

استفاده از متغیرهای محیطی برای بررسی کیفیت نمونه‌برداری در نقشه‌برداری خاک

اعظم جعفری^{۱*} - نورایر تومانیان^۲ - روح الله تقی زاده مهرجردی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۸/۱۹

چکیده

اطلاعات خاک منبع مهم و ضروری برای تهیه نقشه خاک و واسنجی مدل‌های پیش‌بینی‌کننده خصوصیات خاک هستند. این اطلاعات از روش‌های مختلف نمونه‌برداری استخراج می‌شوند. هیچ معیار آماری برای ارزیابی نمونه برداری خاک در نقشه‌برداری خاک وجود ندارد و این موضوع به عدم تعادل در نمونه‌برداری و کاهش کیفیت نقشه خاک منجر می‌شود. نمونه برداری هایپرکیوب لاتین به عنوان یک طرح نمونه‌برداری برای نقشه‌برداری رقومی خاک پیشنهاد شده است. در این مطالعه از اصول هایپرکیوب برای ارزیابی کیفیت نمونه‌های خاک با استفاده از الگوریتم "ارزیابی هایپرکیوب نمونه‌برداری خاک" در نرم‌افزار R استفاده گردید. منطقه مورد مطالعه در فلات مرکزی ایران واقع در دره زاینده‌رود اصفهان قرار دارد. متغیرهای محیطی از مدل رقومی ارتفاع استخراج شد. هایپرکیوب لاتین از سه متغیر کمکی ارتفاع، شیب و شاخص خیزی تشکیل و براساس آن شاخص متغیر کمکی و وزن نسبی محاسبه شد. نتایج نشان داد افزایش تراکم و تغییرپذیری متغیر محیطی منجر به افزایش شاخص متغیر کمکی می‌شود. براساس شاخص وزن نسبی، نمونه‌برداری بیش از حد در مناطق با تراکم پایین شاخص متغیر کمکی و نمونه‌برداری کم در مناطق با تراکم و تغییرپذیری بالای شاخص متغیر کمکی مشاهده می‌شود. بنابراین لحاظ کردن فرایندهای ژئومورفولوژی برای بیان تغییرپذیری منطقه خشک در طراحی نمونه‌برداری خاک بسیار مفید و موثر واقع شده که این تنها با عملیات میدانی و صحرایی قابل تشخیص است. به این ترتیب، جزء لاینفک پروژه‌های نقشه‌برداری و شناسایی خاک، عملیات صحرایی و میدانی است که منجر به نمونه‌برداری دقیق‌تر برای برنامه‌های آینده همچون نقشه‌برداری رقومی خاک می‌شود.

واژه‌های کلیدی: شناسایی خاک، لاتین هایپرکیوب، متغیرهای محیطی و نمونه‌برداری خاک

مقدمه

به طور کلی روش‌های شناسایی خاک تجربی هستند و براساس مدل ذهنی نقشه‌بردار از روابط خاک با زمین‌شناسی، لندفرم‌ها، پوشش گیاهی و تفسیر عکس‌های هوایی توسعه می‌یابند. هیچ معیار آماری برای نمونه‌برداری خاک در نقشه‌برداری خاک وجود ندارد و این موضوع به عدم تعادل در نمونه‌برداری منجر می‌شود. در نقشه‌برداری رقومی خاک، نمونه‌های خاک برای برقراری ارتباط کمی بین اجزاء خاک و متغیرهای محیطی استفاده می‌شوند (۹). از آنجاییکه روابط براساس مشاهدات خاک می‌باشد، کیفیت نقشه خاک حاصله به کمیت و کیفیت مشاهدات خاک بستگی دارد. در تهیه نقشه رقومی خاک، معمولاً نقشه‌بردار سعی در افزایش دقت مدل‌ها و کاهش خطاها (۱۱) بدون در نظر گرفتن کیفیت نمونه‌ها دارد (۱۳).

هدف نمونه‌برداری به دست آوردن اطلاعات برای تخمین برخی پارامترهای آماری و یا پیش‌بینی‌های مکانی برخی خصوصیات در یک ناحیه است. نمونه‌برداری از یک طرف به منابع مالی پروژه وابستگی شدید داشته و از طرف دیگر نیاز به اطلاعات کمی و کیفی از واقعیت‌های طبیعت برای بازسازی فرایندها و جریانات سیستماتیک انکارناپذیر است. بنابراین طراحی سیستم نمونه‌برداری یکی از

خاک یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی شناخته شده محسوب می‌شود. نقشه‌های خاک منبع با ارزشی از اطلاعات برای برنامه‌ریزی و ارزیابی کاربری و بسیاری از فعالیت‌های مرتبط با خاک در مقیاس ملی و محلی هستند. در نتیجه پیشرفت علم و روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها برای مقاصد مختلف و به دلایل اقتصادی و اجتماعی، نیاز به اطلاعات هم افزایش یافته است. در این راستا اولاً نیاز به اطلاعات خاک با تفکیک مکانی بالا در حال افزایش است. ثانیاً به تجزیه و تحلیل کمی و تفسیر دقیق‌تر و تفصیلی‌تر خصوصیات خاک با مقاصد تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در واحدهای نقشه‌برداری نیاز است. ثالثاً به اطلاعاتی نیاز است که در نقشه‌های خاک ارائه نمی‌شود (۱۹).

۱- استادیار، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهیدباهنر کرمان
* نویسنده مسئول (Email: a.jafari@uk.ac.ir)

۲- استادیار خاکشناسی، مرکز تحقیقات خاک و آب اصفهان

۳- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه اردکان

به اجرا در می‌آید که ارتباط موثری بین نقاط نمونه برداری با متغیرهای محیطی را فراهم می‌کند. یک شبکه مربعی حاوی موقعیت‌های نمونه از یک طرف و فاکتورهای تشکیل دهنده خاک (اطلاعات محیطی) به گونه ای یک مربع لاتین را تشکیل می‌دهند که فقط یک واحد نمونه برداری در هر ردیف و ستون واقعیت پیدا نماید. در این صورت در هر تغییر واقعی داده‌های محیطی به گونه‌ای یک نمونه برداشت می‌شود که برای متغیرهای دیگر تکراری نباشد. LHS در واقع ایده یک مربع لاتین را که فقط یک نمونه در هر ردیف و هر ستون وجود دارد، بسط می‌دهد. لاتین هایپرکیوب این مفهوم را به تعداد ابعاد دلخواهی بسط می‌دهد. در LHS با توزیع چند متغیره، اندازه نمونه n از متغیرهای چندگانه به گونه‌ای طراحی می‌شود که نمونه‌ها حداکثر طبقه-بندی شوند. وقتی تعداد طبقات با تعداد نمونه‌ها برابر باشد و احتمال حضور نمونه در هر طبقه $n-1$ باشد، نمونه‌ها به میزان حداکثر توزیع می‌یابند (۱۱).

ارزیابی کیفیت نمونه‌ها در اکولوژی جنگل (۱۸) و علم کامپیوتر (۲) مورد بررسی قرار گرفته است. در علم خاکشناسی، کری و همکاران (۳) کیفیت نمونه‌های میراثی را بررسی کردند. در این مطالعه کیفیت موقعیت نمونه‌های خاک حاصل از طرح نمونه برداری تصادفی هدفمند در فضای ویژگی و جغرافیایی بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در غرب فلات مرکزی ایران واقع در رودخانه زاینده‌رود اصفهان و در چهار گوشه $۱۵^{\circ} ۵۲' - ۵۱^{\circ} ۳۰'$ شرقی و $۳۰' ۳۲^{\circ} - ۳۳^{\circ} ۳۰'$ شمالی قرار دارد (شکل ۱). ساختار زمین‌شناسی منطقه از واحدهای زیر تشکیل شده است. الف- کوه‌ها: کوه‌های آهکی کرتاسه قرار گرفته بر شیل و ماسه سنگ‌های مزوزوئیک در شمالی-ترین قسمت منطقه مورد مطالعه دیده می‌شوند، ب- دامنه‌ها: که از آبرفت‌های بادبزی شکل و باها‌داهای مختلف تشکیل شده، ج- آبرفت‌های مرتفع قدیمی: آبرفت‌های گچ‌دار دانه‌درشت قدیمی می‌باشند که به صورت تپه‌های مرتفع پراکنده در محدوده دره دیده می‌شوند، د- پلایاها: رسوبات پلایایی که بر روی لاگون‌های قبلی و یا در گودی‌های مناطق خارج از تراس‌های رودخانه و دشت رسوبی رودخانه نهشته شده‌اند. در دره زاینده‌رود چهار پلایا به نام‌های برخوار در شمال اصفهان، سگری در شرق اصفهان، مرغ در جنوب اصفهان و پلایای جرقویه در جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه، طی دوران کواترنری، تشکیل شده است. ه- تراس‌های آبرفتی رودخانه: این تراس‌ها در جوار مسیرهای قدیمی و جدید رودخانه زاینده‌رود تشکیل شده‌اند.

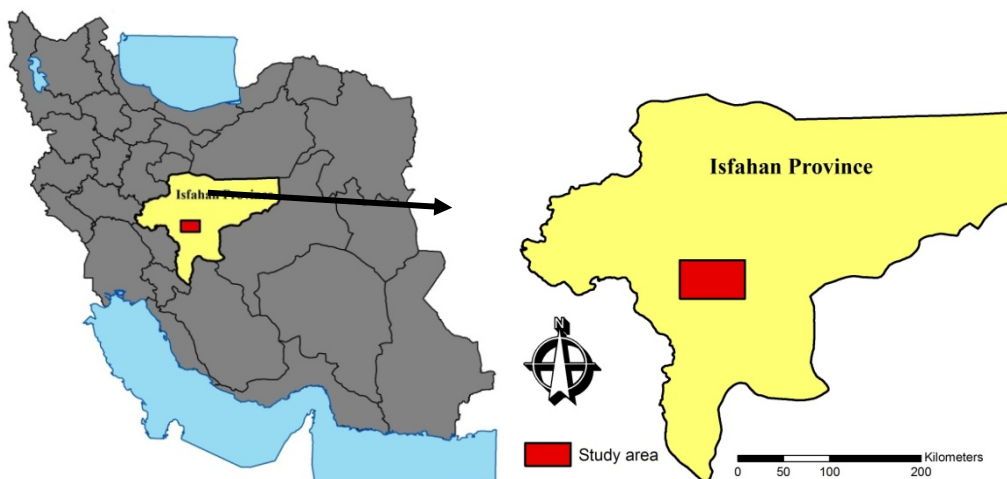
حیاتی‌ترین قدم‌ها در پروژه‌های مطالعات محیطی بالاخص مطالعات خاک می‌باشد و لذا باید روش‌های مبتنی به تغییرات طبیعی در فضاهای مختصاتی حقیقی و مجازی را هرچه بیش‌تر توسعه داد.

نمونه برداری در یک ناحیه به کمک داده‌های کمکی یا اطلاعات ثانویه قابل انجام است. به عنوان مثال، یک ناحیه ممکن است اطلاعات یا نقشه‌هایی از اندازه‌گیری‌های جغرافیایی، تصاویر سنجش از دور، نقشه‌های پوشش گیاهی، نقشه‌های زمین‌شناسی، مدل رقومی ارتفاع و پارامترهای سرزمین داشته باشد. داده‌های کمکی برای بهبود تخمین مکانی بویژه در مواقع کمبود اطلاعات اصلی مفید هستند.

در نقشه برداری رقومی خاک، پیش‌بینی خصوصیات و کلاس‌های خاک براساس تشکیل رابطه بین ویژگی‌های واقعی (مشاهده شده) خاک و متغیرهای کمکی خاک و محیط انجام می‌شود. داده‌های کمکی یا داده‌های محیطی برای مناطق وسیعی از اراضی معمولاً با قیمت نسبتاً ارزان به دست می‌آید مانند مدل رقومی ارتفاع و مشتقاتش و تصاویر ماهواره‌ای.

تعدادی از مطالعات برای دستیابی به سیستم نمونه برداری بهتر، تکنیک‌های نمونه برداری را براساس داده‌های کمکی طراحی کردند. گسler و همکاران (۵) طرحی را فراهم کردند که براساس آن نمونه‌ها به طور تصادفی در دامنه شاخص توپوگرافی مرکب (CTI) توزیع یافتند. مک کنزی و رایان (۱۲) اجزاء سرزمین، داده‌های اقلیمی و زمین-شناسی را برای کلاس‌بندی منطقه استفاده کردند و سپس نمونه‌ها را بطور تصادفی درون هر کلاس انتخاب نمودند. هنگل و همکاران (۷) نمونه برداری در امتداد اجزاء اصلی متغیرهای محیطی را پیشنهاد کردند که در این حالت تعداد نمونه‌ها با نسبت واریانس کل تشریح شده توسط هر جزء اصلی مرتبط می‌شود. هاو لینک و همکاران (۸) نمونه برداری را براساس حداقل سازی واریانس کریجینگ جهانی طراحی کردند. سیمباهان و دویرمن (۱۵) سه معیار بهبودسازی متفاوت شامل حداقل سازی میانگین کوتاه‌ترین فواصل، توزیع یکنواخت جفت نقاط برای تخمین واریوگرام و ترکیبی از این دو روش را پیشنهاد کردند. نمونه برداری در حضور داده‌های کمکی باید به گونه‌ای باشد که تمام دامنه تغییرات هر متغیر کمکی، مختصات‌های فیزیکی و مجازی را پوشاند. هدف این گونه بررسی‌ها افزایش کارایی طرح نمونه برداری در تعامل با شدت تغییرپذیری خصوصیات و کلاس‌های خاک منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

نمونه برداری هایپرکیوب لاتین (LHS) توسط میناسنی و مک برانتی (۱۳) به عنوان یک طرح نمونه برداری برای نقشه برداری رقومی خاک در جایی که هیچ نمونه خاک برداشت شده قبلی موجود نیست (فقط اطلاعات کمکی موجود هستند) پیشنهاد شد. نمونه برداری هایپرکیوب لاتین یک طرح نمونه برداری مونت کارلوی محدود شده‌ای می‌باشد. در این روش، یک طرح تصادفی طبقه بندی شده‌ای



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه در استان اصفهان
Figure 1- Study area in Isfahan Province

ارزیابی هایپرکیوب نمونه برداری خاک) انجام گردید که در ادامه تشریح می شود. این الگوریتم براساس مطالعه کری و همکاران (۳) نوشته شده است و در R اجرا گردید. قبل از اجرای الگوریتم، باید متغیرهای کمکی برای ایجاد هایپرکیوب انتخاب شوند. در انتخاب متغیرهای کمکی باید سعی شود متغیرهای اصلی و غالب کنترل کننده فرایندهای هیدرولوژی، ژئومورفولوژی و پدولوژی را انتخاب کرد. به عبارتی بهتر است متغیرهایی انتخاب شوند که در روش های مختلف نمونه برداری به آنها توجه می شود و تغییرات واضح منطقه را باعث می شوند.

تشریح الگوریتم ارزیابی هایپرکیوب نمونه برداری خاک

برای p متغیر کمکی رستری با تعداد سلول Q r چندک های هر متغیر و n واحد نمونه برداری (معمولاً $r \gg n$) است. در این مطالعه، طبقه در واقع تقسیم فضای ویژگی است که شامل چندک های هر متغیر کمکی می باشد. بنابراین Q_p طبقه داریم بطوریکه $Q_p < n$ است (به این ترتیب حداقل یک واحد نمونه برداری در هر طبقه وجود دارد). براساس این الگوریتم یک هایپرکیوب p بعدی با محورهای Q هر متغیر داریم که می توان دو شاخص را محاسبه کرد: شاخص متغیر کمکی (CI) در هر طبقه که طبق فرمول زیر به دست می آید:

$$CI = (M_s / M_s) \quad \text{که } M_s \text{ تعداد سلول ها در هر طبقه } (s) \text{ و } (M_s)$$

L_s تعداد متوسط سلول ها در هر طبقه است.

وزن نسبی با فرمول $rw = 1/w$ محاسبه شد و $w = (ns/n)/(M_s/r)$ ، ns : تعداد واحدهای نمونه برداری در هر طبقه و M_s : تعداد پیکسل ها هر طبقه می باشد.

برای تفکیک و مشخص کردن سطوح زمین ریختی، تهیه نقشه ژئومورفولوژی و تعیین چگونگی پراکنش خاک نماها در گستره اراضی از تفسیر استریوسکوپی عکس های هوایی (۱/۵۵۰۰۰) و تصاویر ماهواره ای استفاده شده است.

نمونه برداری طبقه بندی شده هدفمند

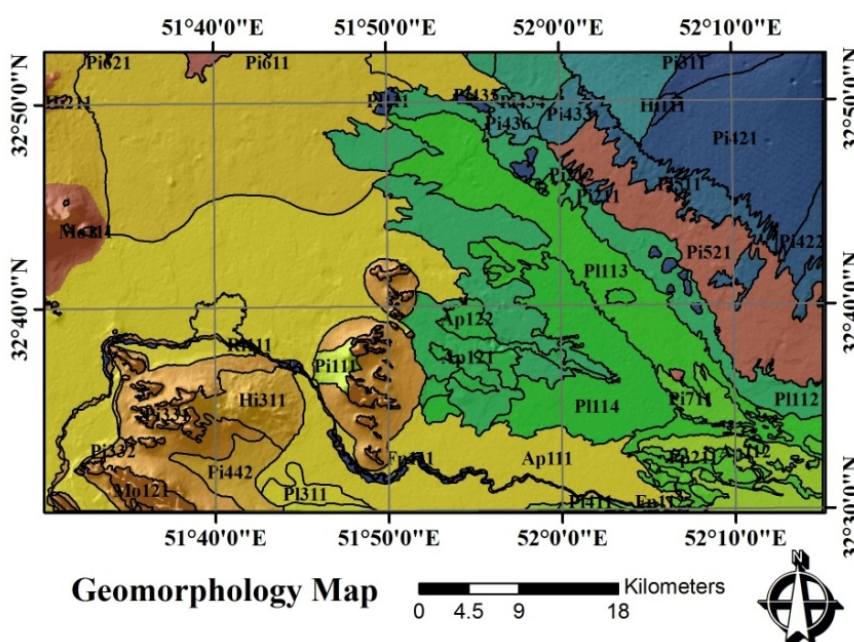
یک طرح نمونه برداری طبقه بندی شده هدفمند با استفاده از نقشه ژئومورفولوژی پیاده گردید. لایه ی نمونه برداری منطبق بر تفاوت در اشکال اراضی (نقشه ی ژئومورفولوژی) تعریف گردید. در هر طبقه، موقعیت های تصادفی نمونه برداری به گونه ای انتخاب شد که تعداد نمونه ها متناسب با مساحت طبقه باشد. در نهایت، ۱۹۱ خاک رخ حفر، تشریح، نمونه برداری، آنالیز و براساس معیارهای سامانه رده بندی آمریکایی (۱۶) طبقه بندی گردید.

متغیرهای محیطی

یک مدل رقومی ارتفاع با تفکیک مکانی ۳۰ متر برای استخراج پارامترهای سرزمین از جمله ارتفاع، شیب و شاخص خیزی به عنوان متغیرهای کمکی استفاده گردید. استخراج این پارامترها در نرم افزار SAGA انجام گردید (۱۴) و در نهایت به نرم افزار R منتقل گردید.

ارزیابی نمونه برداری

مرحله اول، پایه گذاری نوعی هایپرکیوب که محورهای آن چندک های کاملاً رستری از متغیرهای محیطی مانند مدل رقومی ارتفاع و قرارگیری واحدهای نمونه برداری درون این هایپرکیوب است. نمونه برداری خوب، تراکم یکسانی از واحدهای نمونه برداری در هر طبقه هایپرکیوب دارد. ارزیابی نمونه برداری با استفاده از الگوریتم



شکل ۲- نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه (سطوح ژئومورفیک در جدول ۱ ارائه شده است)

Figure 2- Geomorphology map of the study area (Geomorphologic surfaces is explained in Table 1.)

نمونه برداری را منطبق بر سطوح ژئومورفیک نشان می دهد.

نتایج و بحث

متغیرهای محیطی و تشکیل شبکه هایپیرکیوب

از مهم ترین متغیرهای محیطی در منطقه خشک مورد مطالعه می توان پارامترهای سرزمین حاصل از مدل رقومی ارتفاع را نام برد که کلیه فرایندهای طبیعی را تحت تاثیر قرار می دهد. به عبارت دیگر پارامترهای سرزمین در یک منطقه خشک محرک فرایندهای طبیعی مختلف هستند (۴) و می توانند به عنوان شاخصی از تنوع خاکها به حساب آیند و برای ارزیابی نمونه برداری خاک مورد توجه قرار گیرند. متغیرهای محیطی شامل ارتفاع، شیب و شاخص خیزی حاصل از مدل رقومی ارتفاع به صورت لایه رستری با تعداد سلول ۳۹۹۳۳۱ (ابعاد ۴۲۱ × ۷۱۱) مورد استفاده قرار گرفتند (شکل ۴). هر یک از متغیرها به چهار چارک تقسیم می شوند (جدول ۲). به این ترتیب، فضای هایپیرکیوب ۴۳ یا ۶۴ طبقه دارد.

پس از تقسیم فضای متغیر کمکی به چارکها، فضای ویژگی در چهار گروه کلاس بندی شد. چارک اول در کلاس صفر (۰)، چارک دوم در کلاس یک (۱)، چارک سوم در کلاس دو (۲) و چارک چهارم در کلاس سه (۳) قرار گرفتند. به این ترتیب فضای هر سه ویژگی شامل کلاسهای صفر تا سه است و می توانند با هم تشکیل یک مربع با سه بعد را بدهند. در نهایت، یک هایپیرکیوب با محورهای تشکیل شده از سه متغیر کمکی ارتفاع، شیب و شاخص خیزی تشکیل می شود (شکل ۵).

تفسیر عکسهای هوایی مشخص نمود که طی وقوع مراحل مختلف تکاملی در دره زاینده رود تعداد هفت نوع چشم-انداز اراضی و چهل و شش سطح ژئومورفیک در منطقه مورد مطالعه تشکیل شده است (شکل ۲ و جدول ۱).

تنوع و تعدد سطوح ژئومورفیک در جنوب به سمت مرکز و همچنین در شمال شرق حاکی از فرایندهای متفاوت طبیعی است که منجر به تنوع در منطقه شده است. براساس تعریف، هر سطح ژئومورفیک طی یک فرایند و مقطع زمانی مشخص تشکیل می شود، بنابراین تنوع سطوح ژئومورفیک نشان دهنده تنوع فرایندهای هیدرولوژی، ژئومورفولوژی و خاکشناسی در منطقه است (شکل ۲ و جدول ۱). مطالعه شاخصهای تنوع در منطقه مورد مطالعه توسط تومانیان و همکاران (۱۷) موید تنوع در منطقه است.

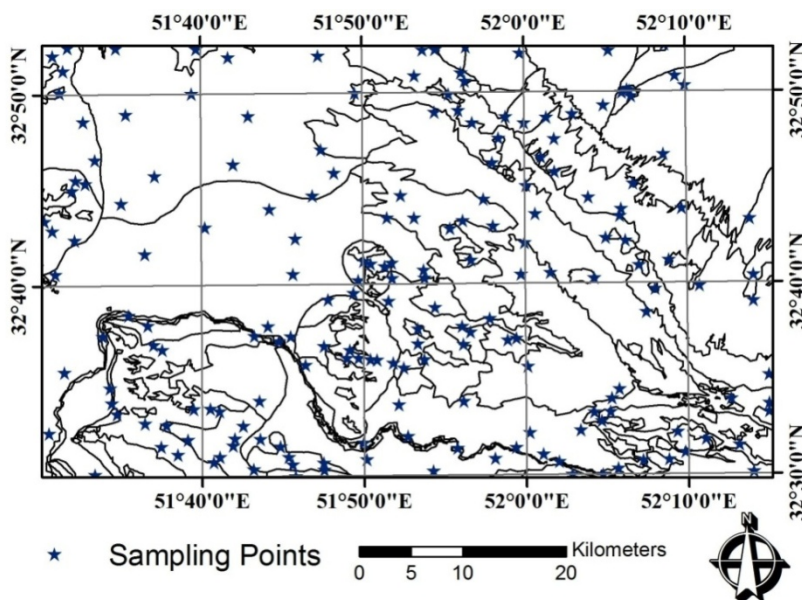
تنوع سطوح ژئومورفیک یا به عبارت دیگر تنوع فرایندهای هیدرولوژی، ژئومورفولوژی و خاکشناسی در واقع نشان دهنده تنوع متغیرهای محیطی در منطقه است. جعفری و همکاران (۱۰) سطوح ژئومورفیک را به عنوان مهم ترین عامل تشریح کننده پراکنش کلاسهای خاک در منطقه خشک زرد کرمان معرفی کردند. همچنین بیرکلند و همکاران (۱) و گالوسو و همکاران (۶) تاثیر فرایندهای ژئومورفیک را روی توزیع و توسعه خاک نشان دادند. بنابراین نقشه ژئومورفولوژی می تواند مبنایی برای نمونه برداری هر چه یکنواخت تر از منطقه متنوع به حساب آید. شکل ۳ پراکنش نقاط

جدول ۱- تشریح واحدهای ژئومرفیک در منطقه مورد مطالعه

Table 1- Hierarchic description of geomorphic units in the study area.

| زمین نما Landscape | فرم اراضی Landform | سنگ شناسی Lithology | سطح ژئومرفیک Geomorphic surface | کد واحد Code |
|---|---|--|---|-----------------|
| کوه Mountain | رخنمون بریده شده Dissected ridge | سنگ آهک مارلی همراه با شیل و آهک تیره Marly limestone (K4, K2) and shale | سطح سنگی Rock outcrops | Mo 111 |
| | | سنگ آهک مارلی Marly limestone (K4, K2) | سطح سنگی Rock outcrops | Mo 121 |
| | پدیمت سنگی Rock pediment | شیل و آهک تیره فرسایش یافته Eroded calcareous and dark shale | پرتگاه سنگی Scarp slope | Mo 211 |
| تپه Hill land | رخنمون بریده شده Dissected ridge | کنگولومرای بازی Basal conglomerate (OMC) | سطحی با شیب مرکب Rolling apex | Hi 111 |
| | | شیل و آهک تیره بریده بریده شده همراه با گچ Dissected dark grey shale | سطح سنگی همراه با سیستم زهکشی مشبک Rock outcrops with braided stream | Hi 211 |
| | رخنمون فرسایش یافته Eroded ridge | بقایای شیل Remnant of shale (J) | سطحی با شیب مرکب Braided hill | Hi 311 |
| | تپه های مرتفع سنگدار Rocky high hill | | | |
| دامنه Piedmont | پدیمت Pediment | بقایای شیل Remnant of shale (J) | سطحی با شیب مرکب Apical part, rocky | Pi 111 |
| | فن دلتا Fan delta | آبرفت دامنه ای جدید Quaternary alluvium | دلتا با شبکه زهکشی واگرا Outwash sediment finer and white | Pi 211 |
| | | | دلتای دانه درشت Outwash sediment (coarser) | Pi 212 |
| | فن بادبزی شکل Alluvial fan | آبرفت آهک فرامینفرال دار و کنگولومرای بازی Alluvium of OM, OMC | قسمت بالایی Apical part | Pi 311 |
| | | آبرفت شیل و آهک تیره رنگ Alluvium of dark grey shale | قسمت های بالایی همراه با شیب مرکب Apical part with complex slope | Pi 321 |
| | | آبرفت سنگ آهک مارلی Alluvium of marly limestone | سطحی با شیب مرکب Slightly dissected foot slope | Pi 331 |
| | | | سطحی با شیب مرکب، کشت شده Moderately flat, cultivated | Pi 332 |
| | | آبرفت سنگ آهک های مختلف Alluvium of limestone | فن فعال Active fan | Pi 341 |
| | فن های متصل Bahada | آبرفت آهک و کنگولومرای بازی و مواد آذرینی Alluvium of OM, OMC, Ev | قسمت میانی Middle part | Pi 411 |
| | | آبرفت اندزیت، گرانودیوریت و آهک Alluvium of andesite, granodiorite | قسمت بالایی Apical part | Pi 421 |
| | | | قسمت بالایی همراه با شبکه متراکم زهکش Apical part (extremely braided drainage) | Pi 422 |
| | | آبرفت آهک فرامینفرال دار Alluvium of foraminifera limestone | قسمت بالایی همراه با شبکه متراکم زهکش Apical part, with dense drainage network | Pi 431 |
| | | | قسمت میانی Middle part | Pi 432 |
| | | | قسمت زیرین با شبکه متراکم زهکش Distal part, with dense drainage network | Pi 433 |
| | | | قسمت زیرین با شبکه متراکم زهکش دانه ریز Distal part with dense drainage network, finer | Pi 434 |
| | | قسمت زیرین، آهکدار Distal part calcareous | Pi 435 | |
| | آبرفت آهک مارلی و شیل تیره Alluvium of K4, K2, Tn | قسمت میانی با زهکش موازی Middle part with parallel drainage pattern | Pi 441 | |
| | | قسمت میانی با زهکش های کمتر Middle part with less drainage | Pi 442 | |
| | | قسمت زیرین با شبکه متراکم زهکش Distal part with dense drainage network | Pi 443 | |
| فن های متصل و بریده شده Dissected old bahada | آبرفت آهک فرامینفرال دار Alluvium of foraminifera limestone | تراس قدیمی، پلاتو های گرده ماهی شکل Palaeoterrace, undulating plateau | Pi 511 | |
| | | تراس قدیمی با شبکه متراکم زهکش ها Palaeoterrace, with braided intense network | Pi 512 | |
| فن های متصل قدیمی Old bahada | رسوبات ریزدانه مارلی و گچدار Fine marlygypsiferous sediments | تراس قدیمی، صاف و نمکی Piedmontal terrace, flat, salty fine alluviums | Pi 611 | |

| | | | | |
|----------------|-------------------------------|---|---|--------|
| | | آبرفت دانه ریز مارلی | تراس قدیمی قسمت زیرین | Pi 621 |
| | | Fine marly alluvium | Piedmontal terrace, distal part, fine alluviums | |
| | فن های متصل گرده ماهی | آبرفت دانه درشت گچدار | تراس قدیمی، پلاتو های گچی | Pi 711 |
| | Rolling old bahada | Coarse, gypsiferous alluvium | Palaeoterrace, gypsic plateau | |
| | دشت آبرفتی | آبرفت های رودخانه زاینده رود | تراس های کشت شده | Ap 111 |
| Alluvial plain | Alluvial flat, river terraces | Zayandeh-rud river alluviums | Cultivated terraces | |
| | | | تراس های کشت شده و شور شده | Ap 112 |
| | | | Playa/river terraces, cultivated, salty | |
| | | آبرفت های رودهای قدیمی | مناذره‌های رودخانه‌ای | Ap 121 |
| | | Old river sediments | Meandering complex facet | |
| | | | تراس های قدیمی کشت شده | Ap 122 |
| | | | Cultivated old river terrace | |
| | دشت سیلابی | آبرفت های اخیر | رسوبات حاشیه ای رودخانه، کشت شده | Fp 111 |
| Flood plain | Lowest river terrace | Recent alluviums | Channel margin alluvium, cultivated | |
| | | | رسوبات حاشیه ای رودخانه، شور و کشت شده | Fp 112 |
| | | | Channel margin alluvium, cultivated, salty | |
| | رودخانه | آبرفت های دانه درشت اخیر | آبرفت های داخل رودخانه | Ri 111 |
| River | River sediments | Recent gravelly alluviums | Channel sediments | |
| | پلایا | رسوبات آبرفتی-لاگونی دانه ریز، شدیداً شور و گچی | زون مرطوب، صاف، شور، کشت شده | pl 111 |
| Playa | Segzi basin | Alluvio-lagoony fine sediments | Wet zone, flat, salty, cultivated | |
| | | | زون مرطوب، صاف، خیلی شور | pl 112 |
| | | | Wet zone, flat, very salty | |
| | | | پهنه رسی نرم، قلیایی، با زه آب بالا | pl 113 |
| | | | Soft clay flat, with drained ground water | |
| | | | پهنه رسی نرم، گچدار، شدیداً شور | pl 114 |
| | | | Soft clay flat, gypsiferous, extremely salty | |
| | گودی برخوار | آبرفت های دانه ریز، کمی شور | پهنه رسی، کشت شده | pl 211 |
| | Borkhar basin | Alluvial fine sediments, slightly salty | Soft clay flat, cultivated | |
| | گودی مرغ | رسوبات آبرفتی-لاگونی دانه ریز و گچی | اراضی پف کرده، لاگونی، گچدار | pl 311 |
| | Margh basin | Alluvio-lagoony fine sediments | Puffy ground, lagoony, gypsiferous | |
| | گودی جرقویه | رسوبات آبرفتی-لاگونی دانه ریز، شدیداً شور و گچی | پهنه رسی، کشت شده | pl 411 |
| | Jarghuye basin | Alluvial fine sediments, salty | Soft clay flat, cultivated | |



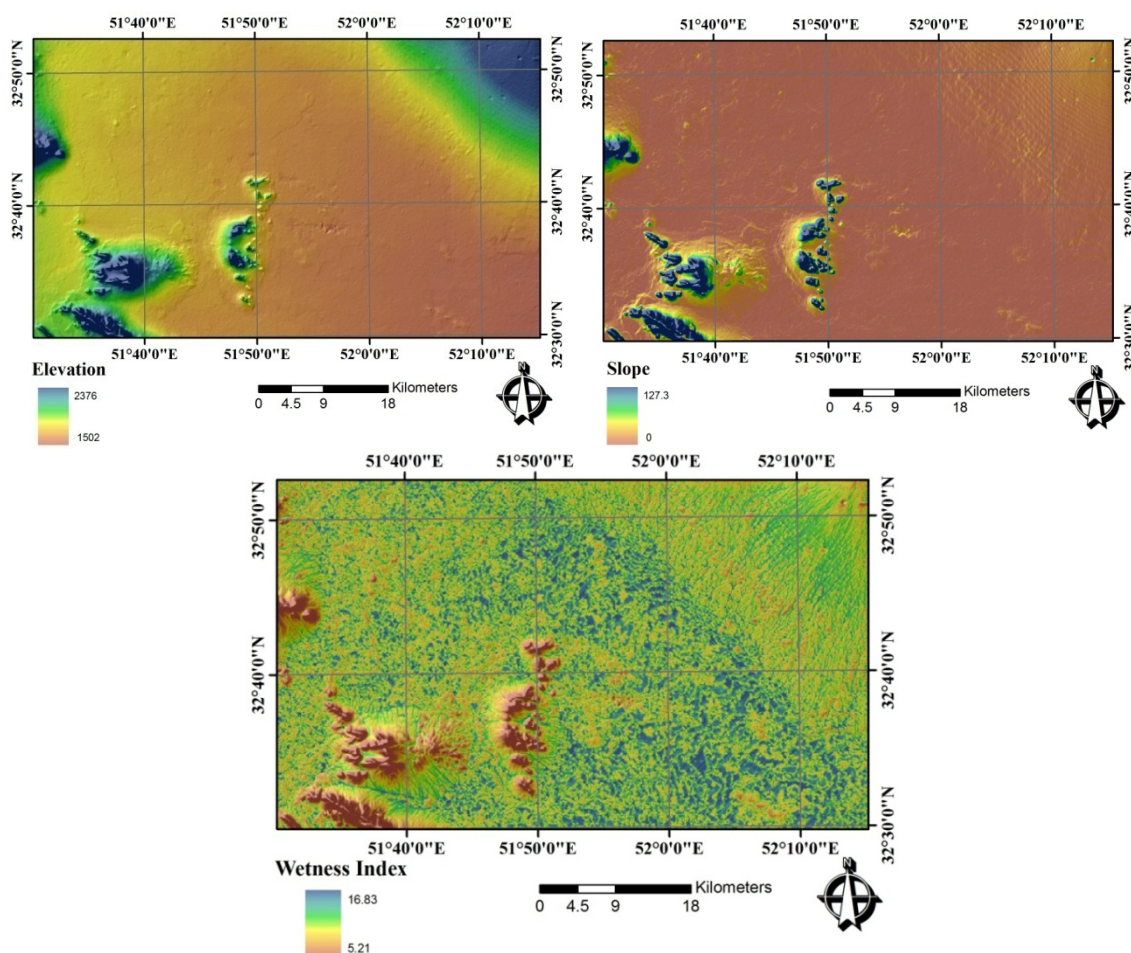
شکل ۳- پراکنش نقاط نمونه‌برداری براساس سطوح ژئومرفیک
Figure 3- Sampling points on geomorphology map

کاربرد شبکه هایپیرکیوب یکی از شاخص‌هایی که می‌توان از الگوریتم (ارزیابی هایپیرکیوب Covariate) به دست آورد، شاخص متغیر کمکی (Covariate) است. این شاخص طبق فرمول ارائه شده در بخش مواد و روش‌ها از نسبت تعداد سلول‌ها در هر طبقه (Ms) به تعداد متوسط سلول‌ها در هر طبقه (M_s) به دست می‌آید. ۴۶۷۷

کاربرد شبکه هایپیرکیوب یکی از شاخص‌هایی که می‌توان از الگوریتم (ارزیابی هایپیرکیوب Covariate) به دست آورد، شاخص متغیر کمکی (Covariate) است. این شاخص طبق فرمول ارائه شده در بخش مواد و روش‌ها از نسبت تعداد سلول‌ها در هر طبقه (Ms) به تعداد متوسط سلول‌ها در هر طبقه (M_s) به دست می‌آید. ۴۶۷۷

با برخی دیگر متراکم تر هستند. طبقات با بیش ترین تراکم متغیر در قسمت‌هایی از منطقه قرار دارد که بیش ترین تغییرات یا تنوع فرایندی مشاهده می‌شود دقیقاً جاهایی که نقشه ژئومرفولوژی دارای بیش ترین تقسیم‌بندی است.

سلول به طور متوسط در هر طبقه به دست آمد. افزایش شاخص متغیر نشان‌دهنده افزایش تراکم و تغییرپذیری متغیر کمکی است که در این صورت باید تعداد نمونه‌ها هم افزایش یابد. نقشه شاخص متغیر کمکی در شکل ۶ نشان داده شده است. این نقشه الگوی تغییرپذیری متغیر کمکی را نشان می‌دهد. مقادیر شاخص متغیر کمکی از ۰/۰۴۵ تا ۵/۹۵ تغییر می‌کند. این بدین معنی است که برخی طبقات در مقایسه



شکل ۴- متغیرهای محیطی شامل ارتفاع، شیب و شاخص خیسگی
Figure 4- Environmental variables: Elevation, slope and wetness index

جدول ۲- تقسیم فضای ویژگی به چارک‌ها

Table 2- Division of feature space to quartiles (Q)

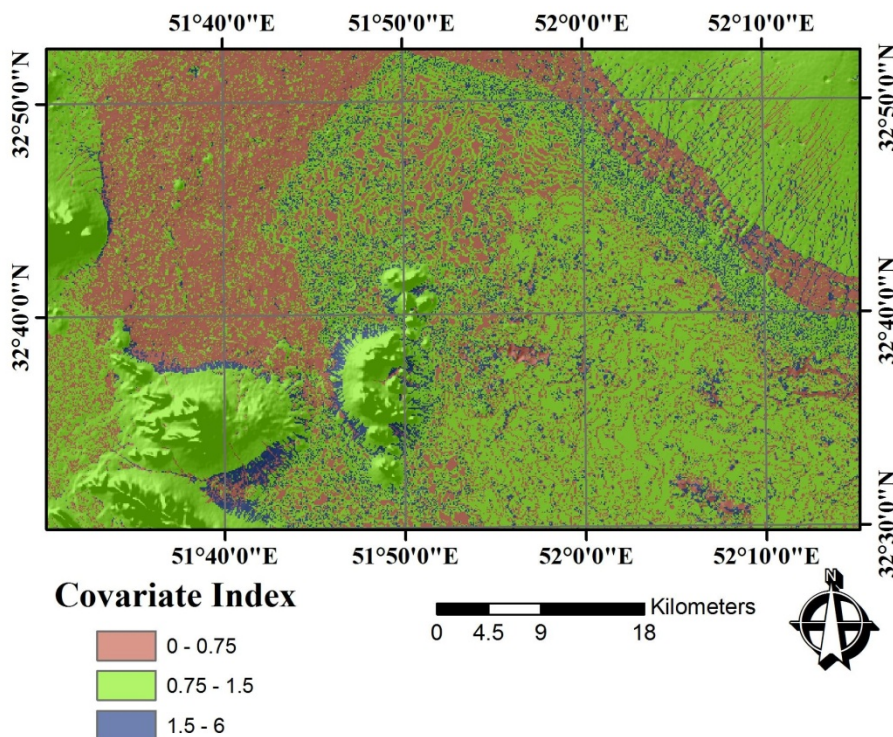
| چارک اول (>۲۵%) (Q1: <25%) | چارک دوم (۲۵-۵۰%) (Q2: 25-50%) | چارک سوم (۵۰-۷۵%) (Q3: 50-75%) | چارک چهارم (۷۵-۱۰۰%) (Q4: 75-100%) | متغیر کمکی (covariate) |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| 1533 | 1560 | 1593 | 2376 | ارتفاع (متر) (Elevation) |
| 0.2 | 0.5 | 1.2 | 127.3 | شیب (%) (Slope, %) |
| 10.21 | 10.89 | 12.14 | 16.83 | شاخص خیسگی (wetness index) |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|------|------|-------|--|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|-------|--|--|--|--|-----|---|---|---|---|---|------|------|------|------|---|------|------|------|------|---|------|------|------|------|---|-----|------|------|-------|
| (الف) wetness = 0 | wetness = 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="0"> <tr><td colspan="5" style="text-align: center;">slope</td></tr> <tr><td>dem</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>6</td><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr> <tr><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>16</td></tr> </table> | slope | | | | | dem | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 6 | 3 | 0 | 1 | 0 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 4 | 3 | 0 | 1 | 2 | 16 | <table border="0"> <tr><td colspan="5" style="text-align: center;">slope</td></tr> <tr><td>dem</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>0</td><td>1686</td><td>3128</td><td>3055</td><td>1310</td></tr> <tr><td>1</td><td>1116</td><td>2757</td><td>5505</td><td>3290</td></tr> <tr><td>2</td><td>1540</td><td>3844</td><td>7764</td><td>7506</td></tr> <tr><td>3</td><td>470</td><td>1251</td><td>3692</td><td>27882</td></tr> </table> | slope | | | | | dem | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1686 | 3128 | 3055 | 1310 | 1 | 1116 | 2757 | 5505 | 3290 | 2 | 1540 | 3844 | 7764 | 7506 | 3 | 470 | 1251 | 3692 | 27882 |
| slope | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| dem | 0 | 1 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 6 | 3 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 1 | 2 | 1 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 0 | 1 | 2 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| slope | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| dem | 0 | 1 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1686 | 3128 | 3055 | 1310 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1116 | 2757 | 5505 | 3290 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 1540 | 3844 | 7764 | 7506 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 470 | 1251 | 3692 | 27882 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

تعداد سلول در یک طبقه (Number of cell in one stratum) تعداد نمونه در یک طبقه (Number of sample in one stratum)

شکل ۵ - شبکه هایپرکیوب با تعداد نمونه (الف) و تعداد سلول (ب) در هر طبقه

Figure 5- Hypercube grid with number of cell (a) and of sample (b) in each stratum



شکل ۶ - شاخص متغیر کمکی طبقات هایپرکیوب در منطقه مورد مطالعه

Figure 6- Covariate index of the hypercube strata in the study area

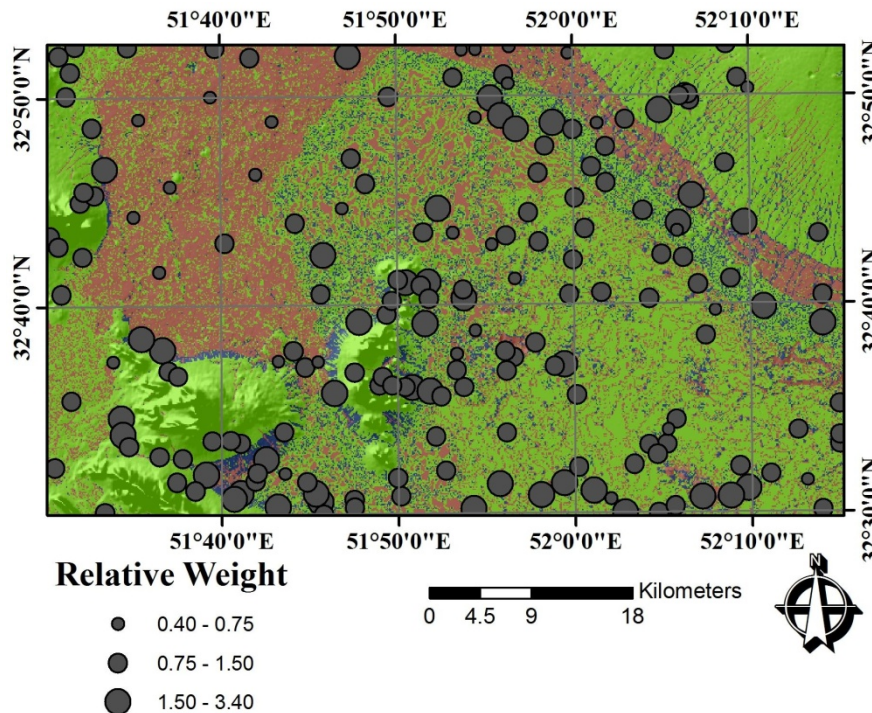
می-شوند. ثالثاً تغییرپذیری یک منطقه خشک بسیار بیش تر از آن است که در ظاهر مشخص شود و این تنها با عملیات میدانی و صحرایی قابل تشخیص است. بنابراین جزء لاینفک پروژه های نقشه برداری و شناسایی خاک، عملیات صحرایی و میدانی است که منجر به نمونه برداری دقیق تر برای برنامه های آینده همچون نقشه برداری رقومی خاک می شود.

وزن نسبی واحدهای نمونه برداری در هر طبقه، نسبت بین تراکم مشاهدات (ns/n) و تعداد سلول های متغیر کمکی (Ms/r) در هر طبقه است. اگر نسبت تراکم مشاهدات به ازا تعداد سلول های متغیر کمکی بالا باشد، بنابراین وزن نسبی کاهش می یابد و این بدین معنی است

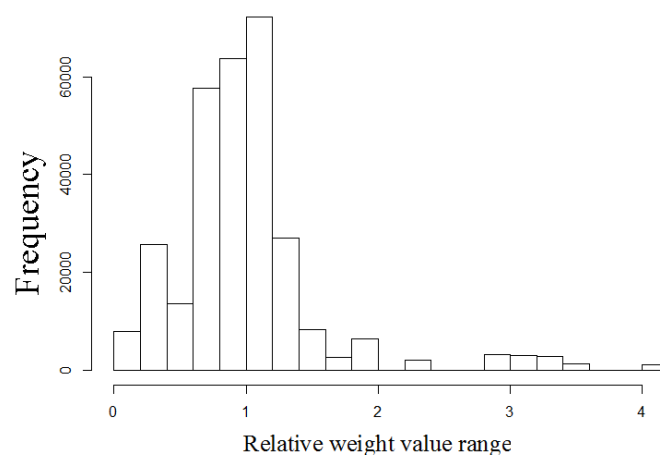
در شکل ۶ بیشترین تراکم کواریته ها در جنوب به سمت مرکز مشاهده می شود که دقیقاً با تغییرات سطوح ژئومرفیک در نقشه ژئومرفولوژی همخوانی دارد (شکل ۲). در حالی که در نقشه های رقومی ارتفاع و شیب در چنین قسمتهایی تغییرات مشاهده نمی شود اما در نقشه شاخص رطوبتی تغییرپذیری این قسمت ها منعکس شده است (شکل ۴). این نتایج نشان می دهد اولاً لحاظ کردن فرایندهای ژئومرفولوژی در طراحی نمونه برداری در منطقه خشک بسیار مفید و موثر است و ثانیاً پارامترهای ارتفاع و شیب به صورت نیروی محرک فرایندهای هیدرولوژی و ژئومرفولوژی عمل می کنند و تغییرات فضایی سایر پارامترهای سرزمین را در فضای جغرافیایی کوچک منجر

بالای شاخص متغیر کمکی مشاهده می‌شود (شکل ۷). در واقع جمع‌آوری نمونه در مناطق با تغییرپذیری شدید متغیرهای کمکی سخت و مشکل است. همچنین مناطق با نمونه‌برداری کم در اغلب موارد توسط مناطق با نمونه‌برداری مناسب احاطه شده است (شکل ۷). بنابراین با توجه به شاخص‌های محاسبه شده، طرح نمونه‌برداری طبقه‌بندی هدفمند یک طرح نمونه‌برداری مناسب است و به خوبی توانسته تغییرات منطقه را پوشش دهد.

که در این منطقه، نمونه‌برداری بیشتر لازم نیست. به کمک شاخص متغیر کمکی می‌توان توزیع وزن نمونه‌ها را تشریح کرد (شکل ۷). از ۶۴ طبقه تعریف شده، ۹/۴ درصد، نمونه‌برداری بیش از حد، ۶۰/۲ درصد نمونه‌برداری مناسب و ۳۰/۴ درصد نمونه‌برداری ناکافی و کم را نشان می‌دهند. نمونه‌برداری بیش از حد در مناطقی دیده می‌شود که تراکم شاخص متغیر کمکی کاهش می‌یابد در حالیکه نمونه‌برداری کم در مناطق با تراکم و تغییرپذیری



شکل ۷- وزن نسبی واحدهای نمونه‌برداری
Figure 7- The relative weight of sampling units



شکل ۸- توزیع وزن‌های نسبی واحدهای نمونه‌برداری
Figure 8- Distribution of the relative weights of sampling units

داده شده است. وزن‌های نسبی بالا دارای فراوانی کمی هستند که خود گواه نمونه‌برداری کم و نیاز به نمونه‌برداری مجدد می‌باشد. همچنین در برخی از وزن‌ها هیچگونه نمونه‌ای وجود ندارد. از ۶۴ طبقه، ۱۴ طبقه آن خالی از نمونه‌برداری هستند. بنابراین اگر قصد افزایش تعداد نمونه‌ها را داریم بهتر است در طبقات خالی نمونه‌برداری انجام شود.

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه، روش هایپرکیوب لاتین به کمک متغیرهای محیطی برای ارزیابی کیفیت نمونه‌های خاک حاصل از نمونه‌برداری طبقه‌بندی شده هدفمند استفاده گردید. مزیت اصلی روش مربوطه این است که نمونه‌های خاک بر طبق تراکم متغیرهای محیطی در فضای ویژگی و به عبارتی تغییرپذیری خاک توزیع می‌یابند. براساس روش بکار گرفته شده، امکان افزایش واحدهای نمونه‌برداری جدید به منظور پوشش کامل فضای ویژگی در قسمت‌های نمونه‌برداری نشده یا کم نمونه‌برداری شده، وجود دارد. الگوریتم ارزیابی هایپرکیوب نمونه‌برداری خاک، طرح نمونه‌برداری طبقه‌بندی هدفمند را که برپایه مطالعات صحرائی و تجربیات کارشناس پیاده گردیده، مفید و مناسب ارزیابی نمود. از کاربرد الگوریتم مربوطه برای هر تعداد متغیر محیطی و همچنین در هر منطقه‌ای را می‌توان از مزایای آن برشمرد.

شکل ۷ نشان می‌دهد مناطق با نمونه‌برداری زیاد در اغلب موارد در مناطق با تغییرپذیری کم شاخص متغیر کمکی قرار گرفته حتی در مناطق شدیداً متغیر، ناحیه با نمونه‌برداری زیاد در مناطقی قرار گرفته که تغییرپذیری متغیر کمکی کم است. در حالیکه کری و همکاران (۳) مشاهده کردند که نمونه‌برداری زیاد در مناطق با تغییرپذیری شدید متغیرهای کمکی هم قرار گرفتند و علت آن را نمونه‌برداری منظم شبکه‌ای بیان کردند که براساس تنوع متغیرهای محیطی پیاده نشده است.

در این مطالعه طرح نمونه‌برداری طبقه‌بندی هدفمند براساس سطوح ژئومرفیک در نقشه ژئومرفولوژی طراحی شده است و نقشه ژئومرفولوژی منطقه به دقت براساس عکس‌های هوایی، نقشه توپوگرافی و نقشه زمین‌شناسی منطقه و با بازدیدهای صحرائی مکرر تهیه شده است. بنابراین طراحی روش نمونه‌برداری توسط یک کارشناس همانقدر می‌تواند دقیق باشد که یک نرم‌افزار کامپیوتری سلول به سلول (مانند روش نمونه‌برداری لاتین هایپرکیوب) بررسی و طرح نمونه‌برداری را ارائه می‌کند. در مقابل مزایای سرعت بالا و صرف وقت کمتر روش کامپیوتری، روش کارشناسی به واقعیت نزدیک‌تر است. به این ترتیب اگر قصد استفاده از این داده‌های خاک در نقشه‌برداری رقومی خاک داریم نتایج نشان می‌دهد طرح نمونه‌برداری طبقه‌بندی هدفمند اجرا شده به خوبی توانسته تغییرات منطقه را برداشت کند.

توزیع وزن‌های نسبی واحدهای نمونه‌برداری در شکل ۸ نشان

منابع

- 1- Birkeland P.W., Shroba R.R., Burns S.F., Price A.B., and Tonkin P.J. 2006. Integrating soils and geomorphology in mountains - an example from the Front Range of Colorado. *Geomorphology*, 55:329-344.
- 2- Bisbal J., Grimson J., and Bell D. 2005. A formal framework for database sampling. *Information and Software Technology*, 47:819-826.
- 3- Carre F., McBratney A.B., and Minasny B. 2007. Estimation and potential improvement of the quality of legacy soil samples for digital soil mapping. *Geoderma*, 141:1-14.
- 4- Gessler P. E., Chadwick O. A., Chamran F., Althouse L. D., and Holmes K. W. 2000. Modeling soil-landscape and ecosystem properties using terrain attributes. *Soil Science Society of American Journal*, 64:2046-2056.
- 5- Gessler P.E., Moore I.D., McKenzie N.J., and Ryan P.J. 1995. Soil-landscape modeling and spatial prediction of soil attributes. *International Journal of Geographical Information Science*, 9:421-432.
- 6- Golosov V., Sidorchuk A., and Walling D.E. 2008. Nikolay I. Makkaveev and development of fluvial geomorphology in Russia and the former Soviet Union. *Catena*, 73:146-150.
- 7- Hengl T., Rossiter D.G., and Stein A. 2003. Soil sampling strategies for spatial prediction by correlation with auxiliary maps. *Geoderma*, 120:75-93.
- 8- Heuvelink G., Brus D., and de Grujter J. 2004. Optimisation of sample configurations for digital soil mapping with universal kriging. *Global Workshop on Digital Soil Mapping*, Montpellier, France, September 2004.
- 9- Heuvelink G.B.M., Schoorl M., Veldkamp A., and Pennock D.J. 2006. Space-time Kalman filtering of soil redistribution. *Geoderma*, 133:124-137.
- 10- 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.

- 11- McBratney A.B., Mendonça Santos M.L., and Minasny B. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117:3-52.
- 12- McKenzie N.J., and Ryan P.J. 1999. Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis. *Geoderma*, 89:67-94.
- 13- Minasny B., and McBratney A.B. 2006. A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. *Computers and Geosciences*, 32:1378-1388.
- 14- Olaya V. 2004. A gentle introduction to Saga GIS. User manual, The SAGA User Group e.V, Göttingen.
- 15- Simbahan G.G. and Dobermann A. 2006. Sampling optimization based on secondary information and its utilization in soil carbon mapping. *Geoderma*, 133:345-362.
- 16- Soil Survey Staff. 2003. Keys to Soil Taxonomy, Ninth edition, NRCS, USDA.
- 17- Toomanian N., Jalalian A., Khademi H., KarimianEghbal M., and Papritz A. 2006. Pedodiversity and pedogenesis in Zayandeh-rud Valley, Central Iran. *Geomorphology*, 81:376-393.
- 18- Vanclay J.K., Skovsgaard J.P., and Hansen C.P. 1995. Assessing the quality of permanent sample plot databases for growth modeling in forest plantations. *Forest Ecology and Management*, 71:177-186.
- 19- Visschers R., Finke P.A., and de Gruijter J.J. 2007. A soil sampling program for the Netherlands. *Geoderma*, 139:60-72.



Using Environmental Variables for Studying of the Quality of Sampling in Soil Mapping

A. Jafari^{1*} - Norair Toomanian² - R. Taghizadeh Mehrjerdi³

Received: 21-10-2013

Accepted: 10-11-2014

Introduction: Methods of soil survey are generally empirical and based on the mental development of the surveyor, correlating soil with underlying geology, landforms, vegetation and air-photo interpretation. Since there are no statistical criteria for traditional soil sampling; this may lead to bias in the areas being sampled. In digital soil mapping, soil samples may be used to elaborate quantitative relationships or models between soil attributes and soil covariates. Because the relationships are based on the soil observations, the quality of the resulting soil map depends also on the soil observation quality. An appropriate sampling design for digital soil mapping depends on how much data is available and where the data is located. Some statistical methods have been developed for optimizing data sampling for soil surveys. Some of these methods deal with the use of ancillary information. The purpose of this study was to evaluate the quality of sampling of existing data.

Materials and Methods: The study area is located in the central basin of the Iranian plateau (Figure 1). The geologic infrastructure of the area is mainly Cretaceous limestone, Mesozoic shale and sandstone. Air photo interpretation (API) was used to differentiate geomorphic patterns based on their formation processes, general structure and morphometry. The patterns were differentiated through a nested geomorphic hierarchy (Fig. 2). A four-level geomorphic hierarchy is used to breakdown the complexity of different landscapes of the study area. In the lower level of the hierarchy, the geomorphic surfaces, which were formed by a unique process during a specific geologic time, were defined. A stratified sampling scheme was designed based on geomorphic mapping. In the stratified simple random sampling, the area was divided into sub-areas referred to as strata based on geomorphic surfaces, and within each stratum, sampling locations were randomly selected (Figure 2). This resulted in 191 profiles, which were then described, sampled, analyzed and classified according to the USDA soil classification system (16). The basic rationale is to set up a hypercube, the axes of which are the quantiles of rasters of environmental covariates, e.g., digital elevation model. Sampling evaluation was made using the HELS algorithm. This algorithm was written based on the study of Carre et al., 2007 (3) and run in R.

Results and Discussion: The covariate dataset is represented by elevation, slope and wetness index (Table 2). All data layers were interpolated to a common grid of 30 m resolution. The size of the raster layer is 421 by 711 grid cells. Each of the three covariates is divided into four quantiles (Table 2). The hypercube character space has 4^3 , i.e. 64 strata (Figure 5). The average number of grid cells within each stratum is therefore 4677 grid cells. The map of the covariate index (Figure 6) shows some patterns representative of the covariate variability. The values of the covariate index range between 0.0045 and 5.95. This means that some strata are very dense compared to others. This index allows us to explain if high or low relative weight of the sampling units (see below) is due to soil sampling or covariate density. The strata with the highest density are in the areas with high geomorphology diversity. It means that geomorphology processes can cause the diversity and variability and it is in line with the geomorphology map (Figure 2). Of the 64 strata, 30.4% represent under-sampling, 60.2% represent adequate sampling and 9.4% represent over-sampling. Regarding the covariate index, most of the under-sampling appears in the high covariate index, where soil covariates are then highly variable. Actually, it is difficult to collect field samples in these highly variable areas (Figure 7). Also, most of the over-sampling was observed in areas with low covariate index (Figure 7). We calculated the weights of all the sampling units and showed the results in Figure 8. One 64 strata out of 16 were empty of legacy sample units. Therefore, if we are going to increase the number of samples, it is better to take samples from the empty strata.

Conclusion: Since, we assume that soil attributes to be mapped can be predicted by the environmental covariates, our estimation of the sample units is based on the covariates. Then, the results are very dependent on the covariates (number and spatial resolution of the covariates and the quality of their measurement or

1- Assistant Professor of Soil Science Department, College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman
(*- Corresponding Author Email: a.jafari@uk.ac.ir)

2- Assistant Professor, Soil and Water Research Division, Agricultural Research Center. Amir Hamzeh Town, Isfahan

3- Assistant Professor, College of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University

description). Hypercube sampling provides the means to evaluate adequacy of sampling units according to the soil covariates. The main advantage of such a method is that all the sample units can be estimated according to their density in the feature space that represents soil variability. From the results, it is possible to add new sampling units in order to cover the whole feature space. Thus, in case some parts are missing, we can enhance some parts of the feature space that appear to be under-sampled.

Keywords: Environmental variables, Latin hypercube, Soil sampling, Soil survey