

Land Suitability Evaluation Using TOPSIS Method and Its Comparison with Parametric Methods for Maize Production in Part of Qazvin

FEREYDOON SARMADIAN^{1*}, MOHAMMAD SAJJAD GHAVAMI¹

1. Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agricultural & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: Feb. 17, 2019- Revised: May. 28, 2019- Accepted: June. 1, 2019)

ABSTRACT

Land suitability evaluation by parametric methods (Story and Square Root) are sometimes incompatible with the reality of the field because of the low achieved values of the index. Therefore, the use of new multivariate decision-methods, considering the interactions of the criteria, including the new TOPSIS approach, can be investigated. Based on the grided sampling method, 22 soil profiles were studied in 8210 hectares. The genetic horizons were sampled and physicochemical properties analyzed. Based on the integration of soil unit map and slope, 17 land units were extracted and finally, land suitability maps were prepared for all three Story, Root and TOPSIS parametric methods in land units and GIS. Comparison of the values of land suitability index and yield of corn in the studied units showed that the correlation coefficient are 0.76, 0.76 and 0.78 for Story, TOPSIS and Square root method respectively. The results of this study showed that the Square root method has more validity than the other two methods

Key words: Land suitability evaluation, Parametric method (Story and Square Root), TOPSIS method, Yield, Maize

ارزیابی تناسب اراضی با استفاده از روش TOPSIS و مقایسه آن با روش‌های پارامتریک برای محصول ذرت در بخشی از اراضی قزوین

فریدون سرمدیان^{۱*}، محمدسجاد قوامی^۱

۱. گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۳/۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۳/۱۱)

چکیده

ارزیابی تناسب اراضی با روش‌های پارامتریک (استوری و ریشه دوم) گاهی با واقعیت منطقه بدلیل مقادیر پایین شاخص بدست آمده هم‌خوانی ندارد، لذا استفاده از روش‌های نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره که اثرات متقابل معیارها را در نظر می‌گیرند از جمله روش نوین TOPSIS، می‌توانند مورد بررسی قرار گیرند. براساس روش نمونه‌برداری شبکه‌ای، تعداد ۲۲ خاک‌رخ در ۸۲۱۰ هکتار حفر و از افق‌های ژنتیکی نمونه‌برداری بعمل آمد. نمونه‌ها مورد تجزیه فیزیکی و شیمیایی قرار گرفت و براساس تلفیق نقشه واحدهای خاک و شیب، تعداد ۱۷ واحد اراضی استخراج و در نهایت، نقشه‌های تناسب اراضی برای هر سه روش پارامتریک استوری، ریشه دوم و TOPSIS در واحدهای اراضی و محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. مقادیر شاخص تناسب اراضی با میزان عملکرد ذرت علوفه‌ای در واحدهای مورد مطالعه برای روش‌های استوری، ریشه دوم و TOPSIS مورد مقایسه قرار گرفت و مقدار ضریب تبیین آنها به ترتیب ۰/۷۶، ۰/۷۶ و ۰/۷۸ بدست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد که روش ریشه دوم از اعتبار بیشتری نسبت به دو روش دیگر برخوردار است.

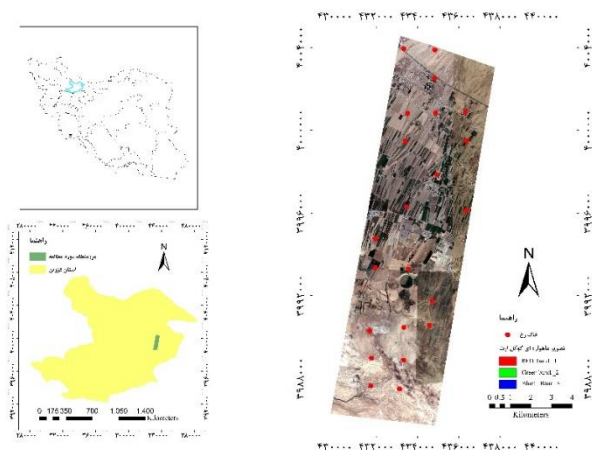
واژه‌های کلیدی: ارزیابی تناسب اراضی، روش پارامتریک (استوری و ریشه دوم)، روش TOPSIS، عملکرد محصول، ذرت علوفه‌ای.

مقدمه

روش‌های مختلفی براساس این چارچوب مطرح شده‌اند که روش‌های پارامتریک (استوری و ریشه دوم) یکی از شناخته شده‌ترین این روش‌ها می‌باشند. در این روش یک درجه‌بندی در مقیاس ۱۰۰-۰ به سطوح محدودیت نسبت داده شده و با یک رابطه ریاضی، شاخص‌نهایی اراضی بدست می‌آید. در تحقیقات مختلفی از جمله (Khamoshi, 2017) و (Sayadi, 2018) ارزیابی تناسب اراضی را با استفاده از روش پارامتریک برای محصول ذرت در بخشی از اراضی قزوین انجام دادند. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA) در حل مسائل دنیا به طور چشم‌گیری افزایش یافته است و تمایل به ساخت مدل‌های تصمیم‌گیری با قابلیت زیاد و پیشرفته برای حمایت از روش تصمیم‌گیری چند معیاره که در طیف گسترده‌ای از برنامه‌های کاربردی نقش دارند رو به افزایش است (Zyoud and Fuchs Hanusch, 2017). روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره را ممکن است به عنوان یک فرآیند پیچیده و پویا که شامل یک سطح مدیریتی و یک سطح مهندسی است در نظر بگیرند (Duckstein and Opricovic, 1980). برای تحلیل یک سیستم چند معیاره باید عناصر آن را به خوبی شناخت و آن‌ها را به طور

یکی از مشکلات پیش‌رو در بخش کشاورزی در واقع استفاده پایدار از منابع موجود مانند اراضی، آب و نیروی کارگر برای افزایش تولید و توسعه کشاورزی است که نیازمند برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری مناسب و دقیق می‌باشد (Farhadi Bansouleh, 2009). به منظور بهره‌برداری پایدار از اراضی، لزوم یک برنامه‌ریزی صحیح و طولانی مدت در زمینه استفاده از اراضی براساس استعداد و نوع نیازهای جامعه امروز انسانی مشهود است (McKenzie et al., 2008). ارزیابی اراضی بخش جدایی ناپذیر از برنامه‌ریزی برای استفاده بهینه از اراضی برای مدیریت پایدار است. در اصل، هدف از ارزیابی اراضی، مقایسه و تطبیق هر یک از استفاده‌های بالقوه اراضی با خصوصیات منحصر به فرد اراضی، برای واحدهای آن است (Van Niekerk, 2010). در واقع با استفاده از فرآیند تناسب اراضی، محدودیت‌ها و پتانسیل ذاتی واحدهای اراضی برای پشتیبانی از کاربری‌های مشخص در مدت زمان طولانی شناسایی و باعث کاهش هزینه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی می‌گردد (Prakash, 2003). ساختار تناسب اراضی در سال ۱۹۷۶ توسط فائو ارائه شد.

۱۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است. منطقه باغ کوثر دارای آب‌وهوای معتدل و نیمه‌خشک است. در این تحقیق از داده‌های هواشناسی دو ایستگاه هواشناسی باغ کوثر و بوبین زهرا استفاده گردید. در ایستگاه هواشناسی باغ کوثر مقدار بارندگی سالیانه ۲۷۸ میلیمتر است، همچنین متوسط دمای سالیانه این ایستگاه برابر با ۱۳/۸۸ درجه سانتیگراد است. در ایستگاه هواشناسی بوبین زهرا مقدار بارندگی سالیانه ۲۲۳ میلیمتر است، همچنین متوسط دمای سالیانه این ایستگاه برابر با ۱۶/۸۵ درجه سانتیگراد است. براساس داده‌های هواشناسی ایستگاه باغ کوثر رژیم حرارتی منطقه مطالعاتی ترمیک و رژیم رطوبتی منطقه در گروه زیریک و زیر گروه زیریک خشک می‌باشد و همچنین براساس داده‌های ایستگاه بوبین زهرا رژیم حرارتی منطقه مطالعاتی ترمیک و رژیم رطوبتی منطقه در گروه اریدیک و زیر گروه اریدیک ضعیف می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی و مکان‌های حفر خاک‌رخ

با توجه به وسعت منطقه مطالعاتی، ۲۲ خاک‌رخ به منظور تشریح و نمونه‌برداری به روش شبکه‌ای در نرم‌افزار Arc GIS 10.4 انتخاب و محدوده خاک‌رخ‌ها تعیین شد. در صحرا با توجه به وضعیت منطقه، مکان مناسب مشخص گردید و سپس با دستگاه مکان‌یاب جغرافیایی (GPS) مختصات برداشته شد (شکل ۱). پس از آن خاک‌رخ‌ها براساس روش (Soil survey manual 2017) تشریح گردید. بعد از تشخیص از تمامی لایه‌های ژنتیکی نمونه‌برداری صورت گرفت و برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه انتقال یافتند. پس از اتمام آنالیزهای آزمایشگاهی، با استفاده از روش کلید رده‌بندی آمریکایی (۲۰۱۴) تا سطح فامیل شناسایی شدند. براساس نتایج مورفولوژیکی، فیزیکو شیمیایی خاک‌رخ‌های مورد مطالعه و تفسیر بصری تصاویر ماهواره لندست ۸، مرزهای واحدهای نقشه خاک تهیه و در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.4 بصورت نقشه پلی‌گون رقومی‌سازی گردید

دقیق تعریف کرد و سپس به مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل آن پرداخت (Malczewski, 2006). در حال حاضر، روش‌های بسیاری از MCDA (Multi Criteria Decision Analysis) توسعه یافته‌اند که روش‌های AHP (Analytical Hierarchy Process) و TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal TOPSIS Solution) متداول‌ترین آن‌ها می‌باشند. مدل TOPSIS از شناخته شده‌ترین و همچنین یکی از شاخه‌های اصلی MCDA کلاسیک است که ابتدا توسط هوانگ و یون معرفی شد (Hwang and Yoon, 1981). در روش TOPSIS جایگزینی‌ها براساس فاصله خصوصیات از ایده‌آل‌ترین راه‌حل است که به صورت مثبت و منفی بیان می‌شود، یعنی بهترین حالت گزینه‌ای است که کوتاه‌ترین فاصله را از راه‌حل ایده‌آل مثبت داشته باشد و به همین ترتیب دورترین فاصله را از حالت منفی داشته باشد (Biorani and Ghofran., 2009). کاربرد این روش مستلزم آن است که تمام صفات باید عددی باشند و همچنین تمام صفات باید واحدهای معینی داشته باشند (Behzadian et al., 2012). روش‌های MCDA مانند روش AHP فازی و روش TOPSIS در ارزیابی اراضی با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است (Prakash, 2003). در تحقیقی که Seyedmohammadi et al., (2017) انجام دادند، از روش AHP برای وزن‌دهی‌هایی که برای روش TOPSIS لازم است، استفاده نمودند. در تحقیقی (Bagherzadeh and 2016 and 2017) Gholizadeh ارزیابی تناسب اراضی را برای دو محصول یونجه و گندم در منطقه جوبین در شمال کشور با استفاده از دو روش پارامتریک و TOPSIS انجام دادند. در تحقیق دیگری (2018) Seyedmohammadi et al. با استفاده از سه روش SAW و TOPSIS و TOPSIS فازی، تناسب اراضی برای سه محصول ذرت، کلزا و سویا را در منطقه‌ای در استان اردبیل انجام دادند. هدف از انجام این تحقیق، به دست آوردن اطلاعات خاک بخشی از استان قزوین جهت بررسی و اجرای برنامه‌های مدیریتی در آینده، ارزیابی تناسب اراضی به روش پارامتریک (ریشه دوم و استوری) و روش TOPSIS برای محصول ذرت آبی با مدیریت متوسط و نیمه مکانیزه و همچنین مقایسه روش‌های مورد استفاده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۸۲۱۰ هکتار در شرق استان قزوین در محدوده باغ کوثر بین ۳۶ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۵۰ درجه و

جدول نیازهای گیاهی محصول و تهیه واحدهای پراکنش مکانی خاک استفاده شد.

روش‌های ارزیابی تناسب اراضی

برای ارزیابی از روش طبقه‌بندی تناسب اراضی به روش FAO (1976) برای محصول ذرت آبی استفاده شد. در این تحقیق سه مرحله برای ارزیابی اراضی مورد بررسی قرار گرفت که شامل، تهیه اطلاعات مورد نیاز درباره مشخصات اراضی، تعیین درجات تناسب اراضی برای محصول ذرت (جدول ۱) و مطابقت نیازهای تیپ بهره‌وری اراضی (ذرت علوفه‌ای) با خصوصیات اراضی بود.

و سپس با تلفیق نقشه شیب با نقشه خاک، نقشه واحدهای اراضی تهیه گردید که تهیه نقشه‌های تناسب اراضی براساس نقشه‌های واحد اراضی صورت گرفت.

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل: تصاویر ماهواره لندست ۸ با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر مربوط به سال ۲۰۱۴ که برای جداسازی واحدهای اراضی براساس تفسیر بصری، مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر برای تهیه نقشه شیب، داده اقلیمی ایستگاه هواشناسی باغ کوثر و بوبین زهرا برای نیازمندی‌های محصول ذرت و جداسازی اولیه واحدهای اراضی، داده‌های حاصل از آنالیز فیزیکی و شیمیایی خاک، اطلاعات زهکشی و سیلگیری و پستی و بلندی برگه‌های تشریح برای تهیه

جدول ۱. نیازمندی‌های محصول ذرت علوفه‌ای (اقتباس از سیدمحمدی و همکاران، ۲۰۱۸)

| درجه‌بندی | ۱۰۰ | ۹۵ | ۸۵ | ۶۰ | ۴۰ | ۲۵ | ۰ |
|-----------------------|-------|---------|-------|-------|-------|-----|---|
| توپوگرافی | | | | | | | |
| شیب(%) | ۰-۲ | ۲-۵ | ۵-۸ | ۸-۱۶ | ۱۶-۲۵ | >۲۵ | |
| ویژگی‌های فیزیکی خاک | | | | | | | |
| سنگریزه(%) | ۰-۳ | ۳-۱۵ | ۱۵-۳۵ | ۳۵-۵۵ | | >۵۵ | |
| آهک(%) | ۱-۶/۲ | ۶-۱۵ | ۱۵-۲۲ | ۲۲-۳۰ | ۳۰-۳۵ | >۳۵ | |
| گچ(%) | ۰-۲ | ۲-۴ | ۴-۱۰ | ۱۰-۱۵ | ۱۵-۲۰ | >۲۰ | |
| ویژگی‌های شیمیایی خاک | | | | | | | |
| کربن‌آلی(%) | <۰/۸ | ۰/۰-۴/۸ | <۰/۴ | | | | |
| شوری و قلیائیت | | | | | | | |
| EC(ds/m) | ۰-۱ | ۱-۳ | ۳-۵ | ۵-۷ | ۷-۱۰ | >۱۰ | |
| ESP(%) | ۰-۳ | ۳-۶ | ۶-۱۲ | ۱۲-۱۸ | ۱۸-۲۴ | >۲۴ | |

روش ریشه دوم:

همچنین بر اساس روش ریشه دوم، شاخص اراضی با استفاده از معادله (۲) محاسبه می‌گردد (Khiddir, 1986):

$$I = R_{min} \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100}} \times \dots \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن I: شاخص اراضی، R min: کمترین درجه بدست آمده بین خصوصیات مختلف اراضی و اقلیمی و A, B, C و ... درجه سایر ویژگی‌ها می‌باشد.

در روش پارامتریک به هر یک از سطوح محدودیت ویژگی‌های اراضی درجه‌بندی در مقیاس ۱۰۰-۰ نسبت داده می‌شود و در نهایت با استفاده از جدول (۷) کلاس‌های تناسب اراضی مشخص می‌شوند.

روش TOPSIS

اساس روش TOPSIS بر این مفهوم استوار است که گزینه انتخابی باید کم‌ترین فاصله را با راه حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت

برای تعیین شاخص اراضی، درجات مربوط به خصوصیات مختلف منطقه محاسبه گردید. خصوصیات مختلف منطقه شامل خصوصیات اقلیمی، زمین‌نما و خاک جمع‌آوری و درجات مربوطه بدست آمد. از بین خصوصیات مختلف با توجه به شرایط منطقه خصوصیات شامل اقلیم، شیب، آهک، گچ، سنگریزه، شوری، قلیائیت و کربن‌آلی انتخاب شدند. برای ارزیابی تناسب اراضی ذرت که محصولی زراعی یکساله می‌باشد باید عمق ۱۰۰ سانتی-متری در نظر گرفته شود که برای عمق‌های ۰-۲۵، ۲۵-۵۰، ۵۰-۷۵ و ۷۵-۱۰۰ سانتی‌متری به ترتیب ضرایب وزنی ۱/۲۵، ۱/۷۵، ۱/۲۵ و ۰/۷۵ در نظر گرفته شد (Sys et al., 1991).

روش استوری:

براساس روش استوری، شاخص اراضی با استفاده از معادله (۱) محاسبه خواهد شد (Storie, 1978):

$$I = A \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \dots \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در این معادله I: شاخص اراضی و A, B, C و ... درجه هر یک از خصوصیات اراضی و اقلیمی می‌باشد.

ممکن) داشته باشد (Hwang and Yoon, 1981).

مراحل اجرای روش TOPSIS

ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری: به طور کلی در مدل TOPSIS، ماتریس $n \times m$ با m جایگزین و n معیار ارزیابی می‌شود که تشکیل ماتریس مطابق معادله (۳) می‌باشد. در این الگوریتم فرض می‌شود

که هر شاخص و معیار در ماتریس دخیل داده شده است:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (\text{رابطه ۳})$$

انجام مراحل روش TOPSIS به صورت خلاصه ذکر شده است:

ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل داده شد (جدول ۲).

جدول ۲. تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

| اقلیم | شیب | قلیائیت | سنگریزه | گچ | شوری | کربن‌آلی | آهک | پروفیل |
|-------|-----|---------|---------|-----|-------|----------|-------|--------|
| ۲۴/۳۴ | ۳ | ۰ | ۷/۲۴ | ۰ | ۰/۷۱ | ۰/۶۲ | ۱۵/۴۹ | ۱ |
| ۲۴/۳۴ | ۳ | ۰ | ۷/۵ | ۰ | ۰/۵۷ | ۰/۵۷ | ۱۳/۳۸ | ۲ |
| ۲۴/۳۴ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۶۷ | ۰/۶۷ | ۷/۵۴ | ۳ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| ۲۷/۹۵ | ۰/۵ | ۳۲/۱۴ | ۰ | ۳/۴ | ۲۳/۹۲ | ۰/۸۹ | ۱۷/۹۴ | ۲۲ |

(CR). نسبت بین شاخص انسجام ماتریس و شاخص تصادفی است. CR احتمال این که انتخاب ماتریس تا چه اندازه تصادفی بوده است را توسط معادله (۵) نشان می‌دهد:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (\text{رابطه ۵})$$

RI شاخص انسجام می‌باشد که بسته به نظم ماتریس ارائه می‌شود. CI شاخص انسجام است و از معادله (۶) محاسبه می‌شود که λ_{max} اصلی‌ترین یا بزرگترین جز ماتریس و n مرتبه ماتریس می‌باشد. CR در محدوده ۰ تا ۱ می‌باشد.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (\text{رابطه ۶})$$

در این مرحله با استفاده از پرسش‌نامه‌هایی که توسط کارشناسان تکمیل گردید، ماتریس مقایسات زوجی (جدول ۱۰) به عنوان ورودی نرم‌افزار Expert Choice استفاده گردید. خروجی این نرم‌افزار وزن‌هایی است که به هر خصوصیت نسبت داده شد (جدول ۱۱).

ایجاد ماتریس وزن: بدست آوردن ماتریس نرمال از حاصل ضرب مجموع وزن پارامترها (W_j) در ماتریس R بدست می‌آید که معادله شماره (۷) این روند را نشان می‌دهد:

$$V_{ij} = R_{ij} \times W_{mn} = \begin{bmatrix} V_{11} & \dots & V_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{m1} & \dots & V_{mn} \end{bmatrix} \quad (\text{رابطه ۷})$$

در این قسمت ماتریس‌های بی‌مقیاس شده در وزن‌های محاسبه شده ضرب گشته و ماتریس وزن‌دهی شده تشکیل داده شد (جدول ۴).

تعیین ایده‌آل‌های مثبت (+A) و ایده‌آل‌های منفی (-A):
ایده‌آل‌های مثبت از معادله (۸) و ایده‌آل‌های منفی از معادله (۹) محاسبه می‌شود:

(رابطه ۸)

$$A^+ = ((\max V_{ij} | j \in J), (\min V_{ij} | j \in J) | i = 1; 2; \dots; m)$$

نرمال‌سازی یا بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم‌گیری: از آنجا که ممکن است معیارها و شاخص‌ها واحد مساوی نداشته باشند، ابعاد واحد آن‌ها باید حذف شود. بنابراین تمام مقادیر ورودی ماتریس تصمیم‌گیری باید بدون واحد شوند که برای این کار از معادله شماره (۴) استفاده می‌نماییم:

$$R_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (\text{رابطه ۴})$$

بی‌مقیاس‌سازی برای کل خصوصیات (درصد آهک، درصد کربن‌آلی، شوری خاک، درصد گچ، درصد سنگریزه، قلیائیت، درصد شیب و اقلیم) مورد بررسی انجام شد که در جدول (۳) فقط به درصد آهک اشاره شده است. در مرحله بی‌مقیاس‌سازی هر کدام از خصوصیات خاک توان دو می‌گیرند و کل توان دوها با هم جمع و از مجموع جذر گرفته می‌شود و در نهایت هر کدام از خصوصیات مربوط به هر خاک‌رخ بر جذر مجموع توان دوها تقسیم می‌شود.

جدول ۳. بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم‌گیری

| بی‌مقیاس شده | توان دو | آهک | پروفیل |
|--------------|---------|-------|--------|
| ۰/۲۵۱ | ۲۳۹/۹۴ | ۱۵/۴۹ | ۱ |
| ۰/۲۱۷ | ۱۷۹/۰۲ | ۱۳/۳۸ | ۲ |
| ۰/۱۲۲ | ۵۶/۸۵ | ۷/۵۴ | ۳ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| ۰/۲۹۱ | ۳۲۱/۸۴ | ۱۷/۹۴ | ۲۲ |
| | ۳۸۰۷/۰۱ | | مجموع |

تعیین وزن برای کل شاخص‌ها: در این قسمت از روش AHP برای محاسبه (W_i) استفاده شده است. AHP یک سیستم وزن‌دهی یک جانبه از طریق یک جفت ماتریس مقایسه بین پارامترها می‌باشد که این مقایسه وابسته به قضاوت متخصص دارد. در روش AHP شاخص سازگار بودن به عنوان نسبت سازگاری

(رابطه ۹)

$A^- = ((\min Vij | j \in J), (\max Vij | j \in J) | i = 1; 2; \dots, m)$
 در این مرحله ایده‌آل‌های مثبت و منفی با استفاده از ماتریس وزن‌دهی شده مرحله قبل تعریف می‌گردند که برای خصوصیتی از خاک موثر بر رشد گیاه مانند کربن‌آلی بیشترین عدد در ماتریس‌های وزن گرفته شده ایده‌آل مثبت و کمترین عدد ایده‌آل منفی در نظر گرفته می‌شوند و برای خصوصیتی از خاک که تاثیر منفی بر رشد گیاه دارند، مانند شوری کمترین عدد در ماتریس‌های وزن گرفته شده ایده‌آل مثبت و بیشترین عدد ایده‌آل منفی در نظر گرفته می‌شود.

محاسبه اندازه فاصله‌ها از ایده‌آل‌ها : فاصله گزینه i با ایده-

آل از روش اقلیدسی طبق معادله (۱۰ و ۱۱) محاسبه می‌شود.

(رابطه ۱۰)

$$di+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Vij - Vi+)^2} \quad i=1; 2; \dots, m.$$

(رابطه ۱۱)

$$di- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Vij - Vi-)^2} \quad i=1; 2; \dots, m$$

در این قسمت فاصله از ایده‌آل‌ها مشخص می‌گردند که برای فاصله از ایده‌آل‌های مثبت از معادله ۱۰ و برای فاصله از ایده‌آل‌های منفی از معادله ۱۱ استفاده می‌گردد. برای نمونه در جدول (۵)، فاصله از ایده‌آل‌های مثبت و منفی برای آهک آورده شده است.

جدول ۴. تشکیل ماتریس وزن‌دهی

| اقلیم | شیب | قلیائیت | سنگریزه | گچ | شوری | کربن‌الی | آهک | پروفیل |
|--------|--------|---------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| ۰/۰۰۵۹ | ۰/۰۳۱۶ | . | ۰/۰۲۲۲ | . | ۰/۰۰۷۴ | ۰/۰۲۲۱ | ۰/۰۰۸ | ۱ |
| ۰/۰۰۵۹ | ۰/۰۳۱۶ | . | ۰/۰۲۳ | . | ۰/۰۰۷۹ | ۰/۰۲۰۳ | ۰/۰۰۶۹ | ۲ |
| ۰/۰۰۵۹ | ۰/۰۱۰۵ | . | . | . | ۰/۰۰۸۳ | ۰/۰۲۳۹ | ۰/۰۰۳۹ | ۳ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| ۰/۰۰۶۸ | ۰/۰۰۵۳ | ۰/۱۰۴۶ | . | ۰/۰۲۹۶ | ۰/۲۵۰۹ | ۰/۰۳۱۵ | ۰/۰۰۹۳ | ۲۲ |

جدول ۵. فاصله از ایده‌آل‌ها

| پروفیل | جذر مجموع (d+) | جذر مجموع (d-) |
|--------|----------------|----------------|
| ۱ | ۰/۰۳۸۲ | ۰/۲۹۷۳ |
| ۲ | ۰/۰۳۹۳ | ۰/۲۹۶۹ |
| ۳ | ۰/۰۱۴۷ | ۰/۲۹۸۳ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| ۲۲ | ۰/۲۶۶۸ | ۰/۰۷۶۵ |

اساس مقدار شاخص بدست آمده کلاس تناسب اراضی از جدول (۷) بدست می‌آید.

جدول ۶. فاصله نسبی از ایده‌آل‌ها

| پروفیل | جذر مجموع (d+) | جذر مجموع (d-) | فاصله نسبی از ایده‌آل‌ها (CCi+) |
|--------|----------------|----------------|---------------------------------|
| ۱ | ۰/۰۳۸۲ | ۰/۲۹۷۳ | ۰/۸۸۶ |
| ۲ | ۰/۰۳۹۳ | ۰/۲۹۶۹ | ۰/۸۸۳۲ |
| ۳ | ۰/۰۱۴۷ | ۰/۲۹۸۳ | ۰/۹۵۲۹ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| ۲۲ | ۰/۲۶۶۸ | ۰/۰۷۶۵ | ۰/۲۲۲۸ |

محاسبه فاصله نسبی از ایده‌آل‌ها (CCi): با استفاده از

معادله (۱۲) تعیین می‌شود:

(رابطه ۱۲)

$$CCi+ = \frac{di-}{di+ + di-} \quad 0 \leq CCi+ \leq 1 \quad i=1; 2; \dots, m.$$

در این مرحله فاصله نسبی از ایده‌آل‌ها تعیین می‌شود که از تقسیم فاصله از ایده‌آل منفی بر مجموع ایده‌آل مثبت و منفی محاسبه می‌گردد (جدول ۶).

رتبه‌بندی گزینه‌ها: مقدار CCi+ بین ۰ و ۱ نوسان می‌کند. بنابراین CCi+ هرچه به یک نزدیکتر باشد دارای رتبه بالاتر می‌باشد (Mateo, 2012).

در روش TOPSIS به هر یک از سطوح محدودیت درجه-بندی در مقیاس ۰-۱ نسبت داده می‌شود و در نهایت شاخص نهایی اراضی مقدار CCi+ در نظر گرفته می‌شود. در نهایت بر

برای استفاده از روش TOPSIS باید وزن‌دهی‌ها را به دو روش آنترپی شانون یا فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انجام داد که در این تحقیق از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید (Hsieh et al., 2018). در تحقیقات زیادی از فرآیند سلسله مراتبی برای تعیین وزن ویژگی‌ها و خصوصیات اراضی استفاده نموده‌اند. در این تحقیقات درجه اهمیت و اولویت هر عامل نسبت به عامل دیگر و تعیین وزن هر معیار براساس نظر و قضاوت کارشناس تعیین و تعریف شده است (Hossain and Das, 2010; Kihoro et al., 2013; Mendas and Delali, 2012).

جدول ۷. درجه بندی شاخص اراضی

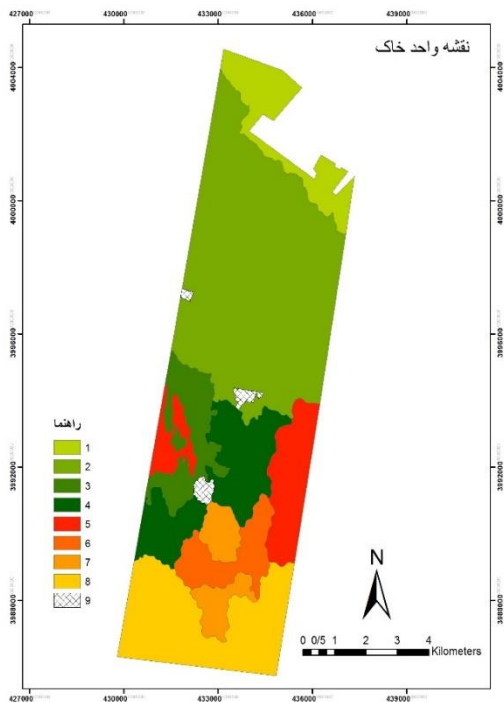
| کلاس تناسب | شاخص اراضی به روش | |
|--------------|-------------------|--------------------------|
| | علائم | پارامتریک |
| تعاریف | | |
| خیلی مناسب | S1 | ۱۰۰-۷۵ |
| نسبتاً مناسب | S2 | ۷۵-۵۰ |
| تناسب کم | S3 | ۵۰-۲۵ |
| نامناسب | N | ۲۵-۰ |
| | | شاخص اراضی به روش TOPSIS |
| | | ۰/۱-۷۵ |
| | | ۰/۱۰-۵/۷۵ |
| | | ۰/۱۰-۲۵/۵ |
| | | ۰-۰/۲۵ |

فرایند تحلیل سلسله مراتبی

اساس فرایند سلسله مراتبی بر پایه مقایسه زوجی معیارها با اعمال نظر کارشناس می باشد. کارشناس مقایسه زوجی را براساس شناخت منطقه ای، شناخت نیازهای محصول و همچنین نتایج آزمایشگاهی پارامترهای مورد نظر انجام می دهد. معیارهای انتخاب شده برای این تحقیق شامل قابلیت هدایت الکتریکی، قلیائیت، درصد کربن آلی، درصد آهک، گچ، درصد سنگریزه، شیب و اقلیم می باشد. این مقایسات در نرم افزار Export Choice انجام پذیرفت.

اعتبارسنجی و ارزیابی مدل ها

برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از مدل ها، روش های آماری مختلفی وجود دارد که در این تحقیق از ضریب تبیین (R^2) استفاده گردید. متغیرهای مستقل، شاخص های تناسب اراضی هستند که با روش های استوری، ریشه دوم و TOPSIS به دست می آیند و متغیر وابسته عملکرد محصول می باشد که با روش پلات یک در یک در محل حفر خاک رخ ها از مزارع برداشت شد. برای تعیین R^2 از نرم افزار SPSS استفاده شد و برای رسم نمودار رگرسیون خطی بین عملکرد ذرت با شاخص اراضی برای روش های مختلف از نرم افزار اکسل استفاده گردید.



شکل ۲. نقشه خاک منطقه

ارزیابی تناسب اراضی

روش استوری

مقادیر شاخص اراضی در روش استوری از ۰/۴۶ تا ۹۲/۲۵ متغیر بوده که واحد اراضی ۲.۲ بیشترین مقدار تناسب را برای کشت محصول ذرت دارد و واحد اراضی ۸ کمترین مقدار شاخص را داشته که امکان کشت برای محصول ذرت به دلیل شوری بالا وجود ندارد. در جدول (۹)، درصد هریک از کلاس های تناسب اراضی ذکر شده است. در شکل (۴) نقشه تناسب اراضی به روش استوری برای محصول ذرت آورده شده است.

روش ریشه دوم

مقادیر شاخص اراضی در روش ریشه دوم از ۱/۵۱ تا ۹۳/۱۸ متغیر بوده که واحد اراضی ۲.۲ بیشترین مقدار تناسب را برای کشت محصول ذرت دارد و واحد اراضی ۸ کمترین مقدار شاخص را داشته است که امکان کشت برای محصول ذرت به دلیل شوری

نتایج و بحث

رده بندی خاک ها

مجموعاً هشت فامیل مختلف خاک در هشت زیر گروه، شش گروه بزرگ، چهار زیر رده و دو رده شناسایی شدند که رده های خاک منطقه مطالعاتی اینسپتی سول و اربیدی سول می باشند که در شکل (۲) نقشه خاک منطقه و در جدول (۸) برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی و رده بندی خاکرخی های شاهد واحدهای نقشه خاک و همچنین راهنمای نقشه خاک منطقه آورده شده است.

تهیه نقشه واحد اراضی

نقشه واحدهای اراضی به صورتی که در شکل (۳) آورده شده است، تهیه گردید.

بالا وجود ندارد. در جدول (۹)، درصد هر کدام از کلاس‌های تناسب اراضی ذکر شده است. در شکل (۴) نقشه تناسب اراضی به روش استوری برای محصول ذرت آورده شده است.

روش Topsis در جدول (۱۰) ماتریس مقایسه زوجی که برای روش AHP استفاده گردید، نمایش داده شده است.

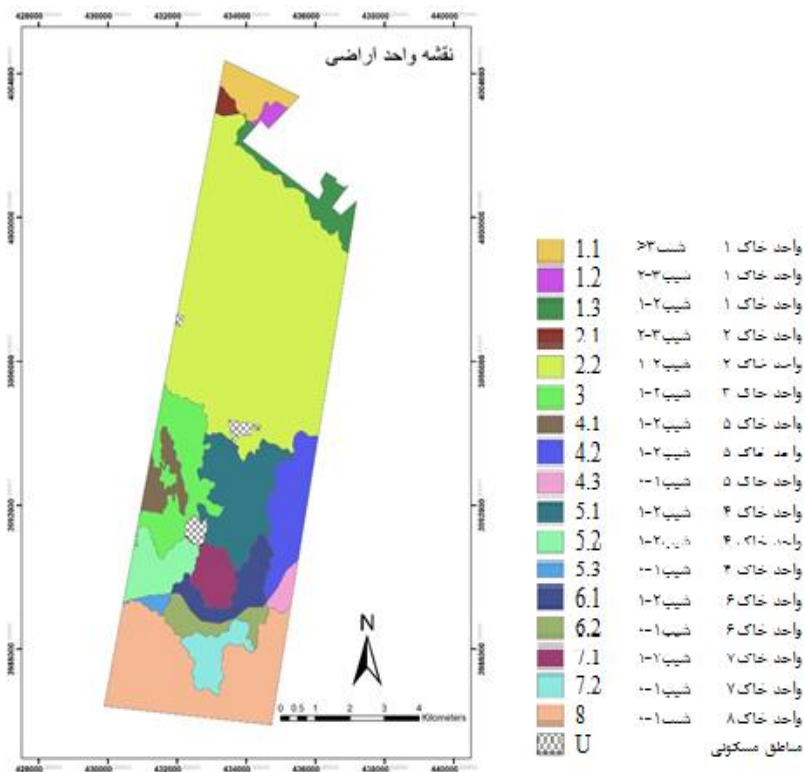
جدول ۸. برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و رده‌بندی خاک‌های شاهد واحدهای نقشه خاک

| افق | عمق (cm) | رس (%) | سیلت (%) | شن (%) | بافت خاک | کربنات معادل (%) | کلیسیم کربن آلی (%) | سنگ سنگریزه (%) | ونسبت جذب سدیم هدایت الکتریکی (ds/m) | گچ (%) |
|--|----------|--------|----------|--------|----------|------------------|---------------------|-----------------|--------------------------------------|--------|
| Fine loamy, mixed, super active, thermic, Typic Calcixerepts | | | | | | | | | | |
| Ap | ۰-۳۰ | ۱۲ | ۲۷ | ۶۱ | SL | ۵/۶۴ | ۰/۵۷ | ۵ | ۰/۶۷ | - |
| Bk | ۳۰-۱۱۰ | ۱۹ | ۲۶ | ۵۵ | SL | ۲۱/۱۳ | ۰/۲۸ | ۱۰ | ۰/۸۳ | - |
| C | ۱۱۰-۱۵۰ | ۸ | ۱۲ | ۸۰ | LS | ۱۲/۷۲ | ۰/۲۵ | ۶۰ | ۱/۰۴ | - |
| Fine loamy, mixed, super active, thermic, Typic Haploxerepts | | | | | | | | | | |
| Ap | ۰-۳۰ | ۲۰ | ۳۰ | ۵۰ | L | ۶/۶۱ | ۰/۶۱ | - | ۱/۴۳ | - |
| Bw | ۳۰-۸۵ | ۲۵ | ۴۳ | ۳۲ | L | ۵/۲۴ | ۰/۶۱ | - | ۰/۸۴ | - |
| Bk | ۸۵-۱۶۰ | ۲۸ | ۴۲ | ۳۰ | CL | ۷/۲۶ | ۰/۳۳ | - | ۰/۷۱ | - |
| Fine loamy, mixed, active, thermic, Sodic Calcigypsis | | | | | | | | | | |
| Ap | ۰-۳۰ | ۱۷ | ۳۱ | ۵۲ | L | ۹/۸ | ۰/۵۲ | - | ۸/۳۶ | ۵۸/۷۲ |
| Bw | ۳۰-۷۰ | ۳۳ | ۳۳ | ۳۴ | CL | ۱۸/۵۴ | ۰/۲۶ | - | ۱۴/۷۷ | ۷۰/۰۹ |
| Bky | ۷۰-۱۲۰ | ۳۰ | ۳۲ | ۳۸ | CL | ۱۵ | ۰/۲۱ | - | ۸/۴۲ | ۶۰/۴۸ |
| Fine, mixed, active, thermic, Typic Haplocalcids | | | | | | | | | | |
| Ap | ۰-۳۰ | ۳۴ | ۳۹ | ۲۷ | CL | ۸/۹۲ | ۰/۹۱ | - | ۲ | ۴۴/۴ |
| Bw | ۳۰-۵۰ | ۳۳ | ۳۱ | ۳۶ | CL | ۹/۷۲ | ۰/۵۲ | - | ۱/۷۴ | ۶/۱۱ |
| Bk | ۵۰-۷۰ | ۳۷ | ۳۴ | ۲۹ | CL | ۱۱/۲ | ۰/۴۲ | - | ۳/۴۷ | ۴/۵۱ |
| Bcy | ۷۰-۱۰۵ | ۲۴ | ۱۸ | ۵۸ | SL | ۵/۶۵ | ۰/۲۹ | - | ۲/۳۷ | ۸/۲۷ |
| 2By | ۱۰۵-۱۵۰ | ۳۲ | ۳۰ | ۳۸ | CL | ۸/۵۴ | ۰/۲۶ | - | ۴/۰۴ | ۴/۷۵ |
| Fine, mixed, semi active, thermic, Sodic Haplocalcids | | | | | | | | | | |
| Ap | ۰/۲۵ | ۳۹ | ۴۹ | ۱۲ | SiCL | ۱۵/۶ | ۰/۸۵ | - | ۲/۷۹ | ۹/۱۷ |
| Bw1 | ۲۵-۷۵ | ۴۶ | ۴۳ | ۱۱ | SiC | ۱۸/۵۴ | ۰/۴۹ | - | ۳/۲۴ | ۲۷/۰۶ |
| Bw2 | ۷۵-۱۴۰ | ۴۲ | ۴۹ | ۹ | SiC | ۲۳/۸ | ۰/۲۹ | - | ۶/۳۸ | ۵۰/۶۸ |
| Fine loamy, mixed, active, thermic, Typic Haplogypsis | | | | | | | | | | |
| Ap | ۰-۲۵ | ۲۶ | ۴۷ | ۲۷ | L | ۱۳/۳۱ | ۰/۷۴ | - | ۳/۳۶ | ۱/۲۵ |
| Ay1 | ۲۵-۷۵ | ۲۵ | ۴۵ | ۳۰ | L | ۱۱/۵۳ | ۰/۳۳ | - | ۴/۰۲ | ۳/۳۶ |
| By2 | ۷۵-۱۴۰ | ۲۸ | ۴۹ | ۲۳ | CL | ۱۱/۷۱ | ۰/۳۲ | - | ۴/۷۳ | ۴/۳۸ |
| Fine, mixed, active, thermic, Sodic Haplogypsis | | | | | | | | | | |
| Apy | ۰-۳۰ | ۳۲ | ۵۴ | ۱۴ | SiCL | ۱۱/۱۳ | ۰/۷۲ | - | ۹/۸۳ | ۱۱/۸۷ |
| By1 | ۳۰-۷۵ | ۳۶ | ۵۰ | ۱۴ | SiCL | ۱۳/۹ | ۰/۳۸ | - | ۱۸/۲۵ | ۳۰/۴۵ |
| By2 | ۷۵-۱۴۰ | ۲۳ | ۴۹ | ۲۸ | L | ۱۲/۲ | ۰/۳۶ | - | ۱۲/۳۵ | ۱۹/۴۵ |
| Fine, mixed, semi active, thermic, Gypsid Haplosalids | | | | | | | | | | |
| A | ۰-۲۰ | ۲۴ | ۶۹ | ۷ | SiL | ۱۹/۵۲ | ۰/۹۸ | - | ۶ | ۱۲/۲۹ |
| Bw | ۲۰-۴۰ | ۳۹ | ۵۲ | ۹ | SiCL | ۲۰/۲۴ | ۰/۵۱ | - | ۱۷/۹ | ۳۵/۳۵ |
| By1 | ۴۰-۷۰ | ۳۵ | ۵۰ | ۱۵ | SiCL | ۱۵/۱۶ | ۰/۳۸ | - | ۵۱/۶ | ۷۲/۹۹ |
| By2 | ۷۰-۱۳۰ | ۴۱ | ۵۱ | ۸ | SiC | ۱۳/۷۱ | ۰/۳۳ | - | ۲۷/۱ | ۴۷/۵۵ |

جدول ۹. وسعت کلاس تناسب اراضی برای روش‌های استوری، ریشه دوم و Topsis بر حسب درصد

| کلاس تناسب اراضی | S1 | S2n | S2t | S3n | N | Urban |
|------------------|----|-----|-----|-----|----|-------|
| روش استوری | ۵۶ | ۲۰ | - | ۲ | ۲۱ | ۱ |
| روش ریشه دوم | ۵۳ | ۹ | ۳ | ۱۱ | ۲۳ | ۱ |
| روش Topsis | ۶۵ | ۱۱ | - | ۸ | ۱۵ | ۱ |

(زیر کلاس n محدودیت شوری و قلیائیت و زیر کلاس t محدودیت توپوگرافی)



شکل ۳. نقشه واحد اراضی منطقه

جدول ۱۰. ماتریس مقایسات زوجی

| | شوری | قلیائیت | آهک | گچ | کربن آلی | شیب | اقلیم | سنگریزه |
|----------|------|---------|-----|-----|----------|-----|-------|---------|
| شوری | ۱ | ۲ | ۹ | ۷ | ۳ | ۵ | ۷ | ۵ |
| قلیائیت | | ۱ | ۷ | ۶ | ۲ | ۳ | ۶ | ۳ |
| آهک | | | ۱ | ۱/۳ | ۱/۴ | ۱/۳ | ۱/۲ | ۲ |
| گچ | | | | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۴ |
| کربن آلی | | | | | ۱ | ۳ | ۴ | ۵ |
| شیب | | | | | | ۱ | ۳ | ۲ |
| اقلیم | | | | | | | ۱ | ۱/۳ |
| سنگریزه | | | | | | | | ۱ |

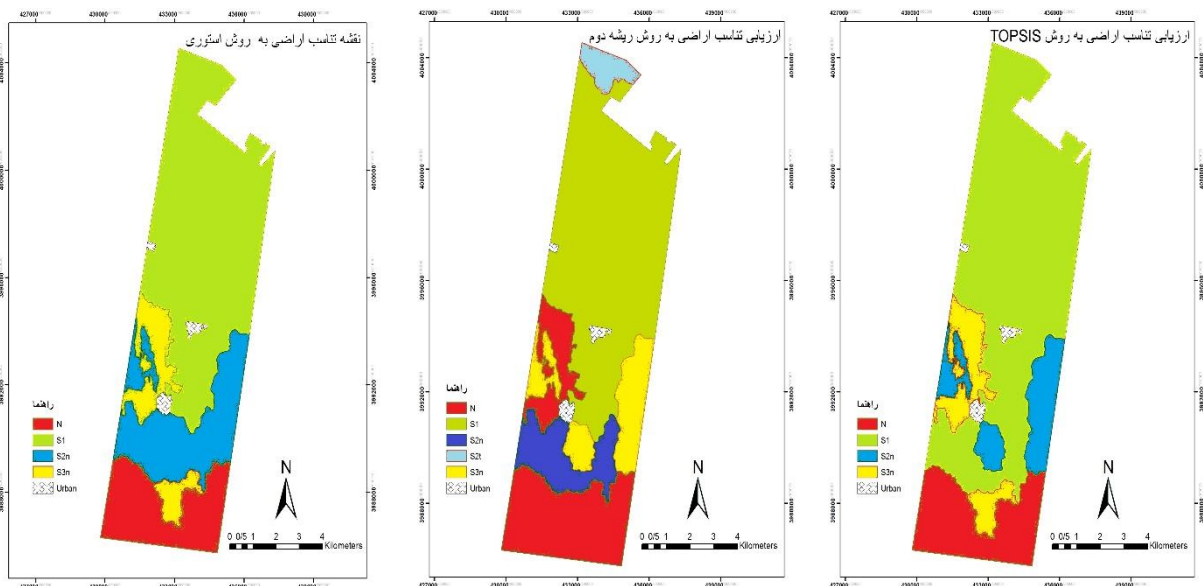
درجه‌ی اهمیت یعنی ۰/۲۹۹ مهمترین عامل محدودکننده شناخته شد.

مقادیر ارزش ترجیحی برای روش Topsis بین ۰/۲۲۳ تا ۰/۹۷ متغیر بوده که واحد اراضی ۲.۲ بیشترین مقدار ترجیح را برای کشت محصول ذرت دارد و واحد اراضی ۸، کمترین مقدار ارزش را داشته که امکان کشت برای محصول ذرت به دلیل شوری بالا وجود ندارد. در جدول (۹)، درصد هر کدام از کلاس‌های تناسب اراضی ذکر شده است. در شکل (۴) نقشه تناسب اراضی به روش Topsis برای محصول ذرت آورده شده است.

جدول (۱۱) وزن‌های خروجی از نرم‌افزار Export Choice را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول (۱۱) مشاهده می‌شود، مجموع وزن‌ها برابر ۱ بوده و شوری خاک به عنوان محدودکننده-ترین عامل، بیشترین وزن را گرفته است و بعد به ترتیب قلیائیت، ماده آلی، گچ، شیب، سنگریزه، آهک و اقلیم قرار دارند. ضریب ناسازگاری این مقایسه ۰/۰۹ می‌باشد. به دلیل اینکه از ۰/۱ کم‌تر است مقایسه درست بوده و نیازی به تکرار ندارد. Hashemvand et al. (2015) ارزیابی تناسب اراضی را برای محصول ذرت با روش AHP در دشت قزوین انجام دادند که شوری خاک با بیشترین

جدول ۱۱. وزن خصوصیات

| معیار | شوری | قلیائیت | آهک | گچ | کربن آلی | شیب | اقلیم | سنگریزه |
|-------|-------|---------|-------|-------|----------|-------|-------|---------|
| وزن | ۰/۳۴۷ | ۰/۲۳۸ | ۰/۰۳۴ | ۰/۱۱۸ | ۰/۱۲۳ | ۰/۰۶۵ | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۴۴ |

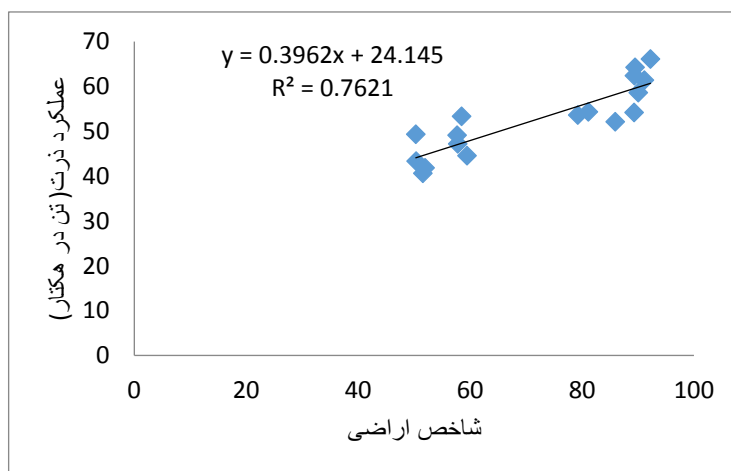


شکل ۴. نقشه تناسب اراضی به روش‌های استوری، ریشه دوم و TOPSIS

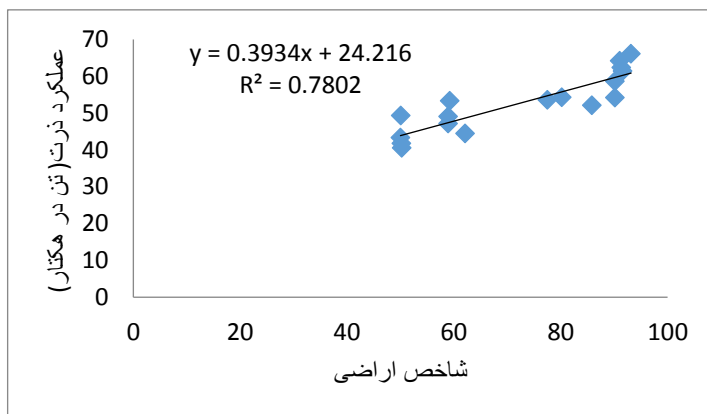
اراضی با روش‌های ذکر شده برای خاک‌رخ‌های مختلف آورده شده است. برای پنج خاک‌رخ شامل، خاک‌رخ‌های ۱ و ۲ به دلیل هم-جواری با نیروگاه شهید رجایی و در دسترس نبودن آب برای کشت ذرت، خاک‌رخ ۱۲ به دلیل قلیائیت بالا و خاک‌رخ‌های ۲۱ و ۲۲ به دلیل شوری بالا و واقع بودن نقاط در شوره‌زارهای پایین دست منطقه مطالعاتی، محصولی در اطراف نقاط کشت نشده بود. در شکل‌های (۵، ۶ و ۷) نمودارهای رگرسیونی بین عملکرد ذرت با شاخص‌های اراضی روش‌های استوری، ریشه دوم و TOPSIS به ترتیب ارائه شده است.

اعتبارسنجی و ارزیابی مدل‌ها

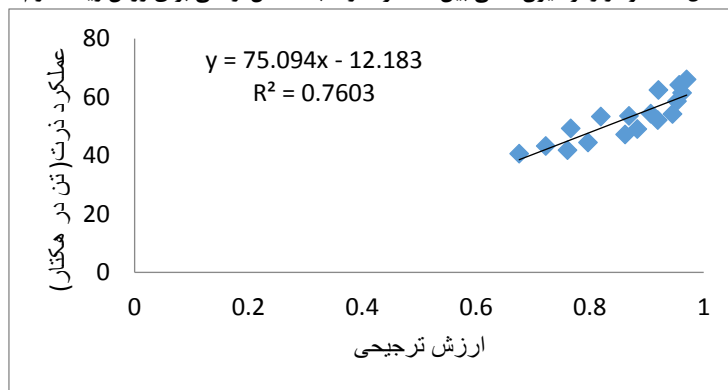
دقت روش‌های ارزیابی تناسب اراضی بستگی به درجه تاثیر و خصوصیات انتخاب شده روی تولید محصول دارد. Seyed Jalali (2013) برای تعیین اعتبار بین روش‌های منطق فازی شبیه‌سازی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و روش پارامتریک (استوری و ریشه دوم) از R^2 و RMSE استفاده نمودند و نتیجه گرفتند که شاخص‌های اراضی با روش منطق فازی شبیه‌سازی نسبت به تمام روش‌ها، نتایج بهتری ارائه می‌دهد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی نسبت به روش پارامتریک دقت بیشتری دارند. در جدول (۱۲) عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای و شاخص



شکل ۵. نمودار رگرسیونی خطی بین عملکرد ذرت با شاخص اراضی برای روش استوری



شکل ۶. نمودار رگرسیون خطی بین عملکرد ذرت با شاخص اراضی برای روش ریشه دوم



شکل ۷. نمودار رگرسیون خطی بین عملکرد ذرت با ارزش ترجیحی برای روش TOPSIS

جدول ۱۲. عملکرد محصول و شاخص اراضی برای خاک‌های مختلف

| شاخص اراضی به روش TOPSIS | شاخص اراضی به روش ریشه دوم | شاخص اراضی به روش استوری | عملکرد تر محصول ذرت (هکتار/تن) | خاک‌رخ |
|--------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------|
| ۰/۸۹ | ۶۳/۸۹ | ۷۶/۵۴ | - | ۱ |
| ۰/۸۸ | ۶۴/۳۲ | ۷۷/۲۹ | - | ۲ |
| ۰/۹۵ | ۹۰/۱۹ | ۹۰/۰۴ | ۵۸/۶ | ۳ |
| ۰/۹۲ | ۸۵/۸۴ | ۸۵/۹۶ | ۵۲/۱ | ۴ |
| ۰/۸۲ | ۵۹/۲۲ | ۵۸/۴۷ | ۵۳/۳ | ۵ |
| ۰/۹۶ | ۹۱/۶۲ | ۹۱/۱۴ | ۶۱/۴ | ۶ |
| ۰/۹۶ | ۹۱/۰۹ | ۸۹/۴۶ | ۶۴/۲ | ۷ |
| ۰/۹۴ | ۹۰/۱۸ | ۸۹/۳۱ | ۵۴/۲ | ۸ |
| ۰/۸۷ | ۷۷/۵۴ | ۷۹/۲۲ | ۵۳/۶ | ۹ |
| ۰/۹۷ | ۹۳/۱۸ | ۹۲/۲۵ | ۶۶/۱ | ۱۰ |
| ۰/۹۲ | ۹۱/۳۸ | ۸۹/۳۵ | ۶۲/۴ | ۱۱ |
| ۰/۴۵ | ۱/۹۵ | ۰/۷۶ | - | ۱۲ |
| ۰/۷۶ | ۵۰/۲۲ | ۵۱/۹۵ | ۴۱/۸ | ۱۳ |
| ۰/۹۱ | ۸۰/۲۱ | ۸۱/۱۲ | ۵۴/۳ | ۱۴ |
| ۰/۷۷ | ۵۰/۱۱ | ۵۰/۳ | ۴۹/۳ | ۱۵ |
| ۰/۶۸ | ۵۰/۲۶ | ۵۱/۵۶ | ۴۰/۶ | ۱۶ |
| ۰/۷۲ | ۵۰ | ۵۰/۳۳ | ۴۳/۳ | ۱۷ |
| ۰/۸۸ | ۵۸/۹۵ | ۵۷/۶۷ | ۴۹/۱ | ۱۸ |
| ۰/۸ | ۶۲/۱۴ | ۵۹/۴۲ | ۴۴/۵ | ۱۹ |
| ۰/۸۶ | ۵۸/۹۶ | ۵۷/۷۸ | ۴۷/۲ | ۲۰ |
| ۰/۴۵ | ۶/۳۴ | ۲۵/۶۴ | - | ۲۱ |
| ۰/۲۲ | ۱/۵۱ | ۰/۴۵ | - | ۲۲ |

همبستگی را با تولید واقعی نشان دهد یکی از دغدغه‌ها مهم برای کارشناسانی است که در این حوضه فعالیت می‌کنند. در این راستا تناسب اراضی با روش‌های پارامتریک (استوری و ریشه دوم) و روش TOPSIS برای محصول ذرت علوفه‌ای در بخشی از اراضی استان قزوین صورت گرفت. از هشت خصوصیت شامل اقلیم، شیب، آهک، گچ، سنگریزه، شوری، قلیائیت و کربن آلی برای ارزیابی تناسب اراضی استفاده شد. نتایج نشان داد که ضریب تبیین بین شاخص اراضی و عملکرد مشاهده شده در روش ریشه دوم بیشتر از دو روش استوری و TOPSIS بود. ارزیابی تناسب اراضی به روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر روش TOPSIS به دلیل اینکه خصوصیات مختلف اراضی وزن‌های مختلفی می‌گیرند با روش کلاسیک و سنتی ارزیابی اراضی مانند روش پارامتریک، تفاوت دارند. اما در این تحقیق و برای محصول ذرت، روش ریشه دوم به عملکرد واقعی محصول نزدیک‌تر بود. شاید دلیل این مسئله، محدودیت پارامترهای ورودی در روش‌های پارامتریک (حداکثر تا ۸ خصوصیت را می‌توانند در معادله خود داشته باشند) باشد، در صورتی که در روش TOPSIS می‌توان از تعداد بیشتری خصوصیت اراضی استفاده نمود. ولی، به ناچار برای روش TOPSIS هم همان هشت خصوصیت به کار گرفته شده است.

از مقایسه مقادیر شاخص تناسب اراضی روش‌های پارامتریک و ارزش ترجیحی روش TOPSIS با مقادیر عملکرد ذرت در منطقه مطالعاتی برای روش‌های استوری، ریشه دوم و TOPSIS، مقدار ضریب تبیین به ترتیب ۰/۷۶، ۰/۷۶ و ۰/۷۸ بدست آمد. بنابراین روش ریشه دوم چون R^2 بالاتر نسبت به روش استوری و TOPSIS دارد، از اعتبار بیشتری برخوردار است. مقایسه نتایج حاصل از روش‌های پارامتریک نشان دهنده آن است که روش استوری بدلیل ضرب پی در پی معکوس درجه خصوصیات اراضی و اقلیمی در یکدیگر، نتایج را سخت‌گیرانه و ضعیف نشان می‌دهد. در حالی که روش ریشه دوم انطباق مناسب‌تری نسبت به روش استوری با شرایط واقعی دارد (Bagherzadeh et al., 2012a, b). (Sarmadian et al. (2004). نمودند که روش ریشه دوم از روش استوری با واقعیت موجود منطقه تطابق بیشتری دارد. نتایج ارائه شده در این تحقیق نشان داد که روش ریشه دوم از روش‌های استوری و TOPSIS اعتبار بیشتری دارد. (Bagherzadeh and Gholizadeh (2016 and 2017) گزارش نمودند که روش ریشه دوم R^2 بالاتری نسبت به روش TOPSIS دارد.

نتیجه‌گیری

انتخاب مناسب‌ترین روش ارزیابی تناسب اراضی که بیش‌ترین

REFERENCE

- Bagherzadeh, A., & Gholizadeh, A. (2017). Parametric-based neural networks and TOPSIS modeling in land suitability evaluation for alfalfa production using GIS. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(1), 2.
- Bagherzadeh, A., & Gholizadeh, A. (2016). Modeling land suitability evaluation for wheat production by parametric and TOPSIS approaches using GIS, northeast of Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(3), 126.
- Bagherzadeh, H.R.; Bagherzadeh, A.; Moeinrad, H. (2012a). Analysis of parametric approaches in qualitative land suitability evaluation for irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivation at Neyshabur plain. *Journal of Agroecology*, 4(2), 121-130. (In Farsi)
- Behzadian, M., Otahgsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, 39 (17), 13051-13069.
- Biorani H, Ghofran A (2009) Determining and using technique for order preference by similarity ideal solution (TOPSIS) for ranking of civic region based on crim. *Detective2*:109-128.
- Duckstein, L., and Opricovic, S. (1980). Multiobjective optimization in river basin development. *Water Resources Research*, 16(1), 14-20
- FAO, 1976. A framework for land evaluation system. *Soil Bulletin*, 32, FAO Rome, 72pp.
- Farhadi Bansouleh, B. (2009). Development of a spatial planning support system for agricultural policy formulation related to land and water resources in Borkhar & Meymeh district, Iran. Ph.D. Thesis, ITC/Wageningen University, Enschede/Wageningen. The Netherlands, 267 pp.
- Hashemvand, p., Sarmadian, F., Afraz, S. (2015). An investigation of land suitability for irrigated maize, using GIS and AHP in parts of Qazvin plain. International conference on modern research in agricultural science and environment, Malaysia, Kuala Lumpur. (In Farsi)
- Hossain, M. S., & Das, N. G. (2010). GIS-based multi-criteria evaluation to land suitability modelling for giant prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) farming in Companigonj Upazila of Noakhali, Bangladesh. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70(1), 172-186.
- Hsieh, M. C., Wang, E. M. Y., Lee, W. C., Li, L. W., Hsieh, C. Y., Tsai, W., ... & Liu, T. C. (2018). Application of HFACS, fuzzy TOPSIS, and AHP for identifying important human error factors in emergency departments in Taiwan. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 67, 171-179.
- Hwang, C. L. et Yoon, K., (1981) Multiple Attribute Decision Making, Methods and Applications: a State of the Art Survey. *Lecture notes in economics and mathematical systems*, Springer-Verlag, New York, NY.
- Khamoshi, S, E. (2017). Digital soil mapping using decision tree for agricultural land suitability in

- Abyek, Qazvin province. M.Sc. dissertation, University of Tehran, Iran. (In Farsi)
- Khiddir, S.M., 1986. A Statistical Approach in the Use of Parametric Systems Applied to FAO Framework for Land Evaluation (Dissertation) State University of Ghent, Belgium.
- Kihoro, J., Bosco, N. J. and Murage, M., (2013). Suitability analysis for rice growing sites using multicriteria evaluation and GIS approach in greatMwea region, Kenya, Kihoro et al. SpringerPlus, (2):265.
- Malczewski, J., 2006. Integrating multicriteria analysis and geographic information systems: the ordered weighted averaging (OWA) approach. International Journal of Environmental Technology and Management 6 (1/2), 7–19.
- Mateo, J. R. S. C. (2012). *Multi criteria analysis in the renewable energy industry*. Springer Science & Business Media.
- McKenzie, N., Grundy, M., Webster, R., and Ringrose-Voase, A. (2008). Guideline for surveying soil and land resources, CSIRO Publishing, 557p.
- Mendas, A., Delali, A., (2012). Integration of MultiCriteria Decision Analysis in GIS to develop land suitability for agriculture: Application to durum wheat cultivation in the region of Mleta in Algeria. Computers and Electronics in Agriculture 83, 117–126.
- Prakash TN, (2003). Land suitability analysis for agricultural crops: a fuzzy multi-criteria decision making approach. Msc Thesis, ITC, Netherland.
- Sarmadian, F. Fatehi, Sh, Mahmoudi, Sh. (2004). An Investigation for the Determination of Qualitative Land Suitability for Irrigated Wheat, Barley and Cotton in Eshtehard Area. Iranian, J. Agric. Sci. Vol. 35, No. 3. (In Farsi)
- Sayadi, N. (2018). GIS-Based land capability and suitability evaluation for irrigated agriculture (case study: Karaj-Qazvin). M.Sc. dissertation, University of Tehran, Iran. (In Farsi)
- Seyed Jalali, S, A. (2013). Modelling of land suitability evaluation and prediction of land production potential for winter wheat with use of fuzzy systems theory and geostatistics in Gotvand plain, Khuzestan Province. Ph. D. dissertation, University of Tehran, Iran. (In Farsi)
- Seyedmohammadi, J. Jafarzadeh, A, A. Sarmadian, F. Shahbazi, F. MA Ghorbani, M, A. (2017). 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. Iranian journal of water and soil researches, 27 (2), 45-59. (In Farsi)
- Seyedmohammadi, J., Sarmadian, F., Jafarzadeh, A. A., Ghorbani, M. A., & Shahbazi, F. (2018). Application of SAW, TOPSIS and fuzzy TOPSIS models in cultivation priority planning for maize, rapeseed and soybean crops. *Geoderma*, 310, 178-190.
- Soil Survey Manual. (2017). United States Department of Agriculture. Agriculture Handbook No. 18.
- Storie, R., (1978). Storie Index Rating. University of California Division of Agricultural Sciences Special Publication 3203, Oakland.
- Sys, C., Van Ranst, E., & Debaveye, J. (1991). Land evaluation part I, principles in land evaluation and crop production calculation. Agricultural Publication.
- Van Niekerk, A. (2010). A comparison of land unit delineation techniques for land evaluation in the Western Cape, South Africa. *Land Use Policy*, 27(3), 937-945.
- Zyoud S, Fuchs-Hanusch D. (2017). A bibliometric-based survey on AHP and TOPSIS techniques. 78.158-181.