

مقایسه کارآیی روش‌های AHP، TOPSIS و ریشه دوم در تعیین اولویت کشت گندم، جو و ذرت تحت آبیاری بارانی در دشت مغان

جواد سیدمحمدی^{۱*}، علی اصغر جعفرزاده^۲، فریدون سرمدیان^۳، فرزین شهبازی^۴، محمدعلی قربانی^۵

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۳/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۱۵

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

^۲ استاد گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

^۳ استاد گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

^۴ دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

^۵ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: seyedmohammadi.javad@gmail.com

چکیده

روش‌های تاپسیس و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در تحقیق مدیریت پایدار و استفاده مناسب خاک مهم بوده که در دهه اخیر به سرعت توسعه یافته‌اند. در تحقیق حاضر این‌ها و روش ریشه دوم برای تعیین اولویت کشت گندم، جو و ذرت در ۱۲۰۰۰ هکتار از دشت مغان و با مطالعه ۱۶۷ خاکرخ استفاده شده است. پس از نمونه‌برداری و تجزیه نمونه‌ها، مقادیر مربوط به بافت خاک، ذرات درشت‌تر از شن، عمق خاک، آهک، گچ، pH، AWC، OC، CEC، EC، ESP، فسفر و پتاسیم قابل دسترس، شیب، سیلگیری، زهکشی و اقلیم منطقه با اعمال ضرایب وزنی در واحدهای اراضی استخراج گردید. علاوه بر رده‌بندی خاک‌ها نهایتاً ۸ ویژگی عمق خاک، آهک، گچ، pH، EC، ESP، شیب و اقلیم جهت محاسبات تعیین اولویت کشت انتخاب شدند. برای انتخاب ویژگی‌های مؤثر بر تولید محصولات در روش‌های تعیین اولویت، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و فاصله اقلیدسی استفاده و وزن‌های معیارها بر اساس روش ماتریس مقایسه زوجی تعیین گردیدند. در هر سه روش اولویت کشت تمام واحدهای اراضی به جز واحدهای ۱۳ و ۱۶ به علت محدودیت pH، به محصولات جو، گندم و ذرت اختصاص یافت. برای بررسی تفاوت بین روش‌ها از تجزیه واریانس چند متغیره استفاده و نتایج بیانگر اختلاف معنی‌دار هر سه روش در سطح احتمال ۵ درصد است. در روش تاپسیس میانگین امتیاز محصولات جو، گندم و ذرت به ترتیب ۰/۳۹۰، ۰/۳۸۱، ۰/۲۲۹، در ریشه دوم ۰/۳۸۰، ۰/۳۵۳، ۰/۲۶۷ و در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ۰/۳۴۱، ۰/۳۳۷، ۰/۳۲۲ محاسبه و مقایسه میانگین امتیازهای محصولات با آزمون LSD نشان‌دهنده دقت بالاتر روش تاپسیس نسبت به دو روش دیگر بوده و دلیل آن ماهیت مقایسه توأم فاصله گزینه (محصول) از ایده‌آل مثبت و منفی، استانداردسازی داده‌ها به روش نرم اقلیدسی و همچنین استفاده از معادلات و ماتریس‌های ریاضی و وزن‌های مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی، اولویت کشت، ریشه دوم، دشت مغان، AHP، TOPSIS

Comparing the Efficiency of TOPSIS, AHP and Square Root Methods in Cultivation Priority Determination for Wheat, Barley and Maize under Sprinkler Irrigation in Dasht-e-Moghan

J Seyedmohammadi^{1*}, AA Jafarzadeh², F Sarmadian³, F Shahbazi⁴, MA Ghorbani⁵

Received: 13 June 2016 Accepted: 04 January 2017

¹Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

²Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

³Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran

⁴Associate prof., Dept. of Soil Science, University of Tabriz, Iran

⁵Associate prof., Dept. of Water Engineering, University of Tabriz, Iran

*Corresponding Author, Email: seyedmohammadi.javad@gmail.com

Abstract

Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) and Analytical Hierarchy Process (AHP) methods are important research fields for soil sustainable management and suitable usage that have been developed in the recent decade. In the present research work, these methods along with Square Root method have been used for determination of cultivation priority of wheat, barley and maize in 12000 ha of Dasht-e-Moghan with 167 soil profiles. After soil sampling and analysis, the data of soil texture, percentage of particles larger than sand, soil depth, lime, gypsum, available water capacity, pH, OC, available P and K, CEC, ESP, slope, flooding, drainage and region climate in different land units were produced by weighted coefficients. Besides soil classification, finally eight properties of soil depth, lime, gypsum, pH, EC, ESP, slope and climate were selected for calculation of cultivation priority determination. Principal component analysis and Euclidean distance methods applied for selection of the effective properties on crops yield for application in priority determination methods and the criteria weights determined via pair-wise comparison matrix method. In all three methods cultivation priorities in land units were allocated to barley, wheat and maize respectively except in units 13 and 16, because of pH limitation. Multivariate variance analysis was used for comparison of the methods difference and the results revealed significant difference of all the three methods at 0.05 probability level. Allocated score mean values were calculated as 0.390, 0.381, 0.229 in TOPSIS, 0.380, 0.353, 0.267 in Square Root and 0.341, 0.337, 0.322 in AHP for barley, wheat and maize respectively and mean comparing of crops scores with LSD test showed the TOPSIS better accuracy than the others, which was related to twin comparing nature of alternative (crop) from positive and negative ideal, data standardization with Euclidean norm method, using mathematical equations and matrixes as well as suitable weights.

Keywords: AHP, Cultivation priority, Dasht-e-Moghan, Sprinkler irrigation, Square root, TOPSIS

مقدمه

محدودیت‌ها و پتانسیل ذاتی واحدهای اراضی برای پشتیبانی از کاربری‌های مشخص در مدت زمان طولانی شناسایی و باعث کاهش هزینه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی می‌گردد (پراکاش ۲۰۰۳). روش‌های متفاوتی برای ارزیابی تناسب اراضی توسعه یافته که با استفاده از این روش‌ها سه عامل مکان، فعالیت‌های

با افزایش جمعیت و نیاز به غذا و نیز محدودیت خاک تنها راه‌حل موجود، افزایش بهره‌وری در واحد سطح از طریق ارزیابی تناسب اراضی برای استفاده‌های گوناگون کشاورزی می‌باشد. (طالعی و همکاران ۱۳۹۳). در واقع با استفاده از ارزیابی تناسب اراضی،

مازندران را بر اساس عناصر اقلیمی برای کشت کلزا با استفاده از روش TOPSIS مورد بررسی قرار دادند و همخوانی زیاد نتایج به دست آمده را با واقعیت گزارش نمودند.

پراکاش (۲۰۰۳) در مطالعه‌ای از سیستم‌های چند معیاره تحلیل سلسله مراتبی، رویکرد بردار ایده آل و روش هیبرید فازی-تحلیل سلسله مراتبی در ارزیابی تناسب اراضی برای برنج، نیشکر، ذرت، سبزیجات و باغبانی در منطقه دهرادون هند استفاده و کارایی بیشتر روش فازی-تحلیل سلسله مراتبی نسبت به دو روش دیگر را گزارش کردند. جعفرزاده و عباسی (۲۰۰۶) در ارزیابی کیفی و کمی تناسب اراضی ایستگاه تحقیقاتی خلعت پوشان دانشگاه تبریز برای محصولات پیاز، سیب زمینی، ذرت و یونجه با روش‌های محدودیت ساده، تعداد و شدت محدودیت‌ها و ریشه دوم مهمترین فاکتورهای محدود کننده رشد را اقلیم، آهک، واکنش خاک، ماده آلی، بافت و ذرات درشت‌تر از شن گزارش نمودند که روش ریشه دوم دقت زیادی، در اکثر واحدها داشته است. شهبازی و همکاران (۲۰۰۹) با ارزیابی تناسب اراضی خاک‌های شهرستان اهر با سیستم تصمیم‌گیری میکرولیز اولویت را به ترتیب به سیب زمینی، گندم، ذرت و چغندر قند اختصاص دادند. العالم (۲۰۱۰) روش‌های سنتی، فازی-تحلیل سلسله مراتبی و نقطه ایده آل را در ارزیابی تناسب اراضی برای گندم، جو و ذرت در لیبی بررسی و کارایی بیشتر روش ترکیبی فازی-تحلیل سلسله مراتبی نسبت به روش‌های دیگر گزارش نمود که نشان‌دهنده عدم قطعیت در ویژگی‌های اراضی نیز بود.

معصومی و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و تاپسیس فازی رتبه اولویت کاربری‌های اراضی پس از حفر معدن از طریق چارچوب تناسب اراضی که متشکل از عوامل اقتصادی، زیست محیطی، تکنیکی و اجتماعی بود، استنتاج نمودند و اولویت اول به کاربری کشاورزی اختصاص یافت. در این

توسعه‌ای و فرآیندهای زیست‌محیطی-بیوفیزیکی در رابطه با هدف خاصی با یکدیگر ترکیب می‌گردند (مورنو و فرانچسکو ۲۰۰۷).

موارد بسیار مهمی در ارزیابی تناسب اراضی با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره وجود دارد که از آن جمله می‌توان به فرض همگنی فضایی، تأثیرات واحد تجمیع و مقیاس مورد استفاده، نیاز به در نظر گرفتن اهمیت معیارها به صورت وزن و همچنین چگونگی ترکیب اطلاعات گوناگون برای به دست آوردن نتیجه نهایی اشاره نمود (کیلیلی و همکاران ۲۰۱۶). روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس در سال‌های اخیر مورد توجه بوده که فرآیند تحلیل سلسله مراتبی روشی منعطف، قوی و ساده برای تصمیم‌گیری در شرایطی است که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد و تصمیم‌گیری باید در یک فضای چند بعدی صورت پذیرد (مصدقی و همکاران ۲۰۱۵). روش تاپسیس برای اولین بار در سال ۱۹۸۱ توسط یون و هوانگ ارائه (اوپریکویک و تی‌زنگ ۲۰۰۴) و این الگوریتم یک روش تصمیم‌گیری چند شاخصه جبرانی بسیار قوی می‌باشد و به دلیل همپوشانی شاخص‌ها در نقاط قوت و ضعف خود، اولویت‌بندی گزینه‌ها از طریق شبیه نمودن آنها به جواب ایده آل و حساسیت بسیار کم به روش وزن‌دهی، توانایی زیادی در حل مسائل چند گزینه‌ای دارد (نسترن و همکاران ۱۳۸۹).

جعفرزاده و همکاران (۱۳۸۵) با ارزیابی کیفی تناسب اراضی یخفروزان شهرستان اهر بر اساس روش پارامتریک ریشه دوم کشت جو و گندم را در اولویت اول، لوبیا، گلرنگ و سویا را در اولویت دوم و سیب زمینی را در اولویت بعدی توصیه کردند. سرمدیان و کشاورزی (۱۳۹۰) به منظور بررسی کارایی و افزایش دقت روش فازی در ارزیابی تناسب اراضی، از روش‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و رگرسیون چند متغیره استفاده نمودند. روش‌شنلی و ذاکری (۱۳۹۱) تناسب اراضی استان

می‌باشد. رژیم رطوبتی و حرارتی منطقه با استفاده از برنامه Newhall به ترتیب اریدیک هم مرز با زیریک و ترمیک تعیین شد (بی‌نام ۲۰۱۲د).

جهت نیل به اهداف ذکر شده، خاکرخ‌ها به فاصله ۱۰۰۰ متر از هم بررسی و در بین آن‌ها با فاصله ۵۰۰ متر با مته کنترل صورت گرفت. در صورت وجود تفاوت به صورت خاکرخ انتخاب و نهایتاً در مجموع تعداد ۱۶۷ خاکرخ حفر و بر اساس راهنمای تشریح و نمونه‌برداری خاک سرویس حفاظت خاک آمریکا (بی‌نام ۲۰۱۲b) تشریح و پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل گردید. پس از تجزیه نمونه‌ها و تجزیه-تحلیل نتایج، خاک‌ها بر اساس کلید رده‌بندی آمریکایی (بی‌نام ۲۰۱۴) در رده اریدیسول قرار گرفتند. همچنین با تلفیق نقشه شیب منطقه در نقشه خاک، ۶۶ واحد نقشه در سطح منطقه تفکیک گردید.

انتخاب ویژگی‌های مورد استفاده در روش‌ها

با توجه به اصول ارزیابی تناسب اراضی فقط ۸ ویژگی بایستی برای استفاده در روش‌های ارزیابی تناسب اراضی انتخاب شوند. برای این منظور از روش‌های مقیاس چند بعدی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در این تحقیق استفاده شد. در تحلیل مقیاس چند بعدی استفاده از پارامتر فاصله اقلیدسی برای استخراج ویژگی‌های مشابه به هم از نظر فاصله اقلیدسی توصیه شده است (وانگ ۲۰۱۲). در این روش، ویژگی‌هایی که از نظر فاصله اقلیدسی بهم مشابه هستند در شکل چند بعدی حاصل از اجرای این روش کنار هم قرار می‌گیرند که به راحتی می‌شود برای به‌کارگیری یا استفاده نکردن از آنها تصمیم‌گیری کرد. همچنین یکی دیگر از روش‌ها برای این انتخاب، روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی است (داشنگ و همکاران ۲۰۱۱). در این روش، مقادیر بیشترین ضریب هر ویژگی برای مؤلفه‌هایی که مقدار ویژه آن‌ها بیشتر از یک است، مورد استفاده قرار می‌گیرد و با توجه به این ضرایب ویژگی‌ها انتخاب می‌شوند.

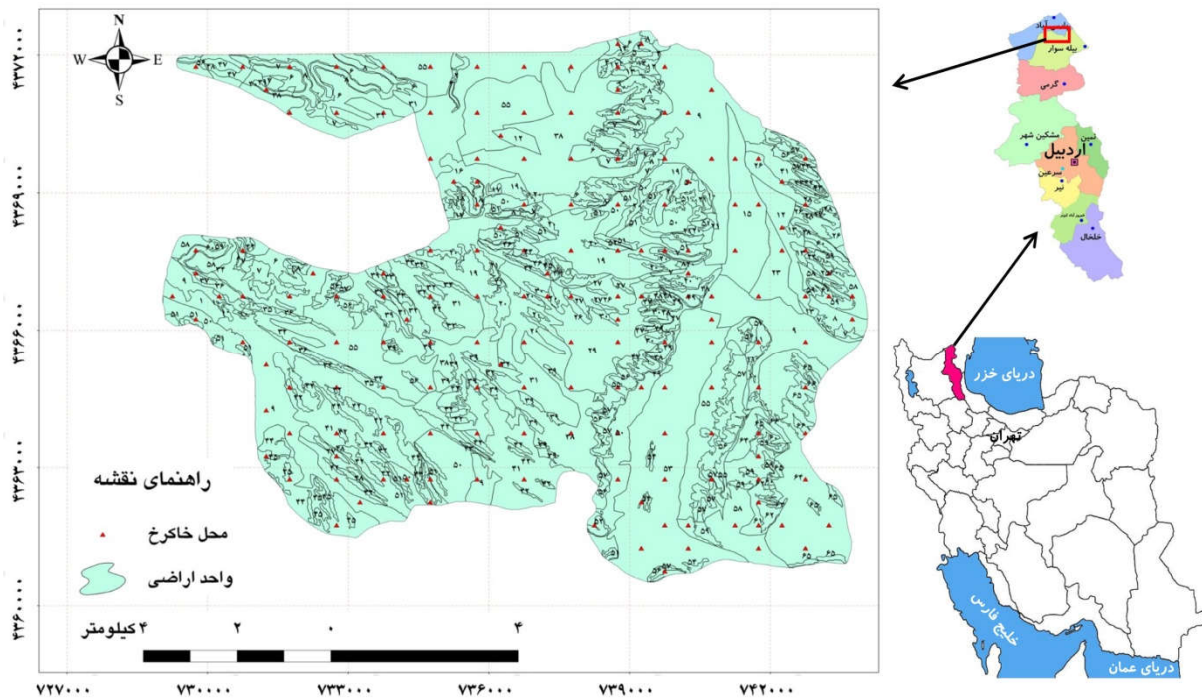
پژوهش تلفیق دو روش ذکر شده دقت کار را در اولویت دادن به کاربری کشاورزی افزایش داده است. از جمله جدیدترین تحقیقات انجام شده می‌توان به تدوین مدل ارزیابی تناسب اراضی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (توان‌نگوین و همکاران ۲۰۱۵، مصدقی و همکاران ۲۰۱۵) و طراحی و توسعه سیستم‌های تلفیقی پشتیبان تصمیم در ارزیابی تناسب اراضی (پتیت و همکاران ۲۰۱۵) اشاره نمود. با وجود تحقیقات انجام شده با روش‌های نوین ارزیابی، مطالعات بسیار کمی با روش تاپسیس برای تعیین اولویت کشت در کشور ما صورت گرفته است.

با توجه به اهمیت محصولات گندم، جو و ذرت به عنوان محصولاتی استراتژیک، مهم بودن مطالعات ارزیابی اراضی در استفاده بهینه و پایدار از خاک و کمبود مطالعات صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش‌های چند معیاره، هدف از این پژوهش تعیین اولویت کشت تحت آبیاری بارانی، شناسایی و معرفی نواحی مستعد و غیرمستعد برای محصولات ذکر شده با استفاده از روش‌های تاپسیس، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و ریشه دوم در بخشی از اراضی دشت مغان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه به مساحت ۱۲۰۰۰ هکتار بخشی از اراضی پایاب سد خداآفرین در دشت مغان در حد فاصل $۳۹^{\circ} ۲۸'$ عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). بر اساس آمار سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک پارس‌آباد میانگین دمای سالانه $۱۵/۲$ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارندگی $۲۶۸/۵$ میلی‌متر می‌باشد. تشکیلات زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه شامل: پادگانه‌های آبرفتی قدیمی رس‌سیلتی و لایه‌های سفید توف، رس‌سیلتی و ماسه توفی با آهک، کنگلومرا و رس



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه، واحدهای اراضی و محل حفر خاکرخ‌ها.

گرفته به معیارها و شاخص‌ها، دارای یک واحد نباشد، بایستی ابعاد و واحد آن‌ها را از بین برده و این مقادیر کمی را به ارقام بی‌بعد تبدیل نمود. این عمل با استفاده از روش نرم اقلیدسی (رابطه ۲) صورت می‌گیرد و نتیجه آن رابطه ۳ یا ماتریس R_{ij} است.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}}; \quad (i=1, 2, \dots, m); \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad [2]$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad [3]$$

۳- تعیین وزن هر یک از معیارها (W_j) بر اساس رابطه ۴: در این مرحله وزن هر یک از معیارها بر اساس رویکردها، نظریات و قضاوت‌های کارشناسان همانند روش ماتریس مقایسه زوجی و بر اساس اهمیت هر معیار، محاسبه می‌گردد. باید توجه نمود که مجموع وزن معیارها برابر یک باشد.

$$\sum_{j=1}^n W_j = 1 \quad [4]$$

تشریح روش‌های تعیین اولویت کشت

روش تاپسیس: امروزه مدل تصمیم‌گیری چند معیاره تاپسیس یکی از کاربردی‌ترین روش‌های مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی است که بتوان از طریق آن‌ها، با توجه به معیارهای کمی و کیفی متعدد، به انتخاب بهترین گزینه دست یافت. جهت بهره‌گیری از روش تاپسیس باید مراحل زیر طی شوند (بیلپائو ترول و همکاران ۲۰۱۴):

۱- تشکیل ماتریس داده‌ها: به‌طور کلی در روش تاپسیس ماتریس $m \times n$ که دارای m گزینه (محصول) و n معیار (ویژگی‌ها) می‌باشد، رتبه هر گزینه نسبت به همه معیارها با اعمال وزن مناسب به معیارها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این الگوریتم ماتریس تصمیم به‌صورت زیر فرض می‌شود:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad [5]$$

۲- استاندارد کردن داده‌ها و تهیه ماتریس نرمال شده: به‌دلیل آنکه احتمال قوی وجود دارد که مقادیر کمی تعلق

$$W_{n \times n} = [w_1, w_2, \dots, w_n] \quad [5]$$

$$V_{ij} = R_{ij} \times W_{n \times n} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad [6]$$

$$A^+ = \left\{ (\max v_{ij} | j \in J), (\min v_{ij} | j \in J'), (i = 1, 2, \dots, m) \right\} = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} \text{ or } \{v_j^+\} \quad [7]$$

$$A^- = \left\{ (\min v_{ij} | j \in J), (\max v_{ij} | j \in J'), (j = 1, 2, \dots, n) \right\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \text{ or } \{v_j^-\} \quad [8]$$

تصمیم‌گیری را امکان‌پذیر می‌سازد (مصدقی و همکاران ۲۰۱۵). در این روش معیارها از نظر درجه اهمیت نسبی به صورت زوجی با هم مقایسه و توسط کارشناسان و متخصصان مشخص می‌گردد. این قضاوت‌ها در مورد اهمیت نسبی توسط ساعتی^۱ به صورت مقادیر عددی بین ۱ تا ۹ درجه‌بندی شده است (ساعتی و وارگز ۲۰۰۱). این روش شامل سه مرحله ساختن سلسله مراتبی، محاسبه وزن‌ها و بررسی وضعیت سازگاری بوده و ساختار سلسله مراتب معمولاً از سه سطح اصلی تشکیل شده است. سطح اول شامل هدف یا تعیین اولویت کشت، سطح دوم معیارهای ارزیابی یا ویژگی‌ها و کیفیت‌های اراضی و سطح سوم گزینه‌ها یا محصولات می‌باشند.

روش ریشه دوم: در این روش برای محاسبه شاخص‌ها، از معادله ریشه دوم (معادله ۱۲) استفاده و سپس مقادیر شاخص اراضی محصولات برای مقایسه با روش‌های تاپسیس و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به روش درصدی برای محصولات مورد مطالعه در هر یک از واحدهای اراضی نرمال می‌گردد.

$$I = R_{\min} \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \dots} \quad [12]$$

در این معادله I شاخص، R_{\min} کمینه درجه مربوط به ویژگی‌های مختلف A ، B و ... درجات ویژگی‌های دیگر غیر از ویژگی با درجه کمینه می‌باشند.

۴- ایجاد ماتریس نرمال وزندهی شده (V_{ij}) با اعمال W_j به‌عنوان ورودی به الگوریتم: جهت هم ارزش نمودن مقادیر درایه‌های ماتریس نرمال شده، تک‌تک وزن پارامترها باید به صورت نظیر به نظیر در ستون‌های این ماتریس ضرب گردد. ماتریس به‌دست آمده از این فرآیند، ماتریس نرمال وزندهی شده است.

۵- مشخص نمودن ایده‌آل مثبت (A^+) و ایده‌آل منفی (A^-) :

در این روابط J مربوط به معیار ایده‌آل (معیار با اثر مثبت) و J' مربوط به معیار غیرایده‌آل (معیار با اثر منفی) است.

۶- محاسبه فاصله گزینه a_i از ایده‌آل مثبت (d_i^+) و از ایده‌آل منفی (d_i^-) :

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad [9]$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad [10]$$

۷- محاسبه ضریب نزدیکی نسبی گزینه a_i به ایده‌آل‌ها و رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس ترتیب نزولی cl_i^+ :

$$cl_i^+ = \left[\frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \right]; \quad 0 \leq cl_i^+ \leq 1; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad [11]$$

هر اندازه گزینه a_i به ایده‌آل مثبت نزدیک‌تر باشد ارزش cl_i^+ به یک نزدیک‌تر شده و رتبه گزینه (محصول) اولی‌تر خواهد بود. مقدار شاخص cl_i^+ بین صفر و ۱ در نوسان است. در این راستا $cl_i^+ = 1$ نشان‌دهنده بیشترین رتبه و $cl_i^+ = 0$ نیز نشان‌دهنده کمترین رتبه است.

روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی: روش تحلیل

سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین روش‌های طراحی شده برای ارزیابی اراضی است. این روش توانایی فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله مراتبی دارد و در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در فرآیند

نتایج و بحث

ارائه شده و اطلاعات این جدول با بررسی منابع معتبر (منابع پایین جدول ذکر شده است) برای کشت آبیاری بارانی محصولات ذکر شده، تدوین گردیده است.

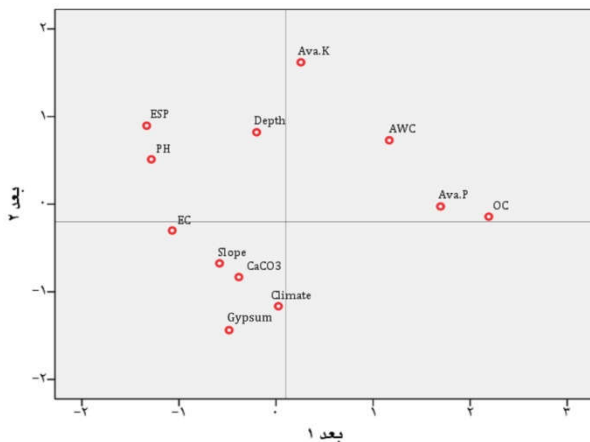
نیازمندی‌های پستی و بلندی و خاک برای کشت آبیاری بارانی محصولات گندم، جو و ذرت در جدول ۱

جدول ۱- نیازمندی‌های پستی و بلندی و خاک برای کشت آبیاری بارانی محصولات گندم، جو و ذرت.

کلاس، سطح محدودیت و مقیاس درجه‌بندی						
N2	N1	S3	S2	S1	کلاس تناسب	سطح محدودیت
۰	۴	۳	۲	۱	۰	درجه‌بندی
۲۵	۴۰	۶۰	۸۵	۹۵	۱۰۰	
>۲۵	۲۵-۱۶	۱۶-۸	۸-۵	۵-۲	۲-۰	شیب (%) ^۱
<۱۰		۱۰-۳۰	۳۰-۶۰	۶۰-۹۰	>۹۰	عمق خاک گندم و جو (سانتی‌متر)
<۲۰		۲۰-۵۰	۵۰-۷۵	۷۵-۱۰۰	>۱۰۰	ذرت
>۶۰	۶۰-۵۰	۵۰-۴۰	۴۰-۳۰	۳۰-۱۵	۱۵-۳	گندم و جو
				۰-۳		آهک (%)
>۳۵	۳۵-۳۰	۳۰-۲۲	۲۲-۱۵	۱۵-۶	۶-۱/۲	ذرت
				۰-۱/۲		
>۲۰	۲۰-۱۵	۱۵-۱۰	۱۰-۵	۵-۳	۳-۰	گندم و جو
>۲۰	۲۰-۱۵	۱۵-۱۰	۱۰-۴	۴-۲	۲-۰	ذرت
	<۷/۵	۷/۵-۱۱	۱۱-۱۳	۱۳-۱۵	>۱۵	AWC(cm(1.2m Soil depth) ^{-۱}) ^۲
	<۵/۲	۵/۲-۵/۶	۵/۶-۶	۶-۶/۵	۶/۵-۷	گندم
	>۸/۵	۸/۵-۸/۳	۸/۳-۸/۲	۸/۲-۷/۵	۷/۵-۷	
	<۵/۵	۵/۵-۵/۸	۵/۸-۶/۲	۶/۲-۷	۷-۷/۲	pH(H ₂ O) ^۱
	>۸/۵	۸/۵-۸/۲	۸/۲-۸	۸-۷/۵	۷/۵-۷/۲	جو
	<۵/۲	۵/۲-۵/۵	۵/۵-۵/۸	۵/۸-۶/۲	۶/۲-۶/۶	ذرت
	>۸/۵	۸/۵-۸/۲	۸/۲-۷/۸	۷/۸-۷	۷-۶/۶	
			<۰/۴	۰/۴-۰/۸	>۰/۸	کربن آلی (%) ^۳
	<۶	۶-۹	۹-۱۳	۱۳-۱۵	>۱۵	فسفر قابل دسترس گندم و جو (mg kg ^{-۱})
	<۶/۵	۶/۵-۱۰	۱۰-۱۴	۱۴-۱۶	>۱۶	ذرت
	<۸۵	۸۵-۱۳۰	۱۳۰-۱۸۰	۱۸۰-۲۰۰	>۲۰۰	پتاسیم قابل دسترس گندم و جو (mg kg ^{-۱})
	<۱۰۰	۱۰۰-۱۵۵	۱۵۵-۲۲۰	۲۲۰-۲۵۰	>۲۵۰	ذرت
	>۱۶	۱۶-۱۲	۱۲-۸	۸-۴	۴-۰	گندم
	>۲۰	۲۰-۱۶	۱۶-۱۲	۱۲-۸	۸-۰	جو
>۱۰	۱۰-۷	۷-۵	۵-۳	۳-۱	۱-۰	ذرت
	>۲۴	۲۴-۱۶	۱۶-۸	۸-۴	۴-۰	گندم
	>۴۲	۴۲-۲۸	۲۸-۱۴	۱۴-۷	۷-۰	جو
	>۱۸	۱۸-۱۲	۱۲-۶	۶-۳	۳-۰	ذرت
						ESP(%) ^۱

جدول ۱ با استفاده از این منابع تدوین شده است: (بی‌نام ۲۰۱۲a و ۲۰۱۲c)، (بی‌نام ۱۹۷۹ و ۲۰۰۶)، (سایس و همکاران ۱۹۹۳)، (مشیری و همکاران ۱۳۹۳ الف، مشیری و همکاران ۱۳۹۳ ب، غیبی و همکاران ۱۳۹۳).

استفاده و کربن آلی مرتفع می‌گردد. در مورد فسفر و پتاسیم نیز افزایش کودهای بیولوژیک و حیوانی در واحدهای دارای کمبود باعث حل مشکل می‌گردد (البته کمبود پتاسیم فقط در چند واحد می‌باشد). بنابراین در نهایت ۸ فاکتور شامل عمق خاک، آهک، گچ، واکنش خاک، هدایت الکتریکی، درصد سدیم تبادل، شیب و اقلیم برای انجام محاسبات انتخاب شدند.



شکل ۲- فاصله اقلیدسی ویژگی‌ها نسبت به هم.

مقادیر ویژگی‌ها با توجه به اعمال ضرایب وزنی محاسبه و در میان آن‌ها ویژگی‌های عمق خاک، آهک، گچ، ظرفیت آب قابل استفاده، واکنش خاک، کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل دسترس، هدایت الکتریکی، درصد سدیم تبادل، شیب و اقلیم دارای محدودیت بودند. در روش فاصله اقلیدسی ویژگی‌های ظرفیت آب قابل استفاده، کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل دسترس به دلیل تشابهت بهم و فاصله گرفتن از سایر ویژگی‌ها کنار گذاشته شدند (شکل ۲). مقادیر ضریب تأثیر کربن آلی، فسفر و پتاسیم در روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با توجه به جدول ۲ از همه کمتر بوده، ولی ضریب تأثیر ظرفیت آب قابل استفاده قابل ملاحظه می‌باشد. لذا بررسی مجدد نتایج نشان داد که ظرفیت آب قابل استفاده فقط در دو واحد اراضی محدودیت داشته، که این واحدها دارای کمبود ماده آلی نیز هستند (واحدهای ۲۴ و ۲۵). بنابراین با توجه به وسعت کم این واحدها، با افزودن کود دامی به خاک در این واحدها محدودیت ظرفیت آب قابل

جدول ۲- نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

مؤلفه‌ها	مقدار ویژه	واریانس مؤلفه	واریانس مجموع
اول	۲/۷۹	۲۳/۲۴	۲۳/۲۴
دوم	۱/۶۴	۱۳/۶۶	۳۶/۹
سوم	۱/۵۹	۱۳/۲۳	۵۰/۱۴
چهارم	۱/۳۶	۱۱/۳۵	۶۱/۴۹
پنجم	۱/۱۲	۹/۳۵	۷۰/۸۴

مقادیر بیشترین ضریب هر ویژگی برای مؤلفه‌های اول تا پنجم

Ava.K	OC	Ava.P	اقلیم	شیب	آهک	عمق	pH	گچ	EC	ESP	AWC
۰/۳۵۸	۰/۴۰۲	۰/۴۱۸	۰/۴۶۰	۰/۵۲۵	۰/۵۳۷	۰/۶۴۵	۰/۶۵۴	۰/۶۷۴	۰/۷۹۷	۰/۸۰۷	۰/۸۳۱

نسبی به صورت دو به دو با هم مقایسه می‌شوند و از نتیجه مقایسه‌ها ماتریس مقایسه زوجی تشکیل می‌گردد. این قضاوت‌ها در مورد اهمیت نسبی توسط ساعتی (ساعتی ۲۰۰۸) به صورت مقادیر عددی بین یک تا نه درجه‌بندی شده است. ویژگی‌های انتخاب شده با استفاده از روش مقایسه زوجی ساعتی (ساعتی و وارگز ۲۰۰۱)

هر یک از ویژگی‌های اراضی دارای تأثیرات منحصر به فردی روی تولید هر یک از محصولات بوده و این تأثیرات نسبی را می‌توان به صورت فاکتورهای وزنی عنوان کرد. در روش مقایسه زوجی، وزن‌ها به صورت قطعی محاسبه می‌گردند. در این روش ویژگی‌های به کار رفته در ارزیابی از نظر درجه اهمیت

ویژگی‌ها در آزمایشگاه برای واحدهای مختلف اراضی با استفاده از جدول ۱ به درجه تبدیل شدند که به دلیل محدودیت تعداد صفحه از آوردن آن‌ها صرف نظر گردیده است. برای محاسبه درجه اقلیم هر یک از محصولات از جدول‌های سایس و همکاران (۱۹۹۳) استفاده شده است.

برای محصولات گندم، جو و ذرت تعیین وزن شدند که نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. وزن‌های به دست آمده با توجه به اهمیت ویژگی‌ها روی تولید محصولات در منطقه مورد مطالعه، جمع نظر متخصصین امر بر اساس پرسشنامه و با در نظر گرفتن نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ محاسبه شدند. مقادیر اندازه‌گیری شده

جدول ۳- وزن‌های به دست آمده از مقایسه زوجی ویژگی‌ها.

محصول	شیب	ESP	EC	pH	آهک	گچ	عمق خاک	اقلیم	نرخ ناسازگاری
گندم	۰/۳۹۵	۰/۱۶۱	۰/۰۲۱	۰/۰۹۸	۰/۰۲۱	۰/۰۹۲	۰/۱۹۲	۰/۰۲۰	۰/۰۴
جو	۰/۴۲۹	۰/۰۹۱	۰/۰۱۲	۰/۱۵۲	۰/۰۲۱	۰/۰۹۲	۰/۱۹۲	۰/۰۱۱	۰/۰۹
ذرت	۰/۲۴۸	۰/۱۶۱	۰/۱۲۷	۰/۰۹۸	۰/۰۳۹	۰/۰۸۲	۰/۲۲۷	۰/۰۱۸	۰/۰۲

به جز واحدهای ۱۳ و ۱۶ اولویت اول کشت را به ترتیب به جو، گندم و ذرت اختصاص داده و بررسی مقادیر و درجات ویژگی‌ها در واحدهای مختلف اراضی نیز نشان داد که اولویت‌بندی به درستی صورت گرفته است. با توجه به اینکه گیاه جو در مقایسه با گندم و ذرت نسبت به تحمل شوری و سدیم تبدالی مقاومت زیادی دارد به همین دلیل در اولویت قرار گرفته است چون در اکثر واحدها محدودیت شوری و سدیم تبدالی وجود دارد. ذرت در مقایسه با گندم نسبت به شوری، سدیم تبدالی و واکنش خاک حساس‌تر است بنابراین در رتبه بعد از گندم واقع شده است. با توجه به جدول ۱ دامنه تحمل گندم به pH خاک بیشتر از جو و ذرت می‌باشد و در واحدهای اراضی ۱۳ و ۱۶ مقدار pH خاک حدود ۸/۱۲ می‌باشد بنابراین همین ویژگی در این دو واحد باعث شده است که اولویت اول در این دو واحد اراضی با گندم باشد.

مقادیر درجات محاسبه شده برای ویژگی‌های انتخاب شده در هر یک از واحدهای اراضی برای اولویت‌بندی محصولات مورد نظر در روش‌های ریشه دوم، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس مورد استفاده قرار گرفت. در بیشتر مطالعات انجام شده برای تعیین اولویت کشت محصولات با روش‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس، کار اولویت‌بندی برای کل منطقه صورت می‌گیرد. در صورتی که مقادیر ویژگی‌ها در واحدهای اراضی تفکیک شده با هم متفاوت بوده و بایستی این کار برای هر واحد اراضی به صورت مجزا انجام شود. در این تحقیق تعیین اولویت کشت محصولات گندم، جو و ذرت در هر واحد اراضی انجام و مقادیر امتیاز تعلق گرفته به هر محصول در هر یک از روش‌ها در جدول ۴ ارائه شده است.

همان‌طوری که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود هر سه روش تعیین اولویت کشت، در تمام واحدهای اراضی

جدول ۴- مقادیر امتیاز اختصاص یافته به هر یک از محصولات در واحدهای اراضی.

واحد اراضی	اولویت	جو			گندم			ذرت		
		تاپسیس	ریشه دوم	AHP	تاپسیس	ریشه دوم	AHP	تاپسیس	ریشه دوم	AHP
۱	جو	۰/۳۹۱	۰/۳۸۷	۰/۳۴۰	۰/۳۷۷	۰/۳۴۲	۰/۳۳۶	۰/۲۳۲	۰/۲۷۱	۰/۳۲۴
۲	جو	۰/۳۹۱	۰/۳۷۳	۰/۳۴۰	۰/۳۷۷	۰/۳۴۳	۰/۳۳۶	۰/۲۳۲	۰/۲۸۴	۰/۳۲۴
۳	جو	۰/۳۹۱	۰/۳۷۳	۰/۳۴۰	۰/۳۷۷	۰/۳۴۳	۰/۳۳۶	۰/۲۳۲	۰/۲۸۴	۰/۳۲۴
۴	جو	۰/۴۵۰	۰/۵۰۴	۰/۳۵۸	۰/۴۲۲	۰/۳۷۳	۰/۳۴۷	۰/۱۲۹	۰/۱۲۳	۰/۲۹۶
۵	جو	۰/۴۵۰	۰/۴۹۴	۰/۳۵۸	۰/۴۲۲	۰/۳۸۰	۰/۳۴۷	۰/۱۲۹	۰/۱۲۶	۰/۲۹۶
۶	جو	۰/۳۸۱	۰/۳۵۹	۰/۳۳۶	۰/۳۷۸	۰/۳۴۹	۰/۳۳۵	۰/۲۴۱	۰/۲۹۲	۰/۳۲۸
۷	جو	۰/۳۷۹	۰/۳۵۵	۰/۳۳۶	۰/۳۷۶	۰/۳۴۶	۰/۳۳۵	۰/۲۴۵	۰/۲۹۹	۰/۳۲۸
۸	جو	۰/۳۸۶	۰/۳۶۳	۰/۳۳۷	۰/۳۸۳	۰/۳۵۱	۰/۳۳۶	۰/۲۳۲	۰/۲۸۶	۰/۳۲۶
۹	جو	۰/۳۸۱	۰/۳۵۵	۰/۳۳۶	۰/۳۷۸	۰/۳۴۶	۰/۳۳۵	۰/۲۴۱	۰/۲۹۹	۰/۳۲۹
۱۰	جو	۰/۳۷۹	۰/۳۵۳	۰/۳۳۶	۰/۳۷۵	۰/۳۴۶	۰/۳۳۵	۰/۲۴۵	۰/۳۰۱	۰/۳۲۹
۱۱	جو	۰/۳۷۹	۰/۳۵۰	۰/۳۳۶	۰/۳۷۵	۰/۳۴۱	۰/۳۳۵	۰/۲۴۶	۰/۳۰۹	۰/۳۲۹
۱۲	جو	۰/۳۸۴	۰/۳۷۲	۰/۳۳۷	۰/۳۸۰	۰/۳۶۴	۰/۳۳۶	۰/۲۳۶	۰/۲۶۴	۰/۳۲۶
۱۳	گندم	۰/۳۹۲	۰/۳۷۰	۰/۳۳۸	۰/۴۰۰	۰/۳۸۲	۰/۳۴۳	۰/۲۰۸	۰/۲۴۸	۰/۳۱۹
۱۴	جو	۰/۳۸۴	۰/۳۶۶	۰/۳۳۷	۰/۳۸۰	۰/۳۵۴	۰/۳۳۶	۰/۲۳۶	۰/۲۸۰	۰/۳۲۶
۱۵	جو	۰/۳۸۹	۰/۳۸۴	۰/۳۴۰	۰/۳۷۵	۰/۳۴۲	۰/۳۳۶	۰/۲۳۶	۰/۲۷۴	۰/۳۲۴
۱۶	گندم	۰/۳۸۶	۰/۳۵۷	۰/۳۳۹	۰/۳۸۷	۰/۳۸۹	۰/۳۴۱	۰/۲۲۶	۰/۲۵۴	۰/۳۲۱
۱۷	جو	۰/۳۸۱	۰/۳۶۰	۰/۳۳۷	۰/۳۷۶	۰/۳۴۹	۰/۳۳۶	۰/۲۴۲	۰/۲۹۱	۰/۳۲۷
۱۸	جو	۰/۳۹۶	۰/۳۹۱	۰/۳۴۴	۰/۳۸۱	۰/۳۶۰	۰/۳۳۸	۰/۲۲۴	۰/۲۴۹	۰/۳۱۸
۱۹	جو	۰/۳۸۶	۰/۳۶۸	۰/۳۳۹	۰/۳۷۶	۰/۳۴۹	۰/۳۳۶	۰/۲۳۸	۰/۲۸۳	۰/۳۲۵
۲۰	جو	۰/۳۸۱	۰/۳۵۷	۰/۳۳۷	۰/۳۷۵	۰/۳۴۲	۰/۳۳۵	۰/۲۴۴	۰/۳۰۱	۰/۳۲۸
۲۱	جو	۰/۳۸۶	۰/۳۶۴	۰/۳۳۹	۰/۳۷۶	۰/۳۴۴	۰/۳۳۶	۰/۲۳۸	۰/۲۹۲	۰/۳۲۵
۲۲	جو	۰/۳۸۶	۰/۳۶۴	۰/۳۳۹	۰/۳۷۶	۰/۳۴۴	۰/۳۳۶	۰/۲۳۸	۰/۲۹۲	۰/۳۲۵
۲۳	جو	۰/۳۸۳	۰/۳۵۷	۰/۳۳۷	۰/۳۷۸	۰/۳۴۶	۰/۳۳۶	۰/۲۳۹	۰/۲۹۷	۰/۳۲۷
۲۴	جو	۰/۳۸۸	۰/۳۶۵	۰/۳۳۸	۰/۳۸۵	۰/۳۵۳	۰/۳۳۷	۰/۲۲۷	۰/۲۸۲	۰/۳۲۵
۲۵	جو	۰/۳۸۸	۰/۳۶۴	۰/۳۳۸	۰/۳۸۵	۰/۳۵۲	۰/۳۳۷	۰/۲۲۷	۰/۲۸۴	۰/۳۲۵
۲۶	جو	۰/۳۸۳	۰/۳۶۴	۰/۳۳۸	۰/۳۷۸	۰/۳۴۹	۰/۳۳۶	۰/۲۳۹	۰/۲۸۷	۰/۳۲۶
۲۷	جو	۰/۳۸۲	۰/۳۵۸	۰/۳۳۸	۰/۳۸۰	۰/۳۴۹	۰/۳۳۷	۰/۲۳۸	۰/۲۹۳	۰/۳۲۴
۲۸	جو	۰/۳۸۳	۰/۳۶۱	۰/۳۳۸	۰/۳۷۸	۰/۳۴۶	۰/۳۳۷	۰/۲۳۹	۰/۲۹۳	۰/۳۲۵
۲۹	جو	۰/۳۸۲	۰/۳۶۸	۰/۳۴۰	۰/۳۸۰	۰/۳۶۰	۰/۳۳۹	۰/۲۳۸	۰/۲۷۲	۰/۳۲۱
۳۰	جو	۰/۳۸۳	۰/۳۵۸	۰/۳۳۸	۰/۳۸۱	۰/۳۴۸	۰/۳۳۷	۰/۲۳۶	۰/۲۹۴	۰/۳۲۵
۳۱	جو	۰/۳۹۲	۰/۳۹۴	۰/۳۴۱	۰/۳۷۸	۰/۳۴۴	۰/۳۳۶	۰/۲۳۰	۰/۲۶۲	۰/۳۲۳
۳۲	جو	۰/۳۹۰	۰/۳۷۴	۰/۳۴۱	۰/۳۷۶	۰/۳۴۷	۰/۳۳۶	۰/۲۳۳	۰/۲۷۹	۰/۳۲۳
۳۳	جو	۰/۳۹۸	۰/۳۸۸	۰/۳۴۲	۰/۳۸۵	۰/۳۵۷	۰/۳۳۸	۰/۲۱۸	۰/۲۵۵	۰/۳۲۰
۳۴	جو	۰/۴۰۲	۰/۴۳۶	۰/۳۴۶	۰/۳۸۰	۰/۳۴۰	۰/۳۳۷	۰/۲۱۸	۰/۲۲۴	۰/۳۱۷
۳۵	جو	۰/۴۲۳	۰/۴۳۶	۰/۳۵۰	۰/۳۹۵	۰/۳۶۴	۰/۳۴۰	۰/۱۸۲	۰/۲۰۰	۰/۳۰۹
۳۶	جو	۰/۴۱۲	۰/۴۲۰	۰/۳۴۸	۰/۳۸۷	۰/۳۵۲	۰/۳۳۸	۰/۲۰۱	۰/۲۲۸	۰/۳۱۳
۳۷	جو	۰/۴۱۲	۰/۴۲۰	۰/۳۴۸	۰/۳۸۷	۰/۳۵۲	۰/۳۳۸	۰/۲۰۱	۰/۲۲۸	۰/۳۱۳
۳۸	جو	۰/۳۸۳	۰/۳۷۴	۰/۳۴۱	۰/۳۷۹	۰/۳۶۰	۰/۳۳۹	۰/۲۳۷	۰/۲۶۶	۰/۳۲۰

ادامه جدول ۴

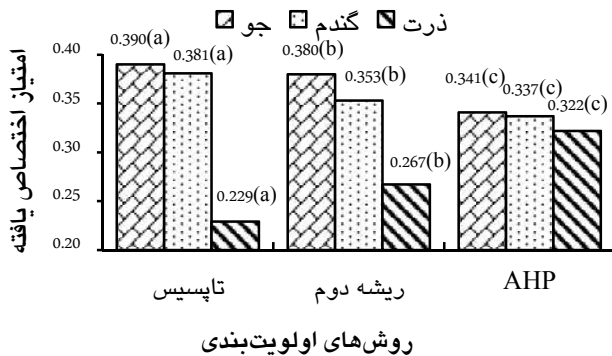
واحد اراضی	اولویت	جو			گندم			ذرت		
		تاپسیس	ریشه دوم	AHP	تاپسیس	ریشه دوم	AHP	تاپسیس	ریشه دوم	AHP
۳۹	جو	۰/۳۸۲	۰/۳۶۹	۰/۳۴۰	۰/۳۸۰	۰/۳۶۰	۰/۳۲۹	۰/۲۲۸	۰/۲۷۱	۰/۳۲۱
۴۰	جو	۰/۳۷۹	۰/۳۵۸	۰/۳۳۹	۰/۳۷۸	۰/۳۴۹	۰/۳۳۸	۰/۲۴۳	۰/۲۹۳	۰/۳۲۳
۴۱	جو	۰/۳۹۴	۰/۴۰۱	۰/۳۴۲	۰/۳۷۸	۰/۳۴۲	۰/۳۳۶	۰/۲۲۸	۰/۲۵۷	۰/۳۲۲
۴۲	جو	۰/۳۸۸	۰/۳۷۴	۰/۳۴۱	۰/۳۷۲	۰/۳۴۳	۰/۳۳۵	۰/۲۴۱	۰/۲۸۳	۰/۳۲۴
۴۳	جو	۰/۳۹۲	۰/۳۸۶	۰/۳۴۲	۰/۳۸۵	۰/۳۷۲	۰/۳۴۰	۰/۲۲۳	۰/۲۴۲	۰/۳۱۸
۴۴	جو	۰/۳۹۷	۰/۴۲۸	۰/۳۴۵	۰/۳۷۶	۰/۳۳۶	۰/۳۳۶	۰/۲۲۷	۰/۲۳۶	۰/۳۱۹
۴۵	جو	۰/۳۹۷	۰/۴۲۰	۰/۳۴۷	۰/۳۷۶	۰/۳۵۱	۰/۳۳۷	۰/۲۲۷	۰/۲۲۹	۰/۳۱۶
۴۶	جو	۰/۳۹۷	۰/۳۹۴	۰/۳۴۶	۰/۳۷۵	۰/۳۴۵	۰/۳۳۶	۰/۲۲۸	۰/۲۶۱	۰/۳۱۸
۴۷	جو	۰/۳۸۲	۰/۳۸۰	۰/۳۴۲	۰/۳۸۱	۰/۳۷۱	۰/۳۴۱	۰/۲۳۷	۰/۲۴۹	۰/۳۱۷
۴۸	جو	۰/۳۸۲	۰/۳۸۰	۰/۳۴۱	۰/۳۸۰	۰/۳۶۸	۰/۳۴۰	۰/۲۳۸	۰/۲۵۲	۰/۳۱۹
۴۹	جو	۰/۳۸۰	۰/۳۷۱	۰/۳۴۱	۰/۳۷۸	۰/۳۶۴	۰/۳۳۹	۰/۲۴۲	۰/۲۶۵	۰/۳۲۰
۵۰	جو	۰/۳۸۴	۰/۳۶۳	۰/۳۳۸	۰/۳۸۱	۰/۳۵۱	۰/۳۳۷	۰/۲۳۵	۰/۲۸۶	۰/۳۲۵
۵۱	جو	۰/۳۸۱	۰/۳۸۳	۰/۳۴۲	۰/۳۸۰	۰/۳۷۷	۰/۳۴۱	۰/۲۳۹	۰/۲۴۰	۰/۳۱۷
۵۲	جو	۰/۳۸۰	۰/۳۶۳	۰/۳۴۱	۰/۳۷۸	۰/۳۵۴	۰/۳۴۰	۰/۲۴۲	۰/۲۸۳	۰/۳۱۹
۵۳	جو	۰/۳۹۶	۰/۳۹۶	۰/۳۴۲	۰/۳۸۱	۰/۳۴۴	۰/۳۳۷	۰/۲۲۳	۰/۲۶۰	۰/۳۲۱
۵۴	جو	۰/۳۹۲	۰/۳۷۵	۰/۳۴۱	۰/۳۷۶	۰/۳۴۲	۰/۳۳۶	۰/۲۳۱	۰/۲۸۳	۰/۳۲۳
۵۵	جو	۰/۳۷۸	۰/۳۵۶	۰/۳۳۶	۰/۳۷۵	۰/۳۴۶	۰/۳۳۵	۰/۲۴۷	۰/۲۹۸	۰/۳۲۹
۵۶	جو	۰/۳۸۰	۰/۳۵۶	۰/۳۳۶	۰/۳۷۶	۰/۳۴۶	۰/۳۳۵	۰/۲۴۴	۰/۲۹۸	۰/۳۲۹
۵۷	جو	۰/۳۸۰	۰/۳۵۵	۰/۳۳۶	۰/۳۷۶	۰/۳۴۵	۰/۳۳۵	۰/۲۴۴	۰/۳۰۰	۰/۳۲۹
۵۸	جو	۰/۳۸۶	۰/۳۸۳	۰/۳۴۳	۰/۳۸۲	۰/۳۷۲	۰/۳۴۲	۰/۲۳۲	۰/۲۴۵	۰/۳۱۵
۵۹	جو	۰/۳۸۸	۰/۳۸۵	۰/۳۴۳	۰/۳۸۴	۰/۳۷۰	۰/۳۴۲	۰/۲۲۸	۰/۲۴۵	۰/۳۱۵
۶۰	جو	۰/۳۹۰	۰/۳۷۵	۰/۳۴۲	۰/۳۸۷	۰/۳۵۹	۰/۳۴۱	۰/۲۲۳	۰/۲۶۶	۰/۳۱۷
۶۱	جو	۰/۳۹۲	۰/۳۹۹	۰/۳۴۲	۰/۳۷۵	۰/۳۳۹	۰/۳۳۶	۰/۲۳۳	۰/۲۶۲	۰/۳۲۲
۶۲	جو	۰/۳۹۴	۰/۳۸۷	۰/۳۴۳	۰/۳۷۶	۰/۳۵۰	۰/۳۳۶	۰/۲۳۰	۰/۲۶۳	۰/۳۲۱
۶۳	جو	۰/۳۹۴	۰/۳۸۱	۰/۳۴۳	۰/۳۷۶	۰/۳۴۴	۰/۳۳۶	۰/۲۳۰	۰/۲۷۵	۰/۳۲۱
۶۴	جو	۰/۳۸۲	۰/۳۶۳	۰/۳۳۹	۰/۳۷۵	۰/۳۴۵	۰/۳۳۷	۰/۲۴۲	۰/۲۹۲	۰/۳۲۴
۶۵	جو	۰/۳۸۶	۰/۳۶۱	۰/۳۳۹	۰/۳۸۰	۰/۳۴۷	۰/۳۳۷	۰/۲۳۴	۰/۲۹۲	۰/۳۲۴
۶۶	جو	۰/۳۸۶	۰/۳۸۴	۰/۳۴۴	۰/۳۷۸	۰/۳۶۳	۰/۳۴۱	۰/۲۳۶	۰/۲۵۳	۰/۳۱۵

کاهش امتیاز در بیشتر واحدهای اراضی شده‌اند. در اراضی مستعد، هر چه امتیاز داده شده به محصول جو در واحد اراضی بیشتر باشد اثر ویژگی‌های محدودیت کننده در آن واحد کمتر بوده و در واحدهای با امتیاز کمتر محدودیت بیشتر است. بررسی واحدها نشان داد که مقادیر زیاد ESP و EC (واحدهای ۴، ۵ و ۳۴ تا ۳۷) و حساسیت گیاه ذرت و متحمل بودن جو نسبت به این

بررسی ویژگی‌ها در واحدهای اراضی نشان داد که مهمترین عامل محدودیت در منطقه شیب می‌باشد که در برخی واحدها مقدار آن حدود ۱۹ درصد است. همچنین عمق خاک، pH و گچ به ترتیب از مهمترین عوامل محدودیت برای کشت جو بوده و باعث کاهش امتیاز در برخی واحدها برای گیاه جو شده‌اند. در مورد گندم و ذرت شیب، عمق خاک، ESP، گچ و EC برای ذرت باعث

جدول ۵- تجزیه واریانس چند متغیره بین روش‌ها ($\alpha=0/05$).

آزمون	ارزش آماره آزمون	F	df _H	df _E	P-value
هاتلینگ	۴/۸۲	۲۳۲/۳۶	۴	۳۸۶	<0/0001
ویکس	۰/۱۳۶	۱۶۶/۱۱	۴	۳۸۸	<0/0001



شکل ۳- مقایسه میانگین امتیاز محصولات با روش LSD.

(اعداد، مقادیر میانگین و حروف متفاوت دلالت بر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است).

بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان استدلال نمود که الگوریتم تاپسیس به‌عنوان یک تصمیم‌گیری چند شاخصه برای اولویت‌بندی گزینه‌ها (محصولات) بر مبنای نقطه ایده‌آل، مرتب‌سازی مجموعه‌ای از گزینه‌ها را برپایه انفکاک آنها از نقاط ایده‌آل انجام می‌دهد. تکنیک مرتب‌سازی اولویت‌بندی گزینه‌ها بر مبنای میزان مشابهت بیشتر به راه‌حل ایده‌آل مثبت یکی از مزایای این روش محسوب می‌شود که باعث تمایز و برتری آن نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره شده است (آقاجانی‌میر و همکاران ۲۰۱۶). بر اساس این مزیت در روش تاپسیس بهترین اولویت، گزینه‌ای است که به‌طور همزمان، نزدیکترین فاصله به نقطه ایده‌آل مثبت و دورترین فاصله از نقطه ایده‌آل منفی را داشته باشد. این روش هم مستلزم افزایش یکنواخت مطلوبیت (هر چه ارزش معیار مثبت بزرگتر باشد، گزینه بهتر است) و هم مستلزم کاهش یکنواخت مطلوبیت (هر چه ارزش معیار منفی کوچک باشد، گزینه بهتر است)

ویژگی‌ها باعث امتیاز بیشتر جو و کمتر ذرت شده است. در برخی از واحدهای اراضی به دلیل زیاد بودن مقدار گچ در خاک، عمق مفید خاک کاهش یافته و باعث محدودیت برای هر سه محصول شده است (واحدهای ۳۸ تا ۴۰ و ۴۷ تا ۵۲). مقدار آهک در همه واحدها قابل ملاحظه بوده ولی محدودیت شدید برای محصولات مورد مطالعه به‌وجود نیآورده است. مقادیر فسفر و پتاسیم قابل دسترس در خاک‌های منطقه متفاوت بوده و در بیشتر واحدها برای محصولات مورد مطالعه کمبود پتاسیم وجود نداشته ولی اکثر واحدها (به‌جز واحدهای ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۵۳ تا ۵۷) دارای کمبود فسفر بوده و حتماً در آنها استفاده از کود مناسب بایستی صورت گیرد.

برای تجزیه و تحلیل آماری تفاوت روش‌های استفاده شده در تعیین اولویت کشت، از تجزیه واریانس چند متغیره استفاده و نتایج در جدول ۵ ارائه شده است. مقایسه مقدار P-value آزمون‌های هاتلینگ و ویکس با مقدار $\alpha=0/05$ نشان داد که هر سه روش با هم متفاوت بوده و در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند. بنابراین یکی از روش‌ها بایستی دارای دقت بیشتری نسبت به دو روش دیگر باشد. برای این منظور مقایسه میانگین امتیازات اختصاص داده شده به محصولات مختلف توسط روش‌های تعیین اولویت با استفاده از آزمون LSD انجام و نتایج نشان داد (شکل ۳) که بین هر سه روش اختلاف معنی‌دار وجود دارد و روش تاپسیس ضمن این که اولویت اول را به جو اختصاص داده، بیشترین امتیاز را نیز به این محصول داده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که روش تاپسیس نسبت به دو روش دیگر دقیق‌تر عمل کرده است. همچنین فاصله مقادیر امتیازات (ضریب نزدیکی) به دست آمده در روش تاپسیس برای گزینه‌ها بیشتر بوده و انتخاب گزینه برتر را آسان‌تر می‌کند که با نتایج بیلپائو ترول و همکاران (۲۰۱۴) و آقاجانی‌میر و همکاران (۲۰۱۶) در مورد روش تاپسیس مطابقت دارد.

دلایل ذکر شده مبنی بر زیاد بودن دقت روش تاپسیس در پژوهش خود اشاره کرده‌اند.

نتیجه‌گیری کلی

مدل‌سازی تناسب اراضی یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره است که ضمن تصحیح استفاده‌های نادرست از اراضی توسط کاربران، با کاهش دادن هزینه‌ها و افزایش سودآوری، باعث می‌شود تا اراضی به‌نحوی درست برای نسل‌های بعدی حفظ و حراست گردد. در چارچوب این برنامه‌ریزی، اراضی ارزیابی شده و پتانسیل آنها برای استفاده‌های ممکن، تعیین و به‌نحوی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند که مشکلات موجود کاهش یافته و اهداف اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی مورد نظر شامل خودکفایی، اشتغال‌زایی و پایداری اراضی تأمین گردد. برای این منظور جهت تعیین اولویت کشت محصولات گندم، جو و ذرت از روش‌های تاپسیس، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و ریشه دوم در بخشی از اراضی دشت مغان استفاده و امتیازات به‌دست آمده با تجزیه واریانس چند متغیره بررسی شد. مقدار P-value آزمون‌های هاتلینگ و ویلکس در تجزیه واریانس نشان داد که هر سه روش با هم متفاوت بوده و مقایسه میانگین امتیازات محصولات با آزمون LSD مشخص کرد که روش تاپسیس دارای دقت زیاد و بیشترین امتیاز را در اولویت کشت به محصول جو داده است. دقت زیاد روش تاپسیس را می‌توان به ماهیت مقایسه توأم فاصله گزینه از ایده‌آل مثبت و منفی، استانداردسازی داده‌ها به روش نرم اقلیدسی و همچنین استفاده از معادلات و ماتریس‌های ریاضی و وزن‌های مناسب نسبت داد.

می‌باشد (روشنعلی و ذاکری ۱۳۹۱، طالع جنکانلو و همکاران ۱۳۹۴).

رویکرد تاپسیس ابزار و اهرم مناسبی برای تعدیل و کنترل میزان موازنه و جبران‌پذیری بین معیارها (ویژگی‌های خاک و اراضی) است که باعث ارزیابی سریع و تفسیر مناسب نتایج و ارتباط بین معیارها را فراهم می‌سازد. از قابلیت‌های دیگر این روش می‌توان به توانایی آن در ترکیب داده‌های نامتجانس (معیارهای با اثر مثبت مثل عمق مفید خاک و اثر منفی مثل ESP) با استفاده از دانش خبره، انعطاف‌پذیری در انتخاب داده‌های مناسب برای مناطق و مسائل مختلف، ایفاء تصمیم‌گیری گروهی یا منفرد، آزادی و استقلال در توسعه سناریوهای مختلف تصمیم‌گیری اشاره کرد (طالع جنکانلو و همکاران ۱۳۹۴) که باعث افزایش دقت آن می‌شود. همچنین با توجه به اینکه ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات کشاورزی دارای رویکرد میان‌رشته‌ای بوده و در آن باید اطلاعات گوناگونی از منابع مختلف جمع‌آوری گردد، نتایج این پژوهش نشان‌دهنده پتانسیل بالای روش تاپسیس در مدل‌سازی مسائل پیچیده تصمیم‌گیری در جهان واقعی می‌باشد. روشنعلی و ذاکری (۱۳۹۱)، طالع جنکانلو و همکاران (۱۳۹۴) و العالم و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعات ارزیابی تناسب اراضی دقت روش تاپسیس را بسیار قابل ملاحظه دانسته‌اند. همچنین بالا بودن دقت این روش را به استفاده از معادلات و ماتریس‌های ریاضی، وزن‌های مناسب، ماهیت مقایسه توأم فاصله گزینه از ایده‌آل مثبت و منفی و استانداردسازی داده‌ها به روش نرم اقلیدسی می‌توان ارتباط داد که میرزایی و همکاران (۱۳۹۳)، بیلباو ترول و همکاران (۲۰۱۴) و آقاجانی‌میر و همکاران (۲۰۱۶) به

منابع مورد استفاده

جعفرزاده ع، نیشابوری م و ممتاز ح، ۱۳۸۵. ارزیابی کیفی تناسب اراضی یخفروزان اهر برای برخی از گیاهان زراعی متداول کشت در منطقه. دانش کشاورزی، جلد ۱۶، شماره ۳، صفحه‌های ۶۷ تا ۸۱.

- روشنعلی م و ذاکری م، ۱۳۹۱. سنجش تناسب اراضی بر اساس عناصر اقلیمی برای کشت کلزا با استفاده از مدل TOPSIS (مطالعه موردی: استان مازندران). پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، جلد ۳، شماره ۶، صفحه‌های ۶۷ تا ۸۰.
- سرمدیان ف و کشاورزی ع، ۱۳۹۰. بررسی کارایی نظریه مجموعه‌های فازی در ارزیابی تناسب اراضی برای گندم آبی در استان قزوین با استفاده از روش‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و رگرسیون چند متغیره. تحقیقات آب و خاک ایران، جلد ۴۲، شماره ۲، صفحه‌های ۱۹۹ تا ۲۰۷.
- طالع‌چنگانلو ع، طالعی م و کریمی م. ۱۳۹۴. ارزیابی تناسب اراضی مسکونی به روش فازی TOPSIS-OWA گروهی. علوم و فنون نقشه‌برداری، جلد ۴، شماره ۴، صفحه‌های ۲۹ تا ۴۵.
- طالعی م، سلیمانی ح و فرج‌زاده‌اصل م، ۱۳۹۳. ارزیابی تناسب اراضی برای کشت گندم دیم بر مبنای مدل فائو و با استفاده از تکنیک تلفیقی Fuzzy-AHP-OWA در محیط GIS (مطالعه موردی: میانه). آب و خاک، جلد ۲۸، شماره ۱، صفحه‌های ۱۳۹ تا ۱۵۶.
- غیبی من، اسدی ف و طهرانی م، ۱۳۹۳. راهنمای مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه نرت. انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ۵۵ صفحه.
- مشیری ف، شهابی ع، کشاورز پ، طهرانی م، خوگر ز، فیضی‌اصل و، غیبی م، اسدی رحمانی ه و سعادت س، ۱۳۹۳ الف. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه جو. انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ۶۴ صفحه.
- مشیری ف، طهرانی م، شهابی ع، کشاورز پ، خوگر ز، فیضی‌اصل و، اسدی رحمانی ه، سماوات س، سدری م، رشیدی ن، سعادت س و خادمی ز، ۱۳۹۳ ب. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گندم. انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ۸۸ صفحه.
- میرزایی م، سلمان‌ماهینی ع و میرکریمی س، ۱۳۹۳. مکان‌یابی محل دفن زباله با به کارگیری فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و TOPSIS (مطالعه موردی: شهرستان گلپایگان). محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، جلد ۲۷، شماره ۱، صفحه‌های ۱۰۵ تا ۱۱۹.
- نسترن م، ابوالحسنی ف و ایزدی م، ۱۳۸۹. کاربرد تکنیک تاپسیس در تحلیل و اولویت‌بندی توسعه پایدار مناطق شهری (مطالعه موردی مناطق شهری اصفهان). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، جلد ۲۱، شماره ۳۸، صفحه‌های ۸۳ تا ۱۰۰.
- Aghajani Mir M, Taherei Ghazvinei P, Sulaiman NMN, Basri NEA, Saheri S, Mahmood NZ, Jahan A, Begum RA and Aghamohammadi N, 2016. Application of TOPSIS and VIKOR improved versions in a multi criteria decision analysis to develop an optimized municipal solid waste management model. *Journal of Environmental Management* 166:109-115.
- Anonymous, 1979. Soil Survey Investigations for Irrigation. FAO Soils Bulletin No. 42. FAO, Rome. 188p.
- Anonymous, 2006. Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements), FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56, 333p.
- Anonymous, 2012a. Crop Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 66, 519p.
- Anonymous, 2012b. Field Book for Describing and Sampling Soils, Version 3, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Anonymous, 2012c. Global Agroecological Zones, Version 3, IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy, 196p.
- Anonymous, 2012d. Java Newhall (Soil Climate) Simulation Model (jNSM). United State Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. <http://soils.usda.gov/technical/classification/jNSM/index.html>.
- Anonymous, 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th edition, United State Department of Agriculture, National Soil Survey Center. Natural Resources Conservation Service.
- Bilbao-Terol A, Arenas-Parra M, Cañal-Fernández V and osé Antomil-Ibias J, 2014. Using TOPSIS for assessing the sustainability of government bond funds. *Omega* 49:1-17.
- Dasheng W, Xue F and QingQing W, 2011. The research of evaluation for growth suitability of *Carya Cathayensis* Sarg. based on PCA and AHP. *Procedia Engineering* 15:1879-1883.
- Elaalem M, 2010. The application of land evaluation techniques in Jeffara Plain in Lybia using fuzzy methods. Ph.D thesis, University of Leicester.
- Elaalem M, Comber A and Fisher P, 2010. Land evaluation techniques comparing fuzzy AHP with TOPSIS methods. 13th AGILE International Conference on Geographic Information Science Guimarães, Portugal, Pp. 1-8.

- Jafarzadeh AA and Abbasi G, 2006. Qualitative land suitability evaluation for the growth of onion, potato, maize and alfalfa on soils of the Khalatpushan research station. *Biologia, Bratislava* 19: 349- 352.
- Kylili A, Christoforou E, Fokaides PA and Polycarpou P, 2016. Multicriteria analysis for the selection of the most appropriate energy crops: the case of Cyprus. *International Journal of Sustainable Energy* 35(1): 47–58.
- Masoumi I, Naraghi S, Rashidi-nejad F and Masoumi Sh, 2014. Application of fuzzy multi-attribute decision-making to select and to rank the post-mining land use. *Environmental Earth Sciences* 72(1):221-231.
- Moreno J and Francisco S, 2007. Applicability of knowledge-based and fuzzy theory-oriented approaches to land suitability for upland rice and rubber, as compared to the farmer's perception: A case study of Lao PDR, Msc Thesis, ITC, Netherlands.
- Mosadeghi R, Warnken J, Tomlinson R, Mirfenderesk H, 2015. Comparison of Fuzzy-AHP and AHP in a spatial multi-criteria decision making model for urban land-use planning. *Computers, Environment and Urban Systems* 49:54-65.
- Opricovic S and Tzeng GH, 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research* 156:445-455.
- Pettit CJ, Klosterman RE, Delaney P, Whitehead AL, Kujala H, Bromage A, Nino-Ruiz M, 2015. The online what if? Planning support system: a land suitability application in Western Australia. *Applied Spatial Analysis and Policy* 8(2): 93-112.
- Prakash TN, 2003. Land suitability analysis for agricultural crops: a fuzzy multi-criteria decision making approach. Msc Thesis, ITC, Netherland.
- Saaty T and Vargas LG, 2001. *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Kluwer Academic, 160p.
- Saaty T, 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences* 1:83-98.
- Shahbazi F, Jafarzadeh AA, Sarmadian F, Neyshaboury MR, Oustan Sh, Anaya-Romero M and De la Rosa D, 2009. Suitability of wheat, maize, sugar beet and potato using MicroLEIS DSS software in Ahar Area, North-West of Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences* 5(1): 45-52.
- Sys C, Van Ranset E, Debaveye J and Beernaert F, 1993. *Land Evaluation: Crop Requirements*. International Training Center for Post Graduate Soil Scientist, Ghent University, Ghent.
- Tuan Nguyen T, Verdoodt A, Tran VY, Delbecque N, Tran TC, Van Ranst E, 2015. Design of a GIS and multi-criteria based land evaluation procedure for sustainable land-use planning at the regional level. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 200: 1-11.
- Wang J, 2012. *Geometric Structure of High-Dimensional Data and Dimensionality Reduction*. Higher Education Press, Beijing and Springer-Verlag Berlin Heidelberg.