

## کاربرد شبکه عصبی GMDH در پایش شوری خاک دشت ساوه با استفاده از شاخص‌های طیفی و توپوگرافی

وحید حبیبی اربطانی<sup>۱</sup>، محمود اکبری<sup>۲\*</sup>، زهره مقدم<sup>۳</sup> و امیرمهدی بیات<sup>۴</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۱۲)

### چکیده

در سال‌های اخیر از روش‌های غیرمستقیم نظیر سنجش از دور و داده‌کاوی برای برآورد شوری خاک زمین‌های کشاورزی استفاده می‌شود. در این تحقیق، هدایت الکتریکی ۹۴ نمونه خاک از ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر با استفاده از تکنیک ابرمکعب در دشت ساوه، اندازه‌گیری شد. تعداد ۲۳ نوع داده ورودی در قالب دو دسته توپوگرافی و طیفی استفاده شدند. پارامترهای سطح زمین مانند شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI)، شاخص طبقه‌بندی زمین برای مناطق پست (TCI)، شاخص قدرت جریان (STP)، مدل رقومی ارتفاع (DEM) و طول شیب (LS) با استفاده از نرم‌افزارهای Arc-GIS و SAGA به‌عنوان ورودی‌های توپوگرافی لحاظ شدند. همچنین شاخص‌های مکانی شوری و پوشش گیاهی از تصاویر لندست ۸ استخراج شدند و به‌عنوان ورودی‌های طیفی در نظر گرفته شدند. به‌منظور مدل‌سازی شوری از شبکه عصبی GMDH با نسبت ۷۰ درصد برای آموزش و ۳۰ درصد برای صحت‌سنجی استفاده شد. نتایج اندازه‌گیری نشان داد مقادیر شوری خاک بین ۰/۱ تا ۱۸ با میانگین ۵ و انحراف معیار ۴/۷ دسی‌زیمنس بر متر بودند. نتایج مدل‌سازی نیز نشان داد پارامترهای آماری  $R^2$ ، MBE و NRMSE در مرحله آموزش به ترتیب ۰/۸۰، ۰/۰۶ و ۴۲/۱ درصد بودند. همین مقادیر در مرحله صحت‌سنجی به ترتیب ۰/۷۹، ۰/۱۳ و ۴۸/۷ درصد بودند. بنابراین استفاده از شاخص‌های طیفی، توپوگرافی و شبکه عصبی GMDH، در مدل‌سازی شوری خاک، کارایی مناسبی دارد.

واژه‌های کلیدی: تکنیک ابرمکعب، شاخص پوشش گیاهی، شاخص رطوبت توپوگرافیک، لندست ۸، مدل رقومی ارتفاع.

۱. گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران

۳. گروه محیط زیست، دانشگاه پیام نور استان تهران، تهران، ایران

۴. گروه مهندسی آب، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m-akbarii@araku.ac.ir

## مقدمه

شوری خاک یکی از فاکتورهای ارزیابی بیابان‌زایی و تخریب اراضی است که باعث تأثیرات مخربی بر محیط زیست و مسائل اقتصادی اجتماعی جوامع انسانی مرتبط با آن اراضی می‌شود. شوری خاک در حقیقت یک چالش زیست‌محیطی در مقیاس جهانی است و باعث توجه کارشناسان و پژوهشگران بسیاری شده است. شوری خاک باعث کاهش کیفیت خاک در اراضی زراعی، باغی و چراگاه‌ها می‌شود که نتیجه آن، کاهش توان تولیدی این اراضی است؛ به طوری که با تأثیر بر عملکرد فیزیولوژیکی و اختلال در جذب عناصر غذایی توسط ریشه، امکان رشد مناسب گیاه کاهش یافته و با ادامه روند شوری‌زایی، زوال پوشش گیاهی تشدید خواهد شد (۱). در برخی از منابع، اراضی تحت تأثیر شوری اولیه یا ذاتی، ۱۰۰۰ میلیون هکتار (۷ درصد خشکی‌های دنیا) تخمین زده شده و اراضی تحت تأثیر شوری ثانویه که متأثر از سوء مدیریت اراضی و فعالیت‌های غیرمنطبق با فاکتورهای اکولوژیک است، هفت میلیون هکتار اعلام شده است (۱۴). با پایش مداوم و مناسب شوری، می‌توان بروز ناهنجاری‌ها را دریافت و نسبت به اصلاح فرایندها، دستورالعمل‌ها و فعالیت‌های اجرایی اقدام کرد. برنامه پایش شوری، علاوه بر آنکه در برنامه‌ریزی و هدف‌گذاری طرح‌های مدیریت اکوسیستم مؤثر است، امکان پایش‌بینی تخریب اراضی را به کارشناسان و بهره‌برداران داده و در نتیجه، منجر به تغییر الگوی مدیریتی و استفاده از اراضی خواهد شد.

پایش سنتی خصوصیات خاک، باعث افزایش هزینه‌های پروژه و اتلاف زمان می‌شود. از طرفی در عرصه‌های وسیع با کاربری‌های مختلف، نیازمند استفاده از نیروی متخصص متعدد است که این امر خود باعث افزایش بار مالی پروژه‌ها خواهد شد (۴). امروزه استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، علاوه بر افزایش سرعت پایش، موجب کاهش هزینه‌های بالاسری پروژه شده و در صورت به‌کارگیری داده‌های با دقت مناسب، می‌توان انتظار استخراج اطلاعات با سرعت بالا و حجم بیشتر را داشت. از طرفی به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای به دلیل امکان پردازش،

تجزیه و تحلیل سریع و قابلیت یکپارچگی با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، باعث توجه بیش از پیش کارشناسان شده است. داده‌های لندست ۸ با دارا بودن خصوصیات چون باندهای متعدد طیفی و فراطیفی، فعال بودن در حال حاضر، مستمر بودن تصویربرداری، سهل‌الوصول بودن و پوشش سطح به‌نسبت وسیعی در هر فریم تصویربرداری، امکان به‌کارگیری را در پروژه‌های علوم زمین فراهم کرده است. در سال‌های اخیر، پژوهشگران زیادی از داده‌های این ماهواره برای پایش خصوصیات خاک پوشش و در مجموع، علوم زمین بهره‌جستند. استفاده از داده‌های لندست برای ارزیابی و پایش شوری خاک سابقه‌ای چندین ساله دارد (۶).

استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به‌تنهایی نمی‌تواند نیازهای کارشناسان را در تخمین و پایش‌بینی شوری خاک برآورده کند. لذا کارشناسان با به‌کارگیری مدل‌ها و الگوریتم‌های مختلف نسبت به افزایش صحت و دقت نقشه‌های تهیه شده اقدام می‌کنند. مدل‌ها و الگوریتم‌های خطی و غیرخطی می‌توانند در بهبود فرایند پایش‌بینی مفید باشند (۷). مطالعات مختلفی در خصوص به‌کارگیری الگوریتم‌ها در تهیه نقشه‌های شوری خاک، علوم زمین و منابع محیطی صورت پذیرفته است. در مدل‌سازی شوری خاک، برای مثال می‌توان به‌کارگیری انواع رگرسیون‌ها (۵)، شبکه‌های عصبی مصنوعی (۱۲) و یادگیری عمیق (۱۰) اشاره کرد. علاوه بر الگوریتم‌ها، شاخص‌های طیفی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای نیز در راستای بهبود مدل‌ها نقش بسزایی داشته‌اند (۱۳).

در مطالعه‌ای به‌منظور شناسایی و ارزیابی شوری خاک در استان‌های واقع در مناطق خشک بوشهر، سمنان، فارس، کرمان و هرمزگان از تلفیق تصاویر ماهواره لندست ۸ و برخی از شاخص‌های طیفی حاصل از آن شامل شاخص شوری نرمال شده خاک، رطوبت نرمال، پوشش گیاهی نرمال، پوشش گیاهی اصلاح شده خاک، انتقال طیفی و مدل‌های آماری استفاده شد. پس از ارزیابی دقت روابط آماری ارائه شده با استفاده از نقاط آزمون، بهترین رابطه برای مناطق مطالعاتی انتخاب شده و

## مواد و روش ها

### محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه با مساحتی در حدود ۳۵۰۴ کیلومتر مربع در دشت ساوه و مابین استان‌های قم و مرکزی قرار گرفته است. حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا به ترتیب ۸۳۷ و ۱۰۰۰ متر است. حداقل بارش دشت در قسمت شرق و جنوب شرق ۱۳۸ میلی‌متر و حداکثر آن در بخش غربی با ۱۷۵ میلی‌متر در سال است. محدوده مورد مطالعه با توجه به نمودار آمبروترمیک تقریباً ۸ ماه از سال را خشک است. لذا برای کشاورزی، وابسته به آب زیرزمینی است. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه و نقاط برداشت شده را نشان می‌دهد.

### نمونه برداری خاک

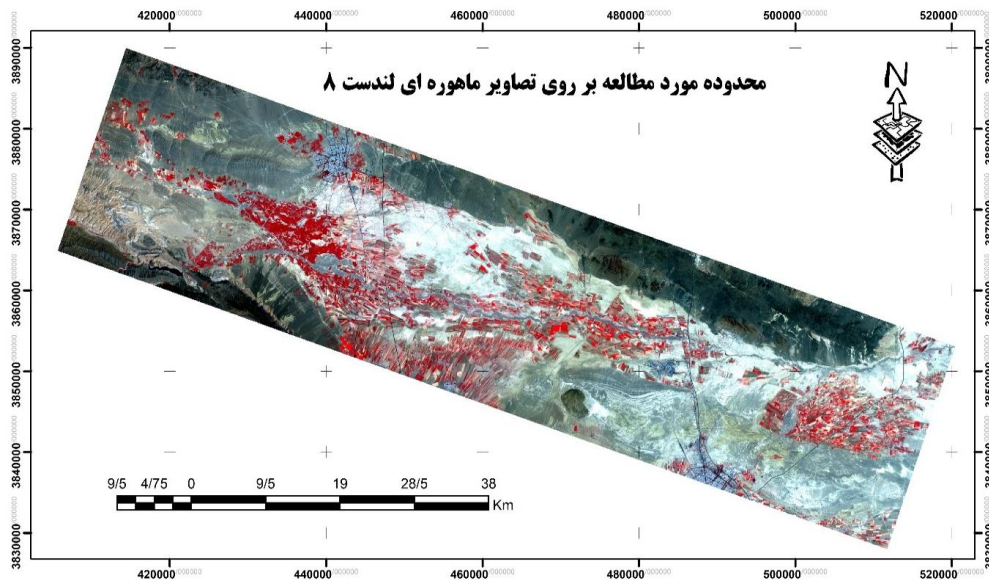
نمونه برداری فرایندی است که هدف از اجرای آن، به دست آوردن داده برای مقاصد ماند برآورد پارامترهای جامعه یا پیشگویی در زمان یا مکان‌های بدون مشاهده است. با توجه به محدودیت‌های مالی، زمانی و منابع در دسترس، راهبرد نمونه برداری مؤثر، یکی از مسائل هر متخصص در منابع طبیعی و علوم زمین به‌شمار می‌رود. به‌منظور رسیدن به حداکثر واریانس (تغییرپذیری حداکثر متغیرهای کمکی) و کاهش تعداد نمونه‌ها، روش آبرمکعب لاتین به‌عنوان یک راهبرد نمونه برداری مورد استفاده قرار گرفت. روش آبرمکعب لاتین یک روش نمونه برداری تصادفی طبقه‌بندی است که در آن نمونه مورد نظر از توزیع چندمتغیره کمیت‌های مورد مطالعه استخراج می‌شود. در این شیوه، یک پوشش کامل از دامنه تغییرات هر یک از متغیرها بر اساس طبقه‌بندی حداکثری توزیع‌های حاشیه‌ای حاصل می‌شود.

### شبکه عصبی GMDH

روش دسته‌بندی گروهی داده‌های عددی (Group Method of Data Handling, GMDH)، یک فرایند منظم برای غلبه بر ضعف‌های آماری و شبکه‌های عصبی است (۸). در الگوریتم

نقشه شوری تهیه شد. نتایج نشان داد که به‌طور کلی بین EC خاک با شاخص‌های طیفی، رابطه معناداری وجود دارد (۹). در مطالعه‌ای دیگر، تعداد ۱۰۰ نمونه خاک از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک، با فاصله ۱۰۰۰ متری در محدوده‌ای به وسعت ۱۰ هزار هکتار در جنوب بغداد برداشت شد و به بررسی همبستگی بین شاخص‌های گیاهی و داده‌های شوری خاک پرداخته شد. با توجه به نتایج، بیان شد بیشترین میزان همبستگی بین شاخص‌های پوشش گیاهی با داده‌های شوری خاک مربوط به شاخص NDVI است (۳). در پژوهشی دیگر به‌منظور جمع‌بندی و مطالعه همه شاخص‌های شوری مورد استفاده در سنجش از دور، از شاخص‌های طیفی BI، DVI، IPVI، NDSI، SI، SI1، SI2، SI3، SI5، SI6، SIA، SIT استفاده شد و با بررسی همبستگی بین داده‌های به‌دست آمده مشخص شد شاخص NDSI و SIT بیشترین همبستگی را با داده‌های زمینی دارند و برای تهیه نقشه‌های شوری بدون نمونه برداری زمینی بهترین روش به‌شمار می‌روند. همچنین شاخص‌های DVI، IPVI، SI2 کمترین دقت را در بارزسازی شوری داشته‌اند (۱۱).

دشت ساوه از دشت‌های مهم مرکز ایران است که بسیاری از تولیدات کشاورزی و استراتژیک شهرهای مجاور خود را تأمین می‌کند. در سال‌های اخیر، کاهش شدید سطح آب زیرزمینی، افزایش شهرنشینی، صنعتی شدن و ...، تأثیرات اکولوژیکی جبران‌ناپذیری بر پیکره این دشت وارد کرده است. لذا پایش منابع موجود آن مانند خاک برای جلوگیری از مشکلات آبی، ضروری به‌نظر می‌رسد. هدف از این تحقیق ارزیابی دقت و صحت روش شبکه عصبی GMDH، در برآورد و تخمین شوری خاک است. همچنین به‌کارگیری شاخص‌های توپوگرافی علاوه بر شاخص‌های طیفی در تهیه نقشه شوری خاک در دشت ساوه مدنظر است تا بتوان شاخص‌های مناسب را برای تهیه نقشه شوری برای سال‌های آینده در محدوده مطالعاتی شناسایی کرده و شوری خاک را پایش کرد.



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه روی تصویر کاذب رنگی ( FCC5-4-3 ) ماهواره لندست ۸

و نیز حجم و محتوای تابع ریاضی مدل می‌شود. شبکه عصبی GMDH متشکل از تعدادی نرون است که نرون‌های هر لایه به صورت غیرخطی با یکدیگر ترکیب شده و نرون‌های جدیدی را تولید می‌کنند که این نرون‌های جدید، لایه بعدی مدل را تشکیل می‌دهند. در این پژوهش، پارامترهای ورودی‌های مدل، نرون‌های لایه اول را تشکیل می‌دهند و خروجی مدل (نرون لایه آخر) مقادیر شوری خاک بودند. دستگاه معادله ایجاد شده با استفاده از نرم‌افزار Matlab و کد شبکه عصبی نوع GMDH حل شد. در این پژوهش در طراحی شبکه عصبی GMDH، از طراحی تکاملی ساختار شبکه عصبی ED توسط الگوریتم ژنتیک برای همگرایی شبکه‌های عصبی استفاده شد. در روش طراحی تکاملی، محدودیت ناشی از قرار دادن خطا به‌عنوان معیار تعیین ساختار شبکه برداشته می‌شود و برای تمام نرون‌ها شانس یکسانی برای مشارکت در مدل‌سازی در نظر گرفته می‌شود.

**مدل‌سازی شوری لایه عمقی خاک با شبکه عصبی GMDH**  
برای مدل‌سازی داده‌های هدایت الکتریکی خاک، ۷۰ درصد داده‌ها (۶۶ نمونه خاک) به‌طور تصادفی به‌منظور آموزش و ۳۰ درصد داده‌ها (۲۸ نمونه خاک) برای صحت‌سنجی مدل در نظر

GMDH اطلاعات به‌طور مستقیم از داده‌های ورودی به‌دست می‌آید. به‌طوری که ساختار مدل شامل متغیرهای مؤثر ورودی، تعداد لایه‌ها و نرون‌های لایه‌های پنهان و ضرایب بهینه مدل به صورت خودکار بر اساس حداقل‌سازی یک معیار خارجی (برای نمونه شاخص‌های آماری) در حین کامل شدن ساختار تعیین می‌شوند. به‌طور کلی الگوریتم GMDH را از دو دیدگاه مبنای ریاضی و تئوری و تحلیل مدل‌سازی سیستم مورد بحث و بررسی قرار می‌دهند. مبنای ریاضی الگوریتم GMDH بر اساس تجزیه سری توابع ولترا (یک سری برای شبیه‌سازی یک سیستم غیرخطی حافظه‌دار) به چند جمله‌ای‌های دو متغیره درجه دوم پایه‌ریزی شده است:

$$G(X_i, X_j) = a_0 + a_1x_i + a_2x_j + a_3x_i^2 + a_4x_j^2 + a_5x_ix_j \quad (1)$$

که در این رابطه  $G$  تابع تبدیل،  $x$  پارامترهای ورودی و  $a$  ضرایب مجهول معادله هستند. شبکه‌های عصبی GMDH جلوه‌ای از الگوریتم GMDH هستند که به فرم و سبک ساختار شبکه‌ای بیان شده‌اند. به‌طور کلی به‌کار بردن شبکه‌ها در این الگوریتم، باعث ساده‌تر و منطقی شدن و تحلیل مدل‌ها و یا توابع جزئی به روش‌های گوناگون شده که این امر منجر به تنوع در انتخاب مدل بهینه در راستای کاهش میزان خطای مدل

میانگین خطای اریبی (Mean Bias Error, MBE) و ضریب تبیین (Coefficient of Determination, R<sup>2</sup>) به ترتیب برای بررسی مقادیر خطای برآورد، کم یا بیش برآورد و همبستگی بر اساس روابط (۳) تا (۵) بررسی شد:

$$NRMSE = \frac{\left( \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right)^{0.5}}{\bar{O}} \quad (3)$$

$$R^2 = \left( \frac{\sum_{k=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sum_{k=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{k=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \right)^2 \quad (4)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n P_i - O_i}{n} \quad (5)$$

در روابط (۳) تا (۵)، O<sub>i</sub> و P<sub>i</sub> به ترتیب شوری خاک اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده و  $\bar{O}$  و  $\bar{P}$  به ترتیب میانگین شوری خاک اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده در نمونه‌های مختلف و n: تعداد مشاهدات است. بر اساس رابطه (۵)، مقادیر منفی و مثبت MBE به ترتیب نشان‌دهنده کم‌برآورد و بیش‌برآورد در نتایج مدل است. بهترین مقادیر NRMSE، MBE و R<sup>2</sup> در صورت برابر بودن مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری به ترتیب برابر صفر، صفر و یک است (۲).

### نتایج و بحث

در جدول ۲ شاخص‌های آماری ۹۴ سری داده‌های ورودی و خروجی نشان داده شده است. مقادیر آماره‌های R<sup>2</sup>، NRMSE و MBE مدل GMDH در مراحل آموزش، آزمون و کل نیز در جدول ۳ ارائه شده است.

هرچه آماره‌های خطا به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده خطای کمتر مدل نسبت به واقعیت بوده و افزایش ضریب تبیین نشان از کاهش خطا و منطبق بودن مدل بر واقعیت بیرونی است. ضریب تبیین، میانگین خطای اریبی و ریشه میانگین مربعات خطا برای کل داده‌ها به ترتیب برابر با ۰/۷۹، ۰/۰۸ و ۴۳/۹ است که نشان‌دهنده همبستگی مناسب، اندکی بیش‌برآورد و خطای اندک بود. به‌عنوان

گرفته شد. ورود داده‌ها به‌صورت خام موجب کاهش سرعت و دقت مدل می‌شود؛ لذا با استفاده از فرمول زیر داده‌های ورودی بین ۱-۰ نرمالیزه شدند. هدف از این کار یکسان‌سازی اهمیت ورودی‌های مختلف به مدل‌های مورد استفاده بود:

$$Z_n = \frac{(Z - Z_{\min})}{(Z_{\max} - Z_{\min})}$$

در این رابطه Z معرف داده‌های خام، Z<sub>n</sub> داده‌های نرمالیزه شده، Z<sub>max</sub> حداقل داده‌ها و Z<sub>min</sub> حداکثر داده‌هاست.

تعداد ۲۳ نوع پارامتر ورودی مطابق جدول ۱ برای مدل‌سازی شوری خاک استفاده شد. که شامل دو دسته داده هستند. دسته اول (در مجموع ۱۸ نوع ورودی)، متغیرهای طیفی شامل ۶ شاخص طیفی شوری (SI)، شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، ۷ باند سنجنده لندست ۸ که تصحیحات لازم (هندسی و رادیومتریک) بر آنها اعمال شده (B1-B7)، ۳ شاخص طیفی به‌دست آمده از باندهای اصلی سنجنده (PCA1-3) و شاخص درخشندگی (BI) در نظر گرفته شدند. دسته دوم، شاخص‌های توپوگرافی شامل داده‌های حاصل از مدل رقومی ارتفاع و شاخص‌های حاصل از تغییرات توپوگرافی مانند شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI)، شاخص طبقه‌بندی زمین برای مناطق پست (TCI)، شاخص قدرت جریان (STP)، مدل رقومی ارتفاع (DEM) و طول شیب (LS) لحاظ شدند که با استفاده از نرم‌افزارهای Arc-GIS و SAGA به‌دست آمدند.

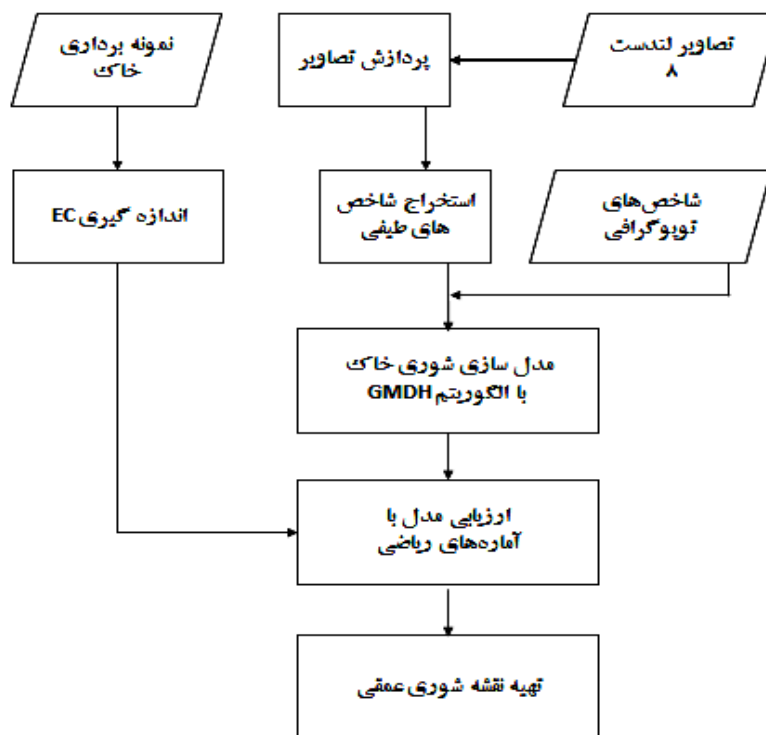
در جدول فوق R، G، B و NIR به ترتیب گویای باندهای طیفی قرمز، سبز، آبی و مادون قرمز سنجنده لندست ۸ است. همچنین در شاخص رطوبت توپوگرافیک، پارامتر As نشان‌دهنده مساحت بالادست و β زاویه شیب است. مراحل مدل‌سازی شوری لایه عمقی در شکل ۲ به تصویر کشیده شده است.

### معیارهای ارزیابی

دقت پیش‌بینی شوری خاک با توجه به سه معیار آماری شامل ریشه میانگین مربعات خطا نرمال (Normalized Root Mean Squared Error, NRMSE)،

جدول ۱. پارامترهای ورودی شبکه عصبی GMDH

رابطه	نماد
$\sqrt{R^2 + NIR^2}$	SI1
$\sqrt{B \times R}$	SI2
$\sqrt{G \times R}$	SI3
B/R	SI6
$(B - R) / (B + R)$	SI7
$(G \times R) / B$	SI8
$(Nir - R) / (Nir + R)$	NDVI
Landsat 8 OLI Bands	B1-B7
Prepared from OLI Bands	PCA1-3
Brightness Index	BI
Slope Length. (SAGA software)	LS
(SAGA software) $TWI = \ln(A_S / \tan \beta)$	TWI
Terrain Classification Index for Lowlands (SAGA software)	TCI
Stream Power index (SAGA software)	STP
Digital Elevation Model (30m resolution)	DEM



شکل ۲. مراحل مدل سازی شوری لایه عمقی

جدول ۲. شاخص‌های آماری داده‌ها

داده	بیشینه	کمینه	میانگین	انحراف معیار	داده	بیشینه	کمینه	میانگین	انحراف معیار
B1	۲۵۵/۰	۱۰/۰	۱۴۷/۲	۶۵/۰	SI2	۴۴۱/۷	۱/۰	۲۳۷/۴	۱۱۹/۹
B2	۲۵۵/۰	۰/۰	۱۴۰/۴	۶۷/۸	SI3	۳۶۰/۶	۰/۰	۱۹۱/۱	۹۹/۶
B3	۲۵۵/۰	۰/۰	۱۳۴/۹	۷۰/۵	SI6	۲۵۷/۰	۰/۰	۱۳۰/۵	۷۴/۶
B4	۲۵۵/۰	۰/۰	۱۳۵/۰	۷۱/۲	SI7	۲۵۵/۰	۰/۰	۱۴۰/۱	۶۸/۰
B5	۲۵۵/۰	۱۵/۰	۱۴۲/۲	۵۹/۱	SI8	۲۷۰/۰	۰/۰	۱۲۹/۹	۶۸/۰
B6	۲۵۵/۰	۸/۰	۱۳۰/۳	۶۲/۶	TWI	۰/۸	۰/۵	۰/۸	۰/۱
B7	۲۵۵/۰	۰/۰	۱۳۶/۰	۶۹/۵	STP	۳۱۹۷۴/۸	-۲۹۱۴۱/۵	-۱۹/۲	۶۱۹۵/۵
NDVI	۱/۰	-۱/۰	-۰/۶	۰/۶	TCI	۰/۸	۰/۵	۰/۸	۰/۱
PC1	۵۶۸/۰	۶۷/۰	۳۰۳/۲	۱۳۹/۵	LS	۳۸/۰	۰/۰	۱۱/۹	۱۴/۶
PC2	۲۹۹/۰	۸۸/۰	۱۴۸/۷	۴۶/۵	DEM	۱۷۳۰/۰	۸۱۲/۰	۹۹۷/۴	۱۷۳/۷
PC3	۲۱۲/۰	۱۲۱/۰	۱۷۵/۹	۱۷/۸	BI	۳۶۰/۶	۳۹/۹	۲۰۱/۴	۷۹/۹
SI1	۲۵۵/۰	۰/۰	۱۳۴/۶	۷۱/۲	EC	۱۸/۰	۰/۱	۵/۰	۴/۷

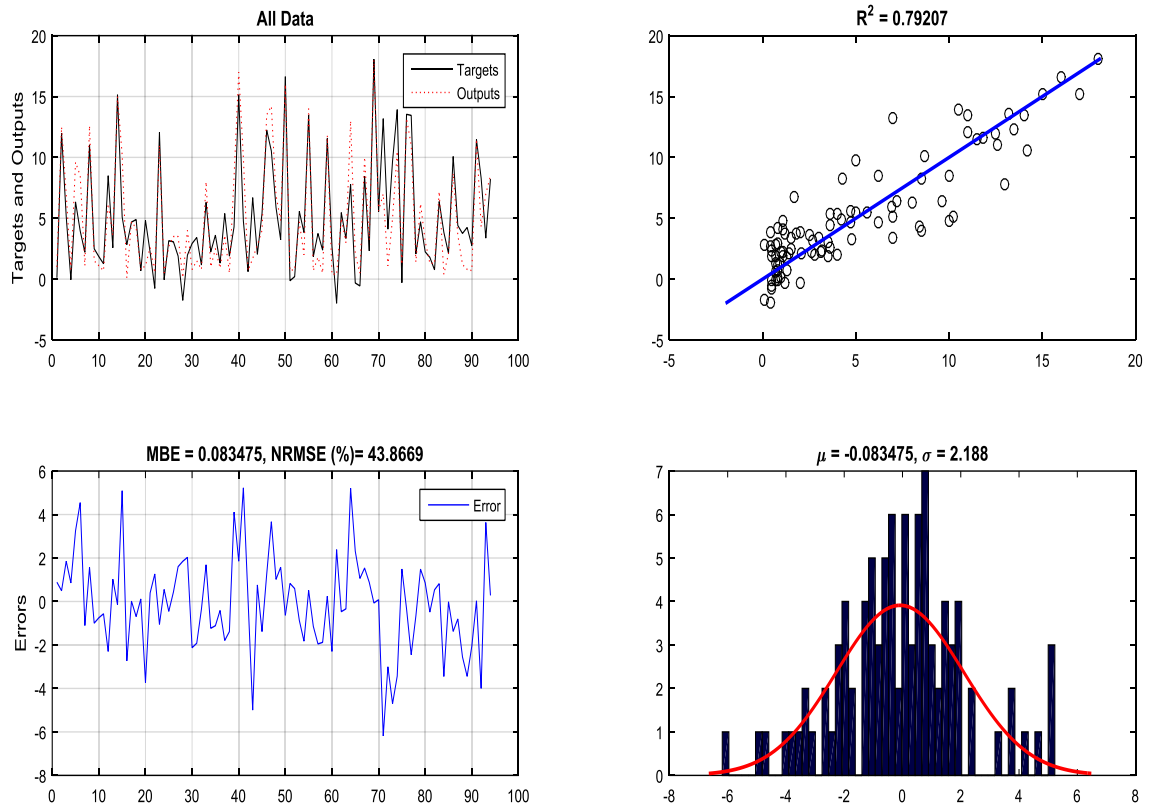
جدول ۳. مقادیر آماره‌های  $R^2$ ، NRMSE و MBE مدل GMDH در مراحل آموزش، آزمون و کل

R <sup>2</sup>		NRMSE		MBE	
کل	آزمون آموزش	کل	آزمون آموزش	کل	آزمون آموزش
۰/۷۹	۰/۸۰	۴۳/۹	۴۲/۱	۰/۰۸	۰/۰۶

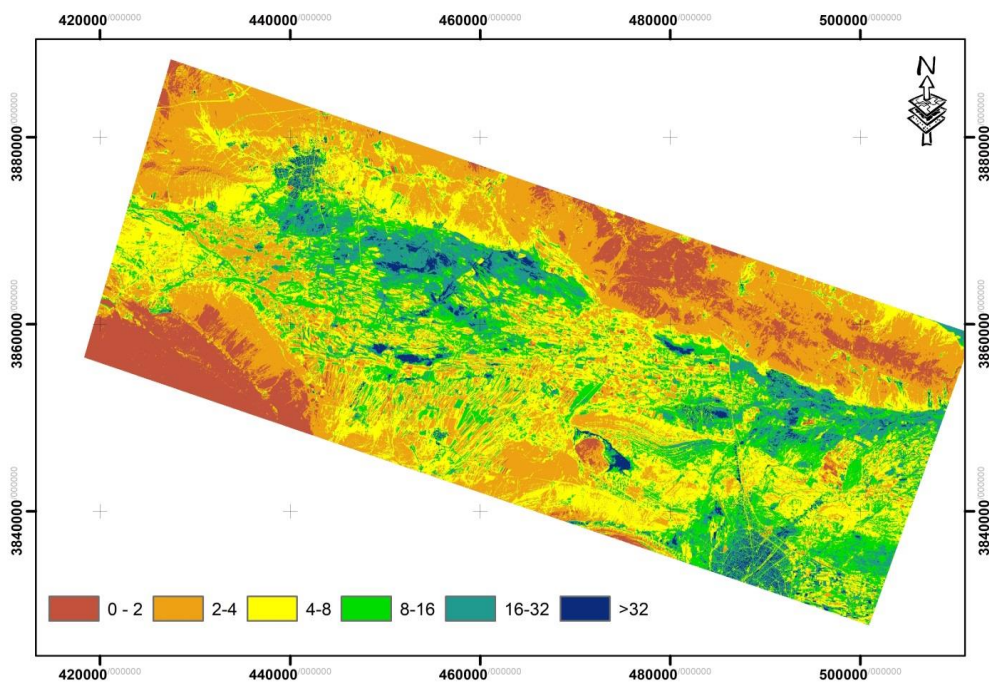
نمونه در شکل ۳ مقادیر شوری خاک اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل GMDH برای کل داده‌ها نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تطابق داده‌های هدف و خروجی، نزدیکی مقادیر هدف و خروجی به نمودار  $y=x$ ، تخطی کم مقادیر خطا از مقدار صفر و نزدیکی توزیع (هیستوگرام) خطا به توزیع نرمال، در این شکل قابل مشاهده است.

نقشه و توزیع مکانی شوری خاک به ترتیب در شکل ۴ و جدول ۴ ارائه شده است. بخش‌های شمالی و جنوبی محدوده مطالعاتی که جزء ارتفاعات محدوده مطالعاتی محسوب می‌شوند و از نظر ژئومورفولوژی جزء واحد اراضی کوه هستند، دارای شوری ۲-۰ دسی زیمنس بر متر هستند که نوع سنگ بستر، عمق کم خاک، همچنین شسته شدن اراضی در اثر بارندگی‌ها و در نتیجه رخداد فرسایش سطحی و ورقه‌ای، مانع

از تجمع املاح در پروفیل خاک و شور شدن آن می‌شود. مناطقی که دارای شوری ۴-۲ دسی زیمنس بر متر هستند، در مجاورت دشت سرهای فرسایشی و برخی اراضی کشاورزی مجاور رودخانه قره‌چای است که در اثر تغذیه سفره از رودخانه، کاهش EC آب اتفاق افتاده و در نتیجه کاهش شوری در این اراضی وجود دارد. این اراضی دارای عمق خاک به نسبت عمیق هستند؛ اما وجود فرسایش آبراه‌های در اراضی مرتعی باعث شده تا این اراضی از لحاظ تجمع رسوبات دارای املاح نمکی یا گچی، شرایط بهتری نسبت به دشت داشته باشند. علاوه بر اثر تغذیه سفره از رودخانه، فرسایش نیز می‌تواند بر کاهش شوری مؤثر باشد. همچنین دشت‌های فرسایشی به دلیل وجود آبراه‌ها و شستشوی خاک به کمک هرزآب‌ها، EC کم دارند. خاک غالب اراضی کشاورزی در محدوده مطالعاتی در محدوده



شکل ۳. مقادیر و توزیع خطاها در برآورد مقادیر شوری خاک توسط مدل GMDH برای کل داده‌ها



شکل ۴. نقشه شوری خاک



جدول ۴. توزیع مکانی شوری خاک

شوری	مساحت به هکتار	درصد
۰-۲	۵۵۵۲۵/۹۵	۱۵
۲-۴	۹۲۵۴۳/۲۵	۲۵
۴-۸	۱۱۱۰۵۱/۹	۳۰
۸-۱۶	۳۷۰۱۷/۳	۱۰
۱۶-۳۲	۵۵۵۲۵/۹۵	۱۵
>۳۲	۱۸۵۰۸/۶۵	۵
کل	۳۷۰۱۷۳	۱۰۰

بافت رسی نسبت به سایر خاک‌ها کمتر باشد و املاح به سختی به لایه‌های پایین‌تر منتقل شوند. از طرفی تشکیل لوله‌های موئین بیشتر در این خاک‌ها، باعث انتقال نمک‌های تحتانی به سطح خاک در اثر پدیده تبخیر شود.

مقایسه نتایج این پژوهش با احمدی (۱)، الحق (۶)، پادریان و همکاران (۱۰)، بیانگر این واقعیت است که با تلفیق شاخص‌های شوری، می‌توان منطقه را از لحاظ شوری با دقت و سرعت مناسب پایش کرد. از طرفی یافته‌های این پژوهش در کنار یافته‌های کامرا و همکاران (۴)، یو و همکاران (۱۴)، دقت و صحت تکنیک‌های داده‌کاوی برای بررسی شوری را به اثبات می‌رساند.

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه مربوط به سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ ردیف ۱۶۲ و گذر ۳۵ تهیه شد. زمان تصویربرداری مربوط به ماه آگوست (مرداد ماه) است که در آن میزان بارندگی‌ها حداقل بوده است. سپس شاخص‌های طیفی و توپوگرافی شامل ۲۳ نوع داده ورودی در قالب دو دسته توپوگرافی و طیفی به‌منظور مدل‌سازی در شبکه عصبی GMDH، استخراج شد و به‌کمک آن هدایت الکتریکی صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متر در دشت ساوه، شبیه‌سازی شد. با توجه به ضریب تبیین، میانگین خطای اریبی و ریشه میانگین مربعات خطا برای کل داده‌ها، همبستگی مناسب، اندکی بیش‌برآورد و

شوری ۴-۸ دسی زیمنس بر متر قرار دارد که علت آن می‌تواند به دلیل کاهش افت سطح آب زیرزمینی و کاهش کیفیت منابع آب تغذیه کننده اراضی کشاورزی باشد. همین امر باعث شده که کشاورزان با فرض مقاوم بودن درخت پسته به شوری، در دهه اخیر اقدام به تغییر کاربری اراضی زراعی به باغی کنند. این امر خود بر منابع آب زیرزمینی در ماه‌های گرم سال فشار مضاعف وارد می‌کند و به تبع افزایش برداشت منابع آب زیرزمینی، منجر به افزایش شوری آب و در نهایت شوری خاک در سال‌های آتی خواهد شد.

خاک اراضی مجاور اراضی کشاورزی که به دلیل کمبود منابع آب رها شده‌اند و یا آیش شده‌اند، در سال بررسی دارای محدوده شوری ۸-۱۶ دسی زیمنس بر متر هستند که این امر در نتیجه مدیریت غلط و افزایش سطح اراضی کشاورزی در دهه‌های قبل است. تغییر اقلیم، کاهش و تغییر نوع نزولات جوی، افزایش جمعیت و افزایش نیاز آب مصرفی، همگی موجب فشار فزاینده بر منابع طبیعی شده‌اند.

در نهایت اغلب اراضی واقع در دشت سرانتهایی و مخروط افکنه‌ها که دارای رسوبات ریزدانه است، دارای خاک‌های شور (بیش از ۳۲ و ۱۶-۳۲ دسی‌زیمنس بر متر) هستند و علت آن را می‌توان در سنگ بستر و بافت خاک جستجو کرد. بافت ریزدانه و رسی این اراضی باعث شده تا با وجود هرزآب‌ها در طی زمان بارندگی، امکان شستشوی خاک به دلیل نفوذپذیری کمتر

می‌دهند که در منطقه مورد مطالعه، اراضی غیرشور با سرعت زیاد در حال تبدیل شدن به اراضی بایر شور بوده و در صورتی که اقدامات پیش‌گیرانه مناسبی صورت نگیرد، در سال‌های آتی شاهد بحران‌های زیست‌محیطی بیشتر در منطقه از جمله افزایش شوره‌زارها، از بین رفتن کشاورزی در منطقه و مواردی از این قبیل خواهیم بود.

خطای اندک به‌دست آمد. در نهایت نقشه و توزیع مکانی شوری خاک به‌دست آمد. در مجموع، استفاده از شبکه عصبی GMDH، شاخص‌های طیفی و توپوگرافی در مدل‌سازی شوری خاک، کارایی مناسبی نشان داد. از دلایل زیاد بودن میزان نمک علاوه بر شرایط طبیعی، اکوسیستم منطقه، کاربری نامناسب و روش‌های نامناسب آبیاری اراضی کشاورزی را می‌توان نام برد. نتایج به‌دست آمده نشان

### منابع مورد استفاده

- Ahmadi, N. 2018. Assessment of remotely sensed indices to estimate soil salinity. *Journal of Radar and Optic Remote Sensing* 2: 55-66.
- Akbari, M., M. Gheysari, B. Mostafazadeh-Fard and M. Shayannejad. 2018. Surface irrigation simulation-optimization model based on meta-heuristic algorithms. *Agricultural Water Management* 201: 46-57.
- Al-Rifaie, M., A. Karimi, E. Mahmoudabadi and M. Akbari. 2019. Investigating the vegetation spectral indices and soil salinity correlation using Landsat satellite images (Case study: al-Suwaira fields, south of Baghdad, Iraq). 4th International Congress of Developing Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran-Tabriz. (In Farsi).
- Camera, C., Z. Zomeni, J. S. Noller and A. M. Zissimos. 2016. A high resolution map of soil types and physical properties for Cyprus: a digital soil mapping optimization. *Geoderma* 285.
- Chan, H. C., C. H. Chang, P. A. Chen and J. T. Lee. 2019. Using multinomial logistic regression for prediction of soil depth in an area of complex topography in Taiwan. *Catena* 176: 419- 429.
- Elhag, M. 2016. Evaluation of different soil salinity mapping using remote sensing techniques in arid ecosystems, Saudi Arabia. *Journal of Sensors* 11: 27-34.
- Hoa, P. V., N. V. Giang, N. A. Binh, L. Vu, H. Hai, T. D. Pham, T. D. Hasanlou and D. Tien Bui. 2019. Soil salinity mapping using SAR Sentinel-1 data and advanced machine learning algorithms: a case study at Ben Tre province of the Mekong River Delta. *Remote Sensing* 11(2):128.
- Ivakhnenko, A. G. and G. A. Ivakhnenko. 1995. The review of problems solvable by algorithms of the group method of data handling (GMDH). *Pattern Recognition And Image Analysis C/C Of Raspoznavaniye Obrazov I Analiz Izobrazhenii* 5: 527-535.
- Noroozi, A. A., A. Abkar, M. O. Damizadeh and B. Arastoo. 2019. Soil salinity mapping using spectral index and Landsat 8 in arid zones. *Iranian Journal of Range and Desert Research* 26(1): 117-130. (In Farsi).
- Padarian, J., B. Minasny and A. B. Mcbratney. 2019. Using deep learning for digital soil mapping. *SOIL* 5: 79-89.
- Romiani, M., A. Kazemi, M. Hadipour and A. Ahmadi. 2021. Mapping soil salinity using Landsat 8 images for land evaluation: A Case Study of Saveh. *DEEJ* 9(29) :15-26. (In Farsi).
- Shekofteh, H. and F. Ramazani. 2017. Prediction of soil cation exchange capacity using support vector regression optimized by genetic algorithm and adaptive network-based fuzzy inference system. *Desert* 2: 187-196.
- Taghadosi, M. M., M. Hasanlou and K. Eftekhari. 2018. Soil salinity mapping using dual-polarized SAR Sentinel-1 imagery imagery. *International Journal of Remote Sensing* 00: 1- 16.
- Yu, H., L. Wang, Z. Wang, C. Ren and Zhang, B. 2019. Using landsat oli and random forest to assess grassland degradation with aboveground net primary production and electrical conductivity data. *ISPRS International Journal of Geo- Information* 8(11): 511.

## Application of the GMDH Neural Network in Monitoring Soil Salinity of Saveh Plain using Spectral and Topographic Indicators

V. Habibi Arbatani<sup>1</sup>, M. Akbari<sup>2\*</sup>, Z. Moghaddam<sup>3</sup> and A. Bayat<sup>4</sup>

(Received: February 28-2022; Accepted: July 3-2022)

### Abstract

In recent years, indirect methods such as remote sensing and data mining have been used to estimate soil salinity. In this research, the electrical conductivity of 94 soil samples from 0 to 100 cm was measured using the Hypercube technique in the Saveh plain. 23 types of input data were used in the form of topographic and spectral categories. Land area parameters such as the Topographic Wetness Index (TWI), Terrain Classification Index (TCI), Stream Power Index (STP), Digital Elevation Model (DEM), and Length of Slope (LS) were considered as topographic inputs using ArcGIS and SAGA software. Also, salinity spatial and vegetation indices were extracted from Landsat 8 images and were considered spectral inputs. The GMDH neural network was used to model salinity with a ratio of 70% for training and 30% for validation. The results showed that the soil salinity values were between 0.1 and 18 with mean and standard deviation of 5 and 4.7 dS/m, respectively. Also, the results of modeling indicated that the statistical parameters  $R^2$ , MBE, and NRMSE in the training step were 0.80, 0.06, and 42.1%, respectively. The same values in the validation step were 0.79, 0.13, and 48.7%, respectively. Therefore, the application of spectral, topographic, and GMDH neural network indices for modeling soil salinity is effective.

**Keywords:** Hypercube technique, Vegetation index, Topographic wetness index, Landsat 8, Digital elevation model

---

1. Department of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Water Institute, Arak University, Arak, Iran.

3. Environmental Education, Payam Noor University, Tehran Province, Teran, Iran.

4. Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

\*: Corresponding author, Email: m-akbarii@araku.ac.ir