



ترکیب روش‌های نقشه‌برداری مرسوم و زمین‌آماری برای تخمین چگالی ظاهری خاک

زهرا فاریابی^{۱*}، عیسی اسفندیارپور بروجنی^۲، حسین شکفته^۳^۱ دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد علوم خاک دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان^۲ دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان^۳ استادیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت

چکیده

با توجه به اهمیت ویژگی چگالی ظاهری خاک در مسایل مربوط به مدیریت بهینه‌ی آب و خاک، پژوهش حاضر به تخمین این ویژگی در واحدهای نقشه‌ی ژئوفرم بخشی از اراضی منطقه‌ی سردوئیه‌ی جیرفت با استفاده از اطلاعات روش سنتی نقشه‌برداری خاک، روش کریجینگ، و ترکیب این دو شیوه در قالب یک تخمینگر واحد پرداخته است. برای این منظور، ۱۵۰ نقطه‌ی مشاهداتی (با میانگین فاصله‌ی ۲۰۰ متر) در قالب یک الگوی نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی‌شده با استفاده از سیلندر، نمونه‌های دست‌نخورده از هر موقعیت مشاهداتی برداشت گردید. پس از محاسبه‌ی مقادیر تخمینی و واریانس خطای متغیر مطالعاتی با استفاده از تخمینگرهای مورد نظر، اعتبارسنجی آن‌ها با استفاده از شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطای نسبی ($RMSE\%$) انجام گرفت. نتایج نشان داد استفاده از روش ترکیبی، تخمین‌های بهتری را نسبت به دو تخمینگر دیگر در بر داشته است، هر چند که تفاوت صحت تخمین‌های انجام‌گرفته توسط تخمینگرهای مزبور چندان بزرگ نبود.

کلمات کلیدی: تغییرپذیری خاک، کریجینگ، نقشه‌برداری سنتی خاک

مقدمه

نکته‌ی قابل توجه در رابطه با تمام ویژگی‌های خاک، وجود تغییرات مکانی برای آن‌ها است. لذا شناخت این تغییرات، به‌ویژه در زمین‌های کشاورزی، برای برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت بهینه، امری اجتناب‌ناپذیر است. به دیگر سخن، به‌منظور اعمال مدیریت بهینه و دستیابی به عملیات زراعی مناسب، نیازمند شناسایی و کمی کردن غیریکنواختی و تغییرپذیری ویژگی‌های خاک می‌باشیم (Bosun and Qiguo, 2003). از سوی دیگر، آگاهی از الگوی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک برای بهبود در سودآوری پایدار اراضی، ضروری می‌باشد. چگالی ظاهری، یکی از ویژگی‌های فیزیکی خاک است که خصوصیات مانند مقاومت خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل خاک با آن در ارتباط هستند. به‌علاوه، از مقادیر چگالی ظاهری برای تبدیل میزان رطوبت خاک از حالت وزنی به حجمی استفاده می‌شود. بنابراین محققان برای کاربرد در مدل‌ها، توصیف شرایط مزرعه و تبدیل به اندازه‌گیری‌های حجمی، نیازمند استفاده از چگالی ظاهری خاک هستند (Reinsch and Grossman, 1995). چگالی ظاهری خاک به‌صورت نسبت وزن خاک خشک به حجم کل خاک تعریف می‌شود و به چگالی ذرات خاک (شن، سیلت، رس و مواد آلی) بستگی دارد. به‌طور کلی، چگالی ظاهری، یکی از ویژگی‌های پویای خاک است که مقدار آن با تغییر عوامل مؤثر بر آن، دچار تغییر می‌شود. به‌عنوان نمونه، انجام عملیات خاک‌ورزی، بر تخلخل و چگالی ظاهری خاک تأثیر می‌گذارد و در نتیجه، نفوذ و حرکت آب در خاک را متأثر می‌سازد (Rashidi and Keshavarzpour, 2007).

هدف از انجام پژوهش حاضر، تخمین چگالی ظاهری خاک در واحدهای نقشه‌ی ژئوفرم (واحدهای ژئودولوژیک) بخشی از اراضی منطقه‌ی سردوئیه‌ی جیرفت با استفاده از اطلاعات روش سنتی نقشه‌برداری خاک، روش کریجینگ و ترکیب این دو شیوه در قالب یک تخمینگر واحد، و نیز مقایسه‌ی نتایج آنها بوده است.

مواد و روش‌ها

قسمتی از اراضی مرتعی بخش سردوئیه‌ی شهرستان جیرفت واقع در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی با مساحتی حدود ۶۱۰ هکتار برای این پژوهش انتخاب

*ایمیل نویسنده مسئول: faryabizahra@ymail.com



گردید. میانگین دما و بارندگی سالیانه‌ی این منطقه، به ترتیب ۱۲/۴ درجه‌ی سلسیوس و ۲۶۱/۶ میلی‌متر می‌باشد و سیمای اراضی غالب آن از نوع دامنه با متوسط شیب حدود ۸ درصد است.

پس از تهیه‌ی عکس‌های هوایی (۱:۲۰۰۰۰)، نقشه‌ی توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰) و نقشه‌ی زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰) منطقه‌ی مطالعاتی، انواع ژئوفرم‌های موجود در منطقه (نقشه‌ی ژئوفرم منطقه) بر اساس راهنمای سلسله مراتبی ارائه‌شده توسط زینک (۱۹۸۹) ترسیم شد. سپس با بهره‌گیری از نرم‌افزار ایلویس، موقعیت ۱۵۰ نقطه‌ی مشاهداتی (با میانگین فاصله‌ی ۲۰۰ متر) در این ژئوفرم‌ها در قالب یک الگوی نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی‌شده طراحی گردید. پس از آن، موقعیت هر یک از نقاط مشاهداتی با استفاده از سامانه‌ی موقعیت‌یاب جهانی در صحرا مشخص شد. سپس با استفاده از استوانه فلزی، نمونه‌های دست‌نخورده از هر موقعیت مشاهداتی برداشت گردید و اندازه‌گیری چگالی ظاهری خاک به روش استوانه انجام گرفت.

فرض اساسی در استفاده از نقشه‌ی ژئوفرم، آن است که این نقشه اقدام به تفکیک خاک‌های منطقه‌ی مورد نظر به تعداد محدودی واحد همگن می‌کند. بنابراین، ارزش عددی یک خصوصیت خاک در یک محدوده‌ی معین، برابر با مقدار میانگین آن خصوصیت در واحد مورد نظر به‌علاوه‌ی مؤلفه‌ی تصادفی باقی‌مانده‌ها است. در پژوهش حاضر از معادله‌ی زیر برای تخمین متغیر X در نقطه‌ی نمونه‌برداری‌نشده‌ی k ام موجود در واحد نقشه‌ی k ام (یا به عبارتی،

X_{ik}^*) استفاده شد:

$$X_{ik}^* = m_k = \frac{1}{n_k} \cdot \sum_{j=1}^{n_k} X_{jk} \quad (1)$$

که m_k میانگین متغیر مورد نظر در واحد نقشه‌ی k ام، n_k تعداد نقاط مشاهداتی موجود در واحد نقشه‌ی k ام و X_{jk} مقدار متغیر مورد نظر در نقطه‌ی مشاهداتی j ام می‌باشند.

در چنین شرایطی، واریانس خطای تخمین نقشه‌ی ژئوفرم از طریق رابطه‌ی زیر محاسبه شد:

$$\sigma_s^2 = S_w^2 + \frac{S_w^2}{N} \quad (2)$$

که S_w^2 و N به ترتیب بیانگر واریانس درون واحدی و تعداد کل نقاط مشاهداتی می‌باشند.

واریانس درون واحدی نقشه‌ی ژئوفرم منطقه‌ی مطالعاتی برای هر کدام از متغیرهای مورد نظر نیز از رابطه‌ی زیر محاسبه شد

$$S_w^2 = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_k} (X_{ij} - m_k)^2}{N - k} \quad (3)$$

که k نشانگر تعداد واحدهای نقشه است.

مطالعات زمین‌آماری این پژوهش در قالب دو مرحله‌ی واریوگرافی (با استفاده از تابع واریوگرام) و تخمین (با کاربرد تخمینگر کریجینگ معمولی) انجام گرفت. معادله‌ی زیر طریقه‌ی محاسبه‌ی واریوگرام تجربی را نشان می‌دهد

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (4)$$

در معادله‌ی بالا، پارامترهای h ، $N(h)$ ، $Z(x_i)$ ، $Z(x_i + h)$ و $\gamma(h)$ به ترتیب بیانگر فاصله‌ی بین جفت نقاط نمونه‌برداری، تعداد جفت نمونه‌های جداشده توسط فاصله‌ی h ، مقدار متغیر مورد نظر در نقطه‌ی (x_i) ، مقدار متغیر مزبور در نقطه‌ی $(x_i + h)$ و مقدار واریوگرام تجربی برای فاصله‌ی جداکننده‌ی h می‌باشند.

تخمین‌های ترکیبی نقشه‌ی ژئوفرم- کریجینگ، با استفاده از روش وزن‌دهی ارایه‌شده توسط هاولینک و بیرکنز (۱۹۹۲) انجام گرفت. بدین ترتیب، مقدار مورد تخمین (Z^*) از ترکیب خطی وزن‌دار شده‌ی حاصل از تخمین نقشه‌ی ژئوفرم (Z_S) و تخمین کریجینگ (Z_K) مطابق معادله‌ی زیر به‌دست آمد:

$$Z^* = W_K Z_K + W_S Z_S \quad (5)$$

وزن‌های W_S و W_K مطابق معادله‌های زیر محاسبه شدند:

$$W_S = \frac{\sigma_K^2 - \rho_{SK} \sigma_S \sigma_K}{\sigma_S^2 + \sigma_K^2 - 2\rho_{SK} \sigma_S \sigma_K} \quad (6)$$

$$W_K = \frac{\sigma_S^2 - \rho_{SK} \sigma_S \sigma_K}{\sigma_S^2 + \sigma_K^2 - 2\rho_{SK} \sigma_S \sigma_K} \quad (7)$$

در این معادله‌ها، σ_S^2 و σ_K^2 به ترتیب، واریانس خطای تخمین توسط نقشه‌ی ژئوفرم و تخمینگر کریجینگ در محل‌های مورد نظر می‌باشند. ρ_{SK} عبارت از ضریب همبستگی بین خطاهای تخمین به‌وسیله‌ی دو تخمینگر نقشه‌ی ژئوفرم و کریجینگ است. این ضریب همبستگی با استفاده از تفاوت بین مقادیر برآوردشده و واقعی محاسبه می‌شود.

در نهایت، با توجه به مقادیر مشاهده‌شده (واقعی) و مقادیر برآوردشده (تخمینی) و با استفاده از شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربع خطای نسبی (RMSE%) صحت تخمین‌ها محاسبه شد.

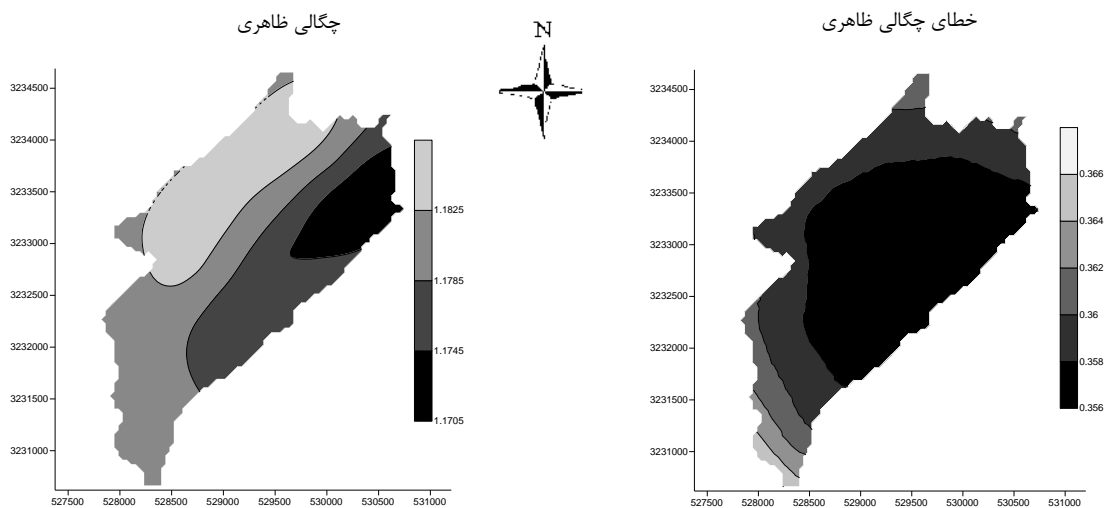
نتایج و بحث

مدل برازش‌یافته به‌همراه اجزای مربوط به واریوگرام چگالی ظاهری خاک (شامل دامنه، حد آستانه و اثر قطعه‌ای) در جدول ۱ ارایه شده‌اند. توجه به مقادیر واریانس قطعه‌ای، حد آستانه و دامنه‌ی واریوگرام‌ها در این جدول، حاکی از وجود تفاوت در وابستگی‌های مکانی چگالی ظاهری خاک می‌باشد. با این وجود، شدت و درجه‌ی وابستگی مکانی یک متغیر ناحیه‌ای را می‌توان از تقسیم اثر قطعه‌ای به حد آستانه‌ی کل به‌دست آورد که گاهی به‌صورت درصد بیان می‌گردد. اگر نسبت مذکور کمتر از ۲۵ درصد باشد متغیر دارای کلاس وابستگی مکانی قوی و در صورتی که این نسبت بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد کلاس وابستگی مکانی متغیر مورد نظر متوسط می‌باشد. اگر نسبت مزبور بیش از ۷۵ درصد باشد کلاس وابستگی مکانی ضعیف خواهد بود (Camardella *et al.*, 1994). بر این اساس، ساختار مکانی متغیر مورد مطالعه از نوع متوسط بود. به‌طور کلی، وابستگی مکانی قوی را می‌توان به خصوصیات ذاتی خاک (مانند ماده‌ی مادری) و وابستگی مکانی ضعیف را می‌توان به تأثیر عوامل خارجی (مانند مدیریت) نسبت داد (Yang *et al.*, 2009).

جدول ۱- مدل واریوگرامی و ویژگی‌های میان‌یابی متغیر مورد مطالعه

متغیر	مدل	دامنه (متر)	اثر قطعه‌ای	حد آستانه جزئی	درصد همبستگی	کلاس همبستگی مکانی
چگالی ظاهری	نمایی	۱۰۴۷/۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۸	۳۸/۵	متوسط

نقشه‌ی کریجینگ چگالی ظاهری خاک به همراه نقشه‌ی خطای آن در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- نقشه‌ی کریجینگ چگالی ظاهری خاک به همراه نقشه‌ی خطای تخمین آن

با مشاهده‌ی نقشه‌ی پراکنش مکانی چگالی ظاهری خاک می‌توان دریافت که از سمت شمال شرق به طرف قسمت‌های شمال و غرب منطقه، مقدار این ویژگی تا حدی افزایش یافته است. چگالی بالای خاک، نشان‌دهنده‌ی میزان اندک خلل و فرج و فشردگی زیاد خاک است که می‌تواند سبب محدودیت‌های رشد ریشه و انتقال ضعیف هوا و آب در خاک شود. انجام شخم دائم در یک عمق، تردد زیاد (به‌ویژه در خاک‌های مرطوب)، عدم رعایت تناوب زراعی، سوزاندن بقایای محصول، چرای بیش از حد و تردد ماشین‌آلات سنگین، از جمله مواردی هستند که می‌توانند سبب افزایش چگالی ظاهری خاک شوند (سازمان حفاظت خاک آمریکا، ۲۰۰۸). همچنین الگوی تغییرپذیری خطای تخمین برای این ویژگی، از ثبات نسبی (آهنگ تغییرپذیری کمتری) برخوردار بوده که دلیل احتمالی این موضوع را می‌توان در پایین بودن حد آستانه‌ی این متغیر جست‌وجو نمود (جدول ۱). مقایسه‌ی بین شیوه‌های مختلف تخمین چگالی ظاهری خاک شامل نقشه‌ی ژئوفرم، نقشه‌ی کریجینگ و روش ترکیبی (نقشه‌ی ژئوفرم و کریجینگ) با استفاده از شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطای نسبی (RMSE%) و ضریب تبیین (R^2) انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۲ ارایه گردیده‌اند.

جدول ۲- آماره‌های اعتبارسنجی روش‌های مختلف تخمین متغیر مورد مطالعه

R^2			RMSE%			متغیر
نقشه‌ی ترکیبی	نقشه‌ی کریجینگ	نقشه‌ی ژئوفرم	نقشه‌ی ترکیبی	نقشه‌ی کریجینگ	نقشه‌ی ژئوفرم	
۰/۴۵	۰/۳۹	۰/۳۶	۸/۹۱	۹/۴۲	۹/۴۴	چگالی ظاهری



هنگل و همکاران (۲۰۰۴) بیان نموده‌اند چنانچه مقدار $RMSE\%$ کوچک‌تر از ۴۰ درصد باشد، صحت تخمین، نسبتاً رضایت‌بخش است و اگر بین ۴۰ تا ۷۰ درصد تغییر کند، صحت تخمین مورد تردید است و اگر این شاخص بزرگ‌تر از ۷۰ درصد باشد، تخمین صحیحی انجام نگرفته است. بر این اساس، می‌توان گفت که تخمین‌های انجام‌گرفته توسط هر سه تخمین‌گر نقشه‌ی ژئوفرم، نقشه‌ی کریجینگ و روش ترکیبی برای چگالی ظاهری رضایت‌بخش می‌باشد. نگاهی به اطلاعات جدول ۲ حاکی از این موضوع است که مقدار $RMSE\%$ محاسبه‌شده برای چگالی ظاهری توسط تخمین‌گر ترکیبی کمتر از تخمین‌گر کریجینگ و تخمین‌گر نقشه‌ی ژئوفرم است، اما از ارجحیت قابل توجهی نسبت به دو تخمین‌گر دیگر (نقشه‌ی ژئوفرم و نقشه‌ی کریجینگ) برخوردار نمی‌باشد. صالحی و همکاران (۱۳۸۶) نیز بیان داشتند که استفاده از روش ترکیبی، تخمین‌های بهتری را نسبت به دو تخمین‌گر دیگر در بر داشته است، هرچند که تفاوت صحت تخمین‌های انجام‌گرفته توسط تخمین‌گرهای مزبور چندان بزرگ نبود. همچنین اعلام کردند در شرایطی که تغییرات مکانی خاک، در برگیرنده‌ی تغییرپذیری‌های قاطع و تدریجی باشد و در صورت فقدان دیگر روش‌ها و گزینه‌ها، روش ترکیب خطی وزن‌دار تخمین‌های حاصل از نقشه‌ی خاک و نقشه‌ی کریجینگ (روش ترکیبی) را می‌توان به‌عنوان ابزاری ارزشمند برای ارتقای کیفیت نقشه‌های سنتی خاک تلقی نمود.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد استفاده از روش ترکیبی برای تخمین چگالی ظاهری خاک‌های منطقه‌ی مطالعاتی که دارای کلاس همبستگی مکانی متوسط هست از ارجحیت قابل توجهی نسبت به دو تخمین‌گر دیگر (نقشه‌ی ژئوفرم و نقشه‌ی کریجینگ) برخوردار نمی‌باشد. به دیگر سخن، هرچند مقدار $RMSE\%$ محاسبه‌شده برای روش ترکیبی، کمتر از دو تخمین‌گر دیگر است؛ لیکن اختلاف مقادیر $RMSE\%$ محاسبه‌شده برای تخمین این ویژگی توسط سه تخمین‌گر چندان قابل توجه نیست.

منابع

- صالحی، م. ح.، محمدی، ج.، خادمی، ح. و کریمیان اقبال، م. ۱۳۸۶. ارتقای کیفیت نقشه‌های مرسوم خاک از طریق ترکیب آن‌ها با تخمین‌گر کریجینگ. مجله‌ی علمی کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، جلد ۳۰ (شماره‌ی ۴)، ۹۳-۱۰۶.
- Bosun, S. Z. and Z. Qiguo. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical, China. *Geoderma*, 115: 85-99.
- Cambardella, C.A., Moorman, T. B., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F. and Konopka, A. E. 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58: 1501-1511.
- Hengl, T., Huvelink, G. B. M. and Stein, A. 2004. A generic framework for spatial prediction of soil 55 variables based on regression-kriging. *Geoderma*, 120:75-93.
- Heuvelink, G.B. and Bierkens, M. F. P. 1992. Combining soil maps with interpolation from point observations to predict quantitative soil properties. *Geoderma*, 55: 1-15.
- Goovaerts, P. 1999. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma*, 89: 1-45.
- Rashidi, M. and F. Keshavarzpour. 2007. Effect of different tillage methods on soil physicals properties and crop yield of Watermelon (*Citrullus vulgaris*). *ARPN J. Agric. and Biol. Sci.* 2(6): 1-6.
- Reinsch, T.G., Grossman, R.B. (1995): A method to predict bulk density of tilled Ap horizons. *Soil & Tillage Research*, 34:95-104.
- USDA Natural Resources Conservation Service. 2008. Soil Quality Indicators, Bulk Density.2pp. From www.soils.usda.gov, retrieved, 2012-10-02.
- Yang, R., Maob, H. and Shaoa, Y.G. 2009. An investigation on the distribution of eight hazardous heavy metals in the suburban farmland of China. *Journal of Hazardous Materials*, 167: 1246-1251.
- Zink J.A. 1989. *Physiography and Soils. Lecture notes for soil students. Soil Science Division, Soil Survey Courses Subject Matter: K6 ITC, Enschede, Netherlands.*



16th Iranian Soil Science Congress

University of Zanjan, Iran, August 27-29, 2019



Topic for submission: Novel Technologies in Soil Science

Combining the conventional and geostatistical mapping methods for the estimation of bulk density

Faryabi^{*1}, Z., Esfandiarpour Borujeni², I., Shekofteh, H.³

¹ Former M.Sc. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture Vali-E-Asr University of Rafsanjan, Iran

² Associate Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture Vali-E-Asr University of Rafsanjan, Iran

³ Assistant Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Jiroft, Iran

Abstract

Due to the significance relationship of bulk density with optimum water and soil management, this study has estimated this property in geoform map units of some parts of Sarduih area using the traditional soil mapping method, kriging method and their combination as single estimator. Therefore, 150 observation points (with a mean distance of 200 m) as a random classified sampling pattern, undisturbed samples were taken from each observation point by cylinder. After calculating the estimated values and error variance of the studied variable using the mentioned estimators, their validation was conducted using coefficient of determination (R^2) and relative root mean square error (RMSE%). results showed using the combined method had better estimates than two other estimators, although the difference in estimation accuracy was not great by the estimators.

Keywords: : Soil variability, Kriging, Traditional soil mapping.

* Corresponding author, Email: faryabizahra@ymail.com