دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

بررسی اثر شوری آب‌های زیرزمینی بر کاهش عملکرد مرکبات در استان مازندران

رامین فضل‌اولی[۱] و هدیه پوریزدان‌خواه[۲]

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: raminfazl@yahoo.com)
۲- پژوهشگر پسا دکترای مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۱۰
صفحه: ۵۲ تا ۶۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: شوری آب آبیاری یکی از مهم‌ترین عوامل در کاهش محصولات کشاورزی است. استان مازندران یکی از مهم‌ترین مناطق در زمینه‌ی تولید مرکبات در ایران است که بخشی از باغ‌های مرکبات آن با آب‌های زیرزمینی آبیاری می‌شوند. بنابراین این تحقیق، با هدف بررسی شوری (EC) آب‌های زیرزمینی در استان مازندران و تأثیر آن بر عملکرد مرکبات انجام شد. برای این منظور، داده‌های شوری مربوط به ۳۰۰ حلقه چاه مربوط به شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران، هم به‌صورت مکانی و هم به‌صورت زمانی در نوار ساحلی استان مازندران به مساحت ۸۲۵۲ کیلومترمربع در مدت ۹ سال متوالی و طی دوره‌های شش ماهه، با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.7.1 پهنه‌بندی شدند.

مواد و روش‌ها: نقشه‌های شوری با روش کریجینگ معمولی (OK) و با استفاده از میانگین شوری در دوره‌های شش‌ماهه از ابتدای سال ۱۳۹۱تا پایان سال ۱۳۹۹، با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.7.1 به‌دست آمد. براساس رابطه ارائه شده برای کاهش عملکرد نسبت به شوری ((Y=۱۰۰−۱۳(EC−۱/۴)، به‌ترتیب شوری‌های ۱/۴۰، ۲/۱۷، ۲/۹۴ و ۳/۷۱ dS/m برای حصول عملکردهای برابر ۱۰۰، ۹۰، ۸۰ و ۷۰ درصد، در نظر گرفته شد. بر این اساس، مساحت تحت عملکردهای ۱۰۰٪، ۹۰-۱۰۰٪، ۸۰-۹۰٪ و ۷۰٪> به‌دست آمد. آزمون من-کندال و تخمین‌گر شیب سِن نیز برای پیش‌بینی تغییرات در سال‌های آتی استفاده شد.

یافته‌ها: نقشه‌های EC پهنه‌بندی شده نشان دادند که شوری آب‌های زیرزمینی از غرب به شرق استان، افزایش می‌یابد. براساس آزمون من-کندال، روند تغییرات زمانی معنی‌داری برای مساحت‌های تحت عملکرد ۷۰٪> (EC>۳/۷۱) و عملکرد ۱۰۰٪ (EC<۱/۴۰) به‌دست آمد، که نشان می‌دهد شوری آب‌های زیرزمینی می‌تواند برای باغ‌های مرکبات نوار ساحلی استان مازندران نگران‌کننده باشد. براساس معادله حاصل از تخمین‌گر شیب سِن، برآورد شد که چنانچه این روند ادامه یابد، از سال ۱۴۰۰ مساحت تحت عملکرد ۱۰۰٪ به صفر خواهد رسید و حداکثر تا سال ۱۴۲۶، بازده تولید مرکبات در نوار ساحلی، به زیر ۷۰ درصد خواهد رسید.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که شوری آب‌های زیرزمینی در قسمت شرقی با گذشت زمان بیش‌تر شده و سطح وسیع‌تری را در اطراف تالاب میانکاله دربر می‌گیرد که احتمالا می‌تواند به‌دلیل نشت آلودگی تالاب به سفره آب‌های زیرزمینی آن محدوده باشد. کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی در طی زمان، می‌تواند ناشی از دو عامل کاهش بارندگی در سال‌های اخیر و حفر چاه‌های غیرمجاز و متعاقباً برداشت بی‌رویه از چاه‌های منطقه دانست. در کل، پیشنهاد می‌شود که آب‌های زیرزمینی در این منطقه به‌صورت کاملاً کنترل شده، مورد بهره‌برداری قرار گیرد تا از کاهش روند کیفی آن جلوگیری شود.

واژه‌های کلیدی: آزمون من-کندال، پهنه‌بندی مکانی و زمانی، تخمین‌گر شیب سِن، کریجینگ معمولی، نوار ساحلی دریای خزر

مقدمه

استان مازندران از استان‌های پیشرو در تولید و صادرات مرکبات در کشور است به‌طوری که جزء ۱۰ تولید کننده بزرگ مرکبات در سطح جهانی است و رتبه نخست را در سطح کشور دارد (۱۸،۱۹). تولید سرانه‌ی مرکبات جهان ۱۷ کیلوگرم و مصرف سرانه آن ۱۶ کیلوگرم است، در ایران تولید سرانه آن به ۷۵ کیلوگرم و مصرف سرانه‌ی آن به ۴۸ کیلوگرم می‌رسد (۱). مرکبات به‌عنوان یک گروه درختی میوه با اهمیت زیاد در بخش کشاورزی جهانی شناخته شده است زیرا ۱۴۰ کشور تولید کننده مرکبات در جهان قرار دارد (۴۶). تولید محصول بیش‌تر نیازمند آب آبیاری بیش‌تر است. از این‌رو، تقاضای بیش‌تر آب در بخش کشاورزی باعث استفاده بیش‌تر از آب‌های زیرزمینی در ایران، ازجمله استان مازندران شده است (۳۴). به‌طوری که شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران شمار چاه‌های غیرمجاز استان را ۲۵۰۰ حلقه عنوان نموده است که سالانه حدود ۱۰ میلیون مترمکعب از منابع آب زیرزمینی استان از این طریق برداشت می‌شود (۲۰). استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در آبیاری محصولات کشاورزی استان مازندران، اثر منفی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی این استان گذاشته است که اخیراً هشداری برای محیط‌زیست منطقه است (۴۰). با توجه به این‌که کیفیت آب‌های زیرزمینی در تولید محصولات با راندمان بالا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اهداف کشاورزی اثرگذار است، ارزیابی و بررسی دقیق‌تر و شناخت بیش‌تر از کیفیت آب زیرزمینی موجود، به‌منظور دستیابی به تولید بهینه محصول نیاز است. براساس تحقیق صورت گرفته در استان مازندران، سه روش درون‌یابی با ArcGIS جهت پهنه‌بندی پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)، pH، کل مواد جامد محلول در آب (TDS)، نسبت جذب سدیم (SAR)، سختی کل (TH)، غلظت یون کلرید (Cl^-)، یون سدیم (Na^+)، یون پتاسیم (K^+)، یون بی‌کربنات (HCO_3^-)، یون منیزیم (Mg^+)، یون کلسیم (Ca^+) و یون سولفات (SO_4^{2-}) با داده‌برداری در پاییز و بهار سال ۲۰۰۴ با نمونه‌برداری از ۲۳ حلقه چاه انجام شد، میانگین آماری مقادیر EC، SAR، pH به‌ترتیب برابر با ۱۴۸۰ µmohs/cm، ۳/۲۶، ۷/۷۶ و میانگین غلظت TDS، TH، Cl^-، Na^+، K^+، HCO_3^-، Mg^+، Ca^+ و SO_4^{2-} به‌ترتیب برابر با ۹۴۹، ۳۸۹، ۵/۰۴، ۶/۶۶، ۰/۰۷، ۷/۰۱، ۳/۳۳، ۴/۴۶ و ۲/۴۰ میلی‌گرم بر لیتر ارائه شد. پس از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی، مناطق با کیفیت آب آلوده شناسایی شد (۲۲). شوری که براساس پارامتر EC بیان می‌شود، از مهم‌ترین پارامترهایی است که نقش بسیار مهمی در کاهش عملکرد محصولات مرکبات در منطقه ایفاء می‌کند. طی تحقیقاتی، عنوان شده است که افزایش شوری منجر به آسیب قابل مشاهده در برگ‌ها و طوقه‌های پایه‌های مختلف مرکبات شده و متعاقباً مانع رشد گیاه می‌شود (۳،۲۸).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.5.2]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.52]

از طرفی، بیش‌ترین نگرانی‌ها و مطالعات مربوط به حفظ منابع آبی در دهه‌های آینده است که شامل پیش‌بینی در زمینه کیفیت منابع آبی، تغذیه آب‌های زیرزمینی و کاهش میزان بارندگی بوده است (۲۹). به‌این منظور، نیاز به بررسی بلندمدت کیفیت آب‌های زیرزمینی است، به‌طوری‌که هم تغییرات مکانی و هم تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب، مورد بررسی قرار گیرد. برای شناخت و ارزیابی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب، نیاز به پهنه‌بندی این پارامترها در محدوده‌ی مورد مطالعه است. معمول‌ترین روش در علوم آب و خاک برای دستیابی به توزیع مکانی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک روش کریجینگ معمولی (Ordinary Kriging) است (۳۰،۴۴). روش کریجینگ معمولی (OK) یک روش درون‌یابی زمین‌آماری برای تخمین متغیرهای مکانی پراکنده است (۲۵).

درتحقیق انجام شده در دشت کیزیل ایرماک در شمال ترکیه، اطلاعات شوری مربوط به ۹۷ حلقه چاه طی یک دوره ۷ ساله با دو روش OK و کریجینگ شاخص (IK) مورد بررسی قرار گرفت. نقشه‌های تغییرات مکانی نشان داد که شوری آب‌های زیرزمینی در منطقه رو به کاهش است، به‌طوری‌که سطح با مقدار شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر طی دوره‌ی مورد بررسی از ۳۱ درصد به ۹ درصد کاهش یافت. هم‌چنین نقشه‌های مربوط به روش IK نشان داد که احتمال بالاترین خطر شوری (۱–۰/۸) از ۱۳/۶ درصد در سال ۲۰۰۴ به صفر درصد در سال ۲۰۱۰ کاهش یافته است (۴). طی تحقیقی در الجزایر، شوری آب زیرزمینی مربوط به ۸۸ حلقه چاه دشت لاوور–چلیف با روش‌های OK و IK با سه حد آستانه EC>۵، ۳<EC و EC>۲/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر پهنه‌بندی شد. نتایج OK نشان‌دهنده‌ی خطر بالای شوری (کلاس C3) و خطر بسیار بالای شوری (کلاس C4) در خاک منطقه بود و در نتایج مربوط به روش IK پیش‌بینی مکانی بهتری از نظر مساحت و عدم قطعیت مشاهده شد (۹). طی مطالعه موردی در استان زنجان، پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی شامل، SAR، pH، TDS، TH، Cl^-، Na^+، K^+، HCO_3^-، Mg^{2+}، Ca^{2+} و SO_4^{2} برای ۱۵ حلقه چاه، طی ۴ بار نمونه‌برداری، اندازه‌گیری شدند، سپس با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و با در نظر گرفتن شاخص آماری ضریب همبستگی ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی در منطقه، طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای شرب مناسب است (۶). طی تحقیق انجام شده در شهر بوساسوریال در کشور سومالی، اطلاعات مربوط به pH، EC، TDS و SAR جمع‌آوری شد. از روش OK برای ترسیم توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب استفاده شد. نتایج حاصل از تفسیر نتایج نقشه‌های پهنه‌بندی نشان داد که آب‌های زیرزمینی در کل منطقه به جز قسمت مرکزی آن برای مصارف شرب ناامن است. هم‌چنین به‌دلیل شوری آب‌های زیرزمینی در کل منطقه، برای آبیاری نیز نامناسب ارزیابی شد (۳۷). پوریزدان‌خواه و همکاران (۳۵) طی تحقیقی کاهش عملکرد محصول برنج منطقه نسبت به شوری آب‌های زیرزمینی در نوار ساحلی استان گیلان به مساحت ۴۲۸۵ کیلومترمربع را براساس داده‌های برداشت شده از ۷۳ حلقه چاه طی یک دوره‌ی ۱۳ ساله (۲۰۱۴–۲۰۰۲) با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و با دو روش OK و IK بررسی نمودند، و سپس با روش‌های من–کندال و تخمین‌گر شیب سن، برای آینده روندیابی انجام دادند. نتایج نشان داد که محدوده‌ی عملکرد محصول برنج در نوار ساحلی ۱۰۰–۸۰ درصد است. با استفاده از روش IK و در نظر گرفتن EC برابر با یک دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان حد آستانه، مناطق با آسیب‌پذیری بیش‌تر مشخص شد. نتایج روندیابی نشان داد که تا سال ۲۰۲۱، در هیچ بخشی از منطقه ساحلی استان گیلان خطر شوری وجود نخواهد داشت و علت احتمالی آن را، افزایش روند بارندگی عنوان نمودند. در تحقیقی در دشت ال‌میلا الجزایر، شاخص کیفی آب‌های زیرزمینی (GWQI) مربوط به ۳۵ حلقه چاه جهت استفاده به‌عنوان آب شرب با روش‌های زمین‌آماری پهنه‌بندی شد و از روش OK و کوکریجینگ (CK) برای درون‌یابی استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که حدود ۲/۸۶ درصد نمونه‌ها دارای کیفیت پایین بودند و ۷۹/۱۴ نمونه‌ها دارای کیفیت خوب و عالی بودند و عنوان نمودند که GWQI با EC، Ca^+، Mg^+، SO_4^{2-} و HCO_3^- همبستگی بسیار قوی معنی‌داری دارد (۸). در تحقیق انجام شده در دشت مرودشت، با هدف بررسی و ارزیابی مکانی شوری آب زیرزمینی، داده‌های مربوط به ۷۵ حلقه چاه اندازه‌گیری شد و برای مدل‌سازی کیفیت آب‌های زیرزمینی از دو روش رگرسیون خطی چندگانه (MLR) و رگرسیون مؤلفه اصلی (PCR) با در نظر گرفتن پارامترهای توپوگرافی خاک استفاده شد. نتایج تحقیق مذکور نشان داد که EC خاک مؤثرترین عامل تأثیرگذار بر EC آب‌های زیرزمینی است. نتایج پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی با GIS نشان داد که ۱۶٪ آب‌های زیرزمینی مرودشت برای کشاورزی مناسب نیستند (۷). در یک تحقیق انجام شده در استان مازندران، شوری آب‌های زیرزمینی طی دو سال و عمق آب زیرزمینی را طی چهار سال با استفاده از روش‌های زمین‌آماری OK، CK و IDW پهنه‌بندی شدند. نقشه‌های پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی نشان داد که مقدار شوری از غرب به شرق استان افزایش داشته است و عمق آب زیرزمینی در نواحی جنوبی و جنوب شرقی بیش‌تر است. هم‌چنین بیان داشتند که روش‌های کریجینگ (CK و OK) بر روش IDW ارجحیت دارد (۱۴). اگرچه تحقیقات بسیاری در استان مازندران در زمینه‌ی بررسی شوری آب‌های زیرزمینی انجام شده است، اما تحقیقی مبنی بر اثر شوری آب‌های زیرزمینی در آبیاری باغ‌های مرکبات انجام نشده است. با توجه به اینکه استان مازندران اولین تولیدکننده‌ی مرکبات کشور است و مرکبات جزء گیاهان حساس به شوری دسته‌بندی می‌شود (۳۹)، نیاز است ضمن ارزیابی وضعیت کنونی کیفیت آب‌های آبیاری منطقه، روند کیفی و وضعیت آینده آن پیش‌بینی شود. بنابراین مهم‌ترین اهداف این تحقیق بدین شرح است: ۱– بررسی مکانی شوری آب‌های زیرزمینی طی سال‌های ۱۳۹۹–۱۳۹۱ به‌صورت هر نیم‌سال با روش OK در ArcGIS ۲– تقسیم‌بندی مساحت تحت شوری‌های مختلف و کاهش

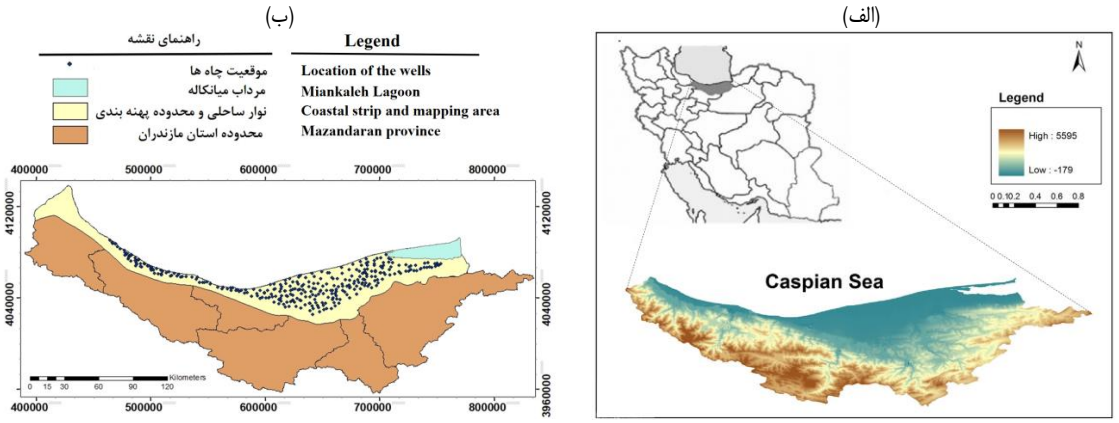
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.5.2]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.52]

عملکرد محصول مرکبات براساس رابطه کاهش عملکرد مرکبات نسبت به شوری، ۳- پیش‌بینی وضعیت آینده آب‌های زیرزمینی استان مازندران و تعیین مکان‌های تحت خطر بیش‌تر و ارائه راهکارهای مدیریتی.

مواد و روش‌ها

معرفی محدوده مطالعه

استان مازندران در قسمت شمال مرکزی کشور ایران و بین مدارهای ۳۵/۷۷ تا ۳۶/۹۷ درجه عرض شمالی و ۵۰/۳۶ تا ۵۷/۱۳ درجه طول شرقی قرار گرفته است. استان مازندران دارای مرز مشترک طولانی با دریا است. قسمت هموار و جلگه‌ای مازندران، سرزمین هلالی شکل به مساحت ۸۲۵۲ کیلومترمربع است که مساحت پهنه‌بندی شده در این تحقیق را شامل می‌شود در قسمت شمالی از سواحل دریا به سمت قسمت کوهپایه‌ای در جنوب استان امتداد می‌یابد (۳۲). شکل ۱ محدوده‌ی مورد مطالعه و موقعیت ۳۰۰ چاه نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. اقلیم منطقه معتدل و مرطوب است و میانگین بارندگی استان مازندران ۶۷۳ میلی‌متر است (۱۵). شوری آب‌های زیرزمینی برای ۳۰۰ حلقه چاه در طی ۱۸ بازه زمانی از ابتدای سال ۱۳۹۱ تا پایان سال ۱۳۹۹ خورشیدی، توسط سازمان آب منطقه‌ای استان مازندران اندازه‌گیری شد و در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به این امر که در نیم‌سال اول، بارندگی کم‌تر و برداشت آب برای کشاورزی بیشتر است، و در نیم‌سال دوم، بارندگی و تغذیه آب‌های زیرزمینی زیاد است، جهت بررسی جزئی‌تر بازه‌های زمانی مورد مطالعه به‌صورت دوره‌های شش ماهه درنظر گرفته شد. میانگین پارامترهای کیفی منطقه نوار ساحلی نیز طی دوره مطالعاتی محاسبه شد که مقادیر TDS، SAR، pH و EC به‌ترتیب برابر با ۶۹۴/۵ میلی‌گرم بر لیتر، ۱/۶، ۷/۴ و ۱/۱ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد. کشاورزی غالب در منطقه، باغ‌های مرکبات و مزارع برنج هستند. با توجه به محدودیت آب سطحی در منطقه، کشاورزی در منطقه از طریق برداشت از چاه‌های کشاورزی موجود در منطقه و انتقال آب‌های زیرزمینی صورت می‌گیرد.



شکل۱- الف) نقشه موقعیت استان مازندران در کشور ایران، ب) نقشه موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری (۳۰۰ حلقه چاه) که در نوار ساحلی استان مازندران برای پهنه‌بندی در نظر گرفته شده است

Figure 1. a) Location of Mazandaran province in Iran. b) Location of sampling wells (300 wells) in the coastal strip of Mazandaran, considered for mapping

روش پهنه‌بندی

تجزیه و تحلیل داده‌های مورد نظر که شامل ۱۸ مجموعه داده بود در چهار مرحله انجام شد؛ ۱- نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف در سطح معنی‌داری ۵ درصد و با نرم‌افزار SPSS 26 بررسی شد و درصورت نرمال نبودن، با در نظر گرفتن مقدار تابع انتقال Log در نرم‌افزار ArcGIS، داده ها به شرایط نرمال نزدیک شدند. ۲- بهترین نیم‌تغییرنما با در نظر گرفتن بالاترین همبستگی از بین ۱۱ مدل Circular، Spherical، Gaussian، Rational، Quadratic، Tetraspherical، Pentaspherical، Exponential، Hole Effect، K-Bessel، J-Bessel و Stable با استفاده از ابزار Geostatistical wizard موجود در نرم‌افزار ArcGIS 10.7.1 برای هر مجموعه داده در روش‌های درون‌یابی کریجینگ معمولی انتخاب شد؛ ۳- با استفاده از درون‌یابی OK، نقشه پهنه‌بندی شوری برای دوره‌های شش ماهه به‌دست آمد و براساس رابطه کاهش عملکرد مرکبات نسبت به شوری طبقه‌بندی انجام شد. ۴- درنهایت، روند شوری نسبت به زمان در هر یک از مساحت‌های طبقه‌بندی شده در گام قبل، با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال بررسی شد و در صورت معنی‌دار بودن روند، با استفاده از رابطه حاصل از تخمین‌گر شیب سن، وضعیت شوری آب‌های زیرزمینی در سال‌های پیش‌رو برآورد شد.

تعیین کلاس‌های طبقه‌بندی

به‌منظور طبقه‌بندی و بررسی میزان کاهش عملکرد مرکبات تحت تأثیر شوری‌های مختلف آب زیرزمینی، نمودار میزان کاهش عملکرد نسبت به شوری‌های مختلف برای مرکبات در این منطقه در نظر گرفته شد. حد آستانه شوری برای کسب عملکرد محصول صد درصد در درختان مرکبات برابر با ۱/۴ دسی‌زیمنس بر متر و کاهش عملکرد محصول مرکبات به‌ازای ۱ دسی‌زیمنس شوری، ۱۳ درصد عنوان شده است (۲۷،۳۱). بر این اساس می‌توان کاهش عملکرد نسبت

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.5.2]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.52]

به شوری به‌صورت یک تابع خطی (Y=۱۰۰−۱۳(EC−۱/۴ تعریف نمود.بر اساس این رابطه، برای تعیین نقشه پهنه‌بندی شوری منطقه با روش کریجینگ معمولی، طبقه‌بندی براساس شوری‌های ۱/۴۰، ۲/۱۷، ۲/۹۴ و ۳/۷۱ در نظر گرفته شد که به‌ترتیب عملکردهایی برابر با ۱۰۰، ۹۰، ۸۰ و ۷۰ درصد را شامل می‌شود.

تجزیه و تحلیل آماری

برای انتخاب بهترین نیم‌تغییرنما، از نمایه نسبت واریانس اثر قطعه‌ای به آستانه ($\frac{C_0}{C_0+C}$) استفاده شد که نشان‌دهنده میزان همبستگی نیم‌تغییرنما با داده‌های موجود است. به‌طوری‌که مقدار نمایه کمتر از ۲۵ درصد، نشان‌دهنده همبستگی بالا، مقادیر بین ۲۵ تا ۷۵ درصد نشان‌دهنده‌ی همبستگی متوسط و مقادیر بیش‌تر از ۷۵ درصد نشان‌دهنده همبستگی ضعیف آن است (۱۱). بر این اساس بهترین نیم‌تغییرنما با درنظر گرفتن کمترین مقدار این نمایه برای هر نیم‌سال انتخاب شد. سپس، برای مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده از شاخص‌های آماری، در بخش predication performances در نرم‌افزار ArcGIS 10.7.1 از گزینه‌ی cross validation استفاده شد که شامل نمایه‌های میانگین خطای پیش‌بینی (ME)، ریشه‌ی دوم میانگین مربع خطا (RMSE)، میانگین خطای استاندارد (ASE)، میانگین خطای استاندارد شده (MSE) و ریشه‌ی دوم میانگین خطای استاندارد شده (RMSSE) است. برای داشتن یک پیش‌بینی دقیق و معتبر، لازم است مقدار MSE نزدیک به صفر، ME، RMSE، ASE حداقل ممکن و RMSSE نزدیک به یک باشد (۲۱).

آزمون من- کندال و تخمین‌گر شیب سن

آزمون ناپارامتری من-کندال (۲۳،۲۶) یکی از متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند است. در این آزمون چنان‌چه مقدار $|Z| \geq ۱/۹۶$ نشان‌دهنده معنی‌دار بودن روند در سطح ۹۵ درصد می‌باشد. تخمین‌گر شیب سن (۴۱،۴۳) شاخصی بسیار کاربردی در آزمون من-کندال است که مقدار شیب روند یکنواخت در سری داده‌ها را نشان می‌دهد. به‌منظور بررسی روند تغییرات شوری آب‌های زیرزمینی از ابتدای سال ۱۳۹۱ تا پایان سال ۱۳۹۹، ابتدا مساحت‌های تحت هر محدوده شوری براساس میزان محصول مرکبات در نرم‌افزار ArcGIS 10.7.1 محاسبه و سپس از آزمون من-کندال و تخمین‌گر شیب سِن استفاده شد.

نتایج و بحث

با آزمون کلموگروف-اسمیرنف موجود در نرم‌افزار SPSS 26 نرمال بودن داده‌ها در سطح معنی‌داری ۵ درصد بررسی شد، نتایج نشان‌دهنده توزیع غیرنرمال داده‌های مربوط به شوری در هر یک از ۱۸ مجموعه داده مورد بررسی بود. برای هر ۱۸ داده در هر نیم‌سال، از تابع انتقال Log در ArcGIS 10.7.1 استفاده شد. برای درون‌یابی از روش OK در هر نیم سال استفاده شد، نیم‌تغییرنما به ۱۱ مدل رسم شد و مقدار نمایه نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه برآورد شد. کمترین مقدار نمایه به‌عنوان بهترین روش انتخاب شد. جدول ۱، مدل‌های نیم‌تغییرنمای انتخابی، نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه و شعاع تأثیر را در هر نیم‌سال ارائه می‌دهد، نتایج نمایه‌های آماری مربوط به اعتبارسنجی متقابل نیز در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به جدول ۱ تمام مقادیر حد آستانه به اثر قطعه‌ای برآورد شده کمتر از ۷۵٪ و در بعضی موارد کمتر از ۲۵٪ بود که به‌ترتیب نشان دهنده همبستگی متوسط و قوی بین مقادیر داده‌های ورودی و مدل نیم‌تغییرنمای منتخب است. همان‌طور که از نتایج جدول ۱ مشخص است، در تحقیق حاضر، سه مدل نیم‌تغییرنمای برازش شده Stable، Exponential و K-Bessel بیش‌ترین فراوانی را در نیم سال‌های مورد بررسی داشته است و با دارا بودن کمترین مقادیر حد آستانه به اثر قطعه‌ای، بالاترین همبستگی در آنها مشاهده شد. دلبری و همکاران (۱۴) و امیری بورخانی (۲) نیز برای شوری آب‌های زیرزمینی، به‌ترتیب، مدل‌های نیم تغییرنمای Exponential و Stable را به‌عنوان بهترین مدل‌های برازش شده برای پارامتر شوری با روش OK در استان مازندران معرفی نمودند. نتایج مربوط به اعتبارسنجی متقابل در جدول ۲ ارائه شده است که نشان‌دهنده صحت و دقت مقادیر پیش‌بینی شده است. مساحت تحت هر عملکرد مرکبات متأثر از شوری با نرم‌افزار ArcGIS 10.7.1 برآورد شد و درصد هر یک کلاس طبقه‌بندی شده نسبت به کل مساحت پهنه‌بندی شده محاسبه شد و نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۱- پارامترهای مدل نیم‌تغییرنما در کریجینگ معمولی، پارامترهای حد آستانه به اثر قطعه‌ای و شعاع تأثیر برای مدل‌های منتخب در هر نیم‌سال

Table 1. Semivariogram model parameters in the ordinary kriging method, the parameters of range and nugget-to-sill ratio, for the first and second half-years

سال Year	نیم‌سال اول First half-year			نیم‌سال دوم Second half-year		
	مدل نیم تغییرنما model	حد آستانه به اثر قطعه‌ای(%) Nugget-to-sill ratio (%)	شعاع تاثیر کیلومتر(Km) Rang (Km)	مدل نیم تغییرنما Model	حد آستانه به اثر قطعه‌ای(%) Nugget-to-sill ratio (%)	شعاع تاثیر کیلومتر(Km) Rang (Km)
1391 (2012)	K-Bessel	0.0	14.0	K-Bessel	52.9	48.8
1392 (2013)	Exponential	19.2	4.3	Exponential	64.0	5.2
1393 (2014)	Exponential	68.2	10.1	K-Bessel	73.2	1.9
1394 (2015)	Stable	0.0	1.2	Stable	39.0	35.2
1395 (2016)	Exponential	74.6	39.5	Exponential	0.0	1.2
1396 (2017)	Stable	0.0	0.8	Exponential	0.0	7.8
1397 (2018)	K-Bessel	46.7	1.9	K-Bessel	0.0	6.7
1398 (2019)	Exponential	5.3	2.8	Exponential	24.7	9.1
1399 (2020)	Stable	0.0	4.6	Stable	68.8	3.2

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.5.2]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.52]

جدول ۲- نمایه‌های آماری حاصل از اعتبارسنجی متقابل در روش کریجینگ معمولی برای نیم‌سال‌های مورد بررسی
Table 2. The indices of cross-validation in the ordinary kriging method for the first and second half-years

نیم‌سال دوم Second half-year					نیم‌سال اول First half-year					سال Year
ASE	RMSSE	MSE	RMSE	ME	ASE	RMSSE	MSE	RMSE	ME	
409.6	1.199	-0.035	534.9	-15.8	557.6	1.383	-0.069	748.0	-22.2	1391 (2012)
408.4	1.212	-0.067	518.3	-17.0	509.6	1.309	-0.091	674.7	-28.4	1392 (2013)
640.3	1.048	-0.014	698.0	3.2	502.7	1.260	-0.053	638.4	-18.7	1393 (2014)
448.8	1.658	-0.070	882.3	-34.8	399.2	1.342	-0.076	596.4	-25.7	1394 (2015)
430.0	1.254	-0.046	635.2	-20.1	447.1	1.304	-0.046	675.3	-23.2	1395 (2016)
484.5	1.110	-0.052	598.0	-5.0	458.1	1.247	-0.057	750.7	-21.5	1396 (2017)
458.3	0.830	-0.012	364.2	13.1	440.0	1.098	-0.055	543.1	-11.4	1397 (2018)
507.8	1.276	-0.026	532.5	8.3	619.5	0.663	-0.045	412.2	38.5	1398 (2019)
435.6	0.962	-0.008	335.4	1.0	558.0	0.845	0.004	461.1	15.2	1399 (2020)

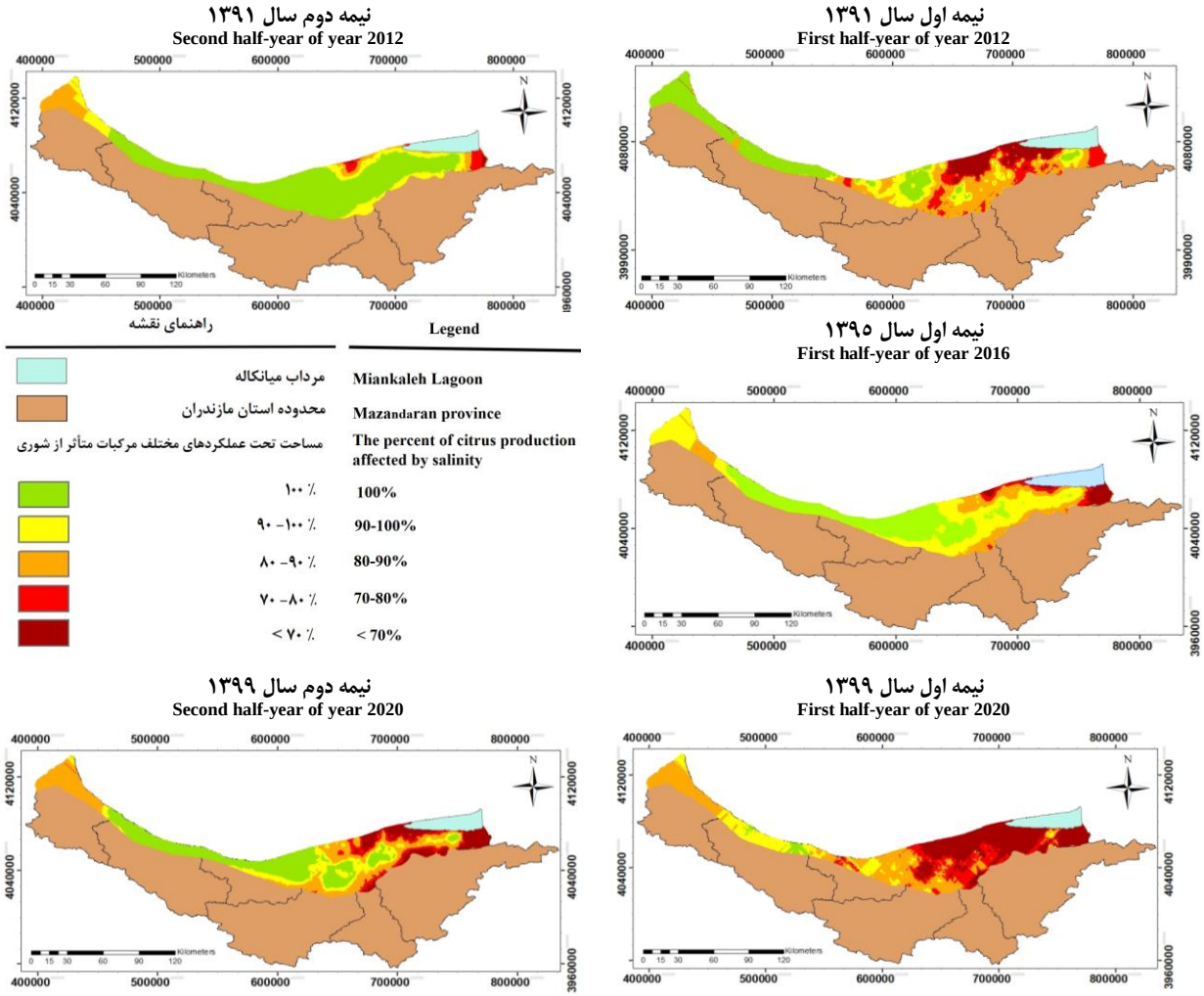
نتایج این جدول نشان می‌دهد که در ابتدای دوره مورد بررسی، مساحت تحت عملکرد ۱۰۰٪ و ۱۰۰-۹۰٪ بیش‌تر از انتهای دوره است، به‌طوری‌که مساحت تحت عملکرد ۱۰۰٪ برای نیم‌سال اول، از ۲۵٪/۱ در سال ۱۳۹۱ به ۲/۲٪ در سال ۱۳۹۹ کاهش می‌یابد. هم‌چنین مشاهده می‌شود که مساحت تحت عملکرد ۷۰-۸۰٪ و ۷۰٪> در انتهای دوره افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که مساحت تحت عملکرد ۷۰٪> برای نیم‌سال دوم، از ۰/۶٪ در سال ۱۳۹۱ به ۲۳/۴٪ در سال ۱۳۹۹ افزایش یافته است. در کل، بررسی نتایج حاصل از جدول ۳ بیانگر افزایش شوری آب‌های زیرزمینی و متعاقباً کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی طی دوره مورد بررسی است. برای نمونه، نقشه‌های مربوط به هر دو نیم‌سال، در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۹ به‌عنوان شرایط ابتدایی و انتهای دوره بررسی شده و نیم‌سال اول ۱۳۹۵ به‌عنوان شرایط میانی دوره مورد بررسی در تحقیق حاضر، در شکل ۲ ارائه شده است. همان‌طور که در نقشه‌های پهنه‌بندی مشاهده می‌شود، شوری آب‌های زیرزمینی استان مازندران از غرب به شرق افزایش می‌یابد. دلبری و همکاران (۱۴) نیز شوری آب‌های زیرزمینی را در دو سال ۱۳۸۱ و ۱۳۸۶ برای استان مازندران بررسی کردند و به نتایج مشابه‌ای از روند تغییرات شوری در این دو سال دست یافتند. مساحت تحت هر کلاس طبقه‌بندی در جدول ۳ در دو ستون مجزا برای نیم‌سال اول و دوم، تفکیک شد. نتایج نشان داد که به‌طور کلی مساحت تحت عملکرد ۱۰۰٪ مرکبات در نیم‌سال دوم بیش‌تر از نیم‌سال اول است، این امر نشان‌دهنده‌ی بهتر بودن وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی در نیم‌سال دوم است که علت آن را می‌توان وجود بارندگی‌های بیش‌تر در فصول پاییز و زمستان عنوان نمود. بارندگی یکی از مهم‌ترین عواملی است که می‌تواند با تغذیه آب‌های زیرزمینی و افزایش سطح سفره‌های آب زیرزمینی (۵) و متعاقباً کاهش غلظت جامدات و بهبود وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی شود (۳۳).

نکته قابل توجه در نقشه‌های پهنه‌بندی نمایش داده شده در شکل ۲، افزایش میزان شوری آب‌های زیرزمینی و متعاقباً کاهش عملکرد مرکبات به کمتر از ۷۰ درصد در نواحی شرقی استان و اطراف تالاب میانکاله است، که این امر می‌تواند ناشی از تأثیر آلودگی تالاب در شوری آب‌های زیرزمینی باشد. طی تحقیق انجام گرفته توسط دشتی و همکاران (۱۲)، عنوان شده است که تالاب بین‌المللی میانکاله به‌دلیل موقعیت جغرافیایی آن و قرارگیری بین دو استان، از مدیریت صحیح در محیط تالاب برخوردار نبوده و فاقد مدیریتی یکپارچه است. از جمله دلایل تخریب پهنه آبی، تغییرات کاربری اراضی و ورود آلودگی‌ها (کشاورزی، صنعتی و خانگی) به رودخانه‌های قره‌سو و غازمحله عنوان شده است که خود سبب شور شدن و کاهش آب ورودی به تالاب و نیز آلودگی آن می‌گردد. غلامی و همکاران (۱۶) طی تحقیقی عنوان نمودند که در سال های اخیر به‌دلیل بهره‌برداری بی رویه از منابع آبی و تغییرات اقلیمی، تالاب میانکاله تخریب زیست محیطی بی‌سابقه‌ای را تجربه کرده است.

جدول ۳- مساحت تحت هر محدوده‌ی عملکرد در نیم سال‌های مورد بررسی به‌صورت درصدی از کل مساحت نوار ساحلی
Table 3. The percent of areas affected by classified salinity, presented as the percent of the total coastal area

نیم‌سال دوم Second half-year					نیم‌سال اول First half-year					سال Year
<70%	70-80%	80-90%	90-100%	100%	<70%	70-80%	80-90%	90-100%	100%	
0.6	2.9	10.7	16.5	69.4	8.3	22.6	19.2	24.8	25.1	1391 (2012)
0.2	5.5	15.4	22.7	56.1	15.2	8.6	23.9	27.5	24.8	1392 (2013)
7.0	18.7	11.0	22.3	41.1	15.1	1.6	6.2	37.1	40.0	1393 (2014)
9.6	14.2	11.8	20.9	43.5	15.0	5.7	15.2	31.0	33.2	1394 (2015)
16.0	17.3	12.6	25.9	28.2	22.7	11.7	13.2	17.5	34.9	1395 (2016)
18.6	18.4	17.8	32.3	12.9	19.4	12.5	19.5	33.4	15.3	1396 (2017)
18.1	18.8	18.8	32.9	11.4	15.8	15.6	26.5	22.5	19.6	1397 (2018)
19.8	20.1	25.7	23.2	11.3	۳۵/۴	16.9	15.2	26.2	6.2	1398 (2019)
23.4	21.0	30.2	15.1	10.3	۳۶/۲	14.3	32.7	14.6	2.2	1399 (2020)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.5.2]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.52]



شکل ۲- نمونه‌ای از نقشه‌های پهنه‌بندی براساس درصد عملکرد محصول مرکبات متأثر از شوری در نوار ساحلی استان مازندران با استفاده از روش میان‌یابی کریجینگ معمولی در نرم‌افزار ArcGIS 10.7.1

Figure 2. Samples of the spatial maps depicting the percent of citrus production affected by the groundwater salinity in the coastal strip of Mazandaran province, using ordinary kriging in ArcGIS 10.7.1

با توجه به این امر که در بعضی مناطق شوری آب‌های زیرزمینی، تا حد زیادی به نفوذ آب شور بستگی دارد (۴۵)، نشت آلودگی از تالاب میانکاله به سفره‌های آب زیرزمینی را می‌توان یکی از عوامل مؤثر در شوری و آلودگی آب‌های زیرزمینی دانست، بر این اساس پیشنهاد می‌گردد طی تحقیقی اثر نشت از تالاب و نفوذ آب تالاب به سفره‌های آب زیرزمینی، با در نظر گرفتن وسعت آبخوان‌ها و عمق آب‌های زیرزمینی در محدوده اطراف تالاب میانکاله بررسی شود.

برای بررسی روند کیفیت آب‌های زیرزمینی نوار ساحلی، معنی‌دار بودن روند تغییرات با استفاده از آزمون ناپارمتری من-کندال سنجیده شد که نتایج حاصل برای هر محدوده‌ی عملکرد مرکبات متأثر از شوری آب‌های زیرزمینی در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که برای هر دو نیم‌سال طی دوره بررسی، مساحت تحت عملکرد ۱۰۰٪ در هر دو نیم‌سال و هم‌چنین مساحت تحت عملکرد ۸۰-۹۰٪ و ۷۰-۸۰٪ در نیم‌سال دوم دارای روند صعودی معنی‌دار است. مساحت تحت عملکرد ۷۰٪> نیز دارای روند نزولی معنی‌دار است. در سایر موارد روند معنی‌داری مشاهده نشده است.

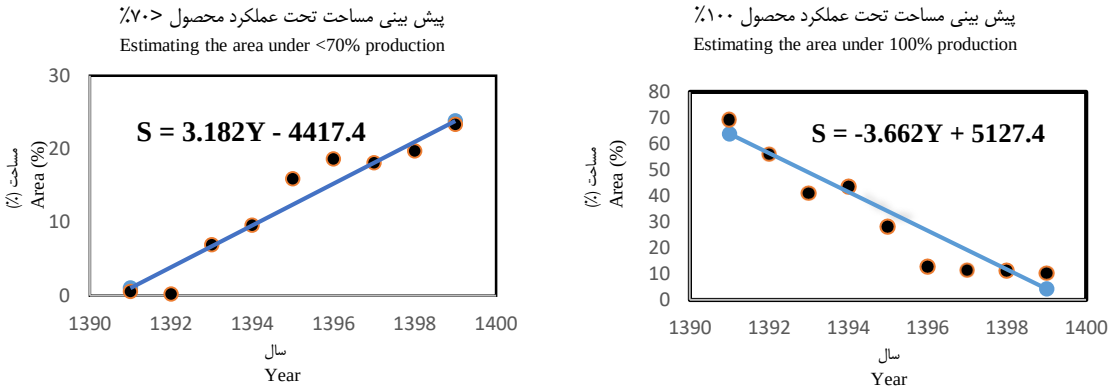
برای پیش‌بینی میزان روند برای دو محدوده‌ی ۱۰۰٪ و ۷۰٪> از تخمین‌گر شیب سن استفاده شد و از محدوده‌های ۹۰٪-۸۰ و ۸۰-۷۰٪ به‌دلیل این‌که محدوده‌های بینابینی بودند، صرف نظر شد. شکل ۳ و ۴، به‌ترتیب نمودارهای هر محدوده را در نیم‌سال‌های اول و دوم و روابط برآورد شده از تخمین‌گر شیب سِن را ارائه می‌دهد. نتایج تخمین‌گر شیب سِن نشان می‌دهد که چنانچه این روند ادامه یابد و هیچ حادثه غیرقابل پیش‌بینی خاصی رخ ندهد، از سال ۱۴۰۰ مساحت تحت عملکرد ۱۰۰٪ به صفر خواهد رسید و حداکثر تا سال ۱۴۲۶، بازده تولید مرکبات در نوار ساحلی، به زیر ۷۰ درصد خواهد رسید. این امر نشان دهنده این واقعیت است که در طی سال‌های تحت بررسی و سال‌های پیش‌رو، شوری آب‌های زیرزمینی استان مازندران افزایش و به تبع آن کیفیت آنها کاهش می‌یابد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.5.2]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.52]

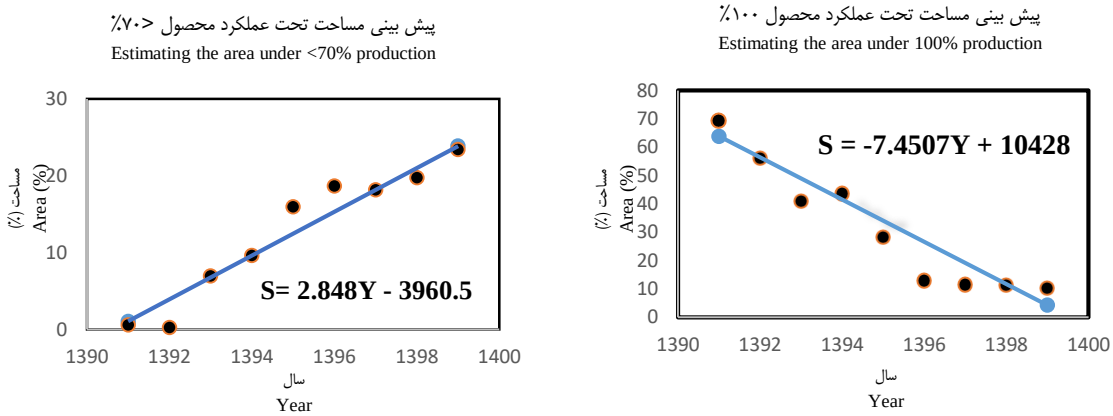
جدول ۴- نتایج Z Test حاصل از معنی‌دار بودن روند در آزمون من-کندال برای نیم‌سال‌های مورد بررسی (سال اول: ۱۳۹۱ و n=۹)
Table 4. The results of the Mann–Kendall test for the first and second half-years (First year: 1391 (2012) and n=9)

<70%	70-80%	80-90%	90-100%	100%	
2.40*	1.15	1.15	-0.94	-1.98*	نیم‌سال اول First half-year
2.23*	3.00*	3.02*	0.73	-3.44*	نیم‌سال دوم Second half-year

*: نشان‌دهنده معنی‌دار بودن روند در سطح ۹۵درصد در آزمون من-کندال است
*: Significant at 95% level of the Mann-Kendall test



شکل ۳- نمودارهای حاصل از تخمین‌گر شیب سِن و روابط بدست آمده برای نیمه‌ی اول سال‌های مورد بررسی
(S: مساحت تحت هر محدوده عملکرد (٪) و Y: سال)
Figure 3. Charts and equation obtained from Sen's slope estimator for the first half-years,
(S: area of each classification (%) Y: year)



شکل ۴- نمودارهای حاصل از تخمین‌گر شیب سِن و روابط بدست آمده برای نیمه‌ی دوم سال‌های مورد بررسی
(S: مساحت تحت هر محدوده عملکرد (٪) و Y: سال)
Figure 4. Charts and equation obtained from Sen's slope estimator for the second half-years,
(S: area of each classification (%); Y: year)

در درختان مرکبات، شوری به‌شدت رشد طوقه درختان را کاهش می‌دهد و اثر آن با گذشت زمان بیش‌تر می‌شود (۳، ۱۷) که این امر باعث ضعیف شدن درختان در فصول سرما در مقابل باد و بارش‌های سنگین باران و برف خواهد شد. طی تحقیق انجام شده در استان مازندران برای یک دوره ۲۶ ساله، از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳ با دو روش OK و IK شوری آب‌های زیرزمینی بررسی شد و شوری یک دسی زیمنس به‌عنوان حد آستانه شوری محصول برنج در نظر گرفته شد؛ نتایج نشان داد که شوری در قسمت شرقی استان افزایش یافته است اما نتایج روندیابی با آزمون من-کندال بیانگر بهبود وضعیت کیفیت آب‌های زیرزمینی طی سال‌های مورد بررسی بود (۲). در تحقیق حاضر مشخص شد که روند شوری آب‌های زیرزمینی استان مازندران در دهه ۱۳۹۰ به‌صورت صعودی بوده است که علت این امر را می‌توان، از طرفی افزایش مصرف آب و حفر بی‌رویه چاه‌ها در دهه اخیر دانست (۳۸، ۴۰) و از طرف دیگر کاهش مقادیر بارندگی و سیر نزولی بارش در دهه اخیر نیز می‌تواند بر این امر تأثیرگذار باشد (۳۶، ۴۲). با توجه به این امر که دو سال ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ در تحقیق امیری-بورخانی (۲) و تحقیق حاضر به‌عنوان سال‌های مشترک هستند، مقادیر جدول ۳ برای آنها بررسی شد. نتایج نشان داد که مجموع مساحت تحت عملکرد ۱۰۰٪ و ۹۰-۱۰۰٪ به‌طور میانگین برای سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ به‌ترتیب ۶۸٪ و ۶۵٪ برآورد شده است. در حالی‌که مجموع مساحت تحت عملکرد ۱۰۰٪ و ۹۰-۱۰۰٪ به‌طور میانگین در سال ۱۳۹۹ به ۲۱٪ رسیده

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.5.2]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.52]

است. به‌عبارتی در دهه اخیر سطح تحت عملکرد بالای ۹۰٪ برای محصول مرکبات، حدود ۴۵٪ در دهه اخیر کاهش یافته است. از این‌رو پیشنهاد می‌شود که با نظارت و برنامه‌ریزی دقیق، بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در استان و به‌خصوص در قسمت شرقی آن، به‌صورت کاملاً کنترل شده انجام شود. هم‌چنین با توجه به تحقیقاتی که در کشورهای مختلف در راستای شناسایی پایه‌های مرکبات حساس و مقاوم به شوری صورت گرفته (۱۰،۱۳،۲۴)، پیشنهاد می‌شود طی تحقیقاتی، در استان مازندران پایه‌های مختلف مرکبات که نسبت به شوری مقاوم‌تر هستند شناسایی و ترویج یابند.

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه با هدف شناخت وضعیت شوری آب‌های زیرزمینی استان مازندران و تأثیر آن بر عملکرد مرکبات در این استان انجام شد. یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که شوری آب‌های زیرزمینی از غرب به شرق استان افزایش یافته و بیش‌ترین میزان شوری آب زیرزمینی در قسمت شرقی نوار ساحلی و اطراف تالاب میانکاله است که می‌تواند عملکرد محصول را تا کمتر از ۷۰ درصد کاهش دهد. نتایج نشان داد که شوری آب‌های زیرزمینی در قسمت شرقی با گذشت زمان بیش‌تر شده و سطح وسیع‌تری را اطراف تالاب میانکاله دربر می‌گیرد که احتمالا می‌تواند به‌دلیل نشت آلودگی تالاب به سفره آب‌های زیرزمینی آن محدوده باشد که پیشنهاد می‌شود ضمن انجام تحقیقات بیش‌تر درخصوص بررسی اثر نشت شوری و آلودگی از تالاب و نفوذ آب تالاب به سفره‌های آب زیرزمینی، با در نظر گرفتن وسعت آبخوان‌ها و عمق آب‌های زیرزمینی در محدوده اطراف، مدیریت هدفمند و جامعی برای بهبود وضعیت تالاب میانکاله اعمال شود.

نتایج آزمون من-کندال و تخمین‌گر شیب سن برای دوره مورد بررسی (سال‌های ۹۹-۱۳۹۱) نشان داد که روند شوری آب در استان از وضعیت خوبی برخوردار نیست به‌طوری که باعث کاهش عملکرد مرکبات می‌شود. نتایج نشان داد که سطح با عملکرد ۱۰۰٪ دارای روند نزولی معنی‌دار و سطح زیر کشت عملکرد ۷۰٪> دارای روند صعودی معنی‌دار است. نتایج تخمین‌گر شیب سن نشان داد که در صورت ادامه این روند، حداکثر تا سال ۱۴۲۶، بازده تولید مرکبات در نوار ساحلی، به زیر ۷۰ درصد خواهد رسید. این امر می‌تواند ناشی از دو عامل کاهش بارندگی در منطقه در سال‌های اخیر و حفر چاه‌های غیرمجاز و برداشت بی‌رویه از چاه‌های منطقه باشد. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود که با نظارت و برنامه‌ریزی، حفر و بهره‌برداری از چاه‌های منطقه به‌صورت کاملاً کنترل شده انجام گیرد. ضمناً توصیه می‌شود تا با انجام تحقیقاتی مبنی بر شناخت پایه‌های مرکبات مقاوم به شوری، نسبت به ترویج آنها اقدام شود.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی شرکت آب منطقه‌ای مازندران براساس قرارداد فی‌مابین آن شرکت و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به شماره: ۲۶/۹۸/۳۸۴۷/۱۱۳ مورخ ۱۳۹۸/۰۵/۱۰ و قرارداد داخلی به شماره: ۹۹/۲۰۴۲/و مورخ ۱۳۹۹/۰۲/۲۳ با عنوان: "بررسی و ارزیابی مسایل مدیریت آب و ارایه راهکارهای ارتقاء و بهبود آن در استان مازندران" انجام شده است که به این وسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

1. Agriculture Organization. 2006. The state of food and agriculture, food aid for food security? Food & Agriculture Organization. 37.
2. Amiri-Bourkhani, M., M.R. Khaledian, A. Ashrafzadeh and A. Shahnazari. 2017. The temporal and spatial variations in groundwater salinity in Mazandaran Plain, Iran, during a long-term period of 26 years. Geofizika, 34(1): 119-139. https://doi.org/10.15233/gfz.2017.34.4.
3. Aparicio-Durán, L., A. Hervalejo, R. Calero-Velázquez, J.M. Arjona-López and F.J. Arenas-Arenas. 2021. Salinity effect on plant physiological and nutritional parameters of new Huanglongbing disease tolerant citrus rootstocks. Agronomy, 11(4): 653(1-16). https://doi.org/10.3390/agronomy11040653.
4. Arslan, H. 2012. Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary kriging and indicator kriging: The case of Bafra Plain, Turkey. Agricultural Water Management, 113: 57-63. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.015.
5. Asoka, A., T. Gleeson, Y. Wada and V. Mishra. 2017. Relative contribution of monsoon precipitation and pumping to changes in groundwater storage in India. Nature Geoscience, 10(2): 109-117. https://doi.org/10.1038/ngeo2869.
6. Asghari, F.B., A.A. Mohammadi, M.H. Dehghani and M. Yousefi. 2018. Data on assessment of groundwater quality with application of ArcGIS in Zanjan, Iran. Data in Brief, 18: 375-379. https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.03.059
7. Azma, A., E. Narreie, A. Shojaaddini, N. Kianfar, R. Kiyanfar, S.M. Seyed Alizadeh and A. Davarpanah. 2021. Statistical modeling for spatial groundwater potential map based on GIS technique. Sustainability, 13(7): 3788. https://doi.org/10.3390/su13073788
8. Belkhiri, L., A. Tiri and L. Mouni. 2020. Spatial distribution of the groundwater quality using kriging and Co-kriging interpolations. Groundwater for Sustainable Development, (11): 100473(1-9). https://doi.org/10.1016/J.GSD.2020.100473

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.5.2]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.52]

9. Bradaï, A., A. Douaoui, N. Bettahar and I. Yahiaoui. 2016. Improving the prediction accuracy of groundwater salinity mapping using indicator kriging method. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 142(7): 04016023. https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001019
10. Brito, M.E.B., P.D. Fernandes, H.R. Gheyi, L.A.D.A. Soares, W.D.S. Soares and J.F. Suassuna. 2020. Screening of citrus scion-rootstock combinations for tolerance to water salinity during seedling formation. Acta Scientiarum. Agronomy, 43. https://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.48163.
11. Cambardella, C.A., T.B. Moorman, T.B. Parkin, D.L. Karlen, J.M. Novak, R.F. Turco and A.E. Konopka. 1994. Field- scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, 58(5): 1501. https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x.
12. Dashti, S., Gh.R. Sabzghabaei, K. Jafarzadeh and M. Bazmara Baleshti. 2020. The role of landscape ecology spatial structure analysis in environmental impact assessments (EIA) (Case study: Miankaleh international wetland). Journal of Environmental Science and Technology, 22(2): 93-105 (In Persian).
13. Da Silva Sa, F.V., M.E.B. Brito, L. de Andrade Silva, R.C.L. Moreira, P.D. Fernandes and L.C. de Figueiredo. 2015. Physiology of perception of saline stress in'Common Sunki'mandarin hybrids under saline hydroponic solution/Fisiologia da percepcao do estresse salino em hibridos de tangerineira" Sunki Comum" sob solucao hidroponica salinizada. Comunicata Scientiae, 6(4): 463-471. https://doi.org/10.14295/cs.v6i4.1121.
14. Delbari, M., P. Afrasiab and S.R. Miremadi. 2011. Spatio-temporal variability analysis of groundwater salinity and depth (Case study: Mazandaran province). Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 3(4): 359-374 (In Persian).
15. Ghadami Firouzabadi, A. 2015. The water use management and soil changes by full irrigation and partial rootzone drying (PRD) in sunflower. Ph.D. Thesis, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, 174 pp (In Persian).
16. Gholami, V., A. Khalili, H. Sahour, M.R. Khaleghi and E.N. Tehrani. 2020. Assessment of environmental water requirement for rivers of the Miankaleh wetland drainage basin. Applied Water Science, 10: 233. https://doi.org/10.1007/s13201-020-01319-8.
17. Grieve, A.M., L.D. Prior and K.B. Bevington. 2007. Long-term effects of saline irrigation water on growth, yield, and fruit quality of 'Valencia'orange trees. Australian Journal of Agricultural Research, 58(4): 342-348. https://doi.org/10.1071/AR06199.
18. Hosseini, S.S. and H. Rafiei. 2008. Investigation of citrus market behavior in Mazandaran province, case study of Sari. Agricultural Economics, 2(4): 73-92 (In Persian).
19. Iran Press. 2020. Iran, the fifth citrus producing country in the world. Iran press news Agency, News Cod: 185752, date: 2020.5.27 (Page address: https://farsi.iranpress.com/iran-i185752) (In Persian)
20. IRNA. 2021. 10 million cubic meters are extracted annually from illegal wells in Mazandaran. The Islamic Republic News Agency, News Cod: 84206632, Reporter Code: 1045, date: 2021.02.01 (Page address: https://www.irna.ir/news/84206632) (In Persian).
21. Johnston, K., J.M. Ver Hoef, K. Krivoruchko and N. Lucas. 2001. Using ArcGIS geostatistical analyst, Vol (380). ESRI Redlands, 273 pp.
22. Karandish, F. and A. Shahnazari. 2014. Appraisal of the geostatistical methods to estimate Mazandaran coastal ground water quality. Caspian Journal of Environmental Sciences, 12(1): 129-146.
23. Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Methods: Griffin, London, UK. https://doi.org/10.4236/ojs.2016.66082.
24. Khalid, M.F., S. Hussain, M.A. Anjum, S. Ahmad, M.A. Ali, S. Ejaz and R. Morillon. 2020. Better salinity tolerance in tetraploid vs diploid volkamer lemon seedlings is associated with robust antioxidant and osmotic adjustment mechanisms. Journal of Plant Physiology, 244: 153071. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2019.153071.
25. Lee, J.J., C.S. Jang, S.W. Wang and C.W. Liu. 2007. Evaluation of potential health risk of arsenic affected ground- water using indicator kriging and dose response model. Science of the Total Environment, 384(1-3): 151-162. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.06.021.
26. Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. Journal of the Econometric Society: 245-259. http://dx.doi.org/10.2307/1907187.
27. Maas, E.V. 1993. Salinity and citriculture. Tree Physiology, 12(2): 195-216. https://doi.org/10.1093/treephys/12.2.195.
28. Mahmoud, L.M. M. Dutt, C.I. Vincent and J.W. Grosser. 2020. Salinity-induced physiological responses of three putative salt tolerant citrus rootstocks. Horticulturae, 6(4): 90. https://doi.org/10.3390/horticulturae6040090.
29. Mejri, S., A. Chekirbene, M. Tsujimura, M. Boughdiri and A. Mlayah. 2018. Tracing groundwater salinization pro- cesses in an inland aquifer: a hydrogeochemical and isotopic approach in Sminja aquifer (Zaghouan, northeast of Tunisia). Journal of African Earth Sciences, 147: 511-522. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.07.009.
30. Mishra, U., R. Lal, B. Slater, F. Calhoun, D. Liu and M. Van Meirvenne. 2009. Predicting soil organic carbon stock using profile depth distribution functions and ordinary kriging. Soil Science Society of America Journal, 73(2): 614-621. https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0410.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.5.2]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.52]

31. Murkute, A.A., S. Sharma and S.K. Singh. 2005. Citrus in terms of soil and water salinity: a review. Journal of Scientific and Industrial Research, 64: 393-402.
32. Omrani, S.J., M. Almasian, M. Poshtekohi and R. Asa′di. 2003. Geological atlas (National atlas of Iran). National cartographic center (Plan and budget organization), 110 pp (In Persian).
33. Ostad-Ali-Askari, K. and M. Shayannejad. 2021. Quantity and quality modelling of groundwater to manage water resources in Isfahan-Borkhar Aquifer. Environment, Development and Sustainability:1-17. https://doi.org/10.1007/s10668-021-01323-1.
34. Pars Ab Tadbir, N.E.S.P. (Pvt) L. 2005. Northern cities water supply and snatiation project: environmental assessment (Vol. 3): Environmental assessment - Rasht and Anzali (English). Iran. Retrieved from http://documents.worldbank.org/curated/en/758121468044098835/Environmental-assessment-Rasht-and -Anzali.
35. Pouryazdankhah, H., A. Shahnazari, M.Z. Ahmadi, M. Khaledian and M.N. Andersen. 2019. Rice yield estimation based on forecasting the future condition of groundwater salinity in the Caspian coastal strip of Guilan Province, Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 191(8): 1-16. https://doi.org/10.1007/s10661-019-7613-y.
36. Robati, M. and E. Ghazanchaei. 2019. Socioeconomic and environmental situation analysis of Mazandaran province with conceptual model approach DPSIR. Human and Environment, 50: 81-99 (In Persian).
37. Said, A.A., R. Yurtal, M. Cetin and M.S. Gölpinar. 2021. Evaluation of some groundwater quality parameters using geostatistics in the urban coastal aquifer of Bosaso plain, Somalia. Journal of Agricultural Sciences, 27(1): 88-97. https://doi.org/10.15832/ankutbd.611787.
38. Salehi, S. and Z. Pazokinejad. 2021. Adaption of villagers to climate change and its relationship with social factors case study: Villagers of Babolsar city, Mazandaran province. Strategic Research on Social Problems in Iran University of Isfahan, 10(1): 47-70 (In Persian).
39. Sales, G.N.B., L. de Andrade Silva, J.F. Almeida, R.G. Nobre, F.B. da Costa, M.E.B. Brito, M.S. da Silva, A.X.M. de Queiroga, A.M. do Nascimento, J.L. da Silva and 1p.D. Fernandes. 2018. Quality of fruits from grafted Tahiti Lime (Citrus latifolia Tan) irrigated with waters of different salinities. Journal of Experimental Agriculture International: 1-10.
40. Shahbazi, A. and A. Esmaeili-Sari. 2009. Groundwater quality assessment in north of Iran: a case study of Mazandaran province. World Applied Sciences Journal (Special Issue of Environment): 92-97. https://doi.org/10.4236/oje.2017.713044.
41. Sen, P.K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. Journal of the American Statistical Association, 63(324): 1379-1389. http://dx.doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934.
42. Soleimani, K. 2020. Empty aquifers in Mazandaran; Salinity of green plains. Talilbazaar news. News Cod: 25367, date: 2020.06.22 (Page address: https://www.tahlilbazaar.com/news/25367) (In Persian).
43. Theil, H. 1992. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. In: B. Raj and J. Koerts (eds.) Henri Theil's Contributions to Economics and Econometrics. (23): pp 345-381., Springer, Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2546-8_20.
44. Yang, F., S. Cao, X. Liu and K. Yang. 2008. Design of ground water level monitoring network with ordinary kriging. Journal of Hydrodynamics, 20(3): 339-346. https://doi.org/10.1016/S1001-6058(08)60066-9.
45. Yidana, S.M., B. Banoeng-Yakubo and T.M. Akabzaa. 2010. Analysis of groundwater quality using multivariate and spatial analyses in the Keta basin, Ghana. Journal of African Earth Sciences, 58(2): 220-234. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2010.03.003.
46. Ziogas, V., G. Tanou, G. Morianou and N. Kourgialas. 2021. Drought and salinity in viticulture: optimal practices to alleviate salinity and water stress. Agronomy, 11(7): 1283. https://doi.org/10.3390/agronomy11071283.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.5.2]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.52]

Investigation the Citrus Yield Reduction Affected by Groundwater Salinity in Mazandaran Province

Ramin Fazloula[1] and Hedyeh Pouryazdankhah[2]

1- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari Iran, (Corresponding author: raminfazl@yahoo.com)
2- Postdoctoral Researcher, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari Iran
Received: 24 March, 2022 Accepted: 1 August, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: One of the main factors of the reducing agricultural production is the irrigation water salinity. Mazandaran province is one of the most important citrus-producing area in Iran, where the groundwater used for supplying the irrigation water in citrus orchards of the province. The main objective of this paper was to determine map spatial and temporal variations of groundwater salinity (EC) in the coastal strip of Mazandaran province with an area of 8252 km^2. The collected data of 300 wells of the study area were measured by Mazandaran Regional Water Authority for 9 consecutive years and defined for ArcGIS 10.7.1 software as the average ECs for each 6 months.

Material and Methods: EC maps were obtained by ordinary kriging (OK) for each 6-month periods from and the beginning of 2012 to the end of 2020, by using ArcGIS 10.7.1 software. According to the derived empirical function of the effect of EC on the citrus yield (Y=100-13(EC-1.4)). According to this function, ECs of 1.40, 2.17, 2.94 and 3.71 dS/m, corresponding to relative yields of 100, 90, 80 and 70% were selected, respectively. Thereby, areas belonging to the classes of 100%, 90-100%, 80-90% and <70% were outlined. In addition, the Mann–Kendall test and Sen's slope were used to project future changes.

Results: The result of EC maps indicated that the salinity of groundwater increases from west to east of the province. The Mann-Kendall test result showed a significant temporal trend of the size of the area below the <70% yield (EC >3.71 dS/m) and 100% (EC <1.40 dS/m), presenting that the salinity of groundwater can be a concern for citrus orchards in the coastal strip of Mazandaran province. The equation given by Sen's slope estimator denoted that if this trend is continuing, the area under 100% yield will reach to zero in 2021 and the yield of citrus in the coastal strip will reach below 70% at the latest by 2047.

Conclusion: This study has shown that the salinity of groundwater was increasing in the eastern part over the time and it covered a wider area around the Miankaleh lagoon, which may be due to the leakage of the lagoon to the groundwater aquifer in that area. The reduction of groundwater quality over the time can be attributed to two factors: reduced rainfall in recent years and digging illegal wells and subsequently consumed extraction of wells in the region. Taken together, it is suggested that the wells in the area will be exploited completely controlled to prevent the reduction trend of its quality.

Keywords: Caspian coastal strip, Mann-Kendall test, Ordinary kriging, Sen's slope estimator, Spatial and temporal mapping

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.27.5.2]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.27.52]