نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۲ شماره ۴ / سال ۱۴۰۱/ صفحات ۳۵۰-۳۳۷

Application of a New Method Evaluating the Sustainability for Agricultural Systems

Ali Mirzazadeh[1*], Mehdi Hakimzadeh[2], Yaegoob Raey[3]

Received: 20 October 2021 Accepted: 05 February 2022
1-Assist. Prof., Dept. of Agricultural Engineering & Technology, Faculty of Agriculture & Natural Resources Moghan, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
2-MSc Student, Dept.of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3-Prof., Ecophysiology of Plant, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. Iran.
*Corresponding Author E-mail: Ali.mirzazadeh@uma.ac.ir

Abstract

Background and Objective: In this study, while evaluating and studying some important Production indicators, for the first time, using a new method (Multi-Criteria Decision Matrix), the best cultivation pattern that is most compatible with sustainable agriculture was introduced.

Methods and Materials: Data from the last five years of cultivation patterns of Moghan Agro-Industrial & Livestock Company and leading farmers of Moghan Plain were used, and to select the best cultivation pattern and ranking from the perspective of sustainable agriculture, the Multi-Criteria Decision Matrix method was used. The indicators evaluated in this study are: net income, number of mechanized operations, fuel consumption, water efficiency, used pesticides and chemical fertilizers, energy ratio, energy intensity, and the strategic level of product.

Results: The results showed that the garlic had the highest net income, the least number of mechanized operations, the least fuel consumption, the highest number of workers per hectare, the lowest chemical fertilizer consumption, the lowest ratio and energy intensity. It has the least amount of strategy. Peanut cultivation requires the least amount of pesticide and wheat-silage corn cultivation pattern with Maximum water efficiency requires the most fuel and chemical fertilizer. Also, most of the chemical fertilizers used are allocated to the wheat-corn pattern. The highest and lowest energy ratios are related to rapeseed-corn and garlic patterns, respectively, and the highest and lowest specific energy are related to rapeseed-corn and garlic patterns, respectively.

Conclusion: The wheat-silage corn cultivation pattern with $CL^* = 0.78$ had the highest correlation (first rank) with the sustainable agriculture pattern. And despite the fact that garlic cultivation brings the highest net income to the farmer, but the need for more labor and the lowest energy ratio (ER = 1.44) is in the lower ranks of sustainable agriculture.

Keywords: Cultivation Pattern, Production Indices, Sustainable Agriculture, Multi-Criteria Decision Matrix

استفاده از روش نوین برای سنجش میزان پایداری در سیستم‌های کشاورزی

علی میرزازاده[1*]، مهدی حکیم‌زاده[2]، یعقوب راعی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶

۱-استادیار گروه مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی تهران
۲-استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
*مسئول مکاتبه: E-mail: Ali.mirzazadeh@uma.ac.ir

چکیده

اهداف: در این پژوهش ضمن ارزیابی و مطالعه برخی شاخص‌های مهم تولید، برای اولین بار با استفاده از روش نوین، بهترین الگوی کشت که با کشاورزی پایدار مطابقت حداکثری دارد، معرفی گردید.

مواد و روش‌ها: از داده‌های پنج سال اخیر الگوهای کشت شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان و کشاورزان پیشرو دشت مغان استفاده گردید و جهت انتخاب بهترین الگوی کشت و رتبه‌بندی از دید کشاورزی پایدار، از روش ماتریس تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شد. شاخص‌های بررسی شده شامل: درآمد خالص، تعداد عملیات مکانیزه، سوخت مصرفی، بهره‌وری آب، سم و کود شیمیائی مصرفی، نسبت انرژی، شدت انرژی و میزان استراتژیک بودن محصول بودند.

یافته‌ها: محصول سیر بیشترین درآمد خالص، کمترین عملیات مکانیزه، کمترین سوخت مصرفی، بیشترین نفر کارگر روز در هکتار، کمترین کود شیمیایی مصرفی، پایین ترین نسبت و شدت انرژی با کمترین مقدار استراتژیک بودن دارا است. بادام زمینی کمترین مقدار سم مصرفی و الگوی کشت گندم-ذرت علوفه‌ای بیشترین بهره‌وری آب، بیشترین سوخت و کود شیمیائی مصرفی را در یک سال زراعی دارد. همچنین بیشترین کود شیمیائی مصرفی هم از آنِ الگوی گندم-ذرت دانه‌ای است. بیشترین و کمترین نسبت انرژی نیز به‌ترتیب مربوط به الگوهای کلزا-ذرت دانه‌ای و سیر و بیشترین و کمترین شدت انرژی به‌ترتیب به الگوهای کلزا-ذرت دانه‌ای و سیر اختصاص دارد.

نتیجه‌گیری: الگوی کشت گندم-ذرت علوفه‌ای با CL^{*}= ۰/۷۸ بیشترین میزان مطابقت با الگوی کشاورزی پایدار دارد و علی‌رغم اینکه سیر بیشترین درآمد خالص را عاید کشاورز می‌کند، لیکن به دلیل نیاز به نیروی کارگری بیشتر و کمترین نسبت انرژی (ER =۱/۴۴) در جایگاه‌های پایین رتبه‌بندی قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، کشاورزی پایدار، شاخص‌های تولید، ماتریس تصمیم گیری چند معیاره

مقدمه

طبق پیش‌بینی‌ها، جمعیت کره زمین تا سال ۲۱۰۰ میلادی به ۱۰/۸۷ میلیارد نفر خواهد رسید (بی‌نام ۲۰۲۱). چنین رشد سریع جمعیت منجر به افزایش شدید تقاضای غذا و سایر منابع و به‌دنبال آن باعث به‌خطر انداختن امنیت غذایی شده و نیازمند اندیشیدن تدابیر لازم جهت

حفظ و پایداری امنیت غذایی بشر در سال‌های آتی می‌باشد (لیکوگیانی و همکاران ۲۰۲۱). لذا در زمان حال و آینده، بایستی شیوه‌های تولید پایدار محور کلیه عملیات کشاورزی و تولید محصول باشد (مپانگا و همکاران ۲۰۲۱). اگرچه تفسیر مفهوم توسعه پایدار (که بیشتر به‌عنوان پایداری شناخته می‌شود) بسیار متفاوت است، اما در مورد نیاز به استفاده از شاخص‌های پایداری برای اندازه‌گیری تغییرات آن توافق‌هایی وجود دارد. طیف وسیعی از ابزارهای مبتنی بر شاخص برای اندازه گیری پایداری کشاورزی توسعه یافته است. ابزارها از نظر هدف اندازه‌گیری، محدوده مکانی و زمانی و میزان مشارکت ذینفعان با یکدیگر تفاوت دارند. علی‌رغم پیشرفت چشم‌گیر مفهوم پایداری کشاورزی در دهه‌های گذشته، هنوز هم این مفهوم با چالش‌های زیادی روبروست. علاوه بر این، کاربرد و پیاده سازی آن در مدیریت سیستم کشاورزی هنوز توسعه نیافته است (ولیزاده و حیاتی ۲۰۲۱). علی‌رغم موارد مذکور، با ظهور و توسعه کشاورزی پایدار و انتخاب مناسب‌ترین روش در این راستا، به‌میزان قابل توجهی از خسارات کشاورزی متعارف جلوگیری شده است (ولتن و همکاران ۲۰۱۵).

بخش کشاورزی به‌لحاظ تامین امنیت غذایی یکی از مهم‌ترین بخش‌ها در جهان به‌حساب می‌آید. اما یکی از مشکلاتی که این بخش همواره با آن روبروست محدودیت منابع است. با توجه به این موضوع، بخش کشاورزی جهت دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار باید سعی کند از این منابع استفاده کارا داشته باشد. استفاده کارا از منابع به این معنی است که با سطح ثابتی از نهاده‌ها مقدار تولید حداکثر شود و یا سطح مشخصی از تولید، با حداقل مصرف نهاده‌ها به‌دست آید. برای دستیابی به این مهم ابتدا لازم است کارایی واحدها اندازه‌گیری شود و پس از آن در جهت استفاده از منابع، سیاست گذاری و تصمیم‌گیری شود (خداوردی‌زاده و همکاران ۲۰۱۹). در حقیقت کشاورزی پایدار با دید بلندمدت به ماندگاری اقتصادی، اعتبار زیست محیطی و مقبولیت اجتماعی تولیدات زمین به‌منظور ارزیابی مشکلات و محدودیت‌های زیست محیطی اشاره می‌کند. برای ارزیابی سطوح پایداری کشاورزی، در راستای توسعه پایدار، پنج عامل وجود دارد: بهره‌وری خاک، امنیت، حفاظت، مقبولیت اجتماعی و امکان اقتصادی. مفهوم کشاورزی پایدار برای تأمین منابع زمین و مواد غذایی شامل دسترسی به غذا برای نیازهای مردم و حفظ منابع طبیعی و خدمات اکوسیستم استفاده می‌شود (ساید و فَدل ۲۰۲۱).

هدف کشاورزی پایدار، به‌وجود آوردن کیفیتی مطلوب از زندگی است. برای دستیابی به کشاورزی پایدار و مناسب، باید بین عوامل اقتصادی، اجتماعی و زیستی، عوامل فردی، غیر فردی و معنوی تعادل برقرار شود. بحران‌های فعلی موجود در کشاورزی سنتی و متعارف از ناپایداری زیست محیطی ناشی می‌شود. با انجام دادن صحیح و به‌موقع عملیات زراعی و مصرف نوع و مقدار مطلوب نهاده‌های کشاورزی از جمله روش‌های مناسب خاکورزی، انرژی سوخت، تاریخ کاشت، میزان بذر در هکتار، کیفیت بذر، تعداد بوته در هکتار، تعداد عملیات مکانیزه، میزان و زمان آبیاری، میزان و زمان پخش کود، نوع کود مصرفی، مبارزه با علف‌های هرز، برنامه تناوب و آیش می‌توان در راستای پایداری در کشت محصولات کشاورزی گام برداشت (افشاری و همکاران ۲۰۱۴). امروزه، نیاز به حفظ عملکرد کشاورزی و وجود نگرانی در رابطه با سلامت بشر باعث افزایش علاقه‌مندی به اتخاذ سیاست‌های مناسب‌تر و روش‌های مدیریتی بهتر جهت پاسخگویی به تغییرات محیطی و دستیابی به کشاورزی و توسعه پایدار شده است. توسعه پایداری که نیازهای نسل حاضر را بدون به‌خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده برای رفع نیازهای خود مرتفع می‌سازد. برای پایداری در کشاورزی سه موضوع اهمیت زیادی دارد: اولین موضوع، درآمد کافی، به‌خصوص در بین افراد کم درآمد است. دومین موضوع، قابلیت دسترسی به غذا و مصرف آن و موضوع سوم حفاظت و بهبود است. بنابراین کشاورزی پایدار نوعی کشاورزی است که در جهت حفظ منابع طبیعی حافظ منافع انسان بوده به‌طوری‌که کارایی بیشتری در استفاده از منابع دارد و با محیط در توازن است. به‌عبارتی کشاورزی پایدار باید از نظر اکولوژیکی مناسب، از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر و از

نظر اجتماعی مطلوب باشد (سعیدی و جلیلیان ۲۰۱۷). همان‌طور که پیشتر اشاره شد، ابزارهای مبتنی‌بر شاخص برای اندازه‌گیری پایداری کشاورزی، از نظر هدف اندازه‌گیری، محدوده مکانی و زمانی و میزان مشارکت ذینفعان با یکدیگر تفاوت دارند و گاهی در تعارض با یکدیگر می‌باشند. به‌عنوان مثال تولید حداکثر محصول (عملکرد بالا) در تعارض با استفاده از نهاده‌های کشاورزی همانند کود و سم و یا دفعات استفاده از عملیات مکانیزه می‌باشد و تصمیم‌گیری مناسب و اِعمال مدیریت صحیح در مورد این موضوع که کدام الگوی کشت و روش تولید محصولات کشاورزی با کشاورزی پایدار مطابقت بیشتری دارد، کار چندان ساده‌ای نمی‌باشد. به‌طوری‌که تصمیم‌گیری در خصوص این موضوع که کدام الگوی کشت مطابقت بیشتری با کشاورزی پایدار دارد، نیازمند توجه به ابعاد متنوعی است. به‌عبارت دیگر تصمیم‌گیری در این خصوص تحت تأثیر عوامل مختلف کمّی و کیفی قرار دارد که اغلب این عوامل با یکدیگر در تعارض هستند و بایستی از بین چندین گزینه الگوی کشت، بهترین گزینه انتخاب گردد. اشتباه و عدم دقت در تصمیم‌گیری مناسب، مستلزم پرداخت هزینه‌ی خطا است (قدسی‌پور ۲۰۱۳). به‌همین دلیل روش‌هایی تحت عنوان تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)[1] توسعه داده شده‌اند که به حل مسایل مزبور کمک می‌کنند (نوری و طباطبائیان ۲۰۰۲). در حیطه‌های خارج از کشاورزی، تحقیقات متعددی با استفاده از روش‌های ماتریس تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام شده است. در این بین در حوزه کشاورزی تحقیقات کمتری انجام شده است. کلاین و همکاران (۱۹۸۸) با استفاده از سامانه خبره تصمیم‌گیری براساس برنامه‌ریزی خطی به‌منظور تعیین تعداد و اندازه مناسب ماشین‌های کشاورزی استفاده کرده و زمان تعویض ماشین‌ها را به‌منظور حداکثرسازی بهره‌وری تعیین کردند. نتیجه تحقیقات انجام یافته توسط سوگارد و سورنسن (۲۰۰۴) نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مدل ارائه شده با استفاده از برنامه‌ریزی خطی مختلط و داده‌های واقعی وجود ندارد. سرخیل و نوید (۲۰۱۰) از بین چهار نوع تراکتور به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در محدوده توان ۹۰-۳۰ کیلووات به ارزیابی و انتخاب تراکتور پرداختند و با در نظر گرفتن معیارهایی چون خدمات، امکانات، قیمت، ایمنی و استفاده آسان از آن، تراکتور ITMCo را به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه تعیین کردند. لک و برقعی (۲۰۱۱) نیز با مدنظر قرار دادن نه معیار و یازده گزینه پیش‌رو، از روش TOPSIS به‌منظور انتخاب تراکتور مناسب در استان همدان استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد با در نظر گرفتن جمیع جهات، تراکتور U450 به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه برای این استان می‌باشد. کومله و همکاران (۲۰۱۳) نیز با استفاده از مدل‌های TOPSIS و SAW با در نظر گرفتن شاخص‌های مقدار تلفات برداشت، انرژی مصرفی عملیات برداشت، ارزش ریالی سامانه، راحتی و ایمنی از دید کاربر، میزان آموزش مورد نیاز به کاربر، هزینه‌های تعمیر و نگهداری و ظرفیت مزرعه‌ای ماشین به ارزیابی سه روش برداشت ذرت بذری شامل برداشت دو مرحله‌ای (با استفاده از ذرت چین-پوست کن)، کمباین غلات و وینتراشتایگر پرداختند. براساس نتایج این پژوهش مشخص شد که در هر دو مدل تصمیم‌گیری، سامانه ذرت چین-پوست‌کن مناسب‌ترین گزینه است. میرزازاده و همکاران (۲۰۱۹) نیز ضمن ارزیابی برخی شاخص‌های مهم تولید محصول ذرت علوفه‌ای در سیستم بدون خاکورزی، با استفاده از ماتریس تصمیم‌گیری چندمتغیره به روش تاپسیس، بهترین روش خاکورزی در تولید کشت ذرت علوفه‌ای را معرفی نمودند.

ارزیابی شاخص‌های دخیل در معیار پایدار بودن کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار بوده و تصمیم‌گیری درباره این موضوع که کدام الگوی کشت (در بین الگوهای متفاوت کشت موجود در یک منطقه خاص) مطابقت بیشتری با کشاورزی پایدار دارد، کار چندان ساده‌ای نمی‌باشد. لذا در این پژوهش سعی می‌گردد، ضمن اندازه‌گیری و مطالعه برخی شاخص‌های مهم در تولید پایدار محصولات کشاورزی در دشت مغان، برای اولین بار با استفاده از روش نوین (تکنیک ماتریس

[1] . Multiple Criteria Decision Making

تصمیم‌گیری چندمعیاره)، بهترین الگوی کشت که با کشاورزی پایدار مطابقت حداکثری دارد، معرفی گردد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام این پژوهش، از داده‌های پنج سال اخیر شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان و کشاورزان دشت مغان (به‌عنوان قطب کشاورزی ایران) استفاده گردید. بدین منظور ابتدا الگوی غالب کشت در شرکت کشت‌وصنعت‌ودامپروری مغان و دشت مغان احصا گردید، که در جدول ۱ آورده شده است:

جدول ۱- الگوی کشت رایج در دشت مغان

شماره	نام الگوی کشت	حروف اختصاری	توضیحات
۱	سیر	A1	به عنوان محصول یکساله کشت می‌شود
۲	بادام زمینی	A2	به عنوان محصول یکساله کشت می‌شود
۳	گندم+سویا	A3	گندم بعنوان کشت اول و بعد از برداشت آن، سویا بعنوان کشت دوم در یکسال زراعی کشت می‌گردند.
۴	گندم+ذرت علوفه‌ای	A4	گندم بعنوان کشت اول و بعد از برداشت آن، ذرت بعنوان کشت دوم در یکسال زراعی کشت می‌گردند.
۵	گندم+ذرت دانه‌ای	A5	گندم بعنوان کشت اول و بعد از برداشت آن، ذرت بعنوان کشت دوم در یکسال زراعی کشت می‌گردند.
۶	کلزا+سویا	A6	کلزا بعنوان کشت اول و بعد از برداشت آن، سویا بعنوان کشت دوم در یکسال زراعی کشت می‌گردند.
۷	کلزا+ذرت علوفه‌ای	A7	کلزا بعنوان کشت اول و بعد از برداشت آن، ذرت بعنوان کشت دوم در یکسال زراعی کشت می‌گردند.
۸	کلزا+ذرت دانه‌ای	A8	کلزا بعنوان کشت اول و بعد از برداشت آن، ذرت بعنوان کشت دوم در یکسال زراعی کشت می‌گردند.

سپس شاخص‌های مهم و تاثیرگذار در کشاورزی پایدار منطقه مغان به‌شرح زیر محاسبه گردیدند:

۱- درآمد خالص (C1): این شاخص با در نظر گرفتن تاثیر آن بر درآمد کشاورزان و میزان مقبولیت الگوی کشت از طرف آنان و نیز تاثیر در تولید ناخالصی یک کشور و به‌تبع آن ارتقاء اقتصادی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. مطابق رابطه ۱، به‌منظور محاسبه درآمد خالص هر محصول، ابتدا درآمد ناخالص[1] محاسبه (عملکرد محصولات در قیمت متوسط خرید محصول ضرب) و از هزینه کل تولید[2] آن محصول (شامل هزینه‌های نهاده‌های کشاورزی، عملیات مکانیزه، دستمزد کارگران و بیمه کشاورزی و . . .) کسر گردید (حسن‌پور ۲۰۱۶).

$$C_1 = NI = GI - PC \quad \text{رابطه (۱)}$$

۲- تعداد عملیات مکانیزه (C2): اهمیت این شاخص علاوه‌بر تاثیر آن در هزینه تولید و نیز آلایندگی ناشی از مصرف سوخت فسیلی تراکتور و ادوات کشاورزی، در فشردگی خاک ناشی از تردد سر مزرعه و نیز فرسایش خاک ناشی از افراط در انجام عملیات مکانیزه به‌خصوص عملیات خاکورزی می‌باشد (میرزازاده و راعی ۲۰۱۹).

۳- سوخت مصرفی (C3): این شاخص نیز علاوه‌بر تاثیرگذاری در هزینه تولید، در آلایندگی ناشی از کارکرد ماشین‌آلات در مزارع مهم می‌باشد. به‌منظور اندازه‌گیری میزان سوخت مصرفی در عملیات مکانیزه، از روش باک‌پر استفاده گردید. بدین ترتیب که قبل و بعد از انجام هر عملیاتی، تراکتور در سطح تراز قرار گرفته و مخزن آن پر شد، سپس میزان سوخت مصرفی با اندازه‌گیری میزان سوخت اضافه شده تعیین گردید (فاضلی و همکاران ۲۰۱۶).

۴- بهره‌وری آب (کارایی آب) (C4): بهره‌وری آب به‌معنای میزان تولید محصول به‌ازای واحد حجم آب است. این شاخص با تکیه بر نقش آب به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی در تولید پایدار محصول، به‌میزان کارایی استفاده از منابع آبی با در نظر گرفتن محدودیت‌های دسترسی به

[1] . Gross income

[2] . Production cost

آن در تولید محصولات مختلف اشاره دارد. میزان بهره-وری آب آبیاری (WP_i) با استفاده از رابطه ۲، از تقسیم میزان محصول تر تولیدی (y) برحسب کیلوگرم در هکتار بر میزان آب آبیاری کاربردی (V_i) بر حسب مترمکعب در هکتار به‌دست آمد (شاهرخ‌نیا و باغانی ۲۰۲۱).

رابطه (۲) $$C_4 = \mathrm{WP}_i = \frac{y}{V_i}$$

۵- تعداد نفر کارگر در روز (C5): این شاخص تاثیر مستقیمی بر هزینه تولید و نیز میزان سختی کار تولید محصول و به‌تبع آن مقبولیت الگوی کشت نزد کشاورزان دارد. تعداد نفر کارگر در روز در حقیقت نشان‌دهنده تعداد کارگران مورد نیاز در طول یک فصل زراعی از شروع آماده سازی زمین تا برداشت می‌باشد.

۶- سم مصرفی (C6): شاخص سم مصرفی با در نظرگرفتن تاثیرات مخرب زیست محیطی یکی از پارامترهای مهم در سنجش کشاورزی پایدار می‌باشد.

۷- کود مصرفی (C7): این شاخص نیز همانند شاخص سم مصرفی، تاثیرات مستقیمی بر محیط زیست و به خصوص خاک (به‌عنوان مهم‌ترین منبع تولید محصول کشاورزی) دارد.

۸- نسبت انرژی (C8): نسبت انرژی بیانگر نسبت بین کالری گرمایی محصولات خروجی و کل انرژی صرف شده در عوامل تولید است و مقدار انرژی به‌دست آمده به‌ازای هر واحد مصرف انرژی برای تولید را نشان می‌دهد (رابطه ۳) و عددی بدون واحد است. طبق تعریف این شاخص نشان می‌دهد که نهاده انرژی در رابطه با ستانده چه وضعیتی دارد و این عدد هر چه بالا باشد بهتر است (هاتیرلی و همکاران ۲۰۰۶).

رابطه (۳) $$C_8 = ER = \frac{E_{out}}{E_{in}}$$

که در آن: ER، نسبت انرژی خروجی به ورودی؛ E_{out}، انرژی خروجی با واحد مگاژول بر هکتار ($MJ\ ha^{-1}$) و E_{in} انرژی ورودی (مصرف شده) با واحد مگاژول بر هکتار ($MJ.\ ha^{-1}$) است.

۹- شدت انرژی (C9): شدت انرژی نشان دهنده مصرف انرژی برای تولید یک واحد از محصول است که بسته به نوع محصول کشاورزی، موقعیت و زمان متفاوت است و می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی کارایی مصرف انرژی در سامانه‌های مختلف تولید محصول مورد نظر باشد و واحد آن مگاژول بر کیلوگرم ($MJ.\ Kg^{-1}$) است (رابطه ۴). این شاخص هر چه پایین‌تر باشد، بهتر است.

رابطه (۴) $$SP = \frac{E_{in}}{Y}$$

که در آن: SP، شدت انرژی ($MJ.\ kg^{-1}$)؛ E_{in}، انرژی ورودی (مصرف شده) با واحد مگاژول بر هکتار ($MJ.\ ha^{-1}$) و Y عملکرد محصول با واحد کیلوگرم بر هکتار ($Kg.\ ha^{-1}$) است (هاتیرلی ۲۰۰۶).

برای محاسبه شاخص‌های نسبت انرژی (C8) و شدت انرژی (C9)، لازم گردید معادل انرژی‌های ورودی شامل: سوخت دیزل، سموم، کود شیمیایی، کود دامی، آب مصرفی، کارگر، انرژی ماشین آلات کشاورزی مورد استفاده، بذر و معادل انرژی‌های خروجی شامل: محصول خروجی به‌شرح تعاریف زیر و جدول ۲ محاسبه شوند:

انرژی سوخت دیزل: برای محاسبه انرژی سوخت بعد از محاصبه میزان سوخت مصرفی در هر عملیات (لیتر بر هکتار) آن را طبق (رابطه ۵) در ضریب انرژی معادل آن (جدول ۲) ضرب گردید.

رابطه (۵) $$E_{fuel} = Q_i \times E_i$$

که در آن E_{fuel}، انرژی سوخت برحسب مگاژول بر هکتار($MJ.\ ha^{-1}$)؛ Qi، مقدار سوخت مصرف شده بر حسب لیتر بر هکتار ($L.\ ha^{-1}$) و E_i، انرژی معادل هر واحد سوخت بر حسب مگاژول بر لیتر($MJ.\ L^{-1}$) است (سینگ ۲۰۰۶).

انرژی سموم: برای تعیین میزان انرژی مصرفی سم در هکتار نیز بعد از تعیین میزان سم‌های مختلف در هکتار که از اطلاعات زارعین دشت مغان و نیز آمار سموم مصرفی شرکت مغان برای محصولات مختلف به‌دست آمد و با توجه به هم‌ارزهای موجود (جدول ۲)، مقدار انرژی واحد را در مقدار سم در هکتار ضرب نموده و انرژی مصرفی در هکتار مطابق با (رابطه ۶) محسابه شد.

رابطه (۶) $$E_p = W_p \times E_i$$

که در آن E_p، انرژی سم مصرفی در هکتار($MJ.ha^{-1}$)؛ W_p، مقدار سم مصرفی در هکتار($Kg\ ha^{-1}$) یا ($L\ ha^{-1}$)و E_i؛ انرژی موجود در هر واحد سم ($MJ.\ L^{-1}$) یا ($MJ.\ kg^{-1}$) است (الم و همکاران ۲۰۰۵).

انرژی کود: به منظور تعیین میزان انرژی مصرفی کود بایستی مطابق (رابطه ۷) درصد عنصر خالص را در انرژی ساخت هر واحد ضرب گردید.

رابطه (۷) $E_{fer} = W_t \times E_i$

که در آن E_{fer}، انرژی کود در هکتار($MJ.\ ha^{-1}$)؛ W_t، وزن کود مصرف شده ($Kg.\ ha^{-1}$) و E_i، انرژی موجود در هر کیلوگرم کود ($MJ.\ kg^{-1}$) است (الم و همکاران ۲۰۰۵).

انرژی ماشین: جهت برآورد انرژی نهاده برای ماشین-آلات و تجهیزات ماشینی استفاده شده در هکتار نیز از رابطه ۸ استفاده شد (قادرپور و رفیعی ۲۰۱۶):

رابطه (۸) $E_m = \frac{G \times W_h}{T} \times E_i$

که در آن E_m، انرژی معادل ماشین‌آلات و تجهیزات ماشینی بکار گرفته شده در طول یکسال زراعی ($MJ\ ha^{-1}$)؛ G، جرم ماشین‌های استفاده شده در مزرعه (kg)، W_h، مدت ساعت کاری ماشین در یک سال زراعی در یک هکتار ($hr.\ ha^{-1}$)؛ T، عمر مفید ماشین (hr) و E_i، انرژی لازم برای ساخت هر کیلوگرم ماشین ($MJ.\ kg^{-1}$) است (جدول ۲).

۱۰- میزان استراتژیک بودن (C10): با توجه به این موضوع که میزان استراتژیک بودن یک محصول در سیاست‌های ترویجی آن محصول از طرف دولت‌ها اهمیت بالایی دارد، این شاخص نیز جزو شاخص‌های پایداری مورد بررسی در این پژوهش در نظر گرفته شد. به‌منظور سنجش میزان استراتژیک بودن الگوهای کشت و تبدیل این پارامتر کیفی به پارامتر کمّی قابل استفاده و قابل تحلیل و ارزیابی، از جدول ۳ استفاده گردید (اصغرپور ۲۰۰۴).

جدول۲- معادل انرژی نهاده‌ها و ماشین‌آلات کشاورزی استفاده شده در تولید محصول

بخش	واحد	هم ارز انرژی	مرجع
الف- ورودی			
ماشین‌ها	hr	۶۲/۷	*Singh (2002)*
سوخت	lit	۵۶/۳۱	*Singh (2002)*
کارگر	hr	۱/۹۶	*Singh (2002)*
کودهای شیمیایی			
نیتروژن		۶۶/۱۴	*Shrestha (1998)*
فسفات		۱۲/۴۴	*Shrestha (1998)*
پتاسیم		۱۱/۱۵	*Mousavi-Avval et al. (2011)*
کود دامی	kg	۰/۳	*Kizilaslan (2009)*
سموم	kg		
علف‌کش		۸۵	*Ozkan et al. (2004); Alam et al. (2005)*
آفتکش		۱۹۹	*Ozkan et al. (2004)*
قارچ‌کش		۹۲	*Ozkan et al. (2004)*
آب	m^3	۱/۰۲	*Acaroglu (1998)*
بذر	kg		
سویا		۲۳/۸	*Rathke et al. (2007)*
سیر		۱/۶	*Samavatean et al. (2011)*
گندم		۱۴/۷۷	*Mobtaker et al. (2010)*
کلزا		۲۵	*Kitani et al. (1999)*
مغز بادام		۲۵	*Ozkan et al. (2004)*
ذرت علوفه‌ای		۱۰۰	*Kitani et al. (1999)*
ذرت دانه‌ای		۱۰۰	*Kitani et al. (1999)*
ب- خروجی	kg		
سویا		۲۳/۸	*Rathke et al. (2007)*
سیر		۱/۶	*Samavatean et al.(2011)*
گندم		۱۴/۷۷	*Mobtaker et al. (2010)*
کلزا		۲۵	*Kitani et al. (1999)*
بادام زمینی		۲۵	*Ozkan et al. (2004)*
ذرت علوفه‌ای		۸	*Robinson (2001)*
ذرت دانه‌ای		۱۰۰	*Kitani et al. (1999)*

همچنین جهت انتخاب بهترین الگوی کشت و رتبه‌بندی از دید کشاورزی پایدار، از روش ماتریس تصمیم‌گیری چند معیاره و مدل تاپسیس استفاده شد. حل مسئله با استفاده از مدل اخیر مستلزم برداشتن هفت گام زیر است (مومنی و شریفی ۲۰۱۵):

۱- تشکیل ماتریس تصمیم (R) ۲- کمّی کردن و بی‌مقیاس سازی ماتریس تصمیم (N) ۳- به‌دست آوردن ماتریس بی‌مقیاس موزون (V) ۴- تعیین راه حل ایده آل مثبت و منفی ۵- به‌دست آوردن میزان فاصلهٔ هر گزینه تا ایده‌آل‌های مثبت و منفی ۶- تعیین نزدیکی نسبی (CL^*) هر گزینه به راه حل ایده‌آل و ۷- رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها. لذا در ادامه نحوه استفاده از این روش با در نظر گرفتن گزینه‌ها و شاخص‌های مد نظر پژوهش آورده می‌شود.

ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری (R) با توجه به تعداد گزینه‌ها و شاخص‌ها با درنظرگرفتن الگوی غالب کشت منطقه مغان تشکیل شد. در ماتریس ایجاد شده گزینه‌های A1، A2، A3، A4، A5، A6، A7 و A8 به‌ترتیب الگوی کشت سیر، بادام زمینی، گندم-سویا، گندم-ذرت دانه‌ای، گندم-ذرت علوفه‌ای، کلزا-سویا، کلزا-ذرت علوفه‌ای و کلزا-ذرت دانه‌ای و شاخص‌های C1، C2، C3، C4، C5، C6، C7، C8، C9 و C10 به‌ترتیب درآمد خالص (برحسب هزارریال)، تعداد عملیات مکانیزه، سوخت مصرفی (lit/ha)، بهره‌وری آب (kg/m^3)، تعداد نفر روزکارگر در هکتار، سم مصرفی (lit)، کود مصرفی (kg)، نسبت انرژی، شدت انرژی (MJ/kg) و درجه استراتژیک بودن محصول را نشان می‌دهد به طوری‌که با توجه به ماهیت شاخص‌ها C2، C3، C5، C6، C7 و C9 جزء شاخص‌های منفی در ارزیابی کشاورزی پایدار و بقیه شاخص‌ها مثبت در نظر گرفته شدند.

جدول۳- تبدیل معیارهای کیفی به پارامترهای کمی

معیار کیفی	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
معادل کمّی	۱	۳	۵	۷	۹

در اولین گام پس از تشکیل ماتریس تصمیم گیری (R) لازم است این ماتریس بی‌مقیاس گردد. بدین منظور از بی‌مقیاس‌سازی نورم (رابطه ۹) بهره گرفته شد.

رابطه (۹)
$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}^2}}$$

که در آن n_{ij} مقدار بی‌مقیاس شده هریک از مطلوبیت‌ها و a_{ij} مقدار مطلوبیت هر گزینه است.

به‌منظور وزن‌دهی معیارها و تولید ماتریس بی‌مقیاس موزون از روش آنتروپی شانون استفاده شد. بر این اساس پس از تعیین وزن هریک از معیارها، ماتریس مربعی ($W_{n\times n}$) (ماتریس اوزان) تعیین شد که عناصر قطر اصلی آن اوزان شاخص‌ها و دیگر عناصر آن صفر است. سپس با ضرب ماتریس مربعی در ماتریس بی‌مقیاس (N) ماتریس بی‌مقیاس موزون (V) برآورد شد (رابطه ۱۰).

رابطه (۱۰)
$$V = N_D \times W_{n\times n} = N_D \times \begin{bmatrix} W_{11} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & W_{mj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{11} & \cdots & V_{1j} & V_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ V_{m1} & \cdots & V_{mj} & V_{mn} \end{bmatrix}$$

سپس ایده‌آل‌های مثبت و منفی برای هر شاخص به‌دست آمد. برای شاخصی با جنبه مثبت، ایده‌آل مثبت بزرگترین مقدار V و برعکس برای شاخصی با جنبه منفی، ایده‌آل مثبت، کوچکترین مقدار ماتریس V است. همچنین، ایده‌آل منفی برای شاخص مثبت کوچک‌ترین مقدار ماتریس V و ایده‌آل منفی برای شاخص منفی

بزرگترین مقدار ماتریس V خواهد بود. بر این اساس برای شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش، ایده‌آل‌های مثبت و منفی طبق رابطه ۱۱ و ۱۲، به‌شرح زیر هستند:

رابطه (۱۱) $$A^{+} = [\text{Max vi}_1, \text{Min vi}_2, \text{Min vi}_3, \text{Max vi}_4, \text{Min vi}_5, \text{Min vi}_6, \text{Min vi}_7, \text{Max vi}_8, \text{Min vi}_9, \text{Max vi}_{10}]$$

رابطه (۱۲) $$A^{-} = [\text{Min vi}_1, \text{Max vi}_2, \text{Max vi}_3, \text{Min vi}_4, \text{Max vi}_5, \text{Max vi}_6, \text{Max vi}_7, \text{Min vi}_8, \text{Max vi}_9, \text{Min vi}_{10}]$$

که در آن A^{+} و A^{-} به ترتیب ایده‌آل‌های مثبت و منفی می‌باشند و min و max نیز حداقل و حدکثر مقادیر ماتریس بی‌مقیاس‌اند.

به منظور تعیین میزان فاصله هر گزینه از ایده‌آل مثبت و منفی از رابطه ۱۳ استفاده شد:

رابطه (۱۳) $$d_i^{+} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(V_{ij} - V_j^{+}\right)^2};\ i = 1,2,\dots,m \quad \text{و} \quad d_i^{-} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(V_{ij} - V_j^{-}\right)^2};\ i = 1,2,\dots,m$$

که در آن di^{+} و di^{-} به‌ترتیب فاصله گزینه iام از ایده‌آل مثبت و فاصله گزینه iام از ایده‌آل منفی می‌باشد.

نزدیکی نسبی هر گزینه به راه حل ایده‌آل نیز با کمک رابطه ۱۴ تعیین شد.

رابطه (۱۴) $$Cl_i^{+} = \frac{d_i^{-}}{d_i^{-} + d_i^{+}};\ 0 \le Cl_i^{+} < 1;\ i = 1,2,\dots,m$$

مقدار CL^{*} (نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایده‌آل) همواره بین صفر و یک است و هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، راه‌کار به جواب ایده‌آل نزدیک‌تر است و راه‌کار بهتری به‌شمار می‌رود. با مقایسه CL^{*}های محاسبه شده می‌توان گزینه‌ها را رتبه‌بندی کرد (مومنی و شریفی ۲۰۱۵).

نتایج و بحث

جدول ۳ ماتریس تصمیم‌گیری (R) مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

مطابق جدول اخیر، بیشترین درآمد خالص با مقدار ۵۹۳/۱ میلیون ریال، از آنِ محصول سیر می‌باشد. این در حالیست که کمترین درآمد خالص نیز به الگوی کشت کلزا–ذرت علوفه‌ای با مقدار ۱۹۵/۱۳ میلیون ریال اختصاص داشت. درآمد خالص بالای یک الگوی کشت همواره یکی از مهمترین شاخص‌های مقبولیت از طرف کشاورزان می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد، تولید محصول سیر با حداقل عملیات مکانیزه (به‌تعداد ۱۷ عملیات) و الگوهای گندم–ذرت علوفه‌ای و گندم–ذرت دانه‌ای با حداکثر عملیات مکانیزه (به‌تعداد ۳۰ عملیات) انجام می‌گیرد. تعداد عملیات مکانیزه ضمن تاثیر روی شاخص‌های درآمد خالص، سوخت مصرفی و مدیریت زمان، روی فشردگی خاک و در نتیجه فرسایش‌های آبی و بادی آن نیز تاثیرگذار می‌باشد. نتایج نشان داد که الگوهای گندم–ذرت علوفه‌ای و گندم–ذرت دانه‌ای بیشترین مصرف سوخت را در بین الگوهای مورد بررسی دارند. مصرف سوخت بالا علاوه بر تاثیرگذاری روی هزینه تولید یک محصول، آلایندگی و تاثیرات سوء زیست محیطی را نیز به‌دنبال دارد که به نوبه خود یکی از شاخص‌های مهم در سنجش الگوی کشاورزی پایدار می‌باشد. همچنین نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد، بیشترین بهره‌وری آب با مقدار ۳/۰۷ کیلوگرم در مترمکعب برای تولید محصولات گندم–ذرت علوفه‌ای و کمترین آن با مقدار ۰/۳۲ کیلوگرم در مترمکعب برای تولید محصول بادام زمینی لازم می‌باشد. هر چند بخش عمده آب مصرف شده طی فرایند تولید، در محصول نهایی وجود فیزیکی ندارد و بخش بسیار ناچیزی از این آب مصرفی در پایان به‌عنوان آب واقعی در بافت محصول باقی خواهد ماند، اما یکی از شاخص‌های مهم در انتخاب و تولید یک محصول می‌باشد. علی‌الخصوص که کشور ایران در چند سال اخیر به‌خاطر کاهش چشمگیر نزولات آسمانی، کم سابقه‌ترین خشکسالی‌های خود را تجربه می‌کند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد، بیشترین نیروی کارگری با تعداد ۷۵ نفر کارگر روز در هکتار برای تولید

محصول سیر و کمترین آن با تعداد ۲۰ نفرکارگر روز در هکتار برای الگوی کشت گندم-ذرت دانه‌ای لازم می-باشد. همچنین نتایج این بخش نشان می‌دهد که این شاخص با تعداد عملیات مکانیزه مورد نیاز رابطه عکس دارد. به‌طوری‌که مثلاً در تولید محصول سیر بیشترین تعداد کارگر با کمترین تعداد عملیات مکانیزه انجام می-گیرد. شاخص نیروی کارگری مورد نیاز علاوه بر مباحث مربوط به هزینه و مدیریت مزرعه، در میزان مقبولیت آن الگوی کشت از طرف کشاورزان منطقه تاثیرگذار می-باشد.

جدول ۳- ماتریس تصمیم‌گیری (R) الگوهای کشت غالب در منطقه مغان

گزینه	C_1^+	C_2^-	C_3^-	C_4^+	C_5^-	C_6^-	C_7^-	C_8^+	C_9^-	C_{10}^+
A1 (سیر)	۵۹۳/۱	۱۷	۱۰۶/۵	۱/۴	۷۵	۷	۷۳۵	۱/۱۱	۱/۴۴	۱
A2 (بادام زمینی)	۳۰۸/۸۵	۲۰	۱۴۶/۵	۰/۳۲	۴۰	۴/۷	۸۳۱	۲/۵	۹/۵	۱
A3 (گندم-سویا)	۲۸۳	۳۱	۲۰۱/۵	۰/۵۹	۲۳	۱۱/۵	۱۲۶۰	۱/۸۱	۹/۸۶	۹
A4 (گندم-ذرت علوفه‌ای)	۲۴۶/۷۷	۳۰	۲۰۷/۵	۳/۰۷	۲۲	۸/۵	۱۴۰۴	۲/۲۵	۴/۰۱	۵
A5 (گندم-ذرت دانه‌ای)	۲۶۲/۵۲	۳۰	۲۰۷/۵	۰/۶	۲۰	۸/۵	۱۴۰۴	۴/۸۹	۱۲/۶۲	۷
A6 (کلزا-سویا)	۲۳۱/۳۶	۲۹	۱۹۸/۵	۰/۴۱	۳۳	۱۱/۵	۱۱۰۶	۱/۸۹	۱۲/۸۸	۷
A7 (کلزا-ذرت علوفه‌ای)	۱۹۵/۱۳	۲۸	۲۰۴/۵	۲/۹۱	۳۲	۸/۵	۱۲۵۰	۲/۳۲	۴/۰۸	۵
A8 (کلزا-ذرت دانه‌ای)	۲۱۰/۸۸	۲۸	۲۰۴/۵	۰/۴۷	۳۰	۸/۵	۱۲۵۰	۵/۱۱	۱۵/۱۸	۵

نتایج جدول ۳ موید این موضوع است که کشت محصول سیر با کمترین سم (۷ لیتر در هکتار) و کود شیمیائی (۷۳۵ کیلوگرم در هکتار) همراه است. در حالی که بیشترین سم مصرفی با مقدار ۱۱/۵ لیتر در هکتار در الگوهای گندم-سویا و کلزا-سویا و بیشترین کود مصرفی نیز با مقدار ۱۴۰۴ کیلوگرم در هکتار در الگوهای گندم-ذرت علوفه‌ای و گندم-ذرت دانه‌ای اتفاق می‌افتد. نتایج پژوهش حاضر (جدول ۳) نشان می‌دهد در بین الگوهای رایج کشت در منطقه مغان، بیشترین مقدار شاخص نسبت انرژی (ER= ۵/۱۱) از آنِ الگوی کشت کلزا-ذرت دانه‌ای و کمترین مقدار (ER=۱/۱۱) برای تولید محصول سیر می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار شاخص شدت انرژی با مقدار ۱۵/۱۸ مگاژول بر کیلوگرم (SP=۱۵/۱۸) برای تولید محصولات کلزا-ذرت دانه‌ای و کمترین آن با مقدار ۱/۴۴ مگاژول بر کیلوگرم (SP=۱/۴۴) برای تولید سیر لازم است. شاخص‌های اخیر با توجه به دخیل بودن انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم در تولید یک محصول از جمله سوخت مصرفی، سم و کود مصرفی، آب مورد نیاز، بذر و ماشین‌آلات کشاورزی از شاخص-های بسیار مهم در بررسی الگوی پایداری آن محصول می‌باشد.

به‌منظور بررسی میزان مطابقت الگوهای کشت با کشاورزی پایدار و رتبه‌بندی آن‌ها، از نرم افزار MCDM engine استفاده شد. جدول ۴ نتایج نرم افزار به‌ترتیب بهترین گزینه براساس نزدیکی نسبی گزینه‌ها (CL^*) نشان می‌دهد.

مطابق جدول ۴ و مقادیر عددی CL^*، الگوی کشت گندم-ذرت علوفه‌ای (A_4) با مقدار عددی ۰/۷۸ بیشترین مطابقت با الگوی کشاورزی پایدار دارد. همان‌طوری که مشاهده می‌گردد، این الگو علی‌رغم درآمد خالص متوسطی که مجموعاً ۲۴۶/۷۷ میلیون ریال دارد، اما با در نظر گرفتن سایر شاخص‌های مورد بررسی در این پژوهش، این الگو در بین سایر الگوهای دیگر، بیشترین مطابقت را با کشاورزی پایدار داشت. در این الگو میزان تردد سر مزرعه با مقدار ۳۰ باردر هکتار، مصرف سوخت ۲۰۷/۵ لیتر در هکتار، بیشترین بهره‌وری آب ۳/۰۷ کیلوگرم در مترمکعب، تعداد ۲۲ نفرکارگر روز در هکتار، ۸/۵ لیتردر هکتار مصرف سم، ۱۴۰۴ کیلوگرم در

هکتار مصرف کود شیمیایی، ۲/۲۵ نسبت انرژی و ۴/۰۱ مگاژول بر کیلوگرم می‌باشد. مطابق جدول اخیر، رتبه‌بعدی به‌فاصله خیلی کم (اختلاف ۲/۶٪)، مربوط به الگوی کشت کلزا-ذرت علوفه‌ای (A_7) می‌باشد. این الگو نیز همانند الگوی رتبه اول، هرچند درآمد خالص بالایی برای کشاورز عاید نمی‌کند. اما با درنظر گرفتن سایر شاخص‌های موثر و مورد پژوهش در اولویت دوم میزان مطابقت با کشاورزی پایدار قرار دارد. به‌همین ترتیب کشت سیر (علی‌رغم اینکه درآمد بسیار بالاتری در یک سال زراعی با مقدار ۵۹۳/۱ میلیون ریال عاید کشاورز می‌کند) در رتبه سوم این رتبه‌بندی قرار دارد. قرارگیری کشت سیر (A_1) در رتبه سوم میزان مطابقت با الگوی پایداری حاکی از این موضوع است که تنها درآمد بسیار بالا نمی‌تواند عامل تعیین در انتخاب آن محصول در بلند مدت باشد. همان‌طوری که در جدول ۳ نشان داده شده کشت محصول سیر بیشترین نفر کارگر در روز در هکتار (با تعداد ۷۵ نفر) و کمترین نسبت انرژی با مقدار ER =۱/۴۴ را داراست. همچنین این الگوی کشت از کمترین اهمیت استراتژی در بین محصولات مورد بررسی در این پژوهش برخوردار می‌باشد. الگوهای گندم-سویا (A_3) و گندم-ذرت دانه‌ای (A_5) نیز با مقدار $CL^*=$ ۰/۳۴ و $CL^*=$ ۰/۳۳ (اختلاف ناچیز ۳٪) به‌ترتیب در رتبه ۴ و ۵ میزان مطابقت با الگوی کشاورزی پایدار قرار دارند. همچنین نتایج نشان داد که الگوهای کلزا-ذرت دانه‌ای (A8) و کلزا-سویا (A6) به‌ترتیب در رتبه‌های ۶ و ۷ قرار دارند و رتبه آخر این بررسی مربوط به کشت محصول بادام زمینی می‌باشد. محصولی که از اهمیت استراتژیک کمتری نسبت به سایر محصولات برخوردار است و متاسفانه طی ۴ سال اخیر در منطقه مغان توسعه بیشتری یافته که با این نتایج نیازمند بازنگری جدی از طرف کارشناسان مربوطه می‌باشد.

جدول ۴- میزان نزدیکی نسبی هر گزینه از راه حل ایده‌آل و رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

گزینه	مقادیر CL_i^*	رتبه
A4 (گندم-ذرت علوفه‌ای)	۰/۷۸	۱
A7 (کلزا-ذرت علوفه‌ای)	۰/۷۶	۲
A1 (سیر)	۰/۴۲	۳
A3 (گندم-سویا)	۰/۳۴	۴
A5 (گندم-ذرت دانه‌ای)	۰/۳۳	۵
A8 (کلزا-ذرت دانه‌ای)	۰/۲۷	۶
A6 (کلزا-سویا)	۰/۲۶	۷
A2 (بادام زمینی)	۰/۱۸	۸

علی‌رغم اینکه الگوی کشت گندم-ذرت علوفه‌ای با مقدار $CL^*=$۰/۷۸ در جایگاه نخست سیستم‌های کشاورزی بررسی شده در این پژوهش قرار گرفت اما اختلاف ۰/۲۲ آن با گزینه ایده‌آل، نشان دهنده این موضوع است که برای ارتقاء این الگوی کشت و رسیدن به مدل مطلوب کشاورزی پایدار نیز بایستی اقدامات اساسی از جمله انجام عملیات به زراعی و کاهش نهاده‌های کشاورزی انجام گیرد که لازم است مورد توجه جدی پژوهشگران این عرصه قرار گیرد.

نتیجه گیری

۱- ابزارهای مبتنی‌بر شاخص برای اندازه‌گیری میزان پایداری کشاورزی، از نظر هدف اندازه‌گیری، محدوده مکانی و زمانی و میزان مشارکت ذینفعان با یکدیگر تفاوت دارند و گاهی در تعارض با یکدیگر می‌باشند.

۲- در بین الگوهای کشت موجود در منطقه مغان، کشت محصول سیر بیشترین درآمد خالص، کمترین تعداد عملیات مکانیزه، کمترین سوخت مصرفی، بیشترین تعداد نفرکارگرروز در هکتار، کمترین کود شیمیایی مصرفی، پایین‌ترین نسبت و شدت انرژی با کمترین مقدار استراتژیک بودن دارا است.

۳- کشت بادام زمینی کمترین مقدار سم مصرفی را نسبت به سایر الگوهای کشت رایج در منطقه مغان دارد.

۴- الگوی کشت گندم-ذرت علوفه‌ای با بالاترین بهره‌وری آب، بیشترین سوخت مصرفی و کود شیمیائی را در یک سال زراعی نیاز دارد.

۵- بیشترین کود شیمیائی مصرفی از آنِ الگوهای گندم-ذرت علوفه‌ای و گندم-ذرت دانه‌ای است.

۶- بیشترین و کمترین نسبت انرژی به‌ترتیب مربوط به الگوی کلزا-ذرت دانه‌ای و سیر و بیشترین و کمترین شدت انرژی به‌ترتیب به الگوهای کلزا-ذرت دانه‌ای و سیر اختصاص دارد.

۷- الگوی کشت گندم-ذرت علوفه‌ای با CL^*= ۰/۷۸ بیشترین میزان مطابقت (جایگاه اول) با الگوی کشاورزی پایدار و کشت بادام زمینی با CL^*= ۰/۱۸ در پایین‌ترین جایگاه میزان مطابقت با کشاورزی پایدار در منطقه مغان قرار دارد.

۸- علی‌رغم اینکه کشت سیر بیشترین درآمد خالص را با مقدار ۵۹۳/۱ میلیون ریال عاید کشاورز می‌کند، لیکن به دلیل نیاز به نیروی کارگری بیشتر و کمترین نسبت انرژی (ER =۱/۴۴) در رتبه‌های پایین رتبه‌بندی کشاورزی پایدار قرار دارد.

۹- مقدار CL^*=۰/۷۸ برای الگوی کشت گندم-ذرت علوفه‌ای به‌عنوان جایگاه اول و اختلاف ۰/۲۲ آن با گزینه ایده‌آل، نشان دهنده این موضوع است که الگوی کشت گندم-ذرت علوفه‌ای نیز فاصله چشم‌گیری با مدل کشاورزی پایدار دارد که لازم است مورد توجه جدی پژوهشگران این عرصه قرار گیرد.

سپاسگزاری

از مدیریت محترم و کارکنان امور زراعت شرکت کشت وصنعت و دامپروری مغان و کشاورزان پیشرو منطقه مغان که در اجرای این پژوهش ما را یاری کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Acaroglu M. 1998. Energy from biomass and applications. Selcuk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Textbook.

Afshari Z, Ajili A and Rezaei Moghaddam, K. 2014. Factors affecting sustainable agricultural knowledge of cotton men and women in Isfahan province. Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research, 45(4): 703-714 (In Persian).

Alam MS, Alam MR and Islam KK. 2005. Energy flow in agriculture. Bangladesh American Journal of Environmental Science, 1 (3): 213-220.

Anonymous. 2021. www.statista.com, internet, Population-Statistics & Facts, Jul 30, 2021.

Asgharpour MJ. 2004. Multi-criteria decisions, 3rd. Publication of university of Tehran (In Persian).

Fazeli S, Abbaspour-Gilandeh Y, Shahgholi GH, Fazel Z and Asgari M. 2016. A comprehensive overview of tractor fuel consumption measurement methods and factors affecting the amount Fuel consumption during various tillage operations. 2nd International Conference on New Findings in Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment. Association for the Development and Promotion of Basic Sciences and Technologies. Tehran. Iran (In Persian).

Ghaderpour O and Rafiee Sh. 2016. Analysis and modeling of energy and production of dryland chickpea in the city of Bukan. Iranian Journal of Biosystems Engineering, 47(4), 720-711. doi: 10.22059/ijbse.2017.60265 (In Persian).

Ghodsypour SH. 2013 .Analytical hierarchy process (AHP). Publication of Amirkabir University of Technology - Tehran Polytechnic.(In Persian).

Hasanpour B. 2016. Simple Farm accounting and agricultural management on small farms. Technical-extension journal. Agricultural Education and Extension Research Organization, Ministry of Jihad Agriculture. (In Persian).

Hatirli SA, Ozkan B and Fert C. 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. Renew Energy, 31:727-438.

Katsvairo T, Cox WJ and Vanes H. 2002. Tillage and rotation effects on soil physical.Characteristics. Agronomy Journal, 94: 299-304.

Khodaverdizadeh M, Mohammadi M and Miri D. 2019. Estimation of technical efficiency of wheat production with emphasis on sustainable agriculture in Urmia County. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 29(4): 233-245 (In Persian).

Kitani O, Jungbluth T, Peart RM and Ramdani A. 1999. CIGR Handbook of agricultural engineering energy and biomass engineering (V. 5), ASAE.

Kline DE, Bender A, McCarl BA and Van Dong CE. 1988. Machinery selection using expert systems and linear programing. Computer and Electronics in Agriculture, 3(1): 45-61.

Lak MB and Borghaee AM. 2011. Multi-criteria decision making based in choosing an appropriate tractor (A case study for Hamedan province). Journal of Agricultural Machinery, 1(1): 41-47 (in Persian).

Lykogianni M, Bempelou E, Karamaouna F and Aliferis AK. 2021. Do pesticides promote or hinder sustainability in agriculture? The challenge of sustainable use of pesticides in modern agriculture. Science of the Total Environment, (795): 148625.

Mirzazadeh A and Raei Y. 2019. Evaluation of some important indicators of silage corn production in no-tillage systems. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30(1): 95-107.

Mobtaker HGH, Keyhani A, Mohammadi A, Rafiee S and Akram A. 2010. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment, 137: 367-372.

Momeni M and Sharifi Salim A. 2015. MADM Models and Softwares (AHP and TOPSIS) (In Persian).

Mousavi-Avval SH, Rafiee SH, Jafari A and Mohammadi A. 2011. Energy flow modeling and sensitivity analysis of inputs for canola production in Iran. Journal of Cleaner Production, 19: 1464-1470.

Mpanga I, Schoch U and Schalau J. 2021. Adaptation of resilient regenerative agricultural practices by small-scale growers towards sustainable food production in north-central Arizona. Current Research in Environmental Sustainability, 3, 100067.

Nouri Gh and Tabatabaian SH. 2002. Sensitivity analysis of multi-index decision issues relative to the method used. Management Knowledge Quarterly. University of Tehran. www.un.org, 17 June 2019, New York.

Ozkan B, Akcaoz H and Karadeniz F. 2004. Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey. Energy Conversion and Management, 45: 1821-1830.

Pishgar-Kumleh SH, Keyhani A, Mostofi MR and Jafari A. 2013. Choosing the most Suitable Seed Corn Harvesting System Based on the TOPSIS Model. Journal of Agricultural Engineering Research, 14(2): 81-92. (In Persian).

Rathke GW, Wienhold BJ, Wilhelm WW and Diepenbrock W. 2007. Tillage and rotation on corn-soybean energy balances in eastern Nebraska. Journal of Soil and Tillage Research, 97 (1): 60-70.

Robinson PH. 2001. Estimating the Energy Value of Corn Silage and Other Forages. 31st California Alfalfa and Forage Symposium, 12-13 December, 2001, Modesto, CA, UC Cooperative Extension, University of California, Davis 95616. Available at http://alfalfa.ucdavis.edu

Saadi H and Jalilian S. 2017. Sustainable Development, Analyzing of Wheat Growers' Attitudes and Perceptions. Journal of Environmental Education & Sustainable Development, 5(4): 9-23 (In Persian).

Samavatean N, Rafiee S, Mobli H and Mohammadi A. 2011. An analysis of energy use and relation between energy inputs and yield, costs and income of garlic production in Iran. Renewable Energy, 36: 1808- 1813

Sarkheil S and Navid H. 2010. Evaluating and choosing tractors between four kinds of tractors in engine power of 30 to 90 KW by applying Analytic Hierarchy Process (AHP). Proceeding of the 6th National Conference on Agricultural Machinery Engineering & Mechanization. Sep. 15-16. Karaj. Iran (In Persian).

Sayed Y and Fadl M. 2021. Agricultural Sustainability Evaluation of the New Reclaimed Soils at Dairut Area, Assiut, Egypt using GIS Modeling. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.08.002

Shahrokhnia MA and Baghani J. 2021. Investigation of Applied Water and Water Productivity of Potato Fields in the Conditions of Farmers in Fars Province. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 15(3): 624-635.

Shrestha DS. 1998. Energy Use Efficiency Indicator for Agriculture. Available from: http: //www.usaskca/agriculture/caedac/PDF/mcrae.

Singh JM. 2002. on Farm Energy Use Pattern in Different Cropping Systems in Haryana, India. Master of Science. International Institute of Management, University of Flensburg, Germany.

Singh G. 2006. Estimation of a Mechanization Index and Its Impact on Production and Economic Factors. A Case Study in India. Biosystems Engineering, 93 (1): 99-106.

Sogaard HT and Sorenson CG. 2004. A Model for Optimal Selection of Machinery Sizes Whitin the Farm Machinery System. Biosystems Engineering, 89: 13-28.

Valizadeh N and Hayati D. 2021. Development and validation of an index to measure agriculturalsustainability. Journal of Cleaner Production, 280 (1): 123797.

Velten S, Leventon J, Jager N and Neing J. 2015. What is sustainable agriculture? A systematic review, Sustainability, 7 (6): 7833-7865.