



مقایسه تخمین شوری خاک با استفاده از روش‌های طیف‌سنجی، القاءگر الکترومغناطیس و سنجش از دور

*کمال نبی‌اللهی^۱، کامران عزیزی^۲ و مسعود داوری^۱

استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه کردستان، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه کردستان
تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۲۳

چکیده

سابقه و هدف: شوری خاک یکی از خصوصیات بسیار مهم خاک بوده و بررسی تغییرات مکانی آن، جهت مدیریت زراعی، تخریب اراضی و مطالعات زیست‌محیطی دارای اهمیت می‌باشد. شوری خاک با استفاده از هدایت الکتریکی (EC) اندازه‌گیری می‌شود و تخمین مقادیر شوری خاک با استفاده از این روش‌های آزمایشگاهی گران و زمان‌بر است. بنابراین، جمع‌آوری اطلاعات در مورد توزیع مکانی شوری خاک در مناطق گسترده نیاز به تکنیک‌های جدید ارزان دارد. اخیراً تکنیک‌های جدیدی مانند طیف‌سنجی مرئی-مادون‌قرمز نزدیک، القاءگر الکترومغناطیس و سنجش از دور برای اندازه‌گیری شوری خاک به کار برده شده است. هدف از این پژوهش تخمین شوری خاک با استفاده از روش‌های طیف‌سنجی مرئی-مادون‌قرمز نزدیک، القاءگر الکترومغناطیس و سنجش از دور می‌باشد.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه در ۲۰ کیلومتری شمال‌شرقی شهرستان قروه در استان کردستان واقع شده و سطحی معادل ۲۶۰۰۰ هکتار را در برمی‌گیرد. ۱۰۰ نمونه خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری) جمع‌آوری و هدایت الکتریکی خاک در عصاره اشباع اندازه‌گیری شد. متغیرهای کمکی استفاده شده در این مطالعه، داده‌های طیفی خاک در محدوده مرئی-مادون‌قرمز نزدیک، قرائت‌های روش القاءگر الکترومغناطیس و داده‌های سنجد ETM^+ لندست ۸ بودند. در ۱۰۰ مکان نمونه‌برداری، قرائت‌های افقی و عمودی با استفاده از EM38 قرائت شده و شاخص شوری، شاخص NDVI، شاخص روشنایی و باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و داده‌های سنجد ETM^+ لندست ۸ محاسبه و استخراج شدند. افزون بر این، ۱۰۰ نمونه خاک با استفاده از طیف‌سنج زمینی (مدل FieldSpec®3, ASD, FR, USA) با طول موج ۲۵۰۰-۳۵۰۰ نانومتر تحت اسکن قرار گرفتند. جهت ارتباط دادن بین شوری خاک و متغیرهای کمکی این سه روش از مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. در نهایت شوری خاک با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی برآورد شده و با استفاده از روش اعتبارسنجی متقاطع مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: مقادیر شوری خاک کم تا زیاد بودند (۱۴/۴۷-۰/۲۳ دسی‌زیمنس بر متر). بیشینه مقادیر شوری خاک در مناطق مرکزی (اراضی پست و بایر) و کمینه مقادیر شوری خاک در اراضی مرتفع و مرتعی مشاهده شد. بر اساس آنالیز حساسیت، مدل شبکه عصبی مصنوعی در روش سنجش از دور، شاخص شوری، شاخص NDVI، باند ۷ و باند ۳

* مسئول مکاتبه: k.nabiollahi@uok.ac.ir

مهم‌ترین متغیرها برای پیش‌بینی شوری خاک بودند، به‌طورکلی، این نتایج نشان داد که مهم‌ترین متغیرهای کمکی برای پیش‌بینی شوری خاک به‌ترتیب داده‌های طیفی خاک در محدوده مرئی - مادون‌قرمز نزدیک، قرائت عمودی و داده‌های سنجش از دور بودند. روش طیف‌سنجی مرئی - مادون‌قرمز نزدیک برای پیش‌بینی شوری خاک دارای مقادیر $0/62$ ، $0/94$ و $0/28$ به‌ترتیب برای ضریب تبیین، میانگین خطا و میانگین ریشه مربعات خطا بود و در مقایسه با القاء‌گر الکترومغناطیس و سنجش از دور بهتر بود اگر چه تلفیق سه روش (طیف‌سنجی مرئی - مادون‌قرمز نزدیک، القاء‌گر الکترومغناطیس و سنجش از دور) با هم بهترین نتایج جهت تخمین شوری خاک را داشت.

نتیجه‌گیری: مهم‌ترین متغیر کمکی برای پیش‌بینی شوری خاک در منطقه داده‌های طیفی خاک در محدوده مرئی - مادون‌قرمز نزدیک بود. روش القاء‌گر الکترومغناطیس هم متغیر مناسبی جهت پیش‌بینی شوری خاک بوده و می‌تواند به‌عنوان یک روش ارزان، دقیق و سریع برای پیش‌بینی شوری خاک توصیه شود. تلفیق سه روش (طیف‌سنجی مرئی - مادون‌قرمز نزدیک، القاء‌گر الکترومغناطیس و سنجش از دور) با هم بهترین نتایج جهت تخمین شوری خاک را داشت. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که مدل شبکه عصبی مصنوعی و داده‌های کمکی همچون داده‌های طیفی روش طیف‌سنجی مرئی - مادون‌قرمز نزدیک و القاء‌گر الکترومغناطیس در مطالعات آینده استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: شاخص شوری، شبکه عصبی مصنوعی، محدوده طیفی مرئی - مادون قرمز نزدیک، EM38

مقدمه

ویژگی خاک را ثبت نماید (۲۸). اخیراً، تکنیک‌های مانند روش‌های طیف‌سنجی^۱ در گستره مرئی، مادون‌قرمز نزدیک و مادون‌قرمز میانی در بازه ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر (۲ و ۳۴)، القاء‌گر الکترومغناطیس^۲ (EM) و سنجش از دور برای اندازه‌گیری غیرمستقیم هدایت الکتریکی خاک، در شرایط مزرعه استفاده شده‌اند (۲۹، ۴۰ و ۴۳). طیف‌سنجی یک روش غیرمخرب، سریع، کم‌هزینه، دارای قابلیت تکرار بالا و نسبتاً آسان بوده (۱۶) و در بهره‌گیری از روش‌های طیف‌سنجی نیازی به پیش‌پردازش نمونه‌ها و یا استفاده از مواد شیمیایی مضر و آلوده‌کننده زیست‌بوم نیست. بنابراین با توجه به افزایش نیاز جهانی به مقادیر بیش‌تری از داده‌های با کیفیت خوب و ارزان برای نظارت بر زیست‌بوم، مدل‌سازی و کشاورزی دقیق، این مزایا دارای اهمیت هستند و استفاده از منحنی‌های انعکاس طیفی خاک می‌تواند بسیاری از محدودیت‌های

امروزه نیاز جهانی به جمع‌آوری اطلاعات مکانی خاک به‌منظور پایش محیط زیست، مدل‌سازی و مدیریت مکانی خاک بسیار چشم‌گیر است. تعیین مقادیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در مناطق با وسعت زیاد به‌طور مکرر وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشد (۳۲). اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک در مطالعات مختلف خاک‌شناسی و کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا نه تنها هدایت الکتریکی به‌عنوان نماینده برخی ویژگی‌های خاک مانند شوری، درصد رطوبت، عمق خاک و میزان رس آن محسوب می‌گردد، بلکه اطلاعات بسیار مهمی راجع به اثرات و پیامدهای درازمدت فعالیت‌ها و عملیات درون‌مزرعه‌ای مانند آبیاری، مدیریت گیاه و همچنین خاک را در مقیاس مزرعه‌ای و منطقه‌ای ارائه می‌کند (۳۵). جمع‌آوری اطلاعات مکانی خاک از سطح وسیع نیازمند تکنیک‌های جدیدی است که به‌صورت ساده، ارزان و در حداقل زمان ممکن بتواند اطلاعات چندین

1- Spectroscopy

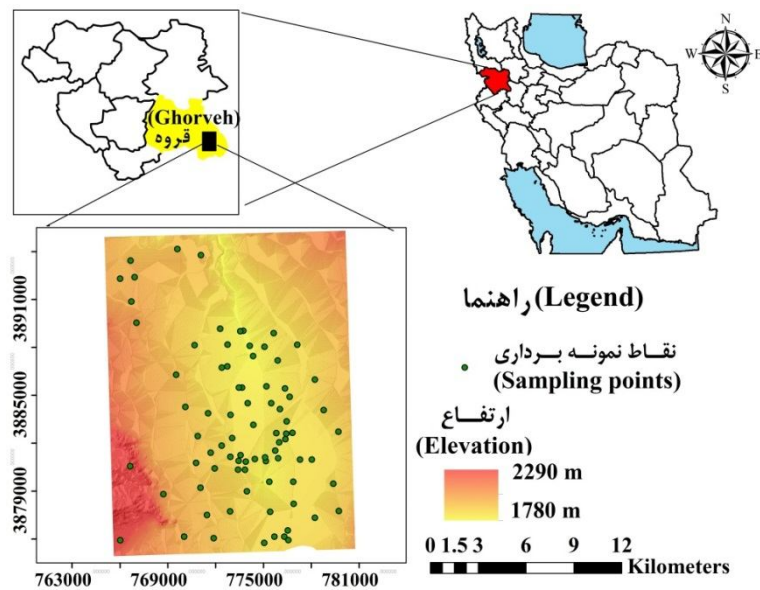
2- Electromagnetic induction

عصبی مصنوعی (۴۲)، رگرسیون درختی (۲۱)، رگرسیون لوجستیک (۲۰) و غیره برای ارتباط دادن متغیرهای کمکی با ویژگی‌های خاک وجود دارد که در این میان شبکه عصبی مصنوعی با شبیه‌سازی و الهام از مطالعه سیستم مغز و شبکه عصبی موجودات زنده اشتقاق یافته است (۳۱) که در این روش سعی می‌شود، بر اساس روابط ذاتی میان داده‌ها، مدلی خطی یا غیرخطی بین متغیرهای مستقل و وابسته برقرار شود. تاکنون پژوهش‌های زیادی توسط پژوهشگران مختلف درباره تخمین شوری خاک، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی انجام گرفته است (۴۱ و ۵۰)، اما مطالعه در خصوص استفاده از این مدل جهت پیش‌بینی شوری خاک با استفاده داده‌های کمکی هم‌چون طیف‌سنجی و مقایسه آن با داده‌های کمکی به‌دست آمده از روش‌های القاگر الکترومغناطیس و سنسجش از دور بسیار اندک می‌باشد. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی تخمین شوری خاک با استفاده از روش‌های طیف‌سنجی، القاگر الکترومغناطیس و سنسجش از دور با استفاده شبکه عصبی مصنوعی در منطقه قروه کردستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی: منطقه مورد مطالعه با وسعت ۲۶۰۰۰ هکتار بوده که در ۲۰ کیلومتری شهرستان قروه در استان کردستان واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع بلندترین و پایین‌ترین نقطه ۲۲۹۰ و ۱۷۸۰ متر از سطح دریا است. متوسط بارندگی سالیانه ۳۶۹/۸ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۰/۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک منطقه به‌ترتیب زیریک و مزیک می‌باشد. واحدهای فیزیوگرافی منطقه شامل اراضی پست، دشت‌های دامنه‌ای، فلات و تپه و کاربری‌های اصلی منطقه شامل زراعت و مرتع می‌باشد.

آزمایشگاهی را برطرف کند. زیرا بر خلاف روش‌های مرسوم اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک در آزمایشگاه، داده‌های خاک در رویکرد طیفی با یک روش استاندارد و تنها در یک مرحله بدون نیاز به مواد شیمیایی گران‌قیمت و سمی تعیین می‌شوند. بنابراین خطای ناشی از روش‌های مختلف اندازه‌گیری و شخص کاربر به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد (۵). بازتاب طیفی خاک در دامنه‌های طیفی مرئی مادون‌قرمز برای تخمین برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک و کلاس‌های (۴۸) خاک توسط پژوهشگران مختلف استفاده شده است (۴، ۹، ۱۴، ۲۵ و ۲۷). تکنیک القای الکترومغناطیس هم که هدایت الکتریکی ظاهری توده خاک را اندازه‌گیری می‌کند، در تعیین الگوی تغییرات مکانی درون مزرعه‌ای برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند شوری، درصد رس، درصد رطوبت مفید می‌باشد (۲۶، ۴۵ و ۴۷). علاوه بر این دلایل متعدد دیگری مانند قابلیت حمل آسان، سهولت کار با آن، کاهش صرف وقت و هزینه‌های نمونه‌برداری صحرائی آن را نسبت به سایر روش‌های متداول در این زمینه متمایز می‌نماید. حس‌گر EM به ویژه EM38 سبک می‌باشد و اگر همراه با موقعیت‌یاب جغرافیایی استفاده شود می‌تواند نقشه شوری خاک را تعیین نماید (۴۶). اطلاعات و داده‌های ماهواره‌ای هم حاوی اطلاعات بسیار سودمند و سازنده‌ای، از ویژگی‌های خاک سطحی به‌ویژه شوری می‌باشند (۲)، که به‌صورت وسیع مورد استفاده قرار گرفته است. پژوهش‌هایی برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک با استفاده از روش‌های القاگر الکترومغناطیس (۳۰، ۳۵، ۳۶، ۴۰ و ۴۳)، طیف‌سنجی (۱، ۷، ۲۲ و ۳۴) و سنسجش از دور (۱۱، ۱۲ و ۴۹) صورت گرفته است اما مطالعه در خصوص مقایسه این روش‌ها بسیار نادر می‌باشد. تکنیک‌های مختلفی همچون راندوم فارست (۳۳)، فازی (۱۷)، شبکه



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعاتی و پراکنش مکانی نقاط نمونه برداری.

Figure 1. Location of study area and spatial variability of sample points.

گسیل شده از یک منبع نور به پدیده برخورد نموده، بخشی از آن منعکس، قسمتی جذب و بخشی دیگر عبور داده می‌شود. برای اندازه‌گیری کمی مقدار انعکاس، جذب یا عبور اسپکترومترها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این پژوهش بازتاب‌های طیفی خاک (تقریباً ۵۰ گرم از هر نمونه خاک) به وسیله دستگاه طیف‌سنج زمینی مدل FieldSpec®3, ASD, FR, USA (موجود در دانشگاه تربیت مدرس) با دامنه طول موج‌های مرئی مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی ۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر برداشته شد (۴۶) (شکل ۲).

نمونه برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی: به روش تصادفی طبقه‌بندی شده (بر اساس کلاس‌های ۰-۲، ۲-۴ و بیش‌تر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر) محل ۱۰۰ نقطه در منطقه قروه استان کردستان انتخاب شده و سپس نمونه برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری صورت گرفت (شکل ۱). نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، هدایت الکتریکی آن‌ها در عصاره اشباع به وسیله هدایت‌سنج (۳۸) اندازه‌گیری شد. طیف‌سنجی خاک: تهیه منحنی بازتاب پدیده‌های مورد نظر در محدوده‌ای از طول موج‌های مشخص را طیف‌سنجی گویند که در آن انرژی الکترومغناطیسی

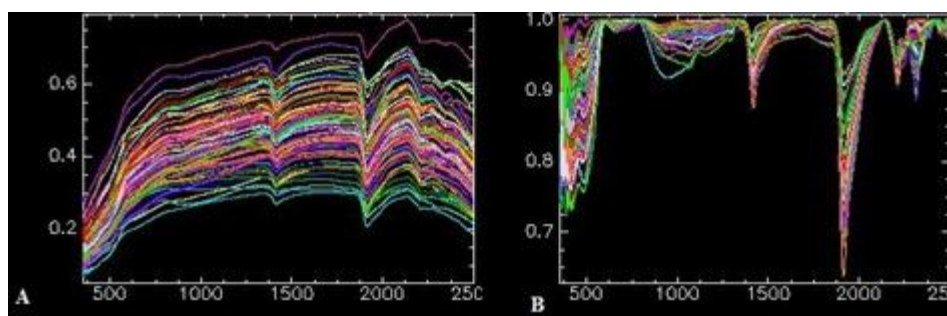


شکل ۲- دستگاه طیف‌سنج زمینی استفاده شده در این مطالعه (مدل FieldSpec®3, ASD, FR, USA).

Figure 2. Applied field spectrometer of the study (model of FieldSpec®3, ASD, FR, USA).

پیوستار و مشتق اول همراه فیلتر ساویتزکی و گلائی، به‌عنوان بهترین روش پیش‌پردازش داده‌های طیفی شناسایی شدند. منحنی حذف پیوستار، منحنی است که بر اساس خطی محدب و فرضی که دو انتهای یک مشخصه جذب طیفی را به یکدیگر وصل می‌کند، به‌دست می‌آید. بر این اساس مقادیر جذب‌های ناخواسته عوامل مشخص در این منحنی، حذف و یا به کم‌ترین مقدار می‌رسد. در این منحنی‌ها واریانس مطلق حذف و بیشینه‌های جذب بارزتر می‌شوند (۱۰). بنابراین تجزیه و تحلیل حذف پیوستار نوعی نرمال‌سازی منحنی طیفی در دامنه طول‌موج‌های موردنظر است. منحنی‌های حذف پیوستار با استفاده از نرم‌افزار ENVI 4.8 و بهره‌گیری از رابطه زیر محاسبه شدند:

۶ تکرار برای هر نمونه خاک در نظر گرفته شد که در مجموع ۶۰۰ منحنی طیفی از خاک‌های منطقه ایجاد شد. با استفاده از برنامه View Spec Pro نسخه 6.02.15 از تکرارها میانگین گرفته شد. به‌منظور حذف آشفتگی در طیف‌های خاک و ارتقای کیفیت داده‌ها، روش‌های مختلف پیش‌پردازش بر روی داده‌های طیفی با استفاده از نرم‌افزار ParleS 3.1 انجام شد. لازم به ذکر است که در این مطالعه انواع مختلف روش‌های پیش‌پردازش فیلتر میانه، فیلتر ساویتزکی و گلائی (Savitzky - Golay)، نرمال‌سازی بر اساس میانگین، متغیر نرمال استاندارد^۱ (SNV)، تصحیح پخشیده چندگانه^۲ (MSC)، مشتق اول همراه فیلتر ساویتزکی و گلائی و مشتق دوم به‌همراه فیلتر ساویتزکی و گلائی مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس نتایج روش اعتبارسنجی متقابل، منحنی‌های حذف



شکل ۳- انعکاس طیفی خام (الف) و حذف پیوستار (ب) خاک‌های نمونه‌برداری شده.

Figure 3. Raw (a) and continuum removed (b) spectral reflectance of sampled soils.

الکترومغناطیسی دوار را در خاک زیرین خود القاء می‌کند. اندازه هر یک از این حلقه‌های جریان به‌طور مستقیم متناسب با هدایت الکتریکی خاک اطراف آن حلقه می‌باشد. هر یک از این حلقه‌های جریان یک میدان الکترومغناطیسی ثانویه ایجاد می‌نمایند که اندازه این میدان وابسته به مقدار جریانی است که در بین این حلقه‌ها وجود دارد. بخشی از این میدان الکترومغناطیسی ثانویه در اطراف هر حلقه، توسط

القاهر الکترومغناطیسی EM38: این دستگاه از اصول القای الکترومغناطیسی استفاده کرده و می‌تواند قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری یک حجم مشخص از خاک را اندازه‌گیری نماید. دستگاه EM38 در درون خود دارای یک سیم پیچ فرستنده امواج الکترومغناطیسی در یک طرف و یک سیم پیچ گیرنده امواج در طرف دیگر است. سیم پیچ فرستنده حلقه‌هایی از جریان‌های

1- Standard normal variate

2- Multiplicative signal correction

الکترودها با زمین استفاده شود. انجام قرائت با این دستگاه بسیار سریع است. در منطقه مورد مطالعه جهت تخمین هدایت الکتریکی خاک با استفاده از دستگاه EM38 در هر ۱۰۰ نقطه نمونه برداری، قرائت‌ها در دو جهت عمودی و افقی انجام گرفت (شکل ۴). اگر بین خود متغیرهای مستقل وابستگی خطی قوی مشاهده شود، هم‌راستایی چندگانه به وجود می‌آید (۱۳) بنابراین به دلیل هم‌راستا بودن قرائت‌های افقی و عمودی از قرائت عمودی به دلیل همبستگی خطی بیش‌تر با هدایت الکتریکی جهت تخمین هدایت الکتریکی در نهایت استفاده شد.

سیم‌پیچ گیرنده دستگاه دریافت می‌گردد. تمامی سیگنال‌های دریافت شده پس از تقویت‌شدن به یک ولتاژ خروجی تبدیل و بر روی نمایش‌گر دستگاه مشاهده می‌گردند. ولتاژ خروجی دستگاه به صورت خطی وابسته به مقادیر هدایت الکتریکی خاک می‌باشد. دستگاه مورد استفاده در این پژوهش از نوع EM38 و ساخت شرکت ژئونیکس کانادا است (موجود در مرکز ملی تحقیقات شوری یزد) که دارای طولی حدود یک متر بوده و با حدود ۲/۵ کیلوگرم وزن، یک دستگاه کوچک و سبک محسوب می‌گردد. دستگاه مورد نظر طوری طراحی شده که می‌تواند در سطوح وسیع با سرعت بالا و بدون نیاز به تماس



شکل ۴- القاگر الکترومغناطیس استفاده شده در این مطالعه (EM38).

Figure 4. Applied electromagnetic induction of the study (EM38).

گیاهی نرمال شده (NDVI)، شاخص روشنایی (BI)، شاخص شوری (SI) نیز با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS از ترکیب باندها محاسبه گردید (رابطه‌های ۱، ۲ و ۳). در هر ۱۰۰ نقطه نمونه برداری اعداد رقومی مربوط به تمام باندهای اصلی تصاویر ماهواره‌ای، شاخص NDVI شاخص روشنایی (BI) و شاخص شوری با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS استخراج گردید.

سنجش از دور: در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ با سنجنده ETM⁺ استفاده گردید. تصاویر این سنجنده مربوط به سال ۱۳۹۵ می‌باشد. این تصاویر از باندهای (باند ۱: ۰/۴۵-۰/۵۲ میکرومتر، باند ۲: ۰/۵۲-۰/۶۰ میکرومتر، باند ۳: ۰/۶۳-۰/۶۹ میکرومتر، باند ۴: ۰/۷۶-۰/۹۰ میکرومتر، باند ۵: ۱/۵۵-۱/۷۵ میکرومتر، باند ۷: ۲/۰۸-۲/۳۵ میکرومتر) تشکیل شده است. همچنین شاخص‌های هم‌چون شاخص پوشش

$$NDVI = \frac{ShortwaveIR1 - NIR}{Shortwave1 + NIR} \quad (1)$$

$$SI = \frac{Red - NIR}{RED + NIR} \quad (2)$$

$$BI = \sqrt{Red^2 + NIR^2} \quad (3)$$

به‌طور جداگانه و به صورت تلفیق سه روش با هم استفاده شد.

ارزیابی روش‌ها: به‌منظور ارزیابی عملکرد روش‌های طیف‌سنجی، القاء‌گر الکترومغناطیس، سنسجش از دور و ترکیب سه روش و مدل شبکه عصبی مصنوعی، اعتبارسنجی به روش حذف یک داده و پیش‌بینی آن (برای تمام نمونه‌ها) انجام گرفت. در شرایطی که زمان و بودجه کافی برای برداشت نمونه احتمالی وجود ندارد، بهترین گزینه اعتبارسنجی به روش حذف داده است (۸). در هر تکرار، مدل برای موقعیت حذف شده اجرا می‌گردد و متغیر حذف شده پیش‌بینی می‌گردد. پس از تعیین مدل مناسب با استفاده از محاسبه پارامترهای ضریب تبیین (R^2)، میانگین خطا (ME) و مجدور میانگین مربعات خطا (RMSE) اعتبارسنجی شد.

$$R^2 = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2(y-\bar{y})^2}} \quad (5)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_0 - Z_p)^2 \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_0 - Z_p)^2} \quad (7)$$

میانگین شوری خاک در منطقه نشان‌دهنده شوری کم تا زیاد در منطقه مورد بررسی است. بیش‌ترین مقدار آن نیز در مرکز، جنوب و جنوب‌غربی منطقه مطالعاتی (عمدتاً شوره‌زارهای بدون پوشش) و کم‌ترین مقدار در شمال‌غربی، جنوب‌شرقی، شمال‌شرقی و شمال منطقه مطالعاتی (عمدتاً بلندی‌های با پوشش مرتعی) مشاهده شد.

برای تعیین مهمترین پارامترهای موثر سنسجش از دور جهت پیش‌بینی شوری خاک از تست آنالیز حساسیت استفاده شد.

مدل‌سازی: در این پژوهش از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه با یک لایه مخفی دارای تابع فعال‌سازی سیگموئید و تابع فعال‌سازی خطی در لایه خروجی استفاده گردید. تعداد نرون‌های شبکه نیز از دو تا ۱۰ نرون متغیر بوده و بهترین تعداد نرون‌ها نیز به‌صورت سعی و خطا تعیین شد. همچنین به‌علت کارایی، سادگی و سرعت بالا در این پژوهش الگوریتم آموزشی لونبرگ مارکوارت استفاده شد. در پژوهش حاضر از نرم‌افزار Matlab برای ساختن شبکه عصبی مصنوعی و پیش‌بینی هدایت الکتریکی خاک با استفاده از داده‌های طیفی خاک، القای الکترومغناطیسی (قرائت عمودی) و سنسجش از دور

که در آن‌ها، Z_0 مقادیر پیش‌بینی‌شده، Z_p مقادیر مشاهداتی، n تعداد داده‌ها، x و y به‌ترتیب مقادیر مطلق مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده، \bar{x} و \bar{y} به‌ترتیب مقدار متوسط مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده است.

نتایج و بحث

در جدول ۱ خلاصه ویژگی‌های آماری هدایت الکتریکی خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری آمده است.

جدول ۱- پارامترهای آماری مربوط به هدایت الکتریکی خاک.

Table 1. Statistic parameters of soil electrical conductivity.

| کشیدگی Kurtosis | چولگی Skewness | میانگین Mean | حداکثر Maximum | حداقل Minimum | ویژگی Characteristic |
|--------------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|--|
| -0.59 | 4.23 | 1.43 | 14.83 | 0.23 | هدایت الکتریکی خاک (دسی‌زیمنس بر متر) Soil electrical conductivity (dSm ⁻¹) |

الکتریکی خاک به ترتیب با استفاده از روش‌های طیف‌سنجی، القاءگر الکترومغناطیس، سنسجش از دور و تلفیق سه روش با هم می‌باشد (جدول ۲). در طراحی شبکه عصبی طراحی نوع خاصی از معادلات لازم نیست و با ایجاد رابطه‌ای مناسب بین داده‌های ورودی و خروجی می‌توان به نتایج مناسبی دست یافت.

تقی‌زاده و همکاران (۲۰۱۳) از مدل شبکه عصبی مصنوعی در تخمین شوری خاک در دو عمق ۳۰- و ۱۰۰ سانتی‌متری در شهرستان اردکان استفاده کردند و مقادیر ریشه مربعات خطا، خطای استاندارد نسبی، میانگین خطا و ضریب تبیین را در عمق ۳۰- سانتی‌متری به ترتیب ۶۷/۳۶، ۰/۵، ۶/۱۹ و ۰/۶۸ و در عمق ۱۰۰- سانتی‌متری ۳۲/۵۲، ۰/۵۸، ۹/۶۲- و ۰/۷ گزارش کردند (۴۰). اکرم‌خان و وک (۲۰۱۲) هم از مدل شبکه عصبی مصنوعی جهت تخمین شوری خاک در منطقه‌ای به وسعت ۳۰۰۰۰ هکتار در ازبکستان استفاده کردند و مقدار ضریب تبیین ۰/۸۵ را گزارش کردند (۳).

مدل‌سازی: توپولوژی شبکه یک فاکتور اساسی در طراحی شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. زیرا این ساختار بر روی سرعت یادگیری و صحت طبقه‌بندی نهایی تأثیرگذار است. تعداد لایه‌های مخفی و تعداد نرون‌ها از اجزای اصلی شبکه پرسپترون می‌باشد. به جز توپولوژی شبکه عصبی مصنوعی که ذکر شد، تعداد اپوک در مرحله یادگیری بسیار دارای اهمیت می‌باشد.

تعداد نرون‌ها در لایه‌های ورودی و خروجی ثابت بوده و بستگی به تعداد ورودی و خروجی مدل به کار گرفته شده دارد. در اینجا یک لایه مخفی برای ایجاد شبکه پرسپترون مورد استفاده قرار گرفت. تعداد نرون‌های لایه مخفی و همچنین تعداد اپوک در فرآیند آموزش و به صورت سعی و خطا به دست آمدند. در این پژوهش، تعداد نرون ۲ تا ۱۰ و تعداد تکرار ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ مورد آزمایش قرار گرفت. برای تعیین بهترین ترکیب از شاخص ریشه مربعات خطا استفاده شد.

نتایج نشان داد که تعداد نرون ۲، ۶، ۴، ۳ و تکرار ۱۰۰۰ دارای بهترین ترکیب برای پیش‌بینی هدایت

جدول ۲- مقادیر RMSE برای تعداد نرون مختلف در پیش‌بینی هدایت الکتریکی خاک.

Table 2. Contents of Root Mean Square Error of different number of neuron to estimate soil electrical conductivity.

| 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | تعداد نرون Number of neuron |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| 1.60 | 1.70 | 1.56 | 1.42 | 1.14 | 1.35 | 1.37 | 1.40 | 1.50 | القاءگر الکترومغناطیس Electromagnetic induction |
| 1.27 | 1.53 | 1.45 | 1.68 | 1.80 | 0.99 | 1.34 | 1.50 | 0.62 | طیف‌سنجی Spectroscopy |
| 2.88 | 2.90 | 2.50 | 2.50 | 2.10 | 2.95 | 2.09 | 2.90 | 2.10 | سنسجش از دور Remote sensing |
| 1.45 | 1.38 | 1.2 | 0.87 | 1.2 | 0.95 | 1.0 | 0.60 | 1.1 | تلفیق سه روش Combination of three methods |

خیامیم و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی قابلیت روش طیف‌سنجی مرئی- مادون‌قرمز نزدیک جهت پیش‌بینی چند ویژگی شیمیایی خاک‌های استان اصفهان با استفاده از ۲۴۸ نمونه خاک سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) جمع‌آوری شده از ۱۰۷۰۴۵ هکتار، از رگرسیون حداقل مربعات جزئی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقادیر ضرایب تبیین برای ماده آلی، کربنات‌ها و گچ به ترتیب ۰/۶۱، ۰/۴۵ و ۰/۸ بود (۲۴).

کمپر و سامر (۲۰۰۲) با استفاده از روش طیف‌سنجی و مدل شبکه عصبی مصنوعی، عناصر فلزات سنگین شامل آرسنیک، کادمیوم، مس، جیوه، قلع، سرب و روی را تخمین زدند و مقادیر ضریب تبیین ۰/۸۵، ۰/۴۹، ۰/۴۴، ۰/۹۲، ۰/۹۲، ۰/۹۴ و ۰/۲۲ به ترتیب برای آرسنیک، کادمیوم، مس، جیوه، قلع، سرب و روی به دست آوردند (۲۳). سان و همکاران (۲۰۰۶) نیز با استفاده از روش طیف‌سنجی مرئی- مادون‌قرمز نزدیک و مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی ویژگی‌های رطوبت، ماده آلی و نیتروژن کل خاک را برآورد کردند و مقادیر ضریب تبیین ۰/۹۴، ۰/۷۱ و ۰/۶۴ را به ترتیب برای این ویژگی‌ها به دست آوردند (۳۹).

روش القاء‌گر الکترومغناطیس: نتایج مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین خطای کم‌تر و ضریب تبیین به ترتیب معادل ۱/۱۴، ۱/۳۰ و ۰/۶۵ برای تخمین هدایت الکتریکی خاک با استفاده از روش القاء‌گر الکترومغناطیس به دست آمد (جدول ۳). مشکوه و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی دقت دستگاه القاء‌گر الکترومغناطیس (EM38) به منظور پایش شوری خاک در مقایسه با روش متداول استاندارد در دشت یزد- اردکان هم‌زمان با نمونه‌برداری از اعماق مختلف خاک (۰-۱۵، ۱۵-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۱۰۰ سانتی‌متری) قرائت‌های EM38 را به صورت افقی و عمودی

ارزیابی روش‌های تخمین هدایت الکتریکی خاک: بعد از به دست آوردن ساختار بهینه در مرحله آموزش شبکه عصبی مصنوعی که در بالا توضیح داده شد، شبکه آموزش دیده با روش اعتبارسنجی آزمایش کرده تا دقت این مدل برای پیش‌بینی هدایت الکتریکی خاک با استفاده از روش‌های طیف‌سنجی، القاء‌گر الکترومغناطیس و سنجش از دور مشخص شود.

روش طیف‌سنجی: نتایج ریشه مربعات خطا، میانگین خطا و ضریب تبیین برای تخمین هدایت الکتریکی خاک با استفاده از اطلاعات طیفی به دست آمده از روش طیف‌سنجی در جدول ۳ نشان داده شده است. هرچه آماره‌های مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین خطا کم‌تر و ضریب تبیین بیش‌تر باشد کارایی مدل بیش‌تر است. در این روش، نتایج مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین خطا کم‌تر و ضریب تبیین به ترتیب معادل ۰/۶۲، ۰/۲۷ و ۰/۹۴ برای تخمین هدایت الکتریکی خاک به دست آمد.

آلدبا و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از روش طیف‌سنجی در ۹۱ نمونه خاک جمع‌آوری شده از عمق ۰-۵ سانتی‌متری در غرب تگزاس اقدام به تخمین هدایت الکتریکی خاک با استفاده از اطلاعات طیفی روش طیف‌سنجی و دو مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی و رگرسیون برداری پشتیبان نمودند و مقادیر ضریب تبیین و مجذور میانگین مربعات خطا برای دو مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی و رگرسیون بردار پشتیبان به ترتیب برابر با ۰/۹۱ و ۰/۲۵۸ و ۰/۸۹ و ۰/۲۸۶ با استفاده از طیف‌های اصلی گزارش کردند. علاوه بر این آن‌ها بیش‌ترین مقادیر ضریب تبیین و کم‌ترین مجذور میانگین مربعات خطا برای مدل رگرسیون برداری پشتیبان به ترتیب برابر با ۰/۹۵ و ۱/۹۶ با استفاده از طیف‌های حاصل از روش فیلتر ساویتزکی و گلای و مشتق اول گزارش کردند (۲).

برای تخمین هدایت الکتریکی خاک با استفاده از روش سنجش از دور به دست آمد (جدول ۳). دینگ و یو (۲۰۱۴) در چین با استفاده از سنجد TM ماهواره لندست و شاخص‌های استخراج شده از آن (شاخص‌های شوری و NDVI) و روش رگرسیون خطی نقشه شوری خاک را برای دو فصل خشک و مرطوب به دست آورده و ضرایب تبیینی معادل ۰/۴۳ و ۰/۳۹ گزارش کردند (۱۲). گرجی و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و لندست ۵ نقشه شوری خاک را برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۲، ۲۰۰۶، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۵ در منطقه دریاچه توز در ترکیه تهیه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص‌های شوری با شوری در روش رگرسیون خطی دارای ضریب تبیین ۰/۷۱ تا ۰/۸۳ و در روش رگرسیون غیرخطی دارای ضریب تبیین ۰/۸۲ تا ۰/۹۳ بودند (۱۵). سادیرو و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اندست ۷ نقشه شوری خاک را برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ در کالیفرنیا تهیه کرده و ضریب تبیین ۰/۷۵ را گزارش کردند (۳۷).

تلفیق سه روش: نتایج مجذور میانگین مربعات خطا، میانگین خطا و ضریب تبیینی به ترتیب معادل ۰/۶۰، ۰/۳۶ و ۰/۹۵ برای تخمین هدایت الکتریکی خاک با استفاده از تلفیق سه روش طیف‌سنجی، القاءگر الکترومغناطیس و سنجش از دور دست آمد (جدول ۳). آلدابا و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که ترکیب سه روش طیف‌سنجی، سنجش از دور (داده‌های ماهواره‌ای لندست) و XRF جهت تخمین هدایت الکتریکی خاک با استفاده از مدل رگرسیون‌برداری پشتیبان (ضریب تبیین و مجذور میانگین مربعات خطا به ترتیب معادل ۰/۹۱ و ۰/۲۶) نتایج بهتری را در مقایسه با هر یک از روش‌ها به تنهایی دربرداشت (۲).

کردند. این پژوهشگران سپس ارتباط بین قرائت‌های EM38 و هدایت الکتریکی خاک در لایه‌های مختلف به کمک روش رگرسیون خطی کمی کرده و ضریب تبیینی معادل ۰/۷۵ به دست آوردند (۳۰). هوانگ و همکاران (۲۰۱۶) هم از داده‌های حسگرهای EM38 و EM34 و پارامترهای سرزمین جهت پیش‌بینی شوری ناشی از آبیاری در چین استفاده کردند. آنان جهت برقراری ارتباط بین داده‌ها کمکی و شوری خاک مدل را به کار برده و ضریب تبیینی معادل ۰/۷۷ گزارش کردند (۱۸). هوانگ و همکاران (۲۰۱۵) جهت ارزیابی خطرات ناشی از شوری، شوری را با استفاده از داده‌های EM38 و EM34 پیش‌بینی کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که قرائت‌های افقی و عمودی حسگرهای EM38 و EM34 با شوری به ترتیب دارای ضریب تبیین ۰/۴۸ تا ۰/۶۵ و ۰/۵۵ تا ۰/۷۷ می‌باشد (۱۹). رابینت و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از ترکیب داده‌های روش القاءگر الکترومغناطیس و روش انعکاس‌سنج حوزه زمانی اقدام به پیش‌بینی شوری خاک در برزیل کرده و ضرایب تبیین ۰/۶۶ تا ۰/۹۵ را در موقعیت‌ها و کاربری‌های مختلف به دست آوردند (۳۶).

روش سنجش از دور: بر اساس نتایج تست آنالیز حساسیت از میان باندهای اصلی تصویر ماهواره‌ای استفاده‌شده و شاخص‌های استخراج‌شده (شاخص‌های شوری، روشنایی و NDVI)، متغیرهای کمکی شاخص شوری (۴۰ درصد)، شاخص NDVI (۳۰ درصد)، باند ۳ (۱۰ درصد) و باند ۷ (۲۰ درصد) بر روی پیش‌بینی شوری خاک بیش‌ترین تأثیر را داشته و بنابراین این متغیرها در مدل‌سازی جهت تخمین هدایت الکتریکی خاک استفاده شدند (شکل ۵). نتایج مجذور میانگین مربعات خطا، میانگین خطا و ضریب تبیینی به ترتیب معادل ۲/۰۹، ۴/۳۹ و ۰/۴۸

جدول ۳- نتایج مدل برای پیش‌بینی هدایت الکتریکی خاک.

Table 3. Results of models to estimate electrical conductivity.

| میانگین خطا Mean error | ضریب تبیین Determination of coefficient | میانگین ریشه مربعات خطا Root Mean Square Error | |
|---------------------------|--|---|---|
| 1.30 | 0.65 | 1.14 | القاگر الکترومغناطیس Electromagnetic induction |
| 0.37 | 0.94 | 0.62 | طیف‌سنجی Time Domain Reflectometry |
| 4.39 | 0.48 | 2.09 | سنجش از دور Remote sensing |
| 0.36 | 0.95 | 0.60 | تلفیق سه روش Combination of three methods |

دو مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی و رگرسیون برداری پشتیبان جهت ایجاد ارتباط بین داده‌های کمکی به‌دست آمده از این سه روش و داده‌های هدایت الکتریکی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش طیف‌سنجی با پیش‌پردازش فیلتر ساویتزکی-گلای (ضریب تبیین و مجذور میانگین مربعات خطا به‌ترتیب معادل ۰/۹ و ۰/۲۸) در مقایسه با روش XRF (۰/۷۱ و ۰/۴۸۵) و روش سنجش از دور (۰/۴۴ و ۰/۳۸۵) دارای بهترین عملکرد بود (۲).

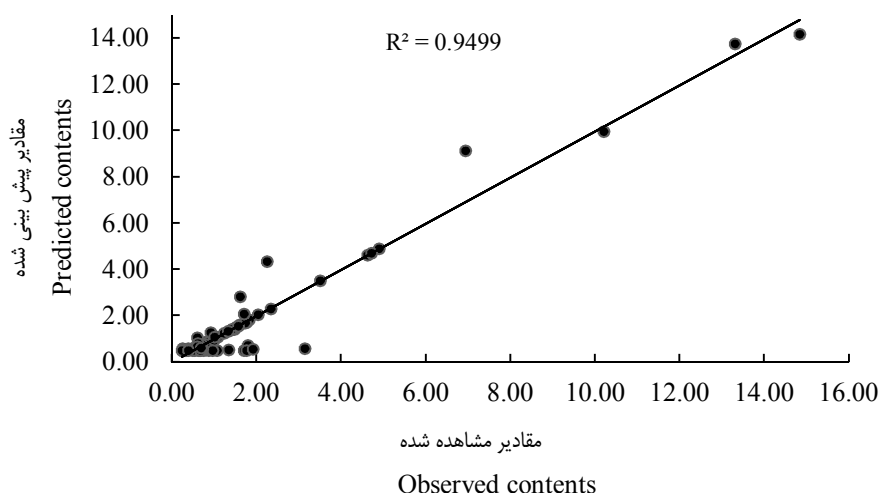
روش القاگر الکترومغناطیس هم دارای عملکرد بهتری در مقایسه با روش سنجش از دور بود. برای تعیین یا پایش شوری خاک در مقیاس و سطوح وسیع، استفاده از دستگاه EM38 روشی سریع، دقیق و کم‌هزینه بوده و در مجموع قابل توصیه است (۳۰ و ۴۰). تقی‌زاده و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از تخمین‌گر کوکریجینگ و داده‌های کمکی به‌دست آمده از دو روش سنجش از دور (سنجنده ETM^+) و روش القاگر الکترومغناطیس نقشه شوری خاک را در منطقه اردکان به وسعت ۷۸۰۰۰ هکتار تهیه کردند. این پژوهشگران نشان دادند که نتایج تخمین‌گر کوکریجینگ با استفاده از داده‌های روش القاگر الکترومغناطیس بهتر از روش سنجش از دور بود

مقایسه روش‌های تخمین هدایت الکتریکی خاک:

بر اساس جدول ۳، کم‌ترین ریشه مربعات خطا (۰/۶۲)، میانگین خطا (۰/۲۷) و بیش‌ترین ضریب تبیین (۰/۹۴) با استفاده از روش طیف‌سنجی مرئی-مادون‌قرمز به‌دست آمد. با توجه به این نتایج، شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از اطلاعات طیفی روش طیف‌سنجی دارای عملکرد بهتری می‌باشد. در شکل ۵ نمودار پراکنش داده‌های پیش‌بینی شده برای مدل شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از اطلاعات طیفی خاک به‌دست آمده از روش طیف‌سنجی مرئی-مادون‌قرمز نزدیک ارائه شده است. با توجه به این شکل، ملاحظه می‌شود بهترین خط برازش شده دارای زاویه‌ای نزدیک به ۴۵ درجه بوده که نشان‌دهنده دقت بالای برآورد توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از اطلاعات طیفی خاک می‌باشد. روش طیفی روشی غیرمخرب و سریع است که در صورت توسعه آن، از طریق دورکاوی ماهواره‌ای، پتانسیل استفاده در مقیاس‌های بزرگ را دارد و می‌تواند تغییرپذیری زمانی ویژگی‌های خاک را نیز مد نظر قرار دهد (۶). آلدابا و همکاران (۲۰۱۵) سه روش طیف‌سنجی، سنجش از دور (داده‌های ماهواره‌ای لندست) و XRF را جهت تخمین هدایت الکتریکی خاک مقایسه کردند. آن‌ها از

شود (۶). علاوه بر این در روش سنجش از دور طول موج‌های مهم، که در حقیقت متغیرهای مؤثر تخمین‌گر طی فرایند تخمین‌اند، به‌طور دقیق شناسایی نشده‌اند.

(۴۳). در روش سنجش از دور سنجنده‌های ماهواره‌ای غالباً در گستره ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر از عوارض سطح زمین تصویربرداری می‌کنند و گستره مادون‌قرمز دور نمی‌تواند در تخمین‌های بزرگ مقیاس چندان استفاده



شکل ۵- نتایج مدل شبکه عصبی برای تخمین هدایت الکتریکی خاک با استفاده از طیف‌سنجی خاک.

Figure 5. Results of neural network model to estimate soil electrical conductivity using soil spectroscopy.

مهم‌ترین متغیر کمکی برای پیش‌بینی شوری خاک در منطقه داده‌های طیفی خاک در محدوده مرئی-مادون‌قرمز نزدیک بود. روش القاءگر الکترومغناطیس هم متغیر مناسبی جهت پیش‌بینی شوری خاک بوده و می‌تواند به‌عنوان یک روش ارزان، دقیق و سریع برای پیش‌بینی شوری خاک توصیه شود. تلفیق سه روش (طیف‌سنجی مرئی-مادون‌قرمز نزدیک، القاءگر الکترومغناطیس و سنجش از دور) با هم بهترین نتایج جهت تخمین شوری خاک را داشت. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که مدل شبکه عصبی مصنوعی و داده‌های کمکی هم‌چون داده‌های طیفی روش طیف‌سنجی مرئی-مادون‌قرمز نزدیک و القاءگر الکترومغناطیس در مطالعات آینده استفاده شود.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش تخمین شوری خاک با استفاده از روش‌های طیف‌سنجی مرئی-مادون‌قرمز نزدیک، القاءگر الکترومغناطیس و سنجش از دور در ۲۰ کیلومتری شمال‌شرقی شهرستان قروه در استان کردستان در سطحی معادل ۲۶۰۰۰ هکتار مورد ارزیابی قرار گرفت. متغیرهای کمکی در این مطالعه داده‌های طیفی خاک در محدوده مرئی-مادون‌قرمز نزدیک، قرائت‌های روش القاءگر الکترومغناطیس و داده‌های سنجنده ETM⁺ لندست ۸ بودند. جهت ارتباط دادن بین شوری خاک و متغیرهای کمکی به‌دست آمده از این سه روش از مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. بیش‌ترین مقدار شوری خاک در قسمت‌های مرکزی منطقه با واحد فیزیوگرافی اراضی پست و پوشش گیاهی ضعیف می‌باشد.

منابع

1. Abbaszadeh, F., Jalali, V.R., and Jafari, A. 2018. Deriving and validating spectral pedotransfer functions for estimating some soil heavy metal in Vis-NIR range. *J. Soil Manage. Sust. Prod.* 7: 4. 65-80. (In Persian)
2. Aldabaa, A.A.A., Weindorf, D.C., Chakraborty, S., Sharma, A., and Li, B. 2015. Combination of proximal and remote sensing methods for rapid soil salinity quantification. *Geoderma*. 239-240: 34-46.
3. Akramkhanov, A., and Vlek, P.L.G. 2012. The assessment of spatial distribution of soil salinity risk using neural network. *Environmental Monitoring and Assessment*. 184: 2475-2485.
4. Armenta, S., and de la Guardia, M.d. 2014. Vibrational spectroscopy in soil and sediment analysis. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*. 2: 43-52.
5. Babaeian, E., Homae, M., and Norouzi, A.K. 2013. Evaluating Point and Parametric Spectral Transfer Functions for a Prediction of Soil Water Characteristics. *J. Soil Res. (Soil and Water Science)*. 4: 475-490. (In Persian)
6. Babaeian, E., Homae, M., and Norouzi, A.K. 2014. Deriving and validating parametric spectrotransfer functions for estimating soil hydraulic properties in VIS-NIR-SWIR range. *J. Water Soil Cons.* 3: 22-35. (In Persian)
7. Babaeian, E., Homae, M., and Norouzi, A.A. 2015. Evaluating Point and Parametric Spectral Transfer Functions for a Prediction of Soil Water Characteristics. *J. Soil Res. (Soil and Water Science)*. 45: 4. 475-490. (In Persian)
8. Brus, D.J., Kempen, B., and Heuvelink, G.B.M. 2011. Sampling for validation of digital soil maps. *Europ. J. Soil Sci.* 62: 394-407.
9. Chakraborty, S., Weindorf, D.S., Paul, S., Ghosh, B., Li, B., Nasim Ali, M.D., Ghosh, R.K., Ray, D.P., and Majumdar, K. 2015. Diffuse reflectance spectroscopy for monitoring lead in landfill agricultural soils of India. *Geoderma Regional*. 5: 77-85.
10. Curran, P.J., Dungan, J.L., and Peterson, D.L. 2001. Estimating the foliar biochemical concentration of leaves with reflectance spectrometry: testing the Kokaly and Clark methodologies. *Remote Sensing of Environment*. 76: 3. 349-359.
11. Daempanah, R., Haghnia, Gh., Alizadeh, A., and Karimi, A. 2011. Mapping Salinity and Sodicity of Surface Soil by Remote Sensing and Geostatistic Methods in South Side of Mah Valat County. *J. Soil Res. (Soil and Water Science)*. 25: 3. 498-508. (In Persian)
12. Ding, J., and Yu, D. 2014. Monitoring and evaluating spatial variability of soil salinity in dry and wet seasons in the Werigan-Kuqa Oasis, China, using remote sensing and electromagnetic induction instruments. *Geoderma*. 235-236: 316-322.
13. Doolittle, J., and Eric, C.B. 2014. The use of electromagnetic induction techniques in soils studies. *Geoderma*. 223-225: 33-45.
14. Fajardo, M., McBratney, A., and Whelan, B. 2016. Fuzzy clustering of Vis-NIR spectra for the objective recognition of soil morphological horizons in soil profiles. *Geoderma*. 263: 244-253.
15. Gorji, T., Sertel, E., and Tanik, A. 2017. Monitoring soil salinity via remote sensing technology under data scarce conditions: A case study from Turkey. *Ecological Indicators*. 74: 384-391.
16. Guerrero, C., Viscarra Rossel, R.A., and Mouazen, A.M. 2010. Diffuse reflectance spectroscopy in soil science and land resource assessment. *Geoderma*. 158: 1-2.
17. Heung, B., Bulmer, C.E., and Schmidt, M.G. 2014. Predictive soil parent material mapping at a regional-scale: a random forest approach. *Geoderma*. 214-215: 141-154.
18. Heung, J., Prochazka, M.J., and Triantafyllis, J. 2016. Irrigation salinity hazard assessment and risk mapping in the lower Macintyre Valley, Australia. *Science of the Total Environment*. 551-552: 460-473.

19. Heung, J., Subasinghe, R., Malik, R.S., and Triantafylis, J. 2015. Salinity hazard and risk mapping of point source salinisation using proximally sensed electromagnetic instruments. *Computers and Electronics in Agriculture*. 113: 213-224.
20. Jafari, A., Finke, P.A., Van deWauw, J., Ayoubi, S., and Khademi, H. 2012. Spatial prediction of USDA- great soil groups in the arid Zarand region, Iran: comparing logistic regression approaches to predict diagnostic horizons and soil types. *Europ. J. Soil Sci.* 63: 284-309.
21. Jafari, A., Khademi, H., Finke, P., Wauw, J.V.D., and Ayoubi, S. 2014. Spatial prediction of soil great groups by boosted regression trees using a limited point dataset in an arid region, southeastern Iran. *Geoderma*. 232-234: 148-163.
22. Karimi, S., Davari, M., Bahrami, H., Babaeian, E., and Hosini, M. 2016. Estimation of some soil baseline characteristics by near-infrared visible spectroscopy in Kurdistan province. *J. Soil Res. (Soil and Water Science)*. 48: 3. 573-585. (In Persian)
23. Kemper, T., and Sommer, S. 2002. Estimate of Heavy Metal Contamination in Soils after a Mining Accident Using Reflectance Spectroscopy. *Environmental Science & Technology*. 36: 2742-2747.
24. Khayamim, F., Khademi, H., Stenberg, B., and Wetterlin, J.D. 2015. Capability of vis-NIR Spectroscopy to Predict Selected Chemical Soil Properties in Isfahan Province. *J. Soil Res. (Soil and Water Science)*. 19: 72. 81-91. (In Persian)
25. Kodaira, M., and Shibusawa, S. 2013. Using a mobile real-time soil visible-near infrared sensor for high resolution soil property mapping. *Geoderma*. 199: 64-79.
26. Lesch, S.M., Corwin, D.L., and Robinson, D.A. 2005. Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils. *Computers and Electronics in Agriculture*. 46: 351-378.
27. Luce, M.S., Ziadi, N., Zebarth, B.J., Grant, C.A., Tremblay, G.F., and Gregorich, E.G. 2014. Rapid determination of soil organic matter quality indicators using visible near infrared reflectance spectroscopy. *Geoderma*. 232-234: 449-458.
28. McBratney, A.B., Santos, M.L.M., and Minasny, B. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*. 117: 3-52.
29. McNeill, J.D. 1980. Electromagnetic terrain conductivity measurements at low induction numbers. Technical note TN-5 Geonics Ltd. Mississauga, Ontario, Canada. 15p.
30. Meshkat, M.A., Rahimian, M.H., and Taghizadeh-Mehrjardi, R.H. 2013. Investigation of EM38 accurasy for monitoring of soil salinity and its comparing with traditional method (Case study: Yazd-Ardakan plain). *Arid Biom. Sci. Res. J.* 3: 2. 73-82. (In Persian)
31. Minasny, B., and McBratney, A.B. 2002. The method for fitting neural network parametric pedotransfer functions. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 66: 2. 352-361.
32. Namdar Khojasteh, D., Shorafa, M., and Fazeli, M. 2011. The effects of amount and type of clay minerals on soil dielectric constant for measuring water content with Time Domain Reflectometry. *J. Water Soil Cons.* 18: 3. 85-100. (In Persian)
33. Pahlavan-Rad, M.R., Toomanian, N., Khormali, F., Brungard, C.W., Komaki, C.B., and Bogaert, P. 2014. Updating soil survey maps using random forest and conditioned Latin hypercube sampling in the loess derived soils of northern Iran. *Geoderma*. 232-234: 97-106.
34. Prevolnik, M., Skrlep, M., Janes, L., Velikonja-Bolta, S., Skorjanc, D., and Candek-Potokar, M. 2011. Accuracy of near infrared spectroscopy for prediction of chemical composition, salt content and free amino acids in dry-cured ham. *Meat Science*. 88: 299-304.

35. Rahimian, M.H., and Hasheminejad, I. 2009. Calibration of Electromagnetic induction (EM 38) to validate soil salinity. *J. Soil Res. (Soil and Water Science)*. 3: 24. 224-252. (In Persian)
36. Robinet, J., Hebel, C.V., Govers, G., Kruk, J.V.D., Minella, G.P.G., Schlesner, A., Ameijeiras-Marino, Y., and Vanderborght, J. 2018. Spatial variability of soil water content and soil electrical conductivity across scales derived from Electromagnetic Induction and Time Domain Reflectometry. *Geoderma*. 314: 160-174.
37. Scudiero, E., Skaggs, T.H., and Corwin, D.L. 2016. Comparative regional-scale soil salinity assessment with near-ground apparent electrical conductivity and remote sensing canopy reflectance. *Ecological Indicators*. 70: 276-284.
38. Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Leppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, G.T., and Summer, M.E. 1996. *Methods of Soil Analysis*. Soil Science Society of American, Madison, Wisconsin.
39. Sun, J.Y., Li, M.Z., Zheng, L.H., Hu, Y.G., and Zhang, X.J. 2006. Real-time analysis of soil moisture, soil organic matter, and soil total nitrogen with NIR spectra. *Spectroscopy and Spectral Analysis*. 26: 3. 426-429.
40. Taghizadeh-Mehrjardi, R., Sarmadian, F., Savaghebi, G.H., Omid, M., Tomanian, N., Rosta, M.J., and Rahimian, M.H. 2013. The Comparison of efficiency of Neuro-Fuzzy, Genetic Algorithm, Neural Network and Multivariate Regression models to prediction of soil salinity (Case study; Ardakan). *J. Range Water. Iran. J. Natur. Resour.* 66:2. 207-222. (In Persian)
41. Taghizadeh-Mehrjardi, R., Minasny, B., Sarmadian, F., and Malone, B.P. 2014. Digital mapping of soil salinity in Ardakan region, central Iran. *Geoderma*. 213: 15-28.
42. Taghizadeh-Mehrjardi, R., Nabiollahi, K., and Kerry, R. 2016. Digital mapping of soil organic carbon at multiple depths using different data mining techniques in Baneh region, Iran. *Geoderma*. 253-254: 67-77.
43. Taghizadeh-Mehrjardi, R., Sarmadian, F., Omid, M., Savaghebi, Gh., Rousta, M.J., and Rahimian, M.H. 2011. Mapping of Soil Salinity Using Geostatistic and Electromagnetic Induction Methods in Ardakan. *J. Soil Res. (Soil and Water Science)*. 4: 26. 370-380. (In Persian)
44. Triantafilis, J., Laslett, G.M., and Mcbratney, A.B. 2000. Calibrating an electromagnetic induction instrument to measure salinity in soil under irrigated cotton. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 64: 1009-1017.
45. Triantafilis, J., and Lesch, S.M. 2005. Mapping clay content variation using electromagnetic induction techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*. 46: 203-237.
46. Triantafilis, J., Odeh, I.O.A., and McBratney, A.B. 2001. Five Geostatistical Models to Predict Soil Salinity from Electromagnetic Induction Data across Irrigated Cotton. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 65: 869-878.
47. Triantafilis, J., and Santos, F.A. 2009. Dimensional soil and vadose-zone representation using an EM38 and EM34 and a laterally constrained inversion model. *Austr. J. Soil Res.* 47: 809-920.
48. Vasques, G.M., Dematte, J.A.M., Viscarra Rossel, R.A., Ramirez-Lopez, L., and Terra, F.S. 2014. Soil classification using visible/near-infrared diffuse reflectance spectra from multiple depths. *Geoderma*. 223-225: 73-78.
49. Walter, C., and McBratney, A.B. 2001. Spatial predication of topsoil salinity in the Chelif Valley, Algeria, using local ordinary kriging with local variograms versus whole-area variogram. *Austr. J. Soil Res.* 39: 248-259.
50. Wu, W., Mhaimed, A.S., Al-Shafie, W.M., Ziadat, F., Dhehibi, B., Nangia, V., and Pauw, E.D. 2014. Mapping soil salinity changes using remote sensing in Central Iraq. *Geoderma Regional*. 2-3: 21-31.



Comparison of estimation of soil salinity using spectroscopy, electromagnetic induction and remote sensing

***K. Nabiollahi¹, K. Azizi² and M. Davari¹**

¹Assistant Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, University of Kurdistan,

²M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Kurdistan

Received: 01.24.2018; Accepted: 10.15.2018

Abstract

Background and Objectives: Soil salinity is one of the most important soil properties and its variability investigation is essential to crop management, land degradation and environmental studies. Soil salinity is measured using electrical conductivity (EC) and estimation of soil salinity contents using experimental methods is expensive and time consuming. Therefore, the collection of information on the spatial distribution of soil salinity in vast areas requires new inexpensive techniques. Recently, new techniques such as electromagnetic induction, visible - near infrared spectroscopy and remote sensing were applied to measure soil salinity. The purpose of this study is the estimation of soil salinity using visible- near infrared spectroscopy, electromagnetic induction and remote sensing methods.

Materials and Methods: The study area is located 20 km northeast of Ghorveh city in Kurdistan Province and covers a surface of 26000 hectares. 100 soil samples (0-30 cm depth) were collected and soil electrical conductivity was measured in a saturated extract. Applied auxiliary data in this study were spectral information of visible - near infrared spectroscopy method, reading of electromagnetic induction method and ETM+ data of Landsat 8. In the 100 sampling sites, horizontal and vertical readings were read using EM38 and salinity index (SI) and normalized difference vegetative index (NDVI), bright index and Bands 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 7 were computed and extracted using Landsat 8 ETM+ data and Arc GIS software. Moreover, 100 samples were scanned using spectrometer (model of FieldSpec®3, ASD, FR, USA) with a spectral range of 350 to 2500 nm. To make a relationship between soil salinity and auxiliary data of the three methods, artificial neural network (ANN) model were applied. Finally, soil salinity was estimated using ANN and were validated using cross validation method.

Results: Soil salinity contents were low to high (0.23 to 14.47 dSm⁻¹). The highest contents of soil salinity were observed in central regions (low and bare land) and the lowest contents of soil salinity were located in high and range land. Based on sensitive analysis of artificial neural network model, in remote sensing methods salinity index, NDVI index, band 7 and band 3 were the most variables to predict soil salinity. In general, the results showed the most important auxiliary variables to predict soil salinity were spectral information of visible - near infrared range, vertical reading and remote sensing data, respectively. Soil visible - near infrared spectroscopy method to predict soil salinity had 0.94, 0.27 and 0.64, respectively for determination of coefficient (R²), mean error (ME) and root mean square root (RMSE) and was better compared to the electromagnetic induction, remote sensing although combination of three methods together had the best results to estimate soil salinity.

* Corresponding Author; Email: k.nabiollahi@uok.ac.ir

Conclusion: The most important auxiliary data to predict soil salinity in the study area was spectral information of visible - near infrared range. Electromagnetic induction method also is suitable auxiliary data to predict soil salinity and it can be recommended as fast, accurate and cheap method to predict soil salinity. Combination of three methods together (electromagnetic induction, visible - near infrared spectroscopy and remote sensing) had the best results to estimate soil salinity. Therefore, it is suggested to predict soil salinity, ANN model and auxiliary data such as spectral information of visible - near infrared spectroscopy method and electromagnetic induction will be applied in the future studies.

Keywords: Artificial neural network, EM38, Salinity index, Spectral range of visible - near infrared

