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

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه 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 اراضی ذرت با روش TOPSIS و مقایسه آن با ریشه دوم در باغ کوثر قزوین

زهراحاجی شاه کرم[۱]،فریدون سرمدیان[۲]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی خاک،دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲-استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران:*fsarmad@ut.ac.ir

چکیده

ارزیابی تناسب اراضی، ابزار کلیدی برای بهینه‌سازی تصمیم‌های کاربری زمین و کاهش هزینه‌های اجتماعی–اقتصادی و زیست‌محیطی است. در این پژوهش تناسب اراضی برای ذرت آبی در محدوده‌ی ۸۲۱۰ هکتاری باغ کوثر (استان قزوین) با دو رویکرد مقایسه شد: شاخص روش پارامتریک ریشه‌دوم(Khiddir) ، و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS (با وزن‌دهی AHP) با نمونه‌برداری شبکه‌ای، ۲۲ خاکرخ تشریح و از افق‌های ژنتیکی نمونه‌برداری شد. با تلفیق واحدهای خاک و شیب، ۱۷ واحد اراضی استخراج و شاخص‌های تناسب برحسب ویژگی‌های اقلیم، شیب، آهک، گچ، سنگریزه، شوری، قلیائیت و کربن آلی محاسبه گردید. اعتبارسنجی با عملکرد ذرت علوفه‌ای نشان داد ضرایب تبیین (R^2) به‌ترتیب برای ، TOPSISو ریشه‌دوم برابر با ، ۰,۷۶ و ۰,۷۸ است؛ بنابراین روش ریشه‌دوم اندکی همخوانی بالاتری با عملکرد دارد، درحالی‌که TOPSIS به‌کمک وزن‌دهی و ملاحظه‌ی اثرات متقابل معیارها نتایج رقابتی ارائه می‌دهد. تحلیل حساسیت نشان داد وزن‌دهی AHP و پارامترهای شوری/قلیائیت بیشترین اثر را بر رتبه‌بندی نهایی دارند. کاربرد ترکیبی روش پارامتریک ریشه‌دوم برای برآورد سریع و TOPSISبرای اولویت‌بندی (با وزن‌دهی خبره‌نگر) می‌تواند راهبردی عملی برای برنامه‌ریزی کشت ذرت در مناطق خشک ایران باشد. یافته‌ها با مطالعات اخیر GIS–MCDA در تناسب اراضی (۲۰۲۰–۲۰۲۵) هم‌راستاست

واژگان کلیدی: تناسب اراضی،TOPSIS ، ذرت آبی، روش پارامتریک، ریشه‌دوم(Khiddir) .

مقدمه

رشد جمعیت و محدودیت منابع آب/خاک، نیاز به نظام‌های ارزیابی تناسب اراضی دقیق و به‌روز را برجسته کرده است. چارچوب FAO (1976) و روش پارامتریک (Khiddirریشه‌دوم) همچنان مبنا هستند، اما پیشرفت‌های GIS و MCDA (AHP، TOPSIS، فازی) امکان ادغام معیارهای متعدد و تعاملات بین آن‌ها را فراهم ساخته است. شواهد تازه نشان می‌دهد رویکردهای GIS–MCDA و به‌ویژه AHP–TOPSIS برای محصولات زراعی، از جمله ذرت، پتانسیل بالایی در افزایش دقت و قابلیت تصمیم‌پذیری دارند.(نمونه: یکپارچه‌سازی AHP با/GIS فازی و نیز مقایسه TOPSIS با روش‌های پارامتریک). در ایران، بیشتر پژوهش‌ها بر یک محصول یا یک کلاس روش تمرکز داشته‌اند و مطالعات تطبیقی جامع میان روش‌های پارامتریک و TOPSIS برای ذرت، همراه با تحلیل حساسیت وزن‌ها و پارامترهای خاک در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک،

بسیار محدود است. هدف این پژوهش، مقایسه کارایی رویکرد ، پارامتریک ریشه‌دوم (Khiddir) و TOPSISمبتنی بر وزن‌دهی AHP در ارزیابی تناسب اراضی ذرت در محدوده‌ٔ باغ کوثر قزوین است؛ همچنین تأثیر تغییر وزن معیارها و ویژگی‌های کلیدی خاک (به‌ویژه شوری، قلیائیت و ماده آلی) بر طبقه‌بندی نهایی تناسب مورد تحلیل حساسیت قرار می‌گیرد. این تحقیق با داده‌های میدانی اراضی در منطقه و سایر اطلاعات اراضی، شکاف دانشی مذکور را پُر می‌کند و راهبردی ترکیبی برای ارزیابی و تصمیم‌گیری مکانی کشت ذرت در مناطق خشک ایران(منطقه مورد تحقیق) ارائه می‌دهد

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه :باغ کوثر، شرق استان قزوین ،۸۲۱۰ هکتار؛ و بین۳۶ درجه و۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۱ دقیقه شمالی و ۵۰ درجه و۱۳ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است.با اقلیم خشک. بارش و دمای میانگین سالانه به‌ترتیب در ایستگاه باغ کوثر ۲۷۸ mm و ۱۳٫۸۸ °C و در ایستگاه بویین‌زهرا ۲۲۳ mm و ۱۶٫۸۵ °C گزارش شده است. رژیم حرارتی ترمیک و رژیم رطوبتی بین زِریک خشک/آریدیک ضعیف متغیر است.

داده‌ها و برداشت میدانی: ۲۲ خاکرخ با شبکه‌گذاری در ArcGIS 10.4 مشخص و مختصات GPS ثبت شد. خاکرخ‌ها براساس Soil Survey Manual (2017)تشریح، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و براساس USDA Soil Taxonomy (2014)تا سطح فامیل شناسایی شدند. با تفسیر Landsat-8 و تلفیق با مدل ارتفاعی (۳۰ متر) نقشه‌ی شیب و مرز واحدهای خاک رسم و با نقشه‌ی خاک ترکیب شد؛ ۱۷ واحد اراضی حاصل و مبنای تناسب قرار گرفت.

معیارها :اقلیم، شیب، آهک، گچ، درصد سنگریزه، شوری (EC/ES, قلیائیت (SAR/ESP یاpH_sodic) ،کربن آلی (OC) برای محصول یک‌ساله، عمق مؤثر ۰–۱۰۰ cm و ضرایب وزنی عمقی ۰٫۲۵، ۰٫۷۵، ۱٫۲۵، ۱٫۷۵ برای لایه‌های ۰–۲۵، ۲۵–۵۰، ۵۰–۷۵، ۷۵–۱۰۰ cm لحاظ شد(Sys et al., 1991)

روش ریشه دوم :همچنین بر اساس روش ریشه دوم، شاخص اراضی با استفاده از معادله (۱) محاسبه می‌گردد(Khddir,1986):

$$I = Rmin \times \sqrt{A/100 \times B/100 \times} \quad (1)$$

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

در روش پارامتریک به هر یک از سطوح محدودیت ویژگی‌های اراضی درجه‌بندی در مقیاس ۰-۱۰۰ نسبت داده می‌شود.

روشTOPSIS :اساس روش TOPSIS بر این مفهوم استوار است که گزینه انتخابی باید کمترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد(Hwang and Yoon,1981).

در این روش، ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل شده، سپس مقادیر نرمال‌سازی شده و وزن‌دهی می‌شود.

ایجاد ماتریس تصمیم گیری:(معادله۲)

$$Aij=\begin{bmatrix} a11 & \cdots & a1n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ am1 & \cdots & amn \end{bmatrix} \quad (2)$$

نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری: (معادله۳)

$$Rij = \frac{aij}{\sqrt{\sum_{i=}^{m} i^{aij2}}} \quad (3)$$

تعیین وزن برای کل شاخص ها: در این قسمت از روش AHPبرای محاسبه (Wi)استفاده شده است .AHP یک سیستم وزندهی یک‌جانبه از طریق یک جفت ماتریس مقایسه بین پارامترها می‌باشد که این مقایسه وابسته به قضاوت متخصص دارد. در روشAHP ، شاخص سازگاری به عنوان نسبت سازگاری (CR) تعریف می‌شود که نشان‌دهنده تطابق نتایج ماتریس مقایسه با واقعیت است.

CRاحتمال این که انتخاب ماتریس تا چه اندازه تصادفی بوده است را توسط (معادله4) را نشان می دهد:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

$$CI=\frac{\lambda max-n}{n-1} \quad (5)$$

که در این معادله CI شاخص انسجام است و از (معادله5) محاسبه می‌شود:

کهλmax بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس وn تعداد ابعاد ماتریس است.

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

ایجاد ماتریس وزن: این روند را نشان می دهد:

$$V\ ij = Rij \times Wmn = \begin{bmatrix} V11 & \cdots & V1n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Vm1 & \cdots & Vmn \end{bmatrix}$$

(6)

در این قسمت ماتریس های بی مقیاس شده در وزن های محاسبه شده ضرب گشته وماتریس وزن دهی شده تشکیل داده شده.

تعیین ایده آل های مثبت (A+) و ایده آل های منفی(A-):

$$A+ = \{ (\max_i V_{ij} \mid j \in J_b), (\min_i V_{ij} \mid j \in J_c) \},\ i=1,2,\ldots,m \quad (7)$$

$$A- = \{ (\max_i V_{ij} \mid j \in J_b), (\min_i V_{ij} \mid j \in J_c) \}, i=1,2,\ldots,m \quad (8)$$

A+و **A-** از این روابط محاسبه می‌شوند تا بهترین و بدترین حالت‌ها برای ارزیابی تناسب اراضی مشخص شوند.

محاسبه فاصله نسبی ازایده آل ها (cci): با استفاده از (معادله9) تعیین می گردد:

$$CCi+ = \frac{di-}{di+ + di-} \quad (9)$$

$$0 \leq CC_i+ \leq 1 \qquad i=1,2,\ldots,m$$

این رابطه برای محاسبه فاصله نسبی هر گزینه از ایده‌آل‌های مثبت و منفی در روش TOPSIS استفاده می‌شود.

برای استفاده از روش TOPSIS باید وزن‌دهی‌ها را به دو روش آنتروپی شانون یا فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی(AHP) انجام داد که در این تحقیق از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید(Hsieh et al., 2018) .در بررسی منابع جدید، پیوندAHP / فازی TOPSIS–و GIS فراگیر است و در مطالعات کشاورزی (از جمله ذرت) کاربرد گسترده یافته است.

اعتبارسنجی : اعتبار سنجی نتایج نشان داد که شاخص تناسب اراضی با میزان عملکرد ذرت در واحدهای مختلف به ترتیب برای روش‌های TOPSIS, ریشه دوم ضریب تبیین ۰,۷۶ و ۰,۷۸ داشتند. این نشان می‌دهد که روش ریشه دوم بیشتر از روش دیگر با عملکرد واقعی محصول هماهنگ است. روش ریشه دوم با توجه به تطابق بیشتر با شرایط واقعی منطقه، نتایج بهتری ارائه می‌دهد. همچنین، روش TOPSIS که از وزن‌دهی معیارها به کمک AHP استفاده می‌کند، به دلیل در نظر گرفتن اثرات متقابل معیارها، از دقت بالاتری برخوردار است.

نرم‌افزارها و پارامترها: ArcGIS 10.4 برای پردازش مکانی، Excel/SPSSبرای آمار توصیفی/رگرسیون؛ AHP با نرم‌افزار Expert Choice. محاسبه و انتخاب وزن‌ها با تکیه بر خبرگی محلی و شواهد بررسی منابع۲۰۲۵-۲۰۲۰ در زمینه حساسیت بالای EC/ESP نسبت به سایر معیارها انجام شد.

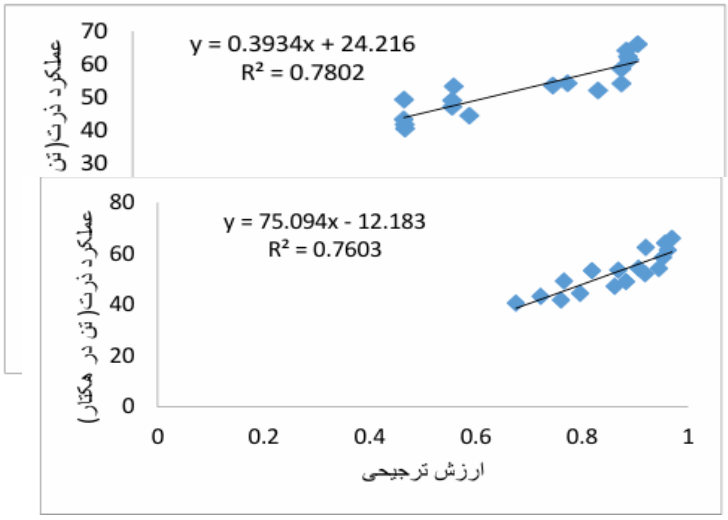
نتایج و بحث: در محدوده مطالعه، اینسپتی‌سول‌ها و أریدی‌سول‌ها غالب‌اند و واحدهای اراضی با محدودیت‌های متفاوت شوری–سدیمی و تغییرپذیری بافت،آهک و گچ شناسایی شدند. ارزیابی تناسب نشان داد دامنه شاخص در روش ریشه‌دوم بین ۱٫۵ تا ۹۳ و در TOPSIS مقدار CCi حدود ۰٫۲۲ تا ۰٫۹۷ بود. واحد ۲٫۲ در همه روش‌ها بالاترین تناسب برای ذرت را کسب کرد، درحالی‌که واحد ۸ با عبور از آستانه‌های شوری/سدیمی در کلاس N باقی ماند. در مقایسه رویکردها، سهم S1 در TOPSISاندکی کمتر بود؛ این تفاوت با ماهیت جبرانی TOPSIS قابل توضیح است، زیرا عملکرد مناسب برخی متغیرها می‌تواند تا حدی محدودیت‌های متوسط شوری را جبران کند. در مقابل، منطق غیرجبرانی روش ریشه‌دوم—که بر اساس عامل کمینه عمل می‌کند—در اقلیم نیمه‌خشک با یک محدودیت غالب (شوری/سدیمی) با مشاهدات میدانی سازگارتر ظاهر شد. این الگو با وزن‌های به‌دست‌آمده و نیز نتایج مطالعات AHP–TOPSIS/AHP–GIS در مناطق نیمه‌خشک ایران هم‌خوان است که بر نقش محوری شوری–سدیمی تأکید کرده‌اند)

جدول۱.وسعت کلاس های تناسب اراضی برای روش های ،ریشه دوم،TOPSIS برحسب درصد.

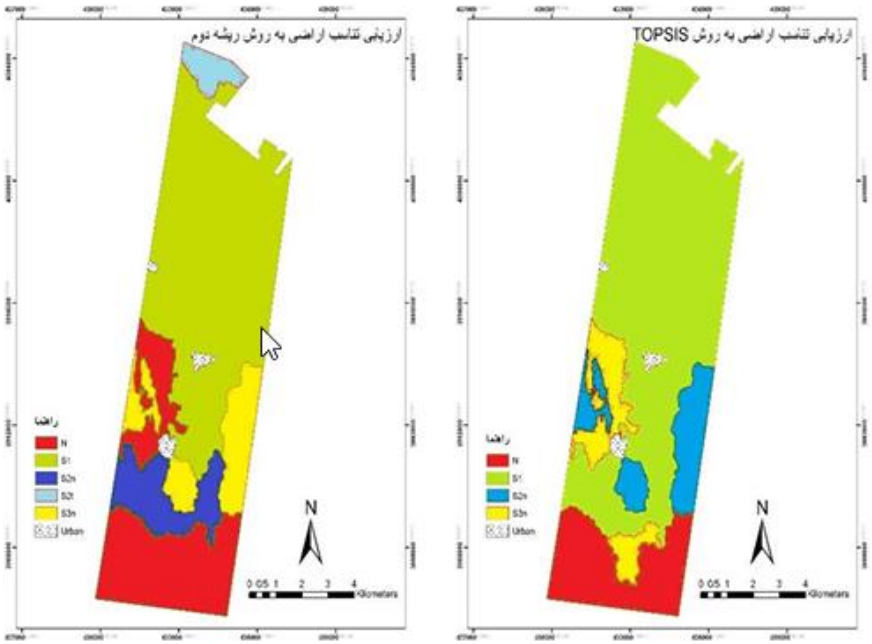
کلاس تناسب اراضی	S1	S2n	S2t	S3n	N	Urban
روش ریشه دوم	53	9	3	11	23	1
روشTOPSIS	65	11	-	8	15	1

(زیرکلاسn محدودیت شوری و قلیایت وزیرکلاسtمحدودیت توپوگرافی را نشان میدهد)

برای رتبه‌بندی مکانی و اولویت‌بندی اقدامات /اصلاحات خاک، به‌کارگیری TOPSISبا وزن‌دهی خبرگانی و گزارش شاخص سازگاری (CR<0.10) توصیه می‌شود.برای کمی‌سازی رابطه شاخص–عملکرد و/یا پایش زمانیِ یک محدودیت غالب (مانند شوری/سدیمی)، استفاده از شاخص ریشه‌دومِ تصحیح‌شده (همراه با نرمال‌سازی مناسب) مناسب‌تر است.



شکل۱.نمودار رگرسیون خطی بین عملکرد ذرت با شاخص اراضی برای روش ریشه دوم



شکل۲.نمودار رگرسیون خطی بین عملکرد ذرت با ارزش ترجیحی برای روش topsis

شکل۳.نقشه تناسب اراضی به روش های topsisو ریشه دوم

نتیجه‌گیری

با اتکا به نتایج آزمایش‌های خاک، رده‌بندی خاک‌های منطقه بر اساس کلید USDA 2014 تا سطح خانواده انجام شد. رده‌های غالب منطقه اینسپتی‌سول و آریدی‌سول هستند.برای ارزیابی تناسب اراضیِ ذرت دو رویکرد ریشه‌دوم و TOPSIS به‌کار رفت و نقشه‌های تناسب در محیط ArcGIS 10.4تهیه شد. در روش ریشه‌دوم، ۵۳٪ از پهنه در کلاس S1 قرار گرفت (حدود ۴۰۳۵۵هکتار) و در روش TOPSIS این سهم به ۶۴٪ رسید (حدود ۵۰۳۲۷ هکتار) . از نظر الگوی مکانی، در قسمت شمال منطقه با غلبه خاک‌های اینسپتی‌سول در هر دو روش برای کشت ذرت مناسب‌تر بودند. در قسمت جنوبی منطقه آریدی‌سول، تناسب متغیر بود و عوامل محدودکننده شامل شوری (EC، $dS\ m^{-1}$)، ESP، کربنات کلسیم($CaCO_3$ ٪وزنی) و گچ (٪ وزنی) شناسایی شدند. شوری نقش پررنگ‌تری داشت؛ به‌گونه‌ای که در پایین‌ترین بخش منطقه $EC \approx 23\ dS\ m^{-1}$ اندازه‌گیری شد که عملاً کشت ذرت را ناممکن می‌کند و صرفاً برخی گونه‌های مرتعی توان رویش دارند.

فهرست منابع

1. Abuzaid, A. S., Abbas, H. H., Mostafa, M. A., El Ghonamy, Y. K., Rebouh, N. Y., & Shokr, M. S. (2025). A comprehensive crop suitability assessment under modern irrigation system in arid croplands (AHP–Fuzzy–GIS; wheat, broad bean, maize). PLOS ONE, 20(6), e0326183
2. Negeri, B. G., Xiuguang, B., & Moisa, M. B. (2025). Assessment of potential land suitability for rainfed wheat production using GIS and multi-criteria decision analysis in Southwestern Ethiopia. PLOS ONE, 20(6), e0324540
3. Taye, W., Shiferaw, W., & Tsegaye, G. (2025, Aug 22). Analyzing land suitability for key cereal crops in Mansa Watershed, Southwest Ethiopia (AHP + GIS; wheat, maize, teff). PLOS ONE, e0328533.
4. Mema, O., Jojic, E., & Laze, P. (2024). GIS-Based Multi-Criteria Decision Making Approach as a Tool for Land Suitability Analysis — A Review. Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources, 68(3), 87–93. (STUME Journals).
5. Mandal, U. K., Singh, G., & Saha, R. (2020). Land suitability assessment for optimal cropping sequences using GIS–AHP. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 48, 1695–1709.
6. Seyedmohammadi, J., & Navidi, M. N. (2022). Applying a fuzzy inference system and analytic network process (ANP) based on GIS to determine wheat land-suitability potential; with parametric (Storie/square-root) comparison. Environmental Monitoring and Assessment, 194, 712.
7. Tashayo, B., Honarbakhsh, A., Akbari, M., & Eftekhari, M. (2020). Land suitability assessment for maize farming using a GIS–AHP method for a semi-arid region, Iran. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 19(4), 332–338.
8. Molénat, J., Barkaoui, K., Benyoussef, S., Mekki, I., Zitouna, R., & Jacob, F. (2023). Diversification from field to landscape to adapt Mediterranean rainfed agriculture to water scarcity in climate change context. Current Opinion in Environmental Sustainability, 65, 101336

9. Agricultural land suitability classification and crop suggestion using integrated MCDA and ML. (2023). *Environment, Development and Sustainability*.

Land Suitability Evaluation for Irrigated Maize Using the TOPSIS Method and Comparison with the Square-Root (Khiddir) Approach in Bāgh-e Kowsar, Qazvin

Zahra Hdaji Shahkaram, Fereydoun Sarmadian

M.Sc. Student, Department of Soil Science, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Iran

Professor, Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

Abstract

Land suitability assessment is a key tool for optimizing land-use decisions and reducing socio-economic and environmental costs. In this study, suitability for irrigated maize was evaluated within the 8,210-ha Bāgh-e Kowsar area (Qazvin Province, Iran) using two approaches: the parametric square-root index (Khiddir) and the multi-criteria decision-making method TOPSIS with AHP-based weighting. Under a grid-based sampling scheme, 22 soil profiles were described and samples were taken from genetic horizons. By overlaying soil units and slope classes, 17 land units were delineated, and suitability indices were calculated based on climate, slope, calcium carbonate, gypsum, gravel content, salinity, sodicity, and soil organic carbon. Validation against silage maize yield showed coefficients of determination (R^2) of 0.76 and 0.78 for TOPSIS and the square-root method, respectively; therefore, the square-root approach exhibited slightly stronger agreement with yield, whereas TOPSIS—through criterion weighting and consideration of interactions—provided competitive results. Sensitivity analysis indicated that AHP weighting and the salinity/sodicity parameters had the greatest influence on final rankings. A combined application—using the parametric square-root method for rapid estimation and TOPSIS for expert-informed prioritization—offers a practical strategy for planning maize cultivation in Iran's drylands. The findings are consistent with recent GIS–MCDA studies on land suitability (2020–2025).

Keywords: Land suitability; TOPSIS; irrigated maize; parametric method; square-root (Khiddir)