

تحلیل پهنه‌بندی شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در قطب‌های تولید چغندر قند در ایران

ادریس تاندا^۱، فریبرز عباسی^{۲*}، جمال محمدولی سامانی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۲- استاد موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران،
۳- استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۸

چکیده

برای تامین غذای مورد نیاز جمعیت رو به رشد کشور و با توجه به محدودیت زمین زراعی آبی و کمبود شدید منابع آبی ضرورت دارد تا شاخص بهره‌وری آب مورد توجه قرار گیرد. در همین راستا، به منظور شناسایی و آگاهی از پتانسیل زراعی اراضی کشاورزی می‌توان از تحلیل، برآورد و تهیه نقشه بهره‌وری فیزیکی آب بهره گرفت. هدف اصلی از انجام این تحقیق، ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی و انتخاب مناسب‌ترین روش به منظور برآورد بهره‌وری آب محصول زراعی چغندر قند و بررسی الگوی توزیع مکانی در قطب‌های تولید آن در ایران است. بدین منظور برای انجام این پژوهش از ۱۰۸ داده حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی در مزارع منتخب چغندر قند کشور برای سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ استفاده شد. از داده‌های عملکرد محصول، حجم آب آبیاری و میانگین بارش موثر (ده ساله)، شاخص بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند برای مزارع منتخب به دست آمد که دامنه آن بین ۲/۶۰ تا ۱۳/۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب و میانگین آن ۶/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد. برای نیل به این هدف ابتدا با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار SPSS به تحلیل داده‌ها، آنالیز آمار توصیفی و تفکیک مناطق مشابه به گروه‌های مستقل و همگن (ترسیم دندروگرام) و با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار GS+ به تحلیل مکانی داده‌ها پرداخته شد. در ادامه از روش‌های مختلف درون‌یابی شامل روش‌های جبری از جمله وزن‌دهی فاصله معکوس، تابع پایه شعاعی، چند جمله‌ای جهانی و چند جمله‌ای محلی و روش زمین‌آمار از جمله کربجینگ معمولی، ساده و عمومی در محیط نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی استفاده شد. برای ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی از روش اعتبارسنجی و مقدار نمایه‌هایی صحت میانگین انحراف خطا (MBE)، میانگین قدرمطلق نسبی (MARE)، میانگین مربعات خطا (MSE)، میانگین انحراف مطلق (MAD) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده گردید. نتایج ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی بدین صورت بود که در میان روش‌های مورد بررسی، روش تابع پایه شعاع با مدل اسپلاین کاملاً منظم (CRS) بادقت قابل قبول (MBE= 0/009) برای تهیه نقشه پهنه‌بندی بهره‌وری فیزیکی آب شرایط مطلوب‌تری نسبت به سایر روش‌ها داشت. نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای عوامل تأثیرگذار همچون نوع رقم، شوری خاک، شوری آب آبیاری و بهره‌وری فیزیکی آب در سطح پنج درصد نشان داد که مناطق مستعد کشت چغندر قند در محدوده مورد مطالعه به ۲۳ گروه مستقل تفکیک و به‌طوری‌که در آن کمترین و بیشترین مقدار بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند به ترتیب در گروه ۱۱ (اقلید) و ۱۲ (مرودشت) معادل ۲/۶۴۰ کیلوگرم بر مترمکعب و گروه ۳ (اسدآباد) معادل ۱۱/۰۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود.

کلید واژه‌ها: بهره‌وری آب، روش‌های درون‌یابی، چغندر قند

مقدمه

مترمکعب گزارش نمودند. قربانپور و همکاران (Ghorbanpour *et al.*, 2022) در تحقیقی به منظور برآورد بهره‌وری آب چغندر قند و تهیه نقشه آن در سه منطقه عمده کشاورزی حوضه دریاچه ارومیه (LUB) مدلی را در Google Earth Engin بر اساس تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ توسعه و گزارش کردند که شاخص بهره‌وری آب چغندر قند بین ۵/۲۰ تا ۶/۴۰ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر و همچنین امکان ارتقا شاخص یاد شده تا ۴۸ درصد دیگر نیز در منطقه مورد مطالعه وجود دارد. عبدی اقدم و همکاران (Abdiaghdam *et al.*, 2022) شاخص بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند در کشت و صنعت و دامپروری مغان را در بازه ۲/۰۰ تا ۳/۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند.

ساینی و برار (Saini and Brar, 2018) بهره‌وری آب چغندر قند تحت روش‌های مختلف آبیاری و تحت برنامه-ریزی آبیاری برای مزرعه‌ای لودهیانان^۱ هند در سال زراعی (۱۴-۲۰۱۳) بررسی و بیشترین مقدار آن را به ترتیب معادل ۱۷/۶۰ و ۱۸/۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. ال مارسافوی و همکاران (El-Marsafawy *et al.*, 2018) میانگین بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند در دلتای نیل شمالی را طول سه دهه از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ میلادی را معادل ۱۳/۷۹ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند.

امکان پایش بهره‌وری آب برای همه محصولات زراعی به طور هم‌زمان در مکان‌ها و زمان‌های مختلف به علت تراکم و پراکنش نامناسب اراضی تحت کشت، وسعت گسترده، هزینه، وقت و ... حتی در کشورهای توسعه یافته وجود ندارد احسانی و خالدی (Ehsani and Khalidi, 2003). به همین دلیل اطلاعات مفید و کاملی از وضعیت آن در سطح کشور در دسترس نیست. در همین راستا به منظور آگاهی و بررسی تغییرات می‌توان از قابلیت‌های درون‌یابی جبری و زمین آمار که از مجموعه مدل‌های ریاضی و آماری برای تعمیم اطلاعات نقطه‌ای به منطقه تشکیل شده، استفاده کرد.

علی بیات و منشوری، Ali-Bayat and Manshoury (2011) برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی بهره‌وری آب

ایران با قرار گرفتن در اقلیم خشک و نیمه خشک به عنوان یک واقعیت اقلیمی، با چالش خشکسالی و کم‌آبی مواجه است و در آن بخش کشاورزی با مصرف حدود ۷۰ درصد به عنوان متقاضی اصلی مصرف منابع آب تلقی می‌شود (Nasari *et al.*, 2017). محصول زراعی چغندر قند با وجود نیاز آبی بالا به دلیل راهبردی بودن در ایران، تولید آن در بخش کشاورزی و صنایع جانبی از اهمیت زیادی برخوردار است. در همین راستا تولید بیشتر در واحد سطح و کاهش فشار بر منابع آب منجر به توجه ویژه به شاخص بهره‌وری آب شده است و از آن برای سنجش مصرف بهینه آب و تولید محصولات زراعی استفاده می‌گردد. بهره‌وری فیزیکی آب بیانگر عملکرد محصول به ازای واحد حجم آب آبیاری است (Abbasi *et al.*, 2017). روند تغییرات بهره‌وری آب در کشور نشان می‌دهد که مقدار آن از ۱ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۸۷ به ۱/۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۹۶ رسیده است (Abbasi *et al.*, 2019).

در رابطه با شاخص بهره‌وری فیزیکی آب محصول زراعی چغندر قند تحقیقات مختلفی به صورت نقطه‌ای انجام شده است. جمالی و همکاران (Jamali, *et al.*, 2018) شاخص بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند برای سال زراعی ۱۳۹۶ در شبکه آبیاری زهکشی زرینه‌رود را ۱/۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. سیدان و منصور (Seydan and Mansouri, 2019) شاخص بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند در مزارع شهرستان‌های نهاوند، تویسرکان، اسدآباد و فامنین برای دو سیستم آبیاری کلاسیک و نشتی به ترتیب ۶/۸۵ و ۴/۷۱، ۹/۸۵ و ۶/۱۶، ۸/۶۲ و ۵/۹۴، ۶/۳۶ و ۴/۲۴ و ۹/۰۳ و ۶/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب اعلام کردند. باغبانیان و همکاران (Baghbanyan *et al.*, 2020) بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند در شهرستان سقز برای سال زراعی (۹۵-۱۳۹۴) را ۹/۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد کردند. دانش آزاد و همکاران (Danesh Azad *et al.*, 2020) مقدار میانگین بهره‌وری فیزیکی چغندر قند در سال زراعی (۹۷-۱۳۹۶) برای شهرستان کوه‌دشت را ۶/۰۶ کیلوگرم بر

چندجمله‌ای محلی^۶ و تابع پایه شعاعی استفاده و آن‌ها گزارش کردند که برای برآورد مصرف آب محصول در مرحله پنجه‌زنی برای هر دو مکان، روش چندجمله‌ای محلی دارای دقت نسبتاً بهتر و همچنین برای مرحله نزدیک به گلدهی روش تابع پایه شعاعی نسبت به سایر روش‌ها دارای دقت بیشتری بودند.

با توجه به نتایج پژوهش‌های پیشین، برآورد بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند به روش میدانی (نقطه‌ای) به دلیل وسعت کشت زیاد، هزینه و وقت در سطح کشور امکان‌پذیر نمی‌باشد اما در صورت استفاده از روش‌های مختلف درون-یابی به کمک داده‌های میدانی به صورت ترکیبی می‌توان با تعمیم اطلاعات نقطه‌ای به منطقه‌ای آن را با دقت مناسبی تخمین زد. همچنین مطالعات انجام شده مبتنی بر روش‌های مختلف درون‌یابی نشان داد در صورت وجود همبستگی مکانی مناسب میان داده‌های میدانی و مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی باهمدیگر و انتخاب بهترین روش میان آن می‌تواند منجر به برآورد و تهیه نقشه په‌نه‌بندی با دقت بیشتر شود. لذا در پژوهش حاضر سعی شد با استفاده از مطلوبترین روش میان روش‌های مختلف درون-یابی و مقدار شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در ۱۰۸ مزرعه منتخب چغندر قند به تحلیل و تهیه نقشه په‌نه‌بندی بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند در ایران به منظور داشتن شناخت جامع از وضعیت آن، شناسایی پتانسیل زراعی اراضی، تصمیم‌گیری کلان در سطح کشور، بهبود ارتقا این شاخص پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

در این نوشتار از داده‌های میدانی اندازه‌گیری شده در قطب‌های تولید چغندر قند که توسط موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی که در یک ارزیابی میدانی در سال زراعی (۹۶-۱۳۹۵) جمع‌آوری شده بود، استفاده گردید (Baghbani *et al.*, 2018). معیار جمع‌آوری داده‌های

گندم و تهیه نقشه په‌نه‌بندی آن در استان همدان از قابلیت‌های درون‌یابی استفاده و آن‌ها گزارش کردند که بیشترین بهره‌وری آب گندم در قسمت غرب و جنوب غربی استان است. کمالی و همکاران (Kamali *et al.*, 2017) از روش‌های درون‌یابی برای تهیه نقشه په‌نه‌بندی نیاز آبی ذرت در استان مازندران استفاده و گزارش کردند که روش کریجینگ معمولی^۱ و چند جمله سراسری^۲ نتیجه بهتری به نسبت سایر روش‌های مورد بررسی دارد. حبیب‌زاده و همکاران (Habibzadeh *et al.*, 2020) پژوهشی با هدف ارزیابی بهره‌وری بالای کشت چغندر قند و په‌نه‌بندی آن در استان آذربایجان غربی برای سال زراعی (۹۷-۱۳۹۶) را با استفاده از روش درون‌یابی وزن‌دهی فاصله معکوس^۳ بر پایه شاخص‌های سیستم کشت، روش آبیاری و نوع کشت انجام و آن‌ها گزارش کردند که شهرستان‌های نقده، پیرانشهر، اشنویه، خوی، مهاباد، بوکان و میاندوآب بهره‌وری بالایی دارند. طاهری و همکاران (Taheri *et al.*, 2020) در تحقیقی برای برآورد شاخص بهره‌وری آب و بررسی تغییرات مکانی آن در قطب‌های تولیدکننده گندم ایران برای سال زراعی (۹۶-۱۳۹۵) از روش‌های درون‌یابی وزن‌دهی فاصله معکوس، تابع پایه شعاعی^۴ و کریجینگ معمولی استفاده و آن‌ها گزارش کردند که در میان روش‌های مورد بررسی روش کریجینگ معمولی بیشترین دقت را دارد. لی و همکاران (Li *et al.*, 2017) برای بررسی توزیع مکانی بهره‌وری آب غلات در شمال غربی چین بر اساس سال خشک، متوسط و مرطوب طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۲ از روش‌های درون‌یابی وزن‌دهی فاصله معکوس، چندجمله‌ای و کریجینگ معمولی استفاده و آن‌ها گزارش کردند که وزن-دهی فاصله معکوس دقت بیشتری برای بررسی توزیع مکانی آن دارد. چودوری و همکاران (Choudhury *et al.*, 2021) برای برآورد مصرف آب گندم در مرحله رشد (پنجه‌زنی و نزدیک به گلدهی) در دو خاک با سدیم متوسط و زیاد واقع در جنوب کوئینزلند استرالیا^۵ از روش‌های درون‌یابی کریجینگ (معمولی، بیز تجربی)، وزن‌دهی فاصله معکوس،

⁴ Radial Basis Function (RBF)

⁵ Southern Queensland, Australia.

⁶ Local Polynomial Interpolation (LPI)

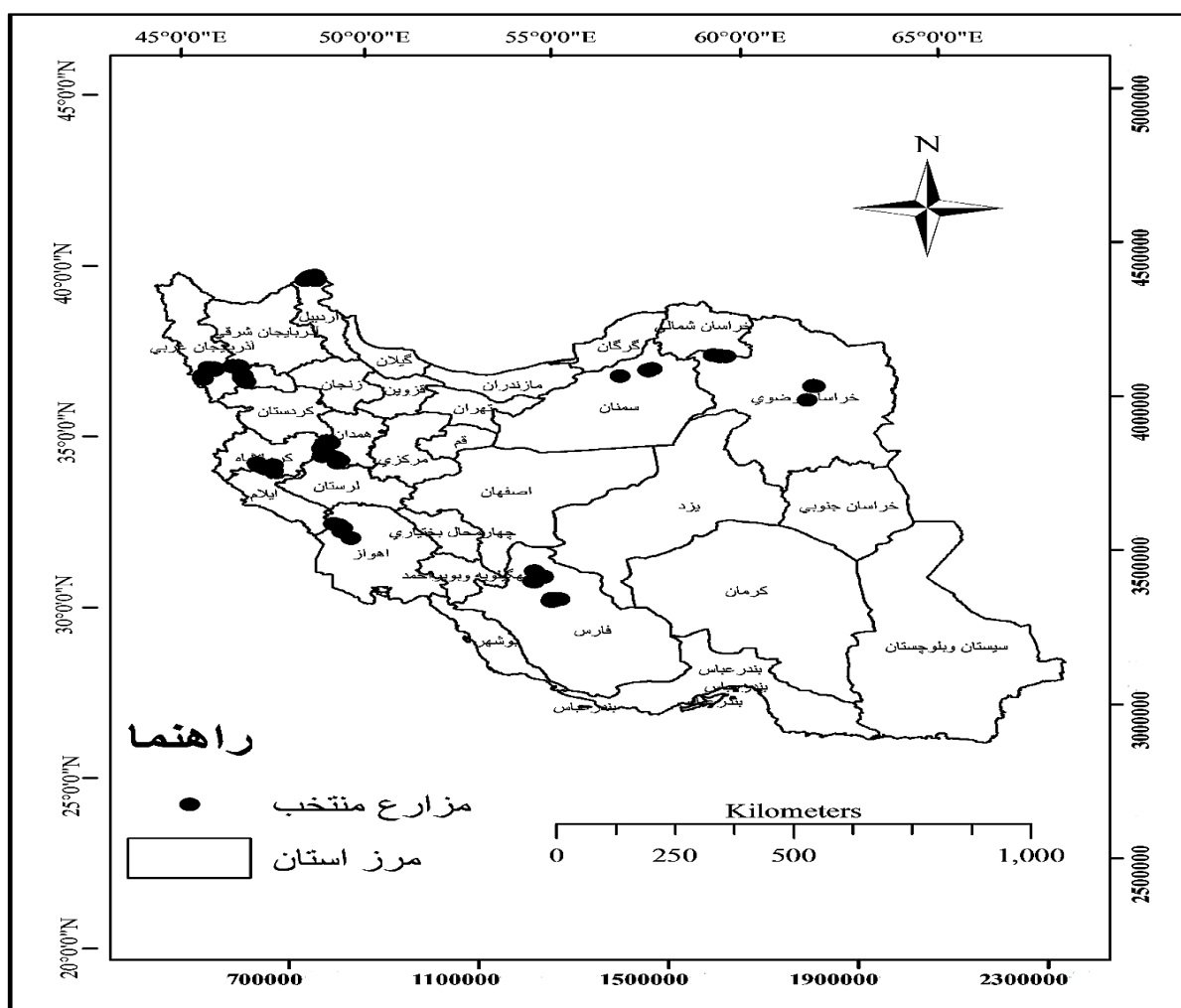
¹ Ordinary Kriging (OK)

² Global Polynomial Interpolation

³ Inverse Distance Weighting (IDW)

و مزارع مورد مطالعه، انتخاب آن‌ها طبق روش آماری نظام-دار (طبقه‌بندی) صورت گرفته است. در شکل ۱ پراکنش مکانی مزارع مورد بررسی در استان‌های کرمانشاه، همدان، خوزستان، آذربایجان غربی، اردبیل، سمنان، خراسان رضوی و فارس را نشان می‌دهد. از ۱۰۸ مزرعه در استان‌های منتخب اطلاعاتی از قبیل نوع رقم، عملکرد چغندر قند، شوری خاک، شوری آب آبیاری، تعداد نوبت آبیاری و حجم آب آبیاری چغندر قند جمع آوری شده بود (Baghbani *et al.*, 2018)

میدانی در استان‌ها (استان‌های با بیشترین سطح زیر کشت و تولید در کشور)، در شهرستان‌ها (شهرستان‌هایی با بیشترین سطح زیر کشت و تولید) و همچنین در مزارع (روش‌های مختلف آبیاری رایج در منطقه شامل (سطحی و تحت فشار)، ارقام، تنوع در سطح مزارع، کیفیت آب آبیاری و بافت خاک) بود و اینکه اقلیم دشت‌های مورد مطالعه بر اساس پژوهش خلیلی (Khalili, 2005) تعیین شد. شایان ذکر است با توجه به شرایط متفاوت استان‌ها، شهرستان‌ها



شکل ۱- پراکنش مکانی داده‌های مورد مطالعه در کشور
Fig. 1- Spatial distribution of the studied data in the country

که در آن، $n(h)$ = تعداد زوج نقاط به فاصله h ؛ $Z(x_i)$ = مقدار مشاهده متغیر x در موقعیت i و $Z(x_i + h)$ = مقدار مشاهده‌ای متغیر در فاصله‌ای h در x_i .

به منظور بررسی الگوی توزیع مکانی و تهیه نقشه پهینه‌بندی شاخص بهره‌وری فیزیکی آب از روش‌های مختلف درون‌یابی شامل روش‌های جبری از جمله عکس فاصله وزن‌دار (توان ۱ تا ۴)، تابع پایه شعاعی (همه مدل‌ها)، چند جمله‌ای جهانی (توان ۱ تا ۴) و چند جمله‌ای محلی (توان ۱ تا ۳) و روش زمین‌آمار از جمله کریجینگ معمولی، ساده و عمومی در سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد.

همچنین برای ارزیابی و انتخاب مناسبترین روش درون‌یابی از فن اعتبارسنجی حذفی استفاده شد که اساس این مهم بدین صورت است که به صورت موقت هر بار یک نقطه مشاهده‌ای را حذف و به کمک سایر نقاط مجاور مقداری را برای آن برآورد می‌کند. در ادامه نقاط حذف شده نیز مجدداً سر جای خود قرار می‌گیرد و برای سایر نقاط شبکه به همین روال به صورت مجزا برآورد صورت می‌گیرد و در نهایت برای هر نقطه دو مقدار واقعی و برآورد شده، موجود است که با استفاده از این دو مقدار میانگین انحراف خطا^۲، میانگین قدرمطلق نسبی^۳، میانگین مربعات خطا^۴، میانگین انحراف مطلق^۵ و مجذور میانگین مربعات خطا^۶ برای ارزیابی مدل‌های مورد بررسی به دست می‌آید (جدول ۱).

شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در مزارع با استفاده از داده‌های عملکرد محصول، حجم آب آبیاری و بارش موثر در مزارع محاسبه شد (رابطه ۱).

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

که در آن، WP = بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم بر مترمکعب)؛ I_p = بارش موثر براساس روش SCS (میلی‌متر)؛ V = حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)؛ و Y = عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار).

به منظور درون‌یابی، نیاز به بررسی وضعیت توزیع نرمال داده‌ها است. در همین راستا تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میدانی از قبیل آمار توصیفی^۱، تعیین توزیع نرمال و نرمال‌سازی آن و همچنین تفکیک داده‌های همگن بر مبنای عوامل تأثیرگذار (شامل شوری آب، شوری خاک، رقم و شاخص بهره‌وری فیزیکی آب) بر مزارع در محیط نرم افزار SPSS انجام شد.

پس از تحلیل داده‌های میدانی مزارع منتخب، واریوگرام را به منظور بررسی وابستگی مکانی، بررسی همسانگردی و ناهمسانگردی، تعیین مناسب‌ترین مدل تغییرات مکانی بهره‌وری فیزیکی آب در محیط نرم افزار GS^+ ترسیم شد. واریوگرام مبحث اساسی در زمین‌آمار و دارای کمیتی برداری است و همچنین همان واریانس اختلاف مقادیر در نقاطی به فاصله h از همدیگر است و به صورت رابطه ۲ بیان می‌گردد (Mohammadi, 2006).

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

⁴ Mean square error (MSE)

⁵ Mean Absolute Deviation (MAD)

⁶ Root Mean Square Error (RMSE)

¹ Descriptive statistics

² Mean Bais Error (MBE)

³ Mean Absolute Relative Error (MARE)

جدول ۱- روش های آماری مورد بررسی برای ارزیابی روش های درون یابی

Table 1. Statistical methods to evaluate interpolation methods

رابطه Relation	نوع آماره Statistics type	شماره رابطه Relationship No.
$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z'(x_i) - Z(x_i)]^2}{N}}$	مجدور میانگین مربعات خطا	۳
$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (Z'(x_i) - Z(x_i))}{N}$	میانگین انحراف خطا	۴
$MARE = \frac{100 \sum_{i=1}^n \frac{ Z'(x_i) - Z(x_i) }{Z(x_i)}}{N}$	میانگین قدرمطلق خطای نسبی	۵
$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Z'(x_i) - Z(x_i))^2}{N}$	میانگین مربع خطا	۶
$MAD = \frac{100 \sum_{i=1}^n Z'(x_i) - Z(x_i) }{N}$	میانگین انحراف مطلق	۷

که در آن،

$Z'(x_i)$ = مقدار برآورد شده متغیر در نقطه x_i ؛

$Z(x_i)$ = مقدار واقعی متغیر در نقطه x_i ؛ و

n = تعداد داده ها

نتایج و بحث

نتایج شاخص های آماری از جمله حداکثر، میانگین، حداقل و انحراف معیار به تفکیک استان برای متغیرهای مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. کمترین و بیشترین میانگین شاخص بهره‌وری فیزیکی آب به ترتیب در استان آذربایجان غربی و کرمانشاه، عملکرد محصول در استان خراسان رضوی و خوزستان، میانگین بارش موثر (ده ساله) در استان سمنان و آذربایجان غربی و حجم آب آبیاری در استان کرمانشاه و خوزستان بود.

در مرحله نهایی به منظور تهیه نقشه بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند از قابلیت های سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور استفاده شد. در همین راستا با استخراج نقشه کاربری اراضی^۱ منطقه مورد مطالعه از سنجنده Modis^۲ سری MCD12 Q1 در سال زراعی ۱۳۹۶ نقشه پهنه بندی اطلاعات نقطه ای به مکانی در اراضی زراعی تهیه شد.

² Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

¹ Land use images

تحلیل پهنه‌بندی شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در قطب‌های تولید چغندر قند در ایران

جدول ۲- خلاصه نتایج شاخص‌های آماری متغیرهای اندازه‌گیری شده به تفکیک استان

Table 2. Summary of the results of the statistical indicators of the measured variables in each province

استان Province								شاخص آماری Statistical index	متغیرها Variables
سمنان Semnan	اردبیل Ardabil	آذربایجان غربی Western Azerbaijan	همدان Hamadan	فارس Fars	خراسان - رضوی Khorasan Razavi	خوزستان Khuzestan	کرمانشاه Kermanshah		
8.69	5.88	7.94	12.60	8.84	6.51	9.79	13.11	حداکثر Maximum	بهره‌وری فیزیکی آب
4.14	2.74	2.60	3.15	2.64	3.05	3.53	4.76	حداقل Minimum	(کیلوگرم بر مترمکعب)
6.53	4.63	4.39	7.57	5.52	5.09	6.26	8.89	میانگین Average	Physical water productivity
1.68	1.02	1.33	2.53	2.54	1.24	2.39	2.58	انحراف معیار Standard Deviation	(kg/m^3)
46.0	192.0	359.0	89.7	97.0	82.1	225.0	72.0	حداکثر Maximum	میانگین بارش مؤثر
46.0	118.0	96.4	5.2	34.0	74.9	223.0	6.0	حداقل Minimum	(میلی‌متر)
46.0	167.7	237.9	52.9	71.8	78.2	224.4	51.9	میانگین Average	Average effective precipitation
0.0	23.5	118.0	19.2	31.9	4.1	0.9	16.3	انحراف معیار Standard Deviation	(mm)
13350	16645	17950	15453	21773	15614	20279	17640	حداکثر Maximum	حجم آب آبیاری
9200	10027	8235	6350	7373	8560	8490	4867	حداقل Minimum	(مترمکعب در هکتار)
11310	12235	13510	10674	12911	11945	13695	8822	میانگین Average	Irrigation water volume
1864	2314	2914	3066	4518	2051	4590	3116	انحراف معیار Standard Deviation	(m^3/ha)
90.0	90.3	75.0	116.5	95.0	80.0	105.0	95.0	حداکثر Maximum	عملکرد محصول
40.0	49.0	50.0	40.0	39.5	40.0	66.1	55.0	حداقل Minimum	(کیلوگرم در هکتار)
77.0	63.6	65.8	79.6	66.1	63.3	91.1	77.3	میانگین Average	Product performance
20.79	15.3	7.4	19.5	17.3	12.2	13.5	13.9	انحراف معیار Standard Deviation	(t/ha)
2.30	1.10	0.72	0.75	1.50	2.40	1.80	0.67	حداکثر Maximum	شوری آب آبیاری
1.30	1.10	0.35	0.23	0.32	0.47	0.50	0.16	حداقل Minimum	(دسی‌زیمنس بر متر)
1.86	1.10	0.53	0.44	1.01	1.01	0.83	0.42	میانگین Average	Irrigation water salinity
0.40	0.00	0.09	0.12	0.51	0.51	0.50	0.13	انحراف معیار Standard Deviation	(dS/m)
3.35	1.48	1.08	4.08	3.91	3.60	3.64	2.10	حداکثر Maximum	شوری خاک
2.05	0.75	0.53	0.55	0.58	1.43	0.65	0.21	حداقل Minimum	(دسی‌زیمنس بر متر)
2.77	1.16	0.80	1.20	1.84	1.86	1.77	0.77	میانگین Average	Soil Salinity
0.52	0.26	0.14	0.99	0.96	0.64	1.16	0.42	انحراف معیار Standard Deviation	(dS/m)

روش مذکور در بررسی توزیع نرمال بهره‌وری آب بر اساس نمودار Q-Q نشان داد که از روش ریشه دوم از توزیع نرمال بیشتری برخوردار است.

بر اساس نتایج آزمون استنباطی کلموگروف اسمیرنوف در سطح اطمینان ۹۵ درصد (جدول ۳)، متغیر بهره‌وری آب غیرنرمال و با وجود اینکه در تبدیل نرمال‌سازی به روش باکس-کاکس و ریشه دوم نرمال شد اما نتایج مقایسه دو

جدول ۳- بررسی توزیع نرمال متغیرها

Table 3. Examining the normal distribution of variables

تبدیل نرمال سازی Normalization transformation				آزمون توزیع نرمال Normal distribution test	متغیرها Variables
توان Power	ریشه دوم Square root	لگاریتم logarithm	باکس - کاکس Box-Cox		
0.000	0.210*	0.000	0.200*	0.020	بهره‌وری فیزیکی آب Physical water productivity
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	میانگین بارش مؤثر Average effective precipitation
0.000	0.040	0.120*	0.200*	0.011	حجم آب آبیاری Irrigation water volume
0.000	0.200*	0.100*	0.040	0.042	عملکرد محصول Product performance
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	شوری آب آبیاری Irrigation water salinity
0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	شوری خاک Soil Salinity

معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۰/۰۵ (*) بر اساس آزمون کلموگروف اسمیرنوف

منفی و با شدت همبستگی زیاد) و شوری آب آبیاری (۲۰/۰۰ درصد در جهت منفی و با شدت همبستگی ضعیف) دارد. به عبارتی کاهش (حجم آب آبیاری، میانگین بارش مؤثر (ده ساله) و شوری آب) و افزایش عملکرد محصول منجر به افزایش شاخص بهره‌وری فیزیکی آب می‌گردد.

به منظور بررسی همبستگی بین متغیرهای مورد بررسی از آزمون پیرسون استفاده شد (جدول ۴). نتایج بیانگر آن است که در سطح احتمال پنج درصد بهره‌وری فیزیکی آب با شوری خاک رابطه‌ای ندارد. ولی بیشترین و کمترین رابطه را به ترتیب با حجم آب آبیاری (۷۶/۵۰ درصد در جهت

جدول ۴- نتایج آزمون همبستگی پیرسون میان متغیرها

Table 4- Pearson correlation test results among variables

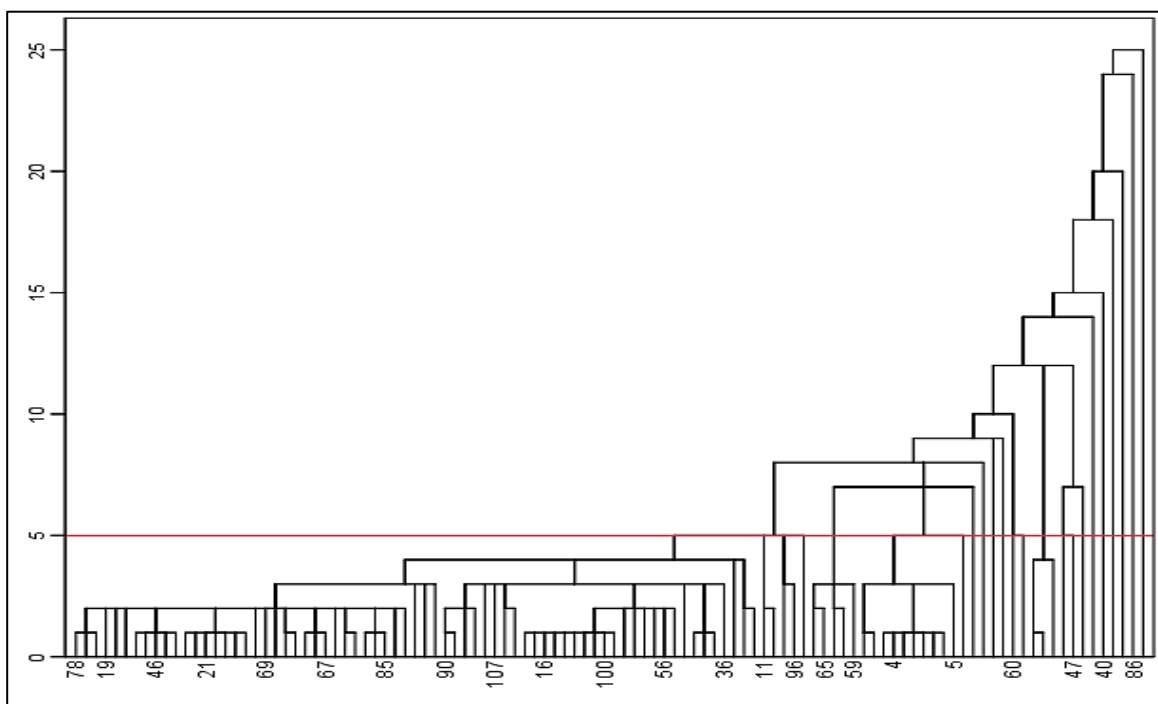
متغیرها Variables	آزمون پیرسون Pearson test	شوری آب آبیاری Irrigation water salinity	شوری خاک Soil Salinity	حجم آب آبیاری Irrigation water	بارش مؤثر effective precipitation	عملکرد محصول Yeild	بهره‌وری فیزیکی آب Physical water productivity
شوری آب آبیاری Irrigation water salinity	ضریب همبستگی The correlation coefficient Sig (سطح معنی‌دار)	1.000					
شوری خاک Soil Salinity	ضریب همبستگی The correlation coefficient Sig (سطح معنی‌دار)	0.695**	1.000				
حجم آب آبیاری Irrigation water volume	ضریب همبستگی The correlation coefficient Sig (سطح معنی‌دار)	0.198*	0.177	1.000			
بارش مؤثر effective precipitation	ضریب همبستگی The correlation coefficient Sig (سطح معنی‌دار)	0.010	-0.110	0.384**	1.000		
عملکرد محصول Product performance	ضریب همبستگی The correlation coefficient Sig (سطح معنی‌دار)	-0.030	0.082	-0.059	-0.061	1.000	
بهره‌وری فیزیکی آب Physical water productivity	ضریب همبستگی The correlation coefficient Sig (سطح معنی‌دار)	-0.200*	-0.088	-0.765**	-0.417**	0.600**	1.00
		0.039	0.363	0.000	0.000	0.000	

معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۰/۰۱ (***) و ۰/۰۵ (*)

تحلیل پهنه‌بندی شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در قطب‌های تولید چغندر قند در ایران

گروه همگن و مشابه داده‌های مزارع منتخب بر اساس عوامل تأثیرگذار گوناگون تفکیک شدند. کمترین میانگین شوری آب آبیاری و شوری خاک در گروه ۱۱ که مقدار آن به ترتیب ۰/۳۲۵ و ۰/۷۳۹ دسی‌زیمنس بر متر و بهره‌وری فیزیکی آب در گروه ۱۱ و ۱۲ با مقداری معادل ۲/۶۴ کیلوگرم بر مترمکعب قرار گرفته است و همچنین بیشترین میانگین شوری آب آبیاری و شوری خاک به ترتیب در گروه ۲۱ و گروه ۲۲ و ۲۳ با مقدار ۲/۴۰۰ و ۴/۰۸۰ دسی‌زیمنس بر متر و بهره‌وری فیزیکی آب در گروه ۳ با مقدار ۱۱/۰۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب قرار گرفته است.

نتایج حاصل از تجزیه کلاستر عوامل تأثیرگذار نوع رقم، شوری آب آبیاری و شوری خاک در شاخص بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند بیانگر آن است که با لحاظ سطح برش پنج درصد به ۲۳ گروه مستقل در سطح کشور تفکیک شده (شکل ۲)، به طوری که در گروه ۱ بخش‌هایی از استان-های آذربایجان غربی (بوکان، پیرانشهر، میاندوآب و نقده)، خراسان رضوی (جوین)، خوزستان (شوش)، فارس (اقلید)، کرمانشاه (اسلام‌آباد و کنگاور) و همدان (اسدآباد و نهاوند) قرار دارند. همچنین سایر مناطق مورد مطالعه به ۲۲ گروه تفکیک شده در جدول ۵ ارائه شده است. پس در قالب ۲۳



شکل ۲- دندوگرام حاصل از تجزیه کلاستر

Fig. 2. Dendrogram resulting obtained from cluster analysis

جدول ۵- مشخصه های گروه های تفکیکی در تجزیه کلاستر

Table 5. Characteristics of separate groups in cluster analysis

بهره‌وری فیزیکی آب Physical water productivity (kg/m^3)	شوری خاک Soil salinity (dS/m)	شوری آب آبیاری Salinity of irrigation water (dS/m)	استان Province	گروه‌ها Groups
6.66	0.858	0.468	آذربایجان غربی (بوکان، پیرانشهر، میاندوآب و نقده)، خراسان رضوی (جوین)، خوزستان (شوش)، فارس (اقلید)، کرمانشاه (اسلام‌آباد و کنگاور) و همدان (اسدآباد و نهاوند)	1
3.96	0.805	0.535	آذربایجان غربی (بوکان و نقده)	2
11.03	0.985	0.396	همدان (اسدآباد)	3
4.95	2.100	0.620	کرمانشاه (کنگاور)	4
7.57	2.198	1.432	فارس (مرودشت)	5
5.03	1.309	1.100	اردبیل (پارس‌آباد مغان) و خراسان رضوی (ترت‌حیدریه)	6
6.41	2.100	1.400	خراسان رضوی (ترت‌حیدریه)	7
8.69	2.050	1.300	سمنان (میامی)	8
5.40	1.800	0.980	خراسان رضوی (جوین)	9
3.40	1.770	1.370	فارس (مرودشت)	10
2.64	0.739	0.325	فارس (اقلید)	11
2.64	1.920	1.400	فارس (مرودشت)	12
3.34	2.590	1.420	فارس (مرودشت)	13
6.61	3.130	2.130	سمنان (میامی)	14
3.53	2.50	1.30	خوزستان (شوش)	15
4.14	2.440	1.600	سمنان (شاهرود)	16
4.27	3.200	1.100	خوزستان (شوش)	17
2.99	2.720	0.480	فارس (اقلید)	18
9.33	3.640	1.800	خوزستان (شوش)	19
5.08	3.910	1.380	فارس (مرودشت)	20
3.05	3.600	2.400	خراسان رضوی (ترت‌حیدریه)	21
5.77	4.080	0.482	همدان (اسدآباد)	22
9.39	4.080	0.482	همدان (اسدآباد)	23

بررسی مدل‌های مختلف برازش داده شده بر روی واریوگرام تجربی در جدول ۶ نشان داد که مدل کروی با حداکثر ضریب تبیین (R^2) و حداقل ریشه مجموع مربعات

در میان سایر مدل‌های مورد بررسی دارای دقت بالاتری می‌باشد. به همین دلیل مدل کروی ارائه شده در

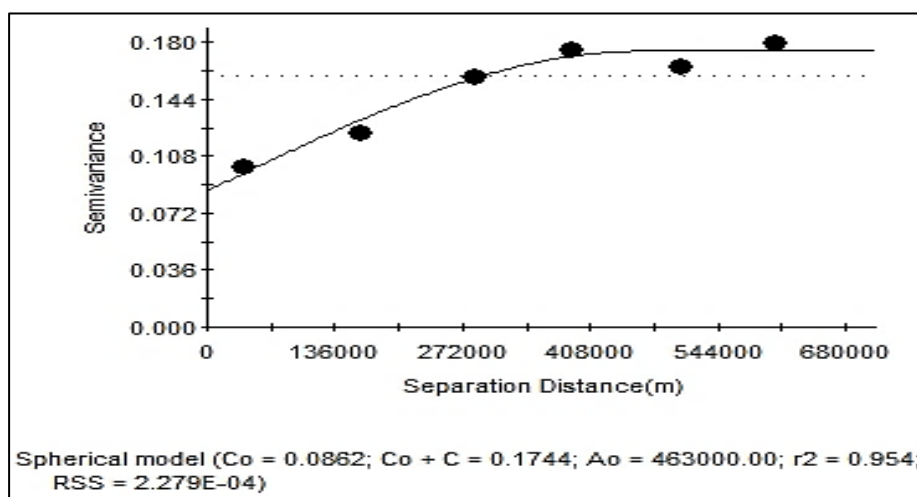
رابینسون و میترنیچ (Robinson and Metternicht, 2006) بیانگر ساختار مکانی متوسط و کافی بودن تعداد زوج داده‌های موجود در طول هر گام است. به عبارتی هر چه مقدار نسبت $(C_0/(C_0 + C))$ کمتر بیانگر وجود ساختار مکانی قوی‌تر می‌باشد (Deutsch et al., 1998).

شکل ۳ به عنوان مدل مناسب برای برازش بر واریوگرام تجربی انتخاب گردید.

به منظور تحلیل میزان همبستگی مکانی از نسبت اثر قطعه‌ای (C_0) به آستانه $(C_0 + C)$ استفاده شد و در مدل کروی منتخب مقدار آن معادل $49/40$ درصد است و با قرارگرفتن در بازه عددی $0/25$ تا $0/75$ ، بر اساس معیار

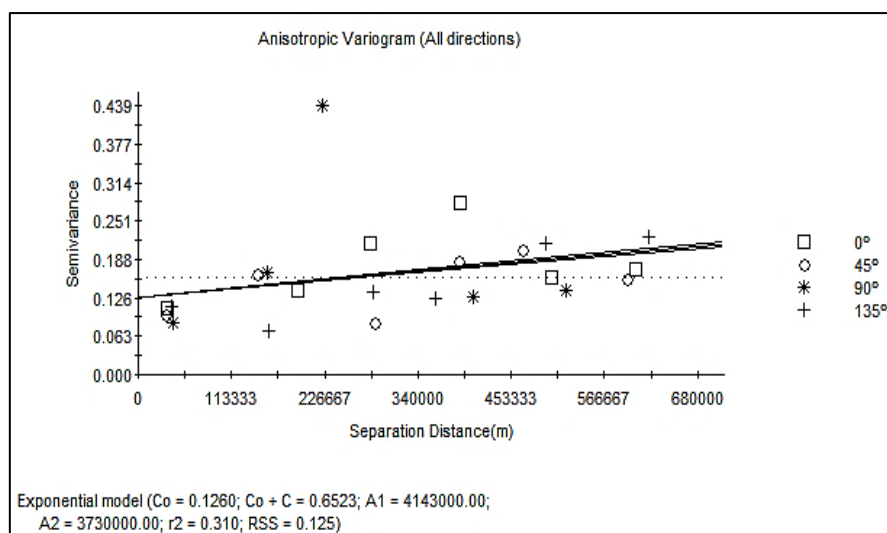
جدول ۶- پارامترهای نیم تغییرنا و معیارهای انتخاب مدل مناسب
Table. Semivariable parameters and appropriate model selection criteria

مشخصات واریوگرام Variogram specifications							
ریشه مجموع مربعات Residual Sums of Squared (RSS)	ضریب تبیین R- (r ²) Squared	نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه Ratio of nugget to sill C ₀ /(C ₀ + C)	تبدیل نرمال Transformation	دامنه تأثیر (A ₀) Range (km)	آستانه (C ₀ + C) Sill	اثر قطعه‌ای (C ₀) Nugget	مدل‌ها models
0.000228	0.954	0.494	ریشه دوم	463	0.1744	0.0862	کروی Spherical
0.000327	0.933	0.441	ریشه دوم	293	0.1944	0.0857	نمایی exponential
0.016700	0.843	0.565	ریشه دوم	603	0.1879	0.1062	خطی linear
0.000760	0.843	0.368	ریشه دوم	1353	0.2888	0.1064	سه‌موی parabola
0.001177	0.767	0.498	ریشه دوم	568	0.2298	0.1144	گوسی Gossi



شکل ۳- مدل کروی برازش داده شده بر واریوگرام تجربی
Fig. 3. Spherical model fitted on experimental variogram

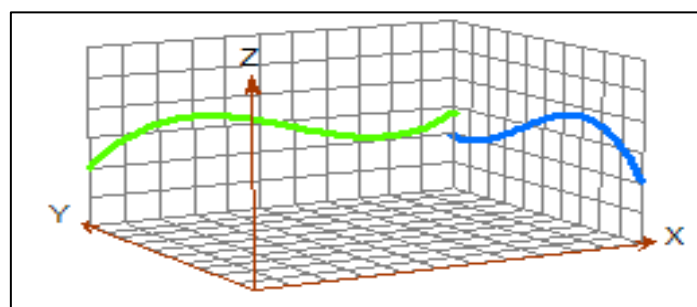
در شکل ۴ برای بررسی وضعیت همسانگردی و ناهمسانگردی واریوگرام جهت دار در چهار جهت اصلی (۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه) برای زوج نقاط موجود بهره‌وری فیزیکی آب در مزارع مختلف بر اساس راستا و فاصله ترسیم و با توجه به اینکه مقدار شعاع تأثیر و آستانه در راستاهای مختلف با همدیگر برابر شد، پس پیوستگی مکانی آن همسانگرد می‌باشد.



شکل ۴- واریوگرام همه‌جانبه در جهات مختلف ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه
 Fig. 4. Omnidirectional variogram in different directions of 0, 45, 90 and 135 degrees

واریوگرام، تخمین و حذف گردید. همچنین بنا بر نتایج حسنی‌پاک (Hassani Pak, 1998) مبنی بر وجود روند در داده‌ها به دلیل تغییرات شیب در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. لذا در پژوهش حاضر نیز عامل وجود روند، منطقه وسیع مورد مطالعه، تغییرات شیب و سایر عوامل موثر است.

بررسی وجود روند در شکل ۵ نشان داد که داده‌های بهره‌وری فیزیکی آب در دو جهات شمالی - جنوبی (خط آبی) و شرقی - غربی (خط سبز) دارای روند تغییرات معینی است. بنا به پیشنهاد کوارنو و همکاران (Cuarno et al., 2007) مبنی بر حذف اثر روند معنی‌دار داده‌ها، تأثیر روند درجه سه موجود در داده‌های بهره‌وری فیزیکی آب بر



شکل ۵- روند تغییرات شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در مزارع منتخب
 Fig. 5. Changes in physical water productivity index in selected farms

حاصل از درون‌یابی نیز مورد بررسی قرار گرفت که در آن مدل کریجینگ معمولی با وجود اینکه نتایج شاخص‌های مذکور در آن تقریباً نزدیک به روش تابع پایه شعاعی (RBF) با مدل اسپلاین کاملاً منظم بود؛ اما در ارزیابی نقشه آن برخی نتایج غیرمنطقی را ارائه کرد. دلیل آن را نیز می‌توان به خاطر حساسیت آن به مواردی همچون ویژگی منطقه مورد مطالعه، عدم وجود اطلاعات در بعضی از نقاط کشور به خصوص جنوب شرقی، تراکم کم و پراکنش نامنظم داده‌ها در سطح کشور ارائه نمود

همچنین نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی جدول ۷ بیانگر آن است که روش تابع پایه شعاعی (RBF) با مدل اسپلاین کاملاً منظم^۱ دارای حداقل مقدار در شاخص‌های MAD، RMSE، MBE و MARE و حداکثر مقدار در شاخص R شد که نسبت به سایر روش‌های مورد بررسی از دقت بالایی برای تخمین نقاط مجهول نسبت به نقاط معلوم و ارزیابی داده‌ها برخوردار است. به همین دلیل به عنوان روش مناسب برای برآورد، تحلیل و تهیه نقشه پهنه‌بندی بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند در کشور انتخاب گردید. علاوه بر ارزیابی معیارهای آماری، نقشه‌های

جدول ۷- نتایج ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی

Table 7. Results of different interpolation methods

R(X,Y)	میانگین	میانگین	میانگین	مجذور میانگین	میانگین انحراف	روش‌ها	
	قدر مطلق نسبی MARE	مربعات خطا MSE	انحراف مطلق MAD	مربعات خطا RMSE	خطا MBE		
0.52	521.96	5.127	1.785	2.264	-0.027	POWER	چند جمله جهانی IPI
0.50	533.44	5.285	1.820	2.299	0.040		
0.51	531.49	5.302	1.776	2.303	0.021		
0.13	530.35	6.938	2.138	2.634	0.010	POWER	چند جمله محلی GPL
0.41	529.19	5.844	1.988	2.418	-0.011		
0.47	530.98	5.540	1.886	2.354	0.0159		
0.47	537.05	5.577	1.828	2.361	0.0568		
0.54	535.59	5.021	1.704	2.241	0.062	POWER	وزن دهی فاصله معکوس IDW
0.48	534.00	5.820	1.751	2.412	0.046		
0.48	534.03	5.831	1.753	2.415	0.046		
0.44	532.37	6.541	1.825	2.557	0/0298		
0.57	530.35	4.840	1.700	2.190	0.009	KERNEL FUNCTION	تابع پایه شعاعی RBF
0.56	530.77	4.845	1.720	2.200	0.011		
0.47	534.76	6.230	1.816	2.497	0.053		
0.54	518.90	5.020	1.786	2.240	-0.100		
0.27	552.50	12.400	2.500	3.521	-0.034		
0.56	525.60	4.900	1.730	2.212	-0.038	MODEL	کریجینگ KRIGING
0.53	536.25	5.050	1.770	2.248	0.0686		
-0.01	691.60	114.60	3.980	10.708	0.366		

⁵ Inverse Multiquadric Function

⁶ Thin Plate Spline

⁷ Ordinary Kriging

⁸ Simple Kriging

⁹ Universal Kriging

^۱ Completely Regularized Spline

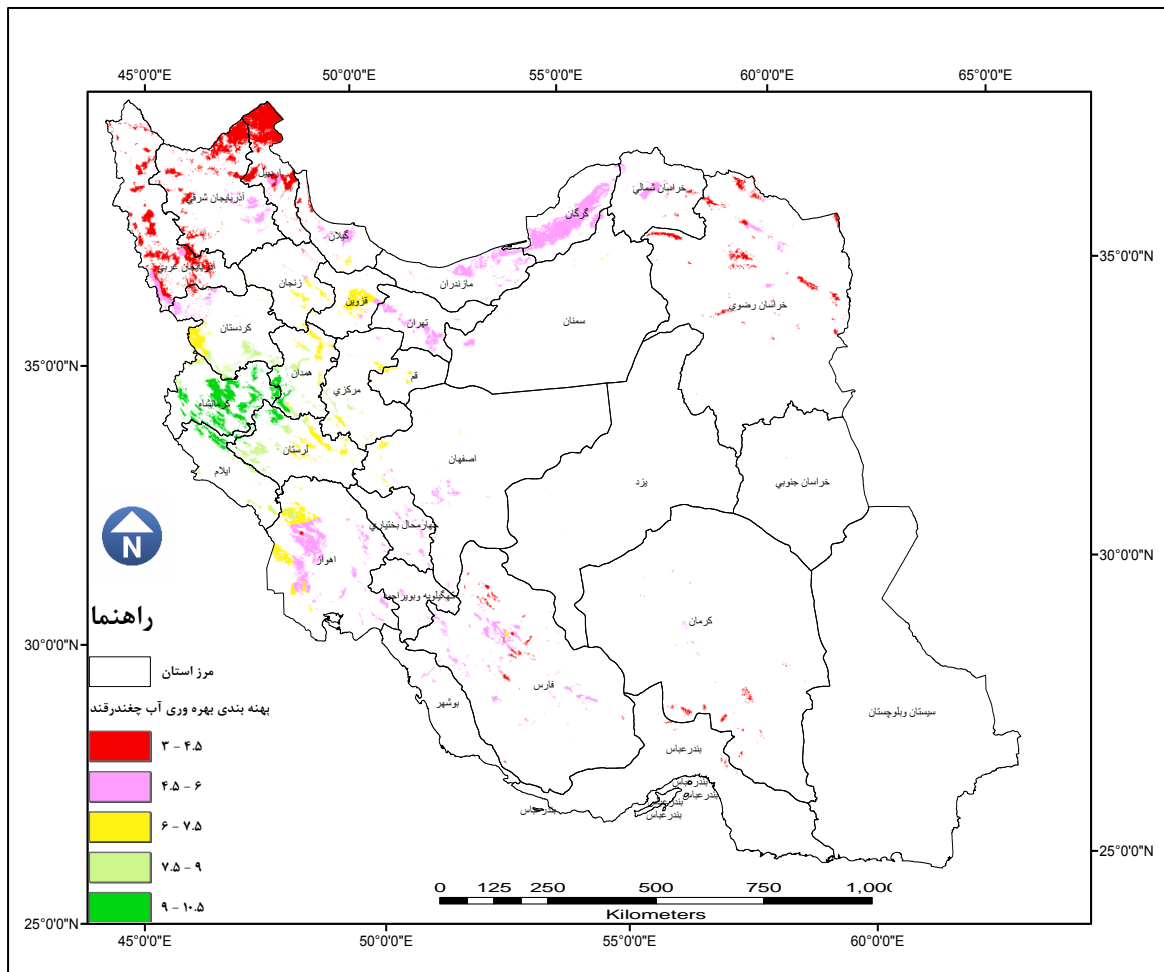
² Completely Regularized Spline

³ Spilan With Tension

⁴ Multiquadric Function

نزولی کاهش می یابد. شایان ذکر است که مناطق مستعد کشت چغندر قند بر اساس شاخص بهره‌وری فیزیکی آب شامل بخش‌هایی از استان‌های کرمانشاه، همدان، لرستان، کردستان، ایلام و مرکزی می‌باشد.

در نهایت نقشه تغییرات مکانی شاخص بهره‌وری فیزیکی آب بر اساس روش درون‌یابی تابع پایه شعاعی با مدل اسپلاین کاملاً منظم در شکل ۶ ارائه و نشان داد که شاخص بهره‌وری آب چغندر قند از غرب به سمت شمال، شمال غربی، جنوب، جنوب غربی، مرکز و شرق کشور به صورت



شکل ۶- نقشه تغییرات مکانی شاخص بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند به روش تابع پایه شعاعی با مدل اسپلاین کاملاً منظم

Fig. 6- Map of spatial changes of water physical productivity index by radial basis function method with completely regularized spline model

حسینی ابری (Kaveh and Hosseini Abri, 2010) برای ۱۶ استان کشور در سال زراعی ۸۱-۱۳۸۰ دامنه تغییرات این شاخص ۱/۹۵ تا ۸/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب، بر اساس گزارش سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2010) دامنه

مقدار شاخص بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند در سطح کشور در دامنه ۲/۶۰ تا ۱۳/۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب در مزارع منتخب متغیر و مقدار میانگین آن ۶/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. در حالی که بر اساس پژوهش کاوه و

بین حداقل و حداکثر مقدار شاخص بهره‌وری فیزیکی آب وجود دارد که بیانگر وجود انحراف معیار بالا در شاخص بهره‌وری فیزیکی آب است. طبق جدول ۲، مقدار حداقل و حداکثر انحراف معیار بهره‌وری فیزیکی آب به ترتیب به استان اردبیل و کرمانشاه اختصاص دارد که موید آن است در همه استان‌های منتخب حتی در استان‌های کرمانشاه، همدان و سمنان که بهره‌وری فیزیکی آب بالایی دارند، هنوز پتانسیل بالایی برای ارتقا و بهبود شاخص بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند وجود دارد. در ضمن از این مقدار دامنه وسیع تغییرات می‌توان برداشت کرد که در سطح استان‌های مختلف کشور به منظور کاهش فشار بر منابع آبی سطحی و زیرزمینی، افزایش عملکرد محصولات کشاورزی، افزایش امنیت غذایی و همچنین افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی همچنان فرصت‌های بالقوه‌ای وجود دارد.

میزان ضریب همبستگی پایین میان بهره‌وری فیزیکی آب با متغیرهای شوری آب، شوری خاک، حجم کل آب آبیاری، میانگین بارش موثر (ده ساله) و عملکرد محصول در آزمون پیرسون نشان‌دهنده این است به جزء بارندگی و اقلیم، عوامل ثابت دیگری از جمله عوامل مدیریتی بر ارتقا شاخص بهره‌وری فیزیکی آب تأثیرگذار است. برای نمونه پژوهش دهقانی‌سانیچ و همکاران (Dehghanisanij *et al.*, 2020) در سال زراعی (۱۳۹۵-۹۶) در اراضی شهرستان میاندوآب نشان داد که تغییر روش آبیاری منجر شد که شاخص بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند از ۳/۷۵ به ۶/۴۷ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش یابد و همچنین در پژوهش حسنی و همکاران (Hassanli *et al.*, 2010) برآورد شاخص یاد شده حاصل از روش‌های مختلف آبیاری از جمله جویچه‌ای، قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی در سال زراعی ۱۳۸۸ به ترتیب معادل ۲/۵۰، ۸/۴۰ و ۶/۹۰ کیلوگرم بر مترمکعب شد. این موید آن است در صورت شرایط مناسب، استفاده از سامانه‌های آبیاری مدرن به خصوص قطره‌ای منجر به ارتقا بهره‌وری فیزیکی آب می‌گردد.

عامل اقلیم در سطح کشور می‌تواند بر شاخص بهره‌وری آب اثرگذار باشد. در پژوهش حاضر، اثر عامل اقلیم بر

تغییرات این شاخص برای استان‌های گلستان، اصفهان، خراسان رضوی، آذربایجان غربی و خوزستان در سال زراعی ۱۳۸۷، ۱/۳۳ تا ۴/۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب و همچنین براساس یافته‌های پیری و مبارکی (Piri and Mobaraki, 2021) مقدار دامنه تغییرات این شاخص در استان‌های اصفهان، اهواز، شهرکرد، مشهد و همدان ۲/۱۷ تا ۵/۱۹ بوده است. از این رو مقایسه این مطالعات نشان داد که شاخص بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند در سال زراعی (۱۳۹۵-۹۶) افزایش چشمگیری داشته است.

همچنین دیهیم‌فرد و همکاران (Deihimfard *et al.*, 2019) شاخص بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند در ۱۰ شهرستان خراسان رضوی را در سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۴ برای شرایط واقعی و شرایط قابل دستیابی به ترتیب ۲/۳۰ و ۵/۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد نمودند. در پژوهش حاضر به طور میانگین شاخص یاد شده در استان خراسان-رضوی معادل ۵/۰۹ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد شد که بیانگر تایید نتایج دیهیم‌فرد و همکاران (Deihimfard *et al.*, 2019) همچنین امکان ارتقا شاخص یاد شده می‌باشد.

شایان ذکر است که طبق نقشه تغییرات مکانی در شکل ۶ استان‌های خوزستان، فارس، خراسان رضوی، اردبیل و آذربایجان غربی دارای مقادیر کمتر از میانگین شاخص بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند و استان‌های کرمانشاه، همدان و سمنان دارای مقداری بیش از میانگین می‌باشد. از این رو، می‌توان گفت که به دلیل دامنه وسیع تغییرات مکانی بهره‌وری فیزیکی آب در استان‌های منتخب و کل کشور همچنان پتانسیل بالایی برای ارتقای شاخص یاد شده در سطح کشور وجود دارد.

نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها و نقشه پهنه‌بندی بهره‌وری فیزیکی آب در تولید چغندر قند در سطح مزارع منتخب حاکی از آن است که شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در استان‌های آذربایجان غربی و اردبیل دارای کمترین مقدار و همچنین استان کرمانشاه دارای بیشترین مقدار بوده است. همچنین در هر کدام از استان‌های منتخب، اختلاف زیادی

اینکه این منطقه از لحاظ اقلیمی، شوری آب، شوری خاک و پتانسیل بیشتری برای کشت چغندر قند دارد. همچنین بیشترین و کمترین مقدار خطا در پهنه بندی نقشه ها به- ترتیب مربوط به روش درون یابی کریجینگ عمومی و تابع پایه شعاعی (اسپیلاین کاملاً منظم) می باشد. در ضمن وجود انحراف معیار بالا در عملکرد و بهره‌وری فیزیکی آب، بیانگر امکان و قابلیت ارتقا و بهبود عملکرد و بهره‌وری فیزیکی آب در همه استان‌ها (حتی استان‌های که دارای شاخص بهره‌وری فیزیکی آب بالا) دارد. با توجه به رابطه مستقیم بهره‌وری آب با عملکرد محصول و رابطه عکس با آب آبیاری می‌توان با اقدامات مدیریتی همچون انتخاب ارقام مناسب، تغذیه به‌موقع و کود مناسب متناسب با شرایط خاک و رعایت تقویم زراعی به منظور افزایش عملکرد محصول و اقداماتی نظیر تغییر روش آبیاری (از سنتی به مدرن) به منظور کاهش آب آبیاری شاخص بهره‌وری فیزیکی آب را ارتقا و بهبود بخشید. دانش کم بهره‌برداران از شیوه‌های مدیریتی در سطح مزرعه و همچنین وجود خرده مالکی بر کم بودن وضعیت کنونی بهره‌وری فیزیکی آب در تولید چغندر قند اثر گذار بوده است. در پایان می‌توان گفت با درون‌یابی، در صورت وجود همبستگی قوی بین داده‌ها می‌توان از توزیع مکانی بهره‌وری فیزیکی آب در منطقه مورد مطالعه شناخت بیشتری را کسب کرد.

غیرنرمال بودن داده‌های متغیر بهره‌وری آب و وجود روند دیده می‌شود. نکته حائز اهمیت این است که استان‌های کرمانشاه، آذربایجان غربی و اردبیل واقع در اقلیم نیمه‌خشک سرد دارای مقدار میانگین بهره‌وری فیزیکی آب متفاوت به- ترتیب معادل ۸/۸۹، ۴/۳۹ و ۴/۶۳ کیلوگرم بر مترمکعب است و همچنین در اقلیم نیمه‌خشک فراسرد نیز استان همدان و خراسان رضوی دارای شاخص بهره‌وری فیزیکی آب متفاوت به ترتیب معادل ۷/۵۷ و ۵/۰۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود. این بدان معناست که در کنار عامل اقلیم، عوامل دیگری از جمله عوامل مدیریتی نیز بر شاخص بهره‌وری فیزیکی آب اثرگذار است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به بالا بودن مصرف آب در بخش کشاورزی و نیاز به تولید بیشتر در اراضی تحت کشت، ارزیابی شاخص بهره‌وری فیزیکی آب محصولات زراعی با نیاز آبی بالا همچون چغندر قند در کشور و شناخت از وضعیت موجود آن ضروری است. هدف از این مطالعه انتخاب مناسب‌ترین روش درون‌یابی برای برآورد و تهیه نقشه پهنه‌بندی بهره‌وری فیزیکی آب و همچنین تحلیل وضعیت کنونی آن می‌باشد. در این راستا آگاهی و اخذ اطلاعات جامع از مزارع و پایش مزارع تحت کشت به‌منظور تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در سطح کلان برای ارتقا و بهبود بهره‌وری فیزیکی آب محصول زراعی چغندر قند در کشور به دلیل وسعت زیاد سطح زیرکشت، هزینه، محدودیت امکانات و زمان، دشوار و امکان‌ناپذیر است. برای این منظور می‌توان از قابلیت ابزار درون‌یابی که توانایی تعمیم اطلاعات نقطه‌ای (اطلاعات پایش شده از مزارع) به اطلاعات مکانی (سطح) را دارند، استفاده کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که با توجه به نقشه پهنه‌بندی حاصل، غرب کشور بخصوص بخش‌های زیادی از استان کرمانشاه نسبت به شمال، جنوب و شرق کشور دارای بهره‌وری فیزیکی آب چغندر قند بیشتری است که این امر با واقعیت تطابق دارد و علت بالا بودن آن در این منطقه را می‌توان عوامل اقلیمی و مدیریتی مطرح نمود و

مراجع

- Abbasi, F., Abbasi, N. & Naseri, A. (2019). The technical-economic effects of knowledge and technology on the promotion of water productivity in production areas. *Baztab-e-Tat*, 2(1), 5-6. (in Persian).
- Abbasi, F., Abbasi, N. & Tavakoli, A. R. (2017). Water productivity in agriculture; Challenges and prospects. *Journal of Water and Sustainable Development*, 4(1), 141-144. (in Persian)
- Abdiaghdam, F., Rasoulzadeh, A., Samadianfard, S., & Navedi, F. (2022). Analysis of water productivity indicators in agricultural lands of Moghan Agro-Industry and Livestock Company. *Water and Soil Science*, 32(3), 77-90. (in Persian).
- Baghani, J., Ahmad Ali, J., Eslami, A., Behramlou, R., Ghadami Firouzabadi, A., Akhwan, K., Moiri, M., Karimi, M., Dehghanian, S. A., Islamic, A. R., Abbasi, F., Akbari, M., Abbasi, N., Khosravi, H., Ghafari, Z., Hosseinzadeh, S., Nemati, S., Sepehari, S., Aghaei, M. J. & Nakhjavani Moghadam, M. M. (2018). Determining the Applied Water of sugar beet in Iran. Final Research Report No. 54633. Karaj, *Agricultural Engineering and Technical Research Institute*. (in Persian).
- Baghbanyan, M., Emamverdi, G., Ghaderzadeh, H., Damankeshideh, M., & Aminrashti, 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 & Drainage*, 14(3), 1046-1054. (in Persian)
- Bayat, M.A., & Manshouri, M. (2011). Temporal and spatial study of water use efficiency of strategic crops in regional scale (Case study: Hamadan province). *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 1(1), 43-51. (in Persian)
- Choudhury, M. R., Mellor, V., Das, S., Christopher, J., Apan, A., Menzies, N. W., & Dang, Y. P. (2021). Improving estimation of in-season crop water use and health of wheat genotypes on sodic soils using spatial interpolation techniques and multi-component metrics. *Agricultural Water Management*, 255, 107007.
- Danesh Azad, M., Yosefi Fard, Y. & Ghorbani, M. (2020). Physical productivity and volume of water calculation used in sugar beet cultivation and its effect on groundwater in drought conditions of Kuhdasht city of Iran. *Journal of Water Science and Engineering*, 9(26), 57-63. (in Persian).
- Dehghanisanij, H., Ebrahimi, M., Rezaverdinejad, V., & Taghizadehghasab, A. (2020). Impact of changing irrigation method and planting spacing on water productivity, yield and application efficiency of sugar beet in Miandoab plain. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(8), 2125-2136. (in Persian).
- Deihimfard, R., Mohammadi-Ahmadm Mahmoudi, E. & Noori, O. (2019). Assessment of water productivity and supply: demand ratio index in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Khorasan Razavi province, Iran using growth simulation models. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21(3), 268-282. (in Persian).
- Deutsch, C.V. & Journel, A.G. (1998). *Geostatistical Software Library and Users Guide*. 2nd Ed. Oxford University Press. New York.
- Ehsani, M. & Khalidi, H. (2003). *Water Productivity in Agricultural*. Tehran. National Irrigation and Drainage Committee of Iran. (in Persian)
- Ghorbanpour, A. K., Kisekka, I., Afshar, A., Hessels, T., Taraghi, M., Hessari, B., & Duan, Z. (2022). Crop water productivity mapping and benchmarking using remote sensing and google earth engine cloud computing. *Remote Sensing*, 14(19), 4934.
- Habibzadeh, Y., Abdi, S., & Abedi, R. (2020). Zoning of sugar beet cultivation in West Azarbaijan province based on cultivation and irrigation systems in GIS. *Journal of Crops Improvement*, 22(4), 601-615. (in Persian).

- Hassani Pak, A. A. (1998). *Geostatistics*. Tehran. Tehran University Press. (in Persian)
- Hassanli, A. M., Ahmadi, S., & Beecham, S. (2010). Evaluation of the influence of irrigation methods and water quality on sugar beet yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management*, 97(2), 357-362.
- Jamali, R., Besharat, S., Yasi, M. & Amirpour Deylami, A. (2018). Assessment of the application efficiency, water use efficiency and productivity of irrigated water in the Urmia lake basin (Case Study: Zarineh Rood irrigation and drainage network). *Journal of Water and Soil Science*; 22(3):117-130. (In Persian).
- Kamali, M. E., Faridhosseini, A., Ansari, H., & Gholami Sefidkouhi, M. A. (2017). Preparation of water requirement maps of maize by comparing geostatistical and deterministic methods. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 11(5), 708-721. (in Persian).
- Kaveh, F. & Hosseini Abri, S. A. (2010). *Increasing water productivity in irrigated agriculture*. 12th Seminar of Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. Feb. 5. Tehran, Iran. (in Persian).
- Khalili, A. (2005). Attempt to develop a new climatic classification system based on environmental heating-cooling requirements and its application for Iran. *Geographical Research*, 19(75), 5-14. (In Persian).
- Li, X., Tong, L., Niu, J., Kang, S., Du, T., Li, S., & 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.
- M. El-Marsafawy, S., Swelam, A., & Ghanem, A. (2018). Evolution of crop water productivity in the Nile Delta over three decades (1985–2015). *Water*, 10(9), 1168.
- Mohammadi, J. (2006). *Pedometry: Spatial Statistics (Geostatistics)*. Tehran. Plek Publications. (In Persian).
- Naseri, A., Abbasi, F., & Akbari, M. (2017). Estimating agricultural water consumption by analyzing water balance. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 18(68), 17-32. (In Persian).
- Piri, H., & Mobaraki, M. (2021). Investigating water footprints and water consumption efficiency of crops of potatoes, sugar beets, tomatoes and forage corn in different climates of Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(6), 103-120. (in Persian).
- Robinson, T. P., & Metternicht, G. (2006). Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computers and electronics in agriculture*, 50(2), 97-108.
- Saini, K. S., & Brar, N. S. (2018). Crop and water productivity of sugar beet (*Beta vulgaris*) under different planting methods and irrigation schedules. *Agricultural Research*, 7, 93-97.
- Seydan, S. M., & Mansouri, H. (2019). Water productivity in sugar beet cultivation under classical and furrow irrigation system in Hamedan province. *Journal of Agroecology*, 11(2), 673-686. (In Persian).
- Soltani, G., Akbari, M. & Mohammadi, H. (2010). *Investigating water productivity in dry areas (case study of Marvdasht - Karbal Plain)*. 06th National Conference of Agricultural Economics. Feb. 3. Karaj, Iran. (In Persian).
- Taheri, M., Rezaverdinejad, V., Behmanesh, J., Abbasi, F., & Baghani, J. (2020). Spatial analysis of water productivity index at major wheat production centers of IRAN. *Journal of Water Research in Agriculture*, 34(2), 217-227. (in Persian).



Original Research

Zoning Analysis of Physical Water Productivity Index in the Hubs of Sugar Beet Production in Iran

Edris Tand, Fariborz Abbasi* and Jamal MohammadVali Samani

*Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Email: Fariborzabbasi@ymail.com

Received: 24 August 2023 **Accepted:** 19 September 2023

<https://doi.org/10.22092/IDSER.2023.363301.1552>

Extended Abstract

Introduction

Iran is characterized by a dry and semi-arid climate. The limited irrigated arable land in and the need for increasing food production due to the upward trend in population growth, coupled with water scarcity and Iran's heavy reliance on irrigation, have led to a heightened importance of water productivity in agricultural sector. In this regard, for the purpose of identifying and understanding the agricultural potential of farmlands, the analysis and estimation of physical water productivity can be utilized. The main objective of conducting this research is to evaluate various interpolation methods and to select the most appropriate method for estimating the physical water productivity of the sugar beet. Additionally, the study aims to investigate the spatial distribution pattern of sugar beet production in its major cultivation centers across Iran.

Methodology

To accomplish this research, 108 field measured data obtained from selected sugar beet farms across Iran for the agricultural year 2016-2017 were used. Data on crop yield, irrigation water, and a ten-year average effective precipitation were collected, and the water productivity index of sugar beet was calculated for the selected farms. To achieve this goal, initially, the data was analyzed using the capabilities of the SPSS software. Descriptive statistical analysis was conducted, and similar regions were classified into independent and homogeneous groups (by drawing a dendrogram). Additionally, the spatial analysis of the data was carried out using the GS⁺ software. Furthermore, various interpolation methods were employed to create a classification map using the Geographic Information System (GIS) software. These methods encompass algebraic methods, including weighted inverse distance, radial basis function, global polynomial, and local polynomial methods, as well as geostatistical methods like ordinary kriging, simple kriging, and universal kriging. To assess the different interpolation methods, validation methods were employed, and accuracy index values such as Mean Bias Error (MBE),

Mean Absolute Relative Error (MARE), Mean Squared Error (MSE), Mean Absolute Deviation (MAD), and Root Mean Square Error (RMSE) were utilized.

Results and Discussion

The results of the present study revealed that the water productivity index for sugar beet ranged from 2.60 to 13.11 kg/m³, with an average of 6.30 kg/m³. Despite the high standard deviation, the findings indicate a significant potential and high capacity for improving water productivity and crop performance in the sugar beet production hubs in Iran. Among the examined interpolation methods, the Radial Basis Function method with a completely regular spline model (CRS) exhibited acceptable accuracy (MBE=0.009) for generating the water productivity zoning map. The analysis of the generated map suggested that the western regions of the country, especially Kermanshah province, have higher water productivity index values compared to other parts of the country, making them more suitable for sugar beet cultivation. Furthermore, cluster analysis results for influential factors such as variety type, soil salinity, and irrigation water salinity indicated that within the study area, about 5% of the potential sugar beet cultivation areas could be divided into 23 distinct clusters. The minimum and maximum water productivity index were observed in cluster 11 (2.64 kg/m³) and cluster 3 (11.025 kg/m³), respectively.

Based on the low level of correlation coefficient according to the results of the Pearson correlation test, the physical productivity of water utilization can be influenced by various factors other than precipitation and climate parameters. These factors include salinity of water, soil salinity, total irrigation water, average effective precipitation (over a ten-year period), and crop yield. It can be concluded that, in addition to precipitation and climatic parameters, other constant factors including management factors have an impact on improving the physical efficiency of water utilization.

Conclusions

Given the high water consumption in agricultural sector and the need for increased production in cultivated lands, evaluating the water productivity of high-water-demand crops such as sugar beet in Iran is essential. Understanding its current state and obtaining comprehensive information from fields, as well as monitoring cultivated fields, are necessary for decision-making and macro-level planning to enhance and improve water productivity of sugar beet cultivation in Iran. However, due to the extensive cultivation area, costs, limited resources, and time constraints, this task is challenging and often unfeasible. To address this, the potential of interpolation tools can be utilized. These tools have the capability to extrapolate point-based information to spatial information (area-wide). Results have shown that the highest and lowest error values were associated with the kriging interpolation method and the radial basis function (completely regularized spline) method, respectively, for creating zoning maps. In conclusion, it can be stated that through interpolation, if there is a strong correlation between the data, a better understanding of the spatial distribution of water productivity can be achieved in the study area.

Keywords: Water productivity, Interpolation methods, Sugar beet