تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد چهارم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۱، ص ۵۹-۴۹

مقاله پژوهشی

# ارزیابی و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب محصولات زراعی به روش آبیاری سنتی و نوین (مطالعه‌ی موردی: دشت تجن مازندران)

**مرضیه باقری خانقاهی[۱]، سیدحسن میرهاشمی[۲]، مهدی پناهی[۳*]**

۱- دانشجوی دکتری رشته مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲- دانش آموخته دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

* مسئول مکاتبه: panahi40@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۲ **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.306317.1137**

## چکیده

در مطالعه حاضر به بررسی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب پنج محصول زراعی (گندم، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، جو و یونجه) در دشت تجن واقع در استان مازندران پرداخته شد. شاخص عملکرد محصول به ازای آب مصرفی (CPD)، درآمد ناخالص به‌ازای آب مصرفی (BPD) و درآمد خالص به ازای آب مصرفی (NBPD) برای محاسبه بهره‌وری آب محصولات براساس دو روش آبیاری سنتی و نوین در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ مورد ارزیابی قرار گرفت. طبق نتایج مشخص شد که در هر دو روش آبیاری بیشترین مقدار عملکرد و CPD مربوط به ذرت علوفه‌ای بوده است و عملکرد ذرت علوفه‌ای در روش آبیاری نوین (۳۳/۸ تن در هکتار) بیشتر از روش آبیاری سنتی (۳۰/۲ تن در هکتار) بوده است. هم‌چنین مقدار CPD مربوط به ذرت علوفه‌ای در روش آبیاری نوین (۶/۲۲ کیلوگرم بر مترمکعب) بیشتر از روش آبیاری سنتی (۵/۷ کیلوگرم بر مترمکعب) بوده است. محصول جو دارای کمترین مقدار عملکرد در هر دو روش آبیاری سنتی (۳/۹ تن در هکتار) و نوین (۴/۷ تن در هکتار) بوده است. مقدار NBPD محصول جو در روش آبیاری سنتی (۴۵۷ تومان بر مترمکعب) و ذرت علوفه‌ای در روش آبیاری نوین (۶۵۲/۳ تومان بر مترمکعب) دارای کمترین مقدار بود. طبق نتایج مشخص شد که بهره‌وری آب در شیوه‌های آبیاری نوین به‌طور معنی‌داری بیشتر از روش آبیاری سنتی بود. بنابراین با توجه به شرایط موجود و صرفه‌جویی در مصرف آب، بهتر است در کشت محصولات از روش آبیاری نوین استفاده بیشتری شود و هم‌چنین کشت جو با استفاده از آبیاری سنتی انجام نشود.

**واژه‌های کلیدی:** درآمد خالص، صرفه اقتصادی، عملکرد، غلات

## مقدمه

افزایش جمعیت، نیاز روزافزون به محصولات کشاورزی، شرایط اقلیمی نامساعد، کاهش ریزش‌های جوی و کمبود منابع آب ازجمله چالش‌های مهم جهان امروز است. مطالعات نشان می‌دهند که جمعیت جهان تا سال ۲۰۲۵ میلادی به ۷/۸ میلیارد نفر خواهد رسید و این امر، فشار مضاعفی را بر امنیت غذایی به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه که بیش از ۸۰ درصد افزایش جمعیت در آن انجام خواهد گرفت، وارد خواهد نمود. بنابراین، این کشورها برای تأمین نیازهای کشاورزی، صنعتی و شهری با مشکل کمبود آب مواجه خواهند شد (Keshavarz and Dehghan sanich, 2013).

یکی از مؤثرترین راهکارهای مقابله با بحران آب و افزایش کمی و کیفی تولیدات در بخش کشاورزی، افزایش راندمان آبیاری و مهم‌تر از آن بهبود بهره‌وری مصرف آب و استفاده از شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی آن می‌باشد (Seydan *et al.*, 2019). معمولاً بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب، باهم در تحلیل‌ها و تصمیم‌گیری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مفهوم کلی، بهره‌وری فیزیکی آب به‌عنوان عملکرد محصول در هر مترمکعب آب مصرفی تعریف می‌شود و بهره‌وری اقتصادی از تقسیم ارزش خالص تولید (درآمد یا سود) به مقدار آب مصرفی به دست می‌آید. بر اساس آمار و ارقام مربوط به تولید محصولات زراعی و باغی کشور در سال‌های گوناگون، بهره‌وری مصرف آب از ۰/۹۴ تا ۱/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر و میانگین آن ۱/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب بوده و راندمان کل آبیاری محصولات کشاورزی در کشور حدود ۴۰٪ می‌باشد. میانگین شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در محصولات گندم، برنج و ذرت در ایران

به‌ترتیب ۰/۷۷، ۰/۴۲ و ۱/۱۷ کیلوگرم بر مترمکعب است که میانگین این شاخص در جهان برای این سه محصول، به‌ترتیب برابر ۱/۰۹، ۱/۰۹ و ۱/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. با نگاهی به این ارقام ملاحظه می‌شود که اگرچه شاخص بهره‌وری مصرف آب در کشور در ۱۰ سال گذشته افزایش یافته است و به معنای اثربخشی فعالیت‌های انجام شده در کشور است ولی هنوز مقدار این شاخص در کشور از میانگین جهانی بسیار پایین‌تر می‌باشد (Abbasi *et al*., 2015). تحقیقات مختلفی در زمینه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب صورت گرفته که در اینجا به چند مورد اشاره خواهیم کرد.

در پژوهشی بهره‌وری آب محصولات زراعی در مقیاس جهانی مورد بررسی قرار گرفت و بهره‌وری فیزیکی آب در تولید ذرت برای ۱۲۴ کشور گوناگون محاسبه و گزارش شد. براساس نتیجه، بیشترین بهره‌وری فیزیکی آب مربوط به کشورهای آمریکا و چین با بیش از ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب و کم‌ترین بهره‌وری فیزیکی آب مربوط به کشورهای آفریقایی با کمتر از ۱ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد (Liu *et al*., 2008). هم‌چنین در پژوهشی دیگر، مصرف و بهره‌وری آب در محصولات کشاورزی در حوضه رودخانه هیه مدل‌سازی شد. نتایج مطالعه پژوهش‌گران نشان داد که کارایی مصرف آب برای تمامی محصولات کشاورزی بزرگ‌تر از یک بوده و در این بین، سبزیجات به‌ترتیب با ۲/۷۴ و ۳/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳، دارای بالاترین بهره‌وری فیزیکی بوده‌اند. کمترین بهره‌وری نیز مربوط به محصول گندم به‌ترتیب برابر ۱/۱۹ و ۱/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب برای دو سال محاسبه شده بود (Li *et al*., 2010).

در تحقیقی به بررسی بهره‌وری اقتصادی آب در محصولات مختلف زراعی در دشت بهار پرداخته شد. نتایج نشان داد که بهره‌وری آب در شیوه‌های نوین آبیاری به‌طور معنی‌داری بیشتر از روش آبیاری سنتی بود (Zamani *et al*., 2014). مقدار بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در دو سامانه سنتی و نوین برای ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای در استان همدان مورد ارزیابی قرار گرفت. طبق نتایج مشخص شد که روش آبیاری مدرن باید جایگزین آبیاری سنتی در کشت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای گردد (Seyedan and Mottaghi, 2019). در تحقیق دیگری به بررسی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب دو محصول خیار و کلزا در دشت‌های واقع در شرق استان کردستان (قروه و دهگلان) پرداخته شد. با توجه به نتایج، خیار دارای بهره‌وری فیزیکی بالا و بهره‌وری اقتصادی و مقدار آب مجازی کم بود. درحالی‌که محصول کلزا دارای بهره‌وری فیزیکی پایین، بهره‌وری اقتصادی و مقدار آب مجازی بالا بود (Amini *et al*., 2020).

طی ارزیابی و تحلیل بهره‌وری آب فیزیکی و اقتصادی محصولات زراعی در دشت مغان نتیجه گرفته شد که جو، برنج، یونجه، شلیل، خیار و کلزا ازلحاظ هر دو نوع شاخص بهره‌وری در سطح نسبتاً ضعیف یا ضعیف قرار دارند و ذرت علوفه‌ای، خربزه و هندوانه ازلحاظ بهره‌وری فیزیکی در وضعیت خوب یا نسبتاً خوب قرار می‌گیرند درحالی‌که ازلحاظ بهره‌وری اقتصادی در وضعیت نسبتاً ضعیف قرار دارند و تنها دو محصول چغندرقند و گوجه‌فرنگی در سطح خوب یا نسبتاً خوب ازلحاظ هر دو شاخص قرار می‌گیرند (Farahza *et al*., 2020). در پژوهشی به تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی چند محصول در شهر دزفول پرداخته شد. نتایج نشان داد که بالاترین بهره‌وری فیزیکی آب به‌ترتیب مربوط به محصول کاهو (۲۲/۸ کیلوگرم بر مترمکعب)، هویج (۱۵/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب) و پیاز (۹/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب) و پایین‌ترین بهره‌وری فیزیکی آب مربوط به نارنج (۰/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب) و گریپ‌فروت (۰/۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب) می‌باشد (Molareza Qassab *et al*., 2020).

با توجه به کم‌آبی و خشکسالی‌ها اخیر در ایران، ضرورت دارد که در کشت محصولات زراعی از روش‌های مناسب آبیاری در راستای مدیریت بهتر در مقدار آب و بالا بردن عملکرد محصولات استفاده شود؛ بنابراین در این پژوهش به ارزیابی دو سیستم آبیاری سنتی و مدرن در عملکرد پنج محصول زراعی (گندم، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، جو و یونجه) در دشت تجن واقع در استان مازندران پرداخته شد. هم‌چنین به‌منظور رسیدن به حالت بهینه (مصرف آب کمتر، عملکرد خوب محصولات و درآمد بالا برای کشاورزان)، میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب پنج محصول زراعی مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی

حوزه آبریز تجن با مساحت تقریبی ۴۰۰۵/۲۲ کیلومتر مربع بوده که ۳۹۸۰/۷۵ کیلومتر مربع آن در داخل استان مازندران و حدود ۲۵ کیلومتر مربع آن در خارج از استان قرار دارد و با

مختصات ۵۳ درجه و ۷ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۴۲ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی در استان مازندران واقع است که حداکثر ارتفاع آن ۳۷۲۸ متر از سطح دریا و حداقل آن ۲۶- متر است (Sheidaeian, 2014).

## آمار و اطلاعات

در این پژوهش اطلاعاتی چون مشخصات بافت خاک، حجم آب مصرفی محصولات، سطح زیرکشت، مقدار تولید، نیاز آبی گیاهان، دبی آب ورودی به مزرعه، زمان، دفعات آبیاری، قیمت محصولات، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و سایر آمار و اطلاعات از سازمان جهاد کشاورزی و آب منطقه‌ای جمع‌آوری گردید. براساس آمار و اطلاعات موجود از منطقه دشت تجن و هم‌چنین اختلاف در سطح زیرکشت و روش‌های آبیاری مورد استفاده در این منطقه، از روش نمونه‌گیری طبقه‌بندی تصادفی دو مرحله‌ای استفاده شد. برای محاسبه تعداد نمونه لازم در روش نمونه‌گیری طبقه‌بندی از رابطه ۱ استفاده شد.

$$n = \frac{N^2 * t^2 * S^2}{N^2 * d^2 + t^2 * S^2} \quad (1)$$

در این رابطه، N تعداد زارعین یا بهره‌برداران در منطقه مورد مطالعه، S واریانس نمونه اولیه، n حجم نمونه، d دقت احتمالی مطلوب یا کران خطای مناسب و t آماره تی‌استیودنت را نشان می‌دهد (Seydan *et al*., 2019). محصولاتی که در این پژوهش برای بررسی انتخاب شد، گندم، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، جو و یونجه بود. با توجه به منطقه مطالعاتی، سطح زیرکشت برای هر یک از محصولات گندم، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، جو و یونجه به‌ترتیب به روش آبیاری سنتی و نوین در جدول ۱ آمده است. لازم به ذکر است که از بین محصولات، ذرت دانه‌ای به روش آبیاری سنتی کشت نمی‌شود.

**جدول ۱- سطح زیرکشت محصولات زراعی به روش آبیاری سنتی و نوین در دشت تجن مازندران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸**

**Table 1- Cropping area under traditional and modern irrigation methods in Tajan plain of Mazandaran in the cropping year of 2019-2020**

| | سطح زیرکشت Crop area (ha) | |
|---|---|---|
| | آبیاری سنتی Traditional irrigation | آبیاری نوین Modern irrigation |
| گندم Wheat | 48.4 | 535.3 |
| ذرت دانه‌ای Corn | - | 367 |
| ذرت علوفه‌ای Fodder corn | 104 | 1604 |
| جو Barley | 20 | 250 |
| یونجه Alfalfa | 15 | 70 |

علاوه بر اطلاعات سطح زیرکشت، اطلاعات مربوط به حجم آب مصرفی، میزان قیمت خالص و ناخالص محصولات نیز جمع‌آوری شد و با توجه به هدف تحقیق، شاخص فیزیکی CPD[1] و شاخص‌های اقتصادی BPD[2] و NBPD[3] برای محاسبه بهره‌وری آب محصولات زراعی نام‌برده به روش آبیاری مدرن و سنتی محاسبه گردید.

## بهره‌وری فیزیکی آب

شاخص کارایی فیزیکی آب، نسبت عملکرد یا محصول تولیدی (برحسب کیلوگرم) به‌ازای حجم آب مصرفی (برحسب مترمکعب) تعریف می‌شود که با CPD نشان داده می‌شود. واحد

1. Crop Per Drop
2. Benefit Per Drop
3. Net Benefit Per Drop

این شاخص نیز کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. هرچه میزان CPD در یک گیاه بیشتر باشد نشان‌دهنده مصرف بهینه آب است. محاسبه این شاخص ساده بوده و مقایسه بیرونی یا بین منطقه‌ای (بین مزارع) و مقایسه درونی (روند زمانی) را میسر می‌سازد (Ehsani and Khaledi, 2003) (رابطه ۲).

$$CPD = \frac{\text{مقدار محصول تولید شده}}{\text{مقدار آب مصرف شده}} \quad (۲)$$

## بهره‌وری اقتصادی آب

شاخص کارایی اقتصادی آب، میزان درآمدی است که بهره‌بردار به ازای مقدار آب مصرفی کسب می‌نماید. این شاخص به دو صورت نسبت مقدار درآمد ناخالص به‌میزان آب مصرفی (BPD) و نسبت مقدار درآمد خالص به‌میزان آب مصرفی (NBPD) تعریف می‌شود (رابطه‌های ۳ و ۴).

$$BPD = \frac{\text{مقدار درآمد ناخالص}}{\text{مقدار آب مصرف شده}} \quad (۳)$$

$$NBPD = \frac{\text{مقدار درآمد خالص}}{\text{مقدار آب مصرف شده}} \quad (۴)$$

درآمد خالص، ناخالص برحسب ریال و حجم آب مصرفی برحسب مترمکعب می‌باشد. شاخص BPD یکی از معایب شاخص اول یعنی بی توجهی به ارزش محصول تولیدی را برطرف می‌کند و برای مقایسه محصولات مختلف می‌تواند استفاده شود. اما با توجه به هزینه تولید محصول از معایب این شاخص می‌باشد (Ehsani and Khaledi, 2003). شاخص NBPD نه تنها میزان ارزش خالص را به ازای واحد حجم آب مصرف شده تعیین می‌کند بلکه اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی الگو و ترکیب کشت در مناطق خشک دارد. از این طریق می‌توان منابع کمیاب آب را به کشت‌هایی که با کمترین واحد مصرف آب بالاترین سود را نصیب بهره‌برداران می‌نمایند اختصاص داد. تعیین مقدار ارزش خالص در موقعیت‌های مختلف تنها عیب استفاده از این شاخص می‌باشد (Ehsani and Khaledi, 2003). براساس مقایسه مقادیر شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی محصولات می‌توان تعیین نمود که ازلحاظ اقتصادی، درآمد و سود خالص حاصل از کشت کدام محصول بیشتر است.

## نتایج و بحث

در این بخش نتایج مربوط به شاخص‌های بهره‌وری آب محصولات در منطقه دشت تجن بیان می‌شود. جدول ۲، عملکرد، حجم آب مصرفی و جدول ۳ شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی بهره‌وری آب را به روش آبیاری سنتی نشان می‌دهد. هم‌چنین جدول ۴، عملکرد، حجم آب مصرفی و جدول ۵، شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی بهره‌وری آب را به روش آبیاری نوین نشان می‌دهد.

**جدول ۲- عملکرد و حجم آب مصرفی در روش آبیاری سنتی در دشت تجن مازندران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸**

**Table 2- Performance and volume of water consumed in traditional irrigation method in Tajan plain of Mazandaran in the cropping year of 2019-2020**

| | عملکرد<br>Yield (Ton/ha) | نسبت حجم آب مصرفی به سطح زیرکشت<br>Ratio of water volume to cultivated area ($m^3$/ha) |
|---|---|---|
| گندم<br>Wheat | 4.1 | 5700 |
| ذرت دانه‌ای<br>Corn | - | - |
| ذرت علوفه‌ای<br>Fodder corn | 30.2 | 5300 |
| جو<br>Barley | 3.9 | 5280 |
| یونجه<br>Alfalfa | 11.1 | 12200 |

**جدول ۳- میانگین بهره‌وری آب در روش آبیاری سنتی در دشت تجن مازندران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸**

**Table 3- Mean water productivity in traditional irrigation method in Tajan plain of Mazandaran in the cropping year of 2019-2020**

| NBPD (Toman/m$^3$) | BPD (Toman/m$^3$) | CPD (Kg/m$^3$) | |
|---|---|---|---|
| 515.9 | 831.2 | 0.71 | گندم Wheat |
| - | - | - | ذرت دانه‌ای Corn |
| 542.5 | 775.2 | 5.7 | ذرت علوفه‌ای Fodder corn |
| 457 | 760 | 0.75 | جو Barley |
| 548 | 872 | 0.97 | یونجه Alfalfa |

بر طبق اطلاعات جدول ۲، در روش آبیاری سنتی بیشترین عملکرد (۳۰/۲ تن در هکتار) متعلق به ذرت علوفه‌ای و کمترین عملکرد (۳/۹ تن در هکتار) متعلق به جو بود. هم‌چنین بیشترین حجم آب مصرفی (۱۲۲۰۰ مترمکعب بر هکتار) متعلق به یونجه و کمترین حجم آب مصرفی (۵۲۸۰ مترمکعب بر هکتار) متعلق به جو بود. بر طبق اطلاعات جدول ۳، در روش آبیاری سنتی بالاترین و پایین‌ترین میزان شاخص بهره‌وری فیزیکی (CPD) به‌ترتیب متعلق به ذرت علوفه‌ای (۵/۷ کیلوگرم بر مترمکعب) و گندم (۰/۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب) بود. هم‌چنین بالاترین و پایین‌ترین میزان شاخص بهره‌وری اقتصادی با درآمد خالص (NBPD) به‌ترتیب متعلق به ذرت علوفه‌ای (۵۴۲/۵ تومان بر مترمکعب) و جو (۴۵۷ تومان بر مترمکعب) بود. بالاترین و پایین‌ترین میزان شاخص بهره‌وری اقتصادی با درآمد ناخالص (BPD) نیز به‌ترتیب متعلق به یونجه (۸۷۲ تومان بر مترمکعب) و جو (۷۶۰ تومان بر مترمکعب) بود.

بر طبق اطلاعات جدول ۴، در روش آبیاری نوین بیشترین عملکرد (۳۳/۸ تن در هکتار) متعلق به ذرت علوفه‌ای و کمترین عملکرد (۴/۷ تن در هکتار) متعلق به جو بود. هم‌چنین بیشترین حجم آب مصرفی (۹۱۰۰/۵ مترمکعب بر هکتار) متعلق به یونجه و کمترین حجم آب مصرفی (۱۷۸۷/۵ مترمکعب بر هکتار) متعلق به گندم بود.

**جدول ۴- عملکرد و حجم آب مصرفی در روش آبیاری نوین در دشت تجن مازندران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸**

**Table 4- Performance and volume of water consumed in modern irrigation method in Tajan plain of Mazandaran in the cropping year of 2019-2020**

| نسبت حجم آب مصرفی به سطح زیرکشت Ratio of water volume to cultivated area (m$^3$/ha) | عملکرد Yield (Ton/ha) | |
|---|---|---|
| 1787.5 | 4.9 | گندم Wheat |
| 2125 | 5.4 | ذرت دانه‌ای Corn |
| 5312.5 | 33.8 | ذرت علوفه‌ای Fodder corn |
| 3540 | 4.7 | جو Barley |
| 9100.5 | 12.8 | یونجه Alfalfa |

جدول ۵- میانگین بهره‌وری آب در روش آبیاری نوین در دشت تجن مازندران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸

Table 5 – Mean water productivity in modern irrigation method in Tajan plain of Mazandaran in the cropping year of 2019-2020

| NBPD (Toman/m$^3$) | BPD (Toman/m$^3$) | CPD (Kg/m$^3$) | |
|---|---|---|---|
| 922.5 | 1521.2 | 1.42 | گندم Wheat |
| 5662.4 | 14326.3 | 1.22 | ذرت دانه‌ای Corn |
| 652.3 | 1012.5 | 6.22 | ذرت علوفه‌ای Fodder corn |
| 791 | 1270 | 1.31 | جو Barley |
| 810 | 1260 | 1.4 | یونجه Alfalfa |

بر طبق اطلاعات جدول ۵، در روش آبیاری نوین بالاترین و پایین‌ترین میزان شاخص بهره‌وری فیزیکی (CPD) به‌ترتیب متعلق به ذرت علوفه‌ای (۶/۲۲ کیلوگرم بر مترمکعب) و ذرت دانه‌ای (۱/۲۲ کیلوگرم بر مترمکعب) بود. هم‌چنین بالاترین و پایین‌ترین میزان شاخص بهره‌وری اقتصادی با درآمد خالص (NBPD) به‌ترتیب متعلق به ذرت دانه‌ای (۵۶۶۲/۴ تومان در مترمکعب) و ذرت علوفه‌ای (۶۵۲/۳ تومان در مترمکعب) بود. بالاترین و پایین‌ترین میزان شاخص بهره‌وری اقتصادی با درآمد ناخالص (BPD) نیز به‌ترتیب متعلق به ذرت دانه‌ای (۱۴۳۲۶/۳ تومان در مترمکعب) و ذرت علوفه‌ای (۱۰۱۲/۵ تومان در مترمکعب) بود.

براساس نتایج به‌دست آمده و اطلاعات جداول، ذرت علوفه‌ای در هر دو روش آبیاری سنتی و نوین، بیشترین عملکرد را در بین محصولات داشت. هم‌چنین جو به روش سنتی و نوین، کمترین عملکرد را در بین محصولات داشت. در هر دو روش سنتی و نوین، مقدار آب مصرفی در هر هکتار برای محصول یونجه بیشترین مقدار و برای محصول جو و گندم به ترتیب در روش آبیاری سنتی و نوین کمترین مقدار بود.

بنابراین، جو و یونجه که به ترتیب کمترین عملکرد و بیشترین مصرف آب را به روش سنتی دارد، برای کشت در این منطقه مناسب نمی‌باشد. هم‌چنین در روش نوین با وجود اینکه کمترین مصرف آب متعلق به گندم است، اما از عملکرد خوبی برخوردار نیست.

با نگاهی به اعداد و ارقام جداول، ملاحظه می‌شود که هر دو شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در روش آبیاری نوین نسبت به روش سنتی بیشتر است.

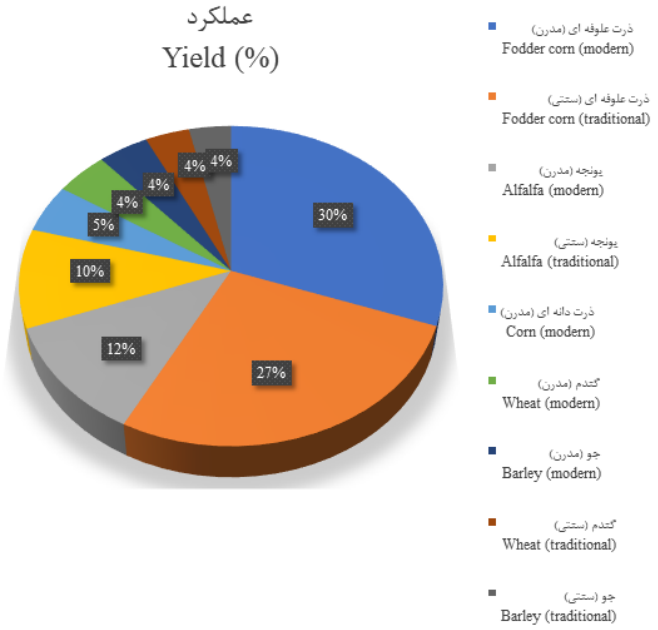
## اولویت‌بندی کشت محصولات

با توجه به جدول‌های ۲ و ۴، اولویت‌بندی کشت محصولات براساس عملکرد را به روش‌های آبیاری سنتی و نوین در شکل ۱ مشخص شده است. بیشترین عملکرد تولید به‌ترتیب متعلق به ذرت علوفه‌ای (تحت روش آبیاری نوین) با مقدار ۳۰ درصد است. میزان عملکرد سایر محصولات تحت دو روش آبیاری سنتی و نوین نیز با توجه به شکل مشخص شده است.

با توجه به جدول‌های ۳ و ۵، اولویت‌بندی کشت محصولات براساس شاخص CPD به دو روش آبیاری سنتی و نوین را در شکل ۲ نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین CPD به‌ترتیب متعلق به ذرت علوفه‌ای (تحت روش آبیاری نوین) و گندم (تحت روش آبیاری سنتی) با مقدار ۳۱ و ۳ درصد است. میزان این شاخص برای سایر محصولات تحت روش‌های آبیاری سنتی و نوین نیز با توجه به شکل مشخص شده است.

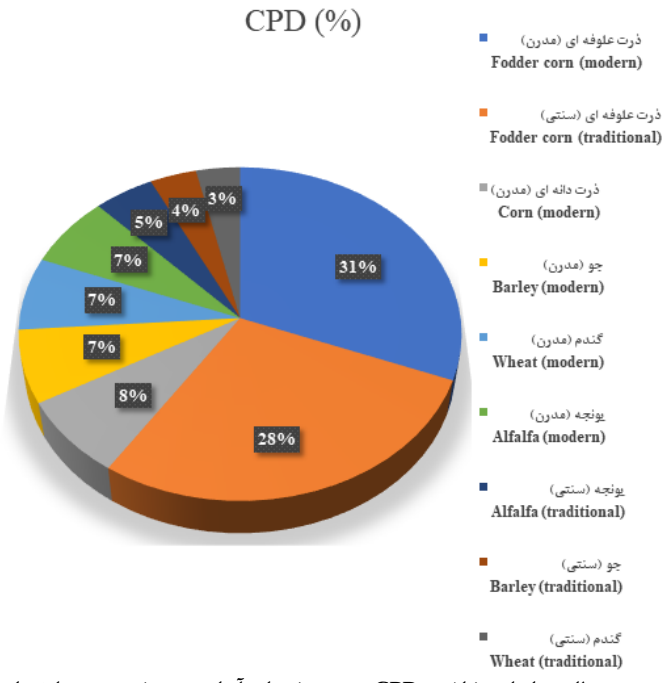
با توجه به جداول ۳ و ۵، اولویت‌بندی کشت محصولات براساس شاخص NBPD (سود خالص) به روش‌های آبیاری سنتی و نوین در شکل ۳ نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین NBPD به‌ترتیب متعلق به ذرت دانه‌ای (تحت روش آبیاری نوین) و همچنین ذرت و جو (تحت روش آبیاری سنتی) با مقدار ۵۲ و ۴ درصد است. میزان این شاخص برای سایر محصولات تحت روش‌های آبیاری نیز با توجه به شکل مشخص می‌باشد (شکل ۳). در هر دو سیستم آبیاری، اولویت کشت محصولات تا رتبه دوم بر شاخص CPD به ترتیب ذرت علوفه‌ای و یونجه می‌باشد و هم‌چنین بر اساس دو اساس شاخص NBPD و BPD در سیستم آبیاری مدرن، اولویت کشت محصولات به ترتیب به

محصولات کلزا و گندم و در سیستم آبیاری سنتی محصولات کلزا و یونجه می‌باشد (Bahrami *et al.*, 2020). بهره‌وری آب در شیوه‌های نوین آبیاری بطور معنی‌دار بیشتر از روش آبیاری سنتی بوده و بر اساس شاخص NBPD، کشت محصول سیر و یونجه به ترتیب بیشترین و کمترین بهره‌وری آب در دشت بهار را نشان می‌دهند (Zamani *et al.*, 2014). استفاده از سامانه آبیاری نوین باید جایگزین سامانه آبیاری سنتی برای کشت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای در استان همدان شود (Amini *et al.*, 2020).



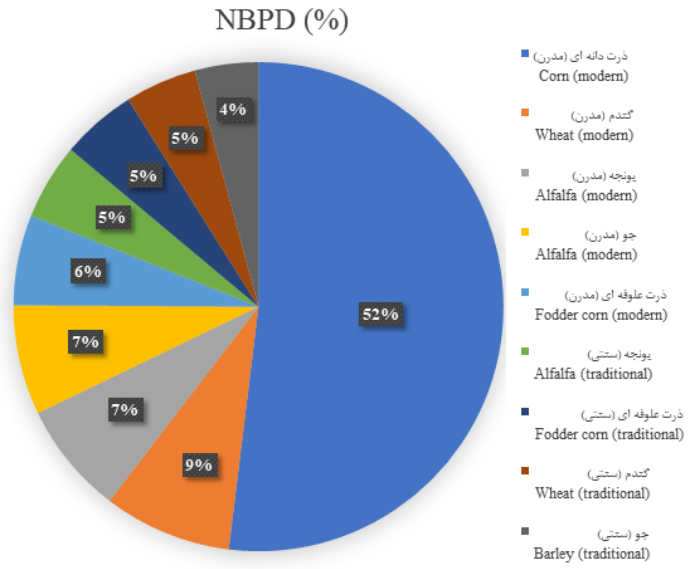

**شکل ۱- مقدار عملکرد تولید تحت روش آبیاری سنتی و نوین در دشت تجن مازندران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸**

**Figure 1- The amount of crop yield by traditional and modern irrigation methods in Tajan plain of Mazandaran in the cropping year of 2019-2020**




**شکل ۲- اولویت‌بندی کشت محصولات براساس شاخص CPD تحت روش‌های آبیاری در دشت تجن مازندران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸**

**Figure 2- Prioritization of crop cultivation based on CPD index under irrigation methods in Tajan plain of Mazandaran in the cropping year of 2019-2020**




**شکل ۳- اولویت‌بندی کشت محصولات براساس شاخص NBPD تحت روش‌های آبیاری در دشت تجن مازندران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸**

**Figure 3- Prioritization of crop cultivation based on NBPD index under irrigation methods in Tajan plain of Mazandaran in the cropping year of 2019-2020**

## نتیجه‌گیری کلی

با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده از بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات زراعی نام‌برده در دشت تجن، بهتر است حتی‌الامکان از روش سنتی برای آبیاری مزارع تحت کشت محصولات فوق به‌غیر از ذرت علوفه‌ای استفاده نشود. هم‌چنین کشت محصولات ذرت علوفه‌ای، یونجه و ذرت دانه‌ای در مقایسه با جو و گندم در اولویت قرار می‌گیرد. کشت جو با هر دو روش آبیاری نیز باید به‌طورکلی حذف گردد.

لازم به ذکر است که محصولی با عملکرد بالا، دلیل بر دارا بودن شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی بالا نیست و بالعکس. چنان‌چه در تحقیق حاضر، ذرت دانه‌ای ازلحاظ بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی نسبتاً خوب و ازلحاظ عملکرد نسبتاً ضعیف بود.

با توجیه مصرف بهینه آب و حداکثر سود حاصل از کشت محصولات، کشاورزان می‌توانند ترغیب شوند که چه نوع محصولی را با توجه به منطقه خاص کشت کنند تا علاوه بر اینکه حجم آب مصرفی کاهش یابد، به حداکثر درآمد خالص یا ناخالص دست یابند. در حقیقت، صرفاً نباید به عملکرد در واحد سطح بسنده کرد، چراکه حجم آب مصرفی، نوع و قیمت محصول نیز باید مورد توجه قرار گیرد. در یک جمع‌بندی کلی، می‌توان بیان کرد که توجه به مدیریت صحیح آب در مزرعه با وجود مسئله بحران آب، تغییر شرایط اقلیمی و نیاز بیشتر به محصولات کشاورزی، بسیار حائز اهمیت است. بنابراین طبق نتایج پژوهش‌های گذشته و تحقیق حاضر، محاسبه میزان بهره‌وری آب ازلحاظ فیزیکی و اقتصادی می‌تواند کمک بزرگی در این راستا باشد. ازجمله اهداف تحقیق حاضر، صرفه‌جویی در مصرف آب و رسیدن به سود حداکثری کشاورزان بوده و پیشنهاد می‌گردد که تحقیقات بیشتری در مناطقی با اقلیم متفاوت و کشت محصولات متنوع انجام پذیرد.

## References

**Abbasi, F., Naseri, A., Sohrab, F., Baghati, J., Abbasi, N. and Akbari, M.** 2015. Investigating the role of processes in improving agricultural water productivity in Iran. *Iranian Journal of Water Research in Agriculture*, 31(2): 163-180. (In Persian).

**Amini, A., Porhemmat, J. and Sedri, H.** 2020. Investigating the physical and economic efficiency of water in major crops in the Talvar Watershed, Kurdistan, Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 12(2): 481-491. (In Persian).

**Amini, A., Porhemmat, J. and Sedri, H**. 2020. Investigating the physical and economic efficiency of water in major crops in the Talvar Watershed, Kurdistan, Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 12(2): 481-491. (In Persian).

**Baghbanyan, M., Emamverdi, Gh., Ghaderzadeh, H., Daman Keshideh, M. and Amin Rashti, N.** 2020. A survey on virtual water and sustainable productivity indices of agricultural water in major agricultural crops (A case of saqqez city, kurdistan province). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 3(14): 1046-1054. (In Persian).

**Bahrami M., Asaadi M.A. and Khalilian S.** 2020. Evaluation of water productivity indices with emphasis on modern and traditional irrigation in crops of Shahriar County. *Journal of Environment and Water Engineering*, 6(3): 284–292. (In Persian).

**Ehsani, M. and Khaledi, H.** 2003. Agricultural water efficiency. National Irrigation and Drainage Committee of Iran (Ministry of Energy), Tehran. (In Persian).

**Farahza, M., Nazari, B., Akbari, M., Naini, M.S. and Merit, A.** 2020. Assessing the physical and economic water productivity of crops in Moghan plain and analyzing the relationship between physical and economic water productivity. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 11(42): 166-179. (In Persian).

**Keshavarz, A. and Dehghani Sanich, H.** 2012. Water and water sports. *Journal of Economic Strategy*, 1(1): 200-233. (In Persian).

**Li, B. and Huang, F.** 2010. Trends in China's agricultural water use during recent decade using the green and blue water approach. *Advances in Water Resources*, 21: 575–583.

**Liu, J., Zehnder, A.J.B. and Yang, H.** 2008. Drops for crops: modelling crop water productivity on a global scale. *Global NEST*, 10(3): 295-300.

**Molareza Qassab, F., Abdshahi, A. and Marzban, A.** 2020. Determining the physical and economic efficiency of agricultural water: a case study of Dezful city. *Journal of Agricultural Economics Research*, 12(3): 49-77.

**Seyedan, S.M. and Mottaghi, M.** 2019. Determination of the physical and economic water productivity for grain and forage corn under modern and traditional irrigation systems in hamadan province. *Journal of Water and Sustainable Development*, 6(12): 1-8. (In Persian).

**Sheidaeian, M.** 2014. Investigation the effect of climate change on net irrigation requirement of rice (Case study: Tajan plain). Thesis Submitted for the Degree of Master of Science in Water Engineering. Sari University. (In Persian).

**Sidan, M. and Mottaqi, M.** 2019. Determining the physical and economic efficiency of water in the cultivation of corn and fodder under modern and traditional irrigation systems in Hamadan province. *Journal of Water and Sustainable Development*, 6(1): 1-8. (In Persian).

**Zamani, O., Mortazavi, S.A. and Balali, H.** 2014. Economical water productivity of agricultural products in Bahar plain, Hamadan. *Water Research in Agriculture Journal*, 28(1): 51-62. (In Persian).

**Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 4, Issue 1, Spring and Summer 2022, P. 49-59**

# Evaluation and analysis of water productivity indices for various crops using traditional and modern irrigation systems (case study: Tajan plain of Mazandaran)

**Marzieh Bagheri Khaneghahi[1], Seyed Hassan Mirhashemi[2], Mehdi Panahi[3*]**

[1] PhD Student in Irrigation and Drainage Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
[2] Graduated PhD, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran
[3] Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

[*]Corresponding Author: panahi40@yahoo.com

Received: 23 September 2021 Accepted: 13 December 2021 **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.306317.1137**

## Abstract

**Introduction:** In this study, the physical and economic productivity of water consumed by five crops (wheat, corn, forage corn, barley, and alfalfa) in Tajan plain located in Mazandaran province were investigated. Population growth, rising demand for agricultural products, unfavorable climatic conditions, dwindling precipitation, and water scarcity are among the world's most pressing problems today. According to studies, the global population will reach 7.8 billion by 2025, putting additional pressure on food security, particularly in developing countries where the population will increase by more than 80 percent. Water's physical and economic efficiency is frequently considered in analysis and decision -making. Physical productivity of water is generally defined as crop yield per cubic meter of water consumed, whereas economic productivity is calculated by dividing the net benefit by the amount of water consumed. Recent water shortages and droughts in Iran necessitate the use of appropriate irrigation techniques for crop cultivation in order to increase crop yields and better manage water resources. In this study, two traditional and modern irrigation systems were compared for the production of five crops (wheat, corn, fodder corn, barley, and alfalfa) in the province of Mazandaran's Tajan plain. In addition, the physical and economic water productivity of five crops were evaluated in order to achieve the optimal state (less water consumption, good crop yield, and high income for farmers).

**Materials and Methods:** Tajan catchment has an approximate area of 4005.22 $km^2$, of which 3980.75 $km^2$ are located within Mazandaran province and about 25 $km^2$ are located outside the province. Tajan catchment is located eastern longitude of 53 degrees and 7 minutes to 53 degrees and 42 minutes and a northern latitude of 35 degrees and 56 minutes to 36 degrees and 17 minutes. In this study, data and information from Jihad Agriculture and Regional Water Organization were collected, including soil texture, crop water requirement, cropping area, crop yield, crop water requirement, water inflow to the farm, duration and frequency of irrigation, product prices, and investment costs. A two-stage random sampling method was employed based on the available data and information from Tajan, as well as the various cropping areas and irrigation techniques used in this region. For the study, wheat, corn, forage corn, barley, and alfalfa were chosen as crops. Notably, among the crops, corn is not cultivated using conventional irrigation techniques.

**Results and Discussion:** In the traditional irrigation method, the highest yield belonged to forage corn and the lowest yield. Additionally, alfalfa had the highest volume of water consumption while barley had the lowest volume of water consumption. In the traditional irrigation method, forage corn and wheat had the highest and lowest Crop Per Drop (CPD) values, respectively. Also, feed corn and barley had the highest and lowest Net Benefit Per Drop (NBPD) values, respectively. Alfalfa and barley had the highest and lowest Benefit Per Drop (BPD) indices, respectively. Therefore, barley and alfalfa, which have the lowest yield and the highest water consumption using the traditional method, are unsuitable for cultivation in this region. Additionally, in the new method,

wheat has the lowest water consumption, but its performance is subpar.
**Conclusion:** Considering the obtained values of physical and economic water productivity of the aforementioned crops in the Tajan plain, it is advisable not to use traditional methods for irrigating the fields under the aforementioned cropping patterns, with the exception of fodder corn. In addition to barley and wheat, the cultivation of fodder corn, alfalfa, and grain corn is also a top priority. The cultivation of barley using either method of irrigation should be eliminated entirely.

**Keywords:** Cereals, Economic productivity, Net benefit, Yield