

کارایی مدل رقومی ارتفاع و مشتقات آن در نقشه برداری خاک با استفاده از مدل استنباطی خاک - سرزمین (SoLIM)

محسن باقری بداع آبادی^۱ - محمدحسن صالحی^{۲*} - جهانگرد محمدی^۳ - نورایر تومانیان^۴ - عیسی اسفندیارپور بروجنی^۵

تاریخ دریافت: ۸۹/۹/۲

تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۸

چکیده

محدودیت‌های موجود در روش‌های سنتی (مرسوم) شناسایی خاک و پیشرفت‌های صورت گرفته در فناوری اطلاعات، باعث ارایه راه کارهای نوینی شده است که به طور کلی «شناسایی رقومی خاک» نامیده می‌شوند و هدف آن‌ها پیش‌بینی کلاس‌های خاک یا ویژگی‌های آن، بر اساس متغیرهای محیطی و یا خصوصیات آن از خاک است که به سادگی قابل دستیابی یا محاسبه هستند. هدف از پژوهش حاضر، بررسی کارایی مدل رقومی ارتفاع و مشتقات آن در پیش‌بینی و برآورد کلاس‌های خاک، با استفاده از مدل SoLIM و اعتبارسنجی نتایج این مدل در منطقه ی بروجن - استان چهارمحال و بختیاری - می‌باشد. برای این منظور، ۱۸ ویژگی مختلف از مدل رقومی ارتفاع شامل ارتفاع، درصد شیب، جهت شیب، انحنای خالص، انحنای کمینه، انحنای بیشینه، انحنای تانژانت، انحنای نیمرخ، انحنای شکل سطح، جهت جریان، تجمع جریان، تابش مستقیم، مدت پخشیدگی، تابش پخشیده، تابش کل، شاخص قدرت جریان، شاخص رسوب و شاخص نمناکی استخراج گردیدند. این ویژگی‌ها به همراه سه زیرگروه و هفت فامیل خاک غالب موجود در منطقه مطالعاتی (شامل ۸۹ خاک رخ از ۱۲۵ خاک رخ حفر شده در کل منطقه)، ماتریس داده‌های ورودی به مدل SoLIM را تشکیل دادند. نتایج نشان داد که تنها با توجه به مدل رقومی ارتفاع می‌توان در سطح زیرگروه با دقت حدود ۶۵ درصد در درون‌یابی و ۴۰ درصد در تعمیم (برون‌یابی) نتایج، برآورد درستی از کلاس‌های خاک داشت. این مقادیر در سطح فامیل خاک، تقریباً به نصف کاهش یافتند. ارزیابی نتایج شناسایی خاک‌ها بر اساس کلید رده - بندی خاک آمریکایی که دارای معیارهای سخت و صلب است، تا حدی می‌تواند همراه‌کننده باشد؛ حال آن‌که استفاده از مدل فازی SoLIM که تغییرپذیری تدریجی خاک‌ها را مد نظر قرار می‌دهد، نمود بهتری از واقعیت خاک‌ها را بیان می‌کند.

واژه‌های کلیدی: مدل رقومی ارتفاع، مدل SoLIM، منطق فازی، نقشه برداری رقومی خاک

مقدمه

خاک، بر اساس میزان توانایی و تجربه‌ی کارشناسان در تفسیر فرایندهای اصلی خاک‌سازی و فاکتورهای محیطی دخیل در تشکیل سیمای سرزمین^۹ و یا سیمای خاک^{۱۰}، پایه‌ریزی شده است. بنابراین، داده‌ها و نقشه‌های استخراج شده از چنین الگویی، به‌طور معمول، ناتوانی نقشه برداری خاک در تشریح ساختار خصوصیات دینامیکی و پیوسته^{۱۱} سیمای سرزمین را آشکار می‌سازند (۲۲). به همین دلیل، برخی از پژوهش‌گران اعتقاد دارند که عدم قطعیت زیاد در نقشه‌های سنتی خاک، از کارایی آن‌ها کاسته است (۳ و ۱۴). برخی دیگر، نقشه‌های سنتی خاک را وسایلی ناکارآمد می‌دانند و ناتوان بودن نقشه‌برداران در انتقال و رساندن آشکار و صریح مدل‌های ذهنی خود

شناسایی یا نقشه برداری خاک^۶، به‌عنوان روشی برای تعیین الگوی پراکنش خاک، توصیف و نمایش آن به شکل قابل فهم و تفسیر برای کاربران مختلف، پایه و اساس اطلاعات خاک برای مدل - سازی‌های محیطی می‌باشد. الگوی سنتی^۷ یا معمول^۸ نقشه برداری

۱، ۲ و ۳ - به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیاران گروه خاک‌شناسی، دانشکده - کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

(* - نویسنده مسئول: Email: mehsalehi@yahoo.com)

۴ - استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان
۵ - استادیار گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

9 - Landscape
10 - Soils cape
11 - Continuum

6 - Soil Survey
7 - Traditional Soil Survey
8 - Conventional Soil Survey

مدل استنباطی خاک- سرزمین (SoLIM)^۷، از جمله مدل‌هایی است که به‌منظور غلبه بر محدودیت‌های موجود در روش‌های شناسایی سنتی خاک، توسط ژو و همکاران (۲۱) ارایه شده است. ژو (۱۸ و ۱۹) محدودیت آگاهی و دانش موجود درباره‌ی مدل‌های ذهنی خاک- سرزمین در نقشه‌های چندگوشه و تعمیم نتایج حاصل از بررسی ویژگی‌های خاک و تغییرپذیری مکانی آن‌ها را دلیل ناکارآمدی نقشه‌برداری سنتی خاک می‌داند. مطالعات ژو و همکاران (۲۲ و ۲۳) نشان داد که نقشه‌های تهیه‌شده با استفاده از مدل SoLIM، نسبت به نقشه‌های حاصل از روش سنتی شناسایی خاک، از دقت عمومی بالاتری برخوردار می‌باشند. از طرفی، برآوردهای انجام‌شده برای ویژگی‌های خاک نیز نشان‌گر دقت بالاتر مدل SoLIM، نسبت به روش‌های مرسوم بوده‌اند. ژو و همکاران (۲۴) با مقایسه‌ی مدل SoLIM و روش سنتی، به‌منظور تخمین ضخامت افق A در منطقه‌ی کوهستانی غرب مونتانا، نتیجه گرفتند که مدل SoLIM برآورد بهتری از ضخامت افق A، نسبت به روش سنتی، در دسترس قرار می‌دهد؛ چراکه در این منطقه، میانگین واقعی مشاهده‌شده برای ضخامت افق A، برابر ۱۵/۴۹ سانتی‌متر بود و برآوردهای مدل SoLIM و روش سنتی، به ترتیب، برابر ۱۵/۵۸ و ۱۴/۳۹ سانتی-متر بودند. به‌طور کلی، در مناطقی که اطلاعات و دانش مناسبی از روابط خاک- سرزمین موجود باشد، مدل SoLIM برآوردهای قابل قبولی از ویژگی‌های خاک و سرزمین را در اختیار قرار می‌دهد.

از آنجایی که نقشه‌های پستی و بلندی^۸ و مدل‌های رقومی ارتفاع^۹، تقریباً برای کل کشور موجود می‌باشند و با توجه به عدم وجود مطالعات خاک برای بخش گسترده‌ای از ایران، انتظار می‌رود که استفاده از مدل رقومی ارتفاع و ویژگی‌های آن، بتواند کمک شایانی در ارتباط با برآورد کلاس‌های خاک و یا ویژگی‌های آن‌ها در مناطق مختلف کشور ارایه نماید. هدف از پژوهش حاضر، بررسی کارآیی مدل رقومی ارتفاع و مشتقات آن در پیش‌بینی و برآورد کلاس‌های خاک، با استفاده از مدل SoLIM و اعتبارسنجی نتایج این مدل در منطقه‌ی بروجن - استان چهارمحال و بختیاری - می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مطالعاتی: منطقه‌ی مورد مطالعه به مساحت تقریبی ۱۰۰۰ هکتار و ارتفاع متوسط ۲۲۷۷ متر از سطح دریا، واقع در چهار کیلومتری جنوب غربی بروجن می‌باشد. این منطقه در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ۳۶/۴" ۱۲' ۵۱" تا ۳۵/۴" ۲۵' ۱۵" شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۴۷/۴" ۵۴' ۳۱" تا ۳۷/۳" ۵۶' ۳۱" شمالی

را دلیل این ناکارآمدی بیان نموده‌اند (۲۱). ژو و همکاران (۱۸) با بررسی نقشه‌های حاصل از نقشه‌برداری سنتی خاک، گزارش نمودند که هرچند ترسیم مرزها، برای نشان دادن انواع واحدهای خاک، پراکنش آن‌ها و تفکیک گستره‌ی خاک به واحدهای همگن‌تر مورد نیاز است؛ اما در کنار طبقه‌بندی واحدها، تعمیم ویژگی‌های خاک نیز رخ می‌دهد؛ چرا که مشاهدات به طبقاتی تقسیم می‌شوند و یکی از آن‌ها (خاک‌رخ شاهد) برای هر واحد، مورد بررسی قرار می‌گیرد (۱۸). ژو (۱۹)، در نظر گرفتن خاک، به‌عنوان یک موجودیت مشخص و منفرد^۱ در نقشه‌های چندگوشه‌ای^۲ حاصل از الگوی سنتی نقشه‌برداری نقشه‌برداری خاک را یکی از دلایل کارایی کم این روش معرفی می‌کند؛ چرا که در جهان واقعی^۳، خاک در طول یک سیمای سرزمین و هماهنگ با تغییرات ارتفاعی، به‌صورت پیوسته تغییر می‌یابد.

محدودیت‌های موجود برای نقشه‌برداری چندگوشه‌ای خاک، شناساگران یا نقشه‌پردازان را بر آن داشت تا متناسب با پیشرفت‌های صورت‌گرفته در فناوری اطلاعات، در راستای استفاده از روش‌های نوین شناسایی خاک گام بردارند. هدف کلی این روش‌ها، برآورد یا پیش‌بینی کلاس‌های خاک یا ویژگی‌های آن بر اساس متغیرهای محیطی یا خصوصیات از خاک است که به‌سادگی نقشه‌برداری می‌شوند.

یکی از روش‌های نوین ارایه‌شده در این ارتباط، نقشه‌برداری رقومی خاک^۴ نام دارد. در واقع، نقشه‌برداری رقومی خاک، بیان‌گر مجموعه‌ای از محاسبات رایانه‌ای برای پیش‌بینی پراکنش خاک‌ها در سیمای سرزمین می‌باشد که از همان روزهای نخستین مطالعات شناسایی خاک، رشد و نمو خود را آغاز نموده است و همگام با پیشرفت‌های به‌وجود آمده در پردازش اطلاعات، تکامل یافته است (۱۱). نقشه‌برداری رقومی خاک، سامانه‌هایی را برای اطلاعات مکانی خاک، گردآوری و ایجاد می‌کند که می‌توانند کاربران را در تصمیم‌سازی برای رسیدگی به مسایل و مشکلات محیطی و کشاورزی کمک کنند (۷).

یکی از جنبه‌های اساسی در نقشه‌برداری رقومی خاک، استفاده از مدل‌های مختلف به‌منظور ساده‌سازی پیچیدگی‌های موجود در سامانه‌ی طبیعی خاک می‌باشد. بر این اساس، مدل‌های خاک- سیمای سرزمین^۵، بیان‌گر شکل ساده‌شده‌ای از روابط پیچیده‌ی موجود موجود بین خاک و شکل سرزمین^۶ می‌باشند که فرآیندهای تکاملی خاک و الگوی پراکنش آن را نشان می‌دهند (۶).

- 1 - Soil Individual
- 2 - Polygon Maps
- 3 - Reality
- 4 - Digital Soil Mapping; DSM
- 5 - Soil-Landscape Models
- 6 - Landform

- 7 - Soil-Land Inference Model; SoLIM
- 8 - Topographic Maps
- 9 - Digital Elevation Models; DEMs

نهایت، از تمامی افق‌های ژنتیکی آن‌ها نمونه‌برداری انجام گرفت. سپس، آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی مورد نیاز شامل درصد ذرات درشت، پهاش گل اشباع، هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباع، بافت خاک و اجزای آن، میزان کل کربنات‌ها، درصد ماده‌ی آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بر اساس روش‌های استاندارد بر روی نمونه‌ها انجام گرفت و در پایان، رده‌بندی تمامی خاک‌ها تا سطح فامیل خاک، بر اساس نتایج آزمایشگاهی و مطابق با کلید رده‌بندی آمریکایی خاک (۱۳) نهایی گردید.

تهیه‌ی داده‌های رقومی و پردازش آن‌ها: در این مرحله، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی منطقه‌ی مطالعاتی (به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰)، تصحیح‌های لازم بر روی مدل رقومی ارتفاع خریداری-شده از سازمان نقشه‌برداری کشور (با اندازه‌ی پیکسلی و دقت ارتفاعی ۱۰ متر) انجام گرفت. تصحیح‌های مزبور، شامل پُر کردن تورفتگی‌ها^۹ و بهینه‌سازی مدل رقومی ارتفاع^{۱۰} بودند که این کار در محیط نرم-افزاری ایلویس^{۱۱} صورت پذیرفت. سپس، با نوشتن فرمان‌نامه‌های^{۱۲} مورد نیاز در محیط این نرم‌افزار و با استفاده از زیربرنامه‌های^{۱۳} تعریف‌شده‌ی استاندارد موجود در نرم‌افزار آرک-جی‌آی‌اس^{۱۴}، مشتقات مختلف مرتبه‌های اول و دوم مدل رقومی ارتفاع (۱۵) تهیه گردیدند. این مشتقات (ویژگی‌ها) شامل ارتفاع، درصد شیب، جهت شیب، انواع انحنا^{۱۵} (انحنای خالص، انحنای کمینه، انحنای بیشینه، انحنای تانژانت، انحنای نیم‌رخ و انحنای شکل سطح)، جهت جریان^{۱۶}، تجمع جریان^{۱۷}، تابش مستقیم^{۱۸}، مدت پخشیدگی^{۱۹}، تابش پخشیده^{۲۰}، تابش کل^{۲۱}، شاخص قدرت جریان^{۲۲}، شاخص رسوب^{۲۳} و شاخص نمناکی^{۲۴} بودند (۱۵).

قرار گرفته است (شکل ۱) و دارای میانگین بارش سالانه‌ی ۲۵۵ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه‌ی ۱۰/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد (۵). بر اساس کلید رده‌بندی آمریکایی خاک (۱۳)، رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک منطقه‌ی مطالعاتی، به‌ترتیب، زریک و مزیک می-باشند. سیمای سرزمین در این منطقه، شامل اراضی تپه‌ماهوری^۱ و دامنه^۲ می‌باشد که دامنه، بخش غالب منطقه را تشکیل می‌دهد. کشت گندم آبی و مرتع، به‌ترتیب مهم‌ترین کاربری‌های اراضی موجود در دامنه و تپه‌ماهورها هستند.

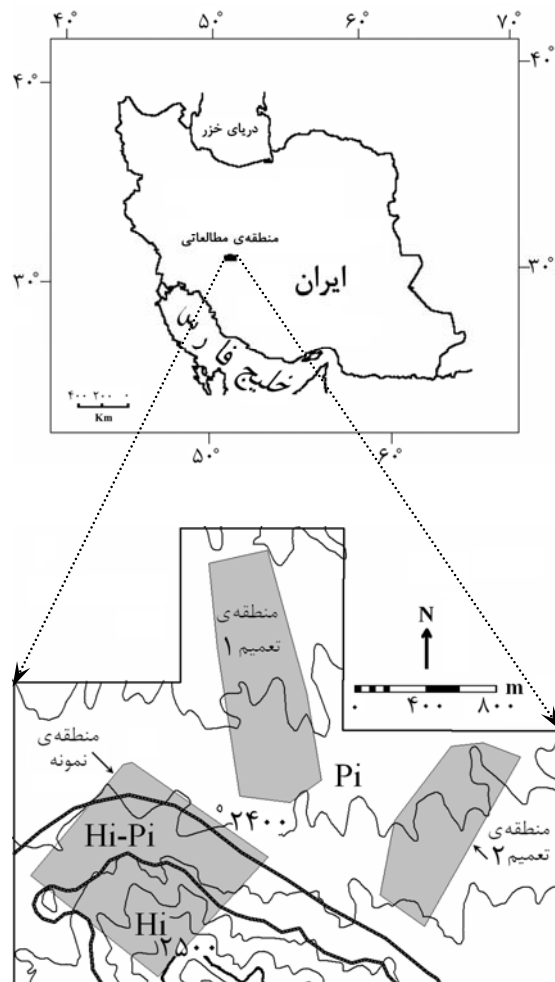
نمونه‌برداری خاک و مطالعات آزمایشگاهی: اطلاعات خاک

جمع‌آوری‌شده از منطقه‌ی مطالعاتی، شامل دو مجموعه داده‌ی مختلف می‌باشند. مجموعه‌ی اول، شامل اطلاعات حاصل از تشریح، نمونه‌برداری و نتایج فیزیکی و شیمیایی تعداد ۱۰۵ خاک‌رخ در منطقه‌ی بروجن می‌باشند که اسفندیارپور بروجنی (۱) پس از تهیه‌ی نقشه‌ی ژئوفرم^۳ بر اساس اصول روش ژئوپدولوژی و تعیین دو منطقه‌ی نمونه^۴ و منطقه‌ی تعمیم^۵ جمع‌آوری نموده است (شکل ۱). در منطقه‌ی نمونه از انواع واحدهای موجود در نقشه‌ی ژئوفرم، حداقل یک مورد از هر کدام وجود دارد. وی بر اساس روش نمونه‌برداری شبکه‌ای منظم و در قالب مطالعات خاک‌شناسی رده‌ی دوم^۶، تعداد ۹۰ خاک‌رخ با فواصل تقریبی ۱۲۵ متر از یک‌دیگر در این منطقه حفر و تشریح نمود. در مطالعه‌ی انجام شده، تعمیم‌پذیری نتایج روش ژئوپدولوژی با انتخاب یک واحد ژئوفرم مشابه در خارج از منطقه‌ی نمونه (که در این مقاله، تحت عنوان منطقه‌ی تعمیم ۱ (شکل ۱) به آن اشاره شده است) با حفر و تشریح تعداد ۱۵ خاک‌رخ بررسی گردید. مجموعه‌ی داده‌ی دوم، شامل اطلاعات حاصل از حفر، تشریح و نمونه‌برداری تعداد ۲۰ خاک‌رخ جدید با فواصل حدود ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر می‌باشد که در این مقاله، منطقه‌ی تعمیم ۲ (شکل ۱) نامیده شده است.

به‌طور کلی، در پژوهش حاضر، تعداد ۹۰ خاک‌رخ در منطقه‌ی نمونه، ۱۵ خاک‌رخ در منطقه‌ی تعمیم اول و ۲۰ خاک‌رخ در منطقه‌ی تعمیم دوم ملاک کار قرار گرفتند. موقعیت جغرافیایی خاک‌رخ‌ها با استفاده از یک سامانه‌ی مکان‌یاب جهانی^۷ مدل گارمین اِترِکس ویستا^۸ تعیین شده‌اند. تمامی خاک‌رخ‌های حفرشده، بر اساس راهنمای راهنمای تشریح و نمونه‌برداری خاک‌ها در صحرا (۱۰) تشریح شدند و مطابق با کلید رده‌بندی آمریکایی خاک (۱۳) طبقه‌بندی گردیدند و در

- 9 - Fill Sinks
- 10 - DEM Optimization
- 11 - ILWIS3.4
- 12 - Scripts
- 13 - Modules
- 14 - Arc-GIS9.2
- 15 - Curvature
- 16 - Flow Direction
- 17 - Flow Accumulation
- 18 - Direct Radiation
- 19 - Diffuse Duration
- 20 - Diffuse Radiation
- 21 - Area Solar Radiation
- 22 - Power Index
- 23 - Sediment Index
- 24 - Wetness Index

- 1 - Hill-land
- 2 - Piedmont
- 3 - Geofom Map
- 4 - Sample Area
- 5 - Validation Area
- 6 - Second-Order Soil Survey
- 7 - Global Positioning System; GPS
- 8 - Etrex Vista Garmin



شکل ۱- موقعیت کل منطقه مطالعاتی، به همراه منطقه نمونه و مناطق تعمیم (Pi: دامنه؛ Hi-Pi: حدواسط دامنه و اراضی تپه ماهوری؛ Hi: اراضی تپه ماهوری)

در انجام محاسبات و با توجه به این که برخی از کلاس های خاک، فراوانی ناچیزی داشتند؛ این کلاس ها از ماتریس اولیه حذف گردیدند و ادامه ی کار، تنها بر روی هفت فامیل خاک غالب که حدود ۷۵ درصد پوشش خاکی منطقه ی مطالعاتی را شامل می شدند (جدول ۱)، انجام گرفت. بنابراین، ماتریس اولیه، به ماتریسی با ۱۴۴۱۸ (۱۸×۱۸) عضو تبدیل شد. تعداد زیاد ویژگی های استخراج شده از مدل رقومی ارتفاع و وجود همبستگی درونی بین آن ها، تاحدودی محاسبات مورد نظر را تحت تأثیر قرار داده و بر پیچیدگی آن ها افزوده بود. برای رفع این مشکل، با انجام تجزیه و تحلیل های آماری اولیه (مانند آزمون F، تعیین ضریب همبستگی بین ویژگی ها و آزمون های مقایسه ی میانگین)، مهم ترین ویژگی ها که شامل پنج ویژگی درصد شیب، جهت شیب، انحنای کمینه، شاخص نمناکی و شاخص قدرت

پس از استخراج ویژگی های مدل رقومی ارتفاع، با استفاده از مختصات جغرافیایی هر کدام از خاک رخ ها، نقشه ی مکان حفر خاک رخ ها در نرم افزار ایلویس تهیه گردید و با به کارگیری عملیات تقاطع، مقدار عددی هر یک از ویژگی های مدل رقومی ارتفاع برای هر خاک رخ به دست آمد. در این عملیات، برای هر خاک رخ، محدوده ای با شعاع ۱۵ متر در نظر گرفته شد تا بتوان توزیع آماری ویژگی های مورد نظر آن را به دست آورد. با توجه به این که اندازه ی پیکسلی برای نقشه ها ۱۰ متر بود؛ بنابراین، محدوده ی هر خاک رخ، نه پیکسل را به خود اختصاص داد. در نتیجه، ماتریس اولیه ی داده ها شامل ۱۱۲۵ سطر (مربوط به پیکسل های خاک رخ ها) و ۱۸ ستون (مربوط به مدل رقومی ارتفاع و ویژگی های آن) بود. به منظور تسهیل

دانش و پایگاه داده‌ها برای استخراج بُردار تشابه خاک به کار می‌رود. در پژوهش حاضر، پایگاه دانش بر اساس فراوانی نسبی ویژگی-های مدل رقومی ارتفاع منطقه، برای هر خاک تعریف گردید. برای این منظور، با استفاده از دو ماتریس پایانی به دست آمده (فامیل خاک-ها و زیرگروه خاک‌ها) در مرحله‌ی پیش (بند ج)، توزیع هر ویژگی برای هر خاک (هیستوگرام ویژگی‌های خاک) تهیه شد و پارامترهای مورد نیاز در پایگاه دانش، با توجه به هیستوگرام‌های حاصل تعریف گردیدند. در واقع، پایگاه دانش برای مدل SoLIM، یک‌بار بر اساس هفت فامیل خاک غالب منطقه و بار دیگر، بر مبنای سه زیرگروه غالب خاک (جدول ۱)، به دو حالت زیر تعریف شد:

حالت اول: با استفاده از تمامی داده‌های موجود در ماتریس‌های پایانی.

حالت دوم: تنها با استفاده از داده‌های مربوط به منطقه‌ی نمونه در ماتریس‌های پایانی.

حالت اخیر، به منظور بررسی میزان دقت تعمیم‌پذیری نتایج SoLIM از منطقه‌ی نمونه به دو منطقه‌ی تعمیم اشاره شده در بند ب (به عبارتی، برون‌یابی نتایج حاصل از یک منطقه به مناطق دیگر) انجام گرفت.

تهیه‌ی اطلاعات از خروجی‌های به دست آمده از مدل SoLIM: با توجه به این که مدل SoLIM برای هر خاک، یک نقشه‌ی فازی با درجه‌ی عضویت صفر تا یک ارائه می‌کند؛ برای هفت فامیل خاک، ۱۴ نقشه (هفت نقشه بر اساس پایگاه دانش حالت اول و هفت نقشه بر مبنای پایگاه دانش حالت دوم) حاصل گردید و به همین ترتیب، برای سه زیرگروه خاک، شش نقشه به دست آمد. نقشه‌های حاصل به نرم‌افزار ایلویس وارد شدند و با تقاطع^۷ این نقشه‌ها با نقشه‌ی مکان حفر خاک‌رخ‌ها، مقدار عضویت هر خاک‌رخ در هر نقشه استخراج گردید. از آن جایی که هر خاک‌رخ، شامل نه پیکسل بود؛ مقدار میانگین این نه پیکسل، به عنوان درجه‌ی عضویت هر خاک انتخاب شد. بنابراین، برای هر خاک‌رخ در سطح زیرگروه و فامیل، به ترتیب، سه و هفت درجه‌ی عضویت برای هر کدام از پایگاه‌های دانش حالت اول و دوم به دست آمد. در نهایت، بیشترین مقدار درجه‌ی عضویت، به عنوان کلاس خاک هر خاک‌رخ انتخاب گردید.

ارزیابی نتایج: ارزیابی نتایج نهایی مدل SoLIM، از طریق محاسبه‌ی صحت عمومی نقشه (OA)^۸ انجام گرفت. صحت عمومی نقشه، نشان‌دهنده‌ی آن است که چه تعداد از مشاهدات یا طبقات جدا شده، صحیح می‌باشند (۹). به عبارت دیگر، چه اندازه از نمونه‌ها به درستی در طبقات مربوط جای گرفته‌اند. این ویژگی، با تشکیل ماتریس درهمی^۹ و براساس فرمول زیر قابل محاسبه می‌باشد (۸ و

جریان بودند و بیشترین همبستگی را در سطح اطمینان ۹۹/۹ درصد با هفت فامیل خاک غالب منطقه داشتند، انتخاب و وارد محاسبات شدند. در نتیجه، ماتریس پایانی با ۴۰۰۵ عضو (پنج ستون و ۸۰۱ سطر) حاصل گردید.

تمامی مراحل بالا، برای سطح زیرگروه خاک نیز انجام شدند و ماتریس پایانی مربوط، همانند ماتریس قبل، ولی برای سه زیرگروه غالب خاک منطقه‌ی مطالعاتی (جدول ۱) تهیه گردید. به عبارت بهتر، ماتریس زیرگروه خاک، دارای ۲۴۰۳ عضو (سه ستون و ۸۰۱ سطر) بود.

مدل استنباطی خاک - سرزمین (SoLIM): مدل SoLIM بر مبنای یک فرآیند استنتاجی روی مدل ینی پایه‌ریزی شده است (۱۲) و (۲۱). این مدل، به طور ساده، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S = f(E) \quad (1)$$

که در آن، S و E، به ترتیب، بیان‌گر خاک و متغیرهای محیطی هستند و f، نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ی خاک-محیط (مدل خاک-سرزمین) می‌باشد (۱۲، ۲۰ و ۲۱).

بر اساس این مدل، اگر ویژگی‌های محیطی و رابطه‌ی خاک-محیط، برای یک موقعیت شناخته شده باشند؛ آن‌گاه، خاک و یا ویژگی‌های آن در منطقه‌ی مورد نظر قابل استنتاج خواهند بود. این مدل دارای سه جزء اصلی زیر است (۱۶ و ۲۲):

۱) مدل تشابه^۱، که برای نمایش پیوسته‌ی خاک‌ها کاربرد دارد. این مدل، مبتنی بر منطق فازی^۲ (۱۷) می‌باشد. بنابراین، هر پیکسل می‌تواند با درجات عضویت مختلف، به بیش از یک کلاس خاک تعلق گیرد.

۲) موتور استنباط فازی^۳ یا شیوه‌های استنباط خودکار^۴، که با استفاده از مدل تشابه، انجام عملیات نقشه‌برداری خاک را برعهده دارند.

۳) مجموعه‌ی روش‌هایی که برای استنتاج نتایج اطلاعات خاک از مدل تشابه به کار می‌روند.

به طور کلی، مدل SoLIM با در نظر گرفتن محیط سازنده‌ی هر خاک و روابط خاک-سرزمین (که توسط اطلاعات خاک‌شناسان از منطقه‌ی مورد نظر تعریف می‌شوند)، اقدام به تشکیل یک پایگاه دانش^۵ می‌کند. از طرفی، ویژگی‌های محیطی منطقه‌ی مورد نظر (مانند مدل رقومی ارتفاع و ویژگی‌های آن) در یک پایگاه داده‌های جغرافیایی^۶ نگهداری می‌شوند. موتور استنباط فازی برای ارتباط پایگاه

1 - Similarity Model

2 - Fuzzy Logic

3 - Fuzzy Inference Engine

4 - Automated Inference Techniques

5 - Knowledge Base

6 - GIS Data

7 - Cross

8 - Overall Map Accuracy

9 - Confusion Matrix

(۹):

پژوهش‌های مشابه (نتایج هنوز منتشر نشده‌است) نشان می‌دهد، با توجه به سطح مطالعاتی، امکان استفاده از این رویکرد برای برون‌یابی نیز وجود دارد.

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ii}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij}} \quad (2)$$

(۲) منطقه‌ی نمونه‌ی انتخاب‌شده، نماینده‌ی واقعی مناطق تعمیم نمی‌باشد.

که در آن، i و j ، به ترتیب، بیان‌گر سطر i ام و ستون j ام برای مشاهده‌ی X موجود در ماتریس درهمی می‌باشند.

(۳) میزان تأثیر پنج ویژگی انتخاب‌شده از مدل رقومی ارتفاع برای دو منطقه‌ی نمونه و تعمیم، با یکدیگر تفاوت دارند. به عبارت دیگر، در مناطق تعمیم، ویژگی‌های دیگر از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشند.

نتایج و بحث

(۴) این احتمال وجود دارد که هر کدام از مناطق تعمیم و یا نمونه، پیش از این، تحت فرآیندهای متفاوتی بوده‌اند که فرآیند جدیدتر، آن‌ها را پوشانده و امکان تفکیک قبلی‌ها وجود ندارد (۲).

از طرفی، افزایش درصد صحت عمومی از $20/8$ (با توجه به داده‌های ارایه‌شده در ماتریس شکل ۲-ج) به $35/9$ (با توجه به داده‌های ارایه‌شده در شکل ۲-الف)، نشان‌دهنده‌ی این موضوع است که مدل SoLIM توانسته است خاک‌ها را با در نظر گرفتن هم‌زمان اطلاعات منطقه‌ی نمونه و مناطق تعمیم، بهتر برآورد کند. افزایش بیشتر صحت عمومی برای منطقه‌ی نمونه ($41/5$ درصد) را می‌توان ناشی از کارایی بهتر مدل برای مناطق با ناهمواری بیشتر (شکل ۱) و یا تأثیرگذاری بهتر و مطلوب‌تر ویژگی‌های به کار رفته در مدل برای این منطقه دانست. ژو و همکاران (۲۰، ۲۱ و ۲۴) نیز به نتایج مشابهی دست یافته‌اند؛ البته از تراکم بیشتر خاک‌ها در منطقه‌ی نمونه نیز نباید چشم‌پوشی نمود.

محاسبه‌ی درجات عضویت فازی خاک‌های مختلف (داده‌ها به دلیل حجم زیاد، نشان داده نشده‌اند)، بیان‌گر این موضوع می‌باشد که در برخی موارد، درجه‌ی عضویت برای دو یا چند خاک، خیلی نزدیک به هم است. برای مثال، درجات عضویت فازی خاک‌رخ شماره‌ی ۱۷ (P_{17}) که در فامیل A قرار دارد (جدول ۲)، به شرح زیر می‌باشد:

$$\{D, (0.520), (E, 0.621), (F, 0.548), (G, 0.462)\}$$

$$P_{17} = \{(A, 0.940), (B, 0.942), (C, 0.810)\}$$

برای مقایسه‌ی بهتر، می‌توان مقادیر بالا را نرمال نمود تا مجموع مقادیر عضویت، برابر واحد شود. در این صورت، درجات عضویت خاک‌رخ مزبور، عبارت خواهند بود از:

$$\{D, (0.107), (E, 0.128), (F, 0.113), (G, 0.095)\}$$

$$P_{17} = \{(A, 0.194), (B, 0.195), (C, 0.167)\}$$

جدول ۱ نشان‌گر نتایج رده‌بندی هفت فامیل خاک غالب موجود در منطقه‌ی مطالعاتی به همراه درصد نسبی هر کدام است. ملاحظه می‌گردد که این فامیل‌ها، حدود ۷۵ درصد از پوشش خاکی منطقه را شامل شده‌اند. از طرفی، جدول مزبور، نمایان‌گر این است که سه زیرگروه تیبیک کلسی زریپتر (TP)، پتروکلسیک کلسی زریپتر (PP) و کلسیک هاپلوزالفز (CF)، زیرگروه‌های غالب منطقه می‌باشند. جدول ۲ برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌رخ‌های شماره‌ی ۱۶ و ۱۷ که از نظر موقعیت صحرائی، در نزدیکی یکدیگر قرار گرفته‌اند؛ ولی به ترتیب در دو فامیل A و B قرار دارند، نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود این دو خاک تفاوت ناچیزی با هم دارند ولی در دو فامیل گوناگون جای گرفته‌اند. به عبارت دیگر، از نظر مدیریتی و نقشه‌برداری خاک می‌توان این دو خاک را مشابه در نظر گرفت.

شکل ۲ ماتریس‌های درهمی هفت فامیل خاک غالب منطقه را در سه حالت مختلف نشان می‌دهند. شکل (۲-الف) ماتریس درهمی مزبور را با لحاظ نمودن تمامی خاک‌رخ‌های حفرشده در کل منطقه‌ی مطالعاتی نمایش می‌دهد. شکل (۲-ب) ماتریس درهمی مربوط را بر اساس خاک‌رخ‌های منطقه‌ی نمونه ارایه می‌کند و شکل (۲-ج) این ماتریس را بر مبنای توجه به خاک‌رخ‌های دو منطقه‌ی تعمیم در دسترس قرار می‌دهد.

صحت عمومی محاسبه‌شده برای ماتریس‌های شکل ۲ در حالت‌های الف، ب و ج، به ترتیب، $35/9$ ، $41/5$ و $20/8$ درصد می‌باشند. بر این اساس، ملاحظه می‌شود که برون‌یابی انجام‌شده برای مناطق تعمیم و یا به عبارت بهتر، تعمیم نتایج منطقه‌ی نمونه به خارج از آن برای اشکال اراضی مشابه، از صحت ناچیزی برخوردار است. این مسأله می‌تواند با توجه به دلایل زیر قابل توجیه باشد:

(۱) هدف اصلی این رویکرد (SoLIM)، برآورد کلاس‌های خاک در درون یک منطقه‌ی مطالعاتی است. به عبارت دیگر، هدف اصلی ژو و همکاران (۲۰ و ۲۱) این بوده است که براساس دانش، اطلاعات و داده‌های موجود در یک منطقه، اقدام به بهبود یا تهیه‌ی نقشه‌ی خاک آن منطقه گردد. بنابراین، نباید انتظار داشت این روش برای برون‌یابی، دقیق عمل کند. لیکن، همان‌طور که نتایج این پژوهش و

جدول ۱- رده بندی خاک های غالب منطقه ی مطالعاتی، به همراه فراوانی نسبی هر خاک

درصد نسبی	فامیل خاک براساس کلید رده بندی آمریکایی (۱۳)	علامت زیر گروه	علامت فامیل
۱۱	Clayey-skeletal, carbonatic, mesic Petrocalcic Calcixerepts	PP	A
۱۱	Fine, carbonatic, mesic Petrocalcic Calcixerepts	PP	B
۱۰	Fine, carbonatic, mesic Typic Calcixerepts	TP	C
۱۰	Fine, mixed, active, mesic Typic Calcixerepts	TP	D
۱۱	Fine-loamy, carbonatic, mesic Typic Calcixerepts	TP	E
۱۰	Loamy-skeletal, carbonatic, mesic Typic Calcixerepts	TP	F
۱۲	Fine, mixed, active, mesic Calcic Haploxeralfs	CF	G

(ب)	A B C D E F G							کل	(الف)	A B C D E F G							کل
	A	B	C	D	E	F	G			A	B	C	D	E	F	G	
A	۲	۱	۱	۳	۰	۰	۰	۷	A	۳	۲	۳	۳	۱	۱	۰	۱۳
B	۱	۵	۱	۲	۱	۱	۰	۱۱	B	۱	۵	۲	۲	۱	۲	۰	۱۳
C	۰	۱	۴	۱	۲	۱	۰	۹	C	۰	۱	۵	۲	۲	۱	۱	۱۲
D	۱	۱	۲	۵	۱	۰	۱	۱۱	D	۱	۱	۲	۵	۲	۰	۱	۱۲
E	۱	۱	۳	۰	۳	۲	۱	۱۱	E	۱	۱	۳	۰	۳	۳	۲	۱۳
F	۱	۰	۲	۱	۲	۴	۰	۱۰	F	۱	۰	۳	۱	۲	۵	۰	۱۲
G	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۴	۶	G	۰	۲	۲	۴	۰	۰	۶	۱۴

(ج)	A B C D E F G							کل
	A	B	C	D	E	F	G	
A	۱	۱	۲	۰	۱	۱	۰	۶
B	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۲
C	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۳
D	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱
E	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۲
F	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۲
G	۰	۲	۲	۲	۰	۰	۲	۸

شکل ۲- الف (بالا راست): ماتریس درهمی بر اساس سطح فامیل برای تمامی خاک رده های منطقه ی مطالعاتی

ب (بالا چپ): ماتریس درهمی بر اساس سطح فامیل برای خاک رده های منطقه ی نمونه

ج (پایین): ماتریس درهمی بر اساس سطح فامیل برای خاک رده های دو منطقه ی تعمیم

(سطرها، نشان گر مقادیر واقعی و ستون ها، بیان گر مقادیر برآورد شده می باشند)

۱) این فامیل ها بر اساس کلید رده بندی خاک آمریکایی (۲۰۱۰) که دارای مرز بندی های سخت و صلب^۱ است، رده بندی شده اند. بنابراین، ممکن است که در جهان واقعی (که خاک ها از ماهیت تغییر پذیری تدریجی برخوردار می باشند)، این فامیل ها (A و B) تفاوت چندانی با یکدیگر نداشته باشند. نکته ی قابل توجه این که متوسط

ملاحظه می گردد که امکان تعلق خاک رخ شماره ی ۱۷ به فامیل A، برابر ۰/۹۴۰ و برای فامیل B، برابر ۰/۹۴۲ می باشد که به ترتیب در حالت نرمال، این مقادیر برابر ۰/۱۹۴ و ۰/۱۹۵ هستند. از آنجایی که در این پژوهش، درجه ی عضویت فازی بیشینه، ملاک عمل قرار گرفته است؛ این خاک رخ، جزو فامیل B برآورد خواهد شد (هرچند که این اختلاف در مقدار عضویت، بسیار ناچیز است). دلایل احتمالی این موضوع را می توان به شرح زیر بیان نمود:

بدیهی خواهد بود که دقت برآوردها افزایش یابند. از طرفی، همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود، دو فامیل A و B، در زیرگروه پتروکلیسیک کلسی زریپتز قرار دارند. بنابراین، تا سطح زیرگروه، تفاوتی بین این دو فامیل خاک وجود ندارد. برخی ویژگی های خاک رخی های P_{۱۶} و P_{۱۷} که در جدول ۲ ارایه شده اند نیز شباهت زیاد این دو خاک-رخ را نشان می دهند.

شکل ۳، ماتریس های درهمی سه زیرگروه خاک غالب منطقه را برای سه حالت مختلف گفته شده در بالا (کل منطقه ی مطالعاتی، منطقه ی نمونه و مناطق تعمیم) نشان می دهد. این ماتریس ها، به-ترتیب، از روی ماتریس های موجود در حالت های الف، ب و ج موجود در شکل ۲ به دست آمده اند. برای نمونه، عنصر X_{۱۱} (عدد موجود در اولین سطر و اولین ستون) در ماتریس شکل (۳-الف)، از مجموع چهار عنصر X_{۱۱}، X_{۱۲}، X_{۲۱} و X_{۲۲} در ماتریس شکل (۲-الف) حاصل گردیده است. مقادیر صحت عمومی برای ماتریس های حالت الف، ب و ج موجود در شکل ۳، به ترتیب، برابر ۶۴/۰، ۷۰/۸ و ۴۱/۷ درصد می باشند. افزایش قابل توجهی صحت عمومی برای سطح زیرگروه، حاکی از کارآیی قابل قبول مدل SoLIM و ویژگی های مدل رقومی ارتفاع در برآورد خاک های منطقه ی مطالعاتی می باشد.

شکل ۴ نیز ماتریس های درهمی سه زیرگروه خاک غالب منطقه را برای سه حالت مختلف گفته شده در بالا (کل منطقه ی مطالعاتی، منطقه ی نمونه و مناطق تعمیم) نشان می دهد. تفاوت اساسی موجود بین این ماتریس ها با ماتریس های شکل ۳، مربوط به شیوه ی انجام محاسبات برای سطح زیرگروه می باشد. همان گونه که در مورد ماتریس های الف، ب و ج موجود در شکل ۳، اشاره گردید؛ این ماتریس ها در حالتی به دست آمده اند که ابتدا مدل SoLIM برای سطح فامیل خاک اجرا شده است و سپس نتایج حاصل، به سطح زیرگروه تبدیل گردیده اند. حال آن که ماتریس های شکل ۴، نشان-دهنده ی خروجی های مستقیم مدل SoLIM برای سطح زیرگروه خاک می باشند. به عبارت بهتر، ماتریس های اخیر، نمایان گر نتایج حاصل از اجرای مستقیم مدل SoLIM برای سطح زیرگروه خاک-های مطالعاتی می باشند. با توجه به ماتریس های شکل ۴ حالات الف، ب و ج، مقدار صحت عمومی حالت های سه گانه ی مزبور، به ترتیب، برابر ۵۳/۹، ۶۱/۵ و ۳۳/۳ درصد می باشند. ملاحظه می شود در حالتی که مدل SoLIM به طور مستقیم برای سطح زیرگروه اجرا گردیده است، صحت عمومی آن کمتر از حالتی است که این مدل ابتدا برای سطح فامیل خاک اجرا شده است و سپس نتایج آن به سطح زیرگروه تبدیل گردیده اند. به عبارت بهتر، هرچند از نظر مقیاس مطالعاتی، در هر دو حالت (فامیل و زیرگروه خاک)، مقیاس نقشه برابر ۱:۲۵۰۰۰ است؛ اما زمانی که مدل SoLIM بر مبنای سطح فامیل خاک اجرا می شود؛ دارای مقیاس رده بندی دقیق تری است و برآوردهای آن هم از صحت عمومی بیشتری برخوردار هستند.

وزنی درصد ذرات درشت^۱ خاک رخی مزبور در بخش کنترلی فامیل^۲، ۳۹ درصد می باشد (جدول ۲) و همین موضوع، قرارگیری این خاک رخی در فامیل A را باعث شده است. به عبارت بهتر، تنها تفاوت دو فامیل خاک A و B، در کلاس اندازه ی ذرات (Clayey-skeletal) در مقابل (Fine) آن ها می باشد (جدول ۱) که این تفاوت، به دلیل اختلاف چهار درصدی میانگین وزنی ذرات درشت بخش کنترلی فامیل A با مقدار ۳۵ درصد (که بر اساس کلید رده بندی خاک آمریکایی (۲۰۱۰)، مرز اختلاف این دو کلاس اندازه ی ذرات می باشد) است. البته باید توجه داشت که این اختلاف، ممکن است که ناشی از خطاهای آزمایشگاهی یا نمونه برداری باشد. از طرفی، برای خاک رخی شماره ی ۱۶ نیز متوسط وزنی ذرات درشت بخش کنترلی فامیل، ۳۲/۶ درصد است (جدول ۲) و این خاک رخی نیز فقط به دلیل اختلاف ۲/۴ درصدی میانگین وزنی ذرات درشت بخش کنترلی فامیل آن با عدد ۳۵ درصد، در فامیل B قرار گرفته است.

با توجه به این که برآوردهای فازی در این پژوهش، بر اساس پنج ویژگی به دست آمده اند، ممکن است که تأثیرگذاری این ویژگی ها برای این دو فامیل، یکسان بوده باشد. در نتیجه، بهتر است که مدل SoLIM با تعداد ویژگی های بیشتری اجرا گردد. به منظور بررسی این موضوع، برای دو فامیل A و B، علاوه بر پنج ویژگی قبل، سه ویژگی دیگر (شامل جهت جریان، شاخص رسوب و انحنای بیشینه که به ترتیب در رتبه های ششم تا هشتم قرار داشتند) نیز وارد مدل SoLIM شدند و این مدل با هشت ویژگی اجرا گردید. هرچند نتایج حاصل، اندکی بهبود یافتند؛ ولی برای برخی خاک رخی ها همچنان درجه ی عضویت فازی، بسیار نزدیک بود. برای نمونه، درجات عضویت فازی خاک رخی شماره ی ۱۷ به صورت زیر تغییر کردند:

$$\{D, (0.486), (E, 0.625), (F, 0.501), (G, 0.234)\}$$

$$P_{17} = \{(A, 0.886), (B, 0.881), (C, 0.815)\}$$

و در حالت نرمال شده، این درجات به شکل زیر می باشند:

$$\{D, (0.110), (E, 0.141), (F, 0.113), (G, 0.053)\}$$

$$P_{17} = \{(A, 0.200), (B, 0.199), (C, 0.184)\}$$

هرچند با ورود هشت ویژگی از مدل رقومی ارتفاع به مدل SoLIM، برآورد بهتری از خاک رخی شماره ی ۱۷ به دست آمد؛ ولی همچنان اختلاف ناچیز بین درجات عضویت دو فامیل A و B به قوت خود باقی است. این بدان معنا می باشد که حتی اگر خطایی در هنگام نمونه برداری یا تجزیه های آزمایشگاهی رخ نداده باشد؛ خاک رخی مزبور و همچنین خاک رخی شماره ی ۱۶ (P_{۱۶})، از یک حالت مرزی برای دو فامیل A و B برخوردار هستند و بنابراین، از منظر مباحث نقشه-برداری، می توان این دو خاک را مشابه^۳ تلقی نمود، در این صورت

- 1 - Coarse Fragments
- 2 - Family Control Section
- 3 - Similar Soils

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌رخ‌های شماره‌ی ۱۶ و ۱۷

شماره‌ی خاک‌رخ	علامت فامیل خاک	افق	عمق (سانتی‌متر)	شماره‌ی شن	سیلت	رس	درصد ذرات (۲-۷۵)		کل کربنات‌ها	ماده‌ی آلی	بافت	واکنش خاک	هدایت الکتریکی (dS/m)
							ذرات (۰/۱-۲) میلی‌متر	ذرات (۲-۷۵) میلی‌متر					
۱۷	A	Ap	۰-۱۵	۱۳/۲	۴۶/۰	۴۰/۸	۰	۳۶	۴۶/۵	۰/۶۳	SiC	۷/۶	۰/۳۹
		Bk1	۱۵-۳۵	۷/۲	۴۰/۰	۵۲/۸	۰	۲۷	۴۰/۰	۰/۴۰	SiC	۷/۸	۰/۲۴
		Bk2	۳۵-۶۰	۵/۲	۳۲/۰	۶۲/۸	۰	۴۴	۶۴/۲	۰/۱۰	C	۷/۹	۰/۲۰
		Bkm	+۶۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۶	B	Ap	۰-۱۵	۱۵/۲	۴۰/۰	۴۴/۸	۱۰/۱	۱۷	۳۸/۲	۰/۶۳	SiC	۷/۴	۰/۳۷
		Bk1	۱۵-۳۰	۱۶/۲	۳۷/۳	۴۶/۵	۱۰/۶	۲۳	۴۱/۷	۰/۸۶	C	۷/۶	۰/۲۹
		Bk2	۳۰-۶۵	۱۸/۰	۳۴/۵	۴۷/۵	۱۴/۸	۳۴	۶۷/۵	۰/۷۱	C	۷/۶	۰/۲۲
		Bkm	+۶۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(ج)				(ب)				(الف)						
	PP	TP	CF	کل		PP	TP	CF	کل		PP	TP	CF	کل
PP	۲	۶	۰	۸	PP	۹	۹	۰	۱۸	PP	۱۱	۱۵	۰	۲۶
TP	۰	۶	۲	۸	TP	۶	۳۳	۲	۴۱	TP	۵	۴۰	۴	۴۹
CF	۲	۴	۲	۸	CF	۰	۲	۴	۶	CF	۲	۶	۶	۱۴

شکل ۳- (الف): ماتریس درهمی بر اساس سطح زیرگروه برای تمامی خاک‌رخ‌های منطقه‌ی مطالعاتی

(ب): ماتریس درهمی بر اساس سطح زیرگروه برای خاک‌رخ‌های منطقه‌ی نمونه

(ج): ماتریس درهمی بر اساس سطح زیرگروه برای خاک‌رخ‌های دو منطقه‌ی تعمیم

(سطرها، نشان‌گر مقادیر واقعی و ستون‌ها، بیان‌گر مقادیر برآوردشده می‌باشند)

کاهش می‌یابند (برای نمونه، اطلاعات چند فامیل خاک در یک زیرگروه جای می‌گیرند)، چنان‌چه نقشه‌ی پایانی از تعمیم‌پذیری اطلاعات فامیل‌های خاک به‌دست آید، حداقل دارای صحت و دقت بالاتری نسبت به حالتی است که نقشه‌ی پایانی بر اساس اطلاعات زیرگروه خاک‌ها تهیه شود.

بنابراین، هرچه اطلاعات واردشده به مدل SoLIM، بیشتر باشند (سطح فامیل خاک نسبت به سطح زیرگروه): تفکیک‌پذیری بهتر و دقیق‌تری از خاک‌های مطالعاتی حاصل می‌شود و میزان عدم قطعیت، کاهش خواهد یافت. این موضوع در فرآیند تعمیم‌پذیری اطلاعات، حایز اهمیت است؛ زیرا با توجه به این‌که در این فرآیند، اطلاعات

(ج)				(ب)				(الف)						
	PP	TP	CF	کل		PP	TP	CF	کل		PP	TP	CF	کل
PP	۱	۷	۰	۸	PP	۹	۹	۰	۱۸	PP	۱۰	۱۶	۰	۲۶
TP	۱	۵	۲	۸	TP	۸	۲۸	۵	۴۱	TP	۹	۳۳	۷	۴۹
CF	۲	۴	۲	۸	CF	۰	۳	۳	۶	CF	۲	۷	۵	۱۴

شکل ۴- (الف): ماتریس درهمی بر اساس سطح زیرگروه برای تمامی خاک‌رخ‌های منطقه‌ی مطالعاتی

(ب): ماتریس درهمی بر اساس سطح زیرگروه برای خاک‌رخ‌های منطقه‌ی نمونه

(ج): ماتریس درهمی بر اساس سطح زیرگروه برای خاک‌رخ‌های دو منطقه‌ی تعمیم

(سطرها، نشان‌گر مقادیر واقعی و ستون‌ها، بیان‌گر مقادیر برآوردشده می‌باشند)

درصد) است (جدول ۳) که این خود، تأییدی بر بحث‌های قبلی صورت گرفته برای خاک رخ P₁₇ می‌باشد. نکته‌ی قابل توجه در جدول ۳، نقشه‌ی مربوط به فامیل F (ستون F) است؛ چراکه میانگین درجات فازی برای فامیل F در این ستون، نسبت به دیگر فامیل‌ها کمتر می‌باشد. به عبارت بهتر، میانگین درجات فازی برای فامیل F، برآورد خوبی از این فامیل در دسترس قرار نمی‌دهد. دلیل این موضوع، چند برآورد نادرست با مقادیر بسیار کم می‌باشند که سبب شده‌اند میانگین کل را به شدت کاهش دهند؛ و گرنه با توجه به ماتریس‌های حالت الف و ب شکل ۲، برآوردهای این فامیل، تفاوت چندانی با دیگر فامیل‌ها ندارند. بنابراین، در کاربرد نتایج چنین جدول‌هایی باید با احتیاط عمل کرد و تنها به مقدار عددی متغیر مورد نظر اکتفا نمود؛ بلکه باید دیگر آماره‌های مربوط به توزیع متغیرها (مانند واریانس داده‌ها و یا دامنه‌ی آن‌ها) را نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. برای نمونه، در نقشه‌ی E برای فامیل E، دامنه‌ی داده‌ها از ۵۳/۷ تا ۹۰/۱ تغییرپذیری دارد و واریانس آن‌ها ۹۱/۷ است؛ در حالی که در نقشه‌ی F برای فامیل F، دامنه‌ی داده‌ها از ۱۱/۴ تا ۸۷/۹ تغییرپذیر است و واریانس آن‌ها ۵۲۱/۷ می‌باشد. بنابراین، برآورد نادرست از میانگین مقادیر عضویت F در جدول ۳، منطقی و قابل پیش‌بینی خواهد بود. در سطح زیرگروه (جدول ۴) نیز موارد ذکر شده معتبر می‌باشند. برای نمونه، هرچند در ستون TP (نقشه‌ی TP) میانگین درجه‌ی عضویت در زیرگروه TP، نزدیک به زیرگروه PP است (۶۶ در برابر ۶۵)؛ لیکن واریانس این مقادیر، به ترتیب، برابر ۸۸/۸ و ۳۵۷/۲ می‌باشند.

جدول‌های ۳ و ۴ مقدار میانگین درجات عضویت فازی را به ترتیب برای هر فامیل و هر زیرگروه خاک در هر نقشه‌ی به دست آمده از مدل SoLIM برای پایگاه دانش حالت اول (با استفاده از تمامی داده‌های موجود در ماتریس‌های پایانی)، نشان می‌دهند (نظر به این-که نتایج پایگاه دانش حالت دوم، از دقت کم‌تری برخوردار بودند، در این‌جا مورد بررسی قرار نگرفتند). برای نمونه، ستون A در جدول ۳ از نقشه‌ی تهیه شده برای فامیل A به دست آمده است. میانگین درجات عضویت فازی برای فامیل A در این ستون از دیگر فامیل‌ها بیشتر است. به عبارت دیگر، مطابق آنچه انتظار می‌رود، نقشه‌ی تهیه شده برای فامیل A، میانگین درجات عضویت فازی بیشتری را هم به این فامیل اختصاص داده است. این موضوع می‌تواند برای تغییر در مقیاس نقشه، حایز اهمیت باشد. برای نمونه، اگر ساده‌سازی داده‌ها با افزایش اندازه‌ی پیکسلی انجام گیرد؛ آن‌گاه با استفاده از مقدار میانگین به دست آمده برای پیکسل‌های جدید می‌توان برآورد بهتری برای کلاس خاک مربوط به آن پیکسل داشت. به عنوان مثال، اگر در نقشه‌ی A، هر شانزده پیکسل (۴×۴=۱۶) به یک پیکسل تبدیل شوند و مقدار میانگین مربوط به این ۱۶ پیکسل، به پیکسل خروجی تعلق گیرد؛ آن‌گاه هر چه این مقدار میانگین، به مقدار میانگین مربوط به فامیل A نزدیک‌تر و یا از آن بزرگ‌تر باشد، وجود فامیل خاک A در این پیکسل امکان‌پذیرتر خواهد بود. در برخی موارد، این مقادیر به هم‌دیگر نزدیک هستند. برای نمونه، تفاوت مقادیر مربوط به دو فامیل A و B در نقشه‌ی مربوط به فامیل A (ستون A)، تنها ۰/۰۱ (یک

جدول ۳- مقادیر (درصد) میانگین درجه‌ی عضویت هر فامیل خاک (سطرها)

در هر نقشه‌ی خروجی از مدل SoLIM (ستون‌ها)							
خاک‌ها	A	B	C	D	E	F	G
A	۷۸	۸۳	۸۱	۸۱	۷۸	۷۶	۷۶
B	۷۷	۸۸	۸۳	۸۱	۷۹	۷۶	۸۲
C	۷۵	۸۶	۸۴	۸۵	۸۳	۷۷	۸۳
D	۷۲	۸۱	۸۰	۸۰	۷۶	۷۵	۷۷
E	۶۹	۷۶	۷۵	۷۵	۸۳	۷۰	۷۴
F	۶۹	۶۷	۷۰	۶۸	۶۳	۷۱	۶۳
G	۷۱	۸۴	۸۱	۸۴	۸۱	۷۵	۸۴

جدول ۴- مقادیر (درصد) میانگین درجه‌ی عضویت هر زیرگروه خاک (سطرها)

در هر نقشه‌ی خروجی از مدل SoLIM (ستون‌ها)			
خاک‌ها	PP	TP	CF
PP	۸۳	۶۵	۸۱
TP	۷۴	۶۶	۷۲
CF	۷۸	۶۰	۸۵

نتیجه‌گیری

همان‌گونه‌که می‌باشد و به همین دلیل، مقایسه‌ی نتایج مدل SoLIM بر اساس کلید رده‌بندی خاک، تا حدی گمراه‌کننده خواهد بود. (۵) علاوه بر مشاهدات صحرایی، استفاده از نظرات افراد کارشناس در تعریف توابع عضویت فازی برای مدل SoLIM، به‌ویژه در مواقعی که نمونه‌های موجود کافی نباشند و یا نماینده‌ی خوبی برای معرفی منطقه‌ی مورد نظر نیستند، می‌تواند کارگشا باشد (۲۲ و ۲۳). (۶) ابزارهای مطالعاتی با ماهیت پیوسته (مانند تصاویر ماهواره‌ای و یا مدل رقومی ارتفاع) می‌توانند در شناسایی تغییرپذیری تدریجی پدیده‌های طبیعی (مانند خاک)، نقش مؤثری داشته باشند. بنابراین، استفاده از مدل رقومی ارتفاع و ویژگی‌های آن به‌همراه اطلاعات دیگر (مانند تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌ی زمین‌شناسی و غیره) به منظور بررسی ارتقای کیفی نقشه‌های خاک قدیمی و به‌نگام نمودن آن‌ها پیشنهاد می‌گردد.

پیشنهادها

(۱) برای ارزیابی نتایج SoLIM بهتر است از روش‌هایی استفاده شود که دارای مرزهای سخت کمتری می‌باشند و یا انعطاف‌پذیری بیشتری دارند. برای مثال، استفاده از کلاس‌های قابلیت خاک به جای فامیل خاک. (۲) برای افزایش دقت SoLIM پیشنهاد می‌گردد خاک‌های مشابه نیز در مدل وارد شوند. (۳) پیشنهاد می‌شود، نتایج به صورت نقشه‌ی خاک تهیه گردد و نقشه‌ی حاصل از این رویکرد (SoLIM) با واقعیت و یا با نقشه‌های حاصل از دیگر روش‌های نقشه‌برداری مقایسه شود تا کارایی این رویکرد بهتر مشخص گردد.

(۱) ویژگی‌های مختلف مدل رقومی ارتفاع (هم به لحاظ منطقی و ریاضی، و هم از نظر تجربی)، دارای رابطه‌ی نزدیکی با ویژگی‌های محیطی و خاک هستند. استفاده از این ویژگی‌ها در شناسایی خاک می‌تواند تا حد زیادی بر دقت کار بیفزاید و از صرف هزینه و زمان بکاهد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنها با استفاده از پنج ویژگی از مدل رقومی ارتفاع و اطلاع از خاک‌های غالب منطقه (بدون هیچ‌گونه اطلاعات دیگر) می‌توان با دقت حدود ۷۳ درصد در درون-یابی و با دقت حدود ۴۱ درصد در برون‌یابی واحدهای نقشه، برآورد درستی را در سطح زیرگروه خاک به ارمغان آورد.

(۲) به‌کارگیری ویژگی‌های پنج‌گانه‌ی مزبور در مدل استنباطی خاک-سرزمین (مدل SoLIM)، هرچند نتایج چندان قابل قبولی ارائه نکرد؛ اما این انتظار وجود دارد که استفاده از ویژگی‌های بیشتر، داده‌های ورودی دیگر (مانند استفاده از نقشه‌ی ژئومورفولوژی و زمین-شناسی) و نیز کاربرد مدل رقومی ارتفاع با دقت بالاتر (دقت بیش از ۱۰ متر) می‌تواند نتایج را بهبود بخشد.

(۳) اجرای مدل SoLIM با داده‌هایی که مربوط به سطوح پایین‌تر (مانند فامیل) رده‌بندی خاک می‌باشند و آرایه‌ی نتایج برای سطوح بالاتر (مانند زیرگروه)، برآوردهای دقیق‌تر و بهتری را نسبت به زمانی که داده‌های ورودی و خروجی مدل، هر دو مربوط به یک سطح رده-بندی خاص (مانند زیرگروه) باشند، در دسترس قرار می‌دهد.

(۴) عدم هماهنگی بین داده‌های ورودی و روش مورد استفاده، کارایی مدل مورد نظر را با هاله‌ای از ابهام روبه‌رو می‌سازد؛ چراکه کلید رده‌بندی خاک آمریکایی که دارای مرزهای سخت است با ماهیت فازی روش SoLIM و تغییرات تدریجی خاک در طبیعت،

منابع

- ۱- اسفندیارپور بروجنی ع. ۱۳۸۸. تعمیم‌پذیری روش ژئوپدولوژی در نقشه‌برداری خاک. پایان‌نامه‌ی دکترای خاک‌شناسی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ۱۱۹ ص.
- ۲- اسفندیارپور بروجنی ع.، صالحی م.ح.، تومانیان ن. و محمدی ج. ۱۳۸۸. تأثیر موقعیت منطقه‌ی نمونه و نظر کارشناس بر نتایج روش ژئوپدولوژی در نقشه‌برداری خاک (مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی بروجن، استان چهارمحال و بختیاری). مجله‌ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ویژه‌نامه‌ی علوم آب و خاک، شماره‌ی چهل و نهم، صفحات ۱۱۳ تا ۱۲۷.
- 3- Boruvka L., Kozak J., Nemek J., and Penizec V. 2002. New approach to the exploitation of former soil survey data. 17th world Congress of Soil Science, Bangkok, Thailand, August 14- 21 2002. paper No: 1682.
- 4- Bui E.N. 2007. A review of digital soil mapping in Australia, Digital soil mapping: An introductory perspective. Developments in Soil Science, 31: 25-37.
- 5- Chaharmahal and Bakhtiari Meteorological Administration. 2010. <http://www.chaharmahalmnet.ir/en/dataarchive.asp>.
- 6- Grunwald S. 2006. Environmental Soil-Landscape Modeling, Geomorphic Information Technologies and Pedometrics. Taylor and Francis.
- 7- Lagacherie P., and McBratney A.B. 2007. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping. Digital soil mapping: An introductory perspective. Developments in Soil Science, 31: 3-22.

- 8- Legros J.P. 2006. Mapping of the Soil. Science publishers, NH, USA, 411 pp.
- 9- Rossiter D.G. 2000. Methodology for Soil Resource Inventories, 2nd Revised Version, Soil Science Division, International institute for Aerospace Survey & Earth Science (ITC), 132 pp.
- 10- Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C., and Broderson W.D. (Eds.). 2002. Field book for describing and sampling soils, Version 2.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- 11- Scull P., Franklin J., Chadwick O.A., and McArthur D. 2003. Predictive soil mapping: a review. Progress in physical geography, 27: 171-197.
- 12- Shi X., Zhu A.X., Burt J.E., Qi F., and Simonson D. 2004. A case base reasoning approach to fuzzy soil mapping. Soil Science Society of America Journal, 68: 885-894.
- 13- Soil Survey Staff. 2010. Keys to soil taxonomy (11th ed.). NRCS, USDA, USA.
- 14- Webb T.H., and Lilburne L.R. 2005. Consequence of soil map unit uncertainty on environmental risk assessment. Australian journal of soil research, 43: 119 – 126.
- 15- Willson J.P., and Gallant J.C. 2000. Terrain Analysis, Principles and Applications. John Wiley & Sons Inc. London.
- 16- Yang L., Zhu A.X., Li B.L., Qin C.Z., Pei T., Liu B.Y., Li R.K., and Cai Q.G. 2007. Extraction of knowledge about soil-environment relationship for soil mapping using fuzzy c-means (FCM) clustering. Acta Pedologica Sinica, 44: 16-23.
- 17- Zadeh L.A. 1988. Fuzzy logic, IEEE Computer Magazine, Vol. 21, No, 4.
- 18- Zhu A. 1997a. A similarity model for representing soil spatial information. Geoderma, 77: 217-242.
- 19- Zhu A. 1997b. Measuring uncertainty in class assignment for natural resource maps under fuzzy logic. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 63: 1195-1202.
- 20- Zhu A., and Band L.E. 1994. A knowledge-based approach to data integration for soil mapping. Canadian Journal of Remote Sensing, 20: 408-418.
- 21- Zhu A., Band L., Dutton B., and Nimlos T.J. 1996. Automated soil inference under fuzzy logic. Ecological Modelling, 90: 123-145.
- 22- Zhu A., Hudson B., Burt J., Lubich K., and Simonson D. 2001. Soil mapping using GIS, expert knowledge, and fuzzy logic. Soil Science Society of America Journal, 65: 1463-1472.
- 23- Zhu A., Xing L., Yang B.L., Qin C., English E., Burt J.E., and Zhou C. 2008. Purposive sampling for digital soil mapping for areas with limited data. Digital Soil Mapping with Limited Data, In Springer, pp. 233-245.
- 24- Zhu A., Band L., Vertessy, R., and Dutton B. 1997. Derivation of soil properties using a soil land inference model (SoLIM). Soil Science Society of America Journal 61.



Efficiency of Digital Elevation Model and its Attributes for Soil Mapping Using Soil-Land Inference Model (SoLIM)

M. Bagheri Bodaghabadi¹ - M.H. Salehi^{2*} - J. Mohammadi³ - N. Toomanian⁴ - I. Esfandiarpour Boroujeni⁵

Received:23-11-2010

Accepted:29-6-2011

Abstract

Limitations of traditional (conventional) soil surveys and improvement of information technology have lead soil surveyors to invent new methods which are generally called digital soil mapping (DSM). The aim of these methods is the prediction of soil classes or soil properties based on easily-available or measuring environmental variables. The objective of this investigation is to study the efficiency of digital elevation model and its derivatives for soil mapping using Soil-Land Inference Model (SoLIM) and credibility of its results in the Borujen area, Chaharmahal-va-Bakhtiari province. Eighteen terrain attributes including height, slope (angle), aspect, curvature, minimum curvature, maximum curvature, tangent curvature, profile curvature, planform curvature, flow direction, flow accumulation, direct radiation, diffuse duration, diffuse radiation, area solar radiation, power index, sediment index and wetness index, were derived from the DEM. These derivatives as well as three dominant soil subgroups and seven soil families of the region were used to construct the input data matrix of the model. Results showed an accuracy of 65% and 40% for interpolation and extrapolation of the soils at subgroup level, respectively. The accuracy decreased to half when soil families were considered for credibility of the model. Because of using crisp limitations in American Soil Taxonomy system, assessing soil survey results can be miss-leading partially, whereas using SoLIM model shows well the reality of the soils in the field.

Keywords: SoLIM, Fuzzy logic, Digital soil mapping, Digital elevation model

1,2,3- PhD Student and Associate Professors, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shahrekord University, Respectively

(*- Corresponding Author Email: mehsalehi@yahoo.com)

4- Assistant Professor, Agriculture and Natural Resource Research Centre, Esfahan

5- Assistant Professor, Soil Science Department, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan