



ارزیابی شوری خاک با تحلیل تصاویر لندست-۸ و مشاهدات زمینی (مطالعه موردی: بهشت گمشده استان فارس)

محمد کاظمی^۱، فریرز محمدی^۲، علیرضا نفرزادگان^{۳*}

۱. استادیار مرکز مطالعه و تحقیقات (پژوهشکده) هرمز، دانشگاه هرمزگان

۲. استادیار گروه کشاورزی، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان

۳. استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان

مشخصات مقاله

چکیده

پیشینه مقاله:

دریافت: ۱۹ اسفند ۱۳۹۷

پذیرش: ۲۲ فروردین ۱۳۹۸

دسترسی اینترنتی: ۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۸

واژه‌های کلیدی:

شاخص‌های شوری

تحلیل عاملی

رگرسیون چندمتغیره

خوشه‌بندی سلسله مراتبی

بهشت گمشده- فارس

شوری خاک از جمله مخاطرات محیطی بالقوه محسوب می‌شود. هدف از این تحقیق یافتن بهترین شاخص و مناسب‌ترین رابطه جهت برآورد شوری خاک و تهیه نقشه آن با استفاده از داده‌های دورسنجی است. بدین منظور ابتدا نمونه‌برداری تصادفی با استفاده از روش تور ماهی و اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک سطحی (EC) انجام شد. سپس سطوح حد آستانه (۹۲٪، ۹۵٪ و ۹۸٪) روی تصاویر خروجی هر شاخص اعمال شد. از روش‌های کمترین مربعات رگرسیون شده (LS-fit) و آنالیز مؤلفه اصلی (PCA) برای کانی‌های هالیت و ژپس، همبستگی بین خروجی شاخص‌ها و داده‌های زمینی، خوشه‌بندی و تحلیل عاملی بین مقادیر EC و تصاویر خروجی استفاده شد. جهت انتخاب بهترین مدل حاصل از ترکیب باندهای لندست-۸ و میزان شوری، از آزمون هم‌خطی، آزمون دوربین-واتسون و رگرسیون چندمتغیره پسر استفاده شد. همچنین جهت ارزیابی رگرسیون چندمتغیره باندهای لندست-۸ از ضریب کاپای کوهن استفاده شد. کارایی شاخص‌ها براساس چهار معیار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب تعیین (R^2) ارزیابی شد. نتایج تحلیل عاملی کمترین فاصله را بین EC، شاخص شوری (SI) و شاخص درجه روشنایی (BI) نشان داد. به طوری که شاخص SI با مقدار ۰/۸۹ بیشترین همبستگی پیرسون را با EC داشت. در نمودار دندروگرام، شاخص SI با EC در یک خوشه قرار گرفتند و مقدار RMSE، MBE، MAE و R^2 برای شاخص SI به ترتیب ۰/۱۶، ۰/۱۱، ۰/۱۲ و ۰/۷۶ برآورد شد. شاخص SI نسبت به بقیه شاخص‌ها و رگرسیون چند متغیره خطی (با ضریب توافقی کاپای کوهن ۰/۶۰)، نتایج بهتری ارائه کرده است.

* a.r.nafarzadegan@gmail.com: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

دستیابی به نتایج بهتر می‌توان استفاده نمود. از آنجایی که نقشه شوری خاک باهدف ارائه روش‌های مدیریتی تهیه می‌شود و از سوی دیگر با توجه به اینکه هزینه‌های زیادی برای اصلاح و بهسازی خاک نیاز است، به همین دلیل، تهیه نقشه شوری برای مدیریت بهتر اراضی و کاهش هزینه‌ها ضروری است (۴). تصاویر ماهواره لندست، برای مطالعات کشاورزی، زمین‌شناسی، جنگل‌داری، نقشه‌کشی و تحقیقات پیرامون تغییرات جهانی مفید است. این ماهواره در هر گذر، نوری به عرض ۱۸۵ کیلومتر را پوشش می‌دهد و تهیه پوشش کامل زمین ۱۶ روز طول می‌کشد (۹). خان و همکاران (۳۶) به‌منظور بررسی رابطه شوری خاک و انواع ترکیب باندهای به‌دست‌آمده از سنجنده ماهواره IRS در پاکستان به‌ویژه برای خاک‌های شور و قلیا از شاخص‌هایی مانند شاخص نرمال‌شده تفاوت شوری (NDSI)، شاخص‌های پوشش گیاهی، آنالیز مؤلفه اصلی و شاخص آب استفاده کردند. نتایج نشان داد شاخص درجه روشنایی (BI)، شاخص شوری (SI) و شاخص نرمال‌شده تفاوت شوری بیشترین همبستگی را با درجات شوری داشته‌اند. آلبد و همکاران (۲۵) انواع شاخص‌های شوری و تصاویر IKONOS را در واحه الحثه عربستان به کاربردند که درنهایت سه شاخص SAVI، NDSI و S6 در مقایسه با مشاهدات زمینی بهترین نتایج را ارائه کرده‌اند. یو و همکاران (۴۶) با استفاده از داده‌های سنجنده OLI ماهواره لندست-۸ به بررسی میزان شوری خاک با استفاده از مدل رگرسیونی حداقل مربعات جزئی (PLSR) و شاخص‌های گیاهی (NDVI، DVI، EVI، SAVI) و شوری خاک (SI، SII، SI2، SI3، SI4، SRSI) پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص SI3 و باند سبز مؤثرترین متغیرها در مدل رگرسیونی برآورد EC بوده‌اند. دشتکیان و همکاران (۱۱) به بررسی روش‌های تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی لندست در منطقه مروست پرداختند. در این مطالعه از شاخص‌های مختلف BI، NDSI، SI، NDSI، شاخص شوری منطقه یزد (YSI)، روش حداکثر درست‌نمایی و روش میانگین رگرسیون‌ها استفاده کردند که روش میانگین رگرسیون‌ها و

خاک یک منبع تجدیدناپذیر و پویا است که با مدیریت و کاربری نامناسب اراضی، مستعد تخریب می‌گردد (۵). شوری خاک ازجمله مخاطرات بالقوه زیست‌محیطی است که به‌شکل طبیعی یا در اثر فعالیت‌های انسانی پدید می‌آید (۶ و ۳۹). این پدیده یکی از شایع‌ترین علل بیابان‌زایی و از معضلات خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک است (۳۰) که بخش اعظمی از خاک‌های ایران نیز جزء این مناطق می‌باشند (۱۸). شور شدن خاک مقدمه تخریب آن را فراهم می‌سازد و به ایجاد عواملی نظیر انواع فرسایش آبی و بادی، افزایش ریزگردها، از بین رفتن پوشش گیاهی، کاهش توان تولید خاک منجر می‌شود. از طرفی اراضی حاصلخیز محدود است و تنها ۱۱ درصد از خشکی‌های کل زمین را شامل می‌شود و بایستی نیاز غذایی شش میلیارد انسان را که با نرخ رشد بیش از ۱/۳ درصد در سال در حال افزایش است، تأمین کند (۱۵). بنابراین تخریب این منبع محدود، امنیت غذایی و کیفیت محیط‌زیست را تهدید می‌کند (۲۶). استفاده از روش‌های آزمایشگاهی برای برآورد و تهیه نقشه شوری خاک به‌ویژه در مناطقی با وسعت زیاد، عموماً وقت‌گیر و هزینه‌بر است؛ ازاین‌رو به روش‌هایی نیاز است تا بتوان از طریق آن‌ها، تهیه این نقشه‌ها را آسان‌تر کرد (۴ و ۱۲). شناسایی و پهنه‌بندی خاک‌های شور غالباً، به دلیل تغییرپذیری زمانی و مکانی آن و نیاز به نمونه‌برداری و کارهای آزمایشگاهی، مشکل است (۵، ۲۴ و ۳۱). لذا بهتر است برای پایش و تعیین شوری خاک از روش‌های زمین‌آماری و سنجش‌ازدور استفاده شود (۸ و ۴۱). در چند دهه اخیر، جهت مطالعه شوری خاک از اطلاعات دورسنجی برای ارزیابی مشکل شوری به دلیل توانایی بالای آن‌ها در کشف تغییرات کمک گرفته می‌شود (۳۴ و ۳۸). همچنین قابل‌ذکر است تکنیک خوشه‌بندی به دلیل توانایی و قابلیت بالایی که در تلخیص اطلاعات و دسته‌بندی آن‌ها دارد موردتوجه محققان و پژوهشگران مختلف قرارگرفته است (۲۳). از این تکنیک در تحلیل‌های باندی و شاخص‌ها جهت

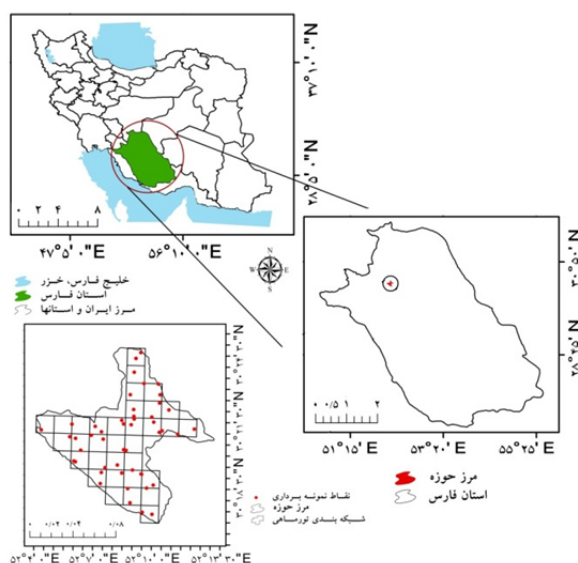
بهترین شاخص گزارش شده است. هدف از این تحقیق یافتن بهترین شاخص و مناسب‌ترین رابطه جهت برآورد شوری خاک و تهیه نقشه آن با استفاده از داده‌های دورسنجی در منطقه بهشت گمشده استان فارس است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز بهشت گمشده در ۸۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان شیراز و در موقعیت جغرافیایی $52^{\circ} 03' 43''$ تا $52^{\circ} 13' 36''$ شرقی و $30^{\circ} 16' 33''$ تا $30^{\circ} 25' 18''$ شمالی واقع شده است. میانگین بارش سالانه این حوزه ۶۰۹ میلی‌متر است، این حوزه طبق روش اقلیم نمای دومارتن اصلاح شده دارای اقلیم مدیترانه‌ای سرد است. داده‌های زمینی در این تحقیق ۶۵ نقطه، که به روش شبکه تور ماهی و تصادفی در نرم‌افزار ArcGIS انتخاب و از منطقه مورد مطالعه برداشت گردید (شکل ۱). فایل تصویر ماهواره‌ای از سایت USGS مربوط به ۱۵ تیرماه ۱۳۹۵ ماهواره لندست ۸ سنجنده OLI اخذ شد.

شاخص شوری به‌ترتیب بهترین نتایج را ارائه کردند. دائم‌پناه و همکاران (۱۰) جهت ارزیابی شوری شهرستان مهولات از روش‌های درون‌یابی و دورسنجی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که باندهای ۲، ۳، ۴ و ۵ لندست ETM⁺ و شاخص SII بهترین روش جهت شناسایی مناطق شور هستند. حسونند و همکاران (۷) با استفاده از رگرسیون چند متغیره بین داده‌های طیفی و مقادیر عددی شوری خاک، نقشه شوری منطقه‌ای در جنوب اهواز را تهیه نمودند. این پژوهشگران از آنالیز مؤلفه‌های اصلی، شاخص روشنایی، شاخص سبزی‌نگی، شاخص خیزی خاک و شاخص پوشش گیاهی استفاده کردند و رابطه رگرسیونی را بر این شاخص‌ها بنا کردند. ایشان مدل رگرسیون چند متغیره خطی (با ضریب همبستگی ۰/۷۷۲ نسبت به مقادیر زمینی) را روش خوبی جهت برآورد میزان شوری خاک اعلام کردند. پیشنهاد احمدی و همکاران (۵) در دلتای آبی‌چای با استفاده از داده‌های سنجنده OLI ماهواره لندست-۸ به مطالعه و ارزیابی شاخص‌های شوری خاک پرداختند. این محققین با استفاده از آنالیز سطح معنی‌داری و میزان همبستگی بین خروجی مدل‌ها و داده‌های زمینی، بهترین شاخص را انتخاب کردند. مطابق مطالعه ایشان شاخص SIT برای مطالعه شوری در منطقه یادشده با ۹۷ درصد همبستگی



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط برداشت زمینی

روش تحقیق

فصل خشکی، بهترین زمان تهیه داده‌های سنسور ازدور (مرئی و مادون قرمز) برای تشخیص نمک خاک است (۱۴). از این رو نمونه‌ها در تاریخ ۱۵ تیرماه ۱۳۹۵ که زمان عدم بارش است، از سطح ۰ تا ۱۵ سانتی متری خاک برداشت گردید. شایان یادآوری است زمان نمونه‌برداری با زمان تصویربرداری تطبیق کامل داشت. میزان شوری خاک نمونه‌ها، بعد از انتقال به آزمایشگاه، با استفاده از روش عصاره‌گیری به دست آمد. تصحیحات رادیومتریک با روش QUAC و هندسی از طریق تطبیق نقاط کنترل زمینی در نرم‌افزار ENVI[®]5.3 انجام شد. میزان شوری برای هر یک از نقاط نمونه‌برداری با نقاط متناظر از روی نقشه‌های به‌دست‌آمده محاسبه و از آزمون مقایسه

میانگین برای ارزیابی میانگین‌های به‌دست‌آمده از تصاویر و داده‌های زمینی استفاده شد. سپس روش‌ها و شاخص‌های و بکار رفته در تحلیل‌ها ارائه گردید.

روش کمترین مربعات رگرسیون شده (LS-fit) یک روش پیش‌بینی خطی با استفاده از روش حداقل مربعات است که به پیش‌بینی یک باند براساس سایر باندها می‌پردازد. در واقع کانی‌هایی که نسبت به یک باند خاص حساس هستند و اختلاف خوبی از نظر شاخص جذب و یا انعکاس در آن باند خاص نشان می‌دهند با اختلاف مشاهده‌شده و باند مدل شده، به‌عنوان یک تصویر خروجی محاسبه می‌گردند (۲). جدول ۱ باند مدل و حداقل و حداکثر جذب و انعکاس طیف بازنویسی شده هالیت را نشان می‌دهد.

جدول ۱. باند مدل به‌علاوه حداقل و حداکثر جذب طیف بازنویسی شده هالیت در باندهای مختلف لندست-۸

ویژگی طیفی حدی					
باند طیفی	باند ۶	باند ۵	حداکثر انعکاس	حداکثر جذب	حداکثر جذب
باند طیفی	باند ۶	باند ۵	حداکثر انعکاس	حداکثر جذب	حداکثر جذب
	باند ۶	باند ۵	باند ۶	باند ۴	باند ۱

اطمینان از ظاهر نشدن پدیده‌هایی چون پوشش گیاهی در تهیه نقشه کانی هالیت از روش کروسا (۲۸) استفاده شد که روشی بر مبنای PCA است. با این روش می‌توان اطلاعات طیفی پدیده هدف را به کمک یک مؤلفه اصلی خاص به نمایش درآورد (۱۷). در این روش شرط انتخاب PCهای مناسب این است که در ماتریس‌های بردار ویژه، باندهای مربوط به جذب و انعکاس کانی‌های هدف به‌طور هم‌زمان دارای بالاترین مقادیر باشد و در ضمن این مقادیر غیر هم‌علامت باشند (۲۷). جدول‌های ۲ و ۳ به ترتیب حداقل و حداکثر جذب و انعکاس و نیز مقدار مؤلفه‌های اصلی را برای کانی هالیت نشان می‌دهد. شایان ذکر است که در جدول ۳ مقادیر مؤلفه اول (PC1) در تصویر خروجی در یک منفی ضرب شده‌اند. چنانچه در PC مربوطه باندهای جذب و انعکاس به ترتیب منفی و مثبت باشند، نیاز به ضرب در یک منفی نیست، اما اگر برعکس باشد، PC باندها در یک منفی ضرب می‌گردد.

آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) یک روش تجزیه و تحلیل چند متغیره هست. هدف اصلی در این روش کاهش ابعاد مجموعه داده‌ها ضمن حفظ و نگهداری اطلاعات موجود در آن‌ها است (۲۰ و ۴۳). برای هر مؤلفه اصلی، تصویری متناظر از روی بردار ویژه نظیر محاسبه می‌شود. ارزش عددی تصویر مؤلفه اصلی با استفاده از مقادیر ارزش‌های عددی در تصاویر اولیه و مؤلفه‌های ویژه بر اساس رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$P_k = \sum_{i=1}^n a_{ik} DN(i) \quad [1]$$

در این رابطه؛ P_k ارزش عددی پیکسل موردنظر برای K امین مؤلفه اصلی، $DN(i)$ ارزش عددی در باند i ام برای پیکسل موردنظر، a_{ik} مقدار عنصر به‌دست‌آمده از بردار ویژه مؤلفه K ام در باند i ام است. به این ترتیب برای هر مؤلفه اصلی یا بردار ویژه متناظراً یک تصویر تغییرپذیری در جهت آن بردار است، به‌دست‌آمده می‌آید (۴۴). در این پژوهش به‌منظور

جدول ۲. حداقل و حداکثر جذب طیف کانی هالیت برای آنالیز مؤلفه‌های اصلی

ویژگی طیفی حدی	حداقل انعکاس	حداکثر انعکاس	حداقل جذب	حداکثر جذب
باند طیفی	باند ۵	باند ۶	باند ۴	باند ۱

جدول ۳. مقادیر ویژه و مؤلفه‌های اصلی کانی هالیت

هالیت	مقادیر ویژه	باند ۶	باند ۵	باند ۴	باند ۱
PC1	۰/۱۶۵۵	-۰/۱۲۸۷	-۰/۲۶۷۶	۰/۰۹۵۳	۰/۹۵۰۲
PC2	۰/۰۲۶۱	-۰/۰۲۸۸	۰/۱۰۹۱	-۰/۹۸۵۶	۰/۱۲۵۷
PC3	۰/۰۰۴۹	۰/۶۲۷۷	-۰/۷۶۰۵	-۰/۱۱۷۵	-۰/۱۱۷۴
PC4	۰/۰۰۲۰	۰/۷۶۷۲	۰/۵۸۱۵	۰/۰۷۵۱	۰/۲۶۰۱

محاسبه شاخص‌های شوری

ظرفیت تفاوت (PD322)، درصد پوشش گیاهی مادون‌قرمز (IPVI) و شاخص پاسخ طیفی ترکیبی (CORSI) استفاده شد (جدول ۴).

جهت محاسبه شاخص‌های شوری در این تحقیق از هفت شاخص شوری (S)، شاخص شوری (SI)، شاخص نرمال شده تفاوت شوری (NDSI)، شاخص‌های درخشندگی (BI)،

جدول ۴. رابطه شاخص‌های شوری مورد استفاده در این تحقیق

شماره رابطه	شاخص	رابطه	منبع
[۲]	S	(Red band)/(NIR band × 100)	(۱۸)
[۳]	IS	$\sqrt{\text{Blue band} \times \text{Red band}}$	(۳۵)
[۴]	NDSI	$\frac{\text{Red band} - \text{NIR band}}{\text{Red band} + \text{NIR band}} \times 100$	(۳۷)
[۵]	BI	$\sqrt{\text{Red band}^2 \times \text{NIR band}^2}$	
[۶]	PD322	$\frac{\text{Red band} - \text{Green band}}{\text{Red band} + \text{Green band}}$	(۴۵)
[۷]	IPVI	$\frac{\text{NIR band} + \text{Red band}}{\text{NIR band}}$	
[۸]	CORSI	$\frac{\text{Blue band} + \text{Green band}}{(\text{NIR band} + \text{Red band}) \times \text{NDVI}}$	

و دو برابر انحراف معیار)، و ۹۸٪ (مجموع میانگین و سه برابر انحراف معیار) (۲۱) در پیکسل‌های هدف تصاویر اعمال شد. جهت انتخاب بهترین شاخص از روش خوشه‌بندی و تحلیل عاملی استفاده شد و ارزش‌های سلولی این شاخص‌ها مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. خوشه‌بندی سلسله مراتبی یکی از پرکاربردترین روش‌های خوشه‌بندی است. در این روش ابتدا فاصله دوه‌دوی مشاهدات از هم محاسبه می‌شود. پس از تعیین فاصله دوه‌دوی مشاهدات، با توجه به

جهت برآورد شوری سطحی خاک (کانی هالیت و ژیبس)، از دو روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی برای باندهای ۱، ۴، ۵، ۶ (HALpc1456) و برای باندهای ۳، ۴، ۵، ۷ (GYPpc3457) و نیز کم‌ترین مربعات رگرسیون شده (Hal LS-fit) بین باند ۶ با باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷، استفاده گردید. پس از تهیه نقشه‌ها با شاخص‌های یادشده، مقدار ارزش عددی باند در سطوح احتمال حضور شوری در مقادیر ۹۲٪ (مجموع میانگین و انحراف معیار)، ۹۵٪ (مجموع میانگین

شبهت را اندازه‌گیری می‌کنند و در مقابل سطوح تشابه قرار دارند که با استفاده از رابطه ۱۰ محاسبه گردید.

$$\text{sim}(i,j) = (1 - \frac{\text{dis sim}(i,j)}{d(\max)}) \times 100 \quad [10]$$

در این رابطه؛ $\text{dis sim}(i,j)$ سطوح عدم تشابه (فاصله) و $d(\max)$ فاصله ماکزیمم در ماتریس فاصله اولیه است. در کل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی باعث کاهش ابعاد داده‌ها می‌شود (۱۸). همچنین در این تحقیق جهت انتخاب بهترین شاخص، تحلیل عاملی استفاده شد. این روش به بررسی همبستگی درونی تعداد زیادی از متغیرها می‌پردازد و در نهایت آن‌ها را در قالب عامل‌های کلی محدودی دسته‌بندی و تبیین می‌کند. پس از تعیین تعداد عامل‌های مورد استخراج، با بررسی معنی‌داری بارهای عاملی، به تفسیر این عامل‌ها پرداخته می‌شود. همچنین جهت ارزیابی میزان دقت شاخص‌ها و استفاده از آنالیزهای آماری در تهیه نقشه شوری و میزان شوری با استفاده از باندهای مختلف سنجنده OLI لندست-۸ از آماره‌های مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب تعیین (R^2) و همچنین ضریب توافق کاپای کوهن برای ارزیابی دقت روش-های مختلف استفاده شد. همچنین دو روش تحلیل عاملی و خوشه‌بندی جهت انتخاب بهترین شاخص (نزدیک به واقعیت) استفاده شد.

$$\text{RMSE} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_{\text{est},i} - y_{\text{obs},i})^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad [11]$$

$$\text{MBE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{\text{est},i} - y_{\text{obs},i}) \quad [12]$$

$$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^n |y_{\text{est},i} - y_{\text{obs},i}|}{n} \quad [13]$$

در این رابطه‌ها؛ y_{obs} مقادیر مشاهداتی و y_{est} مقادیر برآوردی مدل و n تعداد نقاط نمونه‌برداری است. در مرحله نهایی علاوه بر شاخص‌های بیان‌شده، سعی شد با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره خطی و اعمال پیش‌فرض‌های لازم در این روش، نقشه شوری خاک نیز با استفاده از باندهای هفت‌گانه (۱ تا ۷ لندست-۸) انجام شود. در نهایت برای آزمون دقت این روش از ضریب توافق کاپای کوهن استفاده شد. با

نزدیکی مشاهدات نسبت به یکدیگر، مشاهدات باهم تشکیل یک خوشه‌ی جدید می‌دهند (۱۳). این کار تا جایی پیش می‌رود که تمام مشاهدات در یک خوشه قرار گیرند. خوشه بندی سلسله‌مراتبی چگونگی ترتیب مشاهدات و خوشه‌ها باهم را، به‌صورت نمودار درختی نمایش می‌دهد. می‌توان به کمک نمودار درختی، نحوه و ترتیب خوشه‌ها را مشخص کرد. از مزیت‌های خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی، سادگی و قابلیت درک راحت آن است. این روش شامل مدل‌های متنوعی است که می‌تواند نیازهای متعددی را رفع کند. داده‌هایی که بر روی آن تکنیک‌های خوشه‌بندی را اجرا می‌کنیم، داده‌های جمع‌آوری شده به روش ثبتي و یا داده‌هایی شبیه‌سازی شده هستند (۲۳). در خوشه‌بندی دو مرحله مهم وجود دارد، ابتدا محاسبه فاصله دویه‌دوی بین مشاهدات و سپس تعیین روش محاسبه فاصله‌ی خوشه‌های ادغام‌شده باهم. برای خوشه‌بندی مشاهدات با توجه به متغیرهای اندازه‌گیری شده برای هر مشاهده، فاصله بین مشاهدات را با متری که معمولاً اقلیدسی (۲۹) است اندازه می‌گیرند. متر اقلیدسی $d(x_i, x_j)$ فاصله بین دو مشاهده x_i و x_j را محاسبه می‌کند. فاصله دو مشاهده با متر اقلیدسی از رابطه ۹ محاسبه گردید.

$$d(x^i, x^j) = \sqrt{(x_1^i - x_1^j)^2 + \dots + (x_m^i - x_m^j)^2} \quad [9]$$

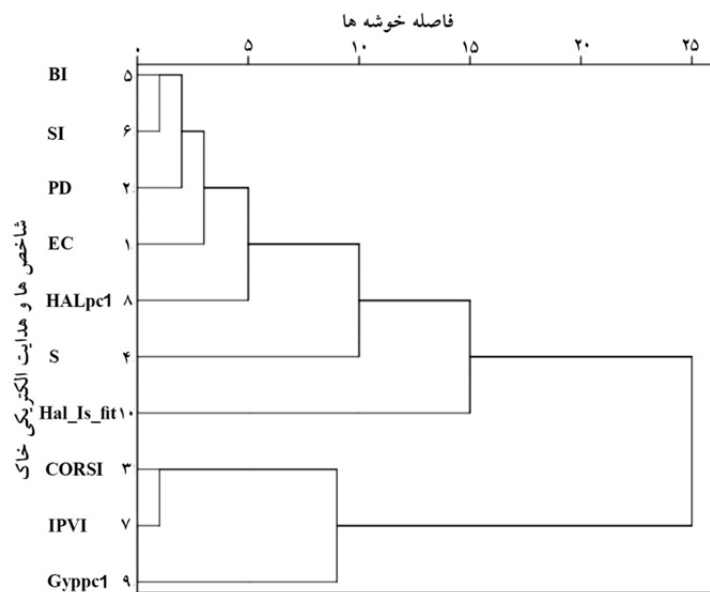
با استفاده از این روش فاصله بین مشاهدات به‌صورت دویه‌دو محاسبه می‌شود و این فواصل در ماتریس فاصله قرار می‌گیرد. بعد از تشکیل ماتریس فاصله، کوچک‌ترین عدد را در ماتریس پیدا می‌شود (به‌غیر از عناصر روی قطر اصلی). این عدد نشان‌دهنده کم‌ترین فاصله بین دو مشاهده در بین سایر مشاهدات است و لذا می‌توان دو مشاهده را در قالب یک خوشه قرارداد (مشاهده a و b تشکیل یک خوشه جدید ab می‌دهند). گام بعدی رسم نمودار خوشه‌بندی است. نمودار دندروگرام را هم می‌توان بر اساس سطوح فاصله و هم بر اساس سطوح تشابه رسم کرد. سطوح فاصله میزان عدم

صفر به معنای شانس و تصادفی بودن توافق است (۴۲). بر این اساس ابتدا توافقی‌های شانس محاسبه و سپس تصادف و شانس از ضریب توافق حذف شد تا مقدار واقعی ارزیابی صحت تبیین گردد. جهت ارزیابی و انتخاب بهترین شاخص از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی استفاده شد.

نتایج

همان‌گونه که نمودار دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی سلسله مراتبی (شکل ۲) و مقادیر همبستگی پیرسون بین میزان شوری (EC) با شاخص‌های مورد مطالعه (جدول ۵) نشان می‌دهد بیشترین میزان همبستگی در سطح ۱٪ بین شاخص SI و BI به ترتیب با ۸۹٪ و ۸۸٪ دیده می‌شود. با توجه به دندروگرام (شکل ۲)، بیشترین شباهت بین EC با شاخص‌های SI، BI، PD، HALpc1 دیده می‌شود، به طوری که به جز HALpc1 بقیه شاخص‌ها در یک خوشه قرار دارند و کمترین ارتفاع را روی نمودار نشان می‌دهند. بنابراین انجام تحلیل‌ها با استفاده از شاخص‌های SI، BI و PD از ارجحیت بالاتری برخوردار است. همچنین با توجه به جدول ۵، شاخص PD در سطح معنی‌داری ۱٪ مقدار کمتری را نسبت به شاخص‌های SI و BI نشان می‌دهد و از گردونه تحلیل‌ها و انتخاب بهترین شاخص حذف خواهد شد.

استفاده از رگرسیون چند متغیره می‌توان رابطه خطی موجود بین مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل را با یک متغیر وابسته مطالعه نمود (شوری و باندهای مختلف لندست-۸). به عبارت دیگر تبیین واریانس متغیر وابسته با ملاحظه روابط بین متغیرهای مستقل توسط رگرسیون چند متغیره انجام می‌گردد. جهت انجام رگرسیون چند متغیره در ابتدا تست نرمال بودن باندهای مختلف را باید انجام داد و در صورت نرمال بودن توزیع ارزش سلولی باندهای مختلف، مراحل بعد رگرسیون‌گیری چند متغیره قابل انجام است. در رگرسیون چندمتغیره هیچ‌یک از متغیرهای مستقل نباید رابطه خطی با سایر متغیرهای مستقل داشته باشند. همچنین برای بررسی استقلال خطاها از آزمون دوربین-واتسون استفاده شد. مقدار آماره دوربین-واتسون نشان‌دهنده استقلال باقیمانده‌ها و عدم همبستگی باهم است. چنانچه میزان آماره دوربین-واتسون بین ۱/۵ تا ۲/۵ باشد مشکلی از لحاظ استقلال خطاها نداریم (۱۶). برای آگاهی از چگونگی روابط هم‌خطی بین متغیرهای مستقل از آماره تولرانس (آماره تحمل) استفاده شد. در انتها جهت ارزیابی نقشه حاصل از رگرسیون چند متغیره باندهای مختلف لندست-۸، از روش ضریب توافق کاپای کوهن استفاده شد. در این روش منطبق بر پایه میزان توافق یا اختلاف بین کدهای بناشده است. ضریب توافق کاپای کوهن بین +۱ تا -۱ تغییر می‌کند. مقدار +۱ به معنای توافق بین کدهای بناشده است و -۱ به معنای عدم توافق بین کدگذاری‌ها است. همچنین مقدار



شکل ۲. دندروگرام خوشه‌بندی سلسله مراتبی شاخص‌ها و هدایت الکتریکی خاک سطحی

جدول ۵. همبستگی شاخص‌ها و هدایت الکتریکی خاک سطحی

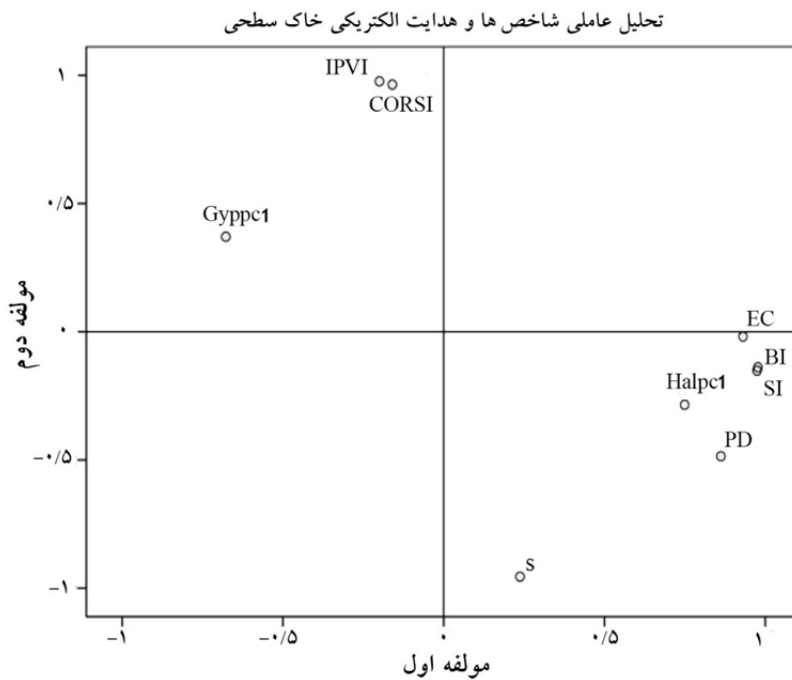
نام شاخص	S	SI	BI	PD	IPVI	CORSI	Gypc1	HALpc1	Hal_LS_fit
همبستگی پیرسون با EC	۰/۱۸۲	۰/۸۹۰	۰/۸۸۴	۰/۷۶۸	-۰/۱۶۰	-۰/۱۴۵	-۰/۵۹۹	۰/۵۴۱	۰/۰۶۵
معنی‌داری دوطرفه	۰/۰۷۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۰۲	۰/۱۲۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۳۰۳

به EC (شوری) است. شاخص PD نتوانسته نزدیکی قابل قبولی در مقایسه با SI و BI نسبت به EC داشته باشد. تحلیل عاملی از جمله روش‌های چند متغیره هست که در آن متغیرهای مستقل و وابسته مطرح نیست، بلکه این روش جزء تکنیک‌های هم‌بسته محسوب می‌شود و هدف آن کم کردن ابعاد داده‌هاست. در اینجا هدف کم کردن شاخص‌های شوری و انتخاب نزدیک‌ترین شاخص‌ها در یک عامل به مقادیر EC (شوری) واقعی بود.

نتایج تحلیل عاملی اکتشافی شاخص‌ها جهت انتخاب بهترین شاخص نشان می‌دهد که دو عامل برای تحلیل در نظر گرفته شده است که ۸۸/۲۹٪ واریانس جمععی را تبیین می‌نماید (شکل ۳؛ جدول ۶). به عبارتی با توجه به این نتایج، درصد واریانس در عامل دوم بیشتر است و تأثیرگذارتر است. همان‌گونه که در شکل ۳ دیده می‌شود دو منشأ برای شاخص‌ها تعریف شده و شاخص‌های IPVI، CORSI را از یک منشأ می‌داند و شاخص‌های SI، BI، PD، S و HALpc1 را نیز از یک منشأ می‌داند که فاصله بین عامل‌های SI و BI نزدیک‌تر

جدول ۶. واریانس تبیین شده در مؤلفه‌های اصلی خوشه‌بندی سلسله مراتبی

مؤلفه‌های اصلی	مقادیر ویژه اولیه	
	مجموع واریانس	درصد واریانس
مؤلفه اول	۵/۸۶۱	۶۵/۱۱۸
مؤلفه دوم	۲/۰۸۶	۲۳/۱۸۰



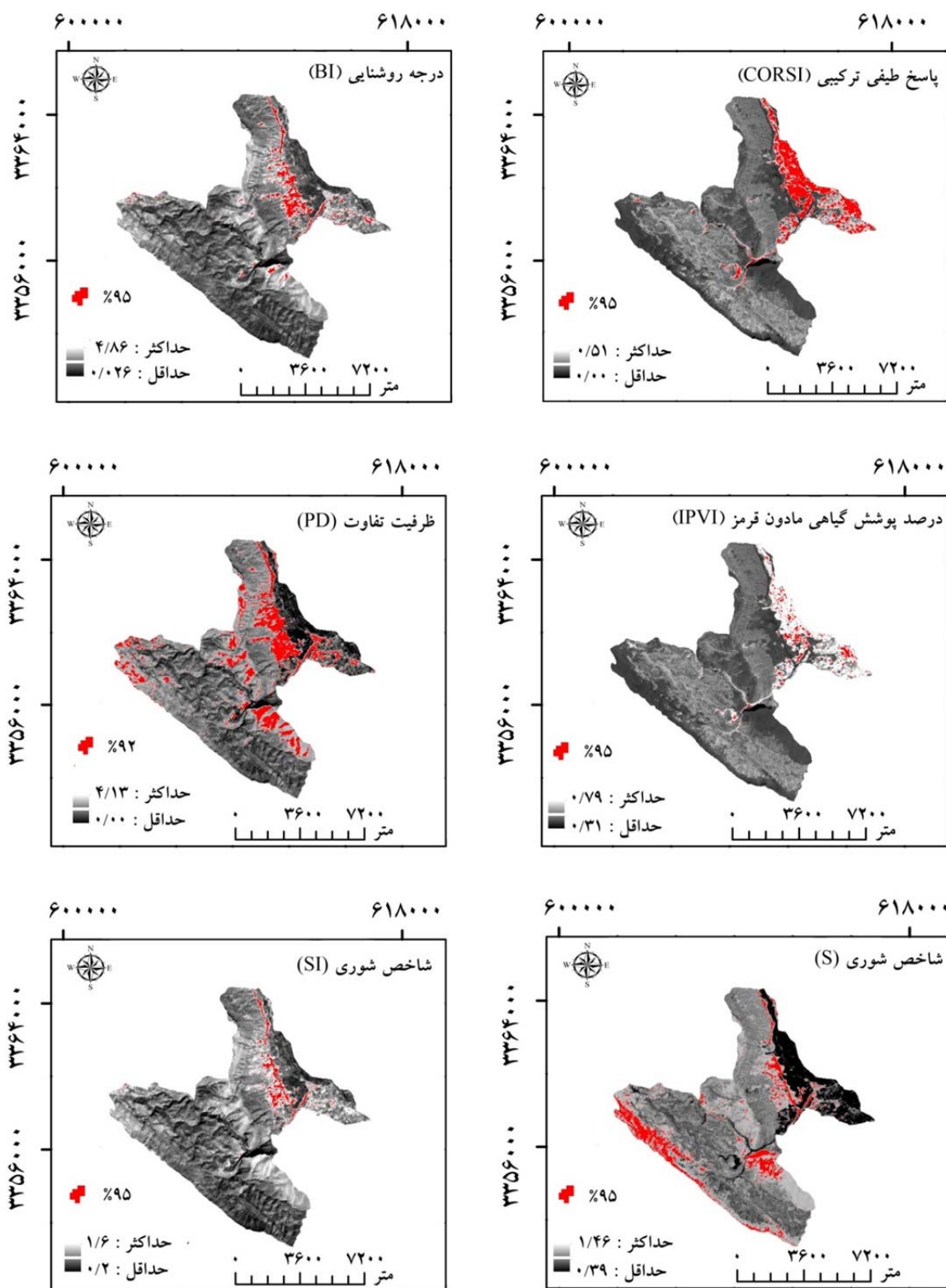
شکل ۳. تحلیل عاملی شاخص ها و هدایت الکتریکی خاک سطحی

است. بنابراین از بین شاخص ها با توجه به نتایج تحلیل عاملی، خوشه بندی و برآورد خطاهای یادشده، SI بهترین برآورد را از میزان شوری دارد و تهیه نقشه با این روش از قابلیت اطمینان بالاتری برخوردار است. شکل ۴ نقشه های خروجی و نیز سطوح آستانه گذاری روی پیکسل های هدف را برای شاخص های مختلف نشان می دهد. نتایج میانگین اریب خطا نشان داد شاخص های IPVI، CORSI، PD، HAL، HALpc1، GYPpc1 و LS-fit میزان برآورد کمتر از مقدار واقعی و برای بقیه شاخص ها میزان برآورد بیشتر از مقدار واقعی است.

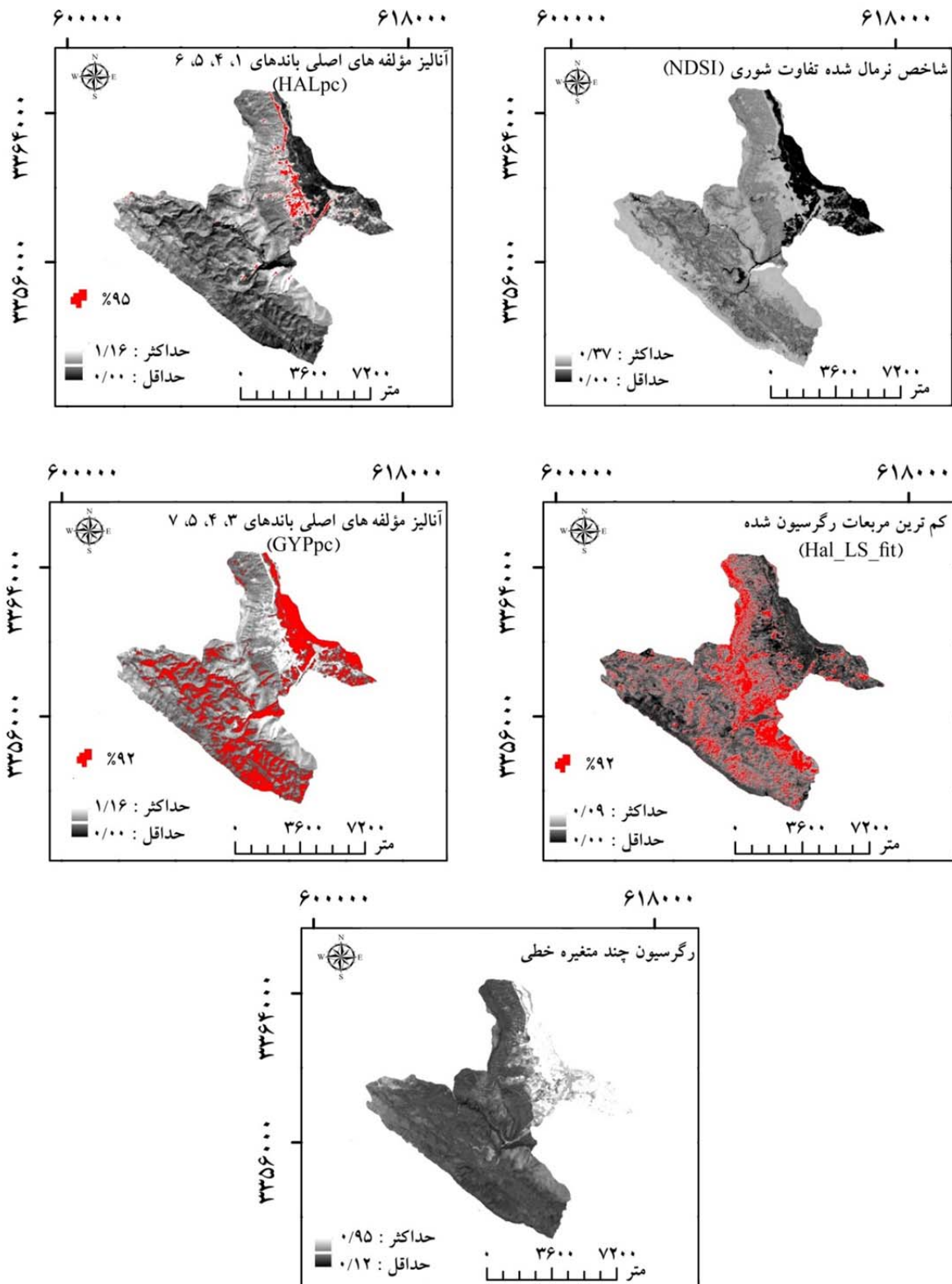
نتایج ارزیابی دقت شاخص های بکار رفته جهت برآورد میزان شوری خاک سطحی نشان می دهد که کمترین میزان خطا مربوط به شاخص SI و سپس BI است (جدول ۷). اگرچه نتایج تحلیل عاملی و خوشه بندی، شاخص BI را نزدیک به مقادیر واقعی EC نشان می دهد، اما با برآورد سه نوع خطای میانگین مربعات خطا، میانگین انحراف خطا، میانگین خطای مطلق و ضریب تبیین مشخص شد که شاخص SI نزدیکی بیشتر به واقعیت دارد و به ترتیب میزان خطای میانگین مربعات خطای آن، میانگین انحراف خطای آن ۰/۱۱، میانگین خطای مطلق آن ۰/۱۲ و ضریب تبیین آن ۰/۷۶ برآورد شده

جدول ۷. مقادیر انواع خطا بین مقادیر برآورد شده (واقعیت زمینی) و محاسبه شده (شاخص ها)

رگرسیون چند متغیره	Hal LS-fit	Halpc1	Gyppc1	CORSI	IPVI	PD	BI	SI	S	شاخص معیار کارایی
۰/۴۶	۰/۸۰	۰/۷۲	۰/۶۸	۰/۷۶	۰/۳۵	۰/۴۶	۰/۳۰	۰/۱۶	۰/۳۳	RMSE
-۰/۴۳	-۰/۷۷	-۰/۶۹	-۰/۵۱	-۰/۷۲	-۰/۲۷	-۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۱۷	MBE
۰/۴۳	۰/۷۷	۰/۶۹	۰/۵۸	۰/۷۲	۰/۲۹	۰/۳۶	۰/۲۰	۰/۱۲	۰/۲۷	MAE
۰/۸۳	۰/۰۰۴	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۵۸	۰/۶۸	۰/۷۶	۰/۰۳	R ²



شکل ۴. نقشه‌های خروجی شاخص‌های پاسخ طیفی ترکیبی (CORSI)، درخشندگی (BI)، درصد پوشش گیاهی مادون قرمز (IPVI)، ظرفیت تفاوت (PD)، شاخص شوری (S) و شاخص شوری (SI)



ادامه شکل ۴. نقشه‌های خروجی شاخص نرمال شده تفاوت شوری (NDSI)، آنالیز مؤلفه‌های اصلی باندهای ۱، ۴، ۵، ۶ (HALpc)، کم‌ترین مربعات رگرسیون شده (Hal_LS_fit)، آنالیز مؤلفه‌های اصلی باندهای ۱، ۳، ۴، ۵، ۷ (GYPpc)، HAL LS-FIT و رگرسیون چند متغیره خطی

مشاهده شد. نتایج همبستگی باندها و میزان هدایت الکتریکی سطحی خاک نشان می‌دهد که باندهای ۱، ۲ و ۳ بیشترین همبستگی پیرسون را با مقدار شوری دارند، اما به دلیل خودهمبستگی این باندها و هم‌خطی نمی‌توان آن‌ها را در رابطه رگرسیونی چند متغیره در نظر گرفت. همچنین جهت تقویت رابطه اقدام به حذف ارزش‌های پرت روی باندها شد. نسبتی از واریانس متغیر شوری که توسط متغیرهای تحقیق (باندهای ۴ تا ۷) تبیین شده نزدیک ۸۴٪ است. نسبت F دلالت بر آن دارد که مدل رگرسیونی تحقیق مدل مناسبی برای تبیین متغیر وابسته است. به عبارت دیگر متغیرهای تحقیق قادرند که تغییرات متغیر وابسته را توضیح دهند.

قبل از انجام رگرسیون لازم است، پیش‌فرض‌های رگرسیون رعایت شود. این شرایط عبارت‌اند از؛ میانگین یا امید ریاضی خطا صفر باشد، واریانس خطا ثابت باشد و متغیر Y دارای توزیع نرمال باشد. بدین جهت ابتدا لازم است آزمون نرمال بودن روی باندها و میزان شوری اندازه‌گیری شده، انجام گیرد (جدول ۸). همچنین یکی از مهم‌ترین پیش‌فرض‌های رگرسیون، خطی بودن روابط بین متغیرهای مستقل و وابسته است. بر اساس جدول ۹، روابط بین متغیرهای مستقل و وابسته با استفاده از ضریب پیرسون، به صورت خطی شناسایی شده است. همچنین توزیع متغیر وابسته و مستقل نیز نرمال است. آزمون دوربین-واتسون نشان داد واریانس خطا ثابت است و عدم همبستگی باقیمانده‌ها و استقلال آن‌ها

جدول ۸. آزمون نرمال بودن باندهای هفت گانه با استفاده از آماره کولموگراف-اسمیرنوف

باند	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷
آماره	۰/۰۹۷	۰/۰۹۶	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۲	۰/۱۰۲	۰/۰۹۵

جدول ۹. همبستگی باندها و میزان هدایت الکتریکی سطحی خاک

همبستگی پیرسون							
باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷	باند ۸
هدایت الکتریکی	۱/۰۰۰	۰/۷۳۲	۰/۷۸۵	۰/۸۵۲	۰/۷۹۵	۰/۷۸۳	۰/۶۵۹
							۰/۶۰۴

همبستگی نداشته باشند، این آماره نزدیک به ۲ خواهد بود (۱۶). همان‌گونه که نتایج ارائه شده در جدول ۱۰ و ۱۱ نشان می‌دهد باندهای ۱، ۲ و ۳ لندست به دلیل هم‌خطی بالا از تحلیل‌های رگرسیونی حذف شده‌اند و باندهای ۴، ۵، ۶ و ۷ تبیین واریانس میزان شوری را انجام می‌دهند. اگر همبستگی خطی بالا باشد و در رگرسیون خطی چندمتغیره به این نکته توجه نگردد، در این صورت باوجود بالا بودن میزان همبستگی (r بالا) متغیرهای مستقل نمی‌توانند به خوبی Y یا متغیر وابسته را تبیین نمایند.

ضریب همبستگی مدل پس‌رونده متغیرهای مورد بررسی تبیین شوری برابر ۸۲٪ است. مقدار پایه شوری (مقدار ثابت) برابر ۰/۰۹۶ است. در جدول‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب میزان شاخص‌های کارایی مدل رگرسیونی (پس‌رو تا گام ۴) و ضرایب و مقدار ثابت رابطه رگرسیونی خطی چند متغیره ارائه شده است. مقدار آماره تحمل (تولرانس) برابر ۱/۸۷۵ شده است که بین مقادیر ۱/۵ تا ۲/۵ قرار دارد و نشان‌دهنده استقلال خطاها و عدم همبستگی مقادیر باقیمانده‌ها با همدیگر است. مقدار این آماره بین ۰ تا ۴ است و اگر باقیمانده‌ها با یکدیگر

جدول ۱۰. ضرایب کارایی مدل‌های رگرسیونی برازش یافته با روش پس‌رو

گام مدل	ضریب همبستگی (r)	ضریب تعیین (R ²)	ضریب تعیین تعدیل شده	خطای استاندارد برآورد
۴	۰/۹۱۵	۰/۸۳۷	۰/۸۲۶	۰/۰۸۱

جدول ۱۱. مقدار ثابت و ضرایب رابطه خطی در گام ۴ مدل رگرسیون چندمتغیره

مقدار ثابت	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷
۰/۰۹۶	۰/۵۳۸	۰/۵۰۹	-۰/۷۸۳	۰/۵۱۶

اعمال شانس جهت ارزیابی میزان دقت روش رگرسیون چند متغیره در شناسایی میزان شوری و نقشه تهیه شده، دقت ۷۰٪ و نیز دقت درصد تجمعی ۸۶/۷٪ مشاهده می‌گردد که دقت خوبی تلقی می‌گردد (جدول ۱۲).

نتایج آزمون دوربین-واتسون و آزمون هم‌خطی نشان می‌دهد که ضریب تولرانس (هم‌خطی) نشان می‌دهد باندهای ۱، ۲ و ۳ متغیرها زیاد است. ضریب تولرانس بین ۰ تا ۱ در تغییر است و هرچه این ضریب به ۱ نزدیک‌تر باشد، میزان هم‌خطی کمتر است. در جدول زیر در آزمون کاپای کوهن با

جدول ۱۲. نتایج آزمون استقلال خطاها (دوربین-واتسون) در مقادیر باقیمانده و آزمون هم‌خطی باندهای مختلف لندست ۸

گام مدل	آماره استقلال خطا	متغیر وابسته	متغیر دارای هم‌خطی	آماره هم‌خطی (تولرانس)	متغیر پیش‌بین
			باند ۳	۰/۰۱۹	
۴	۱/۸۷۵	هدایت الکتریکی	باند ۲	۰/۰۳۳	باندهای ۷، ۵، ۴، ۶
			باند ۱	۰/۰۷۰	

MAE، R² و ضریب کاپای کوهن بدون شانس به ترتیب برای مدل رگرسیون چند متغیره خطی ۰/۴۶، ۰/۴۳، -۰/۴۳، ۰/۴۳، ۰/۸۳ و ۰/۶۰ برآورد شد که با توجه به نتایج شاخص‌های شوری، نتایج ضعیف‌تری علیرغم متوسط بودن میزان برآوردها ارائه کرده است.

در مرحله بعد برای واردکردن تصادف و شانس در ارزیابی ضریب توافق از این موضوع چشم‌پوشی شده و ضریب توافق کاپای کوهن مقدار ۶۰٪ را نشان می‌دهد که مقدار متوسط و قابل قبولی است. جدول‌های ۱۳ و ۱۴ نتایج آماره کاپای کوهن را با اعمال شانس و بدون اعمال شانس نشان می‌دهد. همچنین نتایج آزمون خطاهای MBE، RMSE،

جدول ۱۳. نتایج آماره ضریب توافق کوهن با اعمال شانس

ضریب توافق کوهن با اعمال شانس	کد	فراوانی	درصد	درصد اطمینان	درصد تجمعی
۰/۰۰	۴۲	۶۶/۷	۷۰	۸۶/۷	

جدول ۱۴. نتایج آماره ضریب توافق کوهن بدون اعمال شانس

ضریب توافق کوهن بدون اعمال شانس	ارزش	تعداد نمونه‌ها	معنی‌داری
۰/۵۹۸	۶۰	۰/۰۰۰	

بحث و نتیجه‌گیری

مشاهدات میدانی و اندازه‌گیری‌های رادیومتریک نشان داده که مقدار و کانی‌شناسی نمک‌ها، رطوبت خاک، رنگ و زبری عوامل اصلی مؤثر بر بازتاب نمک هستند (۳۳). در یک شوری معین، تغییر ساختمان خاک باعث می‌شود بازتاب ثبت‌شده در تصویر ماهواره‌ای شوری‌های متفاوتی را نشان دهد (۴۰). مطالعه‌ای که دقیقاً مشخص کند که کدام شاخص بهترین نتیجه را دارد، وجود ندارد. بلکه استفاده از شاخص‌ها به تشخیص پژوهشگر و شرایط منطقه مورد مطالعه بستگی دارد (۱۹). شایان یادآوری است که دقت شاخص‌ها برای اندازه‌گیری شوری خاک در هر منطقه با توجه به نوع و میزان شوری خاک و همچنین نوع داده‌های ماهواره‌ای متفاوت است و در مناطق مختلف شاخص‌های مختلفی، بهترین کارایی را داشته‌اند بنابراین باید برای مطالعه و اندازه‌گیری شوری خاک هر منطقه این شاخص‌ها مورد ارزیابی قرار گیرند (۵). لذا نسخه واحدی در این رابطه نمی‌توان نوشت و تنها نتیجه منطقی از سابقه تحقیق این است که شاخص SI در اکثر مطالعات شاخصی خوب و مناسب جهت ارزیابی شوری خاک تلقی شده به طوری که استفاده از شاخص‌های شوری نسبت به طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای جهت شناسایی میزان شوری و نقشه آن برتری دارد (۲۲). که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. رویکرد تشخیص شوری برای خاک لخت و دارای پوشش گیاهی تنک و پراکنده آسان‌تر و عملی‌تر است (۳۲). در مناطقی که پوشیده از گیاه است، تشخیص مستقیم شوری امکان‌پذیر نیست، زیرا در بازتاب گیاه و خاک تداخل طیفی وجود دارد و نیاز به تطبیق زمینی الزامی است (۳۰). بنابراین در این تحقیق بر این اساس عمل شد. نتایج نشان داد هدایت الکتریکی سطحی خاک بیشترین همبستگی را با باندهای ۲، ۳، ۴ و ۵ لندست ۸ یا به عبارتی باندهای مرئی و مادون قرمز دارد، که مطابق با نتایج حسونود و همکاران (۷) در مورد باندهای ۱، ۲، ۳ و ۴ لندست ETM⁺ است. هدایت الکتریکی خاک با شاخص روشنایی ارتباط معناداری در سطح ۱ درصد

دارد و همان‌گونه که نقشه آن نشان می‌دهد، مناطقی که شوری بیشتری دارند بارنگ سفید و بازتاب بیشتری خود را نشان داده‌اند. مومی‌پور (۱۹) جهت ارزیابی شاخص‌های مختلف شوری خاک از انطباق با مدل رگرسیون خطی استفاده کرد و نتایج تحقیق ایشان نشان داد شاخص SI بهترین انطباق را با واقعیت دارد و شاخص NDSI نتایج مطلوبی ارائه نکرد. در این تحقیق نیز بر اساس ضریب تبیین بین میزان شوری و میزان اندازه‌گیری شده توسط شاخص‌های مختلف، شاخص شوری (SI) بهترین انطباق را نشان داد و شاخص NDSI نتایج منطبق با واقعیت را در منطقه مطالعاتی نشان نداد. آژی‌رابی و همکاران (۱) نشان دادند که در سطح مزارع مورد مطالعه در تحقیق خویش شاخص شوری خاک SI در بازسازی سطح شوری از دیگر شاخص‌ها مطلوب‌تر است و شاخص‌هایی مانند IPVI و DVI کم‌ترین دقت را در شناسایی شوری خاک دارند. دلیل این موضوع وجود باند مادون قرمز در معادله این شاخص‌ها است و گیاهان سبز دارای بیشترین بازتاب در این محدوده طیفی می‌باشند. در این تحقیق نیز شاخص‌هایی مانند IPVI دقت قابل قبولی برای شناسایی میزان شوری نشان ندادند. ممبئی و همکاران (۱۸) نشان دادند؛ اراضی شور در تصویر تهیه‌شده با روش SI به خوبی قابل شناسایی هستند. همچنین نتایج تحقیق پیشنهاد احمدی و همکاران (۵) نشان داد شاخص SI بیشترین همبستگی و بالاترین سطح معنی‌داری را در بین شاخص‌های مطالعاتی داشته و نقشه نهایی شوری خاک بر اساس آن تهیه گردیده است. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که مدل رگرسیون چندمتغیره پس‌رو (Backward) در مقایسه با شاخص‌های شوری نتوانست دقت بیشتری را در برآورد میزان شوری نشان دهد که برخلاف نتایج ارسطو و اخیانی (۳) است که اعلام کردند نتایج حاصل از رگرسیون چندمتغیره با روش Stepwise ارزیابی دقیق‌تری نسبت به شاخص‌های شوری ارائه می‌دهد. در این تحقیق معیار ارزیابی دو شاخص RMSE و MBE بود درحالی‌که در تحقیق حاضر علاوه بر دو شاخص یادشده، از MAE و نیز R² جهت ارزیابی مدل‌ها استفاده شد. همچنین در مورد ضریب توافق کاپای کوهن و کدهی نیز

- نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، (۱)۸: ۹۶-۸۵.
۶. حبشی، خ، ح. ر. کریم زاده و س. پورمنافی. ۱۳۹۶. ارزیابی شوری خاک در شرق اصفهان بر پایه داده‌های سنجنده OLI و تجزیه و تحلیل عوارض توپوگرافی. نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، (۱)۸: ۵۱-۳۶.
۷. حسونند، ن. ا. لندی، ح. ر. متین‌فر و م. ح. طاهرزاده. ۱۳۹۳. تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های رقومی ماهواره لندست ETM⁺ در منطقه‌ای در جنوب اهواز. مهندسی زراعی، (۱)۳۷: ۳۳-۲۳.
۸. خادمی، ف. ح. پیرخراطی و س. شاه‌کرمی. ۱۳۹۳. مطالعه روند افزایش خاک‌های شور اطراف دریاچه ارومیه با استفاده از GIS و RS، زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست، ۲۴(۹۴): ۹۸-۹۳.
۹. خیامی، ف. ح. خادمی، ب. استنبرگ و ی. ویتزلیند. ۱۳۹۴. قابلیت روش طیف‌سنجی مرئی- مادون‌قرمز نزدیک در پیش‌بینی چند ویژگی شیمیایی خاک‌های استان اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (علوم آب‌و خاک)، (۷۲)۱۹: ۸۱-۹۲.
۱۰. دائم‌پناه، ر. غ. ح. حق‌نیا، ا. علیزاده و ع. کریمی کارویه. ۱۳۹۰. تهیه نقشه شوری و سدیمی خاک سطحی با روش‌های دورسنجی و زمین‌آماری در جنوب شهرستان مه‌ولات. نشریه آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، (۳)۲۵: ۵۰۸-۴۹۸-۵۰۸.
۱۱. دشتکیان، ک. م. پاک‌پرور و ج. عبداللهی. ۱۳۸۷. بررسی روش‌های تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست در منطقه مروست، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، (۲)۱۵: ۱۳۹-۱۵۷.
۱۲. رنجبر، ر. ح. ر. اولیایی، ح. رنجبر و ا. ادهمی. ۱۳۹۷. پایش تغییرات شوری خاک با استفاده از سنجنش‌ازدور در منطقه زاهد شهر- استان فارس. نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، (۳)۹: ۱۲۸-۱۱۵.
۱۳. زارع چاهوکی، م. ع. ۱۳۸۹. روش‌های تحلیل چند متغیره در نرم‌افزار SPSS، جزوه درسی، دانشگاه تهران، ۳۵ صفحه.
۱۴. زینالی، م. ع. ا. جعفرزاده، ف. شهبازی و خ. ولی‌زاده کامران. ۱۳۹۵. ارزیابی شوری خاک سطحی با روش پیکسل مینا و بر
- اضافه شد تا تصویری دقیق از رگرسیون چند متغیره در مورد برآورد شوری خاک ارائه شود. در این تحقیق جاری برخلاف مطالعه حسونند و همکاران (۷)، از شاخص‌ها برای تشکیل رابطه رگرسیون خطی چند متغیره استفاده نشده است بلکه ارزش سلولی و بازتاب طیفی خود باندهای هفت‌گانه لحاظ شده‌اند. همچنین در این پژوهش، آزمون‌های هم‌خطی بین متغیرها، استقلال خطاها و نرمال بودن شاخص‌ها برای ورود به رگرسیون چند متغیره خطی مورد بررسی قرار گرفته است. در کل اگرچه تمامی پیش‌فرض‌های استفاده از روش رگرسیون چند متغیره خطی در برآورد شوری و تهیه نقشه آن اعمال شد، اما شاخص‌های شوری در مقایسه با آن نتایج بهتری ارائه کردند و استفاده از این شاخص‌ها جهت برآورد و تهیه نقشه شوری خاک توصیه می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. آزیزایی، ر. ب. کامکار و ا. عبدی. ۱۳۹۴. اثر مقایسه شاخص‌های مختلف استخراج‌شده از تصاویر ماهواره لندست برای پهنه‌بندی شوری خاک در مزرعه نمونه ارتش گرگان. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، (۱)۵: ۱۷۳-۱۸۶.
۲. آلیانی، ف. ث. دادفر و م. معانی جو. ۱۳۹۳. آشکارسازی زون‌های دگرسانی کانسار آهن حاجی‌آباد با استفاده از داده‌های SWIR+VNIR سنجنده ASTER. نشریه علوم زمین، ۲۴(۹۴): ۷۳-۸۰.
۳. ارسطو، ب. و ا. آخینانی. ۱۳۹۷. برآورد شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور چند طیفی در اراضی کشاورزی. مجله کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور در برنامه‌ریزی، (۱)۹: ۳۷-۵۱.
۴. امینی، د. م. توکلی و م. رستمی‌نیا. ۱۳۹۶. پهنه‌بندی و بررسی روند شوری خاک با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور و آنالیزهای زمین‌آماری (مطالعه موردی: شادگان، خوزستان). پژوهش‌های فرسایش محیطی، (۴)۷: ۲۴-۴۳.
۵. پیشنماز احمدی، م. ح. رضایی‌مقدم و ب. فیضی‌زاده. ۱۳۹۶. بررسی شاخص‌ها و تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: دلتای آجی‌چای).

- اساس داده‌های سنجنده TM (مطالعه موردی: اراضی شرق شهرستان خوی). اطلاعات جغرافیایی، ۲۵(۹۹): ۱۲۷-۱۴۰.
۱۵. شریفی کیا، م. و ع. افضلی. ۱۳۹۱. پایش و تحلیل روند افزایش شوری خاک در مخروط افکنه دامغان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و پیمایشی. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳(۳): ۸۶-۷۳.
۱۶. صالحی ص. و ح. اکبری. ۱۳۹۶. تبیین جامعه‌شناختی حفاظت از محیط‌زیست در مناطق روستایی. پژوهشنامه توسعه فرهنگی اجتماعی، ۲(۱): ۹-۲۴.
۱۷. ماهوش محمدی، ن. ا. هزارخانی و ع. مقصودی. ۱۳۹۷. به-کارگیری روش‌های مختلف پردازش تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور شناسایی و تفکیک بخش‌های دگرسانی منطقه خونی و کالکافی (استان اصفهان). پژوهش‌های دانش زمین، ۹(۳۳): ۱۵۲-۱۳۷.
۱۸. ممینی، م.، ص. آرخی و س. ع. ا. آرامی. ۱۳۹۴. تغییران روند شوری با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS. مهندسی اکوسیستم بیابان، ۴(۶): ۲۷-۳۴.
۱۹. مومی‌پور، م. ۱۳۹۷. بررسی تغییرات زمانی و مکانی شوری خاک شهرستان آبادان در بازه ۲۴ ساله با تصاویر ماهواره‌ای. جغرافیا و پایداری محیط، ۸(۲۷): ۴۷-۵۸.
۲۰. ناروئی‌راد، م.، ر. م. فرزاتجو، ح. ر. فنایی، ع. ر. ارجمندی نژاد، ا. قاسمی و م. ر. پل شکن پهلوان. ۱۳۸۵. بررسی تنوع ژنتیکی و تجزیه به‌عوامل‌ها برای صفات مورفولوژیک توده‌های بومی گندم سیستان و بلوچستان. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، ۱۹(۴): ۵۰-۵۷.
۲۱. نوحه‌گر، ا.، م. بداغی، م. کاظمی و ع. ر. کمالی. ۱۳۹۲. مقایسه روش‌های پیکسل مبنا و زیرپیکسل مبنا در شناسایی و استخراج زون‌های دگرسانی با استفاده از داده‌های ASTER. پژوهش‌های دانش زمین، ۴(۱۶): ۱-۱۳.
۲۲. هاتفی اردکانی، ا. ح.، م. کریمی احمدآباد، م. ر. اختصاصی و ع. پایدار اردکانی. ۱۳۹۵. ارزیابی روش‌های مدل‌سازی و طبقه‌بندی نظارت‌شده در تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از تصاویر ASTER⁺ و ETM⁺. پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک، ۲۳(۵): ۱۲۳-۱۴۰.
۲۳. هشیارمنش، ح.، م. فرهادی، ع. هشیارمنش و ن. جعفریان. ۱۳۹۲. خوشه‌بندی سلسله مراتبی و K-میانگین در نرم‌افزار
- R، SAS و MATLAB. بررسی‌های آمار رسمی ایران، ۲۴(۲): ۲۲۷-۲۴۰.
24. Akramkhanov A, Martius C, Park S, Hendrickx J. 2011. Environmental factors of spatial distribution of soil salinity on flat irrigated terrain. *Geoderma*, 163(1-2): 55-62.
25. Allbed A, Kumar L, Aldakheel YY. 2014. Assessing soil salinity using soil salinity and vegetation indices derived from IKONOS high-spatial resolution imageries: Applications in a date palm dominated region. *Geoderma*, 230: 1-8.
26. Blanco-Canqui H, Lal R. 2008. Principles of soil conservation and management. Springer Science & Business Media, 617 p.
27. Crosta A, De Souza Filho C, Azevedo F, Brodie C. 2003. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 24(21): 4233-4240.
28. Crosta AP. 1989. Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minais Gerais State, Brazil: a prospecting case history in Greenstone belt terrain. In: *Proceedings of the Seventh Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology*, 2-6 October, Calgary, Canada, 1989. ERIM, pp 1173-1187.
29. Deza MM, Deza E. 2009. Encyclopedia of distances. In: *Encyclopedia of distances*. Springer, pp 1-583.
30. Ding J-L, Wu M-C, Tiyp T. 2011. Study on soil salinization information in arid region using remote sensing technique. *Agricultural Sciences in China*, 10(3): 404-411.
31. Fernandez-Buces N, Siebe C, Cram S, Palacio J. 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(4): 644-667.
32. Ghrefat HA, Goodell PC, Hubbard BE, Langford RP, Aldouri RE. 2007. Modeling grain size variations of aeolian gypsum deposits at White Sands, New Mexico, using AVIRIS imagery. *Geomorphology*, 88(1-2): 57-68.
33. Hunt GR, Ashley RP. 1979. Spectra of altered rocks in the visible and near infrared. *Economic Geology*, 74(7): 1613-1629.
34. Jabbar MT, Zhou J. 2012. Assessment of soil salinity risk on the agricultural area in Basrah Province, Iraq: Using remote sensing and GIS techniques. *Journal of Earth Science*, 23(6): 881-891.
35. Khan NM, Rastoskuev VV, Sato Y, Shiozawa S. 2005. Assessment of hydrosaline land degradation

- by using a simple approach of remote sensing indicators. *Agricultural Water Management*, 77(1-3): 96-109.
36. Khan NM, Rastoskuev VV, Shalina EV, Sato Y. 2001. Mapping salt-affected soils using remote sensing indicators-a simple approach with the use of GIS IDRISI. In: 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 November 2001, Singapore, 1-5.
 37. Major D, Baret F, Guyot G. 1990. A ratio vegetation index adjusted for soil brightness. *International Journal of Remote Sensing*, 11(5): 727-740.
 38. Matinfar HR, Panah SKA, Zand F, Khodaei K. 2013. Detection of soil salinity changes and mapping land cover types based upon remotely sensed data. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(3): 913-919.
 39. Metternicht G, Zinck J. 2003. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment*, 85(1): 1-20.
 40. Mougenot B, Pouget M, Epema G. 1993. Remote sensing of salt affected soils. *Remote Sensing Reviews*, 7(3-4): 241-259.
 41. Nawar S, Buddenbaum H, Hill J. 2015. Estimation of soil salinity using three quantitative methods based on visible and near-infrared reflectance spectroscopy: a case study from Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(7): 5127-5140.
 42. O'Mara AJ. 2008. Methodological and substantive applications of meta-analysis: Multilevel modelling, simulation, and the construct validation of self-concept. Unpublished doctoral dissertation) Oxford University: 453 p.
 43. Soe M, Kyaw TA, Takashima I. 2005. Application of remote sensing techniques on iron oxide detection from ASTER and Landsat images of Tanintharyi coastal area, Myanmar, Akita University, Japan, 21-28.
 44. Vincent RK. 1997. Fundamentals of geological and environmental remote sensing. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ, 366 pp.
 45. Wiegand C, Richardson A, Escobar D, Gerbermann A. 1991. Vegetation indices in crop assessments. *Remote Sensing of Environment*, 35(2-3): 105-119.
 46. Yu H, Liu M, Du B, Wang Z, Hu L, Zhang B. 2018. Mapping Soil Salinity/Sodicity by using Landsat OLI Imagery and PLSR Algorithm over Semiarid West Jilin Province, China. *Sensors*, 18(4): 1048, 1043-1017.



Evaluation of soil salinity by analyzing Landsat-8 images and field Observations (Case study: Behesht-e- Gomshodeh, Fars province)

M. Kazemi¹, F. Mohammadi², A. R. Nafarzadegan^{3*}

1. Assist. Prof. Hormoz Research Center, University of Hormozgan

2. Assist. Prof. Department of Agriculture, Minab Higher Education Center, University of Hormozgan

3. Assist. Prof. Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan

ARTICLE INFO

Article history:

Received 10 March 2019

Accepted 11 April 2019

Available online 20 May 2019

Keywords:

Salinity indices

Factor analysis

Multivariate regression

Hierarchical clustering

Behesht-e- Gomshodeh-Fars

ABSTRACT

Soil salinity is considered as one of the potential environmental hazards. The purpose of this study was to find the best index and the most suitable relationship for estimating soil salinity and its mapping using remote sensing data. At the first step, random sampling was performed using fishnet method and surface soil electrical conductivity (EC) measurements. Then, the threshold levels (92%, 95%, and 98%) were applied to the output images of each indicator. The methodology included using the least squares fitting (LS-fit) technique and principal components analysis (PCA) for halite and gypsum minerals, determining the correlation between the output of indices and ground data, and performing clustering and factor analysis between EC and output images. In order to select the best model derived from Landsat-8 band combinations and the amount of salinity, collinearity test, Durbin-Watson test, and backward multivariate regression were employed. The Cohen's kappa coefficient was also applied to evaluate the multivariate regression formed by Landsat-8 bands. The performance of the indicators was evaluated based on four criteria of root mean square error (RMSE), mean bias error (MBE), mean absolute error (MAE) and R-squared (R^2). The results of the factor analysis showed the smallest distance between the EC, salinity index (SI) and brightness index (BI). The SI with an amount of 0.89 had the highest Pearson correlation with EC. In the dendrogram diagram, SI index with EC was placed in a cluster, and the RMSE, MBE, MAE and R^2 values of the SI index were estimated to be 0.16, 0.11, 0.12, and 0.76, respectively. Compared to the rest of the indicators and linear, multivariate regression (with Cohen's kappa coefficient of 60%), the SI index has provided better outcomes.

* Corresponding author e-mail address: a.r.nafarzadegan@gmail.com