پهنه‌بندی مکانی و زمانی هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول آب‌های زیرزمینی دشت گیلان

حوری احمدپور، محمدرضا خالدیان[۱] *، افشین اشرف زاده و مجتبی رضایی

دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

Hoori.ahmadpour@yahoo.com

استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

khaledian@guilan.ac.ir

استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

ashrafzadeh@guilan.ac.ir

پژوهشگر موسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.

mrezaeii@yahoo.com

چکیده

در سال‌های اخیر، منابع آب زیرزمینی استان گیلان در آبیاری مزارع برنج نقش مهمی داشته اند. هدف این پژوهش، بررسی تغییرات مکانی و زمانی هدایت الکتریکی (EC) و کل جامدات محلول (TDS) آب زیرزمینی دشت گیلان در یک دوره آماری چهار ساله با استفاده از روش کریجینگ معمولی است. در این رابطه، نمونه-برداری از آب ۱۳۰ حلقه چاه شبکه پایش آب‌های زیرزمینی استان گیلان، در ماه شهریور سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۵ انجام شد. نقشه‌های پهنه‌بندی با استفاده از نرم افزار ArcGIS تهیه شد. این نقشه‌ها نشان می‌دهد، از نظر میزان TDS، بخش‌های غربی استان بدون مشکل (کم‌تر از ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و بخش‌های مرکزی و شرقی دارای TDS متوسط (۱۰۰۰-۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشند. بیش‌ترین میزان EC آب‌های زیرزمینی در استان گیلان در بخش‌های مرکزی و مرکزی متمایل به شرق تجمع و همچنین شوری با گذشت زمان (به‌جز سال ۱۳۸۴ که علت آن بارندگی زیاد در سال ۱۳۸۳ است) افزایش یافته است. مساحت محدوده‌های مختلف EC و TDS در هر سال تعیین شد. میزان هدایت الکتریکی در شرق و برخی قسمت‌های دیگر استان گیلان که ۲۳ تا ۳۴ درصد مساحت منطقه مورد بررسی را شامل می‌شود بین یک تا ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر است که باعث کاهش عملکرد برخی محصولات زراعی حساس‌به شوری نظیر برنج می‌شود. حفر بی‌رویه چاه‌های آب همچنین برداشت بیش از حد مجاز می‌تواند یکی از دلایل افزایش شوری آب زیرزمینی در مناطق شالیزاری استان گیلان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: برنج، کریجینگ معمولی، کیفیت آب.

۱- آدرس نویسنده مسئول: رشت، دانشگاه گیلان، دانشکده کشاورزی، صندوق پستی:٤١٩٩٦١٣٩٨٦

* دریافت: خرداد ۱۳۹۲ و پذیرش: آبان ۱۳۹۲

مقدمه

تامین منابع آبی با کیفیت مناسب از مهم‌ترین نیازهای انسان امروزی است. آب زیرزمینی معمولا به دلیل کیفیت مناسب، ترکیبات ثابت شیمیایی، دمای ثابت، آلودگی کم‌تر نسبت به آب سطحی و سطح اطمینان بالا در تامین آب، به عنوان یک منبع قابل اتکا محسوب می‌شود (مدن و همکاران، ۲۰۰۸). خطر آلودگی کم‌تر این منابع، باعث شده که حتی در مناطقی که کمبودی از لحاظ آب سطحی احساس نمی‌شود، نیز استفاده از آن‌ها رواج داشته باشد (شعبانی، ۱۳۸۷). تعداد و میزان برداشت آب از چاه‌ها در استان گیلان، طی ۱۰ سال منتهی به سال ۱۳۸٦ به ترتیب رشدی معادل ۷۰ و ۳۰ درصد داشته‌است (رضایی و همکاران، ۱۳۸۹).

ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی از نظر آبیاری و یا شرب از اهمیت خاصی برخوردار است. به خصوص در مناطقی که سطح آب زیرزمینی نزدیک سطح زمین است، امکان شور شدن خاک نیز می‌تواند وجود داشته باشد (هاکان، ۲۰۱۲). بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی طی چند دهه اخیر علاوه بر محدودیت‌های کمی، محدویت‌های کیفی را نیز موجب شده است. در بسیاری از اراضی فاریاب، عملکرد محصول به دلیل شوری و سدیمی بودن آب و خاک کاهش می‌یابد (دلبری و همکاران، ۱۳۸۹).

در شمال ایران در سواحل جنوبی خزر، بالا بودن سطح سفره‌های آب زیرزمینی و تبخیر آب در آب‌بندان‌ها و نی‌زارها، افزایش شوری آب سطحی و زیرزمینی را منجر شده است (غلامی و جعفری، ۱۳۸۹).علاوه بر شوری آب‌های سطحی، توپوگرافی منطقه نیز به‌دلیل اهمیت آن در میزان تبخیر، در شوری آب‌های زیرزمینی تاثیرگذار می‌باشد (برونر و کینزلباخ، ۲۰۰۵).

یکی از مهم‌ترین معیارهای بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی، شوری آن است. شوری آب و خاک از جمله عواملی است که می‌تواند کشت بسیاری از گیاهان، از جمله برنج را محدود کند (جعفرراد و همکاران، ۱۳۹۱). شوری خاک به دلیل ایجاد سمیت و جلوگیری از جذب آب و عناصر غذایی همچنین برهم زدن توازن آن‌ها، یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های رشد گیاهان زراعی و یکی از مشکلات بزرگ کشت‌های آبی محسوب می‌شود. شوری با پارامترهایی نظیر کل جامدات محلول، یون کلر و هدایت الکتریکی قابل‌سنجش است. یکی از راه‌های ساده تعیین غلظت املاح محلول در آب، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC) است. کل جامدات محلول (TDS) عامل مهم دیگری در کیفیت آب بوده و اثر زیادی در جابجایی و تبدیل شیمیایی و یونیزه شدن مواد دارد. در مطالعات کیفی آب آبیاری، TDS از نظر خطر شوری به چهار بخش کم‌خطر (۵۰۰> میلی‌گروم بر لیتر)، خطر متوسط (۱۰۰۰-۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)، خطر بالا (۲۰۰۰-۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و خطر بسیار زیاد (۲۰۰۰< میلی‌گرم بر لیتر) تقسیم می‌شود.

دلبری و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی شوری و عمق آب زیرزمینی در استان مازندران پرداخته و نتیجه گرفتند که کاربرد روش کریجینگ بر روش وزن‌دهی عکس فاصله ارجحیت دارد.محمدی و همکاران (۲۰۱۱) به تحلیل مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین پرداخته و به این نتیجه رسیدند که با افزایش افت سطح آب، مقادیر TDS و EC آب‌های دشت قزوین روند نزولی داشته‌اند.همچنین، مطالعاتی در همین زمینه توسط دهقان و همکاران (۲۰۱۱) در دشت شبستر با استفاده از GIS صورت و پارامترهایی مانند EC، TDS و Cl مورد بررسی قرار گرفت. مقامی و همکاران (۲۰۱۰) روش‌های مختلف درون‌یابی از جمله کریجینگ (با سمی‌واریوگرام‌های خطی، دایره‌ای، خطی، گوسی و نمایی) و روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) را برای پهنه‌بندی کیفیت آب مورد ارزیابی قرار دادند که از این بین روش کریجینگ معمولی با سمی واریوگرام‌های نمایی و دایره‌

ای برای میان‌یابی مناسب‌تر بود. همچنین، شعبانی (۱۳۸۷) در مطالعات خود با عنوان تعیین روش مناسب زمین‌آمار در تهیه نقشه تغییرات pH و TDS آب‌های زیرزمینی به این نتیجه رسید که روش کریجینگ ساده و معمولی نسبت به روش‌های معین برتری دارند. نظری‌زاده و همکاران (۱۳۸۵) از روش زمین‌آمار در بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی در دشت بالارود استفاده کردند. نتایج این پژوهشگران نشان داد مدل کروی بهترین مدل برای برازش روی واریوگرام تجربی متغیرهای شوری، کلر و سولفات است.

با توجه به مطالب فوق، روش‌های زمین‌آماری و پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی می‌توانند اطلاعات مفیدی در مورد وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی در اختیار قرار دهند و با توجه به کاهش ورودی آب سطحی به استان گیلان به دلیل ساخت سدهای متعدد روی سرشاخه‌های اصلی سفیدرود به عنوان منبع اصلی تامین آب استان، گرایش به استفاده از منابع آب زیرزمینی در حال افزایش است.

بنابراین، باید تصویری کلی از وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی داشت تا محل‌های مناسب برای برداشت آب را تعیین کرد و مناطق پرخطر یا در آستانه خطر را محافظت نمود. استان گیلان به‌طور متوسط سالانه بیش از ۷۰۰ هزار تن برنج سفید تولید می‌کند (۳۰ درصد تولید برنج کشور). این در حالی است که برنج شدیداً تحت تاثیرکیفیت آب مورد استفاده به‌ویژه شوری آن است. مطالعات مختلف، هدایت الکتریکی آستانه کاهش عملکرد را ۲- ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر گزارش کرده‌اند (رضایی و همکاران، ۱۳۸۹). لذا، این پژوهش با هدف بررسی تغییرات مکانی و زمانی شوری آب‌های زیرزمینی استان گیلان با توجه به شاخص‌های هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول و شناسایی مناطق بحرانی از نظر شوری آب برای کشت محصولاتی از جمله برنج انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی دشت گیلان، نمونه‌برداری از ۱۳۰ حلقه چاه شبکه پایش کمی و کیفی شرکت آب منطقه‌ای گیلان به عنوان جامعه آماری صورت گرفت. مختصات جغرافیایی چاه‌ها به وسیله دستگاه GPS برداشت شد. نمونه‌برداری در ماه شهریور سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۵ انجام شد. پس از روشن کردن موتور پمپ چند دقیقه اجازه داده می‌شد تا آب از سفره آب زیرزمینی برداشت شود. نمونه‌ها پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل شد. سپس، کل جامدات محلول و هدایت الکتریکی هر نمونه اندازه‌گیری شد.

به علت عدم تبعیت داده‌های اندازه‌گیری‌شده از توزیع نرمال براساس آزمون کلموگروف-اسمیرنف ($P<0.05$)، تمامی داده‌ها با استفاده از تبدیل لگاریتمی نرمال شد. با برازش مدل‌های تئوری مناسب بر نیم-تغییرنمای تجربی، پارامترهای لازم استخراج شد. به‌منظور انتخاب مدل مناسب برای برازش بر نیم‌تغییرنما از پارامترهای مجموع مربعات باقیمانده (RSS) و ضریب تبیین (R^2) (به ترتیب کم‌ترین مجموع مربعات باقیمانده و بیش‌ترین ضریب تبیین) و هم‌چنین شکل ظاهری نیم‌تغییرنما استفاده شد.

برای پی‌بردن به وضعیت ساختار مکانی هر متغیر، می‌توان از نسبت واریانس قطعه‌ای به حد آستانه که همان $100\times (C_0/C+C_0)$ است، استفاده کرد. اگر مقدار این نسبت کم‌تر از ۲۵ درصد باشد، متغیر دارای وابستگی مکانی قوی، اگر بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد، وابستگی مکانی متوسط و اگر این نسبت بیش از ۷۵ درصد باشد، وابستگی مکانی ضعیف می‌باشد (رهنمای رهسپار، ۱۳۹۰).

در این بررسی، میان‌یابی به روش کریجینگ معمولی و رسم واریوگرام‌ها با استفاده از نرم‌افزار GS+ انجام شد. سپس، برای پهنه‌بندی دو متغیر یادشده در سطح استان گیلان از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. هدایت الکتریکی در پنج کلاس صفر تا یک، یک تا ۱/۵،

۱/۵ تا دو، دو تا ۲/۵ و ۲/۵ تا سه دسی‌زیمنس بر متر طبقه‌بندی شد. محدوده بالای ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر به عنوان منطقه بحرانی برای کشت برنج انتخاب شد چرا که باعث شروع افت عملکرد این گیاه می‌شود. کل جامدات محلول نیز در سه کلاس صفر تا ۵۰۰، ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر طبقه‌بندی شد که به ترتیب به محدوده‌های کم‌خطر، خطر متوسط و خطر بالا تعلق دارد. پس از پهنه‌بندی مساحت اختصاصی هر محدوده تعیین شد.

نتایج و بحث

برخی آماره‌های هدایت الکتریکی (EC) و کل جامدات محلول (TDS) در منطقه مطالعاتی در جدول (۱) آمده است. با توجه به مقادیر چولگی و کشیدکی، داده‌های EC و TDS از توزیع نرمال برخوردار نیستند که آزمون کولموگروف-اسمیرنف نیز این مطلب را تایید نمود. لذا، برای نرمال نمودن این داده‌ها از تبدیل لگاریتمی استفاده شد. ضریب تغییرات شاخص‌های EC و TDS در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۵- ۱۳۸۲ بیش‌تر از پنجاه درصد است که نشان‌دهنده تغییرات زیاد این شاخص‌ها در آبخوان منطقه مورد بررسی است. در واقع ضریب تغییرات، معیاری از پراکندگی زیاد مشاهدات است که می‌تواند ناشی از عوامل بیرونی اثرگذار بر وضعیت هیدرولوژی، ساختار زمین‌شناسی و کاربری کاملاً متفاوت اراضی باشد.

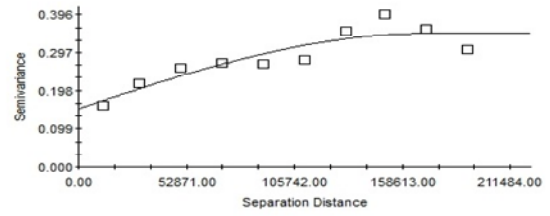
جدول ۱- برخی آماره های شاخص‌های EC و TDS در منطقه مورد بررسی

سال	شاخص کیفی	واحد	حداکثر	حداقل	ضریب تغییرات	انحراف معیار	مد	میانه	میانگین	چولگی	کشیدگی
۸۲	EC	dS/m	۲/۶۶	۰/۲۰	۶۰	۰/۵۰	۰/۳۳	۰/۷۰	۰/۸۴	۱/۵۹	۲/۸۶
	TDS	mg/l	۱۶۸۳	۱۲۳	۶۰	۳۱۹	۲۶۴	۴۴۱	۵۳۱	۱/۵۹	۲/۸۸
۸۳	EC	dS/m	۲/۶۳	۰/۱۷	۵۹	۰/۴۹	۰/۵۷	۰/۶۵	۰/۸۳	۱/۵۰	۲/۶۴
	TDS	mg/l	۱۶۳۶	۱۰۵	۵۹	۳۰۸	۱۶۳۶	۴۱۰	۵۲۱	۱/۵۰	۲/۶۶
۸۴	EC	dS/m	۲/۵۴	۰/۱۵	۵۸	۰/۴۷	۰/۶۰	۰/۶۶	۰/۸۱	۱/۶۴	۳/۴
	TDS	mg/l	۱۵۹۹	۹۳	۵۹	۲۹۹	۶۹۰	۴۱۷	۵۱۱	۱/۶۴	۳/۴
۸۵	EC	dS/m	۲/۵۳	۰/۲۱	۵۴	۰/۴۸	۰/۵۵	۰/۷۳	۰/۸۹	۱/۴۰	۲/۰۴
	TDS	mg/l	۱۶۰۳	۱۳۴	۵۴	۳۰۲	۳۴۸	۴۶۲	۵۶۱	۱/۴۳	۲/۱۷

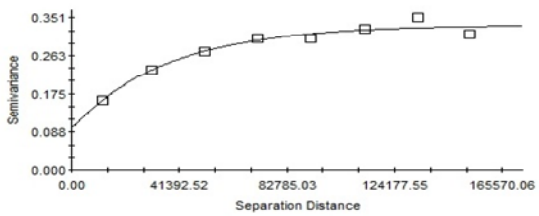
آماره‌های مدل‌های برازش داده شده در جدول (۲) ارایه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، برای اکثر نیم-تغییرنماها مدل کروی مدل مناسب تشخیص داده شد. تغییرپذیری ویژگی‌های آب زیرزمینی ممکن است تحت تاثیر فاکتورهای داخلی (مانند ویژگی‌های طبیعی سفره‌ی آب زیرزمینی یا مواد مادری خاک منطقه) و فاکتورهای خارجی مانند (کاربرد پساب‌های صنعتی، کودهای شیمیایی و دیگر عوامل مدیریتی) باشد. سان و همکاران (۲۰۰۳) به این نتیجه رسیدند که وابستگی‌های مکانی قوی غالباً در اثر فرآیندهای داخلی (ذاتی) و وابستگی-های مکانی ضعیف در اثر فرآیندهای خارجی (مدیریتی) حاصل می‌شوند. شکل (۲) نقشه پراکنش مکانی هدایت الکتریکی حاصل از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بخش‌های غربی استان گیلان شامل شهرهای آستارا، طوالش، فومن، صومعه‌سرا، بندرانزلی و شفت در پایین‌ترین محدوده هدایت الکتریکی (صفر تا یک دسی‌زیمنس بر متر) قرار دارند و مشکلی از این نظر در این مناطق مشاهده نمی-شود.

جدول ۲- آماره‌های مدل‌های برازش داده شده به شاخص‌های EC(dS/m) و TDS(mg/l)

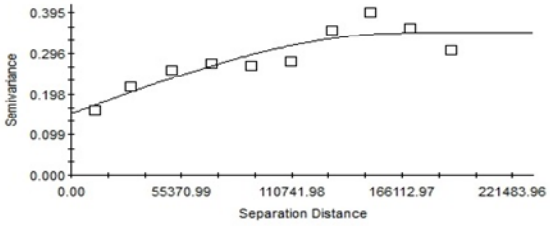
سال	شاخص	مدل	اثرقطعه‌ای(C_0)	حد آستانه ($C+C_0$)	$C_0/(C+C_0)$	شعاع تاثیر (m)	R^2	RSS
۸۲	EC	کروی	۰/۱۵۰	۰/۳۵	۰/۴۳۰	۱۶۸۷۰۰	۰/۸۳	۰/۰۰۷۰
	TDS	کروی	۰/۱۵۰	۰/۳۵	۰/۴۲۹	۱۶۸۳۰۰	۰/۸۲	۰/۰۰۸۰
۸۳	EC	نمایی	۰/۰۹۴	۰/۳۳	۰/۲۸۵	۳۷۴۰۰	۰/۹۶	۰/۰۰۰۹
	TDS	کروی	۰/۱۲۰	۰/۳۲	۰/۳۷۵	۸۷۸۰۰	۰/۹۱	۰/۰۰۲۰
۸۴	EC	کروی	۰/۱۱۰	۰/۲۸	۰/۳۹۳	۷۰۹۰۰	۰/۸۷	۰/۰۰۳۰
	TDS	نمایی	۱/۰۹۰	۰/۳۲	۰/۲۸۱	۴۰۵۰۰	۰/۷۸	۰/۰۰۸۰
۸۵	EC	کروی	۰/۱۰۰	۰/۲۶	۰/۳۸۰	۸۱۹۰۰	۰/۹۳	۰/۰۰۱۰
	TDS	کروی	۰/۱۰۰	۰/۲۵	۰/۴۰۰	۷۶۵۰۰	۰/۹۹	۰/۰۰۰۶



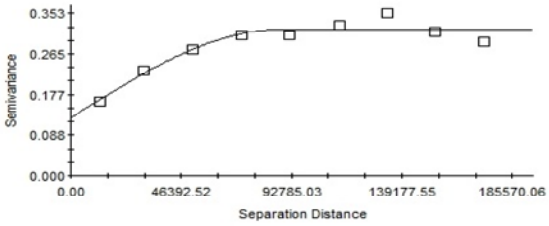
۱۳۸۲ EC



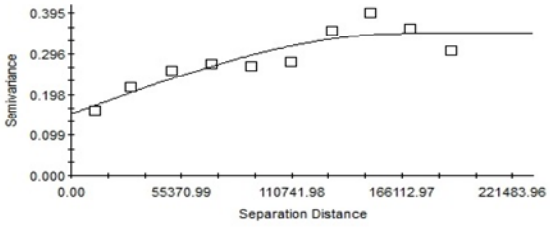
۱۳۸۳ EC



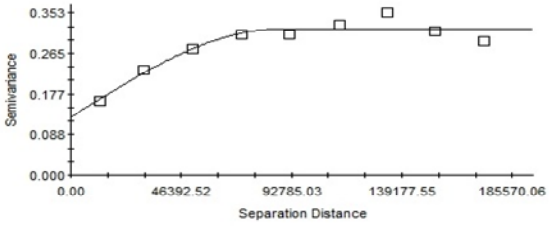
۱۳۸۴ EC



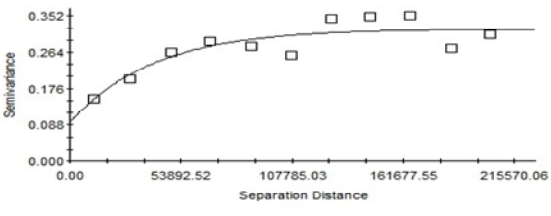
۱۳۸۵ EC



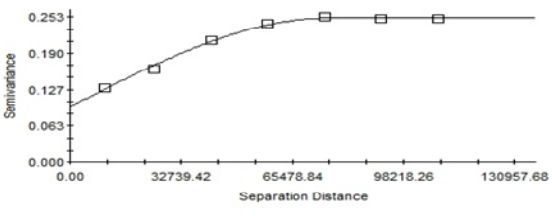
۱۳۸۲ TDS



۱۳۸۳ TDS

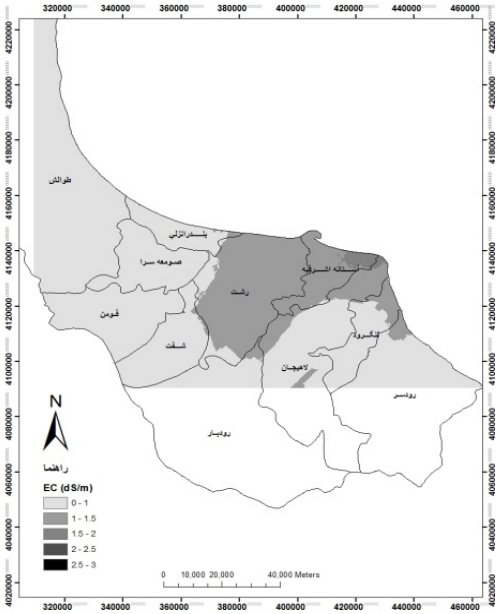


۱۳۸۴ TDS

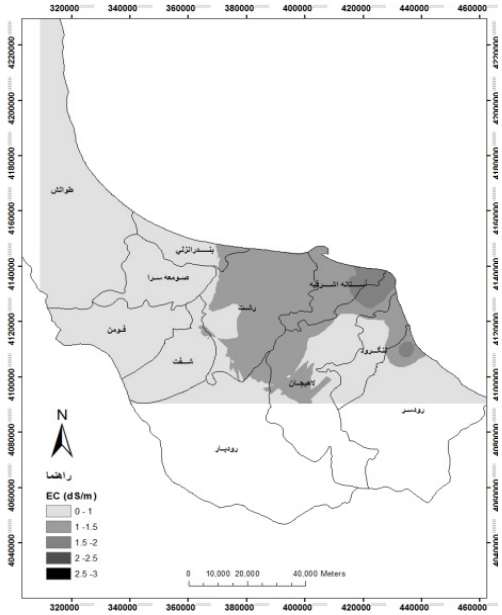


۱۳۸۵ TDS

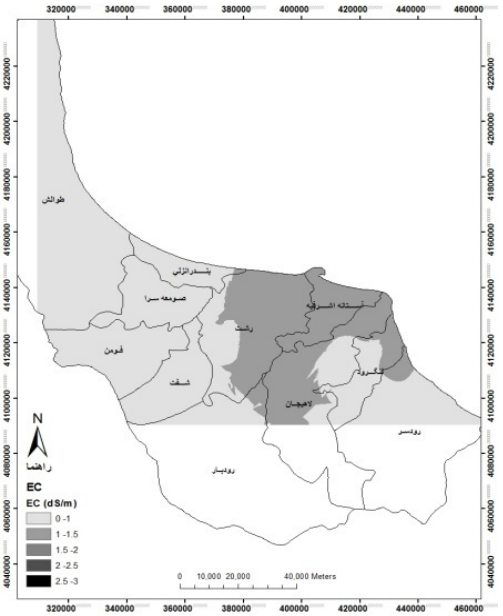
شکل۱- نیم‌تغییرنمای تجربی و مدل برازش داده شده بر آن برای EC و TDS در سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۵



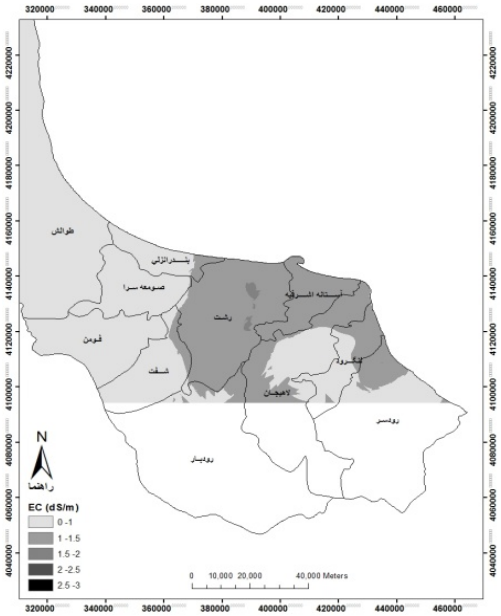
۱۳۸۲



۱۳۸۳



۱۳۸٤



۱۳۸۵

شکل ۲- نقشه پراکنش مکانی هدایت الکتریکی در استان گیلان

در مناطق مرکزی و مرکزی متمایل به شرق استان گیلان شامل شهرهای رشت، آستانه اشرفیه و بخش‌هایی از لنگرود، لاهیجان و رودسر، هدایت الکتریکی در محدوده یک تا ۱/۵ قرار می‌گیرد (۲۳ تا ۳٤ درصد مساحت منطقه مورد بررسی) که باعث کاهش عملکرد مرکبات و برخی سبزیجات با توجه به آستانه تحمل شوری آنها می‌شود. بخشی از مناطق آستانه اشرفیه و لاهیجان دارای هدایت الکتریکی بیش از ۱/۵ تا دو دسی‌زیمنس بر متر است که در حد بحرانی است(۰/٤۰ تا ۲/٤۵ درصد مساحت منطقه مورد بررسی). مساحت

مربوط به هر یک از محدوده‌هـای هـدایت الکتریکـی در نقشه‌ی پهنه‌بندی EC در جدول (۳) آمده است.

جدول ۳- مساحت(برحسب درصد) مربوط به هر یک از دامنه‌های هدایت الکتریکی در نقشه پهنه‌بندی EC(dS/m)

سال	بازه	۰-۱	۱-۱/۵	۱/۵-۲	۲-۲/۵	۲/۵-۳
۱۳۸۲		۷۵/۶۶	۲۳/۴۴	۰/۹۰	۰	۰
۱۳۸۳		۷۲/۳۹	۲۵/۱۶	۲/۴۵	۰	۰
۱۳۸۴		۷۳/۱۲	۲۶/۸۸	۰	۰	۰
۱۳۸۵		۶۵/۴۵	۳۴/۱۴	۰/۴۰	۰	۰

درسال ۱۳۸۳ نسبت به سال ۱۳۸۲، حد بحرانی EC (بیش از ۱/۵ dS/m) کمی در مناطق مساله‌دار گسترش یافته و بر میزان آن نیز افزوده شده است. در سال ۱۳۸٤، تغییر آن‌چنانی نسبت به سال قبل خود مشاهده نمی‌شود. در سال ۱۳۸۵ مشاهده می‌شود که بازه صفر تا یک دسی‌زیمنس بر متر بخصوص در مناطق غربی افزایش یافته و تمام محدوده شهرهای رشت و آستانه اشرفیه و بخش بیش‌تری از لاهیجان و لنگرود را در بر می‌گیرد.

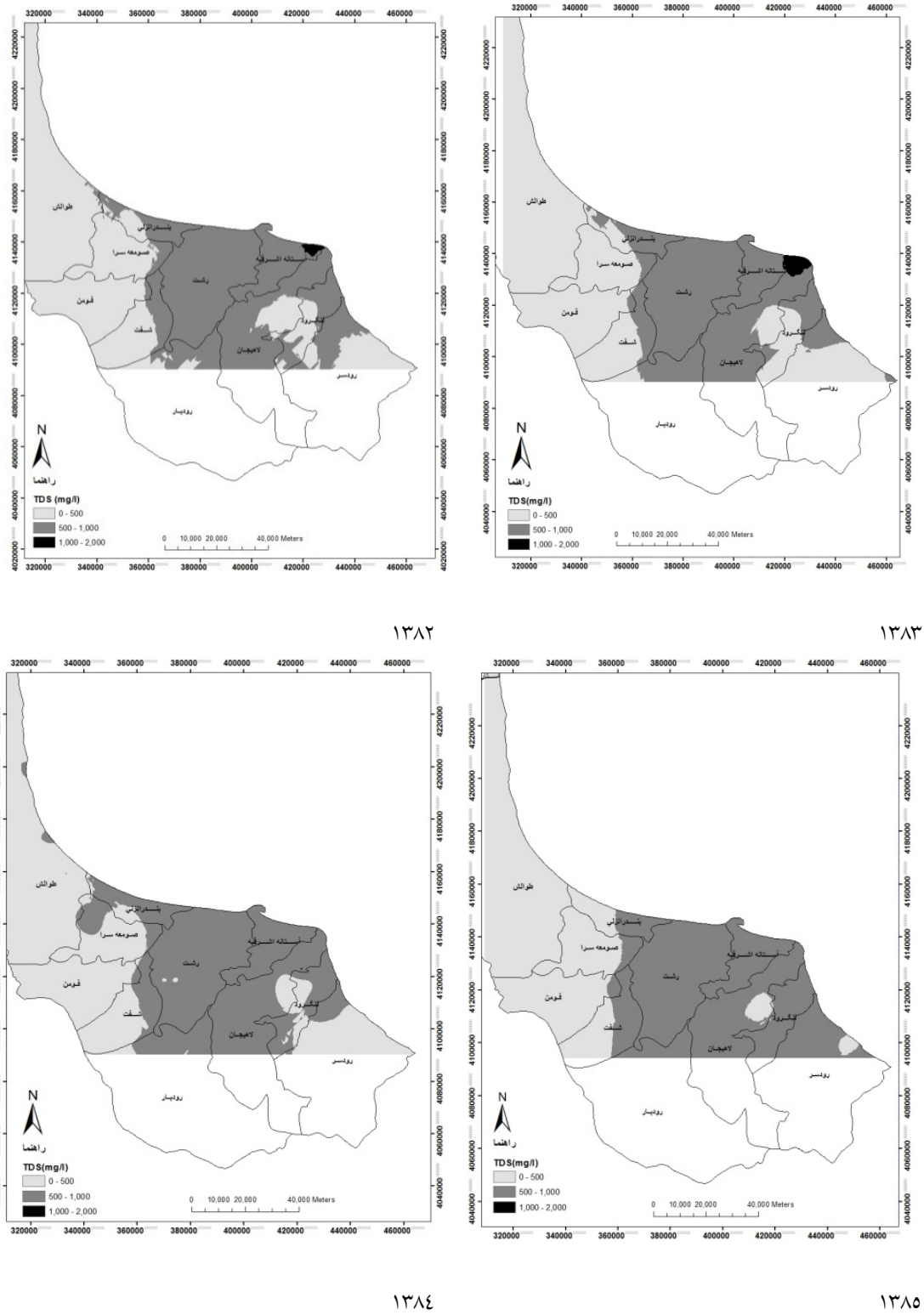
حوضه سفیدرود که منطبق با بیش‌ترین هدایت الکتریکی سفره آب زیرزمینی هست از نوع دشت‌های آبرفتی رودخانه‌ای و دارای بافت سبک‌تری نسبت به بقیه نواحی است. این امکان وجود دارد که در اثر آبیاری این بخش از اراضی کشاورزی از شبکه آبیاری سفیدرود و شاخه‌های فرعی آن املاح و یون‌ها به همراه آب از راه نفوذ عمقی در این خاک‌های سبک‌بافت وارد سفره زیرزمینی شده و افزایش هدایت الکتریکی را بوجود آورده باشد (رضایی و همکاران، ۱۳۸۹).

مساحت مربوط به هر یک از محدوده‌های کل جامدات محلول در نقشه‌ی پهنه‌بندی TDS در جدول (٤) آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار TDS در بیش از ۵۰ درصد مساحت محدوده مورد بررسی (به جز سال ۱۳۸٤) در محدوده صفر تا ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده است. همچنین، در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ میزان TDS در مساحت کمی دارای مقداری بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده است.

جدول ۴- مساحت (درصد) مربوط به هر یک از دامنه‌های کل جامدات محلول در نقشه پهنه‌بندی TDS(mg/l)

سال	بازه	۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰
۱۳۸۲		۵۵/۹۴	۴۳/۷۳	۰/۳۳
۱۳۸۳		۵۷/۱۱	۴۲	۰/۸۳
۱۳۸۴		۴۹/۴۸	۵۰/۵۲	۰
۱۳۸۵		۵۳	۴۶/۹۵	۰

با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی کل جامدات محلول در شکل (۲) می‌توان مشاهده کرد که شهرهای رشت و آستانه اشرفیه و قسمت بیشتری از لاهیجان، لنگرود و بندرانزلی و بخشی از شهرهای شفت، صومعه-سرا و رودسر در محدوده ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر TDS قرار دارند که برحسب طبقه‌بندی در محدوده‌ی متوسط از نظر خطر شوری است، قرار دارند. در سال ۱۳۸۳ به‌جز کاهش TDS در بخش‌هایی از لنگرود و رودسر، تغییر زیادی نسبت به سال ۱۳۸۲ مشاهده نمی-شود. در سال ۱۳۸٤ افزایش TDS در شهرهای بندرانزلی، صومعه‌سرا، لنگرود و لاهیجان اتفاق افتاده و در نهایت در سال ۱۳۸۵، کاهش در بخش‌های غربی و افزایش در بخش‌های شرقی استان گیلان مشاهده می-شود.



شکل ۳- نقشه پراکنش مکانی کل جامدات محلول در استان گیلان

نتیجه‌گیری

مدل مناسب برازش داده شده بر نیم‌تغییرنمای تجربی (به‌جز دو مورد) برای شاخص‌های هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول، مدل کروی می‌باشد. با نگاهی به نقشه‌های پهنه‌بندی، وجود مساله شوری و پیشرفت آن در بخش‌های مرکزی و مرکزی متمایل به شرق استان گیلان مشاهده می‌شود. از دلایل پیشرفت شوری، استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی است که به دلیل حفر آسان چاه‌های غیرمجاز و دسترسی همیشگی به آب حاصل شده‌است. برنامه‌ریزی دقیق برای آبیاری و توجیه کشاورزان و همچنین نظارت بر حفر چاه‌هایی که هر روز بر تعداد آن‌ها افزوده می‌شود، می‌تواند در بهبود شرایط موثر باشد.

از آنجا که در این پژوهش با استفاده از نرم-افزارهای به کار برده شده، رابطه مکانی مناسبی برای متغیرهای هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول در آب زیرزمینی به دست آمده، می‌توان از این نقشه‌ها به عنوان راهنما به‌منظور برداشت آب با شوری کم‌تر و یا متوقف کردن برداشت در مناطق خیلی شور استفاده کرد. کشت گیاهان مقاوم به شوری و به‌کارگیری روش‌های مناسب نظیر آبیاری تناوبی برنج به‌جای آبیاری غرقابی از راه کارهای بهبود بهره‌وری آب در شرایط شوری است. دامنه‌دار بودن پژوهش‌ها و انجام پژوهش‌های وسیع‌تر برای سایر شاخص‌های کیفی آب توصیه می‌شود.

فهرست منابع

۱. جعفرراد، س.، زواره، م.، خالدیان، م. و رضایی، م. ۱۳۹۱. ارزیابی مقاومت ژنوتیپ های مختلف برنج به شوری آب آبیاری. اولین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه. ۹ و ۱۰ خرداد. موسسه تحقیقات خاک و آب کرج.

۲. دلبری، م.، افراسیاب، پ. و میرعمادی، س. ر. ۱۳۸۹. تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی زمانی شوری و عمق آب زیرزمینی (مطالعه موردی: استان مازندران). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. سال ۳ شماره ٤ صفحه ۳۵۹ تا ۳۷٤.

۳. دهقان، م.، رضاییان، ش. و نادری، ج. ۱۳۹۰. ارزیابی تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت شبستر با استفاده از GIS. همایش ژئوماتیک. ۲۰ اردیبهشت ماه. تهران.

٤. رضایی، م.، دواتگر، ن.، تاجداری، خ. و ابولپور، ب. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های کیفی آب‌های زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین‌آمار. نشریه آب و خاک. سال ۵ شماره ۲٤ صفحه ۹۳۲ تا ۹٤۱.

۵. رهنمای رهسپار، ص. ۱۳۹۰ بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی گیلان مرکزی به فلزات سنگین و پهنه‌بندی آن با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

٦. رهنمای رهسپار؛ ص.، خالدیان، م.، شاه‌نظری، ع. و فرقانی، ا. ۱۳۹۰. بررسی ژئواستاتیستیکی میزان فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی گیلان مرکزی. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیرکبیر. اردیبهشت ماه. تهران.

۷. شعبانی، م. ۱۳۸۷. تعیین مناسب‌ترین روش زمین‌آمار در تهیه‌ی نقشه‌ی تغییرات pH و TDS آب‌های زیرزمینی دشت ارسنجان. مجله‌ی مهندسی آب، سال اول، پاییز.۵۸-٤۷.

۸. غلامی، و. و جعفری، م. ۱۳۸۹. بررسی عوامل مؤثر در شوری آب زیرزمینی به منظور ارائه مدل منطقه ای در سواحل جنوبی خزر. مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۸٦ صفحه ۸۱ تا ۸٦

۹. محمدی، ج . ۱۳۸۵. پدومتری. جلد۲ (آمار مکانی). انتشارات پلک، ٤۵۳ صفحه.

۱۰. محمدی، م.، محمدی قلعه‌نی، م. و ابراهیمی، ک. ۱۳۹۰. تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین. پژوهش آب ایران. سال ۵ شماره ۸ صفحه ٤١ تا ۵۲.

۱۱. مقامی، ی.، قضاوی، ر.، ولی، ع. و شرفی، س. ۱۳۹۰. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی به منظور پهنه‌بندی کیفیت آب با استفاده از GIS (مطالعه موردی: شهرستان آباده). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. دوره ۲۲ شماره ۲ صفحه ۱۷۱ تا ۱۸۲.

۱۲. نظری‌زاده، ف.، ارشادیان، ب.، و زندوکیلی، ک. ۱۳۸۵. بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود در استان خوزستان. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوزه‌های کارون و زاینده‌رود دانشگاه شهرکرد. ۱۲٤۰ ص.

13. Brunner, P. and Kinzelbach, W. 2005. Groundwater modeling in remote Chinese Basin- How can models be improved in areas where data are scarce? General assembly of the European Geosciences Union, April 24-29. European Geosciences Union (EGU), Vienna, Austria.
14. Hakan, A. 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.
15. Madan, K.J., Kamii, Y. and Chikamori, K., 2008. Cost-effective approaches for sustainable groundwater management in alluvial aquifer system. *Water Resources Management*, 23(2): 219-233.
16. Sun, B., Zhou, Sh. and Zhao, Q. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the region of subtropical China. *Geoderma*, 115: 85-99.
17. Zhang, M. 2001. Information-statistics evaluation on the effects of groundwater buried depth to upper soil and groundwater salinity. China Postdoctoral Proceeding Science Press, Beijing, China, pp. 221-224.