

پیش‌بینی شوری خاک با روش رگرسیون چند متغیره بر مبنای شاخص‌های استخراج شده از تصاویر لندست ۸ (مطالعه موردی: ارومیه)

رعنا خالقی^۱، جواد بهمنش^{۲*}، نسرين آزاد^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۱۱)

چکیده

پایش و مدیریت شوری، یکی از مهم‌ترین مسائل کشاورزی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. به‌منظور دستیابی به این هدف، بهره‌گیری از فناوریهای نوین مانند سنجش از دور و GIS اجتناب‌ناپذیر است. بررسی روابط بین پارامترهای مختلف خاک با داده‌های ماهواره‌ای، گامی مؤثر در پیش‌بینی هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک است. در این پژوهش با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره بر اساس روابط بین مؤلفه‌های توپوگرافیک با شاخص‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده لندست ۸، پیش‌بینی هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در دشت ارومیه مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور ابتدا از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک سه سطحی، ۴۰ نمونه در منطقه مطالعاتی برداشت و در آزمایشگاه مقادیر EC مربوط به هر نمونه اندازه‌گیری گردید. پس از انجام پردازش‌های لازم بر روی تصاویر ماهواره‌ای و با تعیین نقاط زمینی بر روی تصاویر، ارزش پیکسل‌های نظیر نقاط زمینی در باندهای مختلف استخراج گردید. در این پژوهش، داده‌ها به دو سری آموزشی (۸۰٪ داده‌ها) و ارزیابی (۲۰٪ داده‌ها) تقسیم شدند. رابطه بین داده‌های ماهواره‌ای و نتایج حاصل از آزمایش‌های خاک منطقه با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره خطی استخراج و دقت مدل با استفاده از فاکتورهای نظیر خطای معیار برآورد، ضریب تعیین تعدیل شده، ضریب دوربین-واتسون و ضریب همبستگی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که برای مدل حاصله معیارهای خطا شامل ضریب همبستگی، خطای معیار برآورد، ضریب تعیین تعدیل شده و ضریب دوربین-واتسون به ترتیب برابر ۷۰/۳٪ در صد، ۱۰/۰۳٪ در صد، ۶۱/۸٪ در صد و ۱/۷۰۹٪ محاسبه شدند. در نهایت مدل بر روی داده‌های آزمون اعمال و برای ارزیابی از مقادیر پارامترهای RMSE، GMER و R^2 استفاده شد که به ترتیب برابر ۰/۳۵۴، ۰/۸۶۷ و ۶۳/۸۲٪ محاسبه گردیدند، که نتایج نشان از کارایی و دقت خوب مدل در پیش‌بینی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای آماری، داده‌های ماهواره‌ای، سنجش از دور، مولفه‌های توپوگرافیک، هدایت الکتریکی خاک

خالقی ر.، جواد بهمنش ج.، آزاد ن. ۱۳۹۸. پیش‌بینی شوری خاک با روش رگرسیون چند متغیره بر مبنای شاخص‌های استخراج شده از تصاویر لندست ۸ (مطالعه موردی: ارومیه). تحقیقات کاربردی خاک، جلد ۷ شماره ۱. ص: ۱۰۸-۱۲۱.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه (مکاتبه کننده)

۳- دانش‌آموخته دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

* پست الکترونیک: j.behmanesh@urmia.ac.ir

مقدمه

استفاده از روش‌های معمول برای بررسی تغییرات شوری خاک در مقیاس بزرگ، گران و زمان‌بر است. بنابراین برای پایش و بررسی روند تغییرات شوری خاک در سطوح گسترده، استفاده از روش‌های جایگزین راحت و ارزان قیمت همواره مورد توجه پژوهشگران می‌باشد. امروزه پیشرفت علوم، قابلیت استفاده از فناوری‌های جدید در دریافت و پردازش داده‌ها از طریق سنجنده‌های سنجش از دور و به‌کارگیری نرم افزارها و سیستم‌های پردازش اطلاعات را فراهم آورده و نقش بارز استفاده از این تکنیک‌ها در مدیریت منابع طبیعی و به ویژه منابع خاک و آب به‌طور روزافزون در حال افزایش می‌باشد. استفاده از روش‌های نوین با هدف کاهش هزینه و افزایش دقت و سرعت در انجام پروژه‌ها صورت می‌پذیرد. داده‌های ماهواره‌ای شامل اطلاعات بسیار سودمند از ویژگی‌های خاک سطحی شامل بافت خاک، مواد معدنی خاک، ماده آلی، شوری و مانند آن می‌باشند. در حال حاضر از این قابلیت داده‌های سنجش از دور و انواع شاخص‌های به دست آمده از ترکیب باندهای مختلف ماهواره‌ها به نحو گسترده‌ای برای پیش‌بینی هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و تهیه نقشه‌های شوری خاک استفاده می‌شود (Alavipanah, 1997). اساس کاربرد این شاخص‌ها تغییرپذیری ویژگی‌های طیفی براساس تغییرپذیری ویژگی‌های خاک است.

خان و همکاران (Khan et al., 2001) به منظور برررسی رابطه شوری خاک و انواع ترکیب باندهای به دست آمده از سنجنده‌های ماهواره‌ها در پاکستان، به ویژه در خاک‌های شور و قلیا، از شاخص‌هایی مانند شاخص تفاوت شوری، شاخص‌های پوشش گیاهی، آنالیزهای PCA و شاخص آب استفاده نمودند. این پژوهشگران با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی نشان دادند که شاخص روشنایی (BI¹)، شاخص شوری (SI²) و شاخص شوری استاندارد شده (NDSI³) بیشترین همبستگی را با درجات شوری در خاک‌های متأثر از نمک دارند. شرایط شور و سدیمی بودن خاک‌های سامانه‌های کشاورزی فاریاب در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیاز به توجه دارد. کاربرد فناوری اطلاعات مانند تهیه نقشه شوری برای دستیابی به

نوعی مدیریت ویژه مکانی، کشاورزی دقیق نامیده می‌شود (Lowenberg & Erickson, 2000). تغییرپذیری مکانی این شرایط، اصلاح خاک را در صورت به‌کاربردن مدیریت‌های ویژه مکانی، مطلوب خواهد نمود (Horney et al., 2005). سامر و همکاران (Sommer et al., 2003)، از داده‌های القاگر مغناطیسی برای تهیه نقشه شوری خاک استفاده کرده و با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره دستگاه را کالیبره کردند. کوکس و همکاران (Cockx et al., 2010) برای ارتباط دادن داده‌های EM (داده‌های دستگاه هدایت سنج) و شوری خاک از شبکه عصبی مصنوعی استفاده کرده و با به‌کارگیری داده‌های پیش‌بینی شده مدل، نقشه شوری خاک را تهیه کردند.

چیت‌ساز و همکاران (ChitSaz et al., 1999)، در تهیه نقشه شوری و قلیائیت خاک با استفاده از داده‌های سنجنده TM ماهواره لندست در شمال شرقی اصفهان، با تجزیه و تحلیل رگرسیونی نشان دادند که باندهای TM4، TM5 و TM6 بهترین همبستگی را با مقادیر هدایت الکتریکی عصاره اشباع نمونه‌های خاک سطحی منطقه مطالعاتی و تغییرات آن داشتند. عبدی‌نام (Abdinam, 2004) با توجه به همبستگی خوب داده‌های زمینی شوری خاک با داده‌های رقومی باندهای 7 سنجنده ETM + ماهواره لندست، از این باند برای تهیه نقشه شوری خاک در دشت قزوین استفاده کرد.

زنوزی و همکاران (Zenouzi et al., 2011) رابطه پوشش گیاهی و EC خاک را در حوزه آبخیز شهرستان مرند پس از تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها بررسی نموده و رابطه معنی‌داری بین پوشش گیاهی و EC خاک به دست آوردند. طی این تحقیق معلوم شد در اطراف مناطق شهری و مسکونی، تراکم پوشش گیاهی با افزایش EC به‌طور چشمگیری کاهش یافته است. تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (Taghizadeh Mehrjardi et al., 2010) در تحقیقی در منطقه اردکان با استفاده از مدل‌های نروفازی، شبکه‌های عصبی، الگوریتم ژنتیک و رگرسیون چندمتغیره، مقادیر شوری در اعماق ۳۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری را برآورد کردند. نتایج ارزیابی مدل‌ها بر اساس شاخص‌های ریشه‌مربعات خطا، میانگین خطا، خطای استاندارد نسبی و ضریب تبیین نشان داد که مدل نروفازی دارای بالاترین

3. Normalized Difference Salinity Index

1. Brightness index
2. Saline Index

اراضی شور با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره در منطقه مورد مطالعه اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دشت ارومیه اجرا گردید. محدوده مورد نظر در مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی در ارتفاع متوسط ۱۳۳۲ متر از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱).

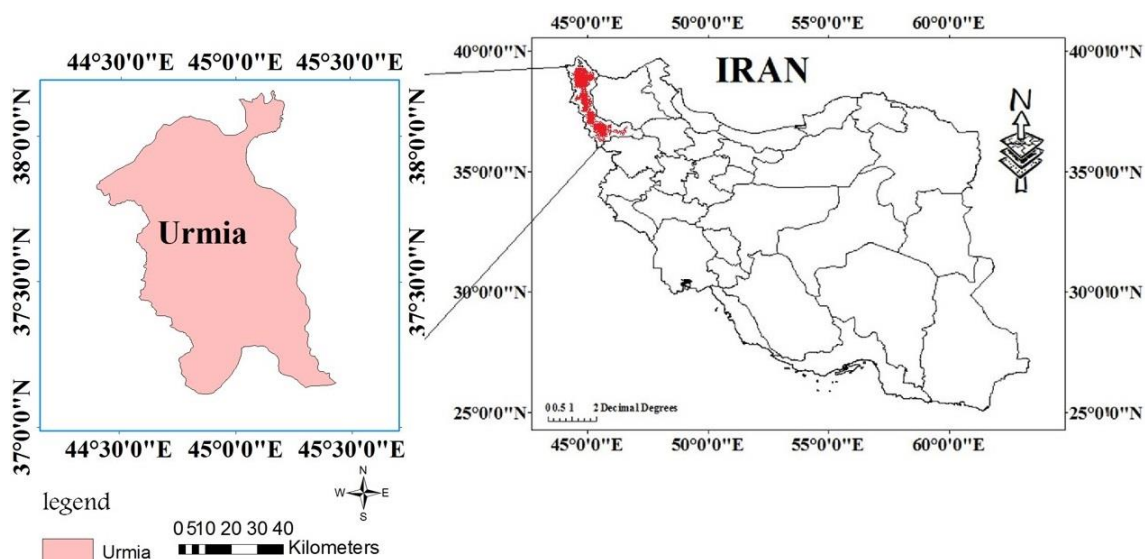
روش کار

عملیات میدانی و نمونه برداری

پس از انتخاب منطقه مورد مطالعه بر اساس تصاویر ماهواره‌ای و بازدید زمینی، برای نمونه‌گیری از خاک سطحی یک شبکه نمونه‌برداری به روش تصادفی بر روی اراضی به مساحت ۲۵۰۰۰ هکتار طراحی و تعداد ۴۰ نمونه خاک برداشت شد. موقعیت مکانی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه GPS در برداشت صحرائی برحسب سیستم متریک یادداشت و ذخیره گردید (شکل ۲). نمونه‌ها از عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک از اراضی با کاربری کشاورزی جمع‌آوری و پس از انتقال به آزمایشگاه در معرض هوا خشک شدند. سپس این نمونه‌ها به روش دستی کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. در مرحله بعد، میزان شوری در عصاره اشباع اندازه‌گیری گردید (Taghizadeh *et al.*, 2010).

دقت در پیش‌بینی ویژگی‌های خاک است. پس از این مدل، الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به معادلات رگرسیونی، کارایی بهتری داشت. اژی‌رابی و همکاران (Azhirabi *et al.*, 2014)، با بررسی همبستگی بین داده‌های به‌دست آمده از تجزیه آزمایشگاهی نمونه‌های خاک و ارزش روشنایی تصاویر دقت شاخص‌های مورد مطالعه، نشان دادند که شاخص‌های شوری SI، بیشترین همبستگی را با داده‌های زمینی دارند.

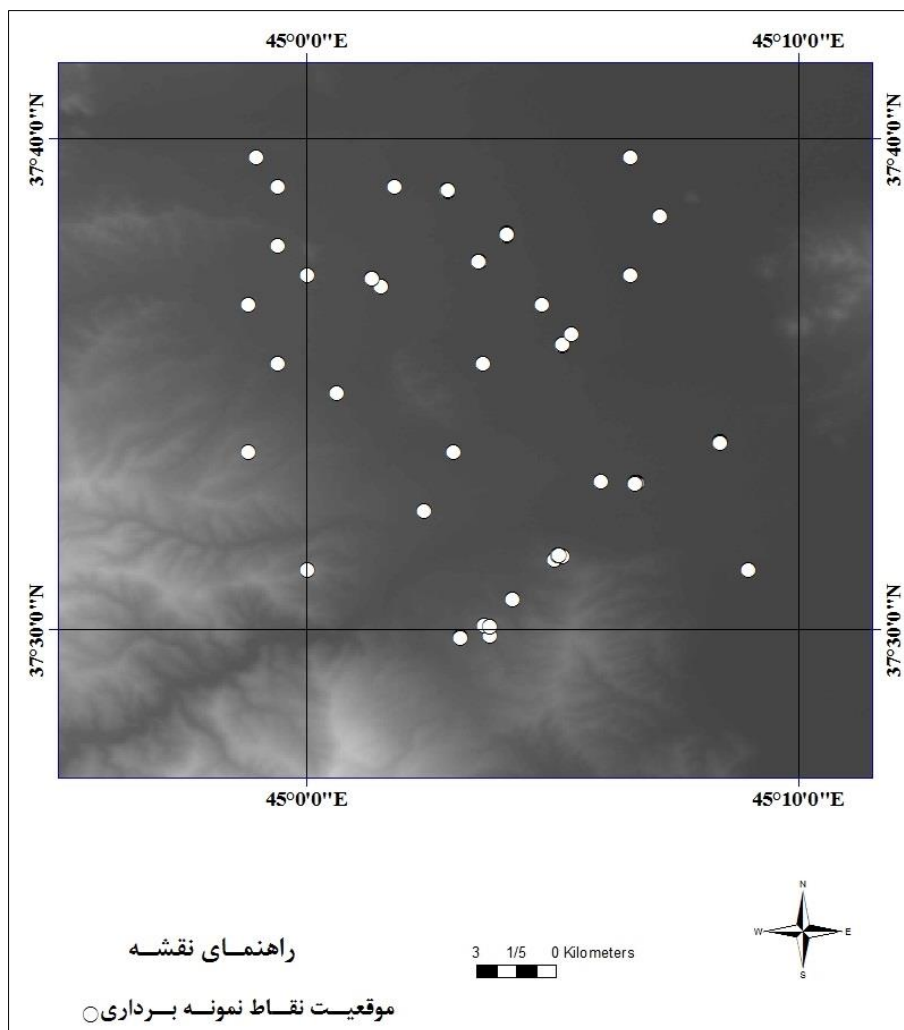
بررسی‌ها نشان می‌دهد که مطالعات زیادی در زمینه وجود همبستگی بین تصاویر ماهواره‌ای مختلف و شاخص‌های طیفی متعدد مربوط به خاک با داده‌های میدانی در سطح کشور و جهان انجام گرفته است (Farifteh *et al.*, 2006) و (Saxena *et al.*, 2003). مطالعات صحرائی و اندازه‌گیری‌های رادیومتر نشان داده است که خاک‌های شور و قلیایی در مقایسه با خاک‌های غیرشور در ناحیه مرئی و مادون قرمز طیف امواج الکترومغناطیس دارای بازتاب طیفی مشخصی هستند که غالباً از آن می‌توان برای تعیین رطوبت و شوری خاک استفاده کرد (Rao *et al.*, 1995). این پژوهش با هدف مقایسه شاخص‌های مختلف و پارامترهای زود یافت خاک به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ از جمله، BI، SI، شاخص پوشش گیاهی^۱، شیب، جهت شیب، ارتفاع و شاخص رطوبتی برای تعیین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و بارزسازی



شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure 1. Geographical location of the study area

1. Normalized Difference Vegetation Index



شکل ۲- موقعیت نقاط نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه

Figure 2. Distribution of soil sampling points in the study area

دیگر مناطق می‌باشد.

شیب^۳، عبارت از نرخ تغییرات ارتفاع است و معمولاً برحسب واحد درجه و یا درصد، اندازه‌گیری و بیان می‌شود. این مشخصه در هیدرولوژی و ژئومورفولوژی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است (شکل ۳- الف) و جهت شیب^۳، عبارت از جهتی است که شیب مورد نظر با آن مواجه است و غالباً به صورت درجه‌ای از شمال توصیف می‌گردد. جهت شیب در حقیقت راستای شیب هر سلول نسبت به سلول همسایه را در ۸ جهت اصلی نشان می‌دهد (شکل ۳- ب). شاخص رطوبتی^۴، گرایش آب را به جمع شدن در هر نقطه از حوضه (بر حسب As) و تمایل نیروهای گرانشی را به انتقال آب به پایین‌دست (بر حسب $\tan\beta$)، به‌عنوان شیب هیدرولیکی

پردازش داده‌ها

برای پیش‌بینی هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، ابتدا تصویر ماهواره لندست ۸ مربوط به ۲۳ ژوئن ۲۰۱۶ با استفاده از رابط Earth Explorer از آرشیو سایت USGS دانلود و از نظر خطای تصویر مورد بررسی قرار گرفت و به‌وسیله تصحیحات هندسی، رادیومتریک و تکنیک بارزسازی تصاویر، پیش‌پردازش‌های لازم انجام و در نهایت تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقاط کنترل زمینی، زمین مرجع^۱ گردید.

در جدول ۱ نحوه ترکیب باندهای مختلف برای ایجاد شاخص‌های مورد نیاز در این پژوهش ارائه شده است. هدف از ترکیب باندها بارزسازی سطح خاک‌های شور از

3. Aspect
4. Wetness Index

1. Georeference
2. Slope

برای انتخاب پارامترهای مؤثر بر تغییرپذیری شوری خاک از تکنیک آنتروپی شانون استفاده گردید (۱).

$$E_j = -K \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (1)$$

که در آن E_{ij} آنتروپی، P_{ij} درایه‌های ماتریس نرمال شده، m نشان‌دهنده تعداد سطرها یا گزینه‌ها و K ضریبی است که با استفاده از رابطه (۲) به دست می‌آید.

$$K = \frac{1}{\ln(m)} \quad (2)$$

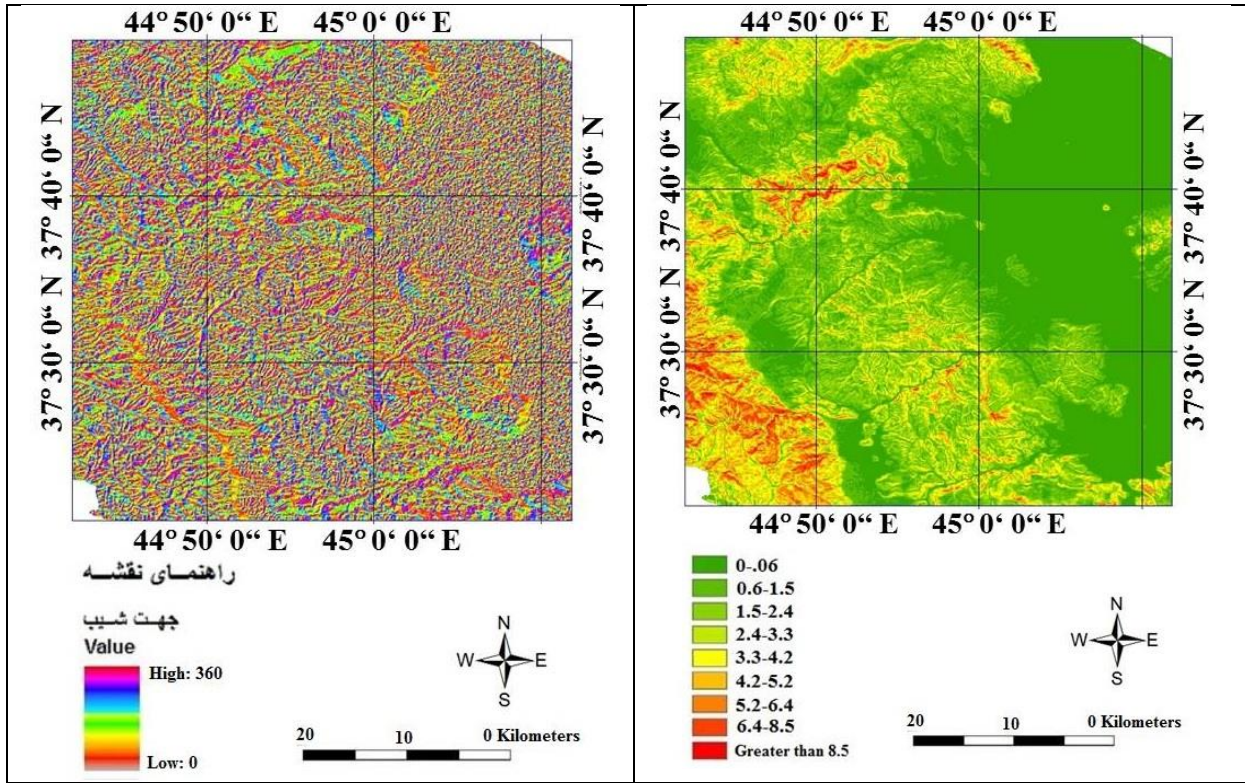
ایده روش فوق این است که هر چه پراکندگی در مقادیر یک شاخص بیشتر باشد، آن شاخص نسبت به دیگر شاخص‌ها، از اهمیت بیشتری برخوردار است. برای اطلاعات بیشتر خوانندگان می‌توانند به (Soleimanidamaneh et al., 2009) مراجعه نمایند. برای رتبه‌بندی ورودی‌ها از نرم افزار EXCEL استفاده شد.

تقریبی) توصیف می‌کند (شکل ۴- الف). شاخص روشنایی (BI)، نواحی با شوری شدید و شوری خفیفی زیاد را با بالاترین ارزش و پوشش گیاهی شاداب و حساس به شوری (باغات میوه) را با کم‌ترین ارزش نمایش می‌دهد، اما به روشنی قادر به تفکیک اراضی غیر شور نیست (شکل ۴- ب). شاخص شوری (SI)، نسبت به شاخص روشنایی با دقت بالاتری نواحی غیرشور را از اراضی شور تفکیک نموده است (Matinfar et al., 2010)، (شکل ۵- الف). NDVI یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای پایش تغییرات پوشش گیاهی است (Binh et al., 2005) که از طریق نسبت گیری باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک به دست می‌آید (Alavipanah, 2012). شاخص NDVI بر پایه این حقیقت که کلروفیل موجود در ساختار گیاهان قادر است نور قرمز را جذب و لایه مزوفیل برگ نور مادون قرمز نزدیک را منعکس سازد، استوار است (Pettorelli et al., 2005)، (شکل ۵- ب).

جدول ۱- ترکیب باندها و شاخص‌های کمکی مورد استفاده در پژوهش

Table 1. Combination of bands and indices used in this study

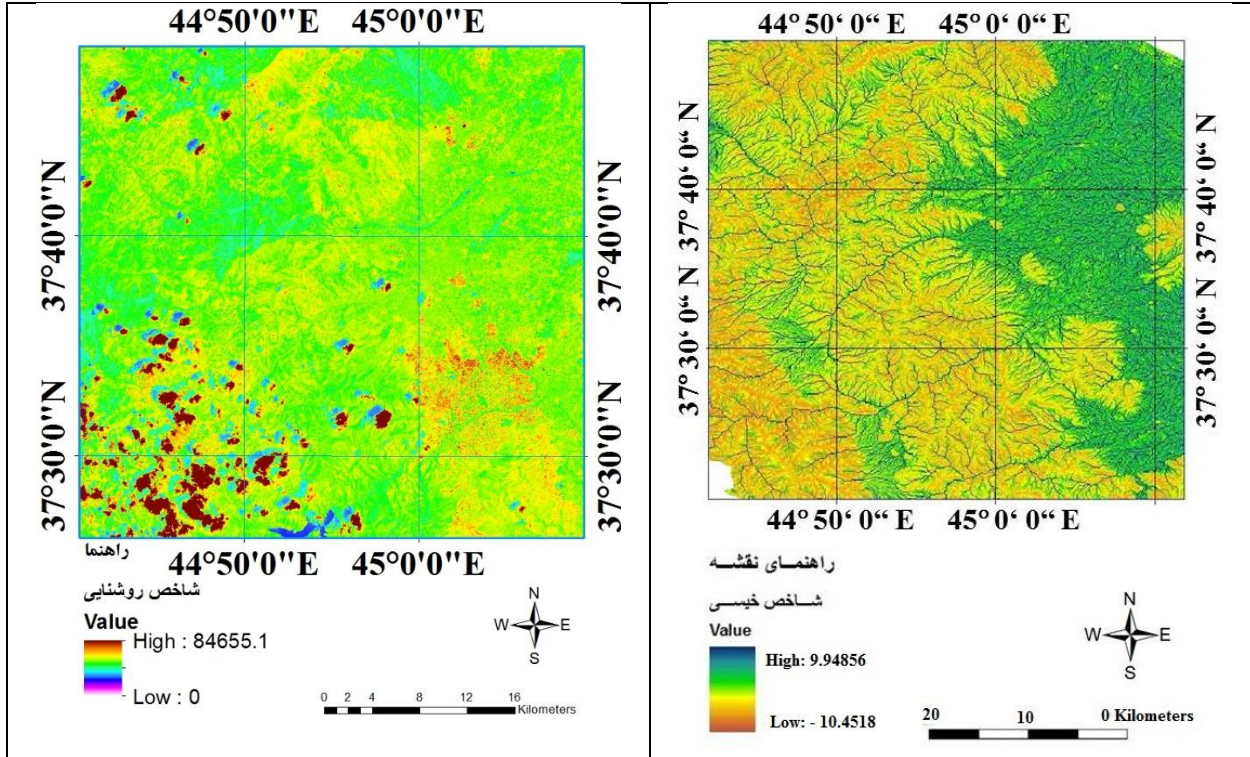
Index	Reference	Formula	Parameters
1	(Hengel et al., 2004)	$SLOPE = \sqrt{H^2 + G^2}$	G & H : Required derivatives to calculate slope and its direction based on DEM network construction
2	(Hengel et al., 2004)	$ASPECT = \arctan\left(\frac{H}{G}\right)$	
3	(Moore & Grayson, 1991)	$WI = \ln\left(\frac{A_s}{\tan \beta}\right)$	A_s : Specific watershed area β : Angle of watershed slope
4	(Zarco-Tejada et al., 2005)	$SI = \sqrt{B_2^2 + B_3^2}$	B_2, B_3, B_4 : Numerical values of the elevation information for 2, 3, and 4 bands
5	(Gao, 1996)	$BI = \sqrt{B_3^2 + B_4^2}$	
6	(Allison, 1989)	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	NIR: Near-infrared spectrum RED: Reflection in red band



Aspect - ب

Slope - الف

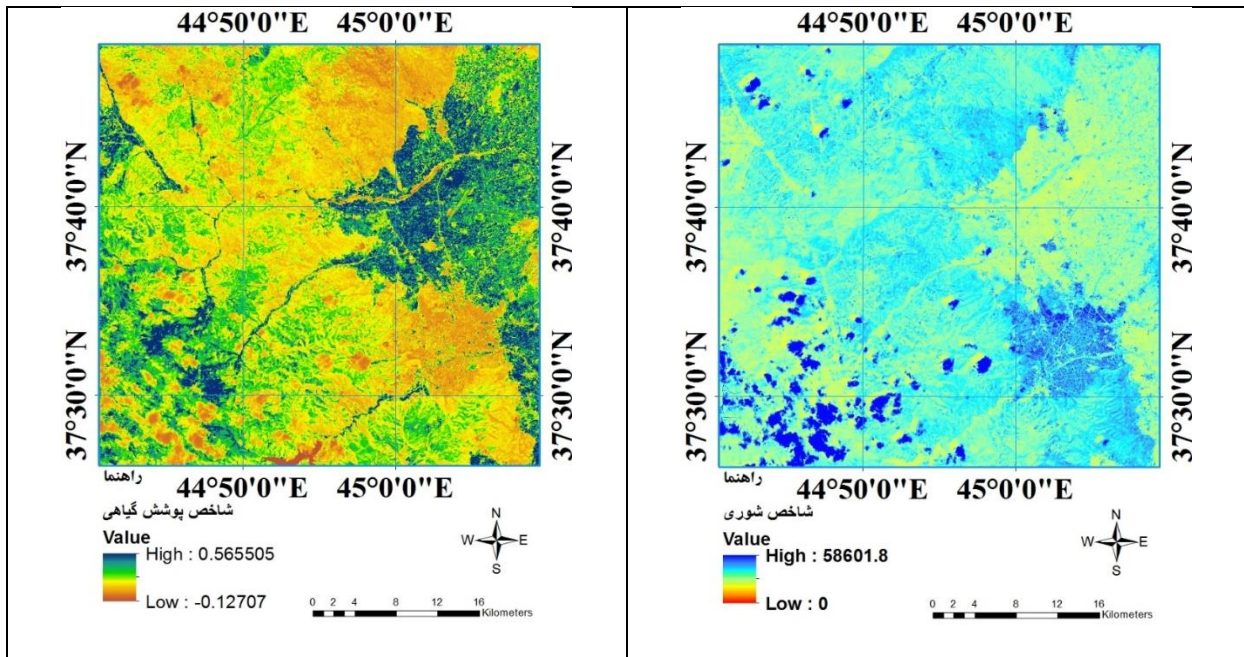
شکل ۳- شاخص شیب و شاخص جهت شیب
Figure 3. Slope and Aspect Indices



Brightness Index - ب

Wetness Index - الف

شکل ۴- شاخص رطوبتی و شاخص روشنایی
Figure 4. WI and BI indices



ب- Normalized Difference Vegetation Index

الف- Salinity Index

شکل ۵- شاخص شوری و شاخص پوشش گیاهی

Figure 5. SI and NDVI indices

ارزیابی مدل

باتوجه به موقعیت نمونه برداری ها در منطقه مطالعاتی، ۸۰ درصد از داده های مربوط به مناطقی مشخص، به عنوان سری آموزشی و برای ایجاد مدل و ۲۰ درصد داده های کاملاً مستقل از سری آموزشی و مربوط به موقعیت های جدید به عنوان داده های آزمون و برای ارزیابی اعتبار مدل ایجاد شده، به کار گرفته شد.

برای مقایسه عملکرد مدل از پارامترهای ریشه میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error) و میانگین هندسی نسبت خطا (Geometric Mean Error Ratio) که از روابط ۳ و ۴ قابل محاسبه اند، و ضریب همبستگی (R^2) استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^j (O_i - P_i)^2}{j}} \quad (3)$$

$$GMER = \exp\left[\frac{1}{j} \sum_{i=1}^j \ln\left(\frac{P_i}{O_i}\right)\right] \quad (4)$$

که در آن j = تعداد کل مشاهدات، O_i = مقدار مشاهده ای هر داده، P_i = مقدار پیش بینی شده برای داده مورد نظر می باشد. مقادیر مربوط به RMSE منفی نبوده و از صفر تا بی نهایت متغیر است. مقادیر کم RMSE نشان دهنده دقت

در این پژوهش از نرم افزارهای دورسنجی Env4.3، ArcGiS9.3 و MS.Excel2010 استفاده شده است. بر اساس مختصات جغرافیایی نقاط نمونه برداری ثبت شده با GPS، لایه برداری^۱ نقاط کنترل زمینی، شامل اطلاعات توصیفی مربوط به شوری نمونه های خاک همراه با تصاویر شطرنجی^۲ ترکیبات باندی ساخته شده در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی ArcGiS فراخوانی و روی هم منطبق^۳ شد. با تلافی فایل نقطه ای و هر یک از تصاویر، درجات روشنایی پیکسل های متناظر، یعنی می-انگین ارزش رق-ومی ۹ پیک-سل اطراف هر نقطه نمونه برداری شده در عملیات میدانی استخراج گردید و ارتباط بین درجات روشنایی و هدایت الکتریکی سطحی نمونه ها بررسی شد. داده های استخراج شده از باندهای اصلی و شاخص ها به همراه داده های مربوط به شوری نمونه های خاک به محیط نرم افزار SPSS16.0 وارد و همبستگی بین آن ها بررسی و تجزیه تحلیل های آماری ضروری انجام شد. در نتیجه مدل سازی و روابط رگرسیونی -- روش چندمتغیره خطی -- بین هدایت الکتریکی خاک و ارزش های رقومی باندهای برگزیده با استفاده از نرم افزار اکسل نسخه ۲۰۱۰ انجام شد.

3. Overlay

1. Vector
2. Raster

چندگانه خطی بین متغیرهای مستقل وابستگی خطی قوی مشاهده شود، هم‌راستایی چندگانه به وجود می‌آید. در این پژوهش، از رابط همبستگی بین متغیرهای مستقل برای کنترل کردن هم‌راستایی استفاده گردید. جهت کاهش هم‌راستایی و افزایش ضریب همبستگی، متغیرهای مستقل به صورت نسبتی از متغیرهای روشنایی به پوشش گیاهی، جهت شیب به شیب و معکوس شاخص رطوبتی در مدل وارد گردیدند. ماتریس همبستگی میان هدایت الکتریکی سطحی نمونه‌های خاک به عنوان متغیر وابسته و ارزش‌های رقمی شاخص‌های کمکی در باندهای مختلف به عنوان متغیر مستقل در سری داده‌های آموزش در جدول ۵ آورده شده است.

هدایت الکتریکی خاک با شاخص شوری و نسبت شاخص‌های روشنایی به پوشش گیاهی همبستگی منفی معنی‌داری دارد که ناشی از شرایط جوی و شوری خاک در منطقه می‌باشد. در فصل بهار و زمستان، بارش باعث شسته شدن املاح و نمک‌ها از سطح خاک به عمق و افزایش رشد پوشش گیاهی در سطح خاک می‌گردد که این امر موجب کاهش انعکاس طیفی خاک و تیره‌تر شدن تصویر می‌شود و برعکس هرچه خاک خشک‌تر باشد (فصل تابستان)، تبلور نمک‌ها و رسوب آن‌ها در سطح خاک بیشتر و انعکاس سطحی هم افزایش می‌یابد که منطبق با نتایج مختاری و همکاران (Mokhtari *et al.*, 2012) می‌باشد. اقلیم منطقه مورد مطالعه، دشت و تغییرات توپوگرافیک در آن بسیار پایین می‌باشد. بنابراین از دیدگاه توپوگرافی شوری با پارامترهای استخراج شده، معکوس رطوبتی و نسبت جهت شیب به شیب همبستگی کمی دارد که عمدتاً ناشی از تنوع کم این شاخص‌ها در منطقه است. همچنین در تحلیل‌های آماری، اگر قدرمطلق آماره t متغیری بزرگتر از ۱ باشد و افزودن متغیر باعث افزایش ضریب تعیین تعدیل شده (R^2) گردد، می‌توان متغیر را هرچند با همبستگی پایین، در مدل وارد نمود (Gujarati, 2004).

بالای مدل می‌باشد. پارامتر GMER بیان‌کننده وجود هماهنگی و تطابق بین مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده می‌باشد. چنانچه مقدار ضریب GMER برابر با یک باشد، بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده مطابقت کامل وجود دارد. از طرفی، بیشتر و کمتر بودن این پارامتر نسبت به مقدار یک، به ترتیب نشان‌دهنده بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی مدل می‌باشد (Wagner *et al.*, 2001).

نتایج و بحث

نخست با استفاده از تکنیک آنتروپی شانون، پارامترهای مؤثر برای مدل‌سازی مشخص شد. بر اساس

جدول ۱، شیب، جهت شیب، شاخص پوشش گیاهی NDVI، شاخص رطوبتی، شاخص روشنایی، شاخص شوری و ارتفاع به ترتیب مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تغییرات شوری خاک در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. بر اساس تکنیک آنتروپی شانون، از به کار بردن پارامتر ارتفاع به دلیل وزن پایین آن در مدل صرف نظر گردید.

مطابق جدول ۳، خلاصه آماره‌های توصیفی برای هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و شاخص‌های کمکی برای داده‌های آموزش و اعتبارسنجی در نقاط نمونه‌برداری ارائه شده است. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از تحلیل استنباطی کولموگروف-اسمیرنوف^۱ بررسی شد و با توجه به این که اعداد مندرج در جدول از مقدار ۰/۰۵ (سطح اطمینان ۹۵٪) بیش تر است، بنابراین داده‌ها دارای توزیع نرمال هستند و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها نیازی به انجام عملیات تعدیل نبوده و همه آنالیزها بر روی داده‌های اصلی انجام گرفت (جدول ۴).

پس از وارد کردن عوامل ورودی (متغیرهای مستقل) و میزان شوری خاک به عنوان خروجی (متغیر وابسته)، همه آنها از نظر هم‌راستایی بررسی شدند. اگر در رگرسیون

جدول ۱- وزن شاخص‌های مؤثر بر تغییرپذیری شوری خاک بر اساس تکنیک آنتروپی شانون

Table 2. Weight factors affecting the variability of soil salinity on the basis of Shannon entropy

Parameters	WI	ASPECT(degree)	SLOPE(%)	SI	BI	NDVI	ELEVATION(m)
Weight	0.0997	0.172	0.42	0.0670	0.0674	0.112	0.063

1. Kolmogorov-Smirnov

جدول ۲- توصیف آماری داده‌ها در منطقه مورد مطالعه

Table 3. Statistical described data in the study area

	statistics	NDVI	BI	SI	Slope (%)	Aspect (degree)	WI	EC (ds m ⁻¹)
Training data	Std. Deviation	0.075	2128.81	1991.81	643893.73	106.36	2.45	0.162
	Skewness	-0.976	1.149	2.177	1.22	0.015	0.334	-0.258
	Kurtosis	0.829	3.228	5.38	0.282	-1.378	-1.18	-1.001
	Min	0.067774	18194.94	9392.73	42426.41	0.47	-8.03	0.336
	Max	0.363036	28067.08	17759.76	2012013.88	320.42	-0.66	0.9
Validation data	Std. Deviation	0.10022	1989.1	1492.2	322240	122.18	2.06	0.41
	Skewness	0.64	-0.475	0.725	1.787	0.091	0.259	-0.321
	Kurtosis	-0.815	-0.808	0.629	0.841	-1.702	-2.285	-2.647
	Min	0.09	19100	10100	42400	3.04	-5.76	0.29
	Max	0.37	24600	14500	913000	320.42	-0.66	1.18

جدول ۳- نتایج بررسی توزیع نرمال داده‌ها

Table 4. The results of the normal distribution

Normal Parameters ^a	EC	Wetness	aspect	slope	SI	BI	NDVI
Mean	0.62	-4.69	160.64	533,758.53	11407.10	21856.56	0.24
Kolmogorov-Smirnov Z	0.71	0.64	0.63	1.30	1.05	0.73	0.79
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.70	0.81	0.82	0.07	0.22	0.67	0.56

a. Test distribution is Normal.

جدول ۴- آماره t و همبستگی بین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و شاخص‌های کمی

Table 5. The t statistic and correlation between soil saturation extract electrical conductivity and secondary indicators

	1/WI	Aspect/Slope	SI	BI/NDVI
Electrical Conductivity (EC)	-0.448	0.236	-0.59	-0.525
t Statistic	-2.530	-2.422	-2.768	1.663

و بهنگام بودن، بسیار قابل توجه هستند. بین EC با داده‌های طیفی Landsat در سری داده‌های آموزش، بهترین مدل رگرسیونی به دست آمده برای تصویر ۲۳ ژوئن سال ۲۰۱۶ عبارتست از؛

$$EC = 1.911 - \left(36.359 \frac{Aspect}{slope}\right) - 0.147 \left(\frac{1}{WI}\right) + 0.00013(SI) + 0.00001893 \left(\frac{BI}{NDVI}\right) \quad (5)$$

واتسون ۱/۷۰۹ دارای کارایی می‌باشد و رگرسیون در سطح ۱ درصد معنی دار است بنابراین مدل می‌تواند به خوبی شوری را پیش بینی کند.

با توجه به ضرایب همبستگی به دست آمده برای منطقه مورد مطالعه، تهیه مدل و اعمال آن، می‌تواند نقشه‌ای از پارامتر شوری خاک سطحی منطقه تولید نماید که از لحاظ سرعت، دقت، هزینه، تنوع طبقات

ضرایب همبستگی مدل EC سطحی در جدول ۶ آورده شده است. بنابر نتایج این پژوهش، مدل ارائه شده با ضریب همبستگی ۷۰/۳ درصد، خطای معیار برآورد ۱۰/۰۳ درصد، ضریب تعیین تعدیل شده ۶۱/۸ درصد و ضریب دوربین-

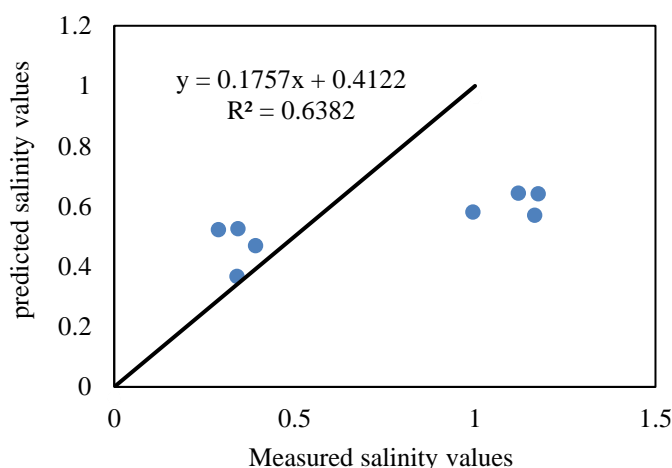
جدول ۵- بررسی روابط همبستگی مدل EC سطحی با استفاده از داده‌های لندست
Table 6. EC superficial correlation coefficient model using data from Landsat

Model	Correlation Coefficient (R)	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	P- Value
1	0.838	0.703	0.618	0.10037	1.709	0.001 ^a

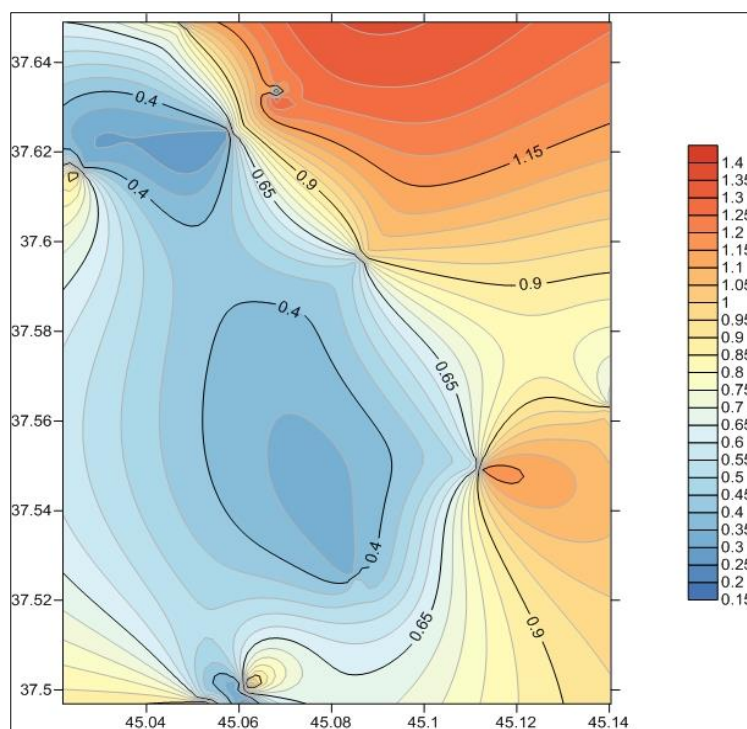
پیش‌بینی می‌باشد. نتایج مقایسه مقادیر شوری اندازه‌گیری شده با مقادیر پیش‌بینی شده بر مبنای خط یک به یک در شکل ۶ نشان داده شده است. مقدار پایین RMSE، پایین بودن خطا و دقت بالای مدل برازش داده شده را نشان می‌دهد. مقدار GMER در مدل کمتر از یک به دست آمده که نشان‌دهنده کم برآوردی مدل می‌باشد و ضریب همبستگی برابر ۶۳/۸ درصد می‌باشد.

نقشه پراکنش تغییرات مکانی شوری خاک در منطقه مورد مطالعه با تکنیک درون‌یابی کریجینک، بر مبنای مقادیر پیش‌بینی شده هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با استفاده از نرم افزار Surfer 12 رسم گردید (شکل ۷)

در این تحقیق استفاده از داده‌های سنجنده لندست تنها توانسته ۷۰/۳ درصد از تغییرات شوری سطحی خاک را توجیه نماید. به این دلیل که داده‌های چند طیفی در شوری‌های کم قدرت تفکیک پایینی دارند، به دلیل پهنای باند بالا تغییرات جزئی را نمی‌توانند شناسایی کنند. بنابراین توصیه می‌شود برای تفکیک تغییرات جزئی از تصاویر فراطیفی استفاده شود. رابطه استخراج شده بر روی مجموعه داده‌های آزمون از مناطق جدید اعمال و برای ارزیابی از مقادیر پارامترهای RMSE، GMER و R² استفاده شد که به ترتیب برابر ۰/۳۵۴، ۰/۸۶۷ و ۶۳/۸۲٪ محاسبه گردیدند، که نتایج نشان از کارایی و دقت خوب مدل در



شکل ۶- مقایسه مقادیر شوری اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره
Figure 6. Comparison of salinity values measured and predicted using multiple regression method



شکل ۷- نقشه پراکنش موقعیت مکانی شوری خاک
Figure 7. Distribution map of soil salinity

وجود همبستگی بین داده‌های ماهواره‌ای (درجات روشنایی) و مقادیر اندازه‌گیری شده شوری خاک، امکان پیش‌بینی شوری خاک با دقت بالا را تسهیل نموده است. استفاده از روش رگرسیون چند متغیره در پیش‌بینی میزان شوری خاک با توجه به تحقیقات انجام شده قبلی در مقایسه با روش‌های مختلف (داده‌های آزمایشگاهی یا داده‌های حاصله از مشاهدات صحرایی)، یکی از روش‌های ساده و با صرف زمان کوتاه و با دقت بالایی است.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش با توجه به همبستگی میان هدایت الکتریکی سطحی با شاخص‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و ویژگی‌های توپوگرافی، مشخص شد که معکوس شاخص شوری و نسبت شاخص روشنایی به پوشش گیاهی با تغییرات EC سطحی، همبستگی معنی‌داری دارند و توانستند شوری سطحی خاک منطقه را برآورد کنند.

Reference

- Abdinam A. 2004. An investigation on preparing of the soil salinity map using correlation method between imagery and soil salinity data in the Qazvin plain. *Journal of Animal Science*, 64: 33-38.
- Alavipanah S.K. 1997. Study of soil salinity in the Ardakan (Iran) based upon field observation, remote sensing and GIS. Ph.D. Thesis, Gent University, 237p.
- Alavipanah S.K. 2012. Application of Remote Sensing in the Earth Sciences (Soil). 4th Edition Academic Press, Tehran, 500p. (In Persian)
- Allison E.W. 1989. Monitoring drought affected vegetation with AVHRR Digest-International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 4:1965-1967.
- Azhibabi R., Kamkar B., and Abdi O. 2014. Comparison of different indices adopted from Landsat images to map soil salinity in the army field of Gorgan. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 5(1): 173-186. (In Persian)
- Binh T., Vromant N., Hung N.T., Hens L., Boon E.K. 2005. Land cover changes between 1968 and 2003 in Cai Nuoc, Ca Mau Peninsula, Vietnam. *Journal of Environment, Development and Sustainability*, 7(4): 519-536.

- Chit Saz V., 1999. Investigation of Soil Salinity and Alkalinity Mapping Using TM Digital Data in the Eastern Isfahan Region. MSc Thesis, Faculty of natural resources, Esfahan University of Technology, 96 p.
- Cockx L., Van Meirvenne M., Vitharana U.W.A., Vancoillie F.M.B., Verbeke L.P.C., Simpson D. and Saey T. 2010. A neural-network approach to topsoil clay prediction using an emi-based soil sensor. *Proximal Soil Sensing*, pp. 245-254.
- Farifteh J., Farshad A., George R.J. 2006. Assessing salt affected soil using remote sensing solute modeling and geophysics. *Geoderma*, 130(3): 191- 206.
- Gao J.A. 1996. Modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*. 82: 303-310.
- Gujarati, D.N. 2004. Basic Econometrics. Multiple regression analysis: The problem of inference, pp. 264-265.
- Hengel T., Huvelink G. B. M. and Stein A. 2004. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. *Geoderma*, 120: 75–93.
- Horney R.D., Taylor B., Munk D.S., Roberts B.A., Lesch S.M. and Richard E.P. 2005. Development of practical site-specific management methods for reclaiming salt-affected soil. *Journal of Computers & Electronics in Agriculture*, 46(1): 379-397.
- Khan N.M., Rastoskuev V.V., Shilina E.V. and Yohei S. 2001. Mapping salt affected soils using remote sensing indicators-A simple approach with the use of GIS IDRIST. *22th Asian Conference on Remote Sensing*, November 5-9, Singapore, 8: 183-257.
- Zarco-Tejada, P.J., Ustin, S.L., and Whiting, M.L. 2005. Temporal and spatial relationships between within-field yield variability in cotton and high-spatial hyperspectral remote sensing imagery. *Journal of Agronomy*, 97(3): 641-653.
- Lowenberg-DeBoer J., and Erickson K. 2000. Precision Farming Profitability. Purdue Research Foundation 132p.
- Matinfar H.R., Sarmadian F., and Alavipanah S.K. 2010. Characterization of Soil Salinity in Arid Region of Kashan by Digital Processing of IRS_1D Data. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 2(4): 211-220. (In Persian)
- Mokhtari D.E., Douaoui A., Yahiaoui I. 2012. Geomatics use in the evaluation of surface qualities degradation in saline area (The case of the lower Cheliff plain). *Journal of Energy Procedia*, 18: 1557–1572.
- Moore I.D., Grayson R.B. and Landson A.R. 1991. Digital terrain modeling. A review of hydrological, geomorphological, and applications. *Journal of Hydrological Processes*, 5(1): 3– 30.
- Pettorelli N., Vik O., Mysterud A., Gaillard J.M., Tucker C.J. and Stenseth N.C. 2005. Using the satellite –derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Journal of Trends in Ecology and Evolution*, 9(20): 503-510.
- Rao B., Sankar T., Dwivedi R., Thammappa S., Venkataratnam L., Sharma R. and Das S. 1995. Spectral behaviour of salt-affected soils. *International Journal of Remote Sensing*, 16(12): 2125-2136.
- Saxena R.K., Verma R., Srivastava J.Y., Patel N.K., Nasre R.A., Barthwal A.K., Shiwalkar A.A. and Londhe S.L. 2003. Spectral reflectance properties of some dominant soils occurring on different altitudinal zones in Uttaranchal Himalayas. *Journal of Agropedology*, 13(2): 35-43.
- Soleimanidamaneh M. and Zarepisheh M. 2009. Shannons entropy combining the efficiency results of different DEA models: Method and application. *Journal of Expert System with Applications*, 36(3): 47- 51.
- Sommer M., Wehrhan M., Zipprich M., Castell Z.W., Weller U., Castell W. Ehrlich, S. Tandler B. and Selige T. 2003. Hierarchical data fusion for mapping soil units at field scale. *Geoderma*, 112(3): 179–196.
- Taghizadeh Mehrjardi R., Sarmadian F Savaghebi Gh., Omid m., Toomanian N., Roosta M.J. and Rahimian M.H. 2014. Comparison of ANFIS, Genetic Algorithm, artificial neural network and multivariate regression methods in prediction of soil salinity (Case study: Ardakan region). *Journal of Range and Watershed Management*, 66(2): 207-222. (In Persian)
- Wagner b., Tarnawski v.r., Hennings., Müller v., Wessolek u and Plagge R. 2001. Evaluation of pedotransfer functions for unsaturated soil hydraulic conductivity using an independent data set. *Geoderma*, 102(3): 275-297.
- Zenouzi L., Namdar M. and Saadat H. 2011. Evaluation the NDVI and EC of Soil in Arid and Semi-Arid Area (Case study: Marand region). The national seminar on watershed management sciences and engineering, Isfahan, April 27-28.

Prediction of Soil Salinity Using Multivariable Regression on the Basis of Extracted Indices from Landsat 8 Satellite (Case study: Urmia)

Rana Khaleghi¹, Javad Behmanesh^{2*}, Nasrin Azad³

(Received: January 2017

Accepted: December 2017)

Abstract

Managing and monitoring of salinity is one of the most important affair in agriculture, especially in arid and semi-arid area. For this purpose, the use of new technologies like remote sensing and GIS is inevitable. The investigation of relationships between different soil parameters using satellite data is an effective step in predicting the electrical conductivity of soil saturation extract. In this research, using multivariable regression method based on relationship between topographical properties and obtained indices from Landsat 8 satellite, the prediction of the electrical conductivity of soil saturation extract was studied in Urmia plain. For this purpose, firstly 40 samples were taken from 0-30 cm soil depth and their electrical conductivity of soil saturation extract (ECe) were measured. After performing the necessary processing on satellite images and determining the ground surface points, pixel values in the different bands were extracted. In the present research, the data was divided into two series including training (80% of data) and validation data (20% of data). The relationship between satellite data and the obtained results from the region soil tests was extracted using the multivariable linear regression methods and the accuracy of the model was evaluated by factors such as R- squared, standard error of the mean, adjusted R-squared and Durbin Watson statistic. The results showed that for the obtained model, the error indices including the correlation coefficient, standard error of the mean, adjusted R-squared and Durbin Watson statistic were calculated 70.3%, 10.03%, 61.8% and 1.709 respectively. Finally, the model was run using test data and for its evaluation the indices including Geometric Mean Error Ratio (GMER), R- squared (R^2) and Root Mean Square Error (RMSE) were employed so that the mentioned indices were measured 0.867, 0.638 and 0.354 respectively. These results show good efficiency and accuracy of the model.

Keywords: Soil electrical conductivity, Remote sensing, Satellite data, Statistical parameters, Topographic parameters.

Khaleghi R., Behmanesh j. and Azad N. 2019. Prediction of soil salinity using multivariable regression on the basis of extracted indices from landsat 8 satellite (Case study: Urmia). *Applied Soil Research*, 7(1): 108-121.

1. MSc Student of Irrigation and Drainage Engineering, Water Engineering Department, Urmia University.

2. Professor of Water Engineering Department, Urmia University.

3. Ph.D. of Irrigation and Drainage Engineering, Water Engineering Department, Urmia University.

* Corresponding Author Email: j.behmanesh@urmia.ac.ir