

شبیه سازی عددی آبخوان دشت تابباد با استفاده از MODFLOW و پیش بینی سناریوهای مدیریتی

بهزاد آزادگان^{1*}، حنان حنفی²، مریم وراوی پور³، حمید کاردان مقدم⁴

1. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
2. گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
3. گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
4. موسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، تهران، ایران.

چکیده

هدف تحقیق، مدل سازی کمی جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت و بررسی راهکارهای مدیریتی مقابله با افت تراز آب زیرزمینی، است. این پژوهش با استفاده از اطلاعات هیدروژئولوژیکی، هیدرولوژی، هواشناسی و مطالعات پایه منابع آب زیرزمینی، بررسی شد. مدل سازی کمی آب زیرزمینی، با استفاده از نرم افزار GMS و کد کامپیوتری MODFLOW انجام و سطح آب زیرزمینی، برای سال های 1389-1394 با 60 گام زمانی ماهانه، شبیه سازی گردید. واسنجی دستی مدل برای سال های 1389-1392 و صحت سنجی آن برای سال های 1392-1394 انجام شد. راهکارهای مدیریتی آبی، در قالب سه سناریو: 1- کاهش 10% برداشت از چاه ها با کاهش 5% تغذیه از جریان های برگشتی آب کشاورزی 2- کاهش 20% برداشت از چاه ها با کاهش 10% تغذیه ناشی از جریان های برگشتی آب کشاورزی 3- مقایسه دو سناریوی فوق، با وضعیت موجود سال های 1394-1399، پیش بینی گردید. نتیجه مدل سازی آبخوان برای دوره زمانی فوق، کسری مخزن 33/09- میلیون مترمکعب را نشان داد. ولی با اعمال 10% کاهش برداشت و کاهش 5% تغذیه، 21/38 میلیون متر مکعب در سال و با اعمال 20% کاهش برداشت و 10% کاهش تغذیه، 25/94 میلیون متر مکعب در سال، بر حجم بیلان آب، افزوده شد. با ادامه روند موجود، حجم کسری آبخوان، بیش از 54 میلیون مترمکعب، برآورد گردید.

کلید واژه ها : افت سطح آب، مادفلو، مدل سازی آب زیرزمینی، واسنجی

1. مقدمه

در سالهای اخیر که با رشد جمعیت و تنش های اقلیمی همراه بوده، بهره برداری بدون برنامه ریزی از منابع آب، باعث افت شدید منابع آب زیرزمینی، گردیده است. این موضوع سبب شد از سال 1384 با کسری بیش از 100 میلیارد متر مکعب آب در کشور، طرح تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی در قالب 15 پروژه تعریف گردد (Ministry of Energy, 2014). در تحقیقی، روند نوسانات سطح ایستابی آبخوان دشت تویسرکان همدان با کد MODFLOW بررسی و اقدام به تعریف دو سناریو گردید، در

¹ E-mail: bazad@ut.ac.ir

سناریوی اول، ادامه روند کنونی برداشت آب زیرزمینی و در سناریوی دوم، افزایش راندمان آبیاری به میزان 20 درصد در نتیجه کاهش برداشت‌ها بود. نتایج نشان دهنده، کاهش سطح ایستابی در پیزومترهای دشت، بوده است (Taheri Tizro, & Kamali., 2017). راهکارهای بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی به این مفهوم است که حجم تخلیه آبخوان به گونه‌ای کاهش یابد تا بتواند روند کاهش تراز آب زیرزمینی را به حداقل برساند و بهبود وضعیت کمی آبخوان، را ایجاد کند (Ketabchi and Ataie-ashtiani, 2015a). استفاده از شبیه‌سازی مدل آب زیرزمینی در واقع، فرم ساده شده‌ای از یک سیستم واقعی آبخوان، است که بطور تقریبی همبستگی بین عمل و عکس العمل هیدرودینامیکی را در یک سیستم ارائه می‌دهد (Wang and Yang, 2015). در پژوهشی، شبیه‌سازی آبخوان دشت لور اندیمشک، با استفاده از کد MODFLOW در نرم افزار GMS و ارزیابی پروژه پخش سیلاب جارمه، برای مدیریت آبخوان بررسی گردید. نتایج مدل آبهای زیرزمینی، نشان داد تغذیه مصنوعی علاوه بر افزایش تراز سطح ایستابی، توانسته بیلان منفی را کاهش داده و باعث بهبود تراز آب زیرزمینی آبخوان، شود (Nozarpour et al., 2014). در پژوهشی، از مدل عددی به منظور شبیه سازی آبخوان دشت روداب سبزوار بررسی شد. نتایج مدل نشان داد اختلاف اندک بیلان آب زیرزمینی آبخوان، در قیل و بعد از احداث سد، به علت تأثیرپذیری کم در اثر تغذیه سطحی، تقریباً مشابه است (Parsasadr et al., 2016). در تحقیقی اثر تعادل بخشی، با استفاده از ترکیب سه شاخص اعتمادپذیری، آسیب‌پذیری و مطلوبیت، اثر سناریوهای کاهش برداشت، تغذیه مصنوعی و بهینه‌سازی الگوی کشت، با استفاده از مدل MODFLOW، ارزیابی گردید (Kardan moghaddam et al., 2021). در پژوهشی وضعیت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت میناب، با استفاده از دو مدل MODFLOW و MT3DMS بررسی شد (Eskandari Damaneh et al., 2022). نتایج نشان داد، به علت حفر چاه های عمیق و نیمه عمیق در حالت پایه، بیشترین افت آبخوان منطقه به ترتیب برابر با قدر مطلق مقادیر 23/89 ، 12/87 ، 3/16 و 30/30 متر بوده و بیشترین میزان افزایش افت آب زیرزمینی، با گذشت زمان تحت سناریوهای 5 ، 10 و 15 درصد افزایش بهره برداری، به ترتیب برابر با قدر مطلق مقادیر 61/3 ، 59/5 و 63/2 متر و کاهش حجم آبخوان، تحت تأثیر این سناریوها به ترتیب 153/55 ، 160/86 و 168/17 میلیون مترمکعب، نسبت به شرایط پایه می باشد. ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر نوسانات آب زیرزمینی دشت هشتگرد، براساس سناریوهای RCP انجام شد نتایج تحقیقات، حاکی از برتری خوب مدل های آب زیرزمینی در شبیه‌سازی جریان، می باشد (Goodarzi and Mortazavizadeh 2020). هدف این تحقیق مدل سازی کمی جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت تایباد و بررسی راهکارهای مدیریتی برای مقابله با افت تراز آب زیرزمینی می باشد. مدل سازی و محاسبات عددی تراز آب زیرزمینی با تعریف مدل مفهومی، برای سال های 1389-1394، انجام شده است.

2. مواد و روش ها

2.1. منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی تایباد با وسعت 3008/58 کیلومترمربع و ارتفاع متوسط 1031 متر از سطح دریا، در جنوب شرق حوضه آبریز قره قوم، واقع شده است. محدوده تایباد به لحاظ تقسیمات سیاسی در جنوب شرق استان خراسان رضوی است و بخشی از شهرستان های تربت جام و تایباد را شامل می شود. آبخوان تایباد با وسعت 872/78 کیلومترمربع و تخلیه سالانه 130 میلیون مترمکعب در قسمت میانی - جنوب شرقی دشت، قرار گرفته است. به لحاظ جغرافیایی در محدوده ی 60 درجه و 11 دقیقه تا 60 درجه و 9 دقیقه طول شرقی و 35 درجه و 12 دقیقه تا 34 درجه و 36 دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. موقعیت آبخوان دشت تایباد به همراه پستی و بلندی های آن در شکل (1) نشان داده شده است. شیب عمومی دشت از غرب به شرق بوده و با توجه به مطالعات انجام شده ، آبخوان تایباد از نوع آبخوان آزاد است. با توجه به آمار 30 ساله منتهی به سال 1395، دشت تایباد دارای دمای میانگین 15/8 سانتیگراد و متوسط بارش 154/3 میلیمتر است.

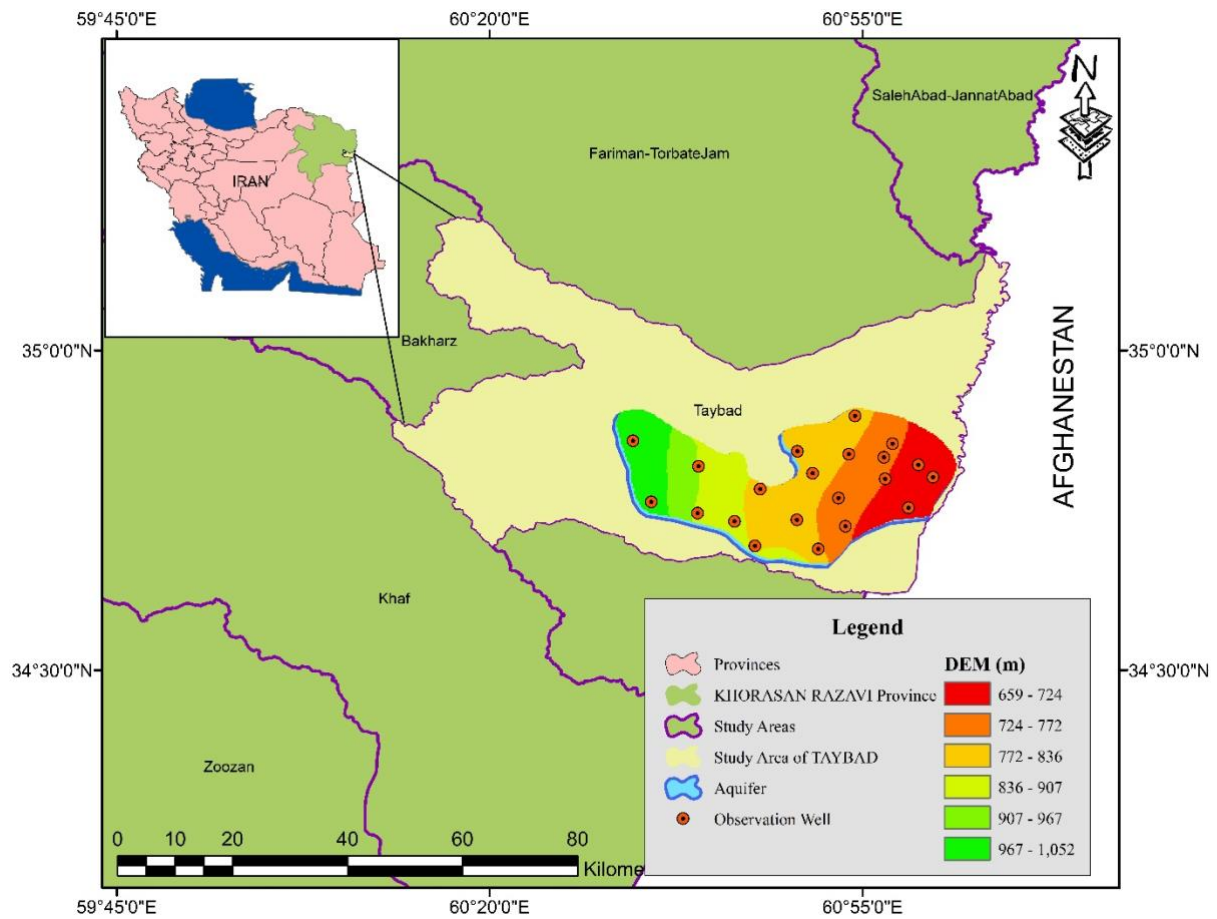


Figure 1. Map of the location of the Taibad study area and its aquifer in Razavi Khorasan province and Iran

Table 1- Characteristics of the cultivation pattern of the study area of Taybad Plain

Group	Crop name	Area(ha)	Water consumption(m3/ha)			
			Traditional irrigation	New irrigation	New irrigation efficiency(percent)	
Agricultural	wheat	7020	6250	5400	85	
	atmosphere	5800	5300	4500	85	
	canola	235	5800	5200	80	
	cotton	1595	11000	9500	90	
	Beans	150	11400	10200	80	
	watermelon	1850	9400	7400	90	
	Melon	5600	8400	7100	90	
	Alfalfa	75	14200	12000	80	
	fodder corn	1740	10300	8300	90	
	Cumin	2230	6300	5100	80	
	Herbs	23	3400	2800	75	
	Saffron	6850	3900	3100	85	
	Garden	Apple	16	8500	7800	70
		price plum	75	9100	7800	70
Nucleated	Apricot				2	
	cherry				2	
	cherry	170	12000	7000	70	
	green plum					
	Peach					
	Nectar grape	170	11000	6700	70	
	Pistachio	5300	7400	5800	75	
	almonds	140	5000	4000	70	
	Damask rose	375	6000	5100	80	
	jujube	14	9500	8300	85	

نیاز آبی محصولات و الگوی کشت منطقه

باتوجه به اینکه عمده فعالیت مردمان ساکن در منطقه، کشاورزی بوده و منبع اصلی در آمد مردم منطقه را کشت گیاهان زراعی آبی و دامپروری، تشکیل می‌دهد، برای تعیین میزان آب مصرفی بخش کشاورزی منطقه باید نیاز آبی و آبیاری محصولات مختلف محاسبه شود. برای تعیین نیاز آبی و نیاز آبیاری محصولات زراعی در منطقه لازم است سطح زیر کشت محصولات زراعی مختلف در منطقه مشخص باشد. برای تعیین سطح زیر کشت هر یک از محصولات زراعی-آبی و نیاز آبی آنها، آمار و اطلاعات مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان تایباد و شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، جمع آوری شد که خلاصه آن در جدول (1) نشان داده شده است.

2.3. هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

سفره آب زیرزمینی یا آبخوان به لایه یا منطقه قابل نفوذی در عمق خاک اطلاق می‌گردد که آب در آن می‌تواند جریان یابد. آبخوان همچنین باید توانایی آبدهی خوبی، دارا باشد. بطور کلی شکل سطح ایستابی غالباً از شکل سطح زمین، تبعیت می‌کند. پمپاژ از چاه های حفر شده درون آبخوان، نفوذ بارش و آب برگشتی کشاورزی مهمترین عوامل تغییرات ارتفاع سطح ایستابی، هستند، این تغییرات را بر حسب زمان به صورت نمودارهایی به نام هیدروگراف نشان می‌دهند. عمق سطح آب زیرزمینی را حدفاصل توپوگرافی زمین و سطح ایستابی آب زیرزمینی، بخش غیر اشباع می‌گویند. عمق سطح آب از مولفه های مهم در مطالعات آب زمین شناسی است که این عمق با تغییرات تراز آب زیرزمینی، دائماً تغییر می‌کند. عمق سطح آب در بخش غربی و جنوب غربی بیشتر است و با حرکت به سمت شرق دشت تایباد از عمق آب زیرزمینی، کاسته می‌شود. بیشترین مقدار عمق سطح آب در غرب که ورودی و قسمت مرتفع دشت به لحاظ توپوگرافی میباشد، 180 متر است و کمترین عمق برخورد به آب

زیرزمینی در نزدیک مرز قسمت شرقی، 20 متر است. منحنی های تراز آب زیرزمینی به این گونه که آب از تراز بیشتر به سمت تراز کمتر می رود ، جهت جریان آب های زیرزمینی را مشخص می کنند. در آبخوان آبرفتی دشت تایباد که دارای افت مستمر و قابل توجه می باشد، نقشه تراز سطح آب زیرزمینی، شکل(2) و نقشه خطوط هم عمق آب زیرزمینی آبخوان در شکل (3) بر اساس داده های مهر سال ۱۳۸۹، تهیه و ارائه شده است. رقوم منحنی های تراز آب زیرزمینی این محدوده در نواحی شمال شرق ، شمال غرب ، غرب و جنوب غربی دارای مقدار حداکثر ۸۶۰ متر است و هرچه به سمت مرکز و شرق آبخوان حرکت می کنیم، به علت موقعیت و میزان بهره برداری چاه های کشاورزی، به مقدار حداقل ۶۳۰ متر کاهش می یابد. این خطوط بیان کننده حرکت آب زیرزمینی از قسمت شمالی و جنوبی و غربی آبخوان به سمت مرکز و شرق آبخوان، می باشد.

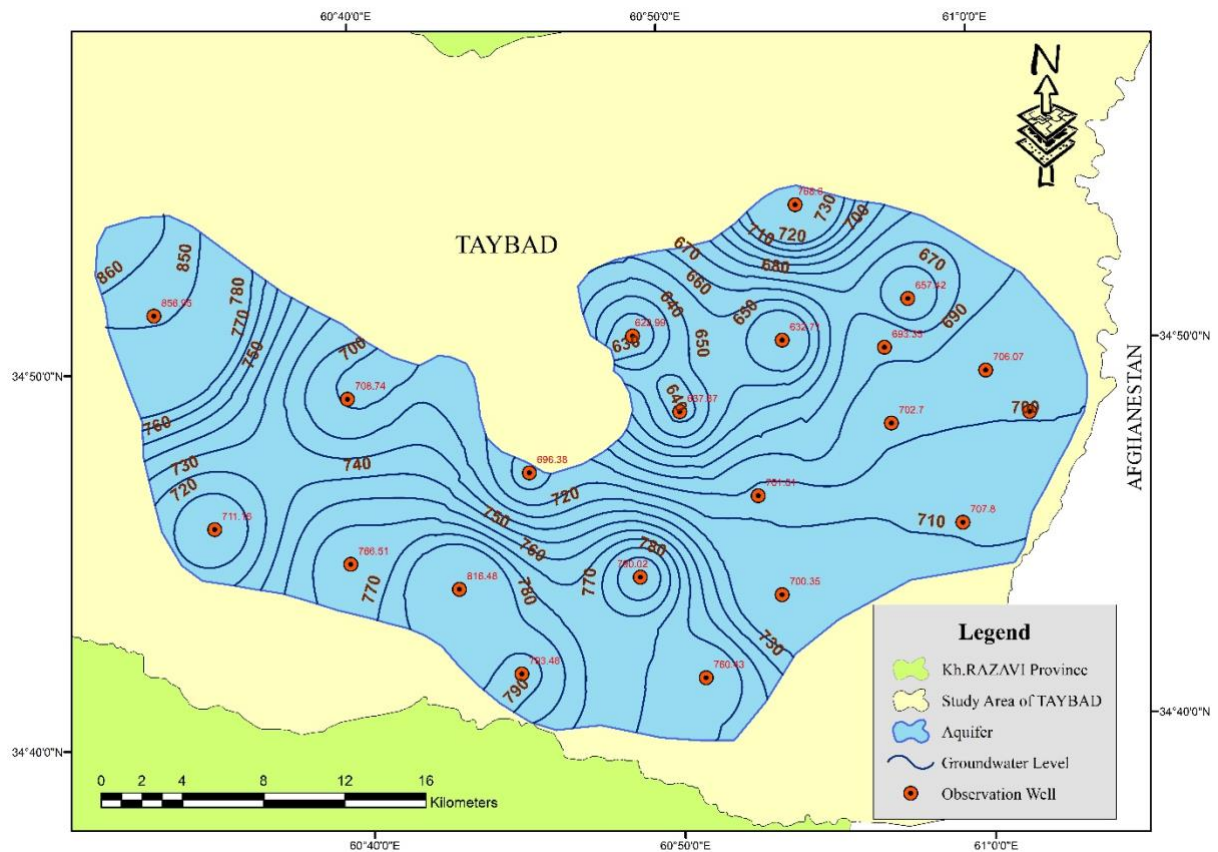


Figure 2- Map of the underground water level lines of Taibad aquifer (based on the water level in October of 2019)

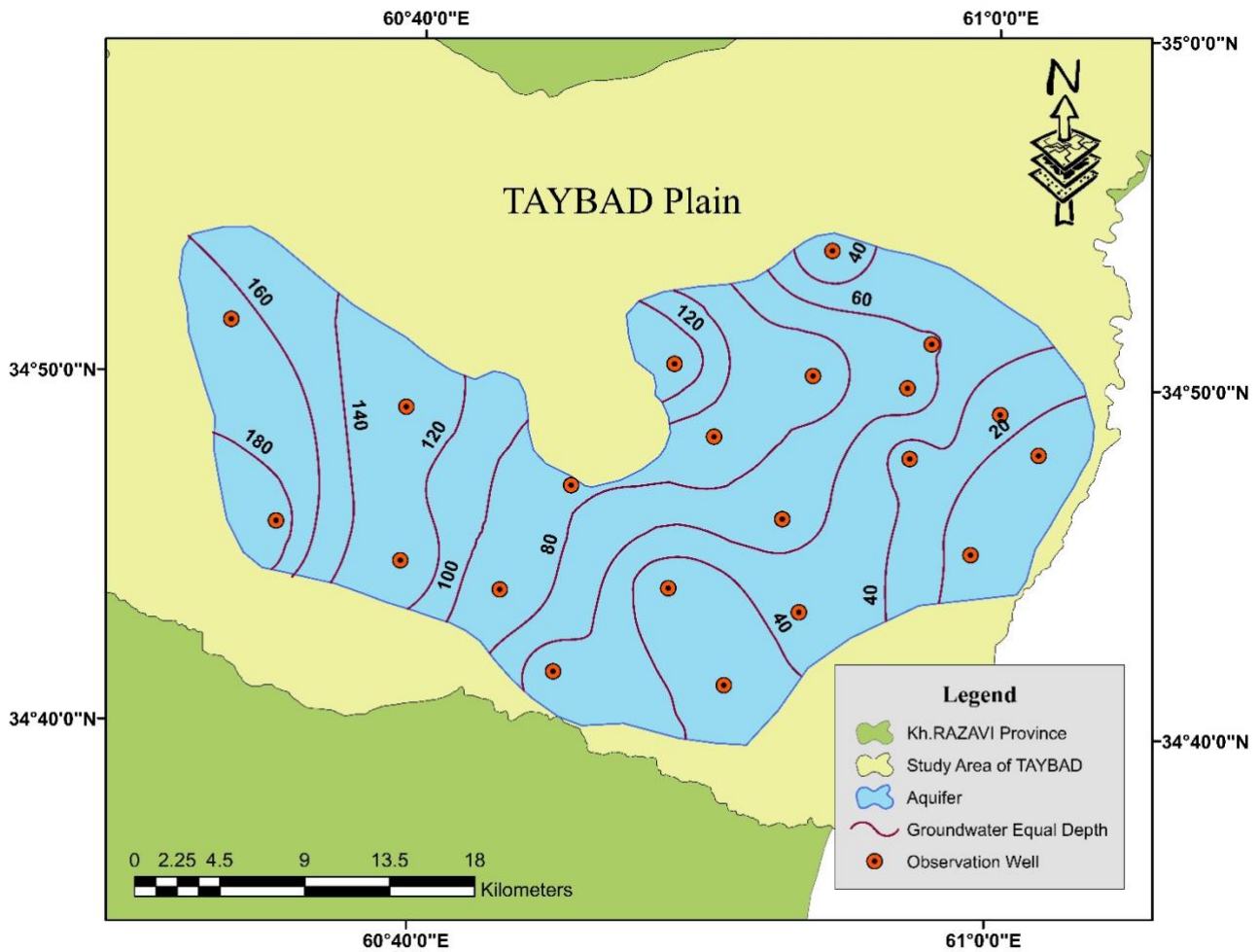


Figure 3- Map of equal depth lines of underground water of Taybad aquifer (based on water level in October of 2019)

2. 4. مدلسازی آبخوان

2. 4. 1. ساخت مدل مفهومی

در این تحقیق برای مدلسازی جریان آب زیرزمینی از نرم افزار GMS ، تحت کد MODFLOW ، استفاده شد. این مدل، جریان را به صورت سه بعدی از روش تفاضل محدود، در حالت ماندگار و غیرماندگار، شبیه سازی می کند (Goodarzi et al 2020). برای ایجاد مدل جریان در نرم افزار GMS از روش مدل مفهومی استفاده شد. برای ساخت مدل مفهومی و ایجاد اطلاعات و لایه های اولیه از ابزار اطلاعات جغرافیایی (GIS) و ماژول ArcMap استفاده گردید. موقعیت منابع تغذیه و تخلیه مانند موقعیت چاهها و تغذیه سطحی، پارامترهای کالیبره از قبیل هدایت هیدرولیکی، مرزهای مدل و سایر اطلاعات مورد نیاز برای مدلسازی در سطح مدل مفهومی با تعریف پوشش های جداگانه به نرم افزار، معرفی و با ایجاد شبکه، مدل مفهومی به مدل شبکه ای، تبدیل شد. مادفلو برای حل مسائل، از شبکه سلول مرکزی تفاضل محدوده، استفاده می کند. با توجه به خصوصیات مربوط به آبخوان دشت تایباد و استفاده از تجارب سایر محققان، شبکه ای با سلولهایی به ابعاد 250×250 متر در یک لایه برای محدوده مطالعاتی، تهیه گردید. اطلاعات رقومی توپوگرافی سطح زمین از داده های DEM، با استفاده از نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی، استخراج و به مدل معرفی، شد. منحنی های رقوم سنگ کف آبخوان به علت نداشتن داده از روش دستی و به کمک چاه هایی که به سنگ بستر برخورد کرده بودند، درونیایی و ایجاد شده است. تراز اولیه آب زیرزمینی، به کمک داده های تراز آب زیرزمینی مهرماه 1389 به عنوان شرایط اولیه، به مدل معرفی شده است. برای مشخص کردن شرایط مرزی، بار هیدرولیکی یا میزان جریان یا ترکیبی از آنها به سلولهای مرزی، اختصاص داده شد. از جمله راه های تعیین نوع مرز، استفاده از نقشه همتراز و نقشه خطوط جریان آب زیرزمینی است. مرزهایی را که خطوط جریان به صورت عمود (یا نزدیک به عمود) بر آنها قرار دارد، برحسب جریان، میتوان به عنوان مرز ورودی یا خروجی در نظر گرفت و هر کجا که خط جریان با مرز موازی باشد، میتوان مرز نفوذناپذیر، دانست. به منظور اجرای درست و دقت مناسب مدل ماندگار در آبخوان تایباد، پارامترهای

نفوذ جریان برگشتی چاه های بهره برداری و جریان ورودی آب زیرزمینی به عنوان ورودی های سفره و پارامترهای پمپاژ از چاه ها به عنوان خروجی از آبخوان، در نظر گرفته شدند

2. 4. 2. مدل غیرماندگار

مدل سازی جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت تایباد در شرایط غیرماندگار، با توجه به آمار و اطلاعات موجود بر اساس یک دوره پنج ساله (سال آبی 1389-1394) تهیه شده است. تقسیم بندی زمانی دوره ها یا گام های زمانی در حالت غیرماندگار در هر سال، به صورت ماهانه بوده، به گونه ای که طول هر یک از گامها برابر با تعداد روزهای هر ماه می باشد، به عنوان مثال برای اسفند طول آن 29 روز و برای فروردین 31 روز، در نظر گرفته شده است. تمامی اطلاعات وابسته به زمان در مدل سازی غیرماندگار، مانند تراز آب زیرزمینی در چاه های مشاهده ای برای ماه های مختلف، تخلیه آب زیرزمینی توسط چاه های بهره برداری، تغذیه آبخوان ناشی از جریان های برگشتی آب مصرفی کشاورزی، در گام های زمانی مختلف، با فرمت مناسب، به مدل، وارد گردیده است.

2. 4. 3. سناریوهای مدل سازی

هدف این پژوهش و مدل سازی مذکور، بررسی وضعیت آبخوان و مصارف کشاورزی، می باشد. با توجه به الگوی کشت منطقه که در جدول (1) ارائه شده، مشخص است که در این منطقه با اقلیم گرم و خشک، وضعیت بحرانی ممنوعه آبخوان، محصولات پر آبی مانند هندوانه، خربزه، پنبه، یونجه و ... کشت می شوند. در منطقه ای با وضعیت بحرانی آب، اکثر 38600 هکتار، سطح زیرکشت اراضی آبی آن، با شیوه های سنتی (آبیاری غرقابی) آبیاری می شوند. با مد نظر قرار دادن تغییر الگوی کشت در جهت الگوی کم مصرف تر و همچنین تغییر شیوه های آبیاری از سنتی به روش های نوین برای ارتقای راندمان آبیاری، کاهش برداشت از آبخوان توسط چاه های کشاورزی به مقدار 10 و 20 درصد با کاهش تغذیه جریان های برگشتی آب کشاورزی به مقدار 5 و 10 درصد، سناریوهای منطقی برای بررسی هستند. همچنین ادامه روند فعلی و موجود، بررسی خواهد شد تا با اعمال سناریوها و خروجی نتایج، تجزیه و تحلیل مناسب و مدیریت صحیحی برای آبخوان بحرانی ممنوعه محدوده مطالعاتی تایباد، اتخاذ گردد. آخرین گزارش مطالعه بیلان آب زیرزمینی منتشر شده منتهی به سال 1390 می باشد. گزارش مطالعات بیلان آب زیرزمینی در بازه های زمانی 1390-1395 و 1395-1400 منتشر نشده است. لذا پیش بینی مربوط به سال های آماري گذشته است که با نتایج این پژوهش، مقایسه خواهند شد.

3. نتایج و بحث

3. 1. شبیه سازی مدل مفهومی

پس از ساخت مدل مفهومی و تبدیل آن به مدل عددی، شبیه سازی ایجاد شده با داده های تراز آب زیرزمینی مهرماه 1389 به عنوان شرایط اولیه، اجرا شد. قبل از اجرا توسط گزینه Run Check که یکی از امکانات نرم افزار GMS است، خطاهای احتمالی، برطرف شده، بعد مدل، اجرا گردید که با واسنجی دستی، داده های هدایت هیدرولیکی منطقه و بار هیدرولیکی شرایط مرزی و جبهه های ورودی و خروجی، کالیبره شده و مقادیر هدایت هیدرولیکی، بهینه و برآورد شدند. برای آبخوان مورد نظر مقادیر حداقل چهار متر بر روز و حداکثر 41 متر بر روز، بدست آمده و خطای قابل قبول مدل سازی یک متر، در نظر گرفته شده است. در شکل (4) خروجی نهایی مدل ماندگار و همچنین در جدول (2)، مقادیر شبیه سازی برای چاه های مشاهده ای، آورده شده است.

Table 2. Characteristics of observation wells in the steady state model

Name	Observation head(m)	Obs.head interval(m)	Computed head(m)	Residual head(m)
Ekteshafi Polband	820.1	1	819.38	-0.7262
Asadabad	793.48	1	793.64	0.1628
Darband				
Charborji	766.51	1	766.3345	-0.1755
Hajjabad	760.43	1	760.111	-0.319
Dogharoun(1)	707.8	1	708.0876	0.2876
Dogharoun(2)	703.4	1	703.8734	0.4734
Sizdahmetri	705.06	1	704.4655	-0.5945
Kariz	693.35	1	693.8383	0.4883

KalatehAgha	696.38	1	696.0194	-0.3646
Shamsabad	701.01	1	701.6401	0.6301
ArzanchehOliya	622.99	1	623.201	0.211
Rizeh	708.74	1	709.2912	0.5512
Jafarabad	701.7	1	701.105	-0.595

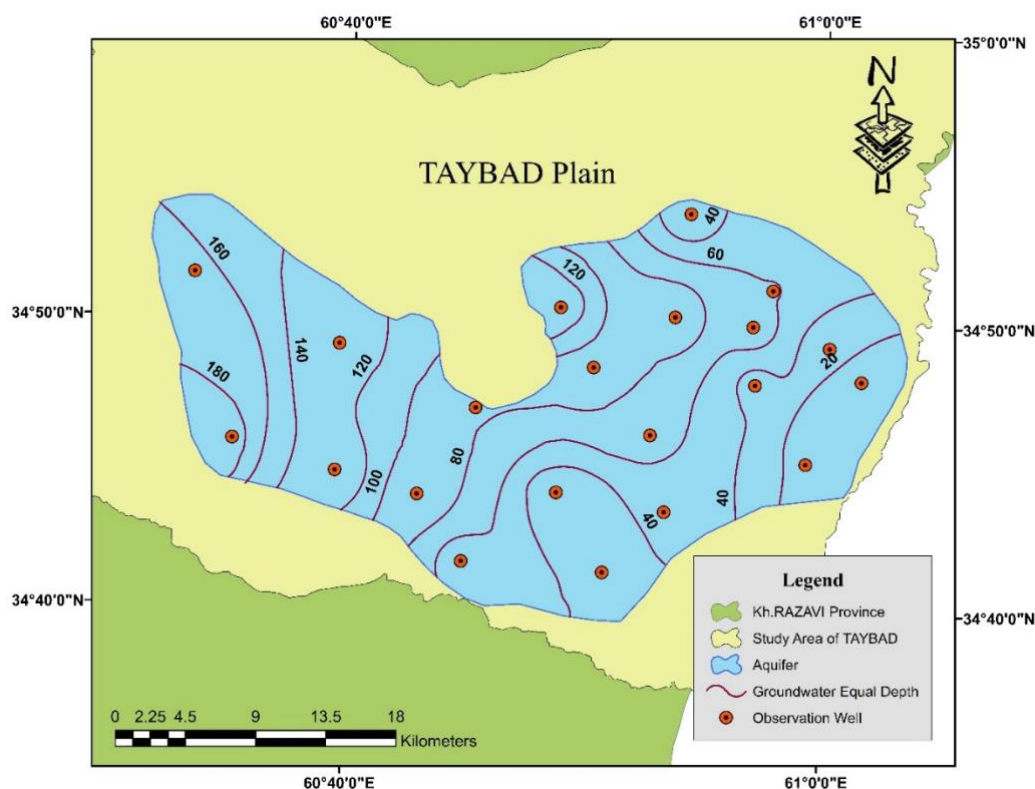


Figure 4. The final and calibrated model of Taybad aquifer in steady state

3.2. شبیه سازی مدل غیرماندگار

در حالت غیرماندگار، واسنجی مدل، با استفاده از داده های ماهانه تراز آب زیرزمینی مشاهده ای، در بازه زمانی، سال های 1389-1392 (36 گام زمانی) انجام شد. در این مرحله، هدف اصلی، تعیین مقدار آبدهی ویژه آبخوان مورد مطالعه، می باشد. واسنجی به روش دستی، انجام گرفت. مقادیر آبدهی ویژه، به نحوی تنظیم و ادامه یافت که در هر گام زمانی، مقادیر تراز آب زیرزمینی شبیه سازی و مشاهداتی، به هم نزدیک و تطابق داشته باشند تا نمودار میله رنگی پیژومترها به حد خطای قابل قبول برسد و سبز یا زرد رنگ شود. در انتها برای آبدهی ویژه آبخوان، مقادیر حداقل 0/04 و حداکثر 0/14 بدست آمد و مدل غیر ماندگار، واسنجی گردید. سپس مدل توسط 24 گام زمانی انتهایی، داده های ماهانه تراز آب زیرزمینی 1394-1392، مورد صحت سنجی، قرار گرفت و از صحت و سقم نتایج مدل، اطمینان حاصل گردید. همچنین نمودارهای تراز آب زیرزمینی شبیه سازی شده و مشاهداتی در طول دوره واسنجی و صحت سنجی، مقایسه شدند که در شکل های (5)، (6) و (7) برای چند چاه مشاهده ای به عنوان نمونه، نمایش داده شده است.

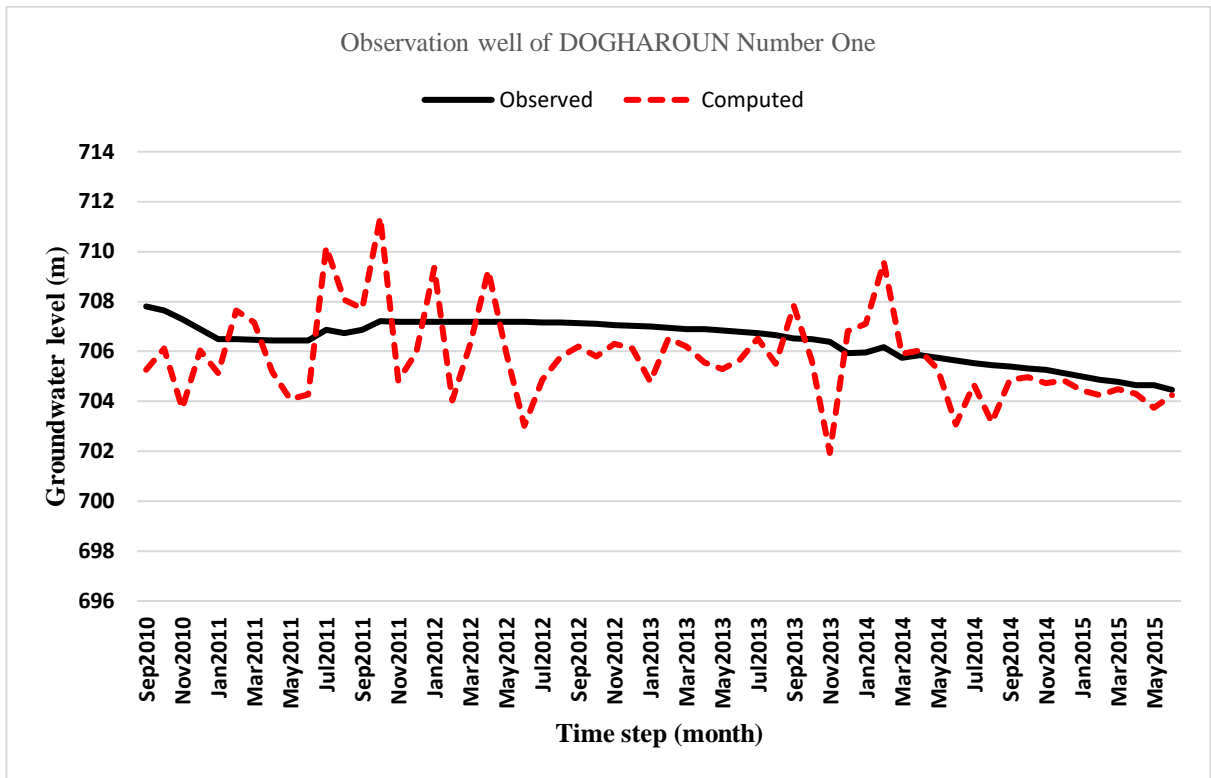


Figure 5. Observational and calculated groundwater level diagram for Dogharon piezometer 1

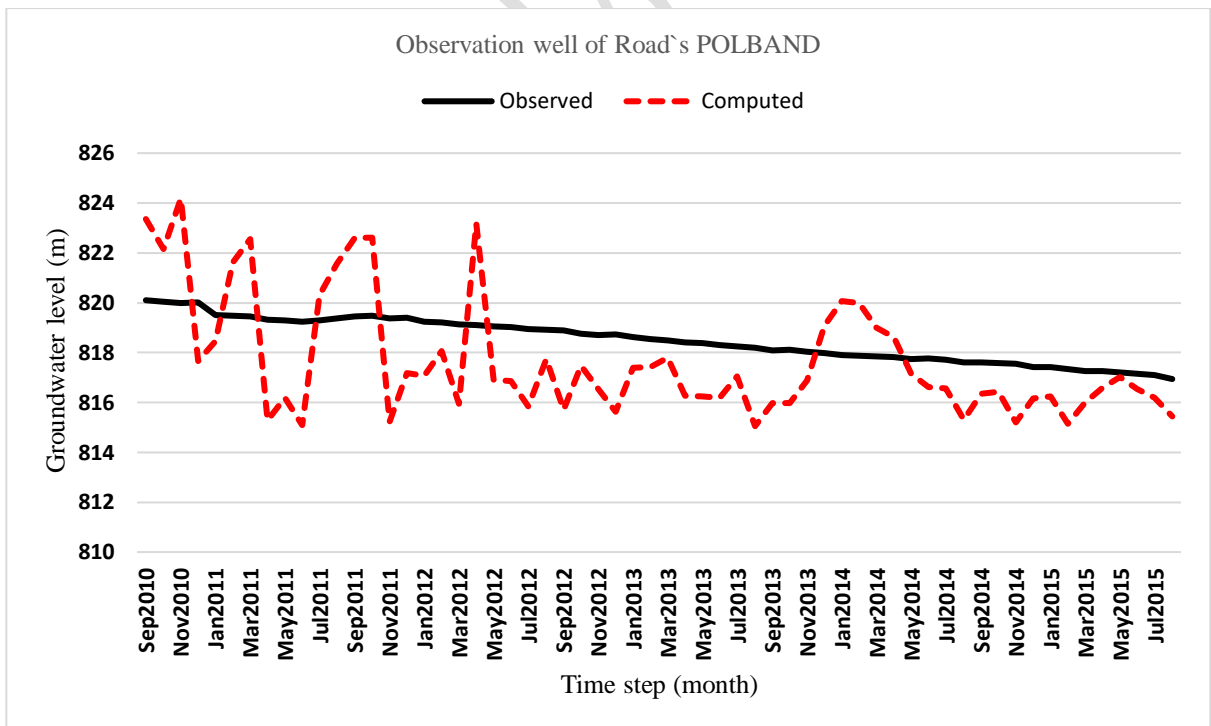


Figure 6- Observational and calculated underground water level diagram for the piezometer of Pleband road

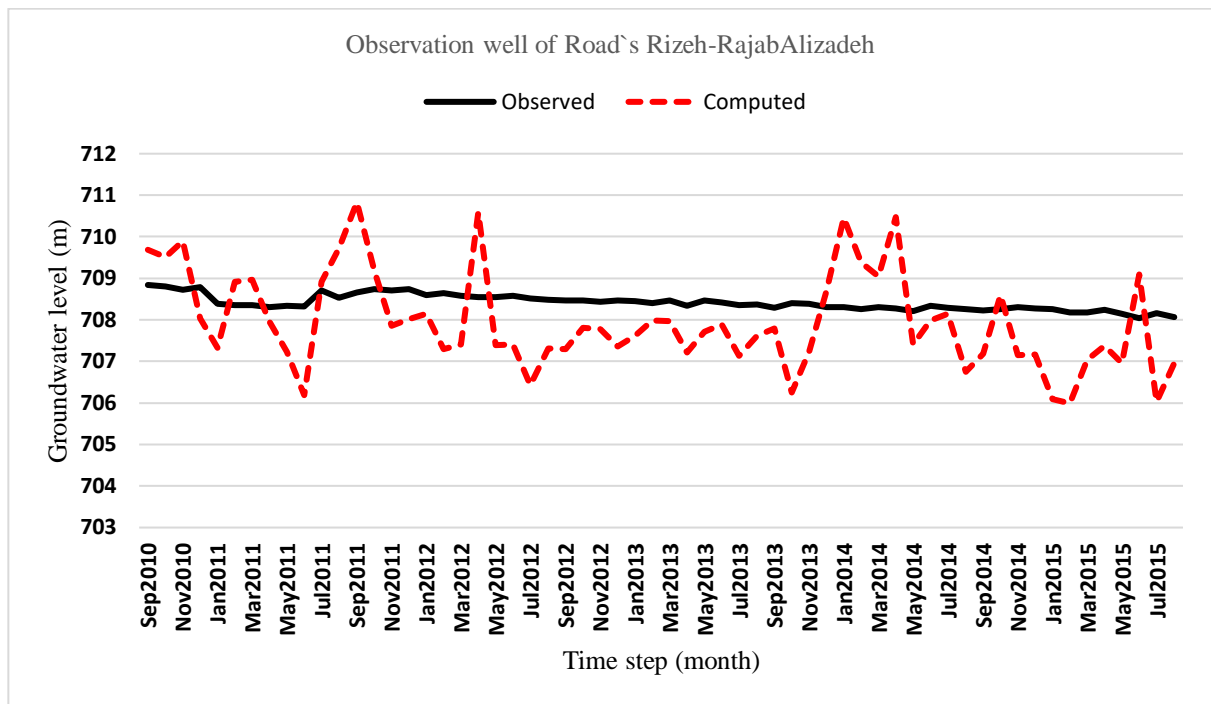


Figure 7. Observational and calculated groundwater level diagram for Rizeh-Rajabalizadeh piezometer

3.3. معیارهای ارزیابی نتایج شبیه سازی مدل

برای مقایسه و ارزیابی نتایج شبیه سازی مدل از بخش های توسعه ای نرم افزار GMS مانند هدف کالیبراسیون و واسنجی مدل (Calibration Target)، مقدار متوسط خطا (Mean Error)، میانگین خطای مطلق (Mean Absolute Error)، میانگین مجذور مربعات خطا (Root Mean squared Error) و نمایش نمودار پراکنندگی بین داده های محاسباتی و مشاهداتی شد که در جدول 3، ارائه گردیده است. در شبیه سازی حالت ماندگار، میانگین خطا 0/429 و میانگین مجذور مربعات خطا 0/46 بدست آمد که این مقادیر کمتر از یک بوده و نشان دهنده واسنجی مناسب و دقیق مدل می باشد. در حالت غیرماندگار به علت تغییرات وضعیت هیدروژئولوژیکی آبخوان ها و سطح آب زیرزمینی در گام های زمانی، مقادیر خطای آن بیشتر از حالت ماندگار است. با توجه به داده های تراز آب زیرزمینی محاسباتی و مشاهداتی، مدل ماندگار از همبستگی خوب و مناسبی، برخوردار است.

Table 3- Results of evaluation criteria for aquifer modeling in GMS

Model	ME	MAE	RMSE
Steady	0.002	0.429	0.466
Unsteady	1.285	1.775	4.04

3.4. هیدروگراف آبخوان

برای بررسی آبخوان ابرفتی دشت تایباد، هیدروگراف معرف تغییرات سطح آب زیرزمینی از مهرماه ۱۳۸۹ لغایت شهریور ماه ۱۳۹۴ ترسیم گردید. میزان افت آب زیرزمینی در طول دوره آماری مذکور بر اساس هیدروگراف واحد ترسیمی برابر 3/09 متر که معادل افت سالانه سطح آب زیرزمینی برابر 0/612 متر، بدست آمده که در شکل (8) ارائه شده است.

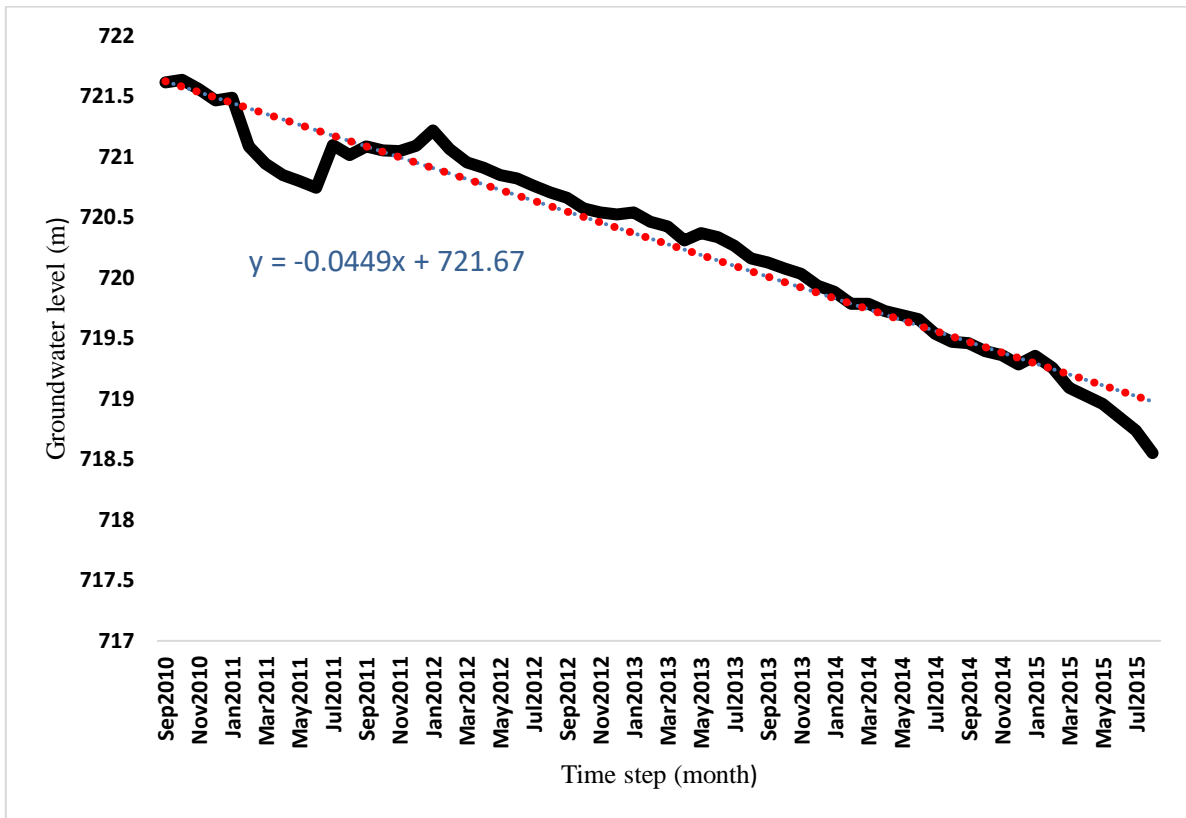


Figure 8. Representative Hydrograph of Taibad Plain alluvial aquifer in the mentioned time period

3.5. سناریوهای مدیریتی

از عوامل مهم استفاده از این مدل ها، کاربرد آنها برای مدیریت و سیاست های تصمیم گیری برای آینده آبخوان، می باشد. به کمک مدلسازی می توان، نتیجه راهکارهای مختلف را با صرف کمترین هزینه مشاهده کرد. لذا، پس از ورود کامل اطلاعات به نرم افزار و کالیبره نمودن مدل در دو بخش ماندگار و غیرماندگار، مطمئن شدن از اعتبارسنجی مدل تهیه شده، مدل توانایی پیش بینی راهکارهای مختلف مدیریتی، اجرایی و بررسی تاثیر آنها بر آبخوان در آینده را، خواهد داشت. سیاست های مورد نظر می توانند از نوع تغییرات برداشت از آبخوان یا تغییرات تغذیه به آبخوان باشند. با توجه به بیلان منفی آبخوان و بررسی کشاورزی منطقه، نتیجه گیری شد که بر اساس وضعیت اقلیم منطقه و میزان منابع آب زیرزمینی موجود، الگوی کشت نامناسبی از لحاظ میزان مصرف آب و شیوه های آبیاری سنتی با راندمان پایین در دشت محدوده مورد مطالعه، به کارگرفته شده است. لذا با هدف تغییر الگوی کشت به الگویی کم مصرف تر و تغییر شیوه های آبیاری از سنتی به نوین در جهت افزایش راندمان آبیاری، سه سناریو بشرح ذیل تعریف شد: 1- کاهش 10% برداشت چاه های کشاورزی با کاهش 5% تغذیه ناشی از جریان های برگشتی آب کشاورزی به آبخوان، 2- کاهش 20% برداشت چاه های کشاورزی با کاهش 10% تغذیه ناشی از جریان های برگشتی آب کشاورزی به آبخوان 3- ادامه وضعیت و روند کنونی، برای دوره پنج ساله، (1399 - 1394). بعد از بررسی نتایج واسنجی و صحت سنجی، اثرات آن ها پیش بینی و بشرح ذیل ارائه، گردیده است.

3.5.1. سناریوی اول: ادامه وضعیت و روند کنونی

در این سناریو فرض شده، کلیه عوامل و پارامترها تا پنج سال آینده تغییر، قرار نمی گیرند. با این شرایط و وضعیت، مدل برای سال های 1399-1394 اجرا شده است. در اثر این سناریو سطح آب زیرزمینی بیشتر از 3 متر دیگر، افت خواهد کرد و حجم کسری آبخوان به بیش از 54 میلیون مترمکعب، خواهد رسید.

3.5.2. سناریوی دوم: کاهش 10 درصدی برداشت چاه های کشاورزی به همراه کاهش 5 درصدی تغذیه سطحی از جریان های برگشتی آب کشاورزی

با توجه به بررسی ها و پیشنهاد تغییر الگوی کشت به زراعت های آبی کم نیاز و افزایش راندمان آبیاری با سیستم های آبیاری نوین، این سناریو انتخاب شد. از مقادیر تخلیه چاه های کشاورزی 10% و از پلی گون های تغذیه ناشی از جریان های برگشتی آب کشاورزی، مقدار 5% کاسته شده است. نتایج مدل سازی نشان داد که، شیب تراز آب زیرزمینی، مثبت شده و از مقدار 3/09 متر افت آبخوان در دوره شبیه سازی، به افت 1/1 متر نسبت به ابتدای دوره مدل سازی (مهر 1389) می رسد. در این سناریو به مدت پنج سال، نزدیک به 2 متر افت آبخوان، جبران و مقدار 21/38 میلیون مترمکعب در سال، به حجم بیلان، افزوده می شود.

3.5.3. سناریوی سوم: کاهش 20 درصدی برداشت چاه های کشاورزی به همراه کاهش 10 درصدی تغذیه سطحی از جریان های برگشتی آب کشاورزی

در این سناریو، نتایج مقادیر تخلیه و تغذیه چاه ها، نشان می دهد در کاهش 20% تخلیه چاه های کشاورزی به همراه کاهش 10% تغذیه ناشی از جریان های برگشتی آب کشاورزی، میزان افت تراز آب زیرزمینی، مثبت نمی شود ولی به مقدار قابل توجهی از افت آن، کاسته می شود به گونه ای که از افت 3 متر در دوره شبیه سازی به مقدار افت، 0/7 متر، می رسد. با اعمال این سناریو در پنج سال 2/5 متر افت آبخوان، جبران گردیده و مقدار 25/94 میلیون مترمکعب در سال به حجم آن اضافه، خواهد شد. نتایج سه سناریوی فوق الذکر، در هیدروگراف شکل (9) نشان داده شده است.

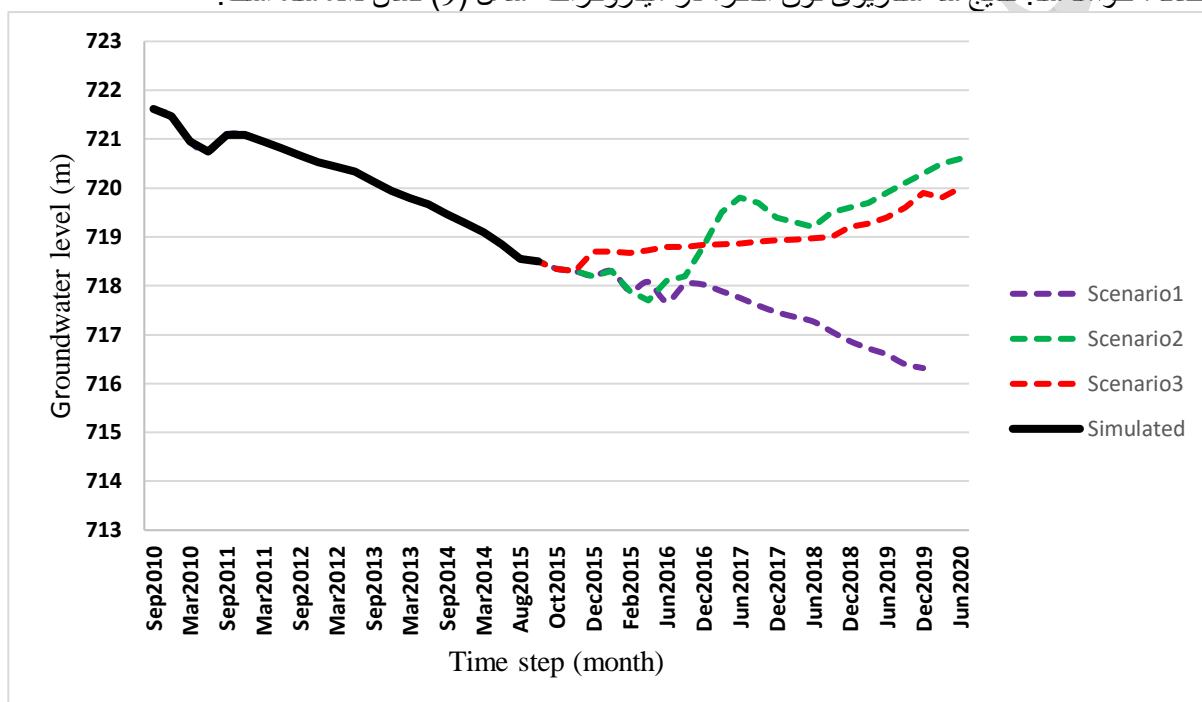


Figure 9. Diagram of the results in prediction of management scenarios on the simulated model of Taibad aquifer

6. نتیجه گیری

هیدروگراف واحد دشت تایباد در پنج سال (1394-1389) نشان دهنده افت سطح آب آبخوان، است. با توجه به هیدروگراف و بیلان دشت، مدلی برای حالت مفهومی و غیرماندگار شبیه سازی شد. شکل هیدروگراف، گویای نا مناسب بودن مصرف آب و تعیین کننده آن است. آبخوان آبرفتی دشت تایباد از نوع آزاد است که در وضعیت خالی شدن بوده و از تغذیه سالانه، حتی در سالهای پر بارش، تاثیرپذیری، ندارد. برای تهیه مدل جریان آبخوان با توجه به مطالعات بیلان منابع آب زیرزمینی و پراکنش چاه های مشاهده ای، از 13 حلقه چاه مشاهده ای، استفاده گردید. نتایج حاصل از بررسی شیب تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی در بازه زمانی 1394 - 1389 نمایانگر، سیر نزولی تراز آب زیرزمینی آبخوان، به دلایل استفاده زیاد و نادرست از منابع آب زیرزمینی و کاهش تغذیه سفره، می باشد. سطح تراز سفره آب زیرزمینی در طی این پنج سال با توجه به هیدروگراف واحد منطقه، به طور متوسط 3/09 متر افت کرده که مبین برداشت بیش از حد و غیر اصولی از سفره آب زیرزمینی است. خشکسالی های شدید چندین ساله، باعث تشدید روند افت سطح آب سفره در منطقه شده و وضعیت سفره را در حالت ممنوعه بحرانی، قرار داده است. اگر به مصرف منابع آب زیرزمینی در این دشت، دقت شود، ملاحظه می گردد که تقریباً تمام آب موجود، صرف کشاورزی می شود. با نگاهی اجمالی به وضعیت کشاورزی منطقه، درمی یابیم که محصولاتی با نیازآبی بسیار بالا مانند هندوانه، خربزه، یونجه و ... در سطوح وسیع، کشت، می شوند. با توجه به تغییر الگوی کشت و افزایش کارایی مصرف آب

آبیاری، سناریوهای ترکیبی کاهش برداشت چاه های کشاورزی (با توجه انتخاب الگوی کشت هایی با نیاز آبی پایین) به همراه کاهش تغذیه سطحی ناشی از جریان های برگشتی کشاورزی (با کاربرد شیوه های نوین آبیاری) انتخاب و بررسی شدند. پس از اطمینان از اعتبار مدل ساخته شده از بازگویی شرایط محدود مورد مطالعه، فرایند پیش بینی مدل، آغاز می گردد. نتایج پیش بینی آبی، مشخص می کند که با شرایط فعلی، شیب منفی سطح آب آبخوان، ادامه خواهد داشت و در پایان دوره پیش بینی (1399) حجم کسری آبخوان به بیش از 54 میلیون مترمکعب خواهد رسید. لذا باید با متعادل کردن مقادیر تغذیه و تخلیه آبخوان از طریق مدیریت صحیح آن، از افت بیشتر سطح آب، جلوگیری گردد. بدین منظور سناریوهای ذکر شده در قسمت های قبل، به مدل اعمال گردیده و نتایج آنها بررسی شد. در سناریوی اول با کاهش 10 درصدی برداشت چاه های کشاورزی به همراه کاهش 5 درصدی تغذیه ناشی از جریان برگشتی آب کشاورزی، مقدار بیلان منفی مخزن، جبران نمی شود ولی به مقدار $21/38$ میلیون مترمکعب در سال به حجم بیلان، افزوده می شود. با اعمال سناریوی دوم با کاهش 20 درصدی برداشت چاه ها، به همراه کاهش 5 درصدی تغذیه سطحی، مقدار $25/94$ میلیون مترمکعب در سال، به حجم آبخوان، اضافه می شود.

7. منابع

- Casanova, J., Devau, N. and Pettenati., M. (2016). Managed aquifer recharge: An overview of issues and options. Springer, New York. 413-434.
- Eskandari Damaneh H, Zehtabian G, Khosravi H, Azarnivand H, Barati A. (2022). The Future of Temporal and Spatial Variations in the Quantitative and Qualitative Parameters of Groundwater in Arid Regions: A Case Study of Minab Plain, Environmental Erosion Research, 12(3), 78-99. (In Persian).
- Goodarzi, M., & F. S. Mortazavizadeh., (2020). Assessing climate change impacts on groundwater fluctuations using RCP scenarios: A case study of Hashtgerd plain. Iranian journal of Eco hydrology. 7(3), 801-814. (In Persian).
- Hamze, S., Bagherpour, Z., Delghandi, M & Kardan Moghaddam, H. (2018). Risk assessment of climate change impacts on groundwater level (Case study: Gotvand Aghili aquifer), Iranian Journal of Eco Hydrology, 5(1), 111-122. (In Persian).
- Kardan Moghaddam, H, Banihabib, M. E., & Javadi, S. (2017). Assessment of artificial recharge on aquifer restoring using sustainability index, Iranian Journal of Eco Hydrology, 4(4), 1241-1253. (In Persian).
- Ketabchi, H., & Ataie-Ashtiani, B. (2015a). Assessment of a parallel evolutionary optimization approach for efficient management of coastal aquifers. Environmental Modelling & Software, 74, 21-38.
- Ministry of Energy. (2014). Groundwater Reclamation and Balancing Plan, 5th Directive: Blockage of unauthorized wells, prevention of over-harvesting of water resources (In Persian).
- Nozarpour, L. Chit Sazan, M. Farhadi Manesh, A. (2014). Evaluation of the hydraulic connection of the Lor Andimeshk plain aquifer and the Dez river using the MODFLOW model. Advanced applied geology. (In Persian).
- Parsasadr, H, Mohammadzadeh, H. & Naseri. H.R (2016). Numerical simulating of Sabzevar Roudab aquifer and checking of influences of constructing Sabzevar Roudab dam on it. Journal of Water and Soil Conservation Research, 23(1), 119-135. (In Persian).
- Taheri Tizro, A., & M. Kamali., (2017). Groundwater Modeling by MODFLOW Model in Toyserkan Aquifer and Evaluation of Hydrogeological State under Present and Future Conditions, 9(31), 45-60. (In Persian).
- Wang, Y., & Yang, P. P. (2015). The application of GMS. Advanced Materials Research, 1092, 1209-1212.

Numerical simulation of Taybad plain aquifer using MODFLOW and prediction of management scenarios

Behzad Azadegan¹, Hannan Hanafi², Maryam Varavipour³, Hamid Kardan Moghaddam⁴

1. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Iran. E-mail: bazad@ut.ac.ir

2. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: hannan.hanafi77@ut.ac.ir

3. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Iran. E-mail: mvaravi@ut.ac.ir

4. Water Research Institute, Ministry of Energy, Tehran, Iran. E-mail: hkardan@ut.ac.ir

Abstract

The aim of the research is quantitative modeling of the underground water flow of the plain aquifer and the investigation of management solutions to deal with the drop in the underground water level. This research was investigated using hydrogeological information, hydrology, meteorology and basic studies of underground water sources. Quantitative underground water modeling was done using GMS software and Modflow code and the underground water level was simulated for the years 2011-2015 with 60 monthly time steps. Manual calibration of the model was done for 2011-2014 and its validation was done for 2014-2015. Future management solutions, in the form of combined scenarios: One- 10% reduction in withdrawal from wells with a 5% reduction in feeding from return of agricultural water. Two- 20% reduction in withdrawal from wells with a 10% reduction in feeding from return of agricultural water. Three- Their comparison with the continuation of the existing trend was predicted for the years 2015-2019. The result of the aquifer modeling for the above time periods showed the deficit of the reservoir 33.09 MCM. But by applying a 10% reduction in withdrawal and a 5% reduction in feeding, 21.38 MCM/year and by applying a 20% reduction in recharging from the return flows of agricultural consumption and 10% reduction in feeding, 25.94 MCM/year were added to the volume of the water balance. But with the continuation of the current trend, the deficit volume of the aquifer was estimated to be more than 54 MCM.

Keyword: Calibration, Drop water level, Groundwater modeling, MODFLOW.