



## ارزیابی مدل رگرسیون، روش کریجینگ و طبقه‌بندی نظارت‌شده داده‌های سنجنده LISS-III در برآورد شوری خاک (مطالعه موردی: دشت ارسنجان، استان فارس)

هادی عبدالعظیمی<sup>۱\*</sup>، سید کاظم علوی پناه<sup>۲</sup>، محمدحسین مهدیان<sup>۳</sup>، حمیدرضا متین‌فر<sup>۴</sup>، ابراهیم پذیرا<sup>۵</sup>، محمدحسن مسیح‌آبادی<sup>۶</sup>، حسین کریمی<sup>۷</sup>

۱. استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، گروه علوم خاک، شیراز
۲. استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
۳. استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران
۴. استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد
۵. استاد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران
۶. استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران
۷. دانشجوی دکتری بخش علوم خاک دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۲/۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۴/۳۰

### چکیده

استفاده از پیشرفت‌های تکنیکی اخیر در شناسایی و نقشه‌برداری شوری خاک‌ها، گامی به جلو در مدیریت خاک‌های شور است. هدف پژوهش حاضر، استفاده و ارزیابی روش‌های گوناگون برآورد شوری خاک سطحی در عمق صفر تا پنج سانتی‌متر اطراف دریاچه طشک و بختگان با وسعت ۸۰۶۲ هکتار است. شوری خاک در این ناحیه عامل مهمی در عملکرد محصولات کشاورزی است. در پژوهش حاضر از سه روش متفاوت برای برآورد شوری خاک استفاده شد و نتایج این سه روش با داده‌های شوری اندازه‌گیری‌شده روی زمین مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، ۱۴۳ نمونه برداشت شد و مقادیر هدایت الکتریکی عصاره استخراج‌شده از گل اشباع یا Ece آنها تهیه شد. نمونه‌های مرتبط به‌صورت منظم روی شبکه‌ای ۷۵۰ متری برای ارزیابی مدل رگرسیون (RM) و روش کریجینگ معمولی (OK) جمع‌آوری شدند. برای روش سوم نیز طبقه‌بندی نظارت‌شده (Scl) تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سنجنده LISS-III به کار گرفته شد. در این پژوهش از مدل‌های رگرسیونی خطی، توانی و نمایی به منظور تخمین مقادیر شوری استفاده شد و مقادیر رقومی تصاویر ماهواره‌ای در آنها به‌عنوان متغیر مستقل و مقادیر Ece به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. برای تولید نقشه تخمین شوری از روش کریجینگ استفاده شد. در مورد تصاویر ماهواره‌ای، پیکسل‌های آموزشی با الگوریتم حداکثر احتمال مشابهت، طبقه‌بندی و سپس نقشه پوشش زمین تهیه شدند. نتایج پژوهش نشان دادند که مدل‌های رگرسیونی نمی‌توانند مقادیر شوری را به‌خوبی تخمین بزنند و شاخص‌های پوشش گیاهی همبستگی ضعیفی با مقادیر شوری خاک سطحی دارند. در مکان‌هایی که مقادیر شوری بیشتر از ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر بود، درصدهای شوری منتج از طبقه‌بندی نظارت‌شده و روش کریجینگ معمولی تقریباً مشابه بودند اما در سایر کلاس‌های شوری، مقادیر به‌دست‌آمده از این دو روش با یکدیگر تفاوت داشتند. در طبقه‌بندی نظارت‌شده داده‌های سنجنده LISS-III، سطوح خاک بایر با مقادیر شوری بیش از ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، با موفقیت شناسایی و تفکیک شدند. مدل رگرسیونی، ۱۰۰ درصد محدوده مطالعه‌شده را شور برآورد کرد و روش کریجینگ، ۸۷/۶ درصد از خاک‌های منطقه را به‌عنوان خاک شور، < ۴ دسی‌زیمنس بر متر، طبقه‌بندی کرد در حالی که طبقه‌بندی نظارت‌شده داده‌های سنجنده LISS-III، ۶۲/۵ درصد از خاک‌های منطقه را شور تشخیص داد. هر کدام از این روش‌ها محدودیت‌هایی دارند، از این رو به‌منظور برآورد شوری خاک، تلفیق آنها پیشنهاد می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** شوری خاک سطحی، مدل‌های رگرسیونی، کریجینگ معمولی، طبقه‌بندی نظارت‌شده.

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: شیراز، کیلومتر ۵ شهر جدید صدرا، پردیس دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، دانشکده علوم کشاورزی، بخش علوم خاک. تلفن: ۰۹۱۳۳۹۲۱۰۰۳

## ۱- مقدمه

موفقیت‌های چندانی در خصوص استفاده از سنجش از دور برای تهیه نقشه‌های درجه‌های مختلف از شوری خاک‌ها وجود نداشته است. در حالی که نواحی با شوری متوسط تا زیاد به آسانی قابل تشخیص‌اند، خاک‌های با شوری کم یا در مراحل ابتدایی شوری در این خصوص مشکلاتی دارند. نمونه، مک گوون و مالینون<sup>۱</sup> (۱۹۹۶)، بیش تخمینی را در مورد استفاده از طبقه‌بندی حداکثر احتمال مشابهت داده‌های سنجنده TM در نواحی شور گزارش کرده‌اند. دلایل این شناسایی‌های نادرست در سنجش از دور، مدیریت‌های مختلف زمین، وجود پوشش گیاهی و تنوعی از خاک‌هاست. از سوی دیگر، درک سطوح خاک‌های تحت تأثیر نمک با استفاده از سنجش از دور به تداخل بین خاک‌های کمی شور و غیرشور نسبت داده می‌شود (Manchanada & Iyar, 1983). محدودیت‌های استفاده از سنجش از دور به منظور تهیه نقشه خاک‌های تحت تأثیر نمک، به رفتار طیفی انواع نمک، توزیع مکانی نمک‌ها روی سطح زمین، تغییرات زمانی شوری در کوتاه‌مدت، وجود پوشش گیاهی و تداخل طیفی با پدیده‌های دیگر سطح زمین مربوط است (Metternicht & Zinck, 2003). مطالعات با استفاده از روش‌های زمین‌آمار به منظور تخمین شوری تصدیق کرده‌اند که تخمین‌های مکانی با تعداد محدود داده اندازه‌گیری شده، صحت پایینی دارند (Ardahantiglu et al., 2003; Cetin & Kirda, 2003; ) (Cafarelli and Pollice, 2008). دلیل این صحت کم، تغییرات کوتاه دامنه شوری و حضور فرایندهای غیرایستا یا عواملی که بر صحت روش‌های زمین‌آمار تأثیر می‌گذارند، بیان شده است. در واقع زمین‌آمار با تشخیص، تخمین و تهیه نقشه الگوهای مکانی متغیرها ارتباط دارد و برای دستیابی به اهداف مذکور، به مدل‌سازی و تفسیر نیم‌تغییرنما<sup>۲</sup> نیاز است. این ابزار، تغییرات مکانی مقادیر اندازه‌گیری شده را در فواصل معین، مشخص می‌کند (Jordan et al., 2004). مدل‌های برازش داده‌شده به

شوری خاک، خطری زیست‌محیطی به‌شمار می‌آید و از مؤلفه‌های مؤثر بر فرایند بیابان‌زایی در نواحی خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب تحت کشت آبی و دیم است. به‌منظور مدیریت و استفاده مناسب و پایدار برای جلوگیری از تبدیل خاک‌های شور به بیابان، به پیش‌دقیق آنها نیاز است. امروزه روش‌های مختلفی، از مدل‌های رگرسیون خطی ساده گرفته تا روش‌های رگرسیون غیرخطی پیشرفته (Moore et al., 1993; Mckenzie and Odeh et al., 1995; Ryan, 1997; زمین‌آمار (Goovaerts, 1998; McBratney et al., 2000; Navarro-Metternich et al., 2007) و سنجش از دور (Pedreno et al., 2007 and Zinck, 2003) برای تخمین و تهیه نقشه ویژگی‌های خاک وجود دارد. اندازه‌گیری شوری خاک در منطقه‌ای وسیع، هزینه‌بر و زمان‌بر است؛ به‌ویژه اگر پیش‌زمانی مکانی در خاک‌های شور مدنظر باشد. سنجش از دور - به‌خصوص در طیف مرئی - اطلاعات مکانی قویاً همبسته با شوری به‌دست می‌دهد و می‌توان به‌صورت مستقیم از خاک بایر و به‌صورت غیرمستقیم از پوشش گیاهی، برای تهیه نقشه شوری استفاده کرد. در دو دهه اخیر پژوهش‌های زیادی در خصوص شناسایی باندهای جذبی به‌منظور تفکیک کانی‌های تبخیری و پوسته‌های نمکی در خاک‌های شور به‌صورت میدانی و آزمایشگاهی انجام شده است. (Howari et al., 2002; Douaoui et al., 2006; Farifteh et al., 2006; Fernandez-Buces, 2006; Farifteh et al., 2008). این اطلاعات معمولاً به‌منظور برقراری ارتباط بین خصوصیات طیف خاک‌های تأثیرپذیرفته از نمک و بود یا نبود کانی‌های نمکی در خاک استفاده می‌شوند (Khan et al., 2001; Howari, 2003; Farifteh et al., 2008; Zink & Metternicht, 2008). مطالعات انجام‌شده در سنجش از دور بیشتر در خصوص تهیه نقشه نواحی شدیداً شور یا در مورد تفکیک خاک‌های شور از غیرشور است (Howari, 2003; Masoud & Koike, 2006). این موضوع به‌دلیل بازتاب طیفی بالای خاک‌های خیلی شور در مقایسه با خاک‌های غیرشور است (Farifteh et al., 2006). با این حال

1. McGowen and Mallyon  
2. Semivariogram

## ارزیابی مدل رگرسیون، روش کریجینگ و طبقه‌بندی نظارت‌شده داده‌های سنجنده LISS-III در برآورد شوری خاک

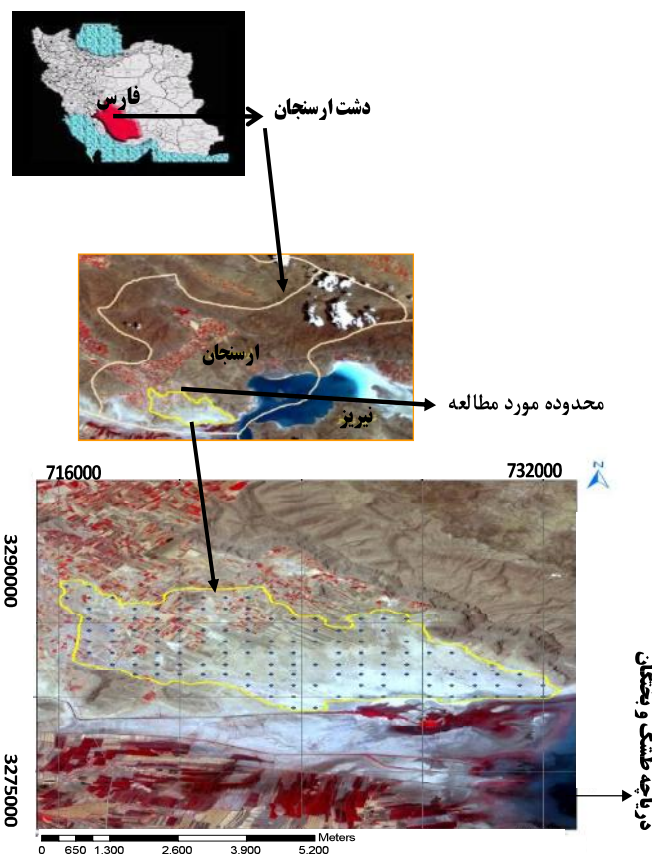
روش‌های ذکرشده، محدودیت‌هایی وجود دارد. هدف پژوهش حاضر آن است که سه روش رگرسیون<sup>۱</sup> (RM)، کریجینگ معمولی<sup>۲</sup> (OK) و طبقه‌بندی نظارت‌شده<sup>۳</sup> داده‌های سنجنده LISS-III (Scl) را در برآورد شوری خاک‌های اطراف دریاچه طشک و بختگان استان فارس در عمق صفر تا پنج سانتی‌متر ارزیابی کند.

### ۲- مواد و روش‌ها

#### ۲-۱- محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعه‌شده اطراف دریاچه طشک و بختگان در استان فارس است (شکل ۱).

نیم‌تغییرنماها، اطلاعات لازم برای تخمین گر کریجینگ را فراهم می‌کنند. نیم‌تغییرنماهای قابل اعتماد - که جزء اصلی زمین‌آمار به شمار می‌آیند - تقریباً به ۱۰۰ نقطه نمونه‌برداری شده نیاز دارند که با صرف هزینه زیاد همراه است (Kerry and Oliver, 2003). روش دیگر برای تخمین پارامترهای خاک (نظیر شوری) استفاده از مدل‌های رگرسیونی است. در این مدل‌ها، پارامتر خاک به‌عنوان متغیر هدف یا متغیر وابسته است که می‌تواند از متغیر مستقل نظیر مقادیر رقومی تصاویر ماهواره‌ای تخمین زده شود. در این روش، همبستگی مکانی پارامتر مدنظر نادیده گرفته می‌شود (Lopez-Granados et al., 2005). بررسی منابع نشان می‌دهد که در هر یک از



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعه‌شده

1. Regression Model (RM)
2. Ordinary Kriging (OK)
3. Supervised classification (Scl)

دسی‌زیمنس برمتر، شوری زیاد<sup>۹</sup> (H)، خاک‌های دارای پوسته‌های نمکی تیره‌رنگ و شوری بیشتر از ۳۲ دسی‌زیمنس برمتر، شدیداً شور<sup>۱۰</sup> (Sb)، خاک‌های دارای پوسته‌های نمکی سفیدرنگ با شوری بیشتر از ۳۲ دسی‌زیمنس برمتر، شدیداً شور<sup>۱۱</sup> (Sw)، پوشش گیاهی<sup>۱۲</sup> (P) و کوه<sup>۱۳</sup> (m) روی تصویر مبتنی بر تلفیق ۳ باند سنجنده، شناسایی شد. سپس نتایج طبقه‌بندی با استفاده از پیکسل‌های آزمایشی (سری تست یا پیکسل‌های کنترلی)، در جدول ماتریس خطا (جدول ۱) ارزیابی شد و دقت کلی، دقت نقشه‌برداری، دقت کاربر و شاخص کاپا محاسبه شد. در مرحله بعد، درصد کلاس‌های پوشش زمین تحلیل شد و به کلاس‌های شوری عصاره اشباع خاک یک نمایه به شرح زیر اختصاص داده شد:

S0 (ECe < 4 dS/m), S1 (ECe = 4-8 dS/m), S2 (ECe = 8-16 dS/m), S3 (ECe=16-32 dS/m), S4 (ECe>32dS/m)

این کلاس‌ها به‌صورت قراردادی به‌ترتیب خاک‌های غیرشور (S0)، با شوری کم (S1)، متوسط (S2)، زیاد (S3) و شدیداً شور (S4) نام‌گذاری شدند و پس از آن نقشه پوشش زمین با تأکید بر شوری خاک‌ها در نرم‌افزار ایلویس نسخه ۴/۳ برای بررسی‌های مدنظر تولید شد.

وسعت این منطقه ۸۰۶۲ هکتار و ارتفاع آن از ۱۵۵۷ تا ۱۶۹۷ متر متغیر است. میانگین بارندگی سالانه و درجه حرارت به‌ترتیب ۳۳۰ میلی‌متر و ۱۸/۴ درجه سانتی‌گراد است. واحدهای فیزیوگرافی منطقه مورد مطالعه، دشت دامنه‌ای و پلایاست که راسته‌های خاک انتی‌سول، اینسیتی‌سول و اریدی‌سول در آنها قرار دارد (حسن‌شاهی، ۱۳۷۰).

## ۲-۲- داده‌های سنجش از دور

تصاویر مربوط به مطالعات سنجش از دور از سنجنده LISS-III دریافت شد که اندازه پیکسل‌های آنها، ۲۴ در ۲۴ متر و باندهای طیفی آن ۲، ۳، ۴ و ۵ و نام آنها به‌ترتیب سبز (۰/۵۹-۰/۵۲ میکرومتر)، قرمز (۰/۶۸-۰/۶۲ میکرومتر)، مادون قرمز نزدیک (۰/۸۶-۰/۷۷ میکرومتر) و مادون قرمز میانی (۱/۷-۱/۵۵ میکرومتر) است. تصاویر مرتبط با ۹ نقطه کنترلی و با استفاده از معادله درون‌یابی دوخطی درجه دوم<sup>۱</sup> در نرم‌افزار ایلویس نسخه ۴/۳ زمین مرجع شدند. پس از این عملیات، مقدار جذر میانگین مربعات خطا<sup>۲</sup>، ۰/۱۶۵ به دست آمد.

## ۲-۳- طبقه‌بندی تصویر

به‌منظور تهیه نقشه شوری، تصاویر با استفاده از روش نظارت‌شده<sup>۳</sup> و با الگوریتم حداکثر احتمال مشابهت طبقه‌بندی شدند. بدین‌منظور ۱۰ کلاس پوشش زمین، خاک‌های با شوری کمتر از ۴ دسی‌زیمنس برمتر، غیرشور و با بازتاب متفاوت از N3 روی تصویر<sup>۴</sup> (N1)، خاک‌های با شوری کمتر از ۴ دسی‌زیمنس برمتر، غیرشور و دارای کلوخه‌های ناشی از عملیات خاک‌ورزی<sup>۵</sup> (N2)، خاک‌های با شوری کمتر از ۴ دسی‌زیمنس برمتر، غیرشور و با بازتاب متفاوت از N1 روی تصویر<sup>۶</sup> (N3)، خاک‌های با شوری ۴-۸ دسی‌زیمنس برمتر، دارای شوری کم<sup>۷</sup> (L)، خاک‌های با شوری ۱۶-۸ دسی‌زیمنس برمتر و دارای کاه و کلش، شوری متوسط<sup>۸</sup> (M)، خاک‌های با شوری ۳۲-۱۶

1. Second Order Bilinear
2. Root Mean Square Error (RMSE)
3. Supervised Classification (Scl)
4. EC < 4 dS/m: Non Saline Soils (Green)
5. EC < 4 dS/m: Soils with large Clods in Ploughed Areas
6. EC < 4 dS/m: Non Saline Soils (Gray)
7. EC = 4-8 dS/m: Low Saline Soils
8. EC = 8-16 dS/m: Soils with Residual of the Straw
9. EC = 16-32 dS/m: High Saline Soils
10. EC > 32dS/m: Severe Saline Soils with Black Crusts
11. EC > 32dS/m: Severe Saline Soils with White Crusts
12. Plant Cover
13. Mountains

#### ۲-۴- محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی

به منظور به حداقل رساندن تأثیر خصوصیات خاک بر پوشش گیاهی، از ضرایب  $a$  و  $b$  خط خاک در محاسبه برخی از شاخص‌های پوشش گیاهی استفاده شد. پس از انتخاب ۱۰۰ نقطه در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک مربوط به نواحی بایر یا خاک لخت، معادله خط خاک با مدل رگرسیون توانی - به دلیل ضریب تبیین بالاتر - محاسبه شد و ضرایب  $a$  و  $b$  استخراج گردید. این مدل به صورت رابطه (۱) تبیین شد:

$$Y = aX^b \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن  $a$  برابر با 0.663 و  $b$  برابر با 1.024 است. سپس از این ضرایب در محاسبه شاخص‌ها استفاده شد. شاخص‌های پوشش گیاهی بررسی شده عبارت بودند از NDVI، PVI و MDVI که در ادامه معرفی شده‌اند.

$$\text{NDVI} = \text{NIR} - R / \text{NIR} + R \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{WDVI} = \text{NIR} - a.R \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\text{PVI} = \text{NIR} - (a.R + b) / (1 + a^2)^{0.5} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در معادلات فوق، NDVI شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده<sup>۱</sup>، NIR باند مادون قرمز نزدیک، R باند قرمز، WDVI شاخص گیاهی اختلاف وزن دار شده<sup>۲</sup> و PVI شاخص گیاهی قائم<sup>۳</sup> است. سپس ضریب همبستگی بین مقادیر این شاخص‌ها و داده‌های شوری (۱۲۲ داده) ارزیابی شد. لازم به ذکر است که ۱۵ درصد از ۱۴۳ داده اندازه‌گیری شده که تقریباً ۲۱ مکان را شامل می‌شد، به عنوان نقاط کنترلی زمین و به منظور برآورد خطای تخمین شوری در مدل رگرسیون کنار گذاشته شدند و در محاسبات نیامدند. به منظور یکسان بودن تعداد داده‌های استفاده شده در تخمین‌ها، هم در ارزیابی شاخص‌های گیاهی و هم در روش کریجینگ از مقادیر ۱۲۲ نقطه باقی‌مانده برای برآوردها استفاده شد.

#### ۲-۵- مدل‌های رگرسیونی مبتنی بر داده‌های

##### سنجش از دور و مقادیر شوری خاک

به منظور تخمین شوری خاک سطحی با سه مدل رگرسیونی خطی، توانی و نمایی، یک شبکه

نمونه‌برداری ۷۵۰ در ۷۵۰ متر روی تصویر ماهواره‌ای اضافه شد. سپس ۱۲۲ نقطه برای بررسی ارتباط همبستگی بین داده‌های شوری و مقادیر رقومی (DN) متناظرشان روی پیکسل‌های تصویر انتخاب شدند. مقادیر رقومی تصویر باند ۲ به عنوان متغیر مستقل و داده‌های ECE مربوط به عمق ۵-۰ سانتی‌متر به عنوان پارامتر وابسته در مدل‌های رگرسیونی در نظر گرفته شد. ۲۱ نقطه کنترلی یعنی حدود ۱۵ درصد از ۱۴۳ نقطه نمونه‌برداری شده، برای آزمون مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت و سپس با محاسبه جذر میانگین مربعات خطا (RMES)، مقادیر واقعی و تخمینی شوری ارزیابی شد. در معادله برآورد خطای تخمین (RMSE)، ECE به معنی مقادیر اندازه‌گیری شده و  $ECE^*$  مقادیر تخمینی و  $N$  تعداد نقاط کنترلی است.

رابطه (۵)

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [ECE(x_i) - ECE^*(x_i)]^2}$$

#### ۲-۶- روش کریجینگ معمولی

به منظور تهیه نقشه تخمین شوری، از ۱۲۲ داده اندازه‌گیری شده روی گره‌های شبکه که به صورت منظم از ۱۴۳ نقطه روی یک شبکه ۷۵۰ در ۷۵۰ متر نمونه‌برداری شده بود، در تخمین گر کریجینگ استفاده شد. در پژوهش حاضر، پیش از تخمین نقاط، ساختار مکانی داده‌های شوری با نیم تغییرنمای تجربی  $\hat{r}(h)$  ارائه شده در رابطه (۶) ارزیابی شد.

رابطه (۶)

$$\hat{r}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (ECE(x_i) - ECE(x_i + h))^2$$

در این معادله،  $ECE(x_i)$  مقادیر شوری خاک اندازه‌گیری شده در نقاط  $x_i$  و  $x_i+h$  و  $N$  تعداد جفت نقاط تفکیک شده با فاصله‌ای مشخص به نام  $h$  است که

1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Weighted Difference Vegetation Index
3. Perpendicular Vegetation Index

### ۳- نتایج

#### ۳-۱- خلاصه آماری مقادیر شوری

بیشترین مقدار شوری در منطقه مطالعه شده ۱۶۶ دسی‌زیمنس بر متر است که در پوسته‌های نمکی سیاه‌رنگ نزدیک دریاچه مشاهده شد و حداقل آن ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر است، که در زمین‌های تحت عملیات خاک‌ورزی دارای کلوخه وجود داشت. مقدار کجی<sup>۶</sup> ۲/۲۷ نشان داد که داده‌ها توزیع نرمال ندارند. هرچه این مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده نرمال‌تربودن داده‌هاست و اگر بین ۱ و ۱- باشد می‌توان گفت داده‌ها به توزیع نرمال نزدیک‌اند (Lopez-Granados et al., 2005).

#### ۳-۲- خلاصه آماری مقادیر رقومی

خلاصه آماری مقادیر رقومی متناظر با داده‌های شوری یعنی ۱۲۲DN و ۱۲۲ECE نشان داد حداکثر مقدار DN، ۲۰۸ است که مربوط به باند ۲ بود و در پوسته‌های سفیدرنگ مجاور دریاچه بعد از پوسته‌های تیره‌رنگ مشاهده گردید. حداقل مقدار DN، ۷۶ و مربوط به باند ۵ و در زمین‌های زیر کشت بود.

#### ۳-۳- تخمین مقادیر شوری با استفاده از

##### مدل‌های رگرسیونی

ضرایب همبستگی بین مقادیر رقومی باندهای تصویر و داده‌های شوری خاک محاسبه شد. بالاترین ضریب همبستگی بین داده‌های شوری و مقادیر رقومی، ۰/۴۵ بود که به باند ۲ طیف مرئی تعلق داشت و کمترین آن ۰/۰۶ نیز در باند ۵ مشاهده شد. باندهای ۳ و ۴ نیز به ترتیب همبستگی ۰/۲۸ و ۰/۱۳ را در این خصوص نشان دادند.

لگ یا گام را نشان می‌دهد. مدل کروی برازش داده‌شده به نیم‌تغییرنما مطابق با رابطه (۷) است که در آن  $a$  دامنه<sup>۱</sup> و  $c$  آستانه<sup>۲</sup> نامیده می‌شود.

رابطه (۷)

$$\hat{r}(h) = \begin{cases} C \left\{ \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^2 \right\} & h \leq a \\ C & h > a \end{cases}$$

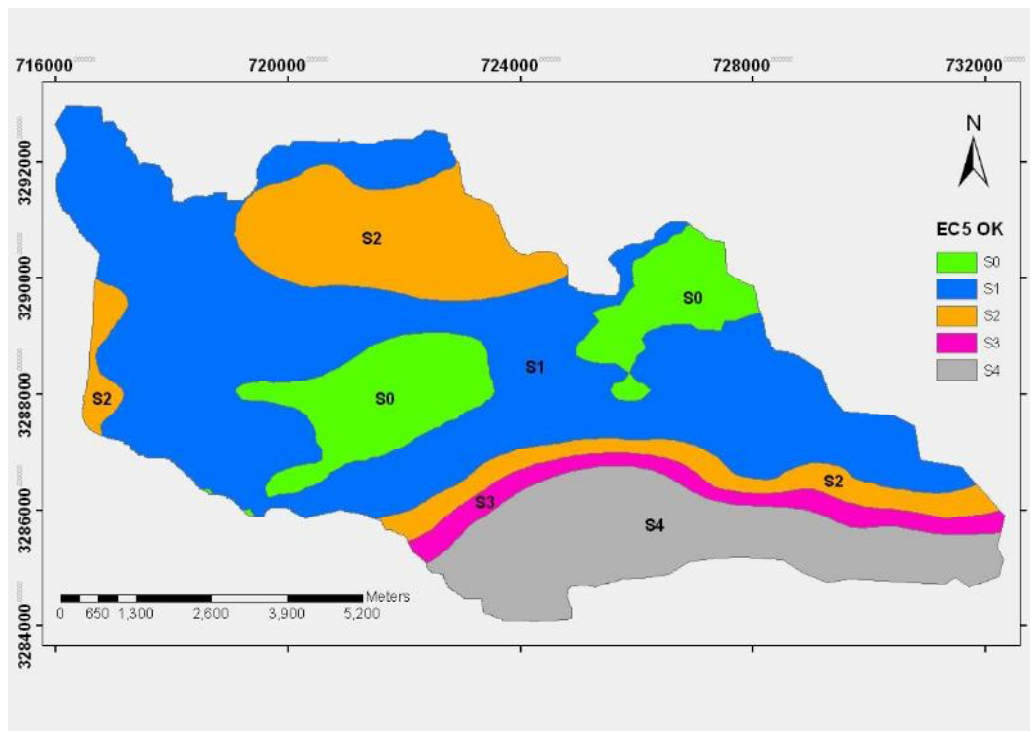
به منظور بیان درجه وابستگی مکانی متغیر شوری، از نسبت اثر قطعه‌ای<sup>۳</sup> به آستانه استفاده شد. اگر این نسبت کوچک‌تر از ۲۵ درصد باشد، متغیر دارای وابستگی مکانی قوی است و اگر بزرگ‌تر از ۷۵ درصد باشد، وابستگی مکانی از نوع ضعیف و در حالت بینابین (۷۵-۲۵ درصد) از نوع متوسط است (Cambardella and Karlen, 1994). زمانی که نسبت مذکور ۱۰۰ درصد باشد، شیب نیم‌تغییرنما به صفر نزدیک می‌شود و متغیر فاقد همبستگی مکانی است. پس از بررسی همبستگی مکانی، از روش کریجینگ معمولی<sup>۴</sup> (OK) در رابطه (۸) به منظور تخمین نقاط فاقد اطلاعات استفاده شد.

رابطه (۸)

$$ECe^*OK(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i ECe(x_i)$$

در معادله (۸)،  $ECe^*$  مقادیر شوری عصاره اشباع در مکان‌های اندازه‌گیری نشده  $(x_0)$ ،  $ECe$  مقادیر اندازه‌گیری شده شوری عصاره اشباع در مکان‌های مشخص  $(x_i)$ ،  $\lambda_i$  وزن هر نقطه،  $n$  تعداد نمونه‌ها و منظور از علامت OK روش کریجینگ معمولی است. سپس به منظور تولید نقشه نهایی تخمین، کلاس‌های شوری  $S_0, S_1, S_2, S_3$  و  $S_4$  همان‌گونه که در روش طبقه‌بندی نظارت‌شده بیان گردید، نام‌گذاری شدند. صحت داده‌های تخمینی، با استفاده از ارزیابی تقاطعی<sup>۵</sup> و پارامتر جذر میانگین مربعات خطا بررسی شد.

1. Range
2. Sill
3. Nugget Effect
4. Ordinary Kriging (OK)
5. Cross Validation
6. Skewness



شکل ۲. نقشه شوری حاصل از روش کریجینگ معمولی

#### ۳-۴- تخمین شوری با استفاده از روش کریجینگ معمولی

چولگی مقادیر  $EC_e$ ، که  $2/27$  به دست آمد، نرمال نبودن  $122$  داده را نشان داد. بنابراین تبدیل لگاریتمی روی این مقادیر انجام شد و مقدار چولگی به عدد  $0/74$  کاهش یافت. پس از این مرحله، نیم‌تغییرنماهای تجربی در گام  $750$  متر در جهت‌های گوناگون ترسیم شد و وضعیت همسان‌گردی یا عدم‌همسان‌گردی آنها مورد بررسی قرار گرفت. در محدوده مطالعه‌شده، شرایط ناهمسان‌گردی وجود داشت. نیم‌تغییرنمای رویه‌ای نشان داد که داده‌های شوری در جهت غرب به شرق بالاترین وابستگی مکانی را داشتند. سپس یک مدل کروی به نیم‌تغییرنماهای تجربی به منظور تحلیل مکانی داده‌های شوری برآزش داده شد. نتایج مدل کروی برآزش داده‌شده نشان دادند شعاع تأثیر بزرگ  $8868$  و شعاع تأثیر کوچک  $4867$  متر است. سپس با  $20$

از آنجا که مقادیر رقمی باند  $2$  بالاترین ضریب همبستگی را با مقادیر شوری داشتند، در مدل‌های رگرسیونی از مقادیر این باند به منظور تخمین ویژگی شوری استفاده شد. مدل رگرسیون خطی، بالاترین ضریب تبیین ( $R^2$  برابر با  $0/21$ ) را در مقایسه با مدل نمایی و توانی که به ترتیب ضرایب  $0/18$  و  $0/16$  داشتند، ارائه کرد. بنابراین از مدل رگرسیون خطی برای تخمین شوری استفاده شد و سپس با استفاده از  $21$  نقطه کنترلی آزمون گردید.  $RMSE$  این روش تخمینی،  $162$  به دست آمد. ضرایب همبستگی منفی و پایین نیز بین داده‌های شوری و شاخص‌های پوشش گیاهی مشاهده شد. بهترین همبستگی،  $-0/37$  است که متعلق به  $WDVI$  بود. در مورد دو شاخص  $PVI$  و  $NDVI$ ، مقادیر ضریب همبستگی به ترتیب  $-0/36$  و  $-0/34$  به دست آمد. همبستگی‌های منفی بدین معنی است که مقادیر شوری بالاتر با پوشش گیاهی ضعیف‌تر با مقادیر شاخص پوشش گیاهی کمتر تطابق دارند.

۳-۵- تخمین شوری خاک مبتنی بر داده‌های

سنجنده LISS-III

تحلیل طیفی نشان داد که کلاس خاک‌های با شوری کم دارای ECe برابر با ۸-۴ دسی‌زیمنس برمتر و خاک‌های با شوری متوسط با ECe برابر با ۱۶-۸ دسی‌زیمنس برمتر و دارای بقایای کاه و کلش تداخل طیفی داشتند، در حالی که سایر کلاس‌ها به خوبی از یکدیگر تفکیک شدند. پس از تحلیل طیفی، پیکسل‌های آموزشی به روش حداکثر احتمال مشابهت طبقه‌بندی شدند و سپس نقشه پوشش زمین تهیه شد. به منظور ارزیابی صحت طبقه‌بندی، نقشه پیکسل‌های کنترلی مطابق با نام کلاس‌های مربوط به پیکسل‌های آموزشی فراهم شد و نتایج تلاقی پیکسل‌های آموزشی و آزمایشی (پیکسل‌های تست یا کنترلی) در جدول ماتریس خطا (جدول ۱) ارائه شد.

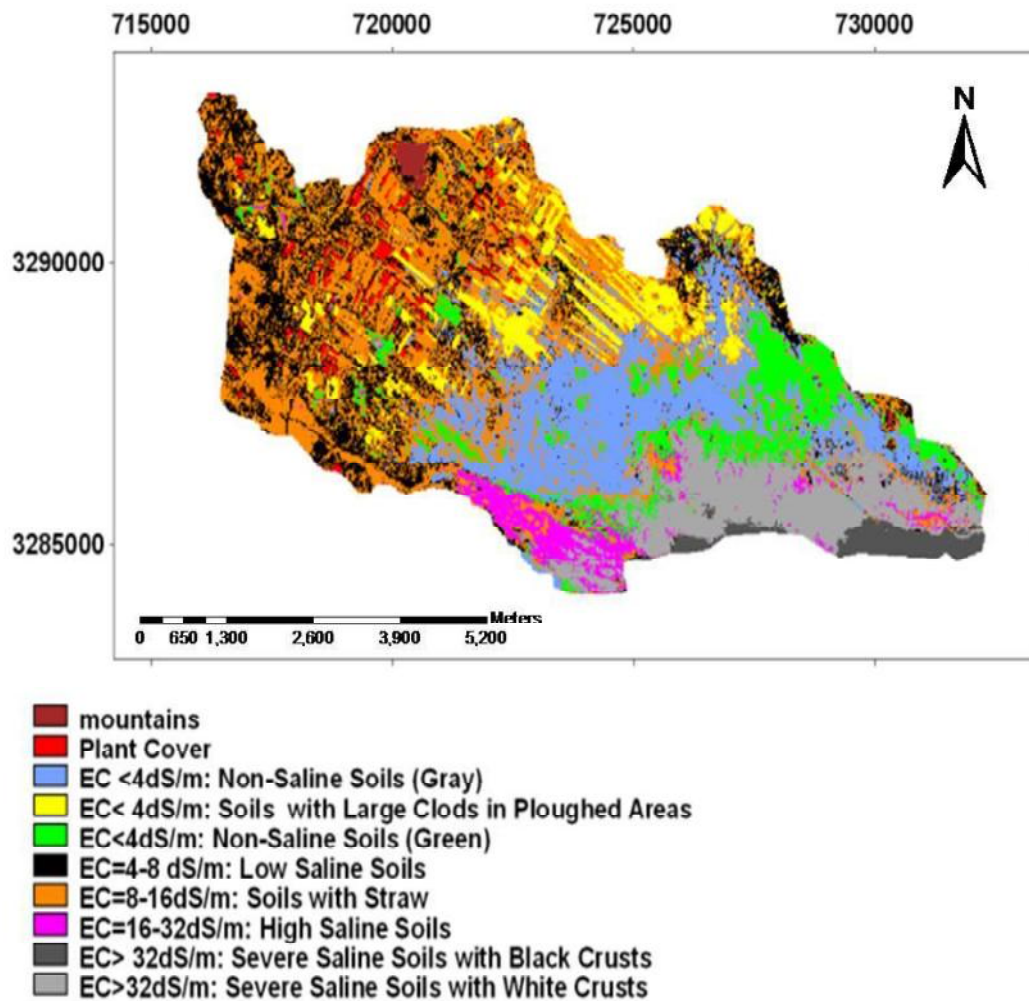
همسایه، مقادیر ECe به روش کریجینگ معمولی میان‌یابی گردید. در ارزیابی تقاطعی داده‌ها در این روش، جذر میانگین مربعات خطا ۲۸ به دست آمد. حاصل مقدار نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه ۳۸ بود که نشان داد وابستگی مکانی داده‌های شوری محدوده مطالعه شده از نوع متوسط است. نقشه شوری منتج از روش کریجینگ معمولی (شکل ۲) نشان داد که بیشترین خاک‌های تحت تأثیر نمک ( $S_4$   $ECe > 32dS/m$ ) در قسمت جنوبی منطقه (نزدیک دریاچه) واقع شده‌اند. درصد کلاس‌های شوری  $S_1$  و  $S_2$ ،  $S_3$ ،  $S_4$  در روش OK به ترتیب ۱۶، ۴/۲، ۱۷/۴ و ۴۹/۹ به دست آمد. سایر خاک‌های محدوده مطالعه شده از نوع غیرشور یعنی  $S_0$  و مقدار آن ۱۲/۵ درصد برآورد شد.

جدول ۱. ماتریس خطا در روش طبقه‌بندی نظارت شده (Scl)

Ground Truth	Classification Results													
	m	P	N1	N2	N3	L	M	H	Sw	Sb	Total	ACC	OM.E	
m	۸۵										۸۵	۱	۰	
P		۷۶									۷۶	۱	۰	
N1			۱۱۲								۱۱۲	۱	۰	
N2				۸۷		۲					۸۹	۰/۹۸	۰/۰۲	
N3					۱۰۲	۱	۷				۱۱۰	۰/۹۳	۰/۰۷	
L			۱	۱	۳	۴۶	۲۵				۷۶	۰/۶۱	۰/۳۹	
M					۱	۲۲	۸۰				۱۰۳	۰/۷۸	۰/۲۲	
H			۳					۱	۷۶		۸۰	۰/۹۵	۰/۰۵	
Sw									۹۸		۹۸	۱	۰	
Sb										۱۰۵	۱۰۵	۱	۰	
Total	۸۵	۷۶	۱۱۶	۸۸	۱۰۶	۷۱	۱۱۳	۷۶	۹۸	۱۰۵	۹۳۴			
Rel	۱	۱	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۶۵	۰/۷۱	۱	۱	۱				
CoE	۰	۰	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۳۵	۰/۲۹	۰	۰	۰				



ارزیابی مدل رگرسیون، روش کریجینگ و طبقه‌بندی نظارت‌شده داده‌های سنجنده LISS-III در برآورد شوری خاک



شکل ۳. نقشه شوری منتج از طبقه‌بندی نظارت‌شده داده‌های سنجنده LISS-III

(S4) در جنوب محدوده مطالعه شده - نزدیک دریاچه - در خاک‌های بایر واقع شده‌اند. طبقه‌بندی نظارت‌شده داده‌های سنجنده LISS-III کمترین درصد (۳) را به کلاس S3 و بالاترین آن (۳۴/۳۵) را به کلاس S0 دارای شوری ۰-۴ دسی‌زیمنس برمتر اختصاص داد. درصد کلاس‌های S4، S2 و S1 نیز در این روش به ترتیب ۱۳/۵۱، ۳۰ و ۱۶ به دست آمد.

صحت کاربر (Rel) کلاس‌های S1(L) و S2(M) پایین و به ترتیب ۰/۶۵ و ۰/۷۱ به دست آمد. خطاهای حذف<sup>۱</sup> در این دو کلاس (L و M) به ترتیب ۰/۳۵ و ۰/۲۹ محاسبه شدند. سایر کلاس‌ها صحت کاربر بالایی داشتند (۱ یا نزدیک به ۱).

در این طبقه‌بندی، صحت نقشه‌بردار، صحت کاربر، صحت کلی و شاخص کاپا به ترتیب ۹۲/۳۷، ۹۲/۷۲، ۹۲/۸۳ و ۹۲ درصد نتیجه شد. نقشه شوری منتج از داده‌های سنجنده LISS-III (شکل ۳)، نشان داد که اغلب خاک‌های با شوری بالا (Sb و Sw) مطابق با کلاس

1. Commission Error (CoE)

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

##### ۴-۱- مدل رگرسیون

در پژوهش حاضر، روابط بین مقادیر رقومی داده‌های سنجنده LISS-III و داده‌های شوری خاک سطحی بررسی شد. نتایج نشان می‌دهند که در شوری‌های کمتر از ۱۰ دسی‌زیمنس برمتر نیز مقادیر رقومی به ۱۰۰ تا ۱۵۰ و حتی بالاتر رسیدند. دلیل اصلی چنین مقادیر بالایی از DN به‌رغم شوری کم، وجود درصد سیلت (۶۵-۹۲) و کربنات کلسیم (۶۵-۹۲) روی سطوح خاک‌های مطالعه‌شده بود. خاک‌های دارای این اجزا می‌توانند انعکاس بالایی نظیر خاک‌های با غلظت نمک بالا داشته باشند (Metternicht and Zinck, 2003). مدل‌های رگرسیونی در برآورد داده‌های شوری بیش تخمینی داشتند (همه مقادیر شوری تخمینی بیش از ۱۵۰ دسی‌زیمنس برمتر به‌دست آمدند) ضمن آنکه خطای بالایی نیز نشان دادند (RMSE برابر با ۱۶۲). براساس مدل رگرسیونی، تمامی ۲۱ نقطه کنترلی به‌عنوان خاک‌های شدیداً شور (بیش از ۳۲ دسی‌زیمنس برمتر) طبقه‌بندی شدند. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهند که براساس همبستگی بین مقادیر رقومی تصاویر ماهواره‌ای و شوری خاک، نمی‌توان نتایج رضایت‌بخشی به‌منظور تخمین شوری و تهیه نقشه مربوط به آن به‌دست آورد. در محدوده مطالعه‌شده، شاخص‌های پوشش گیاهی نیز همبستگی ضعیفی با مقادیر شوری نشان دادند. دوآئویی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۶) از تصویر SPOT XS به‌منظور برقراری ارتباط بین مقادیر EC اندازه‌گیری‌شده روی زمین و مقادیر شاخص شوری استخراج شده از پیکسل‌های متناظر استفاده کردند. این پژوهشگران کم‌برآوردی بسیار شدیدی را در نواحی با شوری بزرگ‌تر از ۱۶ دسی‌زیمنس برمتر گزارش کردند.

۳۲ دسی‌زیمنس برمتر، تا فاصله ۳ کیلومتری از ساحل دریاچه قرار دارند. مقادیر شوری با فاصله‌گرفتن از دریاچه کاهش و در مرکز دشت در زمین‌های کشاورزی افزایش می‌یابند. این افزایش شوری در زمین‌های کشاورزی ممکن است در اثر مدیریت غلط منابع آبی باشد. کافارلی و پلیس<sup>۲</sup> (۲۰۰۸)، توزیع مکانی داده‌های شوری را بررسی کردند. تخریب آب زیرزمینی را به فعالیت‌های انسانی - به‌عنوان عامل ثانویه - نسبت دادند. نقشه منتج از روش به‌کار برده‌شده در پژوهش آنها نشان داد که ۱۶ درصد از کل ناحیه در کلاس شوری S4 (ECC < ۳۲ دسی‌زیمنس برمتر) قرار دارد. در مطالعه حاضر، پس‌روی آب دریاچه باعث افزایش پوسته‌های نمکی و گسترش خاک‌های باکلاس شوری S3 و S4 نزدیک دریاچه شده است. کلاس S2 عمدتاً در شمال منطقه (زمین‌های کشاورزی) وجود داشت. مقایسه زمین‌های با کلاس شوری S2 و اراضی همجوار با کلاس شوری S1 وجود نمک روی سطح این خاک‌ها را نشان می‌دهد که می‌تواند به علت مدیریت منابع آب و خاک باشد. نقشه شوری نشان می‌دهد که خطر شور شدن خاک‌ها در اثر سوءمدیریت در بخش‌های شمال شرقی و شمال غربی محدوده مطالعه‌شده وجود دارد. والتر<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۱) نیز در الجزایر از روش کریجینگ به‌منظور تهیه نقشه شوری استفاده کردند و به شناسایی مناطق خطر پرداختند.

##### ۴-۳- داده‌های سنجش از دور

زبری و رطوبت از دلایل عمده کاهش بازتاب در پوسته‌های نمکی محدوده مطالعه‌شده بودند. در فصل تابستان که رطوبت خاک خیلی کم است، وجود خاک‌های شور با رنگ روشن را راحت‌تر می‌توان تشخیص داد (Metternicht and Zinck, 2003). افزون

##### ۴-۲- روش کریجینگ معمولی

نقشه شوری منتج از روش کریجینگ معمولی (شکل ۲) نشان می‌دهد که نواحی با مقادیر شوری بزرگ‌تر از

1. Douaoui  
2. Cafarelli and Pollice  
3. Walter

خاک‌ها به‌سختی انجام شد و این موضوع نقطه‌ضعفی برای این روش قلمداد می‌شود. نویسندگان پژوهش حاضر به این موضوع آگاهی دارند که سازوکار و پارامترهای این دو تکنیک با یکدیگر متفاوت‌اند. بنابراین با توجه به اینکه برای مثال روش کریجینگ معمولی مبتنی بر داده‌های زمینی است و در داده‌های سنجش از دور معمولاً از داده‌های ماهواره‌ای و زمینی استفاده می‌شود، انتظار تفاوت در تخمین‌های ناشی از این دو روش وجود داشت. نقشه‌های تولیدشده وسعت شوری را در خاک‌های اطراف دریاچه طشک و بختگان نشان دادند. مدل رگرسیون، ۱۰۰ درصد محدوده مطالعه‌شده را شور برآورد کرد و نقشه منتج از روش کریجینگ، ۸۷/۶ درصد از خاک‌های منطقه را به‌عنوان خاک شور با شوری  $< 4$  دسی‌زیمنس برمتر طبقه‌بندی کرد؛ درحالی‌که طبقه‌بندی نظارت‌شده داده‌های سنجنده LISS-III، ۶۲/۵ درصد از خاک‌ها را شور تشخیص داد. خاک‌های با شوری بیش از ۳۲ دسی‌زیمنس برمتر در پوسته‌های نمکی مجاور دریاچه مشاهده شد. عقب‌نشینی دریاچه به علت کاهش بارندگی در سال‌های اخیر از دلایل عمده این شوری بالا بود. خاک‌های با شوری متوسط در بخش شمالی محدوده مطالعه‌شده قرار داشت، که به نظر می‌رسد مدیریت نامناسب منابع آب و خاک دلیل عمده آن باشد. در روش کریجینگ به تعداد زیادی داده نیاز است تا تخمین‌ها به واقعیت زمینی نزدیک‌تر شوند و این مسئله خود مستلزم صرف زمان و هزینه زیاد است. استفاده از فناوری سنجش از دور هزینه را کاهش می‌دهد ضمن آنکه خاک‌های با شوری‌های زیاد فاقد پوشش گیاهی را به‌خوبی شناسایی می‌کند؛ اما در خاک‌های دارای پوشش گیاهی و شوری‌های کم، تشخیص‌ها همراه با خطاست. بنابراین تعیین ارجحیت یک روش به روش دیگر مشکل است اما به هر حال از آنجا که در روش کریجینگ صرفاً از داده‌های زمینی برای تخمین‌ها استفاده می‌شود، ممکن است برآوردهای دقیق‌تری ارائه کند؛ البته با کار و هزینه بسیار زیاد. بهره‌گیری از مدل‌های رگرسیونی نیز دیدی کلی ارائه

بر این، گسترش پوسته‌های سطحی روی زمین‌های شور بایر، زبری کمی ایجاد می‌کند - همان‌طور که در منطقه مطالعه‌شده نیز این‌گونه بود - و بازتاب خاک افزایش می‌یابد (Douaoui et al., 2006; Metternicht and Zinck, 2003). در خاک‌های غیرشور، ناهموازی ایجادشده در اثر کلوخه‌های بزرگ موجود در زمین‌های تحت عملیات خاک‌ورزی از عوامل مؤثر بر کاهش بازتاب هستند. در شناسایی خاک‌های شور نیز وجود پوشش گیاهی و بقایای کاه و کلش ایجاد خطا می‌کنند. شناسایی خاک‌های با شوری کم و متوسط با مشکلاتی همراه است. مک‌گوون و مالیون (۱۹۹۶) بیش تخمینی نواحی شور را زمانی که از داده‌های سنجنده TM استفاده کردند، دریافتند و دلایل آن را به مدیریت اراضی، پوشش گیاهی بومی و نوع خاک نسبت دادند. از طرف دیگر، پژوهشگرانی نظیر مترنیچ و زینک (۲۰۰۳) کم‌برآوردی خاک‌های تحت تأثیر نمک را به تداخل طیفی بین خاک‌های با شوری کم و خاک‌های غیرشور ارتباط می‌دهند. نقشه منتج از داده‌های سنجنده LISS-III (شکل ۳) نشان داد که مقادیر شوری بزرگ‌تر از ۱۶ دسی‌زیمنس برمتر در اطراف دریاچه وجود داشت و با فاصله از ساحل در مرکز دشت کاهش و مجدداً در زمین‌های کشاورزی افزایش یافت. در هر دو تکنیک طبقه‌بندی نظارت‌شده داده‌های سنجنده LISS-III و روش کریجینگ معمولی در مقادیر درصد کلاس‌های شوری S3 با ۱۶-۳۲ دسی‌زیمنس برمتر و S4 ( $> 32$ ) تفاوت بارزی مشاهده نشد. این موضوع نشان می‌دهد که طبقه‌بندی نظارت‌شده داده‌های سنجنده LISS-III درصد بالاتر برای کلاس S2 مشاهده شد. مشاهده‌های زمینی نشان دادند که بخش‌هایی از ناحیه مطالعه‌شده دارای کاه و کلش بودند. وجود این کاه و کلش می‌تواند بازتاب مشابه با سطوح شور ایجاد کند که این وضعیت احتمالاً دلیل تخمین بالاتر کلاس شوری S2 در طبقه‌بندی نظارت‌شده در مقایسه با روش کریجینگ معمولی است. یکی از مشکلات شناسایی خاک‌ها با طبقه‌بندی نظارت‌شده، تشخیص خاک‌های با شوری کم است که در این پژوهش نیز جداسازی این

- of Igdirepalin (Turkey), *Journal of Arid Environments*, 54, PP. 495-503.
- Cafarelli, B. and Pollice, A., 2008, **Geadditive Models for the Analysis of the Spatial Distribution of Soil Salinity in a Sardinia Coastal Area**, *Environmetrics*, 19, PP. 742-750.
- Cambardella C.A. and Karlen, D.K., 1999, *Spatial Analysis of Soil Fertility Parameters*, *Precision Agriculture*, 1, PP. 5-14.
- Cetin, M. and Kirda, C., 2003, **Spatial and Temporal Changes of Soil Salinity in a Cotton Field Irrigated with Low-quality Water**, *Journal of Hydrology*, 272, PP. 238-249.
- Douaoui, A.E.K., Nicolas, H. and Walter C.H., 2006, **Detecting Salinity Hazards within a Semiarid Context by Means of Combining Soil and Remote Sensing Data**, *Geoderma*, 134, PP. 217-230.
- Farifteh, J., Farshad A. and George R.J., 2006, **Assessing Salt-Affected Soils Using Remote Sensing, Solute Modeling, and Geophysics**, *Geoderma*, 130, PP. 191-206.
- Farifteh, J., Vander Meer F., Vander Meijde M. and Atzberger C., 2008, **Spectral Characteristics of Salt-affected Soil: A Laboratory Experiment**, *Geoderma*, 145, PP. 196-206.
- Fernandez-Buces, N., Siebe C., Cran S. and Palacio J.L., 2006, **Mapping Soil Salinity Using a Combined Spectral Response Index for Bare Soil and Vegetation: A Case Study in the Former Lake Texcoco, Mexico**, *Journal of Arid Environments*, 65, PP. 644-667.

می‌کند و نتایج آن برای تولید نقشه و تفسیرهای بعدی قابل اعتماد نیست. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی ابتدا با تعداد داده محدود و با هزینه کمتر این گونه کارها آغاز شوند و نقش تعداد نمونه در کیفیت تخمین‌ها بررسی شود. از آنجاکه نقشه کیفیت شوری ممکن است با استفاده هم‌زمان انواع گوناگونی از روش‌ها یا تلفیقی از آنها تهیه شود، لازم است تصاویر مختلف با قابلیت‌های متفاوت و همچنین انواع روش‌های کریجینگ را استفاده و ارزیابی کرد. نتیجه اینکه، لازم است رویکردهای مذکور تحت شرایط مختلف و در مکان‌های متفاوت ارزیابی شوند. همچنین می‌بایست نقشه‌های شوری ترکیبی تولید و کیفیت آنها ارزیابی شوند، بدین ترتیب که در محدوده مدنظر، نقشه نواحی دارای پوشش گیاهی - که شوری خاک آنها با تصاویر ماهواره‌ای قابل شناسایی نیست - با استفاده از روش کریجینگ تهیه شود و نقشه شوری خاک‌های بایر نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تهیه گردد، سپس این نقشه‌ها با هم ترکیب و نقشه‌ای واحد تولید شود.

##### ۵- تشکر و قدردانی

تصاویر ماهواره‌ای پژوهش حاضر از سازمان جغرافیایی ارتش جمهوری اسلامی ایران تأمین شده‌اند و نگارندگان از کارشناسان و مسئولان این مرکز به دلیل مساعدت و همکاری‌شان کمال تشکر و قدردانی را دارند.

##### ۶- منابع

حسن‌شاهی، ح.، ۱۳۷۰، *مطالعات خاک‌شناسی نیمه‌تفصیلی دشت‌های سعادت‌شهر، سیوند، سیدان و توابع ارسنجان (استان فارس)*، نشریه فنی ۷۸۱، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

Ardahantiglu, O., Oztas, T., Evren, S., Yilmaz, H. and Yildirim, Z.N., 2003, **Spatial Variability of Exchangeable Sodium, Electrical Conductivity, Soil pH and Boron Content in Salt- and Sodium-Affected Areas**

- Goovaerts, P., 1998, **Geostatistical Tools for Characterizing the Spatial Variability of Microbiological and Physico-chemical Soil Properties**, *Biology and Fertility of Soils*, 27, PP. 315-334.
- Jordan, M., Navarro-Pedreno J., Garcia-Sanchez E., Mateu J. and Juan P., 2004, **Spatial Dynamics of Soil Salinity Under Arid and Semi-arid Conditions: Geological and Environmental Implications**, *Environmental Geology*, 45, PP. 448-456.
- Howari, F.M., Goodeu P.C. and Miyamoto S., 2002, **Spectral Properties of Salt Crusts Formed on Saline Soils**, *J. Environ Qual*, 31, PP. 1453-1461.
- Howari, F.M., 2003, **The Use of Remote Sensing Data to Extract Information from Agricultural Land with Emphasis on Soil Salinity**, *Australian Journal of Soil Research*, 41, PP. 1243-1253.
- Kerry, R. and Oliver M., 2003, **Variograms of Ancillary Data to Aid Sampling for Soil Surveys**, *Precision Agriculture*, 4, PP. 261-278.
- Khan, N., Rastokuev V., Shalina E. and Sato, 2001, **Mapping Salt-affected Soils Using Remote Sensing Indicators- A Simple Approach with the use of GIS IDRISI**, 22nd Asian Congress on Remote Sensing, 5-9 November, Singapore.
- Lopez-Granados, F., Jurado-Exposito M., Penabarragan J.M. and Garcia-Torres L., 2005, **Using Geostatistical and Remotesensing Approaches for Mapping Soil Properties**, *European Journal of Agronomy*, 23, PP. 279-289.
- Manchanda, M. and Iyar H., 1983, **Use of Landsat Imagery and Aerial Photographs for Delineation and Categorization of Salt-affected Soils of Part of North-west India**, *Journal Indian Society Soil Science*, 31, PP. 263-271.
- Masoud, A.A. and Koike K., 2006, **Arial Land Salinization Detected by Remotely-sensed Land Cover Changes: A Case Study in the Siwa Region, NW Egypt**, *Journal of Arid Environments*, 66, PP. 151-167.
- McBratney, A.B., Odeh I.O.A., Bishop T.F.A., Dunbar M.S. and Shatar M., 2000, **An Overview of Pedometric Techniques for Use in Soil Survey**, *Geoderma*, 97, PP. 293-328
- McGown, I. and Mallyon S., 1996, **Detection of Dryland Salinity Using Single and Multitemporal Landsat Imagery**, In: proceedings of the 8th Australian Remote Sensing Conference, Canberra, PP. 26-34.
- McKenzie, N.J. and Ryan P.J., 1997, **Spatial Prediction of Soil Properties Using Environmental Correlation**, *Geoderma*, 89, PP. 67-94
- Metternicht, G.I. and Zinck J.A., 2003, **Remote Sensing of Soil Salinity: Potentials and Constraints**, *Remote Sensing of Environment*, 85, PP. 1-20.
- Metternicht, G., Zinck J.A., 2008, **Remote Sensing of Soil Salinization**, Impact on Land Management, CRC Press.

Moore, I.D., Gessler, P.E., Nielsen G.A., and Peterson G.A., 1993, **Soil Attribute Prediction Using Terrain Analysis**, Soil Science Society of America Journal, 57, PP. 443-452.

Navarro-Pedreno, J., Jordan M.M., Melendes-Poster I., Gomez I. and Juan P., 2007, **Estimation of Soil Salinity in Semi-**

**aridland Using a Geostatistical Model**, Land Degrad, Develop, 18, PP. 339-353.

Walter, C., McBratney A.B., Douaoui A. and Minasny B., 2001, **Spatial Prediction of Topsoil Salinity in the Chelif Valley, Algeria, Using Local Ordinary Kriging with Local Variograms Versus Whole-area Variogram**, Aust. J. Soil Res, 39, PP. 259-27.