

مکان‌یابی شوری خاک با استفاده از داده‌های محیطی و نمونه‌برداری هایپرکیوب در شهرستان میبد

- ۱- روح‌الله تقی‌زاده مهرجردی، استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان
rtaghizadeh@ardakan.ac.ir
- ۲- آرزو غزالی، دانشجوی کارشناسی ارشد بیابان‌زایی، دانشکده کشاورزی منابع طبیعی، دانشگاه اردکان
- ۳- سعیده کلانتری، استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان
- ۴- محمد حسن رحیمیان، مربی مرکز ملی تحقیقات شوری

دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۲۰

پذیرش: ۱۳۹۵/۴/۱۲

چکیده

نقشه‌برداری رقمی روشی نوین و جایگزینی مناسب برای روش‌های سنتی است. در این روش شوری خاک با یک سری متغیرهای محیطی ارتباط داده شده و سپس شوری خاک در نقاط دیگر پیش‌بینی می‌شود. در این پژوهش بر اساس روش هایپرکیوب، مکان جغرافیایی ۷۳ نمونه خاک مشخص و نمونه‌برداری و هدایت الکتریکی آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی رابطه بین داده‌های زمینی و متغیرهای محیطی (اجزاء سرزمین و داده‌های ماهواره لندست ۸) به دست آمد و در آخر شوری خاک در کل منطقه مورد مطالعه ارزیابی شد. نتایج تحلیل حساسیت مدل شبکه عصبی مصنوعی نشان داد، که متغیر شاخص گیاهی نرمال شده (۰/۳۹/۵۱)، شاخص گیاهی تعدیل کننده اثر خاک (۰/۲۷/۶۰)، شاخص شوری (۰/۲۷/۰۷) و شیب اراضی (۰/۵/۸۰)، جهت بررسی شوری خاک از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. همچنین نتایج ارزیابی مدل ضریب تبیین ۰/۵۷ و میانگین ریشه مربعات $17/40 \text{ dS/m}$ کارآیی بالای آن را نشان می‌دهد. نتایج کلی این پژوهش نشان داد که استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، مدل رقمی ارتفاع و مدل‌سازی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی دارای دقت قابل قبولی است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده جهت تهیه نقشه رقمی خاک از روش مشابه استفاده شود.

واژگان کلیدی: نقشه‌برداری رقمی خاک؛ مدل رقمی ارتفاع؛ شبکه عصبی مصنوعی؛ میبد.

مقدمه

شوری خاک شده‌اند. این عوامل به طور کلی منجر به شکل‌گیری دو نوع شوری‌زایی به نام‌های شوری‌زایی اولیه (طبیعی) و شوری‌زایی ثانویه (ناشی از فعالیت‌های انسانی) می‌گردند.

بررسی شوری خاک به‌ویژه در مناطقی با وسعت زیاد گران و زمان‌بر است، از این رو نیاز به روش‌های نوینی است که بتوان سطح گسترده‌ای از مناطق را در مدت زمان کوتاه‌تر و با صرف هزینه کمتر از لحاظ شوری مورد بررسی قرار داد. امروزه مقابله و پیشگیری از خطر شوری خاک در کنار سایر بلاهای طبیعی چون سیل و زلزله از اهمیت بالایی برخوردار است و پژوهشگران را بر آن داشته که به کمک تهیه نقشه‌های شوری خاک به شناسایی مناطق شور و یا در معرض شوری اقدام کنند. تهیه نقشه‌های

شوری یکی از مشکلات مناطق خشک و نیمه‌خشک است. شور شدن خاک و پدیده‌ی بیابان‌زایی علت و معلول یکدیگر هستند، به طوری که شوری خاک یکی از فرآیندهای مخرب خاک است که باعث بیابان‌زایی می‌شود، و برعکس بیابان‌زایی نیز منجر به شور شدن خاک می‌شود. از آنجایی که حدود دو سوم از مساحت کشور در مناطق بیابانی واقع شده است، تنها از طریق شناخت ویژگی‌های این مناطق می‌توان نسبت به مهار معضلات غالب در این مناطق همچون رشد و گسترش مناطق تحت تاثیر نمک و شوری‌زایی و جلوگیری از سرایت این معضل به سایر مناطق اقدام کرد. عوامل مختلفی از جمله عوامل زمین‌شناختی، توپوگرافی، اقلیمی، هیدرولوژیکی و مدیریتی در نقاط مختلف کشور وجود دارند که منجر به بروز پدیده

روش‌های محاسباتی برای یادگیری ماشینی، نمایش دانش، و در انتها اعمال دانش به دست آمده در جهت پیش‌بینی پاسخ‌های خروجی از سامانه‌های پیچیده، در هوش مصنوعی سیستم‌ها هستند. در این روش داده‌های مشاهده‌ای به مدل آموزش داده می‌شود و پس از آموزش مدل با دقت مناسب کار پیش‌بینی و شبیه‌سازی را انجام می‌دهد [۱۲].

پیشرفت‌های اخیر در کاربرد فن‌آوری سنجش از دور به منظور تهیه نقشه و مدیریت زمین‌های شور، سبب افزایش سرعت و دقت مطالعات و کاهش هزینه‌های مربوطه شده است [۱۲]. روش دورسنجی که ماهیت آن در ارتباط دادن بین میزان شوری و بازتاب امواج، برای پهنه‌بندی مناطق شور است، روشی قابل اعتماد است. خاک‌های گوناگون خصوصیات طیفی متفاوتی دارند [۱]. وجود املاح در سطح خاک‌های شور باعث می‌شود که این خاک‌ها به راحتی از سایر خاک‌ها به دلیل داشتن بازتاب بالا بر روی تصاویر ماهواره‌ای قابل تشخیص باشند. کلاس‌های شوری در این روش بر اساس تفاوت در خصوصیات طیفی سطوح مختلف شوری بوجود می‌آید [۱۲].

پژوهش‌های بسیاری برای تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی، شیوه‌های زمینی رادیومتری و بر اساس هم‌بستگی بین انعکاس‌های مربوط به حضور نمک و شاخص‌های شوری و سدیمی انجام شده است. جهت پهنه‌بندی شوری خاک به صورت سه‌بعدی در منطقه اردکان از تکنیک نقشه‌برداری رقومی استفاده و کارایی آن تایید شد [۱۵]. تلفیق داده‌های سنجش از دور و مدل رقومی ارتفاع به خوبی می‌تواند در برآورد هدایت الکتریکی خاک استفاده شود. کارایی بالای روش کوکریجینگ جهت برآورد شوری خاک در منطقه اردکان با استفاده از اطلاعات کمکی از قبیل سنجش از دور و مدل رقومی ارتفاع بررسی و تایید شد [۱۶]. برای نقشه‌برداری شوری خاک در حوالی تکسکوکو^۲ مکزیک از تصاویر ماهواره‌ای لندست و عکس‌های هوایی استفاده شد. با تعدیل شاخص پوشش گیاهی، شاخص طیفی جدیدی به نام شاخص ترکیب طیفی^۳ تهیه گردید. همبستگی بسیار

به‌هنگام از مهم‌ترین و در عین حال ضروری‌ترین عوامل مدیریتی است. در واقع تهیه نقشه دقیق از موقعیت مکانی خاک‌های شور اولین گام برای مدیریت بهینه این خاک‌ها است. نقشه‌برداری سنتی مشکلات زیادی دارد [۱۷]. از نظر مفهومی روش مرسوم خاک‌شناسی بر مدل منقطع یا مدل سطحی-کلاسی خاک‌ها استوار است که اساس و زیربنای مدل پلی‌گونی تغییرات متغیرهای طبیعت است. بر این اساس، توانایی پژوهشگران خاک‌شناس در ارائه توزیع مکانی حقیقی اطلاعات خاک‌ها، به واسطه‌ی ارائه چند وجهی پراکنش انواع خاک‌ها و انجام ذهنی و دستی تجزیه و تحلیل‌ها به صورت فاحشی کاهش می‌یابد. همچنین، نمایش پراکنش جغرافیایی خاک‌ها که بر مبنای جداسازی واحدهای نقشه بر روی عکس‌های هوایی و یا نقشه‌های توپوگرافی به همراه بررسی زمینی است، بدون خطا نیست، زیرا خطا در مشاهده و ترسیم واحدها با تکیه بر قابلیت‌های فردی و تجربی، اجتناب‌ناپذیر است [۸]. از دیگر مشکلات روش سنتی وابستگی حدود و مرزهای واحدهای خاک به قدرت درک و فهم کارشناس از روابط خاک و محیط، غیرممکن بودن به روز کردن نقشه‌ها و اطلاعات خاک در مناطق وسیع به علت نیاز به زمان زیادتر است [۸ و ۱۷]. راه حل مناسب برای نقشه‌برداری، استفاده از روش‌های تخمین مکانی خاک با تأکید بر منابع داده‌های قابل دسترس، به جای روش سنتی است [۱۱]. پایه و اساس نقشه‌برداری نوین مبتنی بر معادله اسکورپان^۱ است [۱۱]. در این معادله خصوصیات یا کلاس خاک با یک سری متغیرهای محیطی ارتباط داده می‌شود و بر این اساس خصوصیات خاک در نقاط دیگر پیش‌بینی می‌شود و نقشه رقومی خاک حاصل می‌شود. یکی از توابعی که برای پیش‌بینی خصوصیات خاک می‌توان استفاده کرد، شبکه‌های عصبی مصنوعی است [۶].

نقشه‌برداری رقومی خاک، بیان‌گر یک مجموعه یا بسته محاسبات رایانه‌ای برای پیش‌بینی پراکنش خاک‌ها در زمین‌نما است که به‌عنوان ابزاری برای ایجاد اطلاعات مکانی خاک و راه‌حل‌هایی برای نیاز رو به افزایش نقشه‌های خاک با تفکیک مکانی بالا می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌عنوان یکی از

^۲ Texcoco

^۳ Combined Spectral Response Index

^۱ SCORPAN

مناطق خشک، هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات مکانی شوری خاک با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و داده‌های کمکی در دسترس (مدل رقومی ارتفاع و سنجش از دور) است. همچنین با توجه به هزینه بالای نمونه‌برداری خاک، در مطالعه حاضر سعی شده است تا از تکنیک نمونه‌برداری هایپرکیوب جهت تعیین نقاط نمونه‌برداری استفاده شود تا محل جغرافیایی تعداد محدودی نمونه خاک با بالاترین دقت انتخاب شوند.

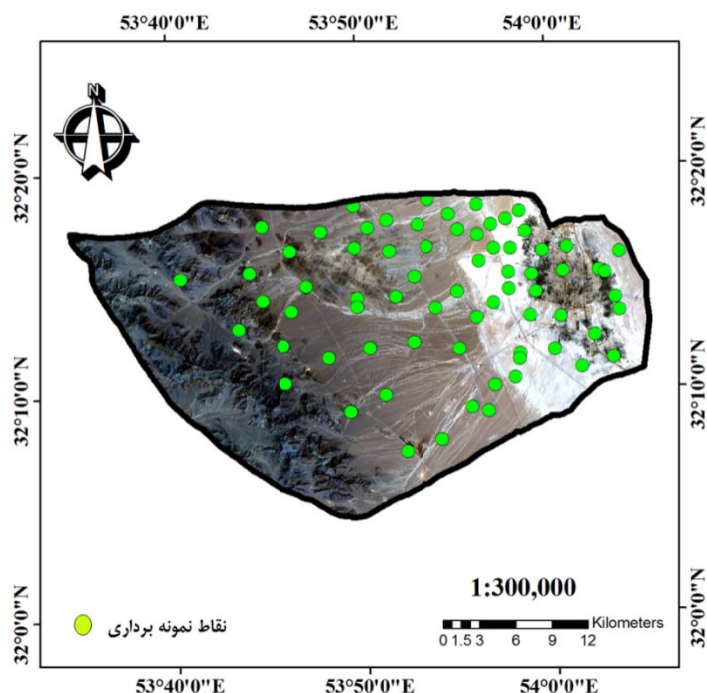
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه

شهرستان میبد بین طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳۵ دقیقه و ۱۵ ثانیه تا ۵۴ درجه و ۲ دقیقه و ۱۰ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵ دقیقه و ۱۲ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۱۴ دقیقه و ۴ ثانیه شمالی قرار گرفته است. ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۰۳۴ متر است. شهر میبد در شمال غرب شهر یزد، و در حاشیه کویر مرکزی ایران قرار دارد. اراضی آن دشتی و هموار است و از سوی غرب به کوهپایه و ارتفاعات جنوبی عقدا منتهی می‌گردد. این شهر بر روی شیب طبیعی که از جنوب به شمال قرار دارد (شکل ۱).

بالا بین خصوصیات خاک (هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم) و ارزش طیفی این شاخص (به ترتیب ۰/۸۸۵ و ۰/۸۵۷)، به صورت یک مدل رگرسیونی برای تهیه نقشه شوری خاک ارائه شد [۳]. در تحقیقی با اندازه‌گیری انعکاس‌های طیفی خاک‌های تحت تأثیر نمک توسط تفکیک طیفی ۱۰ نانومتر بین ۴۹۵ تا ۲۳۹۵ نانومتر، شانزده کلاس طیفی برای متغیرهای واکنش خاک، هدایت الکتریکی خاک، درصد سدیم تبادلی و نسبت سدیم جذبی تعریف شد [۵]. سپس با تجزیه آماری از طریق تجزیه مؤلفه‌های اصلی و به صورت گام به گام، محدوده‌های طیفی از طول موج مرئی دو، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی را مشخص و در آخر کلاس‌های مختلف خصوصیات خاک از یکدیگر تفکیک شد. در پژوهشی برای ارتباط دادن داده‌های EM و شوری خاک از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد و با به کارگیری داده‌های پیش‌بینی شده مدل، نقشه شوری خاک تهیه کردند [۴].

همان‌طور که بیان شد مطالعات فراوانی در زمینه شوری خاک انجام گرفته است. با این وجود، در بیشتر مطالعات تنها از داده‌های سنجش از دور جهت برآورد مکانی شوری خاک استفاده شده است. همچنین در کمتر مطالعه‌ای از روش‌های بهینه نمونه‌برداری خاک استفاده شده است. بنابراین با توجه به اهمیت پهنه‌بندی شوری در



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهرستان میبد به همراه پراکنش نقاط نمونه‌برداری

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش، جهت تعیین محل نمونه‌ها از روش هایپرکیوب بهره گرفته شده است. این روش، یک طرح تصادفی طبقه‌بندی شده است که باعث نمونه‌برداری مؤثر به کمک توزیع چند متغیر می‌شود. یک شبکه مربع حاوی موقعیت‌های نمونه، یک شبکه لاتین است اگر فقط یک واحد نمونه‌برداری در هر ردیف و هر ستون وجود داشته باشد. یک هایپرکیوب لاتین، تعمیم این مفهوم به تعداد اختیاری از ابعاد است. به طوری که هر واحد نمونه‌برداری فقط در یک صفحه آن قرار گرفته باشد. هایپرکیوب لاتین شامل نمونه‌برداری n مقدار از توزیع تشریح شده هر متغیر است. توزیع تجمعی هر متغیر به n فاصله با احتمال مساوی تقسیم می‌شود و یک مقدار از هر فاصله به‌طور تصادفی انتخاب می‌شود. سپس، n مقدار به‌دست آمده برای هر متغیر با متغیرهای دیگر جفت می‌شود. این روش یک پوشش کامل از هر متغیر را ایجاد می‌کند [۱۳]. بر اساس این تکنیک ۷۲ نمونه انتخاب شد. در محل‌های تعیین شده، از عمق ۳۰-۰ cm خاک، نمونه‌ها برداشت شد. سپس هدایت الکتریکی نمونه‌ها در عصاره اشباع اندازه‌گیری شد.

در این تحقیق از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شد. پس از آماده کردن مدل رقومی ارتفاع، اطلاعات کمکی (ارتفاع بالای شبکه زهکشی، شاخص خیسی، شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا، ارتفاع و شیب اراضی) در محیط سامانه ساگا محاسبه و استخراج شد [۹].

در این مطالعه از تصاویر ماهواره لندست ۸ (باند ۲ تا ۵ و باند ۷) استفاده شد. مجموعه‌ای از شاخص‌ها شامل شاخص شوری، شاخص روشنایی (که بیانگر این واقعیت است که مناطقی که شوری در آن‌ها زیاد است بازتاب طیفی بالاتری دارند و به رنگ روشن‌تر دیده می‌شوند)، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده، شاخص گیاهی تعدیل کننده اثر خاک، شاخص شوری استاندارد محاسبه شد. برای پهنه‌بندی شوری خاک، تمام لایه‌های کمکی یا اطلاعاتی به فرمت رستری با ابعاد ۹۰ × ۹۰ متر (مطابق با پروژه جهانی خاک) تهیه شد. تمامی اطلاعات (داده‌های خاک و متغیرهای محیطی) به فرمت نهایی متنی تبدیل و برای انجام فرآیند مدل‌سازی در نرم‌افزار شبکه عصبی مصنوعی آماده شد.

جدول ۱- متغیرهای محیطی مورد استفاده به‌عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده در مدل‌سازی

تعریف	پارامتر	داده کمکی
باندهای تصویر	B1-B7	تصویر ماهواره‌ای
$\sqrt{G * R}$	SI	
$\sqrt{R^2 + NIR^2}$	BI	
$\frac{NIR - R}{NIR + R}$	NDVI	
$\frac{NIR - R}{NIR + R} (L + 1)$	SAVI	
$\frac{R - NIR}{R + NIR}$	NDSI	
ارتفاع بالای شبکه زهکشی	AaCN	
شاخص خیسی	WI	
شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا	MrVBF	
مدل رقومی ارتفاع	DEM	
شیب	SLOP	

G: Green; R: Red; NIR: Near-infrared; SI: Salinity Index; NDVI: Normalized Difference Vegetation Index; SAVI: Soil Adjusted Vegetation Index; NDSI: Normalized Difference Salinity Index; AaCN: Altitude above channel network; WI: Wetness Index; MrVBF: Multi-resolution valley bottom flatness index; DEM: Digital elevation model.

مدل‌سازی

موازی با یکدیگر رفتار می‌کنند تا یک مسئله را حل کنند. این شبکه برای تخمین و تقریب کارایی بسیار بالایی از خود نشان داده است [۱۴].

شبکه عصبی مصنوعی یک سامانه پردازشی داده‌ها است که پردازش داده‌ها را به عهده پردازنده‌های کوچک و بسیار زیادی سپرده که به‌صورت شبکه‌ای به هم پیوسته و

نقشه‌برداری رقومی، اعتبارسنجی به روش حذف داده و پیش‌بینی آن است. پایگاه داده (n) به n-1 موقعیت برای واسنجی و یک موقعیت برای اعتبارسنجی تقسیم می‌شود. در هر تکرار، مدل برای موقعیت حذف شده اجرا و متغیر حذف شده پیش‌بینی و با مقدار واقعی مقایسه می‌گردد و خطای پیش‌بینی محاسبه می‌شود. این فرآیند برای همه موقعیت‌های نمونه‌برداری انجام می‌شود. پس از تعیین مدل مناسب، با استفاده از ضریب تبیین بین مقادیر واقعی و برآورد شده شوری و همچنین با استفاده از محاسبه شاخص‌های میانگین ریشه مربعات خطا و میانگین خطای مدل که واحد اندازه‌گیری‌شان ds/m است اعتبارسنجی شد.

نتایج و بحث

خلاصه آماره‌های توصیفی برای هدایت الکتریکی سطحی خاک در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، مقدار هدایت الکتریکی خاک در ۷۲ نمونه خاک از ۰/۶ تا ۱۰۲/۹۳ ds/m بر متر متغیر بوده و ضریب تغییرات آن ۱۳۴/۵ درصد است، که این مقدار ضریب تغییرات نشان‌دهنده تغییرپذیری زیاد شوری در منطقه است. هرچه از غرب منطقه به سمت شرق پیش می‌رویم بافت خاک ریز دانه‌تر، ارتفاع کمتر، شیب کمتر و تجمع املاح بیشتر است. شوری خاک همچنین از غرب به شرق روند افزایشی دارد. بیش‌ترین مقدار شوری در شمال شرق منطقه و کم‌ترین آن در غرب منطقه مشاهده شد. آنالیز حساسیت شبکه عصبی نشان می‌دهد که به ترتیب چهار داده کمکی شاخص گیاهی نرمال شده (NDVI)^۱، شاخص گیاهی تعدیل‌کننده اثر خاک (SAVI)^۲، شاخص شوری استاندارد (NDSI)^۳ و شیب بیشترین ارتباط را با شوری خاک دارند (شکل ۲).

در این تحقیق با استفاده از داده‌های خاک و داده‌های محیطی، با به کارگیری شبکه عصبی مدل‌سازی و شوری خاک در منطقه مورد نظر پیش‌بینی شد. بدین منظور، پس از پیش‌پردازش‌های اولیه داده‌های خام ساختار بهینه شبکه تعیین شد. در شبکه عصبی ساختار شبکه شامل نوع ورودی‌ها و خروجی‌ها، تعداد لایه‌های مخفی و تعداد نرون‌ها در هر لایه مخفی، نوع تابع فعال‌سازی و نوع الگوریتم آموزشی است. در این تحقیق ورودی‌های شبکه برای پیش‌بینی هدایت الکتریکی خاک شامل داده‌های کمکی ارائه شده در جدول ۱ است.

در شبکه عصبی پرسپترون چند لایه یک لایه ورودی، یک لایه خروجی و یک یا چند لایه مخفی وجود دارد، که تعداد نرون‌ها در لایه‌های ورودی و خروجی برابر با تعداد بردارهای ورودی و خروجی است. مسئله اصلی در این شبکه‌ها تعیین تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون‌های آن‌ها است، که ثابت شده شبکه‌های عصبی با یک لایه مخفی با تابع سیگموئید در لایه میانی و تابع خطی در لایه خروجی قادر به تقریب تمامی توابع مورد نظر با هر درجه تقریب خواهد بود مشروط به این‌که به اندازه کافی نرون در لایه مخفی داشته باشیم. در این تحقیق شبکه‌ها با یک لایه مخفی که دارای تابع فعال‌سازی سیگموئید در لایه مخفی و تابع فعال‌سازی خطی در لایه خروجی بوده، و تعداد نرون‌های آن از دو تا ۱۰ نرون متغیر بوده و بهترین تعداد نرون به صورت صحیح و خطا تعیین گردید مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به علت کارایی سادگی و سرعت بالا در این تحقیق الگوریتم آموزشی لوبنبرگ مارکوارت استفاده شد.

ارزیابی مدل

برای بررسی کارایی مدل به منظور پیش‌بینی شوری خاک، اعتبارسنجی به روش حذف یک داده و پیش‌بینی آن انجام گرفت. در شرایطی که زمان و بودجه کافی برای برداشت نمونه احتمالی وجود ندارد، بهترین گزینه اعتبارسنجی به روش حذف داده است [۲]. برخلاف روش تقسیم داده‌ها، در این روش تقسیم کردن به طور تکرارپذیری انجام می‌شود و این روش را مؤثرتر می‌کند. در چنین شرایطی بهترین گزینه برای اعتبارسنجی مدل

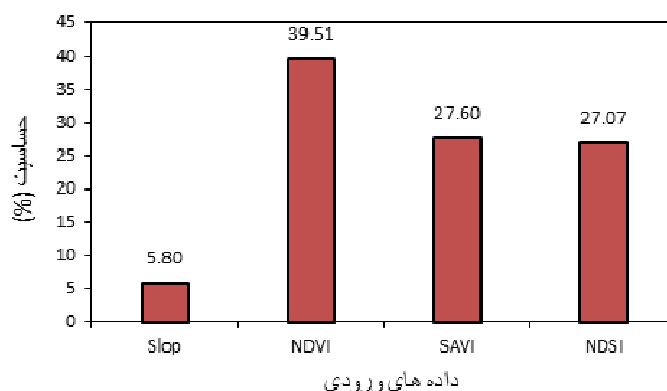
¹ Normalized Difference Vegetation Index

² Soil Adjusted Vegetation Index

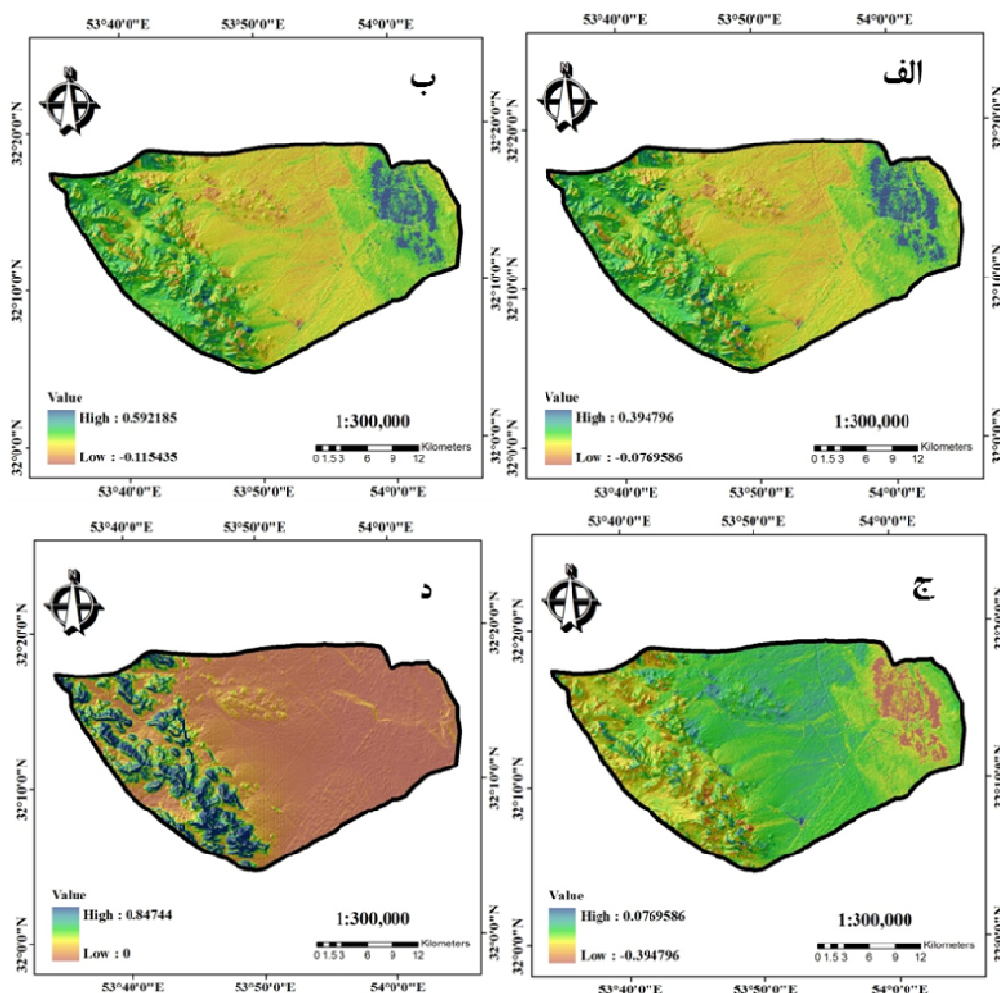
³ Normalized Difference Salinity Index

جدول ۲- توصیف آماری هدایت الکتریکی (EC) خاک سطحی در منطقه مورد مطالعه

خصوصیات آماری	میانگین	بیشینه	کمینه	میانه	انحراف معیار	ضریب تغییرات
هدایت الکتریکی (dS/m)	۱۹/۶۷	۱۰۲/۹۳	۰/۶۰	۶/۶۳	۲۶/۴۶	۱۳۴/۵۳



شکل ۲- نمودار آنالیز حساسیت داده‌های ورودی



شکل ۳- مهم‌ترین داده‌های کمکی مرتبط با شوری در منطقه مورد مطالعه: الف) نقشه شاخص گیاهی نرمال شده، ب) نقشه شاخص گیاهی تعدیل کننده اثر خاک، ج) نقشه شاخص شوری استاندارد، و د) نقشه شیب

به این صورت بیان کرد که پوشش گیاهی بهتر در بعضی از مناطق مطابق با خاک‌هایی با مقدار شوری کمتر است.

شاخص گیاهی نرمال شده به عنوان مهم‌ترین ورودی جهت مدل‌سازی شوری تعیین شد. این موضوع را می‌توان

شاخص گیاهی تعدیل‌کننده اثر خاک نیز به نوعی وضعیت پوشش گیاهی را در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۳ ب) مشاهده می‌شود حداکثر مقدار این شاخص (۰/۵۹) در نواحی غربی منطقه مورد مطالعه است که منطبق با اراضی پسته‌کاری شده است. ارتباط معنی‌داری بین شاخص شوری و مقدار هدایت الکتریکی خاک مشاهده شد. شاخص شوری کارایی خود را در مطالعات مختلف جهت پهنه‌بندی شوری خاک با ضریب تبیین نسبتاً بالا نشان داده است [۳ و ۱۵]. اجزا سرزمین از جمله شیب اراضی در توزیع مکانی خاک و خصوصیات آن بسیار مؤثر هستند. توزیع مکانی تابش خورشیدی، درجه حرارت، رطوبت و جریان مواد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مناطقی مرتفع‌تر که شیب بیشتری دارند نسبت به مناطقی که شیب پایین دارند یا بدون شیب هستند از مقدار شوری کمتری برخوردارند. علت این است که در مناطق کم شیب تر تجمع املاح بیشتر است (شکل ۳).

اهمیت پارامترهای اراضی در مدل‌سازی تغییرات مکانی شوری خاک تایید شده است. به طور کلی بر اساس یافته‌ها و نتایج این تحقیق و نتایج تحقیقات دیگر درمی‌یابیم که استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی شوری روشی مناسب و به صرفه است [۳، ۵، ۶ و ۱۵]. همچنین تلفیق داده‌های ماهواره‌ای با مدل رقومی ارتفاع به منظور بررسی شوری خاک و پهنه‌بندی آن باعث کارآمدتر شدن نتایج و بالا رفتن صحت و دقت آن می‌شود که با نتایج تحقیقات [۱۵ و ۱۶] همخوانی دارد.

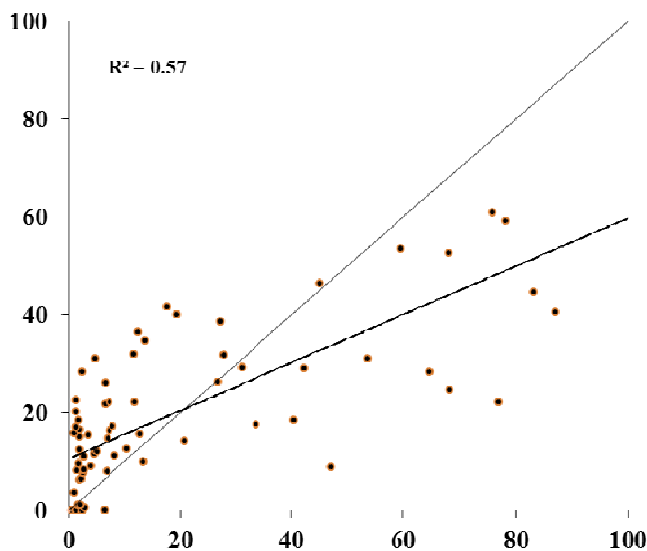
نتایج مدل‌سازی

مدل شبکه عصبی با یک لایه مخفی که تعداد نرون‌های آن بین ۲ تا ۲۰ نرون بود، طراحی و ساختار بهینه شبکه به روش سعی و خطا و بر اساس آماره میانگین ریشه مربعات خطا تعیین شد. نتایج نشان داد که کمینه مقدار میانگین ریشه مربعات خطا در زمانی به دست آمد که شبکه‌ای با ۱۰ نرون در لایه مخفی، ۶۸۰ تکرار (اپوک) و تابع سیگموئیدی و خطی در لایه مخفی و خروجی طراحی شد. بنابراین ساختار بهینه شبکه عصبی مصنوعی جهت برآورد شوری خاک ۱-۱۰-۱۶ است. پس

از تعیین مدل مناسب، با استفاده از مقادیر میانگین خطا و انحراف معیار خطای مدل، ضریب تطابق لاین و ضریب تبیین بین مقادیر واقعی و برآورد شده شوری، مدل اعتبار سنجی شد (جدول ۳). یک تخمین‌گر خوب، باید به نتایجی منجر شود که دارای همبستگی قوی و مثبت با مقادیر واقعی باشد. میان مقادیر شوری واقعی و برآورد شده، ضریب تطابق لاین و ضریب تبیین به ترتیب ۰/۶۴ و ۰/۵۷ به دست آمده است. با توجه به نظر [۷ و ۱۰] که معتقد هستند در بحث نقشه‌برداری رقومی خاک ضریب تبیین بالاتر از ۰/۷۰ غیرمعمول است، در نتیجه مدل شبکه عصبی بدست آمده بر اساس اطلاعات ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاع در پژوهش حاضر، تخمین‌گر خوبی برای برآورد شوری سطحی خاک است. شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند پیش‌بینی‌هایی با خطاهای کمتر نسبت به روش‌های متداول رگرسیونی ارائه دهند [۱۴]. نمودار پراکنش مقادیر شوری واقعی و برآورد شده در شکل ۴ ارائه شده است. بر اساس نظر [۱۵] در طراحی شبکه‌های عصبی نوع خاصی از معادلات لازم نیست و با ایجاد رابطه مناسب بین داده‌های ورودی و خروجی می‌توان به نتایج مناسب دست پیدا کرد. به علت وجود روابط غیر خطی میان متغیرهای وابسته و پیش‌بینی شونده شبکه عصبی عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های رگرسیون داشته است. اما باید دقت شود شبکه عصبی مصنوعی دارای معایبی نیز است. شبکه عصبی به صورت جعبه سیاهی است که احتیاج به تعریف شدن دارد. یکی از معایب شبکه عصبی، قابلیت تفسیر ضعیف آن است. همچنین این شبکه برای مسائلی با پایگاه داده‌ای بزرگ مناسب بوده و دانش گذشته‌ی سیستم در طراحی شبکه، مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. همچنین تعیین ساختار شبکه عصبی مصنوعی که با روش سعی و خطا صورت می‌گیرد، اغلب با مشکل همراه است. ا به عنوان مثال الگوریتم یادگیری شبکه عصبی مصنوعی ممکن در کمینه‌های محلی قرار گیرد و در نتیجه نتواند به حداقل خطای مورد نظر دست یابد.

جدول ۳- نتایج معیارهای ارزیابی برای پیش‌بینی قابلیت هدایت الکتریکی

ساختار شبکه	ضریب تبیین %	ضریب تطابق لاین	مجموع مربعات خطا	میانگین خطا	هدایت الکتریکی (ds/m)
۱۶-۱۰-۱	۰/۵۷	۰/۶۴	۱۷/۴۰	-۰/۶۳	

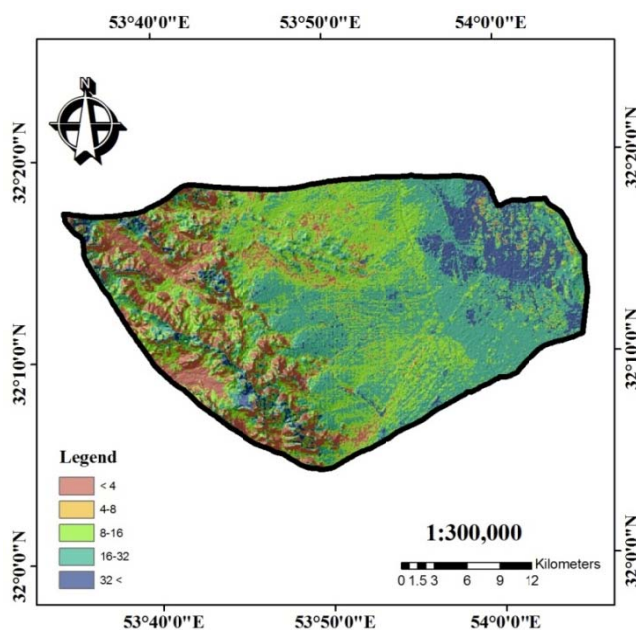


شکل ۴- نمودار پراکنش مقادیر واقعی و مقادیر برآورد شده شوری

پهنه‌بندی

نقاط دیگر منطقه مورد مطالعه تعیین و نقشه شوری خاک تهیه شد (شکل ۵).

با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و یافتن ارتباط بین شوری خاک و متغیرهای محیطی (داده‌های حاصل از تصویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاع)، شوری خاک در



شکل ۵- نقشه شوری خاک منطقه با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی

قرار دارد. هرچند در این اراضی کشاورزی، قسمت‌هایی به صورت لکه با شوری کمتر نیز دیده می‌شود که علت آن نیز می‌تواند مربوط به پسته‌کاری و زمان آبیاری در هنگام نمونه‌برداری باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش از تابع شبکه عصبی مصنوعی جهت برآورد مقادیر شوری خاک در منطقه میبد استفاده شد. نتایج نشان داد که ارتباط زیادی بین داده‌های خاک و متغیرهای محیطی وجود دارد که بر روی دقت مدل تأثیر گذار است. به طوری که نقشه نهایی شوری خاک را با ضریب تبیین ۰/۵۷ پیش‌بینی کرده است. در این پژوهش، به ترتیب چهار متغیر شاخص گیاهی نرمال شده، شاخص گیاهی تعدیل‌کننده اثر خاک، شاخص شوری استاندارد و شیب به عنوان مهم‌ترین متغیرهای کمی مشخص شد. در پایان مشخص شد فنون آماری از جمله شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند فرآیند نقشه‌برداری خاک‌ها را در سطح وسیع به یک‌باره انجام دهد و جایگزینی برای روش‌های سنتی باشد. با استفاده از این تکنیک می‌توان نقشه‌هایی به هنگام از چگونگی پراکنش خاک‌ها با درجات مختلف شوری، به منظور مدیریت بهینه و ارائه روش‌های اصلاح و احیاء آن‌ها در مدت زمان کم و صرف هزینه کمتر، تهیه کرد.

References

- [1]. Andronikov, V.L., & Dorbrolvskiy, G.V. (1991). Theory and methods for the use of remote sensing in the study of soils. *Remote Sensing*, 28, 92-101.
- [2]. Brus, D.J., Kempen B., & Heuvelink, G.B.M. (2011). Sampling for validation of digital soil maps. *European Journal of Soil Science*, 62, 394-407.
- [3]. Buces, F.N., Siebe, C., Cram, S., & Palacio, J.L. (2006). Mapping soil salinity using a combined spectral response index for bare soil and vegetation: (A case study in the former lake Texcoco, Mexico). *Journal of Arid Environments*, 65, 644-667.
- [4]. Cockx, L.M., Van Meirvenne, U.W.A., Vitharana, F.M.B., Vancoillie, L.P.C., Verbeke, Simpson, D., & Saey, T. (2010). A neural network approach to topsoil clay

پیش‌ترین مقادیر شوری در قسمت شرق منطقه که دارای ارتفاع و درجه شیب کمتر، بافت ریزدانه‌تر خاک، تجمع رسوب بیشتر و پوشش گیاهی کمتر است، دیده می‌شود. در این قسمت اراضی پلایا واقع شده‌اند. کمترین مقادیر شوری در غرب منطقه که ناحیه‌ای کوهستانی با ارتفاع و شیب بیشتر، بافت درشت دانه تر و سنگلاخی، مقدار رسوب و املاح ناچیز و رطوبت کمتر است، قرار دارد. مقادیر حد واسط، قسمت‌هایی از اراضی باهادا را پوشش می‌دهد. روند تغییرات شوری در منطقه از غرب به شرق افزایشی است که با روند تغییرات مهم‌ترین متغیرهای کمی تشخیص داده شده، هم‌خوانی دارد. با توجه شکل ۵، بیشترین مقادیر شوری مربوط به مناطق شرقی است. این مسئله احتمالاً به خاطر دریافت رسوبات بیشتر در این نواحی است. افزون بر این، شکل محدب منطقه می‌تواند به حرکت آب زیرزمینی در جهت غرب به شرق کمک کند. همچنین در شرق منطقه بافت خاک سنگین‌تری وجود دارد که حضور رس زیاد باعث حرکت کاپیلاری آب و تجمع نمک در سطح خاک می‌شود. از دلایل دیگر بالا بودن شوری در این نواحی، کاربری نامناسب و روش آبیاری نامناسب اراضی کشاورزی می‌تواند باشد. به طوری که هدایت الکتریکی خاک مربوط به اراضی کشاورزی تحت کشت پسته در میبد به علت آبیاری نامناسب در محدوده بیش از ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر

- prediction using an EMI-Based soil sensor, *Proximal Soil Sensing*, Springer press, 444p.
- [5]. Csillag, F., Pasztor, L., & Beihl, L. (1993). Spectral band selection for the characterization of salinity status of soils. *Remote Sensing of Environment*, 43, 231-242.
 - [6]. Du, C., Linker, R., & Shaviv, A. (2008). Identification of agricultural soils using mid-infrared photo acoustic spectroscopy. *Geoderma*, 143, 85-90.
 - [7]. Florinsky, I.V., Eilers, R.G., Manning, G.R., and Fuller, L.G. 2002. Prediction of soil properties by digital terrain modelling. *Environmental Modelling & Software*, 17, 295-311.
 - [8]. Grunwald, S. (2009). Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches. *Geoderma*, 152, 195-207.

- [9]. Hengl, T., Huvelink, G.B.M., & Stein, A. (2004). A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. *Geoderma*, 120, 75-93.
- [10]. Malone, B. P., McBratney, A. B., Minasny, B., & Laslett G. M. 2009. Mapping continuous depth functions of soil carbon storage and available water capacity. *Geoderma*, 154: 138-152.
- [11]. McBratney, A.B., Mendonca-Santos, M.L., & Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. *Geoderma*, 117, 3-25.
- [12]. Metternicht, G.I., & Zinck, J.A. (2003). Remote sensing of soil salinity: Potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment*, 85, 1-20.
- [13]. Minasny B., & McBratney, A.B. (2006). A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. *Geology*, 32, 1378-1388.
- [14]. Schap, M.G., Leij, F.J., & Van Genuchten, M.T. (1998). Neural network analysis for hierarchical prediction of soil hydraulic properties. *Journal of Soil science Society of America*, 62, 847-855.
- [15]. Taghizadeh-Mehrjardi, R., Minasny, B., Sarmadian, F., & Malone, P. B. (2014). Digital mapping of soil salinity in Ardakan region, central Iran. *Geoderma*, 213, 15-28.
- [16]. Taghizadeh-Mehrjardi, R., Sarmadian, F., Omid, M., Savaghebi, G.H., Roustaei, M., & Rahimian, M.H. (2013). Mapping of soil salinity using geostatistic and EMI in Ardakan region. *Soil Research Journal*, 26, 369-380.
- [17]. Zhu, A.X., Hudson, B., Burt, J., Lubich, K., & Simonson, D. (2001). Soil mapping using GIS, expert knowledge, and fuzzy logic. *Soil Science Society of American Journal*, 65, 1463-1472.

Spatial distribution of soil salinity using auxiliary variables and hypercube sampling method in Meybod

- 1-R. Taghizadeh-Mehrjardi, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Ardakan
rtaghizadeh@ardakan.ac.ir
- 2- A. Ghazali, MSc Student Dedesertification, Faculty of Natural Resources, Ardakan University
- 3- S. Kalantari, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Ardakan
- 4- M.H. Rahimian, Research of National Salinity Research Center

Received: 11 Nov 2015

Accepted: 02 Jul 2016

Abstract

Digital mapping is a suitable alternative method to the traditional methods. In this method, soil salinity correlated to the environmental variables and then soil salinity predicts in the other locations. At present research, based on the hypercube method, the locations of 73 soil samples selected and then sampled. Electrical conductivity was measured in the saturation paste of soil samples. Then using artificial neural network (ANN) the relationship between ground point data and environmental variables (terrain attributes and Landsat 8 image data) was calculated and applied to the other parts of area. Sensitivity analysis indicated some environmental variables had more influence on prediction ANN model including normalized difference vegetation index (39.51%), soil-adjusted vegetation index (27.60%) and slope (5.80%), respectively. Moreover, the cross-validation implied high performance of ANN model to predict soil salinity ($R^2=0.57$ and $RMSE=17.40$ dS/m). Our results, overall, showed that remote sensing data and digital elevation model and ANN had acceptable performance to predict soil salinity and hence it is recommended the same methodology in the future.

Keywords: Digital soil mapping; digital elevation mode; Auxiliary data.