2025, Vol.11, No.4, Pages 99 to 114
Journal of Water and Sustainable Development

سال یازدهم، شماره ۴، ۱۴۰۳، صفحات ۹۹ تا ۱۱۴
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهشی کاربردی

# Investigating Water-Energy-Food Nexus in the Production of Summer Agricultural Products in Dehloran County

**E. Bahmani[1], A. A. Mirakzadeh[2*], Sh. Geravandi[3], F. Karamian[4]**

1, 2, 3, 4- Ph.D. Student, Associate Professor, Assistant Professor, and Ph.D. Graduate, Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.

*(Corresponding Author Email: Mirakzadeh@Razi.ac.ir)

Received: 18-06-2024 Revised: 31-08-2024
Accepted: 18-09-2024 Available Online: 19-02-2025

# بررسی همبست آب-انرژی-غذا در تولید محصولات کشاورزی تابستانه شهرستان دهلران

**احسان بهمنی[1]، علی‌اصغر میرک‌زاده[2*]، شهپر گراندی[3]، فرانک کرمیان[4]**

۱، ۲، ۳ و ٤- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، استادیار و دانش‌آموخته دکتری، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: Mirakzadeh@Razi.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۸ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۰۱

## Abstract

Agricultural management and climate-adapted policies require an integrated perspective between the three sources of Water-Energy-Food to prevent anomalies and one-dimensional benefits and promote sustainable development. The present study aimed to investigate the Water-Energy-Food Nexus in producing four summer agricultural products in Dehloran County (corn, sesame, mung beans, and watermelon). The required data was collected from farmers through a questionnaire and obtained using the criteria of water and energy consumption, water and energy physical productivity, water and energy economic productivity, and finally the Water-Energy-Food Index (WEFNI) for each crop. The findings indicated that the production of summer products in Dehloran City uses 16714 $m^3.ha^{-1}$ of water; watermelon (7641 $m^3.ha^{-1}$) and sesame (994 $m^3.ha^{-1}$) had the highest and lowest respective water consumption. The total energy used in product cultivation was 205093 $MJ.ha^{-1}$. Maize (103558.85 $MJ.ha^{-1}$) and sesame (17306.73 $MJ.ha^{-1}$) had the highest and lowest input energy consumption, respectively. Additionally, the two energy-intensive industries in the agriculture sector are electricity and chemical fertilizers. According to the data, sesame had the highest economic productivity of water (297000 $Rls.m^{-3}$) and energy (17050 $Rls.MJ^{-1}$), while watermelon had the highest physical productivity (6.67 $Kg.m^{-3}$) and energy (0.90 $Kg.MJ^{-1}$). The most sustainable product in terms of resource consumption was watermelon (WEFNI = 0.71), while the least stable product was mung beans (WEFNI = 0.035), according to correlation index values. The outcomes of this study can support the region's agricultural industry's sustainable growth by implementing appropriate resource management practices and cultivation patterns.

**Keywords:** Virtual Water, Local Governance, Crisis Scenario, Isfahan Province.

## چکیده

مدیریت کشاورزی و سیاست‌های سازگار با تغییرات اقلیم نیاز به دیدگاه یکپارچه بین سه منبع آب-انرژی- غذا دارند تا بتوانند از ناهنجاری‌ها و منافع تک بعدی جلوگیری نمایند و توسعه پایدار را به همراه داشته باشند. پژوهش حاضر با هدف بررسی همبست آب-انرژی-غذا در تولید چهار محصول کشاورزی تابستانه شهرستان دهلران (ذرت دانه‌ای، کنجد، ماش و هندوانه) انجام شد. داده‌های مورد نیاز از طریق پرسشنامه از کشاورزان جمع‌آوری و با استفاده از معیارهای میزان مصرف آب و انرژی، بهره‌وری فیزیکی آب و انرژی، بهره‌وری اقتصادی آب و انرژی و در نهایت شاخص همبست آب-انرژی-غذا (WEFNI) برای هر محصول به دست آمد. نتایج نشان داد تولید محصولات تابستانه در شهرستان دهلران $m^3.ha^{-1}$ ۱۶۷۱۴ آب مصرف می‌کنند، بیشترین و کمترین میزان مصرف آب به ترتیب مربوط به هندوانه (۷۶۴۱ $m^3.ha^{-1}$) و کنجد (۹۹۴ $m^3.ha^{-1}$) بود. کل مصرف انرژی در کشت محصولات $MJ.ha^{-1}$ ۲۰۵۰۹۳ بود که بیشترین و کمترین مصرف انرژی ورودی مربوط به ذرت دانه‌ای (۱۰۳۵۵۸/۸۵ $MJ.ha^{-1}$) و کنجد (۱۷۳۰۶/۷۳ $MJ.ha^{-1}$) بود. همچنین الکتریسیته و کودهای شیمیایی بیشترین میزان انرژی را در بخش کشاورزی مصرف کردند. بر اساس نتایج، بیشترین بهره‌وری فیزیکی آب (۶/۶۷ $Kg.m^{-3}$) و انرژی (۰/۹۰ $Kg.MJ^{-1}$) مربوط به هندوانه و بیشترین بهره‌وری اقتصادی آب (۲۹۷۰۰۰ $Rls.m^{-3}$) و انرژی (۱۷۰۵۰ $Rls.MJ^{-1}$) مربوط به کنجد بود. براساس مقادیر شاخص‌های همبست، هندوانه (WEFNI =۰/۷۱) پایدارترین و ماش (WEFNI =۰/۰۳۵) ناپایدارترین محصول از لحاظ مصرف منابع بودند. نتایج این پژوهش می‌تواند با اعمال مدیریت صحیح در استفاده از منابع و الگوی مناسب کشت به توسعه پایدار کشاورزی در منطقه کمک نماید.

**واژه‌های کلیدی:** همبست آب-انرژی-غذا، توسعه پایدار، محصولات کشاورزی تابستانه، شهرستان دهلران.



**HomePage:** https://jwsd.um.ac.ir

**How to cite this article:** Bahmani, E., Mirakzadeh, A. A., Geravandi, Sh., &Karamian, F. (2025). Investigating Water-Energy-Food Nexus in the Production of Summer Agricultural Products in Dehloran County. Journal of Water and Sustainable Development, 11(4), 99-114. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v11i4.2406-1337

## مقدمه

در کشورهای در حال توسعه افزایش جمعیت و بحران‌های اقتصادی در کنار بهره‌برداری ناکارآمد و بی‌توجهی به پایداری منابع، موجب شده است که چالش‌های توسعه پایدار به نقطه حساسی برسد و عدم دسترسی مناسب به منابع، به یکی از موانع جدی توسعه تبدیل شود (اسلامی و همکاران، ۱۳۹۹؛ زکی و شیراوند، ۱۴۰۰). باتوجه‌به اینکه بخش کشاورزی از یک طرف با محدودیت منابع تولید روبه‌رو است و از سوی دیگر تأمین کننده امنیت غذایی جمعیت در حال رشد است، لذا باید تعادل و توازنی بین جریان برداشت، بهره‌برداری از منابع تولید و میزان تولید محصول‌های کشاورزی ایجاد شود. از سویی باتوجه‌به نقش چند جانبه کشاورزی در زندگی انسان و همچنین بخش بزرگ اقتصادی و تأمین امنیت غذایی به خصوص در دستیابی به اهداف هزاره سوم، این بخش در کانون مباحث توسعه پایدار قرار داشته و حصول پایداری در همه ابعاد آن انکارناپذیر است (روحانی و همکاران، ۱۴۰۰؛ Schindler و همکاران، ۲۰۱۶)، به عبارتی استفاده از منابع تولید بایستی علاوه‌بر رفع نیازهای نسل کنونی به منظور تأمین نیازهای نسل‌های آینده نیز باقی بماند و استفاده از منابع به شکل پایدار باشد (مفاخری و همکاران، ۱۴۰۰). کشاورزی پایدار با سابقه طولانی ریشه در تاریخچه کشاورزی دارد و بر خلاف کشور ما در کشورهای دیگر، توسعه پایدار کشاورزی از راهبردهای اصلی به شمار می‌رود (روحانی و همکاران، ۱۴۰۰)؛ به‌طوری‌که در معیارهایی که فائو در راستای توسعه پایدار کشاورزی مد نظر قرار داده است، پایداری، حفظ و ارتقاء عوامل تولید محصولات کشاورزی یعنی آب و انرژی نیز مد نظر قرار گرفته است (امیرزاده مرادآبادی و همکاران، ۱۳۹۹) و یکی از اولویت‌های اصلی بخش کشاورزی استفاده صحیح از منابع پایه تولید محصولات کشاورزی است. اما بررسی اسناد سیاستی برنامه‌های توسعه کشور در بخش کشاورزی نشان می‌دهد که این بخش از گذشته تا به حال با مسایل ناپایدار مختلفی روبه‌رو بوده که توسعه کشاورزی و امنیت غذایی را در معرض تهدید قرار داده است (مریدالسادات و همکاران، ۱۳۹۷). در ایران به علت عدم در نظر گرفتن اصول صحیح تغذیه گیاه و مدیریت غلط مصرف کود و آب آبیاری، راندمان مصرف آب و کود پایین است و مصرف بیش از حد کودها باعث غیرسالم شدن گیاهان برای سلامتی انسان و آلودگی آب‌های زیرزمینی شده است (جلینی و همکاران، ۱۴۰۰؛ امینی و همکاران، ۱۳۹۴؛ بیات و همکاران، ۱۳۹۰؛ کوچکی و همکاران، ۱۳۹۲؛ روحانی و همکاران، ۱۴۰۰). بنابراین می‌توان گفت بهره‌برداری بیش از حد از منابع کشاورزی و مدیریت غلط مصرف کود و آب‌های زیرزمینی سبب شده است که توسعه پایدار کشاورزی در ایران با چالش جدی مواجه شود.

از طرفی، پایین بودن شاخص پایداری سیاستی در ایران نسبت به سایر شاخص‌ها نشان می‌دهد که سیاست‌های کشور نیز در راستای پایداری کشاورزی مناسب نبوده است و نیاز به برنامه‌ریزی جدی دارد (امیرزاده مرادآبادی و همکاران، ۱۳۹۹). به‌عنوان‌مثال سیاست‌های گذشته از جمله دادن یارانه انرژی به بخش کشاورزی سبب عدم پایداری منابع آب شده و با برقی شدن چاه‌ها و تخصیص یارانه‌های انرژی به کشاورز، استحصال منابع آب زیرزمینی به شدت بیشتری به‌صورت مستمر ادامه یافته است (احتشامی و همکاران، ۱۳۹۴). مطالعات گذشته تنها راه‌حل دستیابی به توسعه پایدار و کاهش اثرات محیط‌زیستی را در گرو مدیریت یکپارچه منابع اصلی آب- انرژی و مواد غذایی می‌دانند (Elbehri و Sadiddin، ۲۰۱۶). بنابراین باتوجه‌به بحث های بیان شده، لزوم استفاده از شاخص‌هایی که تمامی جنبه‌های نظام کشاورزی را پوشش می‌دهد، بیشتر نمایان شده است. شاخص همبست آب-انرژی-غذا (WEFNI) می‌تواند به عنوان یکی از ابزارهای تصمیم‌گیری چند معیاره در برنامه‌ریزی کشاورزی، به ویژه در کشورهای کمتر توسعه یافته که پایداری کشاورزی به‌عنوان یک چالش جدی در نظر گرفته می‌شود، استفاده شود (El-Gafy، ۲۰۱۷). پیوندهای عمیق بین آب، انرژی و غذا و نگرانی‌های فزاینده در مورد پایداری آن‌ها، انگیزه پیدایش مفهوم همبست بود (Chamas و همکاران، ۲۰۲۱). مطالعات نشان می‌دهد که هسته بحث‌های رویکرد همبست نیز کمبود منابع طبیعی از جمله آب، انرژی و مواد غذایی و ارتباط متقابل بین این سه منبع می‌باشد که پایداری محیط‌زیستی و توسعه پایدار را در مرکز خود قرار داده است (Dupar و Oates، ۲۰۱۲)؛ ازاین‌رو مدیریت کشاورزی و سیاست‌های سازگاری با تغییرات اقلیم نیاز به دیدگاه یکپارچه بین سه منبع آب-انرژی- غذا دارند تا بتوانند از ناهنجاری‌ها و منافع تک بعدی جلوگیری نمایند و توسعه پایدار را به همراه داشته باشند (Smith و همکاران، ۲۰۰۹).

همبست آب-انرژی-غذا (WEFN) برای اولین بار در سال ۲۰۱۱ در بن آلمان پیشنهاد شد (Yu و همکاران، ۲۰۲۰) و همچنان در کنفرانس ریو + ۲۰ سازمان ملل و ششمین اجلاس جهانی آب در سال ۲۰۱۲ مورد بحث قرار گرفت (Lee و همکاران، ۲۰۲۰). WEFN در دهه گذشته به یک موضوع اصلی تبدیل شده است زیرا در مقایسه با سایر رویکردهای یکپارچه، یک مفهوم کامل برای دستیابی به توسعه پایدار با شناسایی ارتباطات و هم افزایی و آشکارسازی پیامدهای غیرمنتظره است (Cansino-Loeza و Ponce-Ortega، ۲۰۲۱). باتوجه‌به این مهم در این پژوهش به بررسی همبست آب و انرژی در تولید محصولات کشاورزی شهرستان دهلران و برای چهار محصول کشاورزی تابستانه این شهرستان یعنی ذرت دانهای، کنجد، ماش و هندوانه پرداخته شده است.

تغییرات اقلیمی سال‌های اخیر در کل کشور و از جمله استان ایلام سبب کمبود منابع آب، افزایش مصرف انرژی ناشی از مصرف بیرویه کودها، سموم شیمیایی و در نتیجه آن تخریب و فرسودگی خاک و کاهش حاصلخیزی آن شده است. مجموع این عوامل امکان

دستیابی به امنیت غذایی و پایداری کشاورزی را در استان و به خصوص شهرستان دهلران با مشکل مواجه می‌سازد. به‌طوریکه این استان از لحاظ پایداری کشاورزی در رتبه ۲۳ام کشور قرار دارد (امیرزاده مرادآبادی و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین نتیجه پژوهش کوچکی و همکاران (۱۳۹۲) نشان داد این استان از لحاظ پایداری منابع کشاورزی در شرایط ناپایداری بالا قرار دارد. شهرستان دهلران به‌عنوان قطب تولید کشاورزی استان ایلام می‌باشد که دارای پتانسیل‌های زیادی برای توسعه کشاورزی است (خیرالهی، ۱۳۹۹). بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ جمعیت این شهرستان ۳۲۹۴۱ نفر بوده است که از نظر جمعیت دومین شهرستان استان و از نظر مساحت اولین شهرستان استان ایلام است. میانگین بارش سالانه دهلران ۱۴۵ میلیمتر و عمده‌ترین محصولات کشاورزی شهرستان گندم، جو و ذرت می‌باشد که در کشت تابستانه و دوم ذرت دانه‌ای، ماش، کنجد و هندوانه به‌صورت عمده کشت می‌شود (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). به‌طوریکه در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱، ۵۴۶۸ هکتار از اراضی کشاورزی شهرستان دهلران به کشت این چهار محصول اختصاص یافته است (سازمان جهاد کشاورزی استان ایلام، ۱۴۰۱). این شهرستان به‌عنوان یکی از شهرستان‌های استان ایلام با مسائل و مشکلات مشابهی مواجه می‌باشد که سبب شده است این شهرستان از لحاظ شاخص‌های کشاورزی و ضریب توسعه‌یافتگی رتبه چهارم و از لحاظ توسعه محصولات کشاورزی رتبه هفتم را در استان به خود اختصاص دهد (آزادی و بیک محمدی، ۱۳۹۰).

باتوجه‌به اینکه استان ایلام در حوزه کشاورزی در ردیف پنج استان برتر کشور قرار دارد (سازمان جهاد کشاورزی استان ایلام، ۱۴۰۱) و شهرستان دهلران به‌عنوان سنبل کشاورزی استان ایلام شناخته شده است که شغل اصلی بسیاری از روستاییان و حتی افراد ساکن در شهرها کشاورزی است (براساس آمار سازمان جهاد کشاورزی در سال ۱۴۰۱ بیش از ۶۰ هزار بهره‌بردار در استان وجود دارد)، لذا لزوم پایداری منابع پایه کشاورزی در این شهرستان و استان احساس می‌شود؛ درحالی‌که مرور مطالعات مختلف نشان می‌دهد تاکنون در زمینه پایداری کشاورزی در شهرستان دهلران با استفاده از همبست آب-انرژی - غذا (WEFNI)[1]، مطالعاتی صورت نگرفته است. اگرچه در کشور ایران بیات و همکاران (۱۴۰۰)، اروندی و همکاران (۱۴۰۰) و گودرزی و همکاران (۱۳۹۹) مطالعاتی با استفاده از رویکرد WEFNI در بخش کشاورزی شهرهای مختلف ایران انجام داده‌اند، اما نقطه ثقل این مطالعات بیشتر بر منابع آب استوار بوده است. لذا می‌توان گفت استفاده از این رویکرد در کشاورزی ایران در مراحل ابتدایی خود قرار دارد. بنابراین باتوجه‌به ضعف مطالعاتی در زمینه دیدگاه سیستمی بین سه منبع آب-انرژی - غذا در مدیریت پایدار کشاورزی، همچنین باتوجه‌به وضعیت نامناسب کشاورزی استان ایلام از لحاظ پایداری منابع کشاورزی و از آنجا که علاوه‌بر محصولات اصلی در این شهرستان، اکثر کشاورزان در کشت تابستانه و دوم خود اقدام به کشت چهار محصول ذرت دانه‌ای، کنجد، ماش و هندوانه می‌کنند که می‌تواند بیش از پیش پایداری منابع پایه کشاورزی شهرستان دهلران و استان ایلام را تهدید نماید، در این پژوهش همبست آب – انرژی و غذا در تولید محصولات کشاورزی تابستانه این شهرستان یعنی ذرت دانه‌ای، کنجد، ماش و هندوانه بررسی شد تا از این طریق بتوان در جهت افزایش بهره‌وری آب و انرژی و توسعه پایدار کشاورزی استان گام برداشت.

در ارتباط با محاسبه بهره‌وری آب و انرژی و WEFNI محصولات کشاورزی مطالعاتی در داخل و خارج از کشور انجام شده است. به‌عنوان‌مثال پژوهشگران مختلف بهره‌وری آب در هندوانه (Enyew و همکاران، ۲۰۲۰؛ M.El-Marsafawy و همکاران، ۲۰۱۸؛ Fuentes و همکاران، ۲۰۱۸؛ Sánchez و همکاران، ۲۰۱۵؛ Khalifa، ۲۰۲۰؛ Hama-Aziz و همکاران، ۲۰۲۳)، کنجد (Mohamoud و همکاران، ۲۰۱۹) و ذرت دانه‌ای (Tarkalson و همکاران، ۲۰۲۲؛ Buttinelli و همکاران، ۲۰۲۴) را محاسبه کردند. در جدول (۱) به طور خلاصه به نتایج برخی از مطالعات در سطح ملی و بین‌المللی اشاره شده است.

جدول ۱- مطالعات انجام گرفته در زمینه پژوهش

| نام پژوهشگر و سال انجام پژوهش | موضوع | نتیجه |
|---|---|---|
| غلامحسینی و همکاران (۱۴۰۱) | تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب و نیتروژن در تولید کنجد | میانگین درآمد ناخالص تولید کنجد در سال‌های آزمایش ۶۳/۳ میلیون ریال در هکتار و تحت رژیم‌های آبیاری کامل و کم آبیاری به ترتیب ۹۴/۱ و ۳۳ میلیون ریال در هکتار محاسبه شد. میانگین بهره‌وری فیزیکی آب تحت تیمار آبیاری کامل و کم آبیاری به ترتیب ۰/۲۷ و ۰/۱۸ کیلو گرم در متر مکعب آب آبیاری تعیین شد. میانگین بهره‌وری اقتصادی آب تحت تیمار آبیاری کامل و کم آبیاری به ترتیب ۲۱۳۳۶ و ۱۴۲۲۴ ریال در متر مکعب آب آبیاری برآورد شد. |
| کرمیان (۱۴۰۰) | توسعه مدل کشاورزی پایدار با رویکرد همبست آب- انرژی – غذا | نتیجه این پژوهش که با هدف ارائه الگوی کشت بهینه در مورد محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای، کلزا، گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی بود، نشان داد که WEFNI برای دو محصول گوجه‌فرنگی و سیب زمینی در حد متوسط و برای چهار محصول ذرت دانه‌ای، کلزا،گندم وجو در حد پایین است (گوجه‌فرنگی=۰/۷۸، سیب‌زمینی=۰/۶۷، ذرت دانه‌ای=۰/۳۴، کلزا=۰/۱۵، گندم=۰/۱۰ و جو=۰/۰۵). |

| نام پژوهشگر و سال انجام پژوهش | موضوع | نتیجه |
|---|---|---|
| محمدی و میسمی (۱۴۰۰) | بررسی الگوی مصرف انرژی در تولید ذرت دانه‌ای در ایران | متوسط عملکرد ذرت در نقاط مختلف ایران حدود ۶۱۶۷ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که به منظور تولید این مقدار دانه ذرت به طور متوسط ۵۵ گیگاژول در هکتار انرژی ورودی نیاز است. همچنین بر مبنای نتایج، در بین نهاده‌های ورودی کود ازته دارای بیشترین سهم (۲۹ درصد)؛ الکتریسیته (۲۸ درصد) و سوخت دیزل (۱۶درصد) می‌باشد. |
| صادقی و همکاران (۱۳۹۹) | بررسی کمی همبست آب، انرژی و غذا در مقیاس حوزه آبخیز برای کاربران کشاورزی | بر اساس نتایج در بین محصولات کشاورزی بادام بیشترین مقدار (۰/۷۹) و سیب زمینی و چغندر (۰/۱۷) کمترین مقدار سنجه WEF را به خود اختصاص دادند. |
| سیدان و متقی (۱۳۹۸) | محاسبه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در دو سامانه سنتی و مدرن برای ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای در استان همدان | در ذرت دانه‌ای، میانگین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در سامانه سنتی به ترتیب معادل ۰/۸۲ کیلوگرم بر متر مکعب و ۲۸۴۹ ریال بر متر مکعب به‌دست آمد. این مقادیر برای ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۱۱/۵ کیلوگرم بر متر مکعب و ۷۶۷۸ ریال بر متر مکعب محاسبه شد. |
| امینی و رونده (۱۳۹۴) | بررسی شاخص‌های انرژی برای تولید هندوانه در شهرستان کنارك استان سیستان‌بلوچستان | کل انرژی متوسط نهاده و ستانده به ترتیب برابر ۳۰۹۲۳/۲۹ و ۴۵۶۸۲/۳۳ مگاژول بر هکتار است و بیشترین سهم انرژی ورودی مصرفی مربوط به انرژی‌های سوخت دیزل با ۴۱ درصد و کود نیتروژن با ۳۶ درصد و کم‌ترین میزان مصرف انرژی، مربوط به انرژی بذر می باشد. |
| Pekarou Pemi و همکاران (۲۰۲۳) | ارزیابی پیوند آب-انرژی-غذا در مدیریت کشاورزی حوضه رودخانه تاریم و در مورد محصولات اصلی منطقه یعنی گندم، برنج، پنبه و ذرت از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ | محصولات مختلف تفاوت معنی‌داری در مصرف آب و انرژی داشتند. به‌عنوان‌مثال نیاز آبی ذرت ۴۲۷۱/۸ مترمکعب در هکتار بود. میزان WEFNI ذرت ۰/۴۳ بود. |
| Vito و همکاران (۲۰۱۷) | شاخص‌سازی برای ارزیابی پایداری روش آبیاری بر اساس چارچوب آب، انرژی و غذا در ایتالیا | در این پژوهش بهره‌وری روش‌های مختلف آبیاری در تولید گوجه فرنگی، انگور و زیتون نشان داد که تولید انگور و گوجه فرنگی هزینه بالایی از لحاظ مصرف آب دارد و زیتون کمترین مصرف آب را دارد. همچنین مشخص شد که در کشت گوجه فرنگی سودآوری اقتصادی بیشتر و زیتون سودآوری اقتصادی متوسطی دارد. |
| Li و همکاران (۲۰۱۶) | مدل‌سازی مصرف و بهره‌وری آب در محصولات کشاورزی در حوضه رودخانه | کارایی مصرف آب برای تمامی محصولات کشاورزی بزرگتر از یک بوده و در این بین، سبزیجات به ترتیب با ۲/۷۴ و ۳/۱۹ کیلوگرم بر متر مکعب در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳، دارای بالاترین بهره‌وری فیزیکی بوده است. کمترین بهره‌وری فیزیکی نیز مربوط به محصول گندم به ترتیب برابر ۱/۱۹ و ۱/۶۷ کیلوگرم بر متر مکعب برای دو سال یاد شده بوده است. |
| Umar و Ibrahim (۲۰۱۲) | مقایسه کارایی مصرف انرژی در کودهای شیمیایی و آلی | میزان انرژی مصرفی با استفاده از کودهای آلی نسبت به مصرف کودهای شیمیایی ۲۰ درصد کمتر است. همچنین در این مطالعه، کارآیی مصرف انرژی نیز به ترتیب ۵/۸ و ۵ به‌دست آمد. |
| Al-Said و همکاران (۲۰۱۲) | بررسی بهره‌وری آب در سبزیجات در سیستم آبیاری مدرن | کلم و سیب زمینی دارای بهره‌وری آب بالاتری نسبت به فلفل شیرین و هندوانه بوده به گونه‌ای که میانگین بهره‌وری فیزیکی آب در محصولات کلم و سیب‌زمینی به ترتیب برابر۷/۸ و ۱۱/۹ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است. |
| Liu و همکاران (۲۰۰۸) | محاسبه بهره‌وری فیزیکی آب در تولید ذرت برای ۱۲۱ کشور | بیشترین بهره‌وری فیزیکی آب مربوط به کشورهای آمریکا و چین با بیش از ۱/۵ و کمترین بهره‌وری فیزیکی آب مربوط به کشورهای آفریقایی با کمتر از ۱ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. |

باتوجه‌به مطالعاتی که انجام شده است، می‌توان گفت پایداری منابع یکی از چالش‌های اساسی است که تمامی جهان و از جمله کشور ایران به شدت با آن روبه‌رو است. مطالعات گذشته همچنین نشان می‌دهد که بهره‌وری فیزیکی و به ویژه بهره‌وری اقتصادی منابع بسته به منطقه مورد مطالعه و زمان انجام مطالعه، متفاوت است. افزایش بهره‌وری منابع تولید به ویژه در مناطقی که با کمبود مواجه هستند و خاک حاصلخیزتری دارند، اهمیتی فراوان دارد. لذا، باتوجه‌به قرار گرفتن استان ایلام در مناطق خشک و نیمه‌خشک و وجود زمین‌های حاصلخیز فراوان در این استان و به گونه خاص در شهرستان دهلران، محاسبه بهره‌وری منابع اهمیت دوچندان دارد. علاوه‌براین، موقعیت محور بودن شیوه‌های ارزیابی پایداری در هر کشوری و نوع داده‌های مورد نیاز در هر منطقه‌ای باعث شده است تا موضوع پایداری همبست منابع کشاورزی مورد توجه اکثر صاحبنظران این حوزه قرار گیرد و پژوهش‌های گوناگونی در

این زمینه انجام شود. اما اکثر پژوهش‌های انجام شده در زمینه محصولات اصلی مانند گندم و برنج بوده است. همچنین در خصوص محصولاتی مانند ذرت، ماش، کنجد و هندوانه و ارزیابی پایداری آن‌ها با استفاده از شاخص WEFN در استان ایلام و شهرستان دهلران مطالعه‌ای انجام نشده است و از این لحاظ این مطالعه برای اولین بار اقدام به محاسبه این شاخص برای این محصولات و همچنین مقایسه شاخص WEFN در سیستم‌های مختلف آبیاری در کشت محصولات مورد مطالعه خواهد نمود.

## روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر با رویکرد کمی و با هدف کلی بررسی همبست آب-انرژی-غذا در تولید محصولات کشاورزی تابستانه (ذرت دانه‌ای، کنجد، ماش و هندوانه) شهرستان دهلران انجام شد. پژوهش از نظر میزان کنترل متغیرها از نوع غیرآزمایشی می‌باشد، از لحاظ نحوه گردآوری داده‌ها میدانی و باتوجه‌به اینکه نتایج پژوهش به برنامه‌ریزان و کشاورزان در تصمیم‌گیری به منظور کشت محصولات مناسب تابستانه از لحاظ پایداری کشاورزی کمک می‌کند از لحاظ هدف از نوع تحقیقات کاربردی محسوب می‌شود. افراد مشارکت کننده در این پژوهش، تعداد ۵۴۸ نفر از کشاورزان شهرستان دهلران در استان ایلام بودند که در تابستان ۱۴۰۲ در کشت تابستانه به‌عنوان کشت دوم اقدام به کشت چهار محصول ذرت دانه‌ای، کنجد، ماش و هندوانه نمودند. به منظور تخمین تعداد نمونه، بر اساس جدول Krejci و Morgan (۱۹۷۰) تعداد ۲۲۱ نفر به‌عنوان نمونه انتخاب شدند. باتوجه‌به اینکه چهار محصول کنجد، ماش، ذرت دانه‌ای و هندوانه بررسی شده، انتخاب بهره‌برداران این چهار محصول به روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای با انتساب متناسب (نوع محصول) انجام شد. ابزار اصلی گردآوری داده‌ها پرسشنامه محقق ساخته بود. به منظور طراحی پرسشنامه از مبانی نظری، مشاهدات میدانی و مشورت با افراد صاحب‌نظر و دارای تجربه در این زمینه استفاده شد که در نهایت منتج به طراحی پرسشنامه‌ای بر اساس اهداف پژوهش شد. جهت اعتباربخشی به پرسشنامه تدوین شده از نظرات متخصصان موضوعی و کارشناسان کشاورزی بهره گرفته شد (افراد بیشتر در زمینه مهندسی آب، اقتصاد کشاورزی و مکانیزاسیون کشاورزی تخصص داشتند). پایایی پرسشنامه با استفاده از مطالعات مختلف همچون مطالعه Fan و همکاران (۲۰۲۰)، Yousefi و همکاران (۲۰۱۶)، Karamian و همکاران (۲۰۲۳) و یوسفی و مهدوی دامغانی (۱۳۹۲) که در زمینه نزدیک به پژوهش حاضر کار کرده‌اند، بررسی شد و علاوه‌بر موارد مطرح در مبانی نظری و پرسشنامه پژوهشگران مذکور، براساس شرایط و واقعیت‌های منطقه از نظرات متخصصان موضوعی در کشت محصولات مورد مطالعه، استفاده شد. تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار $SPSS_{win22}$ و Excel انجام شد.

**- بررسی میزان مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران**

میزان آب مصرفی در هر هکتار از محصولات مورد مطالعه با استفاده از سه فاکتور اصلی یعنی دبی آب خروجی، مدت زمان آبیاری و تعداد دفعات آبیاری محاسبه شد. با مشخص بودن دبی آب خروجی برحسب لیتر بر ثانیه و تبدیل آن به مترمکعب و برآورد آن برای کل مدت آبیاری (تعداد آبیاری × مدت زمان هر بار آبیاری) حجم آب مصرفی برآورد می‌شود (یوسفی و مهدوی دامغانی، ۱۳۹۲).

**- بررسی میزان مصرف انرژی در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران**

منظور از مصرف انرژی ($E_{c,t}$)، در واقع میزان انرژی صرف شده برای یک هکتار محصول C در مدت زمان t می‌باشد. جهت محاسبه میزان انرژی مصرفی توسط محصولات مورد مطالعه، ابتدا انرژی ورودی و خروجی محصولات برآورد شد و سپس با استفاده از جدول (۲) به معادل انرژی تبدیل شدند. انرژی‌های محاسبه شده در این پژوهش شامل انرژی‌های مستقیم (کار انسان، سوخت دیزل، الکتریسیته و آب) و انرژی غیرمستقیم (کودها و سموم شیمیایی، بذرها، ماشین آلات) می‌باشد. میزان انرژی صرف شده برای هر محصول در یک هکتار زمین زراعی براساس رابطه (۱) (مفاخری و همکاران، ۱۴۰۰؛ کرمیان و همکاران، ۱۴۰۰) محاسبه شد.

$$Ec,t = \sum_{n=1}^{\infty} \begin{pmatrix} q_h h_{(c,t)} + q_m m_{(c,t)} + q_d d_{(c,t)} + q_s s_{(c,t)} + q_w w_{(c,t)} \\ + q_e e_{(c,t)}\, q_p p_{(c,t)} + q_{he} he_{(c,t)} + q_d d_{(c,t)} \end{pmatrix} \quad (۱)$$

که در آن: $q_h$ معادل انرژی لازم برای هر ساعت نیروی کار انسانی (MJ/h)؛ $q_m$ معادل انرژی لازم برای هر ساعت کار ماشین‌آلات (MJ/h)؛ $q_d$ معادل انرژی لازم برای مصرف هر لیتر سوخت دیزل (MJ/L)؛ $q_s$ معادل انرژی لازم برای تولید هر کیلوگرم بذر (MJ/kg)؛ $q_w$ معادل انرژی لازم برای آبیاری محصول ($MJ/m^3$)؛ $q_e$ معادل انرژی لازم برای تولید الکتریسیته (MJ/kwh)؛ $q_p$ معادل انرژی لازم برای تولید آفت‌کش (MJ/kg)؛ $q_{he}$ معادل انرژی لازم برای تولید علف‌کش‌ها (MJ/kg)؛ $q_d$ معادل انرژی لازم برای تولید کودها (شیمیایی و دامی) (MJ/kg)؛ برای هر محصول C است. همچنین $h_{(c,t)}$ ساعت کار نیروی انسانی در هر هکتار (ساعت بر هکتار)؛ $m_{(c,t)}$ ساعت کار ماشین آلات در هر هکتار (ساعت بر هکتار)؛ $d_{(c,t)}$ مقدار سوخت دیزل مصرف شده (لیتر بر هکتار)؛ $s_{(c,t)}$ مقدار بذر مصرف شده (ذرت دانه‌ای، کنجد، ماش و هندوانه) در شهرستان دهلران(کیلوگرم بر هکتار)؛ $w_{(c,t)}$ مقدار آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار)؛ $e_{(c,t)}$ الکتریسیته مصرفی برای استخراج آب زیرزمینی (کیلو وات بر هکتار)؛ $p_{(c,t)}$ مقدار آفت‌کش مصرف شده (کیلوگرم بر هکتار)؛ $he_{(c,t)}$ مقدار علف‌کش مصرف شده (کیلوگرم بر هکتار)؛ $d_{(c,t)}$ مقدار کودهای مصرف شده (شیمیایی و دامی) (کیلوگرم بر هکتار)؛ برای هر محصول C در زمان t است.

انرژی لازم برای مصرف الکتریسیته نیز باتوجه‌به رابطه (۲) محاسبه شد (Ahmad و Khan، ۲۰۰۹).

$$E=p\times t\times c \quad (۲)$$

که E انرژی الکتریسیته (MJ)؛ p قدرت پمپ (kwh)؛ t مدت زمان کار پمپ و c معادل انرژی در هر کیلووات ساعت است (1kw = 3/6 MJ).

جدول ۲- معادل‌های انرژی (ورودی‌ها و خروجی‌ها) برای تولید محصولات مورد مطالعه

| ورودی | واحد | معادل انرژی | منبع |
|---|---|---|---|
| نیروی کار | ساعت (h) | ۱/۹۶ | Fabiani و همکاران (۲۰۲۰) |
| ماشین‌آلات | ساعت (h) | ۶۲/۷ | Fabiani و همکاران (۲۰۲۰) |
| سوخت دیزل | لیتر(L) | ۵۶/۳۱ | Jat و همکاران (۲۰۲۰)؛ Erdal و همکاران (۲۰۰۷) |
| الکتریسیته | کیلو وات ساعت (Kwh) | ۳/۶ | Yousefi و همکاران (۲۰۱۶) |
| آب آبیاری | متر مکعب ($m^3$) | ۱/۰۲ | Jat و همکاران (۲۰۲۰) |
| علف‌کش | کیلوگرم ماده مؤثره | ۲۵۴/۴۵ | Jat و همکاران (۲۰۲۰) |
| آفت‌کش | کیلوگرم ماده مؤثره | ۱۸۴/۶۳ | Jat و همکاران (۲۰۲۰) |
| کود پتاسیم | کیلوگرم (kg) | ۶/۷ | Jat و همکاران (۲۰۲۰)؛ Akcaoz و همکاران (۲۰۰۹) |
| کود فسفات | کیلوگرم (kg) | ۱۱/۱۰ | Jat و همکاران (۲۰۲۰) |
| کود نیتروژن | کیلوگرم (kg) | ۶۰/۶ | Jat و همکاران (۲۰۲۰)؛ Akcaoz و همکاران (۲۰۰۹) |
| کود دامی | کیلوگرم (kg) | ۰/۳ | عزیز پناه و همکاران (۱۳۹۹)؛ Karamian و همکاران (۲۰۲۱) |
| بذر محصولات | | | |
| ذرت دانه‌ای | کیلوگرم (kg) | ۱۴/۷ | Jat و همکاران (۲۰۲۰)؛ Karamian و همکاران (۲۰۲۱) |
| کنجد | کیلوگرم (kg) | ۰/۷۹ | رحیمی‌کیا و عمادی (۱۳۸۹) |
| ماش | کیلوگرم (kg) | ۱/۸۶ | گورویی و همکاران (۱۳۹۹) |
| بذر هندوانه | کیلوگرم (kg) | ۱ | بوگری و همکاران (۱۳۹۹) |
| خروجی | | | |
| ذرت دانه‌ای | کیلوگرم (kg) | ۱۴/۷ | Jat و همکاران (۲۰۲۰)؛ Karamian و همکاران (۲۰۲۱) |
| کنجد | کیلوگرم (kg) | ۰/۷۹ | رحیمی‌کیا و عمادی (۱۳۸۹) |
| ماش | کیلوگرم (kg) | ۱/۸۶ | گورویی و همکاران (۱۳۹۹) |
| هندوانه | کیلوگرم (kg) | ۱/۹ | Canakci و همکاران (۲۰۰۵) |

**- بررسی بهره‌وری فیزیکی آب و انرژی در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران**

بهره‌وری فیزیکی آب به‌صورت نسبت محصول کشاورزی تولید شده به مقدار آب مصرف شده محاسبه می‌شود (رابطه ۳) (Vazifedoust و همکاران، ۲۰۰۸ ).

$$PWP=Q_i/W_i \quad (۳)$$

که در آن: PWP بهره‌وری فیزیکی آب در کشت محصول بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب؛ Q مقدار محصول تولید شده از کشت محصول iام بر حسب کیلوگرم در هکتار؛ W مقدار آب مصرف شده بر حسب متر مکعب در هکتار برای تولید محصول iام می‌باشد.

بهره‌وری فیزیکی انرژی ($E_{p,t}$) در زمان t، با نسبت بین عملکرد محصول C و مصرف انرژی آن بر اساس رابطه (۴) (El-Gafy، ۲۰۱۷) محاسبه شد.

$$E_{p,t}=Y_{c,t}/E_{c,t} \quad (۴)$$

که در آن: $E_{p,t}$ بهره‌وری انرژی نهاده‌ها (نیروی کار، ماشین‌آلات، سوخت، آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و دامی، آب آبیاری، الکتریسیته، بذور مصرفی) در زمان t است بر حسب کیلو گرم بر مگا ژول؛ $Y_{c,t}$ عملکرد محصول C بر حسب کیلوگرم بر هکتار؛ $E_{c,t}$ مصرف انرژی در یک هکتار محصول C در در زمان t، بر حسب مگاژول در هکتار.

**- بررسی بهره‌وری اقتصادی آب و انرژی در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران**

از آنجا که در بهره‌وری فیزیکی، عملکرد محصول لحاظ می‌شود و سود و هزینه درنظر گرفته نمی‌شود لذا بالا بودن بهره‌وری فیزیکی یک محصول دلیلی بر سود اقتصادی بیشتر آن محصول نیست. لذا لازم است به‌منظور قضاوت در این زمینه بهره‌وری اقتصادی محاسبه شود که سود و هزینه تولید محصول در فرمول گنجانده می‌شود (Van Halsema و Vincent، ۲۰۱۷).

شاخص بهره‌وری اقتصادی آب براساس رابطه (۵) محاسبه شد (Van Halsema و Vincent، ۲۰۱۷).

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

که در آن: WEP بهره‌وری اقتصادی آب بر حسب ریال در مترمکعب؛ $N_{c,t}$ بازده ناخالص اقتصادی برای محصول c در زمان t در یک هکتار بر حسب ریال در هکتار؛ $C_{c,t}$ مجموع هزینه نهاده‌های مورد استفاده در یک هکتار محصول C در زمان t (بر حسب ریال در هکتار) و $W_i$ مقدار آب مصرف شده برای تولید محصول i ام بر حسب متر مکعب در هکتار است.

به منظور محاسبه بهره‌وری اقتصادی انرژی از رابطه (۶) استفاده شد (El-Gafy، ۲۰۱۷).

$$EEP=(N_{c,t}-C_{c,t})/E_{c,t} \quad (۶)$$

که در آن: EEP بهره‌وری اقتصادی انرژی C در زمان t بر حسب ریال در مگاژول؛ $E_{c,t}$ انرژی مصرفی نهاده‌های مورد استفاده (نیروی

کار، ماشین‌آلات، سوخت، آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و دامی، آب آبیاری، الکتریسیته، بذور مصرفی) در یک هکتار از محصول C در زمان t (مگاژول در هکتار) است.

**- بررسی شاخص همبست آب-انرژی- غذا (WEFNI) در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران**

در نهایت با ترکیب ۶ معیار به دست آمده برای هر محصول، WEFNI محاسبه شد. از آنجا که هر معیار دارای واحد متفاوتی می‌باشد لذا در پژوهش حاضر، قبل از محاسبه شاخص نهایی، ابتدا نرمال سازی هر معیار با استفاده از رابطه (۷) که توسط Juwana و همکاران (۲۰۱۲) پیشنهاد شده است، صورت گرفت.

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

که $X_i$ مقدار نرمال شده هر معیار (۶ معیار)، $x_i$ مقدار واقعی هر معیار، $Max(x_i)$ حداکثر مقدار معیارها، $Min(x_i)$ حداقل مقدار معیارها می‌باشد. سرانجام با ترکیب ۶ معیار نرمال شده، WEFNI از طریق رابطه (۸) محاسبه شد (El-Gafy، ۲۰۱۷).

$$WEFNI = {\sum_{i=1}^{n} w_i X_i}/{\sum_{i=1}^{n} w_i} \quad (۸)$$

که $w_i$ وزن به کار رفته برای هر معیار و n تعداد معیارها می‌باشد. از آنجا که معیارها از نظر میزان اهمیت با یکدیگر متفاوت می‌باشند، لذا در پژوهش حاضر برای وزن‌دهی به معیارها از نظر متخصصان (کارشناسان کشاورزی، آب و کارشناسان برق استان ایلام و کشاورزان) بهره گرفته شد. مقدار WEFNI بین عدد ۰ و ۱ است. هر چه مقدار آن در کشت یک محصول به ۱ نزدیکتر باشد نشان دهنده این است که در شرایط کنونی در تولید آن محصول، کشاورزی پایدار بیشتر مورد توجه قرار گرفته است و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده عدم توجه به کشاورزی پایدار در کشت محصول می‌باشد (El-Gafy، ۲۰۱۷؛ Karamian و همکاران، ۲۰۲۱، ۲۰۲۳).

## یافته‌ها

**-بررسی میزان مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران**

میزان مصرف آب در کشت چهار محصول تابستانه شهرستان دهلران در جدول (۳) ارائه شده است.

همان‌طور که جدول نشان می‌دهد میزان مصرف آب در کشت ذرت دانه‌ای ۶۵۳۱/۶۲ متر مکعب در هکتار و در کشت هندوانه ۷۶۴۱/۸۸ مترمکعب در هکتار است. همچنین میزان مصرف آب در کشت کنجد و ماش نیز به ترتیب ۹۹۴/۷۱ و ۱۵۴۶/۲۵ مترمکعب در هکتار است. بر این اساس می‌توان گفت بیشترین میزان مصرف آب مربوط به هندوانه و کمترین میزان مصرف آب در بین محصولات تابستانه شهرستان دهلران مربوط به کنجد می‌باشد.

جدول ۳- میزان مصرف آب (مترمکعب در هکتار) در کشت چهار محصول تابستانه شهرستان دهلران

| نوع محصول | حجم آب (مترمکعب در هکتار) | میانگین دور آبیاری | میانگین مدت زمان آبیاری (ساعت) | میانگین میزان مصرف آب (مترمکعب در هکتار) |
|---|---|---|---|---|
| ذرت دانه‌ای | ۱۰۷/۲۰ | ۱۲/۶۴ | ۴/۸۲ | ۶۵۳۱/۶۲ |
| هندوانه | ۱۰۴/۸۶ | ۱۳/۱۳ | ۵/۵۵ | ۷۶۴۱/۸۸ |
| کنجد | ۱۰۰/۴۷ | ۳ | ۳/۳۰ | ۹۹۴/۷۱ |
| ماش | ۱۱۰/۲۵ | ۴/۲۵ | ۳/۳۰ | ۱۵۴۶/۲۵ |

**-میزان نهاده‌های ورودی و خروجی در محصولات مورد مطالعه**

بر اساس اطلاعات جدول (۴) در هندوانه (۸۰۷۴/۷۴ کیلو وات ساعت) و ذرت دانه‌ای (۱۵۱۳۴/۸۶ کیلو وات ساعت)، بیشترین میزان نهاده ورودی مربوط به الکتریسیته، می‌باشد. در کشت ماش میزان مصرف تمامی نهاده‌ها به جز نیروی کار بیشتر از کنجد است. اما از لحاظ مصرف کود، در کشت کنجد، نیتروژن (۱۷۵ کیلوگرم) بیشتری استفاده می‌شود. در کشت کنجد و ماش، هیچ آفت‌کشی استفاده نمی‌شود، همچنین میزان استفاده از علف‌کش‌ها در کشت کنجد صفر است. اطلاعات مربوط به سایر محصولات در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴- مقدار نهاده‌های ورودی و خروجی در کشت یک هکتار از محصولات تابستانه شهرستان دهلران

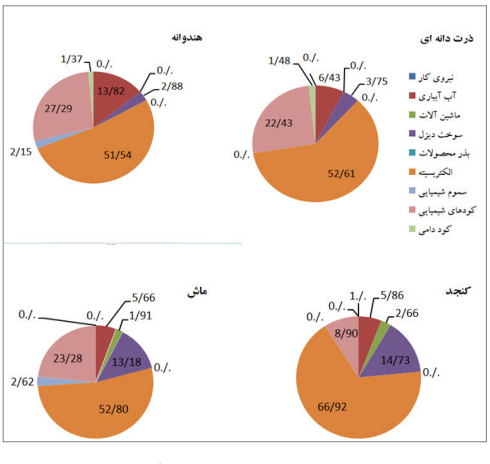
| ورودی و خروجی | ذرت دانه‌ای | هندوانه | کنجد | ماش |
|---|---|---|---|---|
| الف) ورودی‌ها | | | | |
| نیروی کار (h) | ۶۳/۲۱ | ۱۳۲/۳۷ | ۸۰ | ۴۹ |
| آب برای آبیاری ($m^3$) | ۶۵۳۱/۶۲ | ۷۶۴۱/۸۸ | ۹۹۴/۷۱۲ | ۱۵۴۶/۲۵۶ |
| ماشین‌آلات (h) | ۹/۳۲ | ۴/۱۷ | ۷/۳۶ | ۸/۴۸ |
| سوخت دیزل (L) | ۶۹/۰۶ | ۲۸/۸۹ | ۴۵/۲۷ | ۶۵/۱۶ |
| بذر محصولات (kg) | ۲۴/۶۱ | ۰/۶۰ | ۳/۳۳ | ۲۵/۵ |
| الکتریسیته (Kwh) | ۱۵۱۳۴/۸۶ | ۸۰۷۴/۷۴ | ۳۲۱۷/۲ | ۴۰۸۲/۱۱ |
| آفت‌کش (kg) | ۰/۸۴ | ۳/۸۴ | - | - |
| علف‌کش‌ها (kg) | ۱ | ۲ | - | ۲/۸۷ |
| کودها (kg) | | | | |
| نیتروژن | ۳۵۱/۹۲ | ۲۲۰/۶۸ | ۱۷۵ | ۸۱/۲۵ |
| فسفر | ۱۱۹/۱۲ | ۱۲۴/۱۳ | ۸۷/۵ | ۸۷/۵ |
| پتاسیم | ۸۷/۶۳ | ۹۶/۱۵ | ۸۳/۳۳ | ۸۷/۵ |
| کود دامی | ۵۱۴۰ | ۲۵۸۰ | - | - |
| ب) خروجی (kg) | | | | |
| عملکرد | ۷۵۷۱/۴۲ | ۵۱۰۳۴/۴۸ | ۸۱۶/۶۶ | ۷۵۸/۷۵ |

**-بررسی معیار مصرف انرژی در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران**

اطلاعات جدول (۵) و شکل (۱) نشان می‌دهد در کشت ذرت دانه‌ای و هندوانه بیشترین میزان انرژی ورودی مربوط به الکتریسیته است. همچنین کل انرژی ورودی در ذرت دانه‌ای ۱۰۳۵۵۸/۸۵ مگاژول در هکتار و در هندوانه ۵۶۳۹۹/۱۶ مگاژول در هکتار می‌باشد. در دو محصول کنجد و ماش نیز، میزان انرژی ورودی به ترتیب ۱۷۳۰۶/۷۳ مگاژول در هکتار و ۲۷۸۲۸/۶ مگاژول در هکتار است.

جدول ۵- میزان انرژی ورودی و خروجی در کشت یک هکتار از چهار محصول تابستانه شهرستان دهلران (MJ/ha)

| ورودی و خروجی | ذرت دانه‌ای | هندوانه | کنجد | ماش |
|---|---|---|---|---|
| الف) ورودی‌ها | | | | |
| نیروی کار (h) | ۱۲۳/۸۹ | ۲۵۹/۴۴ | ۱۵۶/۸ | ۹۶/۰۴ |
| آب برای آبیاری ($m^3$) | ۶۶۶۲/۲۵ | ۷۷۹۴/۷۱ | ۱۰۱۴/۶۰ | ۱۵۷۷/۱۸ |
| ماشین‌آلات (h) | ۵۸۴/۳۶ | ۲۶۱/۴۵ | ۴۶۱/۴۷ | ۵۳۱/۶۹ |
| سوخت دیزل (L) | ۳۸۸۸/۷۶ | ۱۶۲۶/۷۹ | ۲۵۴۹/۱۵ | ۳۶۶۹/۱۵ |
| بذر محصولات (kg) | ۳۶۱/۷۶ | ۰/۶۰ | ۲/۶۳ | ۴۷/۴۳ |
| الکتریسیته (Kwh) | ۵۴۴۸۵/۴۹ | ۲۹۰۶۹/۰۶ | ۱۱۵۸۱/۹۲ | ۱۴۶۹۵/۵۹ |
| آفت‌کش (kg) | ۱۵۵/۰۸ | ۷۰۸/۹۷ | - | - |
| علف‌کش‌ها (kg) | ۲۵۴/۴۵ | ۵۰۸/۹ | - | ۷۳۰/۲۷ |
| کودها (kg) | | | | |
| نیتروژن | ۲۱۳۲۶/۳۵ | ۱۳۳۷۳/۲۰ | ۱۰/۶۰ | ۴۹۲۳/۷۵ |
| فسفر | ۱۳۲۲/۲۳ | ۱۳۷۷/۸۴ | ۹۷۱/۲۵ | ۹۷۱/۲۵ |
| پتاسیم | ۵۸۷/۱۲ | ۶۴۴/۲۰ | ۵۵۸/۳۱ | ۵۸۶/۲۵ |
| کود دامی | ۱۵۴۲ | ۷۷۴ | - | - |
| کل انرژی ورودی | ۱۰۳۵۵۸/۸۵ | ۵۶۳۹۹/۱۶ | ۱۷۳۰۶/۷۳ | ۲۷۸۲۸/۶ |
| ب) خروجی (kg) | | | | |
| عملکرد | ۱۱۱۲۹۹/۵۸ | ۹۶۹۶۵/۵۱ | ۶۴۵/۱۶ | ۱۴۱۱/۲۷ |




شکل ۱- مقدار انرژی ورودی در محصولات کشت شده در شهرستان دهلران در هر هکتار

**- بررسی بهره‌وری فیزیکی آب و انرژی در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران**

بهره‌وری فیزیکی آب در کشت چهار محصول در جدول (۶) ارائه شده است. بر اساس نتایج، میزان بهره‌وری فیزیکی آب هندوانه، ۶/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. بهره‌وری فیزیکی آب در ذرت دانه‌ای نیز ۱/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. میزان بهره‌وری فیزیکی آب برای ماش ۰/۴۹ کیلوگرم بر مترمکعب و برای کنجد۰/۸۲ کیلوگرم بر مترمکعب است. بر این اساس بیشترین و کمترین بهره‌وری فیزیکی آب به ترتیب مربوط به هندوانه و ماش می‌باشد. میزان بهره‌وری فیزیکی انرژی در کشت هندوانه ۰/۹۰ کیلوگرم بر مگاژول و در کشت ذرت دانه‌ای، ۰/۰۷۳ کیلوگرم بر مگاژول می‌باشد. میزان بهره‌وری فیزیکی انرژی در ماش ۰/۰۲۷ کیلوگرم بر مگاژول و در کنجد ۰/۰۴۷ است. بیشترین بهره‌وری فیزیکی انرژی مربوط به هندوانه و کمترین بهره‌وری فیزیکی مربوط به ماش می‌باشد.

جدول ۶- بهره‌وری فیزیکی آب و انرژی در سطح یک هکتار از محصولات تابستانه شهرستان دهلران

| نام محصول | بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم بر مترمکعب) | بهره‌وری فیزیکی انرژی (کیلوگرم بر مگاژول) |
|---|---|---|
| هندوانه | ۶/۶۷ | ۰/۹۰ |
| ذرت دانه‌ای | ۱/۱۵ | ۰/۰۷۳ |
| کنجد | ۰/۸۲ | ۰/۰۴۷ |
| ماش | ۰/۴۹ | ۰/۰۲۷ |

**- بهره‌وری اقتصادی آب و انرژی در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران**

قبل از محاسبه بهره‌وری اقتصادی آب و انرژی محصولات لازم است که میانگین هزینه-فایده آنها محاسبه شود. همان‌طور که جدول (۷) نشان می‌دهد بالاترین سود حاصل از کشت محصولات تابستانه در شهرستان دهلران به ترتیب مربوط به کشت هندوانه و کنجد می‌باشد. پس از محاسبه میانگین هزینه-فایده محصولات، بهره‌وری اقتصادی آب و انرژی در آن‌ها محاسبه شد (جدول ۸). بر اساس جدول (۸)، در کشت هندوانه بهره‌وری اقتصادی آب (۷۹۷۵۷ ریال بر متر مکعب) است. میزان بهره‌وری اقتصادی آب در کشت ذرت دانه‌ای نیز ۴۱۲۸۴ ریال بر متر مکعب است. در کشت کنجد بهره‌وری اقتصادی آب ۲۹۷۰۰۰ ریال بر مترمکعب و بیشتر از ماش است (۳۳۰۰۰ریال بر متر مکعب). در شکل (۲) بهره‌وری اقتصادی آب و انرژی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، بهره‌وری اقتصادی انرژی در کشت هندوانه ۱۰۸۰۶ ریال در مگاژول و در کشت ذرت دانه‌ای ۲۶۰۴ ریال در مگاژول است. بهره‌وری اقتصادی انرژی در کشت کنجد، ۱۷۰۵۰ ریال در مگاژول و در کشت ماش ۱۸۱۵ ریال در مگاژول است.

جدول ۷- میانگین هزینه-فایده محصولات مورد مطالعه در سطح یک هکتار و در سال زراعی ۱۴۰۱

| محصول | عملکرد در هکتار (کیلوگرم) | قیمت هر کیلوگرم (ریال) | درآمد ناخالص هر محصول (ریال در هکتار) | هزینه تولید هر محصول (ریال در هکتار) | سود هر محصول (ریال در هکتار) |
|---|---|---|---|---|---|
| ذرت دانه‌ای | ۷۵۷۱/۴۲ | ۷۱۵۰۰ | ۵۴۱۳۵۶۵۳۰ | ۲۷۱۶۸۴۲۵۴ | ۲۶۹۶۷۲۲۷۶ |
| هندوانه | ۵۱۰۳۴/۴۸ | ۱۸۷۰۰ | ۹۵۴۳۴۴۷۷۶ | ۳۴۴۸۴۷۲۵۶ | ۶۰۹۴۹۷۵۲۰ |
| کنجد | ۸۱۷ | ۵۳۳۵۰۰ | ۴۳۹۱۳۶۵۰۰ | ۱۳۸۸۵۳۰۰۰ | ۳۰۰۲۷۸۰۰۰ |
| ماش | ۷۵۹ | ۲۴۷۵۰۰ | ۱۸۹۷۵۰۰۰۰ | ۱۳۸۴۶۸۰۰۰ | ۵۱۲۷۶۵۰۰ |

جدول ۸- بهره‌وری اقتصادی آب و انرژی در سطح یک هکتار از محصولات تابستانه شهرستان دهلران

| نام محصول | بهره‌وری اقتصادی آب (ریال بر مترمکعب) | بهره‌وری اقتصادی انرژی (ریال بر مگاژول) |
|---|---|---|
| هندوانه | ۷۹۷۵۷ | ۱۰۸۰۶ |
| ذرت دانه‌ای | ۴۱۲۸۴ | ۲۶۰۴ |
| کنجد | ۲۹۷۰۰۰ | ۱۷۰۵۰ |
| ماش | ۳۳۰۰۰ | ۱۸۱۵ |

شکل ۲- بهره‌وری اقتصادی آب (ریال بر مترمکعب) و انرژی (ریال بر مگاژول) در کشت محصولات تابستانه شهرستان دهلران

**- بررسی شاخص همبست آب-انرژی- غذا (WEFNI) در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران**

به‌منظور تدوین نهایی شاخص همبست آب-انرژی-غذا در کشت محصولات تابستانه ابتدا نتایج ۶ معیار برای هر محصول ارائه شد (جدول ۹). ازآنجاییکه هر معیار واحد متفاوتی دارد، به منظور یکسان‌سازی واحد معیارها، این واحد نرمال‌سازی شد (جدول ۱۰). همچنین باتوجه‌به اینکه معیارها ارزش متفاوتی نسبت به یکدیگر دارند، لذا از افراد صاحب‌نظر (که شامل کشاورزان و کارشناسان بودند) خواسته شد که به هر معیار بر اساس میزان اهمیت آن، وزنی اختصاص دهند. سپس میانگین وزنی هر معیار در مقدار نرمال آن معیار ضرب شد (جدول ۱۱). مقادیر شاخص‌های همبست نیز در جدول (۱۱) ارائه شده است. مقدار این شاخص بین ۰ و ۱ می‌باشد. همان‌طور که جدول نشان می‌دهد مقادیر شاخص برای هندوانه بالاتر از سطح متوسط و برای سایر محصولات کمتر از سطح متوسط است. همچنین بر اساس مقادیر شاخص‌های همبست، هندوانه (WEFNI=۰/۷۱) پایدارترین و ماش (WEFNI=۰/۰۳۵) ناپایدارترین محصول است.

جدول ۱۰- مقادیر نرمال شده معیارهای همبست آب-انرژی-غذا

| محصول | هندوانه | ذرت دانه‌ای | کنجد | ماش |
|---|---|---|---|---|
| مصرف آب | ۱ | ۰/۸۳۲ | ۰ | ۰/۰۸۳ |
| مصرف انرژی | ۰/۴۵۳ | ۱ | ۰ | ۰/۱۲۱ |
| بهره‌وری فیزیکی آب | ۱ | ۰/۱۰۶ | ۰/۰۵۳ | ۰ |
| بهره‌وری فیزیکی انرژی | ۱ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۲۲ | ۰ |
| بهره‌وری اقتصادی آب | ۰/۱۷۷ | ۰/۰۳۱ | ۱ | ۰ |
| بهره‌وری اقتصادی انرژی | ۰/۵۹۰ | ۰/۰۵۱ | ۱ | ۰ |
| کل | ۴/۲۲ | ۲/۰۷۲ | ۲/۰۷۵ | ۰/۲۰۴ |

جدول ۹- مقادیر واقعی معیارهای همبست آب-انرژی-غذا

| محصول | مصرف | | بهره‌وری فیزیکی | | بهره‌وری اقتصادی | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | آب (مترمکعب در هکتار) | انرژی (مگاژول در هکتار) | آب (کیلوگرم بر مترمکعب) | انرژی (کیلوگرم بر مگاژول) | آب (ریال بر مترمکعب) | انرژی (ریال در مگاژول) |
| هندوانه | ۷۶۴۱/۸۸ | ۵۶۳۹۹/۱۶ | ۶/۶۷ | ۰/۹۰ | ۷۹۷۵۷ | ۱۰۸۰۶ |
| ذرت دانه‌ای | ۶۵۳۱/۶۲ | ۱۰۳۵۵۸/۸۵ | ۱/۱۵ | ۰/۰۷۳ | ۴۱۲۸۴ | ۲۶۰۴ |
| کنجد | ۹۹۴/۷۱ | ۱۷۳۰۶/۷۳ | ۰/۸۲ | ۰/۰۴۷ | ۲۹۷۰۰۰ | ۱۷۰۵۰ |
| ماش | ۱۵۴۶/۲۵ | ۲۷۸۲۸/۶ | ۰/۴۹ | ۰/۰۲۷ | ۳۳۰۰۰ | ۱۸۱۵ |

جدول ۱۱- مقادیر وزنی معیارها وWEFNI در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران

| محصول | هندوانه | ذرت دانه‌ای | کنجد | ماش | وزن |
|---|---|---|---|---|---|
| مصرف آب | ۹/۶ | ۷/۹۸ | ۰/۰۰۰ | ۰/۷۹ | ۹/۶ |
| مصرف انرژی | ۳/۹۸ | ۸/۸ | ۰/۰۰۰ | ۱/۰۶ | ۸/۸ |
| بهره‌وری فیزیکی آب | ۹/۲ | ۱/۴۷ | ۰/۴۸۷ | ۰/۰۰۰ | ۹/۲ |
| بهره‌وری فیزیکی انرژی | ۸/۶ | ۰/۴۴۷ | ۰/۱۸۹ | ۰/۰۰۰ | ۸/۶ |
| بهره‌وری اقتصادی آب | ۱/۴۸ | ۰/۲۶۰ | ۸/۴ | ۰/۰۰۰ | ۸/۴ |
| بهره‌وری اقتصادی انرژی | ۴/۶۰ | ۰/۳۹۷ | ۷/۸ | ۰/۰۰۰ | ۷/۸ |
| کل | ۳۷/۴۶ | ۱۹/۳۵ | ۱۶/۸۷ | ۱/۸۵ | ۵۲/۴ |
| شاخص همبست (WEFNI) | ۰/۷۱ | ۰/۳۷ | ۰/۳۲ | ۰/۰۳۵ | - |

## بحث و نتیجه‌گیری

باتوجه‌به‌نقش‌تعیین‌کننده‌محصولات‌زراعی‌در‌امنیت‌غذایی‌جوامع، در آینده اراضی زراعی بیش از سایر منابع محدودکننده تولید غذا در جهان خواهند بود. لذا بهره‌برداری صحیح از آنها اهمیت ویژه‌ای دارد (Chiun و Hwong، ۲۰۲۰). استان ایلام جزء استان‌های برتر در تولید محصولات کشاورزی در کشور می‌باشد و شهرستان دهلران نیز قطب تولید کشاورزی در استان ایلام و نماد کشاورزی استان می‌باشد. محصولات اصلی که در این استان کشت می‌شود شامل گندم، جو و کلزا است. علاوه‌برآن کشاورزان استان در کشت دوم و تابستانه خود اقدام به کشت محصولاتی مانند ذرت دانه‌ای، کنجد، هندوانه و ماش می‌کنند که می‌تواند توسعه پایدار کشاورزی استان را در سنوات آتی با مشکلات حادتری مواجه سازد. لذا این پژوهش با هدف کلی بررسی پایداری آب و انرژی در تولید محصولات کشاورزی تابستانه شهرستان دهلران در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ انجام شد.

بر اساس نتایج، بیشترین میزان مصرف آب مربوط به هندوانه (۷۶۴۱/۸۸ متر مکعب بر ساعت) است. ذرت دانه‌ای دومین محصول تابستانه شهرستان دهلران با میزان مصرف بالای آب می‌باشد (۶۵۳۱/۶۲ متر مکعب بر ساعت). میزان مصرف آب در کشت کنجد ۹۹۴/۷۱ متر مکعب بر هکتار می‌باشد که کمترین میزان است. بر اساس آمار ارائه شده توسط فائو، ایران در تولید هندوانه مقام سوم جهان را دارد که به معنای کشت یک محصول آب‌بر در سرزمین خشک و نیمه خشک است (امینی و رونده، ۱۳۹۴). به‌عبارت‌دیگر کشت دو محصول ذرت دانه‌ای و هندوانه باتوجه‌به مصرف بالای آب می‌تواند باعث کاهش سفره‌های آب زیر زمینی در شهرستان دهلران و استان ایلام شود و کشاورزی استان و به خصوص از لحاظ کشت سایر محصولات تابستانه را در سال‌های آینده با مشکل مواجه سازد. از آنجا که هندوانه قابلیت کشت در گلخانه را دارد، لذا کشت این محصول آب‌بر در گلخانه، همان‌طور که در برخی نقاط کشور و بسیاری از کشورهای توسعه یافته در گلخانه کشت می‌شود، می‌تواند با حداقل مصرف آب تولید شود. لازمه کشت محصولی چون هندوانه در گلخانه مدیریت‌های صحیح و مناسب آبیاری است که آبیاری قطره‌ای یکی از این روش‌ها به‌شمار می‌آید. با استفاده از تکنولوژی‌های دانش بنیان و سیستم‌های جدید در گلخانه و استفاده از کود مناسب به میزان مطلوب، مصرف آب در کشت هندوانه به روش گلخانه‌ای در مقایسه با کشت به روش سنتی به یک پنجم و یا حتی بیشتر کاهش می‌یابد.

بیشترین میزان نهاده مصرفی در کشت محصولات تابستانه مربوط به الکتریسیته (۱۵۱۳۴/۸۶ کیلو وات ساعت) می‌باشد. می‌توان گفت الکتروپمپ‌های دارای بازدهی بالاتر می‌توانند با مصرف انرژی کمتر میزان آب مورد نظر را تامین کنند. در مواردی که نیاز به نصب یا تعویض الکتروپمپ باشد انتخاب الکتروموتور و پمپ دارای بازدهی بالاتر، هزینه‌های برق مصرفی کشاورزان را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد داد. همچنین انتخاب اندازه پمپ باید متناسب با میزان آب مورد نیاز، عمق چاه و دیگر مشخصات بهره‌برداری باشد. در زمان حفر چاه جهت انتخاب پمپ و الکتروموتور و همچنین نحوه لوله‌کشی لازم است از کارشناسان و متخصصان این حوزه استفاده شود و از نظرات افراد غیر متخصص پرهیز شود. علاوه‌برآن تهیه برنامه زمان‌بندی و انجام سرویس‌های دوره‌ای الکتروموتورها تا حد قابل توجهی به کارایی، کاهش مصرف برق و آب و افزایش عمر مفید آن‌ها در مدت زمان بهره‌برداری کمک می‌کند. همچنین می‌توان از ترکیبی از موتورهای برقی، هیدرولیکی آبی و روغنی نیز استفاده نمود.

بیشترین میزان ساعت کاری (۱۳۲/۳۷ ساعت نیروی کار) و آب آبیاری (۷۶۴۱/۸۸ متر مکعب مصرف آب) مربوط به کشت هندوانه می‌باشد. باتوجه‌به اینکه در کشت هندوانه بیشتر عملیات کاشت، داشت و برداشت به وسیله نیروی انسانی انجام می‌شود، لذا کشت این محصول با بالاترین میزان ساعت کاری مربوط به نیروی انسانی همراه بوده است. در ارتباط با میزان آب مصرفی نیز همان‌طور که گفته شد هندوانه یک محصول آب‌بر با بیشترین مصرف آب می‌باشد. به خصوص در روش سنتی و جوی پشته که بیشترین هدر رفت و تبخیر آب در آن صورت می‌پذیرد. کمترین میزان ساعت کاری (۴۹ ساعت نیروی کار) و آب آبیاری (۹۹۴/۷۱۲ مترمکعب) نیز به

ترتیب مربوط به کشت ماش و کنجد می‌باشد. باتوجه‌به اینکه در شهرستان دهلران بیشتر عملیات مربوط به کاشت و برداشت ماش توسط ماشین‌آلات انجام می‌شود، نیاز به نیروی انسانی کمتری دارد. کنجد گیاهی مقاوم به خشکی و گرما است و به جز در مراحل گلدهی می‌تواند نسبت به کم‌آبی مقاوم باشد به همین دلیل کشت آن با شرایط آب و هوایی شهرستان دهلران و به خصوص از لحاظ مصرف آب و مقاومت نسبت به خشکسالی مناسب است.

استفاده از ماشین‌آلات در مراحل مختلف کشت محصولات اختلاف چندان زیادی با یکدیگر ندارند و بین ۷ تا ۹ ساعت در نوسان می‌باشد. اما در محصول هندوانه نسبت به سایر روش‌های آبیاری، میزان استفاده از ماشین‌آلات پایین‌تر (چهار ساعت در هکتار) می‌باشد. این مسئله به آن علت است که در کشت هندوانه اکثریت عملیات به وسیله نیروی کار انسان انجام می‌شود.

از لحاظ مصرف انرژی ورودی، برای تولید یک هکتار ذرت دانه‌ای ۱۰۳۵۵۸/۸۵ مگاژول انرژی مصرف می‌شود که بیشترین میزان انرژی ورودی در بین محصولات کشت شده است. بیشترین سهم انرژی ورودی در کشت ذرت دانه‌ای مربوط به الکتریسیته با ۵۴۴۸۵/۴۹ مگاژول در هکتار (۵۱/۶۲ درصد) و نیتروژن با ۲۱۳۲۶/۳۵ مگاژول در هکتار است. در این راستا محمدی و میسمی (۱۴۰۰) الگوی مصرف انرژی در تولید ذرت دانه‌ای در ایران را بررسی کردند. بر اساس نتیجه پژوهش متوسط عملکرد ذرت در نقاط مختلف ایران حدود ۶۱۶۷ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که به منظور تولید این مقدار دانه ذرت به طور متوسط ۵۵ گیگاژول در هکتار انرژی ورودی نیاز است. همچنین بر مبنای نتایج، در بین نهاده‌های ورودی، به ترتیب کود ازته (۲۹ درصد)، الکتریسیته (۲۸ درصد) و سوخت دیزل (۱۶درصد) بیشترین سهم را در تولید محصولات دارند. در این پژوهش میانگین نسبت انرژی خروجی به ورودی برای ذرت دانه‌ای کشور ۲/۹۲ به دست آمده است. همچنین بر مبنای نتایج، میزان انرژی ورودی کنجد ۱۷۳۰۶/۷۳ مگاژول در هکتار است. در کشت کنجد کمترین میزان انرژی ورودی مربوط به بذر محصول (۲/۶۳ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین انرژی ورودی نیز مربوط به الکتریسیته (۱۱۵۸۱/۹۲ مگاژول در هکتار) با سهم۶۷ درصدی است.

در کشت هندوانه مجموع انرژی ورودی۵۶۳۹۹/۱۶ مگاژول در هکتار می‌باشد. در ارتباط با انرژی مصرفی در کشت هندوانه، امینی و رونده (۱۳۹۴) در پژوهشی شاخص‌های انرژی برای تولید هندوانه در شهرستان کنارك استان سیستان بلوچستان را بررسی کردند و نتیجه گرفتند کل انرژی متوسط نهاده و ستانده به ترتیب برابر ۳۰۹۲۳/۲۹ و ۴۵۶۸۲/۳۳ مگاژول بر هکتار است و بیشترین سهم انرژی ورودی مصرفی مربوط به انرژی‌های سوخت دیزل با ۴۱ درصد و کود نیتروژن با ۳۶ درصد و کمترین میزان مصرف انرژی، مربوط به انرژی بذر می‌باشد.

بر مبنای نتایج، بالاترین میزان بهره‌وری فیزیکی آب مربوط به هندوانه (۶/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب) است. این نتیجه نشان می‌دهد در کشت هندوانه به ازای هر واحد آب مصرفی، محصول بیشتری تولید می‌شود. بعد از هندوانه، ذرت دانه‌ای با بهره‌وری فیزیکی ۱/۱۵ در رتبه دوم قرار دارد. پایین‌ترین میزان بهره‌وری فیزیکی آب نیز مربوط به ماش (۰/۴۹ کیلوگرم بر مترمکعب) می‌باشد که این رقم پایین نشان می‌دهد در محصول ماش به ازای هر واحد آب مصرفی محصول کمتری تولید می‌شود. این مسئله می‌تواند ناشی از عدم مدیریت صحیح، تبخیر بالا یا مناسب نبودن شرایط اقلیمی منطقه برای این محصول باشد که لازم است در پژوهش‌های آتی علت دقیق این مسئله بررسی شود. در مطالعه مشابهی،Liu و همکاران (۲۰۰۸) بهره‌وری فیزیکی آب در تولید ذرت را برای ۱۲۱ کشور محاسبه و گزارش کردند. بر اساس نتیجه مطالعه، بیشترین بهره‌وری فیزیکی آب مربوط به کشورهای آمریکا و چین با بیش از ۱/۵ و کمترین بهره‌وری فیزیکی آب مربوط به کشورهای آفریقایی با کمتر از ۱ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد.

بررسی مطالعات مختلف نشان داد میانگین بهره‌وری فیزیکی آب در محصولات مورد مطالعه در کشورهای مختلف متفاوت است. به‌عنوان‌مثال بهره‌وری فیزیکی آب در هندوانه در اتیوپی ۰/۹۴ کیلوگرم در مترمکعب (Enyew و همکاران، ۲۰۲۰)، مصر ۶ کیلوگرم در مترمکعب (M.El-Marsafawy و همکاران،۲۰۱۸)، ایالات متحده آمریکا در حالت آبیاری سطحی، قطره‌ای به ترتیب ۱۵ و ۲۳ کیلوگرم در مترمکعب (Fuentes و همکاران،۲۰۱۸)، اسپانیا در حالت آبیاری قطره‌ای ۳۰-۲۳ کیلوگرم در مترمکعب (Sánchez و همکاران،۲۰۱۵)، مصر ۵۷-۳۷ کیلوگرم در مترمکعب (Khalifa، ۲۰۲۰) و عراق ۱۵-۷ کیلوگرم در مترمکعب (Hama-Aziz و همکاران، ۲۰۲۳) برآورد شد. همچنین بهره‌وری فیزیکی آب در کنجد در کشور سودان ۰/۱۸ تا ۰/۲۹ کیلوگرم در هکتار بود (Mohamoud و همکاران، ۲۰۱۹). به‌علاوه بهره‌وری فیزیکی آب در ذرت دانه‌ای در مناطق خشک شمال غربی ایالات متحده ۲/۶- ۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب بود (Tarkalson و همکاران، ۲۰۲۲).

نتایج تحلیل‌ها نشان داد هندوانه دارای بالاترین میزان بهره‌وری فیزیکی انرژی می‌باشد (۰/۹۰ کیلوگرم بر مگاژول)، بر این اساس می‌توان گفت در کشت هندوانه نسبت به سایر محصولات به ازای هر واحد انرژی مصرفی، محصول بیشتری تولید می‌شود. در این راستا نتیجه پژوهش Al-Said و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد کلم و سیب زمینی بهره‌وری آب بالاتری نسبت به فلفل شیرین و هندوانه دارند. میزان بهره‌وری فیزیکی انرژی در محصول ماش ۰/۰۲۷ کیلوگرم بر مگاژول است. باتوجه‌به اینکه بهره‌وری فیزیکی آب نیز در تولید محصول ماش پایین بود، بنابراین می‌توان گفت در شهرستان دهلران به ازای هر واحد آب و انرژی مصرفی محصول ماش کمتری تولید می‌شود که دارای ارزش پایین‌تری نیز هست. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که شهرستان دهلران برای محصول ماش بهره‌وری فیزیکی پایین‌تری در نهاده آب و انرژی دارد.

بر اساس نتایج، بالاترین میزان بهره‌وری اقتصادی آب به ترتیب مربوط به کنجد (۲۹۷۰۰۰ ریال در مترمکعب) و هندوانه (۷۹۷۵۷ ریال در مترمکعب) است. بالا بودن بهره‌وری اقتصادی کنجد نسبت به بهره‌وری فیزیکی آن‌ها می‌تواند ناشی از ارزش (قیمت) بالای این محصولات باشد. همچنین در مورد محصول هندوانه، باتوجه‌به بالا بودن بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آن می‌توان گفت مناسب کشت در منطقه دهلران می‌باشد. به عبارتی در محصولات کنجد و هندوانه به ازای هر واحد آب مصرفی محصولی با ارزش بیشتر تولید می‌شود. در این راستا سیدان و متقی (۱۳۹۸) با استفاده از یک نمونه ۱۸۲ نفری از کشاورزان، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در دو سامانه سنتی و مدرن برای ذرت دانه ای و علوفه‌ای در استان همدان را محاسبه و مقایسه نمودند. در ذرت دانه‌ای، میانگین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در سامانه سنتی به ترتیب معادل۰/۸۲ کیلوگرم و ۲۸۴۹ ریال بر متر مکعب به‌دست آمد. این مقادیر برای ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۱۱/۵ کیلوگرم،۷۶۷۸ ریال و ۶۷/۶ کیلوگرم و ۱۰۰۶۸ ریال بر مترمکعب محاسبه شد. همچنین طبق مطالعه Buttinelli و همکاران (۲۰۲۴) بهره‌وری اقتصادی آب برای ذرت دانه‌ای در کشور ایتالیا ۰/۲۰ یورو بر مترمکعب بود. کمترین میزان بهره‌وری اقتصادی آب نیز مربوط به ماش است (۳۳۰۰۰ ریال در مترمکعب) که نشان می‌دهد در این محصول به ازای هر واحد آب مصرفی، محصول با ارزش (قیمت) پایین‌تری تولید می‌شود.

همچنین بر مبنای نتایج، بهره‌وری اقتصادی انرژی در کشت کنجد با رقم ۱۷۰۵۰ ریال در مگاژول است که بالاترین میزان را دارد. در مرتبه بعدی هندوانه رقم ۱۰۸۰۶ ریال بر مگاژول قرار دارد. این نتیجه نشان می‌دهد در کنجد و هندوانه به ازای هر واحد انرژی مصرف شده محصولی با ارزش (قیمت) بالاتر تولید می‌شود. به‌عبارت‌دیگر عملکرد محصول و درآمد ناشی از آن نسبت به انرژی‌های ورودی که در کشت یک هکتارکنجد و هندوانه مصرف می‌شود، بیشتر است، در نتیجه از لحاظ بهره‌وری اقتصادی انرژی کشت این دو محصول مقرون‌به‌صرفه می‌باشد.کمترین میزان بهره‌وری اقتصادی انرژی نیز مربوط به ماش با رقم ۱۸۱۵ ریال در مگاژول است. این نتیجه نشان می‌دهد در محصول ماش به ازای هر واحد انرژی مصرف شده، محصولی با ارزش (قیمت) پایین‌تر تولید می‌شود. به عبارتی نسبت به انرژی‌های مصرفی ورودی که در کشت ماش مورد استفاده قرار می‌گیرد، عملکرد محصول و ارزش اقتصادی آن کمتر است، لذا از لحاظ بهره‌وری اقتصادی انرژی کشت آن مقرون‌به‌صرفه نمی‌باشد.

پس از محاسبه سنجه‌های همبست آب-انرژی و غذا، WEFNI برای محصولات تابستانه شهرستان دهلران یعنی ذرت دانه‌ای، کنجد، ماش و هندوانه در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱محاسبه شد. نتایج نشان داد که WEFNI برای محصولات محاسبه شده از ۰/۰۳۵ تا ۰/۷۱ متغیر است. مقایسه WEFNI محصولات نشان می‌دهد که محصول هندوانه با دارا بودن بالاترین میزان شاخص همبست (WEFNI=۰/۷۱) پایدارترین محصول برای کشت در شهرستان دهلران می‌باشند. بعد از هندوانه، در ذرت دانه‌ای (WEFNI=۰/۳۷) در رتبه دوم از نظر پایداری قرار می‌گیرد. همچنین، محصول ماش با کمترین میزان WEFNI (WEFNI=۰/۰۳۵) ناپایدارترین محصول برای کشت در شهرستان دهلران می‌باشد.

بر اساس نتایج به‌دست آمده میزان مصرف آب در هندوانه بالا است، اما قرار گرفتن آن به‌عنوان اولین محصول پایدار منطقه به علت بالا بودن بهره‌وری اقتصادی انرژی و بهره‌وری فیزیکی آب و انرژی این محصول می‌باشد. همین امر باعث شده که هندوانه دارای بالاترین میزان WEFNI باشد. این نتیجه بر اهمیت محاسبه شاخص چند بعدی همبست تأکید می‌کند. همچنین می‌توان گفت که از نظر پایداری بر اساس WEFNI، مزیت نسبی تولید محصولات در منطقه مورد مطالعه تغییر می‌کند. در این راستا نتایج مطالعه Pekarou Pemi و همکاران (۲۰۲۳) و کرمیان (۱۴۰۰) همراستا با نتایج مطالعه حاضر می‌باشد؛ چراکه این پژوهشگران نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که استفاده از WEFNI باعث تغییر در جایگاه محصولات و مزیت نسبی آن خواهد شد.

براساس نتایج پژوهش، پیشنهادهای زیر در راستای بهبود الگوی کشت و توسعه پایدار کشاورزی در شهرستان دهلران ارائه می‌شود:

- باتوجه‌به اینکه نتایج WEFNI باعث تغییر جایگاه محصولات از لحاظ پایداری می‌شود لذا پیشنهاد می‌شود شاخص‌های مزیت نسبی تولید از شاخص‌های تک بعدی به شاخص‌های چند بعدی همچون WEFNI تغییر یابد.

- نتایج نشان داد هندوانه از لحاظ پایداری کشت و بر اساس WEFNI در جایگاه نخست قرار دارد، باتوجه‌به میزان مصرف بالای آب توسط این محصول و نگرانی‌ها از توسعه کشت آن توسط کشاورزان و سیاست‌های دولت در زمینه منع کشت این محصول، بهتر است برنامه‌های تشویقی در راستای تغییر روش آبیاری در این محصول به صورت روش آبیاری نوارتیپ با ارائه رایگان تجهیزات آبیاری و یا تسهیلات خرید تجهیزات از سوی دولت صورت پذیرد.

-باتوجه‌به سودآوری و پایداری کشت هندوانه در شهرستان دهلران، پیشنهاد دیگر این است که برنامه‌ریزی در راستای کشت آن در مناطقی صورت گیرد که مشکل دسترسی به آب و محدودیت منابع آبی حداقل باشد.

- براساس نتایج پژوهش بیشترین میزان نهاده مصرفی در کشت محصولات تابستانه مربوط به الکتریسیته می‌باشدکه در این راستا می‌توان پیشنهاد کرد کشاورزان پمپ‌ها و موتورهای با راندمان بالا را استفاده نمایند و همچنین به منظور افزایش راندمان به طور مرتب تجهیزات مربوطه را سرویس و تعمیر نمایند. همچنین انتخاب مناسب الکتروپمپ‌های کشاورزی باتوجه‌به دبی استحصال، عمق چاه و ... به منظور استفاده از الکتروموتور و پمپ در بهترین نقطه راندمان مورد توجه قرار گیرد.

- آموزش کشاورزان به منظور استفاده از سیستم‌های پمپاژ در ساعت‌های غیر پیك مصرف برق، نگهداری و بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های پمپاژ و ...نیز راهکار دیگری است که می‌تواند منجر به کاهش مصرف الکتریسیته در بخش کشاورزی شود.

- همچنین باتوجه‌به سهم بالای انرژی‌های ورودی به خصوص سوخت دیزل، الکتریسیته و کودهای شیمیایی، پیشنهاد می‌شود با نوسازی تجهیزات و ماشین‌آلات بخش کشاورزی و اعطای تسهیلات و اعتبارات به کشاورزانی که دارای ماشین‌آلات فرسوده هستند، ضمن کمک به حفظ محیط‌زیست به کاهش هدررفت سوخت و صرفه‌جویی در انرژی‌های ورودی کمک نمود، چرا که به‌عنوان‌مثال نتیجه مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از تراکتور مناسب می‌تواند تا ۳۰ درصد باعث صرفه‌جویی در مصرف سوخت شود (Alluvione و همکاران، ۲۰۱۱).

- باتوجه‌به بالا بودن انرژی مصرفی سوخت دیزل در کشت ذرت می‌توان با به‌کارگیری سیستم‌های کم خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی باعث کاهش مصرف سوخت درکشت این محصول شد، چرا که بر مبنای نتایج مطالعات به‌کارگیری سیستم‌های کم خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به ترتیب تا ۴۳ و ۶۱ لیتر در هکتار باعث صرفه‌جویی در مصرف سوخت می‌شود (بوگری و همکاران، ۱۳۹۹).

- از راهکارهای دیگر که در زمینه افزایش تولید، کاهش هزینه‌ها و بالا بردن کارایی نهاده‌ها مؤثر است، تشویق به افزایش سطح زیر کشت محصولات و به عبارتی کشت در مقیاس بالا است. چرا که آمارها از سطح زیر کشت محصولات تابستانه در شهرستان دهلران نشان می‌دهد کشت اکثر محصولات در مقیاس‌های کوچک صورت می‌پذیرد که این مسئله می‌تواند در افزایش هزینه‌ها و کاهش نسبت سود به هزینه تأثیر داشته باشد.

- تشویق کشاورزان به یکپارچه نمودن اراضی زراعی باتوجه‌به اینکه اکثر آنها در قطعات کوچک به فعالیت مشغول هستند، می‌تواند راهکار دیگری در کاهش هزینه و انرژی ورودی محصولات و پایداری کشت آن‌ها موثر باشد.

- ارائه تسهیلات و اعتبارات به کشاورزان در راستای استفاده از کنتورهای هوشمند آب و برق می‌تواند با صرفه‌جویی وکاهش منابع آب و الکتریسیته منجر به کاهش انرژی نهاده‌های ورودی برای محصولات مختلف از جمله هندوانه و ذرت شود و از این طریق به توسعه پایدار کشت این محصولات در شهرستان دهلران منجر شود.

- همچنین پیشنهاد می‌شود محدوده مجاز و استاندارد از WEFNI برای محصولات کشاورزی مختلف و در سطح محلی، منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی تدوین شود؛ چراکه تاکنون مقدار استانداری از این شاخص برای محصولات کشاورزی در دسترس نمی‌باشد.

## پی‌نوشت‌ها

1-Water-Energy-Food Nexus Index

## منابع


احتشامی، مجید، قدیمی، حامد، و قدیمی، آرش. (۱۳۹۴). راهبرد مدیریت یکپارچه آب و انرژی در تأمین امنیت آبی در شرایط خشکسالی. فصلنامه راهبرد اجتماعی فرهنگی، ۴(۱۵)، ۳۹-۶۴. dor: 20.1001.1.22517081.1394.4.2.2.2

اروندی، سمانه، زارع، عباس، و افشار اصل، محمد. (۱۴۰۰). همبست آب، غذا و انرژی در سامانه‌های نوین آبیاری. فصلنامه علمی تخصصی مهندسی آب، ۹(۴)، ۵۵-۶۶. https://journals.iau.ir/article_687578.html

اسلامی، زینب، جنت رستمی، سمیه، اشرف‌زاده، افشین و پورمحمد، یاور. (۱۳۹۹). تأثیر رویکرد همبستی آب، انرژی و غذا در مدیریت یکپارچه منابع آب شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۴(۱)، ۱۱-۲۵. https://doi.org/10.22067/jsw.v34i1.81897

امیرزاده مرادآبادی، سمیرا، ضیایی، سامان، مهرابی بشرآبادی، حسین، و کیخا، احمد علی. (۱۳۹۹). تأثیر پایداری کشاورزی بر امنیت غذایی خانوارهای شهری ایران: تحلیل فضایی در سطح استانی. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۲۸(۲)، ۲۵-۴۸. doi: 10.30490/ AEAD.2020.262222.1005

امینی، شروین، و رونده، هادی. (۱۳۹۴). بررسی و تعیین شاخص‌های انرژی برای تولید هندوانه و ارائه مناسب‌ترین مزرعه با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی، مطالعه موردی: شهرستان کنارک. اولین کنگره سالیانه جهان و بحران انرژی. موسسه عالی علم و صنعت حکیم عرفی، شیراز، ایران.

امینی، عباس، نوری، سیدهدایت‌الله، و اصلانی سنگده، بیتا. (۱۳۹۴). ارزیابی و سنجش پایداری زراعت برنج با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (مورد مطالعه: شهرستان رضوانشهر). مجله علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۱۱(۱)، ۱۰۱-۱۲۶. dor: 20.1001.1.20081758.1394.11.1.8.2

آزادی، یونس، و بیک محمدی، حسن. (۱۳۹۰). تحلیلی بر شاخص‌های توسعه کشاورزی در شهرستان‌های استان ایلام. فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱(۱)، ۴۳-۵۹. https://journals.iau.ir/article_550436.html

بوگری، عیسی، آسودار، محمدامین، مرزبان، افشین، و کاظمی، نواب. (۱۳۹۹). بررسی کارایی مصرف آب، بهره‌وری انرژی، اقتصادی و عملکرد سیستم‌های مختلف کشت گندم-ذرت در شمال خوزستان. نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۳۰(۴)، ۲۹۵-۳۱۰. https://civilica.com/doc/1592507

بیات، ناصر، رستگار، ابراهیم، و عزیزی، فاطمه. (۱۳۹۰). حفاظت محیط‌زیست و مدیریت منابع خاکی روستایی در ایران. فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۱(۲)، ۶۳-۷۸. https://jzpm.marvdasht.iau.ir/article_962.html

جلینی، محمد، کریمی، محمد، ذوالفقاران، اردلان، و فاضلی کاخکی، سیدفاضل. (۱۴۰۰). بررسی آلودگی خاک به نیترات و تجمع نیترات در محصول سیب‌زمینی و گوجه فرنگی در مزارع

کشاورزان دشت مشهد. نشریه علمی پژوهش‌های خاک، ۳۵(۲)، ۱۵۵-۱۷۲. doi: 10.22092/ijsr.2021.351417.543

خیرالهی، محبوبه. (۱۳۹۹). تبیین سازوکارهای توسعه کشاورزی چندکارکردی در شهرستان دهلران. رساله دکتری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

رحیمی‌کیا، مرتضی، و عمادی، باقر. (۱۳۸۹). بررسی و تعیین شاخص‌های کارایی انرژی برای تولید کنجد در منطقه جنوب استان فارس (مطالعه موردی: شهرستان لامرد). ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. https://civili-ca.com/doc/156053

روحانی، حسین، قربانی، محمد، و کهنسال، محمدرضا. (۱۴۰۰). تحلیل عوامل مؤثر بر توسعه پایدار کشاورزی در استان خراسان رضوی: کاربرد معادلات رگرسیون به ظاهر نامرتبط. مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، ۵۲(۱)، ۳۳-۵۲. https://doi.org/10.22059/ijaedr.2021.308780.668977

زکی، یاشار، و شیراوند، صارم. (۱۴۰۰). تبیین رویکرد همبست در مناسبات هیدروپلیتیک منطقه آسیای مرکزی. فصلنامه مطالعات آسیای مرکزی و قفقاز، ۲۷(۱۱۴)، ۶۳-۳۴. http://ca.ipisjournals.ir/article_247322.html

سازمان جهاد کشاورزی استان ایلام. (۱۴۰۱). آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۱ استان ایلام. ایلام، ایران.

سیدان، سیدمحسن، و متقی، مهدی. (۱۳۹۸). تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در زراعت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای تحت سامانه‌های آبیاری مدرن و سنتی در استان همدان. آب و توسعه پایدار، ۶(۱)، ۱-۸. https://doi.org/10.22067/jwsd.v6i1.69891

صادقی، سیدحمیدرضا، شریفی مقدم، احسان، دلاور، مجید، و ضرغامی، مهدی. (۱۳۹۹). کاربست همبست آب، غذا و انرژی در مدیریت منابع آب کشاورزی در حوزه آبخیز شازند. چهاردهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری در ایران. دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. https://civilica.com/doc/1011934

عزیزپناه، امیر، فتحی، رستم، و یوسفی نژاد، شکوفه. (۱۳۹۹). ارزیابی شاخص‌های اقتصادی، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید هندوانه (مطالعه موردی: استان ایلام). نشریه تولید گیاهان زراعی، ۱۳(۲)، ۳۷-۵۰. https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.17613.2297

غلامحسینی، مجید، اسدی، هرمز، و داوودی، محمدحسین. (۱۴۰۱). تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب و نیتروژن در تولید کنجد. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۶(۴)، ۸۴۱-۸۵۱. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20087942.1401.16.4.12.5

کرمیان، فرانک. (۱۴۰۰). توسعه مدل کشاورزی ایدار در دهستان میادربند با رویکرد همبست آب-انرژی-غذا. رساله دکتری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

کرمیان، فرانک، میرک‌زاده، علی‌اصغر، و آذری، آرش. (۱۴۰۰). تحلیل میزان مصرف آب و انرژی و اثرات محیط‌زیستی تولید محصولات کشاورزی در دشت میاندربند استان کرمانشاه. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۴(۴)، ۶۹۳-۷۱۲. https://doi.org/10.22067/agry.2021.67227.0

کوچکی، علیرضا، نصیری محلاتی، مهدی، مرادی، روح‌الله، و منصوری، حامد. (۱۳۹۲). پهنه‌بندی وضعیت توسعه کشاورزی پایدار در ایران و ارائه راهبردهای پایداری. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۳(۴)، ۱۷۹-۱۹۷. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_800.html

گودرزی، محمدرضا، پیریائی، رضا، و موسوی، میررحیم. (۱۳۹۹). درک پیوند آب-غذا-انرژی و مدیریت برای بهره‌وری از منابع آب موجود. نشریه آب و خاک، ۳۴(۲)، ۲۵۵-۲۶۸. https://doi.org/10.22067/jsw.v34i2.78589

گورویی، آرام، آینه بند، امیر، و راهنما، افراسیاب. (۱۳۹۹). تأثیر نظام‌های کشاورزی رایج، پایدار و زیستی بر عملکرد دانه و کارآیی استفاده از انرژی در گیاهان کنجد، ماش و ذرت. تولیدات گیاهی، ۴۷(۲)، ۱۷۹-۱۹۳. https://doi.org/10.22055/ppd.2020.32356.1871

محمدی، سلیم، و میسمی، محمدعلی. (۱۴۰۰). الگوی مصرف انرژی در تولید ذرت دانه‌ای در ایران. نشریه مکانیزاسیون کشاورزی، ۶(۱)، ۴۹-۵۵. https://doi.org/10.22034/jam.2021.13121

مرکز آمار ایران. (۱۳۹۵). نتایج تفصیلی گزارش آب و هوای ایران. ایلام، ایران.

مریدالسادات، پگاه، رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا، پورطاهری، مهدی، و شعبانعلی فمی، حسین. (۱۳۹۷). تحلیل پایداری سیاست‌های کلان و بخشی کشاورزی در برنامه‌های پنج ساله جمهوری اسلامی ایران. مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۴۹(۱)، ۴۳-۵۸. https://doi.org/10.22059/ijaedr.2018.66035

مفاخری، صلاح، ویسی، هادی، خوشبخت، کورس، و نظری، محمدرضا. (۱۴۰۰). ارزیابی پایداری پیوند سیستم‌های آب-انرژی - غذا در محصولات کشاورزی (مطالعه موردی: شهرستان دهگلان). فصلنامه علوم محیطی، ۱۹(۴)، ۲۸۷-۳۰۶. https://doi.org/10.52547/envs.2021.222630.1078

یوسفی، محمد، و مهدوی دامغانی، عبدالمجید. (۱۳۹۲). بررسی بهره‌وری مصرف آب و انرژی در بوم نظام‌های فاریاب استان کرمانشاه. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، ۵(۲)، ۱۱۳-۱۲۱. https://doi.org/10.22067/jag.v5i2.24462

Ahmad, A., & Khan, S. (2009). On comparison of water and energy productivities in pressurized irrigation systems. 18th World IMACS/ MODSIM Congress. Cairns, Australia.

Akcaoz, H., Ozcatalbas, O., & Kizilay, H. (2009). Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. Journal of Food Agriculture and Environment, 7, 475-480. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.10.002

Alluvione, F., Moretti, B., Sacco, D., & Grignani, C. (2011). EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a

the irrigation regime of watermelon at Koga and Rib irrigation schemes in Amhara Region, Ethiopia. Cogent Food & Agriculture, 6(1), 1730108, 1-11. https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1730108

Erdal, G., Esengun, K., Erdal, H., & Gunduz, O. (2007). Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. Energy, 32(1), 35–41. https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.01.007

Fabiani, S., Vanino, S., Napoli, R., & Nino, P. (2020). Water energy food nexus approach for sustainability assessment at farm level: An experience from an intensive agricultural area in central Italy. Environmental Science & Policy, 104, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.10.008

Fan, X., Zhang, W., Chen, W., & Chen, B. (2020). Land–water–energy nexus in agricultural management for greenhouse gas mitigation. Applied Energy, 265, 114796, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114796

Fuentes, C., Enciso, J., Nelson, S.D., Anciso, J., Setamou, M., & Elsayed-Farag, S. (2018). Yield production and water use efficiency under furrow and drip irrigation systems for watermelon in South Texas. Subtropical Agriculture and Environments, 69, 1-7. doi: 10.13140/RG.2.2.19605.42720

Hama-Aziz, Z.Q., Mustafa, R.A., & Neima, H.A. (2023). Water productivity of mulched and drip irrigated watermelon in Kurdistan Region of Iraq. Research Square, 4, 1-13. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2887425/v1

Jat, H.S., Jat, R.D., Nanwal, R.K., Lohan, S.K., Yadav, A.K., Poonia, T., Sharma, P.C., & Jat, M.L. (2020). Energy use efficiency of crop residue management for sustainable energy and agriculture conservation in NW India. Renewable Energy, 155, 1372–1382. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.046

Juwana, I., Muttil, N., & Perera, C. (2012). Indicator-based water sustainability assessment—a review. Science of The Total Environment, 438, 357–371. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.093

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. https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.03.008

Karamian, F., Mirakzadeh, A.A., & Azari, A. (2023). Application of multi-objective genetic algorithm for optimal combination of resources to achieve sustainable sustainable agriculture. Energy, 36, 4468-4481. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.03.075

Al-Said, F.A., Ashfaq, M., Al-Barhi, M., Hanjra, M.A., & Khan, I. (2012). Water productivity of vegetables under modern irrigation methods in Oman. Irrigation and Drainage, 61(4), 477-489. https://doi.org/10.1002/ird.1644

Buttinelli, R., Cortignani, R., & Caracciolo, F. (2024). Irrigation water economic value and productivity: An econometric estimation for maize grain production in Italy. Agricultural Water Management, 295, 108757. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108757

Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., & Ozmerzi, A. (2005). Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya Region, Turkey. Energy Conversion and Management, 46(4), 655–666. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.04.008

Cansino-Loeza, B., & Ponce-Ortega, J.M. (2021). Sustainable assessment of Water-Energy-Food Nexus at regional level through a multi-stakeholder optimization approach. Journal of Cleaner Production, 290, 125194. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125194

Chamas, Z., Abou Najm, M., Al-Hindi, M., Yassine, A., & Khattar, R. (2021). Sustainable resource optimization under water-energy-food-carbon nexus. Journal of Cleaner Production, 278, 123894. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123894

Chiun, L.P., & Hwong, W. (2020). Evaluating the environmental impacts of the water-energy-food nexus with a life-cycle approach. Resources, Conservation and Recycling, 157, 104789. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104789

Dupar, M., & Oates, N. (2012). Getting to grips with the water–energy–food 'nexus'. Climate and Development Knowledge Network. London, England.

Elbehri, A., & Sadiddin, A. (2016). Climate change adaptation solutions for the green sectors of selected zones in the MENA region. Future of Food: Journal on Food, Agriculture and Society, 4(3), 39-54. http://thefutureoffoodjournal.com/index.php/FOFJ/article/view/79

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, 2857–2868. https://doi.org/10.1007/s13201-017-0551-3

Enyew, A., Tewabe, D., & Tsige, A. (2020). Determining

Schindler, J., Greaf, F., Konig, H.j., Mchau, D., Paul Saidia, D., & Sieber, S. (2016). Sustainability impact assessment to improve food security of small holders in tanzania. Environ. Environmental Impact Assessment Review, 60, 52-63. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2016.04.006

Smith, C., Petty, B., & Hill, P. (2009). Work Ethic Characteristics: Perceivedwork ethics of supervisors and workers, Journal of STEM Teacher Education, 42(2), 1210-1228. https://ir.library.illinoisstate.edu/jste/vol42/iss2/2

Tarkalson, D.D., King, B.A., & Bjorneberg. D.L. (2022). Maize grain yield and crop water productivity functions in the arid Northwest U.S. Agricultural Water Management, 264, 107513. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107513

Umar, H.S., & Ibrahim, H.Y. (2012). Energy use and gross margin analysis for sesame production in organic and inorganic fertilizer user farms in Nigeria. African Crop Science Journal, 20(1), 39-45. https://www.ajol.info/index.php/acsj/article/view/78606

Van Halsema, G.E., & Vincent, L. (2012). Efficiency and productivity terms for water management: A matter of contextual relativism versus general absolutism. Agricultural Water Management,108, 9-15. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.05.016

Vazifedoust, M., Van Dam, J.C., Feddes, R.A., & Feizi, M. (2008). Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. Agricultural Water Management, 95, 89-102. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.09.007

Vito, R., Portoghese, I., Pagano, A., Fratino, U., & Vurro, M. (2017). An index-based approach for the sustainability assessment of irrigation practice based on the Water-Energy-Food Nexus framework. Advances in Water Resources, 110, 423-436. https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.10.027

Yousefi, M., Damghani, A., & Khoramivafa, M. (2016). Comparison greenhouse gas (GHG) emissions and global warming potential (GWP) effect of energy use in different wheat agroecosystems in Iran. Environmental Science and Pollution Research, 23(8), 7390–7397. doi: 10.1007/s11356-015-5964-7

Yu, L., Xiao, Y., Zeng, X.T., Li, Y.P., & Fan, Y.R. (2020). Planning water-energy-food nexus system management under multi-level and uncertainty. Journal of Cleaner Production, 251, 119658. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119658

agriculture based on the water-energy-food nexus framework. Science of The Total Environment, 860, 1-16. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160419

Khalifa, R.M. (2020). Effect of different irrigation water levels and bio-minerals fertilization on fruit yield, quality and water productivity of watermelon grown on sandy soil, Egypt. Egyptian Journal of Soil Science, 60(3), 231–246. https://doi.org/10.21608/ejss.2020.29343.1355

Krejci, R., & Morgan, D. (1970). Determining sample size for research activities. Educational and Psychological Measurement, 30(3), 607-610. https://doi.org/10.1177/001316447003000308

Lee, S.H., Choi, J.Y., Hur, S.O., Taniguchi, M., Masuhara, N., Kim, K.S., Hyun, S., Choi, E., Sung, J.h., & Yoo, S.H. (2020). Food-centric interlinkages in agricultural food-energy-water nexus under climate change and irrigation management. Resources, Conservation and Recycling, 163, 105099. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105099

Li, Y., Liu, C., Zhang, L., & Luo, S. (2016). How smallholder farmers adapt to agricultural drought in achanging climate: A case study in southern China. Land Use Policy, 55, 300-308. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.04.012

Liu, J., Zehnder, A.J.B., & Yang, H. (2008). Drops for crops: Modelling crop water productivity on a global scale. Global Nest Journal, 10(3), 295-300. https://doi.org/10.30955/gnj.000486

M.El-Marsafawy, S., Swelam, A., & Ghanem, A. (2018). Evolution of crop water productivity in the Nile Delta over three decades (1985–2015). Water, 10, 1168. https://doi.org/10.3390/w10091168

Mohamoud, M.A., Abdalla , A.S., Elhag , M.M, & Yousif, L.A. (2019). Estimation of Water Requirement and Water Productivity of Sesame Crop (Sesamum indicum L.) in Dryland Areas of Sennar State, Sudan. Sudan Juornal Des. Reserch, 11(1), 1-16.

Pekarou Pemi, B.A., Njomo, D., Tchinda, R., Calvin Seutche, J., Zambou Kenfack, A., Babikir, M.H., & Chara-Dackou, V.S. (2023). Sectoral Assessment of Energy, Water, Waste and Land Nexus in the Sustainability of Agricultural Products in Cameroon. Sustainability, 16(2), 565, 1-31. https://doi.org/10.3390/su16020565

Sánchez, J.A., Reca, J., & Martínez, J. (2015). Water productivity in a Mediterranean semi-arid greenhouse district. Water Resources Management, 29, 5395–5411. https://doi.org/10.1007/s11269-015 1125-5