تعیین بهره برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی آبخوان یزد در مدل Modflow با استفاده از سیستم اطلاعاتی مکانی GIS

محمدحسین عارف ، رحیم باقری
شرکت آب و فاضلاب استان یزد ، دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود
یزد ، ایران

چکیده

بهره برداری و برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی آبخوان یزد که مهمترین آبخوان در ایران مرکزی در مناطق خشک می باشد ، منجر به افت شدید سطح آب و کاهش کمی و کیفی منابع آب در این منطقه شده است.بنابرین در این تحقیق تلاش شده است که با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی GIS ، میزان برداشت پایدار از منابع زیرزمینی با مدل سیستم آبهای زیرزمینیMODFLOW در دوره مبنا ۳۰ ساله (از سال ۱۴۰۱ تا ۱۴۳۰) مورد بررسی قرار گیرد. پس از تهیه لایه های اطلاعاتی مکانی ، توصیفی و هیدرودینامیکی آبخوان شامل توپوگرافی سطح زمین و سنگ کف آبخوان ، موقعیت و میزان آبدهی چاههای بهره برداری و قنوات و چاه های مشاهده ای، تراز سطح ایستابی در آبخوان ، میزان تغذیه و میزان ورودی و خروجی آب زیرزمینی در مرزهای هیدرولیکی مشخص به آبخوان در سیستم اطلاعات مکانی GIS ، اطلاعات طی فرمت Shape و text به مدل سیستم آبهای زیرزمینیMODFLOW ، جهت شبیه سازی سیستم مدل آب زیرزمینی آبخوان منطقه ، منتقل و محاسبه گردیده است. بر این اساس در مرحله اول تغذیه و میزان بهره برداری از آبخوان برای مدل عددی ، ثابت و در مرحله دوم تغذیه ثابت و میزان بهره برداری متغییر تعیین گردیده است. در مرحله اول اگر بهره برداری از آبخوان بدون تغییر به میزان حدود ۱۲۳ میلیون متر مکعب در سال ادامه یابد ، با گذشت زمان به دلیل تغییرات در میزان جریان های ورودی و خروجی زیرزمینی ، میزان کسری ذخیره آبخوان کاهش می یابد و در این شرایط در پایان دوره ۲۳ ساله مبنا، آبخوان به تعادل می رسد . اما با کاهش حدود بیش از ۴۰ درصد از بهره برداری آبخوان ، بیلان مثبت و تغییرات ذخیره به حدود صفر می رسد. نرخ بهره برداری پایدار آب زیرزمینی پیش بینی شده آبخوان یزد ، حدود ۷۳ میلیون متر مکعب در سال می باشد.

واژه‌های کلیدی:منابع آب زیرزمینی،بهره برداری پایدار ، آب زیرزمینی،آبخوان، Modflow ، GIS

۱. مقدمه

رشد جمعیت و افزایش تقاضا منجر به برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی شده است که این برداشت بیش از حد از آبخوان ، باعث خسارات جبران ناپذیری مانند کاهش کسری مخزن ، افت سطح آب زیرزمینی ، نفوذ آب شور ، فرونشست زمین ، مشکلات اقتصادی و اجتماعی و محیط زیست می شود[۵]. بنابرین توسعه و برداشت پایدار در جهت مدیریت و بهره برداری صحیح از آبخوانها به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک از اهمیت زیادی برخوردار است [۱و۷] . تعیین برداشت پایدار آب زیرزمینی نیازمند بررسی جریان آب زیرزمینی و اصول بیلان جرم دارد ، بدون اینکه اثرات نامطلوبی به آبخوان ایجاد کند [۱و۸]. برداشت پایدار آب زیرزمینی به مقدار آب گرفته شده بستگی دارد که با افزایش تغذیه و کاهش تخلیه یک سفره آب زیرزمینی در اثر عملیات پمپاژ تعریف می شود [۳ و۱۰]. هرچه نرخ پمپاژ بیشتر شود، گیرش هم بیشتر و ناپایدار می شود. تعیین برداشت پایدار از آبخوان بر اساس اصول هیدرولوژیکی و محاسبه بیلان ، نرخ جریانهای ورودی و خروجی و تغییرات ذخیره آبخوان با مرزهای با بار هیدرولیکی

مشخص الزامی می باشد[۸]. برای درک سیستم های آب زیرزمینی باید از مدل های مختلف جهت شبیه سازی و پیش بینی رفتار استفاده کرد. مدل سازی عددی روشی سریع و موثر برای ارزیابی رفتار و مقدار منابع آب زیرزمینی فراهم می کند[۹]. یکی از مدل های شبیه سازی آب زیرزمینی در آبخوان، GMS است که بر پایه کد MODFLOW به صورت یک مدل تفاضل محدود سه بعدی برای حل معادلات حاکم بر جریان آب زیرزمینی به منظور تحلیل و پیش بینی رفتار در یک سیستم آب زیرزمینی به کار می رود[۲و٤]. بهره برداری بی رویه از آبخوان آبرفتی یزد در ایران مرکزی باعث افت سطح آب وکاهش منابع آبی موجود همراه با آثار فرونشت در آبخوان دشت یزد شده است ، که منجر به وقوع یک فاجعه همه جانبه زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی شده است. بنابرین تعیین بهره برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی در شرایط حفظ تعادل ذخیره آبخوان ، برای حل مشکل تامین آب توسط مدیران و کارشناسان بسیار حائز اهمیت می باشد. بنابرین هدف از پژوهش فعلی ، تعیین میزان بهره برداری پایدار منابع آب زیرزمینی از آبخوان دشت یزد با محاسبه بیلان آب زیرزمینی در مدل MODFLOW با استفاده از سیستم اطلاعاتی جغرافیایی(GIS)در دوره بازه زمانی مشخص و همچنین تغییرات در میزان بهره برداری و تاثیر آن بروی مولفه های آبخوان می باشد.

۲. موقعیت مکانی محدوده مطالعاتی

آبخوان آبرفتی دشت یزد بین طول جغرافیایی ٥٤°١٠′ و٥٤°٤٠′ و عرضهای شمالی ٣١°٣١′ و٣٢°٠٠′ واقع شده است که مساحت آبخوان دشت یزد حدود ١١٠٦ کیلومتر مربع می باشد.محدوده مطالعاتی به لحاظ موقعیت جغرافیایی ، در مرکز کشور ایران و در استان یزد و بخشی از حوضه آبریز کویر سیاهکوه و جزئی از محدوده مطالعاتی یزد – اردکان می باشد . مهمترین و بلندترین ارتفاعات در این محدوده ، قله شیرکوه با ارتفاع ٤٠٧٥ متر از سطح دریا و گودترین نقطه در این محدوده دارای ١١٣٥ متر ارتفاع دارد (شکل ١).

۳. مواد و روش ها

۱,۳. برداشت پایدار از آب زیرزمینی

به منظور تهیه بیلان سفره اصلی آب زیرزمینی از معادله کلی بیلان آب زیرزمینی به صورت ذیل مورد بررسی قرار گرفته است.

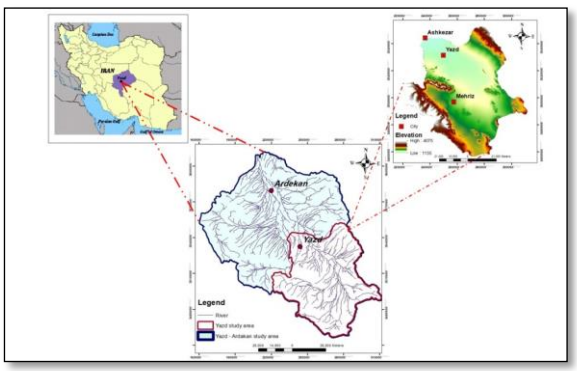
(تغییرات حجم ذخیره ± = مجموع خروجی ها – مجموع ورودی ها)

وقتی آب زیرزمینی پمپاژ می شود، بیلان از حالت تعادل خارج شده و مقدار تغذیه و تخلیه طبیعی تغییر می کند. بنابراین معادله ی بیلان آبهای زیرزمینی به حالت معادله ی (۱) در می آید.

$$(G_{In} + R_P + R_{Rf}) - (G_{Out} + G_D + ET) = \pm\Delta V \qquad (۱)$$

در معادله فوق G_{In} حجم جریان ورودی آب زیرزمینی ، R_P حجم تغذیه ناشی از بارش، R_{Rf} حجم تغذیه ناشی از آب برگشتی (ناشی از مصارف مختلف شامل شرب ، کشاورزی ، صنعت و خدمات) ، G_{Out} حجم جریان خروجی آب زیرزمینی ، G_D حجم آب برداشت شده از آبخوان ، ET حجم تبخیر و تعرق از آبخوان و ΔV تغییرات حجم ذخیره آبخوان می باشد. اگر ورودی برابر خروجی باشد، سطح آب ثابت مانده و تغییرات ذخیره آبخوان به تعادل می رسد.به منظور بررسی تاثیر پمپاژ بر مولفه های ورودی و خروجی طبیعی حوضه آب ، یک سیستم فرضی تعادلی در زمان صفر که ورودی طبیعی به آن با خروجی طبیعی از آن در تعادل می باشند، در نظر گرفته میشود :

$$In = On \qquad (۲)$$



نقشه شماره ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی

۲،۳. برداشت پایدار از آب زیرزمینی

روش¬های بیلان آب به طور گسترده ای در تعیین برداشت پایدار برای اهداف مدیریت آب زیرزمینی استفاده شده است. با فرض اینکه در شرایط اولیه تعادل بین ورودی طبیعی (In)، خروجی طبیعی (Out) و برداشت از آب زیرزمینی (G_D) به سفره های آب وجود دارد، معادله ی ذیل برقرار می باشد :

$$(G_{In} + R_P + R_{Rf}) - (G_{Out} + G_D + ET) = 0 \qquad (۳)$$

برداشت پایدار زمانی اتفاق می افتد که تغییری در ذخیره آب زیرزمینی ایجاد نشود. از این رو ، برداشت پایدار برای یک سیستم آب زیرزمینی از معادله ذیل به دست می آید.

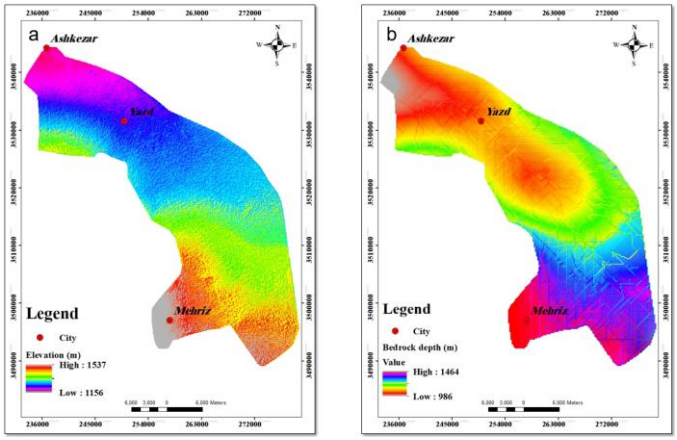
$$(G_D) = (G_{In} + R_P + R_{Rf}) - G_{Out} \qquad (٤)$$

۳،۳. سطح بالایی و پایینی آبخوان

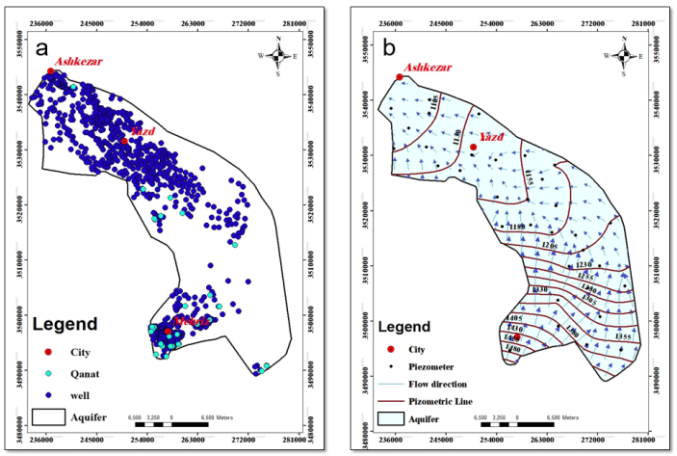
سطح توپوگرافی منطقه به عنوان سطح بالایی و سنگ کف به عنوان سطح پایینی آبخوان در نظرگرفته شد. برای تعیین سطح بالایی، از نقشه ارتفاعی رقومی منطقه (DEM) و سطح پایینی از از مطالعات زمین‌شناسی، بررسی لاگ چاه‌های مشاهده‌ای و چاه‌های بهره‌برداری برخورد کرده به سنگ‌کف و همچنین نتایج حاصل از مطالعات ژئوفیزیک انجام شده در منطقه استفاده گردید. مشخصات نقاط ارتفاعی و نقاط سنگ کف توسط نرم افزار ArcGIS استخراج و پس از حذف نقاط خارج از محدوده، این نقاط به صورت فایل txt وارد نرم افزار شد و درونیابی گردید. شکل (۲) پهنه‌بندی سطح بالایی (توپوگرافی سطحی) و سطح پایینی (سنگ کف) آبخوان یزد را در سیستم اطلاعاتی مکانی GIS نشان می‌دهد.

۴،۳. شرایط مرزی و اولیه

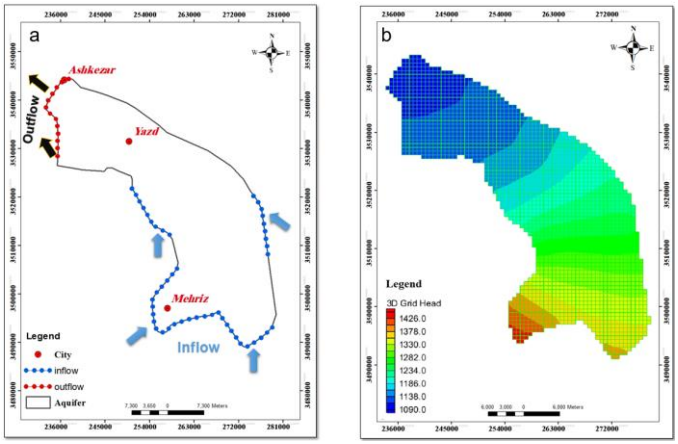
تغییرات جریان آب زیرزمینی ورودی و خروجی در اثر تغییرات سطح ایستابی بسیار مهم و در مدل سازی آبخوان مورد استفاده قرار گرفته است. در محدوده آبخوان با توجه به سطح آب اندازه گیری شده در چاههای مشاهده ای و ترسیم خطوط جریان و تراز آب زیرزمینی (شکل۳b) در سیستم اطلاعاتی مکانی GIS ؛ قسمت‌هایی از مرز بصورت فاقد جریان در نظر گرفته شد. در قسمت‌های شمال غرب، غرب ، شرق ، جنوب و جنوب غرب مرز با بار هیدرولیکی عمومی (GHB) شبیه‌سازی گردید. لازم به ذکر است که براساس مقدار بار هیدرولیکی ورودی به مدل جهت G.H.B ، نوع مرز که تغذیه کننده یا تخلیه کنندهٔ آبخوان است، توسط مدل تعیین می‌شود. علت استفاده از مرز با بار هیدرولیکی عمومی این است که بر خلاف مرز با بار مشخص، سطح آب در این نوع مرز ثابت نمی باشد و ممکن است با رسیدن اثر استرس های داخلی به مرز، سطح آب تغییر نماید. دبی جریان ورودی یا خروجی با توجه به گرادیان هیدرولیکی در مرز و رسانایی سلول مرزی تغییر می نماید. شکل(٤a) شرایط مرزی مدل آبخوان یزد را نشان می دهد.توزیع بار هیدرولیکی در تمام نقاط سیستم در آغاز شبیه‌سازی را شرایط اولیه گویند. اعمال شرایط اولیه جهت حل معادله حاکم در حالت ناماندگار جریان ضروری می‌باشد. در مدل جریان، شرایط اولیه آبخوان یعنی بار هیدرولیکی گره ها در شروع دوره های زمانی مدل، جزء معلوم¬های معادلات بیلان بوده و باید شناخت کاملی نسبت به آنها داشت. بدین منظور برای محاسبه بار هیدرولیکی اولیه ، داده‌های سطح آب شهریور ماه ۱۴۰۰ استفاده گردید (شکل٤b).



شکل۲. a) توپوگرافی منطقه b) ارتفاع سنگ کف محدوده آبخوان



شکل۳. a) موقعیت منابع آب موجود b) تراز سطح آب و جهت جریان محدوده



شکل٤. a) شرایط مرزی ورودی- خروجی b) بار هیدرولیکی اولیه محدوده

۵،۳. ضرایب هیدرودینامیکی

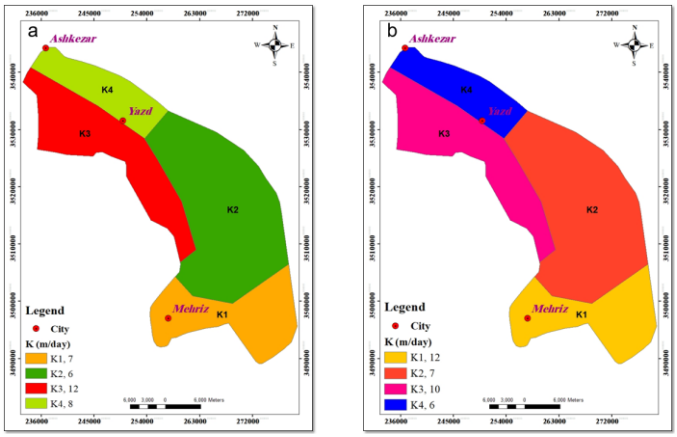
برای تعیین ضرایب هیدرودینامیک K و Sy در محدوده مطالعاتی از نتایج آزمون پمپاژ و لوگ حفاری چاه اکتشافی استفاده گردید. مقادیر اولیه ضرایب هیدرودینامیک از نتایج آزمون پمپاژ، لوگ حفاری، جنس رسوبات تشکیل دهنده آبخوان و بررسی‌های صحرایی استفاده گردید و سپس توسط سیستم اطلاعاتی مکانی GIS ، ضرایب هیدرودینامیک منطقه بندی گردیده است. مقادیر اولیه K و Sy در محدوده آبخوان به ترتیب ٤ و ٣ زون تقسیم بندی شده است که منطقه بندی هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه در شکل (٥ و ٦) ارائه گردیده است .

۳.٦. تغذیه(بارش و آب برگشتی)

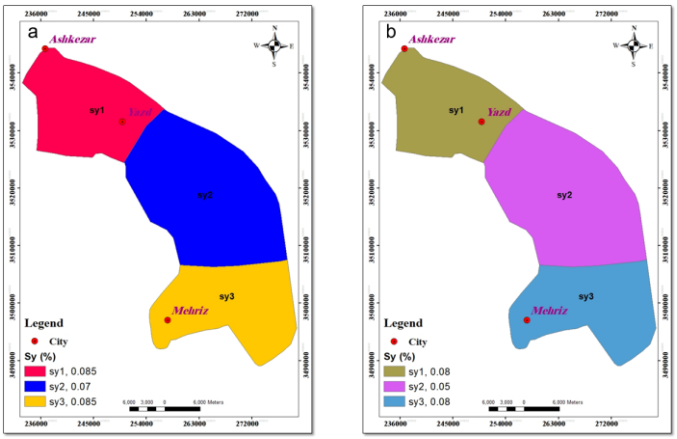
تغذیه از سطح در محدوده مطالعاتی شامل تغذیه از بارندگی، آب برگشتی آبیاری، شرب و صنعت و بندهای تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب می‌باشد. تغذیه از سطح بر اساس مقادیر متر در روز محاسبه شده و سپس در سیستم اطلاعاتی مکانی GIS ، مقادیر تغذیه از بارندگی و آب برگشتی آبیاری، شرب و صنعت به ٦ منطقه زون بندی شده است (شکل ٧a).

۳.۷. تخلیه از منابع آب زیرزمینی

یکی از مهمترین مؤلفه‌های بیلان در منطقه مورد مطالعه، تخلیه از منابع آب توسط چاه‌های بهره برداری، چشمه و قنوات موجود می‌باشد. در محدوده آبخوان تخلیه آب زیرزمینی توسط ۵۳۹ حلقه چاه‌های بهره‌برداری و ٦ رشته قنوات صورت می‌گیرد. ازآنجایی که دوره‌های تنش (Stress period) در نظر گرفته شده وآمار موجود در مورد تخلیه از چاه‌های پمپاژ و قنوات بصورت تخلیه سالانه ارائه می‌گردد، باید این تخلیه سالانه بصورت ماهانه توزیع گردد. بنابراین با استفاده از اطلاعات کشاورزی، بر حسب نوع محصولات کشاورزی کشت شده در محدوده، نیاز آبی برای هر ماه تعیین شده و با استفاده از این نیاز آبی و همچنین میزان ساعت کارکرد منابع آب انتخابی و دبی آنها، مقدار تخلیه هر ماه بصورت درصدی از تخلیه هر فصل محاسبه (البته برای قنوات با فرض ثابت بودن تخلیه در هر ماه) و سپس با فرض یکسان بودن پمپاژ در طول یک ماه، حجم تخلیه روزانه برای هر ماه محاسبه و با استفاده از سیستم اطلاعاتی مکانی GIS لایه اطلاعاتی و توصیفی آن تهیه و به مدل وارد گردید. شکل (٣) موقعیت چاه‌های پمپاژ و قنوات موجود در محدوده را نشان می‌دهد.



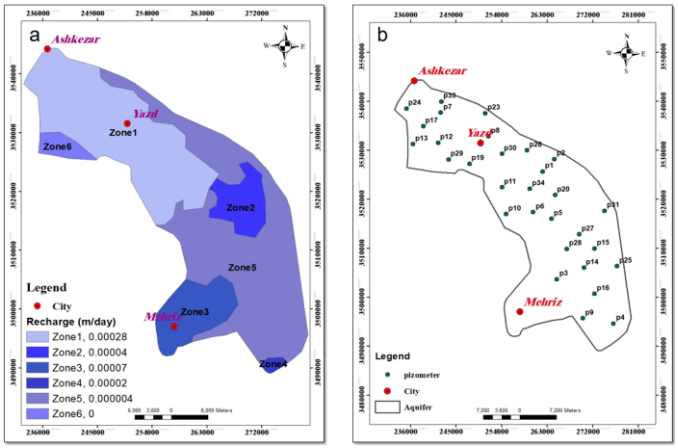
شکل٥. a) منطقه بندی هدایت هیدرولیکی اولیه b) منطقه بندی هدایت هیدرولیکی محاسباتی



شکل٦. a) منطقه بندی آبدهی ویژه اولیه b) منطقه بندی آبدهی ویژه محاسباتی

۳.۸. چاه های مشاهده‌ای(پیزومتر)

به منظور مقایسه بار هیدرولیکی محاسبه شده توسط مدل نیاز به وارد کردن بار هیدرولیکی نقاطی است که اطلاعات سطح آب در آنها مشخص می‌باشد. موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای شامل طول و عرض آنها در سیستم UTM و همچنین سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای براساس ارتفاع مطلق از سطح دریا، پس تهیه لایه آن در سیستم اطلاعاتی مکانی GIS در مدل سیستم آب زیرزمینی وارد می‌گردد. بنابراین از ۳۰ چاه مشاهده‌ای که در بازه زمانی مهر ۱۳۹۹ تا شهریور۱۴۰۰ دارای داده‌های سطح آب به طور پیوسته بودند، استفاده گردید که درشکل (Vb) موقعیت نقاط مشاهده‌ای نشان داده شده است.



شکل۷. a) منطقه بندی تغذیه b) موقعیت چاههای مشاهده ای

٤. نتایج و بحث

۱،٤. بیلان آب زیرزمینی

بیلان آب زیرزمینی توسط مدل عددی در محدوده ابخوان آبرفتی یزد در دوره های تنش (۱۲ ماهه) به صورت میلیون متر مکعب در سال در جدول (۱) ارائه شده است. بر این اساس میزان کسری مخزن آبخوان یزد حدود ٤٦/٣٦ میلیون متر مکعب در سال محاسبه شده است.

۲،٤. برداشت پایدار منابع آب زیرزمینی

برای تخمین برداشت پایدار در شرایط تعادل آبخوان آبرفتی یزد ، دوره مبنا ۳۰ ساله (از سال ۱٤۰۱ تا ۱٤۳۰) با در نظرگرفتن شرایط تغذیه و برداشت از آبخوان برای مدل عددی تعیین گردیده است. میزان تغذیه و برداشت به صورت ثابت در مدل عددی اعمال شده به ترتیب حدود ٥٦ و۱۲۳ میلیون متر مکعب در سال می باشد. اگر برداشت از آبخوان بدون تغییر به میزان حدود ۱۲۳میلیون متر مکعب در سال ادامه یابد،با گذشت زمان به دلیل تغییرات در میزان جریان های ورودی و خروجی زیرزمینی ، میزان کسری ذخیره آبخوان کاهش می یابد و در این شرایط در پایان دوره ۲۳ ساله مبنا ، تغییرات ذخیره مثبت و آبخوان به تعادل می رسد. در نتیجه بیلان آبخوان یزد ، به حدود ۰/۰۲ میلیون متر مکعب در سال می رسد (جدول ۲). با کاهش برداشت از آبخوان ، به میزان حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد میزان کسری مخزن کاهش یافته و با گذشت زمان بین ۵ تا ۱۰ سال به حالت پایدار می رسد و همچنین با کاهش حدود بیش از ٤۰ درصد از برداشت آبخوان بیلان مثبت و تغییرات ذخیره به حدود صفر می رسد(جدول ۳). بنابرین با کاهش بیشتر برداشت از آبخوان ، سطح ایستابی افزایش یافته و جریان ورودی کاهش و جریان خروجی بیشتر و در نتیجه تغییرات ذخیره آبخوان افزایش یافته است.

جدول۱. مولفه های بیلان آب زیرزمینی محاسبه شده در مدل عددی

ورودی ها		خروجی ها	
مولفه های بیلان	تغذیه (میلیون متر مکعب)	مولفه های بیلان	تخلیه (میلیون متر مکعب)
جریان ورودی آب زیرزمینی	51.30	جریان خروجی زیرزمینی	31.09
تغذیه ناشی از بارش + آب برگشتی	56.26	حجم آب برداشت شده	122.83
مجموع ورودی ها	107.56	مجموع خروجی ها	153.92
ΔV= Input-Output			-46.36

جدول ۲. مولفه های بیلان آب زیرزمینی در شرایط برداشت پایدارآبخوان

ورودی ها		خروجی ها	
مولفه های بیلان	تغذیه (میلیون متر مکعب)	مولفه های بیلان	تخلیه (میلیون متر مکعب)
جریان ورودی آب زیرزمینی	75.5	جریان خروجی زیرزمینی	9.20
تغذیه ناشی از بارش + آب برگشتی	56.3	حجم آب برداشت شده	122.62
مجموع ورودی ها	131.8	مجموع خروجی ها	131.81
ΔV= Input-Output			0.02

۵.نتیجه گیری

کاربرد سیستم اطلاعاتی مکانی GIS در تهیه لایه های اطلاعاتی مکانی و توصیفی از وضعیت فیزیکی ، هندسی و هیدرودینامیکی آبخوان منطقه مورد مطالعه ، جهت پیش بینی و مدیریت بهره برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی به لحاظ کمی و کیفی بسیار حائز اهمیت می باشد. که در این تحقیق با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی GIS و مدل سیستم آبهای زیرزمینیMODFLOW ، میزان بهره برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی آبخوان یزد محاسبه و پیش بینی شده است.بنابرین با توجه به بررسی های صورت گرفته اگر میزان بهره برداری از آبخوان بدون تغییر به میزان حدود ۱۲۳ میلیون متر مکعب در سال ادامه یابد ، با گذشت زمان به دلیل تغییرات در میزان جریان های ورودی و خروجی زیرزمینی ، میزان کسری ذخیره آبخوان کاهش می یابد و در این شرایط در پایان دوره ۲۳ ساله مبنا، تغییرات ذخیره مثبت می شود .اما با افزایش حدود ۱۰ درصد میزان بهره برداری (حدود ۱۳۵ میلیون متر مکعب) نسبت به وضعیت فعلی (حدود ۱۲۳ میلیون متر مکعب) ، جریان ورودی زیرزمینی بیشتر و جریان خروجی زیرزمینی کمتر و تغییرات ذخیره آبخوان منفی و در نتیجه بهره برداری از ذخیره معدنی و تهی شدگی آبخوان منجرخواهد شد. با کاهش میزان بهره برداری از آبخوان ، کسری مخزن در بازه زمانی کمتری به پایداری می رسد. به طوریکه با کاهش ۱۰ درصد میزان بهره برداری ذخیره آبخوان با گذشت زمان حدود ۱۰ سال (سال آبی۱۴۱۰) مثبت و همچنین با کاهش حدود ۲۰ درصد برداشت در مدت زمان ۵ ساله (سال آبی ۱۴۰۵) به حالت پایدار می رسد که نشان دهنده بالا آمدن سطح ایستابی ، کاهش جریان ورودی زیرزمینی و افزایش جریان خروجی زیرزمینی در آبخوان می شود.

جدول ۳. مولفه های بیلان آب زیرزمینی با کاهش ٪۴۲ برداشت از آبخوان

ورودی ها		خروجی ها	
مولفه های بیلان	تغذیه (میلیون متر مکعب)	مولفه های بیلان	تخلیه (میلیون متر مکعب)
جریان ورودی آب زیرزمینی	+50	جریان خروجی زیرزمینی	-33
تغذیه ناشی از بارش + آب برگشتی	+56	حجم آب برداشت شده	-73
مجموع ورودی ها	+106	مجموع خروجی ها	-106
ΔV= Input-Output			0

جهت دستیابی به تعادل ذخیره و عدم کسری مخزن آبخوان یزد بایستی نسبت به اجرای برنامه های تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی و آبخوان داری در بازه زمانی مشخص اقدام و نرخ بهره برداری از آبخوان حدود ۴۲ درصد کاهش تا بهره برداری به میزان حدود ۷۳ میلیون متر مکعب در سال برسد.

٦. منابع

[1] Alley WM and Leake SA (2004). The journey from safe yield to sustainability. Groundwater 42(1): Jan–Feb.

[2] Behera, A.K.; Pradhan, R.M.; Kumar, S.; Chakrapani, G.J.; Kumar, P. Assessment of Groundwater Flow Dynamics using MODFLOW in Shallow Aquifer System of Mahanadi Delta (East Coast), India. Water 2022, 14, 611. https://doi.org/10.3390/ w14040611.

[3] Lohman SW (1972b). Definitions of selected ground water terms: revisions and conceptual refinements. US Geol Surv Water Suppl Pap 1988, 21 pp.

[4] McDonald, M.G.; Harbaugh, A.W. A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model; US Geological Survey Technical Manual of Water Resources Investigation, Book 6; USGS: Reston, VA, USA, 1988.

[5] Nasiri S, Ansari H, Ziaei AN. 2022. Determination of water balance equation components in irrigated agricultural watersheds using SWAT and MODFLOW models : A case study of Samalqan plain in Iran. Journal of Groundwater Science and Engineering, 10(1): 44-56.

[6] Kalf FRP and Woolley DR (2005). Applicability and methodology of determining sustainable yield in groundwater systems. Hydrogeology Journal 13, no. 1: 295–312.

[7] Pierce S A, Sharp J M, Guillaume J H A, Mace R E and Eaton D J 2013 Aquifer-yield continuum as a guide and typology for science-based groundwater management Hydrogeol. J.

[8] Sophocleous M (2000). From safe yield to sustainable development of water resources: the Kansas experience. J Hydrol 235:27–43.

[9] Sophocleous M, Devlin JF (2002) Discussion on the water budget myth revisited: why hydrogeologists model. Ground Water 40(4):340– 345.

[10] Zhou Y (2009). A critical review of groundwater budget myth, safe yield and sustainability. J Hydrol 370:207–213.