Determination of Soil Fertility Management Zones in Honam Sub-Basin for Wheat Production Using Geostatistical Methods, Principal Component Analysis & Fuzzy Clustering (Lorestan Province)

Hamed Rezaei[1*], Farhad Moshiri[2], Mohammad Reza Balali[3], Kambiz Bazargan[4], Leila Esmaeelnejad[5], Sina Mallah[6]

(Received: September, 2021 Accepted: December, 2021)

Abstract

Recognition of soil fertility status, it is possible to identify areas with the problem of deficiency or toxicity of soil nutrients & is effective in selecting homogeneous management units. This study tries to determine the soil fertility management zones in the Honam sub-basin. 164 surface soil samples were selected & soil physical & chemical properties were measured. After statistical analysis, the spatial distribution of each property was investigated via geostatistical techniques. Using the principal component test, important soil properties that have the greatest impact on soil fertility were extracted & finally, soil fertility management zones were determined using Fuzz method. Two fertility management zones were identified in the region that the rates of TNV, available K, Fe, Mg, & Zn were significantly different in these two zones. The concentration of Zn in zone one & two is in the medium & low, respectively. Available Mn in zone two was low & it is necessary to fertilize it. Soil organic carbon in both areas is far from its optimum amount, which limits soil production capacity. Due to the medium to heavy texture of the soils of the region, the importance of increasing OC to improve soil fertility becomes more apparent.

Key words: Optimum limit, Nutrition elements, Organic carbon, Precision agriculture

Rezaei H., Moshiri F., Balali M.R. Bazargan K., Esmaeelnejad L., Mallah S. 2024. Determination of Soil Fertility Management Zones in Honam Sub-Basin for Wheat Production Using Geostatistical Methods, Principal Component Analysis & Fuzzy Clustering (Lorestan Province). *Applied Soil Research*. 12(3): 16-32.

1, 3 & 4. Associate professor, Soil & Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2 & 5. Assistant professor, Soil & Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
6. Researcher, Soil & Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
* Corresponding Author Email: rezaei_h@yahoo.com

تعیین واحدهای مدیریت حاصل‌خیزی خاک برای تولید گندم با استفاده از روش‌های زمین‌آمار، آنالیز مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی فازی در زیرحوزه هنام (استان لرستان)

حامد رضایی[1*]، فرهاد مشیری[2]، محمدرضا بلالی[3]، کامبیز بازرگان[4]، لیلا اسمعیل نژاد[5]، سینا ملاح[6]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۸)

چکیده

شناخت وضعیت حاصل‌خیزی خاک، امکان شناسایی مناطقی با مشکل کمبود یا سمیت عناصرغذایی خاک را فراهم نموده و در انتخاب واحدهای همگن مدیریتی مؤثر است. این پژوهش سعی دارد که نواحی مدیریت حاصل‌خیزی خاک در زیرحوزه هنام (استان لرستان) را تعیین کند. تعداد ۱۶۴ نمونه خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر) از مزارع واقع در زیرحوزه هنام استان لرستان با مساحت حدود ۱۴۰۰۰ هکتار جمع‌آوری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد. پس از تجزیه آماری، توزیع مکانی هر ویژگی مشخص و با کمک روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ویژگی‌های مهم خاک که بیشترین تأثیر را در حاصل‌خیزی خاک داشتند استخراج شدند. در نهایت با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی نواحی مدیریت حاصل‌خیزی خاک تعیین شدند. دو ناحیه مدیریت حاصل‌خیزی در منطقه تفکیک شد که مقادیر کربنات‌ها، پتاسیم، آهن، منگنز و روی در آن‌ها با هم تفاوت معناداری داشتند. غلظت روی در ناحیه یک در محدوده متوسط و در ناحیه دو در محدوده کم قرار داشت. منگنز قابل استفاده خاک در ناحیه دو، کمتر از حد بهینه بود. کربن آلی خاک در هر دو ناحیه، با مقدار بهینه فاصله زیادی داشت که توان تولید خاک‌ها را محدود می‌کند. لذا با توجه به بافت متوسط تا ریز خاک‌های منطقه، اهمیت افزایش کربن آلی برای بهبود حاصل‌خیزی خاک‌ها بیشتر نمایان می‌شود.

واژه های کلیدی: واحد همگن، حد بهینه، عناصر غذایی، کربن آلی، کشاورزی دقیق

رضایی ح.، مشیری ف.، بلالی م.ر.، بازرگان ک.، اسمعیل نژاد ل.، ملاح س. ۱۴۰۳. تعیین واحدهای مدیریت حاصل‌خیزی خاک برای تولید گندم با استفاده از روش‌های زمین‌آمار، آنالیز مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی فازی در زیرحوزه هنام (استان لرستان). تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۲، شماره ۳. صفحه: ۱۶-۳۲.

۱، ۳ و ۴- دانشیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲و ۵- استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۶- پژوهشگر مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
* پست الکترونیک: rezaei_h@yahoo.com

مقدمه

مدیریت حاصل‌خیزی خاک و کودها از جمله عوامل مهم بر کیفیت خاک به‌شمار می‌رود. از یک سو افزایش تولید متأثر از مصرف کودها است و از دیگر سو کوددهی نامتعادل خاک‌ها منجر به بروز عدم توازن غذایی در خاک می‌شود. هم‌چنین روند رو به رشد افزایش عملکرد محصولات، خروج عناصر غذایی از خاک از طریق برداشت محصولات، آبشویی و کاهش نسبت مصرف کودهای دامی به کودهای شیمیایی موجب بهم‌ریختگی و عدم تعادل در تغذیه گیاه و حاصل‌خیزی خاک می‌گردد. در یک مطالعه موردی، متوسط سرانه اراضی قابل کشت در دنیا طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ از ۰/۳۳ به ۰/۱۴ هکتار کاهش داشت، درحالی‌که برای تعیین نیاز غذایی، این مقدار باید در حدود ۰/۵ هکتار بود (FAO, 1994). در مقابل، راه‌کارهای مبتنی بر مدیریت بهینه و استفاده پایدار از منابع طبیعی برای کنترل سیر قهقرایی تخریب و پسرفت خاک ارائه شده‌اند که هدف آن‌ها ایجاد تعادل بین میزان تولید از یک‌سو و حفظ و بهبود کیفیت منابع خاک از سوی دیگر می‌باشد. هرچند این مفاهیم بسیار ضروری و مفید هستند، ولی باید بتوان آن‌ها را به‌صورت کمی بیان نمود. بدین‌منظور تعریف و تعیین شاخص‌های پایداری مانند حاصل‌خیزی و کیفیت خاک و بررسی تأثیر تخریب و پسرفت خاک بر این شاخص‌ها ضروری می‌باشد.

الگوی توزیع مکانی خصوصیات خاک می‌تواند یک عنصر کلیدی در شکل‌دهی جریان مواد غذایی و آب در اکوسیستم‌ها باشد و شناسایی این الگوها برای تشخیص فرایندهای خاک و سپس انجام عملیات مدیریتی مناسب در این مناطق مهم است (Cambardella *et al*., 1994). با بررسی الگوی پراکنش مکانی ویژگی‌های خاک می‌توان نقاط بحرانی کاهش کیفیت خاک را شناسایی کرد و اقدام مؤثری در جهت افزایش کارایی آن از نظر بهبود ویژگی‌های خاک در راستای افزایش عملکرد یک محصول خاص را انجام داد (Behera & Shukla, 2015). خاک دارای تغییرات مکانی و زمانی در مقیاس‌های کوچک و بزرگ است که خصوصیات ذاتی (فاکتورهای خاکسازی مانند مواد مادری) و خصوصیات غیر ذاتی (مانند عملیات مدیریتی خاک، کوددهی و تناوب زراعی) روی آن تأثیر دارد (Shukla *et al*., 2017). آگاهی از نحوه پراکنش و تغییرپذیری ویژگی های خاک و عملکرد در مزارع برای دستیابی به تولید بیشتر و مدیریت بهتر و پایدار، ضروری است (Denton *et al*., 2017). تعیین و کمی کردن غیریکنواختی خصوصیات خاک به‌منظور درک بهتر تأثیر ویژگی‌هایی مانند مدیریت و آلودگی و درنهایت دستیابی به عملیات زراعی مناسب، از مسایل مهم و قابل توجه می‌باشد(Cambardella *et al*., 1994). روش‌های متعددی برای نشان دادن تغییرپذیری خصوصیات خاک وجود دارند. شاخه‌ای از علم آمار کاربردی به نام زمین‌آمار[1] قادر است خصوصیات مکان‌های نمونه‌برداری نشده را با استفاده از تخمین‌گرهای مختلف مانند کریجینگ[2] و اطلاعات نقاط نمونه‌برداری شده برآورد نماید (Goovarets, 1997). درک مناسب از توزیع مکانی خواص خاک و نقشه‌برداری آن‌ها، کلید مدیریت ویژه مکانی خاک برای تولید پایدار محصول با استفاده از میزان متغیر مواد مغذی است (Behera & Shukla, 2015; Delgardo & Gomez, 2016; Denton *et al*., 2017; Shukla *et al*., 2017). محمدزمانی و همکاران (MohammadZamani *et al*., 2015) با استفاده از روش کریجینگ در یک مزرعه گندم در گرگان نشان دادند که خصوصیات خاک و محصول در مزرعه مورد مطالعه، الگوی تصادفی نداشته و دارای پراکنش مکانی است. در پژوهش آن‌ها پراکنش مکانی نیتروژن کل، مشابه پراکنش مکانی ماده آلی بود و توزیع مکانی ضریب برداشت با پراکنش مکانی فسفر قابل جذب مشابهت داشت. یکی از روش‌های برآورد خصوصیات خاک، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA[3]) است که در مطالعات متعددی به‌کار گرفته شده است. تعدادی از پژوهشگران (Davatgar *et al*., 2012; Nawar *et al*., 2017; *Shukla et al*., 2017; Tripathi *et al*., 2015) نواحی مدیریت حاصل‌خیزی خاک را در اکوسیستم‌های متفاوت کشاورزی از جمله محصولات مختلف برای مدیریت ویژه مکانی خاک با استفاده از زمین‌آمار، PCA و طبقه‌بندی فازی مشخص کرده‌اند. ایوبی و خرمالی (Ayoubi & Khormali, 2008) با به‌کارگیری تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تکنیک زمین‌آمار، تغییرپذیری مکانی عناصر غذایی قابل استفاده در خاک سطحی در منطقه آپاپولی، ایالت آندراپرادش هند را مورد بررسی قرار دادند. تعیین نواحی مدیریتی یکی از روش‌های

1 . Geo-statistics

2 . Kriging

3 . Principal Component Analysis

مؤثر برای مدیریت تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک است. در واقع نواحی مدیریتی مناطق همگنی هستند که از مناطق مجاور خود متفاوت هستند و براساس نیاز واقعی گیاه و خصوصیات خاک نیاز به مدیریت و سطوح مناسبی از نهاده‌ها مانند بذر، کود، آفت‌کش و آب دارند. دواتگر و همکاران (Davatgar *et al*., 2012) نیز نواحی مدیریتی را در خاک‌های شالیزاری شمال ایران با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی[1] تعیین کردند.

با توجه به اهمیت آب و خاک در تأمین غذا، حوزه کرخه به‌عنوان یکی از پایگاه‌های آزمایشی چالش جهانی آب و غذا انتخاب شد. فاز اول این برنامه از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ در سطح زیرحوزه به انجام رسید و از سال ۲۰۱۲ ادامه آن در قالب فاز دوم در سطح مزرعه توسط مؤسسات پژوهشی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی با مشارکت ایکاردا[2] پیگیری شد. در خاک‌های ایران به‌دلیل آهک زیاد، ماده آلی کم، وجود یون‌های کربنات و بی‌کربنات در آب‌های آبیاری، مصرف بالای کودهای حاوی فسفر، کاشت ارقام با پتانسیل عملکرد بالا و عدم کاربرد عناصرکم‌مصرف در سال‌های گذشته کمبود عناصرکم‌مصرف در اغلب مزارع و باغ‌ها عمومیت دارد (Malakouti & Tehrani, 2005). دست‌یابی به تصویر کلی از شرایط عناصر غذایی کم مصرف در خاک‌ها این امکان را فراهم می‌آورد که نواحی، خاک‌ها و شرایطی که در آن‌ها وضعیت یک یا چند عنصر دچار مشکل است (کمبود یا سمیت) مکان‌یابی شده که این موضوع می‌تواند در انتخاب هدفمند پژوهش‌ها، امکان رصد نمودن در سال‌های بعد، انتخاب نقاط آزمایش‌های مزرعه‌ای، برآورد کود مورد نیاز در منطقه برای تأمین آن و انتخاب واحدهای همگن مدیریتی کمک کند. تا به حال در زیرحوزه هنام مطالعه‌ای در ارتباط با تغییرپذیری عناصر غذایی و منشأ این تغییرات در راستای کشاورزی دقیق و مصرف بهینه کودها انجام نگرفته است. به‌نظر می‌رسد که استفاده از تکنیک زمین‌آمار در راستای شناخت تغییرپذیری مکانی عناصر غذایی قابل استفاده برای گیاه و بهبود مدیریت، مناسب باشد. لذا این پژوهش سعی دارد که واحدهای مدیریت حاصل‌خیزی خاک در زیرحوزه هنام را با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آماری، تحلیل مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی فازی تعیین کند.

مواد و روش ها

معرفی منطقه مطالعاتی

حوزه آبخیز هنام واقع در جنوب شهر الشتر بین ´۱۲ °۴۸ تا ´۲۸ °۴۸ طول شرقی و ´۴۵ °۳۳ تا ´۵۱ °۳۳ عرض شمالی قرار گرفته است. وسعت کل حوزه ۱۴۲۰۰ هکتار است که ۵۲۲۷ هکتار آن را اراضی زراعی تشکیل می‌دهد. کشت غالب در هنام، کشت دیم گندم، جو و نخود می باشد. بخش محدودی از اراضی نیز تحت کشت باغ‌های مثمر می‌باشد که محدود به کناره‌های رودخانه است. این منطقه دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً معتدل بوده و اقلیم آن براساس سیستم دومارتن (Beck *et al*., 2006) مرطوب است. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب زریک و مزیک می‌باشند.

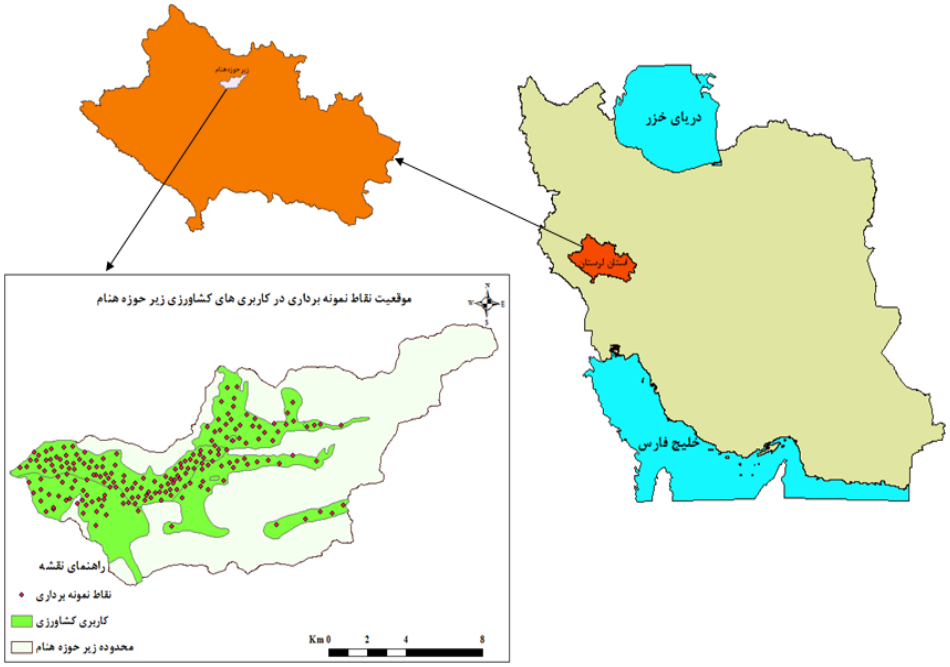
مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی

موقعیت حوزه آبخیز هنام و نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده است. انتخاب محل نمونه‌برداری به نحوی بود که تقریباً در وسط مزرعه و دور از جاده و یا مرز مزارع واقع شود. بر این اساس، در داخل مزرعه، یک قطعه یک هکتاری انتخاب شد و به روش شعاعی (دایره‌ای با شعاع ۵۰ متر که مرکز آن توسط سامانه موقعیت یاب جهانی (GPS[3]) تعیین شد) نمونه‌برداری انجام گرفت. در هر واحد نمونه‌برداری (دایره‌ای با شعاع ۵۰ متر)، برای به‌دست آوردن نتایج قابل قبول حداقل ۱۵ نمونه ساده برداشته شد و با مخلوط کردن آن‌ها نمونه‌های مرکب پنج کیلوگرمی تهیه شد. در نهایت، ۱۶۴ نمونه خاک تهیه شده، پس از خشک شدن و الک کردن (۲ میلی‌متری) خاک، تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت به‌روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986) ، کربن‌آلی خاک به‌روش والکلی و بلک (Walkley & Black, 1934)، pH گل اشباع به‌وسیله الکترود شیشه‌ای (Mc Lean, 1982)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع با دستگاه هدایت‌سنج (Black *et al*., 1965)، فسفر قابل‌جذب با روش اولسن (Olsen *et al*., 1954) ، آهن، روی، منگنز و مس قابل استفاده با عصاره‌گیر DTPA و با دستگاه جذب اتمی در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج اندازه‌گیری شدند.

1 . Fuzzy Clustering

2 . ICARDA

3. Global Positioning System



شکل ۱- موقعیت ۱۶۴ نقطه نمونه‌برداری و زیرحوزه هنام در استان لرستان

Figure 1. Location of 164 sampling points & Honam sub-basin in Lorestan Province

تجزیه و تحلیل داده‌ها

مهم‌ترین آماره‌های توصیفی شامل شاخص‌های موقعیت توزیع (میانگین)، شاخص‌های پراکنش (واریانس، انحراف معیار) و شکل توزیع (چولگی، کشیدگی و ضریب تغییرات) داده‌ها به کمک نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۰) تعیین شدند. برای تبدیل نقاط به پهنه دو مرحله واریوگرافی و تخمین وجود دارد. در مرحله اول ساختار مکانی متغیر مدل‌سازی می‌شود. برای این منظور از نیم‌تغییرنما استفاده می‌شود. در مرحله بعدی با استفاده از مؤلفه‌های نیم تغییرنما، تخمین متغیرها در نقاط نمونه‌برداری نشده انجام می‌گیرد (Mohammadi, 2006) که نیم تغییرنما به صورت زیر تعریف می‌شود (Behera *et al.*, 2018):

$$\hat{\gamma}(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}[Z(x_i)-Z(x_i+h)]^2 \qquad (۱)$$

که در آن؛ N زوج مشاهدات، Z(xi) و Z(xi+h) مقدار متغیر در دو نقطه است که به فاصله h از هم قرار دارند. برای برازش بهترین مدل نظری بر نیم‌تغییرنما از مجموع مربعات باقیمانده و ضریب تبیین استفاده شد (Schoning *et al.*, 2006). بعد از برازش مدل‌ها به نیم‌تغییرنما، از سه پارامتر مدل یعنی واریانس قطعه‌ای، دامنه و آستانه برای پی بردن به سرشت تغییرپذیری و قدرت ساختار مکانی ویژگی‌ها استفاده شد. برای مدل‌سازی نیم‌تغییرنما از نرم‌افزار GS^+ نسخه ۵/۱ استفاده شد. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف–اسمیرنوف[1] بررسی شد. برای آن گروه از متغیرها که توزیع فراوانی غیرنرمال داشتند، ابتدا داده‌ها با استفاده از تبدیل لگاریتمی به توزیع فراوانی نرمال تبدیل و سپس برازش مدل نیم‌تغییرنما بر داده‌های تبدیل یافته انجام شد.

ارزیابی صحت تخمین

برای تعیین قدرت پیش‌بینی خواص در نقاط نمونه‌برداری نشده از آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطای تخمین نرمال شده (NRMSE)، ضریب تبیین (R^2)، میانگین اُریب خطا (MBE) و معیار نیکویی برازش (G) استفاده شد. این آماره‌ها عبارتند از [۵]:

(۲)

$$NRMSE=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}[Z^*(x_i)-Z(x_i)]^2}/\overline{Z}$$

1. Kolmogrov-Smirnov

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}[Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2}{\sum_{i=1}^{n}[Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2} \quad (۳)$$

$$MBE = bias = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}[Z^*(x_i) - Z(x_i)] \quad (۴)$$

$$G = 1 - \frac{MSE}{MSE_{average}} \times 100 \quad (۵)$$

که در آنها؛ $Z^*(x_i)$ مقدار تخمینی ویژگی موردنظر در نقطه‌ی x_i، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده ویژگی در نقطه x_i، $\bar{Z}$ مقدار میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده متغیر و n تعداد نقاط می‌باشند. در آماره G، $MSE_{average}$ میانگین مربعات خطایی است که از مقدار میانگین منطقه به‌عنوان برآوردی برای تمام داده‌های آزمایش به‌دست می‌آید. مقادیر مثبت G، حاکی از دقیق‌تر بودن نقشه میان‌یابی شده نسبت به مقادیر میانگین منطقه است. به‌عبارتی، نقشه به‌دست آمده از درون‌یابی داده‌ها از مقدار متوسط منطقه دقیق‌تر است و مقدار متوسط مقادیر نقاط بدون نمونه را به‌دقت و حتی بهتر از نمونه‌برداری پیش‌بینی می‌کند. NRMSE در بازه کمتر از ۱۰، ۱۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۳۰ و بیشتر از ۳۰ به‌ترتیب نشان‌دهنده وضعیت بسیار مناسب، مناسب، متوسط، و عدم اطمینان به برآورد روش درون‌یابی است (Singh *et al*., 2008). آماره MBE میانگین خطا است که هر چه به صفر نزدیک باشد صحت برآورد بیشتر است.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

برای انتخاب مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر بر تعیین واحدهای مدیریت حاصل‌خیزی خاک، از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. برای انتخاب تعداد مؤلفه‌های مؤثر، مؤلفه‌هایی انتخاب شدند که ارزش ویژه[1] آن‌ها بیشتر از یک باشد. به‌منظور ارزیابی شایستگی داده‌ها برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی از ضریب KMO (Kaiser, 1974) و به‌منظور بررسی رابطه قوی بین متغیرها (معناداری اطلاعات موجود در ماتریس همبستگی) از آزمون کرویت بارتلت (Bartlett, 1954) استفاده شد. در آزمون کرویت بارتلت، اعداد با معناداری بیش از ۹۵٪ برای PCA مناسب هستند (Schoning *et al*., 2006). همچنین محدوده ضریب KMO از صفر تا یک است و در صورتی‌که بیش از ۰/۵ باشد داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب خواهند بود (Hair *et al*., 2006). همچنین به‌منظور انتخاب و تفسیر ویژگی‌های مهم و کنترل‌کننده بیشترین تغییرات در هر مؤلفه، از معیار انتخاب ($SC=0.5(PC_{Eigenvalue})^{0.5}$) استفاده شد (Ovalles & Collins, 1988).

از روش خوشه‌بندی فازی[2] برای خوشه‌بندی داده‌ها استفاده شد (Seyedmohammadi *et al*., 2018). از دو معیار شاخص عملکرد فازی[3] و آنتروپی طبقه‌بندی نرمال شده[4] برای تعیین تعداد خوشه مناسب استفاده شد (Behera *et al*., 2018; Minansy & Mc Bratney, 2005).

$$FPI = 1 - \frac{C}{C-1}\left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{c}\sum_{k=1}^{n}(\mu_{ik})^2}{n}\right] \quad (۶)$$

$$NCE = \frac{n}{n-c}\left[1 - \frac{\sum_{k=1}^{n}\sum_{i=1}^{c}\mu_{ik}log_a(\mu_{ik})}{n}\right] \quad (۷)$$

که در آن C، n، μ_{ik} و $\log_a$ به‌ترتیب نشان‌دهنده تعداد خوشه‌ها، تعداد مشاهدات، عضویت فازی و لگاریتم طبیعی است.

ترسیم نقشه‌ها

برای مدل‌سازی نیم‌تغییرنما از نرم‌افزار (Version 5.1) GS^+ استفاده شد. برای پهنه‌بندی توزیع مکانی متغیرهای اندازه‌گیری شده در مواردی که تغییرات نظام‌دار و همبستگی مکانی در بین نمونه‌ها وجود داشت از کریجینگ و در شرایط استقلال مکانی و غالب بودن تغییرات تصادفی در نمونه‌ها از روش وزن‌دهی عکس فاصله[5] می‌توان استفاده نمود (Ayoubi & Khormali, 2008). در این پژوهش، همه ویژگی‌ها از یک مدل نیم‌تغییرنمای سقف‌دار پیروی نموده؛ در نتیجه از تخمین‌گر کریجینگ برای تخمین آن‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

بررسی خصوصیات خاک

نتایج بررسی آماری خصوصیات خاک نشان می‌دهد که میانگین pH خاک‌های منطقه ۷/۶ است (جدول ۱). قابلیت هدایت الکتریکی خاک نیز از ۰/۳۶ تا ۲/۳۱ دسی‌زیمنس بر متر متغیر بوده و مقدار میانگین آن نیز ۰/۷۴ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. بنابراین خاک‌های منطقه در حال حاضر مشکل شوری ندارند. ولی چنان‌چه منابع آب و خاک منطقه

1. Eigen Value
2. Fuzzy k-mean
3. FPI, Fuzzy Performance Index
4. NCE, Normalized classified Entropy
5. Inverse Distance Weighting, IDW

مدیریت نشوند ممکن است موجبات شوری و قلیایی شدن خاک‌ها فراهم شود.

جدول ۱- آماره‌های مربوط به ویژگی‌های خاک در زیرحوزه هنام

Table 1. Statistics related to soil properties under Henam

	unit	mean	median	SD	CV (%)	variance	skewness	kurtosis	min	max
pH	-	7.6	7.6	0.14	1.84	0.02	-1.1	4.19	6.94	7.98
EC	$dS.m^{-1}$	0.74	0.66	0.29	39.86	0.087	2.45	8.45	0.36	2.31
$CaCO_3$	%	26.54	28	8.65	32.57	74.78	-0.65	1.44	0.26	52.1
OC		1.55	1.4	0.65	41.93	0.424	1.38	2.04	0.5	3.8
Available P		10.95	8.2	8.62	78.72	74.38	1.75	2.98	0.6	43.8
Available K		368.8	341	1.29	35	1.68	1.97	7.96	123	1124
Available Fe	$mg.kg^{-1}$	9.99	9.7	4.57	45.74	20.89	0.376	-0.199	2.1	23.1
Available Mg		13.36	11.9	6.68	76.19	44.65	0.875	0.423	3.1	35.2
Available Zn		0.634	0.56	0.29	45.58	0.084	1.44	2.54	0.28	1.9
Available Cu		1.72	1.7	0.33	19.18	0.112	-0.033	0.365	0.9	2.7
S&		10.77	10	4.78	44.38	22.9	0.838	1.2	2	30
Silt	%	46.05	46	5.61	12.18	31.48	0.059	-0.064	32	62
Clay		43.17	43	5.48	13.52	34.12	-0.156	-0.021	28	61

SD: St&ard Deviation, CV: Coefficient of Variations

بافت خاک منطقه هنام در کلاس بافتی متوسط و ریز قرار داشت. حدود ۷۰ درصد از مناطق مطالعه شده، دارای خاک با بافت لوم‌رسی‌سیلتی، ۲۰ درصد بافت رسی‌سیلتی، ۸ درصد رسی و ۲ درصد لوم‌رسی بودند. مقادیرکمینه، بیشینه و میانگین کربن آلی خاک به‌ترتیب ۰/۰۵، ۳/۸ و ۱/۵۵ درصد بود. مقدار کربن آلی در ۳۶ درصد از خاک‌ها کمتر از یک درصد بود.

مقادیر خصوصیات خاک با ضریب تغییرات ۱۵-۰، ۳۵-۱۵ و۱۰۰-۳۵ به‌ترتیب دارای تغییرپذیری کم، متوسط و زیاد هستند (Pallant, 2005; Tripathi *et al*., 2015; Wilding *et al*., 1194). پ‌هاش، پتاسیم، سیلت و رس دارای تغییرپذیری کم، کربنات کلسیم معادل و مس دارای تغییرپذیری متوسط و سایر ویژگی‌های خاک دارای تغییرپذیری زیاد هستند. کمترین ضریب تغییرات مربوط به پ‌هاش و پتاسیم و بیشترین آن مربوط به فسفر بود. این نتایج با یافته‌های (Tesfahunegn *et al*., 2011; Davatgar *et al*., 2012) مطابقت دارد. در مطالعات ذکر شده نیز پ‌هاش دارای کمترین تغییرپذیری بود. مورال و همکاران (Moral *et al*., 2010) و پرالتا و کاستا (Peralta & Costa, 2013) معتقد هستند که تغییرپذیری زیاد در خصوصیات خاک برآیند فرآیندهای خاکسازی، شرایط اقلیمی و تأثیرات انسان مثل مدیریت‌های خاک-گیاه، کوددهی و شخم زدن است. بیشتر ویژگی‌های خاک دارای تغییرپذیری زیاد بوده و انتظار می‌رود بتوان به‌راحتی نواحی مدیریت حاصل‌خیزی را تعیین کرد.

همبستگی بین پارامترهای مختلف خاک

ضرایب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های مختلف خاک در جدول ۲ آورده شده است. ویژگی‌های خاک، همبستگی‌های مثبت و منفی معناداری با هم دارند که می‌تواند بیانگر الگوهای مشابه یا متضاد در پراکنش مکانی آن‌ها در منطقه باشد (Black *et al*., 1965). وجود همبستگی بین ویژگی‌های خاک، یکی از پیش‌نیازهای تحلیل عاملی بوده و برای تعیین مؤلفه‌های اصلی ضروری است.

جدول ۲- ضرایب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های مختلف خاک

Table 2. Pearson correlation coefficients between different soil properties

	pH	EC	TNV	OC	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu	S&	silt	clay
pH	1												
EC	-0.295**	1											
TNV	0.049*	-0.048	1										
OC	-0.090*	0.465	-0.103	1									
P	-0.176	0.327	0.025	0.485*	1								
K	-0.125	0.333	-0.430	0.423*	0.298	1							
Fe	-0.041	-0.004*	-0.370*	0.267	0.037	0.112	1						
Mn	-0.117*	0.068	-0.235*	0.160	0.194	0.450	0.516	1					
Zn	0.001*	0.290*	-0.185*	0.612*	0.434	0.211	0.236	0.224	1				
Cu	-0.024*	0.058	-0.379	0.146*	-0.117	0.105	0.706	0.286	0.142	1			
s&	-0.005	0.074	0.174	0.135	0.315	-0.107	-0.017*	0.136*	0.231*	-0.276*	1		
silt	0.049	-0.044	0.336	-0.256	-0.068	-0.035	-0.417	-0.008	-0.271	-0.400	-0.377	1	
clay	-0.043	-0.019	-0.465*	0.142*	-0.162*	0.109*	0.391	-0.088	0.086	0.557*	-0.457	-0.651	1

pH: پ‌هاش، EC: قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)، TNV: کربنات کلسیم معادل (٪)، OC: کربن آلی (٪)، P، K، Fe، Mn، Zn، Cu: به‌ترتیب فسفر قابل استفاده، پتاسیم قابل استفاده، آهن قابل استفاده، منگنز قابل استفاده، و روی قابل استفاده (میلی‌گرم در کیلوگرم)، S&، Silt و Clay به‌ترتیب شن، سیلت و رس (٪) هستند.

ساختار مکانی ویژگی‌های خاک

مدل‌ها و مقادیر پارامترهای نیم‌تغییرنمای برازش داده شده بر هر یک از ویژگی‌های خاک در جدول ۳ ارائه شده است. اثر قطعه‌ای که نشان‌دهنده تغییرپذیری ویژگی‌های خاک در مقیاس کوچک است، برای همه ویژگی‌های خاک بسیار کوچک بود (۰/۷۰۵-۰/۰۱)، به‌جز برای منگنز قابل استفاده که مقدار اثر قطعه‌ای در آن ۸/۱ است. هدایت الکتریکی، پتاسیم، شن، سیلت و رس دارای ساختار مکانی قوی و سایر پارامترها دارای ساختار مکانی متوسط هستند. ساختار مکانی قوی بیشتر تحت تأثیر عوامل ذاتی مثل فرآیندهای خاکسازی، مواد مادری، کانی‌شناسی و بافت است؛ در حالی‌که ساختار مکانی متوسط حاکی از تأثیر توأمان ویژگی‌های ذاتی خاک و عوامل خارجی نظیر مدیریت خاک است. مدیریت خاک می‌تواند مشتمل بر شخم، آبیاری، کوددهی و ... باشد که تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مطالعات مختلف حاکی از ساختارهای مکانی مختلف برای ویژگی‌های خاک است (Weindorf & Zhu, 2010; Wani *et al*., 2016;) که تأثیر همزمان و با درجات مختلف عوامل ذاتی و خارجی بر تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک را نشان می‌دهند.

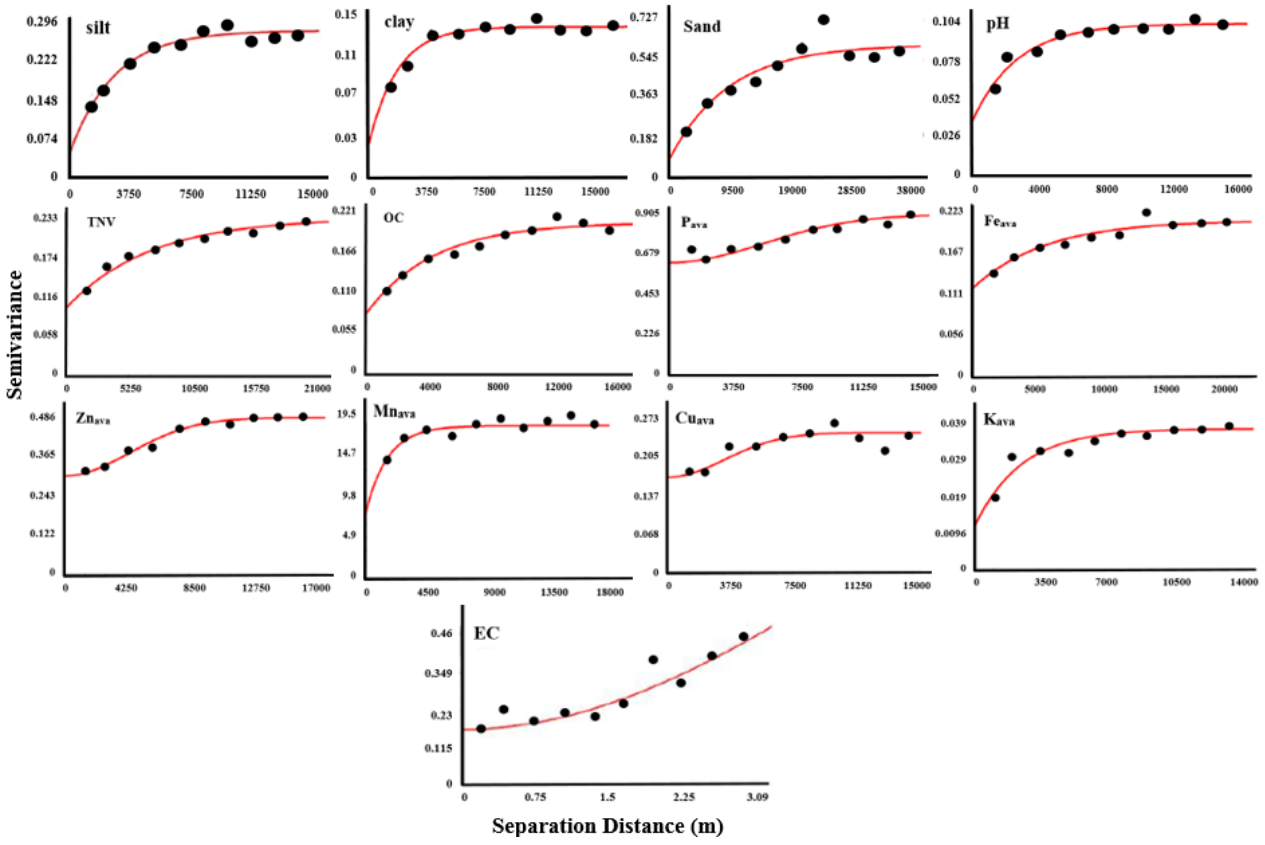
نتایج مدل‌های نیم‌تغییرنمای برازش داده شده نشان می‌دهد که pH، کربنات کلسیم معادل، کربن آلی، پتاسیم، آهن، منگنز، شن، سیلت و رس از نیم تغییر نمای نمایی و قابلیت هدایت الکتریکی، فسفر، روی و مس از مدل گوسی پیروی می‌کنند (شکل ۲).

جدول ۳- مدل‌های نیم‌تغییرنمای برازش داده شده بر ویژگی‌های خاک

Table 3. Variogram models fitted to soil properties

Soil properties	unit	model	Nugget effect	Sill	DSD	SDC	Range (m)	R^2	RSS
pH	-	Exp.	0.03	0.099	0.307	moderate	2750	0.919	2.32×10^{-4}
EC	$dS.m^{-1}$	Gau.	0.17	2.2	0.077	strong	7400	0.922	6.1×10^{-3}
$CaCO_3$	٪	Exp.	0.1	0.234	0.428	moderate	7011	0.97	2.55×10^{-4}
OC		Exp.	0.07	0.21	0.498	moderate	3650	0.9	1.2×10^{-3}
Available P		Gau.	0.64	0.91	0.71	moderate	7850	0.92	9.92×10^{-3}
Available K		Exp.	0.01	0.037	0.241	strong	2400	0.88	4.32×10^{-5}
Available Fe		Exp.	0.12	0.21	0.56	moderate	5400	0.916	5.6×10^{-4}
Available Mn	$mg.kg^{-1}$	Exp.	8.1	18.6	0.43	moderate	1650	0.85	3.27×10^{-3}
Available Zn		Gau.	0.305	0.485	0.629	moderate	6280	0.98	4.35×10^{-3}
Available Cu		Gau.	0.18	0.25	0.68	moderate	4850	0.7	2.32×10^{-5}
Sand		Exp.	0.705	0.6	0.125	strong	9400	0.85	3.34×10^{-5}
Silt	%	Exp.	0.07	0.285	0.249	strong	2800	0.938	1.34×10^{-3}
Clay		Exp.	0.03	0.142	0.211	strong	1700	0.95	2.35×10^{-4}

Exp: Exponential (نمایی) Gau: Gausian (گوسی), DSD: Dependency Class Degree (درجه وابستگی مکانی), SDC: Spatial Dependency Class (کلاس وابستگی مکانی), RSS: Residual Sum of Square (مجموع مربعات باقی مانده), Nugget Effect: اثر قطعه ای, Range: دامنه تاثیر



شکل ۲- مدل‌های نیم‌تغییرنمای برازش داده شده بر خصوصیات مختلف خاک

Figure 2. Half-shift models fitted to different soil properties

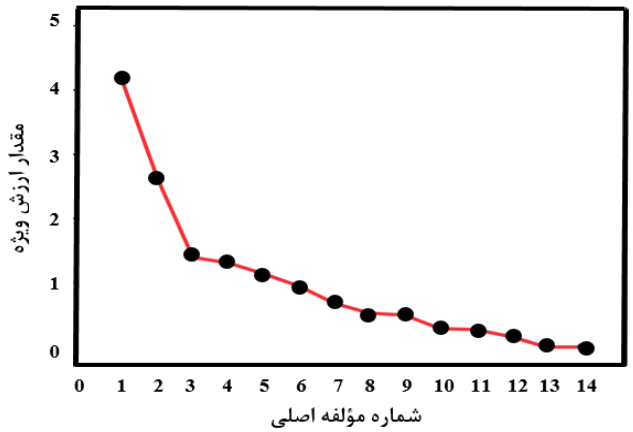
تحلیل مؤلفه‌های اصلی

نتایج آماره‌های آزمون بارتلت و کایزر-مایر-اولکین حاکی از کفایت همبستگی لازم و معنادار بین داده‌ها برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی است (جدول ۴). از آنجا که ویژگی‌های خاک مطالعه شده دارای همبستگی بالایی بودند (جدول ۲)، آزمون تحلیل مؤلفه‌های اصلی انجام گرفت. بر اساس مقدار ویژه بیشتر از یک و بعد از چرخش واریماکس، ۵ مؤلفه باقی ماندند که بیش از ۷۵٪ از واریانس تجمعی را توجیه می‌کنند (شکل ۳ و جدول ۵).

جدول ۴- نتایج آزمون‌های کایز-مایر-اولکین و بارتلت

Table 4 . Results of Kaizer-Meyer-Ulkin & Bartlett tests

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of sampling adequancy		0.729
Bartlett tests	Chi-square	1315.2
	degree of freedom	194
	significance	0.000



شکل ۳- نمودار سنگریزه‌ای مؤلفه‌های اصلی و مقادیر ارزش ویژه

Figure 3. Scree plot of main components & eigenvalues

جدول ۵- مقادیر ارزش ویژه، واریانس و درصد تجمعی واریانس در هر مؤلفه

Table 5. Eigenvalue values, variance & cumulative percentage of variance in each component

Components	(primary Eigen value)		
	Eigen Value	From variance (%)	Percentage cumulative
1	4.302	30.73	30.73
2	2.58	18.42	49.155
3	1.456	10.39	59.552
4	1.151	8.22	67.773
5	1.126	8.045	75.718
6	0.926	6.617	82.435

بر اساس معیار انتخاب برای هر مؤلفه اصلی، پتاسیم، روی، آهن، مس و منگنز بیشترین تأثیر را در عامل نخست، کربنات کلسیم معادل و شن بیشترین تأثیر را در عامل دوم، پتاسیم و سیلت بیشترین تأثیر را در عامل سوم، پتاسیم در عامل چهارم و آهن در عامل پنجم بیشترین تأثیر داشته است (جدول ۶). سپس برای تعیین مهمترین عوامل مؤثر در تهیه نقشه نواحی حاصلخیزی، در هر مؤلفه، پارامتری که بیشترین ارزش را داشت و همچنین بقیه پارامترهایی که حدود ۱۰ درصد اختلاف با بالاترین ارزش داشتند انتخاب شدند. بر این اساس، پارامترهای پتاسیم، روی، آهن، مس، منگنز، و کربنات کلسیم معادل برای تهیه نقشه‌های نواحی حاصل‌خیزی استفاده شدند.

جدول ۶ - مقادیر ضریب بارگذاری ویژگی‌های انتخاب‌شده در مؤلفه‌ها

Table 6. Loading coefficient of selected properties in the components

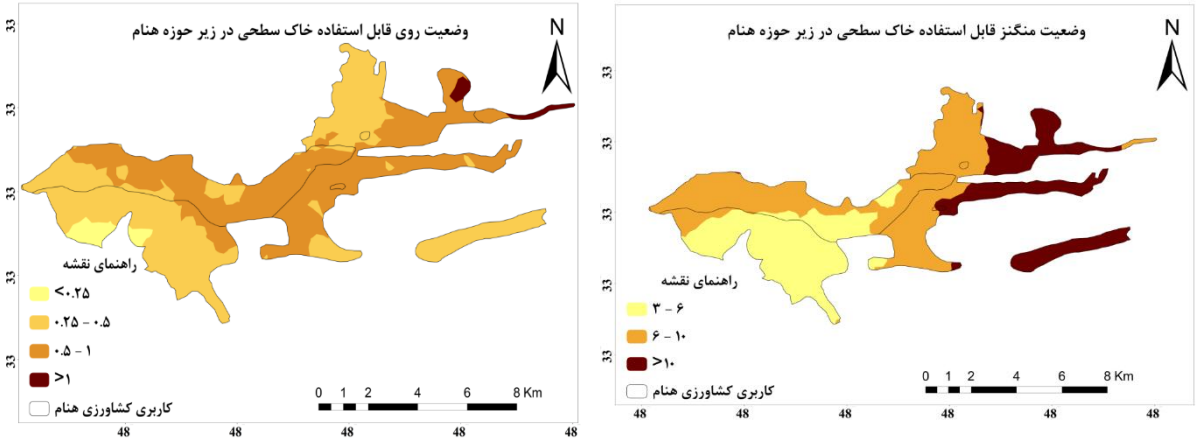
Characteristics	Principal components				
	PC1 (0.241)*	PC2 (0.31)	PC3 (0.413)	PC4 (0.467)	PC5 (0.472)
Available K	0.777	-	0.514	0.471	-
Available Zn	0.771	-	-	-	-
Available Fe	0.669	-	-	-	0.481
Available Cu	0.701	-	-	-	-
Available Mn	0.712	-	-	-	-
CaCO3	-	0.65	-	-	-
Sand	-	0.334	-	-	-
Silt	-	-	0.487	-	-

*: مقادیر معیار انتخاب (SC) در هر مؤلفه اصلی.

توزیع مکانی ویژگی‌های خاک

توزیع مکانی منگنز و روی قابل استفاده به‌ترتیب در شکل‌های ۴-الف و ۴-ب نشان داده شده است. کمبود شدید منگنز (کمتر از ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) در منطقه دیده نشد و تنها بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی منطقه کمبود منگنز متوسط دارند. بر پایه شکل ۶-ب، حدود ۱۴۹، ۲۵۶۱، ۲۵۳۵ و ۷۹ هکتار از خاک‌های منطقه به‌ترتیب دارای مقادیر روی خیلی کم (کمتر از ۰/۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم)، کم (۰/۵-۰/۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم)، متوسط (۱-۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و بیشتر از یک میلی‌گرم در کیلوگرم (زیاد) هستند (Moshiri *et al.*, 2014). نقشه توزیع مکانی پتاسیم و آهن قابل استفاده خاک سطحی در شکل‌های ۵-الف و ۵-ب آورده شده است. بر این پایه، بیشتر سطح منطقه هنام کمبود پتاسیم و آهن ندارند.

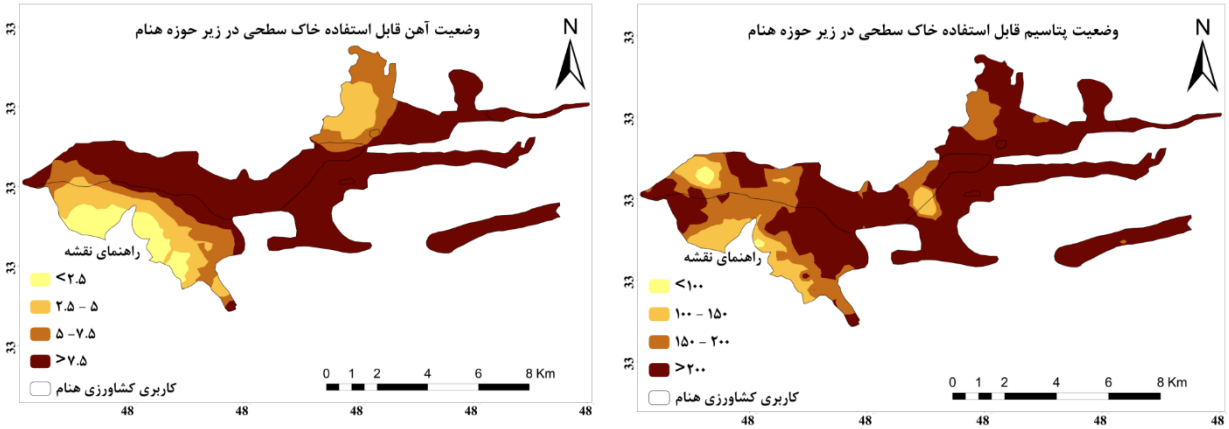
(الف) (ب)



شکل ۴- نقشه توزیع مکانی منگنز (الف) و روی قابل استفاده (ب) خاک سطحی در زیر حوزه هنام

Figure 4. Map of spatial distribution of available Mg (a) & Zn (b) on topsoil

(ب) (الف)

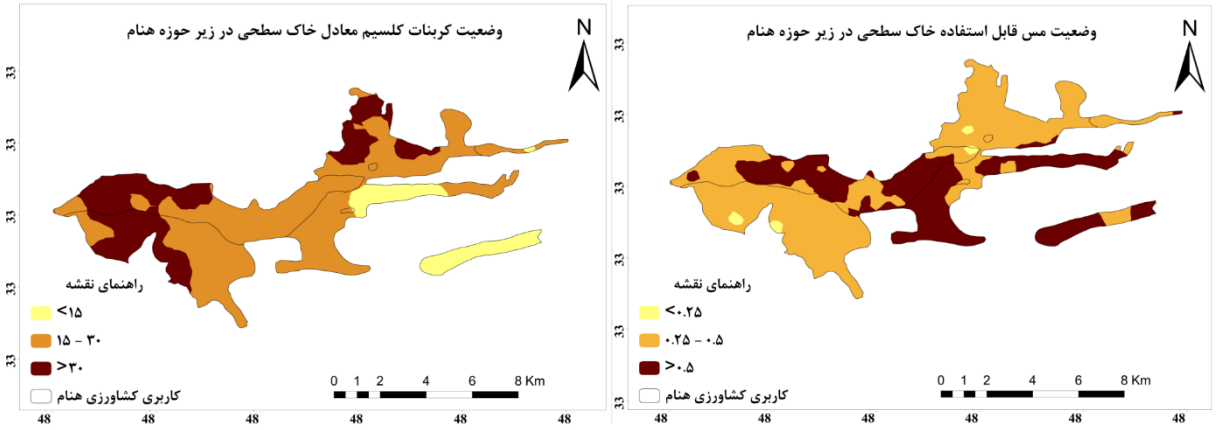


شکل ۵- نقشه توزیع مکانی پتاسیم (الف) و آهن قابل استفاده (ب) خاک سطحی در زیر حوزه هنام

Figue 5. Map of spatial distribution of available K (a) & Fe (b) on topsoil۵Figure

نقشه‌های توزیع مکانی مس قابل استفاده خاک و کربنات کلسیم معادل به‌ترتیب در شکل‌های ۶-الف و ۶-ب ارائه شده است. بر این پایه، همه خاک‌های منطقه آهکی هستند. ۶۷ هکتار از اراضی کشاورزی منطقه دارای مس قابل استفاده کم (کمتر از ۰/۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم)، بوده و بیشتر سطح منطقه دارای مس متوسط هستند.

(ب) (الف)



شکل ۶- نقشه توزیع مکانی مس قابل استفاده (الف) و کربنات کلسیم معادل (ب) خاک سطحی در زیر حوزه هنام

Figure 6 . Map of spatial distribution of available Cu (a) & TNV (b) on topsoil

در جدول ۷، آماره‌های مربوط به ارزیابی صحت تخمین نقشه‌های برآوردشده ارائه شده است. بر این پایه نقشه‌های حاصل از دقت خوب و قابل قبولی برخوردار هستند.

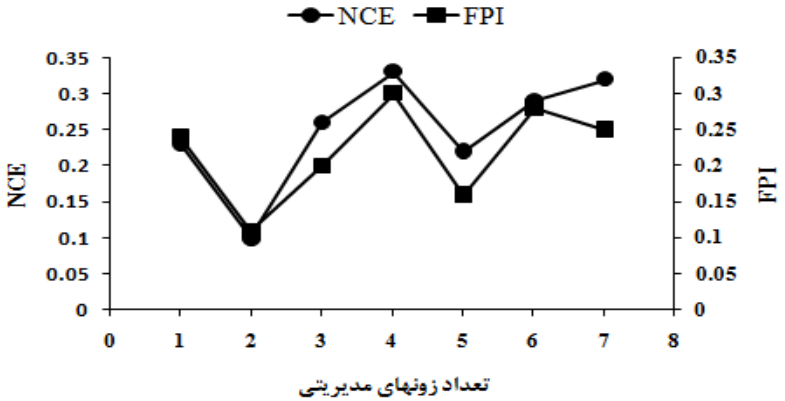
جدول ۷- ارزیابی صحت تخمین نقشه‌های برآورد شده برای ویژگی‌های خاک مطالعه شده

Table 7. Accuracy criteria of the kriged maps of the studied soil properties

variable	NRMSE	R^2	MBE	G (%)
K_{ava}	11.2	0.85	0.12	0.823
Fe_{ava}	13.5	0.81	0.24	0.736
Mn_{ava}	13.2	0.79	0.21	0.698
Zn_{ava}	12.6	0.91	0.14	0.553
Cu_{ava}	10.7	0.92	0.16	0.611
$CaCO_3$	13.4	0.89	0.13	0.812

نواحی مدیریت حاصل‌خیزی

پنج مؤلفه اول (جدول ۵) برای تعیین نواحی مدیریت حاصل‌خیزی انتخاب شدند. تعداد بهینه نواحی مدیریتی با استفاده از مقادیر محاسبه شده برای پنج مؤلفه اصلی از طریق خوشه‌بندی فازی (Fuzzy K-mean) و دو معادله FPI و NCE مشخص شد (شکل ۷). همچنین آنالیز واریانس مشخص کرد که دو ناحیه مدیریتی ایجاد شده، بطور دقیق از یکدیگر جدا شده‌اند. تریپاتی و همکاران (Tripathi *et al*., 2015)، شوکلا و همکاران (Shukla *et al*., 2017) و سیدمحمدی و همکاران (Seyedmohammadi *et al*., 2018) نیز نتایج مشابهی ارائه کرده‌اند. همچنین میانگین ویژگی‌های خاک در هر دو ناحیه جدا شده در جدول ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷- شاخص عملکرد فازی (FPI) و آنتروپی طبقه‌بندی نرمال شده (NCE) برای تعیین تعداد کلاس‌های خوشه‌ای

Figure 7. Fuzzy performance index (FPI) & normalized classification entropy (NCE) to determine the number of cluster classes

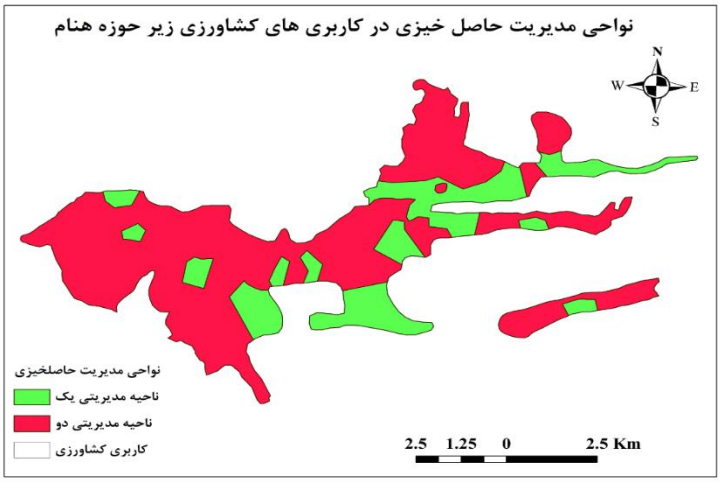
جدول ۷- تجزیه واریانس و مقایسه میانگین ویژگی‌های خاک در نواحی مدیریتی تعیین‌شده در زیرحوزه هنام

Table 7. Analysis of variance & comparison of average soil properties in designated management zones in Honam sub-basin

	OC	$CaCO_3$	Sand	Clay	Silt	K	P	Fe	Mn	Zn	Cu	pH	EC
zone			%					$mg.kg^{-1}$				–	$ds.m^{-1}$
1	1.6^a	21.6^a	11.9^a	43.2^a	44.9^a	433.5^a	9.8^a	11.6^a	17.7^a	0.79^a	1.5^a	7.6^a	0.8^a
2	1.5^a	26.5^a	10.8^a	42.5^a	44.7^a	345.6^b	1.1^a	9.0^b	6.9^b	0.49^b	1.7^a	7.2^a	0.8^a

حروف ارائه شده بالای هر مقدار میانگین، نشان‌دهنده معناداری یا عدم معناداری هر ویژگی خاک بین زون‌های مختلف است.

مقادیر کربنات کلسیم معادل، پتاسیم، آهن، منگنز و روی در دو ناحیه مدیریتی جدا شده با هم تفاوت معناداری دارند و بقیه ویژگی‌های خاک در دو منطقه تفاوت معنادار ندارند (شکل ۸). با توجه به مقادیر کربنات کلسیم معادل و معناداری تفاوت این پارامتر در دو ناحیه جدا شده، به‌نظر می‌رسد تأثیر قابل توجهی در فراهمی عناصر غذایی برای گیاه داشته باشد. رابطه کربنات کلسیم با میزان کربن آلی و پتاسیم، آهن، منگنز و مس قابل استفاده خاک منفی بود. وجود کربنات کلسیم در خاک با تولید بنیان‌های کربنات و بی‌کربنات سبب تشکیل کمپلکس‌های نامحلول عناصر کم مصرف در خاک می‌شود. از طرف دیگر آنیون‌های فسفر محلول در خاک می‌تواند جذب سطوح کانی‌های کربناتی خاک شده و قابلیت استفاده فسفر خاک را کاهش دهد. مقدار میانگین فسفر خاک در هر دو ناحیه مدیریتی در محدوده کم تا متوسط (۱۵-۹/۸ درصد) قرار دارد. در این حالت، احتمال پاسخ گیاه گندم به مصرف کود، به ترتیب ۵۰-۷۵ درصد (برای محدوده فسفر کم) تا کمتر از ۵۰ درصد (برای محدوده فسفر متوسط) است.



شکل ۸- نواحی مدیریت حاصل‌خیزی در کاربری‌های کشاورزی زیرحوزه هنام

Figure 8. Fertility management zones in agricultural l& uses in Honam sub-basin

در ناحیه مدیرتی یک، ۳۰٪ منطقه دارای مقدار فسفر خیلی کم (کمتر از ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم)، ۳۳٪ دارای فسفر کم (۱۰-۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و ۳۷ درصد دارای مقدار فسفر بیشتر از حد بحرانی هستند. این مقادیر در ناحیه دو، به ترتیب ۲۶، ۳۹، و ۳۵٪ از منطقه را تشکیل می‌دهند. دو ناحیه مدیریتی تعیین شده از نظر مقدار فسفر تفاوت معناداری ندارند و هر دو ناحیه نیازمند استفاده از کودهای فسفری هستند (جدول ۷). البته حد بحرانی فسفر برای هر گیاه متفاوت است. در زراعت گندم دیم حد بحرانی فسفر ۹ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شده است (Moshiri *et al.*, 2014). لذا ضروری است قبل از اقدام به کشت، حد بحرانی عناصر برای گیاه مورد نظر تعیین شود. همچنین اقدامات مدیریتی دیگری مثل روش‌های خاکورزی نیز باید مورد توجه قرار گیرد. بر اساس دستورالعمل مدیریت حاصل‌خیزی خاک و تغذیه گندم(Moshiri *et al.*, 2014)، در صورتی‌که روش بی‌خاکورزی مدنظر باشد و فسفر قابل جذب کمتر از ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و مصرف کود به روش جای‌گذاری باشد، در خاک‌هایی با بافت متوسط (لومی) به ازای هر یک میلی‌گرم فسفر قابل جذب کمتر از حد فوق؛ مقدار ۱۵ کیلوگرم در هکتار و در خاک‌های سبک بافت، ۱۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل در زیر و کنار بذر جایگذاری می‌شود. در روش کم‌خاکورزی، به‌ازای هر میلی‌گرم کمتر از ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، در خاک‌های با بافت متوسط مقدار ۳۰ کیلوگرم در هکتار و در خاک‌های نسبتاً سبک مقدار ۲۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل نیاز است.

پتاسیم قابل استفاده خاک در هر دو ناحیه مدیریتی زیاد بوده و گیاه به افزایش کود پاسخی نخواهد داشت. به‌عبارتی هر دو ناحیه نیازی به مصرف کود پتاسیم ندارند. خاک‌های منطقه هنام از نظر آهن قابل استفاده خاک مشکلی نداشته و در محدوده آهن زیاد قرار دارند. در این حالت، افزایش کود آهن به خاک، تأثیری در افزایش عملکرد گندم نسبت به پتانسیل عملکرد نخواهد داشت. البته مقدار آهن قابل استفاده خاک در دو ناحیه دارای تفاوت معنی‌داری بوده و ناحیه یک آهن بیشتری دارد.

میانگین روی در نواحی مدیریتی با هم اختلاف معناداری داشته و در ناحیه یک و دو به‌ترتیب در محدوده متوسط (۱-۰/۵) و کم (۰/۵-۰/۲۵) قرار داشت. نیاز است با مدیریت مناسب اقدام به رفع کمبود روی شود. منگنز قابل استفاده خاک در زون دو، کم بود و ضروری است نسبت به رفع آن و کوددهی اقدام نمود. مقدار میانگین مس قابل استفاده در هر دو ناحیه مدیریتی بالاتر از ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم قرار داشته و بنابراین در کلاس مقدار مس زیاد قرار دارند. و نیازی به افزایش کودهای حاوی مس مشاهده نمی‌شود.

میانگین کربن آلی خاک در هر دو ناحیه، ۱/۵ درصد بود که با مقدار بهینه آن یعنی سه درصد (Mirzashahi & Bazargan, 2015) فاصله زیادی دارد. چنین وضعیتی، بی‌تردید توان تولید خاک‌ها را محدود می‌کند. بررسی‌ها نشان داده است که به ازای افزایش هر گرم کربن آلی در

کیلوگرم خاک، عملکرد دانه گندم به‌طور میانگین ۲۸۶ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد. هم‌چنین با معدنی شدن مواد آلی، مقدار قابل توجهی از عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در خاک آزاد شده و به تغذیه متعادل گیاه کمک زیادی می‌کند. لذا یکی از راهکارهای مهم در ارتقای حاصل‌خیزی خاک‌های این منطقه، برنامه‌ریزی برای افزایش کربن آلی خاک است. همچنین با توجه به بافت متوسط تا ریز در خاک‌های منطقه، اهمیت افزایش کربن آلی در راستای بهبود وضعیت فیزیکی و نفوذپذیری خاک‌های منطقه اجتناب‌ناپذیر است. رابطه کربن آلی خاک با غلظت عناصر غذایی مثبت و معنی‌دار بود. به‌عبارت دیگر با افزایش کربن آلی خاک، قابلیت استفاده عناصر کم مصرف و پتاسیم به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اهمیت محصول گندم، این مطالعه با هدف شناسایی نواحی مدیریتی حاصل‌خیزی زیرحوزه هنام با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی فازی انجام شد. بر مبنای ضریب تغییرات، مدیریت ویژه مکان عناصر غذایی و توجه به توصیه‌های کودی غیر یکنواخت برای افزایش میزان محصول گندم در منطقه بر اساس نواحی مدیریتی تعیین شده می‌تواند مؤثر باشد. دو ناحیه مدیریتی تعیین شده، دارای تفاوت معنادار در مقادیر کربنات کلسیم معادل، پتاسیم، آهن، منگنز و روی بودند. بنابراین، اعمال روش‌های مدیریت مصرف کود با توجه به برنامه جامع حاصل‌خیزی خاک و تغذیه گیاه (Moshiri *et al.*, 2014) در هر ناحیه می‌تواند در افزایش عملکرد گندم مؤثر باشد. یکی از مؤلفه‌های اصلی کیفیت خاک و مؤثر بر حاصل‌خیزی خاک، مقدار ماده آلی خاک است. این موضوع، در منطقه هنام با توجه به بافت ریز خاک‌ها بیشتر حائز اهمیت است، زیرا باعث افزایش نفوذپذیری خاک می‌شود. همچنین با افزایش مقدار ماده آلی خاک، بر قابلیت استفاده عناصر کم مصرف نیز افزوده شده و حاصل‌خیزی خاک افزایش می‌یابد. لذا لزوم مدیریت ماده آلی خاک، امری اجتناب‌ناپذیر است.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح "بررسی وضعیت موجود مدیریت بهره‌برداری خاک و آب در زیر حوزه هنام (کرخه)" با شماره مصوب ۰۱۴۸-۱۰-۱۰-۹۲۰۲-k۹۲۰۱ مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی می‌باشد. لذا بدین‌وسیله از همه همکاران در مؤسسه تحقیقات خاک و آب و بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان قدردانی می‌شود.

Referrence

Ayoubi Sh., Khormali F. 2008. Spatial variability of nutrients available in topsoil using principal component analysis & geostatistical technique (Case study in Apipoli region, &hra Pradesh, India). *Agricultural Science & Technology & Natural Resources*, 12 (46): 609-620

Bartlett M. S. 1954. A note on the multiplying factors for various Chi-square approximations. *Journal of the Royal Statistical Society*.16: 296–298.

Beck C., Grieser J., Kottek M., Rubel F., Rudolf B. 2006. Characterizing global climate change by means of Koppen climate classification. DWD, Klimastatusbericht 2005:139–149

Behera SK., Shukla AK. 2015. Spatial distribution of surface soil acidity, electrical conductivity, soil organic carbon content & exchangeable potassium, calcium & magnesium in some cropped acid soils of India. *L& Degradation & Development* 26:71-79.

Behera S.K, Ravi K, Mathura R.K. 2018. Spatial variability of soil properties & delineation of soil management zones of oil palm plantations grown in a hot & humid tropical region of southern India. *Catena*, 165:251-259.

Black C. A., Evans D. D., Dinauer R. C. 1965. Methods of Soil Analysis. *American Society of Agronomy*, Madison, WI, pp. 653-708.

Cambardella C. A., T. B. Moorman J. M. Novak T. B., Parkin D. L. Karlen R. F. Turco & A. E. Konopka. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*.58:1501- 1511.

Davatgar N. Neishabouri MR., Sepaskhah AR .2012. Delineation of site specific nutrient management zones for a paddy cultivated area based on soil fertility using fuzzy clustering. *Geoderma* 173-174:111-118.

Delgardo A., Gomez JA. 2016. The Soil Physical, Chemical and Biological Properties. FJ Villalobos, E Fereres (Eds.), *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture*. © Springer International Publishing.

Denton O.A., Aduramigba-Modupe V.O., Ojo A.O., Adeoyolanu O.D., Are K.S., Adelana A.O., Oyedele A.O., Adetayo A.O., Oke A.O. 2017. Assessment of spatial variability & mapping of soil properties for sustainable agricultural production using geographic information system techniques (GIS). *Cogent Food & Agriculture* 3:1279366.

FAO. 1994. Evaluation & farming systems analysis for l& use planning. FAO working document. FAO. Rome. 160 p.

Gee G.W. Bauder J.W., 1986. Particle-Size Analysis. In: Klute, A., Ed., Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods, Agronomy Monograph No. 9, 2nd Edition, *American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, Madison*, WI, 383-411.

Goovarets P. 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford Univ. Press, UK.

Hair J. F., Black B., Babin B., &erson R. E. & Tatham R. L. 2006. *Multivariate data analysis* (6th ed.). New Jersy: Prentice Hall.

Kaiser H. 1974. An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39: 31–36.

Malakouti M.J., Tehrani M.M. 2005. The role of micronutrients in increasing the yield of agricultural products, micro elements with macro effect. Tarbiat Modares University Press, Tehran, Iran. (In Persian)

McLean E. 1982. Soil pH and lime requirement. Methods of Soil Analysis- Part2. Chemical & Microbiological properties. *Agronomy Monograph*, 9.2, pp. 199-224.

Minasny B. McBratney AB. 2006. A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. *Computers & Geoscience* 32(9):1378-1388.

Mirzashahi K. & Bazargan K. 2015. Soil Organic Matter Management. *Technical Journal*, No. 535, Soil & Water Research Institute, 19 p. (In Persian)

Mohammad Zamani S., Ayoubi Sh., Khormali F. 2007. Spatial variation of soil properties & wheat yield in a part of Sorkhankalateh arable l&s, Golestan province. *Journal of Soil & Water Sciences.* 11 (40): 79-92.

Mohammadi J. 2006. Geostatistics, vol: 2. Pelk publication, 453 pages. (In Persian)

Moral FJ, Terron JM, Marques Da Silva JR. 2010. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity & multivariate geostatistical techniques. *Soil & Tillage Research* 106:335-343.

Shahabi A., Keshavarz P., Asadi H., Samavat S., and Tehrani M. 2014. Guidelines for integrated soil fertility & plant nutrition management of wheat. Soil & water research institute. (In Persian)

Nawar S., Corstanje R., Halcro G., Mulla D., Mouazen A.M., 2017. Delineation of soil management zones for variable-rate fertilization: A review. *Advances in Agronomy* 143:175-245.

Olsen SR, Cole CV, Watanable FS, et al. 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. In: Circular of United States Department of Agriculture No. 939.

Ovalles F.A., Collins M. E. 1988. Variability of northwest Florida soils by principal component analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 52(5), 1430-1435.

Pallant, J. 2005. SPSS survival manual: a step by step guide to data analysis using spss. Buckingham: allen and unwin

Peralta NR, Costa JL. 2013. Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. *Computers & Electronics in Agriculture* 99:218-226.

Schoning I., Totsche K.V., Kogel-Knabner I. 2006. Small Scale spatial variability of organic carbon stocks in litter & solum of a forested luvisol. *Geoderma*, 136: 631-642.

Seyedmohammadi J., Sarmadian F., Jafarzadeh A.A., Ghorbani M.A., Shahbazi F. 2018. Application of SAW, TOPSIS & fuzzy TOPSIS models in cultivation priority planning for maize, rapeseed & soybean crops. *Geoderma* 310:178-190.

Shukla A.K, Sinha N.K, Tiwari P.K, Prakash C., Behera S.K., Lenka N.K., Singh V.K., Dwivedi B.S., Majumdar K., Kumar A., Srivastava P.C. 2017. Spatial distribution & management zones for sulfur & micronutrients in Shiwalik Himalayan region of India. *L& Degradation & Development*, 28:959-969.

Singh A. K., R. Tripathy, U. K. Chopra. 2008. Evaluation of CERES-Wheat & Crop Syst models for water management, 95:776-786.

Tesfahunegn GB, Tamene L, Vlek PLG. 2011. Catchment-scale spatial variability of soil properties & implications on site-specific soil management in northern Ethiopia. *Soil & Tillage Research*, 117:124-139.

Tripathi R., Nayak A.K., Shahid M., Lal B., Gautam P., Raja R, Mohanty S., Kumar A., Panda B.B., Sahoo R.N. 2015. Delineation of soil management zones for a rice cultivated area in eastern India using fuzzy clustering. *Catena*, 133:128-136.

Walkley AJ, Black IA. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter & a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science 37*:29-38.

Wani MA, Shaista N, Wani ZM. 2016. Spatial Variability of Some Chemical & Physical Soil Properties in B&ipora District of Lesser Himalayas. *Journal of Indian Society Remote Sensing*, 45(4):611-620.

Weindorf DC, Zhu Y. 2010. Spatial variability of soil properties at Capulin Volcano, New Mexico, USA: Implications for sampling strategy. *Pedosphere*, 20(2):185-197.

Wilding LP, Bouma J, Goss DW. 1994. Impact of spatial variability on interpretive modeling. In: Bryant, R.B., Arnold, R.W. (Eds.), Quantitative modeling of soil forming processes. SSSA Spec. Publ. 39. ASA, CSSA, & SSSA, Madison, WI, USA, pp. 61-75.