

مقاله علمی-پژوهشی

پهنه‌بندی مکانی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید گندم، جو و پنبه در دشت سبزوار

مهدی مکاری<sup>\*۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۳

چکیده

اندازه‌گیری و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب در بخش کشاورزی در ایران به علت محدودیت کمی و کیفی این ماده ارزشمند از جایگاه خاصی برخوردار است. هدف از پژوهش حاضر تحلیل مکانی شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید سه محصول گندم، جو و پنبه در دشت سبزوار بود. شاخص عملکرد محصول به ازای آب آبیاری، درآمد ناخالص به ازای آب آبیاری و درآمد خالص به ازای آب آبیاری برای محاسبه بهره‌وری آب محصولات گندم، جو و پنبه در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین بهره‌وری فیزیکی آب به ترتیب با مقادیر ۱/۲۸ و ۰/۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب متعلق به جو و پنبه بود. بالاترین درآمد ناخالص و خالص برای محصول گندم به ترتیب برابر ۱۵/۰۴ و ۹/۱۵ هزار ریال بر مترمکعب به دست آمد. میانگین درآمد خالص به ازای آب آبیاری برای محصولات گندم، جو و پنبه به ترتیب ۵۷۴۰، ۳۱۳۰ و ۳۳۴۰ ریال بر مترمکعب بود. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان به سیاست‌گذاران پیشنهاد نمود تا در مناطق شمالی، مرکزی و جنوبی دشت سبزوار گندم، در مناطق غربی جو و در مناطق شرقی پنبه کشت نمود.

واژه‌های کلیدی: آب آبیاری، بهره‌وری آب، تحلیل مکانی، درآمد خالص

مقدمه

حدود ۷۰٪ منابع آب جهان در بخش کشاورزی مصرف می‌شود. مدیریت مناسب آبیاری در اراضی فاریاب جهت رسیدن به تولیدات کشاورزی پایدار به‌ویژه در مناطقی که با محدودیت منابع آب مواجه هستند امری حیاتی و ضروری است. استفاده کارآمد از منابع آبی با در نظر گرفتن عواملی همچون افزایش جمعیت و تغییرات اقلیمی اهمیت دوچندان می‌یابد. نشان‌گرهای عملکرد آبیاری ابزار مناسبی برای ارزیابی کارآمدی سامانه‌های آبیاری، شناسایی اراضی مناسب جهت کشت محصولات زراعی و باغی و استراتژی‌های بهینه‌سازی مدیریت آب به شمار می‌روند. به دلیل تغییرات اقلیمی در جهان، وقوع پی در پی خشکسالی‌ها و افزایش رویدادهای حدی در هواشناسی، استفاده پایدار از منابع آبی امری واجب و ضروری است. استفاده کارآمد از منابع آبی می‌تواند با جلوگیری از مصرف غیرضروری به‌ویژه در کشاورزی فاریاب و توزیع عادلانه آب بین بهره‌برداران حاصل شود (Arslan, 2024). کارایی مصرف آب ( $WUE^T$ ) و بهره‌وری آب

( $WP^T$ ) شاخص‌هایی هستند که برای اطمینان از صرفه‌جویی در مصرف آب و در نتیجه کمک به مدیریت پایدار آب کشاورزی استفاده می‌شوند. بهره‌وری بالای آب در کشاورزی یا منجر به تولید یکسان با منابع آب کمتر می‌شود یا منجر به تولید بیشتر با مصرف همان مقدار منابع آب می‌گردد (Zwart and Bastiaanssen, 2004).

خشکسالی و کم آبی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و با توجه به روند روزافزون نیاز بخش‌های مختلف به آب، این مشکل در سال‌های آینده حادث‌تر نیز خواهد شد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶). در چنین شرایطی یکی از راهکارهای مؤثر و عملی استفاده بهینه و صرفه‌جویی در مصرف آب است. در این میان، مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی که بخش عمده‌ای از مصارف آب در ایران و جهان را نیز شامل می‌شود، می‌تواند بسیار مؤثر و راهگشا باشد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶). یکی از مؤثرترین راهکارهای مقابله با بحران آب و افزایش کمی و کیفی تولیدات در بخش کشاورزی توجه جدی به بهره‌وری آب و ارتقای آن با اعمال روش‌ها و سیاست‌های مناسب است (کریمی و جلیلی، ۱۳۹۶). لزوم توجه به شاخص‌های بهره‌وری آب جهت شناسایی نقاط ضعف و قوت مزارع تحت کشت محصولات

۱ - استادیار گروه مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران

(\* - نویسنده مسئول: Email: m.mokari@kashmar.ac.ir)

2- Water Use Efficiency

3- Water Productivity

DOI: [10.22034/ijid.2025.557059.2640](https://doi.org/10.22034/ijid.2025.557059.2640)

کیلوگرم بر مترمکعب بودند. جوزی و همکاران (۱۴۰۴) بهره‌وری فیزیکی آب گندم در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و سرپل ذهاب را به ترتیب ۰/۹۷، ۰/۹۵ و ۰/۸۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند. زو و همکاران بهره‌وری آب ذرت را بین ۱/۵ تا ۲ کیلوگرم بر مترمکعب و بهره‌وری آب گندم را حدود ۱/۲ کیلوگرم بر مترمکعب در حوزه رودخانه هی در چین گزارش کردند (Zhou et al., 2021). در پژوهشی بهره‌وری آب گندم و پنبه به ترتیب در دامنه ۱/۷-۰/۶ و ۰/۳۳-۰/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد (Zwart and Bastiaanssen, 2004). افزایش بهره‌وری آب در مناطقی که با محدودیت منابع آبی مواجه هستند از اهمیت فراوانی برخوردار است. با توجه به این که تاکنون مطالعه‌ای در رابطه با پهنه‌بندی مکانی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب کشاورزی محصولات زراعی در دشت سبزوار انجام نشده است، لذا هدف این پژوهش پهنه‌بندی مکانی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب کشاورزی برای محصولات مهم زراعی شامل گندم، جو و پنبه در دشت سبزوار است. همچنین تعیین مناطق مناسب کشت گندم، جو و پنبه بر اساس حداکثر سود خالص به ازای مصرف هر مترمکعب آب از دیگر اهداف این پژوهش بود.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت میدانی و به منظور بررسی روند تغییرات شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب کشاورزی برای محصولات مهم زراعی شامل گندم، جو و پنبه در دشت سبزوار در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. علت انتخاب این سه محصول به عنوان محصولات عمده زراعی در دشت سبزوار، سطح زیر کشت بالای آن‌ها نسبت به سایر محصولات کشاورزی بود (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۵). دشت سبزوار یکی از زیرحوضه‌های حوضه آبریز کویر مرکزی است که در بخش شرقی آن و در استان خراسان رضوی بین طول جغرافیایی ۶۷° ۵۷' تا ۱۸° ۵۸' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰° ۳۵' تا ۲۷° ۳۶' شمالی واقع شده است. آبخوان آبرفتی سبزوار در شمال شرق ایران و در این حوضه قرار دارد. این آبخوان با مساحت ۲۱۵۳ کیلومترمربع در بخش میانی حوضه و حد فاصل ارتفاعات شمالی و جنوبی واقع شده است. شهر سبزوار نیز در این محدوده واقع شده است. از لحاظ اقلیمی دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک است که میزان بارش آن به طور متوسط ۱۸۴ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۷/۳۰ درجه سانتی‌گراد است (تفضلی و همکاران، ۱۴۰۴). تعداد ۳۰ حلقه چاه عمیق مورد بهره‌برداری در دشت سبزوار به گونه‌ای انتخاب شدند که پراکنش مناسبی از مزارع تحت کشت گندم، جو و پنبه در سطح دشت سبزوار را شامل شوند. از طرفی با مشاوره و راهنمایی کارشناسان جهاد کشاورزی شهرستان سبزوار،

زراعی و باغی و برنامه‌ریزی صحیح و مناسب در راستای صرفه‌جویی مصرف آب و کمک به حفظ منابع آبی و توسعه پایدار امری اجتناب‌ناپذیر است. از طرفی ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب و محاسبه امتیاز آن‌ها برای محصولات مختلف زراعی به رتبه‌بندی، تشخیص عملکرد بهتر و مدیریت بهینه مزارع تحت کشت این محصولات از نظر مصرف بهینه آب آبیاری و سایر نهاده‌های تولید و انتخاب الگوی کشت مناسب مطابق شرایط هر منطقه کمک می‌نماید. برای رسیدن به کشاورزی پایدار و تأمین امنیت غذایی در جهان، یکی از بهترین راهبردها در مناطقی که با محدودیت منابع آبی مواجه هستند افزایش بهره‌وری آب است (Descheemaeker et al., 2013). چگونگی ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب در هر منطقه بر اساس آمار و اطلاعات موجود و دسترسی به داده‌های مورد نیاز برای محاسبه این شاخص‌ها انجام می‌شود. نتایج پژوهش زراعی قورخودی و همکاران (۱۴۰۱) در استان مازندران نشان داد که میانگین شاخص بهره‌وری فیزیکی آب برای باغ‌های مرکبات و شالیزارها به ترتیب ۵/۸ و ۰/۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب بود. در حالی که درآمد ناخالص به ازای مصرف هر واحد حجم آب آبیاری در باغ‌های مرکبات و شالیزارها به ترتیب ۲۶۱ و ۱۷۵ هزار ریال بر مترمکعب و درآمد خالص به ازای مصرف هر واحد حجم آب آبیاری به ترتیب ۲۰۹ و ۱۲۷ هزار ریال بر مترمکعب به دست آمد. همچنین نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که باغ‌های مرکبات و شالیزارها در ناحیه نور-نوشهر و رامسر-چالوس بهترین عملکرد را از نظر شاخص NBDP و در ناحیه نور-نوشهر و آمل-بابل بهترین عملکرد را از نظر شاخص CPD داشتند. جلینی و همکاران (۱۴۰۳) با بررسی حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب در مزارع استان خراسان رضوی به این نتیجه رسیدند که تغییرات بهره‌وری آب پنبه بین ۰/۱۰۲ تا ۰/۹۵۷ کیلوگرم بر مترمکعب و متوسط آن برابر ۰/۳۵۷ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شد. در پژوهش انجام شده توسط گودرزی و همکاران (۱۴۰۱) بهره‌وری آب آبیاری برای محصول جو در سطح استان مرکزی بین ۰/۴۳ تا ۱/۱۹ با متوسط ۰/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب در نوسان بود. نتایج پژوهش بهرامی و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد که در هر دو سامانه آبیاری سنتی و نوین، شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در تولید ذرت علوفه‌ای و یونجه بیشترین مقدار را در مقایسه با سایر محصولات زراعی در دشت شهریار داشت. باقری خانقاهی (۱۴۰۱) در ارزیابی و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب محصولات زراعی به روش آبیاری سنتی و نوین در دشت تجن مازندران به این نتیجه رسیدند که بهره‌وری آب در شیوه‌های آبیاری نوین به‌طور معنی‌داری بیشتر از روش آبیاری سنتی بود. عبداله‌زاده کهریزی و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی شاخص بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات زراعی دشت پلدشت پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که محصولات گندم، جو، یونجه و هندوانه به ترتیب دارای بهره‌وری آب ۲/۲۳، ۳/۲۵، ۱/۸۶ و ۱۴/۸۹

$$CPD = \frac{TP}{TW_C} \quad (1)$$

که در آن، TP میزان محصول تولید شده (کیلوگرم در هکتار)، TWC حجم آب آبیاری در هکتار و CPD بهره‌وری آب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب است. بدیهی است هر چه 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 را میسر می‌سازد (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲).

نوع دیگری از شاخص‌های بهره‌وری جنبه مالی و اقتصادی بهره‌وری را شامل می‌شوند. مفهوم بهره‌وری اقتصادی آب، میزان درآمدی است که بهره‌بردار به ازای مقدار آب آبیاری به دست می‌آورد. به عبارت دیگر تنها مقدار تولید نباید معیار ارزش آب آبیاری قرار گیرد بلکه باید علاوه بر مقدار فیزیکی محصول به ارزش ریالی آن نیز توجه کرد. شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی آب عبارتند از:

#### ۱- شاخص ارزش ناخالص یا درآمد به ازای هر واحد

**حجم آب (BPD<sup>۳</sup>):** در این شاخص نسبت ارزش ناخالص به ازای هر واحد حجم آب آبیاری مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$BPD = \frac{TR}{TW_C} \quad (2)$$

که در آن، TR کل درآمد حاصل از فروش محصول به ازای هر واحد آب آبیاری است و از حاصلضرب میزان عملکرد در قیمت هر کیلوگرم محصول به دست می‌آید؛ TWC حجم آب آبیاری در هکتار و BPD بهره‌وری آب بر حسب ریال بر مترمکعب است. این شاخص یکی از معایب شاخص اول یعنی بی‌توجهی به ارزش محصول تولیدی را برطرف می‌کند و برای مقایسه محصولات مختلف می‌تواند استفاده شود؛ اما در نظر نگرفتن هزینه تولید محصول از معایب این شاخص می‌باشد (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲).

#### ۲- ارزش خالص به ازای هر واحد حجم آب

**(NBPD<sup>۴</sup>):** در این شاخص در صورت کسر درآمد خالص حاصل از فروش محصول قرار می‌گیرد. این شاخص به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$NBPD = \frac{NB}{TW_C} \quad (3)$$

که در آن، NB ارزش خالص محصول و TWC حجم آب آبیاری در هکتار است. ارزش خالص از تفاضل ارزش ناخالص و هزینه کل به دست می‌آید. NBPD بر حسب ریال بر مترمکعب است. این شاخص به دلیل استفاده از ارزش خالص محصول به جای ارزش ناخالص، مناسب‌تر از شاخص BPD است. شاخص NBPD نه تنها میزان ارزش خالص را به ازای واحد حجم آب آبیاری تعیین می‌کند، بلکه اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی الگو و ترکیب کشت در مناطق خشک دارد (سیدان و متقی، ۱۳۹۸). از این طریق می‌توان منابع آبی را به

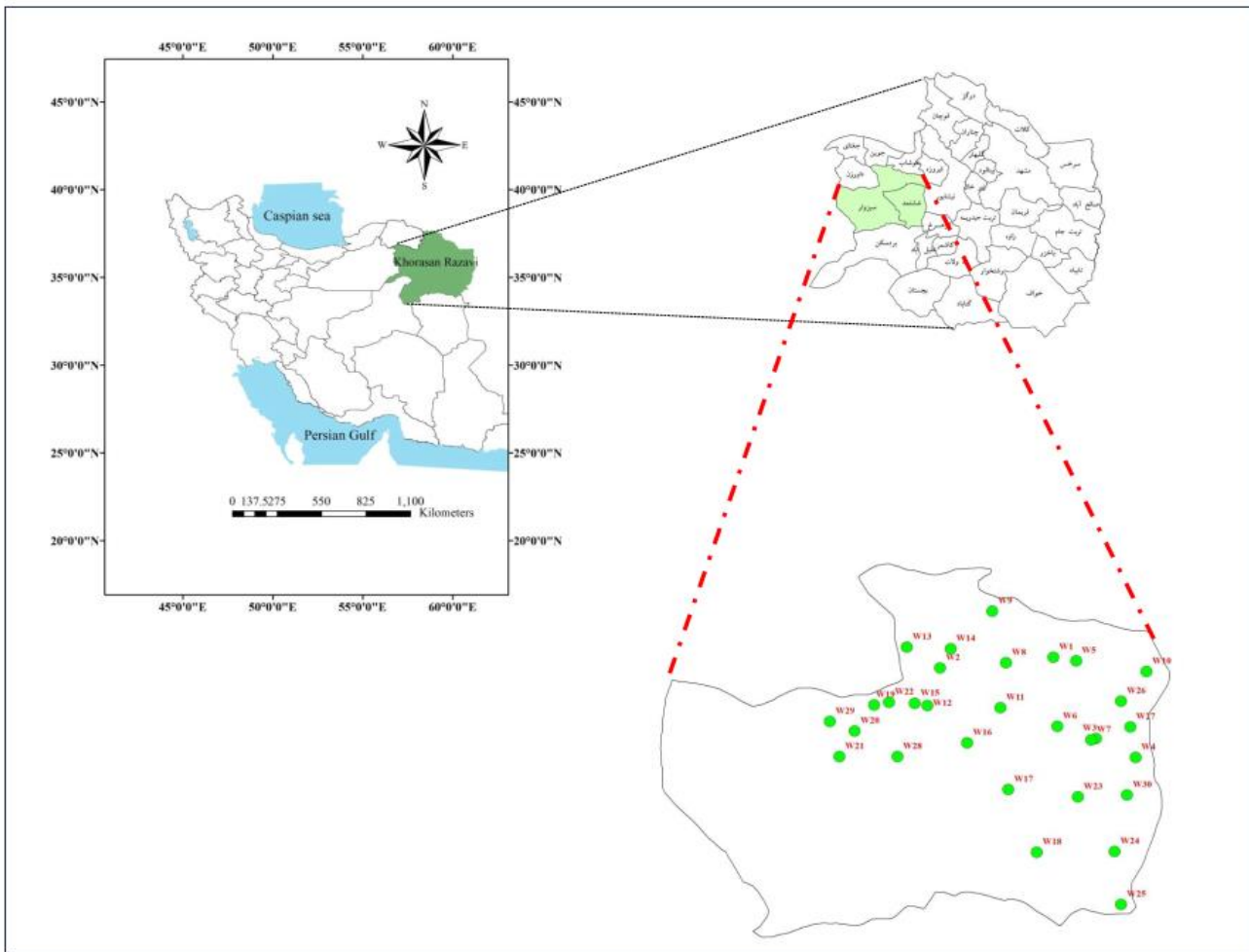
چاه‌هایی برای مطالعه در نظر گرفته شدند که در آن‌ها بهره‌برداران هر سه محصول گندم، جو و پنبه را کشت کرده بودند. تمام چاه‌های مورد مطالعه مجهز به سیستم آبیاری سطحی کم‌فشار بودند. موقعیت جغرافیایی و پراکنش چاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. مزارع آزمایشی با هماهنگی مدیریت شهرستان طوری انتخاب شدند که تغییرات در عوامل مختلف از جمله بافت خاک، نوع مالکیت، کیفیت آب آبیاری و ... را پوشش دهند. حجم آب آبیاری، بدون دخالت در برنامه آبیاری کشاورز اندازه‌گیری شد. برای تعیین حجم آب آبیاری ابتدا مشخصات طرح‌های آبیاری اجرا شده شامل دفترچه طراحی، نقشه ازبیلت و مشخصات بهره‌برداران از سازمان جهاد کشاورزی دریافت شد. سپس دبی طرح به صورت میدانی و با حضور کشاورز به روش حجم‌سنجی به دست آمد. با توجه به این که در تمام مزارع منتخب آبیاری به صورت سطحی کم‌فشار انجام می‌شد، دبی در شیرهای خروجی ابتدای مزارع در سه نوبت اندازه‌گیری شد. پس از تعیین میزان دبی آب ورودی به مزرعه، با اطلاعات جمع‌آوری شده در خصوص تعداد دفعات آبیاری و مدت زمان آبیاری، حجم آب آبیاری برای هر کدام از محصولات گندم، جو و پنبه در مزارع منتخب محاسبه شد. مقادیر هزینه‌ها، درآمد و عملکرد محصولات از طریق مصاحبه با کارشناسان و کشاورزان و با استفاده از سالنامه آماری بخش کشاورزی (استان خراسان رضوی) در سال ۹۵-۱۳۹۴ به دست آمد. به کمک نرم افزار GIS نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب کشاورزی برای محصولات گندم، جو و پنبه با استفاده از روش درون‌یابی وزن‌دهی عکس فاصله (IDW<sup>۱</sup>) در دشت سبزوار تهیه شد. هدف از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص‌های بهره‌وری آب در این مطالعه، بررسی روند تغییرات این شاخص‌ها و امکان شناسایی مناطق با پتانسیل بالا جهت کشت محصولات زراعی گندم، جو و پنبه و همچنین مشخص نمودن نقاط ضعف و قوت مزارع مورد مطالعه از لحاظ مدیریت آبیاری و عملیات به‌زراعی بود. همچنین با استفاده از نتایج آنالیز شیمیایی آب چاه‌های منتخب در منطقه مورد مطالعه که در دفترچه طراحی آبیاری سطحی کم‌فشار این چاه‌ها موجود بود، نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی برخی از پارامترهای شیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت سبزوار مانند EC، pH، SAR و CI به کمک نرم افزار GIS و به روش درون‌یابی IDW تهیه شد.

#### شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (CPD<sup>۲</sup>)

در این شاخص از رابطه نسبت مقدار محصول تولید شده به مقدار حجم آب آبیاری استفاده می‌شود:

موقعیت‌های مختلف تنها عیب استفاده از این شاخص است (احسانی و خالدي، ۱۳۸۲).

کشت‌هایی که با کمترین واحد مصرف آب بالاترین سود را نصیب بهره‌برداران می‌نمایند، اختصاص داد. تعیین مقدار ارزش خالص در



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و پراکنش چاه‌های مورد مطالعه در دشت سبزوار

قطب‌های تولید گندم در کشور پرداخت، شاخص بهره‌وری آب گندم در بازه ۰/۳ تا ۲/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب در سطح مزارع منتخب متغیر بود. با توجه به دامنه وسیع تغییرات مکانی شاخص بهره‌وری آب گندم در سطح کشور، می‌توان چنین مطرح نمود که پتانسیل بالایی در ارتقاء شاخص بهره‌وری آب گندم در سطح کشور وجود دارد (طاهری و همکاران، ۱۳۹۹). هم‌چنین نتایج نشان داد میانگین بهره‌وری فیزیکی آب برای گندم، جو و پنبه به ترتیب ۰/۹۱، ۰/۹۹ و ۰/۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب بود. بیشترین بهره‌وری فیزیکی مربوط به جو و کمترین مقدار آن متعلق به پنبه بود. نتایج پژوهش اخوان و همکاران (۱۴۰۲) نیز نشان داد که بهره‌وری فیزیکی آب گندم، جو و پنبه در دشت مغان به ترتیب ۰/۸۴، ۰/۷۸ و ۰/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب بود که حاکی از کمتر بودن بهره‌وری فیزیکی آب پنبه نسبت به گندم و جو بود که با نتایج این پژوهش همخوانی داشت.

## نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که از لحاظ شاخص بهره‌وری فیزیکی، جو نسبت به گندم و پنبه در وضعیت بهتری قرار دارد در حالی که از لحاظ بهره‌وری اقتصادی آب وضعیت گندم در مقایسه با جو و پنبه بهتر بود. لذا می‌توان نتیجه گرفت اگرچه نسبت عملکرد به آب آبیاری و نسبت سود خالص به آب آبیاری ارتباط نزدیکی با هم دارند، اما بالا بودن بهره‌وری فیزیکی لزوماً منجر به بهره‌وری اقتصادی بالا نمی‌شود زیرا هر یک توسط عوامل دیگر کنترل می‌شوند (Jha et al., 2016). بازه تغییرات شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در دشت سبزوار برای گندم، جو و پنبه به ترتیب بین ۱/۲۴-۰/۶۵، ۰/۲۸-۰/۷۴ و ۰/۳۵-۰/۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب در جدول ۱ ارائه شده است. در پژوهشی که به تحلیل مکانی شاخص بهره‌وری آب در

به ترتیب ۵۷۴۰، ۳۱۳۰ و ۳۳۴۰ ریال بر مترمکعب بود. بنابراین گندم به دلیل برخوردار بودن از سیاست حمایتی و پایین بودن مقدار آب آبیاری، بهترین عملکرد را از نظر شاخص‌های اقتصادی BPD و NBPD دارا بود. قابل توجه این که میزان سطح اراضی تحت کشت گندم، جو و پنبه در منطقه مورد مطالعه تطابق مناسبی با بهره‌وری اقتصادی دارد. این نتیجه با نتایج به دست آمده در پژوهش‌های آمینی و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت داشت.

دلیل بالا بودن بهره‌وری فیزیکی جو در مقایسه با گندم و پنبه، مصرف آب کمتر این محصول نسبت به دو محصول دیگر بود. بیشترین و کمترین بهره‌وری اقتصادی بر اساس شاخص BPD به ترتیب متعلق به گندم با مقدار ۱۵۰۴۰ ریال بر مترمکعب و پنبه با مقدار ۱۰۱۹۰ ریال بر مترمکعب بود. میانگین بهره‌وری اقتصادی گندم، جو و پنبه در دشت سبزوار برای شاخص BPD به ترتیب ۱۱۰۱۰، ۹۲۹۰ و ۷۷۸۰ ریال بر مترمکعب و برای شاخص NBPD

جدول ۱- آماره‌های بیشینه، کمینه، میانگین، دامنه تغییرات و انحراف معیار برای شاخص‌های بهره‌وری آب در تولید گندم، جو و پنبه در دشت سبزوار

محصول	شاخص بهره‌وری	بیشینه	کمینه	میانگین	دامنه تغییرات	انحراف معیار
گندم	CPD (kg/m <sup>3</sup> )	۱/۲۴	۰/۶۵	۰/۹۱	۰/۵۹	۰/۰۷
	BPD (1000 Rial/m <sup>3</sup> )	۱۵/۰۴	۷/۸۳	۱۱/۰۱	۷/۲۱	۰/۸۸
	NBPD (1000 Rial/m <sup>3</sup> )	۹/۱۵	۳/۳۳	۵/۷۴	۵/۸۲	۰/۵۳
جو	CPD (kg/m <sup>3</sup> )	۱/۲۸	۰/۷۴	۰/۹۹	۰/۵۴	۰/۰۸
	BPD (1000 Rial/m <sup>3</sup> )	۱۱/۹۴	۶/۹۰	۹/۲۹	۵/۰۴	۰/۷۸
	NBPD (1000 Rial/m <sup>3</sup> )	۴/۴۰	۱/۸۹	۳/۱۳	۲/۵۱	۰/۳۵
پنبه	CPD (kg/m <sup>3</sup> )	۰/۳۵	۰/۲۰	۰/۲۷	۰/۱۵	۰/۰۱
	BPD (1000 Rial/m <sup>3</sup> )	۱۰/۱۹	۵/۹۲	۷/۷۸	۴/۲۷	۰/۵۱
	NBPD (1000 Rial/m <sup>3</sup> )	۴/۷۱	۲/۲۲	۳/۳۴	۲/۴۹	۰/۲۶

تا ۴۲۰۰ مترمکعب در هکتار و برای پنبه از ۹۰۷۲ تا ۱۳۵۸۹ مترمکعب در هکتار متغیر بود. با توجه به حجم آب آبیاری کمتر گندم و جو در مقایسه با پنبه و همچنین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی بیشتر این دو محصول نسبت به پنبه به نظر می‌رسد کاشت گندم و جو نسبت به پنبه در شهرستان سبزوار توجیه اقتصادی بیشتری دارد و کمک بیشتری به حفظ منابع آبی این شهرستان می‌نماید.

در جدول ۲ میانگین حجم آب آبیاری، نیاز خالص آبیاری، عملکرد، هزینه، سود ناخالص و سود خالص برای محصولات گندم، جو و پنبه در دشت سبزوار ارائه شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۲ مشخص می‌شود که میانگین حجم آب آبیاری برای محصولات گندم، جو و پنبه در دشت سبزوار به ترتیب ۴۴۹۰، ۳۵۸۰ و ۱۱۵۲۰ مترمکعب در هکتار بود. حجم آب آبیاری گندم برای مزارع مورد مطالعه از ۳۳۳۰ تا ۵۹۰۰ مترمکعب در هکتار، برای جو از ۲۸۰۰

جدول ۲- میانگین حجم آب آبیاری، نیاز خالص آبیاری، سطح زیر کشت، عملکرد، هزینه، سود ناخالص و سود خالص برای محصولات گندم، جو و پنبه در چاه‌های مورد مطالعه در دشت سبزوار

محصول	حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)	نیاز خالص آبیاری (مترمکعب در هکتار)	سطح زیر کشت (هکتار)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	هزینه (هزار ریال در هکتار)	سود ناخالص (هزار ریال در هکتار)	سود خالص (هزار ریال در هکتار)
گندم	۴۴۹۰	۵۵۵۰	۷۵۰	۴۰۴۶	۲۲۵۲۷	۴۹۳۹۰	۲۶۸۵۳
جو	۳۵۸۰	۵۴۳۰	۶۴۰	۳۵۵۰	۲۰۳۱۱	۳۳۲۵۸	۱۲۹۴۷
پنبه	۱۱۵۲۰	۱۱۲۵۰	۵۵۰	۳۱۱۰	۵۲۴۳۷	۸۹۶۲۵	۳۷۱۸۸

در شکل‌های ۲-a تا ۲-d نقشه پهنه‌بندی مکانی برخی از پارامترهای شیمیایی منابع آب زیرزمینی در دشت سبزوار شامل EC، SAR، pH و غلظت کلر نشان داده شده است. این نقشه‌ها بر اساس اطلاعات آنالیز شیمیایی آب چاه‌های مورد مطالعه که در دفترچه طراحی آبیاری کم‌فشار این چاه‌ها موجود بود به کمک نرم افزار جی

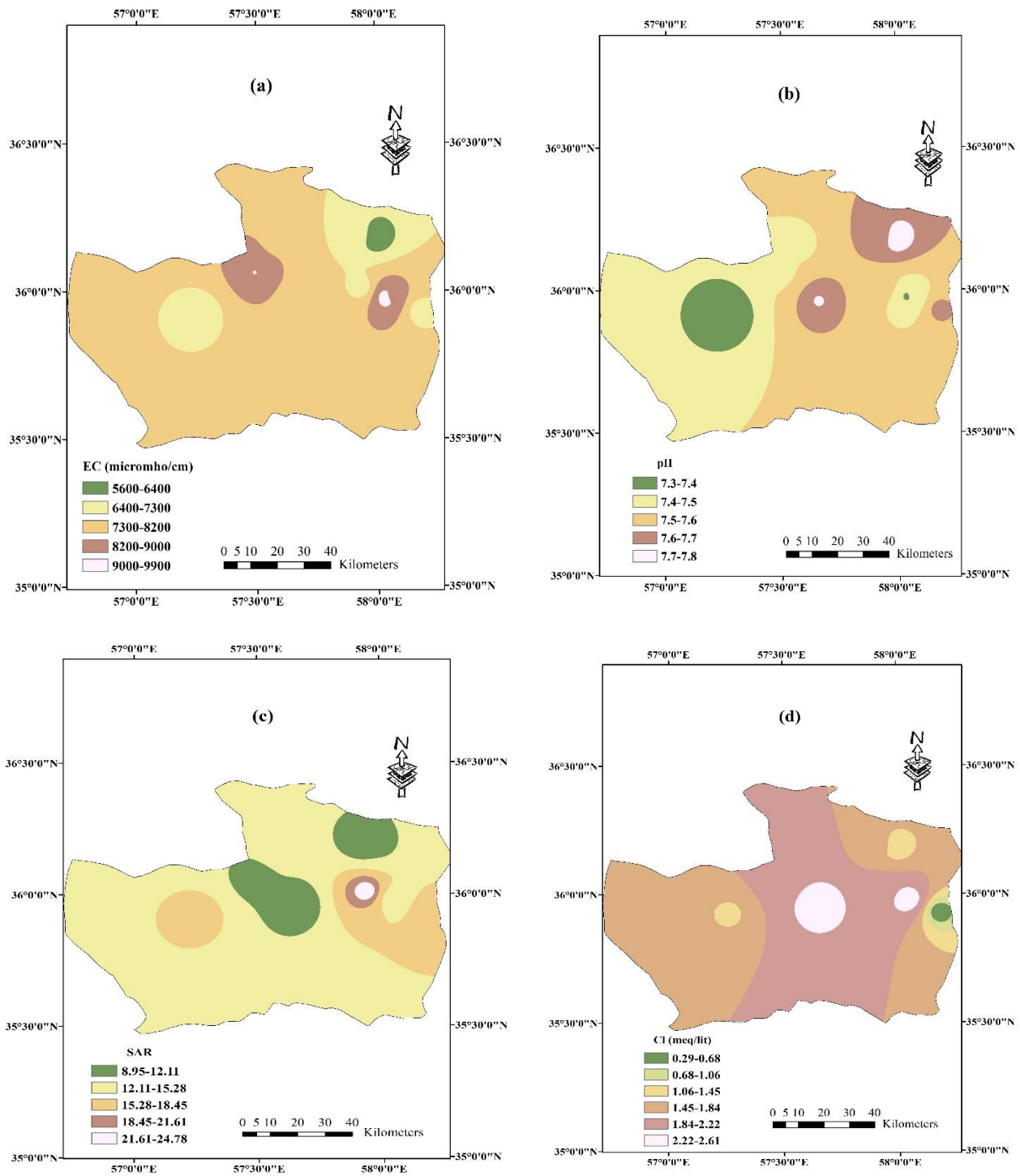
آی اس و به روش درون‌یابی کریجینگ معمولی تهیه شد. با توجه به شکل ۲-a مشخص می‌شود که دامنه تغییرات هدایت الکتریکی در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از ۵۶۰۰ تا ۹۹۰۰ با میانگین ۷۷۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر بود. مقایسه نقشه پهنه‌بندی بهره‌وری فیزیکی آب گندم (CPD) با نقشه پهنه‌بندی شوری آب زیرزمینی

بر مترمکعب نیز رسیده است. در بخش‌هایی از این دشت که به صورت لکه‌های خیلی کوچک سبز رنگ در سطح آن پراکنده شده‌اند، میانگین  $0/71$  کیلوگرم بر مترمکعب برای CPD آب نیز مشاهده شده است. بررسی‌های میدانی به عمل آمده از مزارع با CPD بالا برای گندم، نشان داد که طراحی، اجرا (عوامل فنی) و مدیریت صحیح بهره‌برداری از سیستم آبیاری کم‌فشار (عامل مدیریتی) از عوامل مهم و تأثیرگذار در افزایش CPD در این مناطق بوده است. علاوه بر آن عملیات به‌زراعی نظیر تاریخ به موقع کاشت و بالا بودن سطح تحصیلات بهره‌برداران از دیگر عوامل مؤثر در افزایش CPD بودند. این نتیجه با نتایج پژوهش سیدان و متقی (۱۳۹۸) هم‌خوانی داشت. آن‌ها در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که عوامل فنی، مدیریتی و زراعی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در افزایش بهره‌وری فیزیکی آب محصولات زراعی استان همدان بودند که در این میان سه‌م عوامل فنی و مدیریتی نسبت به سایر عوامل بیشتر بود. با توجه به نتایج به دست آمده در خصوص دامنه تغییرات شاخص CPD در دشت سبزوار ( $0/65-1/25$  کیلوگرم بر مترمکعب) می‌توان نتیجه گرفت که امکان افزایش این شاخص تا  $1/25$  کیلوگرم بر مترمکعب، در مناطقی که مقدار آن از میانگین کل دشت (یعنی  $0/91$  کیلوگرم بر مترمکعب) کمتر است وجود دارد. مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی آب زیرزمینی در دشت سبزوار (شکل ۲-a) با نقشه پهنه‌بندی CPD نشان داد که یکی از دلایل محتمل کاهش CPD در قسمت‌های مرکزی و غربی دشت سبزوار، می‌تواند افزایش شوری آب زیرزمینی و در نتیجه کاهش عملکرد گندم در این قسمت‌ها باشد. البته پایین بودن شوری آب زیرزمینی در قسمت‌های شمالی و شرقی دشت نیز می‌تواند دلیلی بر افزایش عملکرد گندم و بالا بودن شاخص CPD در این مناطق باشد. با توجه به نرخ خرید تضمینی گندم، روند تغییرات شاخص‌های BPD و NBPD در دشت سبزوار مشابه تغییرات شاخص CPD بود. با توجه به شکل ۳-b مشخص می‌شود که بخش عمده‌ای از دشت سبزوار در قسمت‌های شمالی، مرکز و جنوبی دشت، مقدار شاخص BPD بین  $11/83-9/43$  هزار ریال بر مترمکعب را تجربه کرده‌اند. همچنین مقدار شاخص NBPD برای قسمت‌های مذکور بین  $6/56-4/62$  هزار ریال بر مترمکعب بود. در قسمت‌های کوچکی از مرکز، شرق و شمال شرق منطقه مورد مطالعه، مقدار شاخص NBPD از  $6/56$  تا  $8/5$  هزار ریال بر مترمکعب تغییر نمود که گویای سطح درآمد خالص بیشتر بهره‌برداران این مناطق نسبت به سایر مناطق دشت سبزوار است. بررسی‌های میدانی به عمل آمده در این زمینه نشان داد که علاوه بر عملکرد بیشتر گندم در مزارع مورد مطالعه در این مناطق، تلاش بهره‌برداران در کاهش هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت گندم در این مناطق بر افزایش درآمد خالص آن‌ها مؤثر بوده است.

(شکل‌های ۳-a و ۲-a) دشت سبزوار نشان داد که در برخی از مناطق شرقی دشت سبزوار که شوری آب زیرزمینی در محدوده  $5600$  تا  $7300$  میکروموس بر سانتی‌متر تغییر کرد و شوری آب زیرزمینی در این مناطق نیز نسبت به سایر مناطق دشت کمتر بود، شاخص CPD در محدوده  $0/98-1/25$  کیلوگرم بر مترمکعب تغییر نمود که حاکی از تأثیر مثبت آب‌های با شوری کمتر در افزایش بهره‌وری فیزیکی آب گندم بود. البته برای محصول جو علی‌رغم افزایش شوری آب زیرزمینی در مناطق غربی دشت سبزوار، مقادیر نسبتاً بالایی از شاخص CPD مشاهده شد که این موضوع گویای مقاومت بیشتر محصول جو نسبت به گندم در برابر شوری آب زیرزمینی است. به جز بخش کوچکی در شمال در بیشتر قسمت‌های منطقه مورد مطالعه آب زیرزمینی دارای شوری  $7300$  تا  $8200$  میکروموس بر سانتی‌متر بود. همچنین نقشه پهنه‌بندی شوری آب زیرزمینی در دشت سبزوار نشان داد که افزایش شوری آب زیرزمینی در قسمت‌های مرکزی و جنوبی دشت در مقایسه با قسمت‌های شمالی آن بیشتر است. تفضلی و همکاران (۱۴۰۴) نیز در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که افزایش شوری آب زیرزمینی به سمت مرکز دشت سبزوار قابل توجه است که با نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر همسو بود. آن‌ها افزایش شوری در بخش‌های مرکزی دشت سبزوار را به دلیل جریان رودخانه کال شور در بخش مرکزی و همچنین جریان آب زیرزمینی شور از دشت عطائیه از سمت شرق به غرب عنوان نمودند.

با توجه به شکل ۲-b مشخص می‌شود که دامنه تغییرات pH آب زیرزمینی در دشت سبزوار  $7/3-7/8$  بود که حاکی از نوسانات بسیار کم pH در منابع آب زیرزمینی این منطقه بود. به جز بخش‌های کوچکی در مرکز و شمال منطقه مورد مطالعه، در بخش عمده‌ای از دشت سبزوار مقدار SAR آب زیرزمینی بین  $28/15 meq \frac{1}{L} \frac{1}{z}$  تا  $11/12$  تغییر نمود که بر اساس کلاس‌بندی ریچاردز در وضعیت مناسب برای آبیاری قرار دارند (Richards, 1954). به‌طور کلی بر اساس شاخص SAR تقریباً تمام چاه‌های منطقه مورد مطالعه برای آبیاری قابل استفاده هستند. همچنین با توجه به شکل ۲-d و با در نظر گرفتن معیار طبقه‌بندی آیرز و وستکات تعداد زیادی از چاه‌های مورد مطالعه در دشت سبزوار از نظر میزان کلر موجود در آب آبیاری با خطر کمی مواجه هستند (Ayers and Westcot, 1985).

در شکل ۳ نقشه‌های شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی برای محصول گندم در دشت سبزوار نشان داده شده است. با توجه به شکل ۳-a مشخص می‌شود که در بخش‌های عمده‌ای از دشت سبزوار که در برگیرنده مناطقی از شمال، غرب و جنوب این دشت است میانگین بهره‌وری فیزیکی آب گندم (CPD)  $0/9$  کیلوگرم بر مترمکعب است. البته در قسمت‌های خیلی کوچکی از این دشت که در شرق و شمال آن واقع شده‌اند، بهره‌وری فیزیکی آب گندم به حدود  $1/25$  کیلوگرم



شکل ۲- پهنه‌بندی مکانی برخی از پارامترهای شیمیایی چاه‌های مورد مطالعه در دشت سبزوار

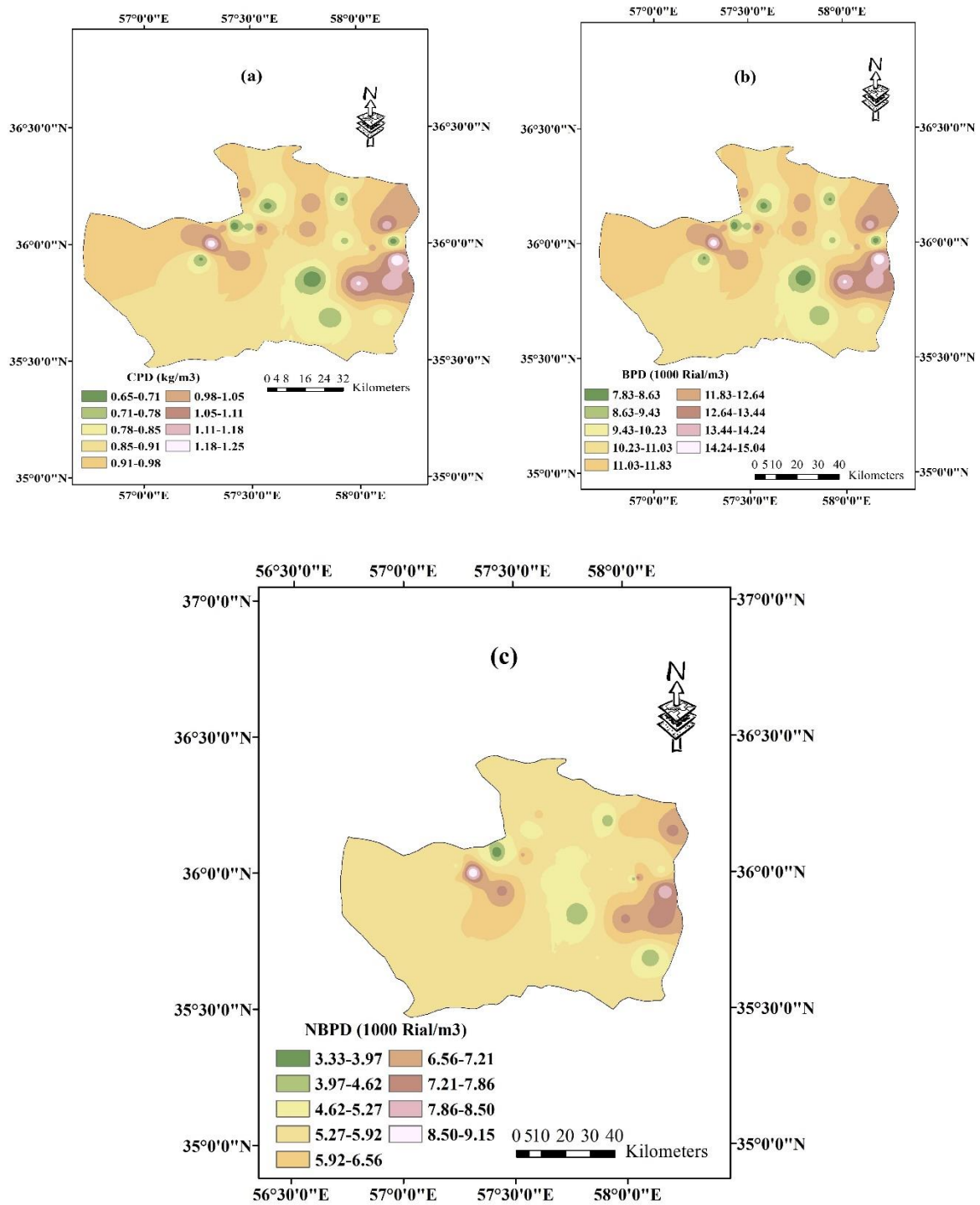
دشت سبزوار می‌تواند الگوی مناسبی برای سایر بهره‌برداران مشغول فعالیت کشاورزی در این دشت باشند. در شکل‌های ۴-ا تا ۴-ج نقشه‌های پهنه‌بندی CPD، BPD و

با توجه به این که هدف نهایی کشاورزان از کشت محصولات زراعی و باغی رسیدن به سود حداکثر است؛ مزارع و بهره‌برداران مشغول به فعالیت در بخش کوچکی از مرکز، شرق و شمال شرق

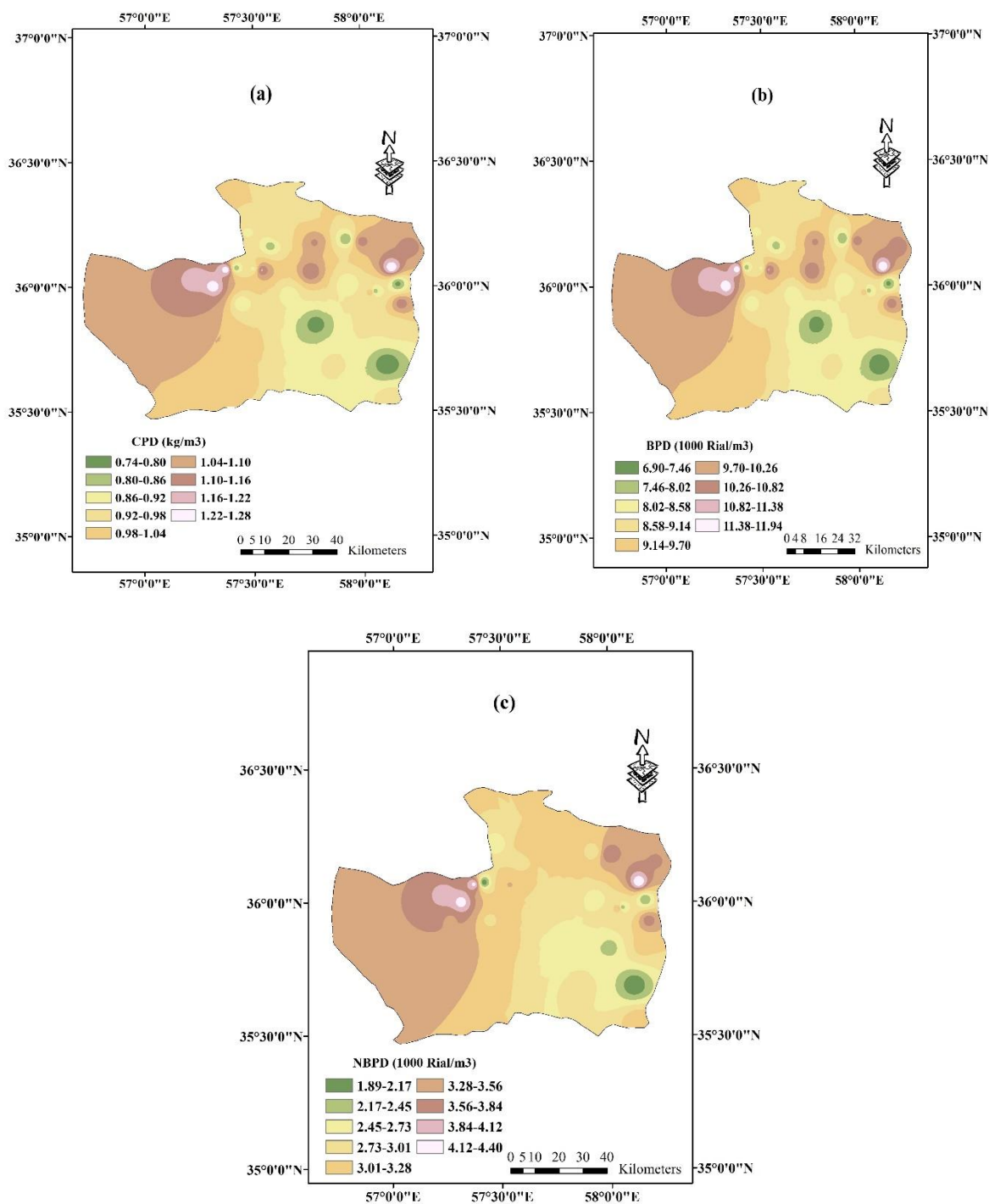
هم‌خوانی داشت. نتایج پژوهش فرح‌زا و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد که میزان شاخص NBPD برای محصول جو ۶/۸۵ هزار ریال بر مترمکعب است که از مقدار به دست آمده برای این شاخص در پژوهش حاضر بیشتر بود. یکی از دلایل محتمل تفاوت شاخص NBPD در پژوهش حاضر با پژوهش فرح‌زا و همکاران (۱۳۹۹) علاوه بر سال زراعی مورد بررسی می‌تواند به هزینه‌های آماده‌سازی یک هکتار زمین برای عملیات کاشت، داشت و برداشت مربوط باشد. مقایسه نقشه‌های NBPD گندم و جو نشان داد که میانگین مقدار NBPD در قسمت غربی دشت سبزوار برای گندم و جو به ترتیب ۵/۵۹ و ۳/۷ هزار ریال بر مترمکعب است. علت بیشتر بودن NBPD گندم نسبت به جو بالا بودن ارزش ریلی هر کیلوگرم گندم نسبت به جو است. این نشان می‌دهد که کشت گندم در مزارع غربی دشت سبزوار سود خالص بیشتری را عاید کشاورزان می‌نماید. البته اگر مطابق سیاست‌های وزارت جهاد کشاورزی و مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان قرار باشد بخشی از کاشت پاییزه به جو اختصاص یابد پیشنهاد می‌گردد که به‌طور عمده مزارع غربی دشت سبزوار به این کار اختصاص یابند. زیرا هم بهره‌وری فیزیکی و هم بهره‌وری اقتصادی این محصول در قسمت‌های غربی و بخش کوچکی از قسمت شرقی نسبت به سایر قسمت‌های دشت سبزوار بیشتر است.

با توجه به شکل‌های a-۵ تا c-۵ مشخص می‌شود که میانگین بهره‌وری فیزیکی آب پنبه در قسمت‌های شمالی، جنوبی، شرقی، غربی و مرکزی دشت سبزوار به ترتیب ۰/۲۷، ۰/۲۴، ۰/۲۷ و ۰/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب است. از طرفی میانگین شاخص BPD در قسمت‌های شمالی، جنوبی، شرقی، غربی و مرکزی دشت سبزوار به ترتیب ۹/۲۴، ۷/۱، ۸/۰۵، ۷/۵۸ و ۷/۵۸ هزار ریال بر مترمکعب است. میانگین سود خالص حاصل از فروش محصول پنبه به ازای مصرف هر مترمکعب آب (NBPD) که نصیب بهره‌برداران می‌شود در قسمت‌های شمالی، جنوبی، شرقی، غربی و مرکزی دشت سبزوار به ترتیب ۳/۴۶، ۲/۹۱، ۳/۷۴، ۳/۳۲ و ۳/۳۲ هزار ریال بر مترمکعب است. با توجه به این یافته‌ها می‌توان نتیجه گرفت که به جز بخشی از شرق و شمال دشت سبزوار که در آن کشت پنبه بیشترین سود را عاید کشاورزان می‌نماید، کاشت این محصول در سایر قسمت‌های دشت سبزوار توجیه اقتصادی ندارد. با توجه به این تعیین اولویت کشت محصولات زراعی در یک منطقه باید بر اساس شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب انجام شود لذا می‌توان نتیجه گرفت که اولویت کشت بر پایه شاخص‌های CPD، BPD و NBPD در دشت سبزوار گندم، جو و پنبه خواهد بود.

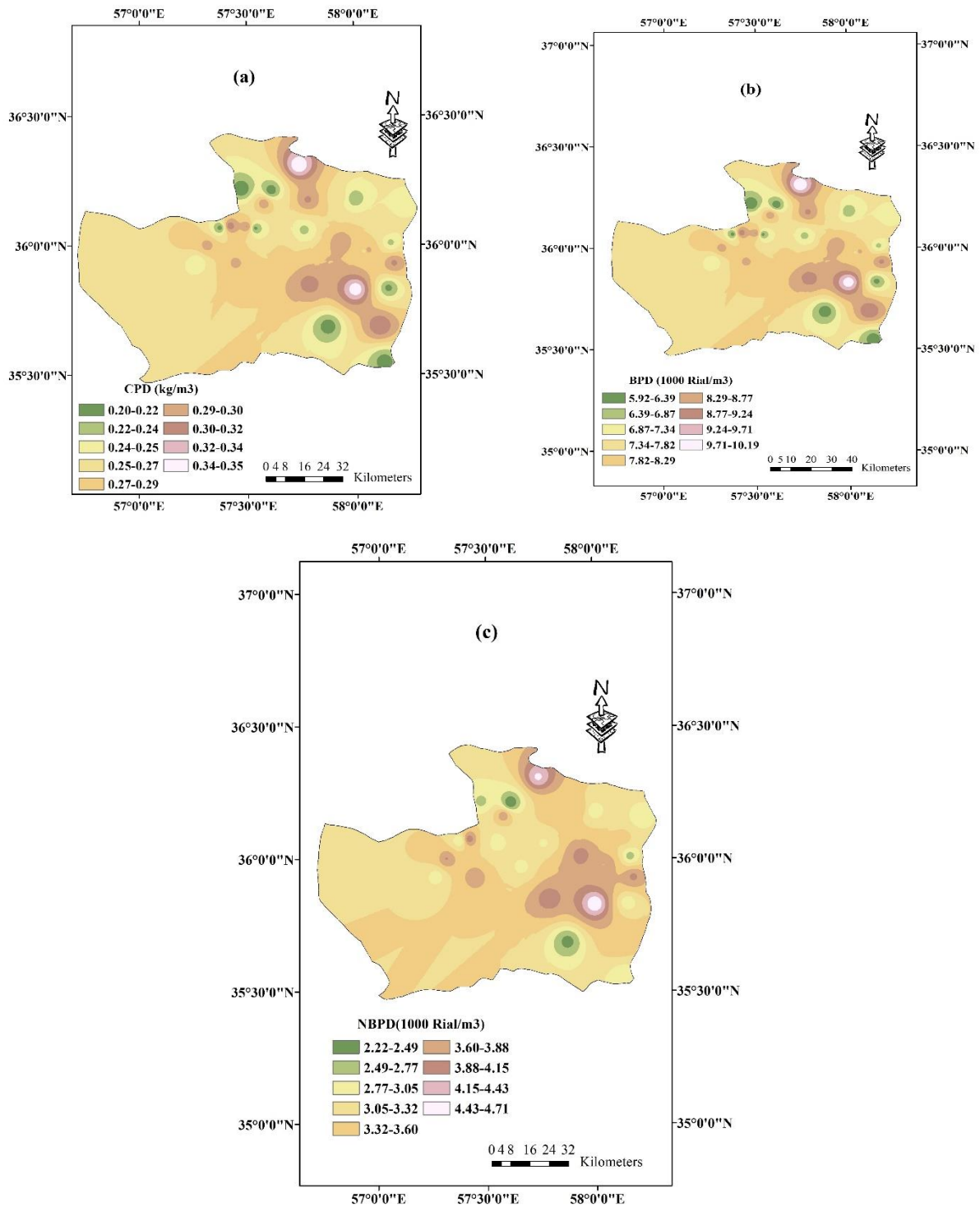
NBPD برای محصول جو در دشت سبزوار نشان داده شده است. با توجه به شکل a-۴ مشخص می‌شود که در بخش‌هایی از غرب و شرق دشت سبزوار CPD از ۱/۱ تا ۱/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب تغییر می‌کند در حالی که قسمت‌های شمالی، مرکزی و جنوبی دشت CPD ۱/۰۴ تا ۰/۸۶ کیلوگرم بر مترمکعب را تجربه کرده‌اند. در قسمت‌های خیلی کوچکی از دشت که به‌صورت لکه‌های سبز رنگ در شمال، مرکز و شرق دشت پراکنده شده‌اند، مقدار CPD در بازه ۰/۷۴-۰/۸۶ کیلوگرم بر مترمکعب قرار دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بهترین بهره‌وری فیزیکی آب جو با میانگین ۱/۱۳ کیلوگرم بر مترمکعب در قسمت‌های غربی و شرقی دشت اتفاق افتاده است. علی‌رغم افزایش شوری آب زیرزمینی از شرق به غرب دشت سبزوار، با توجه به مقاومت جو به شوری و حجم آب آبیاری کمتر برای آن در مقایسه با گندم، افزایش CPD جو در مزارع تحت مطالعه در قسمت‌های غربی دشت سبزوار رخ داده است. مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی BPD و NBPD (یعنی شکل‌های b-۴ و c-۴) نشان می‌دهد که از نظر شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی جو، روند تغییرات مشابهی در سراسر دشت سبزوار وجود دارد به این مفهوم که بهترین مقادیر BPD و NBPD در قسمت‌های غربی و شرقی دشت سبزوار که با رنگ قهوه‌ای در نقشه پهنه‌بندی مشخص شده است، به ترتیب به اندازه ۱۰/۸۲-۹/۷ و ۳/۸۴-۳/۲۸ هزار ریال بر مترمکعب اتفاق افتاد. میانگین سود ناخالص به ازای واحد حجم آب آبیاری (BPD) در قسمت‌های مذکور در دشت سبزوار حدود ۱۰ هزار ریال بر مترمکعب بود در حالی که نتایج پژوهش عبدی‌اقدام و همکاران (۱۴۰۱) نشان داد که میزان سود ناخالص به ازای واحد حجم آب آبیاری برای محصول جو حدود ۱۳/۶۵ هزار ریال بر مترمکعب است. مقایسه میزان شاخص BPD در پژوهش حاضر با پژوهش عبدی‌اقدام و همکاران (۱۴۰۱) نشان داد که شاخص BPD در پژوهش حاضر از میزان شاخص BPD برآورد شده در پژوهش عبدی‌اقدام و همکاران (۱۴۰۱) کمتر است. یکی از دلایل محتمل این تفاوت می‌تواند سال زراعی مورد بررسی باشد. سال زراعی مورد بررسی در پژوهش عبدی‌اقدام و همکاران (۱۴۰۱) سال ۱۳۹۷-۱۳۹۶ بود در حالی که سال زراعی مورد بررسی در پژوهش حاضر سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ است. با توجه به شکل c-۴ مشخص می‌شود که دامنه تغییرات شاخص NBPD برای محصول جو در دشت سبزوار بین ۱/۸۹ تا ۴/۴ هزار ریال بر مترمکعب است. نتایج پژوهش اخوان و همکاران (۱۴۰۲) نشان داد که میزان سود خالص به ازای واحد حجم آب آبیاری ۴/۶ هزار ریال بر مترمکعب است که با نتایج به دست آمده در این پژوهش



شکل ۳- پهنه‌بندی مکانی شاخص‌های بهره‌وری CPD، BPD و NBPD برای گندم در دشت سبزوار



شکل ۴- توزیع مکانی شاخص‌های بهره‌وری CPD، BPD و NBPD برای محصول جو در دشت سبزوآر



شکل ۵- توزیع مکانی شاخص‌های بهره‌وری CPD، BPD و NBPD برای محصول پنبه در دشت سبزوار

خشک و نیمه‌خشک کشور، لزوم بهره‌برداری بهینه از آب و سنجش و ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب در انواع روش‌های آبیاری (سطحی،

### نتیجه‌گیری

خشکسالی‌های متوالی و محدودیت فزاینده منابع آبی در نواحی

تفضلی، م.، باقری، ر.، ارجمند شریف، م. و شجاعی، م. ۱۴۰۴. ردیابی هیدروشیمی و منشاء شوری منابع آب بر اساس نمودارهای ترکیبی در دشت سبزوار. مجله علوم زمین خوارزمی. ۱۱(۱): ۱۷۵-۲۰۰.

جلینی، م.، حقایقی مقدم، س.ا. و نخجوانی مقدم، م.م. ۱۴۰۳. بررسی حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب در مزارع پنبه استان خراسان رضوی. تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی. ۲۵(۹۴): ۳۹-۵۲.

جوزی، م.، ابراهیمی‌پاک، ن.ع. و تافته، آ. ۱۴۰۴. تعیین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در اقلیم‌های مختلف استان کرمانشاه. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک. ۱۵(۱): ۱۷۸-۱۵۹.

زارعی قورخودی، ع.ر.، شاهنظری، ع. و داداشی، پ. ۱۴۰۱. ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب در تولید محصولات زراعی و باغی در غرب و مرکز استان مازندران و رتبه‌بندی دشت‌های مطالعاتی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۶(۳): ۶۶۹-۶۵۷.

سیدان، س.م. و متقی، م. ۱۳۹۸. تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در زراعت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای تحت سامانه‌های آبیاری مدرن و سنتی در استان همدان. نشریه آب و توسعه پایدار. ۶(۱): ۸-۱.

طاهری، م.، رضوردی نژاد، و.، بهمنش، ج.، عباسی، ف. و باغانی، ج. ۱۳۹۹. تحلیل مکانی شاخص بهره‌وری آب در قطب‌های تولید گندم کشور. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۲۷-۲۱۷(۲): ۳۴.

عباسی، ف.، عباسی، ن. و توکلی، ع.ر. ۱۳۹۶. بهره‌وری آب در بخش کشاورزی؛ چالش‌ها و چشم‌اندازها. نشریه آب و توسعه پایدار. ۱۴(۱): ۱۴۱-۱۴۴.

عبداله‌زاده کهریزی، ر.، کوبکی نژاد مقدم، ا.ج. و معروفی‌نیا، ا. ۱۴۰۲. بررسی آب مجازی و شاخص بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات زراعی دشت پلدشت. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک. ۳(۱): ۵۴-۶۸.

عبدی‌اقدم، ف.، رسول‌زاده، ع.، صمدیان‌فرد، س. و نویدی، ف. ۱۴۰۱. تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب در اراضی کشاورزی شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان. دانش آب و خاک. ۳۲(۳): ۹۰-۷۷.

فرح‌زاد، م.ن.، نظری، ب.، اکبری، م.ر.، نائینی، م.س. و لیاقت، ع.م. ۱۳۹۹. ارزیابی بهره‌وری آب فیزیکی و اقتصادی محصولات زراعی در دشت مغان و تحلیل رابطه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب. آبیاری و آب ایران. ۱۱(۲): ۱۷۹-۱۶۶.

کریمی، م. و جلینی، م. ۱۳۹۶. بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات مهم زراعی، مطالعه موردی: دشت مشهد (یادداشت فنی). نشریه آب و توسعه پایدار. ۱۴(۱): ۱۳۸-۱۳۳.

کم‌فشار و تحت فشار) را بیش از پیش آشکار می‌سازد. بهره‌وری آب کشاورزی یکی از شاخص‌های مهم برای کشورهای با منابع محدود آب و از مهم‌ترین موضوعاتی است که در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است. بنابراین پژوهش حاضر به منظور بررسی و پهنه‌بندی مکانی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب آبیاری برای محصولات عمده زراعی شهرستان سبزوار شامل گندم، جو و پنبه تحت سیستم آبیاری کم‌فشار انجام شد. یافته‌های پژوهش نشان داد که بیشترین بهره‌وری فیزیکی آب کشاورزی متعلق به محصول جو به اندازه ۱/۲۸ کیلوگرم بر متر مکعب و کمترین مقدار آن متعلق به پنبه به مقدار ۰/۳۵ کیلوگرم بر متر مکعب بود. در بین محصولات مورد مطالعه بیشترین سود خالص به ازای مصرف هر مترمکعب آب آبیاری از کشت گندم به مقدار ۹/۱۵ هزار ریال و کمترین مقدار آن از کشت جو به مقدار ۱/۸۹ هزار ریال عاید کشاورزان گردید. بسته به این که شاخص بهره‌وری فیزیکی یا بهره‌وری اقتصادی آب در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری مدنظر قرار گیرد، رویکردها و الگوهای پیشنهادی کاملاً متفاوت خواهد بود. با توجه به نتایج به دست آمده و با در نظر گرفتن شاخص NPBD می‌توان به سیاست‌گذاران پیشنهاد نمود که در قسمت‌های شمال، جنوب و مرکز دشت سبزوار گندم، در قسمت غربی جو و در قسمت شرقی آن پنبه کشت گردد.

## منابع

- احسانی، م. و خالدی، ه. ۱۳۸۲. بهره‌وری آب کشاورزی. چاپ اول، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۱۵ صفحه
- اخوان گیگلو، ک.، خیری، م.، احمدپوری، ه.، عباسی، س. و کلاته، ف. ۱۴۰۲. بررسی محتوای آب مجازی و شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در محصولات زراعی (مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت مغان، استان اردبیل). مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک. ۳(۳): ۲۷۷-۲۹۵.
- امینی، ع.، پرهت، ج. و سدری، م.ح. ۱۳۹۹. بررسی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در محصولات عمده زراعی در حوضه تلوار استان کردستان. مهندسی و مدیریت آب. ۱۲(۲): ۴۹۱-۴۸۱.
- باقری خانقاهی، م.، میرهاشمی، س.ح. و پناهی، م. ۱۴۰۱. ارزیابی و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب محصولات زراعی به روش آبیاری سنتی و نوین (مطالعه موردی: دشت تجن مازندران). تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک. ۴(۱): ۵۹-۴۹.
- بهرامی، م.، اسعدی، م.ع. و خلیلیان، ص. ۱۳۹۹. ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب با تأکید بر آبیاری‌های نوین و سنتی در محصولات زراعی شهرستان شهریار. محیط زیست و مهندسی آب. ۶(۳): ۲۸۵-۲۹۳.

- food security. Walling-ford (UK): CABI Publishing. 104-123.
- Jha, A.K., Malla, R., Sharma, M., Panthi, J., Lakhankar, T., Krakauer, N.Y., Pradhanang, S.M., Dahal, P. and Shrestha, M.L. 2016. Impact of irrigation method on water use efficiency and productivity of fodder crops in Nepal. *Climate*. 4(4): 1-13.
- Richards, L.A. (Ed.). 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*, 60. US Government Printing Office. <https://doi.org/10.1097/00010694-195408000-00012>
- Zhou, Q., Zhang, Y. and Wu, F. 2021. Evaluation of the most proper management scale on water use efficiency and water productivity: A case study of the Heihe River Basin, China. *Agricultural Water Management*. 246: 106671.
- Zwart, S.J. and Bastiaanssen, W.G.M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton the maize. *Agricultural Water Management*. 69(2): 115-133.
- گودرزی، م، حقایقی‌مقدم، س.ا. و هدایتی‌پور، ا. ۱۴۰۱. ارزیابی بهره‌وری آب سامانه‌های آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای در مزارع تولید جو استان مرکزی. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*. ۱۶(۴): ۸۳۱-۸۴۰.
- وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۵. *سالنامه آماری بخش کشاورزی استان خراسان رضوی*.
- Arslan, F. 2024. Production-water user association performance nexus in Mediterranean irrigated agriculture: The case of banana in Turkiye. *Agricultural Water Management*. 292: 108650.
- Ayers, R.S. and Westcot, D.W. 1985. *Water Quality for Agriculture*, 29, Food and agriculture organization of United Nations, Rome, pp. 174.
- Descheemaeker, K., Bunting, S.W., Bindraban, P., Muthuri, C., Molden, D., Beveridge, M., Van Brakel, M., Herrero, M., Clement, F., Boelee, E. and Jarvis, DI. 2013. Increasing water productivity in agriculture. *Managing water and agroecosystems for*

## Spatial Zoning of Physical and Economic Water Productivity in the Production of Wheat, Barley, and Cotton in Sabzevar Plain

M. Mokari<sup>1\*</sup>

Received: Nov.02, 2025

Accepted: Dec.14, 2025

### Abstract

Due to the quantitative and qualitative limitations of water resources in Iran, measuring and analyzing water productivity indexes in the agricultural sector has particular importance. This study aimed to analyze the spatial analysis of the physical and economic water productivity for three major crops—wheat, barley, and cotton—in Sabzevar Plain. To evaluate agricultural water productivity, three indices were used: crop yield per unit of irrigation water, gross income per unit of irrigation water, and net income per unit of irrigation water, calculated for the 2015–2016 cropping season. Results showed that the highest and lowest physical water productivity were observed for barley and cotton, with values of 1.28 and 0.35 kg m<sup>-3</sup>, respectively. The highest gross and net water productivity were obtained for wheat, at 15.04 × 10<sup>3</sup> and 9.15 × 10<sup>3</sup> Rial m<sup>-3</sup>, respectively. The average net income per unit of irrigation water for wheat, barley, and cotton was 5,740, 3,130, and 3,340 Rial m<sup>-3</sup>, respectively. Based on the results, it is recommended that policymakers prioritize wheat cultivation in the northern, central, and southern regions of the Sabzevar Plain, barley in the western region, and cotton in the eastern region.

**Keywords:** Irrigation water, Net income, Spatial analysis, Water productivity

---

1- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran  
(\*-Corresponding Author Email: m.mokari@kashmar.ac.ir)