# ارزیابی مدل استنباطی خاک- سرزمین (SOLIM) در نقشه‌برداری خاک براساس منطق فازی در کاشان

الهام مهرابی گوهری[۱*]، حمیدرضا متین فر[۲] و روح ا... تقی زاده مهرجردی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۱۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۲۵)

## چکیده

**روش‌های معمول بررسی خاک‌ها از نظر زمان و هزینه مورد نیاز نسبتاً گران هستند و باتوجه به سنتی بودن تهیه نقشه‌ها و وابستگی تام به نظرات کارشناسی، روزآمد نمودن نقشه‌ها هم وقت‌گیر بوده و گاهاً صرفه اقتصادی ندارد. در حالی که نقشه‌برداری رقومی خاک، با استفاده از مدل‌های مختلف خاک– سیمای زمین، منجر به ساده‌سازی پیچیدگی‌های موجود در سامانهٔ طبیعی خاک شده و به کار بران امکان روزآمد نمودن سریع و ارزان را می‌دهد. در واقع، مدل‌های مزبور، نشان دهنده شکل ساده شده‌ای از روابط پیچیدهٔ موجود بین خاک و شکل سرزمین می‌باشند. هدف از پژوهش حاضر، بررسی مدل استنباطی خاک- سرزمین(SOLIM) در نقشه‌برداری و برآورد کلاس‌های خاک در منطقه آران، استان اصفهان می‌باشد. برای این منظور ورودی‌های مدل SOLIM، لایه رقومی زمین شناسی و لایه‌های محیطی از مدل رقومی ارتفاع (DEM)، شامل: ارتفاع، شیب برحسب درصد، جهت شیب، شکل انحنا سطح زمین، شاخص نمناکی، جهت جریان و تجمع جریان و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ می‌باشند. همچنین هفت زیر رده خاک در منطقه مطالعاتی داده‌های ورودی مدل SOLIM را تشکیل می‌دهند. سپس نقشه‌های فازی برای هفت نوع خاک تهیه شده و نقشه نهایی پیش‌بینی خاک با عمل غیر فازی کردن ایجاد شد. نتایج نشان داد که مدل SOLIM با استفاده از متغیرهای محیطی توانایی بسیار بالایی در جداسازی انواع خاک با جزئیات بیشتر دارد و خاک‌هایی که مواد مادری، زمین شناسی، اقلیم و پوشش گیاهی متفاوتی دارند را می‌توان با این مدل با صحت بالا از هم تفکیک نمود. مقایسه ماتریس خطا نشان می‌دهد که صحت کلی نقشه استنتاج شده از مدل SOLIM برابر ۹۲/۳۶٪ درصد می‌باشد.**

**واژه‌های کلیدی: نقشه‌برداری رقومی خاک، مدل رقومی ارتفاع، منطق فازی، مدل SOLIM**

۱.دانشکده کشاورزی، دانشگاه پیام نور و دانشجوی دکتری مهندسی علوم خاک، دانشگاه لرستان
۲.گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
۳.گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: elham.mehrabi1@yahoo.com

## مقدمه

الگوی سنتی یا معمول نقشه برداری خاک، براساس میزان توانایی و تجربهٔ کارشناسان در تفسیر فرایندهای اصلی خاک‌سازی و فاکتورهای محیطی دخیل در تشکیل سیمای سرزمین و یا سیمای خاک، پایه‌ریزی شده است. بنابراین داده ها و نقشه‌های استخراج شده از چنین الگویی، به‌طور معمول، ناتوانی نقشه برداری خاک در تشریح ساختار، خصوصیات دینامیکی و پیوسته سیمای سرزمین را آشکار می‌سازند (۲۶). به‌همین دلیل، برخی از پژوهش‌گران اعتقاد دارند که عدم قطعیت در نقشه‌های سنتی خاک، از کارآیی آنها کاسته است (۴، ۲۳). برخی دیگر نقشه های سنتی خاک را ابزاری ناکارآمد می‌دانند و عدم توانایی نقشه‌برداران خاک در انتقال و رساندن آشکار و صریح مدل‌های ذهنی خود را دلیل این ناکارآمدی بیان نموده‌اند (۲۴).

محدودیت‌های موجود در روش‌های سنتی (مرسوم) شناسایی خاک و پیشرفت‌های صورت گرفته در فناوری اطلاعات، باعث ارایهٔ راهکارهای نوینی شده است که به‌طور کلی شناسایی رقومی خاک نامیده می‌شوند(۲). هدف روش‌های رقومی پیش‌بینی کلاس‌های خاک یا ویژگی های آن، براساس متغیرهای محیطی و یا خصوصیاتی از خاک است که به‌سادگی قابل دستیابی یا محاسبه باشند. شناسایی یا نقشه‌برداری خاک، به‌عنوان روشی برای تعیین الگوی پراکنش خاک، توصیف و نمایش آن به شکل قابل فهم و تفسیر برای کاربران مختلف است.

نقشه‌های خاک پایه و اطلاعات محیطی اساس اطلاعات خاک برای مدل- سازی‌های محیطی می‌باشد(۱۶،۲۲). مطالعه خاک شامل سه مرحله اصلی می‌باشد، مرحله اول شامل مشاهده اطلاعات جانبی مانند عکس‌های هوایی، زمین شناسی و همراه با ویژگی‌های پروفیل‌های خاک است. مرحله دوم، نیاز است که این مشاهدات در یک مدل مفهومی ضمنی گنجانیده شود که برای پی بردن به تنوع خاک ضروری است. مرحله سوم استفاده از مدل مفهومی برای بررسی منطقه به‌منظور پیش‌بینی تغییرات خاک و بسط آن برای مکان‌های نمونه‌برداری نشده می‌باشد (۶). معمولاً خاک شناسان توسعه روابط خاک- سیمای سرزمین را با استفاده از اطلاعات مکانی خاص که در سراسر چشم‌انداز برای مکان‌های نمونه‌برداری نشده قابل تعمیم باشد را ترجیح می‌دهند. لئو و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که توزیع رده‌های خاک به‌مقدار زیادی تحت تأثیر مواد مادری و توپوگرافی است، اما امکان دارد که پوشش گیاهی بسیار مشابهی داشته باشند. از اینرو، اطلاعات مواد مادری محلی و توپوگرافی می‌توانند به‌عنوان متغیرهای کمکی خاکی برای نقشه‌برداری رده‌های خاک در مناطق کوهستانی محلی استفاده شوند(۱۱).

پیش‌بینی نقشه‌برداری رقومی خاک، با استفاده از مدل توصیفی روابط بین متغیرهای کمکی خاک و خاک اجرا می‌شود. مدل‌سازی روابط گام کلیدی است که سزاوار توجه ویژه‌ای در نقشه‌برداری رقومی خاک می‌باشد (۹). نتایج نقشه‌برداری مرسوم خاک، استفاده از پلی‌گون و یا واحدهای واضح نقشه، تغییرات ناگهانی یک واحد نقشه یا نوع خاک را نسبت به دیگری نشان می‌دهد. نتیجه این روش موجب می‌شود تا هر محل در چشم‌انداز با محدودیت‌های یک واحد نقشه متناسب شود که با دقت منعکس کننده چشم‌انداز خاک نیست(۱۷). دانشمندان در تلاش برای اصلاح استفاده از یک مدل زمینه‌ای پیوسته با استفاده از پیکسل به جای پلی‌گون می‌باشند که منعکس کننده تغییر تدریجی ویژگی‌های خاک در سراسر چشم‌انداز باشد (۸).

شناسایی رقومی خاک‌ها به‌عنوان ابزاری برای ایجاد اطلاعات مکانی خاک، راه حل‌هایی برای نیاز رو به افزایش نقشه‌های خاک با تفکیک مکانی بالا را تأمین می‌کند. بنابراین، باید استراتژی‌ها و روش‌های جدید به‌منظور به‌دست آوردن اطلاعات مکانی خاک با تفکیک مکانی بالا توسعه یابد (۱۹). نقشه‌برداری رقومی خاک، سامانه‌هایی را برای اطلاعات مکانی خاک، گردآوری و ایجاد می‌کند که می‌توانند کاربران را در تصمیم سازی برای رسیدگی به مسایل و مشکلات محیطی و کشاورزی کمک کنند (۱۰). یکی از جنبه‌های اساسی در

نقشه‌برداری رقومی خاک، استفاده از مدل‌های مختلف به‌منظور ساده‌سازی پیچیدگی‌های موجود در سامانهٔ طبیعی خاک می‌باشد. بر این اساس، مدل استنباطی خاک- سرزمین (SOLIM) بیانگر شکل ساده شده‌ای از روابط پیچیدهٔ موجود بین خاک و شکل سرزمین می‌باشند که فرایندهای تکاملی خاک و الگوی پراکنش آن را نشان می‌دهند (۷).

مدل استنباطی خاک- سرزمین یا SOLIM از جمله مدل‌هایی است که به‌منظور غلبه بر محدودیت‌های موجود در روش‌های شناسایی سنتی خاک،توسط ژو و همکاران در سال ۱۹۹۶ ارائه شده است. در این مدل نقشهٔ خاک بر پایهٔ مدل خاک- سرزمین ایجاد می‌گردد. بدین معنا که خاک تابعی از عوامل محیطی است.

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

که در آن S و E به ترتیب، بیانگر خاک و متغیرهای محیطی هستند و f نشان‌دهندهٔ رابطهٔ خاک- محیط (مدل خاک- سرزمین) می باشد. براساس این مدل، اگر ویژگی های محیطی و رابطهٔ خاک- سرزمین، برای یک موقعیت شناخته شده باشند؛ آنگاه، خاک و یا ویژگی‌های آن در منطقهٔ مورد نظر قابل استنتاج خواهند بود. این مدل دارای سه جزء اصلی زیر است:

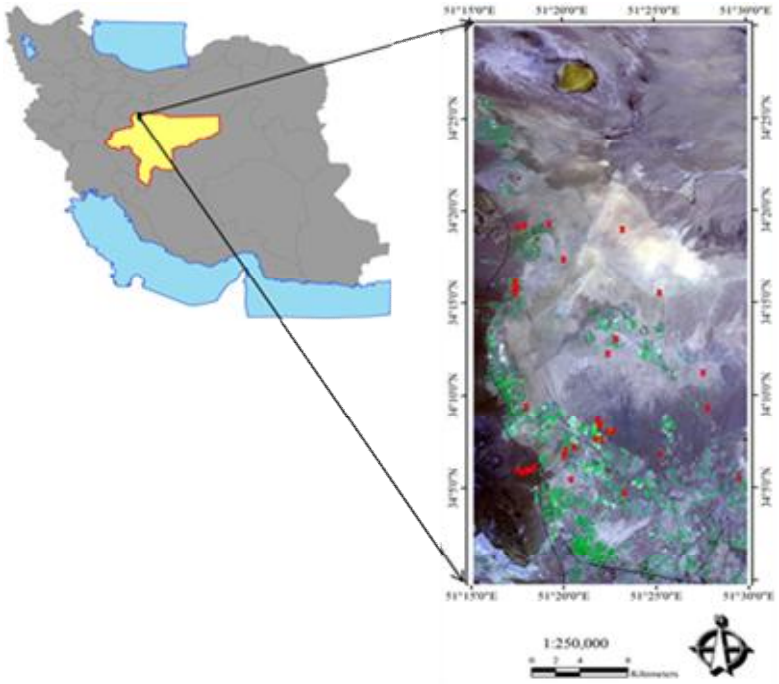
۱) مدل تشابه که برای نمایش پیوستهٔ خاک‌ها کاربرد دارد، این مدل، مبتنی بر منطق فازی می‌باشد. بنابراین، هر پیکسل می‌تواند با درجات عضویت مختلف، به بیش از یک کلاس خاک تعلق گیرد.

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

۳) مجموعهٔ روش‌هایی که برای استنتاج نتایج اطلاعات خاک از مدل تشابه به‌کار می‌روند. به‌طور کلی، مدل SOLIM با درنظر گرفتن محیط سازندهٔ هر خاک و روابط خاک- سرزمین (که توسط اطلاعات خاک شناسان ازمنطقهٔ مورد نظر تعریف می‌شوند)، اقدام به تشکیل یک پایگاه دانش می‌کند. ویژگی‌های محیطی منطقهٔ مورد نظر (مانند مدل رقومی ارتفاع و ویژگی‌های آن) در یک پایگاه داده‌های جغرافیایی نگهداری می‌شوند. موتور استنباط فازی برای ارتباط پایگاه دانش و پایگاه داده ها برای استخراج بردار تشابه خاک به‌کار می‌رود.

مطالعات ژو و همکاران (۱۹۹۶،۲۰۰۱) نشان داد که نقشه های تهیه شده با استفاده از مدل SOLIM نسبت به نقشه‌های حاصل از روش سنتی شناسایی خاک، از دقت عمومی بالاتری برخوردار می‌باشند(۲۳، ۲۵). از طرفی برآوردهای انجام شده برای ویژگی های خاک نیز نشان گر دقت بالاتر مدل SOLIM نسبت به روش های مرسوم بوده‌اند. ژو و همکاران (۱۹۹۷) با مقایسهٔ مدل SOLIM و روش سنتی، به‌منظور تخمین ضخامت افق A در منطقهٔ کوهستانی غرب مونتانا، نتیجه گرفتند که مدل SOLIM برآورد بهتری از ضخامت افق A نسبت به روش سنتی در دسترس قرار می دهد؛ چراکه در این منطقه، میانگین واقعی مشاهده شده برای ضخامت افق A، ۱۵/۴۹ سانتی‌متر بود و برآوردهای مدل SOLIM و روش سنتی، به‌ترتیب، برابر ۱۵/۵۸ و ۱۴/۳۹ سانتی‌متر بودند. در مطالعه‌ای دیگر در جنوب غربی بروجن باقری بیان داشت ارزیابی نتایج شناسایی خاک ها براساس کلید رده‌بندی خاک آمریکایی که دارای معیارهای سخت و صلب است، تا حدی می تواند گمراه کننده باشد؛ حال آن که استفاده از مدل فازی SoLIM که تغییرپذیری تدریجی خاک‌ها را مد نظر قرار می دهد، نمود بهتری از واقعیت خاک‌ها را بیان می‌کند. به‌طور کلی، در مناطقی که اطلاعات و دانش مناسبی از روابط خاک- سرزمین موجود باشد، مدل SOLIM براوردهای قابل قبولی از ویژگی های خاک و سرزمین را در اختیار قرار می‌دهد.

از آنجایی که نقشه های پستی و بلندی و مدل های رقومی ارتفاع تقریباً برای کل کشور موجود می‌باشند و به‌دلیل وقت‌گیر بودن و بالا بودن هزینه شناسایی و نقشه برداری خاک‌ها به روش سنتی و با توجه به عدم وجود مطالعات روزامد خاک برای بخش گسترده‌ای از ایران، انتظار می‌رود که استفاده از مدل رقومی ارتفاع و ویژگی های آن، بتواند کمک شایانی در برآورد کلاس‌های خاک و یا ویژگی های آنها در مناطق مختلف کشور ارایه نماید. هدف از پژوهش حاضر، نقشه برداری و برآورد




**شکل ۱. موقعیت منطقه موردمطالعه**

کلاس‌های خاک با استفاده از مدل استنباطی خاک- سرزمین (SOLIM) در منطقه آران می‌باشد.

## موادوروش‌ها

### معرفی منطقهٔ مطالعاتی

محدوده مورد بررسی در استان اصفهان و شامل اراضی کاشان و آران بین ۳۳ درجه تا ۳۳ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه تا ۵۱ درجه و۳۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد. براساس آمار هواشناسی دوره ۳۰ ساله میانگین بارندگی سالیانه ۱۳۸/۸ میلی متر است، بارش‌ها از آبان ماه شروع شده و در خردادماه قطع می‌شود. بر مبنای داده‌های هواشناسی رژیم حرارتی خاک های منطقه ترمیک و رژیم رطوبتی آن اریدیک می‌باشد. این محدوده از اطراف توسط ارتفاعاتی که بخشی از کوه‌های مرکزی محسوب می‌شود، احاطه گردیده است. کمترین ارتفاع (۷۱۴ متر) منطقه در شمال آران و نزدیک دریاچه نمک و بلندترین نقطه آن در ارتفاعات جنوب غربی ۳۶۱۷ متر (کوه گز) می‌باشد. با توجه به میزان اندک بارندگی و عدم منابع آب کافی در منطقه و همچنین بالا بودن میزان تبخیر و تعرق پتانسیل به‌طور کلی پوشش گیاهی منطقه فقیر می‌باشد.

### نمونه‌برداری خاک ومطالعات آزمایشگاهی

اطلاعات خاک جمع آوری شده از منطقهٔ مطالعاتی، شامل اطلاعات حاصل از تشریح، نمونه‌برداری و نتایج فیزیکی و شیمیایی ۳۶ خاک رخ در منطقهٔ آران شکل (۱) می‌باشند که حاصل بازدید صحرایی و آشنایی کامل با منطقه مطالعاتی، واحدها و اجزاء واحدهای اراضی ،حفر پروفیل‌ها، تشریح پروفیل‌ها، بررسی مشخصات مورفولوژیکی پروفیل‌ها و مطالعه منابع خاک شامل عمق خاک، مقدار سنگ‌ریزه، مقدار و نوع آهک، افق های فیزیکی و شیمیایی مورد نیاز شامل درصد ذرات درشت، واکنش خاک، گل اشباع، هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع و غیره، و نیز مطالعه دیگر خصوصیات منابع اراضی مانند پستی و بلندی، وضعیت زهکشی، نوع و شدت فرسایش،

پوشش گیاهی و شیب کلی و جانبی می‌باشند. تمام خاک رخ‌های حفر شده، براساس راهنمای تشریح و نمونه‌برداری خاک‌ها در صحرا (اسچوین برگر وهمکاران، ۲۰۱۰) تشریح شدند و مطابق با کلید رده‌بندی آمریکایی خاک طبقه‌بندی گردیدند و درنهایت، از تمامی افق‌های ژنتیکی آنها نمونه‌برداری انجام گرفت. سپس آزمایش‌های بافت خاک و اجزای آن، میزان کل کربنات‌ها، درصد مادهٔ آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک براساس روش‌های استاندارد بر روی نمونه‌ها انجام گرفت و در پایان رده‌بندی تمامی خاک رخ‌ها تا سطح فامیل خاک، براساس نتایج آزمایشگاهی و مطابق با کلید رده‌بندی آمریکایی خاک (۲۰۱۰) نهایی گردید که در زیر مشخصات زیر رده‌های غالب منطقه آورده شده است.

**تیپیک توری فلوئنتز:** باغات انار، آلو و زرد آلو با قدمت ۱۵ تا ۲۵ سال که بر روی پادگانه‌های آبرفتی استقرار یافته‌اند، نقاط معرف باغاتی می‌باشند که دارای پوشش کاملی از سطح می‌باشند.

**تیپیک هاپلو کلسیدز:** مخلوط زراعت‌های برداشت شده وزراعت‌های رها شده

**تیپیک هاپلو ژیپسیدز:** اراضی مرتعی با پوشش پنج تا ده درصد از نوع تاغ و گرامینه‌ها، سنگریزه حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد، رنگ خاک سطحی قهوه‌ای مایل به‌صورتی تا قهوه‌ای خیلی کم رنگ، شوری ۲/۸ دسی زیمنس بر متر، واکنش خاک ۷/۶ تا ۷/۸ و مقدار آهک و گچ به‌ترتیب ۱۲ و ۲۲ درصد، بافت خاک سطحی لومی شنی تا شنی می‌باشد .

**تیپیک توری اورتنتز:** اراضی مرتعی با پوشش گیاهی پرند به میزان ۱۰ درصد، سنگریزه سطحی حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد با ترکیب رنگی سیاه مایل به قر مز ۷۰ درصد، قرمز ضعیف ۲۰ درصد و خاکستری تیره ده درصد و رنک ذرات خاک بین آنها قهوه‌ای مایل به قر مز تیره، بافت شنی لومی تا شنی، شوری ۴/۴۱ دسی زیمنس بر متر، مقدار آهک و گچ به تر تیب ۱۷ و صفر درصد می‌باشد

**تیپیک هاپلوسالیدز:** اراضی لم یزرع تقریباً بدون پوشش گیاهی یا بوته‌های پراکنده تاغ، سطح خا ک پوسته‌هایی به ضخامت ۲ تا ۳ میلی‌متر با رنگ قهوه ای، بافت لومی تا رسی، شوری ۱۰۵ تا ۱۹۳ دسی زیمنس بر متر، مقدار گچ و آهک به‌ترتیب ۱۷ و ۳/۵ در صد می‌باشد.

**تیپیک اکویی سالیدز:** سطح اراضی پوسته‌های نمکی به ضخامت تا ده سانتی‌متر، سطح اراضی مرطوب و تیره است، بافت لومی تا لومی‌شنی، شوری بین ۶۸ تا ۱۳۶ دسی زیمنس بر متر، آهک و گچ به‌ترتیب بین صفر تا ۱۴ و ۵ تا ۲۵ درصد می‌باشد.

**تیپیک توری پسامنتز:** اراضی با پوشش کم تا متوسط تاغ، سنگ‌ریزه ۲۰ تا ۳۰ در صد در سطح ، بافت شنی، شوری ۳/۵ دسی زیمنس بر متر، مقدار آهک و گچ به‌ترتیب ۲۲ و ۲ درصد می‌باشد.

### تهیهٔ داده‌های رقومی و پردازش آنها

به‌منظور ایجاد لایه‌های رقومی ورودی مدل، لایه رستری مدل رقومی ارتفاع (DEM) از نقشه توپو گرافی (۱:۵۰۰۰۰) منطقه با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر تهیه گردید و مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین لایه رقومی زمین شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰) به‌عنوان یکی از لایه‌های ورودی مدل در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تولید شد. در این پژوهش جهت تولید و پردازش لایه‌های مختلف اطلاعاتی از نرم‌افزارهای ArcGIS، نسخه ۱۰/۱ و SOLIM نسخه ۲۰۱۳ استفاده شده است.

لایه‌های ورودی مدل SOLIM، لایه رقومی زمین شناسی و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ باندهای ۲،۳،۴،۵،۶،۷ (مورخ ۲۰۱۴/۴/۲۱) با اعمال پیش پردازش‌های تصحیح هندسی به روش تصویر به تصویر، تصحیح اتمسفری به روش جسم سیاه، بارز سازی به روش محاسبه تصویر رنگی کاذب و شاخص‌های گیاهی و خاک انجام شد.

تصاویر خام سنجش از دوری همیشه دارای خطاهایی در مقادیر ثبت شده برای پیکسل‌ها می‌باشند که به این خطاها خطای رادیومتریک گفته می‌شود. تصحیحات رادیومتریک برای

حذف دو نوع خطای عمده اتمسفری و دستگاهی به‌کار می‌روند. تصحیحات اتمسفری در سنجش از دور از ضروریات است. حذف آثار سوء جو زمانی بیشتر احساس می شود. که هدف مقایسه تصاویر چند زمانه باشد. در این تحقیق از روش تفریق تیرگی‌ها در تصحیح رادیومتریک استفاده کردیم.

در میان شاخص‌های متنوع و متعدد پوشش گیاهی، شاخص NDVI از شاخص‌های پوشش گیاهی جهانی می‌باشد که برای آماده نمودن دائمی اطلاعات مکانی و زمانی پوشش گیاهی به کار رفته می‌شود.

**شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی(NDVI)**

شاخص‌های پوشش گیاهی به‌طور گسترده به‌عنوان معیارهایی برای تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش اراضی از جمله پوشش گیاهی و فاکتورهای دیگر مورد استفاده قرار می گیرند. NDVI یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای پایش تغییرات پوشش گیاهی است که از طریق نسبت گیری باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک به‌دست می‌آید .

NDVI=float(b۴)-float(b۳)/ (float(b۴)+float(b۳)

float b۳ : باند ۳ و float b4: باند ۴

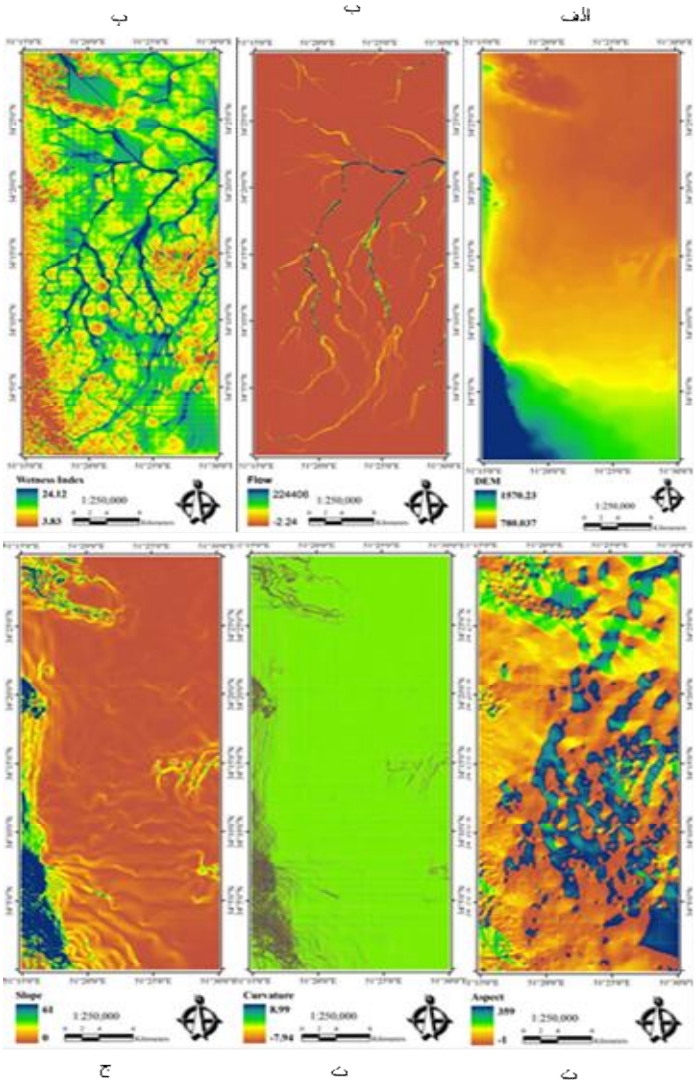
NDVI واکنش به اعمال فتوسنتزی را به خوبی نمایش می‌دهد که ارزش بالاتر آن نشانگر پوشش گیاهی متراکم‌تر و شاداب‌تر است. در این شاخص فرض بر این است که ناحیه تحت بررسی دارای نوع خاک یکسانی است، بنابراین اگر این فرض صادق نباشد ناهمسانی انواع خاک برروی نتایج حاصل از NDVI تأثیر خواهد گذاشت و نتایج نادرستی حاصل خواهد شد. این شاخص امکان مطالعه اطلاعاتی را درباره گسترش مکانی و زمانی اجتماعات پوشش گیاهی، کیفیت پوشش گیاهی برای زیست توده گیاهی، جریان $CO_۲$ گیاه‌خواران و میزان توسعه تخریب خاک را در اکوسیستم‌های متنوع مهیا می‌سازد. همچنین می‌تواند برای کمی کردن تولید خالص سالانه در مقیاس‌های متفاوت و جهانی و تفکیک پوشش گیاهی در مقیاس‌های قاره‌ای و جهانی به‌کار گرفته شود. آب دارای مقدار معادل NDVI کمتری نسبت به‌سایر پوشش‌های سطحی است. بنابراین نواحی که پوشیده از آب شده‌اند قبل و بعد از وقوع سیلاب، می‌توانند به‌وسیله تغییرات مقادیر NDVI آنها تشخیص داده شوند.

لایه‌های محیطی منتج شده از مدل رقومی ارتفاع (DEM)، شامل: ارتفاع، شیب برحسب درصد، جهت شیب، شکل انحنا سطح زمین، شاخص خیسی، جهت جریان و تجمع جریان می‌باشند (شکل ۲) که جهت جریان، تجمع جریان و شاخص نمناکی و همچنین تولید لایه‌های عوارض سطحی (مانند لایه درصد شیب ،جهت شیب و شکل انحنا سطح) با استفاده از مدل رقومی ارتفاع در محیط SOLIM ایجاد شده اند. شاخص خیسی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$W = In \quad (\text{جریان تجمعی / درجه شیب}) \qquad (۲)$$

در این رابطه w شاخص خیسی می‌باشد که از رابطه (۲) با در دست داشتن تجمع جریان و درجه شیب محاسبه می‌شود. در این مطالعه با استفاده از DEM ورودی اصلاح شده در محیط SOLIM الگوریتم چند مسیر شاخص خیسی محاسبه شد. الگوریتم چند مسیر بیان می‌کند که آب می‌تواند در تمامی پیکسل‌های پست‌تر مجاورش جریان یابد و توزیع مقدار آب پیکسل‌های پست‌تر توسط درجه شیب بین آن پیکسل‌ها و پیکسل مرکزی تعیین می‌گردد، که این در مقابل الگوریتم تک مسیر شاخص خیسی که فقط اجازه می‌دهد تا جریان در شدیدترین جهت صورت می‌گیرد، نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. تابع عضویت فاکتورمحدود کننده SOLIM با استفاده از متغیرهای کمکی زیست محیطی و متغیرهای شکل زمین برای پی بردن به نوع خاک است. تابع فاکتور محدود کننده، پیکربندی زیست‌محیطی در یک محل خاص را برای سری‌های خاک با هم مقایسه می‌کند و حداقل مقدار بهینگی در میان متغیرهای کمکی با ارزش بهینه کلی را برای آن مکان انتخاب می‌کند.

مدل SOLIM یک تابع عضویت فازی رستری برای هر کدام از انواع خاک ارائه می‌کند. هر پیکسل از این توابع




**شکل ۲. الف) نقشه ارتفاع، ب) تجمع جریان، پ) شاخص خیسی منتج شده از مدل رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه توسط مدل SOLIM، ت) جهت شیب، ث) شکل انحنا سطح زمین و ج) درجه شیب برحسب درصد**

عضویت فازی عددی بین ۰ تا ۱۰۰ را به خود اختصاص می‌دهد. نقشه‌های تابع عضویت فازی ایجاد شده غیرفازی می‌شوند. در طی فرایند غیر فازی کردن، خاک با مقادیر بیشینه تابع عضویت فازی در یک موقعیت مکانی به‌عنوان خاک آن موقعیت مکانی انتخاب می‌گردد. فرایند غیرفازی کردن چندین نقشه تابع عضویت فازی مربوط به خاک‌های مختلف را تبدیل به یک نقشه شبکه‌ای (رستری) می‌کند که در آن نقشه خروجی هر پیکسل تنها متعلق به یک نوع خاک است(۵). نقشه خروجی دارای ناخالصی‌هایی با مساحت‌های کوچک (کمتر از ۱۰ درصد) می‌باشد، از اینرو به‌منظور حذف این ناخالصی‌ها از نقشه، ابزار حذف مورد استفاده قرار گرفته است. ارزیابی نتایج نهایی مدل SOLIM از طریق محاسبهٔ صحت کلی نقشه(Overall Map Accuracy) یا (OA) انجام گرفت. صحت کلی نقشه، نشاندهندهٔ آن است که چه تعداد از مشاهدات یا طبقات جدا شده، صحیح می‌باشند (۱۸)، به‌عبارت دیگر، چه تعداد از نمونه‌ها به‌درستی در طبقات مربوط جای گرفته‌اند. این

**جدول ۱. رده‌بندی واحدهای خاک منطقه آران به سیستم طبقه‌بندی خاک آمریکایی وفائو**

| رده‌بندی براساس طبقه‌بندی خاک آمریکایی | |
|---|---|
| زیررده | شماره پروفیل |
| تیپیک توری اورتنتز | ۱،۱۴،۲۲،۲۳،۲۴ |
| تیپیک هاپلو کلسیدز | ۲،۱۸،۳۲،۳۳،۳۴،۳۵ |
| تیپیک هاپلو ژیپسیدز | ۳،۹،۲۰ |
| تیپیک توری فلوئنتز | ۴،۵،۶،۸،۱۳،۲۱،۲۹ |
| تیپیک توری پسامنتز | ۷ |
| تیپیک اکویی سالیدز | ۱۲،۱۷ |
| تیپیک هاپلوسالیدز | ۲۷،۲۸،۳۰،۳۱،۱۰،۱۱،۱۵،۱۶،۱۹،۲۵،۲۶ |

ویژگی، با تشکیل ماتریس خطا توسط مدل SOLIM و نقاط کنترلی و براساس فرمول زیر قابل محاسبه می‌باشد (۱۰، ۱۵).

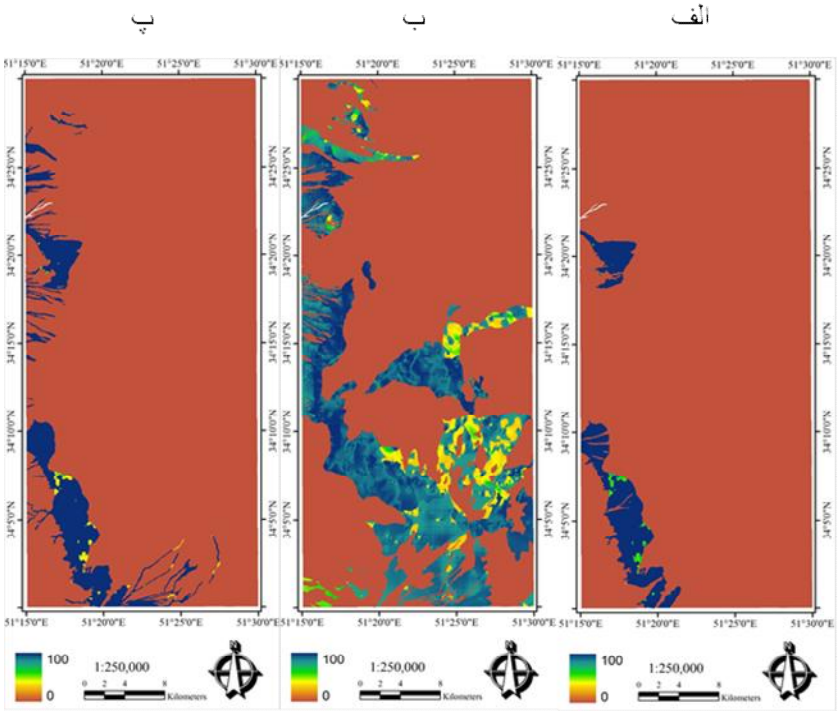
$$O.A = \frac{\sum_{i=1}^{e} Eij}{N} \qquad (۳)$$

که در آن e تعداد کلاس‌ها، N تعداد کل پیکسل‌های معلوم، Eii اعضا قطری ماتریس خطا و .O.A دقت کلی طبقه‌بندی می‌باشد.

## نتایج و بحث

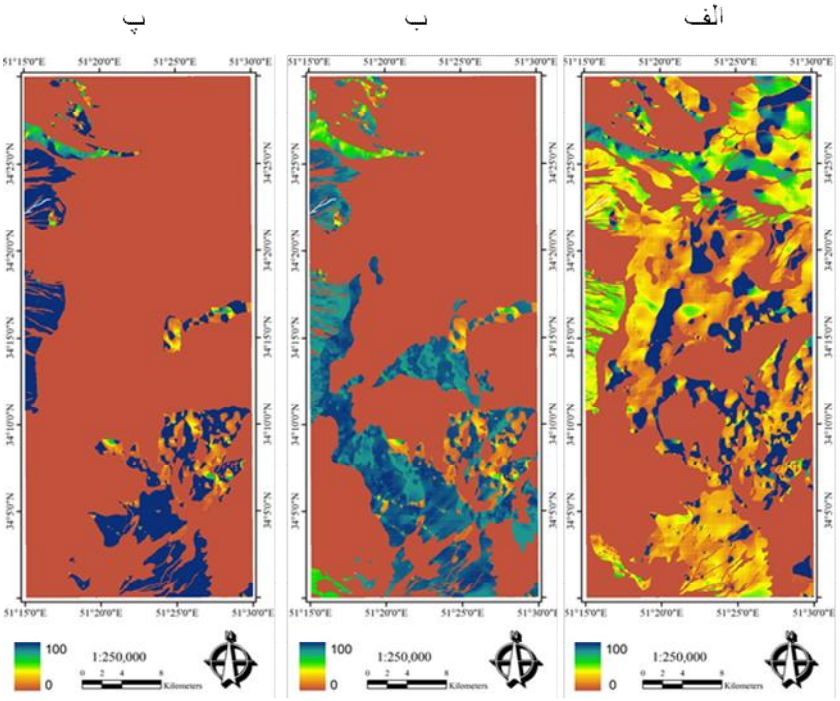
جدول (۱) نشانگر نتایج رده‌بندی هفت زیر رده خاک غالب موجود در منطقهٔ مطالعاتی است. جدول مزبور، نمایانگر این است که هفت زیر رده توری اورتنتز(Torriorthents)، هاپلوژیپسیدز(Haplogypsids)، هاپلو کلسیدز(Haplocalcids)، توری فلوئنتز(Torrifluvetns)، توری پسامنتز(Torripsaments)، هاپلوسالیدز(Haplosalids)، اکویی سالیدز(Aquisalids)، زیر رده‌های غالب منطقه می‌باشند. نشان می‌دهد (شکل‌های ۳ و ۴ و ۵). در هر یک از این نقشه‌ها، رنگ تیره‌تر به‌معنی عضویت فازی بالاتر برای خاک می‌باشد. نقشه پیش‌بینی نهایی شکل (۵) برای منطقه مورد مطالعه نقشه غیرفازی، نتایج SOLIM می‌باشد. نقشه رقومی خاک که به‌وسیله غیرفازی کردن ایجاد شده است کلاس‌های با بالاترین مقادیر عضویت فازی برای هر ۳۰ متر واحد سلول را به تصویر می‌کشد. اعتبار سنجی نقشه استخراج شده از مدل SOLIM با استفاده از نقاط کنترلی منطقه مورد مطالعه صورت گرفت و صحت نقشه رقومی این مدل با توجه به جدول ماتریس خطا که توسط SOLIM محاسبه شد، برابر ۹۲/۳۶ درصد می‌باشد که نتایج به‌دست آمده نشان دهنده کیفیت و صحت نقشه رقومی خاک است. جدول (۲) مقایسه ماتریس خطا نقشه غیرفازی حاصل از مدل SOLIM براساس سطح زیر رده برای تمامی خاک رخ‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در نقشه ایجاد شده براساس مدل SOLIM ویژگی‌های مؤثر در خاک‌سازی در هر منطقه یعنی فاکتورهایی چون شیب، ارتفاع، زمین شناسی را مد نظر قرار می‌دهیم و براساس میزان تأثیر این فاکتورها واحدهای خاک را جداسازی می‌کنیم. بنابراین واحدها به‌صورت جزئی‌تر در قسمت‌های مختلف براساس تفاوت‌هایی که شیب و ارتفاع و حتی زمین شناسی آن قسمت‌ها با هم دارند جداسازی می‌شود و همچنین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌توان از لحاظ طیفی نیز خاک‌ها را تفکیک کرد. اما در تهیه نقشه مرسوم که براساس نقشه زمین شناسی و ژئومورفلوژی واحدهای خاک را جدا می‌کنیم و شیب و ارتفاع را به‌عنوان یک عامل مهم در نظر نمی‌گیریم. واحدهای خاک به‌صورت کلی‌تر جدا می‌شوند و به این دلیل است که نقشه ایجاد شده از مدل SOLIM دارای دقت بالاتری در جداسازی واحدهای خاک است.

خروجی SOLIM به‌صورت پیکسل یا رستر می‌باشد و می‌تواند برای کاربران اطلاعات خاک بسیار مفید باشد. در روش مرسوم، نقشه خاک در قالب پلی‌گون ارائه می‌شود که هر



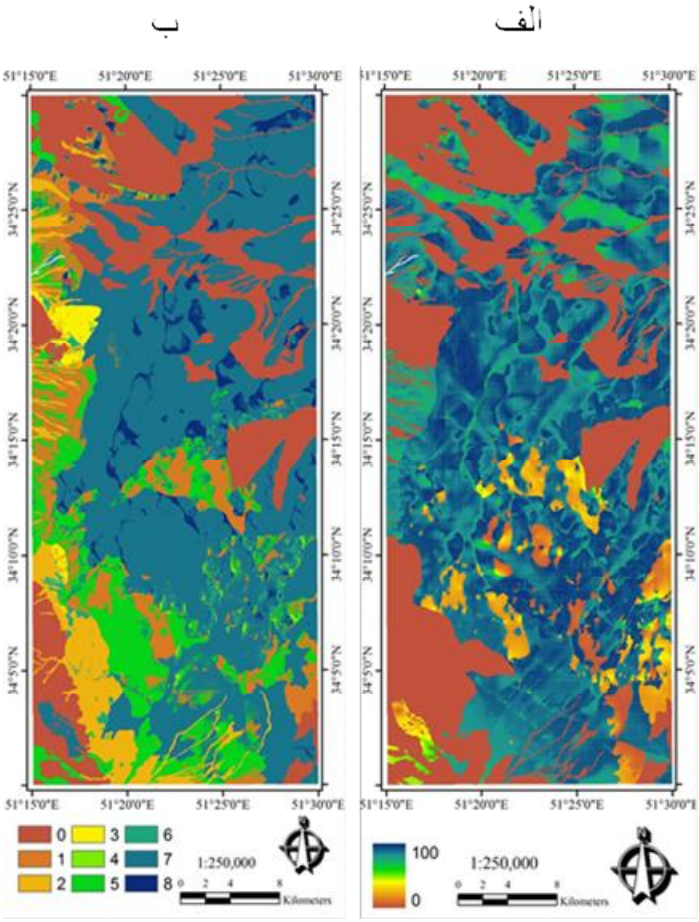

**شکل ۳. نقشه پیش‌بینی فازی برای خاک‌های نوع ۱،۲،۳ در منطقه مورد مطالعه**

**الف) خاک نوع ۱ (توری اورتنتز)، ب) خاک نوع ۲ (هاپلوکلسیدز) و پ) خاک نوع ۳ (هاپلوژیپسیدز)**




**شکل ۴. نقشه پیش‌بینی فازی برای خاک‌های نوع ۴،۵،۶در منطقه مورد مطالعه**

**الف) خاک نوع ۴ (توری پسامنتز)، ب) خاک نوع ۵ (توری فلوئنتز) و پ) خاک نوع ۶ (هاپلوسالیدز)**




**شکل ۵. نقشه پیش‌بینی فازی برای خاک نوع ۷ (کویی سالیدز): الف) در منطقه مورد مطالعه و نقشه پیش‌بینی نهایی (غیرفازی) و ب) منطقه مورد مطالعه**

**جدول ۲. ماتریس خطا (برحسب پیکسل) نقشه رقومی حاصل از مدل SOLIM براساس سطح زیر رده برای تمامی خاک رخ‌های منطقه مورد مطالعه**

| استنباط شده / مشاهده شده | خاک نوع ۱ توری اورتنتز | خاک نوع۲ هاپلوکلسیدز | خاک نوع۳ اکوی سالیدز | خاک نوع ۴ توری پسامنت | خاک نوع ۵ توری فلوئنتز | خاک نوع ۶ هاپلوژیپسیدز | خاک نوع ۷ هاپلوسالید | کل |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| توری اورتنتز | ۴۸۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۴۸۰ |
| هاپلوکلسیدز | ۰ | ۲۶۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۲ | ۰ | ۲۶۷ |
| اکوی سالیدز | ۱۱۴ | ۲۴ | ۳۲۸ | ۰ | ۲۴ | ۹ | ۲۰ | ۵۱۹ |
| توری پسامنت | ۰ | ۰ | ۰ | ۶۸ | ۰ | ۰ | ۰ | ۶۸ |
| توری فلوئنتز | ۰ | ۲ | ۰ | ۷ | ۱۱۸ | ۱ | ۰ | ۱۲۸ |
| هاپلوژیپسیدز | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۶۰ | ۰ | ۱۶۰ |
| هاپلوسالید | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۳ | ۰ | ۱۷ | ۱۴۱۰ | ۱۴۴۰ |
| کل | ۵۹۴ | ۲۹۱ | ۳۲۸ | ۸۸ | ۱۴۲ | ۱۹۰ | ۱۴۳۰ | ۳۰۶۳ |

پلی‌گون براساس واحد نقشه با یک یا دو نوع خاک نشاندار می‌شود و کاربر باید برای پیدا کردن خاک‌های متعدد دیگری که در پلی‌گون وجود دارند به فراداده نگاهی بیندازد. مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر دانش قبلاً با نقشه‌برداری مرسوم خاک مقایسه شده است (۲۶).خروجی به‌صورت رستری، ایجاد نقشه‌ای که نمایانگر یک توزیع پیوسته که اصطلاحاً شمول خاک به واحدهای نقشه نامیده می‌شود را آسان‌تر می‌کند. صحت و دقت داده‌های رستری خاک به صحت داده‌های ورودی از قبیل DEM بستگی دارد (۱۵). یک مدل مبتنی بر دانش مانند SOLIM پتانسیل پیش‌بینی خاص مستمر خاک را دارد.

## صحت کل

نقشه‌برداری رقومی با ایجاد بینشی در مورد فرآیندهای خاک‌سازی، باعث پیشرفت بالقوه پدولوژی و جغرافیای خاک می شود (۱۹). پایه و اساس نقشه برداری رقومی خاک مبتنی بر معادله اسکورپن می‌باشد (۱۴) . بیشاپ و همکاران ۱۹۹۹ کارایی بالای تابع اسپیلاین عمقی را نسبت به سایر توابع عمق تأیید کرده‌اند(۳). ایشان از توابع اسپیلاین برای پیش‌بینی یک سری از خصوصیات خاک از قبیل واکنش خاک، قابلیت هدایت الکتریکی، درصد رس، ماده آلی خاک و میزان رطوبت حجمی خاک استفاده کردند. پر واضح است که توابع عمق خاک (اسپیلاین با نواحی یکسان) پیش‌بینی خصوصیات خاک را در یک نقطه به خوبی انجام می‌دهد. اما با رویکرد مکانی، مجموعه‌ای از این توابع باعث ایجاد یکسری نقاط فردی در منطقه می‌گردد. اما برای استفاده کنندگان خاک شاید این گونه اطلاعات زیاد مفید نباشد و آنها احتیاج به اطلاعات خاک به‌صورت مکانی و پیوسته دارند. برای پاسخ به این درخواست، می‌توان به نقشه‌برداری رقومی خاک مراجعه کرد (۱۴).

با توجه به قابلیت‌های توابع عمقی خاک و نقشه‌برداری رقومی خاک (۱۰) به‌نظر می‌رسد که تنها راه برای پیش‌بینی سطحی و عمقی خصوصیات خاک، استفاده همزمان از این روش‌ها می‌باشد. همان‌طور که ملانو و همکاران ۲۰۰۹ با کاربرد همزمان اسپیلاین با نواحی یکسان و نقشه‌برداری رقومی خاک اقدام به پهنه‌بندی ماده آلی خاک و ظرفیت نگه‌داری رطوبتی خاک در استرالیا نمودند. سلیمان و همکاران ۲۰۱۲ در اندونزی و تقی‌زاده و همکاران ۲۰۱۴ در ایران از توابع عمقی خاک و تکنیک‌های نقشه‌برداری رقومی جهت بررسی تغییرات تدریجی عمقی و سطحی متغیرهای خاک استفاده کردند. نبی الهی و همکاران بیان داشتند که برای پیش‌بینی رس، شن و سیلت پارامترهای سطوح ژئومورفولوژی، شاخص خیسی، شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا، ارتفاع، طول شیب و باند ۳ مهم‌ترین بوده‌اند. در کل نتایج نشان داد که مدل های درختی دارای دقت بالاتری نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی بوده و همچنین تفسیر نتایج مدل درختی بسیار راحت‌تر می‌باشد. همچنین تقی‌زاده و همکاران در تحقیقی در منطقه دورود استان لرستان بیان داشت که استفاده از نقشه‌برداری رقومی، رگرسیون درختی و معادله اسپیلاین با نواحی یکسان ابزارهایی قدرتمند جهت برآورد تغییرات مکانی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به‌صورت جانبی و عمقی می‌باشند.

نقشه های خاک تولید شده توسط SOLIM نیز می تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای دقیق‌تر از همتای مرسوم خود باشد. در مطالعه‌ای در غرب مونتا (۲۱،۱۳)نقشه‌های SOLIM ۵۲ نوع از خاک‌ها را از ۶۴ نمونه به‌درستی پیش‌بینی کرد (صحت ۸۱٪). در حالی که نقشه های بررسی های مرسوم خاک فقط ۳۹ نمونه از خاک ها را درست پیش‌بینی کرد (۶۱٪ دقت). یکی دیگر از مطالعات در جنوب غربی ولیسکاشین نتایج مشابهی را نشان داد SOLIM ۸۳ نوع از ۹۹ نوع خاک نمونه را به درستی پیش‌بینی کرد (حدوداً ۸۳٪ دقت)، در حالی که مطالعه خاک مرسوم فقط ۶۶ نوع از ۹۹ خاک را به درستی پیش بینی کرد (حدود ۶۷٪ دقت).

دقت بالاتر از محصولات اطلاعاتی تولید شده از SOLIM به‌تعدادی عوامل بستگی دارد: اولاً GIS می تواند اطلاعات بسیار دقیق در مورد تغییرات شرایط محیطی را در

اختیار قرار می‌دهد و از قابلیت‌های پردازش داده‌های رقومی این است که اجازه می‌دهد بسیاری از متغیرها به‌طور همزمان درنظر گرفته شوند (۲۵، ۲۶). این ممکن است تعداد اجزاء خاک و جلوگیری از تغییر غلط نوع خاک را کاهش دهد. دوماً SOLIM اجازه می‌دهد تا شرایط خاک محلی در سطح پیکسل بیان شود، در نتیجه میزان تعمیم فضایی که به طور معمول در نقشه های مرسوم رخ می دهد کاهش می یابد. در آخر استفاده از منطق فازی برای تعیین شرایط محلی خاک اجازه می دهد تا خاک یک پیکسل از نظر شباهتش با انواع خاک‌های مختلف نشان داده شود، به‌جای اینکه مجبور باشیم یک موضوع واحد مجزا تعیین کنیم. بنابراین امکان برآورد دقیق‌تر از شرایط خاک هر پیکسل وجود دارد. در مطالعه‌ای دیگر در جنوب غربی بروجن باقری بیان داشت ارزیابی نتایج شناسایی خاک‌ها براساس کلید رده‌بندی خاک آمریکایی که دارای معیارهای سخت و صلب است، تا حدی می‌تواند گمراه کننده باشد؛ حال آن که استفاده از مدل فازی SOLIM که تغییرپذیری تدریجی خاک‌ها را مد نظر قرار می‌دهد، نمود بهتری از واقعیت خاک‌ها را بیان می‌کند (۱). اجرای مدل SOLIM با داده‌هایی که مربوط به سطوح پایین‌تر (مانند فامیل) رده‌بندی خاک می‌باشند و ارایهٔ 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 رده‌بندی خاص (مانند زیرگروه) باشند، در دسترس قرار می‌دهد (۱).

## نتیجه گیری کلی

استفاده از ویژگی‌های مختلف مدل رقومی ارتفاع که هم به لحاظ منطقی و ریاضی، و هم از نظر تجربی دارای رابطهٔ نزدیکی با ویژگی‌های محیطی و خاک هستند، در شناسایی خاک می‌تواند تا حد زیادی بر دقت کار بیفزاید و از صرف هزینه و زمان به کاهد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با استفاده از شش ویژگی از مدل رقومی ارتفاع ونقشه زمین شناسی و اطلاع از خاک های غالب منطقه می‌توان برآورد درستی از نقشه رقومی خاک در سطح زیر رده خاک با دقت ۹۲/۳۶ درصد به‌دست آورد. در این تحقیق نسخه‌های جدید اطلاعات خاک را برای هر منطقه با سرعت قابل قبولی تولید شدند. به‌طوری که برخلاف روش سنتی که ماه‌ها و سال‌ها وقت لازم دارد، این روش ظرف چند ساعت تا چند روز قادر به تولید اطلاعات و نقشه‌های جدید است و از آنجایی که داده‌های ذخیره شده در سامانه GIS و فازی قابل استفاده مجدد می‌باشند. لذا اغلب سرمایه گذاری اولیه نقشه‌برداری خاک یا روز آمدن کردن آن ارزش خود را حفظ کرده بنابراین هزینه‌های روز آمد کردن بعدی کاهش می‌یابد.

## منابع مورد استفاده


۱. ا. م. باقری بداغ آبادی. ۱۳۹۰.کارآیی مدل رقومی ارتفاع و مشتقات آن در نقشه‌برداری خاک با استفاده از مدل استنباطی خاک-سرزمین (SoLIM) ، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۵: ۱۱۱۸-۱۱۰۶.

۲. علوی پناه، س.ک.، ح. م. متین فر، و ع. رفیعی امام. ۱۳۸۷. کاربرد فناوری اطلاعات در علوم زمین (خاک شناسی رقومی)، چاپ اول، فصل دوم و سوم، انتشارات دانشگاه تهران.

3. Bishop T. F. A., A. B. McBratney and G. M. Laslett 1999. Modelling soil attribute depth functions with equal-area quadratic smoothing splines. Geoderma. J. 91: 27-45.
4. 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, 14- 21August, Bangkok, Thailand.
5. Burrough, P. A., R. A. MacMillan and W. van Deursen. 1992. Fuzzy classification methods for determining land suitability from soil profile observations and topography. Soil Sci. J. 43:193-210.
6. Cook, S. E., R. J. Corner, G. Grealish, P. E. Gessler and C. J Chartress. 1996.A rule-based system to map soil

properties. Soil Sci. Am. J. 60: 1893-1900.
7. Grunwald, S. 2006. What do we really know about the space time continuum of soil- landscapes PP. 3-36. *In*: Grunwald, S. (Ed.), Environmental Soil Landscape Modeling, Geographic Information Technologies and Pedometrics. Taylor and Francis, New York.
8. Kempen, B., D. J. Brus, G. B. M. Heuvelink and J. J. Stoorvogel. 2009.Updating the 1:50 000 Dutch soil ma using legacy soil data: A multinomial logistic regression approach. Geoderma J. 151: 311-326.
9. Lagacherie P. and A. B. McBratney. 2007. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping. Digital soil mapping: An introductory perspective. Soil Sci. J. 31: 3-22.
10. Legros, J. P. 2006. Mapping of the soil. Science publishers, NH, USA, 411 PP.
11. Luo, Y. M., Z. G. Li, L. H. Wu, S. C. Wu, G. L. Zhang, S. L Zhou,. Y. G. Zhao, Q. G. Zhao, M. H. Wong and H. B. Zhang. 2007. Hong kong Soils and Environment (in Chinese). Science Press, Beijing.
12. Malone B. P., A. B. McBratney Minasny and G. M. Laslett 2009. Mapping continuous depth functions of soil carbon storage and available water capacity. Geoderma J. 154: 138-152.
13. McBratney A. B., M. L. Mendonça Santos and B. Minasny. 2003. On digital soil mapping. Geoderma. J. 117: 3-52.
14. McKay, J. 2008. Using a Knowledge-Based System to Test the Transferability of a soil – Landscape Model in Northeastern Vermont. M. S. Thesis, Gainesville, Florida University.
15. McKay, J., S. Grunwald, X. Shi, R. F. Long. 2010. Evaluation of the Transferability of a knowledge-Based soil-Landscape Model. Digital soil Mapping Progress in Soil Sci. J. 2: 165-178.
16. Pennock, D. J., B. J. Zebarth and E. dejong. 1987. Landform classification and soil distribution in Hummocky terrain, Saskatchewan, CA. Geoderma J. 40: 297-315.
17. Rossiter, D. G. 2000. Methodology for soil Resource Inventories and Revised Version, soil Science Division, International institute for Aerospace Survey & Earth Science (ITC), 132 PP.
18. Scull, P. R. 2002.Predictive soil mapping in the Mojave Desert of California. Master degree Thesis, California University.
19. Sulaeman, Y., M. Sarwani, B. Minasny, A. B. McBratney, A. Sutandi and B. Barus. 2012. Soil-landscape models to predict soil pH variation in the Subang region of West Java. PP. 317-325. *In*: B. Minasny et al. (Ed.), Digital Soil Assessment and Beyond. CRC Press, Indonesia.
20. Smith, S. C., Buimer, E. Flager, G. Frank and D. Filatow. 2010. Digital soil mapping at multiple scales in British Columbia, Canada. In Program and Abstracts, 4th Global Workshop on Digital Soil Mapping, 24-26 May, Rome, Italy.
21. Taghizadeh-Mehrjardi R., B. Minasny, F. Sarmadian and P. B. Malone. 2014. Digital mapping of soil salinity in Ardakan region, Cent. Iran. Geoderma J. 213: 15-28.
22. Webb T. H. and L. R. Lilburne. 2005. Consequence of soil map unit uncertainty on environmental risk assessment. Aust. Soil. Res. J. 43: 119-126.
23. Zhu, A. X., L. E. Band, B. Dutton and T. J. Nimlos. 1996. Automated Soil Inference Under Fuzzy Logic. Int. J. Ecol. Model. 90: 123-145.
24. Zhu, A. X., L. E. Band, R. Vertessy and B. Dutton. 1997. Derivation of soil properties using a soil land inference model (SoLIM). Soil Sci. Am. J. 61:523-533.
25. Zhu, A., B. Hudson, J. Burt, k. Lubich and D. Simonson. 2001. Soil mapping using GIS, expert knowledge and fuzzy logic. Soil Sci. Am. J. 65: 1463-1472.

J. Water and Soil Sci (Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour.)
Vol. 21, No. 3, Fall 2017, Isf. Univ. Technol., Isf., Iran.

# Evaluating Soil- Environment Inference Model (SOLIM) for Soil Mapping Based on Fuzzy Logic in Kashan

**E. Mehrabi Gohari[1*], H. R. Matinfar[2] and R. Taghizadeh[3]**

(Received: Feb. 07-2015 ; Accepted: May 15-2017)

## Abstract

Typical routine surveys of soils are relatively expensive in terms of time and cost and due to the fact that maps have been traditionally developed and considering their dependence on experts' opinions, updating maps is time consuming and sometimes not economical as well. While soil digital mapping, using soil various models - the Landscape, leads to simplification of the complexity found in natural soil systems and provides users with quick and inexpensive updates. In fact, the model represents a simplified form of the complex relationships between the soil and the land. This study aims to consider inferential model Soil-Land (SOLIM) in mapping and estimating soil classes in Aran area, Isfahan province. For this purpose, the SOLIM model inputs are digital geological and environmental layers of digital elevation model (DEM) including elevation, slope in percent, slop direction, curvature of the earth's surface, wetness indicator, flow direction, flow accumulation, and satellite images of Landsat 8. The seven subcategory of soil in the study area are input data of SOLIM model. Then fuzzy maps were prepared for seven types of soil and final maps of soil prediction were created by non-fuzzy action. Results showed that the SOLIM using environment variables has very high ability to separate soil types in greater detail and soils with different parent materials, geology, climate and vegetation can be separated from each other by this model with a high degree of accuracy. Comparing error matrix shows that the overall accuracy of the map derived from the model SOLIM is 92.36%.

**Keywords**: soil mapping, digital elevation models, fuzzy logic, SOLIM model.

1. Faculty of Agric., Payame Noor Univ., Tehran, Iran.
2. Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric, Lorestan Univ., Lorestan, Iran.
3. Dept. of Natural Resour., Faculty of Agric., Ardakan Univ., Ardakan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: elham.mehrabi1@yahoo.com