مقایسه استنتاج فازی با دو نگرش قاعده‌محور و نمونه‌محور در پیش‌بینی الگوی پراکنش خاک در یک زمین‌چهر نیمه‌خشک در غرب ایران

جواد یلوه [۱]، پرویز شکاری [۱]، شاهرخ فاتحی [۲]
۱-دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه رازی، ۲-مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه.

چکیده
مدل SoLIM از رویکردهای نوین نقشه‌برداری رقومی خاک مبتنی بر رابطه‌ی خاک-محیط است. هدف پژوهش حاضر مقایسه نقشه‌های خروجی مدل SoLIM با دو نگرش قاعده‌محور[۱۵۱] (RB) و نمونه‌محور[۱۵۲] (SB) در بخشی از دشت میان‌دربند کرمانشاه به مساحت حدود ۲۳۰۰ هکتار بود. شش ویژگی مستخرجه از مدل رقومی ارتفاع (DEM)، نقشه مواد مادری و ۱۶ گروه مرجع (RSG) از ۲۶ خاکرخ، در استنتاج و ارزیابی نتایج SoLIMبه کار گرفته شده و پراکنش خاک‌ها در منطقه پس از ترکیب و نافازی‌سازی، نقشه گردید. نتایج ارزیابی نقشه‌ها، با اطلاعات ۲۷ خاکرخ و دو معیار صحت عمومی نقشه و نمایه‌ی کاپا به ترتیب برای روش قاعده محور ۷/۶۶ و ۵/۶۱ درصد و برای روش نمونه محور ۶/۲۹ و ۸/۲۱ درصد بود. با اطلاعات کارشناسی، RB نقشه‌ای نسبتا صحیح و پیوسته تولید کرد. نقشه SB الگوی لکه‌ای داشت و صحت رضایت‌بخشی نداشت. در شرایط نبود اطلاعات، می‌توان با روش(های) مناسب SB را در پیش‌بینی صحیح‌تر یاری نمود.

واژه‌های کلیدی: مدل رقومی ارتفاع، مدل SoLIM، منطق فازی، نقشه‌برداری رقومی خاک

مقدمه
یکی از مهم‌ترین مدل‌هایی که به منظور غلبه بر محدودیت‌های موجود در روش‌های سنتی شناسایی خاک ارائه شده است، مدل استنتاجی خاک-زمین[۱۵۳] یا SoLIM می‌باشد (Wilson and Gallant, ۲۰۰۰). اساس این مدل استنتاج فازی بر پایه دانش بدست‌آمده از داده‌ها و نظر کارشناس است که اصطلاحا دانش‌بنیاد[۱۵۴] نامیده می‌شود. صحت بالاتر نقشه‌ها یا برآورد ویژگی‌های خاک حاصل از SoLIM نسبت به روش‌های مرسوم در برخی مطالعات (Zhu et al., ۲۰۰۱; ۱۹۹۷)، گزارش شده است. در مطالعه دیگری (Zhu et al., ۱۹۹۶)، مقایسه‌ی SoLIM و روش سنتی در برآورد ضخامت افق A به ترتیب با ۵۸/۱۵ و ۳۹/۱۴ سانتی‌متر در مقابل مقدار اندازه‌گیری شده ۴۹/۱۵ سانتی‌متر، نشان از پیش‌بینی صحیح‌تر SoLIM داشت. به طور کلی در مناطقی که اطلاعات و دانش مناسبی از روابط خاک-زمین موجود باشد، این مدل برآوردهای قابل قبولی از ویژگی‌های خاک و زمین را در اختیار قرار می‌دهد.
این مدل بر مبنای یک فرآیند استنتاجی عمل می‌کند که خود بر مدل ینی استوار است (Shi et al., ۲۰۰۴) و به‌طور ساده به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S = f(E) \qquad (۱)$$

که در آن، S و E، به ترتیب، بیان‌گر خاک و متغیرهای محیطی هستند و f، نشان دهنده‌ی رابطه‌ی خاک-محیط (مدل خاک-زمین) می‌باشد (Zhu and Band, ۱۹۹۴). استنتاج فازی در SoLIM با دو نگرش قاعده‌محور و نمونه‌محور قابل اجرا است. هر دو نگرش بر این ایده استوارند که نوع خاک یا ویژگی‌های آن را می‌توان از شرایط محیطی مرتبط با خاک پیش‌بینی نمود. بنابراین، کاربست متغیرهای کمکی که چگونگی و اندازه اثر عوامل محیطی بر تمایز خاک‌ها را نشان می‌دهند، از نیازهای اساسی است (Zhu et al., ۱۹۹۷). از سوی دیگر، نگرش قاعده‌محور به تعریف مجموعه‌ای از قواعد (پایگاه دانش) که به خوبی رابطه‌ی خاک و محیط را توصیف کند وابسته است، در حالی‌که ملاک استنتاج در نگرش نمونه‌محور تنها نقاط مشاهداتی میدانی (نمونه‌های میدانی) می‌باشد. ایده‌ی بنیادی در نگرش نمونه‌محور این است که هر نمونه‌ی میدانی نشان‌گر یک رابطه‌ی اساسی میان خاک و شرایط محیطی مرتبط با آن است. به‌هرروی، در هر مطالعه ابعاد نقاط مشاهداتی با منطقه مطالعاتی قابل مقایسه نیست. این واقعیت در نگاه نخست یک نقطه ضعف برای نگرش نمونه‌محور به‌شمار می‌آید، اما به دست آوردن نظر کارشناسی و درک ارتباط میان خاک و عوامل محیطی نیز به تجربه میدانی و آزمایشگاهی و به‌دیگر سخن، زمان و هزینه فراوان نیاز دارد. براساس آنچه گفته شد، هدف از پژوهش حاضر

---
[۱۵۱] Rule-based
[۱۵۲] Sample-based
[۱۵۳] Soil Land Inference Model (SoLIM)
[۱۵۴] Knowledge-based

مقایسه خروجی مدل SoLIM در تهیه‌ی نقشه‌ی رقومی خاک بر اساس دو نگرش قاعده‌محور و نمونه‌محور در بخشی از دشت میان‌دربند کرمانشاه در حد امکانات موجود و شمار نقاط مشاهداتی قابل اجرا بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه به وسعت ۲۳۰۰ هکتار در پنج کیلومتری شمال غربی شهرکرمانشاه با مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و ۰ دقیقه و ۰ ثانیه تا ۴۷ درجه و ۰۶ دقیقه و ۱۸ ثانیه‌ی طول شرقی و ۳۴ درجه و ۲۴ دقیقه و ۳۶ ثانیه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه و ۵۴ ثانیه‌ی عرض شمالی واقع شده است. این منطقه دارای آب و هوای معتدل با زمستان‌های سرد می‌باشد. در این ناحیه، متوسط دمای سالیانه‌ی هوا ۱۴ درجه‌ی سانتي‌گراد و میانگین بارندگی سالیانه ۶/۴۶۲ میلي‌متر است. رژیم رطوبتی خاك ناحیه زریك و رژیم دمایی خاك ترمیك تعیین شده است (شرکت آب منطقه‌ای غرب، ۱۳۶۸).

اطلاعات ۵۳ خاکرخ شامل ۲۶ خاکرخ حفرشده و ۲۷ خاکرخ مربوط به قبل، در منطقه مورد مطالعه قرار گرفت. تمام خاکرخ‌های حفرشده بر اساس راهنمای تشریح و نمونه‌برداری خاک‌ها در صحرا (Schoenberger et al., ۲۰۱۲) تشریح، از افق‌های ژنتیک نمونه‌برداری، و آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی مورد نیاز بر اساس روش‌های استاندارد (Soil Survey Staff, ۲۰۱۴) انجام شد. خاکرخ‌ها مطابق با سامانه‌ی مرجع جهانی (IUSS, ۲۰۱۴) بررسی، و شانزده RSG شناسایی‌شده در منطقه با شمار مناسبی (سه تا پنج) از واصف‌ها[۱۵۵] تا سطح دوم رده‌بندی گردیدند.

با استفاده از DEM منطقه با دقت ۱۰ متر، شش پارامتر درجه شیب، جهت شیب، خمیدگی تراز[۱۵۶]، خمیدگی نیمرخی[۱۵۷]، ارتفاع و نمایه خیسی[۱۵۸] محاسبه شده و به همراه اطلاعات زمین‌شناسی منطقه، به عنوان داده‌های محیطی موثر در تمایز خاک‌ها در منطقه به‌کار رفت.

در هر یک از نگرش‌های قاعده‌محور و نمونه‌محور، نخست برای هر یک از شانزده RSG موجود یک نقشه فازی ساخته‌شد. به منظور به‌دست آوردن یک نقشه‌ی کلی از پراکنش خاکهای مختلف در منطقه از برهم‌نشانی[۱۵۹] نقشه‌های حاصل در هر نگرش، یک نقشه‌ی نافازی‌شده[۱۶۰] تهیه گردید. شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب نقشه‌های نهایی قاعده محور و نمونه محور حاصل را نشان می‌دهند.

برای ارزیابی نتایج از اطلاعات ۲۷ خاکرخ که در قالب سه ترانسکت شامل ۲۳ خاکرخ و نیز ۴ خاکرخ با پراکنش تصادفی در سطح منطقه توزیع شده بودند، استفاده گردید. ارزیابی نتایج، از طریق محاسبه‌ی دو معیار صحت عمومی نقشه[۱۶۱] (OA)و نمایه سازش کاپا[۱۶۲] (K) (Rossiter, ۲۰۰۰)، انجام گرفت. OA نشان‌گر درستی عملکرد الگوریتم در جداسازی مشاهدات است. K نیز یک روش چند متغیره در رابطه با ارزیابی درستی و صحت رده‌بندی نقشه است. این معیارها به کمک معادلات زیر قابل محاسبه می‌باشند:

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_{ii}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} X_{ij}} \qquad (۲)$$

$$K = \frac{N\sum_{i=1}^{n} X_{ii} - \sum_{i=1}^{n}(X_{i0} - X_{0i})}{N^2 - \sum_{i=1}^{n}(X_{i0} - X_{0i})} \qquad (۳)$$

که در آن‌ها، i و j، به ترتیب بیان‌گر سطر i اُم و ستون j اُم برای مشاهده‌ی X موجود در ماتریس درهمی[۱۶۳] می‌باشند.

بر اساس نتایج رده‌بندی خاکرخ‌های به‌کار رفته در ارزیابی خروجی SoLIM، نقشه‌های نقطه‌ای و رستری ساخته شده و ماتریس‌های درهمی تشکیل و مقادیر OA، و K استخراج گردید.

نتایج و بحث

نقشه‌های حاصل از استنتاج مبتنی بر هر یک از دو نگرش در اشکال ۱ و ۲ دیده می‌شود. مقایسه این اشکال آشکار می‌کند که نقشه قاعده‌محور ضمن آنکه گوناگونی تیپ‌های خاک را در منطقه به‌خوبی نشان می‌دهد، از پیوستگی بیشتر و در مجموع ساختار منطقی‌تری برخوردار است. صحت بیشتر نقشه قاعده‌محور را می‌توان ناشی از درک نسبتا خوب الگوریتم فازی از روابط خاک-زمین در شرایط منطقه مطالعاتی دانست. به دیگر سخن، مدل محدوده تاثیر هر ترکیب معین از مجموعه پارامترهای محیطی (مشتق از DEM) را در پهنه‌ی هر یک از تیپ‌های خاک بهتر تشخیص داده است (یلوه، ۱۳۹۳). چنانکه گفته شد، این درک بر پایه نظر

---

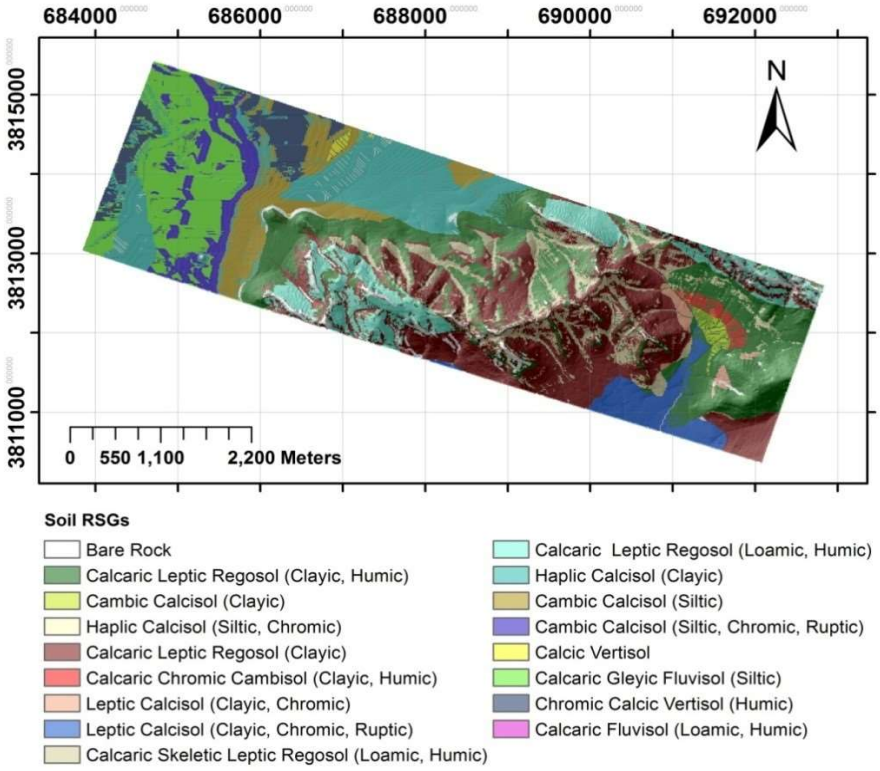
[۱۵۵] Qualifiers
[۱۵۶] Planform curvature
[۱۵۷] Profile curvature
[۱۵۸] Wetness index
[۱۵۹] Overlay
[۱۶۰] Defuzzified
[۱۶۱] Overall map accuracy
[۱۶۲] Kappa index of agreement
[۱۶۳] Confusion matrix

کارشناس آشنا با منطقه حاصل شده که هنگام تعریف قواعد فازی، به مدل معرفی می‌شود. بر این اساس می‌توان گفت درک درست روابط خاک-زمین توسط الگوریتم‌های گنجانده‌شده در چنین مدل‌هایی، در صحت نقشه‌های حاصله اثر به‌سزایی دارد. این نکته در دیگر مطالعات (باقری بداغ‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۱؛ Zu and Band, ۱۹۹۴) نیز تایید شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که برای دستیابی به صحت بالاتر در نگرش نمونه‌محور در منطقه مطالعاتی، باید شمار و پراکنش نقاط مشاهداتی افزایش یابد. جدول ۱ نشان می‌دهد که صحت پیش‌بینی نگرش نمونه‌محور در الگوی ترانسکت تنها ۸/۳۴% (۸ از ۲۳ خاکرخ) و برای خاکرخ‌های با پراکنش تصادفی، صفر و همین مقادیر برای نقشه قاعده‌محور ۷/۶۶ و ۶/۲۹ بود.

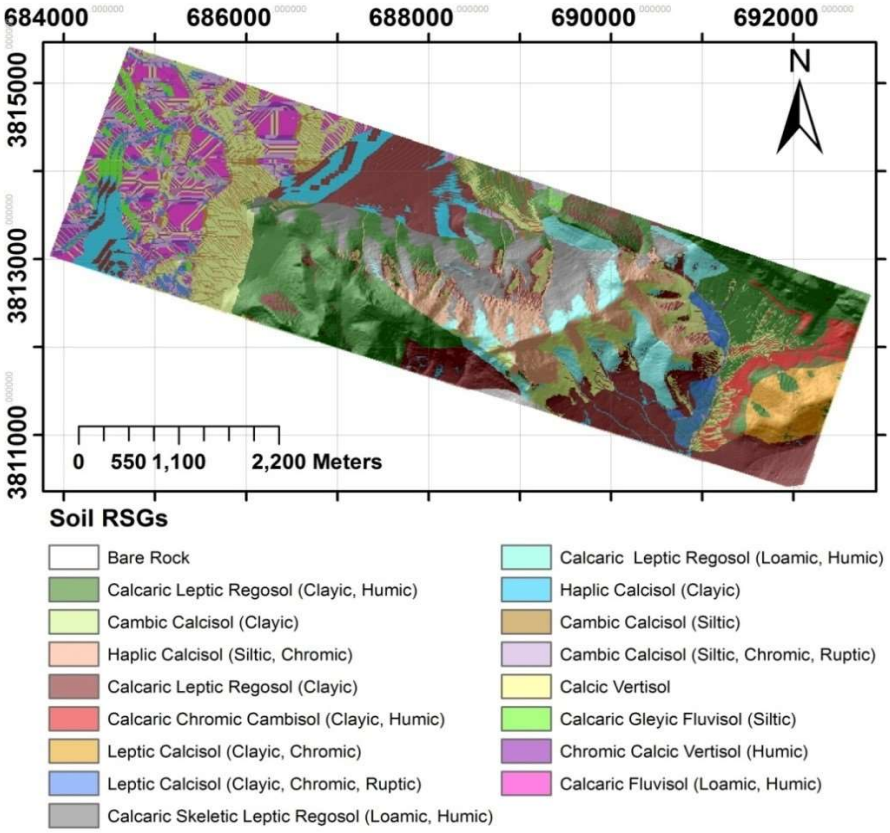
جدول ۱. مقادیر محاسبه شده صحت عمومی نقشه و نمایه سازش کاپا برای نقشه‌های تهیه شده.

نقشه قاعده محور	نقشه نمونه محور	معیار ارزیابی/الگوی نقاط ارزیابی
۷/۶۶	۶/۲۹	صحت عمومی نقشه
۵/۶۱	۸/۲۱	نمایه سازش کاپا
۲/۶۵	۸/۳۴	ترانسکت
۷۵	۰	تصادفی

بطور کلی، هنگامی که از تغییرپذیری خاک اطلاع قبلی در دست نباشد نگرش نمونه‌محور توجیه اجرایی بیشتری دارد. نگرش نمونه‌محور صرفا بر مشاهدات انجام‌شده تکیه دارد و صحت نقشه در این روش با افزایش شمار نقاط مشاهداتی در منطقه‌ی مورد مطالعه و تا رسیدن به شمار بهینه، افزایش می‌یابد. آشکار است که در این نگرش، شمار بسنده مشاهدات اهمیت بنیادین داشته و چیزی جای شمار و پوشش بهینه نقاط مشاهداتی را در منطقه نخواهد گرفت. الگوی لکه‌ای و پیوستگی کمتری که نسبت به نقشه قاعده‌محور در واحدهای نقشه تیپ‌های مختلف خاک در شکل ۲ دیده می‌شود، در درجه نخست ناشی از نابسندگی شمار نمونه‌ها است. بازتاب این کمبود را می‌توان با مقایسه OA و K در جدول ۱ که نیم تا یک‌سوم مقادیر مربوط به نقشه قاعده‌محور است، درک نمود. در چنین حالتی ممکن است بتوان با اجرای یک مطالعه زمین‌آماری



شکل ۱. نقشه نافازی‌شده پراکنش خاک‌ها در منطقه مورد مطالعه با نگرش قاعده‌محور.



شکل ۲. نقشه نافازی‌شده پراکنش خاک‌ها در منطقه مورد مطالعه با نگرش نمونه‌محور.

بر پایه نمونه‌گیری آشیانه‌ای، شدت تغییرات و فاصله مکانی آنها را آشکار کرده و از هزینه‌ها و زمان مورد نیاز برای اجرای نمونه‌گیری شبکه‌ای دوری جست.

به عنوان نتیجه‌گیری می‌توان گفت: در نگرش قاعده‌محور به دانش خاک‌شناسان آشنا به منطقه‌ی مورد مطالعه تکیه می‌شود و لذا برای نتیجه‌گیری رضایتبخش، وجود اطلاعات و تجربه قبلی از منطقه ضروری است. چنانچه اطلاعات قبلی در دست نباشد، بهتر است در کاربرد نگرش نمونه‌محور محافظه‌کار بود و پیش از استنتاج، دست‌کم معیاری از میزان تغییر در خاکهای منطقه را بدست آورد.

منابع

باقری بداغ آبادی،م. م.ح. صالحی، ع. اسفندیارپور بروجنی، ج. محمدی، ع. کریمی کارویه، ن. تومانیان. ۱۳۹۱. ارزیابی و بررسی تعمیم‌پذیری مدل استنباطی خاک- سرزمین (SoLIM) در نقشه‌برداری رقومی خاک با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و مشتقات آن. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شماره شصت و یکم، صفحه‌های ۱۵۵تا ۱۶۵.

شرکت سهامی آب منطقه‌ای غرب. ۱۳۶۸. گزارش مطالعات خاکشناسی نیمه تفصیلی دقیق اراضی پایین‌دست سد گاوشان- دشت دربند کرمانشاه.

یلوه، ج. ۱۳۹۳. نقشه‌برداری رقومی خاک با استفاده از مدل استنتاجی خاک-زمین (SoLIM). پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشگاه رازی.

Shi, X., Zhu A.X., Burt J.E., Qi F., Simonson D. ۲۰۰۴. A case-based reasoning approach to fuzzy soil mapping. Soil Sc. Soc. Amer. J. ۶۸: ۸۸۵-۸۹۴.

Zhu, A.X., L.E. Band. ۱۹۹۴. A knowledge-based approach to data integration for soil mapping. Canadian Journal of Remote Sensing ۲۰, ۴۰۸-۴۱۸.

Zhu, A., L. Band, B. Dutton, T.J. Nimlos. ۱۹۹۶. Automated soil inference under fuzzy logic. Ecol. Model. ۹۰, ۱۲۳-۴۵.

Zhu A., L. Band, R. Vertessy and B. Dutton. ۱۹۹۷. Derivation of soil properties using a soil land inference model (SoLIM). Soil Sci. Soc. of Amer. J. ۶۱. ۵۲۳-۵۳۳.
Zhu, A., B. Hudson, J. Burt, K. Lubich and D. Simonson. ۲۰۰۱. Soil mapping using GIS, expert knowledge, and fuzzy logic", Soil Sci. Soc. Amer. J. ۶۵: ۱۴۶۳-۱۴۷۲.
Rossiter D.G. ۲۰۰۰. Methodology for Soil Resource Inventories. ۲nd Resived Version. Soil Science Division. International institute for Aerospace Survey & Earth Science (ITC). ۱۳۲ pp.
Soil Survey Staff. ۲۰۱۴. Soil Survey Field and Laboratory MethodsManual. Soil Survey Investigations Report No. ۵۱, Version ۲.۰. R. Burt and SoilSurvey Staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
Willson, J.P. and J.C. Gallant. ۲۰۰۰. Terrain Analysis, Principles and Applications. John Wiley and Sons Inc., USA.
World reference base for soil resources ۲۰۱۴. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Food and agriculture organization of the united nations. Rome ۲۰۱۴. WORLD SOIL RESOURCES REPORTS ۱۰۶. ISSN ۰۵۳۲-۰۴۸۸.
IUSS Working Group WRB. ۲۰۱۴. World Reference Base for Soil Resources ۲۰۱۴. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. ۱۰۶. FAO, Rome.

Abstract

SoLIM is a new model of digital soil mapping, which uses soil-land relationships to predict soil distribution pattern. In this study, rule-based (RB) and sample-based (SB) outputs of SoLIM compared for a ۲۳۰۰ ha. area in Miandarband region of Kermanshah province. Six DEM-derived parameters, parent material map and ۱۶ distinguished RSGs from ۲۶ soil profiles over the region, used for inference. Predicted soil distribution patterns for each RSG overlaid, defuzzified, and mapped for both approaches. Resulted maps verified by calculating Kappa index of agreement (K) and overall map accuracy (OA), for information of ۲۷ soil profiles, which calculated ۶۷ and ۶۱.۵ vs. ۲۹.۶ and ۲۱.۷ percent for rule-based and sample-based approaches, respectively. Providing expert knowledge, RB prediction led to a relatively accurate and contiguous map. SB map was patchy with low prediction accuracy. In case of no prior knowledge, SB could be assisted by some proper method(s) to produce more accurate predictions.