

بررسی تغییرات کیفیت و تعیین پهنه آسیب پذیری آبخوان دشت ساری با استفاده از مدل SI و آزمون ناپارامتری من-کندال

فاطمه شکریان^۱، عارف صابری^۲، سیده عالمه صباغ^۳

مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۳/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۱

چکیده

آب‌های زیرزمینی یکی از منابع مهم تأمین آب شرب و کشاورزی در مناطق شمالی کشور به شمار می‌آیند. افزایش جمعیت و تقاضا برای محصولات کشاورزی خصوصاً برنج در نواحی شمالی کشور میزان بهره‌برداری از منابع آب را در یک دهه گذشته افزایش داده است. هدف از تحقیق حاضر بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت ساری با استفاده از مدل SI و تغییرات کیفی منابع آب با استفاده از آزمون من-کندال و نمودار شیب سن برای کاتیون‌ها و آنیون‌ها، TDS، pH، EC و SAR ۳۸ حلقه چاه بهره‌برداری ثبت شده در استان مازندران است. ابتدا تغییرات پارامترهای کیفی از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ بررسی شد. سپس نقشه‌های مدل SI (عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، توپوگرافی و کاربری اراضی) رتبه‌بندی و وزن هر پارامتر بدست آمد. نتایج آزمون من-کندال و نمودار شیب سن نشان داد که مقدار P-Value برای متغیر SAR در دوره زمانی مورد مطالعه معنی‌دار و برای مجموع کاتیون‌ها و pH کمتر از ۰/۰۵ است. ضریب تبیین (R^2) نشان داد که پارامترهای کاتیون‌ها، SAR و pH با مقادیر ۰/۲۷۲، ۰/۲۴۹ و ۰/۲۳۵ بیشترین ارتباط را با تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی دشت ساری دارند. نمودار شیب سن نیز روند صعودی پارامترها را نشان داد. همپوشانی پارامترهای مدل SI، نشان داد ۵۰/۹۲ درصد منطقه دارای ریسک آسیب‌پذیری متوسط می‌باشد. نتایج صحت‌سنجی نشان داد که ۵۷/۱۹ درصد منطقه دارای همپوشانی متوسط است و ۰/۶۷ درصد کمترین مقدار همپوشانی را دارد.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری آبخوان، آزمون من-کندال - کیفیت آب، نمودار شیب سن، مدل SI

^۱ استادیار گروه علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، نویسنده مسوول:

(f.shokrian@sanru.ac.ir)

^۲ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران. aref.saberi@yahoo.com

^۳ دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. s.a.sabbagh72@gmail.com



مقدمه

به همین دلیل لازم است تا روشی برای پیشگیری از آلودگی این منابع بکار ببریم (حسن زاده نفوتی و همکاران، ۱۳۹۶). تعیین میزان خطرات آلودگی آب-های زیرزمینی پیش نیاز اساسی برای برنامه‌ریزی و توسعه مناطق را فراهم می‌کند (Kazakis and Voudouris, 2015). در حال حاضر، هیچ تعریف واحدی از خطرات آلودگی آب‌های زیرزمینی مشخص نشده است (Ouedraogo et al, 2016) اعتقاد بر این است که خطرات آلودگی آب‌های زیرزمینی به آسیب-پذیری ذاتی آب زیرزمینی، خطرات ناشی از آلودگی و ارزش آب زیرزمینی بستگی دارد (Aller et al, 1985) روش‌ها و مدل‌های فراوانی برای پیش‌بینی و شناسایی مناطق مستعد آلودگی یا به عبارتی مناطق آسیب‌پذیر در سطح جهان ارائه شده است. از جمله‌ی این روش‌ها می‌توان به مدل‌های آسیب‌پذیری JVI, COP, GODS, SI, SITACS, DRASTIC, که جزء روش‌های هم‌پوشانی هستند اشاره کرد (احمدی‌فر و همکاران ۱۳۹۶). آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی را می‌توان به دو گروه آسیب‌پذیری ویژه و آسیب‌پذیری ذاتی تقسیم بندی کرد (احمدی‌فر و همکاران ۱۳۹۶). مطالعات متعددی در زمینه بررسی آسیب‌پذیری آبخوان در داخل و خارج از کشور با استفاده از مدل‌های مختلف ارزیابی همچون SI, DRASTIC و ... صورت گرفته است. از جمله صباغ و همکاران (۱۳۹۹) با ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت نکارود با مدل DRASTIC نشان دادند که جنوب شرقی حوضه به دلیل متفاوت بودن بافت و شرایط فیزیکی خاک دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد و مناطق شمال شرقی تا قسمتی از مرکز دشت، دارای آسیب‌پذیری کم است. با صحت‌سنجی مدل دراستیک و تعیین ضریب همبستگی بین مقادیر مدل، مشخص شد مدل دراستیک و صحت‌سنجی با عناصر کیفی یک راهبرد علمی برای مطالعه و تعیین حساسیت آبخوان منطقه می‌باشد. صباغ و همکاران

آب‌های زیرزمینی به منبعی اصلی جهت تأمین آب برای فعالیت‌های کشاورزی، آشامیدنی، گردشگری داخلی و فعالیت‌های صنعتی تبدیل شده است (Xing et al, 2013; Selvakumar et al, 2017) این منابع به دلیل استفاده ناپایدار و تقاضای جهانی برای آب پاک، به شدت کاهش یافته است (Selvakumar et al, 2017). با توجه به توسعه سریع جوامع، بسیاری از فعالیت‌های انسان مانند معدن، صنعت و شهرسازی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی تأثیر گذاشته است (Zahedi et al, 2015; Griebler et al, 2017). یکی از صنایع بسیار پر مصرف در زمینه منابع آب شیرین فعالیت‌های کشاورزی هستند (Khawla and Mohammad, 2020). بهره‌برداری بیش از حد از سفره‌های آب به ویژه در مناطق ساحلی منجر به نفوذ آب دریا به آبخوان‌های ساحلی شده است. استفاده زیاد در نواحی ساحلی دلیلی برای پیشروی آب شور و تغییرات کیفی خاک مزارع نیز خواهد شد (Hachicha, 2007) ادامه آبیاری با آب شور ممکن است منجر به شسته شدن مقدار زیادی نمک، مواد مغذی و سایر عناصر شیمیایی شود که با نفوذ به آبخوان می‌توانند آب‌های زیرزمینی را آلوده کنند (Libutti and Monteleone, 2017). آلودگی آب-های زیرزمینی به طور مکرر در مناطقی با کشاورزی فشرده رخ می‌دهد و باعث ورود عناصری مانند نیترات به داخل خاک و درنهایت منابع آب زیرزمینی می‌شود (El Ayni et al, 2013; Libutti et al, 2017). بنابراین آگاهی بخشی مردم نسبت به این مساله از محدودیت‌های منابع زیرزمینی کاسته و نیاز به حفاظت و احیای آب‌های زیرزمینی را کم خواهد کرد (Zahedi et al, 2017). آلودگی نیترات در آب‌های زیرزمینی اکنون یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی در سراسر جهان است (Teng et al, 2019). فرایند تصفیه آب‌های زیرزمینی یا به عبارتی رفع آلودگی این منابع، فرایندی پرهزینه و زمان‌بر است،

خشک و نیمه خشک (فوسانا در نواحی مرکزی تونس) از مدل DRASTIC، Gads، SINTACS و SI استفاده کردند. نتایج تحقیقان نشان داد که نتایج مدل سینتکس و SI ارتباط نزدیکی باهم دارند. اما مدل اصلاح شده دراستیک برای تعیین پتانسیل آلودگی در اقلیم مدیترانه‌ای همانند منطقه مطالعاتی کاربرد بیشتری دارد. Matzeu et al (۲۰۱۷) به بررسی آلودگی آبی ناشی از نیترات که منشأ کشاورزی در مناطق ساردینیا (ایتالیا) و یک منبع اصلی آلوده کننده محسوب می‌شود با استفاده از مدل‌های SINTACS، SI و IPNOA پرداختند. نتایج نشان داد که غلظت نیترات در مناطقی با کاربری کشاورزی و دامداری به صورت گسترده متمرکز شده است. با توجه مطالعات صورت گرفته در مناطق مختلف به ویژه شمال کشور مشخص می‌شود که منابع آب زیرزمینی با فشار جدی روبرو شده است. منطقه مطالعاتی نیز از این قاعده مستثنا نیست چون برداشت از این منابع برای مصارف کشاورزی و کشت برنج آن را با خطری جدی در برابر آلودگی و از بین رفتن کیفیت روبرو کرده است. بنابراین در این مطالعه منابع آب زیرزمینی دشت با استفاده از مدل SI که یکی از پارامترهای آن کاربری اراضی است از لحاظ آسیب‌پذیری ارزیابی خواهد شد و برای بررسی تاثیر پارامترهای مختلف روند تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی از مدل من-کندال و نمودار شیب سن طی دوره آماری ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ استفاده خواهد شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه

منطقه مورد مطالعه در شمال کشور و در استان مازندران واقع شده است. شهرستان ساری دارای اقلیم معتدل و مرطوب است و از لحاظ پوشش گیاهی در رده متراکم قرار دارد. کاربری اراضی غالب منطقه اراضی کشاورزی آبی و دیم، به مقدار کم جنگل و مرتع است. دشت ساری بین دو رودخانه مهم تجن و نکارود در

در پهنه‌بندی نقشه ریسک آسیب‌پذیری دشت نکارود با استفاده از مدل SI نشان دادند که ۶۲/۳ درصد از کل منطقه دارای ریسک آسیب‌پذیری زیاد و ۷/۲۲ درصد پتانسیل آسیب‌پذیری کم است. نخستین‌روحي و همکاران (۱۳۹۷) جهت پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی دشت عجب‌شیر با استفاده از مدل DRASTIC و SI نشان دادند که ۲/۲۴ درصد منطقه دارای آسیب‌پذیری خیلی کم و ۴۵/۰۸ درصد در گروه آسیب‌پذیری متوسط قرار دارند. مدل SI همبستگی بالایی با مقدار تغییرات نیترات نشان داد. اصغری‌مقدم و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت اردبیل با استفاده از روش‌های SI، SINTACS و DRASTIC پرداختند. نتایج تحقیقشان پس از محاسبه شاخص همبستگی (CI) و تعیین رابطه مدل-های SI، SINTACS و DRASTIC با نقشه نیترات منطقه، نشان داد که مدل دراستیک دارای بیشترین مقدار همبستگی با مقدار نیترات می‌باشد. کلاهدوزان و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی روند تغییرات کیفیت آب‌زیرزمینی دشت میان‌دوباب با استفاده از روش من-کندال نشان دادند که از ۲۵ ایستگاه نمونه‌برداری آب و برای ۱۴ متغیر کیفی، در یک دوره پراپی ۵۸ درصد از مشاهدات دارای روند صعودی و ۳۲ درصد نمونه‌ها دارای روند نزولی هستند (در سطح معنی‌داری ۵ درصد). حمزه و همکاران ۱ (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای در ناحیه متلاین-راس در شمال تونس با بکارگیری مدل-های اس‌آی، سینتکس و دراستیک به این نتیجه رسیدند که مدل SI کارایی بهتری در تعیین مناطق مستعد آلودگی نسبت به بقیه دارد و روش دراستیک و سینتکس ماهیت آلاینده و کاربری زمین را به عنوان عامل مدیریتی آسیب‌پذیری ویژه در نظر نمی‌گیرد. خمیری و همکاران ۲ (۲۰۱۳) به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی در برابر آلودگی در مناطق

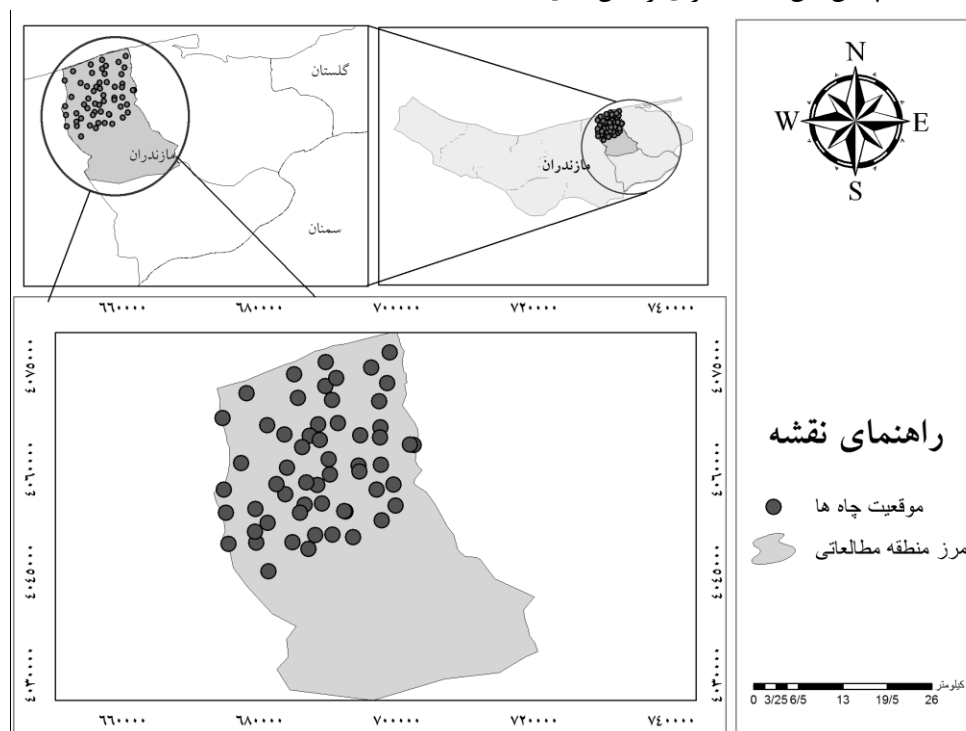
1. Hamza et al

2. Khamiri et al



بسیاری حاصلخیز و مساعد کشاورزی است. شکل (۱) موقعیت شهر ساری را نشان می‌دهد. مشخصات فیزیوگرافی منطقه مورد مطالعه در جدول (۱) نوشته شده است.

شرق استان مازندران واقع شده و مساحت آن ۱۵۳۲۷۷/۷۳ هکتار است. دشت ساری دارای توپوگرافی نسبتاً ملایم و توسط رسوبات آبرفتی و نهشته‌های ساحلی متعلق به دوران کواترنر پوشیده شده است (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۲). همچنین این دشت دارای زمین‌های



شکل (۱). موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول (۱). مشخصات فیزیوگرافی و هیدروگرافی دشت ساری (صادقی و همکاران، ۱۳۹۲).

مشخصات منطقه	رودخانه تجن	رودخانه نکا
مساحت منطقه دشتی (ha)	۴۶۵۱	۲۲۷۲
حداکثر ارتفاع (m)	۳۷۸۲	۳۸۱۳
حداقل ارتفاع (m)	-۲۶	-۲۶
مختصات منطقه دشتی	$X=72780.7$	$X=78530.5$
اقلیم	$Y=4028347$	$Y=4059986$
	معتدل مرطوب	

کشاورزی آبی دارای بیشترین مساحت است. جدول (۲) نیز کاربری‌های مختلف دشت و درصد مساحت هر یک را نشان می‌دهد.

دشت ساری به دلیل داشتن خاک مناسب و حاصلخیز مساعد کشاورزی است. در گذشته بیشتر اراضی کشاورزی دیم منطقه در اثر تغییر کاربری اراضی جنگلی و مرتعی به کشاورزی ایجاد شده‌اند. با توجه به پراکنش کاربری‌ها مشخص می‌شود که اراضی

جدول (۲). مشخصات کاربری اراضی دشت ساری

ردیف	نوع کاربری	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
۱	دریاچه ها و خلیج	۲۹/۹۴	۰/۰۱
۲	جنگل راش و بلوط و پهن برگ	۴۰۴۲۵/۹	۲۵/۹۹
۳	اراضی کشاورزی آبی	۸۴۱۵۳	۵۴/۱۲
۴	آب بندان	۱۴۹۶۵/۹	۹/۶۲
۵	اراضی کشاورزی دیم به همراه دیمزارهای خزری	۱۵۹۶۴/۵	۱۰/۲۶
		۱۰۰	۱۰۰

مدل SI

این مدل جز مدل‌های کمی برای برآورد پتانسیل آلودگی منابع آب زیرزمینی در یک مقیاس ناحیه‌ای می‌باشد. در این مدل پارامترهای مختلف موثر و تاثیر گذار در تعیین مناطق دارای ریسک و انتقال آلودگی با یک ضریب وزنی با یکدیگر جمع شده و در نهایت نقشه آسیب‌پذیری آبخوان ارائه می‌شود (اصغری‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۶).

عمق آب‌زیرزمینی: فاصله بین سطح زمین و سطح آب زیرزمینی، عمق برخورد را مشخص می‌کند. نقاط پیرومتری در محیط ArcGIS 10.3 با استفاده از مدل Kriging پهنه‌بندی و نقشه عمق چاه‌ها بدست می‌آید.

تغذیه آب زیرزمینی: تغذیه خالص مقدار آبی که از سطح زمین نفوذ کرده و به سطح ایستابی می‌رسد.

تغذیه خالص نیاز به بیلان آب زیرزمینی دارد. نقشه تغذیه خالص از روش پیسکوپو (۲۰۰۱) استفاده شد. رابطه (۱) معادله پیسکوپو را برای حوزه نمایش می‌دهد.

$$(1) \text{ نفوذپذیری خاک} + \text{میزان بارندگی} + \text{درصد شیب} = \text{مقدار تغذیه}$$

برای محاسبه تغذیه خالص ابتدا نقشه بارندگی منطقه با توجه به داده‌های متوسط ماهانه بارش در دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳۹۷ و ارتفاع ایستگاه‌ها تهیه شد. سپس نقشه شیب نیز با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاعی تهیه شد. نقشه نفوذپذیری نیز با توجه به گروه‌های هیدرولوژیکی خاک تهیه (پیسکوپو، ۲۰۰۱) و در نهایت طبق جدول (۳) نقشه تغذیه خالص برای حوزه با روش پیسکوپو در محیط ArcGIS 10.3 تهیه شد.

جدول (۳). رتبه پارامترهای تغذیه آبخوان با روش (Piscopo 2001).

شیب (درصد)		بارندگی (میلیمتر)		نفوذپذیری خاک		میزان تغذیه	
رتبه	میزان	رتبه	شدت	رتبه	دامنه	رتبه	میزان
۴	>۸۵۰	۴	زیاد	۵	۱۱-۱۳	۱۰	>۲
۳	۷۵۰-۸۰۰	۳	متوسط تا زیاد	۴	۹-۱۱	۸	۱-۲
۲	۵۰۰-۷۰۰	۲	متوسط	۳	۷-۹	۵	۳-۱۰
۱	<۵۰۰	۱	کم	۲	۵-۷	۳	<۳۳
			خیلی کم	۱	۳-۵	۱	

روش SI: این روش نیز برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به مواد آلاینده ارائه شده است. در این روش پنج پارامتر عمق آب‌زیرزمینی (D)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، توپوگرافی (T) و

کاربری اراضی (LU) مورد استفاده قرار می‌گیرد (معروفی و همکاران، ۱۳۹۱). هر پارامتر بر اساس واحدهای تشکیل دهنده بین ۱۰ تا ۱۰۰ ارزش‌گذاری شده و پس از وزن‌دهی و تلفیق، شاخص نهایی SI بر



$$SI = DrDw + RrRw + ArAw + TrTw$$

که در

$$+ LUrLUw$$

آن SI شاخص آسیب پذیری و r ، w به ترتیب رتبه و وزن هر کدام از پارامترهاست.

جدول (۴). وزن دهی پارامترهای مدل SI

پارامتر	عمق آب زیرزمینی	تغذیه خالص	محیط آبخوان	توپوگرافی	کاربری اراضی
وزن	۰/۱۸۶	۰/۲۱۲	۰/۲۵۹	۰/۱۲۱	۰/۲۲۲

غیر نرمال و پرت قرار می گیرد. شیب روند بتا با استفاده از این روش قوی تر از روش رگرسیون خطی می باشد (Turgay and Ercan, 2005). من کندال یک آزمون ناپارامتری رتبه‌ای برای تحلیل معنی داری روندهای خطی و غیرخطی است. فرض صفر این آزمون نبود روند در سری زمانی داده‌های مشاهده‌ای است. روابط مربوط جهت تعیین مقدار آماره آزمون من کندال به شرح زیر است:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$Z_m = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

که در این رابطه n تعداد داده‌های مشاهده‌ای (طول دوره آماری)، X_i و X_j به ترتیب i و j زامین داده مشاهده‌ای و q تعداد گره‌های ایجاد شده با داده‌های برابر و بیشتر از دو عضو، tp تعداد داده‌های برابر در p آمین گره

اساس رابطه (۲) محاسبه می شود (اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۹۶).

(۲)

روش های تحلیل آماری

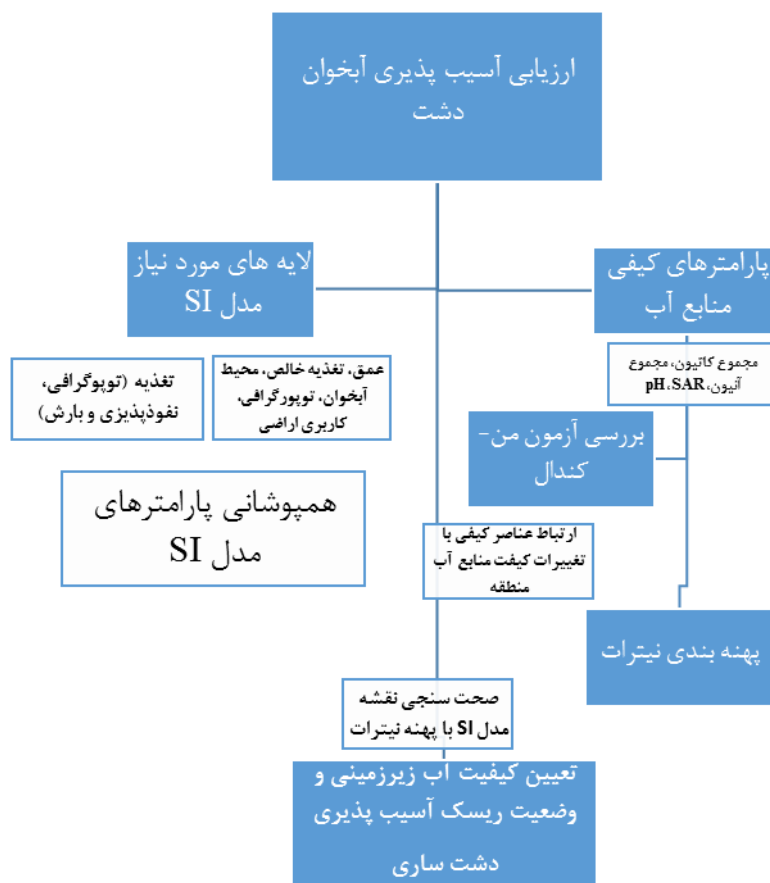
مدل‌های آماری به منظور کمی کردن آلودگی آب زیرزمینی با تعیین همبستگی و وابستگی‌های آماری بین آلودگی مشاهده‌ای، شرایط محیطی مشاهده‌ای و کاربری اراضی مورد استفاده قرار می گیرند. در این روش کاربری اراضی منابع بالقوه آلودگی می باشند.

آزمون من-کندال

این آزمون ابتدا توسط Mann ارائه و سپس توسط Kendall بسط و توسعه یافت. از نقاط قوت این روش می توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی اشاره نمود که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی کنند (Turgay and Ercan, 2005). در بررسی روند تغییرات با استفاده از آزمون من کندال روش کار به این صورت است که از آماره‌های MK-Stat، p -value و Sen-slope استفاده می شود. چنانچه آماره MK-Stat در محدوده $-1/96$ تا $1/96$ باشد، روند تغییرات داده‌ها معنی دار نمی باشد در حالی که در محدوده $-2/54$ تا $2/54$ روند تغییرات با اطمینان ۹۵ درصد معنی دار و در محدوده بزرگتر از $-2/54$ و $2/54$ ، روند تغییرات با اطمینان ۹۹ درصد معنی دار می باشد. از طرفی با استفاده از p -value نیز می توان به معنی داری بودن روند تغییرات پی برد. در حالی که اگر مقادیر p -value بزرگتر از $0/05$ باشد، روند تغییرات معنی دار نبوده و اگر بین $0/05$ تا $0/01$ باشد، روند تغییرات با اطمینان ۹۵ درصد معنی دار می باشد. روش تخمین گر شیب سن (تایل-سن) برای تخمین روند شیب‌های نسبتاً خطی مناسب تر از روش رگرسیون معمولی است و کمتر تحت تاثیر داده های

دهنده روند کاهش است (نوری امامزاده‌ای و احمدی مقدم، ۱۳۹۶).

و Z_m مقدار آماره من-کندال است و مقدار مثبت آن بیانگر روند افزایشی و مقدار منفی آن نشان



شکل (۲). مراحل اجرای پژوهش با استفاده از مدل‌های انتخابی

نتایج و بحث

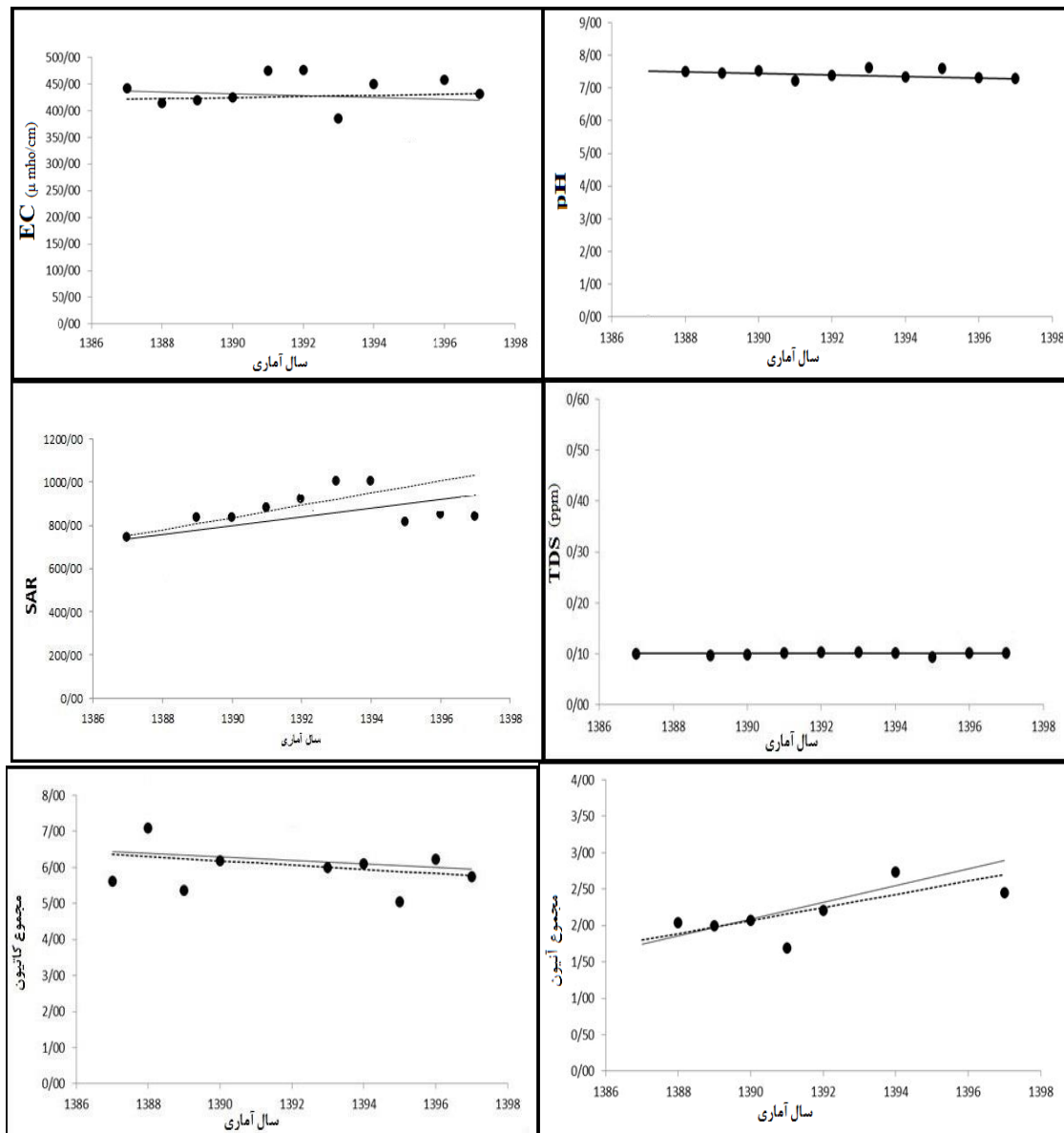
دشت ساری دارای شرایط استراتژیکی از لحاظ تغییرات کاربری اراضی و نزدیکی به دریا قرار دارد. اراضی کشاورزی منطقه بیشتر برای کاربری کشت برنج استفاده می‌شوند. بهره‌برداری از اراضی در دو دوره در سال نیازمند استفاده از تقویت کننده خاک اراضی با استفاده از کودها و محصولات شیمیایی است. قبل از ارزیابی ریسک، منابع آب منطقه با استفاده از آزمون من-کندال و رابطه شیب سن وضعیت تغییرات و همبستگی پارامترهای مجموع آنیون و کاتیون، pH، EC، SAR، TDS به منظور بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی آبخوان دشت ساری و تعیین وضعیت

ریسک آلودگی آبخوان بررسی شد. نتایج آزمون نشان که مقدار P-Value کمتر از ۰/۰۵ هستند و تغییرات آن با توجه به روند شیب سن نیز صعودی بوده دارای ارتباط معنی‌دار در تغییر کیفیت منابع آب منطقه هستند. بررسی p-value در جدول ۵ نشان می‌دهد که مقدار پارامترهای ذکر شده غیر از مجموع آنیون کمتر از ۰/۰۵ هستند و دارای روند معنی داری بر تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت ساری هستند. مقدار R^2 (ضریب تعیین) بدست آمده برای پارامترهای مجموع کاتیون، pH، TDS، SAR بیشتر از مجموع آنیون و EC است. نتایج شیب سن بر

اساس جدول (۵) و نمودار شکل (۳) نشان می‌دهد که پارامترها دارای شیب صعودی هستند.

جدول (۵). نتایج آزمون من-کندال و شیب سن چاه‌های بهره‌برداری درشت ساری

پارامتر	من-کندال	p-value	شیب-سن	R ²
مجموع کاتیون	۰/۳۱	۰	۰/۱۸	۰/۲۷۲
مجموع آنیون	۱/۸۷	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۰۴۳
TDS	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۱۵۹
EC	۰/۱۶	۰/۰۳۵	۰/۱۵	۰/۰۱۸
pH	-۱/۵۶	۰	-۰/۱۸	۰/۲۳۵
SAR	۱/۷۱	۰/۰۵	۰/۲۳	۰/۲۴۹

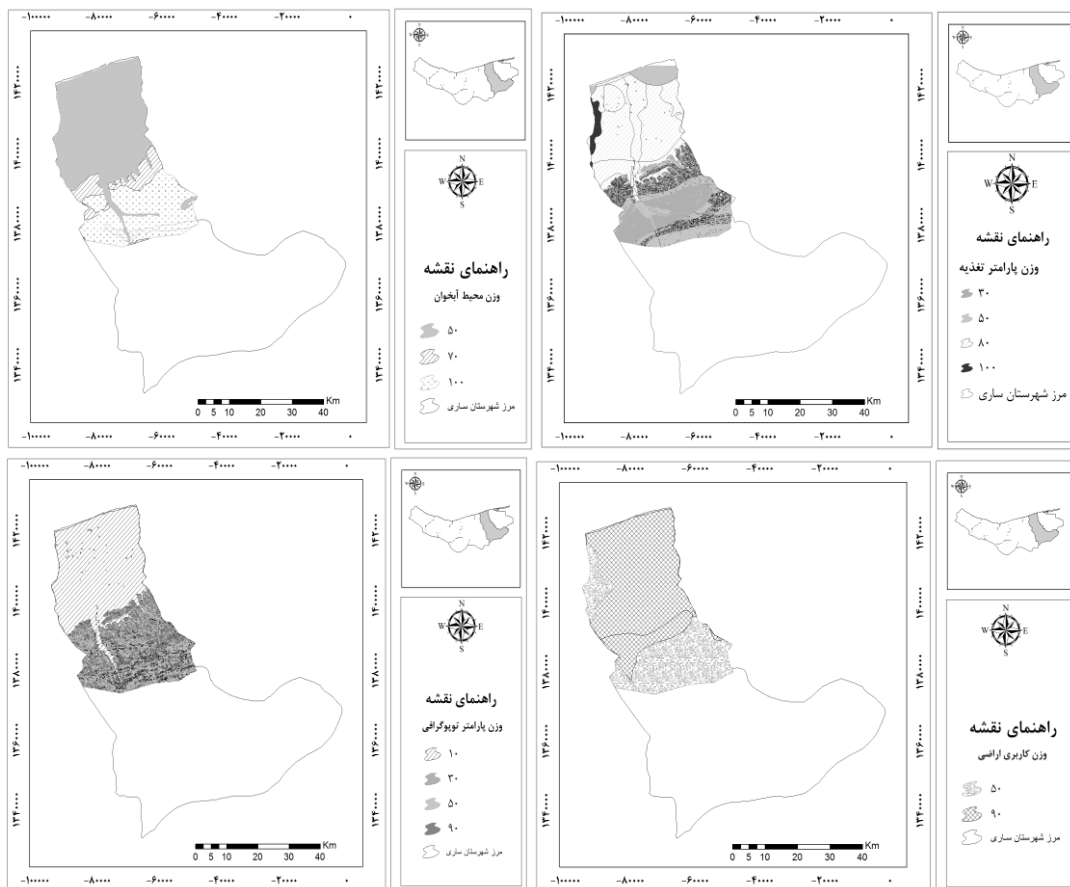


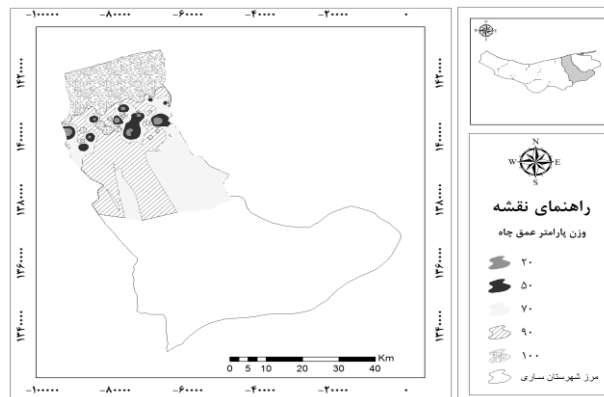
شکل (۳). نتایج آزمون من-کندال و شیب سن بر روی داده‌های چاه دشت ساری

ارزیابی وضعیت ریسک آبخوان در دشت با استفاده از مدل SI بررسی شد. نتایج پنج پارامتر اصلی محیط آبخوان؛ عمق، تغذیه آبخوان، توپوگرافی و در نهایت کاربری راضی با استفاد از دستورات عمل وزن دهی پارامترها در محیط GIS تعیین و نقشه وزن هریک از پارامترها تهیه و در شکل (۴) نشان داده شد.

بر اساس نتایج بدست آمده محیط آبخوان در سه وزن ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ قرار گرفته است. پارامتر تغذیه دارای وزنهای ۳۰، ۵۰، ۸۰ و ۱۰۰ است. وزن پارامتر توپوگرافی شامل ۱۰، ۳۰، ۵۰ و ۹۰ است. وزن کاربری اراضی ۵۰ و ۹۰ و در نهایت عمق چاهها دارای وزن-های ۲۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ داشتند.

با بررسی پارامترهای کیفیت منابع آب در دشت ساری و آنالیز تغییرات آن بر اساس آزمون من-کندال و شیب سن مشخص شد که این پارامترها دارای روندی صعودی بر اساس شیب سن هستند و بر روی کیفیت آب تاثیر گذاشته‌اند. دلبری و پودینه (۱۳۹۷) نیز با آزمون من کندال و پیرسون نشان دادند که روند صعودی پارامترهای مجموع آنیون و کاتیون، pH، EC، SAR، TDS و ... باعث افت کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. کلاهدوزان و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی روند تغییرات کیفی آب زیرزمینی با آزمون من کندال نشان دادند که تغییرات پارامترها تاثیر منفی بر کیفیت آب- زیرزمینی دارد. پارامترهای ذکر شده در محدوده $1 \pm / 96$ قرار دارند و روند تغییرات از سال ۱۳۸۵ تا سال ۱۳۹۷ معنی دار است.





شکل (۴). نتایج وزن دهی پارامترهای مدل SI در محیط GIS

بر اساس مدل SI است. وضعیت ریسک متوسط با مساحت ۵۰/۹۲ درصد از کل مساحت دشت و وضعیت ریسک کم با ۲۸/۱۳ درصد مساحت را تشکیل داده است. جدول (۶) نتایج نهایی از همپوشانی پنج پارامتر مدل SI را نشان می‌دهد.

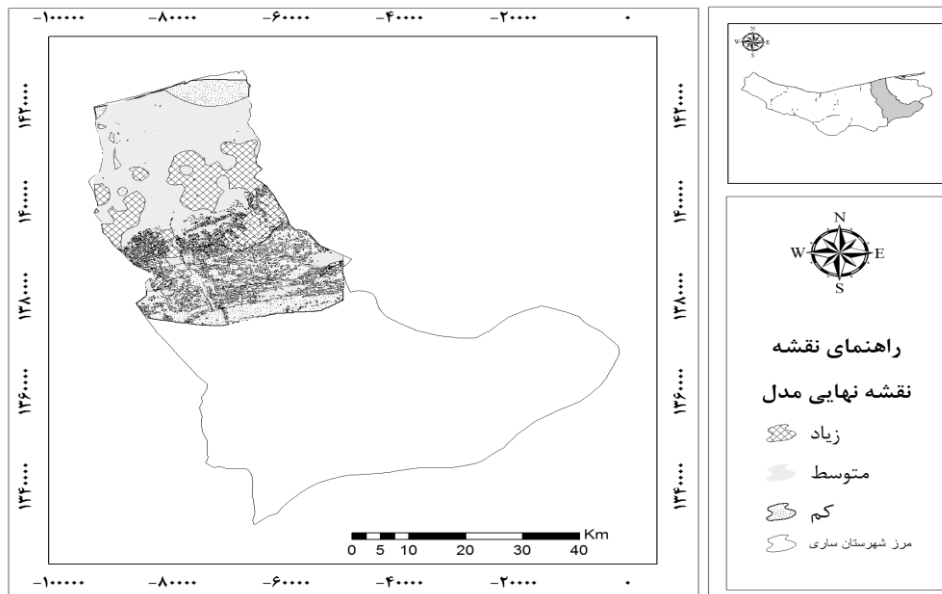
با جمع‌بندی و ترکیب لایه‌های بدست آمده با وزن‌های اصلی نقشه نهایی ریسک دشت ساری بر اساس مدل SI بدست آمد. نتیجه همپوشانی لایه‌های تشکیل دهنده مدل SI دشت ساری نشان داد که این منطقه در سه طبقه با وضعیت ریسک کم، متوسط و زیاد قرار دارد. بطور کلی این منطقه دارای ریسک متوسط تا کم

جدول (۶). نتایج طبقه‌بندی ریسک آسیب‌پذیری دشت ساری بر اساس مدل SI

ردیف	طبقه ریسک آبخوان	وضعیت ریسک آبخوان	مساحت (ha)	مساحت (%)
۱	۳۵-۱۰	کم	۴۲۵۶۰/۰۳	۲۸/۱۳
۲	۵۵-۳۵	متوسط	۷۷۰۳۳/۳۸	۵۰/۹۲
۳	بیشتر از ۵۵	زیاد	۳۱۶۹۳/۹۷	۲۰/۹۵

قرار دارد. با توجه به سه نقشه توپوگرافی، کاربری اراضی و عمق چاه‌های بهره‌برداری مشخص می‌شود که وضعیت ریسک آلودگی متوسط و زیاد در مناطقی با توپوگرافی ملایم، عمق کم و کاربری کشاورزی قرا گرفته است. شکل (۵) پراکنش ریسک منطقه را نشان می‌دهد.

با مشاهده نقشه شکل (۵) می‌توان پراکنش و وضعیت ریسک آلودگی آبخوان دست ساری را با استفاده از نتایج مدل SI بهتر نشان داد. شکل (۵) که نقشه ترکیبی از ۵ پارامتر است مشخص می‌شود قسمت بیشتر از آبخوان دشت در معرض ریسک متوسط قرار دارند و برخی از نواحی ساحلی در وضعیت ریسک کم



شکل (۵). نتایج طبقه‌بندی ریسک آسیب‌پذیری دشت ساری بر اساس مدل SI

دو نقشه نیترا و مدل SI نشان داد، قسمتی از دشت با ریسک متوسط، بیشترین تطابق را با پهنه نیترا در منطقه دارد. جدول (۷) نتایج وضعیت همپوشانی مدل SI و پهنه نیترا را نشان می‌دهد.

مدل SI با تغییرات نیترا

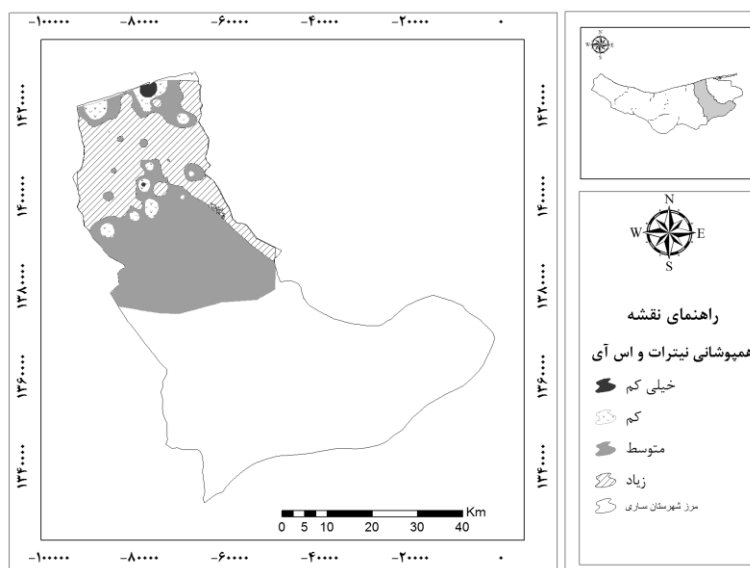
نتایج نشان داد که دو ردیف متوسط و زیاد با بیشترین درصد مساحت به ترتیب ۵۷/۱۹ و ۳۷/۳۶ وضعیت ریسک منطقه را به خوبی نشان می‌دهند. همپوشانی

جدول (۷). نتایج همپوشانی و مساحت مدل SI و متغیر نیترا در دشت ساری

ردیف	طبقه همپوشانی	وضعیت طبقات	مساحت (ha)	مساحت (%)
۱	۲۵-۱۴	خیلی کم	۱۰۲۱/۰۴	۰/۶۷
۲	۴۷-۲۵	کم	۷۲۱۹/۴۷	۴/۷۷
۳	۸۸-۴۷	متوسط	۸۶۵۰۶/۲	۵۷/۱۹
۴	بیشتر از ۸۸	زیاد	۵۶۵۰۰/۱	۳۷/۳۶

وضعیت ریسک و نقوذ آلودگی نشان می‌دهد. نقشه شکل (۶) نتایج جدول (۷) را به خوبی نشان می‌دهد که قسمت‌هایی با ریسک متوسط که دارای بیشترین درصد مساحت در منطقه بودند تطابق خوبی با نقشه نیترا در منطقه دارد.

با توجه به نتایج جدول (۷) مشخص شد که این مدل که دارای ارتباط مناسبی با تغییرات آلودگی توسط متغیر نیترا است. نتایج نقشه همپوشانی نیترا و مدل SI در شکل (۶) نشان داد که مرکز و ناحیه جنوبی دشت ساری از همبستگی مناسبی برخوردار هستند و نقشه ریسک تطابق خوبی برای نشان دادن



شکل (۶). نقشه همپوشانی مدل SI و متغییر نیترات در دشت ساری

نتیجه گیری

منابع آب زیرزمینی با افزایش جمعیت تحت فشار زیادی از لحاظ کیفی و کمی در سراسر جهان قرار گرفته است. طوری که برداشت بی‌رویه و وجود کاربری‌های مختلف در هر منطقه یک عامل مهم آسیب‌پذیری بحساب می‌آید. بنابراین در پژوهش حاضر پارامترهای کیفی با آزمون ناپارامتری مدل من کندانال بررسی شد و نتایج وجود ارتباط عناصر موثر در تغییر کیفیت را نشان داد. از طرفی وضعیت آسیب‌پذیری آب زیرزمینی با مدل SI که دارای پنج پارامتر موثر در تعیین آسیب‌پذیری است بررسی شد. نتایج مدل نیز نشان داد که بیشتر منطقه در وضعیت ریسک متوسط از لحاظ آسیب‌پذیری قرار دارد. در نهایت برای صحت سنجی مدل در منطقه نتایج نهایی مدل SI با نقشه پهنه تغییرات نیترات بررسی و مشخص شد که بیشتر مناطق با ریسک متوسط با پراکنش نیترات همپوشانی مناسبی دارند.

نتایج پژوهش حاضر با نتایج محققانی همپون صباغ و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از مدل اس‌آی به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت نکارود و صحت سنجی مدل با نقشه نیترات نشان دادند که مدل همبستگی بالایی با اس‌آی دارد. اصغری‌مقدم و همکاران (۱۳۹۶) از همبستگی مناسب مدل اس‌آی با نقشه هم‌نیترات دارد. معروفی و همکاران (۱۳۹۱) نیز از همبستگی بالای مدل اس‌آی با نیترات را نشان داد. Mencio et al (۲۰۱۷) در مناطق ساردینیا از همپوشانی مناسب نیترات با مدل اس‌آی و دیگر مدل‌های ارائه شده در منطقه دارد. حمزه و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که در ناحیه متلاین-راس در شمال تونس مدل سینتکس، دراستیک و اس‌آی همبستگی بالایی با نیترات دارند. یزدانی و منصوریان (۱۳۹۸) و گنجی‌خرمدل و شمس (۱۳۹۷) نیز به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های دشت قزوین و الشتر با مدل‌های ارزیابی پرداخته بودند.

منابع

- احمدی فر، ر.، س.م. موسوی، و م. رحیم زادگان. ۱۳۹۶. پهنه بندی ریسک آلودگی. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۳، ص ۱-۲۰.
- اصغری مقدم، ا.، م. قرخانی، ع.ا. ندیری، م. کرد، و ا. فیجانی. ۱۳۹۶. ارزیابی آسیب پذیری ذاتی آبخوان دشت اردبیل با استفاده از روش های DRASTIC، SI و SINTACS. جغرافیای و برنامه ریزی شهری، ۲۱(۶۱)، ص ۵۷-۷۴.
- دلبری، م.، و آب. پودینه. ۱۳۹۷. بررسی روند و الگوی توزیع مکانی کیفیت آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی خاش. فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی (دانشگاه آزاد اهر)، سال ۱۸، شماره ۶۳، ص ۲۵-۵۰.
- صباغ، س.ع.، م. مروتی، ع. صابری، و م. پناهنده. ۱۳۹۸. پهنه بندی نقشه ریسک آسیب پذیری دشت نکارود با استفاده از مدل SI. چهارمین همایش ملی آبخیزداری دانشگاه ارومیه، تیرماه، ص ۱.
- صباغ، س.ع.، م. مروتی، م. پناهنده، و م. تازه. ۱۳۹۹. ارزیابی میزان آسیب پذیری آب زیرزمینی دشت نکارود با استفاده از مدل DRASTIC. پژوهش آب ایران، ۳۶، ص ۱۴۱-۱۵۲.
- کلاهدوزان، ع.، ی. دین پژوه، د. عباس پور، و م. قربانان. ۱۳۹۴. بررسی روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت میانندوآب با استفاده از روش من-کندال. دانش آب و خاک (دانش کشاورزی)، دوره ۲۵، شماره ۲، ص ۲۲۱-۲۳۵.
- گنجی خرم دل، ن.، و م. شمس. ۱۳۹۷. ارزیابی آسیب پذیری به آلودگی نترات به آبخوان دشت الشتر با استفاده از مدل های دراستیک و سینتکس. مجله علمی پژوهشی آب و آبیاری، دوره ۹، شماره ۲، ص ۴۴-۵۰.
- معروفی، ص.، س. سلیمانی، م.ح. قبادی، ق. رحیمی، و ح. معروفی. ۱۳۹۱. ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت ملایر با استفاده از مدل های DRASTIC، SI و SINTACS، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، شماره ۳، ص ۱۴۱-۱۶۶.
- نخستین روحی، م.، م.ح. رضایی مقدم، و ت. رحیم پور. ۱۳۹۶. پهنه بندی آسیب پذیری آب های زیرزمینی با استفاده از مدل DRASTIC و SI در محیط GIS (مطالعه موردی: دشت عجب شیر). اکوهیدرولوژی، دوره ۴، شماره ۲، ص ۵۸۷-۵۹۹.
- نوری امام زاده ای، م.ر.، و ز. احمدی مقدم. ۱۳۹۶. بررسی روند تغییرات پارامتر دما در ایستگاه شهرکرد. مجله علمی-ترویجی نیوار، شماره ۹۹-۹۸، ص ۷۳-۸۲.
- یزدانی، و.، و ح. منصوریان. ۱۳۹۸. ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت قزوین و تحلیل حساسیت حذف پارامترها با بکارگیری GIS. مجله علمی پژوهشی آب و آبیاری، دوره ۱۰، شماره ۲، ص ۱۲۸-۱۴۶.
- Aller, L., J.H. Lehr, R. Petty and T. Bennett. 1987. DRASTIC: A Standardized System to Evaluate Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. Natl. Water Well Assoc, Worthington, Ohio, United States Am.
- El Ayni, F., S. Cherif, A. Jrad and M. Trabelsi-Ayadi. 2012. A New Approach for the Assessment of Groundwater Quality and Its Suitability for Irrigation: A Case Study of the Korba Coastal Aquifer (Tunisia, Africa). Water Environ. Res, 84 (8):673-681.
- Griessler, C., and M. Avramov. 2015. Groundwater ecosystem services: a review. Freshwater Science, 34: 355-367.
- Hachicha, M. 2007. Les sols salés et leur mise en valeur en Tunisie. Sécheresse, 18 (1): 45-50.
- Hamza, M.H Added, A. Rodri-guez, R. Abdeljaoued, S.and Ben-Mammou, A. 2007. A GIS-based DRASTIC vulnerability and net recharge reassessment in an aquifer of a semi-arid

region (Metline-Ras Jebel-Raf Raf aquifer, Northern Tunisia). *Journal of Environmental Management*, 84:12–19

Kazakis, N. and K.S. Voudouris. 2015. Groundwater vulnerability and pollution risk assessment of porous 411 aquifers to nitrate: Modifying the DRASTIC method using quantitative parameters. *J. Hydrol*, 525: 13–25.

Khawla, Kh. And H. Mohamed. 2020. Hydrogeochemical assessment of groundwater quality in greenhouse intensive agricultural areas in coastal zone of Tunisia: Case of Teboulba region. *Groundwater for Sustainable Development*, 10: 1-32.

Libutti, A. and M. Monteleone. 2017. Soil vs. groundwater: The quality dilemma. Managing nitrogen leaching and salinity control under irrigated agriculture in Mediterranean conditions. *Agric. Water manage*, 186: 40-50.

Malik, M.S. and J.P. Shukla. 2019. GIS modeling approach for assessment of groundwater vulnerability in parts of Tawa river catchment area, Hoshangabad, Madhya Pradesh, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 9: 1-28.

Mencio, A. Mas-Pla, J. Otero, N. Regàs, O. Boy-Roura, M. Puig, R. Bach, J. Domènech, C. Zamorano, M. Brusi, D. 2017. Nitrate pollution of groundwater; all right, but nothing else? *Sci. Total Environ*, 539: 241–251.

Ouedraogo, I., P. Defourny, and M. Vanclooster. 2016. Mapping the groundwater vulnerability for pollution at the pan African scale. *Sci. Total Environ*. 544: 939–953.

Piscopo, G. 2001. Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment, NSW. Department of Land and Water Conservation, Australia.” <http://www.dlwc.nsw.gov.au/care/water/groundwater/reports/pdfs/castlereagh_map_notes.pdf>.

Selvakumar, S., N. Chandrasekar, and G. Kuma. 2017. Hydrogeochemical characteristics and groundwater contamination in the rapid urban development areas of Coimbatore, India. *Water Resour. Industry*, 17: 26-33.

Teng, Y.G., R. Zuo, Y. Xiong, J. Wu, Y. Zh. Zhai, and J. Su. 2019. Risk assessment framework for nitrate contamination in groundwater for regional management. *Science of the Total Environment*, 697: 1-14.

Turgay, P. and K. Ercan. 2005. Trend analysis in turkish precipitation data. Hydrological-processes published online in wiley interscience (www.interscience.wiley.com).

Xing, L., H. Guo, and Y. Zhan. 2013. Groundwater hydrochemical characteristics and processes along flow paths in the North China Plain. *Journal of Asian Earth Sciences*. 70-71: 250-264.

Yousefia, H., A. Haghizadehb, Y. Yarahmadia, P. Hasanpourb, and P. Noormohamadi. 2018. Groundwater pollution potential evaluation in Khorramabad-Lorestan Plain, western Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 147: 647-656.

Zahedi, S., A. Azarnivand, and N. Chitsaz. 2017. Groundwater quality classification derivation using Multi-Criteria-Decision-Making techniques. *Ecological Indicators*. 78: 243-252.



Investigation of Qualitative Changes and Determination of Vulnerability Zone of Sari Plain Aquifer Using SI Model and Mann-Kendall non-Parametric Test

Fatemeh Shokrian¹, Aref Saberi², Alameh Sabbaq³

Abstract

Groundwater is one of the important sources of drinking water and agriculture in the northern regions of the country. Population increases and demand for agricultural products, especially rice, in the northern parts of the country have increased the utilization of water resources in the past decade. The aim of this study is investigation of Sari plain aquifer vulnerability using SI model and the qualitative changes of water resources using Mann-Kendall test and age slope diagram for the total cations and anions, TDS, EC, pH and SAR of 38 operation wells registered in Mazandaran province. Firstly, the changes of qualitative parameters were investigated from 2006 to 2018. Then, the maps of SI model parameters (groundwater depth, net recharge, aquifer media, topography and land use) rated and the weight map of each parameter was obtained. The results of Mann-Kendall test and age slope diagram showed that the P-value of SAR variable is significant but total cations and pH is less than 0.05. The coefficient of determination (R^2) showed that the total cations, SAR and pH with values of 0.272, 0.249 and 0.235 have most related to the qualitative changes of groundwater resources in Sari plain. The age slope diagram also showed an ascending trend of the parameters. Finally, with the overlap of SI model parameters, most of the areas with moderate vulnerability risk (50.92) included the highest percentage of area. Validation results showed that, 57.19 percent and 0.67 percent of area has moderate and lowest overlap respectively.

Keywords: Aquifer vulnerability, Mann-Kendall test, Water Quality, Age Slope diagram, SI Model.

1 Assistant Professor of Watershed Management Science and Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, , Iran .(Corresponding author: f.shokrian@sanru.ac.ir)

2 - PhD student in Watershed Management Science and Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

Noor, Iran. ³PhD student in environment Engineering, Tarbiat modarres University,

Research Paper

Investigation of Qualitative Changes and Determination of Vulnerability Zone of Sari Plain Aquifer Using SI Model and Man-Kendall non-Parametric Test

Fatemeh Shokrian¹, Aref Saberi², Alameh Sabbaq³

¹ Assistant Professor of Watershed Management Science and Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, , Iran .(Corresponding author: f.shokrian@sanru.ac.ir)

² - PhD student in Watershed Management Science and Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

³PhD student in environment Engineering, Tarbiat modarres University, Noor, Iran



10.22125/IWE.2020.234630.1362

Received:
June.10.2020
Accepted:
December.01.2020
Available online:
March.13.2022

Keywords:
Aquifer vulnerability,
Mann-Kendall test,
Water Quality, Age
Slope diagram, SI
Model.

Abstract

Groundwater is one of the important sources of drinking water and agriculture in the northern regions of the country. Population increase and demand for agricultural products, especially rice, in the northern parts of the country have increased the utilization of water resources in the past decade. The aim of this study is investigation of Sari plain aquifer vulnerability using SI model and the qualitative changes of water resources using Mann-Kendall test and age slope diagram for the total cations and anions, TDS, EC, pH and SAR of 38 operation wells registered in Mazandaran province. Firstly, the changes of qualitative parameters were investigated from 2006 to 2018. Then, the maps of SI model parameters (groundwater depth, net recharge, aquifer media, topography and land use) rated and the weight map of each parameter was obtained. The results of Mann-Kendall test and age slope diagram showed that the P-value of SAR variable is significant but total cations and pH is less than 0.05. The coefficient of determination (R²) showed that the total cations, SAR and pH with values of 0.272, 0.249 and 0.235 have most related to the qualitative changes of groundwater resources in Sari plain. The age slope diagram also showed an ascending trend of the parameters. Finally, with the overlap of SI model parameters, most of the areas with moderate vulnerability risk (50.92) included the highest percentage of area. Validation results showed that, 57.19 percent and 0.67 percent of area has moderate and lowest overlap respectively.

1. Introduction

Groundwater, which represents one of the major water resources, is vulnerable to quality degradation due to over exploitation for agricultural activities and increase of anthropogenic activities (Khawla, And Mohamed, 2020). Groundwater contamination adversely affects the human health, as well as threatens ecosystems through energy and material cycling (Qiu et al., 2018). Groundwater pollution risk assessment, which refers to the process of determining the potential impacts of any pollutant, is an effective tool for designing efficient groundwater management and protection strategies (Shrestha et al., 2016; Wang et al., 2019; Ali et al., 2019). The aim of this study is investigation of Sari plain aquifer vulnerability using SI model and the qualitative changes of water resources using Mann-Kendall test and age slope diagram for the total cations and anions, TDS, EC, pH and SAR of 38 operation wells registered in Mazandaran province.

2. Materials and Methods

The study area is located in the north of the country and in Mazandaran province. The dominant land use of this area is irrigated and rain fed agriculture and the area of forest and rangeland is low. Sari plain is located between two important rivers of Tajan and Nekarood in the east of Mazandaran province and its area is 153277.73 hectares. Firstly, the changes of qualitative parameters were investigated from 2006 to 2018. Then, the maps of SI model parameters (groundwater depth, net recharge, aquifer media, topography and land use) rated and the weight map of each parameter was obtained.

SI Index

the SI method for the estimation of the groundwater vulnerability to pollutants. In this method, five parameters of groundwater, depth (D), net recharge (R), aquifer media (A), topography (T) and land use (LU) are used.

The final SI index is calculated based on Equation (1).

$$SI = DRD_w + RRR_w + ARA_w + TRT_w + LURLU_w, \quad (1)$$

Where D, R, A, T and LU are the acronyms of the parameters used and the subscripts w and r are the corresponding weights and ratings, respectively (Bartzas et al., 2015).

3. Results

The results of Mann-Kendall test and age slope diagram showed that the P-value of SAR variable is significant but total cations and pH is less than 0.05. The coefficient of determination (R²) showed that the total cations, SAR and pH with values of 0.272, 0.249 and 0.235 have most related to the qualitative changes of groundwater resources in Sari plain. The age slope diagram also showed an ascending trend of the parameters. Finally, with the overlap of SI model parameters, most of the areas with moderate vulnerability risk (50.92) included the highest percentage of area. Validation results showed that, 57.19 percent and 0.67 percent of area has moderate and lowest overlap respectively.

,

4. Discussion and Conclusion

Groundwater resources are under high pressure, both qualitatively and quantitatively, as the population grows. So that uncontrolled harvesting and the existence of different uses in each area is an important factor of vulnerability. Therefore, in the present study, qualitative parameters were investigated by non-parametric test of Mann-Kendall model and the results showed the relationship between elements affecting quality change. On the other hand, the status of groundwater vulnerability was investigated with the SI model, which has five effective parameters in determining vulnerability. The model results also showed that most of the region is in a moderate risk situation in terms of vulnerability. Finally, to validate the model in the region, the final results of the SI model were examined with a nitrate change zone map and it was found that most of the medium risk areas have a good overlap with nitrate distribution.

5. Six important references

1. Bartzas, G., Tinivella, F., Medini, L., Zaharaki, D., Komnitsas, K., 2015. Assessment of groundwater contamination risk in an agricultural area in north Italy
2. Khawla, Kh. And H. Mohamed. 2020. Hydrogeochemical assessment of groundwater quality in greenhouse intensive agricultural areas in coastal zone of Tunisia: Case of Teboulba region. *Groundwater for Sustainable Development*, 10: 1-32.
3. Ali, S., Fakhri, Y., Golbini, M., Thakur, S.K., Alinejad, A., Parseh, I., Bhattacharya, P., 2019. Concentration of fluoride in groundwater of India: a systematic review, metaanalysis and risk assessment. *Groundw. Sustain. Dev.* 9.
4. Qiu, H., Gui, H., Song, Q., 2018. Human health risk assessment of trace elements in shallow groundwater of the Linhuan coal-mining district, northern Anhui Province, China. *Hum. Ecol. Risk Int. J.* 24 (5), 1342–1351.
5. Shrestha, S., Semkuyu, D.J., Pandey, V.P., 2016. Assessment of groundwater vulnerability and risk to pollution in Kathmandu Valley, Nepal. *Sci. Total Environ.* 556, 23–35.
6. Wang, G., Li, J., Sun, W., Xue, B., A, Y., Liu, T., 2019. Non-point source pollution risks in a drinking water protection zone based on remote sensing data embedded within a nutrient budget model. *Water Res.* 157, 238–246.

6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.