

## پیش‌بینی تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای کمیت و کیفیت آب زیرزمینی در مناطق خشک (مطالعه موردی: دشت میناب)

حامد اسکندری دامنه: پژوهشگر پسا دکتری گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

غلامرضا زهتابیان: استاد گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

حسن خسروی\*: دانشیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

حسین آذرنیوند: استاد گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

علی اکبر براتی: استادیار گروه مدیریت و توسعه کشاورزی، دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه تهران، ایران

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۸)



20.1001.1.22517812.1401.12.3.1.0

### چکیده

در این پژوهش به بررسی تغییرات پارامترهای کمیت و کیفیت آب زیرزمینی در دشت میناب و بررسی آنها در گذشته، حال و آینده پرداخته شد. به منظور پیش‌بینی وضعیت پارامترهای کمیت و کیفیت آب زیرزمینی در آینده، از سناریوهای جدید افزایش بهره‌برداری شامل ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد افزایش بهره‌برداری با استفاده از نرم‌افزار GMS10.5 کد مادفلو استفاده شد. سپس به منظور ارزیابی تأثیر تغییرات افت آب زیرزمینی بر بیابان‌زایی منطقه، از مدل ایرانی ارزیابی شدت بیابان‌زایی (IMDPA) استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که طی سال‌های اخیر به علت حفر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق در حالت پایه (سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷)، بیشترین افت آبخوان در منطقه مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۳/۱۶-، ۱۲/۸۷-، ۲۳/۸۹- و ۳۰/۳۰- متر بود. بیشترین میزان افزایش افت آب زیرزمینی در دشت میناب با گذشت زمان تحت سناریوهای ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد افزایش بهره‌برداری به ترتیب ۵۹/۵-، ۶۱/۳- و ۶۳/۲- متر است و حجم آبخوان تحت تأثیر این سناریوها، ۱۵۳/۵۵، ۱۶۰/۸۶ و ۱۶۸/۱۷ میلیون مترمکعب نسبت به شرایط پایه تحت تأثیر این سناریوها به ترتیب کاهش می‌یابد. پیش‌بینی‌ها درباره پارامترهای کیفی EC و SAR در سال‌های ۱۳۹۸، ۱۴۰۳، ۱۴۰۸ و ۱۴۱۴ نیز نشان داد که میزان این پارامترها در سال ۱۴۱۴ در آب زیرزمینی افزایش خواهد یافت و آلودگی ناشی از آن، از سمت جنوب به سمت شمال منطقه در حال حرکت است. بررسی‌های انجام شده در مورد کلاس‌های شدت بیابان‌زایی شدید با استفاده از مدل IMDPA در سناریوهای ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد افزایش بهره‌برداری نشان داد که بیشترین شدت بیابان‌زایی کلاس شدید، در سناریو ۱۵ درصد افزایش بهره‌برداری (۳۷/۲۲ درصد) در سال ۱۴۱۴ رخ خواهد داد.

واژگان کلیدی: پیش‌بینی، دشت میناب، شاخص افت آب زیرزمینی، شاخص هدایت الکتریکی، شاخص نسبت جذب سدیم، معیار آب زیرزمینی.

\* نویسنده مسئول: [hakhosravi@ut.ac.ir](mailto:hakhosravi@ut.ac.ir)

## ۱- مقدمه

یکی از عوامل مهم در پایداری توسعه یک منطقه، فراهم بودن منابع آب کافی و مناسب برای مصارف مختلف است؛ به‌طوری‌که علاوه بر کمیت، وضعیت کیفی آن نیز اهمیت ویژه‌ای دارد (Eskandari Damaneh et al, 2018 & Ghorbani et al, 2021). امروزه ضرورت در نظر گرفتن کمیت و کیفیت آب در برنامه‌ریزی‌های مدیریت منابع آب در اکثر نقاط کره زمین بیش از پیش احساس می‌شود (Savari et al, 2020). کشور ایران نیز به‌دلیل قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه‌خشک از این قاعده مستثنی نیست (Ahmadaali et al, 2021 & Ahmadaali et al, 2018). به علت کمبود منابع آب سطحی، آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع ضروری طبیعی برای مصارف انسانی اعم از مصارف خانگی، کشاورزی، صنعت، تولید و سایر بخش‌ها است (Papaioannou et al, 2010). به دلیل کاهش کمیت و کیفیت آب زیرزمینی از طریق برداشت بی‌رویه برای مصارف متعدد، همچنین دفن ضایعات صنعتی و خانگی، ترکیبات آلی، میکروارگانیسم‌های پاتوژن، کاربرد کود و آفت‌کش‌ها در کشاورزی، حفاظت از این منابع ارزشمند یک مسئله مهم و اساسی در کشور تلقی می‌شود (Spanos et al, 2015 & Belkhir et al, 2015). به این دلیل که پس از افت کمیت و کیفیت با متوقف کردن منبع آلودگی، امکان احیای این منابع تجدیدنپذیر وجود ندارد؛ بنابراین، پایش منظم خصوصیات آب زیرزمینی و بررسی روند آن در آینده امری بسیار مهم است (Anwar and Vanita, 2014). روش‌های سنتی گوناگونی برای ارزیابی وضعیت کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی وجود دارد که از نظر زمان و هزینه مقرون به‌صرفه نیست (Scanlon et al, 2005). امروزه شیوه‌های نوین تعیین کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی تا حد زیادی موجب رفع این مشکل شده‌اند و می‌توانند ما را از روند آینده این تغییرات آگاه سازند. استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژیک می‌تواند به این امر کمک کند؛ به گونه‌ای که با استفاده از این مدل‌ها می‌توان به برآورد و بررسی روند آب‌های زیرزمینی و آینده‌نگری آنها پرداخت و با استفاده از سناریوهای مختلف در آینده، برای استفاده و مدیریت این منابع جبران‌ناپذیر برنامه‌ریزی کرد. در این زمینه مطالعات متعددی در نقاط مختلف ایران و جهان انجام شده است.

Kamali and Taheri Tizro و همکاران (2015) با استفاده از کد مادفلو<sup>۱</sup> و ارزیابی وضعیت هیدروژئولوژیک تحت شرایط موجود و آینده، به بررسی مدل‌سازی آبخوان دشت تویسرکان پرداختند. نتایج آنها نشان داد که کاهش سطح ایستابی تحت هر دو سناریو اتفاق می‌افتد. Chit Sazan و همکاران (2015) در تحقیقی با استفاده از کد مادفلو در نرم‌افزار GMS، به شبیه‌سازی آبخوان دشت لور پرداختند. نتایج آنها نشان داد که بیلان منفی آب زیرزمینی این دشت به میزان ۷۴۵۶۸۳۱ متر مکعب در سال است. همچنین آنها در تحقیق خود گزارش کردند که با استفاده از روش‌های تغذیه مصنوعی می‌توان این بیلان منفی را کاهش داد و به بهبود آبخوان کمک کرد. Akbarpour و همکاران (۲۰۱۶) به منظور تعدیل غلظت آلاینده‌ها، با استفاده از الگوریتم فاخته به ارائه مدل شبیه‌ساز - بهینه‌ساز کمیت و کیفیت بهره‌برداری از آبخوان پرداختند و دریافتند که دبی‌های بهینه در انتهای دوره شبیه‌سازی برابر با ۱۸۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است. بر اساس شبیه‌سازی مدل، این مقدار برای پنج سال آینده - در صورت نادیده گرفتن دبی‌های بهینه - به ۲۰۵۵ میکروموس بر سانتی‌متر خواهد رسید. همچنین نتایج تحقیق آنها نشان داد که گرا دیان غلظت

<sup>1</sup> MODFLOW: Modular Three-Dimensional Finite-Difference Groundwater Flow Model.

EC در چاه‌های منتخب - در صورت اعمال سیاست برداشت بهینه نسبت به عدم اجرای این سیاست - به میزان دوازده درصد کاهش دارد. Malekzadeh و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از کد مادفلو، به بررسی پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی پرداختند و نتیجه گرفتند که مدل‌های عددی، تراز آب زیرزمینی را با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی می‌کنند. مقادیر ضریب همبستگی و شاخص پراکندگی برای کد مادفلو به ترتیب برابر با ۰/۹۱۷ و ۰/۰۰۴ به دست آمد. Parhizkar و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از مدل GMS-GEP، به پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی و ارزیابی فرونشست دشت دامغان پرداختند. نتایج حاصل از تحقیق آنها نشان داد که در بدترین حالت، سفره آب زیرزمینی تا سال ۲۰۱۹ با ۳۲۰ سانتی‌متر افت همراه خواهد بود؛ همچنین اگر سطح آب زیرزمینی به ترتیب ۲۹۵ و ۳۴۳ سانتی‌متر پایین بیاید، فرونشستی به ترتیب ۳۵/۴ و ۳۹/۴۵ سانتی‌متر اتفاق خواهد افتاد. Jang و همکاران (۲۰۱۶)، به بررسی مدل عددی جریان آب زیرزمینی در دشت Pingtung (با استفاده از کد مادفلو) پرداختند. نتایج بررسی آنها نشان داد که استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی در این دشت، به کاهش قابل ملاحظه سطح ایستابی و نفوذ آب دریا و تخریب اراضی منجر شده است. Zekri و همکاران (۲۰۱۷) برای یک دوره هفتاد ساله، با استفاده از مدل‌های هیدرولوژی اقتصادی (در محیط کد مادفلو) به بررسی مزایای مدیریت بهینه آب‌های زیرزمینی پرداختند و نشان دادند که استفاده پایدار از آبخوان، به کاهش سطح کشت به میزان ده درصد، کاهش میزان استخراج آب‌های زیرزمینی تا بیست درصد، تغییر در ترکیب محصول و کمترین بهره‌وری کشاورزی در ۴۲ درصد از مزارع منجر می‌شود.

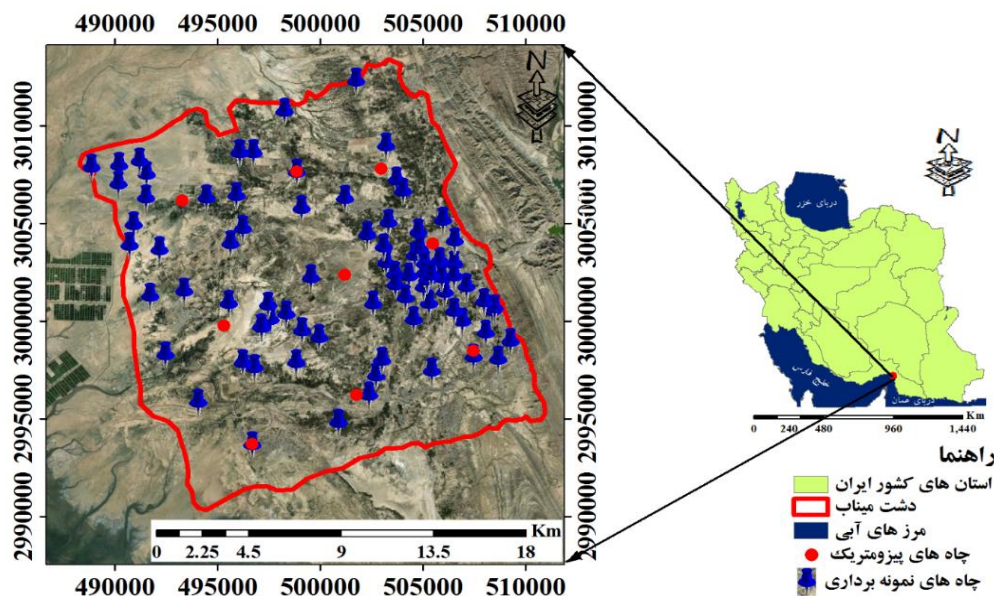
بر اساس مطالعات صورت گرفته، اجرای تحقیقات کاربردی در زمینه منابع آب زیرزمینی امری ضروری است. همچنین بر اساس وضعیت بیابان‌زایی و تغییرات اقلیمی حاکم بر کشور و دشت‌های ممنوعه آن که با خشکسالی‌هایی با شدت و تداوم‌های مختلف و برداشت بی‌رویه مواجه است، داشتن آگاهی از منابع آب زیرزمینی - که تنها منبع برای مصارف متعدد می‌باشد - امری اجتناب‌ناپذیر است. از طرفی، با توجه به قرار گرفتن دشت میناب در منطقه‌ای خشک و به دلیل وضعیت اقلیمی حاکم بر آن و بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی آن (برای مصارف مختلف)، این تحقیق با هدف بررسی تغییرات کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی و بررسی روند آن در آینده انجام شد تا جنبه تأثیر این شاخص‌ها بر شدت بیابان‌زایی و تخریب سرزمین بررسی شود. بنابراین هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی تغییرات کمیت و کیفیت آب زیرزمینی و شبیه‌سازی تغییرات این منابع تجدیدنپذیر در آینده به ترتیب با استفاده از کد مادفلو و روش PCG2 و روش نروفازی در دشت میناب است. با استفاده از این اطلاعات، شدت بیابان‌زایی با تکیه بر معیار آب زیرزمینی در گذشته، حال و آینده با استفاده از مدل IMDPA بررسی شد تا بتوان با ارائه راهکارهای مدیریتی کارآمدتر، از افت بیشتر و کاهش کیفیت آب زیرزمینی در این دشت جلوگیری شود و بتوان تدابیر و استراتژی‌های لازم را متناسب با شدت بیابان‌زایی در این منطقه اتخاذ کرد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دشت میناب در حد فاصل بین مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. این دشت دارای متوسط دمای هوای سالانه ۲۶/۶ درجه سانتی‌گراد با میانگین رطوبت نسبی ۶۸ درصد است. میانگین نزولات سالانه در این

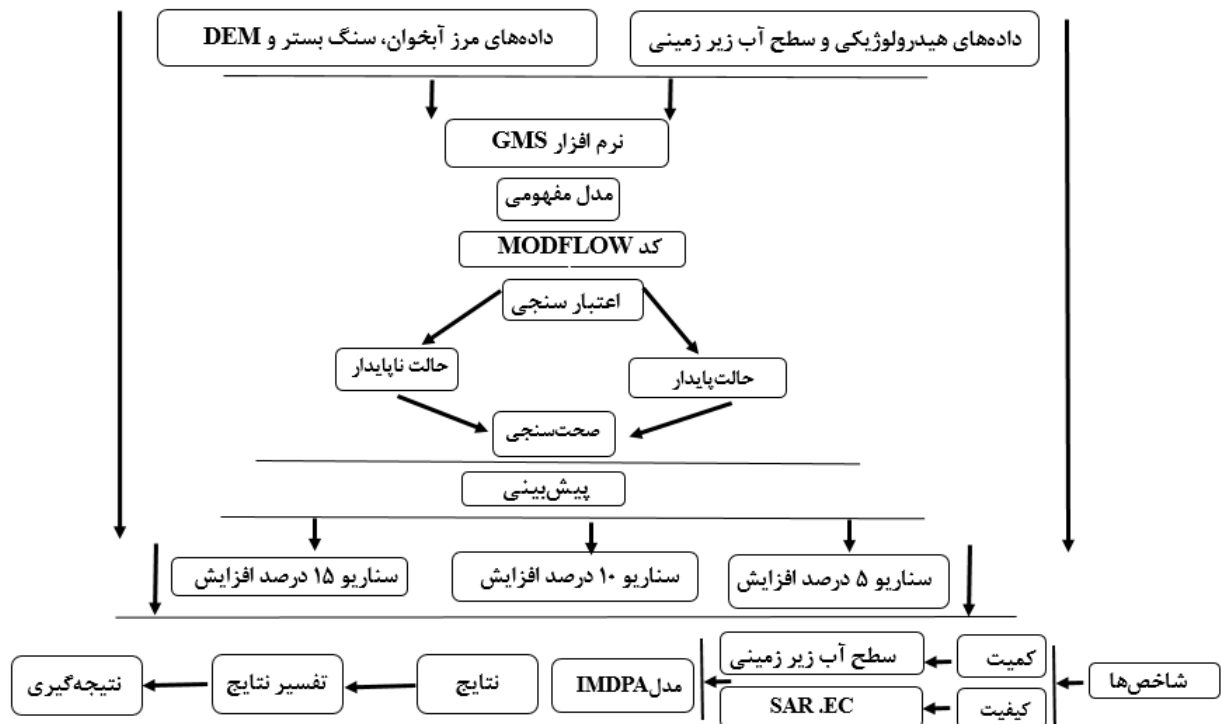
منطقه، کمتر از دویست میلی‌متر با پراکنش زمانی و مکانی هماهنگ و غالباً به صورت رگبارهای شدید به همراه سیلاب‌های مخرب و زودگذر است. با توجه به مشخصات اقلیمی و استقرار دشت میناب در منطقه فوق حاره‌ای، گرمی هوا مهم‌ترین پدیده مشهود اقلیمی این دشت است. این منطقه از مناطق گرم و خشک ایران است و اقلیم آن تحت تأثیر آب و هوای نیمه‌بیابانی و بیابانی قرار دارد. از ویژگی‌های آب و هوایی این منطقه، یک فصل طولانی گرم و یک فصل کوتاه خنک است که فصل گرم آن همراه با هوای شرجی ۹ ماه به طول می‌انجامد (Khosravi et al, 2020 & Eskandari Damaneh et al, 2021) و میزان تبخیر و تعرق این دشت به طور متوسط حدود ۳۴۰۰ میلی‌متر است. شکل ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، چاه‌های پیزومتریک و نمونه‌برداری

## ۲-۲- روش تحقیق

در این تحقیق، داده‌های هیدرولوژی ۱۳۹۷-۱۳۸۲ و زمین‌شناسی آبخوان دشت میناب از سازمان مدیریت منابع آب ایران (تماب) تهیه شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات به منظور بررسی و مدل‌سازی آب زیرزمینی و پیش‌بینی آن، از نرم‌افزار GMS10.5 استفاده شد. مراحل اجرای تحقیق نیز به شرح زیر است (شکل ۲):



شکل ۲: چهارچوب مدل‌سازی و بررسی روند تغییرات کمیت و کیفیت آب زیرزمینی

### بررسی وضعیت آب زیرزمینی

در این تحقیق برای مدل‌سازی آب زیرزمینی از نرم‌افزار GMS کد مادفلو استفاده شد. این مدل، جریان را به صورت سه بعدی و به روش تفاضل محدود برای حالت پایدار و ناپایدار شبیه‌سازی می‌کند (Goodarzi et al, 2020). برای ایجاد مدل جریان در نرم‌افزار GMS از روش مدل مفهومی استفاده شد. در این مدل از ابزار اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدول map استفاده شد. موقعیت منابع تغذیه و تخلیه مانند موقعیت چاه‌ها و تغذیه سطحی، پارامترهای لایه از قبیل هدایت الکتریکی، مرزهای مدل و سایر اطلاعات موردنیاز برای مدل‌سازی در سطح مدل مفهومی به نرم‌افزار وارد شد، سپس شبکه ایجاد و مدل مفهومی به مدل شبکه‌ای تبدیل شد. در ادامه نیز محدوده دشت به مدل وارد شد و هر یک از ویژگی‌های آبخوان، منابع تغذیه و تخلیه و چاه‌های مشاهداتی در یک پوشش جداگانه تعریف شد. در مدل مفهومی محدوده مورد مطالعه، موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای و بهره‌برداری به مدل وارد شد. پس از اینکه مدل مفهومی تهیه شد، شبکه و ابعاد آن نیز طراحی شد (Rastegar and Paimozd, 2020 & Rasaei et al, 2020 & Moghaddam et al, 2019). کد مادفلو برای حل مسائل، از شبکه سلول مرکزی تفاضل محدوده استفاده می‌کند. انتخاب اندازه شبکه تابعی از اندازه کل محدوده مدل، گستردگی داده‌ها (داده‌های پیزومتری، داده‌های حفاری، نتایج آزمون پمپاژ و ...)، گرادیان آب زیرزمینی، ایجاد قابلیت تعریف خصوصیات فیزیکی و هیدرودینامیکی بر روی شبکه منفصل در انطباق با خصوصیات آبخوان، همچنین امکان تعریف منابع تغذیه - تخلیه به شکلی مناسب روی شبکه است. با توجه به خصوصیات مربوط به دشت میناب و استفاده از تجارب محققان گذشته، شبکه‌ای با سلول‌هایی به ابعاد  $300 \times 300$  مترمربع در یک لایه برای محدوده موردنظر تهیه شد. اطلاعات رقومی توپوگرافی سطح زمین از داده‌های DEM، با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی استخراج و به مدل وارد شد. سپس با استفاده از درون‌یابی، همه نقاط به طور مستقیم

به یک شبکه مدل نسبت داده شد. نقشه رقومی سنگ کف آبخوان نیز به کمک داده‌های ژئوفیزیک و نقشه تغییرات ضخامت آبخوان ساخته شد (Rastegar and Paimozd, 2020). شناخت ناحیه مدل و مرزهای آن، یکی از اعمال مهم در مدل‌سازی آب زیرزمینی است. در تعریف ناحیه مدل، کاربر مدل می‌بایست ناحیه مورد مطالعه را از سیستم آب زیرزمینی مجاور متمایز سازد. در نتیجه مرز مدل، فصل مشترک بین ناحیه مدل و محیط اطراف آن است. برای مشخص کردن شرایط مرزی، بار هیدرولیکی، میزان جریان یا ترکیبی از آنها به سلول‌های مرزی اختصاص داده شد. از جمله راه‌های تعیین نوع مرز، استفاده از نقشه هم‌تراز آب زیرزمینی و نقشه خطوط جریان 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. پس از مشخص کردن پارامترهای زمانی و پارامترهای هیدرولولیک برای هر سلول مدل، توصیف دقیق شرایط مرزی با استفاده از مناسب‌ترین بسته‌های مادفلو صورت گرفت. به منظور شناسایی مناطق تغذیه و تخلیه زیرزمینی و محاسبه میزان تغذیه و تخلیه، از نقشه خطوط هم‌تراز سطح آب زیرزمینی دشت و مدل مفهومی استفاده شد (Rastegar and Paimozd, 2020). این نقاط، پس از مشخص شدن به مدل وارد و در بعضی مناطق مرزی تغذیه و تخلیه زیرزمینی مشاهده شد. پس از تعیین تمام داده‌های مورد نیاز کد ۲۰۰۰ مادفلو، مدل آماده اجرا شد (Rastegar and Paimozd, 2020). در ابتدا با استفاده از چک‌کننده مدل<sup>۱</sup>، خطاهای احتمالی بررسی و تصحیح شد. در مرحله بعد، یکی از روش‌های محاسباتی کد مادفلو انتخاب و مدل اجرا شد که در این مطالعه از روش تکرار PCG2 استفاده شد (Rastegar and Paimozd, 2020). معمولاً در اولین اجرا، برازش مناسبی بین بار هیدرولولژیک محاسبه شده و اندازه‌گیری شده به دست نخواهد آمد. بنابراین برای رسیدن به یک برازش قابل قبول، باید خطاهای احتمالی موجود در فرایند مدل‌سازی شناسایی و تا حد ممکن رفع و مدل واسنجی شود. در این مطالعه از بسته PEST از نرم‌افزار مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی (GMS)، حساسیت مدل نسبت به پارامترهای مختلف سنجیده شد.

سپس برای مدل‌سازی اثرات ناشی از سناریوهای افزایش برداشت بر افت سطح ایستایی آب زیرزمینی، از سناریوهای مختلف در این زمینه استفاده شد تا اثرات ناشی از سناریوهای افزایش برداشت تحت سناریوهای مختلف ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد افزایش برداشت بر حجم آبخوان و افت آب زیرزمینی مشخص شود؛ از این رو، فرضیه‌های مدل بر اساس سناریوهای مذکور به شرح زیر است:

**سناریوی اول:** ادامه روند کنونی در آینده بر اساس بهره‌برداری کنونی و سناریو ۵ درصد افزایش برداشت؛

**سناریوی دوم:** ادامه روند کنونی در آینده بر اساس بهره‌برداری کنونی و سناریو ۱۰ درصد افزایش برداشت؛

**سناریوی سوم:** ادامه روند کنونی در آینده بر اساس بهره‌برداری کنونی و سناریو ۱۵ درصد افزایش برداشت.

### معیار آب

برای بررسی معیار آب از سه شاخص افت، EC و SAR استفاده شد. داده‌های این شاخص‌ها نیز با استفاده از چاه‌های پیژومتری و بهره‌برداری به دست آمد (Zehetabian et al, 2013). برای پیش‌بینی شاخص افت آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۹۸، ۱۴۰۳، ۱۴۰۸ و ۱۴۱۴، از خروجی‌های آب زیرزمینی کد مادفلو در نرم‌افزار GMS و برای پیش‌بینی

<sup>1</sup> Model Cheker

شاخص SAR و EC در سال‌های مذکور، از روش نروفازی استفاده شد. از متغیر افت آب زیرزمینی نیز به‌عنوان پارامتر کمکی استفاده شد.

### شدت بیابان‌زایی

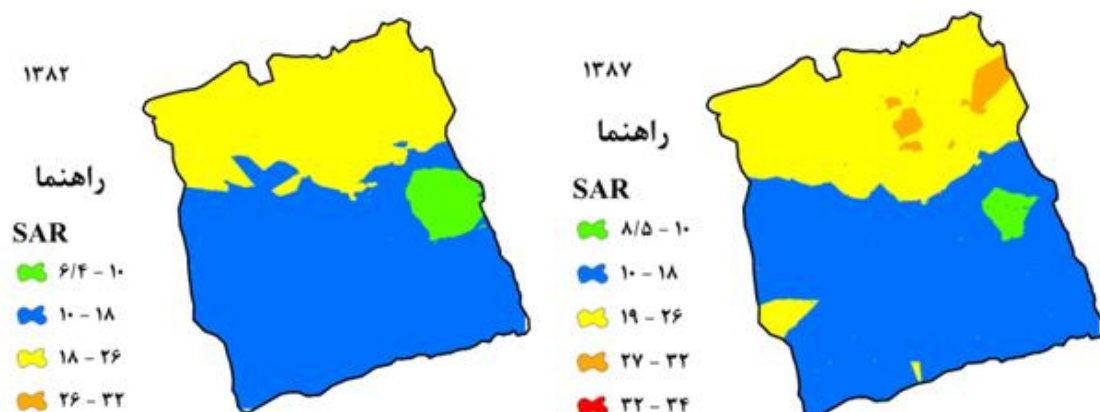
در نهایت، امتیاز دهی هر سه شاخص انجام شد و در انتها نقشه معیار آب منطقه مورد مطالعه از میانگین هندسی شاخص‌ها، بر اساس مدل IMDPA و طبق فرمول زیر به‌دست آمد (Zehtabian et al, 2018):

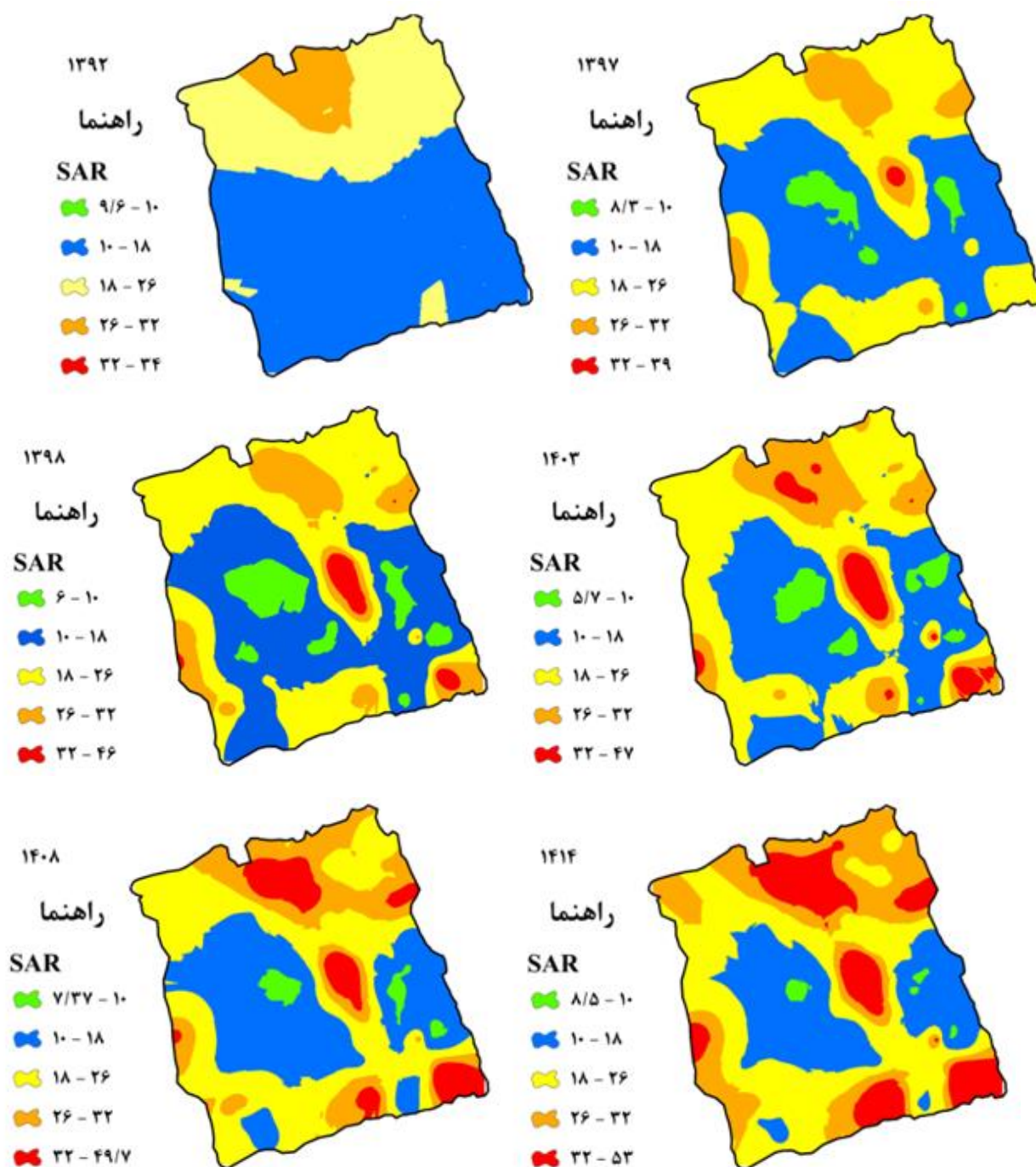
$$\text{رابطه ۱} \quad \frac{1}{3} (\text{نسبت جذب سدیم} \times \text{هدایت الکتریکی} \times \text{افت آب زیرزمینی}) = \text{معیار آب}$$

### ۳- یافته‌ها (نتایج)

#### نسبت جذب سدیم (SAR)

پارامتر نسبت جذب سدیم، یکی از پارامترهای مهم برای بررسی وضعیت کیفی آب زیرزمینی است که در مدل IMDPA بررسی می‌شود؛ از این رو، نقشه پهنه‌بندی این پارامتر در سال‌های مبنای و سال‌های آتی (۱۳۹۸، ۱۴۰۳، ۱۴۰۸ و ۱۴۱۴) در شکل ۳ ارائه شده است. بر اساس شکل، در مقادیر این شاخص در طول دوره زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۴۱۴ تغییر و تحول رخ داده است؛ به طوری که با گذشت زمان بر مقدار این شاخص افزوده شده و از مساحت کلاس‌های با کیفیت بهتر (از نظر این شاخص) کاسته و بر مساحت کلاس‌های با کیفیت بدتر افزوده شده است. از نظر مکانی نیز می‌توان بیان کرد که کلاس‌های نامناسب این شاخص، از قسمت‌های جنوب به سمت شمال در حال پیش‌روی می‌باشد و افزایش این شاخص، از سمت غرب به سمت شرق در حال دادن است. بررسی‌ها در شکل ۳ نشان داد که کلاس بیابان‌زایی بیش از ۳۲، در کل منطقه در سال‌های ۱۳۸۲ ناچیز است. در مقابل، این کلاس در سال ۱۴۱۴ افزایش قابل توجهی خواهد داشت؛ به طوری که قسمت‌های جنوبی، مرکزی و شمال شرقی را در بر خواهد گرفت. شکل ۳ نیز نقشه کلاس‌های وضعیت بیابان‌زایی را از نظر شاخص نسبت جذب سدیم نشان می‌دهد.

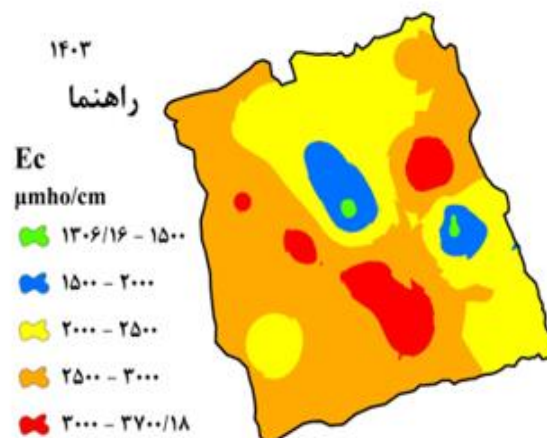
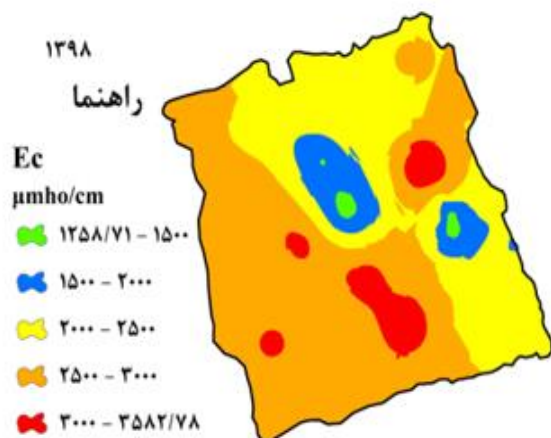
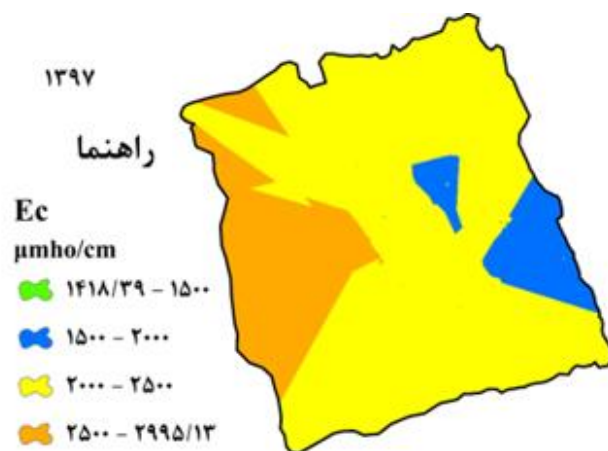
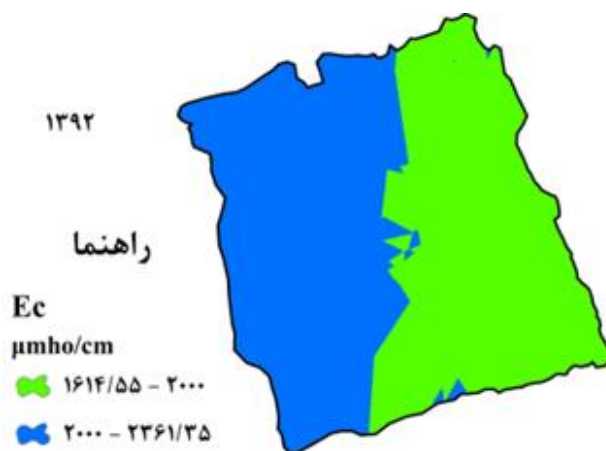
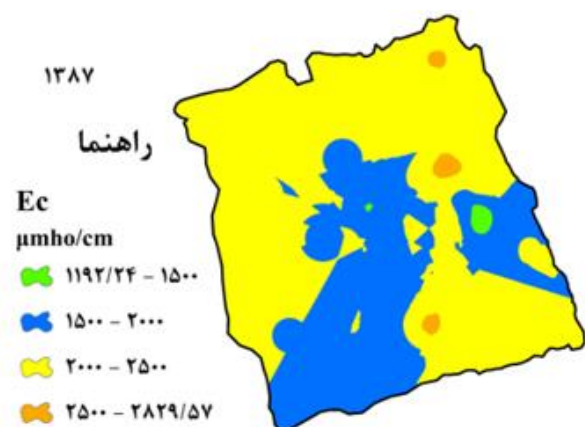
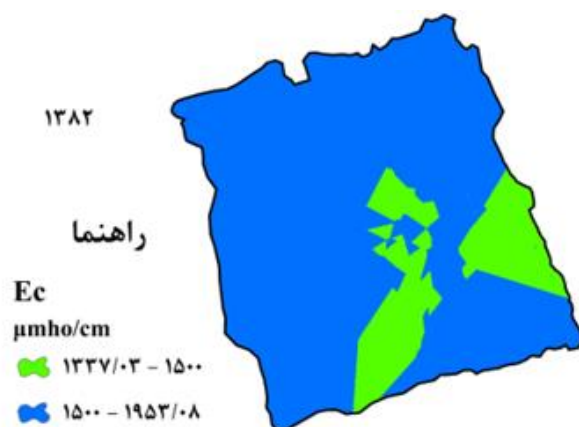


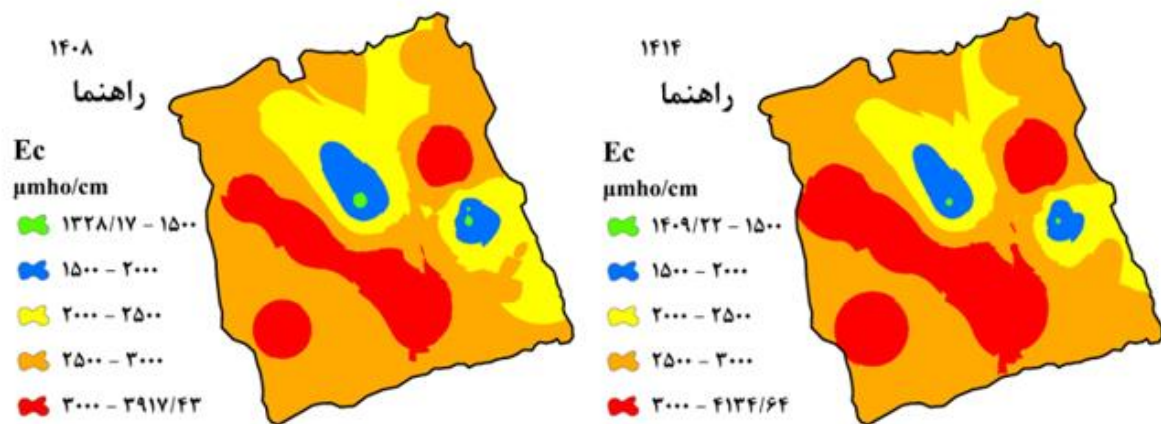


شکل ۳: نقشه شاخص SAR آب زیرزمینی دشت میناب در دوره‌های مختلف

### شاخص هدایت الکتریکی (EC)

بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی برای مصارف متعدد، به پیشروی آب شور به درون آب‌های شیرین منجر می‌شود. این اتفاق اینک از سمت جنوب منطقه مورد مطالعه به سمت شمال منطقه در حال گسترش است. ذکر این امر لازم است که میزان تغییرات شوری در نقاط مختلف یکسان نیست و از نقطه‌ای به نقطه دیگر متفاوت است. شکل ۴، روند تغییرات شاخص EC آب زیرزمینی و پیش‌بینی آن را در دشت میناب نشان می‌دهد.



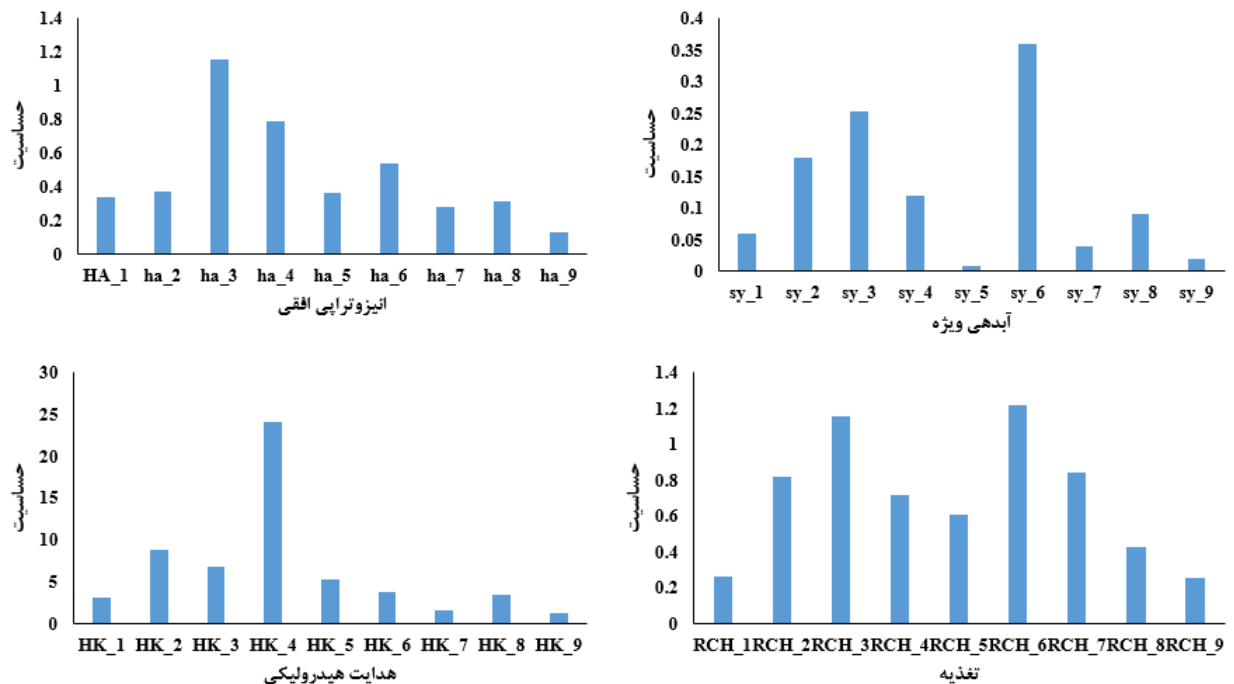


شکل ۴: نقشه شاخص EC آب زیرزمینی دشت میناب در دوره‌های مختلف

### شاخص افت آب

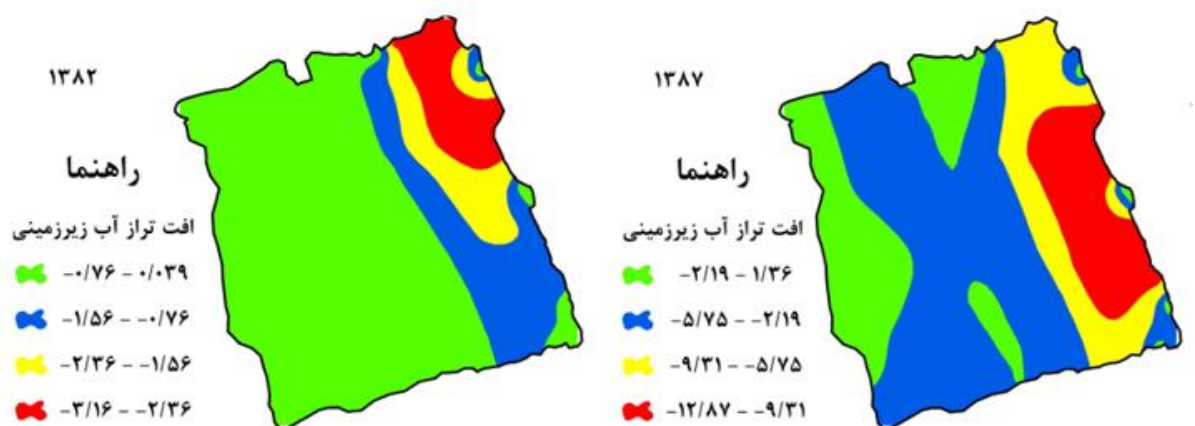
#### آنالیز حساسیت

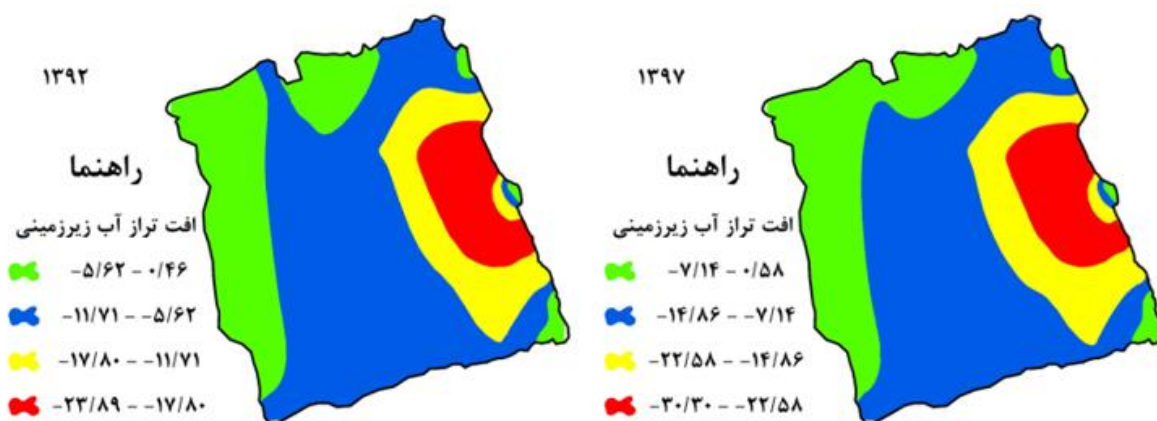
آنالیز حساسیت، روشی برای به کمیت درآوردن فقدان قطعیت‌های موجود در مدل واسنجی شده است. تحلیل حساسیت، جزء اساسی مدل‌سازی است که به وسیله تغییر در پارامترهای مدل (مانند هدایت هیدرولیکی، انیزوتراپی، آبدهی ویژه، تغذیه و ...) و بررسی تأثیر این تغییر بر خروجی مدل انجام می‌شود. اگر تغییر در پارامتر ورودی به تغییر بزرگی در خروجی مدل منجر شود، مدل به آن حساس‌تر است. شیوه رایج در تحلیل حساسیت این است که فقط یک پارامتر ورودی تغییر داده می‌شود. در مدل واسنجی شده آبخوان با تعیین فقدان قطعیت داده‌های ورودی، پارامترهای مدل‌سازی در دامنه معقول و مشخص تغییر داده می‌شود. حساس‌ترین پارامتر، پارامتری است که کمترین تغییر در آن به بیشترین تغییر در واسنجی منجر شود که در این زمینه، حساسیت مدل نسبت به پارامترهای هدایت هیدرولیکی، انیزوتراپی افقی، تغذیه و آبدهی ویژه مشخص شد (شکل ۵). حساسیت پارامترهای مذکور نشان می‌دهد که هدایت هیدرولیکی در آبخوان به علت کمبود آزمایش‌های پمپاژ و ناقص بودن آنها، فقدان قطعیت زیادی دارد.



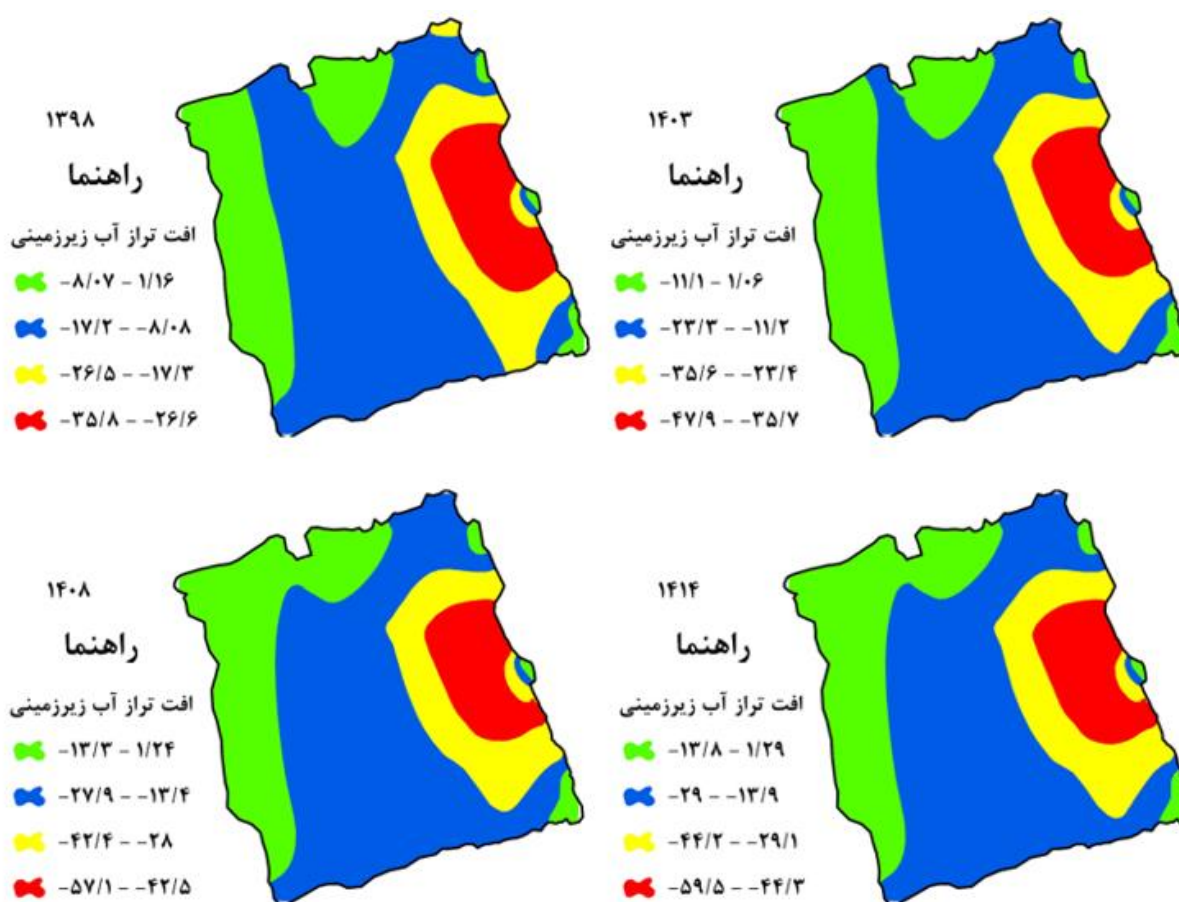
شکل ۵: حساسیت مدل نسبت به تغییرات پارامترهای انیزوتراپی افقی، آبدهی ویژه، هدایت هیدرولیکی و تغذیه

در منطقه مورد مطالعه با وجود ممنوعیت حفاری و بهره‌برداری جدید، طی سال‌های اخیر به علت حفر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق به منابع آب زیرزمینی این منطقه لطمه‌های شدیدی وارد شده‌است؛ به طوری که میزان افت آبخوان در حالت پایه (سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷) نشان داد که در این سال‌ها بیشترین افت آبخوان به ترتیب برابر با ۳/۱۶، ۱۲/۸۷، ۲۳/۸۹ و ۳۰/۳۰- بوده‌است (شکل ۶). همچنین به دلیل برداشت آب زیرزمینی برای مصارف متعدد، بیشترین میزان افزایش تراز سطح آب در دشت میناب با گذشت زمان ۱۳۸۲-۱۴۱۴ تحت سناریوهای ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد افزایش بهره‌برداری، به ترتیب ۵/۵۹، ۳/۶۱ و ۲/۶۳- متر است و حجم آبخوان تحت تأثیر این سناریوها ۵۵/۱۵۳، ۸۶/۱۶۰ و ۱۷/۱۶۸ میلیون مترمکعب نسبت به شرایط پایه تحت تأثیر این سناریوها به ترتیب کاهش می‌یابد که نتایج آن در شکل‌های ۶ تا ۹ نشان داده شده‌است.

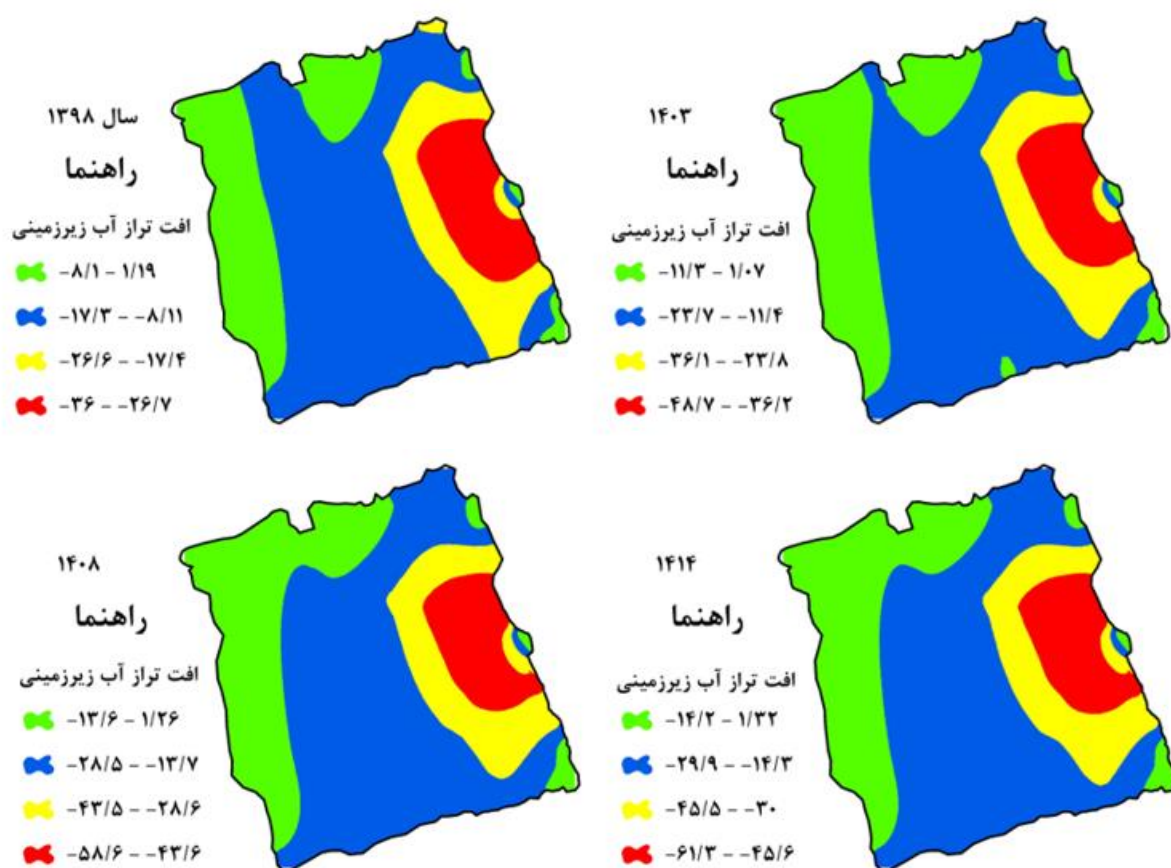




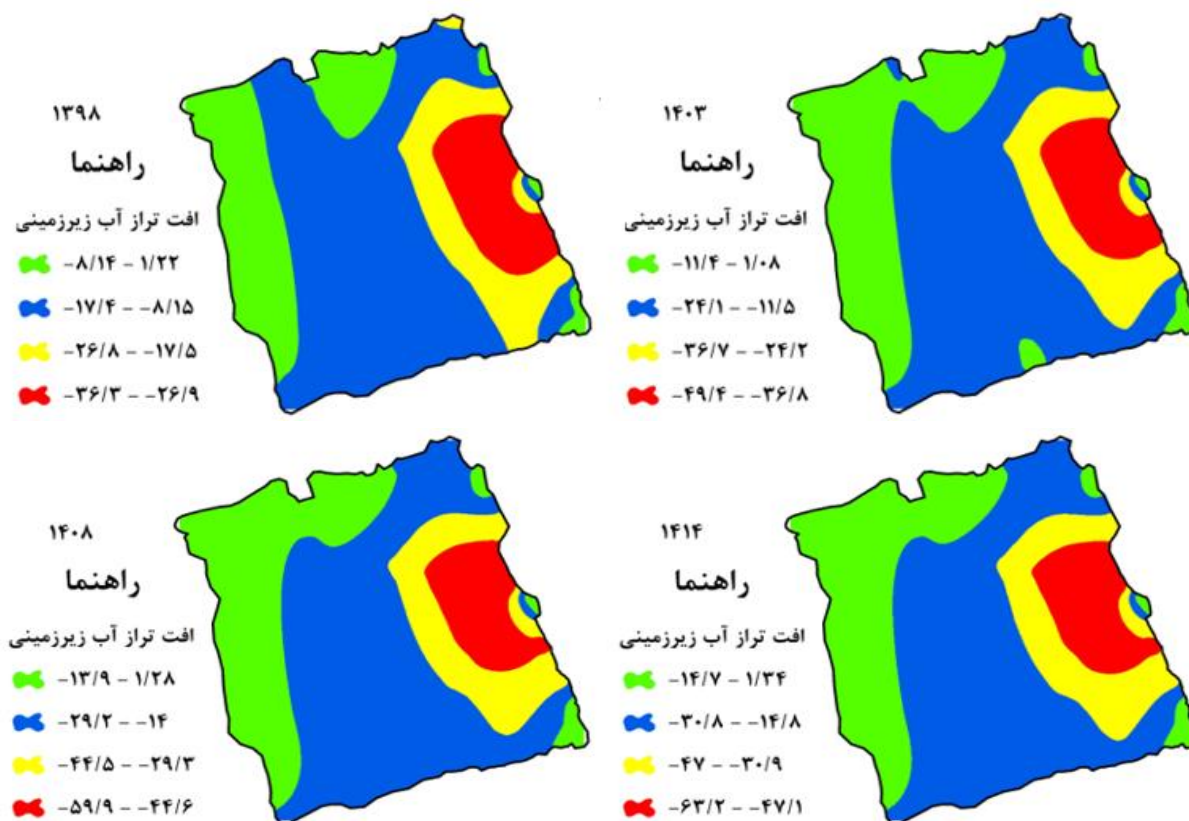
شکل ۶: نقشه شاخص افت آب دشت میناب در دوره‌های مختلف پایه



شکل ۷: نقشه شاخص افت آب دشت میناب در دوره‌های مختلف بر اساس سناریو ۵ درصد افزایش



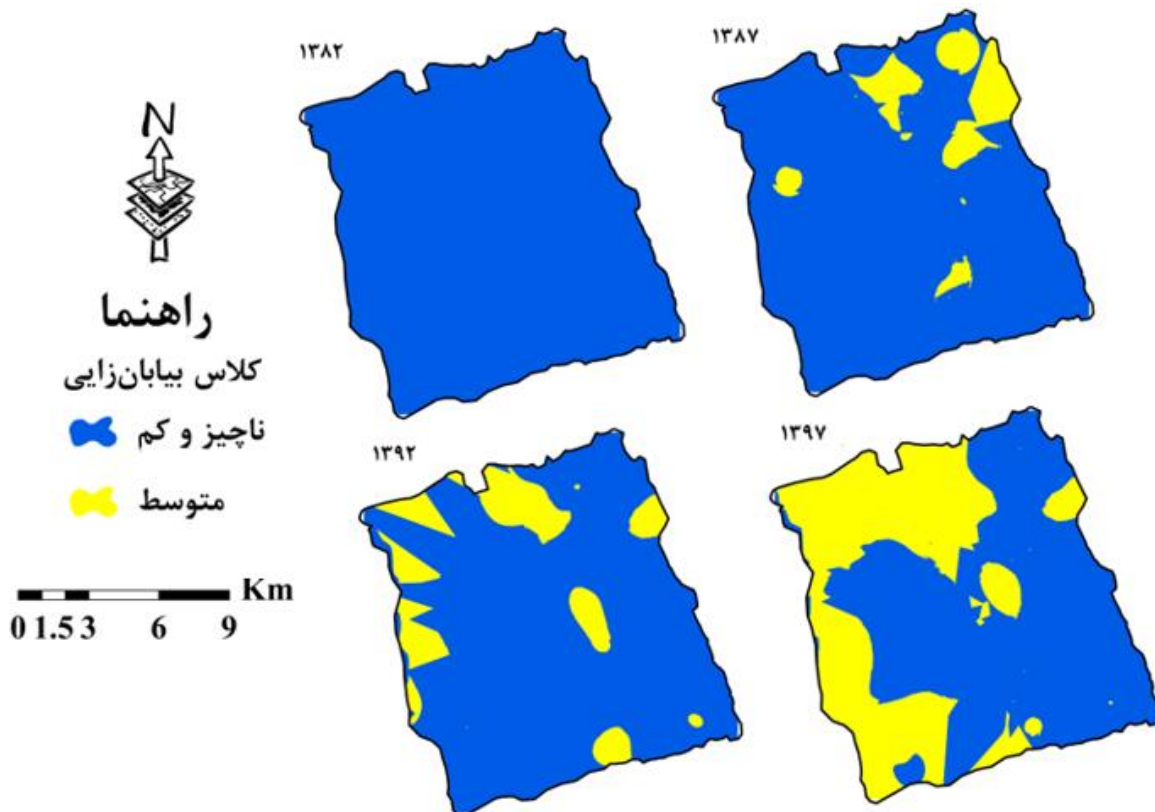
شکل ۸: نقشه شاخص افت آب دشت میناب در دوره‌های مختلف بر اساس سناریو ۱۰ درصد افزایش



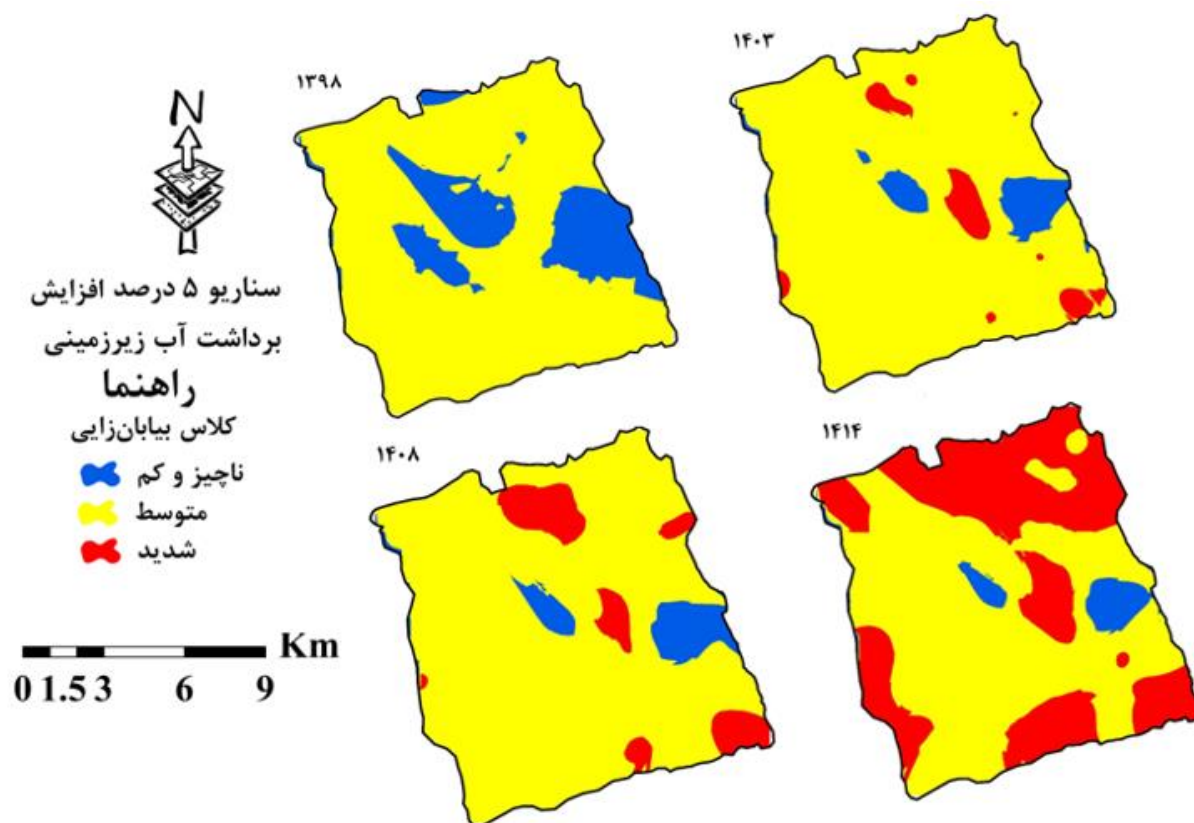
شکل ۹: نقشه شاخص افت آب دشت میناب در دوره‌های مختلف بر اساس سناریو ۱۵ درصد افزایش

## نقشه بیابان‌زایی منطقه متأثر از معیار آب

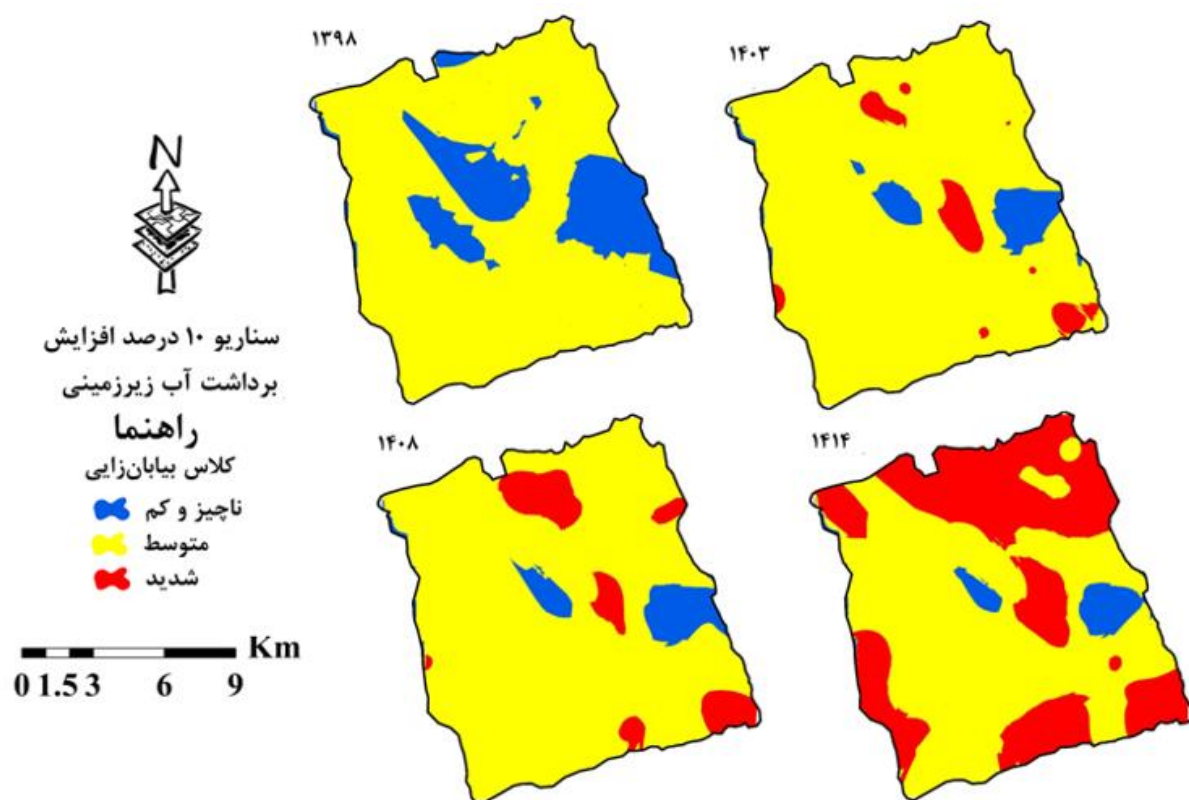
بررسی‌های انجام شده بر روی متوسط وزنی ارزش‌های کمی عوامل مؤثر بر تخریب منابع آب نشان می‌دهد که شدت بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه با درجه‌های گوناگونی در حال رخ دادن است و شدت بیابان‌زایی معیار آب با گذشت زمان به سمت شمال، جنوب، مرکز و غرب این منطقه در حال گسترش می‌باشد که نتایج آن در دوره‌های مختلف در شکل ۹ ارائه شده است. بر اساس این شکل می‌توان اذعان کرد که در دوره پایه، قسمت بیشتر منطقه در کلاس بیابان‌زایی کم قرار داشت و با گذشت زمان، از مساحت این کلاس کاسته شد و به سمت کلاس بیابان‌زایی متوسط سوق یافت؛ به طوری که مساحت کلاس بیابان‌زایی متوسط در سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ به ترتیب برابر با صفر، ۳۲/۳۷، ۴۶/۳۵ و ۱۲۳/۴۸ کیلومترمربع و کلاس بیابان‌زایی خیلی کم در سال‌های مذکور به ترتیب برابر با ۱۲۵/۹۳، ۶/۵۴، ۰/۲۳ و ۰/۰۷ کیلومترمربع بود (شکل ۹). در سناریو پنج درصد افزایش بهره‌برداری، کلاس‌های شدت بیابان‌زایی خیلی کم، کم و متوسط در سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۱۴ به ترتیب ۲/۶۴، ۴۵/۴۷ و ۷۲/۰۴ کیلومترمربع کاهش دارد؛ در صورتی که کلاس بیابان‌زایی شدید در سال‌های مذکور ۱۲۰/۱۴ کیلومترمربع افزایش می‌یابد. توضیحات مذکور در مورد سناریوهای ۱۰ و ۱۵ درصد افزایش بهره‌برداری نیز صدق می‌کند؛ به گونه‌ای که کلاس شدت بیابان‌زایی خیلی کم، کم و متوسط از سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۱۴ به ترتیب ۰/۰۶، ۴۷/۹۶ و ۷۲/۱۸ و ۰/۰۶، ۴۸/۰۰ و ۷۲/۱۴ کیلومترمربع در سناریوهای ۱۰ و ۱۵ درصد افزایش بهره‌برداری، کاهش و کلاس شدت بیابان‌زایی شدید در این سناریوها به ترتیب ۱۲۰/۱۸۷ و ۱۲۰/۱۸۹ کیلومترمربع افزایش می‌یابد (شکل‌های ۱۰ تا ۱۳).



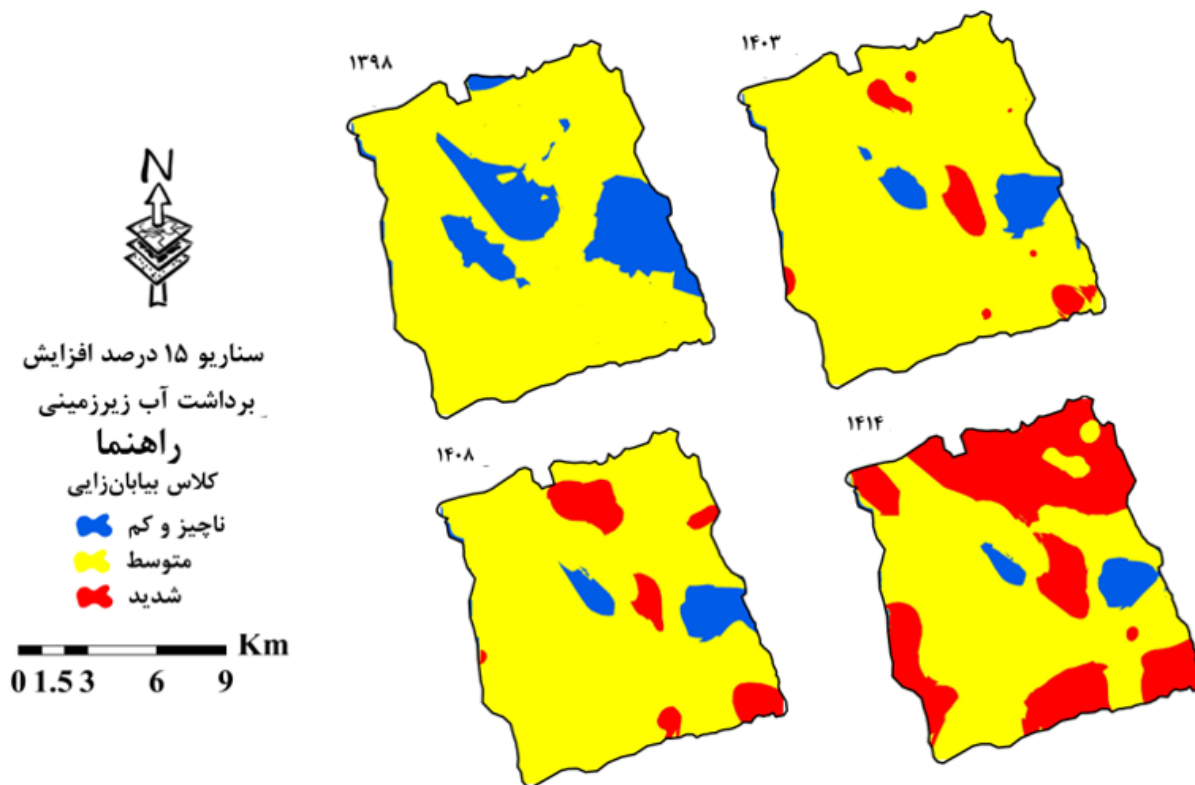
شکل ۱۰: نقشه معیار آب دشت میناب در دوره‌های مختلف پایه



شکل ۱۱: نقشه معیار آب دشت میناب در دوره‌های مختلف بر اساس سناریو ۵ درصد افزایش



شکل ۱۲: نقشه معیار آب دشت میناب در دوره‌های مختلف بر اساس سناریو ۱۰ درصد افزایش



شکل ۱۳: نقشه معیار آب دشت میناب در دوره‌های مختلف بر اساس سناریو ۱۵ درصد افزایش

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

از جمله عوامل مؤثر در مدیریت یکپارچه منابع آب، شناخت علمی و دقیق منابع آب است که این کار با کسب آگاهی دقیق از وضعیت این منابع ارزشمند در همه اکوسیستم‌ها از جمله مناطق خشک و نیمه‌خشک و ارائه و اتخاذ راهکارهای مناسب امکان‌پذیر است؛ زیرا این اکوسیستم‌ها بیشترین تأثیر را از این منابع جبران‌ناپذیر می‌پذیرند و هرگونه دخل و تصرف نابه‌جا و نامناسب در این منابع ارزشمند در این مناطق، می‌تواند خسارت جبران‌ناپذیری به همراه داشته باشد.

دشت میناب با توجه به شرایط اقلیمی حاکم بر آن، کمبود بارش و خشکسالی‌های متوالی، خشک شدن رودخانه دائمی و پر آب سفیدرود در آن - به علت ساخت سد استقلال - و افزایش تراکم جمعیت، به منابع آب زیرزمینی وابسته است. اینک به علت برداشت بی‌رویه از این منابع و پیامدهای حاصل از آن، این دشت به عنوان یکی از دشتهای ممنوعه در کشور محسوب می‌شود؛ از این رو، با آگاهی از وضعیت کمیت و کیفیت آب زیرزمینی، می‌توان به فهم و درک مناسبی از وضعیت کمیت و کیفیت آب زیرزمینی در آن دست یافت و از آلودگی بیشتر منابع آب زیرزمینی در دراز مدت، اثرات مخرب اکولوژیکی و در نهایت، پدید آمدن بحران‌های اجتماعی جلوگیری کرد.

بنابراین، در این پژوهش ابتدا به بررسی تغییرات پارامترهای کمیت و کیفیت آب زیرزمینی در دشت میناب و بررسی آنها در گذشته، حال و آینده پرداخته شد؛ بدین منظور، از سناریوهای جدید افزایش بهره‌برداری (۵، ۱۰ و ۱۵ درصد افزایش بهره‌برداری) با استفاده از نرم‌افزار GMS استفاده شد. سپس به منظور ارزیابی معیار بیابان‌زایی آب زیرزمینی در این دشت در دوره‌های گذشته، حال و آینده، از مدل IMDPA استفاده شد (Zehtabian et al, 2018).

نتایج بررسی میزان افت آب زیرزمینی در سال‌های پایه ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۷ بیانگر این نکته است که افت آب زیرزمینی در نقاط مختلف دشت صورت می‌گیرد، اما شدت آن در مناطق مختلف متفاوت است که این به دلیل ساختار پیچیده آبخوان، میزان برداشت و تراکم چاه‌های بهره‌برداری در منطقه می‌باشد. در سال ۱۳۸۲، از لحاظ پراکنش مکانی نیز بیشترین میزان افت در بخش‌های شمالی رخ داد، اما با گذشت زمان این میزان به سمت شمال شرق و غرب منطقه کشیده شد. همچنین پیش‌بینی افت آب زیرزمینی دشت در سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۱۴ نشان داد که روند افت سفره همچنان ادامه خواهد داشت و افزایش میزان افت به سمت جنوب منطقه در حال گسترش خواهد بود که با نتایج Razandi و همکاران (2013) در بررسی وضعیت منابع آب زیرزمینی دشت ورامین با استفاده از کد مادفلو مطابقت دارد.

برای بررسی روند بیابان‌زایی براساس معیار آب زیرزمینی در دشت میناب، از مدل بیابان‌زایی IMDPA استفاده شد و در نهایت بر اساس روند تغییرات موجود در گذشته، حال و آینده، شرایط بیابان‌زایی در سال‌های ۱۳۹۸، ۱۴۰۳، ۱۴۰۸ و ۱۴۱۴ پیش‌بینی شد؛ به طوری که با پیش‌بینی وضعیت بیابان‌زایی در سال‌های آینده این نتیجه به دست آمد که معیار آب زیرزمینی در بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه نقش مؤثرتری دارد. این نتایج با نتایج Eskandari Damaneh و همکاران (۲۰۱۹)، در حوضه غرب تالاب جازموریان همخوانی دارد.

بررسی‌های انجام شده بر روی تخریب منابع آب نشان می‌دهد که شاخص افت آب زیرزمینی، مؤثرترین عامل در افزایش شدت بیابان‌زایی در منطقه است. این شاخص، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های بیابان‌زایی در بسیاری از مناطق کشور است و در طی چند سال گذشته، در گسترش بیابان‌زایی و تخریب اراضی به شدت نقش مؤثری داشته است که علت اصلی آن، برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، توسعه فن حفر چاه‌های عمیق، امکان بهره‌برداری از لایه‌های آبد عمیق‌تر، نصب پمپ‌های قوی بر روی چاه‌ها و بهره‌برداری بیشتر از آب‌های زیرزمینی است که این امر به افت هر چه بیشتر سطح سفره آب زیرزمینی منجر شده و به دنبال آن، در پی کاهش هر چه بیشتر کیفیت آب به دلیل پیشروی آب‌های شور صورت گرفته است (Zehtabian et al, 2018 & Zehtabian et al, 2013). برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به کاهش شدید کیفیت آب‌های زیرزمینی و شور شدن هر چه بیشتر آنها (به دلیل تغییر شیب هیدرولیکی و حرکت سفره آب شور از مناطق آلاینده به سمت سفره آب شیرین و تلاقی سفره‌های آب شور با آب شیرین در منطقه) منجر شده است. پیش‌بینی‌ها در مورد پارامترهای EC و SAR در سال‌های ۱۳۹۸، ۱۴۰۳، ۱۴۰۸ و ۱۴۱۴ نشان می‌دهد که میزان این پارامترها در سال ۱۴۱۴ در آب زیرزمینی افزایش خواهد یافت و آلودگی ناشی از آن به سمت شمال منطقه در حال حرکت است که این نتایج با نتایج Azareh و همکاران (۲۰۱۶)، در دشت قزوین مطابقت دارد.

بررسی‌های انجام شده در مورد شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل IMDPA در دوره‌های مختلف نشان داد که اینک بیابان‌زایی با تکیه بر معیار آب زیرزمینی و با درجه‌های مختلف در سطح دشت در حال رخ دادن است و در آینده نیز با شدت بیشتر ادامه خواهد یافت. همچنین بیابان‌زایی به سمت شمال و غرب منطقه در حال گسترش است؛ به طوری که در دوره پایه در سال ۱۳۸۲، قسمت بیشتر منطقه در کلاس بیابان‌زایی کم و خیلی کم قرار داشت. مساحت این کلاس‌ها در این سال به ترتیب برابر با ۶۰/۹۹ و ۳۹/۰۰ درصد بود که با گذشت زمان از مساحت آنها در سال ۱۳۹۷ کاسته و به مساحت کلاس بیابان‌زایی متوسط افزوده شد؛ به طوری که مساحت کلاس بیابان‌زایی متوسط در ۱۳۹۷ برابر با ۳۸/۲۴

درصد بود؛ در صورتی که این کلاس در سال مبنا (۱۳۸۲) مساحتی برابر با صفر درصد داشت. در سناریو ۵ درصد افزایش بهره‌برداری، کلاس‌های شدت بیابان‌زایی شدید در سال ۱۳۹۸ و ۱۴۱۴ مساحتی به ترتیب برابر با صفر و ۳۷/۲۰ درصد دارد؛ یعنی در طول دوره هفده ساله آینده در حدود ۳۷/۲۰ درصد افزایش خواهد داشت. کلاس‌های بیابان‌زایی کم، خیلی کم و متوسط نیز در مجموع در سال ۱۳۹۸ و ۱۴۱۴ مساحتی به ترتیب برابر با ۱۰۰ و ۶۲/۷۹ درصد دارد و کاهش ۳۷/۲۰ درصدی را تجربه خواهد کرد. در مورد سناریوهای ۱۰ و ۱۵ درصد افزایش بهره‌برداری نیز مانند سناریو ۵ درصد افزایش بهره‌برداری، این کاهش و افزایش شدت بیابان‌زایی صدق می‌کند؛ به طوری که مجموع کلاس شدت بیابان‌زایی خیلی کم، کم و متوسط در سال ۱۳۹۸ و ۱۴۱۴ به ترتیب ۶۲/۷۷ و ۶۲/۷۷ درصد است و کلاس شدت بیابان‌زایی شدید به ترتیب در این سناریوها ۳۷/۲۱ و ۳۷/۲۱ درصد افزایش می‌یابد. این نتایج با نتایج Mombeni و همکاران (۲۰۱۵) در دشت عباس در جنوب استان ایلام، Silakhori و همکاران (۲۰۱۹) در منطقه سبزوار، Heidarizadi و همکاران (۲۰۲۰) در دشت ابوغویر دهلران در استان ایلام و Amirazodi و همکاران (۲۰۱۹) در منطقه شکریه استان فارس مطابقت دارد. در جمع‌بندی کلی از مطالب بیان شده می‌توان چنین ادعا کرد که تمامی اجزای طبیعت به صورت پیوسته با هم ارتباط دارند و تغییر در هر کدام، به تغییر در بقیه اکوسیستم منجر می‌شود؛ به طوری که کاهش کمیت آب زیرزمینی به کاهش کیفیت آن می‌انجامد. بنابراین، باید با ارائه سازوکارهایی - که کمترین آسیب را به کل اکوسیستم وارد می‌کنند - از افت کمیت و کیفیت هر چه بیشتر سفره‌های آب زیرزمینی جلوگیری کرد.

#### منابع و مآخذ

1. Ahmadaali, K.; Eskandari Damaneh, H.; Ababaei, B.; & H. Eskandari Damaneh, 2021. Impacts of droughts on rainfall use efficiency in different climatic zones and land uses in Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, 14(2), 1-15.
2. Ahmadaali, K.; Eskandari Damaneh, H.; & B. Jabalbarez, 2018. Application of Geostatistical methods to estimate groundwater level fluctuations, *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 6(1), 11-22.
3. Akbarpour, A., 2016. Simulation-Optimization Quantitative and qualitative model operation of aquifer in order to adjust pollutant concentrations using Cuckoo algorithm, *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(5), 87-103.
4. Amirazodi, A.; Malekian, A.; mohamadkhan, S.; mashhadi, N.; & A. Ehsani, 2019. Feasibility Study of Zoning Desertification Intensity Using IMDPA Model (Case Study: Shekarouye region, Fars Province), *Geographic Space*, 19(66), 121-137. (In Persian).
5. Anwar, K. M., & A. Vanita., (2014). Analysis of groundwater quality using statistical techniques: A case study of Aligarh city (India). *International journal of technical research and applications*. 2(5), 100-106.
6. Azareh, A., 2016. Modeling Climate Change Impacts On Groundwater Deflection and Land Degradation (Case Study: Qazvin plain), Faculty of Natural Resources, 217 page. (In Persian).
7. Belkhir, L., & T. S. Narany., (2015). Using Multivariate Statistical Analysis, Geostatistical Techniques and Structural Equation Modeling to Identify Spatial Variability of Groundwater Quality. *Water Resources Management*. 29(6), 2073-2089.
8. Chit Sazan, M.; Nozarpour, L.; Nadri, A.; Farhadi Manesh, M, 2015. Evaluation of hydraulic relationship between Lore Andimeshk plain aquifer and Dez river using MODFLOW model, *Advanced Applied Geology*, 5(17), 23-36.

9. Eskandari Damaneh, H.; Zehtabian, G. R.; Khosravi, H.; Azarnivand, H.; & A. Barati, 2021. Simulation of future spatial and temporal changes in land uses and cover in arid areas (Case study: Minab plain), *Journal of Range and Desert Research*, 28(3), 520-536. (In Persian).
10. Eskandari Damaneh, H.; Zehtabian, G. R.; Salajeghe, A.; Ghorbani, M.; & H. Khosravi, 2018. Assessing the effect of land use changes on groundwater quality and quantity (Case study: west basin of Jazmoryan wetland), *Journal of Range and Watershed Management*, 71(3), 1. (In Persian).
11. Eskndari Dameneh, H.; Khosravi, H.; & A. Abolhasani, 2019. Assessing the Effect of Land Use Changes on Groundwater Quality of Zarand Plain using Satellite Images and Geostatistical, *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8(20), 67-82. (In Persian).
12. Ghorbani, Mehdi.; Eskandari-Damaneh, H.; Cotton, M.; Ghoochani, O.; & M. Borji, 2020. Harnessing indigenous knowledge for climate change-resilient water management-lessons from an ethnographic case study in Iran, *Climate and Development*.
13. 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).
14. Heidarizadi, Z.; Karimi, H.; & A. A. Arami, 2020. Assessment and Providing Map of the Desertification Risk in AbuGhoveyr Plain, Dehloran, Ilam Province, *Human and Environment*, 54, 52-63. (In Persian).
15. Jang, Sh.; Fang Chen, Ch.; Liang, Ch.; & J. Chen, 2016. Combining groundwater quality analysis and a numerical flowsimulation for spatially establishing utilization strategies for groundwater and surface water in the Pingtung Plain, *Hydrology*, 533, 541-556.
16. Khosravi, H.; Eskandari Damaneh, H.; Azarnivand, H.; & A. Barati, 2020. Simulation and prediction of climatic parameters of temperature and precipitation in arid regions (Case study: Minab Plain, Iran), *Geography*, 18(66), 110-127. (In Persian).
17. Malekzadeh, M.; Kardar, S.; Saeb, K.; Shabanlou, S.; & L. Taghavi, 2019. Prediction of Groundwater Level using MODFLOW, Extreme Learning Machine and Wavelet-Extreme Learning Machine Models, *Iran-Water Resources Research*, 14(5), 496-501.
18. Moghaddam, H. K.; Kivi, Z. R.; Bahreinimotlagh, M.; & M. J. Alizadeh, 2019. Developing comparative mathematic models, BN and ANN for forecasting of groundwater levels, *Groundwater for Sustainable Development*, 9, 100237.
19. Mombeni, M.; Karamshahi, A.; Graee Azadnia, F.; & H. Khosravi, 2015. Assessing Current State of Desertification Based on Water, Climate and Soil Indicators Using IMDPA Model (Case Study: Dashte Abbas), *JWSS*, 19 (72), 349-359.
20. Papaioannou, A.; Mavridou, A.; Hadjichristodoulou, C.; Papastergiou, P.; Pappa, O.; Dovriki, E.; & I. Rigas, 2010. Application of multivariate statistical methods for groundwater physicochemical and biological quality assessment in the context of public health, *Environmental monitoring and assessment*, 170(1), 87-97.
21. Parhizkar, S.; Ajdari, K.; Kazemi, G. A.; & S. Emamgholizadeh, 2015. Predicting water level drawdown and assessment of land subsidence in Damghan aquifer by combining GMS and GEP models, *Geopersia*, 5(1), 63-80.
22. Rasaei, A. H.; Sharafati, A.; & H. Kardan Moghaddam, 2020. Analysis of groundwater uncertainty in climate change (Case study: Hashtgerd Plain), *Journal of Echo Hydrology*, 7(3), 815-827. (In Persian)
23. Rastegar, A., & S. Paimozd., (2020). Investigating Climate Change Effects on Groundwater-Level Decline in Kerman Plain via GMS Model, *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 9(26), 43-60. (In Persian).
24. Razandi, Y.; Malekian, A.; & S. Khaliqi, 2014. Investigation of groundwater resources using simulation of aquifer behavior by Modflow model: A case study of Varamin plain. Master Thesis. faculty of natural resources, University of Tehran. (In Persian).

25. Savari, M.; Eskandari Damaneh, H.; & H. Eskandari Damaneh, 2020. Pathology of Underground Water Resources Management among Local Communities in the Western Basin of Jasmourian Wetland, *jwmr*, 11 (21), 84-97. (In Persian).
26. Scanlon, B. R.; Reedy, R. C.; Stonestrom, D. A.; Prudic, D. E.; & K. F. Dennehy, 2005. Impact of land use and land cover change on groundwater recharge and quality in the southwestern US, *Global Change Biology*, 11(10), 1577-1593.
27. Silakhori, E.; Ownegh, M.; & A. Sadoddin, 2019. Spatial distribution of desertification hazard in Sabzevar using IMDPA model, *Journal of Environmental Science and Technology*, 21(4), 203-217.
28. Spanos, T.; Ene, A.; & I. B. Karadjova, 2015. Assessment of toxic elements Cu, Cr, Ni, Pb, Cd, Hg, Zn, As and hexavalent chromium in sewage sludge from municipal wastewater treatment plants by combined spectroscopic techniques, *Romanian J Phys*, 60(1-2), 237-245.
29. 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.
30. Zehtabian, G. R.; Khosravi, H.; Eskandari Damaneh, H.; & A. Abolhasani, 2018. An Iranian Model of Desertification Potential Assessment for Sustainable Regional Development, *Environmental erosion research*, 8 (1), 21-38. (In Persian).
31. Zehtabian, G. R.; Khosravi, H.; & R. Masoudi, 2013. Desertification assessment models (criteria and indicators). *University of Tehran press*, 268 page. (In Persian).
32. Zekri, S.; Madani, K.; Bazargan-Lari, M. R.; Kotagama, H.; & E. Kalbus, 2017. Feasibility of adopting smart water meters in aquifer management: An integrated hydro-economic analysis, *Agricultural Water Management*, 181, 85-93.

# The Future of Temporal and Spatial Variations in the Quantitative and Qualitative Parameters of Groundwater in Arid Regions: A Case Study of Minab Plain

**Hamed Eskandari Damaneh:** Postdoctoral Researcher Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

**Gholamreza Zehtabian:** Professor Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

**Hassan Khosravi<sup>1</sup>:** Associate Professor Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

**Hossein Azarnivand:** Professor Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

**Aliakbar Barati:** Assistant professor Department of Agricultural Management and Development, Faculty of Agricultural Economics and Development, University of Tehran, Iran

Article History (Received: 2021/08/9

Accepted: 2022/03/28)



20.1001.1.22517812.1401.12.3.1.0

## Extended abstract

### 1- Introduction

Nowadays, an unprecedented need is felt for considering groundwater quantity and quality in water resource management plans in all ecosystems. The availability of adequate and proper water resources for various uses is an important factor of sustainable development in arid and semi-arid regions such as Minab Plain in the south of Iran. Given the climatic conditions of this plain and the overuse of groundwater tables for various uses, it was decided to investigate the variations in the quantity and quality of groundwater tables and simulate their future trend to find out their impact on the rate of desertification and land degradation. There are diverse traditional methods to assess the quantity and quality of underground water, but they are not economical in time and cost. Today, modern groundwater quantity and quality determination methods have mostly resolved this problem to be informative about the future trend of these variations. Hydrological models were used to estimate groundwater variations trends. Different scenarios were applied to plan and manage these irreparable resources in the future. The present study evaluates groundwater tables' quantitative and qualitative variations using the MGS software package and the Modular Three-Dimensional Finite-Difference Groundwater Flow Model (MODFLOW) code. The variations of these irreparable resources were simulated in Minab plain to study the rate of desertification in the past, present, and future. Finally, the managerial approaches were proposed to prevent the further depletion and quality loss of groundwater tables in this plain and adopt strategies tailored to determine the desertification rate in the future.

### 2- Methodology

For this research, data of hydrology and geology of the Minab Plain aquifer were supplied by Iran Water Resources Management Company for 2003-2018. After data collection, GMS10.5 was employed to study and model groundwater resources and their future condition. First, the variations in groundwater quantitative and qualitative parameters in Minab Plain and their past, present, and future states were examined. New scenarios of use increase of 5%, 10%, and 15% higher use were used in GMS10.5. Then, the IMDPA model was employed to assess the rate of desertification of groundwater tables in the plain in the past, present, and future.

### 3- Results

The results showed that the highest depletion was -3.16, -12.87, -23.89, and -30.30 in the base years of 2003, 2008, 2013, and 2018, respectively. It has happened due to the digging of deep and semi-deep wells. The highest increase in water level balance over 2003-2035 has been -59.5, -61.3, and -63.2 m under the scenarios of 5%, 10%, and 15% higher use, respectively. Prediction of the qualitative parameters of EC and SAR for

<sup>1</sup> Corresponding Author: [hakhosravi@ut.ac.ir](mailto:hakhosravi@ut.ac.ir)

2019, 2024, 2029, and 2035 indicates that these parameters will increase in 2035. The resulting pollution will move from the south towards the north. The weighted mean of quantitative values of the factors influencing water resource degradation shows that desertification occurs in the studied region at different rates. Over time, the desertification rate of water criterion will expand towards the north, south, center, and west of the area. The results for different periods are depicted in a figure. It can be asserted that a great part of the region is in the low desertification class in the base period, but the area of this class decreases. The medium desertification class expands over time. The area of the medium desertification class has been 0, 32.37, 46.35, and 123.48 km<sup>2</sup> in 2003, 2008, 2013, and 2018, respectively. The very low desertification class has been 125.93, 6.54, 0.23, and 0.07 during this period. In the 5% higher use scenario, the very low, low, and medium desertification classes have decreased by 2.64, 45.47, and 72.04 km<sup>2</sup> over 2009-2035. The very high desertification class has increased by 120.14 km<sup>2</sup> in this scenario. It was the same for the scenarios of 10% and 15% higher use. The very low, low, and medium desertification classes have decreased by 0.06, 72.18, and 48.00 km<sup>2</sup> in the 10% higher use scenario and by 47.96, 0.06, and 72.14 km<sup>2</sup> in the scenario of 15% higher use over 2019-2035. The very high desertification class has increased by 120.189 and 120.187 km<sup>2</sup> in these scenarios, respectively.

#### 4- Discussion & Conclusions

The results revealed that desertification is happening across the plain at different rates and will continue at a higher rate in the future. It can be summarized that all components of nature are chained to one another. A change in one component entails a change in the other parts of the system so that a decline in groundwater quantity reduces its quality. So, approaches should be adopted to prevent the further quantitative and qualitative decline of groundwater tables, and mechanisms should be taken to minimize damages to the whole ecosystem. Finally, some executive approaches for preventing land degradation and desertification based on the regional water criterion include reforming cropping patterns, adopting modern irrigation methods, and feeding the bed of the plain by flooding.

**Key Words:** EC index, Foresight, Groundwater criterion, Groundwater depletion index, Minab Plain, SAR index