طبقه بندی عددی خاک با استفاده از بسته نرم افزاری aqp در محیط نرم افزار R

شاهرخ فاتحی[1*]

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مقاله **(shahrokh.fatehi@gmail.com)**

چکیده

در سامانه‌های طبقه‌بندی خاک، خاک‌ها بر اساس دامنه‌ای از مقادیر ویژگی‌های خاک با توجه به عمق و شرایط محیط تشکیل خاک، طبقه‌بندی می‌شوند اما آنها ابزاری برای توصیف کمی تفاوت‌های بین خاکرخ‌ها ارائه نمی‌کنند. امروزه با پیشرفت‌های صورت گرفته در علوم آمار و رایانه، امکان بررسی کمّی خاکرخ‌ها و در نتیجه طبقه‌بندی عددی خاک فراهم شده است. در این پژوهش امکان استفاده از بسته نرم افزاری aqp برای طبقه‌بندی عددی نه خاکرخ در منطقه روانسر واقع در استان کرمانشاه بررسی گردید. به همین منظور از الگوریتم طبقه‌بندی عددی خاک Moore و همکاران (۱۹۷۲) به هدف تفکیک خاک‌ها بر اساس خصوصیات ذاتی و پایدار خاک که تا حدی بیانگرتکامل خاک هم هستند، استفاده شد. در این بررسی مشخص شد پارامتر k با مقدار ۰/۰۱ به دلیل وزن‌دهی به همه افق‌ها در تفکیک بهتر خاکرخ‌ها در یک مقایسه کیفی با طبقه بندی جامع خاک نقش موثری دارد. مقایسه کیفی نتایج طبقه‌بندی عددی خاک با خاکرخ هایی که تا سطح خانواده به روش رده بندی آمریکا تفکیک شده‌اند نشان داد که افزایش تعداد متغیرهای خاک با تغییرات عمودی محرز در خاکرخ به عنوان ورودی الگوریتم، سبب تفکیک بهتر خاک‌های شده که تا حدی به نتایج طبقه‌بندی جامع خاک آمریکا نزدیک است.

واژگان کلیدی: خاکرخ، ویژگی‌های خاک، طبقه بندی خاک

مقدمه

سامانه‌های رده‌بندی خاک مانند سامانه جامع رده‌بندی خاک ایالات متحده آمریکا (Soil Survey Staff, 1999) و پایگاه مرجع جهانی خاک (IUSS - WRB, 2015) یک چارچوب سلسله مراتبی برای گروه‌بندی خاک‌ها بر اساس دانش فعلی ما از پیدایش خاک و اثرات آن بر پتانسیل استفاده از زمین ارائه می‌کنند. رده‌بندی خاک از سطوح بالاتر (مانند رده) به سطوح پایین (مانند فامیل خاک) بر اساس قوانین و معیارهای خاص (مانند افق‌های شناسایی خاک، رژیم‌های دمایی و رطوبت خاک و دامنه‌ای از مقادیر ویژگی‌های خاک) انجام می‌شود. با وجود این که این سامانه‌های رده‌بندی، دامنه‌ای از ویژگی‌ها و شرایط خاک که وابسته به عمق است استفاده می‌کنند ولی ابزاری برای توصیف کمّی و عدی تفاوت‌های بین خاکرخ‌ها ارائه نمی‌کنند. طبقه‌بندی عددی خاک شامل دو نوع فعالیت است اولی قرار دادن خاکرخ‌های منفرد در کلاس‌های مختلف و دومی اختصاص یک خاکرخ منفرد به یک کلاس موجود است (De Gruijter, 1977) . هر دو نوع فعالیت از روش‌های عددی استفاده می‌کنندکه معمولاً شامل محاسبه‌ی عدم تشابه جفتی میان خاکرخ‌ها با استفاده از معیارهای فاصله در فضای ویژگی[1] مانند فاصله اقلیدسی است. خاکرخ‌هایی مشابه در فضای ویژگی از نظر فاصله نزدیکتر از آنهایی هستند که تشابه کمتری دارند (Carré and Jacobson, 2009). تحقیقات قابل توجهی در مورد سیستم‌های طبقه‌بندی عددی خاک طی ۴۰ سال گذشته انجام شده است (Rayner, 1966; Fitzpatrick, 1967; Russell and Moore, 1968; Little and Ross, 1985; Carre´ and Jacobson, 2009). با این حال، بسیاری از این روش‌ها به ندرت در خارج از مطالعات موردی، در منابع علمی توسعه پیدا کرده‌اند. با وجود این واقعیت، چندین محقق بر شایستگی بالقوه طبقه‌بندی عددی خاک اذعان دارند (Webster, 1968; Arkley,

[1] feature-space

1976; Minasny and McBratney, 2007) و این امکان وجود دارد نقشه‌برداری رقومی خاک از طریق طبقه‌بندی عددی بهبود یابد (Minasny and McBratney, 2007).

مواد و روش‌ها

این پژوهش درمحدوده شهرستان‌های روانسر و جوانرود درناحیه‌ای به وسعت حدود ۵۷/۸۵ هزار هکتار در ۶۰ کیلومتری شمال غربی استان کرمانشاه، در بین مختصات جغرافیایی '۲۶/۸ °۴۶ تا'۴۲/۹ °۴۶ طول شرقی و'۳۳/۲°۳۴ تا '۵۱/۶ °۳۴ عرض شمالی اجرا شد. در این پژوهش، از داده‌های مشاهدات صحرایی (درصد حجمی قطعات سنگی) و نتایج تجزیه آزمایشگاهی نمونه خاک‌های افق‌های مختلف ۹ خاکرخ شامل پ هاش خاک، هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع، کربنات کلسیم معادل، کربن آلی خاک و درصد شن، سیلت و رس خاک استفاده شد.

طبقه‌بندی عددی خاک نیازمند محاسبه عدم تشابه جفت خاکرخ‌ها می‌باشد. در ساده‌ترین حالت نمونه‌های افق با استفاده از یکی یا چندتا از ویژگی‌های خاک (مقدار رس، پ هاش، مقدار کربن و.....) مطابق با فاصله اقلیدسی جفت مشاهدات در فضای ویژگی‌های مقایسه می‌شوند. مقدار فاصله اقلیدسی بزرگتر به عنوان عدم تشابه بیشتر تفسیر می‌شود. معیار فاصله اقلیدسی نیازمند مقیاس‌سازی و استاندارد نمودن است و با متغیرهای با مقیاس اسمی و دو دویی سازگارنیست. اما معیار عدم تشابه عمومی گاور (Gower ، ۱۹۷۱) یک معیار جایگرین ایده‌ال برای مقایسه داده‌های خاک است این معیار هر ترکیبی از - متغیرهای پیوسته، کاتگوری و دودویی را به حساب می آورد. در این پژوهش از الگوریتم طبقه بندی عددی خاک پیشنهادی Moore و همکاران (۱۹۷۲) موجود در نرم افزار aqp استفاده شد. در این الگوریتم عدم تشابه بین خاکرخ‌ها با برش‌های عمقی منظم ارزیابی می‌شود. عدم تشابه نهایی بین خاکرخ‌ها با جمع نمودن مجموعه از معیارهای عدم تشابه برش‌های عمقی حاصل می‌شود این با تشکیل یک سری ماتریس‌های ویژگی‌های خاک P_j انجام می‌شود:

$$P_j=\begin{vmatrix} x_{1.clay} & x_{1.PH} & x_{1.TC} & x_{1.EC} & \vdots & x_{1.p} \\ x_{2.clay} & x_{2.PH} & x_{2.TC} & x_{2.EC} & \vdots & x_{2.p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i.clay} & x_{i.PH} & x_{i.TC} & x_{i.EC} & \vdots & x_{i.p} \end{vmatrix} \quad (۱)$$

این ماتریس نمایشی از ویژگی‌های خاک در برش‌های عمقی از خاکرخ j جایی که یک سلول منفرد در این ماتریس $x_{i.p}$ نشاندهنده خصوصیت خاک p از برش عمقی i می باشد. ویژگی‌های یک خاکرخ تعریف شده به شکل ماتریس ویژگی‌های خاک(P_j) ، به صورت ردیفی روی هم قرار گرفته و تشکیل یک ماتریس جدید X_i می‌دهد. در این ماتریس ردیف‌ها نشاندهنده خاکرخ‌ها و ستون‌ها نشاندهنده ویژگی‌های خاک هستند. عدم تشابه جفتی D بین نیمرخ‌های خاک از طریق جمع عدم تشابه برش عمقی به دست می آید:

$$D=\sum_{i=1}^{n} w_i\, G(X_i) \quad (۲)$$

در اینجا i برش عمقی، n تعداد کل برش‌های عمقی، wi یک ضریب وزنی انتخابی و $G()$ معیار عدم تشابه عمومی گاور است. در وضعیت‌های خاص، احتمال دارد مقطع خاصی از یک خاکرخ (مانند عمق ریشه‌دهی) با یک طبقه‌بندی مرتبط باشد. دراین حالت ماتریس تشابه بین خاکرخ‌ها بر اساس برش‌های عمقی (i)، از طریق یک تابع نمایی کاهشی می‌تواند وزن‌دار شود:

$$w_i=e^{-k*i} \quad (۳)$$

در اینجا k و i بزرگتر از ۰ می باشد. نرخ کاهش پارامتر k تعیین می‌کند به چه سرعتی مقدارعدم تشابه برش با عمق کاهش وزن پیدا می کند: مقدار ۰/۱ به طور موثری می‌تواند هرگونه تأثیرعدم تشابه محاسبه شده در زیر ۳۰ برش اول را حذف کند و مقدار ۰ همه برش‌ها را به یک اندازه وزن می‌دهد. تعیین مقدار k بهینه می‌تواند با تکرار محاسبات طبقه بندی عددی خاک در طیف وسیعی از مقادیر k و ارزیابی کیفیت طبقه‌بندی حاصل در هر تکرار(به عنوان مثال با استفاده از دانش قبلی در مورد گروه‌بندی‌های موجود در مجموعه خاکرخ‌ها) ، تعیین شود. درطبقه‌بندی عددی خاک به هدف بررسی تکامل ۹ خاکرخ از خصوصیات ذاتی خاک مانند کربن آلی خاک، کربنات کلسیم معادل خاک، درصد شن، درصد سیلت، درصد رس و درصد قطعات سنگی تا عمق ۱۲۰ سانتی‌متری استفاده شد و سپس ماتریس عدم تشابه برای مقادیر نرخ کاهش ۰، ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ اجرا شد و نتایج به شکل کیفی با فامیل خاک بر اساس طبقه بندی جامع آمریکا مقایسه شد.

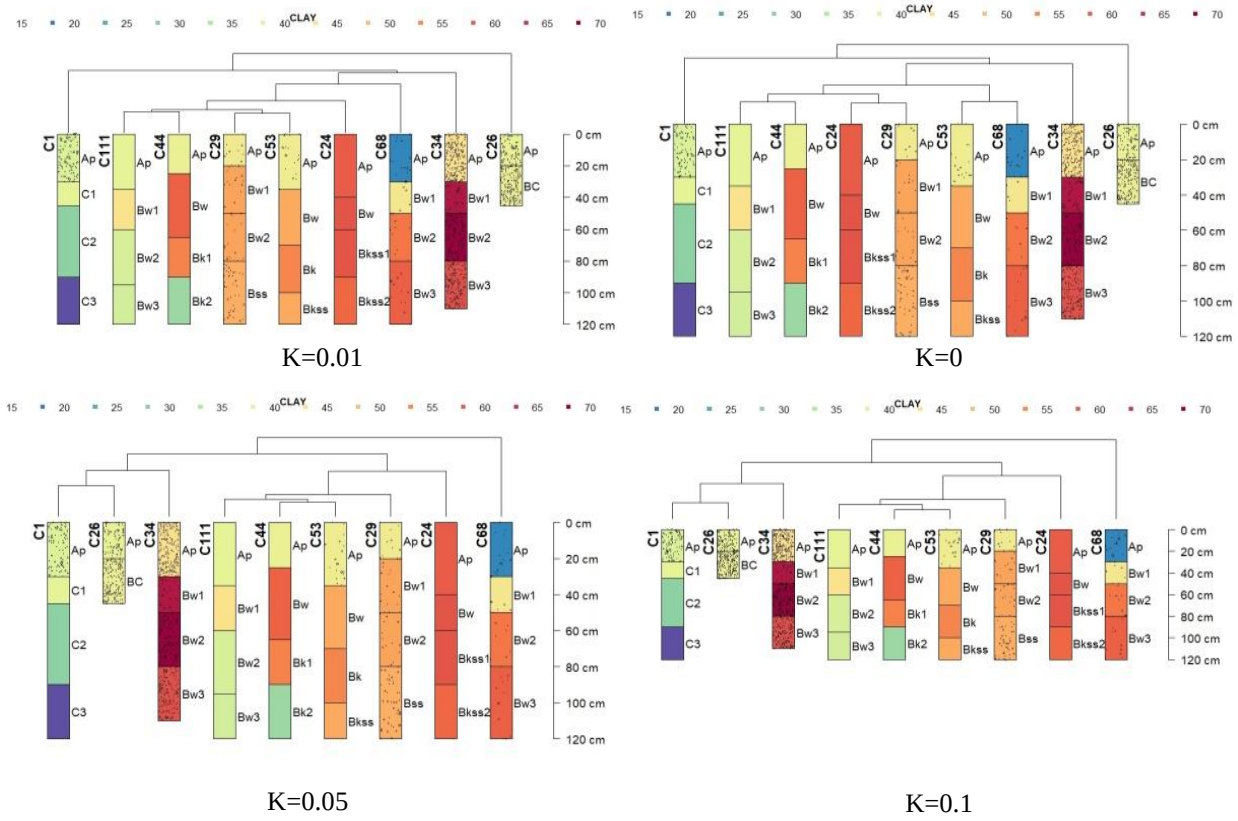
نتایج و بحث

رده بندی ۹ خاکرخ تا سطح زیر گروه در جدول(۱) نشان داده شده است و سپس توانایی تفکیک این خاکرخ‌ها براساس الگوریتم طبقه‌بندی عددی خاک Moore و همکاران (۱۹۷۲) مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۱ به صورت نمودار درختی ارایه شده‌است. پس از اجرای الگوریتم طبقه بندی عددی و تعیین خاکرخ های مشابه، نمودار درختی نهایی، از طریق خوشه‌بندی سلسله مراتبی تفکیک کننده ایجاد شد زیرا بسیار شبیه روشی است که بیشتر سامانه‌های طبقه‌بندی خاک از آن استفاده می‌کنند یعنی خاک‌ها ابتدا در گروه‌های اولیه بزرگ سازماندهی و سپس متعاقباً به گروه‌های کوچکتر و کوچکتر تقسیم می‌شوند.سپس از روش طبقه‌بندی جامع خاک آمریکا به عنوان مبنایی برای بررسی کیفی توان الگوریتم طبقه‌بندی عددی خاک در تفکیک خاک‌ها استفاده شد.

جدول ۱-طبقه‌بندی خاکرخ‌های شاهد تا سطح فامیل*

ردیف	خاکرخ	زیر گروه
۱	C24	Chromic Calcixererts
۲	C53	Vertic Calcixerepts
۳	C29	Chromic Haploxererts
۴	C68	Typic Haploxerolls
۵	C111	Fluventic Haploxerepts
۶	C34	Typic Haploxerepts
۷	C26	Lithic Xerorthents
۸	C1	Typic Xerofluvents
۹	C44	Typic Calcixerepts

در شکل (۱) نمودار درختی نهایی حاصل از اجرای الگوریتم طبقه‌بندی عددی برای نه خاک مورد بررسی بر اساس مقدار رس، قطعات سنگی، سیلت، شن، کربنات کلسیم معادل و کربن آلی خاک و با در نظر گرفتن پارامترهای اصلاحی k از ۰ تا ۰/۱ ارایه شده است. در حالت مقدار k برابر با ۰/۰۱، در شاخه اصلی خاکرخ C26 (Lithic Xerorthents) از بقیه خاکرخ‌ها تفکیک گردیده‌است. در شاخه بعدی خاکرخ C1 (Typic Xerofluvents) از بقیه خاک‌ها جدا شده است در شاخه بعدی خاک C34 (Typic Haploxerepts) از بقیه خاک‌ها تفکیک گردیده است و در ادامه تفکیک دو خاکرخ C53 (Vertic Calcixerepts) و C68 (Typic Haploxerolls) از بقیه خاک‌ها، دو خاک هم گروه C111 (Fluventic Haploxerepts) و C44 (Typic Calcixerepts) و دو خاک هم گروهC24 (Chromic Calcixererts) و خاکرخ C29 (Chromic Haploxererts) تفکیک شده‌اند. که می‌توان گفت به تفکیک خاک‌ها بر اساس سامانه رده‌بندی خاک آمریکا نزدیک است. در حالت k برابر با ۰/۰۵ و ۰/۱ چون خصوصیات خاک سطحی وزن بیشتری می‌گیرند خاک مالی سولز C68 (Typic Haploxerolls) از بقیه خاک‌ها تفکیک شده-است. در زیرشاخه بعدی C34 (Typic Haploxerepts) و دو خاک هم گروه C26 (Lithic Xerorthents) و C1 (Typic Xerofluvents) از بقیه خاک‌ها جدا شده است. در ادامه خاکC24 (Chromic Calcixererts) از خاک‌های C29 (Chromic Haploxererts)، C111 (Fluventic Haploxerepts) و دو خاک هم شاخه‌ی C44 (Typic Calcixerepts) و C53 (Vertic Calcixerepts) تفکیک گردیده است. Maynard و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی، شباهت عددی تعداد زیادی خاکرخ با استفاده از الگوریتم NCSP در نرم افزار aqp انجام دادند. آنها نشان دادند استفاده از مجموعه‌ای ساده از ویژگی‌های خاک (مانند کلاس بافت خاک، کلاس حجم قطعات سنگ و رنگ خاک) منجر به دقت تفکیک خاکرخ‌ها تقریباً (۴۶-۵۳٪) شد که این بسیار نزدیک به دقت (۴۸-۵۷٪) حاصل از کاربرد داده‌های با اندازه‌گیری دقیق‌تر شامل درصد حجم ماسه، سیلت، رس و قطعه سنگ بود و عملاً با افزودن pH و مواد آلی به مجموعه داده‌های ورودی مدل NCSP ، بهبود بیشتری در دقت حاصل نشد. به طور کلی یافته پژوهش ما همانند این پژوهش، از کاربرد مشاهدات ساده خاک نمونه‌برداری شده در اعماق ثابت برای شناسایی و تفکیک خاکرخ‌ها پشتیبانی می‌کند.



شکل ۱- طبقه‌بندی عددی خاک‌ها بر اساس مقدار رس، قطعات سنگی، سیلت، شن، کربنات کلسیم معادل و کربن آلی خاک و پارامترهای اصلاحی k از ۰ تا ۰/۱

نتیجه‌گیری

استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی عددی خاک Moore و همکاران (۱۹۷۲) برای خاکرخ‌های مورد مطالعه نشان داد خصوصیاتی که در بعد عمودی خاک دارای تغییرات زیادی هستند در تفکیک خاک تاثیر بیشتری دارند تا خصوصیاتی که از تابع عمقی یکنواخت پیروی می‌کنند. همچنین در مقایسه با طبقه بندی جامع خاک، پارامتر k با مقدار ۰/۰۱ به دلیل وزن دهی به همه افق ها، در تفکیک بهتر خاکرخ‌ها نقش بیشتری داشت. مقایسه کیفی نتایج طبقه‌بندی عددی خاک و خاکرخ هایی که تا سطح زیرگروه طبقه شده‌اند نشان داد هنگامی که تعداد متغیرهای خاک با تغییرات عمودی محرز در خاکرخ به عنوان ورودی در این الگوریتم افزایش پیدا می کند، خاکرخ‌های مشابهی که در یک گروه قرار می‌گیرند نزدیک به خاکرخ‌های تفکیک شده با طبقه‌بندی جامع خاک آمریکا است.پیشنهاد می‌شود تحقیقات بیشتری برای مقایسه این الگوریتم طبقه‌بندی عددی خاک با سایر الگوریتم‌ها مانند خوشه‌بندی میانگین های کا فازی و سطوح مختلف رده‌بندی سیستم جهانی رده‌بندی خاک و آمریکایی صورت گیرد

فهرست منابع

1. Arkley, R.J.(1976). Statistical methods in soil classification research. In: Brady, N.C. (Ed.), Advances in Agronomy. Academic Press, New York, NY,.pp. 37–69.
2. Beaudette, D.E., Roudier, P, O'Geen A. T.(2013). Algorithms for quantitative pedology: A toolk it forsoil scientists. Comput Geoscience. 52: 258–268.
3. Carre´, F., Jacobson, M. (2009). Numerical classification of soil profile data using distance metrics. Geoderma. 148: 336–345.

4. de Gruijter, J.J. (1977). Numerical classification of soils and its application in survey. Agric. Res. Reports.
5. Fitzpatrick, E.A. (1967). Soil nomenclature and classification. Geoderma.1: 91–105.
6. Gower, J.C. (1971). A general coefficient of similarity and some of its properties. Biometrics. 27: 857–871.
7. Little, I., Ross, D. (1985). The Levenshtein metric, a new means for soil classification tested by data from a sand-podzol chronosequence and evaluated by dis- criminant function analysis. Australian Journal of Soil Research,. 23: 115–130.
8. Minasny, B., McBratney, A.B. (2007). In corporating taxonomic distance into spatial prediction and digital mapping of soil classes. Geoderma, 142: 285–293.
9. Moore, A., Russell, J., Ward, W.(1972). Numerical analysis of soils: A comparison of three soil profile models with field classification. Journal of Soil Science, 23: 194-209.
10. Maynard, J., Salley, S.W., Beaudette, D.E., & Herrick, J.E.2020. Numerical soil classification supports soil identification by citizen scientists using limited, simple soil observations. Soil Sci. Soc. Am. J.; 84: 1675-1692.
11. Rayner, J. (1966). Classification of soils by numerical methods. Journal of Soil Science. 17:79–92.
12. Russell, J.. Moore, A. (1968). Comparison of different depth weightings in the numerical analysis of anisotropic soil profile data. Transactions of the 9th International Congress of Soil Science. pp. 205–213.
13. Webster, R. and Oliver, M.A. (2001). Geostatistics for Environmental Scientists. Statistics in Practice. Wiley, Chichester, p. 265.

Numerical soil classification using aqp software package in R software environment

Shahrokh Fatehi [1]
[1]Research Assistant Prof., Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran

Abstract
In soil classification systems, soils are classified based on a range of of depth-dependent soil property values and environmental conditions of soil formation, but they do not provide a means to quantitatively describe the differences between soil profiles. In this study, the possibility of using aqp software for numeric classification nine soil profiles in Ravansar area in Kermanshah province was investigated. For this purpose, the numerical soil classification algorithm of Moore et al. (1972) was used for the purpose of separating the soils based on the inherent and stable properties of the soil, which to some extent indicate the evolution of the soil. In this study, it was found that k parameter with a value of 0.01 plays a greater role in the better separation of soil horizons compared to comprehensive soil classification due to the weighting of all horizons. The qualitative comparison of the results of the numerical soil classification and classified soil types to the family level showed that the algorithm, by increasing the number of soil input variables with distinct vertical variations, places similar soils in one group, the results of which are somewhat close to comprehensive soil classification.
Keywords: soil profiles, soil properties, software