

نقشه‌برداری رقومی خاک به کمک اطلاعات میراثی: پژوهش موردی منطقه فاریاب کرمان

منصوره خالقی^۱، اعظم جعفری^{۲*}، محمدهادی فرپور^۳

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۳- استادگروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۸ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۸/۰۱ کلمات کلیدی: رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای، گروه بزرگ خاک، متغیرهای کمکی، نقشه قدیمی خاک	شناسایی رقومی خاک، برای استفاده مفید و مؤثر از خاک و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مهم است. این پژوهش با هدف تهیه نقشه رقومی گروه بزرگ خاک با روش رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای با استفاده از دو مجموعه از متغیرهای کمکی، شامل: مجموعه (۱) متغیر-های مشتق شده از مدل رقومی ارتفاع، شاخص‌های سنجش از دور، سطوح ژئومورفیک تفکیک شده و نقشه زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد پژوهش، و مجموعه (۲) متغیرهای مشتق شده از مدل رقومی ارتفاع، شاخص‌های سنجش از دور، سطوح ژئومورفیک تفکیک شده، نقشه زمین‌شناسی و واحدهای خاک شناسایی شده (نقشه قدیمی خاک)، در بخشی از اراضی منطقه‌ی فاریاب کرمان، طراحی شد. به‌منظور دست‌یابی به این هدف، نقشه ژئومورفولوژی بر مبنای توپوگرافی، مواد مادری و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد. از طرح نمونه‌برداری لاتین هاپرکیوب در منطقه مورد پژوهش به مساحت ۱۴ هزار هکتار، برای تعیین نقاط نمونه‌برداری استفاده شد و ۷۰ خاک‌رخ حفر و تشریح شد. نتایج این پژوهش نشان داد شاخص موقعیت توپوگرافی، بیشترین تأثیر را در پیش‌بینی گروه‌های بزرگ خاک دارد. نتایج ارزیابی دقت مدل رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای، نشان داد که با به‌کارگیری نقشه قدیمی خاک در مدل‌سازی، شاخص‌های اعتبارسنجی مدل، از جمله خلوص نقشه و شاخص کاپا به ترتیب از ۰/۴۷ و ۰/۱۶ به ۰/۶۳ و ۰/۴۳ افزایش یافتند. به‌طور کلی نتایج نشان داد که دقت روش نقشه‌برداری رقومی با به‌کارگیری نقشه قدیمی خاک، می‌تواند ارتقاء پیدا کند و کاربرد نقشه‌های تولید شده را افزایش دهد؛ همچنین قابلیت استفاده از این نقشه‌ها را برای شاخه‌های علمی مختلف امکان‌پذیر کند.

* عهده دار مکاتبات

Email: a.jafari@uk.ac.ir

مقدمه

مدیریت صحیح منابع به میزان شناخت ما از توزیع مکانی خاک و ویژگی‌های آن بستگی دارد و نقشه‌های خاک، از جمله مهم‌ترین منابع اطلاعاتی هستند که در

این زمینه به‌کار برده می‌شوند (۴۱). نقشه‌برداری خاک، بیانگر تشریح هوشمند خاک‌ها در صحرا و گروه‌بندی آن‌ها در قالب واحدهای نقشه، به‌منظور تعیین بهترین کاربری خاک‌ها و نیز نمایش موقعیت آن‌ها بر روی

تصمیم‌گیری درختی (۲۳، ۲) و جنگل‌های تصادفی (۴)، ۳۵، ۳۰) به کار گرفته شود.

یکی از روش‌های نقشه‌برداری، روش رگرسیون لاجیستیک است که با ایجاد مدل لاگیت، احتمال حضور کلاس خاک معینی را پیش‌بینی می‌کند. این مدل، احتمال حضور یک کلاس خاک را به متغیرهای پیش‌بینی کننده ارتباط می‌دهد. روش‌های رگرسیون لاجیستیک، به‌طور موفقیت‌آمیزی در علوم خاک و زمینه‌های مربوطه از جمله پیش‌بینی خطرات زمین‌لغزه (۲۷) احتمال حضور کلاس‌های زهکشی خاک (۸)، و یا ارتباط انواع خاک به ویژگی‌های پستی و بلندی استفاده شده است.

هنگل و همکاران^۴ (۱۲) از رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای، برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که موفقیت مدل، شدیداً به همبستگی کلاس‌های خاک با پیش‌بینی کننده‌ها بستگی دارد و در صورتی که همبستگی بین متغیرهای کمکی و کلاس‌های خاک ضعیف باشد، این مدل، پیش‌بینی ضعیفی را به دنبال خواهد داشت.

دبلاگیلو و اتزلمولر^۵ (۹) برای تخمین توزیع مکانی کلاس‌های خاک از رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که از بین پارامترهای سرزمین، ارتفاع، شیب، جهت و مدت زمان تابش خورشیدی در توزیع مکانی کلاس‌های خاک نقش تعیین‌کنندای دارند. مارچیتی و همکاران^۶ (۲۰) بیان کردند که روش رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای، یک روش تخمین سریع و قابل اعتماد برای متغیرهای طبقه‌ای مانند کلاس‌های خاک است. جعفری و همکاران^۷ (۱۳) بیان کردند که روش رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای دقت بیشتری نسبت به روش رگرسیون لاجیستیک دوتایی دارد و مهم‌ترین عامل در

نقشه است (۱۷). روش‌های مرسوم نقشه‌برداری خاک، نقشه‌هایی تولید می‌کنند که تغییرپذیری ذاتی خاک و تغییرات اجزاء خاک را به خوبی نشان نمی‌دهند؛ همچنین استفاده از این روش‌ها، برای نقشه‌برداری خاک و تهیه نقشه خاک کل کشور، با مقیاس مناسب، به دلیل هزینه‌بر و وقت‌گیر بودن بسیار مشکل است (۴۲). از طرف دیگر، نقشه‌های تولید شده با روش‌های مرسوم با قدرت تفکیک پایین برای مدیریت و برنامه‌ریزی کشاورزی مدرن، ناقص و نامناسب هستند، از این رو، احساس نیاز به نقشه‌هایی با قدرت تفکیک بالا، اطلاعات دقیق‌تر و قابلیت به‌روزرسانی روزبه‌روز افزایش می‌یابد. در سال‌های اخیر، نقشه‌برداری خاک، دستخوش تحول، عظیمی شده است. این تحول نتیجه پیشرفت‌های سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۱ و سنسجش از دور (RS)^۲ است (۲۲). یکی از روش‌های نوین ارائه شده در شناسایی خاک، نقشه‌برداری رقومی خاک است. در واقع، نقشه‌برداری رقومی خاک، بیانگر مجموعه‌ای از محاسبات رایان‌های برای پیش‌بینی پراکنش خاک‌ها و سیمای سرزمین است (33). اساس روش‌های نقشه‌برداری رقومی، مبتنی بر معادله‌ی اسکورپن^۳ است و با استفاده از رابطه‌ی (۱) قابل توصیف است (۲۱):

$$Sc = f(SCORPAN) \quad (1)$$

و شامل هفت عامل زیر است:

$Sc =$ خاک، یا ویژگی‌های خاک، $C =$ اقلیم یا ویژگی‌های اقلیمی محیطی، $O =$ موجودات زنده، شامل پوشش گیاهی، جانوران و یا فعالیت‌های انسان، $R =$ ناهمواری‌ها یا ویژگی‌های زمین‌نما، $P =$ مواد مادری یا زمین‌شناسی منطقه، $A =$ زمان و $N =$ فاصله یا موقعیت مکانی. تابع f می‌تواند برای پیش‌بینی کلاس خاک به روش‌های رگرسیون لاجیستیک (۱۱، ۱۵، ۲۰)، شبکه‌های عصبی مصنوعی (۱۰، ۱۴، ۳)، طبقه‌بندی درختی یا

4- Hengl *et al.*

5- DeBella-Gilo and Etzelmuller

6- Marchetti *et al.*

7- Jafari *et al.*

1- Geographic Information System (GIS)

2- Remote Sensing (RS)

3- SCORPAN

فاریاب قرار دارد. شهرستان فاریاب، یکی از شهرستان‌های استان کرمان است که از شمال به جیرفت، از شرق به کهنوج، از جنوب به هرمزگان و از غرب به ارزوئیه محدود می‌شود. دشت فاریاب از جمله کم ارتفاع‌ترین دشت‌های داخلی ایران است. فاریاب با ۶۳۰ متر ارتفاع از سطح دریا و مساحت ۲۵۶۴ کیلومتر مربع در ۱۱۵ کیلومتری جنوب شهر جیرفت واقع شده است که به لحاظ وسعت ۱/۳۹ درصد مساحت استان را تشکیل می‌دهد. آب مورد نیاز منطقه، از منابع آب سطحی و زیرسطحی شامل ۲ رودخانه دائمی، تعداد ۲۰۶۸ چاه عمیق و نیمه‌عمیق، ۲۳ رشته قنات، و ۳۰ چشمه موجود در منطقه تامین می‌شود (۱۱).

این دشت، دارای آب و هوای خشک بوده و دارای رژیم رطوبتی اریدیک و رژیم حرارتی ترمیک است. میانگین بارندگی ۱۱۰ میلی‌متر و میانگین درجه-حرارت ۲۳/۸ درجه سانتی‌گراد است. منطقه مورد پژوهش بین عرض جغرافیایی $28^{\circ}05'41''$ و $28^{\circ}09'58''$ شمالی و طول جغرافیایی $57^{\circ}13'59''$ و $57^{\circ}23'15''$ شرقی قرار گرفته است. این منطقه مساحتی حدود ۱۴ هزار هکتار را می‌پوشاند (شکل ۱).

نقشه ژئومورفولوژی منطقه

در این پژوهش نقشه‌ی ژئومورفولوژی بر مبنای توپوگرافی، مواد مادری و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد. جداسازی واحدها در سطح سیمای اراضی بر اساس پستی و بلندی، لیتولوژی و اشکال زمین و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (شکل ۲) صورت پذیرفت و مرزهای سطوح ژئومورفیک ترسیم شد؛ سپس با ورود به سامانه جغرافیایی Arc GIS 10.3 و با استفاده از گوگل ارث زمین مرجع شده، در نهایت نقشه‌ی ژئومورفولوژی تهیه شد (شکل ۳). به‌منظور صحت‌مربندی، در طی عملیات صحرایی، مرز واحد-های موجود در نقشه اولیه کنترل و تصحیح شد و به‌عنوان یکی از متغیرهای محیطی در طرح نمونه‌برداری و مدل-

بالا بردن دقت مدل، همبستگی و ارتباط خوب بین متغیر-های محیطی و هدف است. ویزی و لاگاچری^۱ (۴۰) نیز تأثیر معنی‌دار خصوصیات توپوگرافی در پیش‌بینی کلاس‌ها و ویژگی‌های خاک، با استفاده از روش رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای را نشان دادند.

نقشه‌های خاک در مطالعات زیادی از جمله ارزیابی اراضی، برنامه‌ریزی استفاده از اراضی و هیدرولوژی کاربرد دارد؛ بنابراین نیاز به اطلاعات خاک در سال‌های اخیر رو به افزایش بوده است (۲۱). اطلاعات رقومی خاک‌ها، بر اساس ابزارهای پردازش جدید و داده‌های رقومی مختلف به‌روز، در حال افزایش است. شناسایی رقومی خاک‌ها به‌عنوان ابزاری برای ایجاد اطلاعات مکانی خاک، راه‌هایی برای نیاز رو به افزایش نقشه‌های خاک با تفکیک مکانی بالا را ارائه می‌کند؛ بنابراین، باید استراتژی‌ها و روش‌های جدید به منظور به دست آوردن اطلاعات مکانی خاک با تفکیک مکانی بالا توسعه پیدا کند (۲۱). پژوهش حاضر سعی دارد با به-کاربردن روش‌های نوین، تغییرات مکانی خاک را در منطقه فاریاب کرمان بررسی کند. منطقه فاریاب یک منطقه محروم و دور از مرکز استان است و مطالعات خاک‌شناسی دقیقی در این منطقه انجام نشده است؛ و حتی یک گزارش حداقلی از خاک‌های این منطقه وجود ندارد. از این‌رو، پژوهش کنونی با انجام پژوهش نقشه-برداری خاک در منطقه فاریاب کرمان، اهداف ذیل را دنبال می‌کند:

- ۱- شناسایی تغییرات مکانی خاک منطقه.
- ۲- بررسی نقش اطلاعات میراثی در نقشه‌برداری رقومی خاک.
- ۳- تهیه نقشه رقومی منطقه فاریاب کرمان.

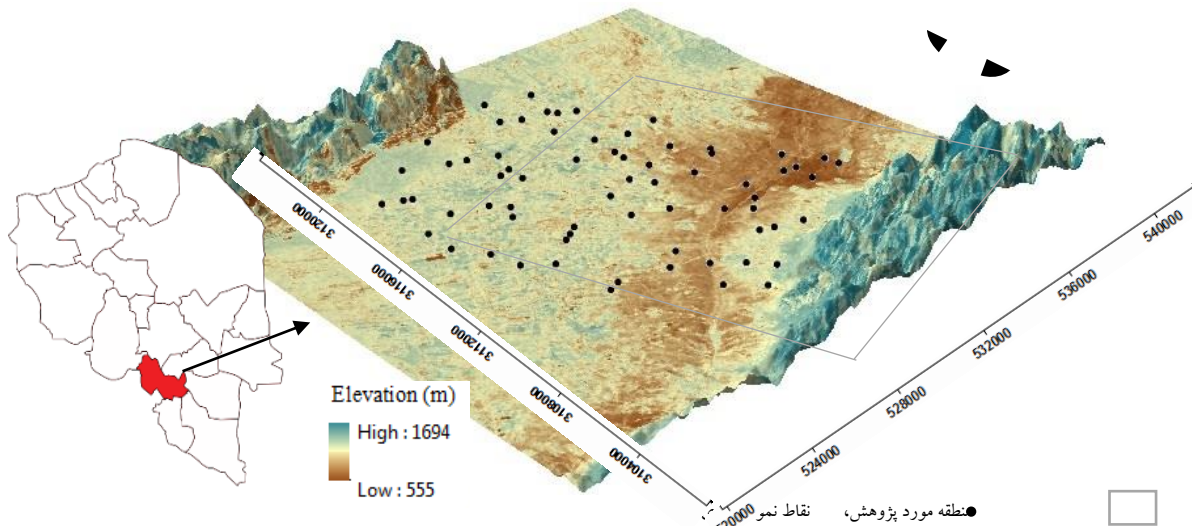
مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد پژوهش در جنوب شرقی ایران، در فاصله‌ی ۳۳۰ کیلومتری شهر کرمان، در شهرستان

خالقی و همکاران: نقشه‌برداری رقومی خاک به کمک...

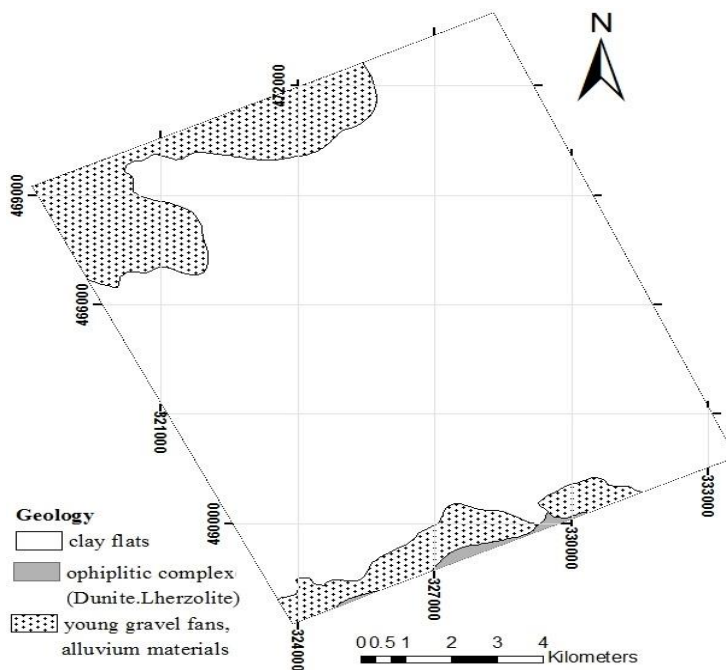
مخروط افکنه، دشت دامنه‌ای و پلایا است. فعالیت کشاورزی در پلایا با محدودیت شوری و خشکی زیاد روبرو است؛ در حالی که در قسمت‌های دشت، دامنه‌ای گسترده‌تر و پایدارتر صورت می‌گیرد.

سازی استفاده شد. راهنمای توصیفی نقشه ژئومورفولوژی در جدول ۱ ارائه شده است. در این منطقه، دو زمین‌نما، سه لندفرم و یازده سطح ژئومورفیک تشخیص داده شد. لندفرم‌های اصلی منطقه، شامل



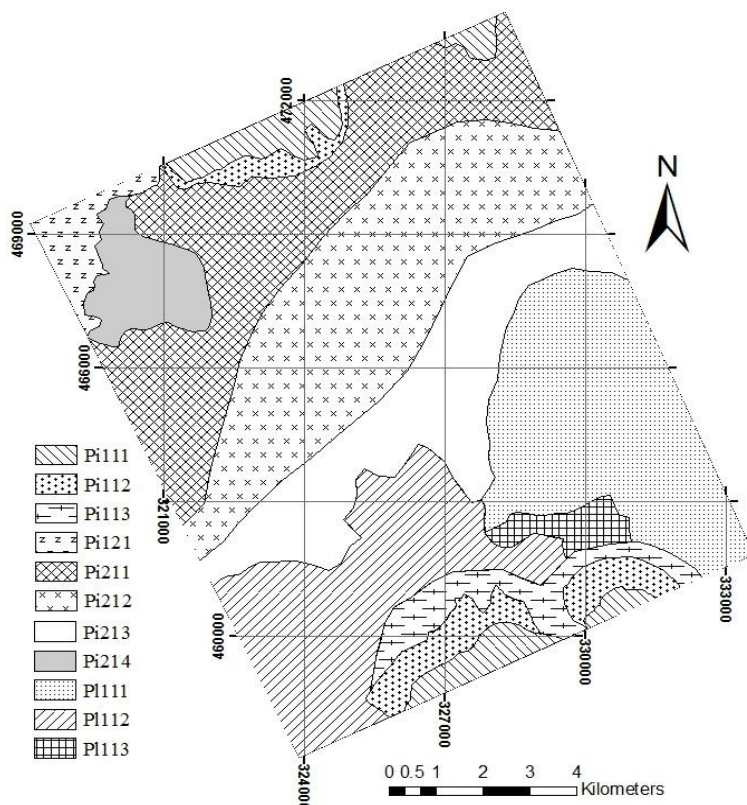
شکل (۱) موقعیت منطقه مورد پژوهش و نقاط نمونه‌برداری

Figure (1) Location of the study area and sampling points



شکل (۲) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد پژوهش

Figure(2) Geology map of the study area



شکل (۳) نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد پژوهش
Figure (3) Geomorphology map of the study area

تغییرات واقعی داده‌های محیطی یک نمونه برداشت می‌شود و تاثیر آن بر تشکیل و تکامل خاک‌ها نشان داده می‌شود. در این روش، تعیین تعداد پروفیل با انتخاب کاربر انجام می‌گیرد.

cLHS شامل نمونه‌برداری n مقدار از توزیع هر متغیر است. توزیع تجمعی هر متغیر به n فاصله با احتمال مساوی تقسیم می‌شود و یک مقدار از هر فاصله به‌طور تصادفی انتخاب می‌شود. سپس n مقدار به‌دست آمده برای هر متغیر با متغیرهای دیگر جفت می‌شود. این روش یک پوشش کاملی از هر متغیر را ایجاد می‌کند. در این روش متغیرهای کمکی به دسته‌های یکنواخت طبقه‌بندی می‌شوند (۲۳). در این پژوهش، لایه نمونه‌برداری منطبق بر تفاوت در اشکال اراضی (نقشه ژئومورفولوژی)، توپوگرافی (شامل نقشه رقومی ارتفاع) و زمین‌شناسی تعریف گردید.

طراحی نقاط نمونه‌برداری خاک

الگوی نمونه‌برداری T باید بیانگر کل دامنه و تغییرات جامعه مورد پژوهش باشد؛ به این منظور، در این پژوهش از طرح نمونه‌برداری لاتین‌هایپرکیوب (cLHS) استفاده شد (۲۳). این روش، در مکان‌هایی که اطلاعات قبلی از خاک وجود ندارد (تنها اطلاعات کمکی وجود دارد)، پیشنهاد شده است (۲۳). مربع لاتین یک طرح نمونه‌برداری مونت کارلوی محدود شده است.

در این روش، طرح تصادفی طبقه‌بندی شده‌ای به اجرا در می‌آید که ارتباط موثری بین نقاط نمونه‌برداری با متغیرهای محیطی، فراهم می‌کند. شبکه مربعی حاوی موقعیت‌های نمونه از یک طرف و فاکتورهای تشکیل دهنده خاک (اطلاعات محیطی) به گونه‌ای که یک مربع لاتین را تشکیل دهد و در هر ردیف و هر ستون محل یک نمونه (بدون تکرار) تشخیص داده شود. در این صورت در هر جزء از

جدول (۱) واحدهای تفکیک شده در نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد پژوهش.

Table(1) Identified units in Geomorphology map of the study area.

علامت Mark	سطح ژئومورفیک Geomorphic surface	لیتولوژی Lithology	لندفرم Landform	لندسکیپ Landscape
Pi111	قسمت بالا فن فعال Top Active Fan Part	سنگ‌های اولترابازیک و سرپانتین Ultrabasic and Serpentine Rocks	مخروط افکنه Alluvial fan	پیدمنت Piedmont
Pi112	فن کشت شده Cultivated Fan	سنگ‌های اولترابازیک و سرپانتین Ultrabasic and Serpentine Rocks		
Pi113	قسمت پایین فن فعال Low Fan Bottom Active Part	سنگ‌های اولترابازیک و سرپانتین Ultrabasic and Serpentine Rocks		
Pi121	قسمت پایین فن فعال Low Fan Bottom Active Part t	آهک، ماسه سنگ، میکاشیست، آمفیبول Lime, Sandstone, Mica, Amphibole		
Pi211	دشت کشت شده با خاک کم عمق Cultivated Plain with shallow soil	آهک، ماسه سنگ، میکاشیست، آمفیبول Lime, Sandstone, Mica, Amphibole	دشت دامنه‌ای Piedmont	
Pi212	دشت کشت شده با شیب کمتر، عمق خاک زیاد Cultivated Plain with lower slope, deep soil	آهک، ماسه سنگ، میکاشیست، آمفیبول Lime, Sandstone, Mica, Amphibole	دشت دامنه‌ای Plain	
Pi213	دشت کشت شده با شیب کم، عمق خاک زیاد، شوری بالا Cultivated Plain with lower slope, deep soil, high salinity	آهک، ماسه سنگ، میکاشیست، آمفیبول Lime, Sandstone, Mica, Amphibole		
Pi214	دشت کشت شده با شیب زیاد، خاک کم عمق Cultivated Plain with high slope, shallow soil	آهک، ماسه سنگ، میکاشیست، آمفیبول Lime, Sandstone, Mica, Amphibole		
Pl111	سطوح پست نمکی Salty flat surfaces	سطوح رسی Clay surfaces	سطوح رسی Clay surfaces	پلایا Playa
Pl112	سطوح نمکزار Salty surfaces	سطوح رسی Clay surfaces	سطوح رسی Clay surfaces	
Pl113	سطوح رسی کشت شده Cultivated Clay surfaces	سطوح رسی Clay surfaces	سطوح رسی Clay surfaces	

هدایت الکتریکی با تهیه عصاره اشباع و با استفاده از دستگاه هدایت سنج الکتریکی (۳۱)، بافت خاک به روش هیدرومتری (۷)، کربن آلی به روش سوزاندن تر با بی کرومات پتاسیم در مجاورت اسید سولفوریک غلیظ (۲۶)، کربنات کلسیم معادل با روش خنثی سازی با اسید کلریدریک و تیتراسیون با سود (۲۹)، کلسیم و منیزیم محلول به روش تیتراسیون با EDTA (۱۹)، سدیم محلول با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (مدل Jenway) ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم یک نرمال (۲۸) گچ به روش ترسیب با استون (۱۶) محاسبه شد. بر اساس اطلاعات حاصل از مشاهدات صحرائی و

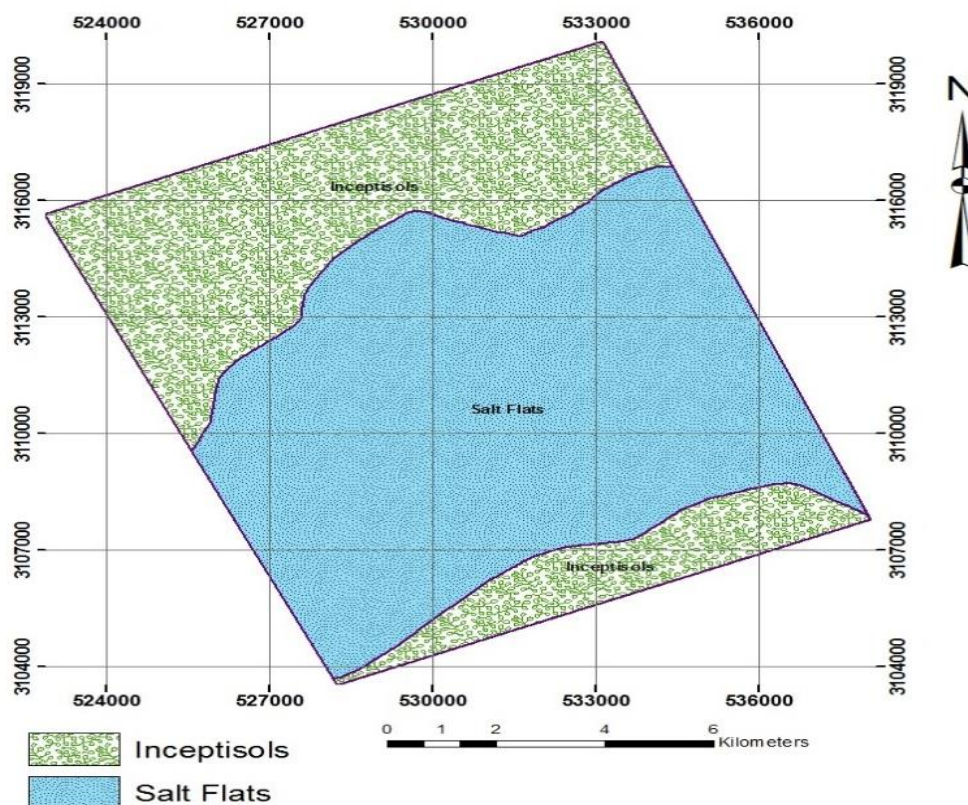
بر اساس روش نمونه برداری لاتین هاپر کیوب، محل تعداد ۷۰ خاکرخ مشخص شد. خاکرخ‌ها، طبق روش استاندارد بین المللی USDA (۲۰۱۴) (۳۴) تشریح و طبقه بندی شدند. در نهایت، ۳۵ خاکرخ به عنوان خاکرخ شاهد انتخاب و از تمامی افق‌های آن‌ها نمونه برداری صورت گرفت. نمونه‌های خاک جمع آوری شده به آزمایشگاه منتقل و پس از هواخشک شدن در محیط آزمایشگاه از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند و تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی مورد نظر روی آن‌ها انجام شد. درصد سنگریزه، به روش حجمی، اسیدیته خاک با تهیه گل اشباع و استفاده از دستگاه pH متر (۳۹)، قابلیت

تصاویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاع استفاده شده دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر بودند و شاخص‌های سنجش از دور و اجزاء سرزمین، نقشه ژئومورفولوژی و نقشه خاک در نرم افزار SAGA به سیستم مرجع جهانی یکسانی (WGS 84 UTM 40) تبدیل شدند. نقشه قدیمی خاک با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ در سطح ملی مورد استفاده قرار گرفت (۳۶). به منظور تعیین تاثیر نقشه قدیمی خاک در افزایش کارایی مدل‌ها برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک، مدل‌سازی به دو صورت: ۱- مدل‌سازی بدون به کارگیری نقشه قدیمی خاک و ۲- مدل‌سازی با به کارگیری نقشه قدیمی خاک، انجام گرفت.

آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی، رده‌بندی تمامی خاک‌ها، بر مبنای روش رده‌بندی آمریکایی تا سطح گروه بزرگ خاک (۳۴) تعیین شدند.

پارامترهای محیطی

داده‌های محیطی که بیانگر فاکتورهای خاکسازي هستند در تعیین نقاط نمونه‌برداری و مدل‌سازی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند. این داده‌ها شامل برخی پارامترهای قابل استخراج از مدل رقومی ارتفاع در نرم‌افزار، برخی اطلاعات قابل استخراج از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سال ۲۰۱۷ میلادی (شاخص‌های سنجش از دور)، نقشه رقومی زمین‌شناسی، سطوح ژئومورفیک تفکیک‌شده (نقشه ژئومورفولوژی) و واحدهای خاک شناسایی شده (نقشه قدیمی خاک، شکل ۴) منطقه‌ی مورد پژوهش است. این شاخص‌ها، با استفاده از نرم‌افزارهای ENVI و SAGA استخراج شدند (جدول ۲).



شکل (۴) نقشه قدیمی خاک منطقه مورد پژوهش

Figure(4) Legacy soil map of the study area

خالقی و همکاران: نقشه‌برداری رقومی خاک به کمک...

جدول (۲) داده‌های محیطی مورد استفاده به‌عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده در مدل سازی
Table (2) Environmental data as predictor variables in modeling.

نوع متغیر Variable Type	نام Name	نام Name	راهنما Guidance	ماهیت فاکتور Factor	مقیاس Scale	داده‌های محیطی Environmental Data
کمی Quantitative	Elevation (m)	ارتفاع	EL	توپوگرافی Topography		مدل رقومی ارتفاع Digital Elevation Model (DEM)
کمی Quantitative	Slope (%)	شیب	Slope			
کمی Quantitative	Aspect	جهت شیب	Aspect			
کمی Quantitative	Topographic Wetness Index	شاخص خیسگی توپوگرافی	TWI			
کمی Quantitative	Topographic Position Index	شاخص موقعیت توپوگرافی	TPI			
کمی Quantitative	Analytical Hillshading	شاخص آنالیز سایه	AH			
کمی Quantitative	Multi resolution of ridge top Flatness	شاخص تفکیک بالای دره	MRRTF			
کمی Quantitative	Multi-Resolution Index of Valley Bottom Flatness	شاخص تفکیک پایین دره	MRVBF			
کمی Quantitative	Profile Curvature	انحنای پروفیل	PrC			
کمی Quantitative	Plan Curvature	انحنای سطح	PC			
کمی Quantitative	Normalized Difference Vegetation Index	شاخص گیاهی نرمال شده	NDVI	انعکاس نور Light Reflection		تصویر لندست Landsat Image (ETM+)
کمی Quantitative	Ratio Vegetation Index	شاخص نسبی گیاهی	RVI			
کمی Quantitative	Transformed Vegetation Index	شاخص گیاهی تغییر یافته	TVI			
کمی Quantitative	Soil Adjusted Vegetation Index	شاخص گیاهی اصلاح یافته خاک	SAVI			
کمی Quantitative	Corrected Transformed Vegetation index	شاخص گیاهی تغییر یافته تصحیح شده	Ctvi			
کمی Quantitative	Difference Vegetation Index	شاخص تنوع گیاهی	DVI			
کمی Quantitative	Thiam's Transformed Vegetation Index	شاخص گیاهی تغییر یافته تایمز	TTVI			
کمی Quantitative	Normalized Ratio Vegetation Index	شاخص گیاهی نسبی نرمال شده	NRVI			
کمی Quantitative	Clay index	شاخص رس	CI			
کمی Quantitative	Salinity Index	شاخص شوری	SI			
کیفی Qualitative	Geomorphology	ژئومورفولوژی	GEM	ژئومورفولوژی Geomorphology	۱:۱۰۰۰۰ .	نقشه ژئومورفولوژی Geomorphology Map
کیفی Qualitative	Geology	زمین شناسی	GEO	زمین شناسی Geology	۱:۲۵۰۰۰ .	نقشه زمین شناسی Geology Map
کیفی Qualitative	Soil Map	نقشه خاک	SOILMAP	کلاس خاک Soil Class	۱:۱۰۰۰۰ **	نقشه قدیمی خاک Old Soil Map

مدل سازی

در این پژوهش، از مدل رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای، برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک استفاده شد. مدل لاجیستیک مورد خاصی از مدل خطی تعمیم یافته است، که به دو صورت قابل اجرا است:

۱- مدل لاجیستیک دوتایی ۲- مدل لاجیستیک چندجمله‌ای. در مدل لاجیستیک دوتایی، متغیر وابسته به شکل حضور یا عدم حضور (صفر و یک) است؛ مثلاً حضور یا عدم حضور افق مشخصه؛ در حالی که در مدل لاجیستیک چندجمله‌ای، متغیر وابسته دارای چند کلاس یا طبقه است؛ مثلاً کلاس‌های خاک در یک منطقه. مدل لاجیستیک به صورت زیر (معادله ۲) تعریف می‌شود.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_{1i} * x_i \quad (2)$$

که در این مدل، p احتمال حضور متغیر وابسته، β_0 عرض از مبدا، β_{1i} ضریب رگرسیون و x_i متغیر مستقل است. در مدل لاجیستیک چندجمله‌ای متغیر هدف، یک متغیر طبقه‌ای است؛ بنابراین متغیر وابسته (مثلاً گروه بزرگ خاک) دارای بیش از یک سطح است و حل آن به صورت دوتایی امکان‌پذیر نیست، در این صورت باید یک سطح متغیر وابسته به عنوان طبقه مرجع انتخاب شود. یک مدل لاجیستیک چندجمله‌ای با طبقه مرجع به شکل معادله (۳) نمایش داده می‌شود:

$$\log\left(\frac{\pi_{ij}}{\pi_{ij}}\right) = \alpha_j + \beta_j x_{ij}, j = 1, 2, \dots, J - 1 \quad (3)$$

که α_j یک ثابت، β_j یک برداری از ضرایب رگرسیون برای $j=1, 2, \dots, J-1$ و x_{ij} برداری از متغیرهای توصیفی است. این مدل مشابه، مدل لاجیستیک دو جمله‌ای است به استثناء اینکه توزیع احتمال متغیر هدف به جای دو جمله‌ای، چندجمله‌ای است و به جای یک معادله، $J-1$ معادله داریم (معادلات ۴ و ۵).

$$\Pr(y_i = j) = \pi_{ij} = \frac{\exp(\beta_j x_i)}{1 + \sum_{j=1}^J \exp(\beta_j x_i)} \quad (4)$$

بنابراین، احتمال طبقه مرجع:

$$\Pr(y_i = 0) = \pi_{ij} = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^J \exp(\beta_j x_i)} \quad (5)$$

قبل از اجرای مدل، کلاس مرجع باید انتخاب شود (۳۷). برای انجام مدل‌سازی کلاس‌های خاک در سطوح مختلف رده‌بندی آمریکایی، تا سطح گروه بزرگ خاک به همراه پارامترهای محیطی برای مدل‌ها تعریف شدند؛ سپس، پیش‌بینی بر اساس ارتباط کلاس‌های خاک با پارامترهای محیطی انجام شد. مدل‌سازی با استفاده از بسته نرم‌افزاری nnet و در نرم‌افزار R انجام شد. برای تمامی مدل‌ها، با استفاده از شاخص تأثیر نسبی^۱، سهم هر متغیر در پیش‌بینی مشخص و پارامترهای مهم برای مدل‌سازی انتخاب شدند.

اعتبارسنجی مدل

به منظور بررسی دقت مدل مورد استفاده، داده‌ها به طور تصادفی به داده‌های آموزشی (۵۱ پروفیل، ۷۰ درصد کل داده‌ها) و اعتبارسنجی (۱۹ پروفیل، ۳۰ درصد کل داده‌ها) تقسیم شدند. هر مدل با داده‌های آموزشی برازش داده شد؛ و سپس پیش‌بینی برای داده‌های اعتبار-سنجی انجام شد. اعتبارسنجی با مقایسه داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده صورت پذیرفت. به منظور تعیین تأثیر نقشه قدیمی خاک به عنوان متغیر کمکی، مدل‌سازی رقومی به همراه نقشه قدیمی خاک و بدون نقشه قدیمی خاک انجام شد و اعتبارسنجی نقشه‌های پیش‌بینی مکانی کلاس‌های خاک در هر دو روش، با استفاده از ۳۰ درصد پروفیل‌های استفاده نشده انجام شد. ارزیابی صحت پیش‌بینی کلاس‌های خاک نیز با کمک جدول خطا (جدول ۳) و با استفاده از شاخص دقت مدل و ضریب کاپا صورت گرفت.

جدول (۳) جدول خطا برای ارزیابی عملکرد مدل
Table(3) Error table to evaluate the model performance

	observed True	False
predicted True	tt	Ft
False	tf	Ff

پیش‌بینی شده (tt) به مجموع کلاس‌های حضور صحیح پیش‌بینی شده (tt) و کلاس‌های عدم حضور که به غلط جزء کلاس‌های حضور مشاهده شده (واقعی) پیش‌بینی شدند (tf)، می‌باشد (معادله ۹):

$$\text{User's Accuracy} = \frac{tt}{tt + tf} \quad (9)$$

قابلیت اطمینان تولید کننده بیانگر ارتباط بین همه کلاس‌های صحیح پیش‌بینی شده (tt) و مجموع کلاس‌های صحیح پیش‌بینی شده و کلاس‌های حضور مشاهده شده (واقعی) که به غلط جزء کلاس‌های عدم حضور پیش‌بینی شدند (ft) است (معادله ۱۰):

$$\text{Producer's Reliability} = \frac{tt}{tt + ft} \quad (10)$$

نتایج و بحث

نتایج مدل‌سازی، توسط رگرسیون لاجستیک چند جمله‌ای و دو مجموعه از متغیرهای ورودی جهت پیش‌بینی گروه‌های بزرگ خاک در جدول ۴ ارائه شده است.

در هر دو مجموعه، شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، دارای بیشترین اهمیت در پیش‌بینی کلاس‌های خاک است، و تأیید کننده‌ی این مطلب است که در این ناحیه توپوگرافی یا پستی و بلندی مهم‌ترین فاکتور در پیدایش خاک‌های منطقه و همچنین در پیش‌بینی کلاس‌های خاک است. برخی از پژوهشگران نیز تأثیر معنی‌دار ویژگی‌های توپوگرافی، در پیش‌بینی کلاس‌ها و ویژگی‌های است با استفاده از روش رگرسیون لاجستیک چند جمله‌ای را نشان داده‌اند (۹، ۱۴، ۴۰).

آماره کاپا، یک شاخص قوی است که نسبت احتمال حضور یا عدم حضور کلاس، را که به درستی به وسیله مدل پیش‌بینی شدند محاسبه می‌کند؛ بنابراین آماره کاپا، همیشه کمی کمتر از خلوص نقشه است. ضریب کاپا طبق معادلات (۶ و ۷) محاسبه می‌شود:

$$\text{Kappa Index} = \frac{\text{observed accuracy} - \text{chance agreement}}{1 - \text{chance agreement}} \quad (6)$$

$$\text{Chance agreement} = \frac{(tt + tf) * (tt + ft) + (tf + ff) * (ft + ff)}{n} \quad (7)$$

که در آن، دقت مشاهده، به عنوان مجموع ارزش قطر در ماتریس و شانس خطا شامل مجموع ارزش غیر قطر ماتریس است. تغییرات آماره کاپا، بین صفر تا یک است. مقدار صفر برای کاپا به این معنی است که طبقه بندی بدون هیچ ضابطه‌ای و کاملاً تصادفی انجام شده است. مقادیر بالای صفر تا یک، سطحی از دقت را نشان می‌دهند. مقدار یک به معنی یک طبقه بندی کاملاً صحیح بر اساس نمونه‌های گرفته شده است. مقادیر منفی کاپا به معنی ضعف طبقه بندی و نتایج بد تفسیر است (۳۸).

خلوص نقشه یا صحت کلی نقشه، ارتباط بین همه داده‌های مورد استفاده و داده‌های صحیح طبقه بندی شده (tt+ff) را تشریح می‌کند (معادله ۸). خلوص نقشه دارای محدوده‌ای بین صفر و یک می‌باشد. یک نقشه، با پیش بینی خوب دارای مقدار خلوص نقشه نزدیک به یک است (۵):

$$\text{Observed accuracy} = \frac{tt + ff}{tt + tf + ft + ff} \quad (8)$$

صحت کاربر شامل کلاس‌های حضور صحیح

جدول (۴) متغیرهای وارد شده در پیش‌بینی گروه‌های بزرگ خاک در برازش مدل رگرسیون لاجستیک چندجمله‌ای
Table(4) Variables used in prediction of soil great groups by multinomial logistic regression model

متغیرهای وارد شده در مدل *The used variables in the Model	مجموعه متغیرهای ورودی Input Variables
TPI, AH, GEM, RSP, GEO, TWI, CI, MRRTF, MRVBF	مجموعه ۱ Collection 1
TPI, AH, SOILMAP, GEM, RSP, TWI, GEO, CI, MRVBF	مجموعه ۲ Collection 2

*علائم اختصاری به‌طور کامل در جدول ۲ تعریف شده‌اند. Symbols were defined in Table 2.

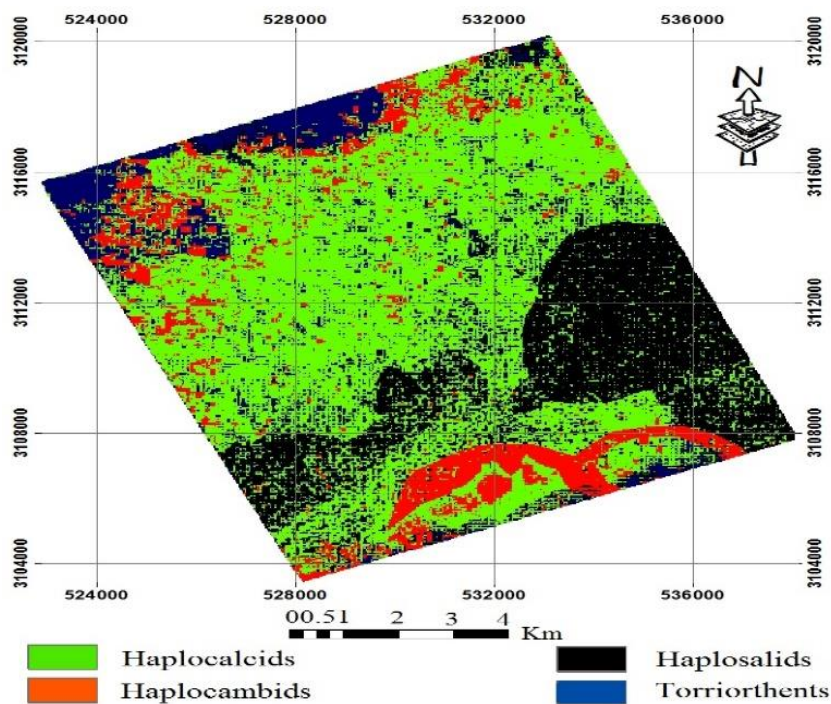
خاک مفید هستند. همچنین؛ برون‌گارد و همکاران^۲ (۷) برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک از مدل‌سازی متعدد و مجموعه متغیرهای کمکی متفاوتی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که پیش‌بینی‌های مکانی دقیق‌ترین مدل‌ها، معمولاً با روابط خاک - زمین نماهای مورد انتظار در توافق بودند.

در مدل‌سازی با دو مجموعه، ورود شاخص‌های ژئومورفولوژی و موقعیت نسبی شیب می‌تواند دلیل بر تأثیر و اهمیت فرایندهای ژئومورفولوژی و توپوگرافی در تعیین و پراکندگی نوع خاک‌ها در این ناحیه باشد. نقش مؤثر فرایندهای ژئومورفولوژیکی در توسعه و تکامل خاک و همبستگی نزدیک ژئومورفولوژی و خاک در بسیاری از مطالعات خاک - ژئومورفولوژی نشان داده شده است (۹، ۱۳، ۳۰، ۳۵، ۴۲). ورود شاخص خیزی توپوگرافی (TWI)، نشان از اهمیت این شاخص در پیش‌بینی کلاس‌های خاک در منطقه‌ی مورد پژوهش دارد (جدول ۴). در این راستا نیز برخی از پژوهشگران، اهمیت شاخص خیزی توپوگرافی را در نقشه‌برداری رقمی خاک تایید کرده‌اند. (۲۵، ۱۳).

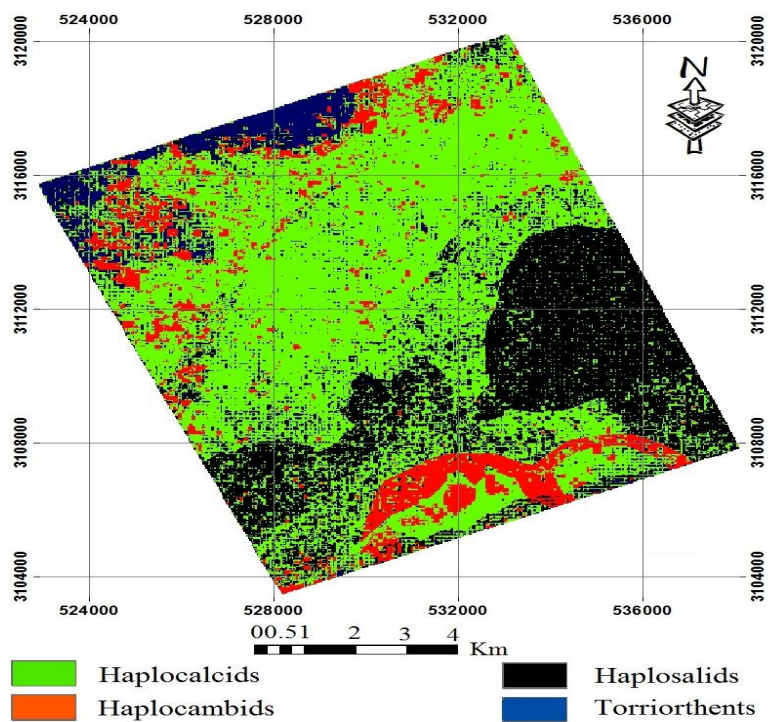
در شکل‌های (۵) و (۶)، نقشه‌های خروجی مدل رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای با استفاده از متغیر-های ورودی دو مجموعه در منطقه مورد پژوهش ارائه شده است.

بعد از شاخص‌های توپوگرافی، نقشه قدیمی خاک یکی از مهم‌ترین متغیرهای محیطی وارد شده در پیش-بینی کلاس‌های خاک می‌باشد. منطقه مورد پژوهش در نقشه قدیمی خاک، از دو قسمت، شامل سطوح نمکی و رده اینسپتی سول تشکیل شده است (شکل ۴). علی‌رغم آب و هوای گرم و خشک منطقه مورد پژوهش، رده اینسپتی سولز در نقشه قدیمی خاک مشخص شده است. احتمالاً نقشه‌برداری با مقیاس خیلی کوچک، باعث تعمیم خاک‌های منطقه و پنهان ماندن خاک‌های اصلی منطقه مورد پژوهش شده است؛ با این حال، نقشه‌برداری با مقیاس کوچک و نمایش خاک‌های مغایر با شرایط منطقه، مانع از ورود نقشه قدیمی خاک؛ به‌عنوان متغیر مهم پیش‌بینی کننده نشده است. به نظر می‌رسد مرزبندی‌های نقشه قدیمی خاک با تنوع خاک‌های تشریح شده در این پژوهش تطابق بالایی دارد. تطابق و هماهنگی بین مرزهای نقشه قدیمی و خاک‌های تشریح شده به مدل در تمایز دادن خاک‌های مختلف کمک می‌کند، هر چند که تطابق بین خاک‌های نقشه قدیمی خاک و خاک‌های مشاهده شده، می‌تواند نقش مؤثرتری در پیش‌بینی توسط مدل داشته باشد. اطلاعات میراثی خاک‌ها یک پایگاه داده قوی و ارزشمند در پیش‌بینی هر ویژگی از خاک است. در این زمینه، کمپن و همکاران^۱ (۱۵) بیان کردند که داده‌های خاک موجود در ترکیب با متغیرهای کمکی محیطی برای به‌هنگام کردن نقشه

خالقی و همکاران: نقشه برداری رقومی خاک به کمک...



شکل (۵) توزیع مکانی گروه‌های بزرگ خاک با استفاده از مدل رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای بدون حضور نقشه قدیمی خاک
 Figure(5) Spatial distribution of soil great groups using multinomial logistic regression model without legacy soil map



شکل (۶) توزیع مکانی گروه‌های بزرگ خاک با استفاده از مدل رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای با حضور نقشه قدیمی خاک
 Figure(6) Spatial distribution of soil great groups using multinomial logistic regression model with legacy soil map.

همچنین نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل‌ها نشان داد که ورود نقشه‌ی قدیمی خاک در مدل‌سازی باعث افزایش صحت، دقت نقشه و شاخص کاپا می‌شود. حضور نقشه‌ی قدیمی خاک، در مدل‌سازی باعث افزایش شاخص‌های اعتبارسنجی مدل، از جمله خلوص نقشه و شاخص کاپا به ترتیب از ۰/۴۷ و ۰/۱۶ به ۰/۶۳ و ۰/۴۳ شده است.

در هر دو مدل‌سازی، بیشترین دقت تخمین مربوط به گروه بزرگ هاپلو کمبیدز است. در این خصوص عباس-زاده افشار و همکاران (۱) نیز عنوان کردند که دقت مدل رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای با وارد شدن نقشه خاک قدیمی در مدل‌سازی، شاخص‌های صحت مدل از جمله صحت کلی و آماره کاپا به ترتیب ۰/۷۱ و ۰/۶۵ به ۰/۷۹ و ۰/۷۴ افزایش می‌یابد. در پژوهش حاضر، ضریب کاپا در مدل‌سازی با هر دو مجموعه متغیرهای کمکی، نشان دهنده-ی تطابق کم بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده می‌باشد؛ به عبارت دیگر، مدل مورد استفاده، عمدتاً به صورت تصادفی کلاس‌های خاک را پیش‌بینی کرده است؛ اگرچه حضور نقشه قدیمی خاک پیش‌بینی تصادفی را کاهش داده است. طبق کلاس‌بندی شاخص کاپا، مقادیر کاپا بیشتر از ۰/۷۵ نشان دهنده توافق بالا یا پیش‌بینی منطقی است و مقادیر بین ۰/۴ تا ۰/۷۵ حاکی از توافق متوسط و مقادیر کمتر از ۰/۴ نشانه توافق کم یا پیش‌بینی تصادفی است (۱۸). بنابراین، در این پژوهش با ورود نقشه قدیمی خاک در مدل‌سازی، پیش‌بینی براساس روابط منطقی بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل افزایش می‌یابد. برای افزایش صحت گروه‌های بزرگ خاک که دارای دقت کمی هستند؛ می‌توان با افزایش تعداد نقاط نمونه‌برداری، صحت گروه‌های بزرگ خاک و در نتیجه صحت نقشه برازش شده را افزایش داد. برخی از پژوهشگران نیز در بررسی‌هایشان به این نتیجه دست یافتند که کلاس‌های خاکی که نمونه کمتری داشتند، دارای خطای پیش‌بینی بیشتری بودند (۱۳، ۳۰، ۴۲).

در هر دو نقشه‌ی پیش‌بینی شده، چهار گروه بزرگ هاپلوسالیدز، هاپلو کمبیدز، هاپلو کلسیدز و توری ارتنتز^۱ تشخیص داده شد؛ در صورتی که در نقشه قدیمی خاک تنها دو قسمت سطوح نمکی و رده اینسپتی سولز مشاهده شد (شکل ۴). در نقشه‌های رقومی پیش‌بینی شده در این پژوهش، گروه‌های بزرگ خاک بدون مرز پلی گونی در نقشه پراکنده‌اند؛ در صورتی که در نقشه‌ی قدیمی خاک رده اینسپتی سولز در قسمت بالا و پایین نقشه و سطوح نمکی نیز در قسمت مرکزی نقشه قرار دارد که توسط مرزهای مشخص از هم جدا شده‌اند (شکل ۴). در این خصوص نیز صالحی و خادمی (۳۲) بیان داشتند که یکی از معایب نقشه-های سنتی وجود مرزهای بسیار واضح است که با واقعیت تغییرات پیوسته خاک هماهنگ نیست.

در نقشه‌های رقومی پیش‌بینی شده، گروه بزرگ توری ارتنتز بیشتر در قسمت شمال منطقه و از نظر ژئومورفولوژی در لندفرم مخروط افکنه قرار دارد و کمترین سطح منطقه مورد پژوهش را در بر می‌گیرد. گروه بزرگ هاپلوسالیدز، بیشتر در لندفرم‌های سطوح رسی قرار گرفته-اند.

گروه بزرگ هاپلو کمبیدز غالباً در سطوح ژئومورفیک فن کشت شده قرار گرفته و گروه بزرگ هاپلو کلسیدز نیز بیشتر در لندفرم‌های دشت دامنه‌ای منطقه مورد پژوهش قرار گرفته است و بیشترین سطح منطقه مورد پژوهش را به خود اختصاص داده است.

در جدول ۵، نتایج ارزیابی صحت مدل رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای با متغیرهای ورودی مختلف ارائه شده است.

نتایج حاصل از کیفیت پیش‌بینی مدل رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای، برای گروه‌های بزرگ خاک، نشان می‌دهد که تعداد خاک‌هایی که درست تخمین زده شده‌اند در حضور نقشه قدیمی خاک بیشتر از حالتی است که نقشه قدیمی خاک در مدل‌سازی وجود نداشته باشد؛

جدول (۵) کیفیت پیش‌بینی مدل‌های مورد استفاده برای گروه‌های بزرگ خاک در داده‌های اعتبارسنجی
 Table(5) The predictive quality of the models used for soil great groups in validation data

دقت کاربر (%) User accuracy	Torriorthents	Haplosalids	Haplocambids	Haplocalcids	
51.14	0	3	0	4	هاپلوکلیدز Haplocalcids
100	0	0	1	0	هاپلوکمبیدز Haplocambids
60	0	3	0	2	هاپلوسالیدز Haplosalids
16.66	1	0	0	5	توری‌ارتنتز Torriorthents
	100	50	100	36.36	دقت تولید کننده (%) producer reliability
0.47	خلوص نقشه Map purity				
0.16	کاپا Kappa				
70	0	3	0	7	هاپلوکلیدز Haplocalcids
100	0	0	1	0	هاپلوکمبیدز Haplocambids
75	0	3	0	1	هاپلوسالیدز Haplosalids
25	1	0	0	3	توری‌ارتنتز Torriorthents
	100	50	100	63.63	دقت تولید کننده (%) producer reliability
0.63	خلوص نقشه Map purity				
0.43	کاپا Kappa				

مجموعه ۱
Collection 1

مجموعه ۲
Collection 2

نتیجه‌گیری

مورد پژوهش در سطح گروه بزرگ پیش‌بینی شد. نتایج حاصله نشان داد در بین متغیرهای ورودی، شاخص موقعیت توپوگرافی، مهم‌ترین و قدرتمندترین متغیر برای پیش‌بینی در هر دو مدل‌سازی بود و تأیید کننده‌ی این مطلب است که، توپوگرافی یا پستی و بلندی، مهم‌ترین فاکتور خاکسازي در این ناحیه است. نتایج ارزیابی صحت مدل رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای با متغیرهای ورودی مختلف در داده‌های اعتبارسنجی

در این پژوهش از روش رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای، با دو مجموعه متغیرهای ورودی (مجموعه ۱: متغیرهای محیطی بدون حضور نقشه‌ی قدیمی خاک و مجموعه ۲: متغیرهای محیطی با حضور نقشه‌ی قدیمی خاک) برای پیش‌بینی گروه‌های بزرگ خاک در قسمتی از اراضی شهرستان فاریاب کرمان استفاده شد. اعتبار-سنجی مدل‌ها با استفاده از خلوص نقشه و کاپا بررسی شد و در نهایت نقشه رقومی کلاس‌های خاک منطقه

بینی تصادفی و شانسی رخ نمی دهد. صرف نظر از اهمیت نقشه قدیمی خاک، به عنوان متغیر کمکی در نقشه برداری رقوم، از نتایج مهم این پژوهش این است که اطلاعات میراثی برای تهیه نقشه خاک کشور با استفاده از تکنولوژی امروزی می تواند موثر باشد؛ بنابراین لازم است محققین کشور، اطلاعات خاک را در اختیار هم قرار دهند تا بتوان به کمک یکدیگر، نقشه خاکی با مقیاس مناسبی به عنوان پایه و اساس آمایش سرزمین مان، ایران، تهیه کرد.

نشان داد که با وارد شدن نقشه خاک قدیمی در مدل سازی، شاخص های اعتبارسنجی مدل افزایش یافتند، در نتیجه استفاده از نقشه قدیمی خاک به عنوان یکی از متغیرهای محیطی در مدل سازی، کارایی و دقت و صحت بیشتری نسبت به مدل سازی بدون نقشه قدیمی خاک دارد. در صورت استفاده از نقشه های خاک قدیمی به عنوان اطلاعات میراثی در نقشه برداری رقوم خاک باید تشابه و تطابق خاک های منطقه مورد پژوهش را هر چند با مقیاس خیلی کوچک در نظر گرفت؛ چرا که تطابق بالا منجر به پیش بینی منطقی می شود و پیش -

منابع

1. Abaszadehafshar, F., Ayubi, Sh., and Jafari, A. 2016. Digital mapping of soil classes using the old soil map in dry region of southeast Iran. *Journal of Water and Soil*, 21(1): 239. (in Persian with English abstract).
2. Adhikari, K., Hartemink, A.E., Minasny, B., Bou Kheir, R., Greve, M.H., and Greve, M.B. 2014. Digital mapping of soil organic carbon contents and stocks in Denmark. *PLoS ONE*, 9:1-13.
3. Bagheri Bodaghabadi, M., Martinez-Casasnovas, J.A., Salehi, M.H., Mohammadi, J., Esfandiarpour Borujeni, I., Toomanian, N., and Gandomkar, A. 2015. Digital soil mapping using artificial neural networks and terrain-related attributes. *Pedosphere*, 25: 580-591.
4. Barthold, F.K., Wiesmeier, M., Breuer, L., Frede, H.G., Wu, J., and Blank, F.B. 2013. Land use and climate control the spatial distribution of soil types in the grasslands of Inner Mongolia. *Journal of Arid Environments*, 88: 194-205.
5. Behrens, T., Zhu, A.X., Schmidt, K., and Scholten, T. 2010. Multi-scale digital terrain analysis and feature selection for digital soil mapping. *Geoderma*, 155: 175-185.
6. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Journal of Agronomy*, 54: 464-465.
7. Brungard, C.W., Boettinger, J.L., Duniway, M.C., Wills, S.A., and Edwards, T.C. 2015. Machine learning for predicting soil classes in three Semi-arid landscapes. *Geoderma*, 239-240: 68-83.
8. Campling, P., Gobin, A., and Feyen, J. 2002. Logistic modeling to spatially predict the probability of soil drainage classes. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 1390-1401.

9. Debella-Gilo, M., and Etzelmuller, B. 2009. Spatial prediction of soil classes using digital terrain analysis and multinomial logistic regression modeling integrated in GIS: Examples from Vestfold County, Norway. *Catena*, 77: 8-18.
10. Du, C., Linker, R., and Shaviv, A. 2008. Identification of agricultural mediterranean soils using mid-infrared photoacoustic spectroscopy. *Geoderma*, 143: 85-90.
11. Geographic Organization of the Ministry of Defense and Armed Forces Support. 1382. Geographic Cultural Districts of Kerman Province, Jiroft County. Vol 5 Page 3.
12. Hengl, T., Toomanian, N., Reuter, H., and Malakouti, M.J. 2007. Methods to interpolate soil categorical variables from profile observations: lessons from Iran. *Geoderma*, 140: 417-427.
13. Jafari, A., Ayoubi, S., Khademi, H., Finke, P.A., and Toomanian, N. 2013. Selection of a taxonomic level for soil mapping using diversity and map purity indices: a case study from an Iranian arid region. *Geomorphology*, 201: 86-97.
14. Jafari, A., Finke, P.A., Van de Wauw, J., Ayoubi, S., and Khademi, H. 2012. Spatial prediction of usda-great soil groups in the arid Zarand region, Iran: comparing logistic regression approaches to predict diagnostic horizons and soil types. *European Journal of Soil Science*, 63, 284-298.
15. 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.
16. Klute, A. 1986. Water Retention: Laboratory Methods. p. 635-662. In: A. Klute ed. *Methods of Soil Analysis: Part 1. Physical and mineralogical methods*. ASA Monograph Number 9.
17. Kolay, A.K. 2000. *Basic concepts of soils science*. 2nd Ed. New AGE International Publishers, 420 p.
18. Landis, J.R., and Koch, G.G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33:159-174.
19. Lanyon, L.E., and Heald, W.R. 1982. Magnesium, Calcium, Strontium and Barium. P. 247-260. In: A.L., Page et al. Ed. *Methods OF Soil Analysis, PART II*. 2nd ed., Argon. Monogar. No: 9. ASA and SSSA. Madison, WI.
20. Marchetti, A., Piccini, C., Santucci, S., Chiuchiarelli, I., and Francaviglia, R. 2011. Simulation of soil types in Teramo Province, Central Italy, with terrain parameters and remote sensing data. *Catena*, 85 (3): 267-273.
21. McBratney, A.B., Mendonça-Santos, M.L., and Minasny, B. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117: 3-52.
22. McKenzie, N.J., Gessler, P.E., Ryan, P.J., and O'Connell, D. 2000. The role of terrain analysis in soil mapping. PP. 245-65. In: Wilson, J. and J. Gallant, Eds, *Terrain Analysis: Principles and Applications*. New York, John Wiley and Sons.

23. Minasny, B., and McBratney, A.B. 2006. Mechanistic soil-landscape modeling as an approach to developing pedogenetic classifications. *Geoderma*, 133: 138-149.
24. Minasny, B., and McBratney, A.B. 2007. Incorporating taxonomic distance in to spatial prediction and digital mapping of soil classes. *Geoderma*, 142: 285– 293.
25. Moore, I.D., Grayson, R.B., and Ladson, A.R. 1991. Digital terrain modeling: Review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrological Processes*, 5: 3-30.
26. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp. 539-579. In: A. L. Page et al. ed. *Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. ASA Monograph Number 9.
27. Olaniyan, J.O., and Ogunkunle, A.O. 2007. An evaluation of the soil map of Nigeria: II. Purity of Mapping Unit. *J. World Assoc. Soil Water Conservation Journal*, 2: 97-108.
28. Page, A.L., Miller, R.H., and Kenney, D.R. 1992. *Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Mineralogical Properties*, 2nd. Edn. SSSA Pub, Madison, p 1159.
29. Page, S.E., Wust, R.A.J., Wriss, D., Rieley, J.O., Shoty, W., and Limin, S.H. 2004. A record of Late Pleistocene and Holocene Carbon Accumulation and Climate Change Forman Equatorial Peat bag (Kalimantion, Indonesia): Implication for Past, Present and Future Carbon Dynamics. *Journal of Quaternary Science*, 19 (17): 625-635.
30. Pahlavanrad, M.R., Toomanian, N., Khormali, F., Brungard, C.W., Komaki, C.B., and Bogaert, P. 2014. Updating soil survey maps using random forest and conditioned latin hypercube sampling in the loess derived soils of northern Iran. *Geoderma*, 232– 234: 97–106.
31. Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts. P. 167-179. In: A. L. Page et al. ed. *Methods of Soil Analysis: Part 2: Chemical and Microbiological Properties Agronomy. Monograph Number 9 (Second Edition)*. ASA, Madison, WI.
32. Salehi, M.H., and Khademi, H. 2008. *Foundations of Soil Mapping*. Isfahan University of Technology Press: 220. (in Persian).
33. Scull, P., Franklin, J., Chadwick, O., and McArthur D. 2003. Predictive soil mapping: a review. *Progress in Physical Geography*, 27: 171-197.
34. Soil Survey Staff. 2014. *Soil Taxonomy: A basic systems of Soil Classification for making and interpreting soil surveys*. Twelfth Edition. NRCS. USDA.
35. Subburayalu, S.K., and Slater, B.K. 2013. Soil series mapping by knowledge discovery from an Ohio county soil map. *Soil Science Society of America Journal*, 77: 1254–1268.
36. SWRI (soil and Water Research Institute). 1953. *Projerct on the semi-detailed Land classification survey of parts 1 and 2 of Karkheh area, Khuzestan, Iran*. By HD Thomas, ML Dewan and DA Sparwasser. 10 pp.).

37. Taghizadeh Mehrjardi, R. 2016. New Topics in Soil Science. Ardakan University Press (in Persian).
38. Taghizadeh Mehrjardi, R., Minasny, B., McBratney, A.B., Triantafilis, J., Sarmadian, F., and N. Toomanian. 2012. Digital soil mapping of soil classes using decision trees in central Iran. Digital Soil Assessments and Beyond - Proceedings of the 5th Global Workshop on Digital Soil Mapping, 24, July, Sydney, Australia.
39. U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Alkaline-earth Carbonates by Gravimetric Loss of Carbon Dioxide. p. 105. In: L. A. Richards (ed.) Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Agric. Handbook. 60. U.S.
40. Vaysse, K., and Lagacherie, P. 2015. Evaluating digital soil mapping approaches for mapping global soil map soil properties from legacy data in Languedoc-Roussillon (France). Geoderma Regional, 4: 20–30.
41. Zeraatpisheh, M., Ayoubi, S., Jafari, A., and Finke, P. 2017. Comparing the efficiency of digital and conventional soil mapping to predict soil types in a semi-arid region in Iran. Geomorphology, 285, 186-204.
42. Ziadat, F.M. 2007. Land suitability classification using different sources of information: Soil maps and predicted soil attributes in Jordan. Geoderma, 140: 73-80.