

# ارزیابی اولویت کشت خرما در منطقه جهرم با استفاده از روش بهترین-بدترین و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

مهناز اسکندری<sup>۱</sup>، علی زین الدینی میمند، میرناصر نویدی و بهزاد مینایی

استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. [mahnazskandari@yahoo.com](mailto:mahnazskandari@yahoo.com)

استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. [ali\\_zeinadin@yahoo.com](mailto:ali_zeinadin@yahoo.com)

استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. [nasernavidi@yahoo.com](mailto:nasernavidi@yahoo.com)

دکتری تحقیق در عملیات و مربی دانشکده مدیریت دانشگاه تهران. [behzadmineai@ut.ac.ir](mailto:behzadmineai@ut.ac.ir)

دریافت: دی ۱۴۰۰ و پذیرش: مرداد ۱۴۰۱

## چکیده

تعیین اولویت اراضی، نوعی تصمیم‌گیری با معیارهای متعدد است که گاه بایکدیگر همسو نیستند. از این رو، کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در حل این مسائل در سال‌های اخیر، بسیار پرکاربرد بوده است. هدف از این پژوهش، معرفی روش بهترین-بدترین (BWM) در اولویت‌بندی تناسب اراضی برای کشت محصولات کشاورزی بود. همچنین، نتایج این روش با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، به‌عنوان پرکاربردترین روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در مطالعات گذشته، مقایسه شد. برای دستیابی به این هدف، از ۱۲ باغ تحت کشت خرما در منطقه جهرم استان فارس با حفر خاک‌رخ، نمونه‌گیری شد. آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی لازم روی نمونه‌ها انجام و ویژگی‌های موثر خاک بر مقدار عملکرد، مشخص گردید. ماتریس داده‌های خاک و عملکرد از مناطق نمونه‌برداری، تهیه و روش‌های AHP و BWM برای تعیین وزن معیارها به کار رفت. با جمع حاصلضرب اعداد استاندارد شده هر ویژگی خاکی در وزن آن، شاخص تناسب اراضی برای هر باغ بدست آمد. مقادیر شاخص تناسب با عملکرد واقعی مقایسه شد تا کارایی مدل‌های بکار رفته در تعیین اولویت باغ‌ها مشخص شود. نتایج نشان داد که شاخص بدست آمده از هر دو روش، تقریباً یکسان است. لیکن معیارهای ارزیابی به کار رفته شامل حداقل تناقض، انحراف کل و انطباق، نشان‌دهنده سازگاری بیشتر قضاوت‌ها در روش BWM بود. در نهایت، کاربرد این روش به دلیل برخورداری از برخی ویژگی‌ها مانند نیاز به تعداد کمتری مقایسه زوجی در مقایسه با دیگر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ماتریسی همچون AHP، پایداری و سازگاری بیشتر وزن‌های تعیین شده در پایان مسأله تصمیم‌گیری، امکان کاربرد توأمان با سایر روش‌ها، استفاده از اعداد صحیح برای انجام مقایسه‌ها و سادگی کاربرد در حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند تصمیم‌گیری برای اولویت کاربری اراضی، به عنوان روشی کارا و قابل‌اعتماد، توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اولویت کاربری اراضی، تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره، نخل خرما، ویژگی‌های خاک

خرما در کشور را تهدید می‌کند. مدیریت مناسب با تغییر سیستم آبیاری به تحت فشار یا کم آبیاری می‌تواند به تأمین آب کافی نخل‌ها منجر شده و امکان تغذیه آن‌ها از طریق سیستم آبیاری را نیز فراهم سازد (بصیرت و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به بحران خشکسالی و کم‌آبی اخیر انتظار می‌رود که به‌منظور مدیریت جامع و همه‌جانبه و تخصیص آب به بهترین اراضی، اولویت کشت در اراضی را به کمک روش قابل اطمینانی مشخص نمود. بدین ترتیب هرچند که ممکن است امکان توسعه کشت خرما در مناطق فعلی موجود نباشد لیکن با شناسایی اراضی مستعد می‌توان اولویت را برای جایگزینی نخل‌های فرتوت و یا حذف نخلستان‌های ناکارآمد و غیراقتصادی، مشخص نمود.

در این‌گونه تصمیم‌گیری‌ها، به‌سختی می‌توان تأثیر تمامی عوامل مؤثر بر هدف را به‌یک‌باره در نظر گرفت و به انتخاب گزینه برنده پرداخت. با هدف دستیابی به تصمیم برنده، تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)<sup>۲</sup> در سال‌های اخیر به یکی از مهم‌ترین و سریع‌ترین زیرشاخه‌های علم مدیریت تبدیل شده است. نخستین روش تصمیم‌گیری چند معیاره در دهه ۱۹۶۰ به‌منظور انطباق ایده‌های مختلف و مدیریت تعداد زیادی از اطلاعات پیچیده در فرآیند تصمیم‌گیری، ارائه شد. باگذشت زمان برای حل مسائل تصمیم‌گیری با توزیع جغرافیایی، روش-های MCDM با سایر ابزارها مانند سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)<sup>۳</sup> ادغام شدند (سیدمحمدی و همکاران، ۲۰۱۸). تلفیق MCDM و GIS، تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی (SMCDM)<sup>۴</sup> را به‌وجود آورد که در دهه‌های گذشته توسط پژوهشگران متعدد در حوزه تعیین تناسب اراضی به‌کار رفته است (مانند فلامکی و اسکندری، ۱۳۹۲؛ اسکندری و همکاران، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳؛ فتاحی و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین در حوزه کشاورزی نیز برای اختصاص اراضی به بهترین نوع کشت یا تعیین الگوی مناسب کشت، از روش‌های SMCDM بسیار استفاده شده است (مانند باقرزاده و قلی‌زاده، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷؛ کاظمی و آکنیسی،

کشاورزی به‌عنوان یک منبع مولد درآمد، باعث ارتقاء وضعیت اقتصادی و اجتماعی جوامع می‌شود (سواری، ۱۳۹۸). همچنین، نقش مهمی در حفظ امنیت غذایی و سلامت غذا دارد. با این حال به‌دلیل عدم مدیریت صحیح اراضی در دهه‌های اخیر مانند افزایش ساخت و ساز مناطق مسکونی و صنعتی به‌ویژه در حاشیه شهرها، بهره‌وری بخش کشاورزی کاهش یافته است. یکی دیگر از چالش‌های مدیریتی که باعث کاهش بهره‌وری بخش کشاورزی شده است، انتخاب الگوی نامناسب کشت است (ماولانا و کانای، ۲۰۲۱). عوامل متعددی باید در تهیه الگوی کشت به‌کار برده شوند که یکی از مهم‌ترین موارد، توجه به منابع خاک است. خاک، در حدود ۹۵ درصد از مواد غذایی جهان را تأمین می‌کند (فتحی و همکاران، ۱۴۰۰)، بنابراین شناخت ویژگی‌های منابع خاک به‌منظور اختصاص آن‌ها به بهترین کاربری، پیش‌نیاز تصمیم‌گیری‌های آگاهانه برای مدیریت اراضی است. کشت و تولید خرما در استان‌های جنوبی کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، لیکن متأسفانه تولید آن به دلیل پاره‌ای از مشکلات دچار چالش شده است. مهم‌ترین چالش نخلیات کشور در حال حاضر کم‌آبی است که باعث خشک شدن نخل‌ها و در نتیجه آن، تجمع آفات چوبخوار شده است. به‌طورکلی، چالش‌های متعددی مانند استفاده از سیستم آبیاری سنتی و ناکارآمد و در پی آن عدم توانایی در کاربرد کودهای آلی و شیمیایی لازم، عدم به‌روزرسانی سیستم مدیریت نخلستان‌ها، فواصل و آرایش نامطلوب نخل‌ها، ناهمواری کف و عدم امکان مکانیزه کردن عملیات باغی، عدم حذف نخل‌های فرسوده، عدم هدایت و پوشش مناسب خوشه‌ها در کاهش آفتاب‌سوختگی، عدم استفاده از مالچ‌های مناسب برای کاهش تبخیر و تعرق و همچنین عدم آشنایی نخل‌داران با ارقام تجاری دنیا که از نظر اقلیمی، سازگار با مناطق مختلف آب و هوایی ایران هستند و در نهایت سیستم خرده مالکی که مانع اتخاذ تدابیر مدیریتی جامع و کلان می‌شود، تولید

<sup>4</sup>-Spatial Multi Criteria Decision Making

<sup>2</sup>-Multi Criteria Decision Making

<sup>3</sup>-Geographic Information System

دارند، معرفی نمایند (مونیتر و همکاران، ۲۰۱۹). آنچه در مورد کاربرد این روش‌ها مهم است و انگیزه معرفی روش‌های مختلف MCDM طی دهه‌های اخیر بوده است، نحوه به‌دست آوردن وزن معیارها یا بردارهاست (رضائی، ۲۰۱۵). یکی از روش‌های نوین در وزن‌دهی به معیارها در حوزه تصمیم‌گیری‌های چند معیاره، روش بهترین-بدترین (BWM)<sup>۱۱</sup> است که در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ توسط رضائی ارائه گردید. به دلیل نوظهور بودن این روش، تاکنون در پژوهش‌های اندکی برای تعیین تناسب و اولویت اراضی در یک کاربری مشخص، مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین پژوهش‌های چندی نشان داده‌اند که این روش در مقایسه با روش پرکاربرد AHP برای تعیین وزن معیارها از توانمندی و سهولت استفاده بیشتری برخوردار است، هرچند که ممکن است نتایج هر دو روش نسبتاً مشابه باشند (خیبری و همکاران، ۲۰۱۹؛ لیو و همکاران، ۲۰۲۱؛ اورست و همکاران، ۲۰۲۲). هدف از انجام این پژوهش، معرفی اصول روش بهترین-بدترین و سپس کاربرد آن در تعیین اولویت اراضی برای کشت محصولات کشاورزی بود. نوآوری این پژوهش شامل کاربرد روش BWM در تعیین اولویت اراضی برای کشت نخل خرما، مقایسه کارایی این روش با روش پرکاربرد و شناخته‌شده AHP و در نهایت معرفی سه آماره کم‌تر استفاده شده اما کاربردی، برای سنجش کارایی روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

همان‌طور که ذکر شد هدف از این پژوهش، کاربرد روش BWM در تعیین اولویت اراضی برای کشت و مقایسه آن با روش AHP بود. برای دستیابی به این هدف، منطقه جهرم از استان فارس به‌عنوان منطقه نمونه‌برداری

۲۰۱۸؛ سیدمحمدی و همکاران، ۲۰۱۸؛ پیلهور و همکاران، ۲۰۲۰). در این پژوهش‌ها به حل مسائلی پرداخته می‌شود که در آن‌ها باید گزینه‌های متعدد را برپایه معیارهای مختلف، مورد ارزیابی قرار داد.

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره متعددی در دهه‌های گذشته برای ارزیابی تناسب اراضی در کشت محصولات مختلف کشاورزی ارائه شده است. به‌عنوان مثال، روش AHP<sup>۵</sup> در پژوهش‌های ثروتی و همکاران (۱۳۹۶)؛ سیدمحمدی و همکاران (۲۰۱۹)؛ استواری و همکاران (۲۰۱۹) و پیلهور و همکاران (۲۰۲۰)، روش ANP<sup>۶</sup> توسط سیدمحمدی و همکاران (۲۰۱۹)، روش TOPSIS<sup>۷</sup> در پژوهش‌های باقرزاده و قلی‌زاده (۲۰۱۶) و اسکندری و همکاران (۱۴۰۱)، ELECTRE<sup>۸</sup> در پژوهش منداس و دلالی (۲۰۱۲)، روش VIKOR<sup>۹</sup> توسط سبحانی و فرامزی (۱۳۹۵) در تعیین تناسب اراضی برای کشت محصولات مختلف کشاورزی و روش PROMETHEE<sup>۱۰</sup> که توسط دهقان و همکاران (۲۰۲۱) برای تعیین پتانسیل اکولوژی کشاورزی اراضی در اشتهارد به‌کار برده شده است. رویکرد حل مسئله در برخی از این روش‌ها مانند AHP با وزن‌دهی به معیارها است و در برخی دیگر مانند TOPSIS، به کمک سنجش فاصله هندسی از گزینه ایده‌آل است. در هر حال از زمان توسعه و اجرای این روش‌ها برای حل مسائل چند معیاره، محققان دریافته‌اند که رویکردهای ریاضی مختلف برای حل این‌گونه سناریوها، نتایج متفاوتی تولید می‌کند. شاید بتوان دلیل این مسئله را چنین عنوان کرد که تصمیم‌گیری تا حد زیادی یک تلاش ذهنی است؛ بنابراین با شروع از همان ماتریس اولیه، با کاربرد ابزارهای ریاضی و جستجوی یک هدف، ممکن است نتایج متفاوتی به‌دست آید. تاکنون نیز پژوهشگران موفق نشده‌اند که بهترین روش را از میان سایرین برای حل مسائل تصمیم‌گیری که با معیارهای مختلف و معمولاً متضاد سروکار

<sup>۹</sup>- Vlse Kriterijumsk Optimizacija Kompromisno Resenje

<sup>۱۰</sup>- Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations

<sup>۱۱</sup>- Best-Worst Method

<sup>۵</sup>- Analytical Hierarchy Process

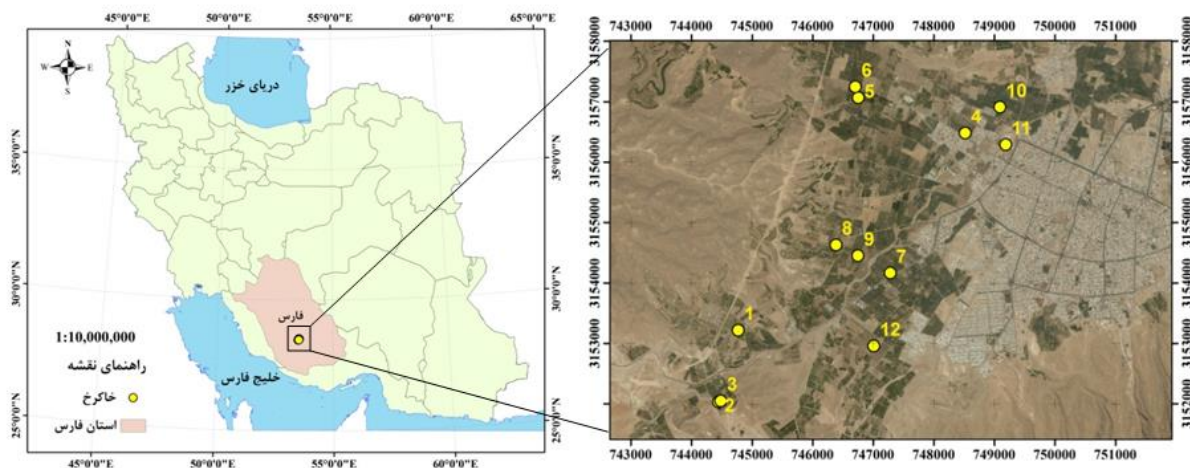
<sup>۶</sup>- Analytic Network Process

<sup>۷</sup>- Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

<sup>۸</sup>- ELimination and Choice Expressing REality

کاتیونی با استفاده از استات سدیم و درصد گچ با روش استن، صورت گرفت. جداسازی اجزای مختلف شن، سیلت و رس نیز به روش هیدرومتر انجام شد (USDA, 2014). در هر باغ، پرسش‌نامه کاربری اراضی برای سه سال از ۱۳۹۶ الی ۱۳۹۸، تکمیل گردید و مقدار متوسط عملکرد در این مدت برای هر نقطه مشاهداتی براساس متوسط مقدار خرما برداشت‌شده در هر هکتار توسط باغ‌دار، یادداشت شد. ویژگی‌های خاک در عمق کشت مناسب برای نخل خرما با کاربرد ضرایب وزنی عمق به روش سایس و همکاران (۱۹۹۱)، متوسط‌گیری شد. در نهایت برای انجام این پژوهش، ۱۲ مجموعه داده، متشکل از ویژگی‌های خاک و عملکرد خرما از نقاط مطالعاتی برای پیاده‌سازی مدل‌ها، تهیه گردید. موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری شده و منطقه مورد مطالعه در شکل ۱، ارائه شده است.

انتخاب و تناسب چند باغ برای کشت خرما در این منطقه، بررسی شد. در فاصله سال‌های ۱۳۹۶ الی ۱۳۹۸، ۱۲ باغ تحت کشت خرما در منطقه جهرم که رقم شاهانی در آن‌ها کشت شده بود ولی دارای عملکردهای متفاوتی بودند، در نظر گرفته شد. روش مدیریت، مانند کمیت و کیفیت آب آبیاری مورد استفاده و کودهای کاربردی در تمامی باغات، نسبتاً مشابه بود. همچنین به دلیل یکسان بودن اقلیم منطقه برای تمامی گزینه‌ها، دلیل تفاوت در عملکرد به ویژگی‌های خاک هر باغ مرتبط است. در هر باغ، یک خاک-رخ حفر، تشریح و طبقه‌بندی گردید (USDA, 2012) و سپس از هر افق خاک، نمونه‌برداری انجام شد. آزمایش‌های انجام‌شده روی نمونه‌های خاک شامل pH اشباع، EC در عصاره گل اشباع، آهک به روش تیتراسیون برگشتی، کربن آلی به روش والکلی-بلاک اصلاح‌شده، سدیم محلول در عصاره اشباع خاک با دستگاه فلیم فتومتر، ظرفیت تبادل



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ۱۲ خاکرخ نمونه‌برداری شده

در این ماتریس،  $\{a_1, a_2, \dots, a_m\}$  مجموعه‌ای از گزینه‌های ممکن و  $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$  مجموعه‌ای از معیارهای تصمیم‌گیری است.  $p_{ij}$  نیز نمره مرتبط با هر گزینه ندر رابطه با معیار  $i$  است. هدف از تشکیل ماتریس، انتخاب بهترین یا مناسب‌ترین گزینه یا به عبارت دیگر، گزینه با بیشترین امتیاز است. این امتیاز کلی که می‌تواند  $V_i$  نامیده شود، با روش‌های متفاوتی قابل محاسبه است. در ساختار کلی، در شرایطی که به هر معیار وزن  $W_j$  تخصیص یابد به شرط آنکه

مفاهیم روش BWM (رضائی، ۲۰۱۵)

یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره ناپیوسته، معمولاً به صورت ماتریس (۱) نمایش داده می‌شود:

$$A = \begin{matrix} & c_1 & \dots & c_n \\ a_1 & p_{11} & \dots & p_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_m & p_{m1} & \dots & p_{mn} \end{matrix}$$

(۱)

و سوابق پیشین در مسئله تصمیم‌گیری (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۲) یا کاربرد روش‌ها و تجزیه و تحلیل‌های آماری (سیدمحمدی و همکاران، ۲۰۱۸) انجام شود.

**گام دوم:** تعیین بهترین یا مناسب‌ترین معیار و بدترین معیار توسط تصمیم‌گیرنده/گیرندگان.

**گام سوم:** تعیین ارجحیت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها که با انتخاب عددی بین یک تا نه، انجام می‌گیرد. بردار نتیجه به صورت زیر خواهد بود:

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}) \quad (3)$$

$a_{Bj}$  نشان‌دهنده ارجحیت بهترین معیار ( $B$ ) نسبت به معیار  $j$  است. مشخص است که مقدار  $a_{BB}$  برابر با یک است.

**گام چهارم:** تعیین ارجحیت تمامی معیارها نسبت به بدترین معیار در یک مقیاس  $n$  امتیازی (از یک تا نه)، گام چهارم را تشکیل می‌دهد. بردار نتیجه به صورت زیر خواهد بود:

$$A_w = (a_{1w}, a_{2w}, \dots, a_{nw})^T \quad (4)$$

$a_{jw}$  نشان‌دهنده ارجحیت معیار  $j$  نسبت به بدترین معیار ( $w$ ) است. مشخص است که مقدار  $a_{ww}$  برابر با یک است.

**گام پنجم:** تعیین بهترین وزن‌ها برای هر یک از معیارها ( $W_1, W_2, \dots, W_n$ ) با کمینه کردن مقدار خطا.

همان‌طور که ذکر شد زمانی سازگاری کامل در مقایسات زوجی اتفاق می‌افتد که برای هر یک از معیارها  $\frac{W_j}{W_w} = a_{jw}$  و  $\frac{W_B}{W_j} = a_{Bj}$  باشد. متأسفانه رسیدن به این شرط، غیرممکن است و همواره مقداری خطا در قضاوت‌ها وجود دارد. بنابراین برای کمینه کردن بیشترین مقدار خطا در مقایسات زوجی در روش BWM، رابطه ۵ به عنوان تابع هدف معرفی شده است:

$$\min \max_j = \left\{ \left| \frac{W_B}{W_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{W_j}{W_w} - a_{jw} \right| \right\} \quad (5)$$

این رابطه در شرایطی صادق است که  $\sum_j W_j = 1$  و برای تمامی  $j$ ها  $W_j \geq 0$  باشد. این تابع از نوع مرکب است و یافتن

$(W_j \geq 0, \sum W_j = 1)$ ، آنگاه مقدار  $V_i$  می‌تواند با تابع جمع ساده ارزش‌های وزن‌دار بدست آید:

$$V_i = \sum_{j=1}^n W_j P_{ij} \quad (2)$$

روش مقایسه زوجی یک روش ساختاری برای ساخت ماتریس تصمیم است. این مقایسات برای نشان دادن ترجیحات نسبی  $m$  گزینه در موقعیت‌هایی استفاده می‌شود که تخمین مقدار امتیاز هر گزینه با توجه به معیارها، بی‌معنی یا غیرممکن باشد. به عنوان مثال در روش شناخته‌شده AHP، وزن‌ها از مقایسه زوجی معیارها و نمرات از مقایسه زوجی گزینه‌ها در برابر معیارها به دست می‌آید. سپس با کاربرد یک تابع مشابه با رابطه (۲)، ارزش کلی گزینه‌ها محاسبه می‌شود. چالش قابل ملاحظه در روش‌های مقایسه زوجی، فقدان یکنواختی یا سازگاری در ماتریس‌های مقایسه‌ای است که معمولاً در عمل اتفاق می‌افتد. ماتریس مقایسه زوجی  $A$  کاملاً سازگار است اگر برای هر  $i$  و  $j$ ، این عبارت برقرار باشد:  $a_{ij} \times a_{kj} = a_{ik}$

متأسفانه به دلایل متعدد از جمله عدم تمرکز افراد در هنگام نظرسنجی، این سازگاری می‌تواند اتفاق نیفتد. هرچند که می‌توان در چنین شرایطی با بازبینی نظرات به سازگاری دست یافت، با این حال در مطالعات گذشته نشان داده شده که این روش نیز چندان موفق نخواهد بود. شاید دلیل این ناسازگاری در قضاوت‌ها را بتوان به عدم وجود روشی ساختاری برای انجام مقایسات زوجی نسبت داد. از این رو، رضائی (۲۰۱۵ و ۲۰۱۶) روش BWM را با ساختاری نوین برای انجام مقایسات زوجی نسبت به سایر روش‌های MCDM معرفی نمود. در این روش، ناسازگاری که از ویژگی‌های هر مقایسه زوجی است، کمتر است. همچنین تعداد مقایسات زوجی مورد نیاز در روش معرفی شده، کمتر از سایر روش‌های MCDM است. این روش را می‌توان در پنج گام ساده، پیاده‌سازی کرد:

**گام اول:** تصمیم‌گیرنده/گیرندگان مجموعه‌ای از معیارهای تصمیم‌گیری را تعیین می‌کنند:  $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ . این مهم می‌تواند به روش‌های مختلف مانند مرور مطالعات گذشته

## روش AHP

در روش AHP نیز وزن معیارها در چند مرحله به کمک نظرسنجی از پنج متخصص بدست آمد. نخست، ماتریس مقایسه زوجی برای معیارها ترسیم شد. سپس از متخصصان خواسته شد تا معیارها را نسبت به یکدیگر در یک مقیاس ۵ امتیازی، قضاوت کنند. به کمک امتیازهای اختصاص داده شده، وزن معیارها محاسبه شد. متخصصان سعی می‌کنند که اهمیت معیارها را با توجه به ویژگی‌های منطقه و تأثیر آن‌ها بر رشد و باردهی نخل خرما، تعیین کنند. جمع وزن‌های اختصاص داده شده به معیارها در این روش نیز مانند روش BWM، برابر با یک است (ساعتی، ۲۰۰۸).

## ساخت ماتریس A و تعیین تناسب

نخست ماتریس A (رابطه ۱) که نشان‌دهنده مقدار هر یک از ویژگی‌های خاک برای هر گزینه بود، تشکیل شد. استانداردسازی ماتریس A با استفاده از جدول نیازهای رویشی خاکی برای کاشت نخل خرما (زین‌الدینی و همکاران، ۱۳۹۹) انجام شد. به کمک این جدول، عددی بین صفر تا ۱۰۰ به هر یک از مقادیر متغیرها اختصاص داده شد. برای استانداردسازی مقادیر کربن آلی در خاک‌ها از جدول نیازهای رویشی خاک و زمین‌نما برای نخل روغنی استفاده شد (سایس و همکاران، ۱۹۹۳). پس از استانداردسازی، وزن هر یک از معیارها که به هر دو روش بدست آمده بود در مقدار نرمال‌شده آن ضرب و سپس با یکدیگر جمع شد (رابطه ۲). بدین ترتیب با کاربرد جمع ساده ارزش‌های وزن‌دار، مقدار امتیاز یا شاخص کلی تناسب اراضی که نشان‌دهنده اولویت هر یک از اراضی برای کشت خرما است، محاسبه شد. لازم به ذکر است که نرمال‌سازی از پیش‌نیازهای روش BWM به‌شمار نمی‌رود، لیکن برای کاربرد سایر روش‌ها مانند جمع ساده ارزش‌های وزن‌دار، مورد نیاز است.

پاسخ آن، اندکی پیچیده است. به‌منظور ساده‌سازی، پیشینه خطا در این مدل برابر با مقداری مانند  $\varepsilon$  در نظر گرفته می‌شود و سپس با همان شروط گفته‌شده برای رابطه ۵، خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \min \varepsilon \\ \left| \frac{W_B}{W_j} - a_{Bj} \right| \leq \varepsilon, \text{ for all } j \\ \left| \frac{W_j}{W_w} - a_{jw} \right| \leq \varepsilon, \text{ for all } j \end{aligned} \quad (6)$$

این مدل را می‌توان با ضرب نامعادلات در یک عبارت مثبت مانند وزن معیار یا وزن بدترین معیار که در کسر معادلات آمده، به یک مدل خطی تبدیل نمود (شروط گفته‌شده برای رابطه ۵، در اینجا نیز صادق است):

$$\begin{aligned} |W_B - a_{Bj}W_j| \leq \varepsilon W_j, \text{ for all } j \\ |W_j - a_{jw}W_w| \leq \varepsilon W_w, \text{ for all } j \end{aligned} \quad (7)$$

با حل رابطه ۷ به روش بهینه‌سازی، مقادیر بهینه وزن‌ها و مقدار خطا به دست می‌آید.

پنج گام توضیح داده‌شده در پیاده‌سازی روش BWM، برای تعیین وزن معیارهای مؤثر در تعیین اولویت ۱۲ گزینه انتخابی، اجرا شد. نخست، معیارهای تأثیرگذار که شامل ویژگی‌های مؤثر خاک بر مقدار عملکرد نخل خرما بود، از مطالعات پیشین انتخاب شد. عوامل مؤثر بر عملکرد خرما برپایه پژوهش دیالمی و همکاران (۱۳۹۶)، شامل بافت خاک، مقدار آهک، مقدار گچ، واکنش خاک، مقدار کربن آلی، شوری و درصد سدیم قابل تبادل (ESP) است که در این پژوهش نیز در نظر گرفته شدند. سپس بهترین معیار و بدترین معیار با تهیه پرسشنامه از پنج متخصص (خبیره)، تعیین شد. منظور از بهترین معیار در اینجا، ویژگی از خاک است که بیشتری تأثیر را بر عملکرد نخل خرما دارد و بدترین معیار نیز ویژگی است که کمترین تأثیر را بر مقدار عملکرد خرما دارد. همچنین از متخصصان خواسته شد که بهترین معیار را با سایر معیارها را با بدترین، در یک مقیاس ۵ شماره‌ای، مقایسه کنند. پس از مشخص شدن ارجحیت معیارها، مدل خطی (۷)، به روش بهینه‌سازی در نرم‌افزار اکسل حل شد تا وزن معیارها بدست آید.

### اعتبارسنجی روش‌ها

پس از کاربرد دو روش BWM و AHP در تعیین وزن ویژگی‌های خاک مؤثر در تعیین اولویت اراضی برای کشت خرما، نتایج مدل‌ها با کاربرد شاخص‌های ارزیابی همچون نرخ پایداری (CR)<sup>۱۲</sup>، حداقل تناقض (MV)<sup>۱۳</sup>، انحراف کل (TD)<sup>۱۴</sup>، و انطباق (C)<sup>۱۵</sup>، ارزیابی شد. شاخص CR برای سنجش اعتبار قضاوت‌ها در روش-های MCDM به کار می‌رود. ساعتی (۲۰۰۸)، مقدار این شاخص را برای روش AHP زمانی قابل قبول می‌داند که کمتر از ۰/۱ باشد. در غیر اینصورت توصیه می‌شود که قضاوت‌های انجام شده بازمینی و اصلاح شوند. این روند تا زمانی که نرخ پایداری به مقدار قابل قبول برسد، می‌تواند ادامه یابد. نتایج روش BWM نیز که همواره سازگار است (نه الزاماً به طور کامل) و محدودیتی برای نرخ سازگاری آن وجود ندارد. نرخ سازگاری در این روش تنها برای نشان دادن مقدار کم یا زیاد بودن سازگاری می‌تواند به کار رود. هرچه سازگاری بیشتر باشد، نتایج نیز قابل اعتمادتر است (رضائی، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶).

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های روش‌های MCDM، حفظ ترجیحات ترتیبی است. به این مفهوم که اگر تصمیم‌گیرنده معیار  $j$  را بر معیار  $i$  در مقایسات زوجی ترجیح می‌دهد، آنگاه وزن معیار  $j$  نیز در نهایت از معیار  $i$  بیشتر باشد. در غیر اینصورت، تناقض اتفاق افتاده است. به کمک معیار MV، می‌توان جمع تمامی این تناقضات را بدست آورد:

$$MV = \sum_i \sum_j V_{ij} \quad (8)$$

در جایی که:

$$V_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } W_i > W_j \text{ and } a_{ij} < 1 \\ 0.5 & \text{if } W_i = W_j \text{ and } a_{ij} \neq 1 \\ 0.5 & \text{if } W_i \neq W_j \text{ and } a_{ij} = 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

مشخص است که هرچه مقدار MV کمتر باشد، مدل بهتر جواب داده و در قضاوت‌ها، سازگاری بیشتری وجود داشته است.

معیار TD، مقدار فاصله اقلیدسی واقعی بین نسبت وزن‌ها ( $W_i/W_j$ ) و درایه مقایسه زوجی آن‌ها ( $a_{ij}$ ) را برای بردار وزن، محاسبه می‌کند:

$$TD = \sum_i \sum_j (a_{ij} - W_i/W_j)^2 \quad (10)$$

کاملاً مشخص است که هر چه مقدار TD کوچک‌تر باشد، نسبت وزن‌ها در روش بکار رفته شده به مقدار درایه مقایسه زوجی آن‌ها نزدیک‌تر است. معیار آخر که انطباق نام دارد، با محاسبه فاصله اقلیدسی میان امتیازهای نهایی معیارها یا اوزان اختصاص داده شده به معیارها در اینجا و وزن اختصاص داده شده به آن‌ها توسط نظر شخصی متخصصان، بدست می‌آید.

$$C_{km} = \sum_r (\text{Final score}_{m,r} - \text{Final score}_{\text{intuitive},r})^2 \quad (11)$$

مقدار  $C_{km}$  فاصله اقلیدسی بین امتیاز نهایی تصمیم‌گیرنده  $k$  با روش  $m$  است و  $\text{Final score}_{m,r}$  نشان‌دهنده امتیاز نهایی گزینه  $r$  با روش  $m$  و  $\text{Final score}_{\text{intuitive},r}$  امتیاز نهایی گزینه  $r$  با قضاوت فرد تصمیم‌گیرنده است (رضائی، ۲۰۱۵). هر آماره‌ها، برای تمامی مقایسات زوجی ارائه شده توسط هر یک از متخصصان، محاسبه شد. به عنوان نمونه در مورد محاسبه MV، تمامی  $V_{ij}$ ها برای نظرات هر خبره، محاسبه و با یکدیگر جمع شدند تا MV مربوط به پاسخ‌نامه خبره اول بدست آید. پس از محاسبه تمامی MVها، مقدار MV بر تعداد مقایسات زوجی انجام شده در هر روش تقسیم شد تا مقایسه روش‌ها منصفانه باشد. روش BWM تعداد مقایسات زوجی کمتری نسبت به روش AHP دارد، بنابراین منصفانه نیست که MV محاسبه شده برپایه رابطه ۸ برای هر متخصص در هر دو روش مستقیماً بایکدیگر مقایسه شود. این مسئله برای محاسبه TD نیز صادق است. بنابراین در هر روش، براساس تعداد مقایسات زوجی انجام شده برای هر خبره، مقدار MV یا TD محاسبه و سپس با یکدیگر جمع شد. برای محاسبه انطباق نیز موقعیت

<sup>14</sup>-Total deviation

<sup>15</sup>-Conformity

<sup>12</sup>-Consistency ratio

<sup>13</sup>-Minimum violation

ترتیبی هر یک از معیارها با موقعیت ترتیبی نهایی به دست آمده هر یک در هر دو روش، مقایسه شد.

### نتایج و بحث

مقدار متوسط هر یک از ویژگی‌های خاک، در خاک‌رخ‌های شاهد هر نخلستان، در جدول ۱ ارائه شده

است. سپس مقدار استاندارد شده برای هر یک از ویژگی‌های خاک برپایه جدول نیازهای ریشی خاکی برای نخل خرما که در جدول ۲ نشان داده شده، بدست آمد. نتیجه بصورت ماتریس نرمال شده، در جدول ۳ ارائه شده است. درایه‌های این ماتریس نشان‌دهنده مقدار استاندارد شده برای هر یک از معیارها تصمیم‌گیری در هر یک از گزینه‌ها است.

جدول ۱ - متوسط مقدار ویژگی‌های خاک در خاک‌رخ‌های حفر شده

ردیف	آهک (%)	گچ (%)	کربن آلی (%)	واکنش خاک	EC (dS.m <sup>-1</sup> )	ESP	بافت و ساختمان	عملکرد (kg.ha <sup>-1</sup> )
۱	۴۰	۰/۸۰	۰/۵۵	۷/۷	۱/۲	۴/۵	SL	۱۴۵۰۰
۲	۲۸	۲	۰/۲۹	۷/۶	۲/۵	۵	SCL	۱۱۰۰۰
۳	۳۸	۱/۳۸	۰/۹۳	۷/۷	۱/۳	۵	CL	۱۵۰۰۰
۴	۵۲	۶/۹۰	۱/۷۰	۷/۹	۱۲/۴	۲۵/۶	SL	۶۵۰۰
۵	۳۹	۱/۲۰	۰/۴۶	۷/۷	۱/۲	۱۰	SCL	۱۵۵۰۰
۶	۵۵	۸/۶۰	۰/۷۳	۷/۴	۳	۱۰	LS	۸۵۰۰
۷	۴۰	۱/۸۰	۰/۵۳	۷/۶	۴/۴	۱۰	SL	۱۲۵۰۰
۸	۵۵	۱/۰۳	۰/۸۷	۸	۱۲	۲۲	SL	۷۰۰۰
۹	۵۰	۷/۸۰	۱/۶	۷/۸	۱۵/۴	۲۸	LS	۶۵۰۰
۱۰	۴۸	۰/۸۶	۱/۵	۷/۹	۱۰/۰۴	۲۰	SL	۷۴۵۰
۱۱	۴۵	۱۰/۷۰	۰/۶۴	۷/۹	۱۵/۴۰	۳۰	LS	۴۵۳۰
۱۲	۴۸	۰/۹۵	۱/۷۰	۸	۱۳/۴۰	۳۰	LS	۶۰۰۰

پاسخ‌نامه‌های ارائه شده توسط پنج خبره نشان داد که از نظر دو نفر، مقدار شوری و واکنش خاک به ترتیب بهترین و بدترین معیار ارزیابی در نظر گرفته شده است؛ به عبارت دیگر به ترتیب باید بیشترین و کمترین وزن در تعیین تناسب را به خود اختصاص دهند. به نظر این متخصصان، به دلیل تغییرات اندک مقدار واکنش خاک در منطقه، این معیار از کمترین اهمیت برخوردار است. از نظر سه متخصص دیگر، مقدار شوری و درصد کربن آلی خاک به ترتیب به‌عنوان بهترین و بدترین معیار ارزیابی معرفی شدند. این متخصصان نیز بر این باور بودند که در نظر داشتن مقدار کربن آلی در سطح خاک نمی‌تواند تأثیر چندانی بر رشد نخل خرما و باردهی آن داشته باشد. مشخص است که به‌رغم اختلاف در مورد کم‌اهمیت‌ترین معیار، تمامی

متخصصان مقدار شوری را به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی خاک که بر عملکرد خرما مؤثر است معرفی کرده‌اند. نمونه‌ای از بردارهای مقایسه بهترین معیار با سایر معیارها (BO) و سایرین با بدترین معیار (OW) که توسط خبره شماره یک امتیازدهی شده، در شکل ۲ نمایش داده شده است. میانگین وزن‌های استخراج شده برای تمامی معیارها از پاسخ‌نامه‌های متخصصین به هر دو روش BWM و AHP، در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است در هر دو روش، نخست شوری و سپس سدیمی بودن (قلیائیت)، بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. لیکن در روش BWM، دو معیار واکنش خاک و کربن آلی و در روش AHP، مقدار گچ از کمترین وزن برخوردار است.



جدول ۲- نیازهای خاکی و زمین نما برای کاشت نخل خرما (زین الدینی و همکاران، ۱۳۹۹)

مقیاس درجه بندی	۱۰۰	۹۵	۸۵	۶۰	۴۰	۲۵	۰
بافت / ساختمان*	L, SL	CL, LS, SiL	SC, Si, SCL	SiCL, SiC, SiCm, S	Cm, C+60v, C+60s, C-60v, C-60s		
آهک (%)	۲۵-۰	۳۸-۲۵	۵۰-۳۸	۶۰-۵۰	۷۰-۶۰		>۷۰
گچ (%)	۳-۰	۸-۳	۱۶-۸	۲۴-۱۶	۲۵-۲۴		>۳۵
واکنش خاک	۷/۵-۶/۵	۶/۲-۶/۵	۵/۸-۶/۲	۵/۵-۵/۸	۸/۷-۸/۲	۸/۹-۸/۷	>۸/۹
کربن آلی (%)**	۱/۲<	۰/۸-۱/۲	۰/۸>				
هدایت الکتریکی (dS.m-1)	۳-۰	۸-۳	۱۵-۸	۲۵-۱۵	۲۵-۲۵		>۳۵
درصد سدیم تبادلی (%)	۵-۰	۱۲-۵	۲۴-۱۲	۴۴-۲۴	۵۵-۴۴		>۵۵

\*Cm: massive clay فشرده ساختمان

SiCm: massive silty clay فشرده سیلتی با ساختمان

C+60v: very fine clay, vertisol structure خیلی ریز، ساختمان ورتی سولها

C+60s: very fine clay, blocky structure خیلی ریز، ساختمان مکعبی

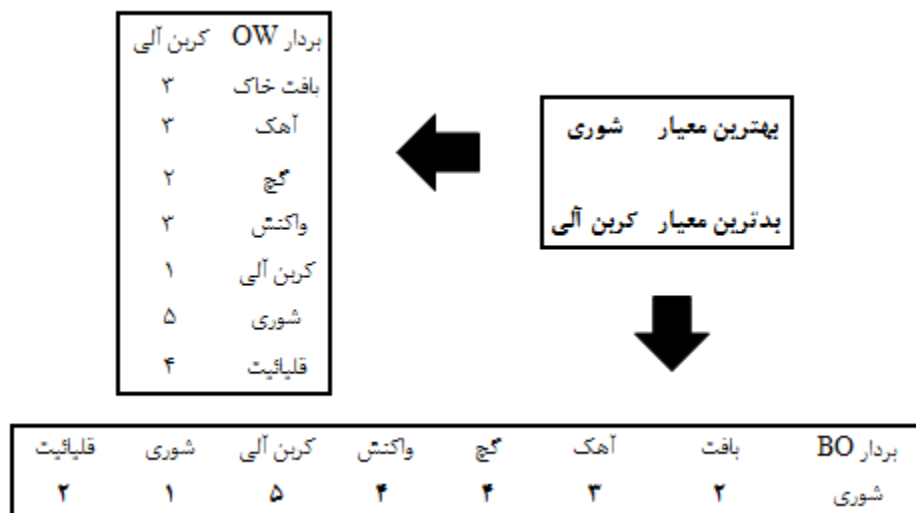
C-60v: clay, vertisol structure رس، ساختمان ورتی سولها

C-60s: clay, blocky structure رس، ساختمان مکعبی

\*\*سایس و همکاران (۱۹۹۳): درجه بندی کربن آلی (%) برای نخل روغنی

جدول ۳- ماتریس نرمال شده

ردیف	آهک	گچ	کربن آلی	واکنش خاک	هدایت الکتریکی	درصد سدیم تبادلی	بافت و ساختمان
۱	۸۰/۸۳	۹۸/۶۸	۷۲/۵	۸۸/۳۳	۹۸	۹۵/۵	۹۷/۵
۲	۹۲/۶۹	۹۶/۶۷	۷۲/۵	۹۱/۶۷	۹۵/۸۳	۹۵	۹۷/۵
۳	۸۵	۹۷/۷۱	۸۸/۲۵	۸۸/۳۳	۹۷/۸۳	۹۵	۹۳/۶۶
۴	۵۶	۸۷/۲	۹۷/۵	۷۸/۷۵	۶۹/۲۹	۵۸/۴	۸۴/۶۱
۵	۸۲/۹۲	۹۷/۹۹	۷۲/۵	۸۸/۳۳	۹۸	۸۷/۸۶	۸۹/۱۳
۶	۵۰	۸۳/۱۳	۷۲/۵	۹۵/۵	۹۵	۸۷/۸۶	۶۱/۳۸
۷	۸۰/۸۳	۹۷	۷۲/۵	۹۱/۶۷	۹۲/۲	۸۷/۸۶	۹۳/۶۶
۸	۵۰	۹۸/۲۸	۸۶/۷۵	۷۲/۵	۷۰/۷۱	۶۴/۱۷	۸۴/۶۱
۹	۶۰	۸۵/۴	۹۷/۵	۸۵	۵۹/۲	۵۶	۸۰/۰۸
۱۰	۶۴/۱۷	۹۸/۵۷	۹۷/۵	۷۸/۷۵	۷۷/۷۱	۶۸/۳۳	۸۴/۶۱
۱۱	۷۰/۴۲	۷۶/۵۶	۷۲/۵	۷۸/۷۵	۵۹/۲	۵۴	۶۹/۷۴
۱۲	۶۴/۱۷	۹۸/۴۲	۹۷/۵	۷۲/۵	۶۵/۷۱	۵۴	۹۷/۵



شکل ۲ - تعیین بهترین و بدترین معیار و مقایسه آن‌ها با سایرین در مقیاس نه امتیازی توسط خبره اول

جدول ۳ - وزن اختصاص یافته به ویژگی‌های خاک در هر دو روش

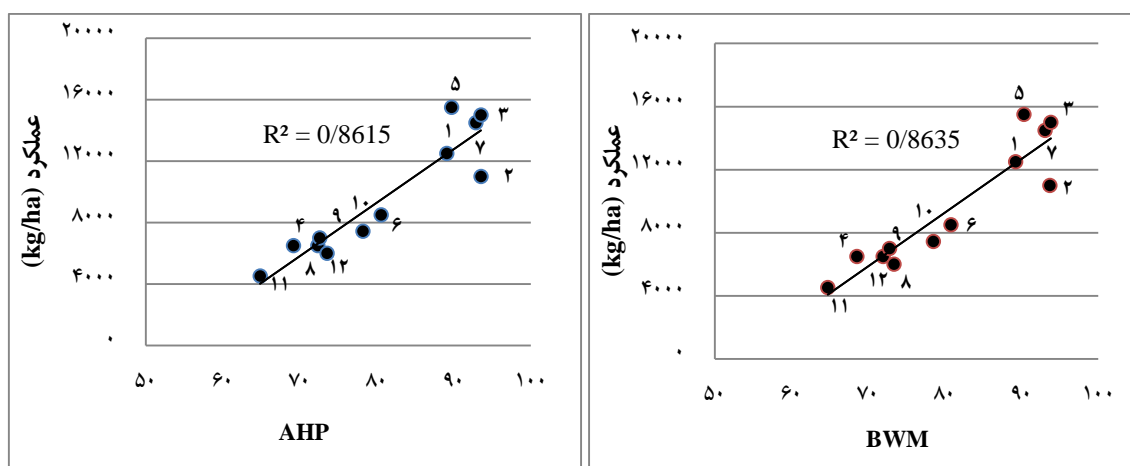
وزن معیارها	شوری	بافت	قلیائیت	آهک	واکنش خاک	کربن آلی	گچ
BWM	۰/۲۹	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۹
AHP	۰/۲۶	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۵

هر دو روش از بیشترین وزن برخوردار بودند. با این حال خبرگان نظردهنده در این پژوهش اذعان داشتند که تعیین اولویت معیارهای نسبت به یکدیگر در روش BWM بسیار ساده‌تر است. چرا که کافی است تا معیارها را از بهترین به بدترین مرتب کرده و آن‌ها را نسبت به بهترین و بدترین معیار بسنجند. حال آنکه مقایسه زوجی معیارهای مختلف با یکدیگر در روش AHP خسته‌کننده و گاهاً برای برخی افراد بویژه نظردهندگان خارج از حوضه آکادمیک، همراه با سردرگمی است. ژاوو و همکاران (۲۰۲۰) نیز در همین راستا عنوان کردند که روش BWM می‌تواند فرآیند محاسبات وزن که با مقایسات زوجی در روش AHP همراه است را ساده‌تر سازد و همچنین ریسک عدم پایداری در قضاوت‌ها را بکاهد. به‌طور مشابه ایسر (۲۰۲۱) نیز در پژوهش خود نشان داد که سرعت عمل و راحتی محاسبات از مهم‌ترین مزایای روش BWM است. این مزیت می‌تواند فرصت بزرگی را در اختیار تصمیم‌گیرندگان در حوزه تعیین تناسب برای اراضی قرار دهد که از متخصصان باتجربه اما فاقد تحصیلات آکادمیک نیز بهره‌برند.

به کمک وزن معیارها، امتیاز کلی (شاخص تناسب) هر یک از گزینه‌ها برای کشت خرما در هر دو روش بدست آمد که در جدول ۴ ارائه شده است. ارتباط شاخص تناسب بدست آمده (جدول ۴) و مقدار عملکرد نخل خرما در هر گزینه، در شکل ۳ نشان داده شده است. شماره هر یک از باغ‌ها که نمونه‌گیری از آن‌ها انجام شده نیز در این شکل مشخص شده است. برپایه شکل مذکور، هر دو روش نسبتاً مشابه عمل کرده‌اند و مقدار ضریب تبیین در هر دو روش، در حدود ۰/۸۶ بدست آمد؛ بنابراین، مقادیر شاخص تناسب محاسبه شده برای گزینه‌ها در هر دو روش، بسیار مشابه است. اورست و همکاران (۲۰۲۱) نیز در پژوهش خود نشان دادند که نتایج نهایی حاصل از دو روش، تفاوت چندانی بایکدیگر ندارند. دلیل این امر در اینجا می‌تواند مربوط به شباهت اولویت معیارهایی باشد که در هر دو روش از وزن بیشتری برخوردار هستند. در حقیقت، معیارهای شوری و سدیمی بودن و پس از آن‌ها، بافت خاک است که اولویت یا تناسب گزینه‌ها را به دلیل برخوردار بودن از وزن بالاتر، مشخص می‌کند. این معیارها در

جدول ۴ - شاخص تناسب هر یک از گزینه‌ها برای کشت نخل خرما به دو روش BWM و AHP

AHP	BWM	ردیف	AHP	BWM	ردیف
۸۹/۰۷	۸۹/۲۳	۷	۹۲/۸۳	۹۳/۰۹	۱
۷۲/۵۸	۷۲/۸۱	۸	۹۳/۵۱	۹۳/۷۰	۲
۶۹/۱۷	۶۸/۵۶	۹	۹۳/۵۱	۹۳/۸۲	۳
۷۸/۱۹	۷۸/۵۳	۱۰	۷۲/۳۳	۷۱/۹۸	۴
۶۴/۸۴	۶۴/۷۳	۱۱	۸۹/۶۸	۹۰/۳۲	۵
۷۳/۵۰	۷۳/۳۸	۱۲	۸۰/۵۳	۸۰/۸۳	۶



شکل ۳ - مقایسه شاخص تناسب هر یک از گزینه‌ها به روش‌های AHP و BWM با مقدار عملکرد خرما

دیگر هر چه تعداد مقایسات، بیشتر و به تناسب آن وقت گیر تر شود، مقدار تناقض و انحراف در آن‌ها بیشتر خواهد بود.

جدول ۵ - مقادیر آماره‌های بکار رفته در اعتبارسنجی مدل‌ها

روش وزن‌دهی	$MV_{total}$	$TD_{total}$	$C_{total}$
BWM	۰/۰۷	۲/۳۴	۷
AHP	۰/۲۸	۲/۹۶	۱۴

مقادیر هر یک از آماره‌ها به‌طور جداگانه، در رابطه با پاسخ هر خبره نیز در نمودارهای شکل ۴ ارائه شده است. نمودار اول که مقادیر  $MV$  را برای هر خبره نمایش می‌دهد مشخص می‌کند که در روش BWM، ممکن است تناقض در مقایسات زوجی مشاهده نشود، همان‌طور که در مورد نظرات خبره اول و پنجم دیده می‌شود. مقادیر  $MV$  محاسبه‌شده برای نظرات متخصصان در تمامی موارد، در

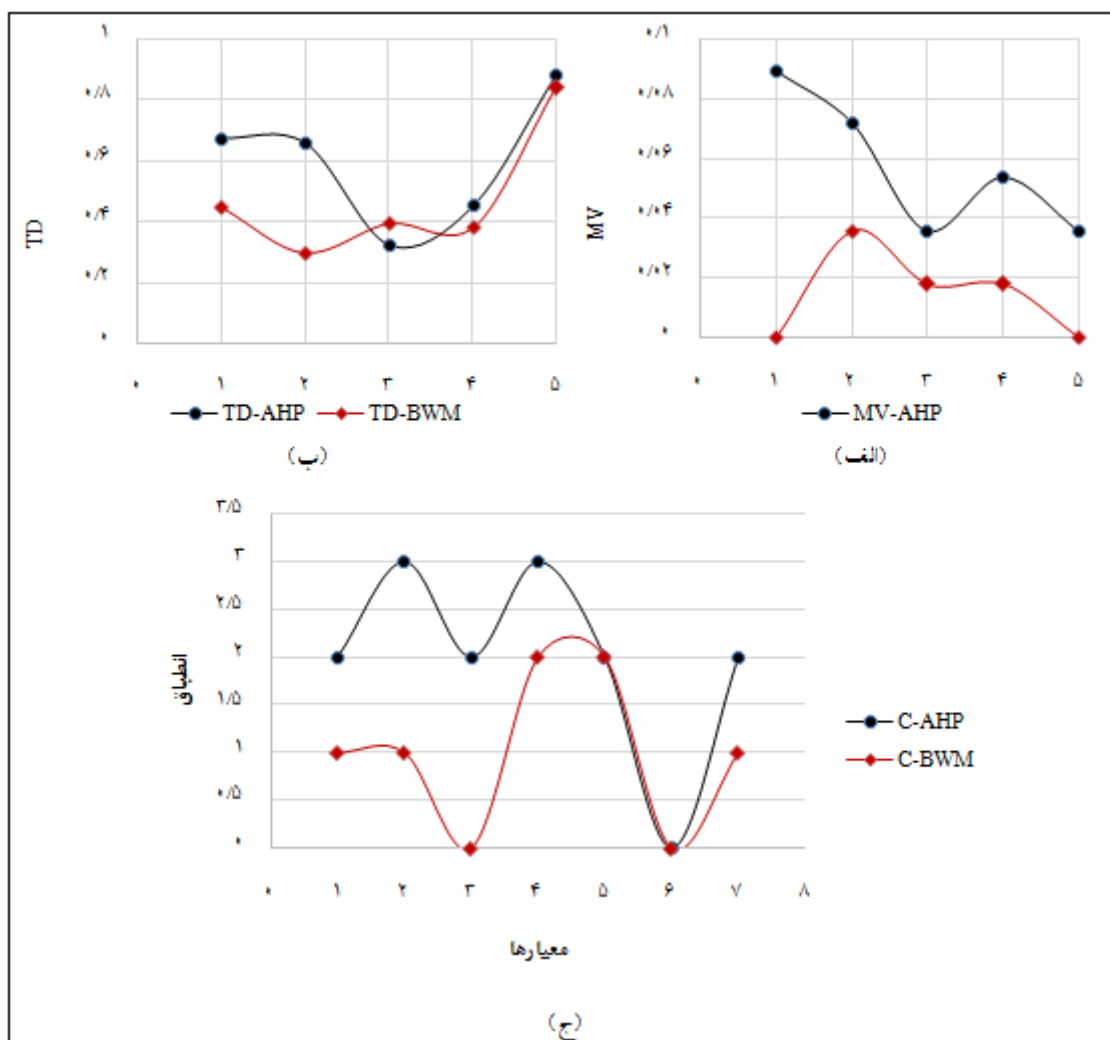
نرخ سازگاری در هر پنج ماتریس مقایسه زوجی در روش AHP، کمتر از ۰/۱ و قابل قبول بود. متوسط مقدار آن نیز در حدود ۰/۰۶ بدست آمد. بردارهای BWM نیز که همواره سازگار هستند (رضائی، ۲۰۱۵). مجموع مقادیر آماره‌های اعتبارسنجی که حاصل جمع نظرات پنج خبره است (total)، برای هر دو روش در جدول ۵ ارائه شده است. به‌عنوان مثال،  $MV_{total}$  نشان‌دهنده مجموع  $MV$ های بدست آمده در هر روش برای هر یک از متخصصان است. جدول ۵ نشان می‌دهد که مقادیر هر سه آماره برای BWM در مقایسه با AHP، کمتر است که نشان‌دهنده برتری روش BWM در مقایسه‌های زوجی است. ممکن است تأثیرگذاری اختلاف این آماره‌ها بر نتایج حاصل، در یک مسئله تصمیم‌گیری که در آن تصمیم‌سازان زیادی در انجام مقایسات زوجی دخالت دارند مشخص شود؛ به‌عبارت

که BWM نیز مانند AHP، به سرعت تبدیل به یکی از پرکاربردترین روش‌های MCDM شود و به تصمیم‌گیران در حل مسائل مختلف، کمک شایانی نماید.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، از دو روش بهترین-بدترین و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی در تعیین تناسب اراضی برای کشت نخل خرما، استفاده شد. هر دو روش برای وزن‌دهی به معیارهای خاکی مؤثر در مقدار عملکرد خرما، به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که روش BWM در مقایسه با دیگر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر مقایسات زوجی همچون AHP، به تعداد کمتری مقایسه زوجی نیاز داشته و سازگاری نتایج آن نیز بیشتر است. پس از انجام تحلیل‌های لازم و ارزیابی اراضی مورد مطالعه، با هدف تعیین اعتبار نتایج به‌دست‌آمده، داده‌های گردآوری‌شده و همچنین یافته‌های پژوهش با استفاده از شاخص‌های ارزیابی عملکرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، مورد سنجش قرار گرفت. اگرچه نتایج نهایی حاصل از کاربرد روش بهترین-بدترین در مقایسه با روش AHP برای تعیین تناسب اراضی تحت کشت خرما، تفاوت چندانی را نشان نداد، لیکن سادگی کاربرد آن برای تصمیم‌گیران، کاملاً مشهود بود. بدیهی است استفاده از روش بهترین-بدترین به‌عنوان روشی کارآمد، چه از لحاظ اثربخشی و چه از نظر زمانی، می‌تواند برای ارزیابی مسائل مشابه به کار آید. بر این اساس می‌توان گفت با توجه به نتایج این پژوهش و برپایه مزایای ذکرشده، استفاده از BWM در تصمیم‌گیری برای مدیریت کاربری اراضی به‌عنوان روشی قابل‌اعتماد و کارا، توصیه می‌شود.

روش BWM کمتر از روش AHP است که نشان می‌دهد تناقض در قضاوت‌ها در این روش کم‌تر است. نمودار شاخص TD نیز نشان می‌دهد که در بیشتر موارد با توجه به نظر متخصصان، فاصله اقلیدسی بین نسبت وزن‌ها ( $W_i/W_j$ ) و درایه مقایسه زوجی آن‌ها ( $a_{ij}$ )، در روش BWM کمتر است؛ بنابراین، مقایسه‌های زوجی در این روش از سازگاری بیشتری برخوردار است. همچنین معیار انطباق که فاصله اقلیدسی میان اولویت‌نهایی معیارها را با اولویت آن‌ها برپایه نظر شخصی متخصصان محاسبه می‌کند، در روش BWM در تمامی موارد کمتر یا مشابه با روش AHP است. هرچه تعداد نظردهندگان بیشتر باشد، این اختلافات و تناقض‌ها نیز بیشتر می‌شود که می‌تواند در نهایت باعث عدم پایداری در قضاوت‌ها شود. می‌توان چنین نتیجه گرفت که روش BWM می‌تواند به دلیل سادگی بیشتر در مقایسه‌ها که تنها مربوط به مقایسه بهترین و بدترین معیار با سایرین است، وزن معیارها را به‌گونه‌ای تعیین کند که با نظر شخصی تصمیم‌گیرنده نیز تطابق بیشتری داشته باشد. پیش از این نیز می‌و همکاران (۲۰۱۹)، عنوان کردند که روش BWM، برای غلبه بر کاستی‌های روش AHP که شامل مقایسات زوجی اضافی و عدم سازگاری برخی ماتریس‌های مقایسه-های زوجی است معرفی شده است. این مسئله بخوبی در پژوهش حاضر به‌منظور تعیین اولویت اراضی برای کشت خرما در منطقه جهرم نیز نشان داده شد. با توجه به مزایای روش BWM شامل نیاز به تعداد کمتری مقایسه زوجی در مقایسه با دیگر روش‌های MCDM مبتنی بر ماتریس همچون AHP، پایداری و سازگاری بیشتر وزن‌های تعیین‌شده در پایان مسئله تصمیم‌گیری، استفاده از اعداد صحیح برای انجام مقایسه‌ها، امکان کاربرد توأمان با سایر روش‌ها و در نهایت سادگی کاربرد، می‌توان انتظار داشت



شکل ۴- مقادیر معیارهای ارزیابی: الف) MV و ب) TD برای تصمیم‌گیری هر خبره و ج) انطباق در دو روش AHP و BWM

#### تشکر و قدردانی

کرمان، هرمزگان، بوشهر، فارس و خوزستان" با شماره مصوب ۹۴۰۲-۹۴۵۲-۱۰-۱۰-۰۱۴ استخراج شده است. نویسندگان از حمایت‌های این موسسه برای انجام پژوهش فوق، صمیمانه تشکر می‌نمایند.

بخشی از داده‌های مورد استفاده در مقاله حاضر از پروژه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات خاک و آب با عنوان "تعیین نیازهای رویشی برای خرما در استان‌های

#### فهرست منابع

- اسکندری، م.، ع. زین‌الدینی، م.ن. نویدی، و آ. سلمان‌پور. ۱۴۰۱. بررسی کارایی روش TOPSIS در اولویت‌بندی اراضی برای کشت زعفران. آب و خاک، ۳۶(۲): ۲۳۷-۲۴۹.
- اسکندری، م.، م. همایی، و ا. فلامکی. ۱۳۹۳. روشی نوین در جایابی خاک‌چال‌ها بر پایه تعیین شاخص کیفیت خاک. علوم محیطی، ۱۲(۳): ۱۶-۲۳.
- اسکندری، م.، م. همایی، و ش. محمودی. ۱۳۹۲. روشی بهینه برای تعیین مکان مناسب دفن زباله‌های جامد شهری با کاربرد تحلیل چندمعیاره GIS. علوم محیطی، ۱۱(۳): ۴۱-۵۴.

۴. بصیرت، م.، ع. زین‌الدینی، ر. کلیایی، ر. فامیل مومن، ع. تراهی، ع.ر. شفیعی زرگر، ع. فرهادی، ا. شریفی عاشورآبادی، ص. صادقی و ا.ح. آقااحمدی. ۱۳۹۷. گزارش بازدید از استان بوشهر (آب و خاک، نخیلات، مرکبات، گلخانه، گیاهان دارویی). معاونت امور باغبانی، سازمان جهاد کشاورزی.
۵. ثروتی، م.، ح.ر. ممتاز، ح. رضائی، و م. پیشنماز احمدی. ۱۳۹۶. ارزیابی تناسب اراضی منطقه هشتگرد با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی برای تیپ بهره‌وری نخود آبی. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، ۷(۳): ۱۵۳-۱۶۶.
۶. دیالمی، ح.، ج. گیوی، م. نادری خوراستگانی، م. احمدپور و ر. تقی‌زاده مهرجردی. ۱۳۹۶. ارزیابی تناسب اراضی برای کاشت نخل خرماي رقم کبکاب (Phoenix dactylifera L.cv Kabkob) در استان بوشهر با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، ۷(۲): ۲۵-۴۵.
۷. زین‌الدینی، ع.، ع.ر. سیدجلالی، م.ن. نویدی، م. اسکندری، ج. سیدمحمدی، ح. دیالمی، ا. مقیمی، و م. پوزش شیرازی. ۱۳۹۹. تدوین جدول نیازهای رویشی خاک و زمین‌نما برای خرما به منظور استفاده در ارزیابی تناسب اراضی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۷(۵): ۸۹-۱۰۷.
۸. سبحانی، ب. و م. فرامرزی. ۱۳۹۵. استفاده از روش ویکور برای سنجش تناسب اراضی برای کشت زعفران در محیط ساج (مطالعه موردی شهرستان ملایر). جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۰(۵۶): ۱۷۱-۱۹۱.
۹. سواری، م. ۱۳۹۸. بررسی نگرش کشاورزان شهرستان دیوان‌دره نسبت به مدیریت پایدار خاک. مدیریت اراضی، ۷(۲): ۱۱۵-۱۲۷.
۱۰. فتاحی، م.م.، ر. مهدوی، م. رضایی، و ی. اسماعیل پور. ۱۳۹۹. تعیین الگوی بهینه کشت گیاهان دارویی با استفاده از مدل ترکیبی TOPSIS-AHP مطالعه موردی: استان قم. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۶(۶): ۸۸۵-۸۹۷.
۱۱. فتحی، ر.، م.ا. آسودار، و م. قاسمی‌نژاد رائینی. ۱۴۰۰. مروری بر وضعیت کشاورزی حفاظتی در جهان با تمرکز بر یکی از کشورهای موفق. مدیریت اراضی، ۹(۱): ۸۷-۱۰۱.
۱۲. فلامکی، ا.، م. اسکندری. ۱۳۹۲. مکان‌یابی مناسب‌ترین محل دفن زباله‌های جامد شهر یاسوج با روش تحلیل چند معیاره. سلامت کار ایران، ۱۰(۵): ۴۴-۵۵.
13. Bagherzadeh, A. and A. Gholizadeh. 2016. Modeling land suitability evaluation for wheat production by parametric and TOPSIS approaches using GIS, northeast of Iran. Modeling Earth Systems and Environment. 2(126). <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0177-8>.
14. Bagherzadeh, A. and A. Gholizadeh. 2017. Parametric-based neural networks and TOPSIS modeling in land suitability evaluation for alfalfa production using GIS. Modeling Earth Systems and Environment, 3(2): 1-11. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0263-y>.
15. Dehghan Rahimabadi, P., H. Azarnivand, H. Khosravi, G. Zehtabian, A. Moghaddam Nia. 2021. An ecological agricultural model using fuzzy AHP and PROMETHEE II approach. DESERT, 26(1): 71-83.
16. Ecer, F. 2021. Sustainability assessment of existing onshore wind plants in the context of triple bottom line: a best-worst method (BWM) based MCDM framework. Environmental Science and Pollution Research, 28: 19677-19693.
17. Everest, T., A. Sungur and H. Ozcan. 2022. Applying the Best-Worst Method for land evaluation: a case study for paddy cultivation in northwest Turkey. International Journal of Environmental Science and Technology, 19: 3233-3246.
18. Kazemi, H., and H. Akinci. 2018. A land use suitability model for rainfed farming by Multi-criteria Decision-making Analysis (MCDA) and Geographic Information System (GIS). Ecological Engineering 116: 1-6.
19. Kheybari, S., M. Kazemi and J. Rezaei. 2019. Bioethanol facility location selection using best-worst method. Applied Energy, 242: 612-623.

20. Liu, P., B. Zhu and P. Wang. 2021. A weighting model based on best–worst method and its application for environmental performance evaluation. *Applied Soft Computing*, 103: 107168.
21. Maulana H. and H. Kanai. 2021. Land Suitability Evaluation by Integrating Multi-criteria Decision-Making (MCDM), Geographic Information System (GIS) Method, and Augmented Reality-GIS. In: Czarnowski I., Howlett R.J., Jain L.C. (eds) *Intelligent Decision Technologies. Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol 238. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-2765-1\\_26](https://doi.org/10.1007/978-981-16-2765-1_26).
22. Mendas, A. and A Delali. 2012. Integration of Multi Criteria 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.
23. Mi, X., M. Tang, H. Liao, W. Shen, and B. Lev 2019. The state-of-the-art survey on integrations and applications of the best worst method in decision making: Why, what, what for and what's next? *Omega*, (87): 205-225.
24. Munier, N., E. Hontoria and F. Jiménez-Sáez. 2019. *Strategic Approach in Multi-Criteria Decision Making*. Springer.
25. Ostovari, Y., A. Honarbakhsh, H. Sangoony, F. Zolfaghari, K. Maleki and B. Ingram. 2019. GIS and multi-criteria decision-making analysis assessment of land suitability for rapeseed farming in calcareous soils of semi-arid regions, *Ecological Indicators*, 103: 479-487.
26. Pilevar, A.R., H.R. Matinfar, A. Sohrabi and F. Sarmadian. 2020. Integrated fuzzy, AHP and GIS techniques for land suitability assessment in semi-arid regions for wheat and maize farming, *Ecological Indicators* (110), 105887 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105887>.
27. Rezaei, J. 2015. Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53: 49-57.
28. Rezaei, J. 2016. Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, 64: 126-130.
29. Saaty, T.L. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1: 83–98.
30. Seyedmohammadi, J., F. Sarmadian, A.A. Jafarzadeh and R.W. McDowell. 2019. Integration of ANP and Fuzzy set techniques for land suitability assessment based on remote sensing and GIS for irrigated maize cultivation. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(8): 1063-1079.
31. Seyedmohammadi, J., F. Sarmadian, A.A. Jafarzadeh and R.W. McDowell. 2019. Development of a model using matter element, AHP and GIS techniques to assess the suitability of land for agriculture, *Geoderma*, 352: 80-95.
32. Seyedmohammadi, J., F. Sarmadian, A.A. Jafarzadeh, M.A. Ghorbani and F. Shahbazi. 2018. Application of SAW, TOPSIS and fuzzy TOPSIS models in cultivation priority planning for maize, rapeseed and soybean crops. *Geoderma*, 310: 178-190.
33. Sys, C., E. Van Ranst, and J. Debaveye. 1991. Land evaluation, Part II: methods in land evaluation. *Agricultural Publication No. 7*, G.A.D.C., Brussels, Belgium.
34. Sys, C., E. Van Ranst, and J. Debaveye. 1993. Land evaluation, Parts III: Crop Requirements. *General administration for development cooperation agricultural*. Brussels, Belgium.
35. USDA. 2012. *Field Book for Describing and Sampling Soils*. Version 3, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
36. USDA. 2014. *Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 5. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
37. Zhao, L., H. Li, Z. Wang, D. Peng, Y. Xue and X. Ai. 2020. Comprehensive evaluation of power grid security and benefit based on BWM entropy weight TOPSIS method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 619: 012053.

## Using the best-worst method and AHP to assign land priority for date palm cultivation in Jahrom Region, Fars

M. Eskandari<sup>1</sup>, A. Zeinadini, M. N. Navidi, and B. Minaei

Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. [mahnazskandari@yahoo.com](mailto:mahnazskandari@yahoo.com)

Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. [ali\\_zeinadin@yahoo.com](mailto:ali_zeinadin@yahoo.com)

Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. [nasernavidi@yahoo.com](mailto:nasernavidi@yahoo.com)

PhD Graduate in Operations Research and Lecturer at the University of Tehran. [behzadminaiei@ut.ac.ir](mailto:behzadminaiei@ut.ac.ir)

Received: January 2022 and Accepted: August 2022

### Abstract

Land use priority assessment is the principal basis of land use planning and management. It is a kind of decision-making with several criteria that sometimes contradict each other. This is why multi-criteria decision making (MCDM) methods have in recent years found wide applications in solving land suitability assessment problems. The objective of this study was to introduce the Best-Worst Method (BWM) and its application in determining the suitability of land for agricultural crop production. Furthermore, the results obtained were compared with those reported in previous studies that had employed the analytical hierarchy process (AHP) as the most widely used multi-criteria decision-making method. For this purpose, soil profile samples were taken from 12 orchards under date cultivation in Jahrom region, Fars Province and subjected to the necessary physicochemical analyses to identify the soil properties affecting crop yield. Once the soil and yield data matrices had been prepared, the BWM and AHP methods were used to determine the weight of each criterion. Land suitability index was subsequently obtained for each garden as the sum of the products of the standardized value of each soil property by its weight. The indices thus obtained were compared with the corresponding actual crop yield to determine the performance of the models employed. Although the results indicated almost identical index values from both methods, the evaluation criteria of minimum violation, total deviation, and conformity revealed more consistent BWM judgments. It was finally concluded that BWM could be recommended as a more reliable and efficient method for solving multi-criteria decision-making problems as required in land use management owing to its varied advantages such as the need for fewer pairwise comparisons compared to other matrix-based MCDM methods like AHP, more consistent and compatible weights ultimately derived in the decision-making problem, the possibility for its application simultaneously with other methods, the use of integers in comparisons, and ease of application.

**Keywords:** Date palm, Land use priority, Multi-criteria decision-making, Soil characteristics

---

<sup>1</sup> - Corresponding author: Soil & Water Research Institute. Imam Khomeini Blvd., Meshkin Dasht Road ,Standard Square, Karaj, I.R.Iran