



سنجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۰
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.13, No. 4, Winter 2022

۵۱-۶۶

مقاله پژوهشی

ارزیابی کارایی داده‌های طیفی و شاخص‌های منتج از سنجنده‌های OLI و TIRS در برآورد شوری خاک‌های مناطق خشک جنوب استان ایلام

حمیدرضا متین‌فر^۱، فوزیه کوهنی^{۲*}، علی‌اکبر اصیلیمان مهابادی^۳

۱. دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

۲. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۰۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۰۲

چکیده

شوری خاک یکی از مشکلات مهم زیست‌محیطی است و شناسایی و پهنه‌بندی خاک‌های شور، به‌علت نیاز به نمونه‌برداری و انجام دادن آنالیزهای آزمایشگاهی و همچنین تغییرپذیری زمانی و مکانی آن، مشکل است. در سال‌های اخیر استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به‌علت استفاده آسان و توانایی در شناسایی پدیده‌ها، همواره مورد توجه متخصصان قرار گرفته است. در این پژوهش، ۲۲۰ نمونه خاک از منطقه میمه شهرستان دهلران، در جنوب استان ایلام، با توجه به نوع مطالعه و تیپ‌های فیزیوگرافی و واحدهای متشکل خاک‌ها برداشت شد. سپس مقادیر pH و EC با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. ارزیابی مقادیر شوری خاک، با استفاده از روابط همبستگی بین مقادیر هدایت الکتریکی EC حاصل از داده‌های زمینی، با متغیرهای به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ شامل باندها، شاخص‌های شوری، شاخص‌های پوشش گیاهی و شاخص‌های خاک صورت گرفت. در نهایت، مدل تخمین شوری سطحی خاک با روش رگرسیون گام‌به‌گام به‌دست آمد. این روش شامل انتخاب خودکار متغیرهای مستقل است و با دردسترس بودن بسته‌های نرم‌افزاری آماری، انجام‌دادن آن حتی در مدلهایی با صدها متغیر امکان‌پذیر است. در مطالعات گذشته، شاخص‌ها و باندها به‌صورت جداگانه و محدود به‌کار رفته‌اند اما، در این مطالعه، سعی شده است از ترکیب شاخص‌های گوناگون استفاده گسترده‌تری شود و در نهایت، با حذف شاخص‌هایی که کمترین تأثیر را در برآورد شوری خاک داشته‌اند، بهترین مدل برآورد شوری برای خاک منطقه پیشنهاد شد. با استفاده از آنالیز سطح معنی‌داری و میزان همبستگی بین خروجی مدل‌ها و داده‌های زمینی، بهترین مدل با مقدار $(R^2=0/882)$ انتخاب و نقشه شوری خاک براساس آن تهیه شد. بیشترین مساحت مربوط به کلاس غیرشور است که ۷۵٪ از کل منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود و حدود ۱٪ از خاک‌های منطقه نیز مربوط به کلاس بسیار شور است. با مقایسه داده‌های حاصل از ماهواره لندست ۸ و به‌کارگیری شاخص‌ها و قراردادن شاخص‌ها در معادله رگرسیونی گام‌به‌گام، این نتیجه حاصل شد که تصاویر ماهواره‌ای برای ارزیابی شوری خاک منطقه کارآمد است و نتایج حاصل، همبستگی بالایی در سطح ۰/۸۸ با داده‌های زمینی دارند.

کلیدواژه‌ها: میمه دهلران، سنجش از دور، شاخص شوری خاک، رگرسیون گام‌به‌گام، OLI، TIRS.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه لرستان. تلفن: ۰۹۳۰۱۵۸۴۴۱۴

۱- مقدمه

می‌شود اطلاعات استخراجی از روش‌های معمول با داده‌های طیفی و مکانی از این پدیده متأثر شود. در سنجش از دور، امکان شناسایی خاک‌های شور بسیار تحت تأثیر رطوبت، درجه شوری، پوسته‌ها و کنتراست بازتاب طیفی نمک با سایر سطوح است. به‌طور کلی، شناسایی زمین‌هایی با میزان شوری بالا و متوسط، در مقایسه با زمین‌های دارای شوری اندک و مناطقی که در مراحل اولیه شورش‌اند، موفق‌تر بوده است (متین‌فر و همکاران، ۱۳۸۹). اطلاع از وضعیت توزیع جغرافیایی خاک‌های متأثر از نمک، مسیر بعدی انتشار نمک و شوری‌زایی را مشخص می‌کند و استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور در این زمینه بسیار سودمند و کارآمد است (Metternicht & Zinck, 2008). خاک پدیده‌ای همراه با پیچیدگی‌های بسیار فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است؛ از این رو، انتظار پیچیدگی‌های طیفی خاک نیز منطقی است (علوی پناه، ۱۳۸۲). به همین دلیل، روش یا رابطه ریاضی مشخص برای تهیه نقشه شوری خاک، با استفاده از اطلاعات سنجش از دور وجود ندارد. دانشمندان متفاوتی، هر یک با توجه به منابع و منطقه مورد مطالعه، روشی را برای بررسی شوری خاک مطرح کرده‌اند که همگی از تصاویر ماهواره‌ای بهره می‌برند (دشتکیان و همکاران، ۱۳۸۷). نتایج تحقیقی که رکا^۱ و همکاران (۲۰۱۱) در کشور هند و با استفاده از باندهای سنجنده TM انجام دادند، نشان داد که استفاده از داده‌های سنجش از دور، همراه با داده‌های زمینی، ابزار قدرتمندی برای شناسایی نواحی شور است. الحسنون^۲ (۲۰۱۲) در بخش شمالی عربستان، با کمک تصاویر سنجنده TM، نقشه شوری منطقه مورد مطالعه را تهیه کرد و به این نتیجه رسید که داده‌های سنجنده TM را می‌توان برای بررسی شوری خاک استفاده کرد. وی همچنین نشان داد بیشتر اراضی کشت‌شده، در محدوده مورد مطالعه، تحت تأثیر سطوح گوناگون شوری قرار دارند که استفاده از داده‌های

شوری خاک، که بر اثر فعالیت‌های انسانی یا به‌طور طبیعی به وجود می‌آید، از جمله خطرهای بالقوه محیطی محسوب می‌شود (Metternicht & Zinck, 2003). خاک‌های شور یکی از معضله‌های کشاورزی در بسیاری از نقاط جهان به‌شمار می‌آیند؛ در واقع، شوری ۷٪ از زمین‌های دنیا، یعنی حدود ۹۳۰ میلیون هکتار را تحت تأثیر قرار داده و روزبه‌روز در حال گسترش است. سطح خاک‌های شور اولیه، در مقیاس جهانی، حدود ۹۵۵ میلیون هکتار و سطح اراضی شور حاصل از فعالیت انسانی (شورش‌اندان) حدود ۷۷ میلیون هکتار است که ۵۸٪ از این مقدار مختص زراعت‌های آبی است (Abdelfattah, 2009). خاک‌های شور سطح وسیعی از کشور ما را فراگرفته و در مساحت‌های کوچک، در نقاط متفاوتی پراکنده است و اراضی مجاور خود را نیز تهدید می‌کند. کشور ایران، به دلیل تکیه بر کشاورزی فاریاب برای تولید محصولات کشاورزی، به شدت در معرض شورش‌اندان اراضی قرار دارد (Qureshi et al., 2007; Helmut et al., 2013). براساس آمار موجود در سطح جهان، ایران پس از چین، هند و پاکستان بیشترین درصد اراضی شور را به خود اختصاص داده است (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). تهیه نقشه شوری خاک یکی از گام‌های اولیه در شناسایی اراضی شور است و روش‌های متفاوتی برای آن وجود دارد که هر یک، با توجه به امکانات در دسترس، درخور توجه است. با توسعه فناوری سنجش از دور، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به روشی کارآمد در این زمینه معرفی شده است (چیت‌ساز، ۱۳۷۸). در سال‌های اخیر، از تصاویر ابرطیفی در دامنه‌های مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی (طول موج بین ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر) به‌منزله روشی سریع، مقرون‌به‌صرفه و غیرمخرب در برآورد ویژگی‌های خاک استفاده شده؛ بنابراین، در ارزیابی شوری خاک، استفاده از روش طیف‌سنجی مفید است (Zeng et al., 2018). شوری سطح، فرایند فعالی است؛ بنابراین، این ویژگی موجب

1. Rekha

2. Al-Hassoun

استفاده شده، در پژوهش حاضر سعی شده است، برای افزایش دقت کار حدود ۳۷ شاخص متفاوت خاک، آب و گیاه محاسبه و استفاده می‌شود. بدین صورت می‌توان کارآیی هریک از این شاخص‌ها را در برآورد شوری خاک، ارزیابی کرد و در نهایت، به طرح بهترین مدل به‌منظور تهیه نقشه شوری خاک منطقه رسید. اهمیت مسئله در توانایی جداسازی خاک‌های مناطق خشک، به‌ویژه تفکیک خاک‌های شور، خیلی شور، به شدت شور، غیرشور و اراضی مزروعی و مشابه آن از یکدیگر است تا بهره‌برداری متناسب، با توجه به ویژگی‌های اراضی انجام شود. بنابراین، به‌منظور کاهش هزینه‌های مطالعاتی، استفاده از داده‌های یادشده ضروری به‌نظر می‌رسد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

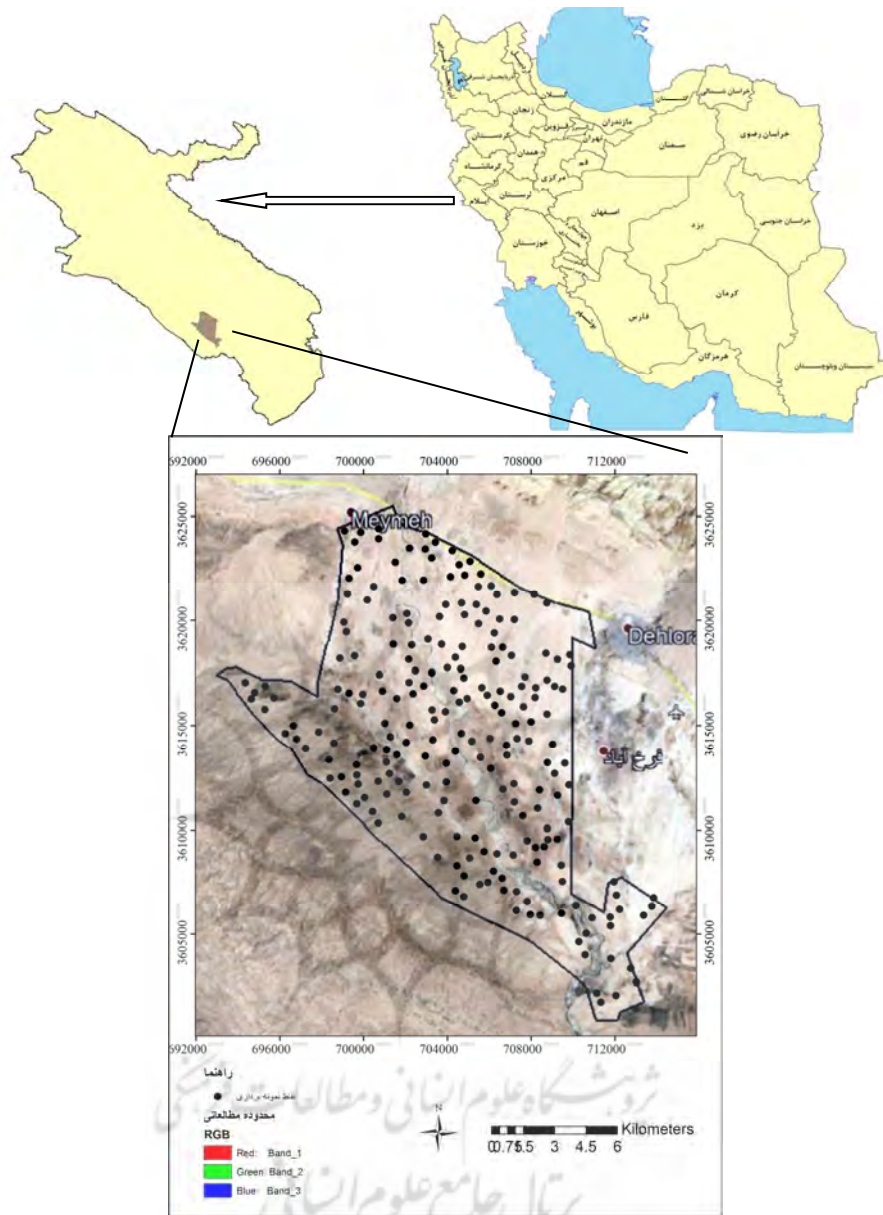
منطقه مورد مطالعه، به‌وسعت ۲۱۰۰۰ هکتار، بخشی از دشت دهلران واقع در استان ایلام است که بین ۶۹۳۵۰۰ تا ۷۱۴۵۰۰ متر طول شرقی و ۳۶۰۱۵۰۰ تا ۳۶۲۵۲۵۰ متر عرض شمالی قرار گرفته است. محدوده مطالعاتی در بخشی از شهرستان دهلران به اسامی دهلران و تم‌تمو قرار دارد. بارش سالیانه در این شهرستان اغلب به‌صورت باران و در حدود ۲۷۵/۴ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت ۲۵/۹ سانتی‌گراد است. خاک‌های منطقه مورد مطالعه دارای رژیم رطوبتی اریدیک و رژیم حرارتی هایپرترمیک است. این منطقه، از دیدگاه زمین‌شناسی، بخشی از زون زاگرس چین‌خورده^۳ است. جنس رسوبات آن کربناته است و کم‌وبیش در آن مارن، ماسه‌سنگ و شیل دیده می‌شود. وجود رسوبات تبخیری و برخی نموده‌های چینه‌شناسی کوتاه‌مدت، نشانه‌ای از حرکات قائم (خشکی زایی) در این منطقه رسوبی است. در شکل ۱، محدوده مطالعاتی و نقاط نمونه‌برداری مشخص شده است.

1. Digital Number
2. Bucos
3. zagros folded zone

سنجش از دور می‌تواند، تا حد بسیاری، نقشه گسترش شوری خاک را بهتر نمایش دهد. دماوندی و درویش‌صفت (۱۳۷۸)، با استفاده از داده‌های سنجنده TM در منطقه حوض‌سلطان قم، رابطه بین EC و داده‌های رقومی (DN)^۱ را بررسی کردند و از راه تجزیه رگرسیون، رابطه معنی‌داری بین داده‌های رقومی و EC پیدا کردند اما به‌دلیل پایین‌بودن ضریب همبستگی، از طریق طبقه‌بندی با الگوریتم، حداکثر درست‌نمایی نقشه شوری منطقه را تهیه کردند. بوسز^۲ و همکاران (۲۰۰۶) برای نقشه‌برداری شوری خاک تکسکوکو در مکزیک، از داده‌های رقومی ETM و عکس‌های هوایی استفاده کردند. آنها با تعدیل شاخص پوشش گیاهی NDVI، شاخص طیفی جدیدی به نام شاخص ترکیب طیفی (CORSI) تهیه کردند. مقدار بسیار بالای همبستگی بین ویژگی‌های خاک (SAR و EC) و ارزش طیفی این شاخص (به‌ترتیب ۰/۸۸۵ و ۰/۸۵۷) وجود داشت که به‌صورت مدلی رگرسیونی، برای تهیه نقشه شوری خاک مطرح شد.

اختری و اسدی (۱۳۹۵)، با استفاده از تحلیل طیفی داده‌های سنجنده OLI و اطلاعات میدانی، نقشه شوری جنوب دشت ملایر را تهیه و برای پایش شوری خاک، شاخص‌های طیفی و ویژگی شیمیایی خاک را مطالعه کردند. نتیجه پژوهش بازگوکننده کارآیی بالای سنجنده OLI در زمینه تهیه نقشه شوری خاک است. مهم‌ترین مشکلات تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از سنجش از دور را می‌توان رفتار طیفی نمک‌های متفاوت، تغییرات زیاد شوری در سطح، تغییر شوری بر اثر گذشت زمان، تداخل با پوشش گیاهی و اختلاط با دیگر عوامل سطحی برشمرد (Metternicht & Zinck, 2003).

هدف از تحقیق حاضر ارزیابی کارآیی داده‌های طیفی، با به‌کارگیری شاخص‌های استخراج‌شده از سنجنده‌های OLI و TIRS و مقادیر زمینی EC برای برآورد مقدار شوری و تعیین کلاس شوری خاک در بخشی از اراضی خشک جنوب استان ایلام است. با توجه به اینکه در تحقیقات مشابه از تعداد محدودی شاخص



شکل ۱. موقعیت نقاط نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه

۲-۲- اندازه‌گیری‌های زمینی

موقعیت پروفیل‌ها با هدف دستیابی به غالب خاک‌های منطقه و با توجه به واحدهای فیزیوگرافی مشخص شد. تفکیک واحدهای فیزیوگرافی مستند به تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۳، مطالعه پروفیل‌های خاک، نقشه‌های مورد استفاده در جدول ۱ و با رعایت اصول

منابع آب منطقه شامل رودخانه‌های میمه و آب‌شور است که در دوره‌های خشک، کمیت و کیفیت آب‌ها به شدت تقلیل می‌یابد. از دیگر منابع آب، چاه‌های منطقه و سد انحرافی احداث شده روی رودخانه میمه است. از جمله گیاهان بومی منطقه می‌توان به خارشتر، خارزرد، کهورک، سلمک، کنگر، اسپند و نیز درختان گز، کنار و کهور و در اراضی شور، به گیاهان شورپسند مانند سالیکورنیا^۱ سالسولا^۲ اشاره کرد.

1. *Salicornia*
2. *Salsola*

۳-۲- داده‌های سنجنش از دوری

در این مطالعه، داده‌های رقومی چندطیفی سنجنده‌های OLI و TIRS ماهواره‌ی لندست ۸، متعلق به سال ۲۰۱۳، استفاده شد که شامل یازده باند است. باند ۱ در محدوده‌ی فرابنفش و آبی، باندهای ۲ و ۳ و ۴ جزء باندهای مرئی و باند ۵ مادون قرمز نزدیک (NIR) است. باندهای ۶ و ۷ در محدوده‌ی مادون قرمز کوتاه (SWIR) هستند و باند ۸ پانکروماتیک است. باند ۹ پدیده‌های بالای اتمسفر، مخصوصاً ابرهای سیروس را نشان می‌دهد و باندهای ۱۰ و ۱۱ باندهای حرارتی (TIR) هستند. قدرت تفکیک مکانی در همه‌ی باندها سی متر است؛ غیر از باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی پانزده متر، و باندهای ۱۰ و ۱۱ دارای قدرت تفکیک مکانی صد مترند. بهترین زمان برای تهیه‌ی داده‌های سنجنش از دور (مرئی و مادون قرمز)، برای تشخیص مقدار شوری خاک، پایان فصل خشک است زیرا املاح، در فصل‌های مرطوب، شسته می‌شوند (زینالی و همکاران، ۱۳۹۵). تصاویر ماهواره‌ای فاقد ابر و سایه در خشک‌ترین ماه سال، یعنی شهریور (اوت ۲۰۱۳)، از سایت earthexplorer.gov دریافت شد. جدول ۲ مشخصات سنجنده‌ها و باندهای لندست ۸ را نشان می‌دهد.

مشروح در کتاب طبقه‌بندی جامع خاک^۱ دیارتمان کشاورزی ایالات متحد (۱۹۹۹) و راهنمای جدید آن (۲۰۱۰) انجام شد. مختصات نقاط تعیین شده در سیستم متریک (UTM) یادداشت و به صورت فایل نقطه‌ای، در نرم‌افزار ARCGIS ذخیره شد و سپس فایل ذخیره شده به دستگاه GPS، برای مراجعات صحرایی و نمونه برداری، انتقال یافت. تعداد ۲۲۰ نقطه، به منزله نمونه و با مختصات معلوم، از عمق ۷۵-۰ سانتی متری خاک برداشت شد. نمونه‌ها، پس از هواخشک شدن، از الک دومیلی متری عبور داده شدند و پس از عصاره‌گیری از گل اشباع، مقدار هدایت الکتریکی عصاره اشباع با دستگاه الکتروکانداکتیومتر اندازه‌گیری شد (Rhoades, 1982). واکنش خاک (pH) با استفاده از الکتروود شیشه‌ای در گل اشباع اندازه گرفته شد (McLean, 1982) و مقدار کاتیون‌های محلول کلسیم و منیزیم (Ca^{2+} , Mg^{2+}) با استفاده از روش EDTA و مقدار سدیم (Na^+) با استفاده از Flame photometr سنجیده شد (Rhoades, 1982).

جدول ۱. مشخصات نقشه‌های مورد استفاده

عنوان	منبع
نقشه زمین‌شناسی	سازمان زمین‌شناسی کشور
نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰۰	مؤسسه تحقیقات خاک و آب (۱۳۷۷)
نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به نام دهلران (5455II)	سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح
نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به نام تممو (5455III)	سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح

جدول ۲. مشخصات سنجنده‌ها و باندهای لندست ۸

ماهواره لندست ۸	تاریخ	PACH/ROW	باند	طول موج (میکرومتر)	قدرت تفکیک مکانی (متر)
سنسور (OLI)	۲۰۱۳/۰۸/۰۴	۱۶۷.۳۷	Coastal/Aerosol باند ۱	۰.۴۳۳ - ۰.۴۵۳	۳۰
			باند ۲- آبی	۰.۴۵۰ - ۰.۵۱۵	۳۰
			باند ۳- سبز	۰.۵۲۵ - ۰.۶۰۰	۳۰
			باند ۴- قرمز	۰.۶۳۰ - ۰.۶۸۰	۳۰
			باند ۵- مادون قرمز نزدیک	۰.۸۴۵ - ۰.۸۸۵	۳۰
			باند ۶- مادون قرمز طول موج کوتاه	۱.۵۶۰ - ۱.۶۶۰	۳۰
			باند ۷- مادون قرمز طول موج کوتاه	۲.۱۰۰ - ۲.۳۰۰	۳۰
			Panchromatic باند ۸	۰.۵۰۰ - ۰.۶۸۰	۱۵
			Cirrus باند ۹	۱.۳۶۰ - ۱.۳۹۰	۳۰
سنسور (TIRS)	۲۰۱۳/۰۸/۰۴	۱۶۷.۳۷	باند ۱۰- مادون قرمز طول موج بلند	۱۰.۳۰ - ۱۱.۳۰	۱۰۰
			باند ۱۱- مادون قرمز طول موج بلند	۱۱.۵۰ - ۱۲.۵۰	۱۰۰

USDA soil taxonomy

۴-۲- محاسبه شاخص‌ها

پس از گردآوری تصاویر، پیش‌پردازش آنها شامل تصحیحات هندسی، تصحیحات رادیومتریکی و تصحیحات اتمسفری انجام شد. محدوده مورد مطالعه از فریم تصویر کامل ماهواره‌ای جدا شد و یک وکتور نقطه‌ای، در محیط GIS و براساس مختصات جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری، تهیه شد.

برای تعیین روابط بین مقادیر شوری و باندهای ماهواره‌های متفاوت، لازم بود ضرایب بازتاب پوشش سطح درمورد باندهای گوناگون واسنجی شود. منظور از واسنجی در محدوده طیفی هر باند، به‌دست‌آوردن مقدار تشعشع ثبت‌شده از طریق باند مورد نظر در بالای اتمسفر است و مقادیر تابشی^۱ و انعکاسی^۲، برای هر باند،

از تصاویر ماهواره‌ای و طبق رابطه‌های (۱) و (۲) محاسبه شد (Landsat8 data users handbook, 2016).

$$L\lambda = (M_L \times Qcal) + AL \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\rho\lambda = (M_p \times Qcal) + AP / \sin(\theta SE) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$L\lambda$ تابش طیفی برای هر باند $(m^2 \times srad \times \mu m)$ ، AL و ML ضریب واسنجی تابشی باندهای سنجنده، $Qcal$ مقدار پیکسل‌های خام تصاویر ماهواره‌ای پیش از واسنجی یا همان عدد رقومی (DN) مربوط به هر پیکسل، $\rho\lambda$ انعکاس طیفی هر باند، θSE زاویه خورشیدی، و AP و MP ضریب انعکاسی سنجنده است. پس از محاسبه مقادیر تابشی باندها، شاخص‌های مورد نیاز طبق روابط تعریف‌شده محاسبه شد (جدول ۳).

جدول ۳. شاخص‌های به‌کاررفته

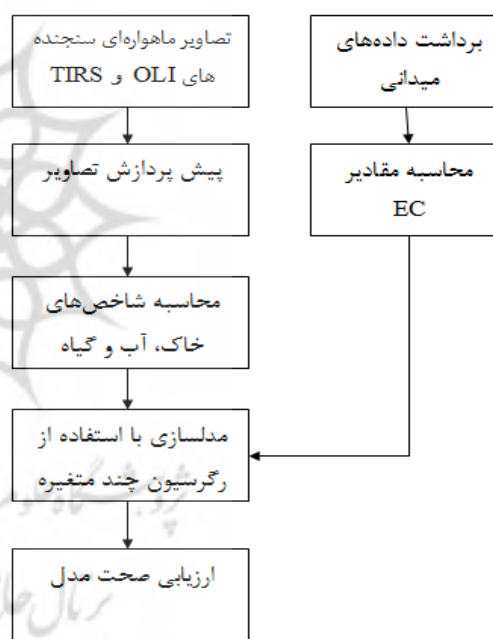
شاخص	نوع	رابطه	منابع
SI 1	Salinity index	(B/R)	Akhzari, 2016
SI 2	Salinity index	(B-R/B+R)	Akhzari, 2016
SI 3	Salinity index	(G*R)/R	Akhzari, 2016
SI 4	Salinity index	$\sqrt{B*R}$	Khan et al., 2001
SI 5	Salinity index	(B*R)/G	Akhzari, 2016
SI 6	Salinity index	(R*NIR)/G	Akhzari, 2016
SI 7	Salinity index	$\sqrt{G*R}$	Douaoui et al., 2006
SI 8	Salinity index	$\sqrt{G^2*R^2*NIR^2}$	Kappa et al., 2005
SI 9	Salinity index	$\sqrt{G^2*R^2}$	Douaoui et al., 2006
SI 10	Salinity index	(NIR-SWIR)/(NIR+SWIR)	Matinfar & Zandieh, 2016
SR	vegetation index	NIR/R	Birth & McVey, 1968
NDSI	Salinity index	(R-NIR)/(R+NIR)	Khan et al., 2001
SI-A	Salinity index	(R*B)*100	Akhzari, 2016
SI-T	Salinity index	(R/NIR)*100	Akhzari, 2016
BI	Soil index	$\sqrt{R^2+NIR^2}$	Dehni & Lounis, 2012
PD ₃₂₂	Salinity index	R-G/R+G	Barnes, 1992
IPVI	vegetation index	NIR/(NIR+R)	Crippen, 1990
DVI	vegetation index	NIR-R	Tucker, 1979
NDVI	vegetation index	(NIR-R)/(NIR+R)	Rouse et al., 1973
Cosri	Soil index	(B+G)/(R+NIR)*NDVI	Fernandez-Buces et al., 2006
SAVI	vegetation index	$1.5*(NIR-R)/(NIR+R+0.5)$	Huete, Jackson & Post, 1985
T SAVI	vegetation index	$(S*(NIR-S*R-a)/(a*NIR+R-a*s+x*1+s^2)$	Gvyot & Baret, 1991
O SAVI	vegetation index	$1/16*(NIR-RED)/(NIR+RED+0.16)$	Rondeaux et al., 1996
M SAVI	vegetation index	$((2*NIR+1)-SQRT((2*NIR+1)^2-8*(NIR-RED)))$	Qietal, 1994
GDVI ₂	vegetation index	$(NIR^2-R^2)/(NIR^2+R^2)$	WU, 2012
MSI	Water index	SWIR ₁ /NIR	Tajgardan et al., 2009
VSSI	Salinity index	$2*G-5(R+NIR)$	Dehni & Lounis, 2012
NDWI	Water index	(PG-PNIR)/(PG+PNIR)	Mcfeters, 1996
MNDVI	vegetation index	(G-SWIR)/(G+SWIR)	Xu, 2006
NDBI	Soil index	(NIR-SWIR)/(NIR+SWIR)	Wolf, 2010
SI 11	Salinity index	RSWIR ₁ /RSWIR ₂	et al., 2008 Bannari
SI Aster	Salinity index	(SWIR ₁ -SWIR ₂)/(SWIR ₁ +SWIR ₂)	Bannari et al., 2008
INT 1	Soil index	(G+RED)/2	Douaoui, Nicolas & Walter, 2006
INT 2	Soil index	(G+RED+NIR)/2	Douaoui, Nicolas & Walter, 2006
BI 2	Soil index	$\sqrt{G^2+NIR^2}$	Khan et al., 2001
EVI 1	vegetation index	$(2.5*(NIR-RED))/(NIR+6*RED-7.5B+1)$	Huete et al., 2002
RVI	vegetation index	NIR/R	Major, 1990

1. Radiance

2. Reflectance

املاح در خاک باعث شور شدن و غیرقابل استفاده شدن اراضی می‌شود. بنابراین، بررسی میزان شوری و قلیائیتی بودن آب‌های سطحی و زیرزمینی، با هدف جلوگیری از بروز خسارت به کشاورزی و محیط زیست، باید در نظر گرفته شود. کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی مهم در خاک‌های شور شامل سدیم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، کلرید، سولفات، بیکربنات، کربنات و نیترات می‌شود (Kant et al., 2008). باین حال، کلرید سدیم فراوان‌ترین نمک محلول در آب‌های جهان (Torabi, 2014) و عامل اصلی شوری در بیشتر مناطق است و بر همین اساس، بیشتر پژوهش‌های شوری در مورد اثر کلرید سدیم انجام شده است (Mahmoudi et al., 2016). در طبقه‌بندی ویلکاکس^۱ (۱۹۵۵)، دو عامل هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم به منظور تعیین کیفیت مصارف کشاورزی در نظر گرفته شده که در آن، S نماینده SAR و C نشان‌دهنده هدایت الکتریکی است. آب‌ها، از نظر شوری، در چهار گروه C1، C2، C3، C4 قرار می‌گیرند. کلاس C1 آب‌هایی با کمتر از ۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر شوری یا هدایت الکتریکی کمتر از ۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر است. کلاس C4 شامل آن دسته از آب‌هایی است که بیش از ۲۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر شورند. از نظر سدیمی بودن، آب‌ها چهار گروه می‌شوند (S1، S2، S3، S4). گروه S1 آب‌هایی با نسبت جذب سدیم کمتر از ۱۰ است (USSL, 1954). هر گروه از این آب‌ها محدودیت‌های خاص خود را دارد و نیازمند مدیریت خاصی در آبیاری است. نتایج آنالیز تعدادی از نمونه‌های آب منابع آبیاری، که مهندسان مشاور پیشاهنگ توسعه کرمانشاه انجام داده‌اند، در جدول ۴ نمایش داده شده است. این موارد شور و سدیمی بودن منابع آبی منطقه و تأثیرات منفی آن در خاک را نشان می‌دهد.

پس از جمع‌آوری داده‌های زمینی و محاسبه مقادیر EC و نیز جمع‌آوری تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های OLI و TIRS ماهواره لندست ۸، متعلق به سال ۲۰۱۳، پیش‌پردازش داده‌های ماهواره‌ای (تصحیح رادیومتری، هندسی و اتمسفری) انجام شد. سپس شاخص‌ها (خاک، گیاه و آب) محاسبه شد. در مرحله بعد با استفاده از مقادیر EC و شاخص‌ها، از طریق رگرسیون چندمتغیره خطی (روش گام‌به‌گام)، شوری خاک مدل‌سازی شد و در نهایت، صحت مدل ارزیابی شد. فلوچارت روش تحقیق مطابق شکل ۲ و مراحل مطرح شده است.



شکل ۲. فلوچارت پژوهش انجام شده

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی منابع آبی منطقه

آب‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای املاح محلول زیادی هستند که بخشی از آن صرف نیازهای گیاهان و مابقی در خاک انباشته می‌شود. در صورتی که به این مسئله توجهی نشود، با گذشت زمان، تجمع

1. Wilcox

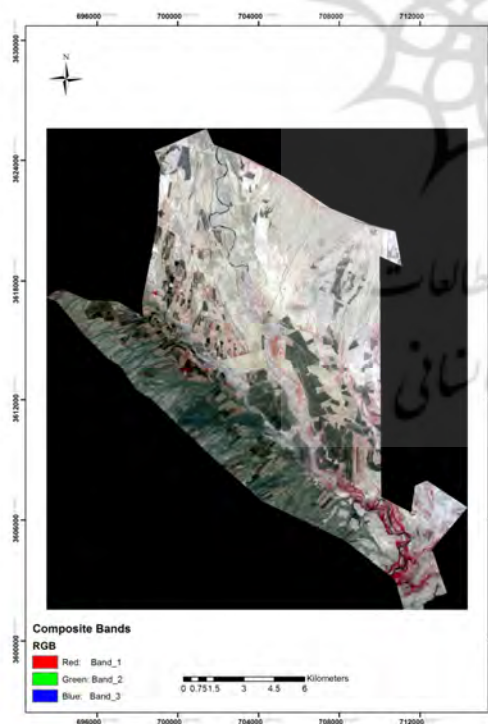
جدول ۴. نتایج آنالیز نمونه‌های آب محدوده مطالعاتی

ردیف	موقعیت محل	pH	EC.106	TDS	SAR	Cl _r (meq/l)	2-CO ₃ (meq/l)	HCO ₃ ⁻ (meq/l)	2-SO ₄ (meq/l)	Ca ²⁺ (meq/l)	Mg ²⁺ (meq/l)	Na ⁺ (meq/l)	K ⁺ (meq/l)	Class
۱	میمه محمدعلی افسرده	۵۶۹	۱۶۹۰	۱۰۰۸۲	۱۹۰	۹	۰	۳۱	۴۱۰۰۴	۲۶۵	۱۷۵	۸۹۳	۰۲۱	C3-S1
۲	میمه چاه کریم نیازی	۶۱۷	۱۲۹۹	۰۸۳۱	۲۶۷	۶۵	۰	۱۸	۲۸۱۴	۱۴۵	۱۲۱	۹۷۵	۰۰۹	C3-S1
۳	میمه چاه جهانبخش جاسمی	۶۰۷	۱۹۸۱	۱۲۶۸	۲۸۰	۱۵۶	۰	۲۸	۳۹۵۳	۱۴۲	۳۰۴	۱۳۲۳	۰۱	C3-S1
۴	چاه ۲	۶۱	۳۶۱۰۲۶۰	۷۱۰۰۰۱	۱۵۶۴	۳۲۲	۰	۲	۸۰۷۷	۳۹۱	۳۲	۷۲	۰۵۷	C4-S3
۵	میمه سید محمد نظری	۶۲۵	۱۵۷۷	۱۰۰۹	۲۸۸	۸۹	۰	۳۶	۲۱۶۴	۲۲۲	۱۸	۹۹۶	۰۱۸	C3-S1
۶	میمه میرشکار الیوی	۶۳۴	۱۶۰۶	۱۰۲۷	۳۱۶	۱۲۲	۰	۲۱	۲۹۸۵	۱۱۶	۱۹۹	۱۲۵۵	۰۱	C3-S1
۷	چاه شورماهی بالا	۶۳۷	۳۶۰۷۵۱۷	۷۱۱۳۳۴	۱۲۴۶	۱۳۰	۰	۳۱	۱۲۲۸	۴۴۴	۱۰۱	۶۵۰۵	۱۲۷	C4-S3
۸	میمه سد انحرافی رودخانه	۶۲۳	۸۴۴۰	۵۴	۱۰۱۸	۱۹۰	۰	۲۳	۲۰۰۱	۶۰۵	۳۹۵	۷۲	۰۲۹	C4-S3
۹	میمه نزدیک روستای بیات	۶۲۱	۴۱۱۳	۲۶۴	۹۱۹	۱۳۵	۰	۴۷	۳۵۴	۳۸۲	۱۷۵	۴۸۵	۰۴۱	C4-S3
۱۰	میمه چاه صادق کاوری	۶۴۸	۶۳۴	۰۴	۲۴۵	۱۰۰	۰	۲۳	۸۰۰۳	۳۶	۱۱۸	۶۸۱	۰۰۶	C2-S1
۱۱	رودخانه میمه پل بیات	۵۶	۹۴۰۰	۶۰۲	۱۷۲۶	۳۶۷۵	۰	۲۵	۲۵۰۹۵	۲۴	۱۶۸	۷۷۹۵	۰۳	C4-S4
۱۲	میمه چاه سعید جمشیدی	۶۸۱	۱۷۹۳	۱۱۵	۱۹۶	۵۰	۰	۲۸	۴۱	۲۳	۲۴۲	۹۵۴	۰۱۶	C3-S1
۱۳	میمه چاه ابراهیم رحمتی	۶۹۳	۱۱۹۴	۰۷۶	۲۰۴	۴۵	۰۸	۲۲	۹۴۹	۶۸	۲۳۷	۷۹۵	۰۰۶	C3-S1
۱۴	میمه می آبسالان	۷۳۴	۳۲۵	۰۲۱	۱۱۹	۳۷۵	۰۷	۲	۱۳۱۵	۳	۲۰	۴۰۲	۰۰۳	C2-S1
۱۵	میمه رودخانه به سمت پروقیل ۹۳	۶۵۳	۸۲۸۰	۵۳۶	۱۱۲۳	۳۰۵	۰۶	۱۴	۱۶۰۰۸	۵۶۵	۲۰۵	۶۹۶۵	۰۲۷	C4-S3
۱۶	میمه چاه مرتضی اروانه	۷۱۶	۳۲۳	۰۲۱	۵۳	۴۰	۱	۱۸	۲۳۱۸	۲۷	۱۵۳	۱۵۸	۰۰۴	C2-S1
۱۷	میمه چاه عباس عبدی‌نیا	۶۶۴	۲۷۱۰	۱۷۳	۵۲۹	۸۰	۰	۲۴	۵۸۲	۳۰	۲۰	۲۶۴۶	۰۱۲	C4-S2
۱۸	میمه چاه عباس داراب‌زاده شماره ۱۴	۶۶۳	۲۶۴۰	۱۶۹	۴۴۵	۸۲۵	۰	۲۴	۶۴۳	۱۲۸	۴۲۲	۲۳۳۲	۰۱۵	C4-S1
۱۹	محل چاه عمیق شماره ۱	۶۴۸	۳۶۱۱۶۳۰	۷۰۸۸۰۹	۲۶	۸۱۱	۰	۳۴	۳۲۲	۳۹۷	۴۸	۳۸۲۶	۰۹۴	C4-S2

برای انجام‌شدن بهتر تفسیر چشمی، تصاویر رنگی کاذب (RGB) با ترکیب باندهای ۵، ۴، ۳، تهیه شد. در این ترکیب رنگی، پوشش گیاهی به رنگ قرمز، خاک‌ها به رنگ طیف سفید تا خاکستری و رودخانه به رنگ آبی بسیار تیره دیده می‌شوند (شکل ۳).

۳-۲- مدل‌سازی

مرحله مدل‌سازی با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره خطی (روش گام‌به‌گام) که در واقع، دارای دو روش پیش‌رونده و پس‌رونده است، انجام شد. در روش پس‌رونده، که در این پژوهش استفاده شده است، ابتدا تمامی متغیرها در مدل وجود دارند و مرحله‌به‌مرحله، متغیری که سطح معنی‌داری مورد قبولی نداشته نباشد از مدل حذف می‌شود. در این روش، اجرای مدل تا زمانی ادامه می‌یابد که آخرین متغیر با کمترین میزان آماره از مدل حذف شود؛ به این صورت که در هر مرحله، تمامی متغیرها وارد مدل می‌شوند و علاوه‌بر بررسی‌شدن در مدل، با آماره خودشان نیز ارزیابی می‌شوند. مقادیر بازتاب طیفی



شکل ۳. تصویر رنگی کاذب منطقه با ترکیب باندی ۵، ۴، ۳

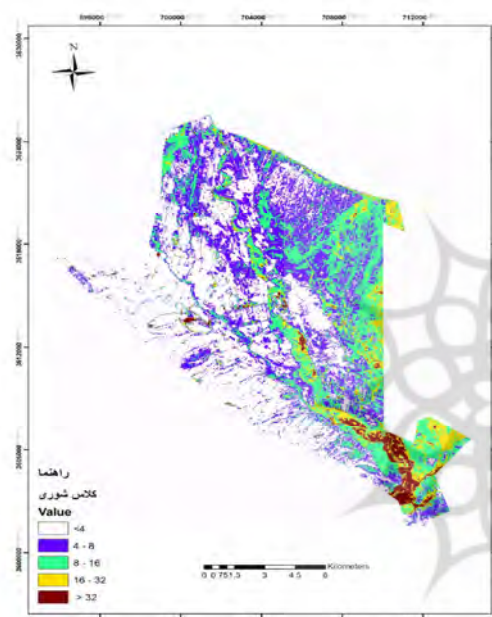
۳-۳- تحلیل آماری- طیفی

نقشه شوری براساس مدل رگرسیونی گام به گام، متعلق به سال نمونه برداری (۲۰۱۳) تهیه شد (شکل ۴). روابط رگرسیونی پیرسون بین باندها و شاخص‌های گوناگون و مقدار EC حاصل از داده‌های زمینی نیز در شکل ۵ نمایش داده شده است که نتایج حاصل با تحقیق الهرتی^۱ و همکاران (۲۰۱۶)، عزب‌دفتری^۲ و سونار^۳ (۲۰۱۶) و ویتنی^۴ و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد.

باندها و شاخص‌های برگزیده به منزله متغیر مستقل و هدایت الکتریکی خاک سطحی به منزله متغیر وابسته در نظر گرفته شد. باندها و شاخص‌هایی که با فاکتور شوری EC (متغیر وابسته) بیشترین همبستگی را داشتند مشخص و بهترین مدل انتخاب شد. در مدل ارائه شده، شاخص‌ها و باندهایی مشخص شدند که بیشترین همبستگی را با مقادیر شوری داشتند و به ترتیب، شامل SI-T، SI 2، NDBI، Si 11، MSI و بودند.

$$Y = -592.610 - (0.976 * SI-T) + (113.729 * SI2) + (2230.781 * NDBI) - (61.958 * SI11) + (885.182 * MSI)$$

رابطه (۳)



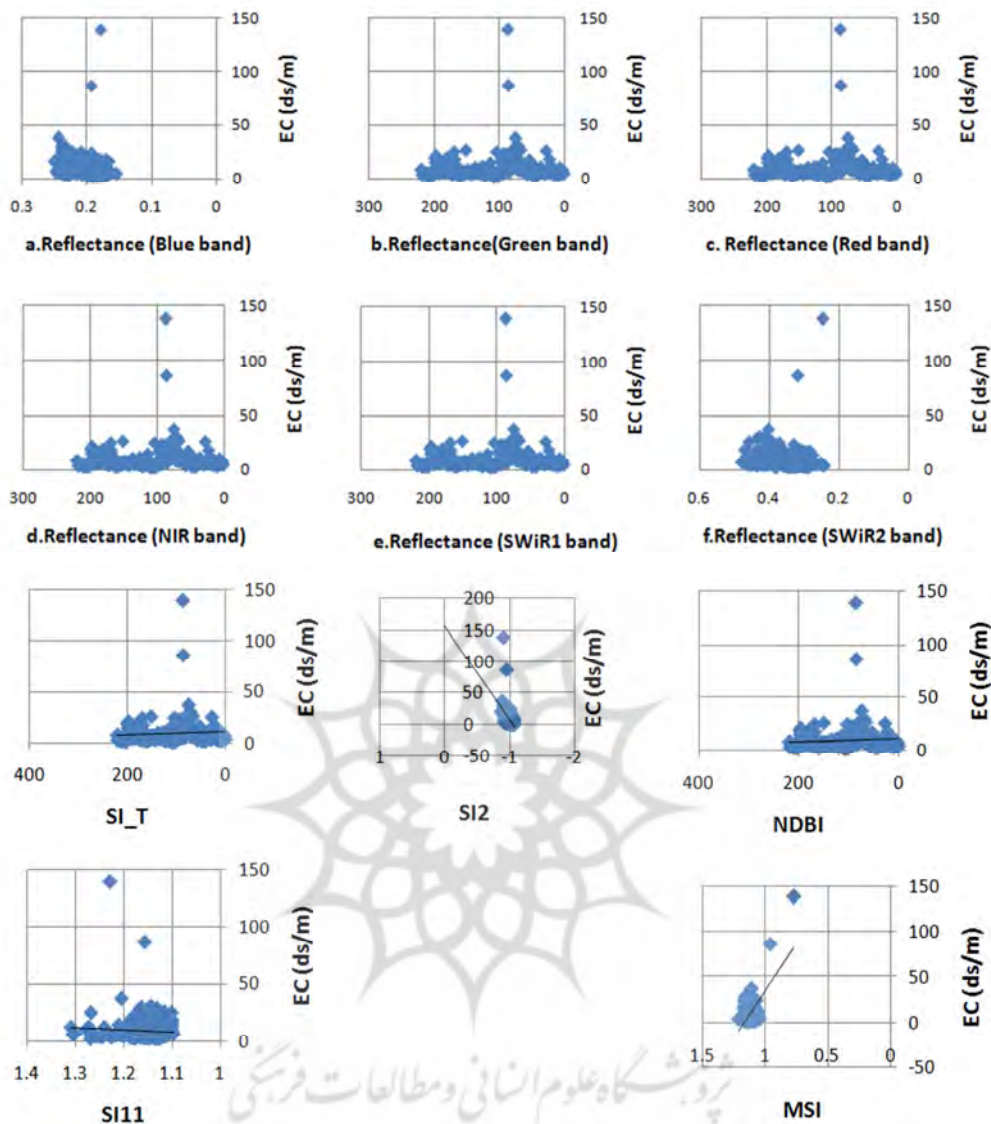
شکل ۴. نقشه شوری نهایی حاصل از اعمال شاخص‌ها در رابطه رگرسیونی گام به گام

سپس نقشه شوری خاک، براساس معیارهای مشخص کلاس شوری خاک، سازمان مطالعات شوری خاک آمریکا طبقه‌بندی شد (جدول ۵). طبقه‌بندی ارائه شده در جدول ۵ نشان می‌دهد که اگر مقدار شوری خاک از ۴ دسی‌زیمنس بر متر کمتر باشد، خاک در طبقه غیر شور قرار می‌گیرد و اگر مقدار EC بیشتر از ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر باشد، خاک در طبقه شوری بسیار زیاد قرار می‌گیرد. نقشه نهایی شوری خاک منطقه مورد مطالعه، با استفاده از مهم‌ترین باندها و شاخص‌ها، طبق رابطه (۱) و در پنج طبقه مشخص، تهیه شد.

جدول ۵. طبقه‌بندی کلاس‌های شوری خاک

نوع خاک	غیر شور	شوری اندک	شوری متوسط	شوری زیاد	شوری بسیار زیاد
میزان EC (دسی‌زیمنس بر متر)	$4 >$	$4 - 8$	$8 - 16$	$16 - 32$	$32 <$
طبقه شوری	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄

1. ELHarti
2. Azabdaftari
3. Sunar
4. Whitney



شکل ۵. نمودار همبستگی پیرسون بین مقادیر EC داده‌های زمینی و باندها و شاخص‌های مؤثر

قرار می‌گیرند، همبستگی واحد مورد قبولی برای تهیه نقشه خاک، افزایش می‌یابد و می‌توان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، در نقاطی که نمونه‌برداری انجام نگرفته است، میزان شوری خاک را با صحت بیشتری برآورد کرد. به دلیل اینکه داده‌های چندطیفی در شوری‌های کم قدرت تفکیک پایینی دارند، پهنای باند بالا نمی‌توانند تغییرات جزئی را شناسایی کنند؛ بنابراین، توصیه آن است که برای تفکیک تغییرات جزئی، از تصاویر فراطیفی استفاده شود (Metternicht & Zinck, 2009).

خلاصه آماری همبستگی پیرسون بین باندها و شاخص‌های مؤثر در تهیه نقشه شوری خاک، با مقادیر EC که از نقاط زمینی برداشت شده، در جدول ۶ آمده است.

باندها، به تنهایی و پیش از استفاده در شاخص‌ها و انجام‌شدن محاسبات مورد نظر، همبستگی بالایی با شوری خاک ندارند. در صورت به‌کاربردن باندها در روابطی که منجر به ایجاد شاخص‌های گوناگون می‌شود، همبستگی افزایش چشمگیری می‌یابد و در مرحله بعدی که شاخص‌ها داخل مدل (روش گام‌به‌گام)

جدول ۶. مقادیر همبستگی بین مقدار EC و باندها و شاخص‌های مؤثر

	EC	band 2	band 3	band 4	band 5	band 6	band 7	band 8	SI1	SI2	SI3
Pearson Correlation	۱	۰.۰۶۵	۰.۰۴۰	-۰.۰۰۶	۰.۱۲۸	-۰.۰۲۰	-۰.۰۲۸	۰.۰۱۵	۰.۲۰۴**	۰.۴۱۹**	-۰.۰۱۳
Sig. (2-tailed)		۰.۳۳۹	۰.۵۵۲	۰.۹۹۳	۰.۰۵۹	۰.۷۷۱	۰.۶۶۷	۰.۸۸۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۰	۰.۸۴۷
N	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰
	SI4	SI5	SI6	SI7	SI8	SI9	SI10	SR	NDSI	SI-A	SI-T
Pearson Correlation	۰.۰۲۴	۰.۰۰۵	۰.۰۷۲	۰.۰۱۶	۰.۰۴۷	۰.۰۲۰	۰.۶۷۷**	۰.۶۹۶**	۰.۶۹۵**	۰.۰۲۹	-۰.۶۲۹**
Sig. (2-tailed)	۰.۷۳۲	۰.۹۳۹	۰.۲۸۶	۰.۸۱۰	۰.۴۸۴	۰.۷۶۵	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۶۷۴	۰.۰۰۰
N	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰
	BI	PD ₂₂₂	IPVI	DVI	NDVI	Cosri	SAVI	T SAVI	O SAVI	MSAVI	GDVI ₂
Pearson Correlation	۰.۰۷۹	-۰.۴۴۵**	۰.۶۵۹**	۰.۵۰۴**	۰.۶۵۹**	۰.۶۶۳**	۰.۶۱۷**	۰.۶۴۹**	۰.۶۴۸**	۰.۶۱۵**	۰.۰۲۷
Sig. (2-tailed)	۰.۲۴۵	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۷۳۷
N	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰
	MSI	VSSI	NDWI	MNDWI	NDBI	SI 11	SI Aster	INT 1	INT 2	BI 2	EVI 1
Pearson Correlation	-۰.۶۳۷**	-۰.۰۷۲	-۰.۴۴۸**	-۰.۴۵۰**	۰.۶۶۷**	۰.۰۶۴	۰.۰۶۴	۰.۰۱۴	۰.۰۶۱	۰.۰۷۹	۰.۰۷۲
Sig. (2-tailed)	۰.۰۰۰	۰.۲۸۶	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۳۴۵	۰.۳۴۳	۰.۸۳۶	۰.۳۶۷	۰.۲۴۵	۰.۲۴۹
N	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰
	RVI										
Pearson Correlation	۰.۶۹۶**										
Sig. (2-tailed)	۰.۰۰۰										
N	۲۲۰										

* معنی‌داری در سطح ۰.۰۵

** معنی‌داری در سطح ۰.۰۱

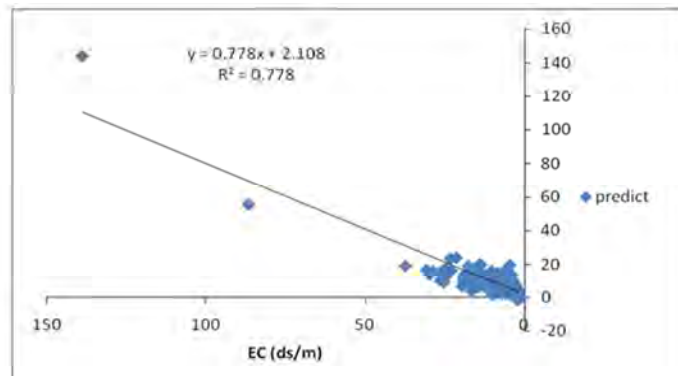
رگرسیون، ضرایب رگرسیون و ثابت‌بودن واریانس و نرمال‌بودن توزیع باقی‌مانده‌ها نیز، در محیط SPSS بررسی شدند.

ضریب همبستگی پیرسون در مدل برابر ۰/۸۸۲ و ضریب تبیین و ضریب تبیین تعدیل‌شده برابر با ۰/۷۷۹ و ۰/۷۷۳ است که رقم بالایی محسوب می‌شوند. سطح معنی‌داری آنها نیز برابر صفر است که معنی‌دار بودن مدل رگرسیونی را می‌رساند. تنها توابعی برای پیش‌بینی مورد اعتمادند که ضریب تبیین R^2 مناسب و حداقل بالاتر از ۰.۵۰ داشته باشند؛ از این‌رو، مدل حاصل می‌تواند متغیر وابسته را به‌خوبی پیش‌بینی کند.

نتایج اندازه‌گیری مساحت هر کلاس و نیز درصد هریک از کلاس‌های شوری خاک نشان می‌دهد که ۷۵.۶۴٪، برابر با ۱۵۳۵۸.۸۲ هکتار از منطقه مورد مطالعه در طبقه غیرشور و ۱.۰۷٪، برابر با ۲۱۷.۳۱ هکتار از خاک‌های منطقه در طبقه بسیار شور قرار دارد. مساحت و درصد شوری هر کلاس در جدول ۸ آمده است.

۴-۳- ارزیابی صحت داده‌های طیفی در برآورد شوری خاک

برای دستیابی به الگوریتمی که در مقایسه با مشاهدات میدانی و با توجه به دامنه پراکنش داده‌ها، در تخمین شوری سطحی خاک همبستگی و دقت بالاتری دارد؛ مقادیر محاسبه‌شده نمایه‌های طیفی منتخب در هر پیکسل به‌منزله پارامترهای مستقل و مقادیر شوری سطحی خاک هر نقطه به‌صورت پارامتر وابسته تعریف شدند. به‌منظور بررسی شدت و ضعف وابستگی آماری و روابط بین شوری سطحی خاک (متغیر وابسته) با متغیرهای مستقل یا برآوردکننده پژوهش، در محیط SPSS روش رگرسیونی گام‌به‌گام روی داده‌ها اعمال شد و بهترین مدل برازش‌یافته با بالاترین ضریب همبستگی و کمترین خطا انتخاب شد. نتایج در جدول ۷ و نمودار پراکنش مقادیر پیش‌بینی‌شده EC در مقابل مقادیر اندازه‌گیری‌شده نیز در شکل ۶ نمایش داده شده است. صحت نقشه شوری خاک نشان‌دهنده دقت کلی طبقه‌بندی ۰.۸۸٪ است. مدل‌های انتخابی از لحاظ اعتبار



شکل ۶. نمودار پراکنش مقادیر پیش‌بینی‌شده EC به نسبت مقادیر واقعی

جدول ۷. برآورد میزان همبستگی شاخص‌های طیفی و EC خاک

جهت همبستگی	سطح معنی‌داری آزمون (sig)	ضریب تبیین تعدیل‌شده (R ²)	ضریب تبیین (R ²)	ضریب همبستگی (R)	مدل
مثبت	۰.۰۰۰	۰.۷۷۳	۰.۷۷۸	۰.۸۸۲	Stepwise

جدول ۸. مساحت و درصد کلاس‌های شوری

کلاس شوری	غیرشور	شوری کم	شوری متوسط	شوری زیاد	شوری بسیار زیاد	کل
مساحت (he)	۱۵۳۵۸.۸۲	۲۲۰۵.۴۴	۱۹۸۴.۹۲	۵۳۷.۲۴	۲۱۷.۳۱	۲۰۳۰۳.۷۵
درصد %	۷۵.۶۴	۱۰.۸۶	۹.۷۷	۲.۶۴	۱.۰۷	۱۰۰

۵-۳- نتیجه‌گیری کلی

مطالعه سطح خاک با استفاده از سیستم‌های دورسنجی بسیار پیچیده است. تغییرات زمانی و مکانی باعث شده است هریک از دانشمندان روش متفاوتی را برای تهیه نقشه شوری، با استفاده از اطلاعات سنسج از دور، پیشنهاد کند (Salman & Mubeen, 2000). مهم‌ترین مزیت استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به منظور تهیه نقشه شوری خاک، امکان تهیه نقشه شوری سطحی در مورد تاریخ‌های متفاوت، بدون دراختیارداشتن اطلاعات میدانی است. حتی می‌توان در مورد تاریخ‌های گذشته که اطلاعات ماهواره‌ای آنها موجود است، نقشه شوری خاک را تهیه کرد. در پژوهش انجام‌شده، با استفاده از مجموعه‌ای از باندهای ماهواره‌ای و

همچنین، مهندسان مشاور پیشاهنگ توسعه کرمانشاه، متناسب با زمان نمونه‌برداری (سال ۲۰۱۳)، محدوده مورد مطالعه را براساس کلاس‌های شوری تقسیم‌بندی کردند. مساحت هر کلاس شوری در جدول ۹ آورده شده است. در این مطالعه، به منظور ارزیابی شدت محدودیت‌های ناشی از وجود سدیم در اعماق ۰ تا ۷۵ سانتی‌متری نقاطی که میزان EC آنها بیش از ۸ دسی‌زیمنس بر متر یا pH آنها بیش از ۸.۲ بوده است، طبق روال، در عمق با بیشترین محدودیت، میزان سدیم و کلسیم و منیزیم اندازه گرفته شده است. مقدار SAR نیز محاسبه و در جدول ۹ منعکس شده است.

جدول ۹. مساحت (هکتار) و درصد کلاس‌های شوری و سدیمی خاک اندازه‌گیری شده از سوی مهندسان مشاور پیشاهنگ توسعه کرمانشاه، در محدوده مطالعاتی

درصد	مساحت	SAR	EC ds/m	کلاس‌های شوری و سدیمی
۱۸.۱۲	۳۸۱۰	۸ >	۴ >	S0A0
۴۰.۷۰	۸۵۴۶	۸ >	۸ - ۴	S1A0
۲.۶۵	۵۵۶	۸ - ۱۳	۸ - ۴	S1A1
۵.۶۹	۱۱۹۶	۸ >	۱۶ - ۸	S2A0
۵.۱۶	۱۰۸۵	۸ - ۱۳	۱۶ - ۸	S2A1
۷.۹۷	۱۶۷۴	۳۰ - ۱۳	۱۶ - ۸	S2A2
۰.۲۳	۴۸	۷۰ - ۳۰	۱۶ - ۸	S2A3
۱.۳۲	۲۲۷	۸ >	۳۲ - ۱۶	S3A0
۲.۱۵	۴۵۱	۱۳ - ۸	۳۲ - ۱۶	S3A1
۵.۱۶	۱۰۸۵	۳۰ - ۱۳	۳۲ - ۱۶	S3A2
۰.۳۱	۶۴	۷۰ - ۳۰	۳۲ - ۱۶	S3A3
۴.۱۳	۸۶۷	۳۰ - ۱۳	۳۲ <	S4A2
۱.۹۶	۴۱۱	۷۰ - ۳۰	۳۲ <	S4A3
۱.۰	۲۰۹	۷۰ <	۳۲ <	S4A4
۳.۴۵	۷۲۱	-	-	Mis
۱۰۰	۲۱۰۰۰	-	-	جمع مساحت و درصد

بازتاب سطح به شدت تحت تأثیر میزان رطوبت خاک، محتوای نمک، رنگ و زبری سطح قرار دارد. غلظت بالای نمک را می‌توان از طریق گونه‌های خاص پوشش گیاهی و الگوهای رشد و یا با شوره و پوه نمکی موجود در خاک‌های لخت، شناسایی کرد. در پژوهش‌های مشابه پیشین، شاخص‌های گوناگون پوشش گیاهی و شوری را برای ارزیابی و ترسیم نقشه شوری خاک به کار گرفته‌اند. همان‌طور که بحث شد، این شاخص‌ها با درجات متفاوت موفقیت به کار رفته‌اند و مناطق گوناگون، از نظر سطح شوری و میزان پوشش گیاهی، تفاوت دارند؛ از این‌رو، استفاده از یک شاخص واحد انتخابی ممکن است عملکرد مطلوبی نداشته باشد. در این مطالعه، سعی شده است از شاخص‌های گوناگون شامل آب، خاک و گیاه استفاده شود تا دقت مدل و نقشه حاصل بالاتر باشد.

شاخص‌های مستخرج، بهترین مدل ارزیابی شوری خاک منطقه مطالعاتی تعیین شد. اصفا^۱ و همکاران (۲۰۱۶) رابطه بین مقادیر شاخص‌های طیفی تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های میدانی (EC) را در منطقه اتیوپی بررسی کردند. نتایج نشان داد داده‌های سنجنش از دور، در تهیه مدل‌ها و نقشه‌های شوری خاک بسیار مناسب است که با نتایج حاصل هم‌خوانی دارد. مشاهدات میدانی و تحلیل آماری EC اندازه‌گیری شده خاک دهلران نشان‌دهنده تجمع نمک در سطح خاک و لایه‌های بالایی آن در مناطق شور است که با نتایج سنجنش از دور هم‌خوانی دارد. با افزایش فاصله از سرچشمه رودخانه میمه، مقدار EC خاک افزایش می‌یابد. بالاترین مقدار EC در انتهای مسیر رودخانه اندازه‌گیری شد و با مقایسه داده‌های حاصل از ماهواره لندست ۸، به کارگیری شاخص‌ها و قراردادن شاخص‌ها در معادله رگرسیونی گام به گام این نتیجه حاصل شد که تصاویر ماهواره‌ای در ارزیابی شوری خاک منطقه کارآمد است و نتایج همبستگی بالایی در سطح ۰.۸۸ با داده‌های زمینی دارند.

1. Asfaw

- متین‌فر، ح.، سرمیدان، ف.، علوی‌پناه، س.ک.، ۱۳۸۸،
 ارزیابی داده‌های سنجنده IRS-1D به منظور
 شناسایی خاک‌ها براساس مطالعات میدانی و
 به کمک سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی
 (GIS) در منطقه آران و بیدگل، مهندسی و
 مدیریت آبخیز، دوره بیست‌ویکم، شماره ۱ (پیاپی
 ۸۲)، صص. ۴۶-۵۸.
- Abdelfattah, M.A., 2009, **Soil Salinity Mapping Model Developed Using RS and GIS – A Case Study from Abu Dhabi, United Arab Emirates**, European Journal of Scientific Research, 26(3), PP. 342-351.
- Al-Hassoun, S.A., 2012, **Remote Sensing of Soil Salinity in an Arid Areas in Saudi Arabia**, International Journal of Civil and Environmental Engineering IJCEEIJENS, 10(2), PP. 11-20
- Asfaw, E., Suryabhagavan, K.v. & Argaw, M., 2016, **Soil Salinity Modeling and Mapping Using Remote Sensing and GIS: The Case of Wonji Suger Cane Irrigation Farm, Ethiopia**, Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, PP. 1-22.
- Azabdaftari, A. & Sunar, f., 2016, **Soil Salinity Mapping Multitemporal Land Sat Data**, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, xl-B7, PP. 809-813.
- Buces, F.N., Siebe, C., Cram, S. & 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.
- Dennis, L., 2018, **Validating the Use of MODIS Time Series Fore Salinity Assessment over Agricultural Soils in California, USA**, Ecological Indicators, 93, PP. 889-898.
- ELHarti, A., Lhissou, R., Chokmani, K., Ouzemou, J., Hassouna, M., Bachaoui, E. & Ghmari, A., 2016, **Spatiotemporal Monitoring of Soil Salinization in Irrigated Tadla Plain (Morocco) Using Satellite Spectral Indices**, International Journal of Applied Earth – Observation and Geoinformation, 50, PP. 64-73.
- ۴- منابع
 اختری د.، می‌آبادی اسدی، ا.، ۱۳۹۵، تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از تحلیل طیفی داده‌های سنجنده OLI و داده‌های میدانی. مطالعه موردی: جنوب دشت ملایر، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال هفتم، شماره ۲، صص. ۸۷-۱.
- چیت‌ساز، و.، ۱۳۷۸، بررسی امکان تهیه نقشه شوری و قلیائیت خاک در منطقه شرق اصفهان با استفاده از داده‌های رقومی TM، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی.
- دشتکیان، ک.، پاک‌پرور، م.، عبدالهی، ج.، ۱۳۸۷، بررسی روش‌های تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست در منطقه مروست، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، شماره ۲، صص. ۱۵۷-۱۳۹.
- دماوندی ع.ا.، درویش‌صفت، ع.ا.، ۱۳۷۸، بررسی امکان کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در شناسایی و طبقه‌بندی اراضی شور، به روش رقومی، همایش نقشه‌برداری.
- زینالی م.، جعفرزاده، ا.، شهبازی، ف.، اوستان، ش.، ولی‌زاده، ک.، ۱۳۹۵، ارزیابی شوری خاک سطحی با روش پیکسل‌مبنا براساس داده‌های سنجنده TM. مطالعه موردی: اراضی شهرستان خوی، استان آذربایجان غربی، اطلاعات جغرافیایی، شماره ۲۵ (۹۹)، صص. ۱۳۹-۱۲۷.
- علوی پناه، س.ک.، ۱۳۸۲، کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، انتشارات دانشگاه تهران.
- کافی م.، برزئی، ا.، صالحی، م.، کمندی، ع.، معصومی، ع.، نباتی، ج.، ۱۳۸۸، فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان، مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

- Helmut L., Tavakoli, H., Ansair R., Askar, H. & Rastegari, J., 2013, **Crop and Forage Production Using Saline Waters**, Daya Publishing House, India.
- Kant, C., Aydin, A. & Turan, M., 2008, **Ameliorative Effect of Hydro Gel Substrate on Growth, Inorganic Ions, Proline and Nitrate Contents of Bean under Salinity Stress**, Journal of Plant Nutrition, 31(7), PP. 1420-1439.
- Landsat-8 (L8), 2016, **Data User Handbook, Landsat Project Science Office at NASA's Goddard Space Flight Center in Greenbelt**, 1168, Available at: <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs>.
- Mahmoudi, S., Mohammadkhani, A. & Rouhi, V., 2016, **Effects of Sodium Chloride and Calcium Chloride on Growth, Gel Content and Concentration of Some Nutrients in Aloe Vera under Greenhouse Conditions**, Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 7(2), PP. 85-97.
- McLean, E.D., 1982, **Soil pH and Lime Requirement**, In: A.L. Page (Editor), Methods of soil analysis. Part 2, 2nd ed, Agronomy Monograph, 9. ASA and SSSA, Madison, WI, PP. 199-224.
- Metternicht, G.I. & Zinck, J.A., 2003, **Remote Sensing of Soil Salinity: Potentials and Constraints**, Remote Sensing of Environment, 85, PP. 1-20.
- Metternicht, G.I. & Zinck, J.A., 2008, **Remote Sensing of Soil Salinization: Impact on Land Management**, CRC Press.
- Metternicht, G.I. & Zinck, J.A., 2009, **Remote Sensing of Soil Salinization: Impact on Land Management**, CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC.
- Qureshi, A.S., Qadir, M., Heydari, N., Turrall, H. & Javadi, A.A., 2007, **Review of Management Strategies for Saltprone Land and Water Resources in Iran**, Working paper 125, International Water Management Institute, Sri Lanka.
- Rekha, S., Jenita, R., Mrunalini, B., Kannan, V. & Nethaji Mariappan, V.E., 2011, **Development and Demonstration of Satellite Image Salinity Analyzer-A Tool for Salinity Mapping**, International Journal on Applied Bioengineering, 5(1), PP. 25-29.
- Rhoades, J.D., 1982, **Cation Exchangeable Capacity**, In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), Methods of Soil Analysis: Part2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph, 9. ASA and SSSA, Madison, WI, PP. 149-157.
- Salman, A. & Mubeen-UI-Din, A., 2000, **Using State of the Art RS and GIS for Monitoring Water Logging and Salinity**, Proceeding of a Roundtable Meeting, Lahor, Pakistan, 10-11 Nov. 2000, IPTRID: FAO.
- Soil Survey Staff, 1999, **Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys**, USDA, Hand Book. 436. 2nd ed. Washington, DC, U.S.A.
- Soil Survey Staff, 2010, **Keys to Soil Taxonomy**, USDA, NRCS.
- Torabi, M., 2014, **Physiological and Biochemical Responses of Plants to Salt Stress**, The 1st International Conference on NEW IDEAS in Agriculture, 26-27 Jan., Islamic Azad University Khorasgan Branch, Isfahan, Iran.
- United States Salinity Laboratory (USSL), 1954, **Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils**, USDA Hand Book, PP. 60-147.
- Wilcox, L.V., 1955, **Classification and Use of Irrigation Waters**, US Department of Agriculture. Circ., 969, Washington D.C. USA. P. 19.
- Whitney, K., Scudiero, E., El-Askary, H. M., Skaggs, T. H., Allali, M., & Corwin, D. L., 2018, **Validating the use of MODIS time series for salinity assessment over agricultural soils in California**, USA. Ecological indicators, 93, 889-898.
- Zeng, W., Zhang, D., Fang, Y., Wu, J. & Huang, J., 2018, **Comparison of Partial Least Square Regression, Support Vector Machine, and Deep-Learning Techniques for Estimating Soil Salinity from Hyperspectral Data**, Journal of Applied Remote Sensing, 12(2), P. 022204.



نسخه از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۰
Vol.13, No. 4, Winter 2022 Iranian Remote Sensing & GIS

51-66

Evaluation of the Efficiency of Spectral Data and Indices Derived from OLI and TIRS Sensors in Estimating Soil Salinity in Arid Regions of Southern Ilam Province

Matinfar H.R.¹, Kohani F.^{2*}, Asilian Mahabadi A.A.³

1. Associate Prof. of Soil Science, College of Agriculture, Lorestan University, Lorestan
2. Ph.D. Student of Soil Science, College of Agriculture, Lorestan University, Lorestan
3. Graduate Master of Soil Science, College of Agriculture, Ilam University, Ilam

Abstract

Soil salinity is one of the most important environmental problems, and the identification and zoning of saline soils is difficult due to the need for sampling and laboratory analysis, as well as having temporal and spatial variability. In recent years, the use of satellite imagery has always been of interest to experts due to its ease of use and ability to detect phenomena. Remote sensing information greatly aids the study of soil salinity and can be helpful in identifying salinity values. In this study, 220 soil samples were collected from Meymeh area of Dehloran, south of Ilam province, according to the type of study and physiographic types and soil units. Then, pH and EC values were measured using standard methods. Soil salinity values were evaluated using correlations between EC electrical conductivity values obtained from ground data and variables obtained from Landsat 8 satellite images including bands, salinity indices, vegetation indices and soil indices. Finally, the soil surface salinity estimation model was obtained using stepwise regression method. This method involves the automatic selection of independent variables, and with the availability of statistical software packages, it is possible to do so even in models with hundreds of variables. In previous studies, indicators and bands have been used separately and in a limited way, but in this study, an attempt has been made to use a combination of different indicators more widely, and finally to achieve the best relationship by eliminating the indicators that have the least impact on soil salinity estimation. Using significant level analysis and correlation between the output of models and ground data, the best model with a value of ($R^2 = 0.882$) was selected and a soil salinity map was prepared based on it. In the study area, the highest area belonged to non-saline class which comprises 75% of the total study area and about 1% of the soils belong to the saline class.

Keywords: Dehloran meymeh, Remote sensing, Soil salinity index, Stepwise regression, OLI, TIRS