

# ارزیابی مدل استنباطی خاک - سرزمین (SOLIM) در نقشه برداری خاک بر اساس منطق فازی در کاشان

الهام مهربانی گوهری<sup>۱</sup>، حمیدرضا متین فر<sup>۲</sup>، روح الله تقی زاده مهرجردی<sup>۳</sup>

## چکیده

روش های معمول بررسی خاک ها از نظر زمان و هزینه مورد نیاز نسبتاً گران هستند و با توجه به سنتی بودن تهیه نقشه ها و وابستگی تام به نظرات کارشناسی، روزآمد نمودن نقشه ها هم وقتگیر بوده و گاهی صرفه اقتصادی ندارد. در حالی که نقشه برداری رقومی خاک، با استفاده از مدل های مختلف خاک - سیمای زمین، منجر به ساده سازی پیچیدگی های موجود در سامانه ی طبیعی خاک شده و به کار بران امکان روزآمد نمودن سریع و ارزان را می دهد. در واقع، مدل های مزبور، نشان دهنده شکل ساده شده ای از روابط پیچیده ی موجود بین خاک و شکل سرزمین می باشند. هدف از پژوهش حاضر، بررسی مدل استنباطی خاک - سرزمین (SOLIM) در نقشه برداری و برآورد کلاسهای خاک در منطقه آران، استان اصفهان میباشد. برای این منظور ورودی های مدل SOLIM، لایه رقومی زمین شناسی ولایه های محیطی از مدل رقومی ارتفاع (DEM)، شامل ارتفاع، شیب بر حسب درصد، جهت شیب، شکل انحنا سطح زمین، شاخص نمناکی، جهت جریان و تجمع جریان و تصاویر ماهواره ای لندست ۸ می باشند. همچنین هفت زیر رده خاک در منطقه مطالعاتی داده های ورودی مدل SOLIM را تشکیل می دهند. سپس نقشه های فازی برای هفت نوع خاک تهیه شده و نقشه نهایی پیش بینی 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 خاک هایی 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 می دهد که صحت کلی نقشه استنتاج شده از مدل SOLIM برابر ۹۲٫۳۶٪ درصد می باشد.

**واژه های کلیدی:** نقشه برداری رقومی خاک، مدل رقومی ارتفاع، منطق فازی، مدل SOLIM

مقدمه

۱. هیات علمی، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور و دانشجوی دکتری مهندسی علوم خاک لرستان  
۲. دانشیار، مهندسی علوم خاک، دانشگاه لرستان.  
۳. استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان

الگوی سنتی یا معمول نقشه برداری خاک، بر اساس میزان توانایی و تجربه ی کارشناسان در تفسیر فرایندهای اصلی خاکسازی و فاکتورهای محیطی دخیل در تشکیل سیمای سرزمین و یا سیمای خاک، پایه ریزی شده است. بنابراین داده ها و نقشه های استخراج شده از چنین الگویی، به طور معمول، ناتوانی نقشه برداری خاک در تشریح ساختار، خصوصیات دینامیکی و پیوسته سیمای سرزمین را آشکار میسازند (۲۶). به همین دلیل، برخی از پژوهش گران اعتقاد دارند که عدم قطعیت در نقشه های سنتی خاک، از کارآیی آن ها کاسته است (۳۴). برخی دیگر نقشه های سنتی خاک را ابزاری ناکارآمد می دانند و عدم توانایی نقشه برداران خاک در انتقال و رساندن آشکار و صریح مدلهای ذهنی خود را دلیل این ناکارآمدی بیان نموده اند (۲۴).

محدودیت های موجود در روش های سنتی (مرسوم) شناسایی خاک و پیشرفت های صورت گرفته در فناوری اطلاعات، باعث ارایه ی راهکارهای نوینی شده است که به طور کلی شناسایی رقومی خاک نامیده می شوند. هدف روش های رقومی پیش بینی کلاسهای خاک یا ویژگی های آن، بر اساس متغیرهای محیطی و یا خصوصیات از خاک است که به سادگی قابل دستیابی یا محاسبه باشند. شناسایی یا نقشه برداری خاک، به عنوان روشی برای تعیین الگوی پراکنش خاک، توصیف و نمایش آن به شکل قابل فهم و تفسیر برای کاربران مختلف است.

نقشه های خاک پایه و اطلاعات محیطی اساس اطلاعات خاک برای مدل سازیهای محیطی میباشد. مطالعه خاک شامل سه مرحله اصلی می باشد، مرحله اول شامل مشاهده اطلاعات جانبی مانند عکس های هوایی، زمین شناسی و همراه با ویژگی های پروفیل های 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 به منظور پیش بینی تغییرات خاک و بسط آن برای مکان های نمونه برداری نشده می باشد (6). معمولاً خاک شناسان توسعه روابط خاک-سیمای سرزمین را با استفاده از اطلاعات مکانی خاص که در سراسر چشم انداز برای مکان های نمونه برداری نشده قابل تعمیم باشد را ترجیح می دهند. لئو و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که توزیع رده های خاک به مقدار زیادی تحت تاثیر مواد مادری و توپوگرافی است، اما امکان دارد که پوشش گیاهی بسیار مشابهی داشته باشند. از این رو، اطلاعات مواد مادری محلی و توپوگرافی می توانند به عنوان متغیرهای کمکی خاکی برای نقشه برداری رده های خاک در مناطق کوهستانی محلی استفاده شوند.

پیش بینی نقشه برداری رقمی خاک، با استفاده از مدل توصیفی روابط بین متغیرهای کمکی خاک و خاک اجرا می شود. مدل سازی روابط گام کلیدی است که سزاوار توجه ویژه ای در نقشه برداری رقمی خاک می باشد (9). نتایج نقشه برداری مرسوم خاک، استفاده از پلی گون و یا واحدهای واضح نقشه، تغییرات ناگهانی یک واحد نقشه یا نوع خاک را نسبت به دیگری نشان می دهد. نتیجه این روش موجب می شود تا هر محل در چشم انداز با محدودیت های یک واحد نقشه متناسب شود که با دقت منعکس کننده چشم انداز خاک نیست. دانشمندان در تلاش برای اصلاح استفاده از یک مدل زمینه ای پیوسته با استفاده از پیکسل به جای پلی گون می باشند که منعکس کننده تغییر تدریجی ویژگی های خاک در سراسر چشم انداز باشد. (8)

شناسایی رقمی خاک ها به عنوان ابزاری برای ایجاد اطلاعات مکانی خاک، راه حل هایی برای نیاز رو به افزایش نقشه های خاک با تفکیک مکانی بالا را تامین می کند. بنابراین، باید استراتژی ها و روش های جدید به منظور به دست آوردن اطلاعات مکانی خاک با تفکیک مکانی بالا توسعه یابد (19). نقشه برداری رقمی خاک، سامانه هایی را برای اطلاعات مکانی خاک، گردآوری و ایجاد می کند که می توانند کاربران را در تصمیم سازی برای رسیدگی به مسایل و مشکلات محیطی و کشاورزی کمک کنند (10). یکی از جنبه های اساسی در نقشه برداری رقمی خاک، استفاده از مدل های مختلف به منظور ساده سازی پیچیدگی های موجود در سامانه ی طبیعی خاک می باشد. بر این اساس، مدل استنباطی خاک- سرزمین (SOLIM) بیانگر شکل ساده شده ای از روابط پیچیده ی موجود بین خاک و شکل سرزمین می باشند که فرآیندهای تکاملی خاک و الگوی پراکنش آن را نشان می دهند (7)

مدل استنباطی خاک- سرزمین یا SOLIM از جمله مدل هایی است که به منظور غلبه بر محدودیت های موجود در روش های شناسایی سنتی خاک، توسط ژو و همکاران در سال 1996 ارائه شده است. در این مدل نقشه ی خاک بر پایه ی مدل خاک- سرزمین ایجاد می گردد. بدین معنا که خاک تابعی از عوامل محیطی است.

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

که در آن S و E به ترتیب، بیانگر خاک و متغیرهای محیطی هستند و f نشاندهنده ی رابطه ی خاک- محیط (مدل خاک- سرزمین) می باشد. بر اساس این مدل، اگر ویژگی های محیطی و رابطه ی خاک- سرزمین، برای یک موقعیت شناخته شده باشند؛ آن گاه، خاک و یا ویژگی های آن در منطقه ی مورد نظر قابل استنتاج خواهند بود. این مدل دارای سه جزء اصلی زیر است:

۱) مدل تشابه که برای نمایش پیوسته ی خاکها کاربرد دارد، این مدل، مبتنی بر منطق فازی می باشد. بنابراین، هر پیکسل میتواند با درجات عضویت مختلف، به بیش از یک کلاس خاک تعلق گیرد؛ (۲) موتور استنباط فازی یا شیوه ی استنباط خود کار که با استفاده از مدل تشابه، انجام عملیات نقشه برداری خاک را برعهده دارند. (۳) مجموعه ی روشهایی که برای استنتاج نتایج اطلاعات خاک از مدل تشابه به کار میروند. به طور کلی، مدل SOLIM با در نظر گرفتن محیط سازنده ی هر خاک و روابط خاک-سرزمین (که توسط اطلاعات خاک شناسان از منطقه ی مورد نظر تعریف میشوند)، اقدام به تشکیل یک پایگاه دانش ۲ میکند. ویژگیهای محیطی منطقه ی مورد نظر (مانند مدل رقومی ارتفاع و ویژگی های آن) در یک پایگاه داده های جغرافیایی نگهداری میشوند. موتور استنباط فازی برای ارتباط پایگاه دانش و پایگاه دادهها برای استخراج بردار تشابه خاک به کار میرود.

مطالعات ژو و همکاران (۱۹۹۶، ۲۰۰۱) نشان داد که نقشه های تهیه شده با استفاده از مدل SOLIM نسبت به نقشه های حاصل از روش سنتی شناسایی خاک، از دقت عمومی بالاتری برخوردار می باشند. از طرفی برآوردهای انجام شده برای ویژگی های خاک نیز نشان گر دقت بالاتر مدل SOLIM نسبت به روشهای مرسوم بوده اند. ژو و همکاران (۱۹۹۷) با مقایسه ی مدل SOLIM و روش سنتی، به منظور تخمین ضخامت افق A در منطقه ی 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 مشاهده شده برای ضخامت افق A، ۱۵/۴۹ سانتیمتر بود و برآوردهای مدل SOLIM و روش سنتی، به ترتیب، برابر ۱۵/۵۸ و ۱۴/۳۹ سانتیمتر بودند. در مطالعه ای دیگر در جنوب غربی بروجن باقوری بیان داشت ارزیابی نتایج شناسایی خاکها بر اساس کلید رده بندی 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 خاک ها را بیان می کند. به طور کلی، در مناطقی که اطلاعات و دانش مناسبی از روابط خاک-سرزمین موجود باشد، مدل SOLIM برآورد های قابل قبولی از ویژگی های خاک و سرزمین را در اختیار قرار میدهد.

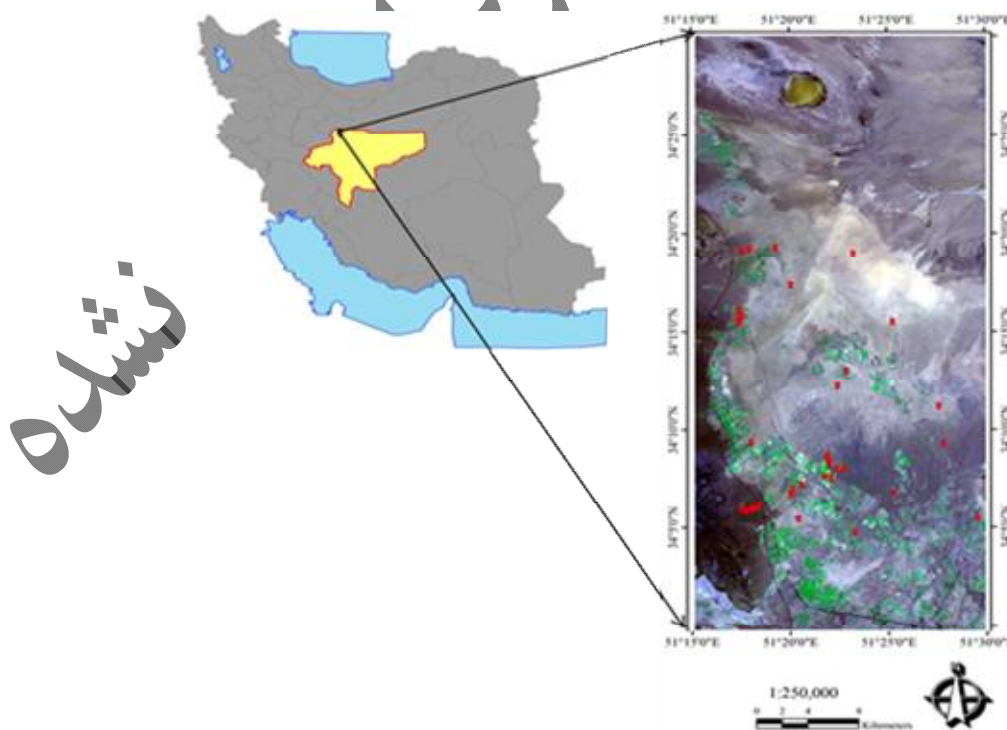
از آنجایی که نقشه های پستی و بلندی و مدل های رقومی ارتفاع تقریباً برای کل کشور موجود میباشند و به دلیل وقت گیر بودن و بالا بودن هزینه شناسایی و نقشه برداری خاکها به روش سنتی و با توجه به عدم وجود مطالعات روزآمد خاک برای بخش گسترده ای از ایران، انتظار می رود که استفاده از مدل رقومی ارتفاع و ویژگی های آن، بتواند کمک شایانی در برآورد کلاسه های خاک و یا ویژگی

های آن ها در مناطق مختلف کشور ارایه نماید. هدف از پژوهش حاضر، نقشه برداری و برآورد کلاسهای خاک با استفاده از مدل استنباطی خاک - سرزمین (SOLIM) در منطقه آران میباشد.

## موادوروش ها

معرفی منطقه ی 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 و ۳۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد. بر اساس آمار هواشناسی دوره ۳۰ ساله میانگین بارندگی سالانه ۱۳۸/۸ میلیمتر است، بارشها از آبان ماه شروع شده و در خردادماه قطع می شود. بر مبنای داده های هواشناسی رژیم حرارتی خاکهای منطقه ترمیک و رژیم رطوبتی آن اریدیک می باشد. این محدوده از اطراف توسط ارتفاعاتی که بخشی از کوه های مرکزی محسوب می شود، 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) می باشد. با توجه به میزان اندک بارندگی و عدم منابع آب کافی در منطقه و همچنین بالا بودن میزان تبخیر و تعرق پتانسیل بطور کلی پوشش گیاهی منطقه فقیر می باشد.



## شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

نمونه برداری خاک و مطالعات آزمایشگاهی:

اطلاعات خاک جمع آوری شده از منطقه ی مطالعاتی، شامل اطلاعات حاصل از تشریح، نمونه برداری و نتایج فیزیکی و شیمیایی ۳۶ خاک در منطقه ی آران (شکل ۱) می باشند که حاصل بازدید صحرایی و آشنایی کامل با منطقه مطالعاتی، واحدها و اجزاء واحدهای اراضی، حفره پروفیل ها، تشریح پروفیل ها، بررسی مشخصات مورفولوژیکی پروفیل ها و مطالعه منابع خاک شامل عمق خاک، مقدار سنگ ریزه، مقدار و نوع آهک، افق های فیزیکی و شیمیایی مورد نیاز شامل درصد ذرات درشت، واکنش خاک، گل اشباع، هدایت الکتریکی عصاره ی 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 می باشند. تمام خاک رخ های حفر شده، بر اساس راهنمای تشریح و نمونه برداری خاک ها در صحرا (اسچوین برگر و همکاران، ۲۰۱۰) تشریح شدند و مطابق با کلید رده بندی آمریکایی خاک طبقه بندی گردیدند و در نهایت، از تمامی افق های ژنتیکی آن ها نمونه برداری انجام گرفت. سپس آزمایش های بافت خاک و اجزای آن، میزان کل کربنات ها، درصد ماده ی آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بر اساس روش های استاندارد بر روی نمونه ها انجام گرفت و در پایان رده بندی تمامی خاک رخ ها تا سطح فامیل خاک، بر اساس نتایج آزمایشگاهی و مطابق با کلید رده بندی آمریکایی خاک (۲۰۱۰) نهایی گردید که در زیر مشخصات زیر رده های غالب منطقه آورده شده است.

**Typic Torrifuvents:** باغات انار، آلو و زرد آلو با قدمت ۱۵ تا ۲۵ سال که بر روی پادگانه های آبرفتی استقرار یافته اند، نقاط معرف باغاتی می باشند که دارای پوشش کاملی از سطح می باشند.

**Typic Haplocalcids:** مخلوط زراعت های برداشت شده و زراعت های رها شده

**Typic Haplogypsid:** اراضی مرتعی با پوشش پنج تا ده درصد از نوع تاغ و گرامینه ها، سنگریزه حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد، رنگ خاک سطحی قهوه ای مایل به صورتی تا قهوه ای خیلی کم رنگ، شوری ۲/۸ دسی زیمنس بر متر، واکنش خاک ۷/۶ تا ۷/۸ و مقدار آهک و گچ به ترتیب ۱۲ و ۲۲ درصد، بافت خاک سطحی لومی شنی تا شنی می باشد.

Typic Torriorthents: اراضی مرتعی با پوشش گیاهی پرنده به میزان ۱۰ درصد، سنگریزه سطحی حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد با ترکیب رنگی سیاه مایل به قرمز ۷۰ درصد، قرمز ضعیف ۲۰ درصد و خاکستری تیره ده درصد و رنگ ذرات خاک بین آنها قهوه ای مایل به قرمز تیره، بافت شنی لومی تا شنی، شوری ۴/۴۱ دسی زیمنس بر متر، مقدار آهک و گچ به ترتیب ۱۷ و ۰ درصد می باشد.

Typic Haplosalids: اراضی لم یزرع تقریباً بدون پوشش گیاهی یا بوته های پراکنده تاغ، سطح خاک پوسته هایی به ضخامت ۲ تا ۳ میلی متر با رنگ قهوه ای، بافت لومی تا رسی، شوری ۱۰۵ تا ۱۹۳ دسی زیمنس بر متر، مقدار گچ و آهک به ترتیب ۱۷ و ۳/۵ درصد می باشد.

Typic Aquisalids: سطح اراضی پوسته های نمکی به ضخامت تا ده سانتیمتر، سطح اراضی مرطوب و تیره است، بافت لومی تا لومی شنی، شوری بین ۶۸ تا ۱۳۶ دسی زیمنس بر متر، آهک و گچ به ترتیب بین ۱۴ تا ۵ و ۲۵ درصد می باشد.

Typic Torripsamments: اراضی با پوشش کم تا متوسط تاغ، سنگ ریزه ۲۰ تا ۳۰ درصد در سطح، بافت شنی، شوری ۳/۵ دسی زیمنس بر متر، مقدار آهک و گچ به ترتیب ۲۲ و ۲ درصد می باشد.

- تهیه ی داده های رقومی و پردازش آن ها

به منظور ایجاد لایه های رقومی ورودی مدل، لایه رستری مدل رقومی ارتفاع (DEM) از نقشه توپوگرافی (1:50000) منطقه با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر تهیه گردید و مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین لایه رقومی زمین شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰) به عنوان یکی از لایه های ورودی مدل در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تولید شد. در این پژوهش جهت تولید و پردازش لایه های مختلف اطلاعاتی از نرم افزارهای ArcGIS، نسخه ۱۰/۱ و SOLIM نسخه 2013 استفاده شده است.

لایه های ورودی مدل SOLIM، لایه رقومی زمین شناسی و تصاویر ماهواره ای 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 پیکسل ها می باشند که به این خطاها خطای رادیومتریکی گفته می شود. تصحیحات رادیومتریکی برای حذف دو نوع خطای عمده اتمسفری و دستگاهی به کار می روند.

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 تیرگی ها در تصحیح رادیومتریک (Dark Subtraction) استفاده کردیم.

در میان شاخص های متنوع و متعدد پوشش گیاهی، شاخص NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) از شاخص های پوشش گیاهی جهانی می باشد که برای آماده نمودن دائمی اطلاعات مکانی و زمانی پوشش گیاهی به کار رفته می شود.

شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI): شاخص های پوشش گیاهی به طور گسترده به عنوان معیارهایی برای تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش اراضی از جمله پوشش گیاهی و فاکتورهای دیگر مورد استفاده قرار می گیرند. NDVI یکی از پرکاربردترین شاخص ها برای پایش تغییرات پوشش گیاهی است که از طریق نسبت گیری باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک به دست می آید.

$$NDVI = \frac{\text{float}(b4) - \text{float}(b3)}{\text{float}(b4) + \text{float}(b3)}$$

float b3: باند ۳ و float b4: باند ۴

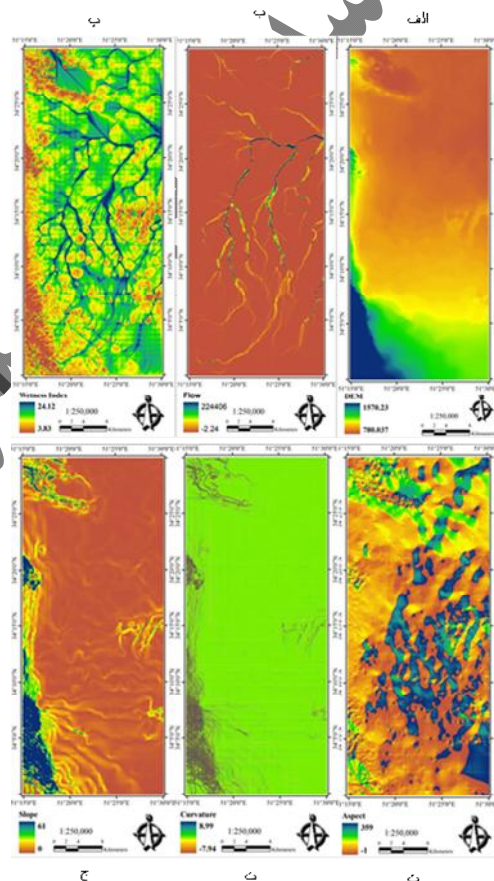
NDVI واکنش به اعمال فتوسنتزی را به خوبی نمایش میدهد که ارزش بالاتر آن نشانگر پوشش گیاهی متراکم تر و شادابتر است. در این شاخص فرض بر این است که ناحیه تحت بررسی دارای نوع خاک یکسانی است، بنابراین اگر این فرض صادق نباشد ناهمسانی انواع خاک بر روی نتایج حاصل از NDVI تأثیر خواهد گذاشت و نتایج نادرستی حاصل خواهد شد. این شاخص امکان مطالعه اطلاعاتی را درباره گسترش مکانی و زمانی اجتماعات پوشش گیاهی، کیفیت پوشش گیاهی برای زیست توده گیاهی، جریان CO2 گیاهخواران و میزان توسعه تخریب خاک را در اکوسیستمهای متنوع مهیا می سازد. همچنین می تواند برای کمی کردن تولید خالص سالانه در مقیاسهای متفاوت و جهانی و تفکیک پوشش گیاهی در مقیاسهای قاره ای و جهانی به کار گرفته شود. آب دارای مقدار معادل NDVI کمتری نسبت به سایر پوششهای سطحی است. بنابراین نواحی که پوشیده از آب شده اند قبل و بعد از وقوع سیلاب، میتوانند به وسیله تغییرات مقادیر NDVI آنها تشخیص داده شوند.

لایه های محیطی منتج شده از مدل رقومی ارتفاع (DEM)، شامل: ارتفاع، شیب بر حسب درصد، جهت شیب، شکل انحنای سطح زمین، شاخص خیزی، جهت جریان و تجمع جریان می باشند (شکل 2) که جهت جریان، تجمع جریان و شاخص نمناکی و همچنین تولید لایه های عوارض سطحی (مانند لایه درصد شیب، جهت شیب و شکل انحنای سطح) با استفاده از مدل رقومی ارتفاع در محیط SOLIM ایجاد شده اند. شاخص خیزی به صورت زیر محاسبه می شود:



$$W = \ln(\text{جریان تجمعی} / \text{درجه شیب}) \quad (2)$$

در این رابطه  $W$  شاخص خیزی می باشد که از رابطه (۲) با در دست داشتن تجمع جریان و درجه شیب محاسبه می شود. در این مطالعه با استفاده از DEM ورودی اصلاح شده در محیط الگوریتم چند مسیر شاخص خیزی محاسبه شد. الگوریتم چند مسیر بیان می کند که آب می تواند در تمامی پیکسل های پست تر مجاورش جریان یابد و توزیع مقدار آب پیکسل های پست تر توسط درجه شیب بین آن پیکسل ها و پیکسل مرکزی تعیین می گردد، که این در مقابل الگوریتم تک مسیر شاخص خیزی که فقط اجازه می دهد تا جریان در شدیدترین جهت صورت می گیرد، نتایج بهتری را ارائه می دهد. تابع عضویت فاکتور محدود کننده SOLIM با استفاده از متغیرهای کمکی زیست محیطی و متغیرهای شکل زمین برای پی بردن به نوع خاک است. تابع فاکتور محدود کننده، پیکر بندی زیست محیطی در یک محل خاص را برای سری های خاک با هم مقایسه می کند و حداقل مقدار بهینگی در میان متغیرهای کمکی با ارزش بهینه کلی را برای آن مکان انتخاب می کند.



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 انحنای سطح زمین ج: درجه شیب بر حسب درصد

مدل SOLIM یک تابع عضویت فازی رستری برای هر کدام از انواع خاک ارائه می کند. هر پیکسل از این توابع عضویت فازی عددی بین ۰ تا ۱۰۰ را به خود اختصاص می دهد. نقشه های تابع عضویت فازی ایجاد شده غیر فازی (Harden map) می شوند. در طی فرایند غیر فازی کردن، خاک با مقادیر بیشینه تابع عضویت فازی در یک موقعیت مکانی به عنوان خاک آن موقعیت مکانی انتخاب می گردد. فرآیند غیر فازی کردن چندین نقشه تابع عضویت فازی مربوط به خاک های مختلف را تبدیل به یک نقشه شبکه ای (رستری) می کند که در آن نقشه خروجی هر پیکسل تنها متعلق به یک نوع خاک است. نقشه خروجی دارای ناخالصی هایی با مساحت های کوچک (کمتر از ۱۰ درصد) می باشد، از این رو به منظور حذف این ناخالصی ها از نقشه، ابزار حذف (Remove Silver) مورد استفاده قرار گرفته است. ارزیابی نتایج نهایی مدل SOLIM از طریق محاسبه ی صحت کلی نقشه (Overall Map Accuracy) یا (OA) انجام گرفت. صحت کلی نقشه، نشان دهنده ی آن است که چه تعداد از مشاهدات یا طبقات جدا شده، صحیح می باشند (۱۸)، به عبارت دیگر، چه تعداد از نمونه ها به درستی در طبقات مربوط جای گرفته اند. این ویژگی، با تشکیل ماتریس خطا (Confusion Matrix) توسط مدل SOLIM و نقاط کنترلی و بر اساس فرمول زیر قابل محاسبه می باشد (۱۵،۱۰).

$$O.A = \frac{\sum_{i=1}^e E_{ii}}{N} \quad (3)$$

که در آن e تعداد کلاس ها، N تعداد کل پیکسل های معلوم،  $E_{ii}$  اعضا قطری ماتریس خطا و O.A دقت کلی طبقه بندی می باشد.

## نتایج و بحث

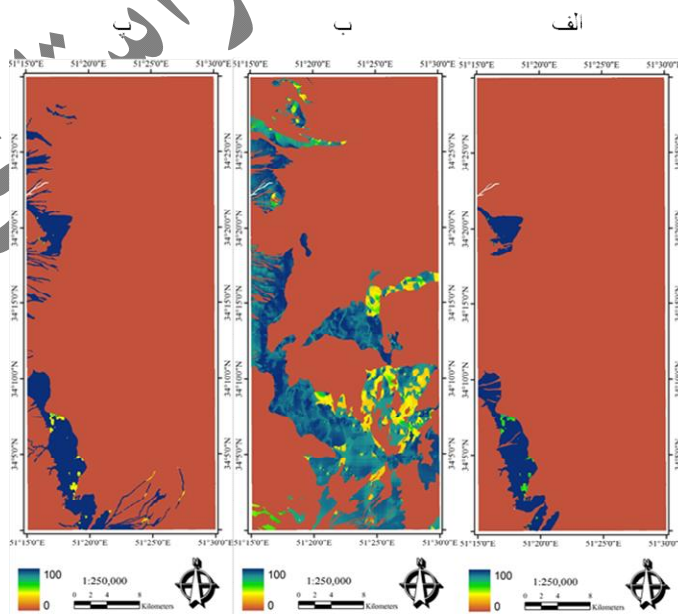
جدول 1 نشانگر نتایج رده بندی هفت زیر رده خاک غالب موجود در منطقه ی مطالعاتی است. جدول مزبور، نمایانگر این است که هفت

زیر رده Haplosalids, Torrripsaments, Haplocalcids, Haplogypsis, Torrfluvetns, Torriorthents

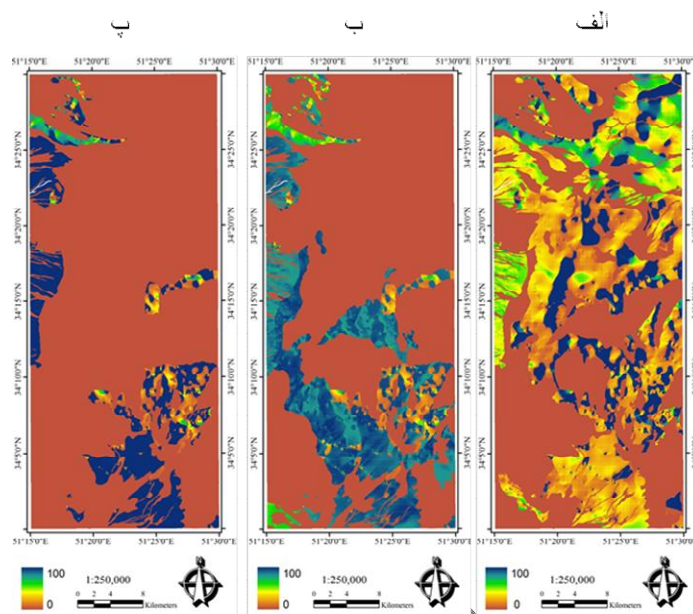
،Aquisalids، زیر رده های غالب منطقه می باشند.

جدول شماره ۱- رده بندی واحدهای خاک منطقه آران به سیستم طبقه بندی خاک آمریکایی و فائو

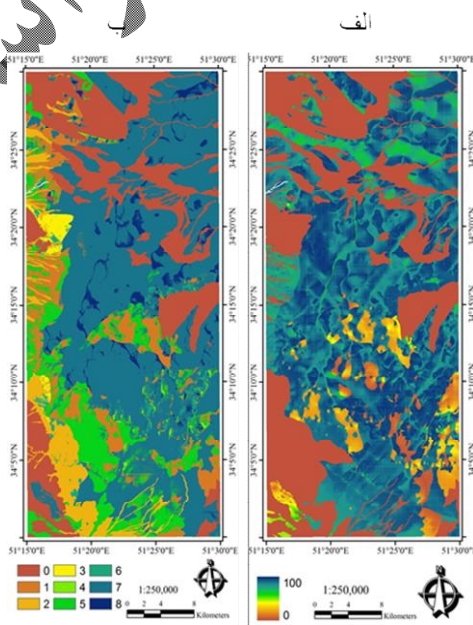
رده بندی بر اساس طبقه بندی خاک آمریکایی	
شماره پروفیل	زیررده
۱،۱۴،۲۲،۲۳،۲۴	تیپیک توری اورتنز
۲،۱۸،۳۲،۳۳،۳۴،۳۵	تیپیک هاپلو کلسیدز
۳،۹،۲۰	تیپیک هاپلو ژیسیدز
۴،۵،۶،۸،۱۳،۲۱،۲۹	تیپیک توری فلوتنتز
۷	تیپیک توری پسامنتز
۱۲،۱۷	تیپیک اکویی سالیسز
۱۰،۱۱،۱۵،۱۶،۱۹،۲۵،۲۶، ۲۷،۲۸،۳۰،۳۱	تیپیک هاپلو سالیسز



شکل (۳): نقشه پیش بینی فازی برای خاکهای نوع ۱، ۲، ۳، ۴ در منطقه مورد مطالعه  
 الف) خاک نوع ۱ (Torriorthents) ب) خاک نوع ۲ (Haplocalcids) پ) خاک نوع ۳ (Haplogypsisds)



شکل (۴): نقشه پیش بینی فازی برای خاکهای نوع ۴، ۵، ۶ در منطقه مورد مطالعه  
 الف) خاک نوع ۴ (Torripsaments) ب) خاک نوع ۵ (Torrifluvetns) پ) خاک نوع ۶ (Haplosalids)



شکل (۵): نقشه پیش بینی فازی برای خاک نوع (Aquisalids) (الف) در منطقه مورد مطالعه و نقشه پیش بینی نهایی (غیر فازی) (ب) منطقه مورد مطالعه

نشان می دهد (شکل های ۳ و ۴ و ۵). در هر یک از این نقشه ها، رنگ تیره تر به معنی عضویت فازی بالاتر برای خاک می باشد. نقشه پیش بینی نهایی (شکل ۵) برای منطقه مورد مطالعه نقشه غیر فازی، نتایج SOLIM می باشد. نقشه رقومی خاک که به وسیله غیر فازی کردن ایجاد شده است کلاس های بالاترین مقادیر عضویت فازی برای هر ۳۰ متر واحد سلول را به تصویر می کشد. 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 می باشد که نتایج بدست آمده نشان دهنده کیفیت و صحت نقشه رقومی خاک است. جدول ۲ مقایسه ماتریس خطا نقشه غیر فازی حاصل از مدل SOLIM بر اساس سطح زیر رده برای تمامی خاک رخ های منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد. در نقشه ایجاد شده بر اساس مدل SOLIM ویژگی های موثر در خاکسازی در هر منطقه یعنی فاکتورهایی چون شیب، ارتفاع، زمین شناسی را مد نظر قرار می دهیم و بر اساس میزان تاثیر این فاکتورها واحدهای خاک را جداسازی می کنیم. بنابراین واحدها بصورت جزئی تر در قسمت های مختلف بر اساس تفاوت هایی که شیب و ارتفاع و حتی زمین شناسی آن قسمت ها با هم دارند جداسازی می شود و همچنین با استفاده از تصاویر ماهواره ای می توان از لحاظ طیفی نیز خاک ها را تفکیک کرد. اما در تهیه نقشه مرسوم که بر اساس نقشه زمین شناسی و ژئومورفولوژی واحدهای خاک را جدا می کنیم و شیب و ارتفاع را به عنوان یک عامل مهم در نظر نمی گیریم. واحدهای خاک به صورت کلی تر جدا می شوند و به این دلیل است که نقشه ایجاد شده از مدل SOLIM دارای دقت بالاتری در جداسازی واحدهای خاک است.

خروجی SOLIM به صورت پیکسل یا رستر می باشد و می تواند برای کاربران اطلاعات خاک بسیار مفید باشد. در روش مرسوم، نقشه خاک در قالب پلی گون ارائه می شود که هر پلی گون بر اساس واحد نقشه با یک یا دو نوع خاک نشان دار می شود و کاربر باید برای پیدا کردن خاک های متعدد دیگری که در پلی گون وجود دارند به فراداده (Metadata) نگاهی بیندازد. مدل های پیش بینی مبتنی بر دانش قبلاً با نقشه برداری مرسوم خاک مقایسه شده است (۲۶). خروجی به صورت رستری، ایجاد نقشه ای که نمایانگر یک توزیع پیوسته که اصطلاحاً شمول خاک به واحدهای نقشه نامیده می شود را آسان تر می کند. صحت و دقت داده های رستری خاک به

صحت داده های ورودی از قبیل DEM بستگی دارد (۱۵). یک مدل مبتنی بر دانش مانند SOLIM پتانسیل پیش بینی خاص مستمر خاک را دارد.

جدول ۲- ماتریس خطا (برحسب پیکسل) نقشه رقمی حاصل از مدل SOLIM بر اساس سطح زیر رده برای تمامی خاک های منطقه مورد مطالعه

استنباط شده مشاهده شده	خاک نوع ۱ توری اورتننز	خاک نوع ۲ هاپلوکلسیدز	خاک نوع ۳ اکوی سالیبز	خاک نوع ۴ توری پسامنت	خاک نوع ۵ توری فلوننتز	خاک نوع ۶ هاپلوژیپسیدز	خاک نوع ۷ هاپلوسالیب	کل
توری اورتننز	460	0	0	0	0	0	0	480
هاپلوکلسیدز	0	265	0	0	0	2	0	267
اکوی سالیبز	114	24	328	0	24	9	20	519
توری پسامنت	0	0	0	68	0	0	0	68
توری فلوننتز	0	2	0	7	118	1	0	128
هاپلوژیپسیدز	0	0	0	0	0	160	0	160
هاپلوسالیب	0	0	0	13	0	17	1410	1440
کل	594	291	328	88	142	190	1430	3063

صحت کل : 92.3604% (2829/3063)

نقشه برداری رقمی با ایجاد بینشی در مورد فرآیندهای خاکسازي، باعث پیشرفت بالقوه پدولوژی و جغرافیای خاک میشود (19). پایه و اساس نقشه برداری رقمی خاک مبتنی بر معادله اسکورپن (14) میباشد. بیشاپ و همکاران ۱۹۹۹ کارایی بالای تابع اسپیلاین عمقی را نسبت به سایر توابع عمق تایید کرده اند. ایشان از توابع اسپیلاین برای پیش بینی 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) پیش بینی خصوصیات خاک را در یک نقطه به خوبی انجام می دهد. اما با رویکرد مکانی، مجموعه ای از این توابع باعث ایجاد یکسری نقاط فردی در منطقه میگردد. اما برای استفاده کنندگان خاک شاید اینگونه اطلاعات زیاد مفید نباشد و آن ها احتیاج به اطلاعات خاک به صورت مکانی و پیوسته دارند. برای پاسخ به این درخواست، می توان به نقشه برداری رقمی خاک مراجعه کرد (14).

با توجه به قابلیت های توابع عمقی خاک و نقشه برداری رقومی خاک (10) به نظر می رسد که تنها راه برای پیش بینی سطحی و عمقی خصوصیات خاک، استفاده همزمان از این روش ها می باشد. همانطور که ملانو و همکاران ۲۰۰۹ با کاربرد همزمان اسپیلاین با نواحی یکسان و نقشه برداری رقومی خاک اقدام به پهنه بندی ماده آلی خاک و ظرفیت نگه داری رطوبتی خاک در استرالیا نمودند. سلیمان و همکاران ۲۰۱۲ در اندونزی و تقی زاده و همکاران ۲۰۱۴ در ایران از توابع عمقی خاک و تکنیک های نقشه برداری رقومی جهت بررسی تغییرات تدریجی عمقی و سطحی متغیرهای خاک استفاده کردند. نبی الهی و همکاران بیان داشتند که برای پیش بینی رس، شن و سیلت پارامترهای سطوح ژئومورفولوژی، شاخص خیزی، شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا، ارتفاع، طول شیب و باند ۳ مهم ترین بوده اند. 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 راحت تر می باشد. همچنین تقی زاده و همکاران در تحقیقی در منطقه دورود استان لرستان بیان داشت که استفاده از نقشه برداری رقومی، رگرسیون درختی و معادله اسپیلاین با نواحی یکسان ابزارهایی قدرتمند جهت برآورد تغییرات مکانی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به صورت جانبی و عمقی میباشند.

نقشه های خاک تولید شده توسط SOLIM نیز می تواند به طور قابل ملاحظه ای دقیق تر از همتای مرسوم خود باشد. در مطالعه ای در غرب مونتانا (۲۱) نقشه های SOLIM ۵۲ نوع از خاک ها را از ۶۴ نمونه به درستی پیش بینی کرد (صحت ۸۱٪). در حالی که نقشه های بررسی های مرسوم خاک فقط ۳۹ نمونه از خاک ها را درست پیش بینی کرد (۶۱٪ دقت). یکی دیگر از مطالعات در جنوب غربی ویسکاشین نتایج مشابهی را نشان داد SOLIM 83 نوع از ۹۹ نوع خاک نمونه را به درستی پیش بینی کرد (حدوداً ۸۳٪ دقت)، در حالی که مطالعه خاک مرسوم فقط ۶۶ نوع از ۹۹ خاک را به درستی پیش بینی کرد (حدوداً ۶۷٪ دقت) (26).

دقت بالاتر از محصولات اطلاعاتی تولید شده از SOLIM به تعدادی عوامل بستگی دارد: اولاً GIS می تواند اطلاعات بسیار دقیق در مورد تغییرات شرایط محیطی را در اختیار قرار می دهد و از قابلیت های پردازش داده های رقومی این است که اجازه می دهد بسیاری از متغیرها به طور همزمان در نظر گرفته شوند (25، 26). این ممکن است تعداد اجزاء خاک و جلوگیری از تغییر غلط نوع خاک را کاهش دهد. دوماً SOLIM اجازه می دهد 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 خاک های مختلف نشان داده شود، به جای اینکه مجبور باشیم یک موضوع واحد مجزا

تعیین کنیم. بنابراین امکان برآورد دقیق تر از شرایط خاک هر پیکسل وجود دارد. در مطالعه ای دیگر در جنوب غربی بروجن باقری بیان داشت ارزیابی نتایج شناسایی خاکها بر اساس کلید رده بندی 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 خاک ها را بیان می کند (۱). اجرای مدل SOLIM با داده هایی که مربوط به سطوح پایین تر (مانند فامیل) رده بندی خاک میباشد و رایجی نتایج برای سطوح بالاتر (مانند زیر گروه)، برآوردهای دقیق تر و بهتری را نسبت به زمانی که داده های ورودی و خروجی مدل، هر دو مربوط به یک سطح رده بندی خاص (مانند زیر گروه) 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 رابطه ی نزدیکی با ویژگی های محیطی و خاک هستند، در شناسایی خاک میتواند تا حد زیادی بر دقت کار بیفزاید و از صرف هزینه و زمان بکاهد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با استفاده از شش ویژگی از مدل رقومی ارتفاع و نقشه زمین شناسی و اطلاع از خاک های غالب منطقه می توان برآورد درستی از نقشه رقومی خاک در سطح زیر رده خاک با دقت ۹۲٫۳۶ درصد به دست آورد. در این تحقیق نسخه های جدید اطلاعات خاک را برای هر منطقه با سرعت قابل قبولی تولید شدند. بطوری که بر خلاف روش سنتی که ماهها و سالها وقت لازم دارد، این روش ظرف چند ساعت تا چند روز قادر به تولید اطلاعات و نقشه های جدید است و از آنجایی که داده های ذخیره شده در سامانه GIS و فازی قابل استفاده مجدد می باشند. لذا اغلب سرمایه گذاری اولیه نقشه برداری خاک یا روز آمدن کردن آن ارزش خود را حفظ کرده بنابراین هزینه های روز آمدن بعدی کاهش می یابد.

### منابع:

- ۱- باقری بداغ آبادی، م. ۱۳۹۰، کارآیی مدل رقومی ارتفاع و مشتقات آن در نقشه برداری خاک با استفاده از مدل استنباطی خاک- سرزمین (SoLIM)، نشریه آب و خاک.
- ۲- علوی پناه، س. ک.، متین فر، ح. م.؛ و رفیعی امام، ع. ۱۳۸۷، کاربرد فناوری اطلاعات در علوم زمین (خاکشناسی رقومی)، انتشارات دانشگاه تهران.

3-Bishop T.F.A., McBratney A.B., and Laslett G.M. 1999. Modelling soil attribute depth functions with equal-area quadratic smoothing splines. *Geoderma*, 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, Bangkok, Thailand, August 14- 21 2002. paper No: 1682.

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. *Journal of Soil Science* 43:193-210.

6- Cook, S.E.,R.J.,Corner,G.,Grealish,P.E.,Gessler., and Chartress , C . J .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- 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.

9- Kempen, B., Brus, D.J.,Heuvelink, G.B.M.,and Stoorvogel, J.J.2009.Updating the 1:50 000 Dutch soil map using legacy soil data: A multinomial logistic regression approach. *Geoderma*. 151:311-326.

10-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.

11- Legros, J.P.2006.*Mapping of the soil*. Science publishers, NH, USA, 411 PP.

12-Luo, Y.M., Li, Z.G., Wu, L.H., Wu, S.C., Zhang, G.L.,Zhou, S.L., Zhao, Y.G., Zhao, Q.G.,Wong, M.H., and Zhang, H.B.2007. *Hong kong Soils and Environment* (in Chinese). Science Press, Beijing.

13-Malone B.P., McBratney A.B., Minasny B., and Laslett G.M. 2009. Mapping continuous depth functions of soil carbon storage and available water capacity. *Geoderma*, 154: 138–152.

14-McBratney A.B., Mendonça Santos M.L., and Minasny B. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117:3-52.

15- McKay.,J.2008. Using a Knowledge-Based System to Test the Transferability of a soil –Landscape Model in Northeastern Vermont. M. S. thesis, University of Florida, Gainesville, FL. 83P.

16- 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 Science Volume 2*, 2010, pp 165-178.

17- Pennock, D.J., B.J., Zebarth., and deJong, E. 1987. Landform classification and soil distribution in Hummocky terrain, Saskatchewan, Canada. *Geoderma* 40: 297-315.

18- 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.

19- Scull, P.R. 2002. Predictive soil mapping in the Mojave Desert of California. University of California, San Diego State University, PhD thesis.

20- Sulaeman Y., Sarwani M., Minasny B., McBratney A.B., Sutandi A., and Barus B. 2012. Soil-landscape models to predict soil pH variation in the Subang region of West Java, Indonesia. P. 317-325. In B. Minasny et al. (ed). *Digital Soil Assessment and Beyond*. CRC Press.

21- Smith, S.C., Buimer, E., Flager, G., Frank., and Filatow, D. 2010. Digital soil mapping at multiple scales in British Columbia, Canada. In Program and Abstracts, 4 th Global workshop on Digital soil Mapping, 24-26 May 2010, Rome, Italy. P 17.

22- Taghizadeh-Mehrjardi R., Minasny B., Sarmadian F., and Malone P.B. 2014. Digital mapping of soil salinity in Ardakan region, central Iran. *Geoderma*, 213: 15-28.

23- 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.

24- Zhu, A.X., L.E. Band, B. Dutton, and T.J. Nimlos. 1996. Automated Soil Inference Under Fuzzy Logic. *Ecological Modeling* 90:123-145.

25- Zhu, A.X., L.E. Band, R. Vertessy, and B. Dutton. 1997. Derivation of soil properties using a soil land inference model (SoLIM). *Soil Science Society of America Journal* 61:523-533.

26- 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.

## **Evaluating Soil- Environment Inference Model (SOLIM) for soil mapping based on Fuzzy Logic in Kashan**

### **ABSTRACT**

Common methods of soil survey are relatively expensive in terms of time and cost required and is dependent on expert opinion, to generate and update the maps. While soil mapping, using soil various models - the Landscape, leading to simplification of the complexity found in natural soil systems and gives users the ability to update the quick and cheap. In fact, the model represents a simplified form of the complex relationships between the soil and the land. The aim of this study is inferential model Soil-Land (SOLIM) in mapping and estimating soil classes region, Isfahan province. For this purpose model inputs SOLIM contains, digital geological Environmental layer of digital elevation model (DEM), including elevation, slope, curvature of the earth's surface, wetness indicator, flow direction and 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 prepared for the seven types of soil and the final maps were created to predict soil with harden. Results showed that the SOLIM using environment variables has very high ability to separate soil types in greater detail. And soils parent materials, geology, climate and vegetation have different can be separated from each other with high accuracy with this model. Compare error matrix shows that the overall accuracy of the model derived map SOLIM against 92.36%.

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

رویداد استادی نشرده