

تخمین هدایت الکتریکی خاک با استفاده از تصاویر فرایطی هاپیریون، مطالعه موردی: شمال دشت اورمیه

مینا ایمانی^۱، حسینعلی بهرامی*^۲، رضا سکوتی اسکویی^۳، فائزه قربان نژاد^۴

۱. کارشناس ارشد رشته خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

۲. دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

۳. استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی

۴. کارشناس ارشد رشته سنجش از دور دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۱۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۱۲/۲۶)

چکیده

شوری و قلیایی بودن خاک یکی از مشکلات عمده در مناطقی است که میزان بارندگی در آن‌ها کمتر از میزان تبخیر و تعرق است. در چنین شرایط اقلیمی نمک‌های محلول در سطح خاک تجمع می‌یابند و سبب کاهش عملکرد و حاصل‌خیزی خاک می‌شوند. بنابراین، شناسایی اراضی شور و گستره آن در این خاک‌ها می‌تواند به اصلاح و بهبود مدیریت آن‌ها کمک کند. این پژوهش با هدف تخمین مقادیر هدایت هیدرولیکی خاک‌های شور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای هاپیریون EO-1 در شمال دشت اورمیه انجام شد. در این بررسی، پاسخ طیفی (Spectral Response) ۴۰ نمونه خاک به وسیله طیف‌سنج اسپکترورادیومتر اندازه‌گیری شد. تصویر ماهواره‌ای هاپیریون نیز برای شناسایی و طبقه‌بندی کلاس‌های شوری از آرشیو سایت USGS گرفته شد. بعد از تصحیحات لازم بر روی این تصاویر، باندهای حساس به شوری از نمونه‌های طیف‌سنجی شده شناسایی و شاخص شوری مناسب ایجاد شد. نتایج نشان داد که شاخص شوری حاصل از باندهای ۴۱ و ۲۱۹، بالاترین همبستگی ($R^2=0/89$) را با مقادیر شوری دارند. برای برآورد میزان شوری از مقادیر شاخص شوری با استفاده از رگرسیون خطی تک‌متغیره مدلی استخراج شد که این مدل با $RMSE=1/2$ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر و $R^2=0/8$ اعتبارسنجی شد، سپس مدل به‌دست‌آمده بر روی تصویر ماهواره‌ای به‌صورت پیکسل به پیکسل اجرا و صحت کلی ۷۵ درصد و ضریب کاپای ۶۵ درصد تعیین شد که نشان می‌دهد داده‌های هاپیریون پتانسیل قابل‌قبولی را برای پیش‌بینی مقادیر شوری در منطقه مطالعه‌شده دارند.

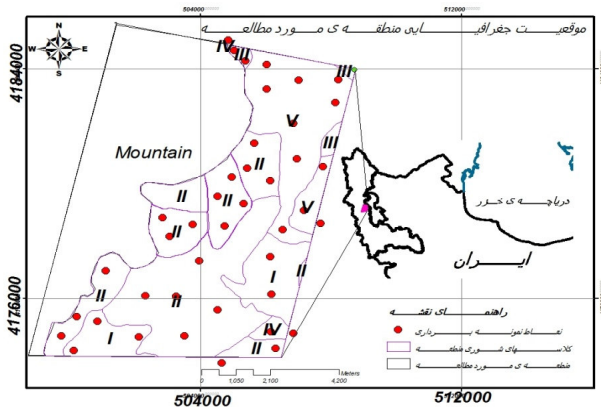
کلیدواژگان: اسپکترورادیومتر، تصویر هاپیریون، پاسخ طیفی، شاخص شوری خاک.

مقدمه

شوری و قلیایی بودن خاک یکی از مشکلات عمده در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که بارندگی در آن‌ها کمتر از تبخیر و تعرق است. در چنین شرایط اقلیمی نمک‌های محلول در سطح خاک تجمع یافته و سبب کاهش عملکرد و حاصل‌خیزی خاک می‌شوند (Metternicht and Zinck, 2003). روش‌های مرسوم که برای شناسایی و پایش خاک‌های شور به کار می‌رود اغلب نیاز به نمونه‌برداری‌های متراکم برای تخمین دقیق تغییرات مکانی شوری در منطقه دارند. این روش‌ها بسیار زمان‌بر و گران‌قیمت هستند و انجام آن‌ها در مساحت زیاد بسیار دشوار است. بنابراین، نیاز به روش‌های دقیق‌تری برای نقشه‌برداری احساس می‌شود. مزیت استفاده از داده‌های سنجش از دور،

تکرار مکانی و زمانی بالای این تصاویر است (Farifte *et al.*, 2006). تا کنون پژوهش‌های زیادی برای شناسایی پتانسیل سنجش از دور به‌منظور نقشه‌برداری و ردیابی شوری خاک‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مختلف (Qing and Rong, 2005; Weng *et al.*, 2010; Sukouty *et al.*, 2008) در ایران و سایر مناطق دنیا همراه با داده‌ها و نمونه‌برداری‌های مزرعه‌ای انجام شده است. با اینکه این تصاویر تفاوت‌های طیفی بین خاک‌های شدیداً شور یا خاک‌های شور را با خاک‌های غیرشور به‌خوبی نشان می‌دهند اما تشخیص تفاوت ما بین خاک‌های کمی شور یا خاک‌های غیرشور با استفاده از تصاویر چندطیفی سنجش از دور خیلی دشوار است به همین دلیل برخی پژوهشگران مثل Peng (1998) از روش‌های مکان‌یابی برای تلفیق داده‌های چندطیفی با داده‌های مزرعه‌ای مثل عمق آب زیرزمینی، و یا با داده‌های توپوگرافی استفاده کردند تا به این ترتیب بر ضعف تصاویر چندطیفی غلبه کنند.

شرقی و "۴۱'۴۸'۳۷" تا "۴۱'۴۸'۳۷" عرض شمالی قرار گرفته است. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعه شده را در سطح کشور و استان و همچنین موقعیت نقاط نمونه برداری شده را در شمال دشت اورمیه نشان می دهد.



منطقه مطالعه شده

شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده در سطح استان و کشور

روش پژوهش

نمونه برداری اوایل مرداد سال ۱۳۹۰ به روش طبقه بندی تصادفی و با توزیع مناسب براساس کلاس های مختلف شوری در منطقه از عمق ۰-۱۵ سانتی متری انجام گرفت. نتایج بررسی ها *Brown et al.* (1993)، *Csillage et al.* (2005) و *Shrestha et al.* (2006) نشان می دهد انعکاسات طیفی به وسیله خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد سازنده خاک های شور و شکل سطحی، مثل بافت خاک، ماده آلی، نوع مینرال های سازنده رس و میزان رطوبت خاک تعیین می شود. نمونه ها هوا خشک و به دو قسمت تقسیم شدند. بخشی از نمونه ها برای تجزیه های آزمایشگاهی و بخش دیگر برای مطالعات طیفسنجی با دستگاه اسپکترومتر (FieldSpace3) استفاده شد. سپس هدایت الکتریکی ظاهری همه نمونه ها در عصاره گل اشباع با استفاده از EC متر اندازه گیری شد.

طیفسنجی آزمایشگاهی

نمونه های جمع آوری شده به آزمایشگاه گروه علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز منتقل و پس از کالیبراسیون دستگاه طیفسنج FieldSpec3، به وسیله نور مرجع سفید میزان انرژی بازتابیده از نمونه ها توسط Contact Probe و نرم افزار RS3 اندازه گیری و ثبت شد. بعد از آماده شدن کتابخانه طیفی، عملیات نمونه برداری مجدد برای یکسان کردن محدوده باندی طیف های ثبت شده با تصاویر ابرطیفی با استفاده از نرم افزار ENVI 4.3 انجام شد.

تصاویر فراطیفی تکنیک پیشرفته ای است که اطلاعات طیفی گسترده ای را از خصوصیات مواد فراهم می کند. این اطلاعات طیفی ارزیابی کمی را درباره خاک های تحت تأثیر نمک فراهم می سازند (Ben-Dor et al., 2002). در پژوهشی Qing and Rong (2005) با بررسی خصوصیات طیفی سطح خاک های تحت تأثیر شوری با استفاده از اسپکترومتر، به این نتیجه رسیدند که خصوصیات طیفی، به شکل سطح خاک های شور، مثل کراست های شور مرطوب، پوفی کراست های خشک، مناطق با پوشش گیاهی پراکنده، مناطق با پوشش گیاهی فراوان، سند دون ها، متوسط بیومس منطقه، میانگین رطوبت و متوسط شوری خاک ها وابسته است. در پژوهش دیگری Pedreno and Pastor (2008) نشان دادند که با استفاده از دستگاه VNIR اسپکترومتر می توان خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را به خوبی به صورت کمی پیش بینی کرد. نتایج مطالعات این پژوهشگران نشان داد که همبستگی ۰/۸۳۸ بین شوری خاک و باند انعکاسی ۰/۶۲۵ میکرومتر وجود دارد. همچنین Weng et al. (2010) داده های فراطیفی هایپریون را برای نقشه برداری خاک های شور مطالعه کردند. این پژوهشگران مدلی را برای تخمین میزان کمی نمک های شور (SSC) با استفاده از شاخص شوری (SSI) و روش آماری رگرسیون تک متغیره ارائه و مدل را با $R^2=0/873$ و $RMSE=0/98$ همین پژوهشگران در سال ۲۰۰۸ داده های فراطیفی هایپریون را با دو روش آماری PLSR و SWR مطالعه و مدل دیگری را برای برآورد کمی میزان شوری خاک و پیش گویی نقشه شوری خاک به دست آوردند که مدل به دست آمده با استفاده از روش PLSR با $R^2=0/784$ و $RMSE=0/037$ از قدرت پیشگویی بهتری نسبت به SWR برخوردار بود.

با فرض اینکه استفاده از تصاویر ماهواره ای هایپریون پتانسیل مناسبی را در شناسایی خاک های شور دارند، این پژوهش با هدف تخمین مقادیر هدایت هیدرولیکی خاک با استفاده از آنالیز طیفی داده های دستگاه اسپکترومتری FieldSpec 3 و تصاویر ماهواره ای هایپریون EO-1 در منطقه خشک و نیمه خشک شمال دشت اورمیه انجام شد.

مواد و روش ها

این پژوهش در بخش شمالی دشت اورمیه به مساحت ۴۹۱ هکتار، در استان آذربایجان غربی انجام گرفته است. مختصات جغرافیایی منطقه بین "۵۷'۰۵'۴۵" تا "۰۲'۰۴'۴۵" طول

در کلاس شوری کمتر از ۲، هفت نمونه در کلاس شوری بین ۲-۴، هشت نمونه در کلاس شوری ۴-۸، پنج نمونه در کلاس شوری ۸-۱۶ و نه نمونه خاک در کلاس شوری بیشتر از ۱۶ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر هستند. برای هر کلاس شوری یک میانگین طیفی برای ارائه خصوصیات آن کلاس ایجاد شد. برای بررسی ضریب همبستگی بین درصد انعکاس ترکیبات جذبی طیفها در منحنی CR- Reflectance با تغییر سطوح میانگین کلاس‌های شوری در باندهای مختلف از رابطه زیر استفاده شد.

(رابطه ۲)

$$r_i = \frac{\sum_{n=2}^N (R_{ni} - \bar{R}_i)(EC_n - \bar{EC})}{\sqrt{\sum_{n=2}^N (R_{ni} - \bar{R}_i)^2 \sum_{n=2}^N (EC_n - \bar{EC})^2}}$$

که در آن، N تعداد نمونه‌های خاک؛ R_{ni} ، انعکاس منحنی رفع تسلسل شده nامین نمونه در باند i، \bar{R}_i میانگین منحنی رفع تسلسل شده nامین نمونه در باند i، EC_n میزان شوری خاک در nامین نمونه، و \bar{EC} میانگین میزان شوری خاک در N نمونه خاک است. موقعیت دو باندی که بالاترین ضریب همبستگی را با میزان میانگین مقادیر شوری داشت برای ایجاد شاخص طیفی نرمال شده هم از رابطه زیر استفاده شد:

$$SSI = \frac{(B2 - B1)}{(B2 + B1)} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن، B_2 باندهای در دسترس در ناحیه طیفی با طول موج ۲۳۳۵ تا ۲۳۴۵ نانومتر و B_1 ناحیه‌ای در محدوده طیفی ۷۴۲ تا ۷۷۲ نانومتر است. همبستگی‌ها در ناحیه طیفی اول منفی و در ناحیه طیفی دوم مثبت بود. برای افزایش اطلاعات طیفی در خاک‌های شور و به منظور به دست آوردن یک شاخص شوری مناسب، شاخص شوری به وسیله معادله ۳ برای هر نمونه خاک با استفاده از همه جفت باندهای در دسترس در دو ناحیه طیفی به دست آمد (Gong et al., 2003). برای ناحیه اول طیفی در حدود ۱۰ باند و برای ناحیه دوم طیفی ۵ باند برای میانگین طیفی هر کلاس شوری به دست آمد. در نهایت برای هر کلاس شوری خاک در هر باند در حدود ۵۰ شاخص شوری محاسبه شد.

برای ایجاد مدل بین میزان شوری خاک (EC) و شاخص شوری (SSI) از ۸۰ درصد نمونه‌های خاک، و از ۲۰ درصد باقی‌مانده برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. صحت پیش‌بینی مدل‌ها با استفاده از میانگین ریشه مربعات خطا (RMSE) بر طبق رابطه ۴ بررسی شد:

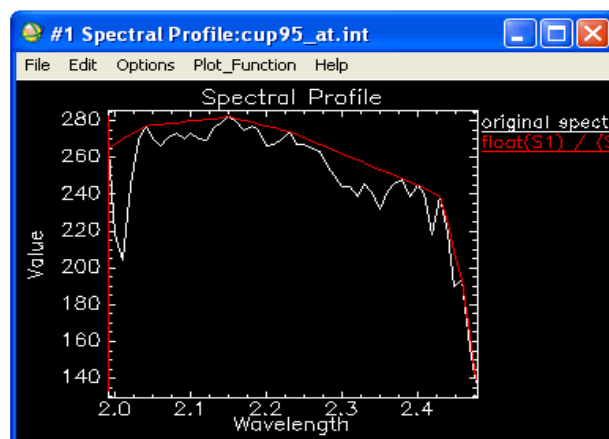
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

انعکاس در منحنی رفع تسلسل شده (Continuum Removal Curve)

از CR برای نرمالیزه کردن طیف انعکاسی استفاده می‌شود. با این عمل می‌توان خصوصیات جذبی منفرد را با یک پایه معمولی مقایسه کرد. زنجیره (Continuum) یک پوسته محدب است که از طریق وصل کردن نقاط ماکزیمم محلی به دست می‌آید. مقادیر اول و آخر منطبق بر منحنی اصلی است. مقادیر CR از طریق تقسیم مقادیر منحنی اصلی به مقادیر این پوسته محدب به شرح رابطه زیر به دست می‌آید:

$$S_{cr} = \sqrt{S/c} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن، S_{cr} : ارزش طیفی در منحنی CR، S: ارزش طیفی منحنی اصلی و C: ارزش طیفی در پوسته محدب است. بنابراین، مقادیر به دست آمده در جایی که هر دو منحنی بر هم منطبق اند، برابر با یک؛ و در جاهایی که منحنی اصلی پایین‌تر از پوسته محدب قرار می‌گیرد یعنی در واقع جذب اتفاق افتاده، کمتر از یک است (Clark and Roush, 1984). این منحنی پیوسته (شکل ۲) برای مشخص کردن خصوصیات جذبی ترکیبات استفاده شده تا کانی‌های خاصی را از لحاظ موقعیت جذبی عمق و تقارن و یا عدم تقارن شناسایی کند (Van der Meer, 2004).



شکل ۲. منحنی اصلی (سفیدرنگ) و منحنی پوسته محدب (قرمز رنگ)

مدل‌سازی برآورد شوری خاک

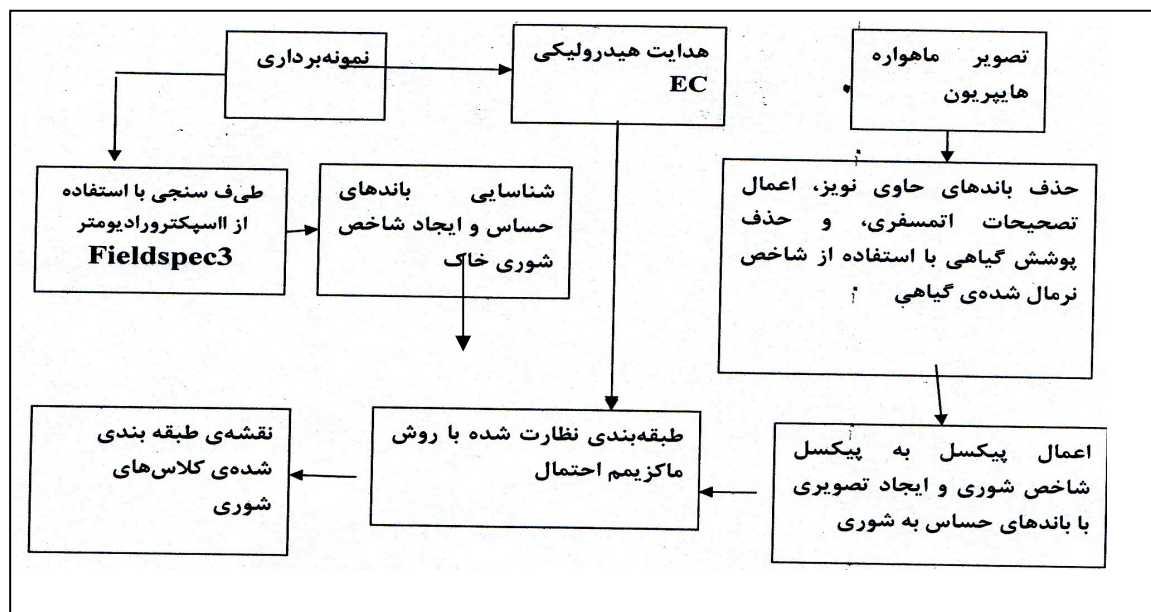
با تبدیل منحنی طیف‌های خام حاصل از دستگاه اسپکترومتر به منحنی رفع تسلسل شده شکل ۲، انعکاسات طیفی نرمال شده و امکان مقایسه ترکیبات جذبی منفرد با یک پایه معمولی بین طیف‌ها فراهم می‌شود (Clark and Roush, 1984). برای آنالیز طیفی درجات مختلف شوری ۴۰ نمونه خاک به ۵ کلاس شوری طبقه‌بندی شدند که شامل ۱۱ نمونه خاک

تصحیح اتمسفری و تبدیل داده‌های فراطیفی تصویر هایپریون به انعکاس ظاهری سطح خاک برای تطبیق مستقیم داده‌های تصویر با داده‌های طیفی اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و برای کاربرد مستقیم مدل تخمین زده شده بر روی تصویر مطالعه شده لازم است. این تصحیحات با استفاده از مدل (FLAASH) در نرم‌افزار ENVI 4.3 انجام شد. سپس پوشش گیاهی با استفاده از شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، با باندهای ۲۴ (۰/۶) و ۴۲ (۰/۸) نانومتر ماسک شدند. بررسی‌ها نشان داد که پیکسل‌های با $NDVI = 0$ پوشش گیاهی و پیکسل‌های با $NDVI > 0$ پیکسل‌های خاک هستند. بعد از شناسایی باندهای حساس و حذف پوشش گیاهی از روی این تصاویر، روش طبقه‌بندی نظارت شده ماکزیمم احتمال روی این باندها برای شناسایی پیکسل‌های با خصوصیات شوری اعمال شد، و در نهایت این تصویر برای کالیبراسیون مدل بین EC و SSI که از داده‌های آزمایشگاهی به دست آمده بود، استفاده شد. نمودار زیر روند نمای پژوهش را نشان می‌دهد.

که در آن، y_i مقدار EC اندازه‌گیری شده و x_i مقدار مشاهده شده EC است و n نیز تعداد نمونه‌هایی است که در آنالیزهای رگرسیونی به کار گرفته شده است.

پیش‌پردازش تصویر هایپریون

تصویر ماهواره‌ای استفاده شده در این پژوهش تصویر فراطیفی هایپریون است که در تاریخ ۳۰ می سال ۲۰۱۰ (۱۰ خرداد سال ۱۳۸۹) از منطقه مطالعه شده گرفته شده است. تصویر مذکور ۲۴۲ باند طیفی پیوسته، و ۲۵۶ پیکسل در عرض و ۳۵۷۷ خط دارد. این محدوده طیفی متشکل از طول موج‌های مرئی (۴۲۶/۸-۹۲۵/۴ نانومتر) و مادون قرمز (۹۳۲/۶-۲۳۶۵/۲ نانومتر) است. این تصاویر قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و قدرت تفکیک رادیومتری ۱۶ بیتی دارند که در سطح پردازشی L1Gst از آرشیو سایت USGS دریافت شد. در محدوده طیفی این تصاویر چندین منطقه جذبی مهم مربوط به بخار آب، اکسیژن و باندهای دارای خطوط و نویز فراوان وجود دارد که شناسایی و حذف شدند (Datt et al., 2003).



روند نمای تحقیق

(Ghaemiyan 2002) نشان داده است که بیشتر خاک‌های منطقه مطالعه شده در کلاس‌های I، II و V شوری قرار دارند. در بعضی از نقاط هم محدودیت سطح آب زیرزمینی بالا و توپوگرافی نیز دیده شده است.

طیف‌سنجی نمونه‌های برداشت شده

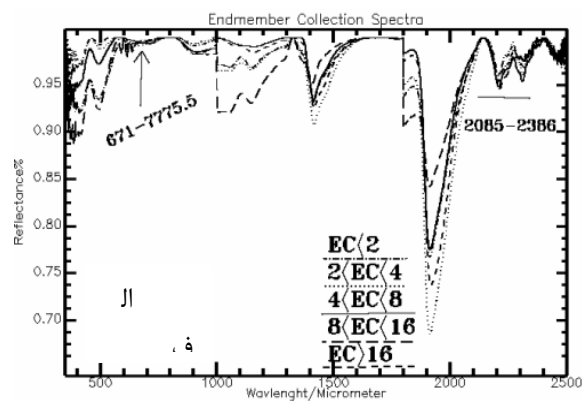
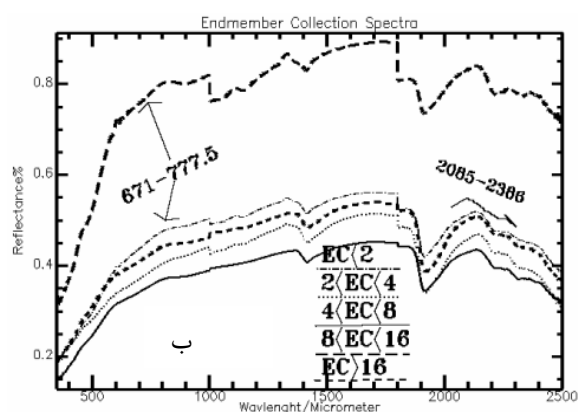
میانگین رفتار طیفی هر کلاس شوری خاک در دو حالت رفع تسلسل شده و نرمال نشان داده شده است (شکل ۳).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که میانگین شوری در منطقه ۱۰/۳۸ و دامنه تغییرات شوری در منطقه بین ۰/۲۸۵ تا ۶۸/۱ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر است (جدول ۱). بیشترین مقادیر مربوط به شوری در مناطق فاقد پوشش گیاهی و در نقاط پست (low land) و کمترین مقادیر شوری در اراضی کشاورزی مشاهده شد. همین‌طور نتایج مطالعات نیمه‌تفصیلی

جدول ۱. آنالیز توصیفی از میزان شوری در منطقه مطالعه شده

تعداد	مقدار EC	حداکثر مقدار EC	کشیدگی	چولگی	انحراف از معیار	چارکها			
						Q1	Q2	Q3	
EC	۴۰	۰/۲۸	۶۸/۱۰	۰/۷۹	۰/۶۹	۱/۵۹	۱/۹۲	۴/۷۵	۱۴/۲۵



شکل ۳. منحنی رفتار طیفی نمونه‌های خاک در دو حالت الف) منحنی رفع تسلسل شده و ب) نرمال

ناحیه طیفی اول میزان جذب توسط ترکیبات جذبی کاهش و در ناحیه دوم طیفی افزایش یافته است. Bannari *et al.* (2008) و Weng *et al.* (2010) نیز این نتایج را برای منطقه SWIR سنجنده هایپریون با همبستگی (۸۶ درصد) و برای سنجنده ALI با ضریب همبستگی (۵۲/۹۱ درصد) تأیید کردند. Datt *et al.* (2003) دلیل این امر را بالابودن نسبت سیگنال به نویز در منطقه SWIR می‌دانند. در حالی که Weng *et al.* (2010) دلیل آن را وجود باندهای هیدروکسیل و پیوندهای پایه‌ای H-O-H در این نوع از خاک‌ها ذکر کرده‌اند. این نواحی طیفی که شامل ۱۵ باند جذبی هستند به عنوان نواحی حساس به شوری شناخته شده و برای ایجاد شاخص نرمال شده شوری به کار گرفته شدند. سپس ضریب همبستگی ما بین EC و SSI های ایجاد شده بررسی شد. نتایج نشان داد که از بین همه شاخص‌های شوری ایجاد شده، شاخص شوری ایجاد شده با باندهای ۴۱ و ۲۱۹ و باندهای ۴۲ و ۲۲۳ بالاترین ضریب همبستگی را با داده‌های هدایت الکتریکی دارند. مناسب‌ترین شاخص‌های شوری ایجاد شده در جدول ۲ نشان داده شده است.

نتایج بررسی منحنی‌های به دست آمده به طور واضح ناحیه جذبی بالایی را در طول موج‌های ۱۹۷۰ نانومتر در هر دو منحنی نشان می‌دهد. سوابق پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که این نواحی جذبی مکان‌های بسیار مناسبی برای ایجاد شاخص رطوبت خاک در این تصاویر است (Quan *et al.*, 2011). همین‌طور انعکاس طیفی مابین طیف‌های ۵۸۹ تا ۸۰۳ نانومتر با افزایش شوری افزایش می‌یابد که به دلیل افزایش در مینرال‌های تبخیری است. منحنی‌های انعکاسی در اطراف طیف‌های ۸۰۳ یک انحرافی را نشان می‌دهند که شبیه به ۹ ترکیب جذبی دیگر در ۴۸۷ و ۶۷۱ و ۹۰۵ و ۱۱۴۴ و ۱۴۱۶-۱۴۴۷ و ۱۸۰۰ و ۱۹۱۱-۱۹۴۵ و ۲۲۰۳ و ۲۳۴۵ نانومتری هستند. اما در منحنی طیفی رفع تسلسل شده (الف) میانگین انعکاسی طیف‌های کلاس‌های شوری در دو ناحیه طیفی، از طول موج ۶۷۱ تا ۷۷۷،۵ و از طول موج ۲۰۸۵ تا ۲۳۸۶ نانومتر بیشترین همبستگی را با مقادیر داده‌های شوری دارند. میزان همبستگی‌ها در ناحیه اول بین ۰/۵۶ تا ۰/۹۴- و در ناحیه دوم طیفی میزان همبستگی بین ۵۴ تا ۸۰ درصد متغیر بود. که نشان می‌دهد با افزایش میزان شوری در نمونه‌های خاک در

جدول ۲. شاخص‌های شوری ایجاد شده با باندهای حساس

شماره باند	شاخص شوری (Soil Salinity spectral Index)
۲۱۹ یا ۴۱	$SSI_1 = \frac{(B_{219} - B_{41})}{(B_{219} + B_{41})}$
۲۲۳ یا ۴۲	$SSI_2 = \frac{(B_{223} - B_{42})}{(B_{223} + B_{42})}$

در مرحله بعد این دو شاخص برای ایجاد مدل رگرسیونی تک‌متغیره با مقادیر شوری خاک استفاده شد. صحت پیش‌بینی شاخص‌های شوری خاک هم با استفاده از میانگین ریشه مربعات خطا (Root Mean Square Error (RMSE)) ارزیابی شد (جدول ۳).

نتایج همبستگی‌های به‌دست‌آمده بین نسبت داده‌های شاخص شوری با مقادیر EC برای باندهای ۲۱۹ با ۴۱ و باندهای ۴۲ با ۲۲۳ بالاترین مقدار را داشت که به ترتیب این ضرایب ۰/۸۹ و ۰/۸۴ بود. Csillage *et al.* (1993) هم باندهای ۴۰ تا ۴۵ را در شناسایی شوری مؤثر دانستند.

جدول ۳. نتایج کالیبراسیون مدل‌های ایجادشده به روش رگرسیون تک‌متغیره

مدل‌ها	آموزش			آزمون		
	R-Square	ME	RMSE	R-Square	ME	RMSE
$EC = 11.42 * SSI_1 + 17.143$	۰/۸	۰/۷۶	۱/۲	۰/۶۵	۱	۳/۴
$EC = 90.783 * SSI_2 + 234.4$	۰/۶	۲/۹	۴/۳۳	۰/۴۸	۲/۹	۴

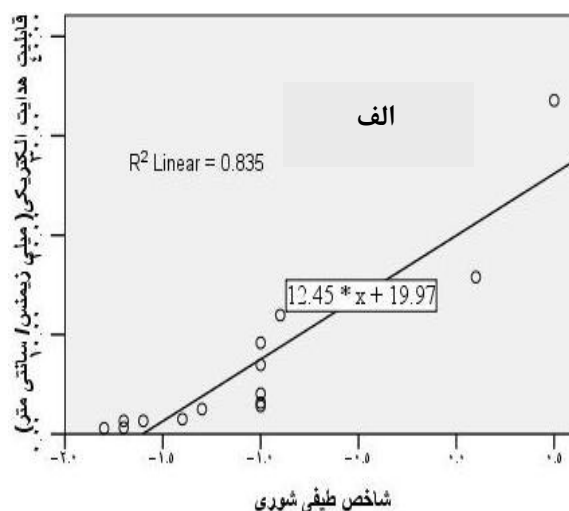
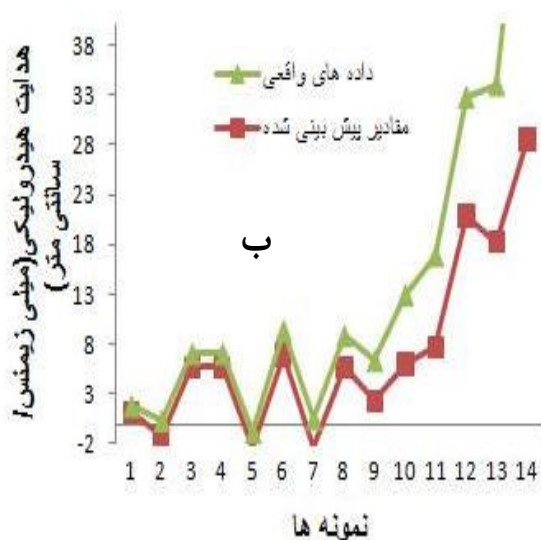
طبقه‌بندی نظارت‌شده با استفاده از روش ماکزیمم احتمال به کار گرفته شد (شکل ۵). در نهایت نقشه به‌دست‌آمده با صحت کلی ۷۵ درصد و ضریب کاپای ۶۵ درصد صحت‌یابی شد. مساحت کلاس‌های مختلف شوری نیز برحسب مترمربع در (جدول ۴) ارائه شده است.

با مقایسه نتایج حاصل از این مطالعه با مطالعات نیمه‌تفصیلی انجام‌شده (Ghaemiyan, 2002) در منطقه مطالعه‌شده مشاهده شد که کلاس ۳ و ۴ شوری به کلاس‌های شوری منطقه مطالعه‌شده اضافه شده، درحالی‌که قبلاً تنها کلاس‌های ۱، ۲ و ۵ شوری در منطقه وجود داشت که این نتایج با نتایج پژوهش Imani *et al.* (2012) نیز تأیید شده است.

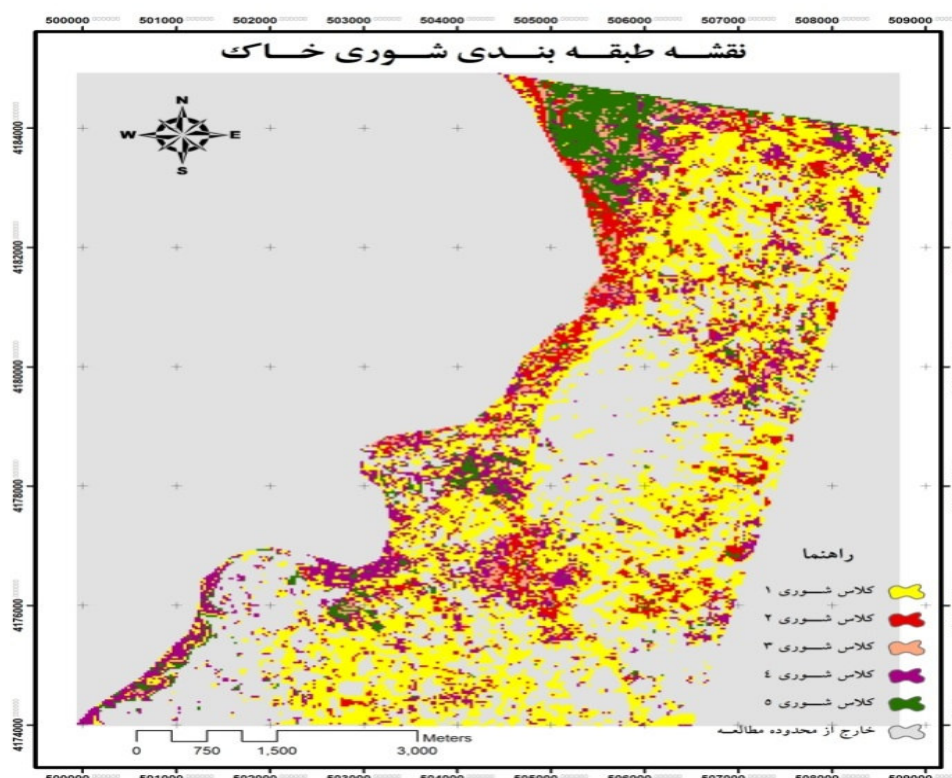
از ۲۰ درصد داده‌ها یعنی حدود ۱۵ نمونه خاک برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. مقادیر پیش‌بینی شده داده‌ها با مقادیر واقعی نمونه‌ها مقایسه شده است (شکل ۴) و نتایج مقادیر قابل قبولی را برای شاخص SSI_1 با $R^2 = 0.8$ و $RMSE = 1.21$ نشان داد. رابطه حاصل از SSI_2 با EC، با توجه به اینکه هم دقت کمتر از رابطه SSI_1 داشت و هم باند ۲۲۳ تصویر ماهواره‌ای هایپریون حاوی نویز فراوانی بود، استفاده نشد.

تهیه نقشه شوری خاک

برای تخمین مقادیر شوری خاک‌ها، مدل پیش‌بینی شده (مدل ۱) به صورت پیکسل به پیکسل بر روی تصویر ماهواره‌ای اعمال شد. سپس تصویر شاخص با باندهای حساس به شوری از تصویری کلی جداسازی شده و تصویر حاصل برای اعمال



شکل ۴. الف) مناسب‌ترین خط برازش بین رابطه میزان شوری خاک و شاخص طیفی شوری و ب) نمودار مقادیر شوری پیش‌بینی شده توسط مدل در مقابل مقادیر داده‌های واقعی



شکل ۵. نقشه شوری خاک حاصل از اعمال مدل شوری

جدول ۴. صحت پیش‌بینی و مساحت کلاس‌های مختلف شوری

کلاس‌های شوری	مساحت (m ²)	(Percent) Prod. Acc	(Percent) User Acc
کلاس ۱	۵۷۷۱/۰۲۲۹	۷۰	۸۸/۱۰
کلاس ۲	۵۰۹۹/۲۱۳۴	۱۰۰	۵۰
کلاس ۳	۲۸۹۰/۷۹۹	۶۵	۴۴/۴۹
کلاس ۴	۱۱۷۲۰/۹۶۸۸	۵۰	۳۰/۴۸
کلاس ۵	۳۳۰۰/۳۲۶	۶۰	۹۰/۹۹

نتیجه‌گیری

نیز تلاش بر این بود که بتوان نقشه شوری منطقه را با تلفیق داده‌های انعکاسی آزمایشگاهی و تصاویر ماهواره‌ای به دست آورد. اما با توجه به نتایج مدل SSI_2 به نظر می‌رسد هنوز پژوهش‌های بیشتری را می‌توان در زمینه کاهش خطاهای طیفی تصاویر ماهواره‌ای و ارتقای دقت مدل‌های پیش‌بینی شده انجام داد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از استادان محترم آقایان دکتر رنگزن، دکتر صیاد، دکتر احمدآبادی، مهندس کوشا، و به‌طور ویژه از آقایان دکتر علی‌اکبر نوروزی و دکتر درویشی به‌دلیل کمک‌های بی‌دریغ آنان در اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

با توجه به همبستگی بالای بین مقادیر EC پیش‌بینی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده EC با استفاده از مدل ریاضی به‌دست‌آمده، چنین استنباط می‌شود که شاخص شوری ایجادشده در باندهای ۴۱ و ۲۱۹ پتانسیل خوبی برای تخمین مقادیر EC در منطقه مطالعه‌شده دارند. به‌طوری‌که دقت طبقه‌بندی ایجادشده بر روی نقشه معادل ۷۵ درصد و همین‌طور دقت کلاس‌های شوری طبقه‌بندی شده، نیز دقت قابل قبولی را برای نقشه‌برداری خاک‌های شور در این منطقه ارائه می‌دهد. با به‌کاربردن مدل EC بر روی تصاویر ماهواره‌ای هایپریون و با توجه به دقت طبقه‌بندی ارائه‌شده، مقادیر شوری با دقت قابل قبولی در منطقه مطالعه‌شده تخمین زده شد. در این پژوهش

REFERENCES

- hyperspectral data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 41(6), 1355- 1362
- Imani, M., Bahrami, H. A., Soukuty Oskuyi, R., Kosha, H., Farrokhi, S., (2012). Zonation and mapping of the surface soil salinity by the geostatistical techniques: a case study on the Uremia Plain, Iran. In: *8th International soils science congress*, 15-17 may., Ege university, Izmir, Turkey
- Metternicht, G. I., Zinck, J. A. (2003). Modeling salinity-alkalinity classes for mapping salt-affected topsoil's in the semiarid valleys of Cochabamba (Bolivia), *ITC J*, pp. 125-135.
- Pastor, I. M., and Pedreno, J., (2008). Identifying optimal spectra bands to assess soil properties with VNIR radiometry in semi-arid soils, *Geoderma* (147), 126- 132.
- Peng, W. (1998). Syntetice analysis for extracting information on soil salinity using remote sensing and GIS: a case study of Yanggao basin in china. *Environmental Management.* 22, 153-159.
- Qing, K. Q., Rong, Y. (2005). Application of spectral angle Mapping model to rapid assessment of soil salinization in arid area. Institute of remote sensing application Chinas Academic of Sciences, Beijing, China, 23: pp. 143- 150.
- Quan, W., Pingheng, L. Zhi, P., Xi, Ch. (2011). Calibration and validation of salt- resistant hyperspectral indices for estimating soil moisture in arid land. *Journal of hydrology*, 408(3-4), 85- 285
- Shrestha, D.P., Meer, E.v.d., Anh, H.V. (2005). Analysis and classification of hyperspectral data for mapping land degradation: an application in southern Spain. *International journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 7, 85-96z.
- Sokouti, R., Mahdiad, M., Mahmoodi, Sh., (2008). Comparing of the application of some geostatistic method to predict the variability of soil salinity, a case study of Urmieh Plain. *Pajauhesh and sazandegi* 74, 90-98. (In Farsi).
- Van der meer, F. (2004). Analysis of spectral absorption features in hyperspectral imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5, 55-68
- Weng, Y. L., Gong, P., Zhu, Z.L. (2008). Soil salt content estimation in the Yellow River delta with satellite hyperspectral data. *Canadian Jurnal of Remote Sensing*, 34, 259-270.
- Weng, Y.L., Gong, P., Zhu, Z.L., (2010). A spectral Index for estimating soil salinity in the Yellow River Delta region of china using Eo-1 Hyperion data, *Pedospher*, 20, 78-388.
- Baghdadi M., Faramarzniya A. and Hajedi S. (1999) semi detailed soil studies in the northern plains of The West Azarbayjan, Technical Bulletin No. 1111, Agriculture Research and Education organization. (In Farsi).
- Bannari, A., Guedon, A. M., El-harti, A., Cherkaoui, F.Z., El- Ghamari, A. (2008). Slight and Moderate Saline and Sodic Soils Characterization in Irrigated Agriculture Land Usin Multispectral Remote Sensing, The international Archive of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 34.
- Ben- Dor, E., Patkin, K., Banin, A. and Karnieli, A., (2002). Mapping of several soil properties using DAIS- 7915 hyperspectral scanner data- a case study over clayey soils is Israel. *International journal of Remote Sensing*, 23, pp. 1043-1062.
- Brown, D.J., Shepherd, K.D., Walsh, M.G., Dwayne Mays, M. and Reinsch, T.G., (2006). Global soil Characterization with VNIR diffuses reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 132, pp. 273-290.
- Clark, R. N., and Roush, T. L. (1984). Reflectance spectroscopy: Quantitative analysis techniques for remote sensing applications. *J. Geophys. Res.* 89, 6329-6340.
- Csillag, F., Pasztor, L., and Biehl, L.L. (1993), Spectral band selection for the characterization of salinity status of soils. *Remote Sensing of Environment*, 43, 231-242.
- Datt, B., McVicar, T. R., Niel, T. G., Jupp, D. L. B. and Pearlman, J. S. (2003). Preprocessing EO-1 Hyperion hyperspectral data to support the application of agricultural index, *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing.* 41, 1246- 1259.
- Dehaan, R. L., Taylor, G. R. (2003). Image- derived spectral endmembers as indication of Stalinization. *Int. J. Remote Sens.* 24 (4), 775-794.
- Farifteh, J., Farshad, A., George, R. J. (2006). Assessing salt affected soil using remote sensing, solute modeling, and geophysics. *Geoderma*, 130, 191- 206.
- Ghaemiyan, N. (2002). Revising of the semi detailed soil studies in the southern plain of Urmia Plain, Technical Bulletin No. 102/79/1532, Agriculture Research and Education organization. (In Farsi).
- Goetz, A.F.H., Vane, G., Solomon, J.E., Rock, B.N. (1985). Imaging spectroscopy for Earth remote sensing. *Science*, 228, 1147-1153.
- Gong, P., Pu, R., Biging, G. S., Larrieu, M. R. (2003). Estimation of forest leaf area index using vegetation indices derived from Hyperion