19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

ارزیابی تناسب بخشی از اراضی دشت مغان برای کشت ذرت با روش چندمعیاره الکتره ترای

جواد سیدمحمدی[1*]، میرناصر نویدی[2]

۱-استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(*نویسنده مسئول: j.mohammadi@areeo.ac.ir)

چکیده

تعیین تناسب اراضی برای کشت محصولات در جهت کشاورزی پایدار ضرورتی انکارناپذیر است. در این تحقیق روش‌های پارامتریک استوری و ریشه دوم و روش چند معیاره الکتره ترای به منظور ارزیابی تناسب بخشی از اراضی دشت مغان به مساحت تقریبی ۱۲۰۰۰ هکتار با مطالعه ۱۶۷ خاکرخ برای کشت ذرت به کار گرفته شد. وزن‌های معیارها با استفاده از روش AHP و مقادیر مرز بین کلاس‌ها و آستانه‌ها در روش الکتره ترای با استفاده از جدول نیازمندی‌ها و داده‌های ویژگی‌های خاک و اراضی تعیین گردیدند. مقایسه میانگین مقادیر ویژگی‌های خاک و اراضی بین کلاس‌های تناسب تفکیک شده در روش الکتره ترای با آزمون LSD اختلاف معنی‌دار را نشان داد که حاکی از دقت بالای این روش به دلیل تعیین حدود مناسب انتقالی (مرز بین کلاس‌ها)، مقادیر مناسب آستانه‌ها و وزن‌های ویژگی‌ها و استفاده از روابط و اصول منطق فازی در اجرای فرآیندهای محاسبات می‌باشد.

واژگان کلیدی: الکتره ترای، تحلیل آماری، ریشه دوم، ذرت.

مقدمه

نیاز روز افزون جمعیت برای تولید غذا و کمبود منابع، ضرورت کاربرد روش‌های جدید در ارزیابی اراضی را جهت کمک به تصمیم گیرندگان در انتخاب اراضی مناسب و جلب رضایت تولید کنندگان برای کسب سود، افزایش می‌دهد. روش‌های ارزیابی اراضی به طور عمده در جهت افزایش بهبود کیفیت نقشه‌ها تغییر کرده و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به‌منظور کمک به تصمیم‌گیرندگان جهت تصمیم‌سازی مناسب و با در نظر گرفتن مجموعه معیارها، کاربرد زیادی در زمینه‌های مختلف علمی از جمله تجزیه تناسب اراضی داشته است (Akinchi et al., 2013). روش الکتره ترای از جمله روش‌های چند معیاره می‌باشد که تلفیق آن با GIS در زمینه‌های مختلف استفاده شده است. در این روش آرای تصمیم‌گیرنده، یا تصمیم‌گیرندگان نسبت به معیارها، به صورت آستانه‌های ارجحیت[1]، بی‌تفاوتی[2] و عدم مقبولیت[3] مدنظر قرار می‌گیرند و گزینه‌ها (واحدهای نقشه) به دسته‌های (کلاس‌های تناسب) تعریف شده بر اساس مقادیر معیارهای آن‌ها با لحاظ وزن‌شان اختصاص می‌یابند (Mendas and Delali, 2012).

Mendas و Delali (2012) از روش الکتره ترای در محیط GIS برای ارزیابی تناسب اراضی منطقه دلیتا در نیجریه برای کشت گندم دوروم استفاده نموده و مقایسه نقشه‌های تناسب به دست آمده با نقشه‌های روش کلاسیک دلالت بر دقت زیاد نقشه‌های روش الکتره ترای داشته است. Akinchi و همکاران (2013) نقشه تناسب اراضی برای کشاورزی را در اراضی حومه شهر آرتوین ترکیه با استفاده از روش‌های چند معیاره و GIS تهیه و نشان دادند که درصد شیب و درجه فرسایش به‌عنوان محدود کننده‌ترین فاکتورها می‌باشند. Amara و همکارن (2016) با انتخاب ویژگی‌های قابلیت دسترسی آب، اکسیژن، عناصر غذایی، نگهداشت آب، وضعیت ریشه‌دوانی، شوری و توپوگرافی اراضی منطقه بوگار در کارناتاکای هندوستان را برای کشت ذرت با استفاده از GIS و سنجش از دور مورد ارزیابی تناسب اراضی قرار دادند. آن‌ها نقشه‌های تناسب به دست آمده را به دلیل دقت زیاد، برای تولید پایدار ذرت در این منطقه مفید دانستند. Esa (2014) از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تفکیک اراضی مستعد و غیرمستعد جهت کشت ذرت در منطقه درا وردا در اتیوپی استفاده کرده و گزارش نمود که استفاده از ابزار GIS برای طراحی کشاورزی پایدار جهت کشت ذرت می‌تواند بسیار مؤثر باشد.

ذرت از محصولات مهم بوده که به عنوان غذای انسان و دام مطرح است. لذا با توجه به اهمیت محصول ذرت و مهم بودن مطالعات ارزیابی اراضی، روش‌های الکتره ترای و پارامتریک برای شناسایی و معرفی نواحی مستعد و غیر مستعد در بخشی از اراضی دشت مغان استفاده شد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه به مساحت تقریبی ۱۲۰۰۰ هکتار بخشی از اراضی پایاب سد خداآفرین در دشت مغان بوده که با ۱۶۷ خاکرخ مورد مطالعه قرار گرفت. شاخص تناسب اراضی با روش های پارامتریک استوری و ریشه دوم با استفاده از روابط ۱ و ۲ استخراج شد که در آن‌ها I شاخص و...,A, B, C درجات اختصاص یافته برای مشخصه‌های مختلف و R_{min} درجه مربوط به محدود کننده‌ترین عامل یا درجه حداقل می‌باشند.

$$I = A \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \ldots \qquad (۱)$$

$$I = R_{min} \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \ldots .} \qquad (۲)$$

روش الکتره ترای: روش دسته‌بندی برای تصمیم‌گیری چند معیاره است که گزینه‌ها را براساس بازه‌های از پیش تعیین شده، طبقه‌بندی می‌کند. این طبقه‌بندی در نتیجه مقایسه هر گزینه با پروفیل‌هایی که مبین مرز طبقات هستند، حاصل می‌شود (Mousseau, 2003). نمایش شماتیک دسته‌ها و پروفیل‌ها در روش الکتره ترای در شکل ۱ ارائه شده است. چنانچه مطابق شکل ۱، برای معیارهای g_1، g_2، ...، g_n (مجموعه F)، پروفیل‌های b_1، b_2، ...، b_h (مجموعه B) در نظر گرفته شود و b_h حد

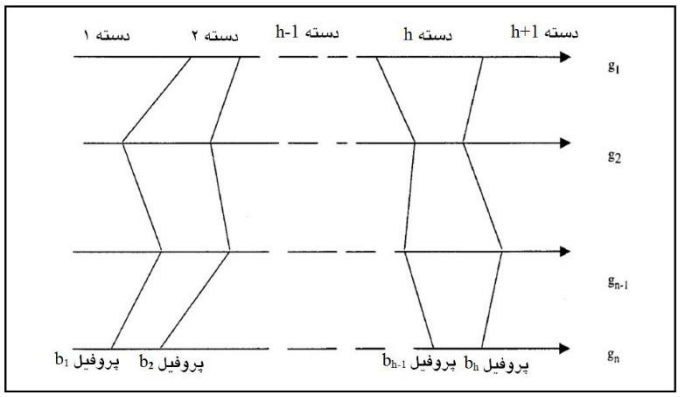
[1]Preference threshold
[2]Indifference threshold
[3]Veto threshold

بالایی دسته C_h و حد پایینی دسته C_{h+1} باشد، {h =(1, 2, …, p)}، در این حالت، P+1 دسته وجود خواهد داشت. در این روش، رابطه برتری (S) بین گزینه‌ها و پروفیل‌ها برقرار می‌شود. این ارتباط که با aSb_h و یا b_hSa نشان داده می‌شود، بدین معنی است که گزینه a حداقل بهتر از پروفیل b_h است، یا بر عکس. حد آستانه‌های بی‌تفاوتی (q) و ارجحیت (p)، اطلاعات برتری داخلی هر معیار را تشکیل می‌دهند. این مقادیر در حقیقت دقت ارزیابی گزینه به ازای معیار را مشخص می‌کنند (Mousseau, 2003; Mendas and Delali, 2012).

آستانه بی‌تفاوتی $q_j(b_h)$ حداکثر اختلاف $g_j(a)$-$g_j(b_h)$ را مشخص می‌کند که نشان‌دهنده سطح بی‌تفاوتی بین گزینه a و پروفیل b_h برای معیار g_j است. آستانه ارجحیت $p_j(b_h)$ حداقل اختلاف $g_j(a)$-$g_j(b_h)$ را مشخص می‌کند که مبین سطح رضایت‌مندی گزینه a و پروفیل b_h برای معیار g_j است. برای طبقه‌بندی گزینه‌ها، لازم است تا شاخص‌های همانندی[4] و ناهمانندی[5] (برای هر جفت گزینه، هر معیار و هر پروفیل برای هر معیار) محاسبه شود در محاسبه این شاخص‌ها از قوانین و روابط فازی استفاده می‌گردد که از مزایای این روش محسوب می‌شود (Mousseau, 2003).

مجموعه‌ای از ضرایب وزن‌های مهم (w_1، w_2، …، w_n) و مجموعه‌ای از آستانه‌های عدم مقبولیت {$v_1(b_h)$,..., $v_j(b_h)$}, $v_2(b_h)$ مشخصه‌هایی هستند که در ساختن روابط برتری نقش دارند. آستانه وتو یا رد $v_j(b_h)$ نشان‌دهنده حداقل اختلاف $g_j(b_h)$-$g_j(a)$ است که با معادله aSb_h ناموافق است. در این روش شاخص $\sigma(a, b_h) \in [0, 1]$ نشان‌دهنده درجه اعتبار معادله aSb_h است. اگر $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$ باشد معادله aSb_h صادق است. λ سطح جدایی[6] است ($\lambda \in [0.5, 1]$) و مقدار مناسب آن بر اساس تحلیل حساسیت نتایج به دست می‌آید (Almeida-Dias et al., 2010).

دو دیدگاه بدبینانه[7] و خوش‌بینانه[8] برای انجام این طبقه‌بندی وجود دارد. در روش بدبینانه گزینه a به‌صورت متوالی با پروفیل‌های b مقایسه می‌شود و b_h اولین پروفیلی است که در معادله aSb_h گزینه a را به دسته C_{h+1} وابسته می‌کند. در روش خوش‌بینانه گزینه a به‌صورت متوالی با پروفیل‌های b_i مقایسه می‌شود و b_h اولین پروفیلی است که در معادله b_hSa گزینه a را به دسته C_h وابسته می‌کند. در نهایت همان‌طور که قبلاً نیز بیان شد، در مدل الکتره ترای، گزینه‌ها براساس معیارهای مشخص در دسته‌ها یا طبقات از پیش تعیین شده قرار می‌گیرند. این کار در نتیجه مقایسه گزینه با پروفیل‌هایی که در واقع مبین مرز طبقات هستند، انجام می‌شود. لازم به توضیح است که در ارزیابی تناسب اراضی گزینه‌ها همان واحدهای اراضی یا واحدهای نقشه، دسته‌ها یا طبقات همان کلاس‌های تناسب اراضی و پروفیل‌ها در واقع مرز و حدود انتقالی کلاس‌های تناسب اراضی هستند که از جدول نیازمندی‌ها با توجه به نوع محصول تعیین می‌شوند (Mendas and Delali, 2012).



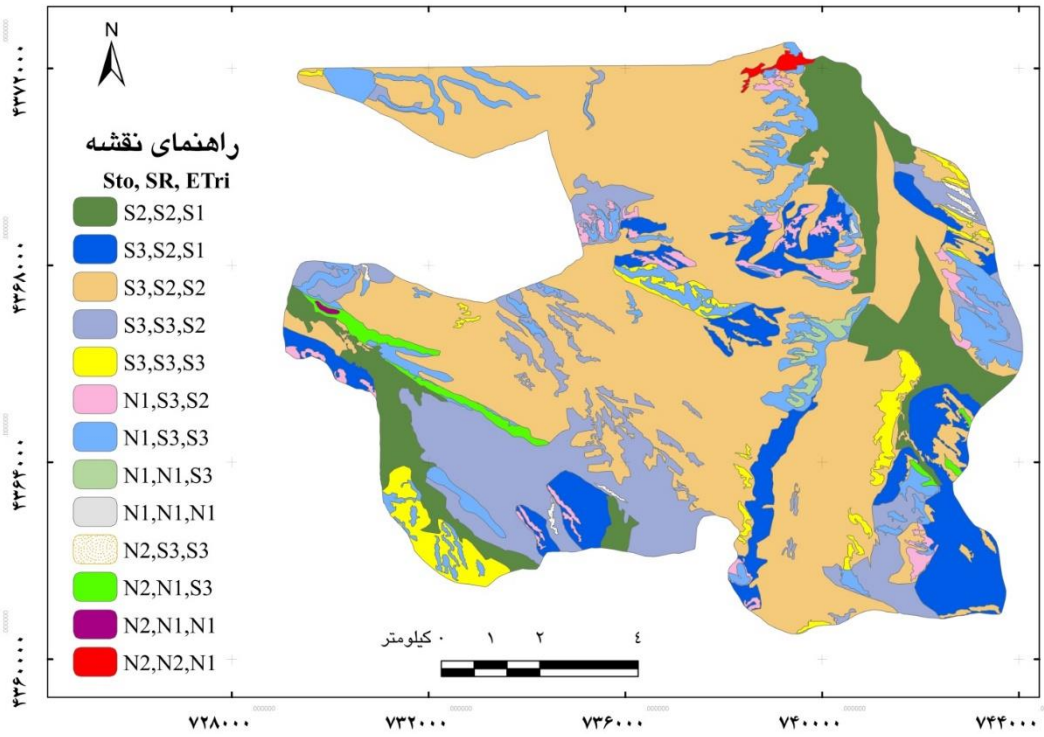
شکل ۱- نحوه قرارگیری پروفیل‌ها و دسته‌ها (Mousseau, 2003).

نتایج و بحث

[4]Concordance indices
[5]Discordance indices
[6]Cutting level
[7]Pessimistic
[8]Optimistic

برای ارزیابی تناسب اراضی واحدهای نقشه از مقادیر درجات محاسبه شده برای ویژگی‌های انتخاب شده در روش‌های استوری و ریشه دوم استفاده شد. در روش الکتره ترای از مقادیر تبدیل نشده معیارها استفاده گردید. پس از محاسبات و انجام فرآیندهای ارزیابی، کلاس‌های تناسب واحدهای نقشه تعیین و نتایج در شکل ۲ ارائه گردیده است.

نتایج نشان داد که طبق روش استوری ۱۰/۰۷ درصد از اراضی دارای تناسب متوسط (S2)، ۷۸/۰۷ درصد دارای تناسب بحرانی (S3)، ۱۰/۳۶ درصد نامناسب در حال حاضر (N1) و ۱/۵۰ درصد نامناسب دائمی (N2) برای کشت ذرت تحت آبیاری بارانی هستند. در حالی‌که بر اساس روش ریشه دوم ۷۱/۲۶ درصد از اراضی دارای کلاس S2، ۲۶/۹۶ درصد دارای کلاس S3، ۱/۵۴ درصد کلاس N1 و ۰/۲۴ درصد کلاس N2 برای کشت ذرت تحت آبیاری بارانی هستند. همچنین کاربرد روش الکتره ترای برای ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای کشت ذرت نشان داد که ۱۹/۹۴ درصد از اراضی دارای کلاس S1، ۶۷/۱۱ درصد از اراضی دارای کلاس S2، ۱۲/۶۴ درصد دارای کلاس S3 و ۰/۳۱ درصد کلاس N1 می‌باشند. رعایت تناسب اراضی گامی مطمئن در عملکرد زیاد همراه با حفظ خاک برای استفاده آیندگان و افزایش پتانسیل خاک می‌باشد. نقشه‌های تناسب اراضی یکی از ابزارهای تحقق این امر مهم هستند. این نقشه‌ها امکان پهنه‌بندی دقیق اراضی مستعد و غیرمستعد برای کشت محصول را در مقیاس ناحیه‌ای فراهم می‌آورند. نقشه تناسب تهیه شده با سه روش استوری، ریشه دوم و الکتره ترای در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲- نقشه تناسب واحدهای اراضی با روش استوری (Sto)، ریشه دوم (SR) و الکتره ترای (ETri) برای کشت ذرت.

آنچه مسلم است نتایج هر سه روش با هم متفاوت بوده بنابراین بررسی دقت روش‌ها و انتخاب روش مناسب و دقیق ضروری است. برای بررسی دقت تفکیک کلاس‌های تناسب در روش الکتره ترای از آزمون تجزیه واریانس چند متغیره برای ویژگی‌های خاک و اراضی استفاده شد که این آزمون در تحقیقاتی برای بررسی دقت واحدهای نقشه خاک تفکیک شده (Esfandiarpoor Borujeni et al., 2010) و دقت تفکیک کلاس‌های حاصلخیزی در نقشه حاصلخیزی خاک (Davatgar et al., 2012) نیز استفاده شده است. نتایج آزمون‌های چند متغیره هاتلینگ و ویلکس نشان داد (جدول ۱) که تفکیک کلاس‌های تناسب به دلیل کمتر بودن ارزش P-value آزمون‌ها در مقایسه با α=۰/۰۵ با دقت قابل قبولی صورت گرفته و این نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین کلاس‌های تناسب در ویژگی‌های خاک و اراضی استفاده شده می‌باشد. مقایسه میانگین ویژگی‌های خاک و

اراضی بین کلاس‌های تناسب تفکیک شده با روش الکتره ترای در جدول ۲ ارائه شده و چنانکه ملاحظه می‌گردد مهمترین ویژگی متفاوت در همه کلاس‌ها شیب می‌باشد. مقدار گچ در بین کلاس‌های تناسب اختلافش معنی‌دار نشده و بدان معنی نیست که در خاک‌های مورد مطالعه مقدار گچ قابل ملاحظه نیست، بلکه عمده خاک‌ها گچی هستند. در این خاک‌ها عمدتاً لایه‌ها یا افق‌هایی با بیش از ۲۵ درصد گچ و ۳۰ سانتی‌متر ضخامت حضور داشت که در محاسبه مقادیر گچ بالای این لایه‌ها یا افق‌ها لحاظ می‌شد که این‌ها باعث کاهش عمق مفید خاک شده‌اند. همچنین لایه‌های گچی ذکر شده در منطقه عمدتاً دارای شوری و سدیم تبادلی زیادی بوده و میانگین مقدار ویژگی‌های با اثر منفی از کلاس تناسب S1 به سمت N1 به طور معنی‌داری افزایش یافته است (جدول ۲).

بررسی مقادیر ویژگی‌ها در واحدهای اراضی نشان داد که کلاس‌های تناسب تعیین شده با استفاده از روش الکتره ترای نسبت به دو روش پارامتریک با واقعیت منطقه تطابق بیشتری دارند. به عنوان مثال در برخی واحدهای اراضی روش الکتره ترای کلاس تناسب اراضی را ارتقاء داده به طوری که تناسب برخی واحدها خوب (S1) تعیین شده است، لذا دقت در مقادیر اندازه‌گیری شده ویژگی‌ها در این واحدها و مقایسه آنها با جدول نیازمندی‌ها و همچنین بررسی‌های میدانی خاک‌های منطقه مشخص کرد که این واحدها در حد تناسب کلاس S1 برای رشد ذرت هستند و نتایج روش الکتره قابل قبول است.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس چند متغیره بین کلاس‌های تناسب در روش الکتره ترای (α=۰/۰۵).

آزمون	ارزش آماره آزمون	F	df_H	df_E	P-value
هاتلینگ	۴/۳۱	۱۱/۲۱	۲۱	۱۶۴	<۰/۰۰۰۱
ویلکس	۰/۱۳۵	۷/۷۴	۲۱	۱۶۱	<۰/۰۰۰۱

جدول ۲- مقایسه میانگین معیارها در کلاس‌های تناسب اراضی روش الکتره ترای با آزمون LSD.

کلاس تناسب	عمق خاک (cm)	آهک (٪)	گچ (٪)	EC (dS m^{-1})	ESP (%)	pH	شیب (٪)
S1	^{ab}۱۱۱/۲۰	^{a}۸/۰۹	^{a}۲/۷۵	^{a}۲/۰۷	^{a}۳/۳۶	^{a}۷/۵۱	^{a}۲/۵۷
S2	^{ac}۱۲۸/۴۸	^{b}۱۲/۷۱	^{a}۳/۰۴	^{a}۲/۰۱	^{ab}۵/۳۰	^{b}۷/۷۳	^{b}۴/۶۹
S3	^{b}۱۱۲/۴۲	^{c}۱۴/۸۶	^{a}۳/۲۷	^{a}۲/۳۳	^{b}۶/۵۲	^{b}۷/۷۵	^{c}۹/۰۳
N1	^{c}۱۵۰	^{c}۱۵/۸۲	^{a}۳/۳۳	^{b}۵/۹۶	^{c}۱۵/۹۱	^{c}۸/۰۳	^{d}۱۳/۰۳

حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۲ است.

منداس و دلالی (۲۰۱۲) که برای اولین بار از روش الکتره ترای در ارزیابی تناسب اراضی استفاده کردند به دقت زیاد این روش نسبت به روش‌های پارامتریک و کلاسیک اذعان نموده‌اند ایشان همچنین گزارش کردند که نتایج حاصل از این روش با واقعیت و شرایط منطقه مورد مطالعه آنها تطابق زیادی دارد. Mousseau (2003)، Mendas و Delali (2012)، Almeida-Dias و همکاران (2010) و Fontana وCavalcante (2013) تعیین حدود مناسب انتقالی (حدود پروفیل‌ها یا مرز بین کلاس‌ها)، مقادیر مناسب آستانه‌ها و اوزان ویژگی‌ها، استفاده از روابط و اصول منطق فازی در اجرای فرآیندهای محاسبات و تلفیق نتایج به دست آمده در محیط GIS را دلایل دقت زیاد روش الکتره ترای نسبت به روش‌های سنتی ذکر کرده‌اند.

نتیجه‌گیری

تعیین استعداد اراضی برای کاربری‌های مختلف کشاورزی به منظور حفظ منابع محیطی و تولید پایدار محصولات کشاورزی در راستای توسعه پایدار و همه جانبه در مناطق مختلف ضروری به نظر می‌رسد. برای این منظور تناسب و استعداد بخشی از اراضی دشت مغان جهت کشت ذرت با روش‌های پارامتریک و الکتره ترای مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی دقت تفکیک کلاس‌های تناسب در روش الکتره ترای از تجزیه واریانس چند متغیره استفاده شد. مقدار P-value آزمون‌های هاتلینگ و ویلکس نشان داد تفکیک کلاس‌ها دارای دقت بالایی است. همچنین مقایسه میانگین با روش LSD اختلاف معنی‌دار مقادیر

ویژگی‌های خاک و اراضی در کلاس‌های تناسب تفکیک شده با استفاده از روش الکتره را نشان داد که حاکی از دقت زیاد این روش به دلیل تعیین حدود مناسب انتقالی (حدود پروفیل‌ها)، مقادیر مناسب آستانه‌ها و اوزان ویژگی‌ها، استفاده از روابط و اصول منطق فازی در اجرای فرآیندهای محاسبات می باشد.

فهرست منابع

Akinci, H., Ozalp, A.Y., Turgut, B. (2013). Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. Computers and Electronics in Agriculture 97: 71-82.

Almeida-Dias, J., Figueira, J.R., Roy, B. (2010). ELECTRE TRI-C: A multiple criteria sorting method based on characteristic reference actions. European Journal of Operational Research 204: 565-580.

Amara, D.M.K., Kamanda, P.J., Patil, P.L., Kamara, A.M. (2016). Land suitability assessment for Maize and Paddy production in Bogur Microwatershed using remote sensing and GIS techniques. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB) 1(3): 505-516.

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

Elsheikh, R., Mohamed Shariff, A.B., Amiri, F., Ahmad, N.B., Balasundram, S.K., Soom, M.A.M. (2013). Agriculture Land Suitability Evaluator (ALSE): A decision and planning support tool for tropical and subtropical crops. Computers and Electronics in Agriculture 93: 98-110.

Esa, E. (2014). Land suitability assessment for Sorghum and Maize crops using a SLA and GIS approach in Dera Wereda, ANRS, Ethiopia. ERJSSH 1(1):119-139.

Esfandiarpoor Borujeni, I., Mohammadi, J., Salehi, M.H., Toomanian, N., Poch, R.M. (2010). Assessing geopedological soil mapping approach by statistical and geostatistical methods: A case study in the Borujen region, Central Iran. Catena 82: 1-14.

Fontana, M.E., Cavalcante, C.A.V. (2013). ELECTRE TRI method used to storage location assignment into categories. Pesquisa Operacional 33(2): 283-303.

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.

Mousseau, V. (2003) Implementation of ELECTRE Methods: ELECTRE Software, Course of DESS Decision Computer, LAMSADE, University of Paris Dauphine. 28pp.

Evaluating the suitability of some lands of the Dashte Moghan for maize cultivation using the ELECTRE Tri Multi-Criteria Method

Javad Seyedmohammadi[1*] and Mir Naser Navidi[2]

[1]Research Assistant, Soil Survey and Land Evaluation Department, Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran.
[2]Research Associate, Soil Survey and Land Evaluation Department, Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran.

Abstract

Determining the suitability of land for growing crops is an undeniable necessity for sustainable agriculture. In this research, parametric methods including Storie and Square Root and ELECTRE Tri multiple criteria method have bean also used for suitability evaluation in an area about of 12000 ha of Dasht-e-Moghan for maize cultivation under sprinkler irrigation with 167 soil profiles. Criteria weights by AHP method and ELECTRE Tri profiles and thresholds limits determined using requirements table, soil and land properties data. Mean comparing of soil and land properties values by LSD test showed significant difference among ELECTRE Tri suitability classes that implies high accuracy of this method due to determination of transition suitable limits (classes between limit), appropriate values of thresholds and criteria weights as well as usage of fuzzy logic relations and principals on calculation of processes performance.

Keywords: ELECTRE Tri, Maize, Square root, Statistical analysis.