

ارزیابی برخی شاخص‌های پایداری در کشت و صنعت‌های استان خوزستان با روش تصمیم‌گیری چند معیاره (مطالعه موردی: تولید ذرت، گندم و نیشکر)

شهلا حردانی^۱، محمدجواد شیخ داودی^{۲*}، عباس عساکره^۳

تاریخ دریافت: ۹۶/۷/۱ تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۲۷

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

*مسئول مکاتبه: E-mail: Mj.davoodi@scu.ac.ir

چکیده

در ارزیابی پایداری کشاورزی، باید جنبه‌های مختلف زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی در نظر گرفته شوند. هدف از این مطالعه ارزیابی برخی شاخص‌ها و مقایسه پایداری تولید گندم، ذرت و نیشکر در کشت و صنعت‌های استان خوزستان بود. داده‌ها از کشت و صنعت شهید رجایی و دعبل خزاعی به روش مصاحبه حضوری و استفاده از داده‌های ثبت شده در دفاتر کشت و صنعت‌های مورد بررسی، جمع‌آوری گردید. شاخص‌های انرژی، خطر آلودگی کودهای شیمیایی و سموم کشاورزی، اثرات ماشین‌ها بر فشردگی خاک، خطر آلودگی هوا، هزینه‌های اجتماعی آن و اشتغال‌زایی جهت مقایسه و ارزیابی پایداری مزارع، استفاده شدند. جهت تلفیق و ارزیابی همه جانبه شاخص‌ها و رتبه‌بندی مزارع از روش‌های چند معیاره تاپسیس و وزن‌دهی آنتروپی استفاده شد. هر چند این شاخص‌ها و روش چند معیاره به طور کامل، پایداری مزارع را نشان نمی‌دهند ولی برای مقایسه‌ی پایداری بین مزارع و بهبود پایداری آن‌ها مؤثر می‌باشند. نتایج نشان داد که اشتغال‌زایی، فشردگی خاک، خطرات کود نیتروژن، آلودگی هوا و انرژی در میان شاخص‌های مورد بررسی به ترتیب، بیشترین تأثیر را در پایداری مزارع مورد بررسی دارند. در مزارع گندم، به جز اشتغال‌زایی، سایر شاخص‌ها دارای شرایط بهتری بودند. خطر فشردگی خاک در اثر تردد ماشین‌های کشاورزی در مزارع نیشکر زیاد بوده و به یکی از مشکلات اساسی آن تبدیل شده است ولی از نظر اشتغال‌زایی در شرایط بهتریست. آنالیز حساسیت نشان داد، پایداری مزارع مورد مقایسه نسبت به اشتغال‌زایی بسیار حساس می‌باشد بطوریکه با کاهش ۲۵/۳۹ درصد در وزن شاخص اشتغال‌زایی، تولید نیشکر از رتبه اول به رتبه آخر انتقال می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: اشتغال‌زایی، تاپسیس، شاخص‌های پایداری، کشاورزی، محیط زیست

Evaluation of Some Sustainability Indices in Khuzestan, Agro-Industries Using Multi-Criteria Decision Making (Case Study: Maize, Wheat and Sugarcane)

Shahla Hardani¹, Mohamad Javad SheikhDavoodi^{2*}, Abbas Asakereh³

Received: September 23, 2017 Accepted: July 18, 2018

1-MSc Student, Dept. of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran.

2 -Prof., Dept. of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran.

3Assist. Prof., Dept. of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran.

*Corresponding Author E-mail: Mj.davoodi@scu.ac.ir

Abstract

In assessment of agricultural sustainability, all environmental, economic, social and technical aspects must be taken into account. The purpose of this study is to evaluate and compare the sustainability of wheat, corn and sugarcane production in Khuzestan agro-industries. Data were collected from Shahid Rajaie and Debel khazai agro-industries. Indicators such as energy, the risk of chemical fertilizers and biocide pollution, the risk of soil compaction due to machines, air pollution, and employment were used to compare and evaluate the sustainability of farms. For integrated and comprehensive assessment of indicators and farms ranking, the TOPSIS methods were used. Although these indicators and multi-criteria methods did not show a complete overview of sustainability farms, but they were effective in comparing the sustainability of farms and improving their sustainability. The results showed that employment, the risk of soil compaction and nitrogen fertilizer, air pollution and energy indicators had the most important role in the sustainability of farms, respectively. In the wheat farms, except for employment, other indices were better than other farms. The risk of soil compaction due to agricultural machinery in sugarcane farms had been high and had become one of the main problems of these farms. On the other hand, employment in the sugarcane production per hectare was much higher than the production of wheat and corn. The sensitivity analysis showed that the sustainability of farms was very sensitive to the employment, so with a reduction of 25.39% in weight of employment indicator, sugarcane farms were ranked the last.

Keywords: Agriculture, Environment, MCDM, Sustainable Indices, Topsis

مقدمه

سنجش توسعه‌ی اجتماعی و فرهنگی در جمعیت روستایی ارائه می‌دهد (بورچ ۲۰۰۷). در دهه‌های اخیر، افزایش جمعیت از سویی و ارتقای میزان مصرف سرانه‌ی انسان‌ها از سوی دیگر، منجر به استفاده شدید

کشاورزی نقش حیاتی در توسعه‌ی اجتماعی، اقتصادی و انسانی داشته و خواهد داشت (لی ۲۰۰۵، بوتو و بازمی ۲۰۰۷) همچنین شاخص‌های مفیدی برای

سموم و کودهای شیمیایی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، کیفیت آب و خاک، فرسایش و فشردگی خاک، چشم‌انداز زمین و حفاظت از آن، تنوع زیستی، حیات وحش، درآمد، اشتغال، مهارت، سلامت، ایمنی کشاورزان و مصرف‌کنندگان و کارایی انرژی از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشند (لیوا و موریس ۲۰۰۱).

مکانیزاسیون کشاورزی جنبه‌ای مهم و شاید بتوان گفت مهم‌ترین جنبه کشاورزی پیشرفته امروز است که می‌تواند تأثیر مستقیم در جوانب مختلف پایداری بگذارد. این در حالی است که بدون تأمین انرژی و منابع سوختی هرگز مکانیزاسیون وارد بحث کشاورزی نمی‌شد و تشکیل سامانه‌های مکانیزه امروزی برای قرن‌ها به تأخیر می‌افتاد. آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای در مزارع از اثرات مستقیم مکانیزاسیون و ورود ماشین‌های کشاورزی به مزرعه است (بی‌نام ۲۰۰۵). یکی دیگر از اثرات مستقیم مکانیزاسیون بر پایداری، خطر فشردگی خاک است که می‌تواند اثرات منفی شدیدی بر تولید محصولات کشاورزی داشته باشد و هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم زیادی را بر اقتصاد مزرعه تحمیل کند. مسائل اقتصادی و اجتماعی مرتبط با اشتغال، بهداشت، ایمنی و حوادث محیط کشاورزی نیز از مسائل مهم در کشاورزی پایدار هستند (هوشمندان مقدم‌فر و شمس ۲۰۱۷). استفاده مؤثر از انرژی نیز از نیازهای اساسی کشاورزی پایدار است (کیزیلاسلان ۲۰۰۸). روش بررسی جریان و کارایی انرژی به طور گسترده برای تحلیل مسایل مختلف در کشاورزی پایدار استفاده می‌شود و تجزیه و تحلیل آن به عنوان شاخص پیش‌بینی پایداری بوم‌شناسی کشاورزی به کار می‌رود (سچرول ۱۹۹۴ و عساکره و همکاران ۲۰۱۰). موضوع مهم در کشاورزی پایدار حداقل مصرف انرژی نیست بلکه تولید مناسب با حداکثر سودآوری و بهره‌وری می‌باشد (ایسنگانم و همکاران ۲۰۰۷ و کوک و همکاران ۲۰۰۶).

و گسترده از زمین‌های کشاورزی شده است که تغییرات نامطلوب در خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی آب، هوا و زمین را به همراه داشته و کارکرد اکولوژیکی و بوم-شناسی را در بسیاری از نواحی و زمین‌های زراعی تحت تأثیر قرار داده است (اهرنس و کانتلهاردت ۲۰۰۹). در واقع بالا بودن نرخ بهره و هزینه‌ها و به دنبال آن بهره‌برداری بیش از حد از منابع طبیعی، باعث شده است، تولید در شرایطی افزایش یابد که توجه کمتری به محیط زیست شود. افزایش برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی و استفاده بی‌رویه از مواد شیمیایی مانند کودها و سموم، مثال‌هایی از نادیده گرفتن محیط زیست در سال‌های اخیر بوده است (قیصری و همکاران ۲۰۰۷). توسعه پایدار با این نگرش که از منابع باید به‌گونه‌ای استفاده شود که نه تنها نیاز نسل فعلی را برآورده سازد، بلکه امکان تأمین نیازهای نسل‌های آینده را نیز فراهم آورد، برنامه‌ریزی جامع و به هم پیوسته‌ای را در تمامی ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی ایجاب می‌کند. بی‌تردید استفاده کارا از منابع، یکی از اهداف عمده کشاورزی پایدار است، به عبارتی کشاورزی زمانی پایدار است که از لحاظ فنی امکان‌پذیر، از نظر اقتصادی موجه، از نظر سیاسی مناسب، از جنبه مدیریتی اجرا شدنی، از دیدگاه اجتماعی پذیرفتنی و به لحاظ محیطی سازگار باشد (زمانی و همکاران ۲۰۱۴). البته سارتوری و همکاران (۲۰۰۵) حفظ منابع طبیعی را مهم‌ترین هدف کشاورزی پایدار معرفی می‌کنند (هالبرگ ۱۹۹۹ و ون کالکر و همکاران ۲۰۰۵). همچنین پرمن و همکاران (۱۹۹۹) مفهوم پایداری را راهنمای توسعه‌ای معرفی و بیان می‌کنند که تصمیم‌گیری و انتخاب تکنولوژی باید بر اساس آن صورت گیرد. آنان بیان کردند که پایداری نیازمند این است که استانداردهای زندگی و توانایی تولید با گذشت زمان کاهش پیدا نکنند و این امر بدون آسیب‌رسانی به محیط زیست باشد. عوامل بسیاری تحت عنوان شاخص بر پایداری تولید محصولات زراعی تأثیر می‌گذارند که خطر آلودگی

نامناسب بودن شرایط اقلیمی ساحل خزر برای گیاه نیشکر، تولید آن در این ناحیه فاقد ارزش اقتصادی و صنعتی می‌باشد. از محصولات مهم دیگری که علاوه بر کشاورزان در برخی از کشت و صنعت‌های استان خوزستان کشت می‌شوند، محصولات استراتژیکی چون گندم و ذرت هستند.

بنابر مسائل ذکر شده و با توجه به اهمیت محصولات نیشکر، گندم، ذرت و اهمیت کشت و صنعت‌ها، در این مطالعه به مقایسه برخی از شاخص‌های پایداری تولید گندم و ذرت در کشت و صنعت شهید رجایی و تولید نیشکر در کشت و صنعت دعبل خزاعی که از کشت و صنعت‌های بسیار مهم در استان خوزستان هستند، پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

کشت و صنعت دعبل خزاعی در کیلومتر ۲۵ جاده اهواز-آبادان در جنوب اهواز قرار گرفته است. این منطقه دارای اقلیم گرم و خشک با تابستان‌های گرم می‌باشد. نوع خاک در این مزارع سنگین و نیمه سنگین است. مزارع معمولاً به صورت اشکال منظم با مساحت‌های ۲۵ هکتاری می‌باشند. این کشت و صنعت به منظور کشت نیشکر و صنایع جانبی آن احداث شده است، در حالی که کشت و صنعت شهید رجایی در نزدیکی شهر دزفول و در جاده شوش، جهت تولید محصولات کشاورزی غیر نیشکر احداث شده است. این منطقه نیز دارای اقلیم خشک با تابستان‌های گرم می‌باشد. گندم و ذرت از محصولات اصلی در این کشت و صنعت می‌باشند. کشت گندم و ذرت در این کشت و صنعت به صورت مکانیزه انجام می‌شود. داده‌های به روش مصاحبه حضوری با کاشناسان و مسئولین کشت و صنعت‌ها و همچنین با استفاده از داده‌های ثبت شده در دفاتر کشت و صنعت‌های مورد بررسی، جمع‌آوری گردید.

در بین نظام‌های متنوع بهره‌برداری کشاورزی، کشت تجاری (اولین بار پروفیسور گولدرگ^۱ از مکتب تجاری دانشگاه هاروارد معرفی گردید) شامل عملیاتی است که تمام مراحل تولید، فرآوری و توزیع محصولات زراعی را شامل شود (حقوقی ۲۰۱۴). به دنبال معرفی کشاورزی تجاری کشت و صنعت‌ها تشکیل گردیدند. در کشاورزی ایران، اصطلاح کشت و صنعت، پس از تصویب قانون تأسیس شرکت‌های خارجی، داخلی یا مختلط برای بهره‌برداری از اراضی زیر سد دز در شهرستان دزفول واقع در استان خوزستان، مورد استفاده قرار گرفت و سپس این نام برای فعالیت‌های مشابه نیز استفاده شد. در سال‌های اخیر علاوه بر نظام‌های کشاورزی مختلف که در بین کشاورزان وجود دارد، کشت و صنعت‌های متعددی (نیشکر و غیر نیشکر) در سطح استان خوزستان ایجاد شده‌اند. این کشت و صنعت‌ها از مهم‌ترین کشت و صنعت‌ها و طرح‌های توسعه ملی ایران می‌باشند که علی‌رغم مزایای فراوانی که ایجاد کردند، اثرات زیست محیطی و مخربی نیز به همراه داشتند و از اولین مراحل احداث، همواره با مشکلات و چالش‌های بسیاری برای ماندن و بهتر شدن مواجه بودند. کشت و صنعت‌های نیشکر، مهم‌ترین بزرگترین کشت و صنعت‌ها در استان خوزستان هستند. شکر یکی از محصولات مهم در دنیا و ایران است. حدود سه‌چهارم شکر تولیدی دنیا از نیشکر استحصال می‌شود. از طرف دیگر، طی سال‌های متوالی در سطح جهانی، تولید، تجارت و قیمت محصول اصلی نیشکر (شکر) به‌عنوان ابزار سیاسی در مبادلات تجاری مورد استفاده‌ی قدرت‌های جهانی قرار گرفته است (کاظم نژاد و همکاران ۱۳۸۹). در سال زراعی ۹۳-۹۴ سطح زیرکشت نیشکر در کشور ۸۷۱۶۰ هکتار بوده است که از این مقدار ۸۷۱۴۲ هکتار آن در استان خوزستان کشت شده است و تنها ۱۸ هکتار نیشکر دیم به صورت مزارع کوچک و پراکنده در استان مازندران کشت شده است. با توجه به

¹ Goldberg

شاخص‌های مورد بررسی

در این مطالعه انتخاب شاخص‌ها بر اساس داده‌های قابل اندازه‌گیری و محدودیت‌های دسترسی به داده‌ها انجام شد. به عنوان نمونه به دلیل عدم دسترسی به همه هزینه‌های تولید از محاسبه شاخص اقتصادی که از مهم‌ترین شاخص‌های پایداری است، صرف نظر گردید. در این مطالعه شاخص بیلان انرژی، خطر آلودگی سموم و کودهای شیمیایی، انتشار آلاینده‌های هوا و هزینه اجتماعی تخریب محیط زیست ناشی از آن‌ها، اشتغال‌زایی و تاثیر ماشین‌ها بر فشردگی خاک، ملاک ارزیابی و مقایسه پایداری قرار گرفتند. روشن است که در اکثر موارد این شاخص‌ها به طور قطعی و کامل میزان پایداری را بیان نمی‌کنند ولی برای مقایسه بین مزارع و تحلیل پایداری آن‌ها می‌توانند مناسب باشند (بی‌نام ۱۹۹۸، وبستر ۱۹۹۹، لیوا و موریس ۲۰۰۱ و سامی ۲۰۱۱).

انرژی

در تحلیل و بررسی بیلان انرژی یک سامانه کشاورزی، کل انرژی‌های ورودی و خروجی به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم که بشر در آن‌ها دخل و تصرف دارد و می‌توانند پایداری سامانه را به خطر بیندازند، در نظر گرفته می‌شوند. محاسبه انرژی ورودی و خروجی در مزارع و تفکیک آن‌ها با استفاده از هم ارز انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها انجام می‌شود. در ابتدا، مقدار نهاده‌های مصرفی و عملکرد محصولات در هر هکتار به دست آمد و سپس با ضرب مقادیر آن‌ها در هم ارز انرژی، مقدار انرژی ورودی و خروجی بر حسب MJ/ha محاسبه شد. انرژی‌های ورودی شامل انرژی نیروی کار، ماشین‌ها، سوخت، الکتریسیته، بذر، قلمه نیشکر، کود و سم می‌باشند. هم ارز انرژی نهاده‌ها و محصولات در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ضرایب هم ارز انرژی

هم ارز انرژی	نهاده یا ستانده	هم ارز انرژی	نهاده یا ستانده
۱۸۰ ^a (MJ/kg)	گاواهن	۴۷/۸ ^a (MJ/L)	سوخت دیزل
۱۴۹ ^a (MJ/kg)	دیسک	۱۲ ^a (MJ/kWh)	برق
۱۳۸ ^a (MJ/kg)	تراکتور	۷۸/۱ ^a (MJ/kg)	کود نیتروژن (N)
۱۳۳ ^a (MJ/kg)	کارنده	۱۷/۴ ^a (MJ/kg)	کود فسفات (P ₂ O ₅)
۱۲۹ ^a (MJ/kg)	سم‌پاش، کودپاش	۱۳/۷ ^a (MJ/kg)	کود پتاسیم (K ₂ O)
۱۳۸ ^c (MJ/kg)	تریلی، تانکر حمل مواد، فارور، لیلستون، لیستر	۰/۳۰۳ ^a (MJ/kg)	کود حیوانی
۱۱۶ ^a (MJ/kg)	کمباین	۸۵ ^a (MJ/kg)	سم توفوردی ^۱
۱۴۸ ^a (MJ/kg)	کلتیواتور	۲۳۸/۶۸ ^b (MJ/kg)	سم لاسو ^۲
۶-۸ ^a (MJ/kg)	متوسط سالیانه ادوات کشاورزی	۲۳۸/۶۸ ^b (MJ/kg)	سم دوپلوسان سوپر ^۳
۸-۱۰ ^a (MJ/kg)	متوسط سالیانه ماشین‌های کشاورزی	۲۵۰ ^a (MJ/kg)	سم آمترین ^۴
۱۴ ^b (MJ/kg)	بذر و دانه (گندم و ذرت)	۲۵۰ ^a (MJ/kg)	سم متری‌بوزین ^۵
۱/۳ ^a (MJ/kg)	نیشکر	۴۴۵ ^a (MJ/kg)	سم گلیفوسات ^۶
۱/۹۶ ^b (MJ/kg)	کارگر و نیروی انسانی	۱۹۰ ^a (MJ/kg)	سم آترازین ^۷
		۲۳۸/۶۸ ^b (MJ/kg)	سم تاپیک ^۸

a: کیتانی ۱۹۹۹، b: سینگ و میتال ۱۹۹۲ و c: الماسی و همکاران ۲۰۰۸

۵. Metribuzin
۶. Glyphosate
۷. Atrazine
۸. Topik

۱. 2-4-D
۲. Lasso
۳. Duplosan super
۴. Ametryn

خطرات آلودگی کودها به کار می‌رود. میزان آبشویی به نوع خاک، میزان بارندگی، مدیریت و نحوه‌ی دادن کود و میانگین کوددهی بستگی دارد (جونس و توماسون، ۱۹۹۰). همان طور که بیان شد علاوه بر آبشویی، کودهای شیمیایی اثرات دیگر مانند تغییر ساختمان خاک، تغییر خاصیت اسیدی و قلیایی خاک و موجودات زنده خاک دارند. بنابراین مقدار آبشویی نمی‌تواند معیار جامعی برای بررسی خطرات و تاثیرات کودهای شیمیایی باشد. همچنین محاسبه مقدار آبشویی و نشت کودها بسیار مشکل است. به همین دلیل و همچنین به دلیل اینکه هدف این مطالعه مقایسه مزارع سه محصول است، از مقدار و نوع کودهای شیمیایی مصرفی جهت مقایسه اثرات آن‌ها بر پایداری سامانه‌های کشاورزی استفاده شد. همچنین جهت تعدیل وزن‌های نهایی از وزن‌های قضاوتی که بر اساس نوع کود، شرایط کوددهی، نوع خاک و شرایط اقلیمی و آبیاری با استفاده از نظر کارشناسان به دست آمدند، نیز استفاده شد.

خطر ناشی از سموم کشاورزی

سموم مختلفی در تولید سه محصول مورد بررسی استفاده می‌شوند که همگی از نوع علفکش می‌باشند. میانگین سموم مورد استفاده در هکتار (نوع و مقدار) در هر سه نوع مزارع به دست آمد. در تولید گندم از سموم دوپلوسان سوپر، توفوردی و تاپیک استفاده می‌شود در صورتی که در تولید ذرت علاوه بر توفوردی از سموم لاسو و آترازین نیز استفاده می‌گردد. در کشت و صنعت نیشکر، سموم توفوردی، گلیفوسات، آترازین، آمترین و متری‌بوزین جهت مبارزه با علف‌های هرز به کار می‌روند. خطر زیست محیطی سموم بیشتر با مقدار سموم وارد شده به آب‌های سطحی و زیرزمینی و سمیت سموم بیان می‌شود. با وجود این دو عامل نیز، دید کاملی از خطر مرتبط با سموم به دست نمی‌آید. همچنین محاسبه میزان نشت سموم به آب‌ها نیز آسان نخواهد بود. در این مطالعه بر اساس نیمه عمر و شدت سمیت

شاخص‌های انرژی مختلفی مانند نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و انرژی خالص خروجی وجود دارند. نسبت انرژی که به آن کارایی انرژی نیز گفته می‌شود، شاخص بدون بعدی است که وابستگی کمتری به سایر عوامل دارد. همچنین دامنه تغییرات این شاخص محدود و قابل پیش‌بینی می‌باشد، در صورتی که بهره‌وری و شدت انرژی وابسته به عملکرد محصول و دارای دامنه تغییرات زیادی می‌باشند. به همین دلیل در این مطالعه از شاخص نسبت انرژی برای مقایسه مزارع استفاده شد. نسبت انرژی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (ایسنگانم و همکاران ۲۰۰۷).

$$\text{رابطه (۱)} \quad \frac{\text{انرژی خروجی (MJ/ha)}}{\text{انرژی ورودی (MJ/ha)}} = \text{نسبت انرژی}$$

خطر فشردگی خاک در اثر تردد ماشین‌ها

علاوه بر تاثیر کودهای شیمیایی و مدیریت مزرعه به خصوص روش‌های خاک‌ورزی و عملیات زراعی، فشردگی خاک در یک مزرعه به میزان تردد و وزن ماشین‌های کشاورزی بستگی دارد. جهت مقایسه تاثیر ماشین‌ها بر فشردگی خاک از انرژی ماشین که به آن انرژی نهفته ماشین نیز گفته می‌شود، استفاده گردید. در واقع برای محاسبه انرژی ماشین در واحد سطح، وزن ماشین، مدت زمان استفاده از ماشین در واحد سطح و نوع ماشین و عملیات در نظر گرفته می‌شود. انرژی ماشین با استفاده از رابطه ۲ به دست آمد (لیوا و موریس، ۲۰۰۱).

$$\text{رابطه (۲)} \quad E = \frac{WEq}{C_{AN}}$$

که E، انرژی وارد شده از طرف ماشین (MJ/ha)، W، وزن ماشین یا ادوات (kg)، Eq، هم ارز انرژی هر واحد از وزن ماشین یا ادوات (MJ/kg)، C، ظرفیت واقعی ماشین (ha/h) و N عمر مفید ماشین (h) است.

خطر ناشی از آلودگی و تاثیر کودهای شیمیایی

مقدار آبشویی و نشت نترات به آب‌های زیرزمینی و سطحی به عنوان یکی از شاخص‌های

میزان تولید و پراکندگی نیروی کار در طول فصل تولید دارد.

خطر آلاینده‌های هوا

محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا بر اساس شاخص انتشار آن‌ها به ازای هر واحد سوخت دیزل و مقدار تصاعد گاز NO_x از کود نیتروژن، صورت گرفت. شاخص انتشار، مقدار معرفی است که مقدار آلاینده‌های آزاد شده به اتمسفر در ارتباط با یک فعالیت را تشریح می‌کند. شاخص‌های انتشار به طور معمول به عنوان وزن یک آلاینده تقسیم بر وزن، حجم، فاصله یا دوره زمانی واحد یک فعالیتی که آلاینده‌گی را انتشار می‌دهد، بیان می‌شود. میانگین شاخص انتشار آلاینده‌های هوا از سوخت دیزل بر اساس ترازنامه‌های انرژی (۲۰۱۵) کشور محاسبه و در جدول ۲ نشان داده شده است. مقدار انتشار از کود نیتروژن ۱/۵۷ درصد کود نیتروژن در نظر گرفته شد (کول و همکاران ۱۹۹۶). از محاسبه مقدار آلاینده‌های منتشر شده در اثر سوزاندن مزارع نیشکر به دلیل عدم دسترسی به داده‌ها و حجم نی نیشکری که سوزانده می‌شود، صرف نظر شد.

سموم و در نهایت نظر کارشناسان، به سموم از نظر خطرناک بودن برای محیط زیست با استفاده از روش دو قطبی فاصله‌ای (مومنی ۲۰۱۴) امتیازدهی شد. سپس مقدار مصرف سموم در امتیازات ضرب و مقادیر به دست آمده، نرمال‌سازی شدند.

اشتغال‌زایی

شاخص‌های مختلفی جهت اندازه‌گیری اشتغال-زایی در سامانه‌های کشاورزی معرفی شده‌اند که می‌توان به نفر ساعت مورد نیاز در هکتار، نیروی کار دائم در هکتار، نفر ساعت مورد نیاز به ازای هر واحد محصول تولیدی و نفر ساعت مورد نیاز به ازای هر واحد درآمد، اشاره کرد (سامی ۲۰۱۱) در این مطالعه نیروی کار به دائم یا موقت بودن تفکیک نشد و کل نیروی کار مورد استفاده به صورت نفر ساعت بر هکتار جهت انجام مقایسه و تحلیل پایداری استفاده شد. این شاخص نسبت به شاخص‌های دیگر قابلیت کاربردی بیشتری دارد و کمترین وابستگی را به درآمد، دائمی یا موقت بودن،

جدول ۲- شاخص انتشار آلاینده‌های هوا و هزینه اجتماعی تخریب محیط زیست (بی‌نام، ۲۰۱۵)

CH_4	CO_2	SPM	CO	SO_2	NO_x	
۰/۱۳۵	۲۸۷۲/۸۲۹	۸/۲۶۷	۴/۳۸۴	۱۴/۶۱۲	۲۱/۷۷۱	دیزل (g/l)
۲۱۰۰	۱۰۰	۴۳۰۰۰	۱۸۷۵	۱۸۲۵۰	۶۰۰۰	هزینه تخریب (ریال بر کیلوگرم)

و یا در تضاد با هم می‌باشند (به عنوان مثال مصرف کودهای شیمیایی موجب افزایش انرژی خروجی می‌شود ولی از طرف دیگر خطرات و اثرات بد کودهای شیمیایی افزایش می‌یابد). بنابراین باید از روش‌های مناسب و کارآمد جهت مقایسه مزارع و بررسی شاخص‌ها استفاده کرد. در این بین، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به عنوان محور اصلی زیر مجموعه ارزیابی پایداری، رویکردی مفید برای ایجاد اطلاعات و ارزیابی

روش تصمیم‌گیری چند معیاره^۱

وجود شاخص‌های مختلف، مقایسه و اولویت‌بندی پایداری را با یک تصمیم‌گیری چند معیاره مواجه می‌کند. در اکثر موارد تصمیم‌گیری‌ها وقتی مطلوب و مورد رضایت تصمیم‌گیرنده است که تصمیم‌گیری بر اساس چندین معیار، مورد بررسی قرار گرفته باشد. در این مطالعه شاخص و معیارهای مختلفی در نظر گرفته شده است که از یک سنخیت و مقیاس نبوده

^۱ . Multiple Criteria Decision Making (MCDM)

گزینه‌ها از نظر هر شاخص امتیاز داده می‌شود. این ماتریس حاوی اطلاعاتی است که آنتروپی می‌تواند به عنوان معیاری برای ارزیابی آن به کار رود. آنتروپی در نظریه اطلاعات یک معیار عدم اطمینان است که به وسیله توزیع احتمال مشخص P_i بیان می‌شود. محاسبه اوزان به این روش شامل گام‌های زیر است (اصغری‌پور ۲۰۰۸ و مومنی ۲۰۱۴):

گام اول: در این گام P_{ij} محاسبه می‌گردد.

$$P_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

گام دوم: مقدار آنتروپی (E_j) محاسبه می‌گردد.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m [p_{ij} \ln(p_{ij})] \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$k = \frac{1}{\ln(m)} \quad \text{رابطه (۵)}$$

گام سوم: مقدار عدم اطمینان (d_j) با استفاده از

رابطه ۶ به دست می‌آید.

$$d_j = 1 - E_j \quad \text{رابطه (۶)}$$

گام چهارم: محاسبه اوزان (w_j) با استفاده از

رابطه ۷ انجام می‌شود.

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^n d_j} \quad \text{رابطه (۷)}$$

وزن‌های به دست آمده، وزن نسبی شاخص‌های

مورد بررسی در ماتریس تصمیم را نشان می‌دهند که مجموع آن‌ها برابر با یک می‌باشد.

گام پنجم: در این گام وزن‌های نسبی به دست

آمده از مرحله قبلی با استفاده از وزن‌های قضاوتی و ذهنی تعدیل می‌شوند.

$$w_j = \frac{\lambda_j d_j}{\sum_{i=1}^n \lambda_j d_j} \quad \text{رابطه (۸)}$$

λ_j وزن‌های ذهنی و قضاوتی می‌باشند. در

صورتی که این وزن‌ها موجود نباشند، این مرحله منتفی است. در این مطالعه وزن‌های قضاوتی و ذهنی شاخص‌های مورد بررسی با استفاده از میانگین هندسی نظرات کارشناسان به دست آمدند و جهت تعدیل وزن‌های محاسبه شده با روش آنتروپی، استفاده شدند.

تصمیم‌گیری در مسائل متعدد و اهداف متناقض به شمار می‌روند (بل و همکاران ۲۰۰۳). دلیل استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره در ارزیابی پایداری این است که تجزیه و تحلیل اطلاعات ذهنی و عینی را در یک چارچوب نظام‌مند فراهم می‌سازد (پنتی و باتارای ۲۰۰۵). روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به طور گسترده در مطالعات پایداری کشاورزی استفاده شده‌اند که می‌توان به مطالعه سنجش و اولویت‌بندی پایداری اجتماعی در مناطق روستایی (پورطاهری و همکاران ۲۰۱۱)، تحلیل و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر تولید ذرت دانه‌ای با تأکید بر پایداری محیط زیست (سلیمانی و همکاران ۲۰۱۴)، طرح‌های توسعه منابع آب مناطق روستایی استان خوزستان (دحیماوی و همکاران ۲۰۱۵) و شناسایی مناسب‌ترین رقم جهت پایداری نظام کشت برنج (مومنی هلالی و همکاران ۲۰۱۵) اشاره کرد.

وزن‌دهی به شاخص‌ها

در اکثر روش‌های چند معیاره باید اهمیت نسبی معیارها مشخص گردد. روش‌های مختلفی جهت وزن‌دهی به معیارها و شاخص‌ها وجود دارند که روش آنتروپی یکی از معروف‌ترین روش‌هایی است که در این زمینه به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. آنتروپی یک مفهوم عمده در رشته و زمینه‌های مختلف علمی است که نشان دهنده مقدار عدم اطمینان موجود از محتوای انتظار اطلاعاتی از یک پیام است. ایده روش آنتروپی بر این است که هر چقدر پراکندگی در مقادیر یک شاخص بیشتر باشد، آن شاخص از اهمیت بیشتری برخوردار است. در روش آنتروپی، مثبت یا منفی بودن شاخص‌ها تاثیری در محاسبه اوزان ندارد. این روش زمانی که داده‌های یک ماتریس تصمیم به طور کامل مشخص شده باشند، می‌تواند برای ارزیابی وزن‌ها به کار رود (مومنی ۲۰۱۴). ماتریس تصمیم ماتریسی است که هر سطر آن نشان دهنده یک گزینه و هر ستون نشان دهنده یک شاخص است. در واقع در این ماتریس به

مدل چند معیاره تاپسیس^۱

مدل‌های چند معیاره مختلفی وجود دارد که جهت انتخاب یا اولویت‌بندی گزینه‌ها از نظر شاخص‌ها و معیارهای مختلف به کار می‌روند. مدل تاپسیس، یکی از بهترین مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل در ۱۹۸۱ میلادی توسط هوانگ و یون پیشنهاد شد. در این روش m گزینه به وسیله n شاخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. اساس این تکنیک 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. فرض بر این است که مطلوبیت هر شاخص به طور یکنواخت افزایشی یا کاهششی است. این روش شامل شش مرحله زیر است (اصغرپور ۲۰۰۸؛ مومنی ۲۰۱۴):

مرحله اول: در این مرحله ماتریس تصمیم با استفاده از رابطه ۹ بی‌مقیاس می‌شود.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_i a_{ij}^2}} \quad \text{رابطه (۹)}$$

مرحله دوم: ماتریس بی‌مقیاس موزون (V)، با ضرب ماتریس بی‌مقیاس شده (N) در ماتریس قطری وزن‌ها ($W_{n \times n}$) به دست می‌آید.

$$V = N \times W_{n \times n} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

مرحله سوم: در این مرحله، راه حل ایده‌آل مثبت و راه حل ایده‌آل منفی تعیین می‌گردند. راه حل ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی، به صورت زیر تعریف می‌شوند:

[بردار بهترین مقادیر هر شاخص ماتریس V] = راه حل ایده‌آل مثبت (V_j^+)

[بردار بدترین مقادیر هر شاخص ماتریس V] = راه حل ایده‌آل منفی (V_j^-)

بهترین مقادیر برای شاخص مثبت، بزرگ‌ترین مقادیر و برای شاخص‌های منفی، کوچک‌ترین مقادیر است. بدترین مقادیر برای شاخص مثبت، کوچک‌ترین مقادیر و برای شاخص‌های منفی بزرگ‌ترین مقادیر می‌باشند.

مرحله چهارم: جهت به دست آوردن میزان فاصله‌ی گزینه تا ایده‌آل‌های مثبت و منفی، فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده‌آل مثبت (d_j^+) و ایده‌آل منفی (d_j^-) بر اساس رابطه ۱۱ و ۱۲ محاسبه می‌شود.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad i=1,2,\dots,m \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i=1,2,\dots,m \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

مرحله پنجم: نزدیکی نسبی (CL_i^*) یک گزینه به راه‌حل ایده‌آل از رابطه ۱۳ تعیین می‌گردد.

$$CL_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

مرحله ششم: در نهایت گزینه‌ها بر اساس CL رتبه‌بندی می‌شوند. بزرگ‌تر بودن این مقدار برای هر گزینه، نشان دهنده بهتر بودن وضعیت در آن شاخص است.

نتایج و بحث

مشخص گردید که در جدول ۳ نشان داده شده است. نسبت انرژی در تولید گندم و نیشکر بیش از یک است و نشان می‌دهد که مقدار انرژی تولیدی بیش از انرژی

کل انرژی‌های ورودی و خروجی به تفکیک سه محصول محاسبه و بر اساس آن نسبت انرژی مزارع

^۱. TOPSIS

ورودی است، در حالی که نسبت انرژی در تولید ذرت کمتر از یک بوده (برابر با ۰/۸) و انرژی تولیدی در این سامانه کمتر از انرژی مصرفی است. صفایی‌نژاد (۲۰۱۰) نسبت انرژی تولید ذرت دانه‌ای در شهرستان کوه‌دشت را ۱/۸ به دست آورد که عملکرد بیشتر و مصرف کمتر نهاده در آن موجب افزایش آن نسبت به تحقیق حاضر شده است. یوسفی و همکاران (۲۰۱۴) نسبت انرژی در تولید ذرت در استان کرمانشاه را ۰/۶۷ به دست آوردند. در کشاورزی انرژی^۱ که هدف، تولید سوخت و انرژی است، مقدار نسبت انرژی باید بیش از یک باشد، در غیر اینصورت تولید نباید انجام شود ولی در مورد تامین مواد غذایی، دارویی و فعالیتهای اقتصادی می‌تواند کمتر از یک باشد. در مجموع بیشتر بودن این شاخص نشان دهنده پایدارتر بودن سامانه تولیدی و اثرات کمتر آن بر محیط زیست است. تولید گندم با مقدار ۱/۳۱ بیشترین نسبت انرژی را دارد و از این جنبه بهترین وضعیت را دارد. نسبت انرژی تولید گندم در مطالعه شاهین و همکاران (۲۰۰۸) در استان اردبیل، تقوی فر و مردانی (۲۰۱۵) در استان آذربایجان غربی، ضیایی و همکاران (۲۰۱۵) در سیستان و بلوچستان و خوشنویسان و همکاران (۲۰۱۳) در فریدون شهر به ترتیب ۱/۹۷، ۱/۷۴، ۱/۴۹ و ۰/۴۷ محاسبه شده است. در مزارع گندم و ذرت انرژی لازم جهت آبیاری بیشترین سهم را به خود اختصاص داد و انرژی غیرمستقیم کودها در رتبه دوم قرار گرفت. در تولید نیشکر انرژی لازم جهت آبیاری و سوخت دیزل به ترتیب بیشترین سهم را به خود اختصاص دادند و انرژی کودها در رتبه سوم قرار گرفت. از آنجایی که در محاسبه این شاخص، کل انرژی‌های ورودی چه به صورت مستقیم و چه غیرمستقیم و انرژی خروجی محاسبه می‌شود، می‌توان گفت که این شاخص به نحوی شاخص‌های دیگر را در بر می‌گیرد. در نظرسنجی از متخصصان، امتیاز بیشتری به شاخص انرژی نسبت به سایر شاخص‌های مورد

بررسی اختصاص داده شد (جدول ۵). در مطالعات پایداری کشاورزی، انرژی و جریان آن به عنوان یکی از عوامل مهم و نماینده پایداری تلقی می‌شود به طوری که استفاده مؤثر از انرژی یکی از نیازهای اساسی کشاورزی پایدار است (ون کاونبرگ ۲۰۰۷، کیزیل‌اسلان و همکاران ۲۰۰۸ و منگ و همکاران ۲۰۱۰).

افزایش استفاده از ماشین‌های کشاورزی همراه با افزایش اندازه، وزن و ظرفیت آنها، اگر چه مزیت‌های زیادی را به دنبال داشته است اما باعث فشردگی و افزایش تراکم خاک شده و اثرات منفی بر تولید محصولات کشاورزی داشته است. مزارع کشت و صنعت‌های مورد بررسی در خاک‌هایی با بافت سنگین یا نیمه سنگین قرار گرفته‌اند که فشردگی خاک به خصوص برای نیشکر به یکی از مشکلات اساسی آن تبدیل شده است. انرژی وارد از ماشین‌های مورد استفاده در کشت و صنعت نیشکر به دلیل عملیات‌های بیشتر و استفاده از ماشین‌های سنگین‌تر، بیشتر به دست آمد (جدول ۳). انرژی وارد شده از ماشین‌های کشاورزی در مزارع نیشکر به ترتیب ۲/۶۲ و ۴/۰۲ برابر مزارع ذرت و گندم به دست آمد. همچنین رطوبت بیشتر مزارع نیشکر هنگام تردد ماشین‌ها سبب افزایش فشردگی خاک شده است به طوری که هر ساله جهت شکستن لایه‌های سخت خاک انجام خاک‌ورزی سنگین و عمیق نیاز است تا رشد نیشکر با مشکل مواجه نشود. همین امر موجب افزایش استفاده از ماشین، هزینه‌ها و مشکلات زیست محیطی می‌شود. در واقع مخرب‌ترین اثر تردد ماشین‌های کشاورزی در مزارع، فشردگی خاک و خروج مواد غذایی از دسترس گیاه است (وز ۲۰۰۳). افزایش تراکم خاک باعث کاهش خلل و فرج شده، تهویه خاک و اکسیژن آن را کاهش و دی‌اکسید کربن را افزایش می‌دهد. همچنین تراکم باعث افزایش مقاومت به نفوذ خاک شده و رشد ریشه را با مشکل مواجه می‌کند که اگر

^۱ . Energy Farming

شد. مجموع مصرف کود فسفر و پتاسیم در مزرعه ذرت بیشتر از دو مزرعه دیگر است. لازم به ذکر است که کود پتاسیم در کشت و صنعت نیشکر مصرف نمی‌شود. میانگین مصرف کود فسفر (به صورت P_2O_5) در کشت و صنعت نیشکر برابر با $80/7$ کیلوگرم در هکتار به دست آمد.

آفت‌کش و حشرکش‌ها جزء جدایی ناپذیر کشاورزی هستند ولی در کنار فایده‌های زیادی که به دنبال داشته‌اند، موجب آلودگی محیط زیست، مواد غذایی و آب آشامیدنی شده‌اند (لیوا و موریس ۲۰۰۱). مصرف کلی سموم علف‌کش در مزارع ذرت نسبت به مزارع گندم و نیشکر بیشتر به دست آمد. همچنین مقادیر به دست آمده پس از نرمال‌سازی نیز خطرناکتر بودن مصرف سموم برای محیط زیست و پایداری در تولید ذرت را نشان می‌دهند در حالی که کمترین خطرات مربوط به مزارع تولید گندم بود (جدول ۳). به طور کلی، سم مصرفی و میزان مواد موثر در مزارع سه محصول مورد بررسی نسبتاً کم بود و به همین علت اهمیت خطر سموم و تاثیر آن‌ها در ایجاد اختلال در پایداری نسبت به برخی شاخص‌های دیگر در وزن‌های قضاوتی و ذهنی کارشناسان کمتر در نظر گرفته شد.

این مقاومت از نیروی رشد ریشه بیشتر باشد، رشد آن متوقف می‌شود (چن و همکاران ۲۰۰۵).

مقادیر مصرف کود نیتروژن و سایر کودها در جدول ۳ نشان داده شده است. میانگین مصرف کود نیتروژن در تولید نیشکر با $325/4$ کیلوگرم در هکتار بیشتر از دو محصول دیگر است که بیشتر به صورت محلول در آب آبیاری به مزارع داده می‌شود. در مزارع ذرت مصرف کود نیتروژن $2/5$ برابر بیشتر از مزارع گندم است. به دلیل اثرات و مصرف کمتر سایر کودهای شیمیایی نسبت به کود نیتروژن، این کود و آلاینده‌های آن مهم‌ترین عامل مورد بحث در مطالعات و بررسی‌ها است و کودهای فسفر و پتاس کمتر مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند. نیتروژن عنصری کلیدی در تغذیه گیاهان محسوب می‌شود ولی مصرف نادرست آن منجر به انتقال آن از زمین‌های کشاورزی به آب‌های زیرزمینی و سطحی، تصاعد گاز NO_2 از آن، تاثیر بر خصوصیات خاک و موجودات زنده می‌شود و همین امر باعث شده است که مصرف این کود به یک شاخص مهم در سنجش پایداری تبدیل شود. در این مطالعه از مقدار مصرف کود نیتروژن به عنوان شاخص خطر کود نیتروژن استفاده شد در حالی که در مورد کودهای فسفر و پتاس، جهت کاهش معیارهای مورد بررسی از مجموع آن‌ها استفاده

جدول ۳- ماتریس تصمیم و مقادیر شاخص‌های مورد بررسی مزارع

مزارع	شاخص						
	(C_1)	(C_2)	(C_3)	(C_4)	(C_5)	(C_6)	(C_7)
گندم	۱/۳۱	۰/۲۵۳	۹۶/۹	۴۷/۳	۲۲/۶۸	۶۸۰/۴۱	۱۹۱۰/۲
ذرت	۰/۸۰	۰/۴۱۶	۲۴۰/۳	۱۱۵/۸۳	۶۴/۳	۱۲۲۷۰/۹	۲۹۳۲/۸
نیشکر	۱/۱۶	۰/۳۳۰	۳۲۵/۴	۸۰/۷	۳۸۶/۵	۴۵۴۷۵/۱	۷۶۹۰/۴

C_1 : نسبت انرژی، C_2 : سموم، C_3 : کود نیتروژن (kg/ha)، C_4 : کود فسفر و پتاسیم (kg/ha)، C_5 : نیروی کار (نفر ساعت در هکتار)، C_6 : آلودگی هوا (ریال در هکتار) و C_7 : فشردگی خاک (MJ/ha)

مزارع به دو صورت موقت و دائم در مزارع مشغول به کار می‌باشند. راننده‌ها و اپراتورهای ماشین‌ها و ادوات بیشترین نیروی کار دائم در تولید هر سه محصول را تشکیل می‌دهند. نیروی کار مورد استفاده در کشت ذرت

یکی از معیارهای اصلی در بخش اجتماعی، اشتغال است. کل نیروی کار مورد استفاده در تولید هر یک از سه محصول محاسبه و به صورت نفر ساعت بر هکتار در جدول ۳ نشان داده شده است. نیروی کار

شاخص بر پایداری تاثیر بسزایی دارند. امروزه افزایش اشتغال نیروی کار، یکی از اساسی‌ترین مسائل و شاید مهم‌ترین مسأله اقتصادی و اجتماعی کشور می‌باشد. با توجه به شرایط کشور و بالا بودن نرخ بیکاری (به خصوص در استان خوزستان) و دستمزد کمتر نیروی کار نسبت به کشورهای پیشرفته، مقدار بیشتر این شاخص نشان دهنده پایداری بیشتر برای سامانه تولیدی است.

مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای و هزینه اجتماعی تخریب محیط زیست ناشی از آن‌ها از سوخت مصرفی و تصاعد گاز نیتروژن از کود نیتروژن محاسبه و در جدول ۴ نشان داده شد. کل آلاینده‌ها منتشر شده از مصرف سوخت دیزل و مصرف کود نیتروژن از هر هکتار مزارع گندم، ذرت و نیشکر در یک سال به ترتیب برابر است با ۲۱۳/۱۰، ۳۶۸/۱۵ و ۱۵۰۳/۸۰ کیلوگرم محاسبه شد که گازکربنیک ۹۷/۹۸ درصد وزنی آن را شامل می‌شود. هزینه اجتماعی تخریب محیط زیست ناشی از انتشار آلاینده‌ها در مزارع گندم، ذرت و نیشکر به ترتیب ۶۸۰۴۱، ۱۲۲۷۰۹ و ۴۵۴۷۵۱ ریال بر هکتار به دست آمد. انتشار آلاینده‌های هوا و گازهای گلخانه‌ای از مهم‌ترین مشکلات زیست محیطی جهان امروز می‌باشند. جهت مقایسه مزارع از نظر خطر آلودگی هوا در روش تاپسیس از هزینه تخریب محیط زیست استفاده شد.

شامل نیروی کار جهت ماشین‌ها و ادوات، آبیاری و کودپاشی دستی است ولی در مزارع گندم، کودپاشی دستی تقریباً وجود ندارد. نیشکر محصول چند ساله است و نیاز است پس از چند سال که عملکرد نیشکر از مقدار مشخصی کمتر شد، مجدداً کشت آن به صورت قلمه انجام شود. در مرحله کشت قلمه نیشکر، نیاز به نیروی کارگری بسیار زیاد است و موجب می‌شود که نیروی کار در سال اول کشت (مزارع پلنت) بیشتر از سال‌های بعد (مزارع راتون) که نیاز به کشت وجود ندارد، باشد. عمر مزارع مختلف نیشکر متفاوت است و از ۴ سال تا ۶ و حتی ۷ سال وجود دارد. جهت محاسبه نیروی کار در یک هکتار، میانگین سالیانه نیروی کار از سال اول تا سال آخر محاسبه شد. همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، نیروی کار مورد نیاز در تولید نیشکر بسیار بیشتر از تولید ذرت و گندم است. کشت دستی، تهیه قلمه و عملیات‌های زراعی بیشتر، به ترتیب موجب افزایش ۶/۱ و ۱۷ برابری نیروی کار در تولید نیشکر نسبت به تولید ذرت و گندم شده است. تاثیر این شاخص در پایداری، بستگی زیادی به شرایط اجتماعی و اقتصادی هر منطقه و کشور دارد. مقدار کمتر این شاخص نشانگر کاهش هزینه‌های مزرعه است در حالی که مقدار بیشتر آن از نظر اجتماعی مطلوب‌تر است. هزینه‌های نیروی کار، میزان در دسترس بودن نیروی کارگر و هزینه‌های سوخت و ماشین‌ها از عواملی هستند که بر نقش این

جدول ۴- مقدار انتشار و هزینه اجتماعی آلاینده‌های هوا در هکتار

CH ₄	CO ₂	SPM	CO	SO ₂	NO _x		
۹/۷۸	۲۰۸۰۲۱/۶۲	۵۹۸/۶۱	۳۱۷/۴۵	۱۰۵۷/۹۱	۳۰۹۷/۷۰	گرم	گندم
۱۶	۱۶۶۴۲	۲۰۵۹۲	۴۷۶	۱۵۴۴۵	۱۴۸۶۹	ریال	
۱۶/۸۳	۳۵۸۲۴۱/۹۰	۱۰۳۰/۸۹	۵۴۶/۶۸	۱۸۲۱/۸۷	۶۴۸۷/۴۳	گرم	ذرت
۲۸	۲۸۶۵۹	۳۵۴۶۳	۸۲۰	۲۶۵۹۹	۳۱۱۴۰	ریال	
۶۹/۲۴	۱۴۷۳۴۷۴/۵۱	۴۲۴۰/۱۴	۲۲۴۸/۵۵	۷۴۹۳/۴۷	۱۶۲۷۴/۶۱	گرم	نیشکر
۱۱۶	۱۱۷۸۷۸	۱۴۵۸۶۱	۳۳۷۳	۱۰۹۴۰۵	۷۸۱۱۸	ریال	

کدام از شاخص‌ها تعیین گردید که در جدول ۵ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌گردد از نظر

با استفاده از ماتریس تصمیم، روش آنترپوی شانون و وزن‌های قضاوتی کارشناسان، وزن و اهمیت نسبی هر

آنجایی که هدف تصمیم‌گیری چند معیاره مقایسه، انتخاب یا اولویت‌بندی گزینه‌ها است، روش آنتروپی و وزن‌دهی آن می‌تواند بسیار مناسب باشد. به عنوان مثال اگر یک شاخص در بررسی پایداری بسیار مهم باشد ولی در بین گزینه‌های مورد بررسی دارای شرایط تقریباً یکسان باشد، دیگر نمی‌تواند در رتبه‌بندی و مقایسه گزینه‌ها تاثیرگذار باشد و بین گزینه‌ها تمایز ایجاد کند. در واقع این موضوع باعث می‌شود که در وزن‌دهی به روش آنتروپی، وزن کمتری به آن اختصاص داده شود. به همین دلیل شاخص نسبت انرژی با وجود اینکه در وزن‌های قضاوتی کارشناسان بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داد ولی در وزن‌های تعدیل شده با ۰/۰۵۵ در رتبه پنجم قرار گرفت.

قضاوت ذهنی بیشترین وزن به ترتیب با ۰/۳۳ و ۰/۲۳۸ به شاخص انرژی و فشردگی خاک اختصاص داده شد. در حالی که بر اساس وزن‌های تعدیل شده، بیشترین وزن با ۰/۳۷۸ به شاخص اشتغال تعلق گرفت. تفاوت زیاد بین نیروی کار مورد استفاده در سه نوع محصول و پراکندگی بیشتر در مقادیر شاخص اشتغال نسبت به شاخص‌های دیگر موجب افزایش اهمیت و قدرت تمایزکنندگی این شاخص شده است. همچنین پراکندگی در مقادیر و ارزش بالایی که در قضاوت ذهنی به شاخص فشردگی خاک تعلق گرفت باعث شد که این شاخص با وزن ۰/۳۱۵ در رتبه دوم قرار گیرد. همان طور که بیان شد در وزن‌دهی شاخص‌ها به روش آنتروپی، شاخص‌هایی که دارای پراکندگی بیشتر در مقادیر باشند از وزن بیشتری برخوردار می‌شوند. از

جدول ۵- وزن نسبی شاخص‌های ارزیابی پایداری مزارع

شاخص	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
W	۰/۰۱۶۸	۰/۰۱۶۹	۰/۰۸۴۴	۰/۰۵۱۲	۰/۴۳۴۲	۰/۲۵۱۵	۰/۱۴۴۹
λ	۰/۳۳۳۳	۰/۰۹۵۲	۰/۱۴۲۹	۰/۰۴۷۶	۰/۰۹۵۲	۰/۰۴۷۶	۰/۲۳۸۱
W'	۰/۰۵۱۰	۰/۰۱۴۷	۰/۱۱۰۱	۰/۰۲۲۳	۰/۳۷۷۵	۰/۱۰۹۳	۰/۳۱۵۰

آلودگی هوا و فشردگی خاک از دو محصول دیگر وضعیت بهتری دارد ولی در اشتغال‌زایی وضعیت مطلوبی ندارد. در تولید نیشکر شاخص اشتغال‌زایی بهترین وضعیت را نسبت به دو محصول دیگر دارد.

در جدول ۶ ماتریس بی‌مقیاس شده موزون نشان داده شده است. تاثیر شاخص‌های نسبت انرژی و اشتغال در پایداری مثبت و سایر شاخص‌ها منفی هستند. تولید گندم در شاخص‌های انرژی، خطرات کود و سموم،

جدول ۶- ماتریس بی‌مقیاس شده موزون

مزارع	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
گندم	۰/۰۳۷۱	۰/۰۰۶۷	۰/۰۲۷۴	۰/۰۰۷۶	۰/۰۲۳۳	۰/۰۱۶۷	۰/۰۶۰۸
ذرت	۰/۰۲۲۷	۰/۰۱۱۱	۰/۰۶۷۹	۰/۰۱۸۵	۰/۰۶۶۰	۰/۳۰۱	۰/۰۹۳۴
نیشکر	۰/۳۲۹	۰/۰۰۸۸	۰/۰۹۱۹	۰/۰۱۲۹	۰/۳۹۶۷	۰/۱۱۱۵	۰/۲۴۴۸

بر اساس نتایج حاصل از روش تاپسیس، مزارع سه محصول از نظر پایداری بر اساس شاخص‌های مورد بررسی رتبه‌بندی شدند (جدول ۷). مزارع نیشکر و گندم به ترتیب با وزن ۰/۵۹۲ و ۰/۴۰۸ در رتبه اول و دوم قرار

گرفتند. تولید ذرت با اختلاف اندکی نسبت به گندم در رتبه آخر قرار گرفت. بررسی نتایج رتبه‌بندی و ماتریس بی‌مقیاس موزون نشان می‌دهد که شاخص اشتغال‌زایی به شدت رتبه‌بندی مزارع را تحت تاثیر قرار داده است.

محصول ذرت قرار می‌گیرد. از طرفی اگر شاخص اشتغال‌زایی در رتبه‌بندی در نظر گرفته نشود، امتیاز تولید نیشکر از نظر پایداری به شدت کاهش می‌یابد و از رتبه اول به رتبه سوم تنزل پیدا می‌کند. در این حالت امتیاز مزارع گندم، ذرت و نیشکر به ترتیب ۱، ۰/۷۷۰ و ۰/۰۴۴ به دست آمد که نشان می‌دهد شاخص اشتغال‌زایی به شدت، رتبه‌بندی را تحت تاثیر قرار داده است. بنابراین لازم است در ارزیابی پایداری، شاخص اشتغال‌زایی از نظر جنبه‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی و آسیب‌های شغلی به دقت بررسی شود. حساسیت شاخص اشتغال‌زایی در مورد مقایسه مزارع گندم و ذرت کم است و باید وزن قضاوت‌های ذهنی این شاخص را ۲/۳۱ برابر افزایش داد تا پایداری تولید ذرت و گندم هم امتیاز شوند.

همان طور که مشاهده می‌گردد، تولید نیشکر به جز در اشتغال‌زایی از نظر سایر شاخص‌ها دارای شرایط نامطلوبی نسبت به مزارع گندم می‌باشد ولی در رتبه‌بندی در جایگاه بهتری قرار گرفته است. به همین دلیل حساسیت رتبه‌بندی نسبت به تغییرات وزن شاخص اشتغال‌زایی محاسبه و در جدول ۷ نشان داده شد. همان طور که مشاهده می‌شود، با کاهش وزن تعدیل شده شاخص اشتغال‌زایی به ۰/۲۹۴۶، امتیاز نهایی پایداری مزارع نیشکر و گندم برابر شده و پایداری نیشکر رو به کاهش می‌گذارد. یعنی با کاهش ۲۱/۹۴ درصد در وزن شاخص اشتغال‌زایی، پایداری مزارع نیشکر در رتبه دوم قرار می‌گیرد. همچنین با کاهش ۲۵/۳۹ درصد وزن شاخص اشتغال‌زایی (وزن تعدیل شده برابر با ۰/۲۸۱۶) پایداری تولید نیشکر در سطح پایین‌تری از تولید

جدول ۷- وزن و رتبه‌بندی نهایی مزارع

نیشکر	ذرت	گندم		
۰/۵۹۲	۰/۳۸۶	۰/۴۰۸	وزن نهایی	وزن آنتروپی تعدیل شده
۱	۳	۲	رتبه	
۰/۵۰۰	۰/۴۷۰	۰/۵۰۰	وزن نهایی	کاهش ۲۱/۹۴ درصد وزن شاخص اشتغال‌زایی
۲	۳	۱	رتبه	(تحلیل حساسیت)
۰/۴۸۵	۰/۴۸۵	۰/۵۱۶	وزن نهایی	کاهش ۲۵/۳۹ درصد وزن شاخص اشتغال‌زایی
۳	۲	۱	رتبه	(تحلیل حساسیت)

نتیجه گیری کلی

تاپسیس و روش وزن‌دهی آنتروپی جهت تلفیق و ارزیابی همه جانبه شاخص‌ها و رتبه‌بندی مزارع از نظر پایداری، استفاده گردید. در مقایسه سه محصول، اشتغال‌زایی، فشرده‌گی خاک، خطرات کود نیتروژن، آلودگی هوا و انرژی به ترتیب بیشترین اهمیت را در پایداری تولید داشتند. در تولید گندم، به جز اشتغال‌زایی، سایر شاخص‌ها دارای شرایط بهتری بودند. خطر فشرده‌گی خاک در اثر تردد ماشین‌های کشاورزی در نیشکر به طور چشمگیری بیشتر از دو محصول دیگر است که این امر در کشت و صنعت نیشکر، به یکی از مشکلات اساسی

در این مطالعه تولید محصولات ذرت، گندم و نیشکر در کشت و صنعت‌های شهید رجایی دزفول و دعبل خزاعی از نظر برخی شاخص‌های پایداری مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند. از شاخص‌های انرژی، خطر آلودگی کودهای شیمیایی و سموم کشاورزی، خطرات و اثرات مکانیزاسیون و ماشین‌ها بر فشرده‌گی خاک، خطر آلودگی هوا و هزینه‌های اجتماعی آن از مصرف سوخت‌های فسیلی و اشتغال‌زایی جهت مقایسه پایداری، استفاده شد. در این مطالعه از روش چند معیاره

همچنین در صورت توسعه صنعت و جذب نیروی کار در آن و کاهش اهمیت اشتغال در کشت و صنعت، تولید گندم و ذرت نسبت به نیشکر، می‌تواند پایدارتر باشد.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از جناب آقای دکتر مسلم سامی و دکتر محمود کریمی جهت همکاری بی‌دریغشان در تهیه اطلاعات و داده‌ها، شاخص‌ها و نظرات ارزشمندشان، سپاس‌گذاری می‌شود.

تبدیل شده است. از جنبه اشتغال‌زایی، تولید نیشکر شرایط بسیار مطلوب‌تری دارد و به ترتیب ۶/۱ و ۱۷ برابر بیشتر از تولید گندم و ذرت در هکتار اشتغال‌زایی ایجاد می‌کند. جهت افزایش پایداری تولید نیشکر باید در راستای کاهش فشردگی خاک، گام برداشت. برای این منظور باید روش کشت و تولید نیشکر جدیدتر (مانند کم خاک‌ورزی یا بی‌خاک‌ورزی) یا استفاده از ماشین‌های جدید (مانند چرخ زنجیری) مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند و در صورت جوابگو بودن، استفاده شوند.

منابع مورد استفاده

- Ahrens H and Kantelhardt J. 2009. Accounting for farmers' production responses to environmental restrictions within landscape planning. *Land Use Policy*, 26: 925-934.
- Almasi M, Kiani S h and Loveimi N. 2008. Principles of agricultural mechanization. Jungle Publications. (In Persian).
- Anonymous. 1998. Co-operative Approaches to Sustainable Agriculture. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris. OECD.
- Anonymous. 2005. Islamic Republic of Iran: Cost assessment of environmental degradation. Rural Development, Water and Environment Department Middle East and North Africa Region, World Bank.
- Anonymous. 2015. Energy balance-sheet. Iran Ministry of Energy. Power and Energy Planting Department Publication. (In Persian).
- Anonymous. 2016. Statistical yearbook of agriculture. Publication of Ministry of Jihad-e Agriculture of Iran. (In Persian).
- Asakereh A, Shiekhdavoodi M J and Safaieenejad M. 2010. Energy consumption pattern of organic and conventional lentil in Iran, a case study: Kuhdasht County. *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 2(3): 111-116.
- Asgharpoor MJ. 2008. Multi-criteria decision making. Publication of University of Tehran. (In Persian).
- Bell M. 2003. The use of multi-criteria decision-making methods in the integrated assessment of climate changes: implications for IA practitioners. *Socio-Economic Planning Sciences*, 37(4): 289-316.
- Bhutto AW and Bazmi AA. 2007. Sustainable agriculture and eradication of poverty in Pakistan. *Natural Resources Forum*, 31:253-262.
- Borch K. 2007. Emerging technologies in favour of sustainable agriculture. *Futures*, 39:1045-1066.
- Chen Y, Cavers C, Tessier S, Monero F and Lobb D. 2005. Short-term tillage effects on soil cone index and plant development in a poorly drained, heavy clay soil. *Soil and Tillage Research*, 82:161-171.
- Cole V, Cerri C, Minami K, Mosier A, Rosenberg N and Sawerbeck D. 1996. Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emissions. In: *Climate Change, Contribution of Working Group II*, (Watson RT; Zinyowera MC; Moss R H, eds), pp 745-771. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- Dahimavy A, Ghanian M, Ghoochani OM and Zareyi H. 2015. Process of application of multi criteria decision making models in prioritizing of water development projects of rural areas in the Khuzestan province. *Journal of Water and Sustainable Development*, 1(3): 9-16. (In Persian).
- Esengunm K, Gunduz O and Erdal G. 2007. Input-output energy analysis in dry apricot production of Turkey. *Energy Conversion and Management*, 48:592-598.
- Gheysari M M, Houdaji M, Najafi P and Abdelahi A. 2007. Assessment of nitrate pollution of groundwater in south-east of Isfahan region. *Journal of Environmental Study*, 33(42): 43-50. (In Persian).
- Halberg N. 1999. Indicators of resource use and environmental impacts for use in a decision aid for Danish livestock farmers. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 76: 17-30.
- Hoghooghi Esfahani M. 2014. *Agro-industry and Iranians' agriculture*. Samar Publishing House.
- Hooshmandan Moghaddam Fard Z and Shams A. 2017. Factors affecting the greenhouse owners' attitude toward sustainable agriculture in Zanjan Province. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 27(1):165-177. (In Persian).
- Jones RJA and Thomasson AJ. 1990. Mapping potential nitrate leaching losses from agricultural land in the UK In: *Nitrates and Irrigation* (Hamer P J C; Leeds-Harrison P B, eds), pp 37-45. Proceedings of Conference of United Kingdom Irrigation Association Cranfield Press, Cranfield UK.
- Kazemnejad M, Giran A, Plow Ch M, Kianpour A, Nasr Esfahani A and Amjadi O. 2010. Relative Advantage and Supportive Indices of Sugar Cultivars and Industries in Iran. Institute for Agricultural Research Planning and Economics. Khoshnevisan B, Rafiee S, Omid M, Yousefi M and Movahedi M. 2013. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy*, 52(1): 333-338.
- Kitani O. 1999. *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*. Vo 1, V, Energy and Biomass Engineering. ASAE publication, ST Joseph, MI.
- Kizilaslan H. 2008. Input-output energy analysis of cherries production in Tokat province of Turkey. *Applied Energy*, 8: 1354- 1358.
- Kok R, Benders RMJ and Moll HC. 2006. Measuring the environmental load of household consumption using some methods based on input-output energy analysis: a comparison of methods and a discussion of results. *Energy Policy*, 34(17): 2744-2761.
- Lee DR. 2005. Agricultural sustainability and technology adoption: Issues and policies for developing countries. *American Journal of Agricultural Economics*, 87: 1325-1333.
- Leiva FR and Morris J. 2001. Mechanization and sustainability in arable farming in England. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 79(1): 81-90.
- Meng W, Hao C, Li H and Ju M. 2010. Emergy analysis for sustainability evaluation of the Baiyangdian wetland ecosystem in China, *Front. Environmental Science Engineering in China*, 4(2): 203-212.
- Momeni M. 2014. *New topics in operations research*, Moalef Publications. (In Persian).
- Moumenihelali H, Ahmadpour A and Poursaeed AR. 2015. Identifying the most appropriate cultivar for sustainability of rice production system using analytic hierarchy process (AHP). *Journal of Crop Production and Processing*. 5 (15): 163-173. (In Persian).
- Panahi K and Bhattarai Sh. 2008. A framework to assess sustainability of community-based water projects using multi-criteria analysis, *First International Conference on Construction in Developing Countries "Advancing and Integrating Construction Education, Research and practice"*, Karachi, Pakistan. 464-472.
- Perman R, Ma Y, Gilvray JM and Common M. 1999. *Natural Resource and Environmental Economics*, 2nd Ed. Longman, New York.
- Pourtaheri M, Sojasi qidari H and sadeghlu T. 2011. Measurement and priority social sustainability in rural regions with using TOPSIS-fuzzy technique based on order preference by similarity to an fuzzy ideal

- solution (case study: Khodabandeh country rurals in central part). *Journal of Rural Research*, 1(1): 1-31. (In Persian).
- Safaeenezhad M. 2010. Investigation of energy consumption and determination of economical productivity of corn in Kouhdasht. MSc thesis. University of Tehran. (In Persian).
- Sami M. 2011. Sustainability analysis of mechanized agricultural systems using fuzzy logic (a case study for two mechanized systems of maize and wheat production). MSc thesis. Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian).
- Sartori L, Basso B, Bertocco M and Oliviero G. 2005. Energy use and economic evaluation of a three year crop rotation for conservation and organic farming in NE Italy. *Biosystems Engineering*, 9(2): 245-250.
- Schroll H. 1994. Energy- flow and ecological sustainability in Danish agriculture. *Ecosystems and Environment*, 51: 301-310.
- Shahin S, Jafari A, Mobli H, Rafiee S and Karimi M. 2008. Energy use and economic analysis of wheat production in Iran. A case study from Ardabil province. *Journal of Agricultural Technology*, 4(1): 77- 88.
- Singh S and Mital JP. 1992. *Energy in Production Agriculture*. Mittal Publication, New Delhi.
- Sulaimani A and Mirakzadeh AA. 2014. Analysis and prioritizing of the influencing the factors on dent corn production by AHP method: with emphasis on environmental sustainability. *Journal of Environmental Science and Technology*, 15(2): 43-54. (In Persian).
- Taghavifar H and Mardani A. 2015. Energy consumption analysis of wheat production in West Azarbaijan utilizing life cycle assessment (LCA). *Renewable Energy* 74: 208-213
- Van Calker K, Berentsen P, Giesen G and Huirne R. 2005. Identifying and ranking attributes that determine sustainability in Dutch dairy farming. *Agriculture and Human*, 22: 53-63.
- Van Cauwenbergh N, Biala K, Biielders C, Brouckaert V, Franchois L, Cidat VG, Hermy M, Mathijs E, Muys B, Reijnders J, Sauvenier X, Valckx J, Vanclooster M, Van der Veken B, Wauters E and Peeters A. 2007. SAFE – a hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems. *Agricultural, Ecosystem and Environment*, 120: 229-242.
- Vaz C. 2003. Use of a combined penetrometer-TDR moisture probe for soil compaction studies. *Empbra agri instrument*. Lecture given at the College on Soil Physics Trieste, 3- 21.
- Webster J P G. 1999. The challenge of sustainability at the level of the farm. *Journal of Agricultural Economics*, 50(3): 371- 387.
- Yousefi M, Mahdavi Damghani A and Khoramivafa M. 2014. Energy consumption, greenhouse gas emissions and assessment of sustainability index in corn agroecosystems of Iran. *Science of the Total Environment*, 493: 330-335.
- Zamani O, Ghaderzadeh H and Mortazavi SA. 2014. Cropping pattern system respect to sustainable agriculture and optimum use of energy “a case of Saqez county of Kurdistan province”. *Agricultural Science And Sustainable Production*, 24(1): 31-43. (In Persian).
- Ziaei SM, Mazlounzadeh SM and Jabbari M. 2015. A comparison of energy use and productivity of wheat and barley (case study). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(1): 19-25.