مقاله پژوهشی نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۸ / شماره ۱/ ۱۴۰۳.ص۵۱-۶۲
https://doi.org/10.22092/jwra.2023.363890.1016

تجزیه‌وتحلیل بهره‌وری فیزیکی آب و شاخص‌های انرژی محصولات عمده کشاورزی در دشت تجن

مهدی جعفری تلوکلایی، علی شاهنظری* و رسول نوری خواجه‌بلاغ

محقق پسادکتری، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.**mehdijafari_89@yahoo.com**

استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.**Aliponh@yahoo.com**

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.**Rassolrahaii@yahoo.com**

دریافت: آبان ۱۴۰۲ و پذیرش: دی ۱۴۰۲

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی شاخص‌های بهره‌وری و انرژی محصولات برنج، گندم، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای و مرکبات در دشت تجن در سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱ انجام شد. نمونه‌گیری بر اساس ۳۰۰ پرسشنامه طرح‌شده انجام گردید و اطلاعات جمع‌آوری‌شده شامل نفر- روز نیروی انسانی، ساعات کاری استفاده از ماشین‌آلات، مصرف سوخت ماشین‌آلات، مقدار مصرف کودهای نیتروژن، فسفات، پتاسیم، مقدار مصرف انواع سموم شیمیایی شامل علف‌کش، قارچ‌کش و حشره‌کش، مقدار آب مصرفی، مقدار بذر مصرفی و مقدار تولید بود. نتایج نشان داد که بیشترین میزان انرژی در دشت تجن در بخش انرژی ورودی برای محصول برنج (۵۹۳۲۵۶ مگاژول در هکتار)، انرژی خروجی برای محصول ذرت علوفه‌ای (۱۴۱۷۹۵ مگاژول در هکتار)، انرژی خالص برای محصول ذرت علوفه‌ای (۱۱۰۷۵۸/۵۳ مگاژول در هکتار) و بهره‌وری انرژی نیز برای محصول ذرت علوفه‌ای (۱/۱ کیلوگرم بر مگاژول) بوده است. همچنین، در بین تمامی محصولات، به ترتیب چهار نهاده آب مصرفی، کود نیتروژن، ماشین‌آلات و سوخت بیشترین میزان مصرف انرژی را به خود اختصاص دادند. نتایج حاصل از بررسی وضعیت بهره‌وری فیزیکی آب نشان داد که بیشترین میزان بهره‌وری در دشت تجن مربوط به ذرت علوفه‌ای و مرکبات (۶/۳ و ۵/۳ کیلوگرم بر مترمکعب) و کمترین میزان بهره‌وری مربوط به برنج (۰/۵ کیلوگرم بر مترمکعب) است. همچنین میزان بهره‌وری آب محصول گندم و ذرت دانه‌ای به ترتیب برابر با ۲/۶ و ۱/۸ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. به‌طورکلی، برای افزایش بهره‌وری زمین‌های کشاورزی و محصولات از لحاظ شاخص‌های بهره‌وری و انرژی، باید از کشت گیاهان با عملکرد مناسب، بیشترین میزان بهره‌وری، و کمترین میزان مصرف نهاده‌ها استفاده کرد. در میان محصولات مورد پژوهش، ذرت علوفه‌ای به دلیل تأثیر بسیار زیاد در تأمین امنیت غذایی و کاهش نیاز به واردات نهاده‌های مصرفی دام و طیور، برای افزایش سطح زیر کشت شرایط مناسب‌تری نسبت به دیگر محصولات داشت.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری انرژی در کشاورزی، مصرف کود و انرژی ، برنج، ذرت علوفه‌ای

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: **Aliponh@yahoo.com**

CC BY

مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت، نیاز به محصولات کشاورزی افزایش‌یافته و افزون بر آن، شرایط نامساعد اقلیمی، کاهش بارش و مصرف بیش از اندازه منابع موجود باعث کمبود آب و چالش‌های اساسی شده است. افزایش جمعیت و کاهش منابع آب، فشار مضاعفی را بر امنیت غذایی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه وارد خواهد نمود (باقری خانقاهی و همکاران، ۱۴۰۱). افزایش جمعیت جهان و توسعه اقتصاد باعث افزایش تقاضای ۵۰ درصد غذای بیشتر، ۴۰ درصد انرژی بیشتر و ۳۰ درصد آب بیشتر شده است که این امر باعث به وجود آمدن چالش‌هایی تا سال ۲۰۳۰ خواهد شد که کمبود آب و انرژی را تشدید می کند. با توجه به آمار محصولات زراعی و باغی در سال‌های مختلف کشور، میزان بهره‌وری مصرف آب از ۰/۹۴ تا ۱/۲۹ کیلوگرم بر متر مکعب متغیر بوده که از میانگین جهانی کمتر است. به‌طور مثال، میزان بهره‌وری محصول گندم، برنج و ذرت در ایران به ترتیب برابر با ۲/۴–۰/۲۵، ۰/۹۹–۰/۵۲ و ۱۹–۱–۰/۸۲ کیلوگرم بر متر مکعب است که میانگین این شاخص‌ها در دنیا برابر با ۱/۷—۰/۶، ۱/۶—۰/۶ و ۲/۷–۱/۱ کیلوگرم بر متر مکعب است (حیدری، ۱۴۰۰: رضایی و همکاران، ۱۴۰۰: سیدان و متقی، ۱۳۹۸، زوارت و همکاران، ۲۰۰۴)؛ بنابراین یکی از راهکارهایی که می‌توان در کوتاه-مدت و زودبازده از آن بهره گرفت، افزایش بهره‌وری آب و بهره‌وری انرژی است (سیدان و متقی، ۱۳۹۸). شاخص-های بهره‌وری آب و انرژی از پارامترهای مهم در بررسی وضعیت مصرف آب و تولید محصولات در سطح یک حوضه بوده و می‌توانند دید مناسبی از سطح کشاورزی آن حوضه را منعکس کنند. با توجه به اینکه دشت تجن از لحاظ موقعیت اقلیمی، تنوع آب‌وهوایی و برخورداری از باران سالانه و پراکندگی مناسب، از مناطق حاصلخیز استان مازندران محسوب می‌شود، می‌توان با اصلاح شاخص‌های بهره‌وری و انرژی در این دشت، باعث افزایش عملکرد محصول شد.

در مطالعه‌ای که نوری خواجه بلاغ و همکاران (۱۳۹۹)، برای ارزیابی بهره‌وری فیزیکی آب در دشت اردبیل روی محصولات زراعی انجام دادند دریافتند که میزان بهره‌وری محصول گندم و جو برابر با ۱/۱۹ و ۱/۱۵ کیلوگرم بر متر مکعب است. نخجوانی مقدم و همکاران (۱۳۹۶)، طی مطالعه‌ای که در برخی از استان‌های کشور انجام دادند دریافتند که میزان بهره‌وری آب در کشت گندم برای سه شهرستان کرج ۲/۱، شهرستان کرمان ۰/۴ و شهرستان مشهد ۱/۹ کیلوگرم بر متر مکعب است. سیدان و همکاران (۱۳۹۸) با هدف بررسی بهره‌وری آب در محصولات ذرت علوفه‌ای و دانه‌ای در سه شهرستان تویسرکان، اسدآباد و نهاوند دریافتند که میزان بهره‌وری در محصول ذرت دانه‌ای بین ۰/۹۵ تا ۱/۱۶ کیلوگرم بر متر مکعب و برای محصول ذرت علوفه‌ای بین ۳/۵۲ تا ۵/۴۷ کیلوگرم بر متر مکعب است. رضایی و همکاران (۱۴۰۰)، در مطالعه‌ای که با هدف ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب در استان‌های عمده تولیدکننده برنج در ایران انجام دادند دریافتند که بیشترین میزان بهره‌وری برای استان مازندران ۰/۹۹ کیلوگرم بر متر مکعب و کمترین میزان بهره‌وری برای استان خوزستان برابر با ۰/۵۲ کیلوگرم بر متر مکعب است. در مطالعه‌ای که ابراهیم‌نژاد و همکاران (۱۴۰۰) برای بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید پرتقال در شهرستان قائم‌شهر انجام دادند دریافتند که میزان بهره‌وری در این محصول برابر با ۶/۹ کیلوگرم بر متر مکعب است. تولید پرتقال و سایر محصولات باغی ربطی به محصولات زراعی ندارد.

نوری خواجه بلاغ و همکاران (۲۰۲۳)، با هدف بررسی جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در شلتوک و محصولات عمده باغی دشت تجن شامل مرکبات، هلو، انار، سیب و گلابی دریافتند که در بین محصولات مورد مطالعه، بیشترین انرژی ورودی در فرآیند تولید محصول شلتوک، برابر با ۶۴۸۶۷/۵ مگاژول در هکتار و کم‌ترین انرژی ورودی برای تولید محصول گلابی برابر ۳۰۹۸۲/۹۵ مگاژول در هکتار بوده است. همچنین، بیشترین انرژی

خروجی متعلق به محصول شلتوک برابر با ۸۶۴۰۱ مگاژول در هکتار و کم‌ترین میزان انرژی خروجی در تولید محصول انار، برابر با ۳۰۴۰۰ مگاژول در هکتار بوده است. همچنین آن‌ها دریافتند که بیش‌ترین کارایی مصرف انرژی مربوط به محصولات شلتوک، مرکبات و هلو به‌ترتیب برابر با ۱/۳۳، ۱ و ۰/۸۷ و کم‌ترین کارایی مصرف انرژی به محصولات گلابی، سیب و انار به‌ترتیب برابر با ۰/۸۲، ۰/۷۵ و ۰/۷۳ تعلق دارد. در ادامه نتایج مربوط به انرژی مخصوص نشان داد که محصول شلتوک دارای بیشترین انرژی مخصوص (۱۰/۴۶ مگاژول در کیلوگرم)، محصول مرکبات دارای کم‌ترین انرژی مخصوص (۱/۸۸ مگاژول در کیلوگرم) و از لحاظ بهره‌وری انرژی محصول مرکبات دارای بیش‌ترین بهره‌وری انرژی (۰/۵۳ کیلوگرم در مگاژول) و محصول شلتوک دارای کمترین بهره‌وری انرژی (۰/۱ کیلوگرم در مگاژول) بوده است. در مطالعه‌ای دیگر، واحدی و ظریف‌نشاط (۱۴۰۰) که با هدف بررسی میزان شاخص‌های انرژی در استان‌های البرز، اصفهان، اردبیل، خراسان رضوی، خوزستان، گلستان و همدان روی گندم آبی انجام دادند دریافتند که میانگین میزان انرژی ورودی، انرژی خروجی، کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی و خالص انرژی در استان-های مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۵۸۳۰/۸۳ مگاژول بر هکتار، ۱۳۶۰۹۲/۱۵ مگاژول بر هکتار، ۲/۸۷، ۰/۲۱۲ کیلوگرم بر مگاژول و ۷۷۷۸۳/۳۱ مگاژول بر هکتار بوده است. محمدزاده و همکاران (۱۳۹۷)، با هدف بررسی کارایی بوم‌شناختی تولید یونجه و ذرت علوفه‌ای در دشت بناب- مراغه استان آذربایجان شرقی دریافتند که کل انرژی ورودی، خروجی و انرژی خالص در بوم نظام‌های یونجه (به ترتیب ۴۸۱۵۱، ۴۳۲۹۲۰ و ۳۸۴۷۶۸ مگاژول در هکتار) بیشتر از ذرت علوفه‌ای (به ترتیب ۳۵۵۵۷، ۲۱۷۳۵۰ و ۱۸۱۷۹۲ مگاژول در هکتار) بوده است. همچنین، آن‌ها دریافتند که میزان شاخص‌های کارایی مصرف انرژی و انرژی مخصوص در یونجه (به ترتیب ۹ و ۸/۱۵ مگاژول بر کیلوگرم) بیشتر از ذرت علوفه‌ای (به ترتیب ۱/۶ و ۱/۴ مگاژول بر کیلوگرم) است. فان و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای که با هدف کاهش گازهای گلخانه‌ای روی چهار محصول برنج، گندم، ذرت و سویا در چین انجام دادند دریافتند که مزارع برنج ۲۹ درصد از کل پروتئین محصول را تولید کرده اما به دلیل ورودی زیاد منابع و کشت غرقابی نزدیک به ۵۱ درصد از کل مصرف آب، ۴۳ درصد از کل مصرف انرژی و ۵۴ درصد از کل تولید گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص داده است. دشت تجن، اراضی کشاورزی به مساحت ۵۶ هزار هکتار را تحت پوشش خود قرار داده که تقریباً ۱۳ هزار هکتار آن را باغ‌های میوه و مابقی را اراضی زراعی تشکیل می‌دهند که علیرغم مصرف زیاد آب و نهاده‌های کشاورزی، نقش اساسی در تأمین برنج و مرکبات را در کشور ایفا می‌کند. با توجه به این امر لازم است در خصوص شاخص‌های تأثیرگذار در بهبود وضعیت تولید، این دشت مورد بررسی قرار گیرد. به‌طورکلی، ترکیبی از شاخص‌های انرژی و بهره‌وری آب می‌تواند در راستای بهبود این وضعیت تأثیرگذار باشد. لازم به ذکر است که ترکیبی از این شاخص‌ها در مطالعات گذشته کار نشده و کمتر به این مباحث پرداخته شده است؛ درحالی‌که مطالعه در این خصوص می‌تواند به توسعه کشاورزی پایدار و حفظ محیط‌زیست و تأمین غذایی مطمئن و در دسترس برای جامعه کمک کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان مازندران و شهرستان ساری واقع شده است که از شمال به دریای خزر و از جنوب به مناطق جنگلی و کوهستانی رشته کوه البرز ختم می‌شود. (شکل ۱) میانگین بارش سالانه در این شهرستان ۶۱۵ میلی‌متر و متوسط مجموع تبخیر سالانه در این حوضه ۱۱۴۶ میلی‌متر است. بخش‌های زیادی از اراضی حوضه تجن از سد شهید رجایی تأمین آب می‌شوند که به دلیل ذخیره مناسب آب سد در سالیان گذشته، تغییر الگوی کشت از دیم و باغی به شالیزاری به‌شدت گسترش یافته است. در پایین‌دست سد شهید رجایی، سردهنه‌ها و انهار زراعی و

سپس شبکه مدرن آبیاری و زهکشی تجن، قرار دارند که اراضی کشاورزی به مساحت ۳۳۵۰۰ هکتار را تحت پوشش دارد.

جمع‌آوری اطلاعات

برای بررسی بهره‌وری فیزیکی آب و ارزیابی شاخص‌های انرژی محصولات عمده زراعی شامل شلتوک، گندم، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای و محصول مرکبات از داده‌های مقطعی سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱ استفاده شد. ابتدا حجم نمونه بر اساس رابطه کوکران مشخص شد. سپس نمونه‌گیری بر اساس پرسشنامه طرح‌شده توسط خود محققان انجام گردید. تعداد ۳۰۰ پرسشنامه توزیع شد که اطلاعات جمع‌آوری شده شامل مقدار مصرف نهاده‌ها و مقدار تولید بود. نهاده‌های مورد استفاده در بررسی بهره‌وری آب و شاخص‌های انرژی محصولات یاد شده در دشت تجن، شامل نفر-روز نیروی انسانی، ساعات کاری استفاده از ماشین‌آلات، مصرف سوخت ماشین‌آلات، مقدار مصرف کودهای نیتروژن، فسفات، پتاسیم بر حسب کیلوگرم در هکتار، مقدار مصرف انواع سموم شیمیایی شامل علف‌کش، قارچ‌کش و حشره‌کش بر حسب لیتر در هکتار، مقدار آب مصرفی برحسب مترمکعب در هکتار و مقدار بذر مصرفی بر حسب کیلوگرم در هکتار است. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای EXCEL و SPSS استفاده شد.

بهره‌وری فیزیکی

برای افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی ابتدا می‌بایست نهاده‌های کمیاب را شناسایی کرده و در ادامه برنامه‌ریزی و تحقیقات در جهت ارتقای بهره‌وری آن عامل یا عوامل کمیاب صورت گیرد. در ایران نیز به دلیل محدود بودن منابع آب شیرین برنامه‌ریزی‌ها و تحقیقات بایستی در جهت افزایش بهره‌وری آب باشد (نوری خواجه بلاغ و همکاران، ۱۳۹۹).

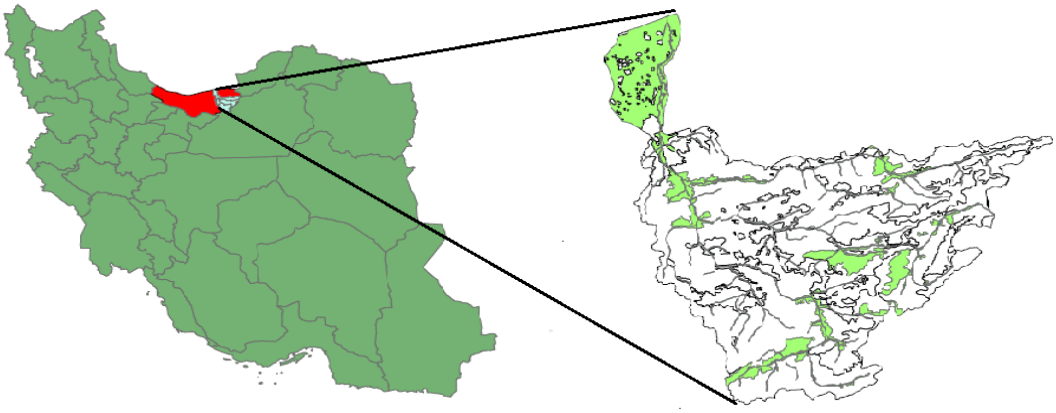
عملکرد به‌ازای واحد حجم آب: CPD[1]

CPD یا محصول در قطره یکی از شاخص‌های مطرح در خصوص سنجش میزان بهره‌وری آب کشاورزی است (نوری خواجه بلاغ و همکاران، ۱۳۹۹).

$$CPD=\frac{\text{مقدار محصول تولید شده}}{\text{مقدار آب مصرف شده}}$$

محاسبه شاخص‌های مربوط به انرژی

برای محاسبه شاخص‌های انرژی در محصولات عمده زراعی و مرکبات در دشت تجن، انرژی نهاده‌های مصرفی شامل نفر- روز نیروی انسانی، انواع کود، انواع سموم، ماشین‌آلات، آب و سوخت، بذر به همراه عملکرد محصول مطابق معادل انرژی آن‌ها محاسبه شده و در جدول ۱ ارائه شده است. تمامی داده‌های ورودی و خروجی در تولید محصولات عمده زراعی به‌صورت میانگین بیان شده‌اند.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه (دشت تجن)

[1]- Crop Per Drop

جدول ۱- معادل انرژی ورودی و خروجی در تولید محصولات زراعی و مرکبات

الف) ورودی	واحد	انرژی معادل	منبع
نیروی انسانی	ساعت	۱/۹۶	دی و همکاران (۲۰۰۱)
ماشین‌آلات	ساعت	۶۲/۷	مندال و همکاران (۲۰۰۲)
گازوئیل	لیتر	۴۷/۸	کیتانی (۱۹۹۹)
نیتروژن	کیلوگرم	۶۶/۱۴	هاتیرلی و همکاران (۲۰۰۶)
فسفر (P^2O^5)	کیلوگرم	۱۲/۴۴	هاتیرلی و همکاران (۲۰۰۶)
پتاسیم (K^2O)	کیلوگرم	۱۱/۱۵	هاتیرلی و همکاران (۲۰۰۶)
علف‌کش‌ها	لیتر	۸۵	کیتانی (۱۹۹۹)
حشره‌کش‌ها	لیتر	۲۲۹	کیتانی (۱۹۹۹)
قارچ‌کش‌ها	لیتر	۲۱۶	محمدی و همکاران (۲۰۱۴)
آب آبیاری	مترمکعب	۱/۰۲	آکاراوغلو (۱۹۹۸)
بذر گندم	کیلوگرم	۱۵/۷	سینگ و همکاران (۱۹۹۲)
بذر شلتوک	کیلوگرم	۱۴/۵۷	منصوری و همکاران (۲۰۱۲)
بذر ذرت دانه‌ای	کیلوگرم	۱۴/۷	هوشیار و همکاران (۲۰۱۲)
بذر ذرت علوفه‌ای	کیلوگرم	۱۵/۷	سینگ و همکاران (۱۹۹۲)
ب) خروجی	-	-	-
شلتوک	کیلوگرم	۱۴/۵۷	منصوری و همکاران (۲۰۱۲)
گندم	کیلوگرم	۱۴/۷	سینگ و همکاران (۱۹۹۲)
مرکبات	کیلوگرم	۱/۹	سینگ و همکاران (۱۹۹۲)
ذرت دانه‌ای	کیلوگرم	۱۴/۷	هوشیار و همکاران (۲۰۱۲)
ذرت علوفه‌ای	کیلوگرم	۴/۱۴	محمدی و همکاران (۲۰۱۴)
کاه	کیلوگرم	۱۲/۵	منصوری و همکاران (۲۰۱۲)

شاخص‌های انرژی طبق معادله‌های (۱) تا (۴) محاسبه شدند (هاتیرلی و همکاران، ۲۰۰۵):

$$\text{کارایی مصرف انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی (مگاژول در هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}} \quad (۱)$$

$$\text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}} \quad (۲)$$

$$\text{انرژی خالص} = \text{انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار)} - \text{انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)} \quad (۳)$$

$$\text{انرژی مخصوص} = \frac{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}}{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)}} \quad (۴)$$

نتایج و بحث

میانگین مصرف نهاده‌های محصولات شلتوک، گندم، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای و مرکبات در جدول ۲ آورده شده است. نتایج آمار توصیفی مقدار مصرف نهاده‌ها در دشت تجن در محصولات ذکر شده نشان می‌دهد که بیشترین نهاده مصرفی نیروی انسانی در محصول مرکبات با میانگین ۸۱۵ ساعت در هکتار و کمترین نیروی انسانی مربوط به محصول گندم با میانگین ۶۲ ساعت در هکتار، بیشترین میزان مصرف کود (نیتروژن) مربوط به محصول شلتوک با میانگین ۱۹۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان

مصرف کود (پتاسیم) مربوط به محصول ذرت دانه‌ای با میانگین هفت کیلوگرم در هر هکتار، بیشترین میزان مصرف سوخت ماشین‌آلات مربوط به محصول شلتوک با میانگین ۲۹۰ لیتر در هکتار، بیشترین میزان مصرف سموم مربوط به محصول مرکبات، بیشترین میزان مصرف آب مربوط به محصول شلتوک و ذرت علوفه‌ای با میانگین ۹۴۵۰ و ۵۴۵۵ متر مکعب در هکتار و بیشترین میزان عملکرد مربوط به محصول ذرت علوفه‌ای و مرکبات با میانگین ۳۴۲۵۰ و ۲۱۷۵۰ کیلوگرم در هکتار است.

جدول ۲- میانگین مصرف نهاده‌های محصولات عمده زراعی و مرکبات در دشت تجن

نهاده	شلتوک	گندم	ذرت علوفه‌ای	ذرت دانه‌ای	مرکبات
نیروی انسانی (ساعت)	۳۱۵	۶۲	۲۵۷	۲۷۵	۸۱۵
نیتروژن (کیلوگرم)	۱۹۵	۱۷۵	۱۱۵	۱۸۵	۱۸۰
فسفات (کیلوگرم)	۱۴۵	۵۵	۲۵	۸۷/۵	۱۵۵
پتاسیم (کیلوگرم)	۵۵	۱۵	۷	۵۵	۱۳۵
ماشین‌آلات (ساعت)	۲۹۰	۴۷	۲۱	۴۰	۶۵
سوخت (لیتر)	۲۲۵	۱۱۵	۲۹۵	۱۷۵	۱۶۵
علف‌کش (لیتر)	۶	۱/۵	۱/۲	۰/۷۵	۱۴
حشره‌کش (لیتر)	۷	۰/۷۵	۱/۳	۱	۱۰
قارچ‌کش (لیتر)	۸	۰	۱/۵	۱	۱۲
آب مصرفی (متر مکعب)	۹۴۵۰	۱۴۳۰	۵۴۵۵	۲۶۵۰	۴۰۸۵
عملکرد (کیلوگرم)	۴۳۵۵	۳۷۲۰	-	۴۸۵۰	۲۱۷۵۰
عملکرد کاه (کیلوگرم)	۱۸۱۴	۲۷۵۰	۳۴۲۵۰	-	-
بذر (کیلوگرم)	۶۷	۳۱۵	۵۳	۲۹	-

شاخص‌های انرژی

طبق نتایج به دست آمده از جدول ۳ و شکل ۲، برای مجموع شاخص‌های انرژی ورودی، نهاده‌های کود نیتروژن، سوخت، ماشین‌آلات و آب مصرفی دارای بیشترین میزان انرژی ورودی بودند. بیشترین انرژی ورودی مربوط به نیتروژن در محصول شلتوک برابر با ۱۲۸۹۷/۳ مگاژول در هکتار و کمترین میزان در محصول ذرت علوفه‌ای برابر با ۷۶۰۱/۱ مگاژول در هکتار به دست آمد. همچنین، بیشترین میزان سوخت مصرفی در محصول ذرت علوفه‌ای و شلتوک به ترتیب برابر با ۱۴۱۰۱ و ۱۰۷۵۵ مگاژول در هکتار و کمترین میزان در محصول گندم برابر با ۵۴۹۷ مگاژول در هکتار به دست آمد. در ادامه، نتایج به دست آمده نشان داد که بیشترین انرژی در نهاده آب مصرفی مربوط به شلتوک به میزان ۹۶۳۹ مگاژول در هکتار و کمترین میزان برای محصول گندم با میانگین ۱۴۵۸/۶ مگاژول در هکتار بوده است. در نهایت، بیشترین میزان انرژی در خصوص عملکرد نشان داد که محصول ذرت علوفه‌ای دارای بیشترین میزان انرژی برابر با ۱۴۱۷۹۵ مگاژول در هکتار و محصول مرکبات دارای کمترین میزان با میانگین ۴۱۳۲۵ مگاژول در هکتار است.

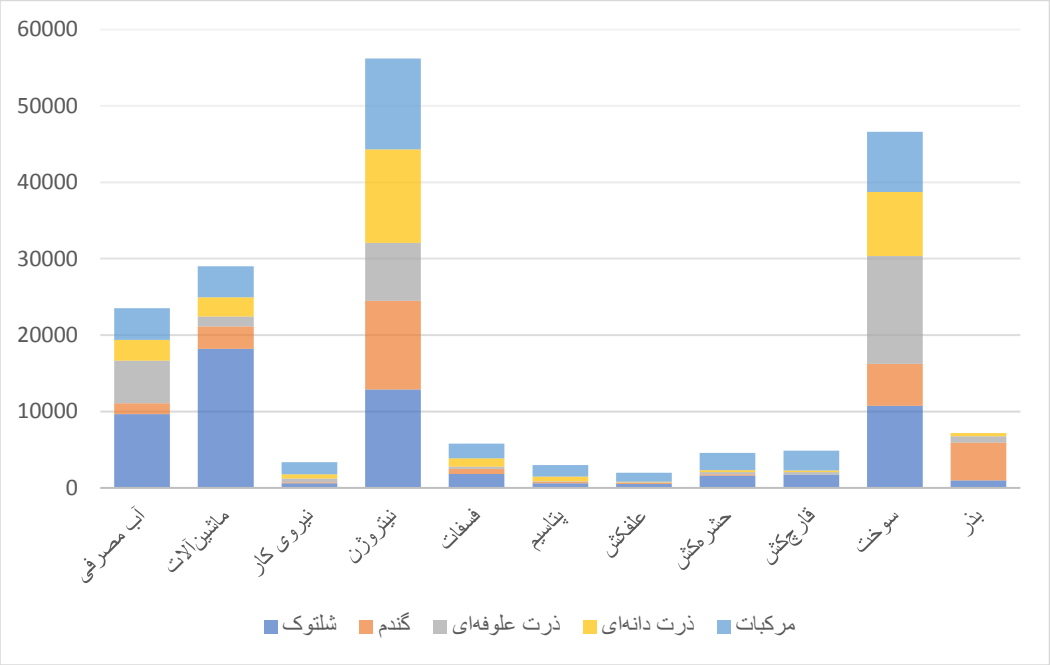
در مطالعه‌ای که نوری خواجه‌بلاغ و همکاران (۲۰۲۳)، با هدف بررسی جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در شلتوک و محصولات عمده باغی دشت تجن شامل مرکبات، هلو، انار، سیب و گلابی انجام دادند دریافتند که میزان انرژی در محصول شلتوک و مرکبات در سوخت مصرفی (۱۰۵۱۶ و ۸۱۲۶ مگاژول در هکتار)، ماشین‌آلات (۲۱۳۱۸ و ۳۸۸۷/۴ مگاژول در هکتار)، کود نیتروژن (۱۳۲۲۸ و ۱۱۵۷۴/۵ مگاژول در هکتار)، آب مصرفی (۱۱۷۳۰ و ۵۱۰۰ مگاژول در هکتار) و عملکرد (۸۶۴۰۱ (مجموع شلتوک و کاه) و ۴۲۷۵۰ مگاژول در هکتار) است که نتایج آن‌ها با مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد. در مطالعه‌ای که خدائی جوگان و همکاران (۱۴۰۱)، در خصوص شاخص‌های انرژی روی محصول گندم در خرمشهر انجام دادند دریافتند که میزان میزان انرژی نهاده نیتروژن، سوخت

مصرفی و عملکرد دانه به ترتیب برابر با ۱۰۸۸۴/۰۲، ۶۷۶۵/۸ و ۵۵۳۶۸ مگاژول در هکتار است که نتایج آن‌ها با مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد. سلطانی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای که روی گندم در گرگان برای به‌دست آوردن انرژی ورودی انجام دادند دریافتند که انرژی مربوط به سوخت عملیات زراعی با میانگین ۳۳۹۰ مگاژول بر هکتار در بین کل انرژی‌های ورودی مستقیم دارای بیشترین میزان است که نتایج آن‌ها با نتایج حاضر در خصوص زیاد بودن انرژی ورودی در بخش سوخت مصرفی هم‌خوانی دارند. آن‌ها با ارزیابی انرژی‌های ورودی غیرمستقیم، کود نیتروژن را با میزان ۵۹۶۴ مگاژول بر هکتار دارای بیشترین میزان در بین سایر کودها معرفی کردند که در مطالعه حاضر نیز کود نیتروژن در بین کودها بیشترین میزان را به خود اختصاص داده است. در مطالعه‌ای که محمدزاده و همکاران (۱۳۹۷)، با هدف بررسی کارایی بوم‌شناختی تولید یونجه و ذرت علوفه‌ای در دشت بناب- مراغه استان آذربایجان شرقی انجام دادند دریافتند که در محصول ذرت علوفه‌ای، میزان انرژی نهاده نیتروژن، سوخت مصرفی و عملکرد به ترتیب برابر با ۶۱۳۷/۸، ۱۷۶۷۲/۴ و ۱۴۱۷۹۵ مگاژول در هکتار است که این نتایج با مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد.

در بین ورودی‌های انرژی مورد مطالعه، سموم شیمیایی کمترین سهم از کل انرژی ورودی را دارا بودند. بهشتی‌تبار و همکاران (۲۰۱۰)، در مطالعه‌ای، سهم آفت-کش‌ها از کل انرژی‌های ورودی در تولید محصولات زراعی را کمتر از سایر ورودی‌ها به‌دست آوردند.

جدول ۳- انرژی ورودی و خروجی در تولید محصولات مورد مطالعه در دشت تجن

انرژی	شلتوک	گندم	ذرت علوفه‌ای	ذرت دانه‌ای	مرکبات
ورودی			**واحد: مگاژول در هکتار**		
نیروی انسانی	۶۱۷/۴	۱۲۱/۵۲	۵۰۳/۷۲	۵۳۹	۱۵۹۷/۴
نیتروژن	۱۲۸۹۷/۳	۱۱۵۷۴/۵	۷۶۰۱/۱	۱۲۲۳۵/۹	۱۱۹۰۵/۲
فسفات	۱۸۰۳/۸	۶۸۴/۲	۳۱۱	۱۰۸۸/۵	۱۹۲۸/۲
پتاسیم	۶۱۳/۲۵	۱۶۷/۲۵	۷۸/۰۵	۶۱۳/۲۵	۱۵۰۵/۲۵
ماشین‌آلات	۱۸۱۸۳	۲۹۴۶/۹	۱۳۱۶/۷	۲۵۰۸	۴۰۷۵/۵
سوخت ماشین‌آلات	۱۰۷۵۵	۵۴۹۷	۱۴۱۰۱	۸۳۶۵	۷۸۸۷
علف‌کش	۵۱۰	۱۲۷/۵	۱۰۲	۶۳/۷۵	۱۱۹۰
حشره‌کش	۱۶۰۳	۱۷۱/۷۵	۲۹۷/۷	۲۲۹	۲۲۹۰
قارچ‌کش	۱۷۲۸	_	۳۲۴	۲۱۶	۲۵۹۲
آب مصرفی	۹۶۳۹	۱۴۵۸/۶	۵۵۶۴/۱	۲۷۰۳	۴۱۶۶/۷
بذر	۹۷۶/۱۹	۴۹۴۵/۵	۸۳۲/۱	۴۲۶/۳	–
خروجی			**واحد: مگاژول در هکتار**		
شلتوک	۶۳۴۵۲/۳۵	–	–	–	–
کاه شلتوک	۲۲۶۷۵	–	–	–	–
گندم	_	۵۸۴۰۴	_	_	_
کاه گندم	_	۳۴۳۷۵	_		
ذرت علوفه‌ای	_	_	۱۴۱۷۹۵	_	_
ذرت دانه‌ای	_	_	_	۷۱۲۹۵	_
مرکبات	_	_	_	_	۴۱۳۲۵



شکل ۲- میزان انرژی ورودی هر کدام از نهاده‌های استفاده شده در کشت محصولات زراعی و مرکبات (مگاژول در هکتار)

نتایج ارائه شده در جدول ۴ نشان می‌دهد که در بین محصولات عمده زراعی و مرکبات، شلتوک دارای بیشترین انرژی ورودی، برابر با ۵۹۳۲۵۶ مگاژول در هکتار و کمترین میزان این شاخص مربوط به محصول گندم، برابر با ۲۷۶۹۴/۷۲ مگاژول در هکتار بود. در خصوص انرژی خروجی، محصول ذرت علوفه‌ای دارای بیشترین میزان، برابر با ۱۴۱۷۹۵ مگاژول در هکتار و محصول مرکبات ۴۱۳۲۵ مگاژول در هکتار دارای کمترین میزان انرژی خروجی، بیشترین انرژی خالص مربوط به محصول ذرت علوفه‌ای، برابر با ۱۱۰۷۵۸/۵۳ مگاژول در هکتار و کمترین میزان این شاخص مربوط به محصول مرکبات، برابر با ۲۱۸۷/۷۵ مگاژول در هکتار، بیشترین کارایی مصرف انرژی مربوط به محصول ذرت علوفه‌ای، برابر با ۴/۶ درصد و کمترین میزان کارایی مصرف انرژی در محصول مرکبات، برابر با ۱/۱ درصد و از لحاظ بهره‌وری انرژی، محصول ذرت علوفه‌ای بیشترین میزان را با ۱/۱ کیلوگرم بر مگاژول و کمترین میزان بهره‌وری انرژی در محصول شلتوک، برابر با ۰/۱ کیلوگرم بر مگاژول را به خود اختصاص دادند.

در مطالعاتی که محققان مختلف در خصوص انرژی ورودی، انرژی خروجی، انرژی خالص، کارایی مصرف انرژی و بهره‌وری انرژی انجام داده‌اند میزان این شاخص‌ها برای محصول گندم برابر با ۵۸۳۰/۸۳ مگاژول بر هکتار، ۱۳۶۰۹۲/۱۵ مگاژول بر هکتار، ۲/۸۷ درصد و ۰/۲۱۲ کیلوگرم بر مگاژول (واحدی و ظریف‌نشاط، ۱۴۰۰)، شلتوک برابر با ۶۴۸۶۷/۵ مگاژول در هکتار، ۸۶۴۰۱ مگاژول در هکتار، ۱۸۵۰۹/۴ مگاژول در هکتار، ۱/۲۷ و ۰/۰۹ کیلوگرم بر مگاژول (نوری خواجه بلاغ و همکاران، ۲۰۲۳)، مرکبات برابر با ۴۲۳۳۰/۰۵ مگاژول در هکتار، ۴۲۷۵۰ مگاژول در هکتار، ۴۱۹/۹۵ مگاژول در هکتار، ۱ درصد و ۰/۵۳ کیلوگرم بر مگاژول (نوری خواجه بلاغ و همکاران، ۲۰۲۳)، ذرت علوفه‌ای برابر با ۳۵۵۵۷ مگاژول در هکتار، ۲۱۷۳۵۰ مگاژول در هکتار، ۱۸۱۷۹ مگاژول در هکتار، ۶/۱ درصد و ۱/۵ کیلوگرم بر مگاژول (محمدزاده و همکاران، ۱۳۹۷)، ذرت دانه‌ای برابر با ۷۱۱۱۳/۴ مگاژول در هکتار، ۱۱۵۳۹۵ مگاژول در هکتار، ۴۴۲۸۱/۶ مگاژول در هکتار، ۱/۶۲ درصد و ۰/۱۱ کیلوگرم بر مگاژول (افضلی‌گروه و همکاران، ۱۴۰۰) به دست آورده‌اند که نتایج مطالعات آن‌ها با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد. علت برخی اختلافات جزئی می‌تواند متأثر از عوامل مختلفی از جمله عوامل اقلیمی، عوامل مدیریتی،

نحوه کاشت و برداشت، نحوه خاک‌ورزی، خاک منطقه و میزان آب در دسترس باشد.

بهره‌وری فیزیکی آب

با توجه به جدول ۵، نتایج بهره‌وری نشان داد که بیشترین میزان بهره‌وری در دشت تجن مربوط به محصول ذرت علوفه‌ای و کمترین میزان بهره‌وری مربوط به محصول شلتوک به ترتیب برابر با ۶/۳ و ۰/۵ کیلوگرم بر متر مکعب است. در مطالعاتی که محققان مختلف در خصوص بهره‌وری آب انجام داده‌اند میزان این شاخص‌ها را برای محصول گندم برابر با ۰/۴ تا ۲/۱ کیلوگرم بر متر مکعب (نوری خواجه بلاغ و همکاران، ۱۳۹۹: نخجوانی مقدم و همکاران، ۱۳۹۶)، شلتوک برابر با ۰/۵۲ تا ۰/۹۹ کیلوگرم بر متر مکعب (رضایی و همکاران، ۱۴۰۰)، مرکبات برابر با ۶/۹ (ابراهیم‌نژاد و همکاران، ۱۴۰۰)، ذرت دانه‌ای بین ۰/۹۵ تا ۱/۱۶ کیلوگرم بر متر مکعب و ذرت علوفه‌ای بین ۳/۵۲ تا ۵/۴۷ کیلوگرم بر متر مکعب (سیدان و همکاران، ۱۳۹۸) به دست آورده‌اند که نتایج مطالعات آن‌ها با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد.

شاخص بهره‌وری نشان می‌دهد که با کشت محصولاتی چون ذرت علوفه‌ای و مرکبات می‌توان علاوه بر کاهش مصرف آب نسبت به شلتوک، تولید بیشتری نیز داشت. طبق آمارنامه جهاد کشاورزی کشور (۱۴۰۰)، استان مازندران در رتبه هفت تولید گوشت قرمز و رتبه اول تولید گوشت مرغ قرار دارد که با در نظر گرفتن بحث امنیت غذایی و تولید پایدار، نیاز به کشت گیاهان علوفه‌ای در این استان امری بسیار ضروری است. با توجه به این امر می‌توان نتیجه گرفت ذرت علوفه‌ای یکی از بهترین گزینه‌هایی است که می‌تواند از لحاظ تغذیه دام و طیور در این استان مورد کشت قرار گیرد. لازم به ذکر است که مصرف آب گندم به‌مراتب کمتر از ذرت علوفه‌ای است، اما از لحاظ امنیت غذایی و نیاز منطقه به محصولات علوفه‌ای، کشت ذرت علوفه‌ای گزینه مناسب‌تری برای است که می‌توان با کاهش سطح زیر کشت شلتوک، اقدام به افزایش سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای کرد تا از طرفی مصرف آب نسبت به سطح زیر کشت کاهش یابد و از طرفی دیگر نیاز به واردات نهاده‌های مصرفی دام و طیور کاهش یابد.

جدول ۴- شاخص‌های انرژی در تولید محصولات مورد مطالعه در دشت تجن

انرژی	واحد	شلتوک	گندم	ذرت علوفه‌ای	ذرت دانه‌ای	مرکبات
انرژی ورودی	مگاژول بر هکتار	۵۹۳۲۵۶	۲۷۶۹۴/۷۲	۳۱۰۳۶/۴۷	۲۸۹۸۷/۷	۳۹۱۳۷/۲۵
انرژی خروجی	مگاژول بر هکتار	۸۶۱۲۷/۳۵	۹۲۷۷۹	۱۴۱۷۹۵	۷۱۲۹۵	۴۱۳۲۵
انرژی خالص	مگاژول بر هکتار	۲۶۸۰۱/۴۱	۶۵۰۸۴/۲۸	۱۱۰۷۵۸/۵۳	۴۲۳۰۷/۳	۲۱۸۷/۷۵
کارایی مصرف انرژی	درصد	۱/۵	۳/۴	۴/۶	۲/۵	۱/۱
بهره‌وری انرژی	کیلوگرم بر مگاژول	۰/۱	۰/۲۳	۱/۱	۰/۱۷	۰/۵۶
انرژی مخصوص	مگاژول بر کیلوگرم	۹/۶۲	۴/۲۸	۰/۹۱	۵/۹۸	۱/۸

جدول ۵- بهره‌وری فیزیکی آب محصولات عمده زراعی و مرکبات در دشت تجن

محصول	عملکرد (کیلوگرم)	آب مصرفی (مترمکعب)	بهره‌وری (کیلوگرم بر متر مکعب)
شلتوک	۴۳۵۵	۹۴۵۰	۰/۵
گندم	۳۷۲۰	۱۴۳۰	۲/۶
ذرت علوفه‌ای	۳۴۲۵۰	۵۴۵۵	۶/۳
ذرت دانه‌ای	۴۸۵۰	۲۶۵۰	۱/۸
مرکبات	۲۱۷۵۰	۴۰۸۵	۵/۳

نتیجه‌گیری

کشاورزی به‌عنوان یکی از عوامل اساسی تأمین غذا و به‌عنوان عمده‌ترین مصرف‌کننده آب، دارای تأثیرات بسیاری بر شاخص‌های انرژی و بهره‌وری آب است. ارزیابی افزایش بهره‌وری انرژی و آب می‌تواند کشاورزی را به سمت پایداری حرکت دهد و به تأمین امنیت غذایی و حفظ منابع طبیعی کمک کند. مطالعه حاضر با هدف بررسی میزان بهره‌وری فیزیکی آب و شاخص‌های انرژی در دشت تجن انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان انرژی ورودی در دشت تجن مربوط به محصول شلتوک با ۵۹۳۲۵۶ مگاژول در هکتار، بیشترین انرژی خروجی مربوط به ذرت علوفه‌ای (۱۴۱۷۹۵ مگاژول در هکتار)، بیشترین انرژی خالص از ذرت علوفه‌ای (۱۱۰۷۵۸/۵۳ مگاژول در هکتار) و از لحاظ بهره‌وری انرژی نیز ذرت علوفه‌ای بیشترین میزان را با ۱/۱ کیلوگرم بر مگاژول به خود اختصاص داد. همچنین، طبق نتایج مشخص گردید که در تمامی محصولات، چهار نهاده آب مصرفی، کود نیتروژن، ماشین‌آلات و سوخت بیشترین میزان را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج حاصل از بررسی وضعیت بهره‌وری فیزیکی آب نشان داد که بیشترین میزان بهره‌وری در دشت تجن مربوط به محصول ذرت علوفه‌ای و کمترین میزان بهره‌وری مربوط به محصول شلتوک ۰/۵ کیلوگرم بر متر مکعب است. با توجه به اینکه در کشور و منطقه مورد مطالعه به دلیل کاهش نزولات جوی با مشکل کم‌آبی مواجه است، لذا در راستای افزایش بهره‌وری و تأمین امنیت غذایی باید در اختصاص آب توجه ویژه‌ای به کار گرفته شود. طبق نتایج مطالعه حاضر می‌توان نتیجه گرفت که در دشت تجن با افزایش سطح زیر کشت محصولاتی مثل گندم، مرکبات و ذرت علوفه‌ای و کاهش سطح زیر کشت شلتوک، علاوه بر کاهش مصرف آب، عملکرد کلی محصولات نیز افزایش می‌یابد که این امر منجر به افزایش بهره‌وری، تأمین امنیت غذایی، توسعه پایدار و کاهش نیاز به واردات نهاده‌های مصرفی دام و طیور می‌گردد. با در نظر گرفتن نتایج به دست آمده پیشنهاد می‌گردد برای افزایش بهره‌وری در این دشت و سایر مناطق می‌توان از تنوع در کشت محصولات، استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری، مدیریت صحیح در بهره‌گیری از منابع موجود و افزایش آگاهی کشاورزان را، به مدیران و ذی‌نفعان توصیه کرد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغیه ۶۶۸۱/۴۰۴ مورخ ۱۳۹۸/۷/۲۹ و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شده است که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می شود.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید نویسنده مقاله است.

فهرست منابع

۱. ابراهیم‌نژاد، حسین، کرامت‌زاده، علی، اشراقی، فرشید، و رضایی، اعظم، ۱۴۰۰. بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید پرتقال در شهرستان قائم‌شهر. پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)، ۳۵(۳-ب)، صص ۲۵۹-۲۷۵. **doi: 10.22092/jwra.2021.354273.862**

۲. افضلی‌گروه، هوشنگ، آزادشهرکی، فرزاد، و شفیعی، لادن، ۱۴۰۰. اندازه‌گیری شاخص‌های انرژی برای تولید ذرت دانه‌ای در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی. تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی، ۲۲(۷۷)، صص ۵۱-۶۸. **doi: 10.22092/erams.2020.127145.1322**

۳. باقری خانقاهی، مرضیه، میرهاشمی، سیدحسن، و پناهی، مهدی، ۱۴۰۱. ارزیابی و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری

آب محصولات زراعی به روش آبیاری سنتی و نوین (مطالعه‌ی موردی: دشت تجن مازندران). تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک، ۴(۱)، صص ۴۹-۵۹. **doi: 10.22034/csrar.2022.306317.1137**

۴. حیدری، نادر، ۱۴۰۰. بهره‌وری آب گندم در ایران و مقایسه آن با مقادیر چند کشور. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۵(۴)، صص ۴۳۵-۴۲۱. **doi: 10.22092/jwra.2022.356037.892**

۵. خدائی جوقان، آیدین، تاکی، مرتضی، و مطوریان، حمید، ۱۴۰۱. سنجش بهره‌وری انرژی، انتشار گازهای گلخانه-ای، پتانسیل گرمایش جهانی و شاخص پایداری بوم‌نظام‌های گندم و کلزا در خرمشهر. دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۳۲(۱)، صص ۳۰۹-۳۲۴. **doi: 10.22034/saps.2021.44507.2634**

۶. رضایی، گلناز، خالدیان، محمدرضا، کاوسی کلاشمی، محمد، و رضایی، مجتبی، ۱۴۰۰. ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب در استان‌های عمده تولیدکننده برنج در ایران. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱۵(۳)، صص ۶۳۶-۶۴۴. **https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1400.15.3.13.7**

۷. سلطانی، افشین، رجبی، محمدحسین.، زینلی، ابراهیم، و سلطانی، الیاس، ۱۳۹۱. ارزیابی مصرف انرژی در تولید گندم در گرگان. پژوهش‌های تولید گیاهی، ۱۹(۳)، صص ۱۴۳-۱۷۱. **https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222050.1391.19.3.9.9**

۸. سیدان، سیدمحین 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)، صص ۱-۸. **doi: 10.22067/jwsd.v6i1.69891**

۹. محمدزاده، آرش، مهدوی دامغانی، عبدالمجید، وفابخش، جواد، و دیهیم فرد، رضا، ۱۳۹۷. کارایی بوم‌شناختی-اقتصادی تولید یونجه (*Medicago sativa* L.) و ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.): دشت مراغه– بناب، استان آذربایجان شرقی. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳)، صص ۸۷۵-۸۹۵. **doi: 10.22067/jag.v10i3.62701**

۱۰. نخجوانی مقدم، محمدمهدی، قهرمان، بیژن، و زارعی، قاسم، ۱۳۹۶. تحلیل بهره‌وری آب گندم در مدیریت‌های آبیاری در برخی از مناطق ایران. پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)، ۳۱(۱- ب)، صص ۴۳-۵۷. **https://doi.org/10.22092/jwra.2017.109907**

۱۱. نوری خواجه بلاغ، رسول، خالدیان، محمدرضا، و کاوسی کلاشمی، محمد، ۱۳۹۹. مقایسه شاخص‌های بهره‌وری آب محصولات عمده زراعی در دشت اردبیل. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱۴(۳)، صص ۸۹۴-۹۰۴. **https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1399.14.3.14.1**

۱۲. واحدی، عادل و ظریف نشاط، سعید، ۱۴۰۰. مقایسه جریان انرژی تولید گندم آبی و تحلیل اقتصاد انرژی در برخی مناطق ایران. ماشین‌های کشاورزی, ۱۱(۲)، صص ۵۰۵-۵۲۳. **doi: 10.22067/jam.v11i2.81747**

13. Acaroğlu, M., 1998. Energy from Biomass and Applications, University of Selcuk Graduate School of Natural and Applied Sciences, Textbook. *Unpublished-Turkish*.
14. Beheshti Tabar, I., Keyhani, A. and Rafiee, S., 2010. Energy balance in Iran's agronomy (1990-2006). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*(2), pp.849-855. **https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.024**
15. De, D., Singh, R.S. and Chandra, H., 2001. Technological impact on energy consumption in rainfed soybean cultivation in Madhya Pradesh. *Applied energy*, *70*(3), pp.193-213. **https://doi.org/10.1016/S0306-2619(01)00035-6**
16. Fan, X., Zhang, W., Chen, W. and Chen, B., 2020. Land–water–energy nexus in agricultural management for greenhouse gas mitigation. *Applied Energy*, *265*, p.114796. **https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114796**
17. Hatirli, S.A., Ozkan, B. and Fert, C., 2005. An econometric analysis of energy input–output in Turkish agriculture. *Renewable and sustainable energy reviews*, *9*(6), pp.608-623. **https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.07.001**

18. Hatirli, S.A., Ozkan, B. and Fert, C., 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy*, *31*(4), pp.427-438. **https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.04.007**
19. Houshyar, E., Azadi, H., Almassi, M., Davoodi, M.J.S. and Witlox, F., 2012. Sustainable and efficient energy consumption of corn production in Southwest Iran: combination of multi-fuzzy and DEA modeling. *Energy*, *44*(1), pp.672-681. **https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.05.025**
20. Kitani, O., 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Volume V Energy and Biomass Engineering, Chapter 1 Natural Energy and Biomass, Part 1.3 Biomass Resources.
21. Mandal, K.G., Saha, K.P., Ghosh, P.K., Hati, K.M. and Bandyopadhyay, K.K., 2002. Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and bioenergy*, *23*(5), pp.337-345. **https://doi.org/10.1007/s11708-012-0206-x**
22. Mansoori, H., Moghaddam, P.R. and Moradi, R., 2012. Energy budget and economic analysis in conventional and organic rice production systems and organic scenarios in the transition period in Iran. *Frontiers in Energy*, *6*, pp.341-350. **https://doi.org/10.1007/s11708-012-0206-x**
23. Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Mousavi-Avval, S.H. and Nonhebel, S., 2014. Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *30*, pp.724-733. **https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.012**
24. Nouri-khjebelagh, R., Sefidkouhi, M.A.G. and Khoshravesh, M., 2023. Evaluation of energy indices and greenhouse gas emissions in major horticultural crops and paddy crops in Tajan plain. *Applied Water Science*, *13*(2), p.39. **https://doi.org/10.1007/s13201-022-01840-y**
25. Singh, S., 1992. Energy in production agriculture, Mittal pub. *New Delhi, India*, *166*.
26. Zwart, S.J. and Bastiaanssen, W.G., 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural water management*, *69*(2), pp.115-133. **https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.04.007**

Analysis of Physical Water Productivity and Energy Indicators of the Major Agricultural Products in Tajan Plain

M. Jafari Talukolaee, A. Shahnazari*, and R. Nouri Khajebelagh

Post-Doctoral researcher, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. **mehdijafari_89@yahoo.com**

Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran**.aliponh@yahoo.com**

PhD, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. **Rassolrahaii@yahoo.com**

Received: October 2023 and Accepted: December 2023

Abstract

The present study aimed at investigating the productivity and energy indicators of rice, wheat, fodder corn, seed corn and citrus fruits in Tajan Plain during 2022-03. Sampling was done based on 300 designed questionnaires. The collected information included man-days, working hours of machinery, fuel consumption of machinery, application of nitrogen, phosphate, potassium fertilizers, application of various types of chemical pesticides, including herbicides (in L/ha), the amount of applied water (m^3/ha), the amount of seeds (k/ha), and the crop yield (k/ha). Results showed that the highest amount of energy in the input energy sector for rice was (593256 mega Joules per hectare, (MJ/ha), output energy for fodder corn (141795 MJ/ha), net energy for fodder corn (110758.53 MJ/ha) and energy efficiency was also for fodder corn (1.1 kg/MJ). Also, it was found that in all the products, the four inputs of water consumption, nitrogen fertilizer, machinery and fuel had the highest amounts. Results of water showed that the highest productivity in the Tajan plain was related to fodder corn and citrus (6.3 and 5.3 kg/m^3), and the lowest productivity was related to rice (0.5 kg/m^3). Also, the productivity of wheat and grain corn was 2.6 and 1.8 kg/m3, respectively. In general, to increase the productivity of lands and products in terms of productivity and energy indicators, it is necessary to use plants with appropriate yield, highest level of productivity, and lowest level of input consumption. Among the researched products, fodder corn had more suitable conditions than other products for increasing the cultivated area, due to its great impact on ensuring food security and reducing the need for livestock and poultry consumption inputs.

Keywords: Energy productivity in agriculture, Fertilizers and energy use, Rice, Fodder corn

* - Corresponding author's email: **aliponh@yahoo.com**