



دانشگاه گوارن و زمین‌شناسی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره پنجم، ۱۳۹۵
<http://jwsc.gau.ac.ir>

ارزیابی روش‌های مدل‌سازی و طبقه‌بندی نظارت‌شده در تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از تصاویر ASTER و ETM

امیرحسین هاتفی‌اردکانی^۱، *مصطفی کریمی احمدآباد^۲، محمدرضا اختصاصی^۳ و عباس پایدار اردکانی^۴

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه بیابان‌زدایی، دانشگاه سمنان، استادیار گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیای، دانشگاه تهران،

^۲استاد گروه آبخیزداری، دانشگاه یزد، ^۳کارشناس ارشد مدیریت بیابان، اداره منابع طبیعی و آبخیزداری اردکان (یزد)

تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۳

چکیده

سابقه و هدف: شناسایی مناطق شور و تهیه نقشه‌های رقومی میزان شوری خاک‌ها، گامی مؤثر در مدیریت صحیح اراضی شور به‌شمار می‌رود. از آن‌جا که بخش وسیعی از کشور ما را اراضی شور تشکیل می‌دهد، اهمیت این موضوع به‌شدت احساس می‌شود. شوری خاک یکی از مراحل تخریب زمین بوده که منجر به کاهش بهره‌وری نهایی در خاک می‌شود. شوری خاک می‌تواند ناشی از فرایندهای طبیعی یا اعمال انسانی باشد اما در هر صورت یکی از مخاطرات جدی محیط می‌باشد. بنابراین تهیه نقشه شوری خاک باعث ارتقاء سطح مدیریت‌شده و در فرایند تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی توسعه پایدار مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه تهیه نقشه‌های شوری خاک به کمک تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور براحتی امکان‌پذیر است و پژوهش‌های زیادی جهت پایش شوری خاک به کمک تصاویر ماهواره‌ای در اکثر نقاط جهان انجام شده است. با توجه به مشکلات تولید نقشه‌های شوری خاک از داده‌های ماهواره‌ای در این پژوهش دو رویکرد مدل‌سازی و طبقه‌بندی در تولید نقشه‌های خاک ارزیابی شده‌اند. هدف از پژوهش حاضر نیز ارزیابی روش مدل‌سازی و طبقه‌بندی‌های نظارت‌شده به‌منظور تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از تلفیق تصاویر ASTER و ETM (که کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است) در شرق دشت سمنان می‌باشد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور انجام پژوهش حاضر ابتدا، پس از تعیین موقعیت منطقه، با تشکیل یک شبکه بر روی تصویر منطقه، موقعیت نقاط نمونه‌برداری مشخص گردید. در مرحله بعد با انجام پیمایش‌های صحرائی، نمونه‌برداری انجام و سپس مقدار EC اندازه‌گیری شدند. سپس با اعمال پیش پردازش داده‌های ماهواره‌ای و همچنین تکنیک‌های پردازش تصویر از قبیل آنالیز مولفه‌های اصلی، ادغام باندهای چندطیفی ASTER با باند پانکروماتیک ETM+، تبدیل تسلدکپ، فیلترینگ، ایجاد شاخص‌های شوری، نسبت‌گیری طیفی و همچنین با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده، نقشه شوری خاک منطقه تهیه گردید.

یافته‌ها: نتایج پژوهش نشان داد که نقشه شوری تهیه شده به روش مدل‌سازی با باند ۸ تصاویر ASTER، مؤلفه به‌دست آمده از ادغام باند پانکروماتیک ETM+ با باند ۵ ASTER و مؤلفه به‌دست آمده از شاخص شوری

* مسئول مکاتبه: mostafakarimi.a@ur.ac.ir

(Salinity2) ارتباط معنادار دارد و نتایج به دست آمده از اعتبارسنجی مدل با مقادیر MAE، RMSE و R به ترتیب معادل ۱۶۳، ۱۶۵ و ۰/۸۱ به دست آمد که دلالت بر مناسب بودن مقادیر تخمینی این مدل دارد. صحت نقشه شوری تهیه شده به روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده نیز به ترتیب برای روش حداکثر احتمال ۰/۸۴ و برای روش حداقل از میانگین ۰/۷۴ برآورد گردید که بیانگر دقت کم‌تر این روش‌ها نسبت به نقشه شوری به روش مدل‌سازی می‌باشد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش، می‌توان با تعدیل نمودن شاخص‌های شوری، شاخص‌های جدیدی را جهت تهیه نقشه شوری خاک به دست آورد. همچنین نتایج نشان داد که دخالت باند سه ASTER موجب تشخیص بهتر مؤلفه شوری خاک شده است و این بخش از طیف الکترومغناطیس شامل (۰/۵۲-۰/۸۶، ۰/۱۴۵-۰/۱۸۵، ۰/۲۹۵-۰/۳۶۵ میکرومتر) می‌تواند در تهیه نقشه شوری خاک در مناطق مختلف مفید واقع شود.

واژه‌های کلیدی: شوری خاک، ASTER، طبقه‌بندی نظارت‌شده، مدل‌سازی، دشت سمنان

مقدمه

شناسایی مناطق شور و تهیه نقشه‌های رقومی میزان شوری خاک‌ها، گامی مؤثر در مدیریت صحیح اراضی شور به شمار می‌رود. اراضی شور بخش وسیعی از کشور ما را فرا گرفته‌اند. بنابراین اهمیت این موضوع به شدت احساس می‌شود. امروزه تهیه نقشه‌های شوری خاک به کمک تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور به راحتی امکان‌پذیر است. تجزیه و تحلیل زمانی مناطق دوردست یکی از بزرگ‌ترین مزایای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد (۲۳، ۳۴). داده‌ها و تکنیک‌های سنجش از دور به طور گسترده‌ای در تهیه نقشه مناطق تحت تأثیر شوری مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۲۵، ۲۴، ۱۸، ۱۴، ۹، ۲). از ترکیب سنجش از دور با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای داده‌های مختلف در جهت ترسیم خاک‌های تحت تأثیر شوری می‌توان استفاده کرد (۱۵). مطالعات بسیاری در برخی از مناطق خشک با استفاده از ماهواره لندست انجام گرفته است که از جمله می‌توان به مطالعات کاستاندا و همکاران (۲۰۰۵)، برای بررسی دریاچه‌های پلایا در بیابان مونگروس اسپانیا و آل‌خوداری و همکاران (۲۰۰۲)، در مورد سطح آب تالاب‌ها اشاره کرد (۶، ۱۰). در

ارتباط با شوری خاک، اختر عباس و همکاران (۲۰۱۳)، نقشه شوری خاک تحت تأثیر سیستم‌های آبیاری منطقه پنجاب واقع در فیصل پاکستان (حوضه سند) را با استفاده از تصاویر IRS-1B LISS-II و از طریق طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال، با دقت ۹۰ درصد در سه طبقه خاک‌های کمی شور، نسبتاً شور و شور تهیه نمودند و نتایج پژوهش‌های آن‌ها نشان داد که آب‌های زیرزمینی با کیفیت پایین خطر شور شدن خاک‌های این منطقه را افزایش می‌دهند (۱). مترنیخ و زینک (۲۰۰۳)، با استفاده از عکس‌های هوایی، تصاویر سنجنده‌های چندطیفی فضایی، تصاویر سنجنده‌های امواج کوتاه، تصاویر ویدئویی و ژئوفیزیک هوایی تغییرات شوری خاک را بررسی نمودند (۲۸). خان و عباس (۲۰۰۷) سه شاخص طیفی برای شناسایی مناطق شوری در پاکستان پیشنهاد دادند که عبارتند از شاخص BI، شاخص NDSI و شاخص SI و نتایج پژوهش‌های آن‌ها نشان داد که در بین این سه شاخص، شاخص NDSI بهتر می‌تواند طبقات مختلف شوری خاک را استخراج نماید (۳۲). تاج‌گردان و همکاران (۲۰۰۸) با روش‌های رگرسیونی از روی تصاویر ETM+، مدلی را جهت تهیه نقشه شوری منطقه شمال آق‌قلا در استان گلستان را

۳۰ متر و محدوده طیفی مادون قرمز حرارتی با تفکیک مکانی ۹۰ متر را پوشش می‌دهند (۴، ۷، ۲۷) و بنابراین انتظار می‌رود با تلفیق کردن باندهای هر دو تصویر به نتایج بهتری دست یافت.

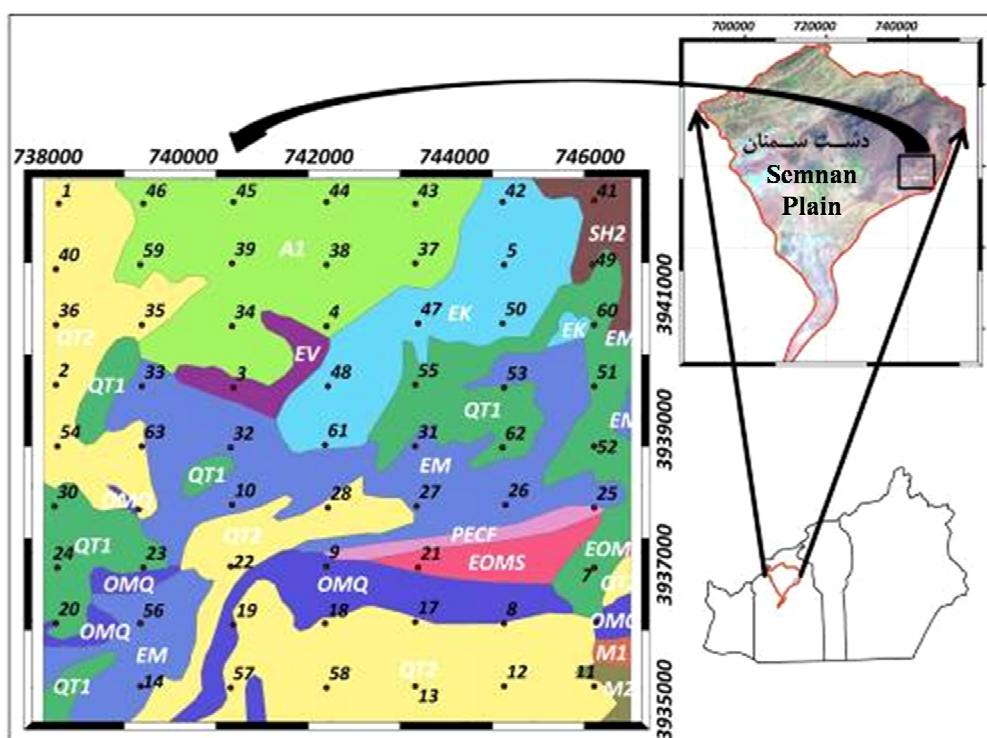
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه محدوده‌ای است به مساحت ۸/۰۰۰ هکتار واقع در شرق دشت سمنان که بر اساس سیستم مختصات جغرافیایی، بین طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳۷ دقیقه و ۲۹ ثانیه تا ۵۳ درجه و ۴۳ دقیقه و ۴ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۱ دقیقه و ۲۳ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه و ۵۲ ثانیه شمالی قرار دارد (شکل ۱). این منطقه به علت مجاورت با کویر مرکزی ایران و همچنین تأثیرپذیری از پرفشارهای حرارتی دارای اقلیم گرم و خشک با بارندگی نزدیک به ۱۴۴ میلی‌متر در سال می‌باشد. به منظور انجام پژوهش حاضر از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری با سیستم مختصات UTM، مدل ارتفاعی رقومی (DEM)، باند پانکروماتیک تصویر ماهواره‌ای ETM+ و داده‌های سنجنده ASTER با تاریخ ۲۴ اکتبر سال ۲۰۰۳ با ۱۴ باند استفاده شد. تصویر مورد استفاده از نوع 1B می‌باشد و تصحیح‌های اتمسفری بر روی آن انجام شده است. زمین مرجع کردن تصویر ASTER به کمک ۳۹ نقطه کنترل زمینی برداشت شده با GPS و به روش نزدیک‌ترین همسایه با RMSE ۰/۴۵ پیکسل انجام گرفت. نمونه‌برداری از منطقه سعی گردید با پراکنش مناسب از تمام واحدهای سنگ‌شناسی موجود (شکل ۲) انجام گیرد. بدین منظور با قرار دادن یک شبکه نقاط منظم تصادفی بر روی نقشه واحدهای سنگ‌شناسی (جدول ۱) واحدهای سنگ‌شناسی منطقه را به اختصار شرح

به دست آوردند و با آن توانستند شوری منطقه را پهنه‌بندی نمایند (۳۳). دادرسی و همکاران (۲۰۰۶)، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای TM مربوط به دو سری زمانی (۱۹۸۷ و ۲۰۰۱)، با ترکیب باندی (FCC ۵۲۱) و با به‌کارگیری روش طبقه‌بندی نظارت‌شده با حداکثر احتمال نقشه روند شوری منطقه جنوب شرقی شهرستان سبزوار را در هر دو زمان فوق تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند (۱۲). نتایج پژوهش‌های ایشان نشان داد که در مساحت اراضی غیر شور در دو مقطع زمانی تغییری حادث نشده و بدین ترتیب به میزان ۸۱/۳۵، ۱۹/۲، ۴۱/۴۵، ۳۳/۳۳ درصد به ترتیب از دسته اراضی شور مرطوب، شور متوسط، زیاد و شدید کاسته شده و به میزان ۸۸/۹۰ درصد بر دسته اراضی با شوری کم افزوده شده است. دشتکیان و همکاران (۲۰۰۸)، از روش میانگین رگرسیون‌ها با باندهای استاندارد شده ۱، ۲ و ۳، طبقه‌بندی حداکثر احتمال، شاخص شوری (SI)، شاخص شوری استاندارد شده (NDSI)، با استفاده از داده‌های ماهواره لندست برای تهیه نقشه شوری خاک در منطقه مروست استفاده کردند، نتایج پژوهش‌های ایشان نشان داد که مناسب‌ترین روش برای تهیه نقشه شوری خاک، روش میانگین رگرسیون‌ها با باندهای استاندارد شده ۱، ۲ و ۳ و در درجه دوم روش شاخص شوری (SI) در منطقه می‌باشد (۱۳). همان‌طور که از پیشینه پژوهش مشخص شد تمرکز پژوهش‌ها بر روی داده‌های سنجنده‌های مستقر بر ماهواره لندست بوده است. استفاده از داده‌های ASTER به خصوص در داخل کم‌تر بوده این پژوهش به هدف استفاده مشترک هر دو اطلاعات در تعیین مؤلفه شوری خاک با استفاده از تلفیق تصاویر سنجنده ETM و ASTER می‌باشد چرا که تصاویر چندطیفی ASTER، یک منطقه طیفی گسترده‌ای را با ۱۴ باند از محدوده طیفی مرئی با تفکیک مکانی ۱۵ متر، محدوده طیف مادون قرمز با تفکیک مکانی

تمام نمونه‌های برداشت‌شده وارد نرم‌افزار SPSS شدند. سپس با روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی، ادغام باندها، تبدیل تسلدکپ، نسبت‌گیری طیفی، فیلتر میانگین و تهیه شاخص‌های شوری، اقدام به ایجاد باندهای فرعی از باندهای اصلی گردید (جدول ۲). مقادیر EC نقاط نمونه‌برداری با هر یک از باندهای فرعی تولیدی قطع داده شد و میانگین ارزش طیفی مجموع ۹ پیکسل متناظر با هر یک از نقاط نمونه‌برداری صحرایی استخراج گردید.

می‌دهد)، موقعیت ۵۹ نمونه مشخص گردید. سپس به انجام نمونه‌برداری از محل نقاط مشخص شده در منطقه اقدام گردید. جهت افزایش دقت کار، از محل قرارگیری GPS در مرکز نقاط نمونه‌برداری، به اندازه ۱۵ متر فاصله گرفته و بدین ترتیب از ۸ پیکسل مجاور نیز نمونه‌برداری در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر به عمل آمد و سپس مجموع ۹ پیکسل هر یک از نقاط نمونه‌برداری با یکدیگر مخلوط شده و جهت اندازه‌گیری میزان EC تمام نقاط، به آزمایشگاه شرکت معدنی املاح ایران فرستاده شدند. نتایج آزمایشگاهی مربوط به مؤلفه EC

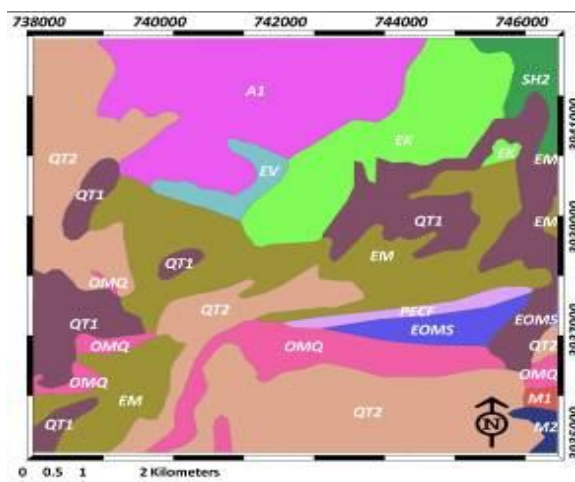


شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده بر روی نقشه واحدهای سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Location of sampling points on the map of lithological units of the study area.

SPSS گردید. در خصوص متغیرهای مستقل، علاوه بر باندهای اصلی و مؤلفه‌های به‌دست آمده از شاخص‌های شوری مورد استفاده، تمامی باندهای فرعی نیز معرفی گردید.

به‌منظور بررسی روابط بین داده‌های زمینی و ماهواره‌ای، ماتریس همبستگی بین تمامی متغیرها تشکیل گردید. بدین صورت که داده‌های شوری نقاط نمونه‌برداری به‌عنوان متغیر وابسته و ارزش طیفی متناظر با آن‌ها به‌عنوان متغیر مستقل، وارد نرم‌افزار



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه.

Figure 2. Geological Map of study area.

جدول ۱- واحدهای سنگ‌شناسی منطقه.

Table 1. Lithological units of study area.

درصد از مساحت منطقه Percent of the area	شرح Description	واحد سنگ‌شناسی Lithological units	ردیف Row
۱۵ درصد	تراس‌های آبرفتی قدیم Older alluvial fan deposits	Qt1	1
۲۵/۹ درصد	تراس‌های آبرفتی جدید Young alluvial fan deposits	Qt2	2
۷/۲ درصد	سازند قم (لایه‌های گچ، آهک و مارن) QOM FORMATION (Marly limestone few gypsum layers)	Om q	3
۲/۲ درصد	مارن و ماسه سنگ درشت‌دانه Marl, several thin intercalation of coarse-grained sandstone	Eoms	4
۱۸/۶ درصد	سازند مارن دوزهیر (مارن، کنگلومرا و ماسه سنگ) Marl, marlstone, light grey some limestone	Em	5
۱۵/۵ درصد	سنگ گچ و شیل Anhydrite and shale	A1	6
۱۰/۱ درصد	سازند کرج (توف و شیل سیاه) KARAJ FORMATION (Tuff and black shale)	Ek	7
۱/۷ درصد	سنگ‌های آذرین Volcanic Rock	Ev	8
۰/۳ درصد	مارن، شیل قرمز و گچ Red marl, gypsum and shale	M1	9
۰/۵ درصد	سازند فرمز بالایی (کنگلومرا و مارن) Sandstone, shale, conglomeratic sandstone	M2	10
۱/۲ درصد	سازند فجن (کنگلومرای قرمز و خاکستری) Conglomeratic red, gray	Pecf	11
۲ درصد	شیل Shele	SH2	12

جدول ۲- باندهای اصلی و فرعی مورد استفاده در پژوهش حاضر.

Table 2. Primary and secondary of image bands used in this study.

ردیف Row	نحوه تهیه باندها How prepared band	باندهای اصلی و فرعی Major and minor bands
1	باندهای اصلی استر Main bands ASTER	Band1, Band2, ..., Band14
2	تجزیه مؤلفه‌های اصلی استر PCA ASTER	PCA1, PCA2, ..., PCA14
3	باند روشنایی به دست آمده از تبدیل تسلدکپ تصویر استر Brightness band of tasseled cap transformation ASTER images	روشنایی Brightness ^a
4	باند نمناکی به دست آمده از تبدیل تسلدکپ تصویر استر Wetness band of tasseled cap transformation ASTER images	نمناکی Wetness ^a
5	باند سبزیگی به دست آمده از تبدیل تسلدکپ تصویر استر Greenness band of tasseled cap transformation ASTER images	سبزیگی Greenness ^a
6	ادغام ۹ باند ASTER با باند پانکروماتیک ETM+ Fusion ASTER 9 bands with the panchromatic band ETM+	FuseB1, FuseB2, ..., FuseB9
7	باندهای اصلی ETM Main bands ETM+	Band1, Band2, ..., Band6
8	تجزیه مؤلفه‌های اصلی ETM PCA ETM	PCA1, PCA2, ..., PCA6
9	باند روشنایی به دست آمده از تبدیل تسلدکپ تصویر ETM Brightness band of tasseled cap transformation ETM images	روشنایی Brightness
10	باند نمناکی به دست آمده از تبدیل تسلدکپ تصویر ETM Wetness band of tasseled cap transformation ASTER images	نمناکی Wetness
11	باند سبزیگی به دست آمده از تبدیل تسلدکپ تصویر ETM Greenness band of tasseled cap transformation ASTER images	سبزیگی Greenness
12	$(B_2 - B_3) / (B_2 + B_3)$	NDSI ^b
13	$\sqrt{(B_2^2 + B_3^2)}$	BI ^b
14	$\sqrt{(B_1 * B_2)}$	Salinity ₁ ^c
15	$\sqrt{(B_1^2 + B_2^2 + B_3^2)}$	Salinity ₂ ^c
16	$\sqrt{(B_1^2 + B_2^2)}$	Salinity ₃ ^c
17	B_4 / B_3	MSI ^d

a: یاربراق و همکاران (۲۰۰۵)، (۳۵). b: یادیل و ارنستاین (۲۰۰۵)، زینک (۲۰۰۱)، کاپا و همکاران (۲۰۰۵)، (۳۱، ۳۶، ۲۶). c: دوایی و همکاران (۲۰۰۶)، (۱۷). d: فرازیر و چنگ (۱۹۸۹)، باتی و همکاران (۱۹۹۱)، (۲۲، ۸).

مدل با استفاده از روش رگرسیونی چندمتغیره به روش حذف پسر و جهت تهیه نقشه شوری خاک گردید. به دلیل کثرت باندهای اصلی و فرعی تولیدی

بس از مشخص شدن نحوه همبستگی بین مقادیر شوری در نقاط نمونه برداری شده با مقادیر ارزش طیفی متناظر با آن نقاط از تمامی باندها اقدام به ایجاد

همچنین روش حداقل فاصله از میانگین استفاده گردید. پس از تهیه نقشه‌ها، ارزیابی صحت طبقه‌بندی به منظور برآورد صحت و سطح اطمینان نتایج و همچنین مقایسه روش‌های مختلف طبقه‌بندی با یکدیگر انجام پذیرفت (۲۰). سپس به منظور افزایش کیفیت و دقت طبقه‌بندی یا آماده‌سازی نتایج به منظور نزدیک شدن به شکل نهایی، پس‌پردازهای طبقه‌بندی بر روی نتایج طبقه‌بندی اعمال گردید (۲۰، ۳۰) و در نهایت صحت نقشه‌های تولیدشده به روش مدل‌سازی و طبقه‌بندی نظارت شده مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج

ابتدا نرمال بودن داده‌های EC با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، مورد بررسی قرار گرفت که معادل ۰/۴٪/۶۰ شد، این میزان نشان‌دهنده نرمال بودن این داده‌هاست. خصوصیات آماری این داده‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است. جدول‌های ۴ و ۵ به ترتیب نتایج به دست آمده از ضرایب همبستگی بین مقادیر شوری خاک با باندهای ASTER و ETM+ را نشان داده و نتایج به دست آمده از ایجاد روابط رگرسیون چندمتغیره بین متغیرهای وابسته و مستقل به روش حذف پسروده در جدول‌های ۶ و ۷ و نتایج مربوط به آزمون معنی‌دار بودن بهترین مدل در جدول ۸ آورده شده است.

به‌وسیله تکنیک‌های سنجش از دور، از باندهایی که همبستگی بالاتری نسبت به نقاط نمونه‌برداری دارند، جهت شرکت در مدل استفاده گردید. از روش رگرسیونی حذف پسر و جهت انتخاب مدلی که دارای ضریب همبستگی، ضریب تبیین (R^2) و همچنین ضریب تعیین تعدیل‌شده بالاتری بود، استفاده به عمل آمد. جهت اعتبارسنجی مدل تعیین‌شده، ۲۵ نقطه دیگر از منطقه با پراکنش مناسب، برداشت و EC آن‌ها در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از روابط آماری ۱ و ۲، مقادیر میانگین قدرمطلق خطا (MAE)، ریشه میانگین مقادیر میانگین قدرمطلق خطا (MAE)، ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (R) میزان دقت مدل محاسبه گردید.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_{xi} - Z_{xi}^*| \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Z_{xi} - Z_{xi}^*]^2} \quad (2)$$

که در آن، Z_{xi} مقادیر واقعی، Z_{xi}^* مقادیر تخمینی و n تعداد نمونه‌ها با استفاده از روش‌های آماری طبقه‌بندی نظارت‌شده و به کمک نقاط نمونه‌برداری (نمونه‌های تعلیمی) اقدام به تهیه نقشه‌های شوری خاک گردید. در پژوهش حاضر از متداول‌ترین و دقیق‌ترین این روش‌ها یعنی حداکثر احتمال (۵) و

جدول ۳- خصوصیات آماری شوری (EC) منطقه (ds/m).

Table 3. Statistical characteristics of EC in the region (ds / m).

میانگین	میانه	انحراف معیار	کشیدگی	چولگی	حداقل	حداکثر	تعداد	خصوصیات آماری
Average	Middle	Standard deviation	Strain	Skewness	Minimum	Maximum	Number	Statistical properties
20.44	19	11.80	1.42	0.90	2	61	59	هدایت الکتریکی EC ds/m

جدول ۴- ضرایب همبستگی متغیرهای مورد بررسی برای داده‌های ASTER.

Table 4. Correlation coefficients of the variables for ASTER data.

Band9	Band8	Band7	Band6	Band5	Band4	Band3	Band2	Band1	Band
-0.590	-0.603	-0.578	-0.544	-0.746	-0.694	-0.639	-0.344	-0.295	EC

ضرایب همبستگی شوری با هر یک از PCA تصویر ASTER

Correlation coefficients of salinity with each PCA ASTER image

PCA 9	PCA 8	PCA7	PCA6	PCA5	PCA4	PCA3	PCA2	PCA1	PCA
-0.264	0.250	-0.125	0.429	0.606	0.492	0.272	0.298	-0.172	EC

ضرایب همبستگی شوری با هر یک از مؤلفه‌های تبدیل تسلدکپ تصویر ASTER

Correlation coefficients of salinity with each components of tasseled cap transformation of ASTER image

Greenness	Wetness	Brightness	Index
-0.103	-0.164	-0.079	EC

جدول ۵- ضرایب همبستگی متغیرهای مورد بررسی برای داده‌های ETM.

Table 5. Correlation coefficients of the variables for ETM data.

ضرایب همبستگی شوری با هر یک از باندهای ETM

Correlation coefficients of salinity with ETM bands

Band6	Band5	Band4	Band3	Band2	Band1	Band
-0.607	0.589	0.451	0.476	-0.467	-0.321	EC

ضرایب همبستگی شوری با هر یک از PCA تصویر ETM

Correlation coefficients of salinity with each PCA of ETM image

PCA6	PCA5	PCA4	PCA3	PCA2	PCA1	PCA
-0.593	-0.513	-0.405	-0.117	0.356	0.245	EC

ضرایب همبستگی شوری با هر یک از شاخص‌ها

Correlation coefficient of salinity with the extracted indices

MSI	Salinity3	Salinity2	Salinity1	BI	NDSI	Index
0.180	-0.407	0.709	0.456	0.289	0.245	EC

ضرایب همبستگی شوری با هر یک از مؤلفه‌های تبدیل تسلدکپ تصویر ETM

Correlation coefficients of salinity with each components of tasseled cap transformation of ETM image

Greenness	Wetness	Brightness	Index
-0.401	-0.322	-0.271	EC

ضرایب همبستگی شوری با هر یک از باندهای SWIR فیوژن‌شده با باند پانکروماتیک ETM+

Correlation coefficients of salinity with the fusion SWIR bands by the panchromatic band of ETM

FuseB9	FuseB8	FuseB7	FuseB6	FuseB5	FuseB4	Fuse
-0.564	0.315	0.427	-0.349	-0.721	0.376	EC

جدول ۶- ضرایب تشخیص مدل‌های EC.

Table 6. Coefficients of determination for the EC models.

خطای معیار برآورد Std. Error of the Estimate	ضریب تعیین تعدیل شده Adjusted R Square	ضریب تعیین R Square	همبستگی R	مدل Model
9.73224	0.493	0.603	0.776	1
9.56919	0.510	0.603	0.776	2
9.45500	0.522	0.599	0.774	3
9.45165	0.522	0.587	0.766	4
9.44098	0.523	0.575	0.758	5
9.44043	0.523	0.562	0.750	6

جدول ۷- تجزیه واریانس مدل‌های EC.

Table 7. Analysis of variance for the EC models.

سطح معنی‌داری Sig.	آماره F F	میانگین مربعات Mean Square	درجه آزادی df	جمع مربعات Sum of Squares	مدل Model
0.000	5.505	521.367	8	4170.938	رگرسیون Regression
		94.716	29	2746.777	باقی مانده Residuals
			37	715.6917	کل All
0.000	6.507	595.805	7	635.4170	رگرسیون Regression
		91.569	30	079.2747	باقی مانده Residuals
			37	715.6917	کل All
0.000	7.730	691.068	6	407.4146	رگرسیون Regression
		89.397	31	308.2771	باقی مانده Residuals
			37	715.6917	کل All
0.000	9.087	811.807	5	034.4059	رگرسیون Regression
		89.334	32	681.2858	باقی مانده Residuals
			37	715.6917	کل All
0.000	11.153	994.89	4	356.3976	رگرسیون Regression
		89.132	33	358.2941	باقی مانده Residuals
			37	715.6917	کل All
0.000	14.540	1215.859	3	577.3887	رگرسیون Regression
		89.122	34	138.3033	باقی مانده Residuals
			37	715.6917	کل All

جدول ۸- ضرایب رابطه رگرسیونی و آزمون معنی‌دار بودن مدل.

Table 8. Regression coefficients and significance test model.

سطح معنی‌داری The significance level	آماره T T	ضرایب استاندارد شده Standardized coefficients	ضرایب استاندارد نشده Not standardized coefficients	ضرایب ثابت Constants	مدل ۶ Model 6
		Beta	Std. Error	B	
0.000	2.508		30.078	75.447	(Constant)
0.000	2.138	0.364	0.223	0.476	Fuse5
0.000	-3.716	-0.618	0.260	-0.966	Band8
0.000	4.857	0.572	0.113	0.549	Salinity2

بهترین مدل، با استفاده از نتایج آزمایشگاهی مولفه EC ۲۵ نمونه شاهد، میزان دقت این مدل اعتبارسنجی و مقادیر MAE و RMSE و ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و تخمینی شوری محاسبه (جدول ۹) و تست نرمالیت باقی‌مانده مدل (شکل ۳) نیز محاسبه گردید. در نهایت با استفاده از مدل ارائه شده نقشه شوری خاک منطقه تهیه و در ۵ کلاس ۰-۴، ۴-۸، ۸-۱۶، ۱۶-۳۲ و ۳۲-۶۴ طبقه‌بندی گردید (شکل ۴).

بر اساس جداول مذکور مدل ۶ به‌عنوان بهترین مدل جهت تعیین شوری خاک در منطقه مطالعاتی مشخص گردید:

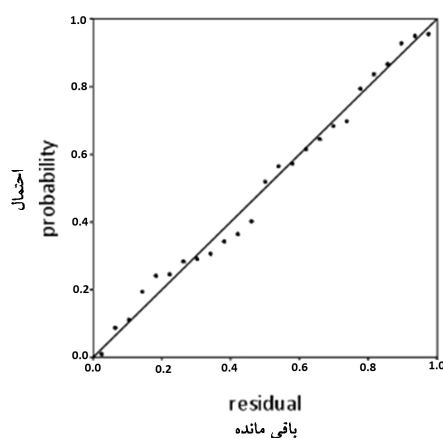
$$EC: 75.447 + 0.476 \text{ Fuse5} - 0.966 \text{ B8} + 0.549 \text{ Salinity2}$$

که در آن، EC شوری خاک بر حسب ds/m، Fuse5 مؤلفه به‌دست آمده از ادغام باند ۵ استر با باند پانکروماتیک ETM، B8 باند ۸ استر و Salinity2 شاخص شوری می‌باشد. پس از تعیین

جدول ۹- معیارهای اعتبارسنجی بهترین مدل با استفاده از ۲۵ نمونه شاهد.

Table 9. Criteria of model validation using control samples.

میانگین مطلق خطا MAE	جذر میانگین مربعات خطا RMSE	همبستگی R	پارامتر Parameter
162.65	165.1	0.81	مدل برآورد شده The estimated model

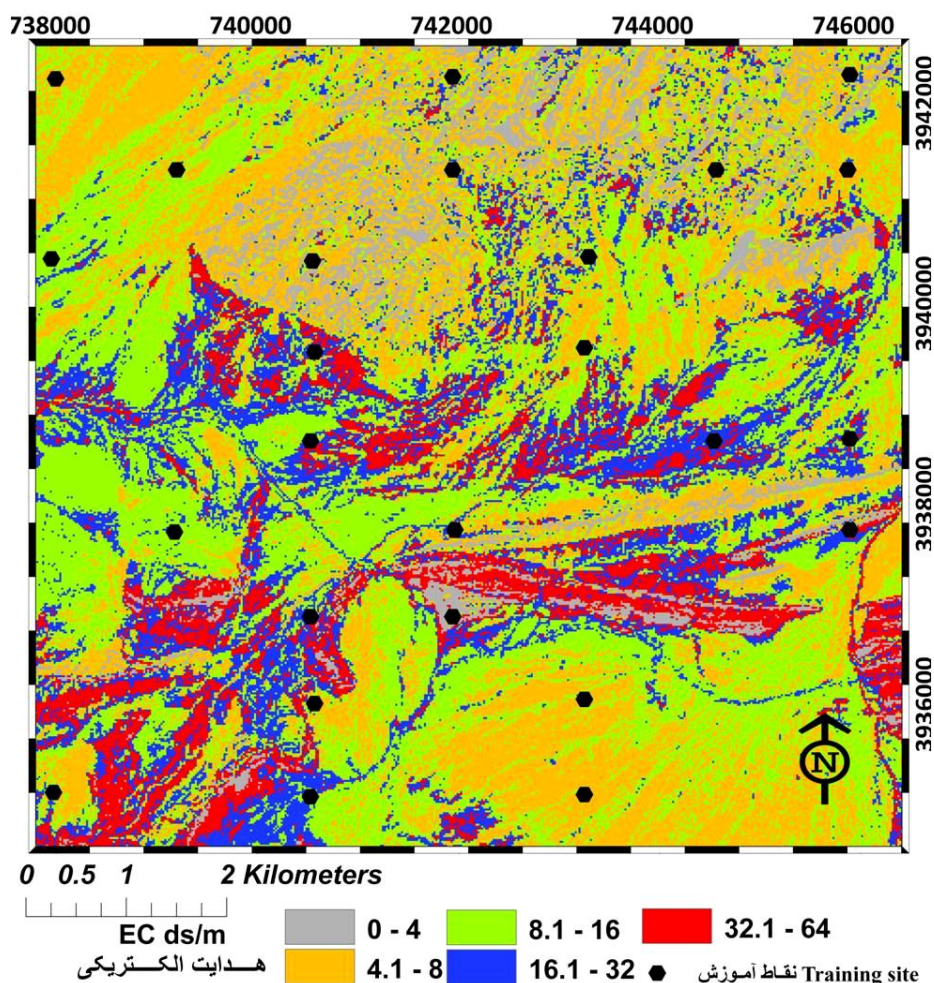


شکل ۳- تست نرمالیت باقی‌مانده مدل.

Figure 3. Residual normality test for the selected model.

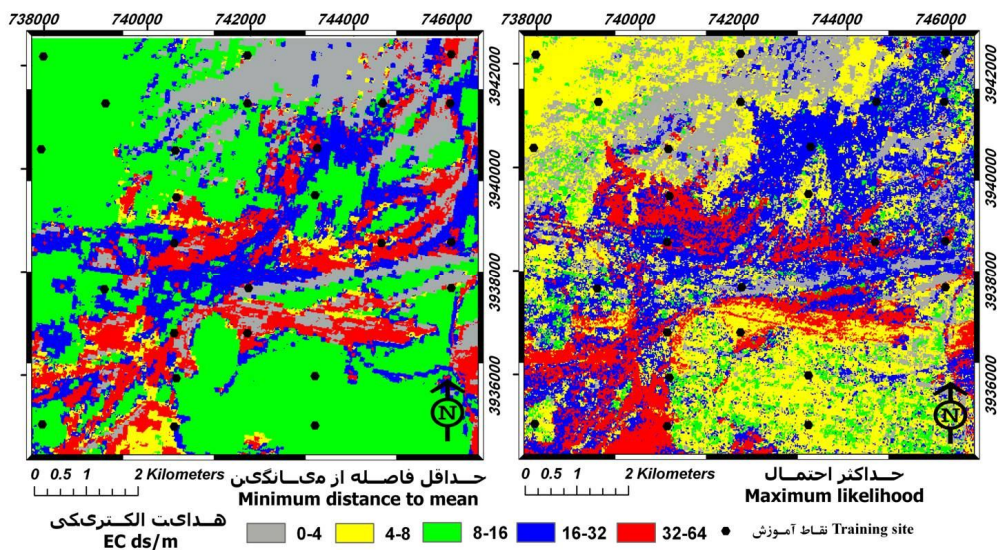
نقشه‌های تولیدی بر اساس ماتریس خطا با استفاده از ۲۵ نمونه شاهد از روش پیکسل به پیکسل، دقت هر یک از کلاس‌های شوری (صحت کاربر، تولیدکننده و کل) و همچنین دقت کلی طبقه‌بندی با میزان ضریب کاپا مربوط به هر یک از کلاس‌های شوری و ضریب کاپای کل محاسبه گردید (جدول‌های ۱۰ و ۱۱).

روش دیگری که در پژوهش حاضر جهت تهیه نقشه شوری منطقه مورد استفاده قرار گرفت، استفاده از طبقه‌بندی نظارت شده با دوروش حداکثر احتمال و حداقل فاصله از میانگین می‌باشد. بر این اساس نقشه شوری منطقه به کمک ۳۴ نقطه نمونه‌برداری در کلاس‌های متفاوت پس از اعمال فیلتر میانگین ۳*۳ تهیه گردید (شکل ۵). با ارزیابی صحت



شکل ۴- نقشه شوری منطقه با استفاده از بهترین مدل.

Figure 4. Salinity Map using the best model.



شکل ۵- نقشه شوری منطقه با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده.
Figure 5. Salinity map using supervised classification techniques.

جدول ۱۰- ارزیابی صحت نقشه شوری با ماتریس خطا به روش حداکثر احتمال.

Table 10. Evaluation of salinity map using error matrix with maximum likelihood method.

صحت کاربر User Accuracy	صحت تولیدکننده Producer Accuracy	تعداد صحیح The correct number	مجموع طبقه‌بندی Total classification	مجموع کلاس Total class	نام کلاس Name of class
66.66 (%)	100 (%)	4	6	4	0-4
85.71 (%)	100 (%)	6	7	6	4-8
66.66 (%)	50 (%)	2	3	4	8-16
100 (%)	80 (%)	4	4	5	16-32
100 (%)	83.33 (%)	5	5	6	32-64
		21	25	25	کل Total
(Total accuracy) صحت کل = %84					
(The entire Kappa coefficient) ضریب کاپای کل = 0.7019					

جدول ۱۱- ارزیابی صحت نقشه شوری منطقه با ماتریس خطا به روش حداقل فاصله از میانگین.

Table 11. Evaluation of salinity map using error matrix with the minimum distance.

صحت کاربر User Accuracy	صحت تولیدکننده Producer Accuracy	تعداد صحیح The correct number	مجموع طبقه‌بندی Total classification	مجموع کلاس Total class	نام کلاس Name of class
60 (%)	75 (%)	3	5	4	0-4
75 (%)	50 (%)	3	4	6	4-8
100 (%)	75 (%)	3	3	4	8-16
71.42 (%)	100 (%)	5	7	5	16-32
83.33 (%)	83.33 (%)	5	6	6	32-64
		19	25	25	کل Total
(Total accuracy) صحت کل = %76					
(The entire Kappa coefficient) ضریب کاپای کل = 0.6431					

بحث

تهیه نقشه از شوری خاک کار بسیار پیچیده‌ای است زیرا خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و همچنین رطوبت، ماده آلی و زبری سطحی خاک در رنگ خاک تأثیرگذار بوده که در نهایت منجر به تغییر بازتاب‌ها از سطح خاک می‌شوند (۲۳). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بهترین مدل جهت تعیین میزان شوری منطقه شامل باند ۸ سنجنده استر (با توجه دلیل بالاتر بودن مقدار f و پایین‌تر بودن میزان خطای استاندارد)، مؤلفه به‌دست آمده از ادغام مقادیر باند ۵ استر با باند پانکروماتیک ETM+ (FuseB5)، به همراه مقادیر شاخص شوری (Salinity2) می‌باشد. بررسی جدول‌های ۴ و ۵ نشان داد که گرچه مقادیر ضریب همبستگی در تمامی مدل‌ها نزدیک به هم می‌باشد اما به دلیل بالاتر بودن مقدار f و پایین‌تر بودن میزان خطای استاندارد در مدل ۶، بنابراین این مدل به‌عنوان بهترین مدل جهت تهیه نقشه شوری خاک انتخاب می‌گردد.

نتایج پژوهش‌های تاج‌گردان و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که مؤلفه حاصل از ادغام باند ۴ با باند پانکروماتیک سنجنده ETM+ رابطه قوی با EC منطقه دارد (۳۳). باند ۴ سنجنده ETM+ در محدوده طیفی باند ۳ سنجنده ASTER قرار دارد. همچنین نتایج پژوهش‌های فرناندس بوسس و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد که شاخص (COSRI) که از پوشش گیاهی و خاک لخت با شاخص NDVI محاسبه شده $[(b1 + b2) / (b3 + b4) * ndvi]$ ، ارتباط قوی با نقشه‌های شوری و قلیائیت منطقه دارند (۲۱). دوآبی و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهش‌های خود به این نتیجه رسیدند که در میان شاخص‌های خاک و پوشش گیاهی که به‌کار بردند شاخص‌های Salinity1، Salinity2 و Salinity3 ارتباط زیادی با شوری منطقه دارند. در پژوهش حاضر نیز، این شاخص‌ها بیش‌ترین ارتباط را با شوری منطقه دارند (۱۷). نتایج

پژوهش عبدی‌نام (۲۰۰۴) با تصاویر ETM+ در دشت قزوین نشان داد که بین ارقام شوری خاک منطقه با ارقام رقومی باند ۷ این سنجنده همبستگی بالایی وجود دارد (۳) و بر اساس آن نقشه شوری منطقه را با دقت ۸۶٪ تهیه نمود. باند ۷ تصاویر ETM+ در محدوده طیفی باند ۵، ۶، ۷ و ۸ سنجنده ASTER منطبق می‌باشد که در نتایج این پژوهش نیز، ارتباط باندهای ۵ و ۸ با شوری منطقه به اثبات رسیده است. نتایج پژوهش‌های دشتکیان و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که شاخص‌های شوری BI و NDSI نتوانستند شوری منطقه را نمایش دهند (۱۳) و در پژوهش حاضر نیز این شاخص‌ها، شوری منطقه را نمایش ندادند. ولی آن‌ها با باندهای ۱، ۲ و ۳ تصاویر ETM+، نقشه شوری منطقه را با دقت مطلوب تهیه کردند اما در پژوهش حاضر ارتباط چندانی بین شوری و این محدوده از طیف الکترومغناطیس وجود ندارد.

با نگاهی به نقشه زمین‌شناسی منطقه، مناطق با برونزدگی‌های سنگی و واحدهای سنگی آذرین که اراضی غیرشور را در بر می‌گیرند، منطبق با طبقه با شوری کم در نقشه ایجاد شده از مدل می‌باشند. مناطق با شوری ۸-۴ و ۱۶-۸ دسی‌زیمنس بر متر را بیش‌تر اراضی آبرفتی و مخروط‌افکنه تشکیل می‌دهد که در بعضی موارد به‌علت اختلال بازتاب‌های انعکاسی با عواملی هم‌چون سنگ‌فرش بیابان و پوشش گیاهی، این میزان از شوری در این گونه مناطق، با واقعیت زمینی همخوانی ندارد. در تشخیص خاک‌های شور، حضور پوشش گیاهی یا دیگر ویژگی‌های سطحی ممکن است باعث اختلالات طیفی با توجه به خواص بازتاب نمک شود (۲۸). اما محدوده‌های با شوری ۶۴-۳۲ دسی‌زیمنس بر متر که در قسمت‌های مرکزی و جنوب‌شرق و غربی منطقه دیده می‌شوند مربوط به سازندهای گچدار موجود در منطقه می‌باشند که در نقشه به‌دست آمده از مدل این

روش حداکثر احتمال و با دقت کلی ۷۱/۹۵٪ و ضریب کاپای ۰/۶۷ گزارش کرده‌اند (۱۹). اما بهترین نتیجه و بالاترین دقت را در میان روش‌های موجود، روش هیبرید با دقت کلی ۷۶/۴۲٪ و ضریب کاپای ۰/۷۲ گزارش نموده‌اند. همچنین به نقل از ایشان، دمورایت (۱۹۹۸) بالاترین دقت را مربوط به استفاده از روش حداکثر احتمال جهت تهیه نقشه پوشش اراضی و با دقت کلی ۸۰٪ گزارش کرده است (۱۶).

در مقایسه روش حداکثر احتمال و روش مدل‌سازی جهت تهیه نقشه شوری خاک، ضمن این نکته که هر دو روش تا حدودی می‌توانند مناسب باشند اما با توجه به نتایج ارائه شده مربوط به روش مدل‌سازی، این روش دارای دقت بالاتری می‌باشد. جهت ایجاد بهترین مدل از ۴۸ مؤلفه استفاده به عمل آمد. در بین مؤلفه‌های به دست آمده از شاخص‌های شوری، مؤلفه Salinity2 و پس از آن مؤلفه‌های Salinity1 و Salinity3 بیش‌ترین ارتباط را با شوری منطقه دارند. در مقایسه نقشه شوری به دست آمده از بهترین مدل با نقشه شوری به دست آمده از شاخص Salinity2 متوجه می‌شویم که شباهت‌های زیادی باهم دارند با این تفاوت که نقشه بهترین مدل دارای دقت بالاتری است. شاخص Salinity2 از دخالت سه باند ۱، ۲ و ۳ ASTER به دست آمده ولی شاخص‌های Salinity1 و Salinity3 از دخالت ۲ باند تشکیل شده‌اند. احتمال می‌رود دخالت باند ۳ با دو باند دیگر باعث افزایش ارتباط این شاخص با شوری منطقه در مقایسه با دو شاخص دیگر شده است. همان‌طور که باند ۳ بیش‌ترین همبستگی را با شوری منطقه در مقایسه با دو باند ۱ و ۲ محدود طیف مرئی در این پژوهش دارد. بنابراین جهت تشخیص خاک‌های شور، این بخش از طیف الکترومغناطیس شامل (۰/۸۶-۰/۵۲)، ۲/۱۴۵-۲/۱۸۵، ۲/۲۹۵-۲/۳۶۵ میکرومتر) می‌تواند مفید باشد. پژوهش‌های سیلاگ و همکاران (۱۹۹۳)

مسئله، به‌خوبی نمایش داده است. در کل با توجه به جدول ۱، میانگین شوری تمام نقاط نمونه‌برداری شده از منطقه عدد ۲۰ را نشان می‌دهد پس بخش اعظم منطقه دارای شوری کم‌تر از ۲۰ می‌باشد که این مسئله نیز در نقشه به دست آمده از بهترین مدل به‌خوبی نمایان است.

الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده با روش‌های حداکثر احتمال و حداقل فاصله توسط پژوهشگران زیادی جهت کاربردهای مختلف استفاده شده است. ناتیچ‌نوری (۲۰۰۱) نقشه اراضی شور و گچی منطقه دشت کاشان را با الگوریتم حداکثر احتمال با دقت کلی به ترتیب ۷۷/۲۷٪ و ۵۸/۱۶٪ تهیه نموده است (۲۹). بر اساس جدول ۸، با استفاده از روش حداکثر احتمال، کلاس‌های شوری ۱۶-۳۲ و ۳۲-۶۴ دسی‌زیمنس بر متر منطقه مورد مطالعه با صحت بیش‌تری از دیگر کلاس‌ها طبقه‌بندی گردیده‌اند و در نهایت نقشه شوری منطقه با دقت کل ۸۴/۰۰٪ و با ضریب کاپای ۰/۷۰۱۹ به روش حداکثر احتمال و از طریق روش حداقل فاصله از میانگین با دقت کل ۷۶٪ و با ضریب کاپای ۰/۶۴۳۱ تهیه گردید. بر اساس جدول ۹، با استفاده از روش حداقل فاصله از میانگین، کلاس شوری ۱۶-۸ دسی‌زیمنس بر متر منطقه با صحت بیش‌تری از دیگر کلاس‌ها طبقه‌بندی گردیده است.

نتیجه‌گیری

در مقایسه دو روش طبقه‌بندی نظارت شده در پژوهش حاضر، روش حداکثر احتمال از دقت نسبی بهتری نسبت به روش حداقل فاصله از میانگین برخوردار است. فتاحی و همکاران (۲۰۰۷) بالاترین دقت به دست آمده در میان سه روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و جعبه‌ای، جهت تهیه نقشه کاربری اراضی مربوط به

از آنجا که در بررسی فاکتور شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجش از دور، احتیاج به تصویر هم‌زمان با تاریخ نمونه‌برداری است ولی به عللی تهیه تصویر مقدر نبود، بنابراین می‌توان یکی از دلایل کاهش صحت نقشه شوری در روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده (حداکثر احتمال و حداقل از میانگین) را تفاوت زمانی بین ثبت داده‌های ماهواره‌ای با تاریخ نمونه‌برداری در منطقه مطالعاتی دانست. اما ذکر این نکته ضروری است که زمان نمونه‌برداری از لحاظ ماه و فصل برداشت با زمان ثبت داده‌های ماهواره‌ای مطابقت دارد ولی به علت در دسترس نبودن تصاویر بروزتر، شش سال بین زمان مطالعات میدانی و ثبت داده‌های ماهواره‌ای تفاوت وجود دارد.

نیز نشان داد که ۵ دامنه طیفی از امواج الکترومغناطیسی شامل (۰/۷۷-۰/۵۵، ۰/۹۰-۱/۵۲، ۱/۹۴-۲/۱۵، ۲/۱۵-۲/۳۳، ۲/۳۳-۲/۴۰ میکرومتر) در تشخیص خاک‌های شور بسیار مفید می‌باشند (۱۱). که این محدوده با محدوده طیفی مورد تشخیص در پژوهش حاضر نیز همخوانی دارد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که در مطالعات آتی با تعدیل کردن شاخص‌های شوری که تاکنون در این محدوده از طیف الکترومغناطیس معرفی شده است، شاخص جدیدی معرفی گردد. شایع‌ترین تکنیک‌های مورد استفاده برای شاخص‌های شوری، محاسبه شاخص‌های مختلف و نسبت‌گیری طیفی با استفاده از محدوده باندهای مرئی و مادون قرمز می‌باشد (۱۵).

منابع

1. Abbas, A., Khan, S., Hussain, N., Hanjra, M.A., and Akbar, S. 2013. Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach. *Physics and Chemistry of the Earth*. 55-57: 43-52.
2. Abdolfattah, M.A., Shahid, S.H.A., and Othman, Y.A. 2009. Soil Salinity Mapping Model Developed Using RS and GIS – A Case Study from Abu Dhabi, United Arab Emirates. *Europ. J. Sci. Res.* 26: 3. 342-351.
3. AbdiNam, A. 2004. Evaluation of soil salinity maps using satellite data to establish the correlation between soil salinity values in Qazvin. *Research and reconstruction in agriculture and horticulture*. 64: 33-38. (In Persian)
4. Abrams, M., Hook, S., and Ramachandran, B. 2002. *ASTER User Handbook*. Version 2. Jet Propulsion Laboratory-NASA/California Institute of Technology, Pasadena (CA), USA. (12).
5. Alavi Panah, S.K. 2006. *Application of remote sensing in geosciences (earth sciences)*. Tehran University Press, 478p. (In Persian)
6. Al-Khudhairy, D.H.A., Lemhuis, C., Hoffmann, V., Sheperd, I.M., Calaon, R., Thompson, J.R., Gavin, H., Gasca-Tucker, D.L., Zalidis, G., Bilas, G., and Papadimos, D. 2002. Monitoring wetland ditchwater levels using Landsat TM and ground-based measurements. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 68: 809-818.
7. ASTERWEB. 2008. ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer web page. Jet Propulsion Laboratory-NASA. URL: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/> (Last access 8 September 2009).
8. Bahtti, A.U., Mulla, D.J., and Frazier, B.E. 1991. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. *Remote Sensing of Environment*. 37: 3. 181-191.
9. Ben-Dor, E. 2002. Quantitative remote sensing of soil properties. *Adv. Agron.* 75: 173-243.
10. Castañeda, C., Herrero, J., and Casterad, M.A. 2005. Landsat monitoring of playa-lakes in the Spanish Monegros desert. *J. Arid Environ.* 63: 479-516.

11. Csillag, F., Pásztor, L., and Biehl, L. 1993. Spectral band selection for the characterization of salinity status of soils. *Remote Sensing of Environment*. 43: 231-242.
12. Dadresi, A., Yamani, M., Pakparvar, M., and Davarzani, Z. 2006. To assess changes in soil salinity using data from remote sensing and GIS in the hot and dry south-eastern city of Sabzevar. *J. Geograph. Dev.* 7: 173-184. (In Persian)
13. Dashtakiyan, K., Pakparvar, M., and Abdollahi, J. 2008. Methods of soil salinity maps using Landsat satellite data in Marvast. *J. Range Des. Res.* 15: 2. 31. 139-157. (In Persian)
14. Dehaan, R., and Taylor, G.R. 2003. Image-derived spectral endmembers as indicators of salinization. *Int. J. Rem. Sens.* 24: 4-20. 775-794.
15. Dehni, A., and Lounis, M. 2012. Remote Sensing Techniques for Salt Affected Soil Mapping: Application to the Oran Region of Algeria, *Procedia Engineering*. 33: 188-198.
16. Demorate, F. 1998. Land cover mapping estimated in Rondonia, Brazil. *Int. J. Rem. Sens.* 19: 5. 921-934.
17. Douaoui, A.E.K., Nicolas, H., and Walteer, Ch. 2006. Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote sensing data. *Geoderma*. 134: 217-230.
18. Farifteh, J., Farshad, A., and George, R.J. 2006. assessing salt-affected soils using remote sensing, solute modelling, and geophysics. *Geoderma*. 130: 191-206.
19. Fatahi, M.M., Nuroozi, A.A., Abkar, A.A., and Khalkhli, S.A. 2007. Comparison of classification and mapping land use (Landuse) arid areas using satellite imagery. *Research and development on natural resources*. 76: 122-135. (In Persian)
20. Fatemi, S.B., and Rezaee, Y. 2006. Principles of remote sensing. Azadeh publications. 257p. (In Persian)
21. Fernandez-Buces, N., Siebe, C., Cram, S., and Palacio, J.L. 2006. Mapping soil salinity using a combined spectral response index for bare soil and vegetation: a case study in the former lake Texcoco, Mexico. *J. Arid Environ.* 65: 4. 644-667.
22. Frazier, B.E., and Cheng, Y. 1989. Remote sensing of soils in eastern palouse region with landsat thematic mapper, *Remote Sensing of Environment*. 28: 317-325.
23. Gutierrez, M., and Johnson, E. 2010. Temporal variations of natural soil salinity in an arid environment using satellite Images. *J. South Amer. Earth Sci.* 30: 46-57.
24. Hick, P.T., and Russell, W.G.R. 1990. Some spectral considerations for remote sensing of soil salinity. *Aust. J. Soil Res.* 28: 417-431.
25. Hunt, G., and Salisbury, J.W. 1976. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: XII. Metamorphic rocks. *Mod. Geol.* 5: 219-228.
26. Kappa, M., Shawan, A., and Erasmi, S. 2005. Remote sensing based classification of salt affected soils as an indicator for landscape degradation in the south of Aleppo, Syria. UN convention to combat desertification, Trier, Germany, 7-9 sep. 2005.
27. Melendez-Pastor, I., Navarro-Pedreño, J., Koch, M., and Gómez, I. 2010. Applying imaging spectroscopy techniques to map saline soils with ASTER images. *Geoderma*. 158: 55-65.
28. Metternicht, G.I., and Zinck, J.A. 2003. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment*. 85: 1. 1-20.
29. Naeij Noori, R. 2001. Exploring the possibility of land separating the salt and gypsum Kashan plain area using satellite data TM. M.Sc. Thesis, desertification Natural Resources Engineering, Department of Natural Resources, University of Technology. 108p. (In Persian)
30. Parma, R. 2008. Comparison capability ETM satellite images and LISS III data type mapping Zagros forests (forests case study: Ghalajeh Kermanshah province). M.Sc. Thesis. Forestry Engineering Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 109p. (In Persian)
31. Paudyal, K.R., and Erenstein, Q. 2005. Multistakeholder program to acceleivate technology adoption to improve rural livelihoods in rainfed eastern Gangetic plains (IFAD TAG634). Annual technical progress report. By: International Maize and wheat improvement center.

32. Khan, S., and Abbas, A. 2007. Using Remote Sensing Techniques for Appraisal of Irrigated Soil Salinity. International Congress on Modelling and Simulation. (MODSIM 2007). Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, Pp: 2632-2638.
33. Taj Gordan, T., Ayyobi, Sh., Shataee, Sh., and Khormali, F. 2008. Soil surface salinity maps using remotely sensed data ETM+ (Case study: North Aq Qala, Golestan province). J. Soil Water Cons. (Natural Resources and Agricultural Sciences). 16: 2. 1-81. (In Persian)
34. Wright, G.G., and Morrice, J.G. 1997. Landsat TM spectral information to enhance the landcover of Scotland, 1998 Dataest. Int. J. Rem. Sens. 18: 18. 3811-3834.
35. Yarbrough, L.D., Easson, G., and Kuzmaul, J.S. 2005. Using At-Sensor Radiance and Reflectance Tasseled Cap Transforms Applied to Change Detection for the ASTER Sensor, presented at IEEE Third International Workshop on the Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images, Beau Rivage, Biloxi, Mississippi, USA, 5p.
36. Zinck, J.A. 2001. Monitoring soil salinity from remote sensing data, 1st workshop EARSeL special interest group on remote sensing for developing countries, soil and soil salinity, Pp: 357-408.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(5), 2017
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Evaluation of modeling methods and supervised classification for mapping soil salinity using ASTER and ETM images

**A.H. Hatefi Ardakani¹, *M. Karimi Ahmadabad², M.R. Ekhtesasi³
and A. Payedar Ardakani⁴**

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Desertification, Semnan University, ²Assistant Prof., Dept. of Geography, University of Tehran, ³Professor, Dept. of Watershed Management, University of Yazd,

⁴M.Sc. of Management Desert Areas, Natural Resource Management and Watershed Ardakan (Yazd)

Received: 11/30/2015; Accepted: 07/24/2016

Abstract

Background and Objectives: Identifying the saline soils and preparing digital maps of soil salinity, is an effective step in improving management of saline lands. Since vast areas of Iran are covered by saline soils, so these maps are very important. Soil salinity is one of the stages of land degradation that eventually leads to decrease in soil productivity. Soil salinity could be caused by natural processes or human activities. However, soil salinity is a major environmental hazard. So, providing a soil salinity map for these regions, can improve the level of management. Soil salinity maps are prepared by using satellite images as easy as possible. Considering the difficulty of mapping salinity from satellite data, in this study, two approaches for modeling and classification of soil salinity maps were evaluated. The purpose of this study is to evaluate the modeling method and supervised classification of soil salinity mapping using ASTER and ETM+ images in the East of Semnan plain.

Materials and Methods: After site selection and spreading a net over the image of area, we determined the location of sampling points. The soil salinity map was prepared After the following steps: measuring EC of soil samples, geometrical and radiometric modification of satellite data, applying some processing such as principal components analysis, fusion of ASTER multispectral bands with ETM+ panchromatic band, transformation of tasseled cap, filtering, producing the salinity indexes, assessment of spectral, and also using supervised classification method.

Results: The salinity map was obtained using modeling method from the eighth band of Aster satellite. The results show that the component that is obtained from integration of an ETM+ panchromatic band and band 5 of ASTER, and a component of salinity index (Salinity2) have a significant relationship. The model validation by the MAE, RMSE and R showed that the selected model has good performance. The accuracy of the salinity map which was produced by Supervised Classification method has been estimated as 84% based on maximum likelihood method and 74% based on minimum distance method. This represents that the accuracy obtained by the above mentioned methods is lower than modeling method for preparing the salinity map.

Conclusion: According to the results of the study, adjusting the salinity indicators resulted in obtaining new indicators for mapping soil salinity. A better diagnosis of soil salinity was resulted from the use of band 3 of Aster image. So it can be suggested that a part of the electromagnetic spectrum, including (0.52-0.86, 2.145-2.185 and 2.295-2.365 micrometers) can be useful in mapping soil salinity in different areas.

Keywords: Soil salinity, ASTER, Salinity index, Supervised classification, Semnan plain

* Corresponding Author; Email: mostafakarimi.a@ur.ac.ir