Arch

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و پنجم، شماره اول، ۱۳۹۷
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

کارایی روش الکتره‌ترای در ارزیابی تناسب اراضی منطقه چالدران برای کشت سیب‌زمینی

مسلم ثروتی*
استادیار مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندوآب، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۹۶/٤/٦ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۱٦

چکیده

سابقه و هدف: ارزیابی تناسب اراضی جهت حفاظت خاک امری اجتناب‌ناپذیر است. انتخاب یک روش مناسب نیز با توجه به محدودیت‌های روش فائو به‌عنوان روش مرسوم ارزیابی اراضی ضروری به‌نظر می‌رسد. در این راستا روش‌های چندمعیاره از جمله الکتره‌ترای به‌دلیل دخالت دادن نظرات کارشناسی، در نظرگیری وزن ویژگی‌های مؤثر در تناسب می‌تواند مفید باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش روش ریشه دوم و روش الکتره‌ترای برای ارزیابی تناسب بخشی از اراضی شهرستان چالدران به مساحت تقریبی ۵۰۰۰ هکتار در حدفاصل ′۱۹ °٤٤ تا ′۲۳ °٤٤ طول شرقی و ′۰۱ °۳۹ تا ′۰۸ °۳۹ عرض شمالی برای کشت سیب‌زمینی استفاده شدند. برای نیل به اهداف در مجموع تعداد ٦۰ خاکرخ حفر، تشریح و نمونه‌برداری گردید و پس از تجزیه خاک، ویژگی‌های شیب، سیل‌گیری، زهکشی، بافت خاک، ذرات درشت‌تر از شن، آهک، گچ، هدایت الکتریکی، درصد سدیم تبادلی و اقلیم منطقه با اعمال ضرایب وزنی در خاکرخ‌های مختلف استخراج گردید. وزن‌های معیارها با استفاده از روش ماتریس مقایسه زوجی و مقادیر مرز بین کلاس‌ها و نقاط مرزی در روش الکتره‌ترای با استفاده از جدول نیازمندی‌ها و داده‌های مربوط به ویژگی‌های خاک و اراضی تعیین شدند. پتانسیل تولید اراضی نیز با هر دو روش از ضرب شاخص‌های خاک در تولید پتانسیل حاصل گردید و با استفاده از آماره‌های مختلف مقایسه شدند.

یافته‌ها: رده‌بندی خاک‌ها براساس کلید رده‌بندی ۲۰۱٤، آلفی‌سول، اینسپتی‌سول و انتی‌سول است. مقایسه میانگین مقادیر ویژگی‌های خاک و اراضی بین کلاس‌های تناسب تفکیک‌شده در روش الکتره ترای با آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار را نشان داد و این نشان‌دهنده دقت این روش در تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی است. پتانسیل تولید سیب‌زمینی در منطقه چالدران با روش‌های ریشه دوم و الکتره ترای به‌ترتیب ۹۳۳۰ تا ۳۰۲۰۰ و ۱۰۱٤۰ تا ۳۲۳۵۰ تخمین زده شد. روش الکتره‌ترای ازنظر آماره‌های ضریب تبیین (۰/۸۷) و جذر میانگین مربعات خطا (۱۹۷/٦) دقت بیش‌تری نسبت به روش پارامتریک با ضریب تبیین (۰/۷۹) و جذر میانگین مربعات خطا (۲/۲٤۱) دارد. همچنین معیار میانگین هندسی نسبت خطا (GMER) نیز نشان‌دهنده کم‌برآوردی هر دو روش ارزیابی بود. از طرفی دقت بالای این روش ترکیبی به تعیین حدود مناسب انتقالی، مقادیر مناسب آستانه‌ها و وزن‌های ویژگی‌ها و کاربرد رابطه‌های فازی در فرآیند محاسبات بستگی دارد.

* مسئول مکاتبه: m.sarvati@urmia.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری: براساس نتایج به‌دست آمده، به‌نظر می‌رسد که روش الکتره‌ترای، از طریق ترکیب با نظرات کارشناسی می‌تواند بهتر به مسأله تناسب اراضی کشاورزی برای تیپ بهره‌وری خاص بپردازد. همچنین صرفه‌جویی در زمان فرآیند ارزیابی تناسب اراضی برای زراعت سیب‌زمینی قابل‌توجه بود. انطباق نتایج به‌دست آمده نیز با تولید واقعی تأییدکننده اثربخشی سامانه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پارامتریک، پتانسیل تولید، تولید واقعی، روش چندمعیاره

مقدمه

ارزیابی تناسب اراضی، کارایی اراضی را برای تیپ‌های بهره‌وری مختلف نشان می‌دهد (۷). روش فائو به‌عنوان معمول‌ترین روش ارزیابی بوده که توسط پژوهشگران زیادی مورد نقد و انتقاد قرار گرفته است. این مدل از منطق بولین در ارزیابی تناسب اراضی استفاده نمود، نظرات کارشناسی و کیفیت‌های اراضی را در فرآیند ارزیابی دخالت نمی‌دهد (۳، ٦ و ۲۵). در این میان می‌توان با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با در نظر گرفتن مجموعه معیارها و تعیین تأثیر هر ویژگی در تناسب و لحاظ نمودن نظرات کارشناسی در فرآیند ارزیابی بر این مشکلات فائق آمد (۱). سبالوس و لوپز (۲۰۰۳) از چهارچوب فائو و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای مقایسه دودویی عامل‌های مؤثر در تولید تیپ‌های بهره‌وری مورد مطالعه استفاده و عوامل اقلیمی و شوری را مهم‌ترین عوامل محدودکننده در تناسب این تیپ‌های بهره‌وری عنوان کردند (٤). تیئن‌ونک و همکاران (۲۰۰۹) در کشور تایلند، برای ارزیابی تناسب اراضی تیپ بهره‌وری نیشکر، از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده کردند. ایشان بارندگی، درجه حرارت، شیب، تناسب خاک، دوری و نزدیکی از جاده و فاصله از کارخانه تولید شکر را ویژگی‌هایی مؤثر در تناسب این تیپ بهره‌وری گزارش کردند (۲۳). نتایج ایشان نشان داد که ۵۲ درصد از کل اراضی دارای تناسب متوسط و بالا می‌باشد. لی و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از ترکیب فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و آنالیز ناحیه‌ای خاکستری[1]، مدل ارزیابی اکولوژیکی تناسب اراضی را ارائه دادند. ایشان گزارش کردند که این روش باعث کاهش عدم قطعیت و خطای درونی مدل‌های کلاسیک می‌شود. از جمله روش‌های چند معیاره روش الکتره ترای[2] است که می‌تواند راه‌گشای کارشناسان ارزیابی باشد. در این روش نظرات تصمیم‌گیرنده‌ها نسبت به معیارها، به‌صورت آستانه ارجحیت[3]، آستانه بی‌تفاوتی[4] و آستانه عدم مقبولیت[5] مدنظر قرار می‌گیرد و در نهایت واحدهای اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی تعریف‌شده بر اساس مقادیر ویژگی‌های اراضی و وزن‌های اختصاص‌یافته قرار می‌گیرند (۱۲). منداس و دلالی (۲۰۱۲) از روش الکتره‌ترای برای ارزیابی تناسب اراضی گندم در نیجریه استفاده نمودند، نتایج بیانگر این مطلب است که نقشه‌های تناسب به‌دست آمده با این روش از روش کلاسیک دقت بیش‌تری دارد (۱۳). همچنین پژوهش مشابهی توسط نگوین و همکاران (۲۰۱۵) در ویتنام صورت گرفت که نشان داد نقشه‌های به‌دست

1- Grey Relational Analysis (GRA)
2- ELECTRE Tri
3- Preference threshold
4- Indifference threshold
5- Veto threshold

www.SID.ir

Archive of SID

آمده نسبت به روش‌های کلاسیک دارای دقت بیش‌تری است (۱۶). شایان ذکر است که در بین روش‌های ارزیابی فائو (محدودیت و پارامتریک)، روش‌های پارامتریک (استوری و ریشه دوم) قادر به ارائه شاخص اراضی هستند و تناسب را به‌صورت کمی ارائه می‌کنند. همچنین روش ریشه دوم به‌دلیل استفاده از قانون حداقل لیبیک (استفاده از محدودکننده‌ترین ویژگی در خارج عملگر جذر) و جذرگیری از سایر ویژگی‌های مؤثر در ارزیابی تناسب اراضی جهت کاهش اثرات متقابل بین ویژگی‌ها، نتایج مناسب‌تری ارائه می‌دهد که در پژوهش‌های مختلف (۱۶ و ۲۵) این نتایج به اثبات رسیده است. بنابراین در این پژوهش روش انتخابی با روش ریشه دوم مقایسه گردید. با این‌حال روش فائو نظرات کارشناسی، کلاس‌های بینابین، پیوستگی ویژگی‌های خاک را در نظر نگرفته و ناچار نیاز به استفاده از روش‌های نوین می‌باشد. در این راستا روش الکتره‌ترای به‌عنوان روش نوین ارزیابی، با افزایش صحت، ایجاد تفاهم در تصمیم‌گیری‌ها و کاهش تعارضات تصمیم‌گیری تناسب اراضی می‌تواند راهگشا باشد. همچنین روش الکتره‌ترای با تعیین وزن معیارها با طبقه‌بندی فازی، پیوستگی ویژگی‌های خاک و تناسب را در نظر می‌گیرد (۱۴). هدف از این پژوهش تعیین تناسب واحدهای مختلف اراضی، شناسایی ویژگی‌های مؤثر در تناسب اراضی و شناسایی نواحی مستعد کشت برای گیاه سیب‌زمینی با استفاده از روش‌های الکتره‌ترای و مقایسه آن با روش پارامتریک- ریشه دوم در قسمتی از اراضی چالدران (استان آذربایجان غربی) می‌باشد.

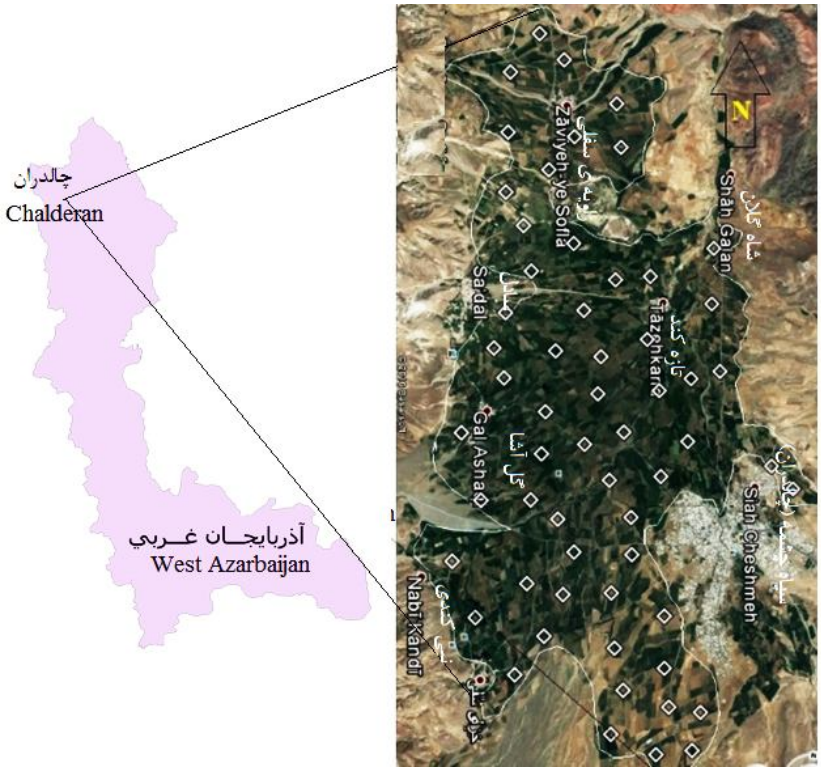
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی: منطقه مطالعاتی (چالدران) حدود ۵۰۰۰ هکتار بوده، در شمال‌غربی ایران و در استان آذربایجان‌غربی واقع شده است. از نظر جغرافیایی این منطقه بین ′۱۹ °۴۴ تا ′۲۳ °۴۴ طول شرقی و ′۰۱ °۳۹ تا ′۰۸ °۳۹ عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). بر اساس آمار هواشناسی ایستگاه کلیماتولوژی چالدران بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴، میانگین دما و بارندگی سالانه به‌ترتیب ۹/۳ درجه سلسیوس و ۴۱۱/۹ میلی‌متر می‌باشد. بر اساس نرم‌افزار نیوهال (۱۵) رژیم رطوبتی و حرارتی خاک به‌ترتیب زریک و مزیک می‌باشد. ارتفاع منطقه مطالعاتی بین ۱۷۹۰ تا ۱۹۱۰ متر از سطح آزاد دریاها می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه از رسوبات کواترنر تشکیل شده است. در برخی قسمت‌ها نیز به‌صورت رگه‌ای سنگ آهک و بازالت نیز قابل‌مشاهده است (۱۰).

مطالعات صحرایی: جهت نیل به اهداف تعداد ۶۰ مته، مقطع طبیعی و خاکرخ با عمق ۱۵۰ سانتی‌متر حفر و بر اساس راهنمای تشریح خاک (۱۸) تشریح گردید و ویژگی‌های مورفولوژیکی شامل شیب، وضعیت زهکشی، سیل‌گیری، ساختمان، رنگ و ... در صحرا تعیین شد. سپس از هر افق ژنتیکی نمونه‌برداری و جهت انجام آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شد. آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی شامل گچ، آهک، بافت، ذرات درشت‌تر از شن، درصد سدیم تبادلی و هدایت الکتریکی بودند که براساس روش‌های استاندارد (۱۹) اندازه‌گیری شدند. بر اساس کلید رده‌بندی آمریکایی (۲۴) خاک‌ها در دو رده اینسپتی‌سول‌ها و آلفی‌سول‌ها رده‌بندی شدند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی همراه با نقاط نمونه‌برداری.

Figure 1. Location of study area with sampling points.

برای انجام ارزیابی تناسب اراضی در منطقه چالدران از روش پارامتریک- ریشه دوم و الکتره‌ترای استفاده شد. در مناطق مرطوب ویژگی‌های اراضی مورداستفاده شامل اقلیم، توپوگرافی، زهکشی، سیل‌گیری، مجموعه بافت- سنگریزه- عمق و سه ویژگی مربوط به حاصلخیزی خاک (ظرفیت تبادل کاتیونی ظاهری (ACEC)، کاتیون‌های بازی یا pH و کربن آلی) می‌باشد، برای مناطق خشک و نیمه‌خشک (منطقه مطالعاتی)، ویژگی‌های گچ، آهک و شوری و سدیمی‌بودن جایگزین ویژگی‌های مرتبط با حاصلخیزی می‌شود. شایان ذکر است با توجه به یک‌ساله بودن محصول سیب‌زمینی، داده‌های گچ، آهک، بافت (شن، سیلت، رس) به‌صورت میانگین وزنی تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری محاسبه شد. شوری به‌صورت میانگین‌گیری وزنی تا عمق ۵۰ سانتی‌متری و سدیمی‌بودن بیش‌ترین مقدار ESP در داخل ۱۰۰ سانتی‌متری محاسبه شد. توپوگرافی، سیل‌گیری و زهکشی هم مستقیماً از کارت تشریح خاکرخ‌ها استنتاج گردید (۲۰). سپس این ویژگی‌ها با نیازهای رویشی سیب‌زمینی بر اساس جدول‌های سایس و همکاران (۲۲) مقایسه و درجه تناسب هر ویژگی محاسبه و در نهایت با استفاده از رابطه ۱ ارائه‌شده توسط خدیر (۱۱) شاخص اراضی اصلاح نشده (LI) برای هر خاکرخ محاسبه و در نهایت با استفاده از رابطه‌های ۲ تا ٦، به شاخص‌های اصلاح‌شده اراضی (CLI) تبدیل شدند (۲۰). در این روابط چنان‌چه کم‌ترین درجه تناسب مربوط به ۸ ویژگی، ۸۵ یا بیش‌تر باشد از رابطه ۲، ٦۰ تا ۸۵ از رابطه ۳، ٤۰ تا ٦۰ از رابطه ٤، ۲۵ تا ٤۰ رابطه ۵، کم‌تر از ۲۵ از رابطه ٦ استفاده می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

$$LI = R_{\min} \times \sqrt{\frac{A}{100}} \times \frac{B}{100} \times \ldots \quad (۱)$$

$$CLI = 75 + (SQRI \times 60) \times 0.625 \quad (۲)$$

کلاس S_1

$$CLI = 50 + (SQRI \times 24) \times 0.410 \quad (۳)$$

کلاس S_2

$$CLI = 25 + (SQRI \times 10) \times 0.455 \quad (٤)$$

کلاس S_3

$$CLI = SQRI \times 0.625 \quad (۵)$$

کلاس N_1

$$CLI = SQRI \quad (٦)$$

کلاس N_2

که در آن‌ها، A، B و C و...، درجات تناسب تخصیص‌یافته به هر یک از ویژگی‌های اراضی و R_{min} درجه تناسب حداقل در بین ویژگی‌ها، CLI[1] شاخص اصلاح‌شده اراضی و SQRI[2] شاخص اصلاح‌نشده اراضی به روش ریشه دوم می‌باشد. کلاس‌های تناسب اراضی نیز از روش فائو (۱۹۸۳) (۸) با توجه به مقادیر شاخص‌های اراضی تعیین گردید.

برای محاسبه میزان پتانسیل تولید، ابتدا پتانسیل ژنتیکی محصول (پتانسیل گرمایی- تابشی) با استفاده از ویژگی‌های گیاهی و داده‌های اقلیمی (تابش خورشید و درجه حرارت) از رابطه‌های ۷، ۸ و ۹ محاسبه شد (۲۱).

$$Y = \frac{0.36 \times bgm \times KLAI \times Hi}{\frac{1}{L} \times 0.25 \times C_t} \quad (۷)$$

$$bgm = f \times b_o \times (1 \quad f) \times bc \quad (۸)$$

$$C_t = C_{30} \times (0.44 + 0.0019 + 0.001t^2) \quad (۹)$$

که در آن‌ها، Y تولید پتانسیل یا پتانسیل گرمائی- تابشی تولید (کیلوگرم وزن خشک در هکتار)، bgm حداکثر سرعت تولید ناخالص زیست‌توده (کیلوگرم بر هکتار در ساعت)، KLAI نسبت سرعت تولید ناخالص زیست‌توده به مقدار حداکثر و از روی نمودار مربوطه (۲۲) قابل‌محاسبه است. Hi شاخص برداشت که از تقسیم وزن دانه بر وزن کل بوته به‌دست‌آمده می‌آید، l طول سیکل رشد (روز)، Ct ضریب تنفس، C_{30} برای لگوم‌ها برابر ۰/۰۲۸۳ و برای غیرلگوم‌ها برابر ۰/۰۱۰۸ می‌باشد، t متوسط درجه حرارت در طول سیکل رشد، f بخشی از روز که آسمان ابری است، (1-f) بخشی از روز که آسمان آفتابی است که از اطلاعات اقلیمی منطقه برآورد گردید، bo حداکثر سرعت تولید ناخالص زیست‌توده ناخالص در روزهای ابری (کیلوگرم بر هکتار در روز)، bc حداکثر تولید زیست‌توده ناخالص در روزهای روشن (کیلوگرم بر هکتار در روز) می‌باشد. مقادیر bo و bc با توجه به عرض جغرافیایی منطقه مطالعاتی، ارائه‌شده توسط دویت (۱۹٦۵) محاسبه گردید (۵). مشخصات گیاه مثل شاخص برداشت و شاخص سطح برگ در آزمایشگاه اندازه‌گیری و حداکثر سرعت فتوسنتز با توجه به تیپ بهره‌وری از روی نمودار مربوطه (۲۱) برآورد گردید. پس از محاسبه پتانسیل گرمائی- تابشی، این مقدار در شاخص خاک هر خاکرخ ضرب و پتانسیل تولید زمین بر حسب وزن تر در هکتار محاسبه شد. شاخص خاک از تلفیق پارامترهای مؤثر در تناسب اراضی با روش ریشه دوم بدون دخالت اقلیم (رابطه ۱) قابل محاسبه است. استفاده از شاخص‌های خاک به‌جای

1- Corrected Land Indices
2- Square Root Land Indices

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص اراضی به‌دلیل جلوگیری از تأثیرگذاری مجدد ویژگی‌های اقلیمی است (۲۱). برای اندازه‌گیری تولید مشاهده‌شده در واحد سطح از یک کادر مربع چوبی به ابعاد دو متر در دو متر و پرسش از زارعان محلی استفاده شد.

برای ارزیابی تناسب اراضی به روش الکتره‌ترای مراحل زیر انجام گردید.

۱- تعیین ماتریس تصمیم‌گیری با توجه به ویژگی‌های اراضی و خاکرخ‌ها

۲- بی‌مقیاس‌سازی با استفاده از روش نورم

۳- به‌دست آوردن ماتریس بی‌مقیاس شده موزون

٤- ارزیابی خاکرخ‌ها نسبت به تمام ویژگی‌ها و تشکیل ماتریس‌های هماهنگ و ناهماهنگ

۵- به‌دست آوردن ماتریس هماهنگ مؤثر (شامل ویژگی‌هایی که بر روی تناسب اثر مثبت دارند)

٦- به‌دست آوردن ماتریس ناهماهنگ مؤثر (شامل ویژگی‌هایی که بر روی تناسب اثر منفی دارند)

۷- به‌دست آوردن ماتریس کلی مؤثر از ترکیب ماتریس هماهنگ مؤثر و ناهماهنگ مؤثر

۸- الویت‌بندی خاکرخ‌ها و تعیین شاخص اراضی

جهت نیل به اهداف، مقادیر ماتریس تصمیم‌گیری (N) تناسب را با استفاده از نورم، بی‌مقیاس می‌گردد (رابطه ۱۰). سپس با استفاده از ماتریس وزن‌های شاخص‌ها (W) و رابطه ۱۱ ماتریس بی‌مقیاس‌شده موزون را به‌دست می‌آید. در مرحله بعد خاکرخ‌های مختلف، نسبت به تمام ویژگی‌های اراضی، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و مجموعه ماتریس هماهنگ (رابطه ۱۲) و ناهماهنگ (رابطه ۱۳) به‌دست می‌آید. ماتریس هماهنگ و ناهماهنگ مؤثر، ابتدا برای آن یک آستانه‌ای تعیین می‌شود (حدود کلاسی که ویژگی در آن قرار می‌گیرد). اگر هر عنصر ماتریس هماهنگ و ناهماهنگ بزرگ‌تر یا مساوی آن باشد، آن مؤلفه در ماتریس، مقدار یک به خود می‌گیرد و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد. برای تعیین حد آستانه می‌توان از اطلاعات گذشته و نظر تصمیم‌گیرنده استفاده کرد. در نهایت با ترکیب ماتریس هماهنگ مؤثر (H) و ماتریس ناهماهنگ مؤثر (G) ماتریس کلی مؤثر (F) به‌دست می‌آید (رابطه ١٤).

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{[\sum_{i=1}^{m} {a_{ij}}^2]^{0.5}} \qquad (۱۰)$$

$$V = N \times W_{n\times m} \qquad (۱۱)$$

$$S_{ik} = \{j \mid V_{kj} \geq V_{ij}\}, j = 1,....,m \qquad (۱۲)$$

$$S_{ik} = \{j \mid V_{kj} \leq V_{ij}\}, j = 1,....,m \qquad (۱۳)$$

$$Fki = h_{ki} \times G_{ki} \qquad (١٤)$$

که در آن‌ها، V ماتریس بی‌مقیاس‌شده موزون، W_{m*n} ماتریس قطری ویژگی‌های مختلف، S_{kl} ماتریس هماهنگ و ناهماهنگ ویژگی j و k حالت بهینه ویژگی j، که مقبولیت، عدم مقبولیت و بی‌تفاوتی را مشخص می‌نماید، G ماتریس ناهماهنگ، H ماتریس هماهنگ و F ماتریس مؤثر کلی و تعیین‌کننده شاخص اراضی و تناسب است (۱۳).

اعتبارسنجی روش‌ها: برای ارزیابی کارایی مدل‌های طراحی‌شده، از آماره‌های ضریب تبیین (رابطه ۱۵)، جذر مربعات کم‌ترین خطای میانگین[1] (رابطه ١٦)، معیار نش و ساتکلیف (رابطه ۱۷) استفاده شد. شایان ذکر است که برای محاسبه کم‌برآوردی و بیش‌برآوردی مدل از میانگین هندسی نسبت خطا[2] (رابطه ۱۸) استفاده شد.

1- Root Mean Square Error (RMSE)
2- Geometric Mean Error Ratio (GMER)

www.SID.ir

Archive of SID

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^{n}(O_i - O_{ii}) \times (I_I - I_{ii})]^2}{[\sum_{i=1}^{n}(O_i - O_{ii}) \times \sum_{i=1}^{n}(I_i - I_{ii})]^2} \quad (۱۵)$$

$$GMER = \frac{1}{n}\sum_{l=1}^{n}(O_{ii} - I_{ii}) \quad (۱۶)$$

$$NSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - I_{ii})}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - O_{ii})} \quad (۱۷)$$

$$GMER = \exp\frac{1}{n}\sum_{l=1}^{n}\ln(\frac{I_i}{O_i}) \quad (۱۸)$$

که در آن‌ها، O_i مقدار عملکرد مشاهده‌شده، I_i مقدار عملکرد برآورد شده توسط مدل، O_{ii} میانگین مقادیر عملکرد مشاهداتی، I_{ii} میانگین مقادیر عملکرد محاسباتی و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

جدول ۱ پارامترهای آماری ویژگی‌های اراضی در ارزیابی تناسب اراضی منطقه مطالعاتی را برای تیپ بهره‌وری سیب‌زمینی نشان می‌دهد. شایان ذکر است که بافت خاک‌ها از لوم شنی تا رسی، زهکشی از خوب تا نسبتاً ضعیف، سیل‌گیری از فاقد محدودیت تا محدودیت کم متغیر می‌باشد. همچنین اقلیم منطقه برای کشت سیب‌زمینی کاملاً متناسب و در کلاس (S_1) می‌باشد. براساس روش ریشه دوم ۱۳/۳٤ درصد از خاکرخ‌ها کاملاً متناسب (S_1)، ۳۱/٦٦ درصد نسبتاً متناسب (S_2)، ٤۱/٦٦ درصد تناسب بحرانی (S_3)، ۸/۳٤ درصد نامناسب در حال حاضر (N_1) و ۵ درصد نامناسب دائمی (N_2) برای زراعت سیب‌زمینی می‌باشد. از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد در منطقه می‌توان به بافت، سنگریزه و آهک اشاره نمود.

جدول ۱- پارامترهای آماری ویژگی‌های اراضی در ارزیابی تناسب اراضی تیپ بهره‌وری سیب‌زمینی.

Table 1. Statistical parameters of land characteristics used on potato land suitability evaluation.

عملکرد واقعی Actul Yield (Kg ha^{-1})	شاخص اراضی Land index	آهک Lime (%)	گچ Gypsum (%)	شیب Slop (%)	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity (dS m^{-1})	درصد سدیم تبادلی Exchangble Sodium Perentage	ویژگی‌های آماری Statistical features
28650	54.61	10.8	0.74	2.12	3.11	6.3	میانگین Average
2580	9.16	1.25	0.25	1.03	3.24	6.97	انحراف استاندارد standard deviation
97.4	8.27	0.87	0.21	1.05	1.13	2.51	واریانس Variance
-0.92	1.82	1.18	0.31	0.91	0.29	0.99	چولگی Skewness
-1.38	2.94	2.46	-0.68	2.7	2.25	3.22	کشیدگی Kurtosis
9570	11.3	6.32	0	0	1.27	2.67	حداقل Minimum
37120	79.8	23.76	1.7	6	8.16	13.21	حداکثر Maximum

www.SID.ir

Archive of SID

آستانه ارجحیت، بی‌تفاوتی و عدم‌مقبولیت ویژگی‌های اراضی در تناسب سیب‌زمینی به‌صورت جدول ۲ می‌باشد. روش الکتره‌ترای توانایی تعیین حد کلاس‌ها را با مقادیر ویژگی‌ها و نظرات کارشناسی دارد. معنی‌داری کلاس‌ها در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۲- پارامترهای محاسبه‌شده توسط روش اکتره‌ترای.

Table 2. Calculated parameter by Electre tri method.

پارامترها Alternative	بافت خاک Soil Texture	درصد سدیم تبادلی Exchangble Sodium Perentage	گچ Gypsum (%)	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity ($dS\ m^{-1}$)	اقلیم Climate	آهک Lime (%)	شیب Slop (%)	سنگریزه Gravel (%)
مرز S_1 و S_2	75	7	2	3	75	7	2	15
آستانه بی‌تفاوتی Preference threshold	6.4	1.1	0.1	0.1	0.6	0.2	0.5	3.4
آستانه ارجحیت Indifference threshold	13.5	2.1	0.2	0.2	0.9	0.3	0.9	6.3
مرز S_2 و S_3	50	11	4	6	50	12	4	23
آستانه بی‌تفاوتی Preference threshold	5.9	1.6	0.8	0.1	0.7	0.3	0.9	4.6
آستانه ارجحیت Indifference threshold	12.6	2.6	1.1	0.2	1.6	0.4	1.1	7.2
مرز S_3 و N_1	25	15	6	8	25	22	7	28
آستانه بی‌تفاوتی Preference threshold	6.3	2.8	4.2	0.5	2.4	0.5	1.3	4.7
آستانه ارجحیت Indifference threshold	11.6	3.9	5.9	0.9	3.7	0.8	2.7	7.5
مرز N_1 و N_2	12.5	25	9	12	12.5	30	10	40
آستانه بی‌تفاوتی Preference threshold	4.7	3.2	5.8	0.6	2.3	0.8	2.6	5.1
آستانه ارجحیت Indifference threshold	8.9	4.3	10.9	1.3	4.9	1.1	4.2	8.2

۸ ویژگی اراضی با استفاده از مقایسات جفتی (۱۷) وزن‌دار شدند (جدول ۳). وزن‌ها با توجه به اهمیت ویژگی‌های مختلف بر روی تناسب سیب‌زمینی براساس نظرات ۲۵ نفر از کارشناسان محلی بر اساس پرسش‌نامه تعیین گردید. راست‌آزمایی با استفاده از شاخص ناسازگاری در محیط نرم‌افزار Expert Choice صورت گرفت. در مواردی که شاخص ناسازگاری بالای ۱/۰ بود، در نظرات کارشناسی تجدیدنظر صورت می‌گرفت تا شاخص جدید پایین‌تر از این مقدار گردد. نتایج نشان داد که بافت (۲۸٦/۰) و گچ (۰۸٦/۰) به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین وزن (ضریب تأثیر) در تناسب اراضی منطقه مطالعاتی برای تیپ بهره‌وری سیب‌زمینی می‌باشند. شایان ذکر است که نرخ ناسازگاری مقایسات جفتی ۰/۰٤۸ به‌دست آمد که کم‌تر از ۰/۱ بوده و قابل‌قبول است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- وزن‌های ویژگی‌های مختلف اراضی در تناسب تیپ بهره‌وری سیب‌زمینی.

Table 3. Weights of different land properties on potato land suitability.

ویژگی‌ها Properties	اقلیم climate	زهکشی dranage	سیل‌گیری Flooding	شیب Slop
وزن‌ها Weights	0.236	0.139	0.117	0.153
ویژگی‌ها Properties	بافت خاک Soil Texture	آهک Lime	شوری و قلیائیت Salinity and sodosity	گچ Gypsum
وزن‌ها Weights	0.286	0.121	0.096	0.086

کاربرد روش الکتره‌ترای برای ارزیابی تناسب اراضی سیب‌زمینی نیز نشان داد که ۱۶/۶۶ درصد از خاکرخ‌ها کاملاً متناسب (S_1)، ۳۰ درصد از اراضی نسبتاً متناسب (S_2)، ٤٨/٣٤ درصد تناسب بحرانی (S_3) و ۳/۳٤ درصد نامناسب در حال حاضر (N_1) و ۱/٦٦ درصد نامناسب دائمی (N_2) می‌باشند. آن‌چه مسلم است نتایج هر دو روش باهم متفاوت است. بررسی کلاس‌های تناسب اراضی ارائه‌شده نشان می‌دهد که روش پارامتریک الکتره‌ترای در برخی از خاکرخ‌ها کلاس‌های تناسب را بهبود داده است به‌طور مثال در روش ریشه دوم ۸ خاکرخ کاملاً متناسب (S_1) می‌باشند ولی در روش الکتره‌ترای ۱۰ خاکرخ کاملاً متناسب (S_1) برای کشت سیب‌زمینی شناسایی شدند. منداس و دلالی (۲۰۱۳) نیز در مطالعات خود به بهبود کلاس‌های تناسب اراضی در روش الکتره‌ترای نسبت به روش ریشه دوم اشاره کرده‌اند (۱۳). مقایسه میانگین ویژگی‌های اراضی بین کلاس‌های تناسب اراضی با روش الکتره‌ترای (جدول ٤) نشان داد که اکثر ویژگی‌های اراضی در همه کلاس‌های تناسب متفاوت می‌باشند. اختلاف مقدار سنگریزه بین کلاس‌های S_2 و S_3 و درصد سدیم تبادلی بین کلاس‌های S_1، S_2 و S_3 در بین کلاس‌های تناسب معنی‌دار نیست.

از مزایای این روش افزایش صحت، ایجاد تفاهم در تصمیم‌گیری‌های پژوهشگران و کاهش تعارضات تصمیم‌گیری در زمینه امکان‌پذیری اجرای طرح تناسب اراضی از دیدگاه کشاورزی است. همچنین روش الکتره‌ترای با تعیین وزن معیارها با طبقه‌بندی فازی خاکرخ‌ها، به افزایش اطمینان تخصیص ارزش‌های هر خاکرخ به‌صورت پیوسته در کلاس تناسب مناسب کمک می‌نماید. آلمیدادیاس و همکاران (۲۰۱۰) و مونتانا و کاوالکانته (۲۰۱۳) تعیین حدود انتقالی مناسب (مرز بین کلاس‌ها)، مقادیر مناسب آستانه‌ها و وزن ویژگی‌ها، استفاده از روابط فازی مناسب در فرآیند محاسبات را از دلایل دقت بالای روش الکتره‌ترای گزارش کردند (۲، ۹). نتایج پژوهش فوق بیانگر این مطلب بود که مقادیر مناسب آستانه و وزن ویژگی‌های اراضی بایستی با بررسی منابع دقیق و نظرات کارشناسان خبره صورت گیرد. همچنین روابط فازی کندل نشان‌دهنده نتایج مناسبی بودند. با این‌حال مقایسه این توابع عضویت با سایر توابع عضویت می‌تواند مناسب‌ترین تابع عضویت را معرفی نماید.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- مقایسه میانگین معیارها در کلاس‌های تناسب اراضی با آزمون دانکن.

Table 4. Comparision of average alternative in land suitability classes by Duncan test.

شیب Slop (%)	سنگریزه Gravel (%)	ESP (%)	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity ($dS\ m^{-1}$)	گچ (٪) Gypsum	آهک (٪) Lime	بافت خاک Soil Texture	کلاس تناسب Suitability classes
2 a	15 a	7 a	3 a	2 a	7 a	75 a	S_1
4 b	23 b	11 ab	6 b	4 b	12 b	50 b	S_2
7 c	28 b	15 b	8 c	6 c	22 c	25 c	S_3
10 d	40 c	25 c	12 b	9 d	30 d	12.5 d	N_1

اعدادی که در هر ستون حروف مشترک دارند، اختلاف معنی‌دار ندارند.

مقادیر عددی متغیرهای موردنیاز برای محاسبه پتانسیل تابشی- گرمائی تولید سیب‌زمینی در جدول ٥ ارائه شده است. بررسی‌ها از زارعان منطقه نشان داد که از نظر میزان نهاده مصرفی، اختلافی میان مزارع با اندازه‌های مختلف نیست ولی از لحاظ اعمال مدیریتی تفاوت‌هایی مشاهده می‌شود. پتانسیل تولید در منطقه چالدران از ۸۲۳۰ تا ۳۸۲۰۰ و ۱۰۱٤۰ تا ٤۲۳٥۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب بار روش‌های ریشه دوم و الکتره‌ترای تخمین زده شد. شایان ذکر است که برای محاسبه شاخص خاک اصلاح‌شده، ابتدا بدون تأثیر پارامتر اقلیم، شاخص خاک محاسبه و در نهایت با استفاده از روابط مربوطه شاخص خاک محاسبه گردید.

جدول ٥- مقادیر متغیرهای استفاده‌شده برای محاسبه پتانسیل تابشی- گرمائی تولید سیب‌زمینی.

Table 5. Climate and plant variable used in potato radiation-thermal production potential prediction.

اطلاعات Information	پارامترها Parameters	اطلاعات Information	پارامترها Parameters
4.5	شاخص سطح برگ (m^2/m^2) Leaf area indices	سیب‌زمینی	تیپ بهره‌وری Utilization type
0.55	شاخص برداشت Harvest indices	C_3	گروه فتوسنتزی Photosynthesis Groups
232.54	Bo	0.85	KALI
457.81	Bc	518.78	Bgm
0.0108	C_{30}	20.12	متوسط درجه حرارت سیکل رشد Mean temprature of growing cycle
46850	عملکرد Yield	31%	درصد رطوبت تیپ بهره‌وری Hiumidity percentage of utilization type

www.SID.ir

Archive of SID

آزمون F بین پتانسیل تولید محاسبه‌شده با دو روش ریشه دوم و الکتره‌ترای و تولید واقعی نشان داد که بین سه سری داده اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ وجود نداشته، بنابراین هر دو روش دارای دقت کافی برای برآورد پتانسیل تولید سیب‌زمینی در منطقه مطالعاتی می‌باشند. مقایسه کارایی دو روش در سطح منطقه نیز نشان داد که روش الکتره‌ترای به‌دلیل ضرایب R^2 و NES بالاتر و RMSE کوچک‌تر (جدول ٦) دارای دقت و صحت بالاتری نسبت به روش ریشه دوم می‌باشد. همچنین ضرایب GMER محاسبه‌شده برای هر دو روش (جدول ٦) بیانگر کم‌برآوردی هر دو روش بوده، با این‌حال روش الکتره‌ترای دارای اختلاف کم‌تری نسبت به تولید واقعی است.

جدول ٦- عملکرد آماری روش‌های ارزیابی مورد استفاده برای سیب‌زمینی در منطقه چالدران.

Table 6. Statistical performance of used land evaluation merhods for potato in Chalderan region.

روش‌های مورد استفاده The model used	RMSE	R^2	NES	GMER
ریشه دوم Root Mean Square	241.2	0.79	0.59	1.92
الکتره‌ترای Electre Tri	197.6	0.87	0.75	1.38

نتیجه‌گیری کلی

شناخت توانمندی‌های اراضی و اختصاص آن‌ها به مناسب‌ترین نوع بهره‌وری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و انتخاب مناسب‌ترین روش ارزیابی که بیش‌ترین همبستگی را با تولید واقعی نشان دهد، مهم‌ترین دغدغه کارشناسان ارزیابی اراضی در دو دهه اخیر بوده است. در این راستا تناسب اراضی بخشی از اراضی چالدران جهت کشت سیب‌زمینی با روش‌های ریشه دوم و الکتره‌ترای مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی کلاس‌های تناسب اراضی محاسبه‌شده با دو روش ارزیابی انتخابی نشان داد که روش الکتره‌ترای کلاس‌های تناسب اراضی را بهبود داده است، به‌طوری‌که پتانسیل تولید در منطقه چالدران از ۹۳۳۰ تا ۳۰۲۰۰ و ۱۰۱٤۰ تا ۳۲۳۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب با روش‌های ریشه دوم و الکتره‌ترای تخمین زده شد. میانگین شاخص‌های اراضی ٦۱/٥٤ بوده که عمدتاً اراضی در کلاس نسبتاً متناسب بوده که این محصول برای این منطقه قابل توصیه است. بافت خاک بیش‌ترین وزن را در تناسب اراضی منطقه مطالعاتی بر اساس مقایسات دودویی دارد. با توجه به این‌که سیب‌زمینی یک محصول غده‌ای بوده و در خاک‌های سبک بافت بهتر رشد می‌نماید و خاک‌های سنگین بافت به‌دلیل فشردگی خاک محدودیت ایجاد می‌نماید، اختصاص وزن بیش‌تر به این ویژگی قابل انتظار است. مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن، اختلاف معنی‌دار در مقادیر ویژگی‌های اراضی کلاس‌های تناسب اراضی تفکیک‌شده با استفاده از روش الکتره‌ترای نشان داد که بیانگر دقت زیاد این روش در تعیین حدود کلاس‌های تناسب می‌باشد. با این‌حال، دقت روش الکتره‌ترای به تعیین حدود مناسب انتقالی، مقادیر آستانه‌ها و وزن ویژگی‌ها بستگی دارد. آزمون F بین پتانسیل تولید محاسبه‌شده با دو روش ریشه دوم و الکتره‌ترای و تولید واقعی نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌داری بین سه سری داده می‌باشد

www.SID.ir

Archive of SID

که بیانگر دقت بالای هر دو مدل در برآورد پتانسیل تولید دارد. با این‌حال روش الکتره‌ترای به‌دلیل ضرایب R^2 و NES بالاتر و RMSE کوچک‌تر دارای دقت و صحت بیش‌تری نسبت به روش ریشه دوم داشته و به‌عنوان روش کاراتر معرفی می‌گردد.

منابع

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

2.Almeida-Dias, J., Figueira, J.R., and Roy, B. 2010. ELECTRE TRI-C: A multiple criteria sorting method based on characteristic reference actions. Europ. J. Oper. Res. 204: 565-580.

3.Burrough, P.A. 1989. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. J. Soil Sci. 40: 447–92.

4.Ceballos-Silva, A., and Lopez-Blanco, J. 2003. Delineation of suitable areas for crops using a multi-Criteria evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in central Mexico. Agricultural Systems. 77: 117-136.

5.DeWit, C.T. 1965. Photosynthesis of leaf canopies. No 663, Pudoc Press. 57p.

6.Elaalem, M., Camber, A., and Fisher, P. 2011. A comparison of Fuzzy AHP and ideal point methods for evaluation land suitability. Trans. GIS J. 15: 3. 329-346.

7.FAO. 1979. Soil Survey Investigations for Irrigation. FAO Soils Bulletin No. 42, Rome. 188p.

8.FAO. 1983. Guidelines: Land Evaluation for Rainfed Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, International Standard Book Number, 13: 9789251014554. 237p.

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

10.Geological survey and Mineral Exploration of Iran. 2006. Geology Map of Iran, 1:100000 series, Shite N, Chalderan (Siah Cheshmeh).

11.Khiddir, S.M. 1986. A statistical approach in the use of parametric systems applied to the FAO framework for land evaluation. Doctoral dissertation, Ph.D. Thesis. State University Ghent. 63p.

12.Li, B., Zhang, F., Zhang, L., Huang, J., Jin, Z., and Gupta, D.K. 2012. Comperhensive suitability evaluation of Tea crops using GIS and modified land ecological suitability evaluation model. Pedosphere. 22: 1. 122-130.

13.Mendas, A., and 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.

14.Musso, G. 2003. Transport phenomena in electrokinetic soil remediation. Mathematical and Computer Modelling. 37: 589-594.

15.Newhall, F., and Berdanier, C.R. 1996. Calculation of soil moisture regimes from the climatic record. Natural Resources Conversations Service, Soil Survey Investigation Report, No. 46, 13p.

16.Nguyen, T.T., Verdoodt, A., Tran, V.Y., Delbecque, N., Tran, T.C., and 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.

17.Saaty, T.H., and Vargas, L.G. 2001. Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process. Kluwer Academic, 160p.

18.Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., and Broderson, W.D. 2012. Field Book for Describing and Sampling Soils. Natural Resources Conservation Service, USDA, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, 280p.

19.Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., and Sumne, M.E. 1996. Method of soil analysis. Part II, III. 2nd ed. Agron, Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. 480p.

www.SID.ir

Archive of SID

20.Sys, C., Van Ranset, E., and Debaveye, J. 1991a. Land Evaluation, Part I, Principle in Land Evaluation and Crop Production Calculation, International Training Center for Post Graduate Soil Scientists, Ghent University, Ghent., Belgium. 237p.
21. Sys, C., Van Ranset, E., and Debaveye, J. 1991b. Land Evaluation, Part II, Methods in Land Evaluation. International Training Center for Post Graduate Soil Scientists, Ghent University, Ghent, Belgium. 247p.
22.Sys, C., Van Ranset, E., Debaveye, J., and Beernaert, F. 1993. Land Evaluation, Part III, Crop Requirements. General Administration for Development Cooperation Place, Brussels, Belgium. 199p.
23.Tienwong, K., Dasananda, S., and Navanugraha, C. 2009. Integration of land evaluation and the analytical hierarchical process method for energy crops in Kanchanaburi, Thailand. Science Asia. 35: 170-177.
24.USDA. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th edition, United State Department of Agriculture, National Soil Survey Center. Natural Resources Conservation Service. 372p.
25.Van Ranst, E., Tang, H., Groenemans, R., and sinthurahat, S. 1996. Application of fuzzy logic to land suitability for rubber production in peninsular Thailand. Geoderma. 70: 1-19.

www.SID.ir

Archive of SID

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(1), 2018
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

Efficiency of the ELECTRE Tri method in assessing the suitability of the Chaldoran area for potato cultivation

***M. Servati**
Assistant Prof., Shahid Bakeri High Education Center of Miandoab, Urmia University
Received: 06/27/2017; Accepted: 05/06/2018

Abstract

Background and Objectives: Land suitability evaluation is inevitable for soil protection. Selection of an appropriate land suitabiliyty method seems to be necessary due to the limitation of the FAO method as a conventional method. In this regard, multi-criteria desision methods (MCDM) such as electrothermics can be helpful due the consideration of effective factors weights and experts oponions in land suitability evaluation.

Materials and Methods: In this research, Square Root Method and ELECTRE Tri multiple criteria method were used for suitability evaluation in an area about of 5000 ha of Chalderan region located between 47° 19′- 47° 23′ East longitude and 39° 01′-39° 08′ North latitude for potato cultivation. Sixty soil profiles were dug, described and sampled. After soil samples analysis, soil texture, gravels, calsium carbonate, gypsum, EC, ESP, slope, flooding, drainage and region climate in different profile were produced by weighted coefficients. Criteria weights via pair-wise comparison matrix method and ELECTRE Tri profiles and thresholds limits determined using requirements table, soil and land properties data. In two selected land suitability method, land production potential was also calculated by multiplying the soil indices and radiation thermal production potential and compared using different statistics.

Results: The classification of soils is based on Entisols, Inceptisols and Aridisols based on 12th Keys to soil taxonomy. The comparison of the mean values of allocated grades mean to suitability classes in the ELECTRE Tri method with the Duncan test showed a significant difference, indicating the accuracy of this method in differentiation of land suitability classes. The potential of potato production in the Chaldoran region was estimated to be from 9330 to 30200 and from 10140 to 32350, respectively, using Root means squre method and ELECTRE Tri method. Considering the statistical indices including R^2 (0.87) and RMSE (241.2) the ELECTRE Tri method has more accuracy than the parametric method with R^2 of 0.79 and RMSD of 197.6. The GMER index also indicated lowestimation of two selected land evaluation method. On the other hand, the precision of this combined method depends on determining the transition suitable limits, appropriate values of thresholds and criteria weights as well as usage of fuzzy logic principals on calculation processes.

Conclusion: Based on the obtained results, it seems that ELECTRE Tri method, by integration of expert opinion, is better suited to the problem of land suitability for agriculture. Also, there was a considerable time saving during the development of the land suitability evaluation for potato culture. The coherence of the obtained results with observed yield confirms the effectiveness of system.

Keywords: Actual yield, Multicriteria method, Potential yield, Root mean square method

* Corresponding Author; Email: m.sarvati@urmia.ac.ir

www.SID.ir