Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Water and Soil Conservation

Print ISSN: 2322-2069
Online ISSN: 2322-2794

Analysis of the Sustainability of Agroecosystems Based on the Water-Food-Energy Nexus Index in Wheat and Maize of North Khuzestan

Nader Rokni[*1], Nasim Zadehdabagh[2]

1. Corresponding Author, Assistant Prof., Faculty of Science, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran. E-mail: naderrokni@jsu.ac.ir
2. Ph.D. Graduate of Environment, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran. E-mail: nasimdabagh@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 03.22.2024
Revised: 05.30.2024
Accepted: 07.15.2024

Keywords:
Agroecosystems,
Cereals,
Food security,
Sustainable agriculture

ABSTRACT

Background and Objectives: Cereal production systems in Iran are often associated with high costs and low productivity. Excessive consumption and use of inputs cause irreparable damage to the environment. Efficient management is crucial for achieving sustainable performance, which is essential for current and future generations. Managing the use of water and energy for food production is a significant challenge in both developed and developing countries. This study compares the sustainability of two strategic crops, wheat and maize, in northern Khuzestan province during the 2020-2021 maize year.

Materials and Methods: The water-food-energy nexus index (WFENI) was used to assess the sustainability of wheat and maize. A simple random sampling method was employed, and 400 wheat and maize farmers were interviewed using a questionnaire. The water-food-energy link was analyzed by obtaining input prices through farmer interviews and internet databases.

Results: The nexus index value was 0.160 for wheat and 0.157 for maize. Wheat cultivation exhibited less environmental instability compared to maize. The findings indicated that the water and energy productivity for both wheat and maize is very low. Wheat production was more profitable than maize production, highlighting that maize production incurs higher environmental and economic costs. Among the six indicators investigated, the water consumption index ranked highest, while the energy economic efficiency index ranked lowest. The economic efficiency of water was calculated as 1.86E-05 for wheat and 2.01E-06 for maize. Wheat production was found to be more favorable than maize production in terms of performance, renewability, and environmental sustainability, exerting less pressure on the environment.

Conclusion: The results of this study provide a comprehensive tool for determining appropriate strategies for cultivation patterns and water and energy resource management. By minimizing water and energy consumption and maximizing productivity, the WFENI index can enhance farm management. This tool can monitor agricultural activities and promote sustainability by considering economic and environmental aspects. Adopting a systemic perspective on agricultural inputs can reduce

production costs, increase farm-level productivity, and strengthen farmers' livelihoods, recognizing the inherent interrelation of all production factors in the agricultural system.

Cite this article: Rokni, Nader, Zadehdabagh, Nasim. 2024. Analysis of the Sustainability of Agroecosystems Based on the Water-Food-Energy Nexus Index in Wheat and Maize of North Khuzestan. *Journal of Water and Soil Conservation*, 31 (3), 177-194.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jwsc.2024.22309.3720
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۶۹
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۹۴

تحلیل پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی بر اساس شاخص پیوند آب–غذا–انرژی در محصولات گندم‌آبی و ذرت‌دانه‌ای شمال خوزستان

نادر رکنی*[۱]، نسیم زاده‌دباغ[۲]

۱. نویسنده مسئول، استادیار دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول، دزفول، ایران. رایانامه: naderrokni@jsu.ac.ir
۲. دانش‌آموخته دکتری محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران. رایانامه: nasimdabagh@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۰۳/۰۱/۰۳
تاریخ ویرایش: ۰۳/۰۳/۱۰
تاریخ پذیرش: ۰۳/۰۴/۲۵

واژه‌های کلیدی:
امنیت غذایی،
بوم‌نظام کشاورزی،
غلات،
کشاورزی پایدار

چکیده

سابقه و هدف: نظام‌های تولید غلات در ایران اغلب با هزینه بالا و بهره‌وری پایین همراه است و به‌واسطه مصرف و کاربرد بی‌رویه نهاده‌ها، صدمات جبران‌ناپذیری به محیط‌زیست وارد می‌نمایند. از مهم‌ترین مسائل مدیریت کارآمد، دستیابی به عملکرد پایدار سیستم است. دستیابی به پایداری کشاورزی برای نسل فعلی و آینده حیاتی است. از سویی مدیریت استفاده از آب و انرژی برای تولید غذا چالش اصلی کشاورزی در کشورهای در حال توسعه است. پژوهش حاضر با هدف مقایسه سطح پایداری دو محصول استراتژیک گندم آبی و ذرت‌دانه‌ای در شمال استان خوزستان در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام گردید.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه جهت تعیین سطح پایداری دو محصول غالب منطقه از شاخص پایداری پیوند آب- غذا- انرژی (WFENI) به‌عنوان ابزار مناسبی در راستای دستیابی به اصول پایداری استفاده شد. به این منظور، بر اساس روش نمونه‌برداری تصادفی ساده مصاحبه با ۴۰۰ نفر کشاورز گندم کار و ذرت کار از طریق پرسشنامه صورت پذیرفت. در این پژوهش جهت تحلیل پیوند آب- غذا- انرژی؛ قیمت یک سری از نهاده‌ها طی مصاحبه با کشاورزان منطقه مطالعاتی به دست آمد، قیمت سایر ورودی‌ها و محصولات نیز از پایگاه‌های اینترنتی محاسبه شده است.

یافته‌ها: مقدار شاخص نکسوس در منطقه مطالعاتی، برای محصول گندم‌آبی ۰/۱۶۰ و برای ذرت دانه‌ای ۰/۱۵۷ به دست آمد. در این مطالعه کشت گندم در مقایسه با ذرت دانه‌ای از ناپایداری زیست‌محیطی کم‌تری برخوردار است. یافته‌ها نشان داد در منطقه مطالعاتی سود حاصل از تولید گندم بیش از سود محصول ذرت است؛ که نشان می‌دهد تولید ذرت علاوه بر تحمیل هزینه‌های زیست‌محیطی، هزینه‌های اقتصادی بیشتری را به دنبال دارد. به‌علاوه بهره‌وری اقتصادی آب به میزان ۱/۸۶E-۰۵ و بهره‌وری جرم انرژی ۲/۵۱E-۰۵ در گندم آبی محاسبه

گردید. هم‌چنین در ذرت دانه‌ای نیز میزان بهره‌وری جرم انرژی ۱/۶۲E-۰۵ و بهره‌وری اقتصادی آب ۲/۰۱E-۰۶ به دست آمد. بوم‌نظام تولید گندم ازلحاظ عملکرد، تجدیدپذیری و پایداری محیطی از بوم‌نظام تولید ذرت مطلوب‌تر است و فشار کم‌تری بر محیط‌زیست وارد می‌کند. هم‌چنین بهره‌وری آب و انرژی مربوط به گندم و ذرت بسیار پایین است.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه می‌تواند به‌عنوان ابزاری جامع و مؤثر برای تعیین استراتژی‌های مناسب الگوی کشت، مدیریت منابع آب و انرژی از طریق به حداقل رساندن مصرف آب و انرژی و به حداکثر رساندن بهره‌وری آن‌ها در منطقه مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین شاخص WFENI یک ابزار مهم در مدیریت مزارع است که با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی به عنوان یک شاخص جامع و کامل می‌تواند در جهت پایش فعالیت‌های کشاورزی و نهایتاً دستیابی به پایداری مورداستفاده قرار گیرد. استفاده از شاخص پیوند آب-غذا- انرژی نشان داد که داشتن دیدگاه سیستمی در میان نهاده‌های کشاورزی می‌تواند هزینه‌های تولید را کاهش دهد، بهره‌وری را در سطح مزرعه افزایش دهد و در جهت تقویت معیشت کشاورزان گام بردارد، زیرا همه عوامل تولید در سیستم کشاورزی ذاتاً به هم مرتبط هستند.

استناد: رکنی، نادر، زاده‌دباغ، نسیم (۱۴۰۳). تحلیل پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی بر اساس شاخص پیوند آب-غذا-انرژی در محصولات گندم‌آبی و ذرت‌دانه‌ای شمال خوزستان. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۳۱ (۳)، ۱۹۴-۱۷۷.
DOI: 10.22069/jwsc.2024.22309.3720

© نویسندگان.
ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

امروزه تقاضا برای آب، انرژی و غذا به دلیل افزایش جمعیت جهان، تغییر سبک رژیم غذایی بشر، گرم شدن آب‌وهوا و رشد اقتصادی دچار تغییر و تحول شده است (۱). آب، انرژی و غذا ستون‌های منابع مهمی را در زمین تشکیل می‌دهند که امنیت جهانی، سطح رفاه و توسعه پایدار کشاورزی بر آن استوار است (۲ و ۳). متأسفانه فشاری که رشد جمعیت بر منابع محدود وارد می‌کند یک چالش بزرگ برای امنیت غذایی و کیفیت بالای زندگی نسل آینده است (۴). درنتیجه افزایش جمعیت؛ تقاضای تولید مواد غذایی، مصرف انرژی و توسعه اقتصادی نیز افزایش می‌یابد که این امر باعث بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع طبیعی و فعالیت‌های تولیدی شده است (۵ و ۶). مطابق برآورد فائو، بخش کشاورزی برای تأمین نیاز افزایش جمعیت تا سال ۲۰۵۰ باید تولیدات خود را تا ۶۰ درصد افزایش دهد (۷). بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی، مقدار مصرف انرژی تا سال ۲۰۳۵ حدود ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت (۸). امروزه بررسی شاخص‌های پایداری راهی برای تقویت جوامع است و به نظر بسیاری از محققان محاسبه و تحلیل آن‌ها یکی از مهم‌ترین موضوعات برای رسیدن به پایداری است. در راستای عملیاتی کردن توسعه پایدار درازمدت جوامع انسانی و تضمین فراهمی غذا، آب و انرژی پژوهش‌گران چارچوب‌ها و رهیافت‌های متعددی را برای دستیابی به توازن و تعادل پویا و بهینه ارائه کرده‌اند، که یکی از مهم‌ترین آن‌ها پیوند آب- غذا- انرژی (WFENI)[1] است (۹ و ۱۰). پیوند آب- غذا- انرژی زمینه تحقیقاتی چند رشته‌ای پیچیده‌ای است که در سال‌های اخیر توجه بیش‌تر جامعه تحقیقاتی را به خود جلب کرده است (۱۱ و ۱۲). در حقیقت رویکرد پیوند آب- غذا- انرژی یک چشم‌انداز از پایداری است که تلاش می‌کند تا تعادل میان اهداف مختلف، منافع و نیازهای مردم و محیط‌زیست را بر اساس کمی‌سازی روابط آب، انرژی و غذا در جهان پویا و پیچیده امروز برقرار سازد (۱۳). بررسی و تعیین پیوند بین آب- غذا- انرژی گام اساسی در ارزیابی تصمیم‌گیرندگان در توسعه و استراتژی‌های ملی است (۱۴). به‌رغم به‌هم‌پیوستگی ذاتی میان تولید غذا، آب و انرژی؛ نهادهای مسئول اغلب به‌صورت پراکنده و منزوی کار می‌کنند. هماهنگی بخشی ضعیف و تجزیه سازمانی باعث استفاده ناپایدار از منابع طبیعی شده و پایداری درازمدت امنیت غذا، آب و انرژی در منطقه را به مخاطره افکنده و چالش‌هایی را پیش روی دستیابی پایدار به امنیت و توسعه پایدار قرار داده است (۱۵). در حقیقت مدیریت پیوند آب- غذا- انرژی با مشارکت تمام ذی‌نفعان باید صورت پذیرد (۱۶). درواقع آب، غذا و انرژی در سیستم‌های کشاورزی آبی درهم‌تنیده شده‌اند، بنابراین مدیریت مؤثر و هماهنگ برای توسعه پایدار کشاورزی موردنیاز است (۱۷). از سویی نظر به وجود بحران‌های محیط‌زیستی و آبی که امنیت غذایی و انرژی کشور را به مخاطره انداخته است؛ مدیریت پیوند آب- غذا- انرژی می‌تواند تغییرات را کنترل و تعادلی در بخش‌های مختلف ایجاد نماید. کشاورزی نیز به‌عنوان مهم‌ترین بخش تولیدکننده مواد غذایی؛ نه‌تنها مصرف‌کننده آب و انرژی است بلکه مهم‌ترین عرضه‌کننده انرژی نیز محسوب می‌شود (۱۸). چالش‌های تأمین آب سالم، تولید غذای پایدار و حفظ انرژی؛ تجزیه‌وتحلیل کمی رابطه آب- غذا- انرژی در حوزه‌های آبخیز کشاورزی را به یک موضوع بسیار مهم تبدیل می‌کند (۱۹). فشار بر منابع آب، به‌ویژه در بخش کشاورزی تأثیر می‌گذارد و این افزایش بر مصرف انرژی نیز تأثیر دارد (۲۰).

1- Water Food Energy Nexus Index

رویکرد پیوند (نکسوس) با شمار زیادی از مسائل مربوط به سیاست‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی در ارتباط است و صرفه‌جویی آب و انرژی یکی از مهم‌ترین زمینه‌های توسعه پایدار در سراسر جهان است (۲۱). هم‌چنین با توجه به این‌که از نظر اکولوژیکی، سرانه‌ی مصرف انرژی و مواد مورد مصرف در کشاورزی، سریع‌تر از رشد جمعیت افزایش یافته است؛ به‌طوری‌که ادامه این روند، سلامتی، پایداری و رفاه زندگی جامعه را بیش‌ازپیش با خطر مواجه ساخته و باعث انهدام و نابودی منابع اکولوژیکی می‌شود. از این منظر، ارزیابی شاخص‌های پایداری و ارتباط آن با دیدگاه‌هایی که به‌طور واقع‌بینانه‌تری بتوانند پایداری بهره‌برداری کشاورزی را از جنبه زیست‌محیطی مورد توجه قرار دهند، از اهمیت بالایی برخوردار است (۲۲). بنابراین این رویکرد می‌تواند راهنمای سیاست توسعه پایدار در کشور باشد.

پژوهش‌های محدودی با استفاده از این شاخص در ارتباط با ارزیابی پایداری محصولات کشاورزی انجام شده است، از جمله مفاخری و همکاران (۲۰۲۱) تحلیل پیوند آب- غذا- انرژی را به‌منظور ارزیابی این شاخص در محصول‌های کشاورزی در شهرستان دهگلان استان کردستان بررسی نمودند، در این مطالعه محصول‌های کشاورزی بر اساس سنجه‌های مصرف آب و انرژی، بهره‌وری فیزیکی آب و انرژی و بهره‌وری اقتصادی آب و انرژی مقایسه شدند (۲۳). در مطالعه‌ای دیگر کریمیان و همکاران (۲۰۲۱) تحلیل نکسوس را با هدف به کارگیری شاخص پیوند آب- انرژی- غذا (WEFNI) به عنوان یک دیدگاه مدیریتی جدید در سطح مزرعه، بر روی سه محصول در دشت میاندربند در استان کرمانشاه انجام دادند، اندازه‌گیری‌های مربوط به WEFNI با استفاده از داده‌های اولیه و ثانویه یکپارچه انجام گردید (۲۴). در پژوهشی دیگر صادقی و همکاران (۲۰۲۰)، پیوند آب- غذا- انرژی را برای ۱۴ محصول باغی در مزارع آبی و دیم به‌منظور اعمال یک بهینه‌سازی خطی پیوند آب- انرژی- غذا برای حوضه آبخیز شازند بررسی نمودند، این پژوهش با هدف قرار دادن به حداکثر رساندن شاخص پیوند آب- انرژی- غذا انجام گردید (۲۵). در مطالعه الگافی (۲۰۱۷) نیز شاخص پیوند آب- غذا- انرژی بر روی برخی محصولات تابستانی در مصر بررسی گردید (۲۶). نتیجه‌گیری از ادبیات موجود نشان می‌دهد که مطالعات بسیار محدودی در سطح کشور در حوزه نکسوس برای محصولات کشاورزی انجام شده است.

هدف اصلی مطالعه حاضر ارائه روشی برای تصمیم‌گیرندگان در تجزیه و تحلیل پیوند آب- غذا- انرژی در سیستم تولید محصولات در سطح منطقه‌ای و انجام یک ارزیابی کمی است. هم‌چنین با توجه به شرایط موجود بحران آب در کشور و واقع شدن کشور ایران در ناحیه گرم و خشک، به‌طوری‌که کشور ایران یکی از کشورهای دارای تنش آبی بالا در خاورمیانه است و نظر به این‌که بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در منطقه است و با توجه به کمبود آب در استان خوزستان که این امر نقش مهمی بر اقتصاد، تولید کشاورزی و امنیت غذایی دارد؛ بنابراین ارزیابی پایداری استفاده از منابع آب و انرژی برای حفظ اکوسیستم‌ها و حفظ سطح بالای بهره‌وری کشاورزی ضروری است و در نتیجه توجه به شاخص پیوند آب- غذا- انرژی در بخش کشاورزی دارای اهمیت زیادی است. در حقیقت با کاهش مصرف و به نوعی مصرف بهینه منابع در این بخش، می‌توان تا میزان قابل‌توجهی بین عرضه و تقاضای آب و انرژی در جهت رسیدن به کشاورزی پایدار تعادل ایجاد نمود. بنابراین انجام پژوهش‌های گسترده در مورد شاخص‌های پایداری کشاورزی آن

را به امری ضروری تبدیل کرده است. شایان ذکر است نخستین بار است که شاخص پیوند آب- غذا- انرژی در استان خوزستان برای تعیین سطح پایداری محصولات کشاورزی استفاده شده است، بنابراین ارزیابی این شاخص به شناسایی رابطه تنگاتنگ میان میزان تولید محصولات کشاورزی و میزان آب و انرژی مصرفی جهت تولید محصولات می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه بخشی از اراضی شمالی استان خوزستان می‌باشد که بین "۷ '۹ °۴۸ تا "۴۲ '۵۶ °۴۸ طول شرقی و "۱۳ '۳۹ °۳۲ تا "۴۲ '۳۵ °۳۱ عرض شمالی واقع شده است، مساحت این محدوده که اراضی آن تحت پوشش شبکه آبیاری دز قرار دارند، حدود ۵۰۸۵/۲۶ کیلومتر مربع می‌باشد.

جامعه آماری همه کشاورزان بهره‌بردار از شبکه آبیاری دز در بخش شمالی استان خوزستان شامل شهرستان‌های دزفول، اندیمشک و شوش و حاشیه شوشتر می‌باشند، که از سیستم کشت سنتی در شرایط تناوب کشت ذرت‌دانه‌ای و گندم‌آبی استفاده می‌کنند (۲۷). عمده محصولات کشاورزی منطقه شامل گندم، جو، ذرت، کلزا، سبزیجات، یونجه مرکبات، نیشکرو برنج می‌باشد. به‌طورکلی طبق پژوهش‌هایی که توسط مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد انجام گردیده است، این منطقه از نظر کاربری کشاورزی اهمیت بسیاری دارد و از مهم‌ترین قطب‌های تولید کشاورزی در استان خوزستان و ایران محسوب می‌شود (۲۸). با توجه به اطلاعات و آمار به‌دست‌آمده از شرکت بهره‌برداری شبکه آبیاری دز در استان خوزستان و امور آب شهرستان‌های مربوطه، تعداد مشترکین بر اساس کنترل اراضی بیش از ۵۰۰۰ بهره‌بردار حقوقی و حدود ۲۰۰۰۰ کشاورز حقیقی در یک فصل زراعی می‌باشند که با توجه به گستردگی اطلاعات جهت مشخص نمودن حجم نمونه از فرمول کوکران[1] با سطح خطای ۰/۰۵، تعداد ۳۸۴ نمونه برآورد شد، که برای اطمینان بیش‌تر ۴۰۰ نفر (کشاورز گندم‌کار و ذرت‌کار) به عنوان حجم نمونه در این مطالعه انتخاب شدند. نهایتاً بر اساس روش نمونه‌برداری تصادفی ساده، مصاحبه با ۴۰۰ نفر کشاورز منتخب توسط پرسشنامه طراحی‌شده صورت پذیرفت که اعتبار آن توسط هیئت متخصصان تأیید گردید. هم‌چنین از روش آلفای کرونباخ[2] برای تعیین پایایی پرسشنامه استفاده گردید که عدد آلفا، ۰/۸۴ برآورد گردید که نشان می‌دهد سطح پایایی پرسشنامه خوب و قابل‌قبول می‌باشد. در حقیقت پرسشنامه مذکور شامل متغیرهایی است که بر اساس آن، انرژی مورداستفاده در نیروی کار انسانی، سوخت گازوئیل، بذر، الکتریسیته، ماشین‌آلات، کودهای شیمیایی، سموم و هم‌چنین اطلاعات مربوط به عملکرد محصول در مزارع کشاورزی قابل‌اندازه‌گیری است. هم‌چنین برای محاسبه شاخص مصرف آب از داده‌های ثانویه هواشناسی (بارش، حداقل و حداکثر دما، رطوبت، ساعات آفتابی و سرعت باد) استفاده گردید. در این مطالعه جهت تحلیل پیوند یا نکسوس آب- غذا- انرژی؛ قیمت یک سری از نهاده‌ها نیز طی مصاحبه با کشاورزان منطقه مطالعاتی به‌دست آمد، قیمت سایر ورودی‌ها و محصولات نیز از پایگاه اینترنی بازار بزرگ کشاورزی ایران محاسبه‌شده است. در واقع مقدار هزینه؛ با به دست آوردن قیمت هر یک از متغیرها (نهاده‌ها و محصولات) در واحد سطح برآورد شده است.

در این مطالعه نرخ دلار ۲۷۰,۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است (متوسط نرخ دلار در سال ۱۴۰۰ شمسی). لازم به ذکر است که نرخ تمام نهاده‌ها در

1- Cochran
2- Cronbach's alpha

این مطالعه مربوط به سال ۱۴۰۰ شمسی است. مقدار درآمد نیز با توجه به قیمت گندم و یا ذرت و مقدار تولید در واحد سطح محاسبه‌شده است. در نهایت از تفاضل میزان هزینه و مقدار درآمد؛ میزان سود در واحد سطح به دست آمد. سپس برای محاسبه شاخص نکسوس آب- انرژی- غذا، لازم است وزن زیر شاخص‌ها محاسبه شود. در واقع برای سنجش زیر شاخص‌ها از نظرات کارشناسان و متخصصان استفاده شد. جهت محاسبه وزن شاخص‌ها از روش میانگین وزنی استفاده‌شده است، به این صورت که پرسشنامه‌ای دیگر تهیه و توسط ده نفر متخصص و آشنا به منطقه مطالعاتی شامل اساتید دانشگاه و کارشناسان وزارت جهاد کشاورزی تکمیل گردید. در واقع هر متخصص با توجه به اهمیت هر شاخص از ۱ تا ۱۰ به شاخص‌ها نمره داده و در نهایت از نمراتی که ۱۰ متخصص به هر شاخص دادند با روش میانگین‌گیری، وزن هر شاخص محاسبه شد. جهت تعیین روایی این پرسشنامه از بررسی منابع و پژوهش‌های صورت گرفته هم‌راستا با این مطالعه و نظرات متخصصان استفاده گردید. با توجه به این‌که در این مرحله شاخص‌ها بدون توجه به نوع کشت مورد ارزیابی قرار گرفتند، بنابراین وزن شاخص‌ها برای هر دو کشت گندم و ذرت یکسان است.

روش تحلیل شاخص پیوند آب- غذا- انرژی (WFENI): چارچوب ساختاری پیوند آب- غذا- انرژی شامل سه بخش آب و انرژی، بهره‌وری جرم آب و انرژی و هم‌چنین بهره‌وری اقتصادی آب و انرژی است که مجموعاً از شش شاخص زیر تشکیل شده‌اند:

شاخص‌های مصرف آب و انرژی

شاخص (۱) مصرف آب: شاخص مصرف آب (Wc,t)، مصرف آب در هکتار محصول c در زمان t را نشان می‌دهد. در واقع شاخص مصرف آب در هکتار؛ میزان آب آبیاری مصرف‌شده برحسب مترمکعب در هکتار به علاوه میزان آب باران مصرفی (مترمکعب در هکتار) است.

شاخص (۲) مصرف انرژی: شاخص مصرف انرژی (Ec)، مصرف انرژی در هکتار از محصول c را نشان می‌دهد. در واقع شاخص مصرف انرژی؛ میزان کل انرژی مصرف‌شده برای تولید محصول بر حسب مگا ژول انرژی در هکتار است (۲۵). مصرف انرژی (Ec) با به‌کارگیری رابطه ۱ محاسبه می‌گردد.

(۱)

$$Ec,t=\sum q_h h_{(c,t)} + q_m m_{(c,t)} + q_d d_{(c,t)} + q_f f_{(c,t)} + q_p p_{(c,t)} + q_s s_{(c,t)} + q_w w_{(c,t)}$$

که در رابطه فوق، q_h، q_m، q_d، q_f، q_p، q_s و q_w معادل‌های ورودی انرژی نیروی کار انسانی (J/h)، ماشین‌آلات (J/h)، سوخت دیزل (J/L)، کود (J/kg)، آفت‌کش (J/kg)، بذر (J/kg)، آب آبیاری (J/m^3) در تولید محصول c هستند. h(c,t)، m(m,t)، d(d,t)، f(c,t)، p(c,t)، s(c,t) و w(c,t) نیز معادل‌های ورودی‌های نیروی کار انسانی (h/ha)، ماشین‌آلات (h/ha)، برق (kWh/ha)، سوخت دیزل (L/ha)، کود (kg/ha)، آفت‌کش‌ها (kg/ha)، بذر (kg/ha)، آب آبیاری (m^3/ha) در تولید محصول c در زمان t هستند (۲۶).

شاخص‌های بهره‌وری جرم آب و انرژی

شاخص (۳) بهره‌وری جرم آب: شاخص بهره‌وری جرم آب در زمان t (Wpro, ton/m^3) با به‌کارگیری رابطه ۲ محاسبه می‌گردد. در واقع شاخص بهره‌وری جرم آب؛ میزان عملکرد محصول تقسیم بر میزان آب

مصرف شده می‌باشد. در این رابطه $Y_{c,t}$ عملکرد محصول c (ton/ha) در زمان t، wc,t مصرف آب در هکتار محصول c (m^3/ha) در زمان t است (۲۶).

$$W_{pro,t} = {Y_{c,t}}/{w_{c,t}} \quad (۲)$$

شاخص (۴) بهره‌وری جرم انرژی: شاخص بهره‌وری جرم انرژی در زمان t (Epro,t, ton/J) با به‌کار بردن رابطه ۳ محاسبه می‌شود. در واقع شاخص بهره‌وری جرم انرژی حاصل میزان عملکرد محصول تقسیم بر میزان کل انرژی مصرف شده برای تولید محصول (مگاژول انرژی در هکتار) است. در این رابطه Ec,t مصرف انرژی در هکتار از محصول c در زمان t (J/ha) را نشان می‌دهد (۲۶).

$$E_{pro,t} = {Y_{c,t}}/{E_{c,t}} \quad (۳)$$

شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی آب و انرژی

شاخص (۵) بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری: شاخص بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری در زمان t (WEV,t, $\$/m^3$) با به‌کارگیری رابطه ۴ محاسبه می‌گردد. در واقع شاخص بهره‌وری اقتصادی آب، سود حاصل از تولید محصول بر میزان آب مصرف شده است. لازم به ذکر است در این رابطه Nc,t درآمد ناخالص به ازای هر هکتار از محصول c ($\$/ha$) در زمان t و Cc,t هزینه در هکتار برای کشت محصول c در زمان t می‌باشند.

$$W_{EV,t} = N_{c,t} - {C_{c,t}}/{w_{c,t}} \quad (۴)$$

شاخص (۶) بهره‌وری اقتصادی انرژی: شاخص بهره‌وری اقتصادی انرژی c در زمان t ($E_{EV,t}$,$\$/J$) که با به‌کار بردن رابطه ۵ محاسبه می‌شود. در واقع شاخص بهره‌وری اقتصادی انرژی؛ سود حاصل از تولید محصول تقسیم بر میزان کل انرژی مصرف شده برای تولید محصول (مگاژول انرژی در هکتار) می‌باشد (۲۳).

$$E_{EV,t} = N_{c,t} - {C_{c,t}}/{E_{c,t}} \quad (۵)$$

شاخص پیوند آب- غذا- انرژی: پس از بررسی و محاسبه‌ی موارد فوق یک شاخص پیوند آب- غذا- انرژی اولیه پیشنهاد می‌شود. در واقع این شاخص تصویری را به تصمیم‌گیرندگان یا سیاست‌گذاران در مورد عملکرد مدیریت پیوند آب- غذا- انرژی ارائه می‌دهد. شاخص پیوند آب- غذا- انرژی (WFENI) بر اساس رابطه ۶ محاسبه می‌گردد.

$$WEFNI_t = {\sum_{i=1}^{n} w_i X_i}/{\sum_{i=1}^{n} w_i} \quad (۶)$$

از آن‌جایی‌که شاخص‌هایی که در مرحله قبل به‌دست می‌آیند، هر یک واحد متفاوتی دارند، در ابتدا باید شاخص‌ها نرمال شوند. بنابراین شاخص پیوند آب- غذا- انرژی با به‌کارگیری تکنیک نرمال‌سازی کمینه- بیشینه که بر اساس رابطه‌های ۷ و ۸ به‌کار می‌رود، نرمال می‌گردد. رابطه ۷ هنگامی‌که Min (x_i) حداقل مقدار ترجیحی است، استفاده می‌شود و زمانی از Max (x_i) استفاده می‌شود، که مقدار آن ارجح‌ترین است؛ که در اینجا رابطه ۸ برای موقعیت متضاد استفاده می‌گردد.

$$X_i = \frac{x_i - Min(x_i)}{Max(x_i) - Min(x_i)} \quad (۷)$$

$$X_i = \frac{Max(x_i) - x_i}{Max(x_i) - Min(x_i)} \quad (۸)$$

در این رابطه‌ها، X_i به شاخص نرمال اشاره دارد و x_i مقدار واقعی شاخص است، Min (x_i) و Max (x_i) مقادیر حداقلی و حداکثری شاخص هستند و w_i وزنی است که برای هر شاخص بکار می‌رود و n تعداد شاخص است. مقدار شاخص پیوند آب- غذا- انرژی (WFENI) از صفر تا یک است. «یک» به‌عنوان بالاترین مقدار، برای بهترین موقعیت در نظر گرفته می‌شود درحالی‌که «صفر» برای بدترین موقعیت است. بنابراین عدد نزدیک‌تر به یک وضعیت پایدارتری را در منطقه نشان می‌دهد (۲۶).

نتایج و بحث

برای برآورد شاخص پیوند آب- غذا- انرژی، همان‌طور که پیش‌تر اشاره گردید پس از جمع‌آوری داده‌ها در ابتدا میزان هزینه و سود هر دو محصول در منطقه مطالعاتی محاسبه شد. جدول‌های ۱ و ۲ میزان هزینه، درآمد و سود را به ترتیب برای گندم آبی و ذرت دانه‌ای در منطقه مطالعاتی بر حسب دلار نشان می‌دهند.

جدول ۱- میزان هزینه، درآمد و سود محصول گندم آبی در منطقه مطالعاتی.

Table 1. The amount of cost, income and profit of wheat product in the study area.

ردیف Row	محصول گندم Wheat	هزینه Cost	درآمد Income	سود Profit
1	سود حاصل از تولید محصول دانه (دلار) Profit from wheat seed ($)	322.97	904.17	581.19
2	سود حاصل از تولید محصول کاه و کلش (دلار) Profit from straw ($)	322.97	347.11	24.14
3	سود حاصل از تولید کل محصول (دلار) Profit from wheat production ($)	322.97	1251.28	928.31

جدول ۲- میزان هزینه، درآمد و سود محصول ذرت دانه‌ای در منطقه مطالعاتی.

Table 2. The amount of cost, income and profit of Maize product in the study area.

ردیف Row	محصول ذرت Maize	هزینه Cost	درآمد Income	سود Profit
1	سود حاصل از تولید کل محصول (دلار) Profit from maize production ($)	344.13	541.87	197.73

بر اساس جدول‌های مذکور در منطقه مطالعاتی سود حاصل از تولید گندم بیش از سود محصول ذرت می‌باشد. شایان ذکر است که بر اساس مطالعات پیشین و هم‌چنین با توجه به این‌که میزان هزینه برای دانه و کاه و کلش قابل تفکیک نیست، یک هزینه در نظر گرفته شده است. سپس مقدار واقعی شش زیر شاخص با توجه به فرمول‌های ارائه‌شده محاسبه شدند. در واقع شاخص‌های مصرف آب، بهره‌وری جرم آب و بهره‌وری اقتصادی آب برای اندازه‌گیری رابطه بین آب و غذا استفاده شدند. هم‌چنین رابطه بین انرژی و غذا از طریق سه شاخص مصرف انرژی، بهره‌وری جرم انرژی و بهره‌وری اقتصادی انرژی اندازه‌گیری شد. سپس مقدار نرمال شده شش زیر شاخص موردنظر محاسبه شدند. جدول ۳ مقدار

واقعی و مقدار نرمال شده شاخص‌ها را به ترتیب برای محصول گندم آبی و ذرت دانه‌ای در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهند.

جدول ۴ نحوه نمره‌دهی به شاخص‌ها را توسط ده نفر متخصص برای هر دو محصول موردنظر نشان می‌دهد.

جدول ۳- مقدار واقعی و مقدار نرمال شده شاخص‌ها برای محصول گندم آبی و ذرت دانه‌ای.

Table 3. The real value and the normalized value of the indicators for Wheat and Maize products.

نوع محصول Crop	شاخص (واحد) Indicator (Unit)	مقدار واقعی شاخص Actual value	مقدار نرمال شده شاخص Normalized value
گندم آبی Wheat	مصرف آب/مترمکعب بر هکتار Water consumption ($m^3.ha^{-1}$)	6770.85	0.855
	مصرف انرژی/مگاژول برهکتار Energy consumption ($Mj.ha^{-1}$)	46535.87	0
	بهره‌وری جرم آب/کیلوگرم بر مترمکعب Water mass productivity ($kg.m^{-3}$)	1.106	2.33E-05
	بهره‌وری جرم انرژی/کیلوگرم بر مگاژول Energy mass productivity ($kg.Mj^{-1}$)	0.161	3.03E-06
	بهره‌وری اقتصادی آب/دلار بر مترمکعب Water economic productivity ($\$.m^{-3}$)	0.137	2.52E-06
	بهره‌وری اقتصادی انرژی/دلار بر مگاژول Energy economic productivity ($\$.Mj^{-1}$)	0.019	0
ذرت دانه‌ای Maize	مصرف آب/مترمکعب بر هکتار Water consumption ($m^3.ha^{-1}$)	9863.49	0.841
	مصرف انرژی/مگاژول برهکتار Energy consumption ($Mj.ha^{-1}$)	61899.72	0
	بهره‌وری جرم آب/کیلوگرم بر مترمکعب Water mass productivity ($kg.m^{-3}$)	0.779	1.25E-05
	بهره‌وری جرم انرژی/کیلوگرم بر مگاژول Energy mass productivity ($kg.Mj^{-1}$)	0.124	1.95E-06
	بهره‌وری اقتصادی آب/دلار بر مترمکعب Water economic productivity ($\$.m^{-3}$)	0.020	2.72E-07
	بهره‌وری اقتصادی انرژی/دلار بر مگاژول Energy economic productivity ($\$.Mj^{-1}$)	0.003	0

جدول ۴- نحوه نمره‌دهی به شاخص‌ها توسط ده نفر متخصص برای هر دو محصول موردنظر.

Table 4. How to score indicators by ten experts for both products.

شاخص‌ها Indicators	متخصص ۱ Expert 1	متخصص ۲ Expert 2	متخصص ۳ Expert 3	متخصص ۴ Expert 4	متخصص ۵ Expert 5	متخصص ۶ Expert 6	متخصص ۷ Expert 7	متخصص ۸ Expert 8	متخصص ۹ Expert 9	متخصص ۱۰ Expert 10	میانگین Average
مصرف آب Water consumption	9	10	9	8	10	9	9	8	10	9	9.1
مصرف انرژی Energy consumption	7	7	7	9	9	7	7	8	9	8	7.8
بهره‌وری جرم آب Water mass productivity	10	8	8	9	9	8	9	10	9	9	8.9
بهره‌وری جرم انرژی Energy mass productivity	7	9	10	7	8	7	8	9	9	9	8.3
بهره‌وری اقتصادی آب Water economic productivity	8	7	7	7	8	6	7	8	8	8	7.4
بهره‌وری اقتصادی انرژی Energy economic productivity	7	8	7	6	7	6	6	7	9	7	7

سپس در مرحله بعد با توجه به نوع کشت، وزن هر شاخص در مقدار نرمال شده آن شاخص ضرب گردید و مقدار وزنی هر شاخص به‌دست آمد. جدول ۵ وزن و مقدار وزنی هر شاخص را برای گندم‌آبی و ذرت‌دانه‌ای در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهند.

در نهایت مقدار شاخص نکسوس، با ترکیب شش زیر شاخص به‌دست آمده برای هر محصول زراعی و مطابق فرمول‌های ارائه‌شده برای محصول گندم آبی ۰/۱۶۰ و برای ذرت دانه‌ای ۰/۱۵۷ به‌دست آمد. با توجه به این‌که مقدار شاخص نکسوس از صفر تا یک است و عدد نزدیک‌تر به یک وضعیت پایدارتری را نشان می‌دهد، در نتیجه در این مطالعه محصول گندم‌آبی در مقایسه با ذرت وضعیت پایدارتری دارد.

جدول ۵- وزن و مقدار وزنی هر شاخص برای گندم‌آبی و ذرت‌دانه‌ای.

Table 5. Weight and weight value of each index for Wheat and Maize.

نوع محصول Crop	شاخص Indicator	مقدار نرمال شده Normalized value	وزن Weight	مقدار وزنی Weighted value
گندم‌آبی Wheat	مصرف آب Water consumption	0.855	9.1	7.78
	مصرف انرژی Energy consumption	0	7.8	0
	بهره‌وری جرم آب Water mass productivity	2.33E-05	8.9	0.0002
	بهره‌وری جرم انرژی Energy mass productivity	3.03E-06	8.3	2.51E-05
	بهره‌وری اقتصادی آب Water economic productivity	2.52E-06	7.4	1.86E-05
	بهره‌وری اقتصادی انرژی Energy economic productivity	0	7	0
	جمع Total	0.855	48.5	7.78
ذرت‌دانه‌ای Maize	مصرف آب Water consumption	0.841	9.1	7.65
	مصرف انرژی Energy consumption	0	7.8	0
	بهره‌وری جرم آب Water mass productivity	1.25E-05	8.9	0.0001
	بهره‌وری جرم انرژی Energy mass productivity	1.95E-06	8.3	1.62E-05
	بهره‌وری اقتصادی آب Water economic productivity	2.72E-07	7.4	2.01E-06
	بهره‌وری اقتصادی انرژی Energy economic productivity	0	7	0
	جمع Total	0.841	48.5	7.65

مقایسه تحلیل نکسوس آب- غذا- انرژی میان دو کشت گندم‌آبی و ذرت‌دانه‌ای: نتایج تحلیل شاخص پیوند (نکسوس) آب- غذا- انرژی نشان داد که هر دو نظام کشت گندم و ذرت در منطقه از نظر زیست‌محیطی در وضعیت ناپایداری قرار دارند. در این مطالعه کشت گندم از ناپایداری زیست‌محیطی کم‌تری برخوردار است و گندم به‌عنوان بهترین اولویت و محصول پایدارتر در منطقه مطالعاتی شناخته شد. همان‌طور که پیش‌تر اشاره گردید، مقدار شاخص ترکیبی نکسوس آب- غذا- انرژی نیز در این مطالعه برای محصول گندم آبی ۰/۱۶۰ و برای ذرت دانه‌ای ۰/۱۵۷ به‌دست آمد. از سویی در مطالعه حاضر سود حاصل از تولید گندم بیش از سود محصول ذرت در منطقه مطالعاتی است که این موضوع نشان می‌دهد در

این منطقه تولید ذرت نسبت به تولید گندم علاوه بر تحمیل هزینه‌های زیست‌محیطی، هزینه‌های اقتصادی بیش‌تری را نیز به دنبال دارد. به‌علاوه بهره‌وری اقتصادی آب به‌میزان ۱/۸۶E-۰۵ و بهره‌وری جرم‌انرژی به میزان ۲/۵۱E-۰۵ در گندم آبی محاسبه گردید. هم‌چنین در ذرت دانه‌ای نیز میزان بهره‌وری جرم‌انرژی ۱/۶۲E-۰۵ و بهره‌وری اقتصادی آب به میزان ۲/۰۱E-۰۶ به‌دست آمد. علاوه بر این، یافته‌ها نشان داد که بهره‌وری اقتصادی آب و بهره‌وری جرم انرژی مربوط به گندم و ذرت بسیار پایین است. در واقع بر اساس جدول‌های فوق به‌طورکلی بهره‌وری آب و انرژی مربوط به گندم و دانه ذرت در منطقه مطالعاتی بسیار پایین است. هم‌چنین میزان شاخص‌های مصرف آب و مصرف انرژی در گندم آبی کم‌تر از ذرت دانه‌ای است، از سویی میزان شاخص‌های بهره‌وری جرم آب، بهره‌وری جرم انرژی، بهره‌وری اقتصادی آب و بهره‌وری اقتصادی انرژی در گندم آبی بالاتر از ذرت است. این امر نشان داد که گندم بهره‌وری بیش‌تری در استفاده از نهاده‌های کشاورزی در مقایسه با ذرت در منطقه مطالعاتی دارد. در مقایسه با نتایج سایر پژوهش‌گران در مورد تحلیل نکسوس در محصولات غذایی؛ در پژوهش مفاخری و همکاران در سال ۱۴۰۰ در تحلیل پیوند آب- غذا- انرژی بر روی محصولات کشاورزی در شهرستان دهگلان استان کردستان مشخص گردید که یونجه و سیب زمینی در بین محصولات مورد بررسی بیش‌ترین مصرف آب و انرژی را به خود اختصاص دادند. هم‌چنین بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب و انرژی را محصول هویج به خود اختصاص داد و کم‌ترین بهره‌وری مصرف آب و انرژی برای کلزا بود. در واقع پژوهش مذکور نشان داد که شاخص WFENI محاسبه‌شده برای محصولات هویج، خیار، سیب‌زمینی، گندم، جو، کلزا و یونجه در شهرستان دهگلان به‌ترتیب برابر با ۰/۸۶، ۰/۷۳، ۰/۵۱، ۰/۴۱، ۰/۴، ۰/۳ و ۰/۲۶ می‌باشد. در پژوهش کریمیان و همکاران در سال ۲۰۲۱ برای تحلیل نکسوس بر روی سه محصول گوجه‌فرنگی، ذرت و گندم در استان کردستان مشخص شد که شاخص WFENI برای محصولات موردمطالعه بسیار پایین بود (گندم ۰/۲۰۹، گوجه‌فرنگی ۰/۲۰۶ و ذرت ۰/۱۹۷)، نتایج نشان داد هزینه‌های تولید گندم کم‌تر از ذرت و گوجه‌فرنگی است و میزان انرژی و آب مصرفی گوجه‌فرنگی و ذرت بیش‌تر از گندم است. بر اساس شاخص WFENI گندم، گوجه‌فرنگی و ذرت به‌ترتیب در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفتند. در واقع در مطالعه مذکور نیز گندم از نظر پایداری در رتبه اول گزارش گردید. در مطالعه‌ای دیگر صادقی و همکاران در سال ۲۰۲۰، نتایج پیوند آب- غذا- انرژی در شازند استان مرکزی برای ۱۴ محصول کاشته شده در باغ نشان دادند که شاخص پیوند آب- غذا- انرژی بین ۰/۰۵ تا ۰/۹۲ متغیر است. در مطالعه الگافی در سال ۲۰۱۷ نیز بر روی محصولات تابستانی در مصر، شاخص پیوند آب- غذا- انرژی بین ۰/۲۱ تا ۰/۷۹ متغیر بوده است و از بین تمام محصولات مورد مطالعه پیاز بالاترین امتیاز و برنج کم‌ترین امتیاز را به خود اختصاص دادند. بنابراین نتایج این گونه مطالعات نیز بیانگر نتایج مطالعه حاضر می‌باشد. در نتیجه استفاده از رویکرد پیوند آب- غذا- انرژی نشان می‌دهد که داشتن دیدگاه سیستمی در میان نهاده‌های کشاورزی می‌تواند هزینه‌های تولید را کاهش دهد، بهره‌وری را در سطح مزرعه افزایش دهد و در جهت تقویت معیشت کشاورزان گام بردارد زیرا همه عوامل تولید در سیستم کشاورزی ذاتاً به هم مرتبط هستند. بنابراین شاخص نکسوس یک ابزار مهم در مدیریت مزارع است که سبب تعادل‌بخشی بین سه بخش آب، انرژی و غذا می‌شود، به‌طوری‌که با در نظر گرفتن هم‌زمان

جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی به‌عنوان یک شاخص جامع و کامل می‌تواند برای پایش فعالیت‌های کشاورزی و نهایتاً دستیابی به پایداری نظام‌های زراعی مورداستفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری کلی

محصولات زراعی مانند گندم و ذرت به‌طور فزاینده‌ای در اراضی شمال خوزستان کشت می‌شوند، در واقع این دو محصول هنوز در برنامه‌های دولت و الگوهای کشت کشاورزان مهم هستند. مطالعه حاضر نیز با هدف تعیین پایداری اکولوژیکی دو نظام تولید گندم آبی و ذرت دانه‌ای در شمال استان خوزستان تلاش نمود تا از طریق ارزیابی شاخص ترکیبی آب- غذا- انرژی نشان دهد که کشت کدام محصول در منطقه به شرایط پایدار و کارآمد و مطلوب محیطی نزدیک‌تر است. همان‌طور که در این مطالعه مشاهده شد، بهره‌وری آب و انرژی مربوط به گندم و دانه ذرت بسیار پایین است. در حقیقت با مقایسه نتایج ارزیابی بر روی دو محصول گندم آبی و ذرت دانه‌ای مشخص گردید که کشت گندم در مقایسه با کشت ذرت دانه‌ای فشار کم‌تری بر محیط‌زیست وارد می‌کند و در نتیجه پایدارتر می‌باشد ولی به‌طورکلی کشاورزی در منطقه مورد مطالعه ناکارآمد بود، که دلیل این ناکارآمدی را می‌توان به غلبه دیدگاه‌های سیاسی و اقتصادی در برنامه‌های توسعه کشاورزی کشور، عوامل مدیریتی، فقدان نگرش تولید پایدار در بین کشاورزان، ضعف تکنولوژی، فقدان ارزش گذاری واقعی آب و انرژی در بخش کشاورزی و غیره مرتبط دانست. در واقع تحلیل پایداری نظام‌های کشاورزی در این مطالعه نشان داد که عملکرد بهینه محصولات لزوماً با حداکثر عملکرد مطابقت ندارد که این موضوع نیز می‌تواند باعث صرفه‌جویی بالقوه آب و انرژی گردد. بنابراین با توجه به شرایط کم‌آبی کشور و هدررفت آب در بخش کشاورزی باید بر اساس ظرفیت اکولوژیکی سرزمین و شرایط اقلیمی منطقه؛ علاوه بر کاهش سطح زیر کشت کشاورزی، الگوی کشت بهینه و سازگار با منطقه مطالعاتی طراحی شود. در واقع با توجه به تغییر اقلیم و شرایط اکولوژیکی منطقه نوع کشاورزی باید تغییر کند تا بتوان مصرف منابع را مدیریت نمود و به پایداری در حوزه کشاورزی رسید. در واقع به‌طورکلی با کاهش مصرف و به نوعی مصرف بهینه آب و انرژی در بخش کشاورزی، می‌توان تا میزان قابل‌توجهی به تعادل بخشی بین عرضه و تقاضای آب و انرژی و نهایتاً پایداری در کشاورزی امیدوار بود. از این‌رو ضرورت دارد الگوی مدیریت فعلی با توجه به شاخص ترکیبی WFENI تغییر یابد و این تغییر باید بخش‌های آب، انرژی و غذا را هم زمان مدنظر قرار دهد. بنابراین محاسبه و تحلیل سالانه WEFNI در چارچوب مطالعه حاضر برای سنجش پایداری محصولات و در جهت رسیدن به امنیت انرژی، آبی و غذایی، به‌عنوان یک شاخص در مدیریت مزرعه باید مدنظر قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

از مسئولین و کارشناسان محترم اداره جهاد کشاورزی استان خوزستان، سازمان آب و برق خوزستان، مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد و همه زارعین محترم تحت پوشش شبکه آبیاری دز که در انجام این مطالعه ما را یاری نمودند، سپاسگزاری می‌گردد.

داده‌ها و اطلاعات

این پژوهش حاصل بررسی تحقیقاتی بوده است که در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در شمال خوزستان انجام شده است. جهت سنجش زیر شاخص‌ها از نظرات کارشناسان و متخصصان استفاده شده است. جهت محاسبه وزن شاخص‌ها از روش میانگین وزنی

استفاده شد، به این صورت که پرسشنامه‌ای تهیه و توسط ده نفر متخصص و آشنا به منطقه مطالعاتی شامل اساتید دانشگاه و کارشناسان وزارت جهاد کشاورزی تکمیل گردید. در واقع هر متخصص با توجه به اهمیت هر شاخص از ۱ تا ۱۰ به شاخص‌ها نمره داده و در نهایت از نمراتی که ۱۰ متخصص به هر شاخص دادند با روش میانگین‌گیری، وزن هر شاخص محاسبه شد.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

به‌منظور آماده‌سازی داده‌های مورد بررسی؛ توزیع پرسشنامه بین خبرگان و کشاورزان، روش‌شناسی تحقیق، بازدیدهای میدانی، استخراج داده‌ها از پرسشنامه و مشارکت در آنالیزها توسط نویسنده دوم انجام شده است. انجام محاسبات، تهیه پیش‌نویس و طرح نهایی مقاله، اصلاح و نهایی‌سازی، نظارت مستمر بر تحقیق، بازبینی مقاله نیز بر عهده نویسنده مسئول بوده است.

اصول اخلاقی

نویسندگان در این پژوهش اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید نویسندگان است.

حمایت مالی

این پژوهش از حمایت مالی برخوردار نبوده است.

منابع

1. Zhang, Y., Cui, J., Liu, X., Liu, H., Liu, Y., Jiang, X., ... & Zhang, M. (2022). Application of water-energy-food nexus approach for optimal tillage and irrigation management in intensive wheat-maize double cropping system. *Journal of Cleaner Production*, 381, 135181.
2. Bazilian, M., Rogner, H., Howells, M., Hermann, S., Arent, D., Gielen, D., ... & Yumkella, K. K. (2011). Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. *Energy policy*, 39 (12), 7896-7906.
3. Han, D., Yu, D., & Cao, Q. (2020). Assessment on the features of coupling interaction of the food-energy-water nexus in China. *Journal of Cleaner Production*, 249, 119379.
4. Amini, S., Rohani, A., Aghkhani, M. H., Abbaspour-Fard, M. H., & Asgharipour, M. R. (2020). Sustainability assessment of rice production systems in Mazandaran Province, Iran with emergy analysis and fuzzy logic. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 40, 100744.
5. Pata, U. K. (2021). Linking renewable energy, globalization, agriculture, CO_2 emissions and ecological footprint in BRIC countries: A sustainability perspective. *Renewable Energy*, 173, 197-208.
6. Sarkodie, S. A., Strezov, V., Weldekidan, H., Asamoah, E. F., Owusu, P. A., & Doyi, I. N. Y. (2019). Environmental sustainability assessment using dynamic autoregressive-distributed lag simulations-nexus between greenhouse gas emissions, biomass energy, food and economic growth. *Science of the total environment*, 668, 318-332.
7. FAO. (2011). Energy-smart food for people and climate., *Rome*.
8. Yang, J., Chang, J., Konar, M., Wang, Y., & Yao, J. (2023). The grain Food-Energy-Water nexus in China: Benchmarking sustainability with generalized data envelopment analysis. *Science of the Total Environment*, 887, 164128.

9.Bizikova, L., Roy, D., Venema, H. D., McCandless, M., Swanson, D., Khachtryan, A., ... & Zubrycki, K. (2014). Water-Energy-Food Nexus and Agricultural Investment: A Sustainable Development Guidebook.
10.Garcia, D. J., & You, F. (2016). The water-energy-food nexus and process systems engineering: A new focus. *Computers & Chemical Engineering*, 91, 49-67.
11.Di Martino, M., Linke, P., & Pistikopoulos, E. N. (2023). A comprehensive classification of food-energy-water nexus optimization studies: state of the art. *Journal of Cleaner Production*, 138293.
12.Mohtar, R. H., & Lawford, R. (2016). Present and future of the water-energy-food nexus and the role of the community of practice. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 6, 192-199.
13.Oviroh, P. O., Austin-Breneman, J., Chien, C. C., Chakravarthula, P. N., Harikumar, V., Shiva, P., ... & Papalambros, P. Y. (2023). Micro water-energy-food (MicroWEF) Nexus: a system design optimization framework for integrated natural resource conservation and development (INRCD) projects at community scale. *Applied Energy*, 333, 120583.
14.Huang, D., Wen, F., Li, G., & Wang, Y. (2023). Coupled development of the urban water-energy-food nexus: A systematic analysis of two megacities in China's Beijing-Tianjin-Hebei area. *Journal of Cleaner Production*, 419, 138051.
15.Barjeste, H., Ghoreishi, S. Z., & Mianabadi, H. (2020). Application of Nexus Approach in Hydropolitics of Transboundary Rivers. *Iranian journal of Ecohydrology*, 7 (3), 757-773. [In Persian]
16.Sun, L., Niu, D., Yu, M., Li, M., Yang, X., & Ji, Z. (2022). Integrated assessment of the sustainable water-energy-food nexus in China: Case studies on multi-regional sustainability and multi-sectoral synergy. *Journal of Cleaner Production*, 334, 130235.
17.Li, M., Fu, Q., Singh, V. P., Liu, D., & Li, T. (2019). Stochastic multi-objective modeling for optimization of water-food-energy nexus of irrigated agriculture. *Advances in water resources*, 127, 209-224.
18.Norouzi, N., & Kalantari, G. (2020). The food-water-energy nexus governance model: A case study for Iran. *Water-Energy Nexus*, 3, 72-80.
19.Liu, Y., Jiang, Y., Xu, C., Lyu, J., & Su, Z. (2022). A quantitative analysis framework for water-food-energy nexus in an agricultural watershed using WEAP-MODFLOW. *Sustainable Production and Consumption*, 31, 693-706.
20.Wang, X., Tan, W., Zhou, S., Xu, Y., Cui, T., Gao, H., ... & Wang, P. (2021). Converting maize production with low emergy cost and high economic return for sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 136, 110443.
21.Mirzaie, S. (2018). Introducing the Nexus and its role in resource sustainability. *Journal of Water and Sustainable Development*, 5(1), 145-146. [In Persian]
22.Ke, J., Wang, B., & Yoshikuni, Y. (2021). Microbiome engineering: synthetic biology of plant-associated microbiomes in sustainable agriculture. *Trends in Biotechnology*, 39(3), 244-261.
23.Mafakheri, S., Veisi, H., Khoshbakht, K., & Nazari, M. R. (2021). Evaluation of water-energy-food nexus in agricultural products of Dehgolan County. *Environmental Sciences*, 19 (4), 287-306. [In Persian]
24.Karamian, F., Mirakzadeh, A. A., & Azari, A. (2021). The water-energy-food nexus in farming: Managerial insights for a more efficient consumption of agricultural inputs. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1357-1371.
25.Sadeghi, S. H., Moghadam, E. S., Delavar, M., & Zarghami, M. (2020). Application of water-energy-food nexus approach for designating optimal agricultural management pattern at a watershed scale. *Agricultural Water Management*, 233, 106071.

26.El-Gafy, I. (2017). Water–food–energy nexus index: analysis of water–energy–food nexus of crop's production system applying the indicators approach. *Applied Water Science*, 7(6), 2857-2868.
27.Movahed, A., & Zadehdabagh, N. (2010). Evaluation of the ecological potential of the Dez River area, the distance between the regulatory dam and the bitumen dam for nature tourism. *Environmental Science*. 36 (3). [In Persian]
28.Rangin Kaman, R. (2012). Investigating the effects of climate change on the flow of rivers (case study: Dez River). Master's thesis in civil engineering. Faculty of Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz. [In Persian]