دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت‌های شرقی دریاچه ارومیه

ربابه جعفری[۱]، علی ترابیان[۲]، محمدعلی قربانی[۳]، سید احمد میرباقری[۴] و امیر حسام حسنی[۵]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران
۲- استاد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، ایران، (نویسنده مسوول: atorabi@at.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، ایران
۴- استاد، گروه مهندسی عمران- محیط زیست، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ایران
۵- دانشیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۲۶
صفحه: ۱۴۵ تا ۱۵۷

چکیده

منابع آب زیرزمینی بزرگترین ذخیره قابل دسترسی آب شیرین در کره زمین محسوب می‌شوند. با توجه به اهمیت و کمبود این منابع ارزشمند مطالعه پیرامون تغییرات کیفی آب زیرزمینی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. کاهش تراز سطح آب دریاچه ارومیه در دهه اخیر باعث افزایش شوری آب آن شده است. در این مقاله اثر کاهش تراز سطح آب دریاچه بر مشخصات کیفی آب‌های زیرزمینی دشت‌های شرقی دریاچه ارومیه در محدوده سال‌های آبی ۸۱-۱۳۸۰ تا ۹۱-۱۳۹۰ مورد مطالعه قرار گرفته است. با استفاده از روش زمین آمار در محیط نرم‌افزار GIS، سمی‌واریوگرام‌های مدل دایره‌ای، کروی، نمایی و گوسی برای کل املاح جامد (TDS) و نسبت جذبی سدیم (SAR) بدست آمد. در بیشترسال‌ها برای پارامتر TDS مدل گوسی با خطای استاندارد در محدوده ۰/٤٤ تا ۰/۹٤ و برای پارامتر SAR مدل نمایی با خطای استاندارد در محدوده ۰/۵۲ تا ۱/٤۷ به‌عنوان مدل برتر انتخاب شد. با بکارگیری روش میان‌یابی کوکریجینگ تغییرات کیفی آب زیرزمینی در آبخوان شرقی دریاچه مورد ارزیابی قرار گرفت و پهنه‌های کیفی دشت‌های شرقی دریاچه ارومیه رسم شد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که کاهش تراز سطح آب دریاچه ارومیه تأثیر منفی بر کیفیت آب زیرزمینی دشت‌های شرقی دریاچه داشته است. همچنین کاهش کیفیت آب به گونه‌ای بوده است که مقدار TDS بطور نسبی از ۱۰ درصد تا ٤۵ درصد و برای پارامتر SAR از ۷ درصد تا ۳۰ درصد متغیر بوده است.

واژه‌های کلیدی: تراز آب، تغییرات کیفی، دریاچه ارومیه، کل املاح جامد، نسبت جذبی سدیم

مقدمه

مسأله آلودگی آب‌های زیرزمینی در سفره‌های ساحلی به مراتب پیچیده‌تر و بحرانی‌تر از سایر سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد. برداشت غیراصولی از این آبخوان‌ها موجب پیشروی آب شور دریاها و شور شدن کل آب زیرزمینی جزیره خواهد شد. پیشروی آب شور جدی‌ترین مسأله‌ای است که کیفیت آب زیرزمینی را در جزایر کوچک به خطر می‌اندازد، به‌ویژه اگر استخراج آب مناسب به‌دلیل افزایش جمعیت و پیشرفت‌های صنعتی و کشاورزی افزایش یابد (۲). شناخت کیفیت آب‌های زیرزمینی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و آسیب‌پذیرترین منابع تأمین آب در دهه‌های اخیر، یک امر کاملاً بدیهی است. همچنین با ازدیاد روز افزون جمعیت و در نتیجه افزایش تقاضای استفاده از آب برای مقاصد مختلفی چون کشاورزی، شرب و صنعت لزوم توسعه سرمایه‌گذاری در بخش آب امری اجتناب‌ناپذیر است (۲۷،۱۶). در سال‌های اخیر، شور شدن و کاهش کیفیت آب زیرزمینی به یکی از مشکلات محیطی جدی در سرتاسر جهان تبدیل شده است. واضح است که جلوگیری از آلودگی منابع آب زیرزمینی از رفع آلودگی آن بسیار آسان‌تر است (۲۴). این واقعیت، به پیدایش چندین روش حفاظتی و سیاست‌های مدیریتی در مراحل مختلف رشد و توسعه علم منجر شده است.

داگوستینو و همکاران (۶) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی به کمک مدل‌های کریجینگ و کوکریجینگ از روش زمین‌آمار پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشانگر دقت بالاتر در برآورد غلظت نیترات توسط روش کوکریجینگ بود. ریزو و موسر (۲۱) با استفاده از تکنیک زمین‌آمار به بررسی مکانی کیفیت آب زیرزمینی پرداختند. در این پژوهش پارامترهای کلر، سولفات، سدیم، کلسیم و شوری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آن‌ها حاکی از دقت بالای روش کوکریجینگ در پهنه‌بندی کیفی آب‌های زیرزمینی بود. ساینانو و همکاران (۲۲) با استفاده از روش زمین‌آمار، نقشه تراز سطح ایستابی آبخوان و هدایت الکتریکی را ترسیم نمودند. نوحه‌گر و همکاران (۱۸) با استفاده از داده‌های ۱۰ ساله هدایت الکتریکی و کلراید آب‌های زیرزمینی دشت میناب در فصول خشک و تر، مدل مکانی-زمانی را در محیط ArcGIS ارائه نمودند. ارسلان (۱) با استفاده از داده‌های ۷ ساله از ۹۷ چاه مشاهداتی و روش کریجینگ از تکنیک زمین‌آمار به تحلیل مکانی- زمانی شوری آب‌های زیرزمینی پرداخت. نتایج نشان‌دهنده افزایش روند شوری در دوره مطالعاتی بود. ثمین و همکاران (۲۳) از مدل‌های کریجینگ و کوکریجینگ به منظورپهنه‌بندی Cl^-،SAR مبتنی بر داده‌های EC در منطقه فسا (ایران) استفاده کردند. آن‌ها روش کوکریجینگ را موفق‌تر ارزیابی نمودند. تقی‌زاده‌مهرجردی (۲۹) به پهنه‌بندی مکانی کیفیت آب زیرزمینی در ارومیه با سه روش IDW با توان ۱ تا ۵، کریجینگ و کوکریجینگ پرداخت. نتایج حاکی از دقت بالاتر روش کریجینگ برای $SO4^{2-}$وSAR، IDW برای Na^+ و کوکریجینگ در سایر پهنه‌بندی سایر پارامترها بود. مینی و همکاران (۱۵) به بررسی زمانی-مکانی سطح آب‌های زیرزمینی در آبخوان ساحلی در مینجور[۱] واقع در تامیلندو[۲] هند

1- Minjur
2- Tamilnadu

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.3.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.145]

با استفاده از تکنیک زمین‌آمار در محیط ArcGIS 9.3 پرداختند. بررسی‌ها حاکی از وابستگی شدید تراز آب زیرزمینی به مکان بود. آن‌ها روش زمین‌آمار را روشی مناسب جهت کشف نقاط بحرانی به منظور پمپاژ و تغذیه مصنوعی دانستند. کوهی چله کران و همکاران (۱۳) تغییرات مکانی هدایت الکتریکی و پهنه آن در شیراز را با استفاده از مدل‌های زمین آمار کریجینگ، لوگ کریجینگ و کوکریجینگ در محیط ArcGIS را بررسی کردند. آن‌ها روش کوکریجینگ را در تخمین هدایت الکتریکی موفق‌تر از کریجینگ دانستند. حاجی‌هاشمی‌جزی و همکاران (۸) با بهره از روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ و آمار و اطلاعات ۸۴ چاه دشت گلپایگان استان اصفهان، به بررسی کیفی آبخوان دشت با پارامترهای SAR، Na، TH، Ca، TDS و EC پرداختند. نتایج حاکی از دقت بالاتر و خطای پایین‌تر در روش کوکریجینگ بود. مظلوم و همکاران (۱۴) در برآورد پراکنش مکانی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در دشت ارومیه از تکنیک زمین‌آمار استفاده و بهترین روش را کریجینگ اعلام کردند. آنان به این نتیجه رسیدند که اختلاط آب دریاچه با آب زیرزمینی در این دشت باعث افزایش شوری و در نتیجه افزایش هدایت الکتریکی شده است. شیخ گودرزی و همکاران (۲۵) به بررسی تغییرات مکانی کیفی آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک زمین‌آمار در دشت تهران- کرج پرداختند. نتایج این پژوهش حاکی از صحت و دقت روش کوکریجینگ در پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در دشت تهران- کرج بود. جعفری و بخشنده‌مهر (۱۰) با پهنه‌بندی دو شاخص مهم کیفیت آب زیرزمینی شامل EC و SAR و تکنیک زمین‌آمار به تحلیل مکانی کیفیت آب زیرزمینی استان اصفهان پرداختند. آن‌ها در این پژوهش مدل دایره‌ای کریجینگ را موفق‌تر دانستند و تحلیل کیفی آب زیرزمینی را با استناد به جدول ویل‌کاکس انجام دادند. رسولی و همکاران (۲۰) روند تغییرات شوری (ES)، نسبت سدیم قابل جذب (SAR)، کل املاح جامد (TDS)، مقدار آنیون‌ها وکاتیون‌ها در آب‌های زیرزمینی قسمت غربی و جنوبی حوضه دریاچه ارومیه در مدت ۱۰ سال از سال ۱۳۸۰ تا۱۳۸۹ مورد بررسی قرار دادند. رسم نقشه تغییرات مکانی و زمانی سال‌های مورد بررسی نشان داد که قلیاییت آب زیرزمینی در منطقه رو به افزایش بوده و این افزایش در منطقه شمال ارومیه و بخش غربی و شرقی دشت میاندوآب درسال‌های اخیر بیشتر مشهود بوده است. بررسی کل املاح جامد در آب هم نشان داد که خطرافزایش TDS کل منطقه مور مطالعه را تهدید کرده است. زینالی و همکاران (۳۱) تاثیر خشکسالی بر کیفیت آب زیرزمینی را در دشت مرند مطالعه کردند. نتایج نشان داد تغییر کیفیت آب در دشت مرند در اثر افزایش سطح زیر کشت و همچنین افزایش برداشت صورت گرفته است. سلیمانی مطلق و همکاران (۲۸) به بررسی تاثیر خشکسالی بر کیفیت آب‌های سطحی در حوزه آبخیز کشکان پرداختند و بیان کردند نمودارهای روند خطی حاکی از تأثیر منفی روند افزایشی خشکسالی بر کیفیت آب‌های سطحی است.

هدف از مقاله حاضر بررسی کیفی دشت‌های شرقی دریاچه ارومیه با استفاده از تکنیک زمین آمار است. با توجه به کاهش شدید تراز آب دریاچه در دهه اخیر مطالعه اثر تغییرات تراز بر کیفیت آب زیرزمینی هدف اصلی این مقاله قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه به‌عنوان بزرگترین دریاچه داخلی ایران به شمار می‌آید. اکوسیستم این دریاچه نمونه‌ای شاخص از یک حوضه آبخیز بسته است که کلیه رواناب‌های جاری در رودخانه‌های حوضه به آن تخلیه می‌گردد.در شرایط کنونی به دلیل پسروی و خشکی سطح قابل ملاحظه‌ای از دریاچه ارومیه و کاهش حجم آبی آن، شرایط بسیار سختی برای تداوم حیات گونه‌های گیاهی و جانوری این دریاچه به‌وجود آمده است. شوری بالا همچنین درکیفیت آب‌های زیرزمینی دشت‌های اطراف این دریاچه اثر گذاشته است. منطقه مطالعاتی این مقاله دشت‌های شرق این دریاچه است که آبخوان مورد مطالعه در دشت‌های شرقی دریاچه و همچنین محل قرارگیری پیزومترهای بررسی شده در آبخوان در شکل یک نشان داده شده است.

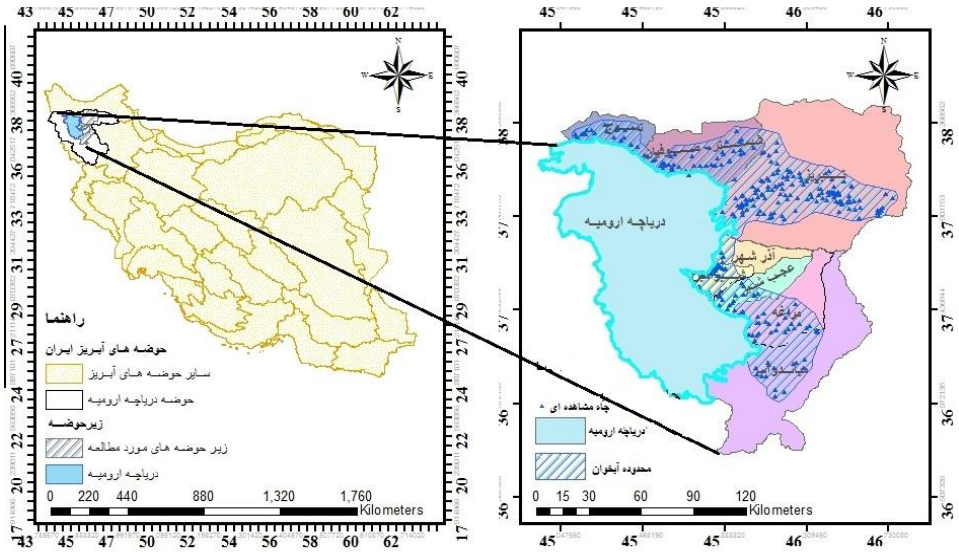
تراز دریاچه ارومیه

تراز اکولوژیک دریاچه ارومیه در حدود ۱۲۷۴ متر می‌باشد. بیش‌ترین تراز آب در طی سال‌های آبی ۱۱-۱۳۱۰ تا ۹۱-۱۳۹۰ مربوط به سال‌های آبی ۷۴-۱۳۷۳ و ۷۵-۱۳۷۴ بوده است. از ابتدای دوره مطالعاتی این پژوهش میزان تراز آب از تراز اکولوژیک پایین‌تر آمده است و تا پایان دوره مورد بررسی این کاهش تراز ادامه داشته است. شکل ۲ تغییرات تراز آبی دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد.

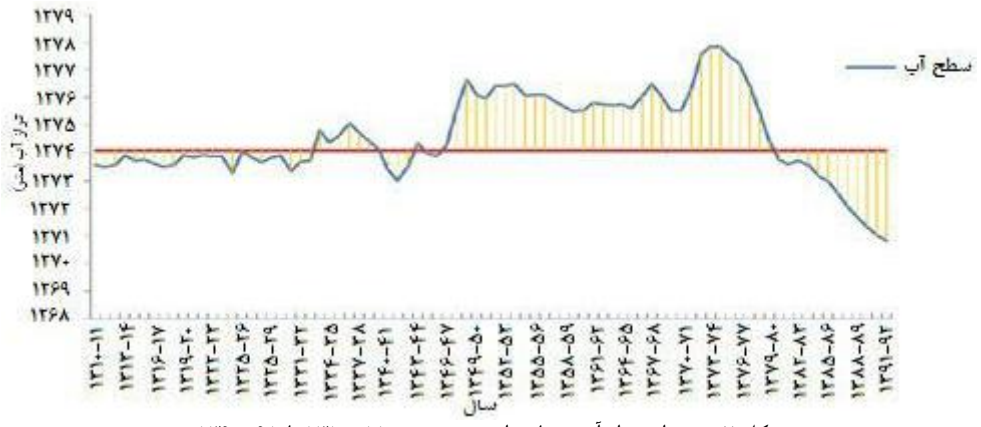
پارامترهای کیفی TDS و SAR

دسته‌بندی پارامترهای کیفی آب باتوجه به مصرف آب در زمینه‌های شرب، صنعت و یا کشاورزی ارائه می‌شوند. از آنجائی که اهمیت کیفیت آب‌های زیرزمینی در آبخوان مطالعاتی، بیشتر جنبه کشاورزی دارد، لذا کلاسه‌بندی پارامترهای TDS و SAR به منظور مصرف کشاورزی در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.3.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.145]



شکل ۱- موقعیت منطقه و آبخوان مورد مطالعه در شرق دریاچه ارومیه
Figure 1. Location of the study area and the aquifer in the east of Urmia Lake



شکل ۲- تغییرات تراز آبی دریاچه ارومیه در دوره ۱۱-۱۳۱۰ تا ۹۱-۱۳۹۰
Figure 2. Water level changes in Urmia Lake in duration from 1931-1932 to 2012-2013

جدول ۱- راهنمای کلاسه‌بندی EC و TDS در روش کوکریجینگ (۲۹)
Table 1. EC and TDS classification guide in cokrigingmethod (29)

شوری	EC (میلی موسبر سانتیمتر)	TDS (میلی‌گرم بر لیتر)	شرح
کم	۰-۲۵۰	< ۲۰۰	مناسب برای همه گیاهان
متوسط	۲۵۰-۷۵۰	۲۰۰-۵۰۰	خطر شوری خاک، کاشت گیاهان نیمه حساس
زیاد	۷۵۰-۲۲۵۰	۵۰۰-۱۵۰۰	نیاز به احداث زهکش، کشت گیاهان مقاوم
خیلی زیاد	۲۲۵۰-۵۰۰۰	۱۵۰۰-۳۰۰۰	لزوم آبشویی، فقط گیاهان بسیار مقاوم

جدول ۲- راهنمای کلاسه‌بندی SAR در روش کوکریجینگ بر اساس تفسیر کیفیت آب آبیاری (۳)
Table 2. SAR classification guide in cokriging method according to irrigation water quality explanation (3)

SAR	EC (دسی زیمنس بر متر)		
	خوب	متوسط	بد
۰-۳	> ۰/۷	۰/۲	< ۰/۲
۳-۶	> ۱/۲	۰/۳	< ۰/۳
۶-۱۲	> ۱/۹	۰/۵	< ۰/۵
۱۲-۲۰	> ۲/۹	۱/۳	< ۱/۳
۲۰-۴۰	> ۵	۲/۹	< ۲/۹

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.3.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.145]

روش زمین‌آمار

زمین‌آمار علم محاسبه مخصوص متغیرهای ناحیه‌ای است و شعبه‌ای از آمار است که در آن مختصات داده‌های مربوط به جامعه تحت بررسی و به تبع آن ساختار فضایی داده‌ها مربوطه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. به طور کلی تخمین زمین‌آماری فرآیندی است که طی آن می‌توان مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم به‌دست آورد (۹).

تغییر نیم نما[1]

مهم‌ترین ویژگی واریوگرام نسبت به سایر ابزار آماری، ساده‌سازی ساختار تغییرپذیری است. در زمین آمار تعیین ساختار مکانی اطلاعات با استفاده از تغییر نیم نما یا سمی واریوگرام صورت می‌گیرد. این تابع چگونگی تغییرات در مقادیر نقطه‌ای را که فواصل و جهات مختلف از یکدیگر قرار گرفتند، نشان می‌دهد. مهم‌ترین ویژگی سمی‌واریوگرام نسبت به سایر ابزار آماری، ساده‌سازی ساختار تغییرپذیری است که موجب کاربرد آن در همه زمینه‌ها است. رابطه زیر را برای آن می‌توان ارائه نمود (۹):

(۱)

$$۲\gamma^*(h)=\frac{۱}{N(h)}\sum_{i=۱}^{N(h)}[Z(x_i+h)-Z(x_i)]^۲$$

که در آن $\gamma^*(h)$: مقدار تغییرنمای تجربی به ازای فاصله h، N(h) اعداد جفت نمونه‌های به‌کار گرفته شده به ازای هر فاصله مانند h است. پس تعداد جفت‌ها تابع h است. معمولاً هرچه تعداد جفت‌ها کم شود مقدار h افزایش می‌یابد ($Z(x_i)$ مقادیر متغیر ناحیه‌ای در نقطه x_i و $Z(x_i+h)$ متغیر ناحیه‌ای در نقطه (x_i+h) می‌باشد.

پارامترهای سمی‌واریوگرام شامل اثر قطعه‌ای، دامنه یا شعاع تأثیر و آستانه یا سقف می‌باشد (۲۲،۱۱،۹) در این پژوهش محاسبه و ترسیم نیم‌تغییرنما توسط نرم‌افزار ArcGIS انجام شده است.

به منظور تعیین کلاس‌های مختلف وابستگی مکانی SAR و TDS از نسبت همبستگی به قرار زیر استفاده شد (۵،۱۷):

واریانس کل/اثر قطعه‌ای = نسبت همبستگی (۲) این نسبت هر چقدر کمتر باشد وابستگی مکانی متغیرها بیشتر می‌باشد. چنانچه نسبت همبستگی کم‌تر از ۲۵٪ باشد؛ وابستگی مکانی قوی، بین ۲۵٪ تا ۷۵٪ وابستگی مکانی متوسط و اگر بزرگ‌تر از ۷۵٪ باشد وابستگی مکانی ضعیف خواهد بود (۱۷،۴،۷،۱۹). در صورتی‌که نسبت همبستگی در مورد متغیری برابر ۱۰۰٪ شود، یا این که شیب منحنی نیم‌تغییر نما نزدیک صفر باشد، متغیر مربوط فاقد وابستگی مکانی خواهد بود و اگر نسبت همبستگی برابر صفر شود، بیانگر یک پیوستگی در وابستگی مکانی می‌باشد (۱۷).

کوکریجینگ (Co-Kriging)

توسعه این روش بیش‌تر به واسطه شرایطی بود که در آن از یک متغیر تعداد کمی در دست است. محل‌هایی که در آن‌ها کمبود نمونه وجود دارد به کمک متغیرهای اصلی و ثانوی، تخمین زده می‌شود. از نظر تئوری کوکریجینگ نسبت به روش‌های کریجینگ یک متغیره ارجحیت دارند، حتی اگر در آن متغیر به تعداد کافی وجود داشته باشد این روش ترکیبی از روش کریجینگ یک متغیره محسوب می‌شود. یکی از خصوصیات تخمین کوکریجینگ، خاصیت اعتدال‌بخشی و آرام‌سازی تغییرات است. به عبارت دیگر جلوگیری از نوسانات شدید مقدار متغیر (۹):

(۳)

$$\gamma(h)=\frac{۱}{۲N(h)}\sum_{i=۱}^{N(h)}[Z_۱(x_i)-Z(x_{i+h})]\left[Z_۲(x_i)-Z_۲(x_{i+h})\right]$$

که در آن N(h): تعداد جفت نمونه‌های $[Z_۱(x_i)-Z(x_{i+h})]\left[Z_۲(x_i)-Z_۲(x_{i+h})\right]$ را نشان می‌دهد.

ارزیابی خطاها و انتخاب مدل

تعیین مدل مناسب، برای تحلیل مکانی متغیر مورد نظر، از مقایسه مقادیر خطای ارائه شده از هر مدل تعیین می‌شود. در این پژوهش، دقت عملکرد مدل مناسب در میانیابی پارامترهای SAR و TDS آبخوان محدوده مطالعاتی با استفاده از پارامترهای آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای استاندارد (ASE) و جذر مربعات استاندار شده خطا (RMSE استاندارد) برآورد می‌شود (۱۲):

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{t}\sum_{i=1}^{t}(P_i-O_i)^2} \qquad (۴)$$

$$ASE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\sigma^2(x_{ip})}{n}} \qquad (۵)$$

بر طبق راهنمای نرم‌افزار، تمامی خطاهای ارائه شده از جمله خطای میانگین، جذر مربعات خطاها، خطای میانگین استاندارد باید در کم‌ترین میزان ممکن باشند. علاوه بر دو خطای مذکور، ArcGIS، RMSE استاندارد را هم ارائه می‌دهد که هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، مقادیر پهنه‌بندی شده به مقادیر واقعی نزدیک‌تر است؛ که هرچه مقدار ارائه شده از یک بیشتر باشد میزان تخمینی کم‌تر از مقادیر حقیقی و اگر کم‌تر از یک باشد، مقادیر تخمینی کمتر از مقادیر واقعی خواهند بود (۱۲):

(۶)

$$RMSE_{standard}=\sqrt{\frac{\left[\sum_{i=1}^{n}(Z(x_{ip})-z(x_i)/\sigma(x_{ip})\right]}{n}}$$

که در روابط فوق Z (xi) مقادیر مشاهده شده در نقطه xi و Z (xip) مقادیر تخمینی در نقطه xi، σ انحراف معیار نمونه و n تعداد داده‌ها هستند. در نهایت بهترین مدل، مدلی است که مقادیر میانگین خطای استاندارد و جذر مربعات خطاها به یکدیگر نزدیک‌تر باشند و در عین حال جذر مربعات استاندارد شده خطاها هم به یک نزدیک باشد (۱۲).

بر طبق بسیاری از پژوهش‌های انجام شده در ایران و جهان همچون تحقیق داگوستینو و همکاران (۶)، ریزو و موسر (۲۱)، تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (۲۹)، حاجی‌هاشمی‌جزیو همکاران (۸) و شیخ گودرزی و همکاران (۲۵)، روش کوکریجینگ با توجه به دقت بالای آن نسبت به سایر روش‌ها، بهترین روش پهنه‌بندی پارامترهای کیفی در آب

1- Semivariogram

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.3.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.145]

زیرزمینی می‌باشد که به همین علت در این پژوهش از این روش جهت پهنه‌بندی پارامتر TDS و SARدر آبخوان دشت‌های شرقی دریاچه ارومیه مورد استفاده قرار گرفته است.

نتایج و بحث

آنالیز آماری اولیه داده‌های اندازه‌گیری پارامترهای TDS و SAR بر طبق جدول ۳ و ۴ می‌باشد. همان‌طور که در جداول ۳ و ۴ اشاره است هیچ یک از دسته داده‌های سال‌های آماری دارای توزیع نرمال نبوده‌اند. نرمال بودن داده‌ها نیز از طریق تکنیک زمین‌آمار در نرم‌افزار ArcGIS 9.3 مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۳- شاخص‌های آماری مربوط به پارامتر TDS در حوضه شرق دریاچه ارومیه

Table 3. Statistical indexes related to the TDS parameter in the eastern basin of Urmia Lake

سال آبی	تعداد داده	کمینه	میانگین	بیشینه	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	توزیع آماری
۱۳۸۱-۱۳۸۲	۲۰۹	۱۵۱/۳۷	۱۲۶۸/۱۰	۸۶۱۸/۴۰	۱۴۱۶/۳۰	۲/۶۷۶۵	۱۰/۹۹	لوگ نرمال
۱۳۸۲-۱۳۸۳	۲۲۰	۱۲۲/۵۷	۱۲۳۱/۳۰	۶۲۲۸/۳۰	۱۲۶۲/۲۰	۲/۸۱۷۲	۶/۸۱۷۲	لوگ نرمال
۱۳۸۳-۱۳۸۴	۲۲۰	۱۲۳/۹۸۰	۱۳۰۶/۴۰	۱۰۴۸۶	۱۶۰۵/۳۰	۲/۶۰۱۳	۱۰/۹۸۴	لوگ نرمال
۱۳۸۴-۱۳۸۵	۲۱۰	۱۱۴/۱۸	۱۳۰۸	۹۲۸۲	۱۵۷۸/۹۰	۲/۵۷۹۸	۱۰/۶۹۷	لوگ نرمال
۱۳۸۵-۱۳۸۶	۲۱۵	۱۱۵/۲۹	۱۴۱۱/۵۰	۱۰۰۴۹	۱۷۵۴/۹	۲/۴۷۶۸	۹/۵۴۸۵	لوگ نرمال
۱۳۸۶-۱۳۸۷	۲۸۱	۴۲	۱۸۳۵/۴۰	۱۶۰۵۵	۲۴۱۲/۵۰	۲/۴۹۱۶	۱۰/۲۰۶	لوگ نرمال
۱۳۸۷-۱۳۸۸	۲۷۴	۱۱۱/۶۶	۱۸۷۲/۹	۱۵۶۹۸/۰	۲۴۷۷/۱۰	۲/۵۴۵۹	۱۰/۴۵۹	لوگ نرمال
۱۳۸۸-۱۳۸۹	۲۸۲	۷۴/۴۰	۱۷۱۲	۱۳۱۳۰	۲۲۲۹/۱	۲/۳۹۲۵	۹/۳۵۱۹	لوگ نرمال
۱۳۸۹-۱۳۹۰	۲۸۲	۱۱۹/۴۰	۱۸۹۰/۱	۱۵۱۲۱	۲۳۰۶/۴	۲/۳۲۷۹	۹/۵۲۶۲	لوگ نرمال
۱۳۹۰-۱۳۹۱	۱۴۹	۱۷۷/۹	۲۱۳۰	۱۸۷۸۵	۹۴۱/۳۸	۲/۷۸۵۶	۱۲/۵۳۹	لوگ نرمال
کل دوره	۳۱۸	۱۱۹/۱۷	۱۸۰۴/۸	۱۵۰۳۴	۲۱۵۴/۴	۲/۴۴۲۸	۱۰/۷۵۱	لوگ نرمال

استفاده از روش‌های زمین‌آماری مستلزم بررسی وجود ساختار مکانی میان داده‌ها می‌باشد که این امر توسط تجزیه و تحلیل واریوگرام مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین از طریق واریوگرام می‌توان شعاع همبستگی در داده‌ها را تشخیص داد. نتایج تجزیه و تحلیل واریوگرام‌های متغیر TDS و SAR در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است. به‌منظور تعیین بهترین مدل بر روی واریوگرام از استحکام ساختار فضایی (پیوستگی مکانی) قوتی‌تر استفاده شد؛ به این صورت که هرچه نسبت $C_0/(C_0+C)$ کوچک‌تر باشد، ساختار فضایی متغیر بهتری ترسیم خواهد شد (۲۶،۲۵،۱۱). این نسبت معرف آن است که چه مقدار از کل تغییرپذیری را اثر قطعه‌ای توجیه می‌کند (۲۹). چنانچه از این جداول مشخص است هر دو پارامتر TDS و SAR دارای پیوستگی مکانی قوی می‌باشند که نشان دهنده پیوستگی مکانی و دقت بالای مدل برازش داده شده می‌باشد. همچنین این مورد نقش به سزایی در بالابردن دقت برآورد دارد.نمونه سمی‌واریوگرام‌های هر کدام از متغیرها، پس از نرمال‌سازی داده‌ها در شکل ۳ برای کل دوره آماری ارائه شده است.

جدول ۴- شاخص‌های آماری مربوط به پارامتر SAR در حوضه شرق دریاچه ارومیه

Table 4. Statistical indexes related to the SAR parameter in the eastern basin of UrmiaLake

سال آبی	تعداد داده	کمینه	میانگین	بیشینه	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	توزیع آماری
۱۳۸۱-۱۳۸۲	۲۰۹	۰/۱۷۲	۳/۹۰۵۴	۳۱/۱۹۸	۴/۵۶۱۸	۳/۳۴۷۶	۱۷/۴۹۳	لوگ نرمال
۱۳۸۲-۱۳۸۳	۲۲۰	۰/۱۵۱۵	۳/۴۱۷۲	۲۱/۵۰	۳/۸۲۲۶	۲/۲۹۰۴	۸/۹۱۷۶	لوگ نرمال
۱۳۸۳-۱۳۸۴	۲۲۰	۰/۲۰۰۷	۳/۴۵۵۶	۳۰/۰۵۸۱	۳/۸۵۳۵	۲/۸۹۰۷	۱۵/۴۷۲	لوگ نرمال
۱۳۸۴-۱۳۸۵	۲۱۰	۰/۱۸۲	۳/۳۱۵۶	۱۹/۴۰	۳/۴۱۰۵	۱/۹۱۲۴	۶/۶۹۰۱	لوگ نرمال
۱۳۸۵-۱۳۸۶	۲۱۵	۰/۱۸۹۰	۳/۳۸۲۲	۳۹/۸۷۶	۳/۹۵۷۷	۴/۴۵۴۱	۳۶/۱۰۹	لوگ نرمال
۱۳۸۶-۱۳۸۷	۲۸۱	۰/۱۶۶۵	۴/۱۸۲۳	۲۳/۲۰۰	۴/۴۵۳۶	۲/۰۳۰۸	۷/۲۹۷۶	لوگ نرمال
۱۳۸۷-۱۳۸۸	۲۷۴	۰/۳۱۲۵	۴/۱۹۳۱	۲۶/۵۷۸	۴/۶۰۷۰	۲/۲۰۱	۸/۲۵۳۹	لوگ نرمال
۱۳۸۸-۱۳۸۹	۲۸۲	۰/۳۱۷۰	۹/۸۱۲۶	۴۶/۱۱۶	۱۰/۴۴۶	۱/۴۱۲۶	۴/۴۲۹	لوگ نرمال
۱۳۸۹-۱۳۹۰	۲۸۲	۰/۱۹۰	۳/۹۷۷۵	۲۶/۱۷۰	۴/۱۷۵۴	۲/۱۳۷۹	۸/۵۷۸۴	لوگ نرمال
۱۳۹۰-۱۳۹۱	۱۴۹	۰/۱۹۰	۳/۴۳۴۹	۱۸/۶۸۰	۳/۵۳۳۱	۱/۹۱۳۳	۶/۸۹۰۷	لوگ نرمال
کل دوره	۳۱۹	۰	۵/۶۶۸۲	۳۲/۴۳۸	۵/۶۶۸۲	۲/۲۲۸۴	۸/۵۱۶۴	نرمال

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.3.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.145]

جدول ۵- نتایج تجزیه و تحلیل واریوگرام TDS در روش کوکریجینگ

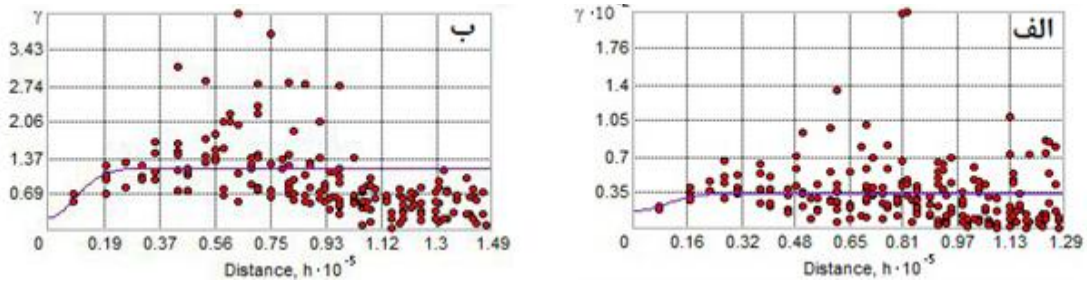
Table 5. Result of TDS variograms analysis in cokriging method

سال آبی	دامنه تغییر (متر)	آستانه تأثیر(C0+C)	اثر قطعه‌ای(C0)	$C_0/(C_0+C)$	کلاس همبستگی
۱۳۸۱-۱۳۸۲	۱۴۷۲۲۹	۱/۰۰۹۰	۰/۷۲۴۵	۰/۷۱۸۳	متوسط
۱۳۸۲-۱۳۸۳	۲۷۰۴۶/۲	۰/۵۶۴۸۴	۰/۲۲۷۶	۰/۴۰۲۹	متوسط
۱۳۸۳-۱۳۸۴	۲۳۶۳۴/۹	۰/۶۷۹۱۳	۰/۳۲۵۳۱	۰/۴۷۹۰	متوسط
۱۳۸۴-۱۳۸۵	۲۳۰۴۶/۵۰	۰/۶۸۹۵۹	۰/۲۹۱۹۱	۰/۴۲۳۳	متوسط
۱۳۸۵-۱۳۸۶	۲۲۶۲۷/۶	۰/۷۷۱۷	۰/۲۵۵۳	۰/۳۳۰۸	متوسط
۱۳۸۶-۱۳۸۷	۲۷۳۸۸/۹	۰/۷۶۴۹۶	۰/۵۶۹۴۲	۰/۷۴۴۸	متوسط
۱۳۸۷-۱۳۸۸	۲۲۶۲۷/۶	۰/۹۲۳۷	۰/۳۵۶۱۹	۰/۳۸۵۶	متوسط
۱۳۸۸-۱۳۸۹	۲۸۸۵۲/۸	۱/۰۵۷۸	۰/۳۰۶۷۲	۰/۲۹۰۰	متوسط
۱۳۸۹-۱۳۹۰	۲۲۶۲۷/۶	۱/۰۳۱۳	۰/۲۱۶۸۱	۰/۲۱۰	قوی
۱۳۹۰-۱۳۹۱	۲۲۶۲۷/۶	۱/۱۴۰۷	۰/۱۹۴۸	۰/۵۰۵۲	متوسط
کل دوره آماری	۲۲۶۲۷/۶	۰/۹۴۴۱۱	۰/۲۲۰۳۴	۰/۲۳۳۳	قوی

جدول ۶- نتایج تجزیه و تحلیل واریوگرام SAR در روش کوکریجینگ

Table 6. Result of SAR variograms analysis in cokriging method

سال آبی	دامنه تغییر (متر)	آستانه تأثیر(C0+C)	اثر قطعه‌ای(C0)	$C_0/(C_0+C)$	کلاس ilfsj'd همبستگی
۱۳۸۱-۱۳۸۲	۲۵۶۰۲/۴	۰/۶۶۹۵۵	۰/۱۷۸۸۱	۰/۲۶۷۰	قوی
۱۳۸۲-۱۳۸۳	۲۵۰۱۳/۱	۰/۹۵۵۴۸	۰	۰	قوی
۱۳۸۳-۱۳۸۴	۲۵۹۳۴/۳	۰/۹۰۵۳۶	۰	۰	قوی
۱۳۸۴-۱۳۸۵	۲۵۵۴۵/۸۰	۰/۹۱۰۳۹	۰	۰	قوی
۱۳۸۵-۱۳۸۶	۲۲۶۲۷/۶	۰/۵۰۴۲۷	۰/۳۴۸۷۷	۰/۶۹۱۶	متوسط
۱۳۸۶-۱۳۸۷	۲۸۹۶۸/۲	۱/۰۲۲۲	۰	۰	قوی
۱۳۸۷-۱۳۸۸	۲۶۳۶۳/۸	۱/۰۱۲۳	۰	۰	قوی
۱۳۸۸-۱۳۸۹	۵۲۱۶۳/۹	۱/۸۶۳۳	۰	۰	قوی
۱۳۸۹-۱۳۹۰	۲۹۷۲۰/۶	۰/۹۹۸۹۶	۰	۰	قوی
۱۳۹۰-۱۳۹۱	۲۲۶۲۷/۶	۰/۹۲۱۸۹	۰/۰۷۸۶۳	۰/۰۸۵۳	قوی
کل دوره آماری	۲۴۵۹۲/۵	۱۷/۲۴۳	۱۶/۸۶۴۰	۰/۹۷۸۰۲	ضعیف



شکل ۳- الف) سمی واریوگرام پارامتر SAR برای کل دوره آماری. ب) سمی واریوگرام پارامتر TDS برای کل دوره آماری

Figure 3. (A) SAR and (B) TDS parameter semivariogram for the statistical period

در جدول ۷ و ۸ نتایج حاصل از بهترین مدل واریوگرام آورده شده است. همان‌طور که در قسمت مواد و روش‌ها اشاره شد. بهترین مدل مدلی است که میزان RMSE استاندارد آن به عدد یک نزدیک‌تر باشد که در نتیجه مقادیر تخمینی به مقادیر واقعی نزدیک‌تر خواهند بود و همچنین می‌بایست اختلاف بین خطای ASE و RMSE نیز در کم‌ترین حالت ممکن باشد. بر طبق جدول ۷ مدل گوسی با ۸ فراوانی بهترین مدل واریوگرام در پهنه‌بندی پارامتر TDS و بر طبق جدول ۸ مدل نمائی با ۷ فراوانی بهترین مدل واریوگرامی جهت پهنه‌بندی پارامتر SAR برگزیده می‌شود.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.3.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.145]

جدول ۷- نتایج حاصل از ارزیابی و انتخاب مدل برازش داده شده TDS توسط سمی‌واریوگرام در روش کوکریجینگ
Table 7. The results of evaluation and selection of TDS model by semivariogram in Co-Kriging method

سال آبی	مدل	RMSE استاندارد	ASE	RMSE
۱۳۸۱-۱۳۸۲	Gaussian	۰/۶۷۶۹	۱۶۷۶/۰	۱۲۲۵/۰
۱۳۸۲-۱۳۸۳	Spherical	۰/۶۰۷۸	۸۲۰/۷	۱۱۷۵
۱۳۸۳-۱۳۸۴	Gaussian	۰/۷۶۸۷	۱۵۹۵/۰	۱۱۷۰/۰
۱۳۸۴-۱۳۸۵	Gaussian	۰/۸۰۳۴	۱۴۶۵	۱۱۴۵
۱۳۸۵-۱۳۸۶	Gaussian	۰/۷۳۶۷	۱۵۳۵	۱۱۸۴
۱۳۸۶-۱۳۸۷	Gaussian	۰/۴۳۹۴	۳۷۴۹	۱۷۰۲
۱۳۸۷-۱۳۸۸	Spherical	۰/۵۵۹۲	۳۳۳۵	۱۵۷۸/۰
۱۳۸۸-۱۳۸۹	Circle	۰/۵۷۳۹	۳۰۴۴	۱۴۸۶
۱۳۸۹-۱۳۹۰	Gaussian	۰/۷۳۹۴	۲۹۱۱	۱۴۷۹
۱۳۹۰-۱۳۹۱	Gaussian	۰/۹۴۷۵	۳۰۹۴/۰	۲۱۳۳
کل دوره آماری	Gaussian	۰/۶۵۷۱	۲۵۳۶	۱۲۵۹

جدول ۸- نتایج حاصل از ارزیابی و انتخاب مدل برازش داده شده SAR توسط سمی‌واریوگرام در روش کوکریجینگ
Table 8. The results of evaluation and selection of SAR model by semivariogram in Co-Kriging method

سال آبی	مدل	RMSE استاندارد	ASE	RMSE
۱۳۸۱-۱۳۸۲	Spherical	۰/۷۳۹۸	۳/۹۲۹	۲/۹۷۵
۱۳۸۲-۱۳۸۳	Exponential	۱/۴۷	۲/۱۳۲	۲/۴۳۴
۱۳۸۳-۱۳۸۴	Exponential	۱/۳۵۵	۲/۰۰۴	۲/۳۶۸
۱۳۸۴-۱۳۸۵	Exponential	۱/۳۹۵	۱/۹۴۲	۱/۹۷۰
۱۳۸۵-۱۳۸۶	Gaussian	۰/۹۳۵۳	۳/۷۵۱	۳/۴۲۴
۱۳۸۶-۱۳۸۷	Gaussian	۰/۸۱۳۳	۳/۷۴۹	۲/۰۰۴
۱۳۸۷-۱۳۸۸	Exponential	۱/۲۵۶	۳/۲۱۳	۲/۰۲۹
۱۳۸۸-۱۳۸۹	Exponential	۰/۵۲۹۱	۲۳/۳۴۰	۷/۷۹۳
۱۳۸۹-۱۳۹۰	Exponential	۰/۸۷۶۹	۲/۳۹۳	۱/۸۰۴
۱۳۹۰-۱۳۹۱	Spherical	۱/۱۲۰	۲/۳۱۵	۲/۲۰
کل دوره آماری	Exponential	۱/۴۷۲	۲/۹۳۳	۳/۷۵۵

در شکل‌های ۴ و ۵ با استفاده از مدل واریوگرامی برتر نقشه‌های تغییرات مکانی دو پارامتر TDS و SAR برای هر ۱۰ سال دوره آماری و همچنین کل دوره مطالعاتی ترسیم شد. بر اساس شکل ۴ پارامتر TDS در سال آبی ۹۱-۱۳۹۰ بدترین شرایط را داشته است. در سال‌های اول دوره آماری، پهنه شرق دریاچه ارومیه به لحاظ TDS شرایط بهتری را داشته است و با نزدیک شدن به سال‌های آخر دوره آماری رفته رفته کیفیت آب کمتر شده و میزان TDS در پهنه شرق دریاچه ارومیه افزایش می‌یابد.

با توجه به جدول ۱ که مربوط به کلاسه‌بندی TDS به‌منظور استفاده از آب‌های زیرزمینی در کشاورزی است می‌توان نتایج زیر را تشریح کرد. کلاسه شوری کم در پهنه‌های رسم شده خیلی مساحت ناچیزی به خود اختصاص داده است. کلاسه شوری متوسط در سال‌های آخر رفته رفته کمتر می‌شود و جای خود را به کلاسه‌های شوری زیاد و خیلی زیاد می‌دهد. کلاسه آخر پهنه‌بندی مقادیر مشاهده شده بالاتر محدوده ارائه شده در جدول ۱ است. با توجه به جدول ۱ مقادیر بالاتر از محدوده شوری خیلی زیاد در شرایط نامناسب قطعی برای کشاورزی قرار می‌گیرند که در سال‌های اخیر در نواحی شرق دریاچه ارومیه افزایش پیدا کرده است.

به‌منظور آبیاری و استفاده آب در کشاورزی پارامتر TDS پارامتر موثرتری می‌باشد زیرا کل ذرات نامحلول در آب را نشان می‌دهد و اگر بیشتر از میزان مناسب باشد مضر است، لذا این تغییرات کیفی در پهنه‌های ترسیم شده نشان از بحران مداوم در این دشت‌ها دارد. با وجود این شرایط توجه ویژه به برداشت آب در نواحی نزدیک به دریاچه از اهمیت بالایی برخوردار است تا بتوان شرایط محیط زیستی مناسب با احیای کشاورزی در این دشت‌ها را فراهم نمود. در این خصوص شناخت و جلوگیری از برداشت‌های غیرمجاز در این نواحی ضرورت دارد و به‌طور خاص باید در دستور کار مسئولین مربوطه قرار گیرد.

یکی ازعوامل مؤثر در سرعت نفوذ آب درخاک نسبت جذبی سدیم (SAR) است، بدین صورت که هرچه این نسبت در آب آبیاری بیشتر باشد به همان نسبت سدیم قابل تبادل خاک هم زیادتر می‌شود. بر اثر تورم ناشی از نسبت جذبی سدیم بالا، خاکدانه‌ها شکسته شده و ذره‌ای خاک از هم فرو

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.3.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.145]

می‌پاشند. این گونه فرآیندها سرعت نفوذ آب را کاهش می‌دهند. پدیده تورم و یا افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک به‌علت پراکنش ذرات خاک سبب کاهش هدایت هیدرولیکی خاک نیز می‌شود. شکل ۵ نیز که در آن پارامتر SAR در دشت‌های شرقی دریاچه ارومیه پهنه‌بندی شده است نشان می‌دهد که مقادیر در مناطق نزدیک به دریاچه از ابتدای دوره آماری به انتهای آن در حال افزایش است. در بررسی سال به سال این پارامتر سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ بدترین شرایط را به لحاظ میزان SAR دارد. با توجه به این مسئله که نواحی نزدیک به دریاچه غالباً در کلاسه نامناسب از نظر میزان SAR قرار گرفتند، در این مناطق اعمال مدیریت‌های ویژه مانند مصرف اصلاح‌کننده‌ها از قبیل گچ، کود دامی و ترکیب آنها به‌منظور کنترل شور و سدیمی بودن خاک ضروری است زیرا نفوذ سریع آب در خاک یکی از عوامل مهم مدیریت نمک در محیط ریشه است و برای کشاورزی بخصوص درختان موجود در منطقه حائز اهمیت می‌باشد.

در مطالعه حاضر،تغییرات پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی شامل TDS و SAR در دشت‌های شرقی دریاچه ارومیه با استفاده ازداده‌های اندازه‌گیری شده در دشت‌های مورد مطالعه طی سال‌های آبی ۸۲-۱۳۸۱ تا ۹۱-۱۳۹۰ از نظر مکانی و زمانی بررسی شدند.تغییرات زمانی کیفیت آب‌های زیرزمینی آبخوان قسمت شرقی دریاچه ارومیه نشان دادکه میزان TDS در طی سال‌های مورد مطالعه افزایش یافته است که نشان‌دهنده اثر کاهش بارش و میزان برداشت اضافی از آب زیرزمینی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی‌در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی در مورد پارامتر TDS در نقاط مختلف در طول دوره آماری به‌طور نسبی از ۱۰ درصد تا ۴۵ درصد و برای پارامتر SAR از ۷ درصد تا ۳۰ درصد بوده است.

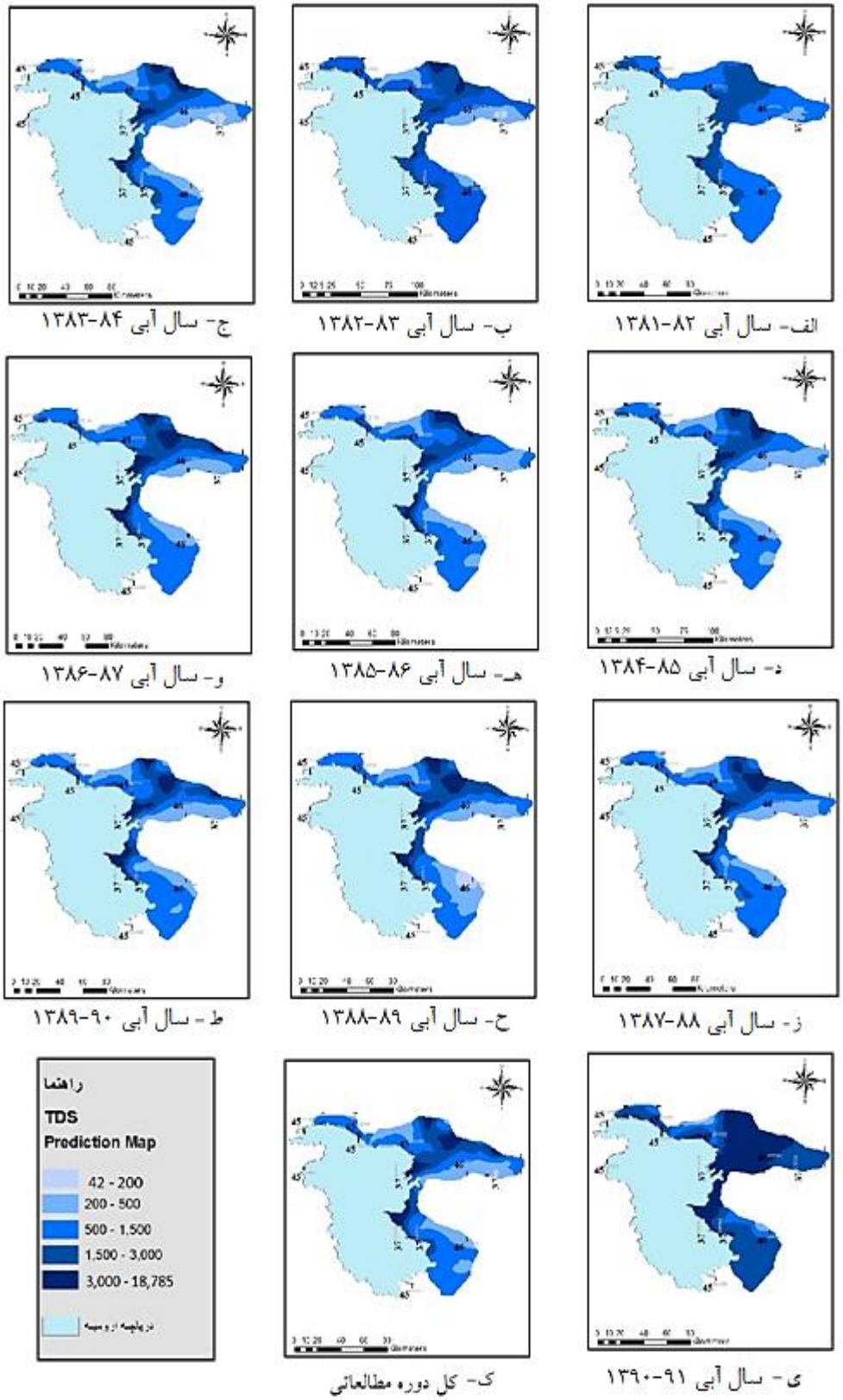
همچنین نقشه‌های پهنه‌بندی TDS و SAR برای مصارف کشاورزی نشان داد که ازکل آب‌های زیرزمینی دشت‌های شرقی دریاچه ارومیه به‌منظور استفاده در امورکشاورزی سهم اندکی (در حدود ۱۵ الی ۲۰ درصد) از آن مناسب و سهم عمده آن (در حدود ۸۰ الی ۸۵ درصد) برای استفاده کشاورزی نامطلوب می‌باشد. هم‌اکنون آب زیرزمینی بعضی از نواحی این دشت‌ها به‌دلیل شوری بسیار بالا برای کشاورزی غیرقابل استفاده هستند. در صورتی‌که آب‌های زیرزمینی نواحی مناسب به لحاظ کشاورزی در این دشت‌ها بدون در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی برای اهداف کشاورزی استفاده شود، این نواحی در آینده‌ای نزدیک به زمین‌های بایر تبدیل خواهند شد. همچنین به‌نظرمی‌رسد روش به‌کار رفته در ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی برای آبخوان دشت‌های شرقی دریاچه ارومیه و به احتمال زیاد آبخوان‌های مشابه مناسب باشد زیرا قادر به انعکاس تغییرات پارامترهای کیفی در آبخوان است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از مدیریت و کارکنان محترم سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌شرقی، همچنین دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران، دانشگاه تهران، دانشگاه تبریز و دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی؛ به خاطر مساعدت‌های لازم در انجام این پژوهش، کمال امتنان و سپاسگزاری را داشته باشند.

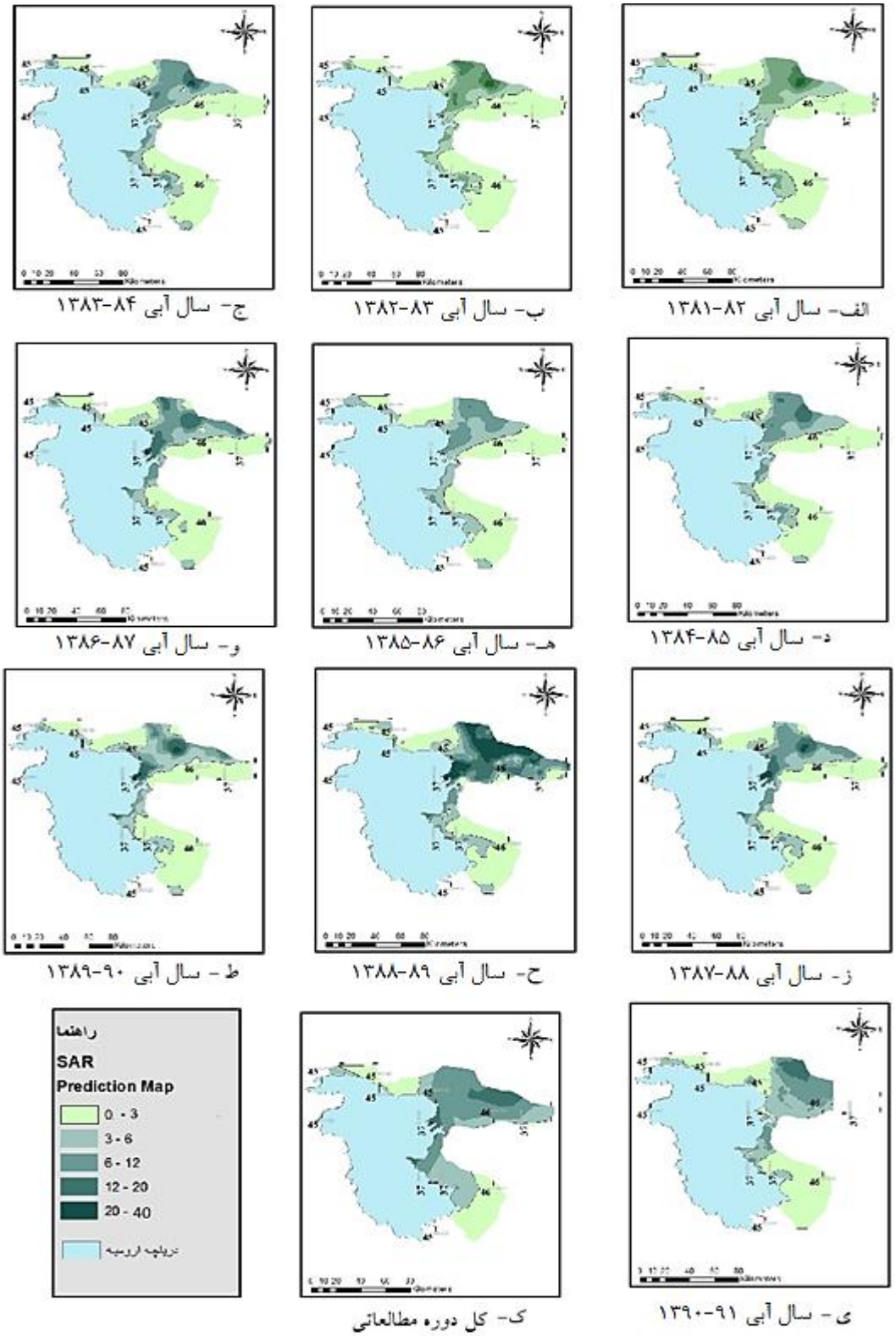
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.3.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.145]



شکل ۴- تغییرات مکانی پارامتر TDS
Figure 4. Spatial changes for TDS parameter

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.3.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.145]



شکل ۵- تغییرات مکانی پارامتر SAR
Figure 5. Spatial changes for SAR parameter

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.3.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.145]

منابع

1. Arsalan, H. 2012. Spatial and Temporal mapping of groundwater salinity and indicator Kriging: The Case Study of Bafra Plain, Turkey. Agriculture and Water Management, 113: 57-63.
2. Ataie Ashtiani, B. 2010. Appropriate and optimal exploitation study of groundwater resources Kish Island: analyzing information Kish Island, Sharif University of Technology, M.Sc. Thesis, 117 pp (In Persian).
3. Ayers, R.S. and K. Tanji. 1981. An application from Ayers and Westcot's 1985 "Use of treated municipal wastewaters for irrigation." FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29 Rev. 1. Originally published as an ASCE 1981 Water Forum Conference Proceedings.
4. Black, C.A. 1986. Method of soil Analysis Part 1. Madison, WI, 9: 545-566.
5. Cambardella, C.A., T.B. Marooman , J.M. Novak, T.B. Parkin, D.L. Karlen, R.F. Turco and A.E. Konopka. 1994. Field Scale Variability of Soil properties in Center Lowa Soils. Soil Sci. Soc. Amer. J, 58: 1501-1511.
6. Dagostino, V., E.A. Greene, B. Passarella and G. Vurro. 1998. Spatial and temporal study of nitrate concentration in groundwater by means of coregionalization. Environmental Geology, 36: 285-295.
7. Gondwe, E. 1991. Saline water intrusion in Southeast Tanzania. Geo exporation, 27: 25-34.
8. Hajihashemijazi, M.R., M. Atashgahi and A.H. Hamidian. 2011. Spatial estimation of groundwater quality factors using geostatistical methods (case study: Golpayegan plain). Journal of Natural Environmental, Iranian Journal of Natural Resources, 63(4): 347-357 (In Persian).
9. Hasanipak, A.A. 2013. Geostatistics, University of Tehran Press, 4th edition (In Persian).
10. Jafari, R. and L.Bakhshandeh Mehr. 2014. Spatial analysis of groundwater salinity and alkalinity of Isfahan province using geostatistics. Journal of Water and Soil Science, 18(608):183-194 (In Persian).
11. Jahanshahi, A., E. Rouhi Moghadam and A. Dehvari. 2014. Investigating groundwater quality parameters using GIS and geostatistics (Case Study: Shahr-Babak Plain Aquifer). Water and Soil Science Journal, 24(2): 183-197 (In Persian).
12. Johnston, K., M. Jay, V. Hoef, K. Krivoruchko and N. Lucas. 2003. ArcGIS 9 Using ArcGIS Geostatistical Analyst.
13. Koohi Chellekeran, N., R. Asadi and P.Lajmiri. 2009. Estimation of hydraulic conductivity in ground water using geostatistical methods (Case study: Shiraz plains and suburbs). 2nd National Conference on Water, Islamic Azad University of Behbahan (In Persian).
14. Mazloum, P., N. Khanmohamadi and R. Sokouti Oskouie. 2010. Spatial estimation of electrical conductivity of Urmia plain groundwater using geostatistical methods, 1st national conference on coastal lands, water resources management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (In Persian).
15. Mini, P.K., D.K. Sign and A. Sarangi. 2014. Spatio-Temporal Variability Analysis of Groundwater Level in Coastal Aquifers Using Geostatistics. International Journal of Environmental Research and Development. ISSN 2249-3131, 4(4): 329-336.
16. Mirdashtvan, M. 2012. Sustainable management of groundwater resources of Hashtgerd plain. The 1st National Conference on Policies toward Sustainable Development, Tehran, Iran (In Persian).
17. Mohamadzamani, S., S.A. Ayubi and F. Khormali. 2007. Evaluation of soil spatial variability and wheat yield in Sorkhankalate crop lands, Golestan province. Journal of Water and Soil Science, 11(40): 79-91 (In Persian).
18. Nohegar, A., M.M. Hossinzadeh and M. Habibolahian. 2011. Temporal and spatial Analysis of Groundwater Quality of Minab Plain, Geografical and Enviromental Planning, 21th Year, 40(4): 45-64.
19. Quine, T.A. and Y. Zhang. 2002. An Investigation of spatial variation in Soil Erosion, Soil Properties and Crop Production Within an Agriculture Field in Devon, U.K. J. Soil and Water Conserv, 57: 50-60.
20. Rasouli, A.A., F. Mehri, H. Bahadori and M. Pirnazar. 2015. Application of GIS in studying and mapping the spatial and temporal changes in groundwater quality in the West and Southwest of the lake basin. First International Congress on Earth, Space and Clean Energy, University of Mohaghegh Ardabili (In Persian).
21. Rizzo, D.M. and J.M. Mouser. 2000. Evaluation of Geostatistics for Combined Hydrochemistry and Microbial Commnity Fingerprinting at a Waste Disposal Site, 1-11.
22. Sainato C, G. Glaindo, C. Pomposiello, H. Malleville, D. Abelleyra and B. Losinno. 2003. Electrical Conductivity and depth of ground water at the Pergamino zone (Buenos Aries province, Argentina) Through Vertical electrical soundings and geostatistical analysis, Journal of South American Earth Sciences, 16: 177-18.
23. Samin, M., J. Soltani, A. Mosavari and N. Sarani. .2012. Spatial Estimation of Groundwater Quality Parameters Based on Wat er Salinity Data using Kriging and Cokriging Methods. International Conference on Transport, Environment and Civil Engineering (ICTECE'2012). August 25-26, 2012 Kuala Lumpur (Malaysia).
24. Shaabani, M. 2007. Spatial analysis of groundwater contamination Arsanjan area, Research Project, Islamic Azad University of Arsanjan (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.3.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.145]

25. Sheikh Goodarzi, M., S.H. Mousavi and N. Khorasani. 2012. Simulating spatial changes in groundwater qualitative factors using geostatistical methods (Case study: Tehran-Karaj plain). Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources, 65(1): 83-93 (In Persian).
26. Shi, J., H. Wang, J. Xu, J. Wu, X. Liu, H. Zhu and C. Yu. 2007. Spatial Distribution of heavy metals in soils: a case study of Changing, China. Environmental Geology, 52: 1-10.
27. Shokuhi, R., E. Hosinzadeh, G. Roshanaei, M. Alipour and S. Hoseinzadeh. 2012. Evaluation of Aydughmush dam reservoir water quality by national sanitation foundation water quality index (NSF-WQI) and water quality parameter changes. Iranian Journal of Health and Environment, 4(4): 439-450 (In Persian).
28. Soleimani Motlagh, M., A. Talebi and M. Zareie. 2016. The Study of Drought on the Quality of Surface Water Resources in Kashkan Watershed. Jwmr, 6(12): 154-165 (In Persian).
29. Taghizadeh Mehrjerdi, R., M. Zareian Jahromi, S. Mahmoodi, A. Heidari and F.Sarmadian. 2008. Spatial interpolation methods to determine the spatial variability of groundwater quality in Rafsanjan plain, Iran-Watershed Management Science & Engineering, 2(5): 63-71 (In Persian).
30. Wilcox, L.V. 1995. Classification and Use of Irrigation Waters, Circular No. 969, United States Department of Agriculture, Washington, D.C.
31. Zeinali, B., M. Faridpour and S. Asghari. 2017. Investigate the Effect Meteorological and Hydrological Drought on Groundwater Quantity and Quality (Case Study: Marand Plain). Jwmr, 7(14): 187-177 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.3.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.145]

Evaluation of Groundwater Quality Changes in at the Eastern Plains of Urmia Lake

Robabeh Jafari[1], Ali Torabian[2], Mohamad Ali Ghorbani[3], Seyed Ahmad Mirbagheri[4] and Amir Hesam Hasani[5]

1- PhD student, Department of Environmental Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran, (Corresponding author: jafari.robabeh@yahoo.com)
2- Professor, Department of Civil Environmental Engineering, University of Tehran, Iran
3- Associate Professor, Department of Water Engineering, University of Tabriz, Iran
4- Professor, Department of Civil Engineering environment, Khajeh Nasir Toosi University of Technology, Iran
5- Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
Received: April 28, 2017 Accepted: January 16, 2018

Abstract

Groundwater resources are considered as a largest reservoir of available freshwater in the world. According to the importance and scarcity of this precious resource, studying the groundwater quality changes is very important. Declines in water level of Urmia lake has led to increase in the salinity of water in this lake. In this paper, water level reduction effects were studied on qualitative characteristics of groundwater in the eastern part of Urmia lake from 2001-2002 to 2011-2012. With using geostatistical techniques in GIS, TDS &SAR were obtained with Circular, spherical, exponential, and Gaussian semi-variogram models. In most of year Gaussian model with RMSE between 0.44 to 0.94 for TDS and exponential model with RMSE between 0.52 and 1.47 for SAR were selected as the premier models. Groundwater quality changes were evaluated using Co-Kriging interpolation method and qualitative zones were plotted in the eastern aquifer of Urmia lake. The results indicated that water level reduction of Urmia lake had negative effects on the decline of groundwater quality of the eastern plains of Urmia lake. Also, water quality at different points reduced so that TDS varied approximately between 10% and 45% and SAR varied between 7% and 30% during the statistical period.

Keywords: Water level, Water quality changes, Urmia lake, Total dissolved solids, Sodium adsorption ratio

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.20.3.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.20.145]