوه دراک، از جنوب به ارتفاعات سبزپوشان و سلطان‌آباد، از شرق و جنوب شرقی به ارتفاعات پل فسا و دریاچه مهارلو محدود می‌گردد. وسعت محدوده مورد مطالعه حدود ۳۰۰ کیلومترمربع بود که موقعیت آن در شکل ۱ نمایش داده شده است. بررسی‌های انجام شده در دشت شیراز نشان داده است که

به‌طور کلی استفاده از روش تفاضلات محدود در مدل‌های کامپیوتری برای شبیه‌سازی و مطالعه آبخوان‌های دارای شرایط مختلف، توسط محققان متعدد صورت گرفته است. مطالعه جامع مدیریت آبخوان کشور کویت توسط موخیدپایی و همکاران^۱ در سال ۱۹۹۴ و مطالعه تأثیرات واکنش‌های متقابل رودخانه و آبخوان در حوضچه آبریز والنات^۲ کاتراس توسط رامیرد دیگاری و همکاران^۳ در سال ۲۰۰۲ از این نمونه هستند [۱ و ۲]. در مطالعه جریان سه بعدی آبهای زیرزمینی در دشت‌های مختلف ایران نیز از روش تفاضل محدود استفاده شده است. رضایی و همکاران در سال ۱۳۸۲ آبهای زیرزمینی دشت باجگاه را با استفاده از مدل ماجولار^۴ سه بعدی تفاضل معین مک دونالد^۵ و هرباو^۶ مورد بررسی قرار دادند [۳]. کمالی نیز در سال ۱۳۷۸ به بررسی هیدروژئولوژیکی شکل‌گیری سفره و منابع آبهای زیرزمینی دشت شیراز پرداخت [۳ و ۴].

به‌طور مشخص، کاربرد مدل Modflow به‌عنوان مدل مدوله سه بعدی تفاضل محدود آبهای زیرزمینی برای پیش‌بینی رفتار آبهای زیرزمینی در سالهای اخیر توسعه بسیاری داشته است. مطالعاتی نظیر محاسبه ضریب ذخیره و ضریب قابلیت انتقال آبخوان نایتینگهام شایر^۷ انگلستان توسط جیائو^۸ و لرنر^۹ در سال ۱۹۹۶، مدل‌سازی نشت آبخوان و رودخانه در یک آبخوان آبرفتی توسط مایکل براون و همکاران^{۱۰} در سال ۲۰۰۲، و مدل‌سازی بیلان آبی دشت ریوتوریو^{۱۱} در مکزیک توسط یوهانس^{۱۲} در سال ۲۰۰۴ و به‌کارگیری مدل Modflow مدیریت بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی و ارزیابی عملکرد طرح تغذیه مصنوعی دشت آب باریک بم توسط کتیبه و حافظی در سال ۱۳۸۳ از این نمونه‌اند [۵-۸].

از جمله تحقیقات دیگری که در این زمینه صورت گرفته است شبیه‌سازی جریان متقارن محوری با دقت بالا با استفاده از Modflow مجهز شده به یک روش جدید توسط سامانی و همکاران در سال ۲۰۰۴ و شبیه‌سازی برهمکنش آبخوان و رودخانه در یک حوضچه زهکشی با استفاده از اتصال کامل دو نرم افزار HECRAS

¹ Mukhopadhyay et al.

² Walnut

³ Ramirddigary et al.

⁴ Modular

⁵ Mcdonald

⁶ Herow

⁷ Nottinghamshire

⁸ Jiao

⁹ Learner

¹⁰ Bruen

¹¹ Rio Turbio

¹² Johannes

¹³ Carlos et al.

¹⁴ Nevada

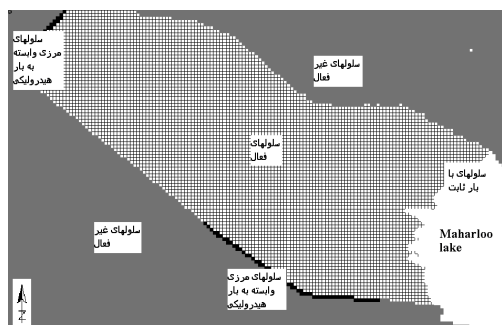
¹⁵ Rosemary

جدول ۱ دبی بهره برداری فصلی از دو حلقه چاه دشت، به عنوان نمونه نشان داده شده است.

۳- شبیه سازی آبخوان دشت شیراز و اختصاص پارامترها به مدل

آبخوان دشت شیراز به شبکه ای مشتمل بر ۱۵۵۰۰ سلول شامل ۱۰۰ ردیف و ۱۵۵ ستون و هر سلول به ابعاد ۲۰۰×۲۰۰ متر تقسیم گردید. سلول های فعال در مدل با کد یک و سلول های غیرفعال با کد صفر و سلول های با بار هیدرولیکی ثابت با کد منفی یک در نظر گرفته شدند. محدوده مورد بررسی عمدتاً توسط ارتفاعات اطراف محصور بوده به طوری که تنها ۳۲ سلول از مرزهای غربی و ۶۳ سلول از مرز جنوب شرقی در تبادل هیدرولیک با مناطق خارج از محدوده مورد بررسی بودند. به لحاظ جریان عمومی آب زیرزمینی از غرب به شرق، سلول های فعال مرزی واقع در مرز غربی در حکم سلول های دریافت کننده جریان آب زیرزمینی از خارج به داخل محدوده بودند و در مدل با نام سلول GHB مشخص شدند. سلول های فعال واقع در مرز جنوب شرقی محدوده مورد بررسی نیز به عنوان سلول های خارج کننده جریان از این محدوده بودند که اصطلاحاً با عنوان سلول های تخلیه مشخص گردیدند. شکل ۲ وضعیت شبکه بندی آبخوان و سلول های شبکه را نشان می دهد.

مدل سازی دشت در حالت غیرماندگار با دوره زمانی سه ماهه صورت گرفت که برای حل معادله دیفرانسیل، هر دوره زمانی به سه گام ۱ ماهه تقسیم شد. کل مدت شبیه سازی بیش از سه سال و نیم (فروردین ۸۳ تا آبان ۸۶) بود و از داده های مربوط به دو سال و



شکل ۲- وضعیت شبکه بندی آبخوان و سلول های شبکه



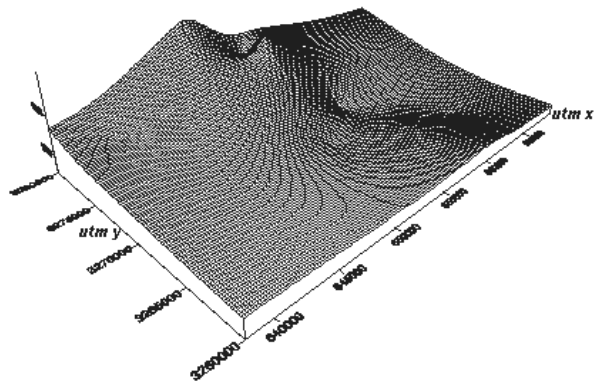
شکل ۱- دشت شیراز و منطقه مورد مطالعه

آبرفت دشت شیراز به صورت لایه لایه بوده و لایه های رسی بین لایه های آبدار قرار گرفته اند به نحوی که رسوبات آبرفتی دارای ضخامت یکنواختی نبوده و لایه های شنی در بین لایه های رسی و سیلتی قرار دارند. همچنین اکتشافات ژئوفیزیکی در دشت بیانگر آن است که لایه آبدار دشت شیراز به عمق ۲۰۰ متر محدود می گردد و در اعماق بیشتر، در صورتی که لایه آبداری وجود داشته باشد از کیفیت مناسبی برخوردار نیست [۱۸]. علاوه بر این، بافت آبرفت در غرب دشت، درشت دانه بوده و با نزدیک شدن به دریاچه مهارلو در شرق، ریزدانه می گردد. بر اساس این مطالعات، سفره آب زیرزمینی دشت شیراز به دو سفره سطحی و عمقی تقسیم شده است. سفره سطحی از سطح آزاد آب زیرزمینی شروع شده و تا عمق ۴۰ متری امتداد می یابد و سفره عمیق آب زیرزمینی از حدود عمق ۴۰ متری تا ۲۰۰ متری گسترش یافته است. ارتفاعات منطقه مورد مطالعه از نظر زمین شناسی جزو رشته کوه های زاگرس بوده و از تاقدیس ها و ناودیس های کشیده با جهت شمال غربی - جنوب شرقی که در امتداد روند چین خوردگی زاگرس هستند، تشکیل شده است [۱۹].

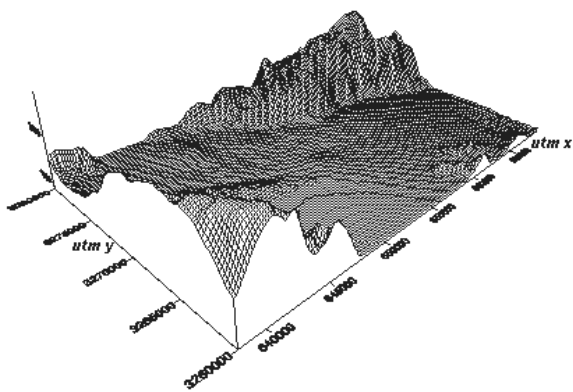
در محدوده مورد مطالعه تعداد ۳۵ حلقه چاه مشاهده ای و پیزومتریک فعال به طور ثابت وجود داشتند. همچنین در حین اجرای زهکش خاتون، ۱۲ پیزومتر در اطراف آن برای قرائت تراز سطح آب ایجاد شد. در این تحقیق، آمار نوسانات ماهانه سطح ایستابی ۴۱ حلقه از چاه های مذکور جمع آوری شد و مورد استفاده قرار گرفت. تعداد ۴۲۵ حلقه چاه بهره برداری آب سطحی که عمدتاً برای مصارف کشاورزی کاربرد دارند، در منطقه موجود بود. در

جدول ۱- مشخصات دو چاه بهره برداری دشت شیراز به عنوان نمونه

UTM (x)	UTM (y)	دبی بهار (m ³ /d)	دبی تابستان (m ³ /d)	دبی پاییز (m ³ /d)	دبی زمستان (m ³ /d)
۶۵۶۹۰۱/۰	۳۲۷۳۴۹۷/۰	-۲۱۷	-۳۷۹	-۳۹۲	-۱۱۲
۶۵۷۶۲۴/۰	۳۲۷۳۹۸۴/۰	-۳۴۶	-۴۱۲	-۳۹۸	-۱۷۰/۴



شکل ۵- رقوم لایه غیر قابل نفوذ کف آبخوان سطحی دشت



شکل ۶- نقشه توپوگرافی دشت شیراز

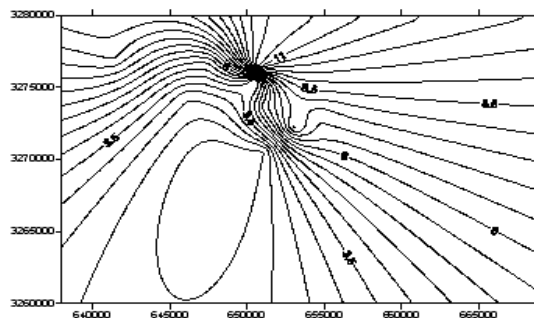
ایستایی در سطح زمین قرار دارد میزان تبخیر حداکثر است و با افزایش عمق نسبت به سطح زمین، تبخیر کاهش می‌یابد و در عمق بحرانی، مقدار تبخیر به صفر می‌رسد. در این تحقیق رقوم سطح تبخیر و تعرق یعنی ارتفاع سطح ایستایی برای وقوع تبخیر و تعرق حداکثر، مساوی ارتفاع سطح زمین در نظر گرفته شد.

۳-۱- منابع تغذیه

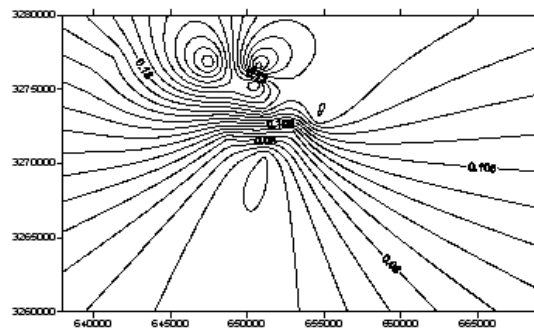
یکی از منابع تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، نفوذ آب بارندگی است. برای محاسبه نفوذ ناشی از بارشهای جوی در هر گام زمانی، مقادیر تلفات اولیه و رواناب از متوسط بارش ماهانه کسر گردید. با توجه به مطالعات انجام شده قبلی، ابتدا ۱/۶ میلی‌متر از هر بارندگی به علت تلفات اولیه کسر گردید. سپس برای تعیین و کسر مقدار رواناب از تقسیم‌بندی دشت به نواحی جمعیتی سه گانه و ضریب رواناب برای هر ناحیه استفاده گردید (شکل ۷ و جدول ۲). در نهایت با کسر تلفات اولیه و مقدار رواناب از بارش، مقدار نفوذ محاسبه شد و در بسته تغذیه به مدل وارد گردید.

نیم اول برای کالیبراسیون و تعیین ضرایب هیدرودینامیک مدل و از داده‌های مربوط به ۴۰۰ روز بعد برای انجام آنالیز حساسیت مدل استفاده شد.

برای تعیین مقادیر اولیه آبدهی ویژه و ضریب آبگذری از اندازه‌گیری‌های انجام شده هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه در ۱۱ چاه مختلف در سطح دشت استفاده شد که نتیجه توزیع آنها در دشت به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نمایش داده شده است [۲۰].



شکل ۳- نحوه توزیع مقادیر اولیه هدایت هیدرولیکی (m/d) در نقاط مختلف دشت

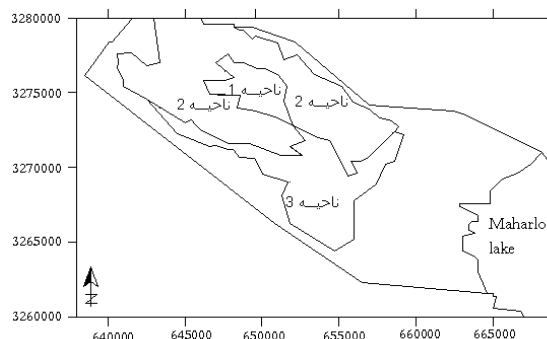


شکل ۴- نحوه توزیع مقادیر اولیه آبدهی ویژه (بی بعد) در نقاط مختلف دشت

رقوم لایه غیر قابل نفوذ کف آبخوان، از نقشه‌های موجود به دست آمد و با درونیابی، رقوم لایه مذکور در تمام دشت با فواصل ۲۰۰ متری تعیین شد (شکل ۵). همین روال برای اطلاعات موجود در زمینه نقاط ارتفاعی دشت انجام شد و نقشه توپوگرافی دشت در فواصل ۲۰۰ متری تهیه گردید (شکل ۶).

با کم کردن مقادیر رقوم لایه غیر قابل نفوذ کف از رقوم سطح زمین، ضخامت سلول‌ها در مدل تعیین و به نرم افزار داده شد.

برای تعیین تبخیر و تعرق در مدل، از آمار ایستگاه تبخیرسنجی فرودگاه شیراز استفاده شد. در نرم‌افزار PMWIN وقتی سطح



شکل ۷- نحوه ناحیه بندی دشت [۲۰].

جدول ۲- ضریب رواناب مناطق سه گانه

ضریب رواناب	نواحی سه گانه	
۰/۷۵ ~ ۰/۶۵	۱	پر تراکم شهری
۰/۶ ~ ۰/۵	۲	با تراکم متوسط
۰/۴ ~ ۰/۳۵	۳	کم تراکم

از منابع دیگر تغذیه سفره‌ها، برگشت آب مصرفی یا پساب به آنهاست. در این تحقیق، با توجه به پژوهش و پیش‌بینی انجام شده توسط سازمان مسکن و شهرسازی استان فارس، میزان ماهیانه آب مصرفی و پساب تولید شده در هر منطقه از دشت، به تراکم جمعیتی در آن منطقه وابسته گردید. لذا با استفاده از ناحیه بندی جمعیتی دشت و تولید سرانه فاضلاب، مقدار پساب تولید شده در هر گام زمانی محاسبه گردید (شکل ۷). جدول ۳ برآورد مقادیر حداقل، متوسط و حداکثر مصرف سرانه آب و تولید سرانه فاضلاب در سالهای ۸۰ و ۹۰ را به‌طور نمونه نشان می‌دهد.

جدول ۳- مقادیر سرانه مصرف آب و تولید سرانه فاضلاب در سالهای ۸۰ و ۹۰ در شهر شیراز [۲۰]

سال	۱۳۸۰	۱۳۹۰
جمعیت	۱۷۳۸۰۰۰	۲۴۸۸۰۰۰
شرح	حداقل متوسط حداکثر	حداقل متوسط حداکثر
مصرف سرانه آب (لیتر در روز)	۱۴۳ ۱۹۰ ۲۵۷	۱۹۸ ۲۶۷ ۱۴۹
تولید سرانه فاضلاب (لیتر در روز)	۱۱۰ ۱۴۷ ۱۹۸	۱۶۳ ۲۲۰ ۱۲۲

سفره عمقی دشت شیراز با ضخامت حدود ۵۰ متر در زیر سفره سطحی قرار گرفته است و می‌تواند به‌عنوان یک تغذیه کننده سفره سطحی عمل نماید. آب چاههای عمقی به سه صورت صنعتی، شرب و کشاورزی به مصرف می‌رسند که نهایتاً میزانی از آن به آبخوان

سطحی برگشت داده می‌شود. برگشت پسابی که مربوط به مصارف شرب و صنعت است در بخش قبل به حساب آمد و لذا برگشت آب مصرف شده در قسمت کشاورزی باید مورد نظر قرار گیرد. میزان آب برگشتی کشاورزی به سفره‌های آب زیر زمینی معمولاً به‌عنوان درصدی از کل مقدار آب مصرفی آبیاری حاصل می‌شود که در ماههای سال متفاوت خواهد بود. حجم ماهیانه آب ورودی به سفره سطحی به‌علت برداشت آب کشاورزی از سفره عمقی بر اساس مطالعات انجام شده قبلی در جدول ۴ آورده شده است [۲۰]. برای این اساس، عمق آب نفوذ یافته در روز از تقسیم کردن حجم آب ورودی بر مساحت منطقه به‌دست آمده و در بسته تغذیه به مدل وارد شده است.

جدول ۴- حجم آب ورودی به سفره سطحی از طریق برگشت آب کشاورزی برداشت شده از سفره عمقی [۱۹]

دوره زمانی	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
حجم آب ورودی (هزار متر مکعب)	۳۰۱۹	۳۰۱۹	۳۰۱۹	۰
آب ورودی (m/day)	4×10^{-4}	4×10^{-4}	4×10^{-4}	۰

دو رودخانه خشک و چنار راهدار در دشت شیراز از غرب به شرق در جریان هستند ولی با توجه به فصلی بودن آنها و وضعیت هیدرولوژیکی دشت، موضوع تغذیه سفره از طریق این دو رودخانه منتفی است. چند رشته قنات نیز در دشت شیراز وجود دارند که می‌توانند به‌عنوان منابع تغذیه و یا تخلیه آبخوان مطرح باشند. با توجه به مطالعات قبلی، قناتهای نیمه غربی دشت، نقش تخلیه کننده و قناتهای نیمه شرقی، نقش تغذیه کننده را ایفا می‌کنند. در جدول ۵ میزان تغذیه و تخلیه این قناتها به‌طور نمونه در سه سال مختلف آورده شده است.

جدول ۵- میزان تغذیه و تخلیه توسط قناتها در سالهای مختلف [۲۱]

سال	۱۳۷۳	۱۳۷۸	۱۳۸۰
تعداد رشته	۴۵	۴۹	۴۹
تخلیه (میلیون متر مکعب در سال)	۱۰۲/۹۵	۱۰۴/۵	۱۰۴/۴۵
تخلیه از قسمت غربی (متر در روز)	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷
تغذیه به قسمت شرقی (متر در روز)	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲

۳-۲- منابع تخلیه

یکی از منابع مهم تخلیه آبخوانها، چاههای برداشت آب هستند. برای محاسبه میزان برداشت آب، از کلیه چاهها آماربرداری شده و

برای محاسبه دبی وارد شده از هر سلول به داخل زهکش، از روابط ۱ و ۲ که به‌نوعی رابطه داری است، استفاده گردید و پارامترهای آن برای تمامی ۷۶ سلول، مورد محاسبه قرار گرفت

$$Q_D = C_D(h-d) \quad h > d \quad (1)$$

$$Q_D = 0 \quad h \leq d \quad (2)$$

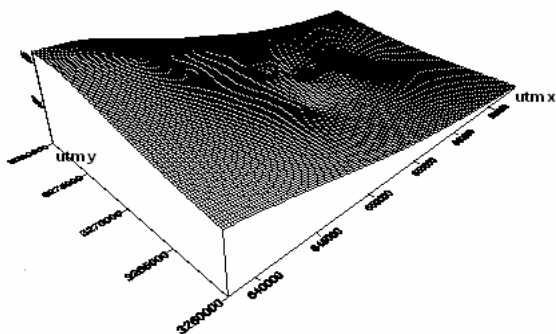
که در این روابط

Q_D دبی وارد شده از هر سلول به داخل زهکش، h بار هیدرولیکی در سلول آبخوان و d ارتفاع زهکش در سلول است. C_D رسانایی هیدرولیکی زهکش است که به هدایت هیدرولیکی آبخوان نزدیک به زهکش و یا به تعبیری خصوصیات مصالح پرکننده که اطراف زهکش‌ها استفاده می‌شود بستگی دارد. همچنین رابطه ۲ تضمین می‌کند که اگر بار هیدرولیکی در آبخوان به کمتر از ارتفاع زهکش کاهش یافت جریان زهکشی متوقف شود.

مقدار بار هیدرولیکی در هر گام زمانی و برای هر سلول، $h_{i,j,k}$ ، توسط نرم‌افزار تعیین گردید. مقدار $d_{i,j,k}$ که برابر عمق لوله زهکش در هر سلول است نیز با استفاده از گزارشهای موجود، مشخص گردید. بر اساس اندازه‌گیری‌های موجود، مقدار ۲۰ متر مربع بر روز به‌عنوان تخمین اولیه برای ضریب C_D در نظر گرفته شد و براساس آن شبیه‌سازی صورت پذیرفت و سپس در مرحله واسنجی این ضریب بهینه گردید [۲۲].

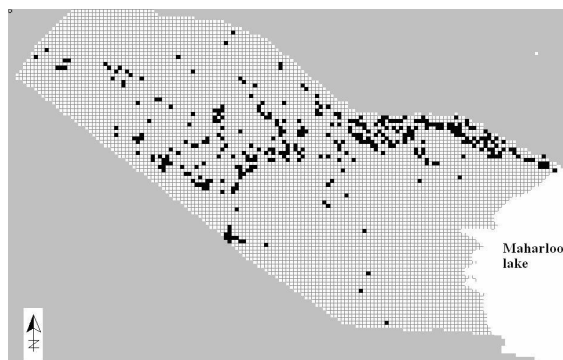
۳-۳- تعیین شرایط اولیه

شرایط اولیه از مهم‌ترین پارامترهای حل معادلات دیفرانسیل جزئی در آبهای زیرزمینی است که مدل با داشتن این شرایط، محاسبات را شروع می‌کند. با توجه به اینکه شبیه‌سازی مدل در سال ۸۳ آغاز شد، آمار سطح ایستابی مربوط به فروردین سال ۸۳ به‌عنوان شرایط اولیه حالت غیرماندگار در اختیار مدل قرار گرفت. شکل ۱۰ شرایط اولیه توزیع بار هیدرولیکی در سلول‌های مدل را نشان می‌دهد.



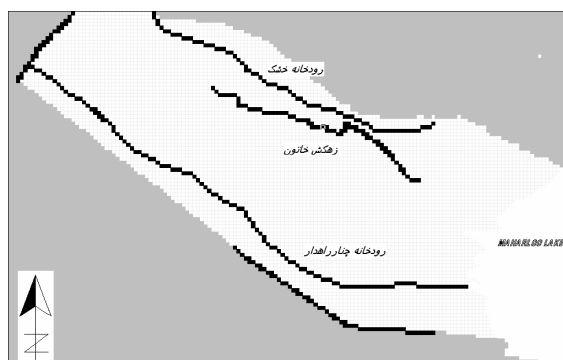
شکل ۱۰- توزیع بار هیدرولیکی اولیه مربوط به فروردین ماه سال ۸۳

عمق چاه، نوع مصرف، آبدهی و تعداد ساعات بهره‌برداری در شبانه روز مشخص گردیده است [۱۸]. مقداری از میزان آب برداشت شده به شکلهای مختلف مجدداً به سفره برگردانده می‌شود. این میزان آب برگشت شده به سفره محاسبه شد و در نهایت مقداری که عملاً از سفره در طول سال برداشت می‌گردد و در کاهش سطح سفره آب مؤثر است، به‌صورت فایل ماتریسی GRD (به‌دلیل کثرت زیاد این داده‌ها) به نرم افزار وارد شد. موقعیت این چاهها در کل دشت در شکل ۸ نمایش داده شده است که شامل چاههای بهره‌برداری سطحی در کل منطقه (۴۲۵ حلقه چاه) و چاههای پمپاژ موقت در اطراف زهکش به‌منظور خشک‌اندازی مسیر حفاری زهکش (۵۰۰ حلقه چاه) هستند. پس از عبور زهکش از چاههای موقت، چاههای یاد شده غیر فعال می‌شوند به‌طوری که میزان کارکرد هر کدام از آنها فقط ۴ ساعت در شبانه روز می‌گردد.

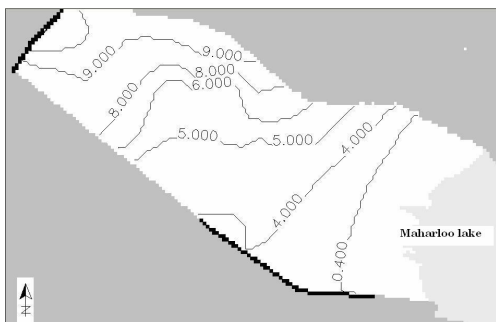


شکل ۸- موقعیت چاههای بهره‌برداری سطحی و چاههای پمپاژ موقت اطراف زهکش در دشت شیراز

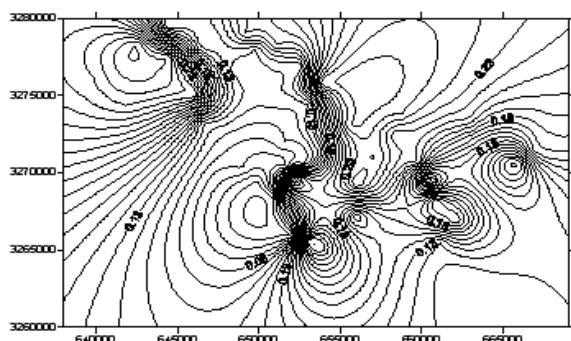
شبكة زهکشی احداث شده یکی دیگر از منابع تخلیه آبخوان دشت شیراز است. پس از شبکه‌بندی آبخوان، مسیر احداث شده زهکش خاتون در محدوده ۷۶ سلول قرار گرفت. شکل ۹ موقعیت زهکش خاتون و رودخانه‌ها را نشان می‌دهد.



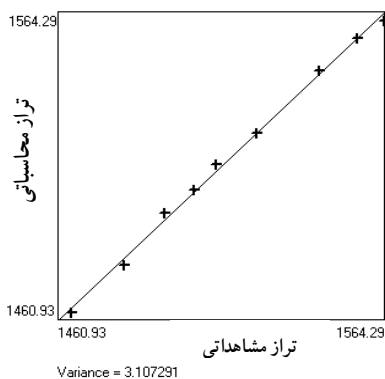
شکل ۹- موقعیت زهکش خاتون و رودخانه‌ها در مدل



شکل ۱۲- ناحیه بندی هدایت هیدرولیکی (m/d) در دشت پس از واسنجی



شکل ۱۳- ناحیه بندی آبدهی ویژه پس از واسنجی مدل



شکل ۱۴- برازش مقادیر تراز ایستابی محاسباتی و مشاهداتی پس از واسنجی

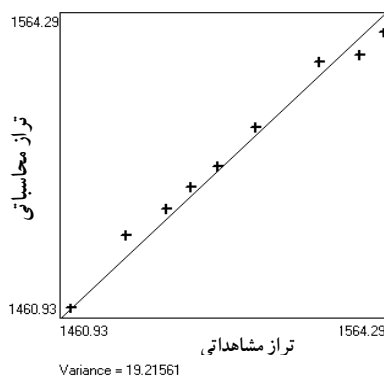
۵- نتایج آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت مدل دشت شیراز نسبت به پارامترهای متعددی انجام گرفت که از این میان برای رعایت اختصار صرفاً تأثیر چهار پارامتر مهم بررسی و ارائه شد. منابع و میزان تغذیه به آبخوان اولین پارامتری بود که مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد که اولاً میزان تغذیه به آبخوان به راحتی می‌تواند کم یا زیاد برآورد گردد، ثانیاً حساسیت مدل نسبت به میزان تغذیه بسیار زیاد است به طوری

روشهای محاسباتی موجود در مدل عبارت‌اند از روش به شدت ضمنی، روش فوق تخفیف متوالی^۱ و روش مستقیم. در پژوهش حاضر از روش مستقیم استفاده شد [۲۲].

۴- واسنجی مدل

در شکل ۱۱، نتایج حاصل از اولین اجرای مدل قبل از واسنجی به عنوان تراز ایستابی محاسباتی، با تراز ایستابی مشاهداتی در ۹ چاه مقایسه شد. همانگونه که مشخص است مقادیر محاسباتی در اغلب چاهها از مقادیر مشاهداتی بالاتر هستند و واریانس به دست آمده از ۱۹ متر مربع بیشتر است.



شکل ۱۱- برازش مقادیر تراز ایستابی محاسباتی و مشاهداتی قبل از واسنجی

از آنجا که ضرایب هیدرودینامیک آبخوان با توجه به بافت زمین‌شناسی منطقه و غیرهمگن بودن آبخوان در نقاط مختلف دشت دارای مقادیر متفاوتی هستند، لذا منطقه مورد نظر بر اساس بافت آن به چندین ناحیه برای تعیین ضریب هدایت هیدرولیکی و ضریب آبدهی ویژه تقسیم شد. با اجرای متوالی مدل به ازای مقادیر مختلفی از این ضرایب، واسنجی مدل انجام شد به گونه‌ای که بهترین تطابق تراز سطح ایستابی مشاهداتی و محاسباتی در چاههای مورد نظر به دست آمد. شکل‌های ۱۲ و ۱۳ به ترتیب ناحیه بندی هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه آبخوان را پس از واسنجی مدل نشان می‌دهند.

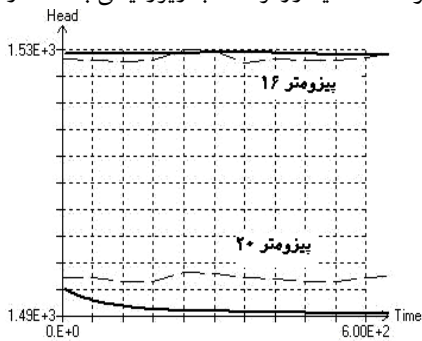
برازش مقادیر تراز ایستابی محاسباتی و مشاهداتی پس از انجام واسنجی در شکل ۱۴ آمده است.

همانطور که از مقایسه شکل‌های ۱۱ و ۱۴ ملاحظه می‌شود، انجام واسنجی باعث نزدیک‌تر شدن تراز ایستابی محاسباتی و مشاهداتی به یکدیگر شده به طوری که واریانس به حدود ۳ متر مربع کاهش یافته است. لذا بر اساس ناحیه بندی ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان در شکل‌های ۱۲ و ۱۳، آنالیز حساسیت مدل انجام گردید.

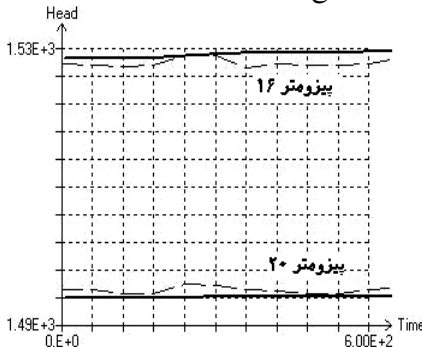
¹ Slice-successive Overrelaxation

گردید. در این بررسی ملاحظه شد که اولاً پارامتر هدایت هیدرولیکی پس از میزان تغذیه بیشترین تأثیر را روی تراز سطح ایستابی پیژومترها دارد، ثانیاً به طوری که در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ نمایش داده شده است با تغییر مقدار هدایت هیدرولیکی از ۶ به ۰/۰۰۳ متر در روز در چاه‌های پیژومتری ۱۶ و ۲۰ تغییرات زیادی در تراز سطح ایستابی محاسباتی (تا ۳ متر) ایجاد می‌شود. در کناره‌های آبخوان (پیژومتر ۲۰)، حساسیت مدل و تراز سطح ایستابی محاسباتی به مقدار هدایت هیدرولیکی بیشتر است که به نظر می‌رسد به علت تأثیرگذاری این پارامتر بر مقدار تغذیه به آبخوان از آن ناحیه باشد. لازم به ذکر است که در تمام نمودارهای این مقاله تراز سطح ایستابی مشاهده شده به صورت خط چین و تراز سطح ایستابی محاسباتی به صورت خطوط توپر نشان داده شده‌اند.

بررسی اثر ضریب آبدهی ویژه در مدل نشان داد که این ضریب بیشتر در نوسانات فصلی سطح آب زیرزمینی در کل دشت اثر می‌گذارد و همانطور که در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ مشاهده می‌شود، با تغییر ضریب آبدهی ویژه از ۰/۰۳ به ۰/۱۵، مقدار نوسانات سطح ایستابی محاسباتی در کل دوره زمانی به شدت کاهش می‌یابد. این تأثیر در وسط ناحیه (پیژومتر ۶) و کناره‌های آن (پیژومترهای ۸ و ۹) تقریباً یکسان دیده می‌شود. لذا در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که دامنه نوسانات هیدروگراف آب زیرزمینی به مقدار ضریب



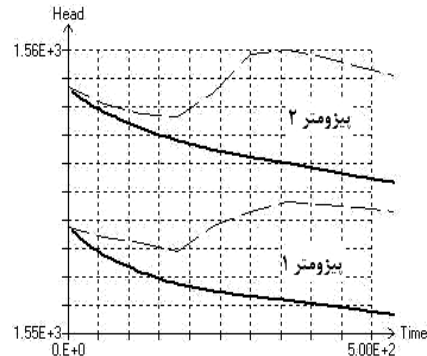
شکل ۱۶- نمودار سطح ایستابی پیژومترهای ۱۶ و ۲۰ برای $K=6\text{m/d}$



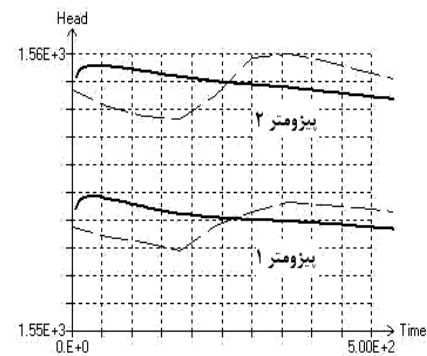
شکل ۱۷- نمودار سطح ایستابی پیژومترهای ۱۶ و ۲۰ برای $K=0.003\text{m/d}$

که افزایش یا کاهش ده درصدی تغذیه می‌تواند تراز سطح ایستابی در برخی نقاط دشت را تا ۷ متر تغییر دهد. شکل ۱۵ تغییرات تراز سطح ایستابی محاسباتی در پیژومترهای ۱ و ۲ را بر اثر ۱۰ درصد افزایش یا کاهش میزان تغذیه نشان می‌دهد.

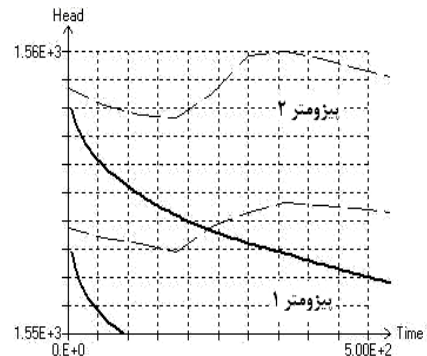
برای بررسی حساسیت مدل نسبت به پارامترهای هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه، هر کدام به طور جداگانه در یک ناحیه تغییر داده شد و اثر آن بر روی تراز سطح ایستابی در وسط دشت (پیژومتر شماره ۱۶) و کناره آن (پیژومتر شماره ۲۰) بررسی



تراز سطح ایستابی در پیژومتر ۱ و ۲



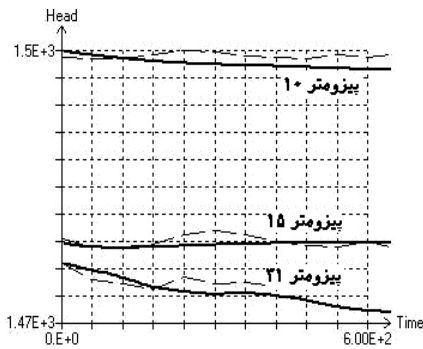
افزایش ۱۰ درصد تغذیه



کاهش ۱۰ درصد تغذیه

شکل ۱۵- تراز سطح ایستابی محاسباتی برای ۱۰ درصد افزایش یا کاهش در میزان تغذیه در پیژومترهای ۱ و ۲

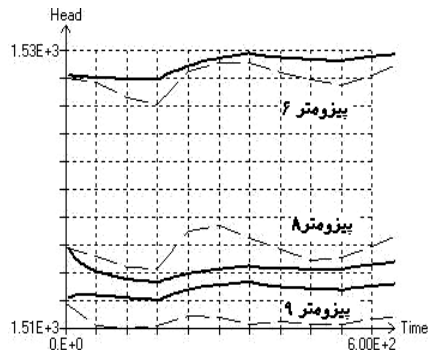
رسانایی زهکش، آخرین پارامتری بود که حساسیت مدل به آن مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر این ضریب در تراز سطح ایستابی محاسباتی در شکل‌های ۲۰ و ۲۱ نمایش داده شده است. به طوری که مشاهده می‌شود با ۶۰ برابر کردن این ضریب (یعنی تغییر ضریب رسانایی زهکش از ۰/۰۵ به ۳) فقط در پیزومتر ۳۱ که بسیار نزدیک به زهکش است، تغییر اندکی مشاهده می‌شود و در دو پیزومتر دیگر تغییر محسوسی مشاهده نمی‌گردد. لذا نتیجه‌گیری می‌شود که تأثیر ضریب رسانایی زهکش فقط محدود به ناحیه شعاع تأثیر زهکش می‌شود و در کل مدل تأثیر چندانی ندارد.



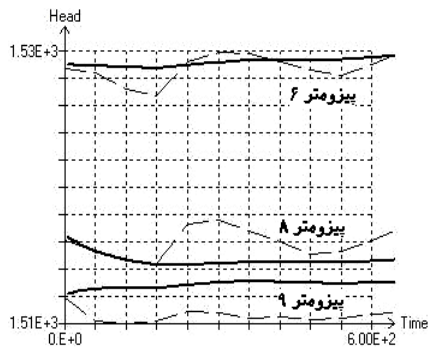
شکل ۲۱- نمودار سطح ایستابی محاسباتی و مشاهداتی برای $K=4 \text{ m/d}$ و $Sy=0.03$ و $CD=0.05 \text{ m}^2/\text{d}$

۶- نتیجه‌گیری

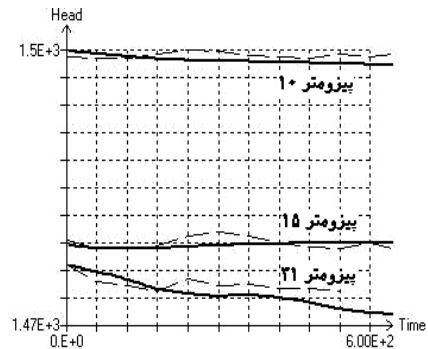
در این تحقیق رفتار هیدرولیکی آبخوان دشت شیراز به کمک مدل PMWIN شبیه‌سازی گردید. در این کار، زهکش‌های در حال احداث در دشت نیز لحاظ شد و پس از واسنجی مدل، ضرایب هیدرودینامیکی دشت تعیین و حساسیت مدل نسبت به چهار پارامتر مهم مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج حاصله بیانگر آنست که مدل اولاً نسبت به میزان تغذیه و ثانیاً به هدایت هیدرولیکی حساس است به طوری که تغییر کوچکی در این دو پارامتر می‌تواند تغییر فاحشی در توزیع بار هیدرولیکی در دشت ایجاد نماید. ضریب آبدهی ویژه آبخوان نیز در دامنه نوسانات فصلی سطح آب زیرزمینی تأثیر زیادی می‌گذارد به طوری که ضریب آبدهی کمتر، دامنه نوسانات بیشتری را تولید می‌کند. بالاخره تأثیر ضریب رسانایی زهکش فقط محدود به ناحیه شعاع تأثیر زهکش می‌شود و در کل مدل تأثیر محسوسی ندارد.



شکل ۱۸- نمودار سطح ایستابی محاسباتی و مشاهداتی برای $K=6 \text{ m/d}$ و $Sy=0.03$



شکل ۱۹- نمودار سطح ایستابی محاسباتی و مشاهداتی برای $K=6 \text{ m/d}$ و $Sy=0.15$



شکل ۲۰- نمودار سطح ایستابی محاسباتی و مشاهداتی برای $K=4 \text{ m/d}$ و $Sy=0.03$ و $CD=0.05 \text{ m}^2/\text{d}$

آبدهی ویژه بستگی دارد به نحوی که در محلی که ضریب آبدهی ویژه کمتر است، دامنه نوسانات سطح آب بیشتر خواهد بود. ضریب

۷- مراجع

- 1- Mukhopadhyay, A., Al-Sulaimi, J., and Barrat, M. J. (1994). "Numerical modeling of groundwater resource management options in Kuwait." *Groundwater*, 32 (6), 917-928.

- 2- Ramireddygari, S. R., Sophocleous, M. A., Koelliker, J. K., Perkins, S. P., and Govindaraju R. S. (2000). "Development and application of a comprehensive simulation model to evaluate impacts of watershed structures and irrigation water use on stream flow and groundwater: The case of wet walnut creek watershed, Kansas, USA." *J. of Hydrology*, 236 (3), 223-246.
- 3- Rezaei, H., and Mousavi, S.A. (2003). "Study of Bajgah plain groundwater situation using the finite difference three dimensional modular Modflow model." *Proc. of the Second National Student Conf. on Water and Soil Resources*, Shiraz University, 907-916. (In Persian)
- 4- Kamali, G. (2003). "Investigating causes of groundwater uplift in urban areas and its adverse Environmental consequences (with due attention to Shiraz Plain)." *Proc. of the 8th National Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction*, Shahid Bahonar University, Kerman. (In Persian)
- 5- Jiao, J. J., and Leaner, D. N. (1996). "Using sensitivity analysis to assist parameter zonation in groundwater flow model." *Water Resources Bulletin*, 32 (1), 75-78.
- 6- Osman, Y. Z., and Bruen, M. P. (2002). "Modeling stream-aquifer seepage in an alluvial aquifer: An improved looping- stream package for MODFLOW." *J. of Hydrology*, 264, 69-86.
- 7- Johannes, H. A. (2004). "Modeling water balance in Rio Turbio aquifer, Mexico." M.Sc. Thesis, Wageningen University, Mexico.
- 8- Katibeh, H., and Hafezi, S. (2004). "Application of Modflow in groundwater management and evaluation of artificial recharge of Ab-barik aquifer (Bam)." *J. of Water and Wastewater*, 50, 45-58. (In Persian)
- 9- Samani, N., Kompani-Zare, M., and Barry, D. A. (2004). "MODFLOW equipped with a new method for the accurate simulation of axisymmetric flow." *J. of Advances in Water Resources*, 27, 31- 45.
- 10- Rodriguez, L. B., Cello, P. A., Vionnet, C. A., and Goodrich, D. (2008). "Fully conservative coupling of HEC-RAS with MODFLOW to simulate stream-aquifer interactions in a drainage basin." *J. of Hydrology*, 353, 129-142.
- 11- Rosemary, W. H. C., Greg, M. P., Earman, S., and Ronald, L. H. (2008). "A comparison of groundwater fluxes computed with MODFLOW and a Mixing model using deuterium: Application to the eastern Nevada test site and vicinity." *J. of Hydrology*, 361, 371- 385.
- 12- Rahmani, A., and Sedehi, M. (2005). "Prediction of groundwater level changes in the plain of Hamedan-Bahar using time series model." *J. of Water and Wastewater*, 51, 42-49. (In Persian)
- 13- Al Khamis, R., Kariminasab, S., and Aryana, F. (2007). "Investigation the effect of land subsidence due to groundwater discharges on well casing damage." *J. of Water and Wastewater*, 60, 77-88. (In Persian)
- 14- Safavi, H., Afshar, A., Ghaheeri, A., Abrishamchi, A., and Tajrishi, M. (2007). "A quality-quantity simulation model for stream-aquifer interaction." *J. of Water and Wastewater*, 61, 2-14. (In Persian)
- 15- Masoumi, F., and Kerachian, R. (2008). "Optimal groundwater monitoring network design using the entropy theory." *J. of Water and Wastewater*, 65, 2-12. (In Persian).
- 16- Borhani Dariane, A., and Mortazavi Naerni, S. M. (2009). "Comparison of heuristic methods applied for optimal operation of water resources." *J. of Water and Wastewater*, 68, 57-66. (In Persian).
- 17- Asghari Moghaddam, A., Nourani, V., and Kord, M. (2009). "Using genetic algorithm to estimate hydraulic parameters of unconfined aquifers." *J. of Water and Wastewater*, 69, 73-79. (In Persian).
- 18- Fars Regional Water Organization. (1996). *Reports on Shiraz plain studies*, Shiraz. (In Persian)
- 19- Tehrani, K., and Nabavi, H. (1985). *Brochures for stratigraphic geology and Zagros geological reports*, Iran Surveying Organization, Tehran. (In Persian)
- 20- Parab consulting Eng. Co. (1993). *Feasibility studies on water table drawdown in southeastern Shiraz and its transfer to Sarvestan plain*, Vol. 3, Shiraz. (In Persian)
- 21- Fars Regional Water Organization. (2004). *Continued studies on Shiraz and Gharebagh plains at water year 81-82*, Ministry of Energy, Shiraz. (In Persian)
- 22- Kresic, N. (1997). *Quantitative solution in hydrology and groundwater modeling*, Lewis Pub., CRC Press, Boca Raton Inc., USA.