

تحلیل مکانی شاخص بهره‌وری آب در قطب‌های تولید گندم کشور

مینا طاهری، وحید رضوردی نژاد، جواد بهمنش، فریبرز عباسی^۱ * و جواد باغانی

دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه.

mi.taheri@urmia.ac.ir

دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه.

v.verdinejad@urmia.ac.ir

استاد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه.

j.behmanesh@urmia.ac.ir

استاد پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

fa.abbasi@areeo.ac.ir

استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

baghani37@gmail.com

چکیده

محدودیت منابع آب از یک سو و لزوم حفظ تولید در اراضی فاریاب از سوی دیگر، امروزه باعث جذب نگرش به بهره‌وری آب شده است. در این راستا، تحلیل، برآورد و تهیه نقشه بهره‌وری آب به عنوان یکی از عوامل مؤثر در شناسایی پتانسیل زراعی اراضی کشاورزی، ضروری است. هدف از انجام این پژوهش، انتخاب روش مناسب میانبایی برای برآورد بهره‌وری آب و بررسی تغییرات مکانی آن در قطب‌های تولید گندم است. در این پژوهش، از داده‌های میدانی ۲۴۱ مزرعه در قطب‌های تولید گندم ایران در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ استفاده شد که دامنه داده‌های بهره‌وری آب (آب آبیاری + بارش مؤثر) بین ۰/۳۰ تا ۲/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب با میانگین ۰/۷۹ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد شد. روش‌های میانبایی استفاده شده شامل کریجینگ معمولی، درون‌یابی عکس فاصله وزن‌دار (IDW) و تابع پایه شعاعی (RBF) بود. برای ارزیابی روش‌ها، از فن ارزیابی متقاطع با معیارهای آماری مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و خطای نسبی (MARE)، استفاده شد. بررسی روش‌های درون‌یابی نشان داد که در بین روش‌های بکار گرفته شده، روش کریجینگ معمولی با مدل نیم‌تغییرنمای نمایی، شرایط مناسبی را برای تهیه نقشه پهنه‌بندی بهره‌وری آب گندم داشت. برآیند ارزیابی تحلیل مکانی شاخص بهره‌وری آب گندم مؤید این مطلب بود که زمین‌آمار توانسته بود با دقت قابل قبولی ($MBE = 0/005$) در تهیه نقشه پهنه‌بندی شاخص بهره‌وری آب گندم مورد استفاده قرار گیرد. بر پایه نتایج تجزیه خوشه‌ای (کلاستر) عوامل تأثیرگذار (شوری آب آبیاری، شوری خاک و نوع رقم) در شاخص بهره‌وری آب گندم، مناطق مستعد کشت گندم به ۱۳ گروه مستقل در سطح پنج درصد در محدوده مطالعاتی تفکیک شد به نحوی که بیشترین و کمترین میانگین بهره‌وری آب گندم به ترتیب در گروه ۵ (کیلوگرم بر مترمکعب $0/84 =$ میانگین) و گروه ۱۰ (کیلوگرم بر مترمکعب $0/41 =$ میانگین) مشاهده شد.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی شاخص بهره‌وری آب، روش‌های میان‌یابی، کریجینگ

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: کرج، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

* - دریافت: مهر ۹۸ و پذیرش: خرداد ۹۹

بهره‌وری آب (WP)^۱ یکی از شاخص‌های مصرف بهینه آب آبیاری است که برای سنجش مصرف بهینه آب و تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود. روند تغییرات شاخص بهره‌وری آب، حاکی از رشد آن طی یک دهه اخیر بوده که این شاخص از ۰/۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۸۴ به ۱/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۹۴ رسیده (افزایش حدود ۵۲ درصدی) و بطور متوسط در هر سال ۰/۰۴۱ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش پیدا کرده است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶). گندم به عنوان یک محصول راهبردی در ترکیب و الگوی کشت کشاورزی کشور همواره مطرح بوده و بخشی از سیاست‌گذاری کلان در بخش کشاورزی معطوف به این محصول است. از این رو، تحلیل وضعیت بهره‌وری و چالش‌های مرتبط با ارتقای بهره‌وری آب در این محصول، می‌تواند نقش مؤثری در مدیریت منابع آب و خاک کشور داشته باشد.

تاکنون مطالعات متعددی به منظور تعیین و تحلیل شاخص بهره‌وری آب در محصولات زراعی انجام شده است. مهتدی و همکاران (۱۳۹۵) میانگین بهره‌وری آب گندم در ۱۰ شبکه آبیاری و زهکشی استان خوزستان را طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۰ در بازه ۰/۴۴ تا ۱/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند. نوروزی‌ا قدم و همکاران (۱۳۹۶) بهره‌وری آب گندم در طی یک دوره ۱۰ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۰) در شبکه آبیاری درودزن را با استفاده از مدل آگروهیدرولوژیکی - توزیعی SWAP برآورد نمودند. بر اساس نتایج پژوهش آن‌ها شاخص بهره‌وری گندم ۱/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب در محدوده مطالعاتی به دست آمد. کریمی و جلیلی (۱۳۹۶) شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات مهم زراعی دشت مشهد را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بدست آمده نشان داد که میانگین شاخص بهره‌وری آب گندم در سال‌های ۹۲-۱۳۹۱، ۰/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب است. سلامتی و همکاران (۱۳۹۷) با اندازه‌گیری میدانی و مستقیم ۲۱ مزرعه گندم در شهرستان

بهبهان، میانگین بهره‌وری آب در مزارع تحت پوشش سامانه آبیاری بارانی و سطحی را معادل ۰/۹۲ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد نمودند. بهرامی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از رهیافت تخمین توابع تولید و انتخاب تابع تولید برتر و داده‌های ترکیب سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۸۴، اثرات بهره‌وری فیزیکی آب بر تولید گندم در استان‌های اصفهان، خراسان رضوی، خوزستان، گلستان و فارس را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد بهره‌وری فیزیکی نهاده آب مصرفی در دوره مورد بررسی ۱/۹ کیلوگرم بر مترمکعب است. یان و وو (۲۰۱۴) در پژوهشی اقدام به تحلیل زمانی-مکانی شاخص بهره‌وری آب کشاورزی گندم پاییزه در حوضه‌هایی در کشور چین نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص بهره‌وری آب کشاورزی در محدوده-های مطالعاتی در بازه ۰/۷ تا ۱/۴ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر بوده است. سان و همکاران (۲۰۱۷) نیز در پژوهشی بهره‌وری آب گندم در حوضه هاتو چین را در دو مقیاس مزرعه و حوضه برآورد نمودند. نتایج نشان داد میزان متوسط شاخص بهره‌وری آب در طول دوره مطالعاتی در سطح مزرعه ۰/۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب بوده و در سطح حوضه به مقدار ۰/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش پیدا کرده است.

روش‌های زمین‌آماري مانند تخمین‌گرهای آماری ناپارامتری نظیر میانگین متحرک وزن‌دار و یا روش‌های پارامتری زمین‌آماري نظیر کریجینگ و کوکریجینک برای تحلیل مکانی داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. مؤمنی و همکاران (۱۳۸۷) در پژوهشی از قابلیت‌های روش‌های زمین‌آماري به منظور پهنه‌بندی شاخص بهره‌وری آب گندم در سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ در حوضه کرخه استفاده نمودند. نتایج نشان داد حداکثر بهره‌وری در حوضه ۰/۶۲ کیلوگرم بر مترمکعب بوده که بیشترین گسترش مکانی آن در مناطق شمال و شمال‌غربی حوضه بوده است.

لی و همکاران (۲۰۱۷) بهره‌وری آب آبیاری غلات طی سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۸۱ را در شمال غربی چین

مواد و روش‌ها

مناطق مورد مطالعه و داده‌های استفاده شده

به منظور تحلیل و تهیه نقشه پهنه‌بندی داده‌های بهره‌وری آب گندم در قطب‌های تولید گندم در کشور، از داده‌های اندازه‌گیری شده توسط موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی استفاده شد (باغانی و همکاران، ۱۳۹۷). این داده‌ها در قطب‌های تولید گندم در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزارع زارعان گندم‌کار جمع‌آوری شد. مبنای انتخاب استان‌های برتر تولید کننده استان‌هایی بوده که در ۷۵-۸۰ درصد تولید گندم در سطح کشور سهم داشته‌اند. در ادامه نیز در هر استان، شهرستان یا شهرستان‌های برتر تولیدکننده از نظر سطح زیرکشت و تولید، مشخص شد. سپس، دشت‌ها (بر اساس شهرستان‌های انتخاب‌شده) و اقلیم‌های دشت‌های مورد مطالعه (خلیلی، ۱۳۸۳) تعیین شد. انتخاب استان‌ها، شهرستان‌ها و مزارع مورد مطالعه با توجه به شرایط متفاوت آن‌ها، بر اساس روش آماری نظام-دار (طبقه‌بندی) بوده که این استان‌ها شامل خوزستان، فارس، گلستان، همدان، کرمانشاه، خراسان رضوی، اردبیل، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، سمنان، جنوب کرمان و قزوین است. در انتخاب مزارع منتخب روش‌های مختلف آبیاری (سطحی و تحت فشار)، ارقام، تنوع در سطوح مزارع، بافت خاک و کیفیت آب آبیاری مدنظر بوده است. همچنین، سعی بر آن بوده که روش آبیاری مورد پایش، روش رایج آبیاری در منطقه باشد. جزئیات بیشتر در خصوص داده‌های اندازه‌گیری شده توسط باغانی و همکاران (۱۳۹۷) ارائه شده است.

به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی بهره‌وری آب، داده‌های ۲۴۱ مزرعه در استان‌های منتخب مورد استفاده قرار گرفت. پس از جمع‌آوری اطلاعات از مزارع منتخب شامل شوری آب آبیاری، شوری خاک، نوع رقم، تعداد نوبت آبیاری، نیاز آبی، عملکرد گندم و حجم آب مصرفی گندم (در پژوهش حاضر حجم آب مصرفی در ابتدای مزارع مدنظر بوده است به عبارتی نقطه تحویل آب در سر مزرعه

مورد مطالعه قرار دادند و با استفاده از روش معکوس فاصله (IDW)^۱ توزیع مکانی بهره‌وری آب آبیاری غلات را طی سال‌های مطالعاتی بررسی نمودند. نتایج آنان نشان داد بیشترین مقدار شاخص یادشده در دشت‌ها و کمترین آن در بیابان و کوه‌های محدوده مطالعاتی است. به منظور تعیین مناطق مناسب کشت گندم در منطقه کمین استان فارس، ابولپور (۲۰۱۸) از شاخص بهره‌وری آب، تغییرات اقلیم، خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد گندم استفاده نمود. برای استخراج نقشه پهنه‌بندی عملکرد با استفاده از روش کوکریجینگ، شوری آب آبیاری، هیدرومدول و بافت خاک را به عنوان متغیرهای کمکی تعیین نمود که هیچ یک از عوامل یاد شده با عملکرد رابطه معنی‌داری نداشتند لذا ایشان با استفاده از روش کریجینگ ساده نقشه پهنه‌بندی هدایت الکتریکی خاک، عملکرد گندم، بافت خاک و هیدرومدول را تهیه نمود و نتایج نشان داد تنها ۲۲ مزرعه از ۶۶۶ مزرعه دارای مقدار قابل اعتماد بهره‌وری آب برای تهیه مدل برای سایر مزارع در محدوده مطالعاتی بوده است و از لحاظ کیفیت خاک مناطق شمالی نسبت به مناطق جنوبی برای کشت گندم مناسب‌تر هستند.

بررسی مطالعات انجام شده در خصوص قابلیت‌های مبتنی بر روش‌های زمین‌آماری نشان‌دهنده آن است که این روش‌ها در صورت وجود همبستگی مکانی بین نقاط داده‌برداری شده می‌توانند منجر به افزایش دقت تخمین در تحلیل مکانی داده‌ها شود. همچنین، می‌توان ساختار مکانی و نحوه تغییرات و اثرگذاری داده را نیز در این روش‌ها مورد بررسی قرار داد. لذا در این پژوهش با توجه به وجود اطلاعات زمین مرجع از شاخص بهره‌وری آب گندم، از قابلیت‌های روش‌های زمین‌آماری به منظور تحلیل مکانی شاخص یادشده در ۲۴۱ مزرعه اندازه‌گیری شده استفاده تا با ایجاد نقشه پهنه‌بندی این شاخص، شناخت جامع و دیدگاه کلی از شاخص بهره‌وری آب گندم در مناطق مستعد کشت آن در سطح کشور حاصل شود.

^۱ Inverse Distance Method

بر هکتار و W_p بهره‌وری آب بر اساس کیلوگرم بر مترمکعب) است.

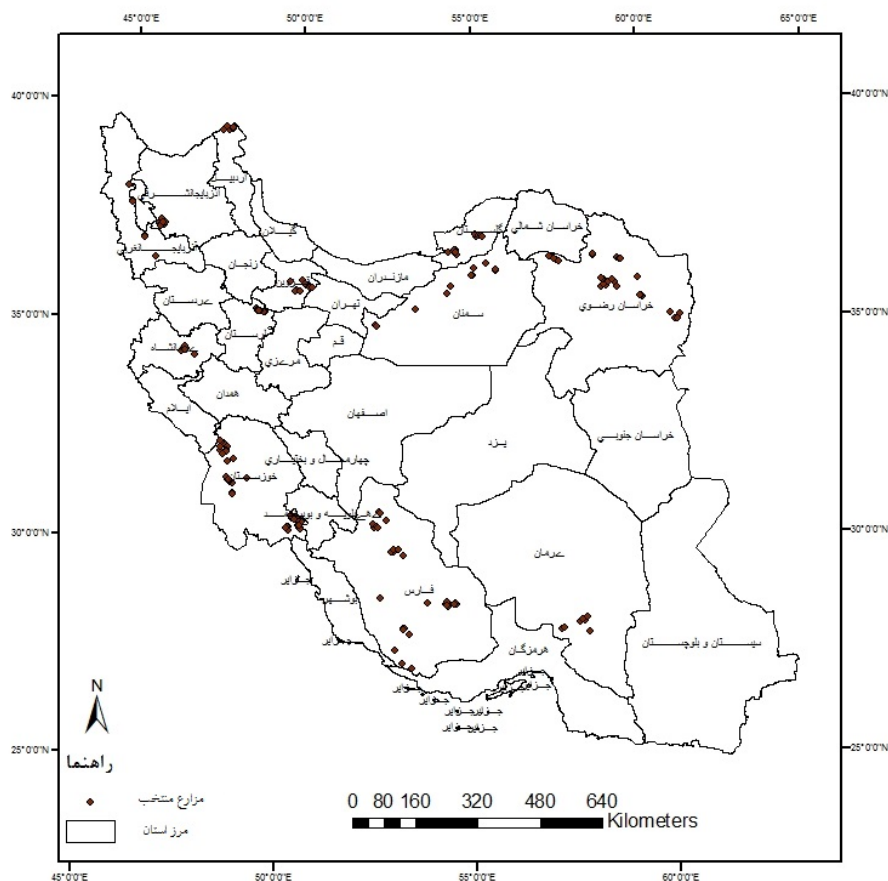
به منظور تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری-های میدانی از قابلیت‌های تجزیه خوشه‌ای^۲ در محیط نرم-افزار SPSS استفاده و بر اساس آن مزارع منتخب از منظر تأثیرگذاری عوامل مختلف (شوری آب آبیاری، شوری خاک، رقم و شاخص بهره‌وری آب) به گروه‌های همگن تفکیک شد. شکل (۱) پراکنش مکانی مزارع مورد مطالعه در سطح کشور را نشان می‌دهد.

مبنای اندازه‌گیری حجم آب مصرفی بوده است)، با استفاده از حجم آب مصرفی، بارش مؤثر (روش SCS^۱) و عملکرد محصول در هر مزرعه، بهره‌وری آب گندم در مناطق مورد اندازه‌گیری، محاسبه شد:

$$W_p = \frac{Y}{I_p \times 10 + V} \quad (1)$$

که در آن:

Y عملکرد بر اساس کیلوگرم بر هکتار، I_p بارش مؤثر بر حسب میلی‌متر، V حجم آب مصرفی بر حسب مترمکعب



شکل ۱- پراکنش مزارع مورد مطالعه در کشور

راستا، با استفاده از روش‌های کریجینگ معمولی، IDW و تابع پایه شعاعی (RBF)^۳ با مدل اسپلاین ضخامت کم (TPS)^۴ و تعیین پارامترهای نیم‌تغییرنا، نقشه پهنه‌بندی شاخص بهره‌وری آب گندم تهیه شد. به منظور تحلیل

تحلیل مکانی

پس از ثبت و تحلیل داده‌های میدانی حاصل از مزارع منتخب، آنالیز زمین‌آماری داده‌ها به منظور تحلیل مکانی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS انجام شد. در این

4 Thin Plate Spline

1 Soil Conservation Service

2 Cluster

3 Radial Basis Function

وابستگی مکانی و شناخت مدل تغییرات مکانی داده‌های محاسباتی (بهره‌وری آب) با استفاده از روش‌های زمین آماری و قابلیت‌های مدل‌های ریاضی آن، نیم‌تغییرنما تحلیل شد. نیم‌تغییرنما از مهم‌ترین مفاهیم زمین‌آمار بوده که با فرض تعداد $n(h)$ زوج نمونه که به فاصله افقی h از یکدیگر واقع‌اند، محاسبه می‌شود:

و $z^*(x_i)$ و $z(x_i)$ به ترتیب مقدار برآورد شده و واقعی متغیر در نقطه x_i و n تعداد داده‌ها می‌باشد. هرچه مقدار MBE به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده بالا بودن دقت مدل است. در گام نهایی پس از تحلیل زمین آماری شاخص بهره‌وری آب کشاورزی، از قابلیت‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور تهیه نقشه بهره‌وری آب گندم استفاده شد. بدین ترتیب که کاربری اراضی محدوده مطالعاتی با استفاده از قابلیت سنجنده مودیس استخراج گردید و جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی اطلاعات نقطه‌ای به مکانی در اراضی زراعی از نقشه کاربری اراضی تصاویر مودیس سری MCD12 Q1 در سال ۱۳۹۶ بهره گرفته شد.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^n [z(x+h) - z(x)]^2 \quad (2)$$

که در آن:

$n(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته به ازای یک فاصله مشخص مانند h ، $z(x)$ متغیر مشاهده شده در نقطه x ، $z(x+h)$ مقدار متغیر در نقطه به مختصات $(x+h)$ است که به فاصله h از نقطه x قرار دارد (نادریان‌فر و همکاران، ۱۳۹۰).

نتایج و بحث

تحلیل داده‌های پایه

برای ارزیابی مدل زمین آماری از فن اعتبارسنجی حذفی (CV) استفاده شد. این فن بر این اساس بوده که هر بار یک نقطه مشاهده‌ای به طور موقت حذف شده و برای آن از روی نقاط مجاور، مقداری برآورد می‌شود. سپس مقدار حذف‌شده به جای خود برگردانده شده و برای بقیه نقاط شبکه نیز به صورت مجزا این برآورد صورت می‌گیرد. به طوری که در پایان یک جدول با دو ستون که نشان‌دهنده مقادیر واقعی و برآورد شده است، حاصل می‌شود. با داشتن این دو مقدار و با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده، می‌توان مقادیر میانگین انحراف خطا (MBE)^۲، میانگین قدر مطلق خطای نسبی (MARE)^۳ که بر اساس درصد بیان می‌شود و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)^۴ را محاسبه کرد (رابطه ۳، ۴ و ۵).

برخی مشخصه‌های آماری متغیرهای اندازه‌گیری شده در مزارع منتخب در سطح کشور به تفکیک استان در جدول ۱ آمده است. بیشترین و کمترین میانگین عملکرد در مزرعه‌های منتخب به ترتیب در استان‌های کرمانشاه و خوزستان با مقدار ۶۶۶۲/۵۰ و ۴۲۶۷/۰۸ کیلوگرم در هکتار، همچنین بیشترین و کمترین میانگین بهره‌وری آب به ترتیب در استان‌های گلستان و کرمان با مقدار ۱/۶۰ و ۰/۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد.

به منظور گروه‌بندی مکانی داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میدانی از قابلیت‌های تجزیه خوشه‌ای استفاده شد که بر اساس آن داده‌های میدانی اندازه‌گیری شده با استفاده از تجزیه کلاستر به گروه‌های همگن تفکیک و گروه‌های مشابه در سطح کشور بر اساس آن مشخص شد. در شکل (۳) دندروگرام حاصل از تجزیه کلاستر تأثیر عوامل شاخص بهره‌وری آب کشاورزی، شوری آب آبیاری، شوری خاک و رقم نشان داده شده است.

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{Z^*(x_i) - Z(x_i)\} \quad (3)$$

$$MARE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{z^*(x_i) - z(x_i)}{z(x_i)} \right| \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{Z^*(x_i) - Z(x_i)\}^2} \quad (5)$$

که در آن‌ها:

⁴ Root Mean Square Error

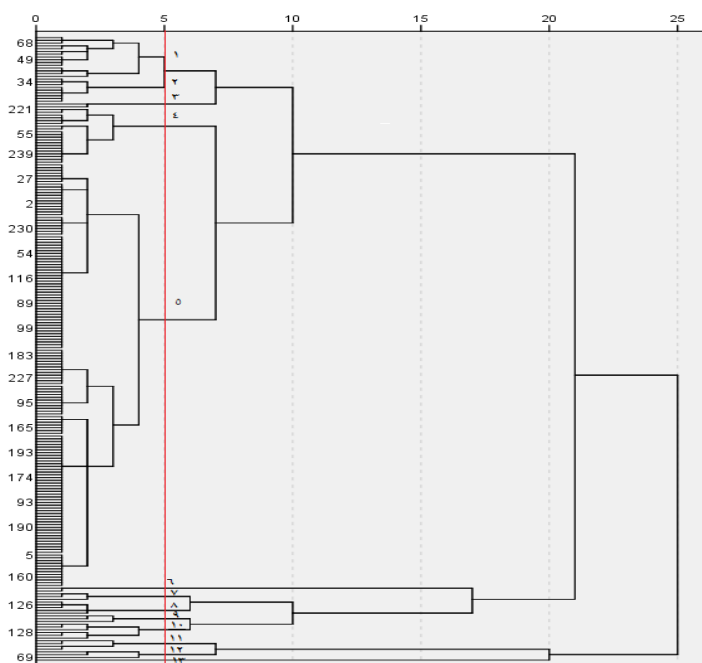
¹ Cross-Validation

² Mean Bias Error

³ Mean Absolute Relative Error

جدول ۱- خلاصه نتایج متغیرهای اندازه‌گیری شده در محدوده مطالعاتی

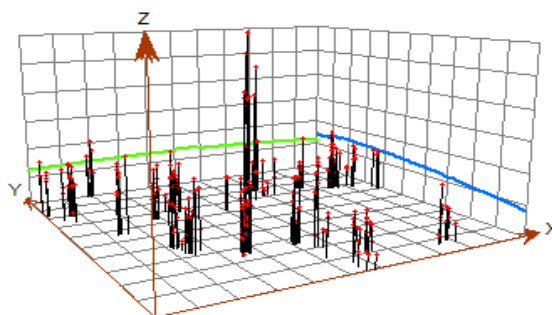
استان	شاخص آماری	عملکرد (kg/ha)	حجم آب مصرفی (m ³ /ha)	بارش مؤثر در دوره کشت (mm)	بهره‌وری آب (kg/m ³)
اردبیل	حداکثر (Max)	۷۲۰۰/۰۰	۸۸۶۷/۰۰	۱۱۶/۵۰	۱/۱۵
	حداقل (Min)	۴۷۴۳/۰۰	۲۸۰۳/۰۰	۴۶/۰۰	۰/۶۳
	میانگین (Mean)	۵۷۳۷/۱۷	۶۱۰۶/۵۰	۷۱/۹۸	۰/۸۹
	انحراف معیار (Std. Dev)	۸۸۸/۶۰	۲۱۰۰/۴۱	۲۶/۴۸	۰/۲۰
خوزستان	حداکثر	۷۰۰۰/۰۰	۹۴۳۵/۰۰	۱۹۷/۴۰	۱/۱۸
	حداقل	۲۰۰۰/۰۰	۲۸۴۶/۰۰	۶۹/۹۰	۰/۳۲
	میانگین	۴۲۶۷/۰۸	۴۷۵۱/۷۰	۱۱۱/۷۸	۰/۷۶
	انحراف معیار	۱۰۶۸/۸۶	۱۵۶۵/۷۹	۳۲/۰۲	۰/۲۲
خراسان رضوی	حداکثر	۹۲۰۰/۰۰	۹۷۲۰/۰۰	۲۰۷/۰۰	۱/۱۳
	حداقل	۲۷۵۰/۰۰	۲۱۳۰/۰۰	۱۱۳/۰۰	۰/۴۲
	میانگین	۵۷۰۷/۰۹	۵۹۷۴/۸۷	۱۶۳/۷۹	۰/۷۶
	انحراف معیار	۱۶۳۰/۵۳	۱۸۰۱/۰۴	۳۸/۶۶	۰/۱۷
فارس	حداکثر	۹۰۰۰/۰۰	۸۰۹۲/۰۰	۳۴۳/۰۰	۱/۱۷
	حداقل	۳۰۱۵/۰۰	۲۸۰۱/۰۳	۲۱۴/۵۰	۰/۳۲
	میانگین	۵۷۰۲/۶۲	۵۵۷۵/۳۷	۲۸۹/۰۶	۰/۶۹
	انحراف معیار	۱۵۲۱/۵۲	۱۴۳۷/۹۹	۴۴/۱۳	۰/۲۱
کرمان	حداکثر	۵۴۲۰/۰۰	۱۱۳۴۰/۰۰	۲۵۶/۰۰	۱/۰۱
	حداقل	۳۱۴۰/۰۰	۲۶۵۰/۰۰	۱۱۱/۲۰	۰/۳۰
	میانگین	۴۳۳۹/۰۹	۶۰۹۰/۳۶	۱۹۷/۴۹	۰/۵۹
	انحراف معیار	۶۴۴/۰۴	۲۸۹۲/۹۳	۵۳/۴۸	۰/۲۰
کرمانشاه	حداکثر	۸۰۰۰/۰۰	۵۱۸۴/۰۰	۲۳۹/۰۲	۱/۲۶
	حداقل	۵۵۰۰/۰۰	۳۴۵۰/۰۰	۲۱۵/۱۱	۰/۷۹
	میانگین	۶۶۶۲/۵۰	۴۲۵۵/۲۵	۲۳۰/۰۵	۱/۰۲
	انحراف معیار	۱۰۱۶/۹۱	۶۶۶/۰۹	۱۲/۳۷	۰/۱۶
همدان	حداکثر	۷۰۰۰/۰۰	۶۱۵۰/۰۰	۲۱۷/۷۶	۱/۰۱
	حداقل	۴۰۰۰/۰۰	۴۰۶۰/۰۰	۲۱۵/۲۹	۰/۵۴
	میانگین	۵۴۹۰/۰۰	۵۲۳۴/۶۰	۲۱۷/۰۲	۰/۷۵
	انحراف معیار	۹۸۰/۳۱	۷۴۳/۸۵	۱/۲۰	۰/۱۵
آذربایجان شرقی	حداکثر	۴۹۵۰/۰۰	۶۰۰۰/۰۰	۱۱۰/۰۰	۱/۰۰
	حداقل	۲۰۰۹/۰۰	۳۱۱۰/۰۰	۱۱۰/۰۰	۰/۳۵
	میانگین	۴۰۰۹/۵۰	۴۲۷۳/۵۰	۱۱۰/۰۰	۰/۷۵
	انحراف معیار	۹۱۴/۴۱	۶۷۲/۶۱	۰/۰۰	۰/۱۷
آذربایجان غربی	حداکثر	۶۳۴۰/۰۰	۵۰۳۰/۰۰	۲۲۴/۰۰	۰/۹۸
	حداقل	۳۸۰۰/۰۰	۲۵۸۷/۰۰	۲۱۰/۰۰	۰/۶۴
	میانگین	۴۷۸۱/۱۱	۳۷۸۷/۴۴	۲۱۱/۵۶	۰/۸۱
	انحراف معیار	۷۷۶/۱۸	۸۴۵/۶۰	۴/۶۷	۰/۱۱
سمنان	حداکثر	۷۰۰۰/۰۰	۱۰۶۸۰/۰۰	۱۱۷/۶۰	۰/۸۱
	حداقل	۳۵۰۰/۰۰	۶۲۴۰/۰۰	۵۴/۰۰	۰/۳۸
	میانگین	۵۳۱۶/۶۷	۷۸۴۴/۰۰	۹۷/۷۳	۰/۶۱
	انحراف معیار	۱۲۱۴/۹۳	۱۱۶۴/۹۲	۲۴/۶۲	۰/۱۶
قزوین	حداکثر	۸۹۰۰/۰۰	۷۸۰۰/۰۰	۱۶۷/۰۰	۱/۱۱
	حداقل	۴۵۰۰/۰۰	۴۳۰۰/۰۰	۶۲/۰۰	۰/۵۳
	میانگین	۵۹۸۳/۳۳	۶۶۴۱/۶۷	۱۱۷/۲۵	۰/۷۸
	انحراف معیار	۱۱۰۸/۵۱	۱۰۹۸/۳۱	۴۹/۹۸	۰/۱۶
گلستان	حداکثر	۵۰۴۷/۰۰	۳۵۰۳/۰۰	۱۶۰/۰۰	۲/۵۸
	حداقل	۳۵۴۰/۰۰	۵۳۵/۰۰	۱۱۵/۰۰	۰/۷۱
	میانگین	۴۳۰۲/۶۲	۱۶۳۸/۶۹	۱۳۶/۰۸	۱/۶۰
	انحراف معیار	۵۰۱/۴۲	۱۰۵۵/۱۰	۱۶/۲۱	۰/۵۴
کل استان‌های مورد مطالعه	حداکثر	۹۲۰۰/۰۰	۱۱۳۴۰/۰۰	۳۴۳/۰۰	۲/۵۸
	حداقل (Min)	۲۰۰۰/۰۰	۵۳۵/۰۰	۴۶/۰۰	۰/۳۰
	میانگین	۵۱۲۳/۹۴	۵۲۴۸/۷۵	۱۷۲/۰۹	۰/۷۹
	انحراف معیار	۱۴۳۱/۰۸	۱۹۳۶/۸۸	۷۷/۵۰	۰/۳۰



شکل ۳- دندروگرام حاصل از تجزیه کلاستر تأثیر عوامل مختلف در مزارع منتخب

آذربایجان شرقی، کرمان (رودبار جنوب، عنبرآباد، فاریاب)، سمنان و گلستان در گروه (خوشه) پنجم از نظر عوامل تأثیرگذار بر شاخص بهره‌وری آب قرار گرفتند. به همین ترتیب سایر مناطق در خوشه‌های ۱۲ گانه دیگر بر اساس نتایج تجزیه کلاستر در سطح برش پنج درصد تفکیک شده که نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است. بر این اساس داده‌های ۲۴۱ مزرعه منتخب در ۱۳ گروه بر اساس تأثیرگذاری عوامل مختلف تفکیک شده که بیشترین داده‌ها در خوشه پنج (۱۵۶ مزرعه) و کمترین داده‌ها در خوشه ۱۳ (یک مزرعه) قرار گرفته است.

نتایج تجزیه کلاستر عوامل تأثیرگذار (شوری آب، شوری خاک و نوع رقم) در شاخص بهره‌وری آب گندم در سطح کشور نشان داد که شاخص بهره‌وری آب گندم به ۱۳ گروه مستقل در سطح برش پنج درصد در سطح کشور قابل تفکیک است (شکل ۳)، به نحوی که در این گروه‌بندی بخش‌هایی از استان‌های فارس (اقلید، فیروزآباد، داراب، مرودشت)، خوزستان (بهبهان، شوش)، خراسان رضوی (جوین، نیشابور، تربت‌جام، فریمان، مشهد)، کرمانشاه، همدان (رزن)، قزوین (بوئین‌زهرا، آبیک)، اردبیل (پارس‌آباد)، آذربایجان غربی (ارومیه)،



شکل ۴- روند تغییرات شاخص بهره‌وری آب در مزارع منتخب

جدول ۳- مشخصه‌های گروه‌های تفکیکی در تجزیه کلاستر

گروه	استان	میانگین بهره‌وری آب (kg/m ³)	میانگین شوری خاک (dS/m)	میانگین شوری آب آبیاری (dS/m)
۱	خوزستان، خراسان رضوی، کرمانشاه، آذربایجان شرقی، کرمان	۰/۷۹	۵/۲۳	۱/۸۱
۲	خوزستان، اردبیل	۰/۶۹	۳/۰۴	۱/۸۴
۳	خوزستان	۰/۵۰	۶/۳۷	۴/۰۲
۴	خوزستان، قزوین، گلستان، فارس	۰/۸۲	۳/۷۹	۲/۲۵
۵	فارس، خراسان رضوی، خوزستان، آذربایجان شرقی، همدان، آذربایجان غربی، قزوین، کرمان، کرمانشاه، گلستان، اردبیل، سمنان	۰/۸۴	۱/۵۴	۱/۰۵
۶	فارس	۰/۴۶	۲/۶۹	۱۰/۴۶
۷	فارس	۰/۷۳	۴/۲۰	۶/۵۲
۸	فارس	۰/۷۵	۱/۹۶	۴/۵۲
۹	سمنان، فارس، کرمان، آذربایجان شرقی	۰/۵۲	۲/۲۵	۳/۳۸
۱۰	فارس، خوزستان، خراسان رضوی	۰/۴۱	۳/۵۹	۷/۰۱
۱۱	سمنان، فارس، خوزستان	۰/۶۵	۶/۹۴	۱/۳۳
۱۲	خوزستان، خراسان	۰/۷۵	۷/۳۱	۴/۳۵
۱۳	فارس	۰/۶۳	۱۲/۷۴	۳/۱۷

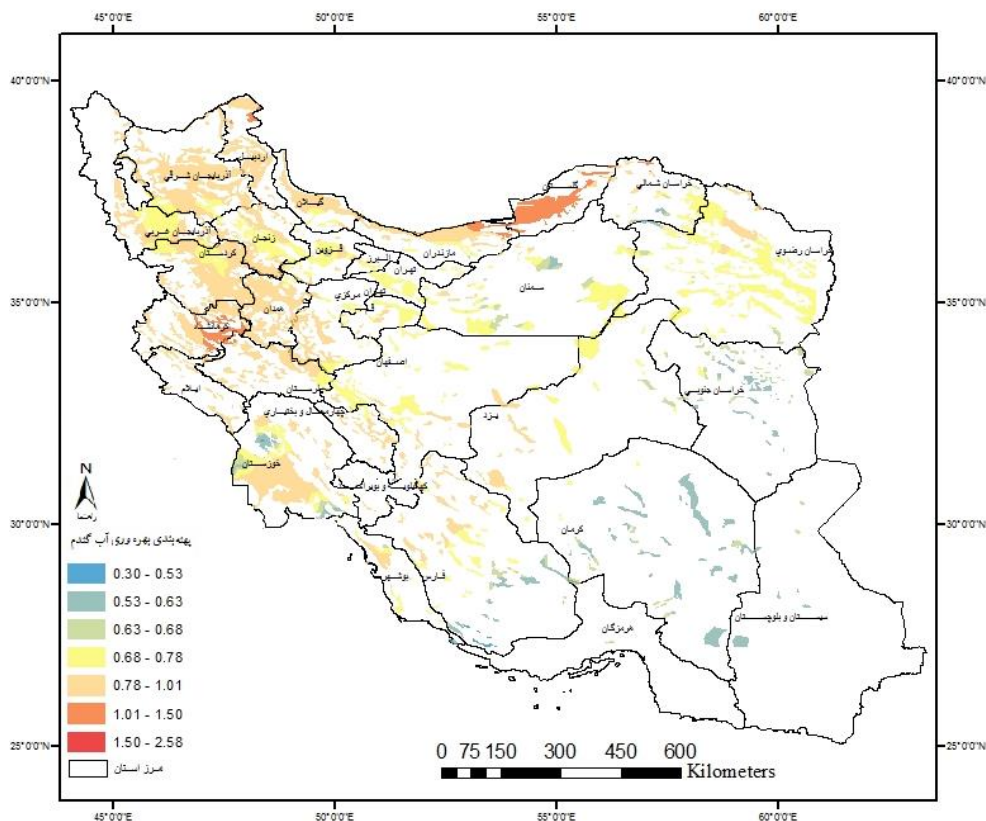
برای تحلیل مکانی شاخص بهره‌وری آب همان‌گونه که اشاره گردید از سه روش درونیابی استفاده شد. در گام اول برای بررسی وجود روند در داده‌های محاسباتی شاخص بهره‌وری آب، از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد که روند داده‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴ داده‌های شاخص بهره‌وری آب محاسباتی در جهات مختلف جغرافیایی دارای

روند تغییرات مشخص نیست. از این‌رو در تحلیل زمین-آماري، از مدل کریجینگ معمولی استفاده شد. نتایج تحلیل روش‌های درونیابی بر اساس سه شاخص RMSE، MARE و MBE در جدول (۳) نشان داده شده است. بر این اساس روش درونیابی کریجینگ معمولی دارای دقت تخمین بالاتری نسبت به سایر روش‌های درونیابی است. لذا برای تحلیل مکانی داده‌های محاسباتی شاخص بهره‌وری، از روش کریجینگ معمولی استفاده شد.

جدول ۳- نتایج ارزیابی روش‌های درونیابی برای برآورد بهره‌وری آب			
روش	MARE	MBE	RMSE
IDW	۲۶/۵۰۲	۰/۰۱۰	۰/۲۵۰
RBF (TPS)	۳۷۹/۱۹۷	-۰/۰۷۸	۱۹/۶۰۵
OK	۲۴/۷۵۳	۰/۰۰۵	۰/۲۳۴

همچنین نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه در مدل نمایی مقدار ۰/۳۵ به دست آمد که بر اساس معیار کامباردلا و همکاران (۱۹۹۴) در صورتی‌که این نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ باشد مدل با ساختار مکانی متوسطی تعیین می‌شود به عبارتی داده‌های بهره‌وری آب گندم در سطح کشور دارای

ساختار مکانی قوی نمی‌باشد، لذا بر این اساس سایر روش‌های تحلیل مکانی در کنار روش زمین آماری مورد بررسی قرار گرفت. همان‌گونه که در جدول ۳ نیز نشان داده شده، سایر روش‌های درونیابی دارای دقت کمتری در تحلیل داده‌های مکانی می‌باشند. در شکل (۵) نقشه تغییرات مکانی شاخص بهره‌وری آب کشاورزی گندم ارائه شده است.



شکل ۵- تغییرات مکانی شاخص بهره‌وری آب به روش کریجینگ (نقشه پایه: نقشه کاربری اراضی ماهواره مودیس سال ۲۰۱۶)

گلستان، طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۸۴، ۱/۹۱ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد نمودند. با توجه به دامنه وسیع تغییرات مکانی شاخص بهره‌وری آب در سطح کشور و استان‌های منتخب (شکل ۵) می‌توان چنین مطرح نمود که پتانسیل بالایی در ارتقا شاخص بهره‌وری آب در سطح کشور وجود دارد.

نتایج تحلیل داده‌ها و نقشه پهنه‌بندی شاخص بهره‌وری آب در مزارع منتخب نشان داد که میانگین شاخص بهره‌وری آب گندم در استان کرمان کمترین میزان و در استان گلستان بیشترین میزان را به خود اختصاص داده است. با این حال انحراف معیار بالای شاخص بهره‌وری آب مؤید آن است که قابلیت افزایش و بهبود بازده آب کشاورزی در همه استان‌ها حتی در استان‌هایی با شاخص بهره‌وری آب بالا همانند گلستان و کرمانشاه وجود دارد. این دامنه تغییرات نشان دهنده آن است که فرصت‌های بالقوه‌ای برای ارتقای بهره‌وری آب و کاهش

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان مطرح نمود که شاخص بهره‌وری آب کشاورزی گندم در سطح کشور در بازه ۰/۳ تا ۲/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب در سطح مزارع منتخب متغیر بوده است؛ این در حالی است که بر اساس پژوهش نخجوانی و همکاران (۱۳۹۶) دامنه تغییرات این شاخص در هشت استان کشور در دهه ۷۰ تا ۹۰، ۰/۳ تا ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است. مقایسه این مطالعات نشان از ارتقا شاخص یاد شده در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ دارد؛ هرچند که بر اساس نقشه تغییرات مکانی (شکل ۵) بخش عمده‌ای از مناطق مستعد کشت گندم در سطح کشور دارای شاخص بهره‌وری آب پایین‌تر از یک کیلوگرم بر مترمکعب و بیشترین آن در استان‌های گلستان و کرمانشاه در دامنه ۱/۱ تا ۲/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب است. همچنین، بهرامی و همکاران (۱۳۹۷) شاخص بهره‌وری فیزیکی آب را در استان‌های عمده تولید گندم در سطح کشور شامل اصفهان، خراسان رضوی، خوزستان و

فشار به منابع آب و افزایش امنیت غذایی وجود دارد. پایین بودن ضریب همبستگی بهره‌وری آب به متغیر کمکی در تحلیل شاخص بهره‌وری آب نشان داد که عوامل تأثیرگذار ثابت در ارتقا این شاخص عواملی به غیر از بارندگی و ارتفاع می‌باشند. همچنین، عوامل مدیریتی در ارتقای این شاخص نقش مؤثری دارد و نتایج ابوالپور (۲۰۱۸) در تحلیل شاخص بهره‌وری آب گندم در استان فارس نیز مؤید این مطلب می‌باشد. همچنین، جناب و نظری (۱۳۹۷) در پژوهش خود بالا بودن دامنه تغییرات شاخص بهره‌وری آب را نشان از ضعف قابل توجه در مدیریت تولید کشاورزی و مدیریت آبیاری دانستند. علاوه بر این، وجود همبستگی مکانی داده‌های نقطه‌ای نشان‌دهنده آن است که عواملی همچون اقلیم می‌تواند در تغییرات شاخص بهره‌وری آب در سطح کشور مؤثر واقع شود که همین امر نیز اثر خود را در نسبت ناهمسانگردی شاخص بهره‌وری آب نشان داد.

نتیجه‌گیری

با توجه به گستره عظیم سطوح کشت در سطح کشور علی‌الخصوص محصول استراتژیک گندم، هرگونه برنامه‌ریزی در سطح کلان نیازمند شناخت و کسب اطلاعات جامع از مزارع است. لیکن به دلیل محدودیت امکانات و وسعت سطوح کشت، امکان پایش همه مزارع

وجود ندارد. در این راستا، ابزارهایی همانند فن زمین‌آماری قابلیت آن را دارند تا اطلاعات نقطه‌ای (اطلاعات پایش شده از مزارع) را به اطلاعات مکانی تعمیم دهند. به علاوه این‌گونه روش‌ها در صورت وجود ساختار مکانی، قابلیت تحلیل ساختار و بررسی عوامل تأثیرگذار بر روی شاخص‌های مورد نظر را هم دارا می‌باشند. از این رو، استفاده از قابلیت‌های زمین‌آمار می‌تواند به پهنه‌بندی عواملی همچون شاخص بهره‌وری آب، راندمان آبیاری، متغیرهای اقلیمی، شوری آب، خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد محصول کمک نماید که این امر در پژوهش‌های متنوعی مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج پژوهش حاصل نشان داد در صورت وجود همبستگی بین داده‌ها از فن زمین‌آماری می‌توان به شناخت بیشتر از توزیع مکانی شاخص بهره‌وری آب محصول استراتژیک گندم پی برد. هرچند در این مبحث شناخت عوامل هم‌افزا در کنار بررسی عوامل اصلی می‌تواند در افزایش دقت تخمین نیز مؤثر واقع گردد. وجود انحراف معیار بالا در عملکرد گندم و شاخص بهره‌وری آب آن، نشان می‌دهد که قابلیت افزایش و بهبود عملکرد و بهره‌وری آب گندم در همه استان‌ها وجود دارد. به عبارتی در برخی مناطق با مجموع اقدامات مدیریتی می‌توان شاخص بهره‌وری آب را بهبود بخشید. این اقدامات می‌تواند در مباحثی همچون رعایت تقویم زراعی، انتخاب ارقام مناسب، توصیه کودی مناسب و متناسب با شرایط خاک باشد.

فهرست منابع

۱. باغانی، ج.، م. معیری، پ. ورجاوند، ن. سلامتی، ا. اسلامی، م.ع. شاهرخ‌نیا، ع.ر. کیانی، ع. قدمی فیروزآبادی، ا. حقایقی‌مقدم، ح. خسروی، ک. اخوان، ر. بهراملو، ا. ناصری، ف. عباسی، م. اکبری، ن. عباسی، س.ح. موسوی‌فضل، ح. طایفه‌رضایی، ص. حسین‌زاده اجیرلو، ز. غفاری، م.ج. آقایی، س.ا. دهقانیان، ا. یوسف‌گمرکچی، ا. مقبلی‌دامنه، ع.ر. اسلامی، م.م. نخجوانی‌مقدم و ش. نعمتی، ۱۳۹۷. تعیین آب مصرفی گندم در کشور. گزارش پژوهشی نهایی شماره ۵۳۶۳۶، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.
۲. بهرامی، م.، خلیلیان، ص.، مرتضوی، س.ا. و اسعدی، م.ع. ۱۳۹۷. بررسی بهره‌وری فیزیکی مصرف آب کشاورزی در استان‌های منتخب ایران مطالعه موردی: محصول گندم. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱۲، شماره ۶، صفحه‌های ۱۵۱۱ تا ۱۵۱۸.
۳. جناب، م. و نظری، ب. ۱۳۹۷. مطالعه شکاف عملکرد و شکاف بهره‌وری آب گندم، جو و ذرت در استان قزوین. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، شماره ۶، صفحه‌های ۱۴۰۵ تا ۱۴۱۷.

۴. خلیلی ع. ۱۳۸۳. تدوین یک سامانه جدید پهنه‌بندی اقلیمی از دیدگاه نیازهای گرمایش و سرمایش محیط و اعمال آن بر گستره ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۵، صفحه‌های ۵ تا ۱۴.
۵. سلامتی ن.، باغانی ج. و عباسی ف. ۱۳۹۷. تعیین بهره‌وری مصرف آب در سامانه‌های آبیاری سطحی و بارانی گندم (مطالعه موردی بهبهان). تحقیقات آب و خاک ایران، شماره ۴، صفحه‌های ۸۲۱ تا ۸۳۰.
۶. عباسی ف.، عباسی ن. و توکلی ع. ۱۳۹۶. بهره‌وری آب در بخش کشاورزی. نشریه آب و توسعه پایدار، شماره ۱، صفحه‌های ۱۴۱ تا ۱۴۴.
۷. 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، شماره ۱، صفحه‌های ۱۳۳ تا ۱۳۸.
۸. مؤمنی ر.، بهبهانی س. م.، نظری فر م. ه. و آزادگان ب. ۱۳۸۷. پهنه‌بندی بهره‌وری مصرف آب گندم با استفاده از مدل رشد CropSyst در دوره‌های آبی متفاوت (مطالعه موردی: حوضه کرخه). مجله آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱، صفحه‌های ۶۳ تا ۷۶.
۹. مهندی م.، الباجی م. و برومندنسب س. ۱۳۹۵. بررسی بهره‌وری آب آبیاری برای محصول گندم در برخی شبکه‌های آبیاری و زهکشی استان خوزستان. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی - پژوهشی)، جلد ۴۰، شماره ۱/۱، صفحه‌های ۲۳۹ تا ۱۴۸.
۱۰. نادریان فر م.، قهرمان ب.، انصاری ح. و سالاری م. ۱۳۹۰. کاربرد روش‌های مختلف زمین آمار به منظور میان‌یابی مقادیر EC و SAR در آب‌های زیرزمینی با تأکید بر تغییرات نفوذپذیری حوضه. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳۵، شماره ۱، صفحه‌های ۲۱ تا ۳۳.
۱۱. نخجوانی مقدم م. م.، قهرمان ب. و زارعی ق. ۱۳۹۶. تحلیل بهره‌وری آب گندم در مدیریت‌های آبیاری در برخی مناطق ایران. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۳۱، شماره ۱، صفحه‌های ۴۳ تا ۵۷.
۱۲. نوروزی اقدم ا.، بابازاده ح. و وظیفه‌دوست م. ۱۳۹۶. تخمین بهره‌وری آب محصول گندم در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن استان فارس. فصلنامه بوم‌شناسی گیاهان زراعی، شماره ۳، صفحه‌های ۱ تا ۱۳.
13. Abolpour, B. 2018. Realistic evaluation of crop water productivity for sustainable farming of wheat in Kamin Region, Fars Province, Iran. *Agricultural Water Management*, 195:94-103.
14. Cambardella, C.A., Moorman T.B., Novak J.M., Parkin T.B., Karlen D.L., Turco R.F. and Konopka A.E., 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58: 1501-1 511.
15. Li X., Tong L., Niu J., Kang S., Du T., Li S. and Ding R., 2017. Spatio-temporal distribution of irrigation water productivity and its driving factors for cereal crops in Hexi Corridor, Northwest China. *Agricultural Water Management*, 179:55-63.
16. SCS, 1972. U.S. Soil Conservation Service, National Engineering Handbook, Hydrology Section 4.
17. Sun, S., Zhang C., Li X., Zhou T., Wang Y., Wu P. and Cai H., 2017. Sensitivity of crop water productivity to the variation of agricultural and climatic factors: A study of Hetao irrigation district, China. *Journal of Cleaner Production*, 142: 2562-2569
18. Yan, N. and Wu B., 2014. Integrated spatial-temporal analysis of crop water productivity of winter wheat in Hai Basin. *Agricultural Water Management*, 133: 24-33.

Spatial Analysis of Water Productivity Index at Major Wheat Production Centers of IRAN

M. Taheri, V. Rezaverdinejad, J. Behmanesh, F. Abbasi¹*, and J. Baghani

PhD student, Water Engineering Department, agriculture faculty, Urmia University, Urmia, Iran.

mi.taheri@urmia.ac.ir

Associate Professor, Water Engineering Department, agriculture faculty, Urmia University, Urmia, Iran.

v.verdinejad@urmia.ac.ir

Professor, Water Engineering Department, agriculture faculty, Urmia University, Urmia, Iran.

j.behmanesh@urmia.ac.ir

Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

fa.abbasi@areeo.ac.ir

Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

baghani37@gmail.com

Abstract

Water resource deficiency and the necessity of sustainable production in irrigated lands have attracted much attention to water productivity issues. In this regard, analysis, estimation, and preparation of water productivity map are necessary as an influential factor to recognize cultivation potential in irrigated lands. The aim of this study was to select a proper interpolation method for water productivity and investigate spatial changes in water productivity in Iranian wheat production centers. In this research, 241 field data were used, of which range of water productivity (irrigation water + effective precipitation) was estimated between 0.3 to 2.58 kg.m⁻³ with the average of 0.79 kg m⁻³, in 2016-2017 season. Interpolation methods used included Ordinary Kriging, Inverse Distance Method (IDW), and Radial Basis Function (RBF). Cross Validation technic was applied to evaluate methods by statistical measures such as Root Mean Square Error (RMSE), Mean Bias Error (MBE), and Mean Absolute Relative Error (MARE). Interpolation methods evaluation showed that between available procedures, typical Kriging method with exponential semi-variogram model had the most proper condition to prepare wheat water productivity zoning map. The results of the spatial analysis of water productivity confirmed that geostatistics could be used with acceptable accuracy (MBE=0.005) to provide water productivity mapping. Results of Cluster analysis of the effective factors (salinity of irrigation water, soil salinity, and crop cultivar) on wheat water productivity index showed that the areas suitable for wheat cultivation were separated into 13 independent groups (at the 5 percent level), such that the highest and lowest mean water productivity of wheat were observed in group 5 (Mean = 0.84 kg.m⁻³) and group 10 (Mean = 0.41 kg.m⁻³), respectively.

Keywords: Kriging, Interpolation methods, Water productivity zoning

¹- Corresponding author: Professor of Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Karaj, Iran.

*- Received: October 2019 and Accepted: June 2020.