

بررسی تغییرات آب مجازی محصولات زراعی در عرض‌های جغرافیایی مختلف شرق کشور

علی عارفی‌نیا^۱، خالد احمدآلی^{۲*}

(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

(۲)* استادیار پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول مکاتبات: khaled.ahmadauli@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۰

چکیده:

دما یک عامل کلیدی در میزان عملکرد، نیاز آبی و در نتیجه آب مجازی محصولات مختلف کشاورزی است. لذا بررسی اثر عرض جغرافیایی به‌عنوان یکی از مؤثرترین عوامل بر میانگین دمای هر منطقه و متقابلاً بر تغییرات آب مجازی محصولات کشاورزی با توجه سهم عمده این بخش از مصرف آب (حدود ۹۰ درصد) امری ضروری است. در این تحقیق محتوای آب مجازی نه محصول عمده زراعی یعنی گندم، جو، یونجه، چغندر قند، ذرت، هندوانه، گوجه، پیاز و سیب‌زمینی در چهار استان شرقی کشور (شامل ۵۶ شهرستان) با استفاده از آمار ۲۰ ساله محاسبه گردید. سپس با استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار ArcGIS، متوسط آب مجازی هر یک از محصولات در عرض‌های جغرافیایی از ۲۵ تا ۳۸ درجه شمالی به فواصل یک درجه محاسبه شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بررسی میزان همبستگی بین آب مجازی با نیاز آبی و عملکرد محصولات نشان داد که میانگین آب مجازی با میانگین نیاز آبی محصولات مورد بررسی همبستگی مستقیم به‌اندازه ۶۵ درصد و با میانگین عملکرد آن‌ها ۷۴ درصد همبستگی معکوس دارد. مقادیر میانگین آب مجازی محصولات مورد بررسی از کمترین به بیشترین عبارت است از ۰/۱۹، ۰/۳۸، ۰/۴۵، ۰/۴۶، ۰/۵۳، ۰/۵۷، ۱/۵۹، ۱/۶۹ و ۱/۸۰ هزار مترمکعب بر تن که به ترتیب مربوط محصولات ذرت، چغندر قند، پیاز، هندوانه، گوجه، سیب‌زمینی، یونجه، جو و گندم است. نتایج نشان داد که الگوی تغییرات تابع آب مجازی محصولات مورد بررسی نسبت به متغیر مستقل عرض جغرافیایی در همه موارد گوسی شکل است که علیرغم مقادیر ماکزیمم متفاوت آب مجازی، این مقادیر، در بازه‌ی مکانی ۳۰ تا ۳۳ درجه عرض شمالی اتفاق افتاده است و با دور شدن از بازه ذکر شده به سمت عرض‌های بالاتر و یا پایین‌تر محتوی آب مجازی همه محصولات کاهش می‌یابد. از نتایج تحقیق حاضر می‌توان در برنامه‌ریزی‌های ملی آمایش سرزمین کشاورزی و پهنه‌بندی تناسب گیاه با اقلیم استفاده کرد.

کلید واژه‌ها: عرض جغرافیایی؛ عملکرد محصولات زراعی؛ محصولات غالب؛ نیاز آبی؛ آب مجازی

مقدمه

شرایط کمبود شدید آب زندگی می‌کنند (Ye et al., 2018). امروزه بحران آب به یک نگرانی جدی در سراسر جهان تبدیل شده است، زیرا شکاف بین افزایش تقاضا و منابع محدود آب به‌طور فزاینده‌ای در حال گسترش است. حدود ۷۰ درصد برداشت‌های آب شیرین برای تولید

آب شیرین از جنبه‌های گوناگون به‌عنوان یک عنصر برای اقتصاد، نظم اجتماعی و زندگی انسان ضروری است (Maeda et al., 2011). گزارش شده است که بیش از ۴ میلیارد نفر از جمعیت جهان حداقل در یک ماه از سال در

یا غیرمستقیم استفاده می‌شود که با توجه به شرایط اقلیمی، مکانی و فرهنگی متفاوت است و برای اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسط جغرافیدان بریتانیایی تونی آلن (J.A. Allan) مطرح شد (Akoto-Danso et al., 2019; Bazrafshan et al., 2019). با توجه به استقبال محققین صنعت آب از آب مجازی به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های سنجش بهره‌وری آب، محاسبه آب مجازی محصولات مختلف در مناطق با تنوع اقلیمی و مدل‌سازی نحوه تغییرات و بررسی عوامل تأثیرگذار بر آن امری ضروری است. توجه بیشتر محققین در بحث آب مجازی به محاسبه آب مجازی محصولات مختلف، بررسی تجارت بین‌المللی محصولات کشاورزی و مدیریت الگوی کشت در مقیاس ملی و استانی بوده است (Long et al., 2005; Ma et al., 2005; Chapagain & Hoekstra, 2007; Chapagain & Orr, 2009; Bulsink et al., 2010; Liu & Yang, 2010; Mekonnen & Hoekstra, 2011; Ababaei and Etedali, 2014; Ababaei and Etedali, 2017; Schwarz et al., 2019; Delpasand et al., 2020). با توجه به مرور منابع ملاحظه می‌گردد که مطالعات چندانی در رابطه با بررسی آب مجازی محصولات مختلف در مقیاس شهرستانی و همچنین بررسی عوامل اقلیمی مؤثر بر تغییرات آب مجازی صورت نگرفته لذا در تحقیق حاضر به بررسی تغییرات آب مجازی در عرض‌عای جغرافیایی مختلف با توجه به تأثیر زیاد عامل اقلیمی عرض جغرافیایی بر عناصر اقلیمی مؤثر بر آب مجازی (دما، بارش، سرعت باد و ...) برای نُه محصول عمده (گندم، جو، یونجه، چغندر قند، ذرت، هندوانه، گوجه، پیاز و سیب‌زمینی) استان‌های شرق کشور، در مقیاس شهرستان (۵۶ شهرستان) انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه ۵۶ شهرستان واقع در چهار استان شرقی ایران یعنی خراسان شمالی، خراسان رضوی،

محصولات کشاورزی استفاده می‌شود (FAO, 2005; Xiong et al., 2010; Fader et al., 2011; Liu et al., 2020). تولید محصولات کشاورزی با مصرف مقدار زیادی آب، آلودگی‌های غیرقانونی و انتشار گازهای گلخانه‌ای همراه است (Sun et al., 2019). یکی از مهم‌ترین عوامل در آمایش سرزمین کشاورزی محدودیت‌های اقلیمی هر منطقه است که بررسی اثرات پارامترهای اقلیمی بر تولید محصولات کشاورزی و بازده مصرف آب را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. افزایش دما سبب افزایش تبخیر-تعرق محصولات زراعی، تغییر در عملکرد محصول و به تبع آن باعث تغییر در بهره‌وری محصول می‌شود (FAO, 2011). عرض جغرافیایی در توزیع عناصر اقلیمی مانند دما، بارش و سرعت باد و به تبع آن در تولید محصولات زراعی نقش اساسی دارد (Lowry, 1972).

خشک‌سالی و کم‌آبی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و با توجه به روند روزافزون نیاز بخش‌های مختلف به آب، این مشکل در سالهای آتی حادث‌تر نیز خواهد شد. میانگین بارندگی درازمدت کشور ۲۴۳ میلیمتر (یک‌سوم میانگین جهانی) و پتانسیل تبخیر در کشور حدود ۲۰۰۰ میلی‌متر در سال (سه برابر متوسط جهانی) است (ناصری و همکاران، ۱۳۹۶). در این میان مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی که بخش کشاورزی که بخش عمده‌ای از مصرف آب را شامل می‌شود می‌تواند بسیار راهگشا باشد. پرواضح است که مؤثرترین و کاربردی‌ترین راه برای سازگاری با این وضعیت، برنامه‌ریزی برای استفاده بهینه و صرفه‌جویی در مصرف آب است. آب مجازی به‌عنوان شاخص‌های کمی و نسبتاً جدید مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی جهت تولید محصولات کشاورزی و امنیت پایدار غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آب مجازی یک روش مهم در مشاهده وضعیت منابع آب یک کشور است (Talozi et al., 2020). آب مجازی مجموع حجم آبی است که در مراحل مختلف تهیه تولید و ارائه یک محصول (غذا، کالا، انرژی یا خدمات) به‌صورت مستقیم

از سال را در برمی‌گیرد. میزان بارش سالانه در این نواحی بین ۳۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر متغیر است (پایگاه اینترنتی مرکز آمار ایران). قسمت‌های شمالی این منطقه شامل بخش وسیعی از خراسان شمالی و بخش‌های شمالی خراسان رضوی غالباً دارای آب‌وهوای معتدل کوهستانی است و میزان بارش در این نواحی بین ۲۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر متغیر است.

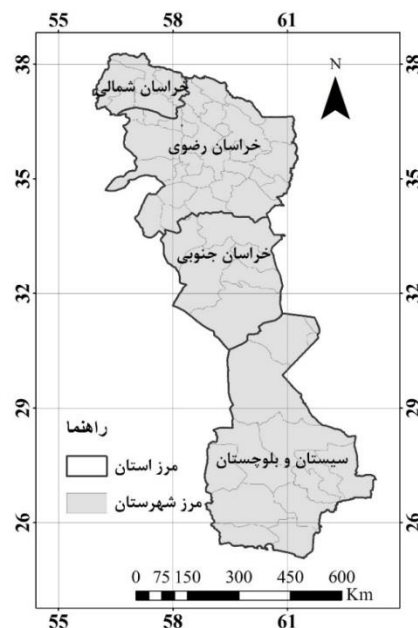
بر اساس آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی، میانگین بلندمدت (از سال ۱۳۶۱ تا سال ۱۳۹۷) کل سطح زیر کشت محصولات زراعی آبی چهار استان شرقی کشور حدود ۹۶۹ هزار هکتار است و عمده‌ترین محصولات آبی منطقه نه محصول شامل: گندم، جو، یونجه، چغندرقد، ذرت، هندوانه، گوجه، پیاز و سیب‌زمینی است که سطح زیر کشت آن به ۸۹۵ هزار هکتار می‌رسد که این میزان بالغ بر ۹۲ درصد کل سطح زیر کشت محصولات آبی منطقه است.

برآورد آب مجازی

حجم آب موردنیاز برای تولید یک محصول بستگی به نوع گیاه (خصوصیات بیولوژیکی گیاه، نوع گیاه و گونه گیاه)، موقعیت جغرافیایی (شرایط جوی، دما، سرعت باد، تابش خورشید، تعداد ساعات آفتابی، رطوبت و سایر فاکتورها نظیر رطوبت خاک، بافت خاک، سطح آب زیرزمینی و...) و شیوه مدیریت دارد.

میزان آب مجازی محصولات کشاورزی با استفاده از میزان آب موردنیاز گیاه (CWR) و عملکرد آن محصول (Y) محاسبه می‌گردد. Hoekstra و Hung (2005) از تبخیر-تعرق واقعی (ET_c) برای محاسبه میزان آب مورد نیاز گیاه استفاده کردند. فاکتورهای اصلی که بر تبخیر-تعرق واقعی تأثیرگذار هستند عبارت‌اند از: فاکتورهای اقلیمی شامل بارندگی، درجه حرارت، فشار بخار آب، تابش خورشید، سرعت باد، نوع گیاه، شرایط خاک و زمان کشت گیاه.

خراسان جنوبی و سیستان-بلوچستان است. مساحت این منطقه حدوداً ۴۲۴۴۵۵ کیلومتر مربع است که در طول‌های ۵۵ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و عرض‌های ۲۵ درجه و ۶ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی واقع شده است. این منطقه از شمال و شمال شرق با کشور ترکمنستان، از شرق با کشور افغانستان، از جنوب شرقی با پاکستان و از جنوب با دریای عمان مرز بین-المللی مشترک دارد. همچنین از شمال غربی تا جنوب غربی به ترتیب با استان‌های گلستان، سمنان، یزد، کرمان و هرمزگان مرز داخلی مشترک دارد. میانگین ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۱۲۰۰ متر است. ارتفاعات این منطقه شامل بخش شرقی رشته‌کوه البرز و بلندی‌های شرقی ایران است. شکل ۱ موقعیت استان‌ها و شهرستان‌های منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان‌ها و شهرستان‌های منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه از قسمت‌های جنوبی رشته‌کوه البرز تا کناره‌های جنوبی دارای آب‌وهوای بیابانی و نیمه بیابانی است. از ویژگی‌های این نوع آب‌وهوا، وجود دوره‌های گرم و خشک طولانی است که گاه بیش از ۷ ماه

۱۰ در این فرمول برای تبدیل میلی‌متر به مترمکعب بر هکتار استفاده شده است).

بارش مؤثر از روش USDA SCS محاسبه شد. در این روش مقداری از باران که طی دوره رشد یک گیاه دریافت شده و برای مصارف آن در دسترس قرار گیرد، بارش مؤثر نامیده می‌شود (Ali and Mubarak, 2017). میزان بارش مؤثر ماهانه طبق رابطه ۴ محاسبه شد.

$$p_{eff} = \begin{cases} \frac{p(125 - 0.2p)}{125} & p \leq 250 \text{ mm} \\ 125 + 0.1p & p > 250 \text{ mm} \end{cases} \quad (4)$$

مقدار آب مجازی (VWC) توسط یک محصول عبارت است از مقدار آب موردنیاز برای تولید یک واحد محصول که به دلیل تنوع اقلیمی کشور هر محصول در نواحی مختلف میزان آب مصرفی و نیز عملکرد متفاوتی دارد لذا برای هر محصول و در هر منطقه به‌طور جداگانه مقادیر آب مجازی رابطه ۵ محاسبه گردید (Fang et al., 2010):

$$VWC = \frac{CWR}{Y} \quad (5)$$

که در آن VWC = مقدار آب مجازی محصول برحسب مترمکعب بر تن، CWR = نیاز آبی محصول برحسب مترمکعب بر هکتار و Y = متوسط عملکرد سالانه محصول برحسب تن بر هکتار است.

اغلب محصولات مناطق شرقی ایران به خاطر شرایط اقلیمی به‌صورت فاریاب تولید می‌گردد، بنابراین در این پژوهش به میزان آب مجازی محصولات آبی پرداخته شده است. به‌منظور تعیین نیاز آبی محصولات مورد مطالعه (صورت کسر آب مجازی)، ابتدا تبخیر-تعرق مرجع و همچنین بارش مؤثر در هر یک ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT 8.0 محاسبه شد. علاوه بر داده‌های موقعیت جغرافیایی، ارتفاع ایستگاه موردنظر و دوره رشد محصولات (با استفاده از آمار موجود در سند ملی آب کشور) داده‌های دیگری

میزان آب موردنیاز سالانه گیاه با استفاده از روشی که توسط سازمان خواروبار جهانی توسعه داده شده، محاسبه گردید، (رابطه ۱)، (Allen et al., 1998).

$$ET_c = \sum_{i=1}^{12} K_{ci} \times ET_0 \quad (1)$$

که ET_c = میزان تبخیر-تعرق پتانسیل برحسب میلی‌متر، K_c = ضریب گیاهی، i = شمارنده ماه و ET_0 = میزان تبخیر-تعرق مرجع برحسب میلی‌متر است که از روش PMF-56 به‌عنوان روشی که هم در مناطق خشک و هم در مناطق مرطوب دارای بیشترین دقت است، مطابق **Error! Reference source not found.** (Allen et al., 1998).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (2)$$

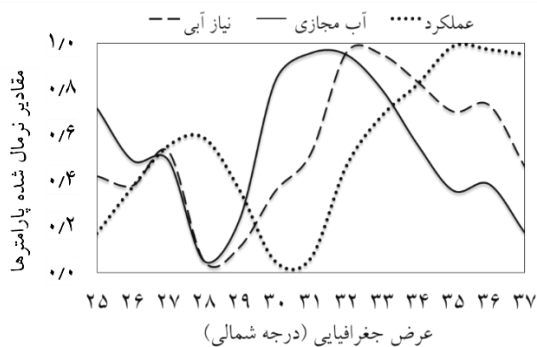
که در آن ET_0 = تبخیر-تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز)، R_n = تشعشع خالص در سطح گیاه (مگا ژول بر مترمربع در روز)، G = فلاکس حرارتی خاک (مگا ژول بر مترمربع در روز)، T = میانگین دمای روزانه در ارتفاع دو متری (درجه سلسیوس)، U_2 = سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)، e_s = فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)، e_a = فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال)، Δ = شیب منحنی فشار بخار اشباع و دما (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس) و γ = ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس) است (Allen et al., 1998).

میزان آب موردنیاز گیاه را می‌توان از رابطه ۳ محاسبه کرد:

$$CWR = 10(ET_c - P_{eff}) \quad (3)$$

که P_{eff} = بارندگی مؤثر برحسب میلی‌متر (بر اساس رابطه حفاظت خاک آمریکا) و CWR = میزان آب موردنیاز گیاه برحسب مترمکعب بر هکتار است (ضریب

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌گردد، بیشترین میزان نیاز آبی محصول گندم مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۲ تا ۳۳ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان گناباد به میزان ۵۵۴۹ (مترمکعب بر هکتار) است، همچنین کمترین میزان نیاز آبی محصول گندم مربوط به مناطق بین عرض‌های ۲۸ تا ۲۹ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان خاش به میزان ۲۶۸۳ (مترمکعب بر هکتار) است. بیشترین میزان عملکرد محصول گندم مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۵ تا ۳۶ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان تربت‌جام به میزان ۳۵۸۹ (کیلوگرم بر هکتار) است، همچنین کمترین میزان عملکرد محصول گندم مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۰ تا ۳۱ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان زابل به میزان ۱۵۴۳ (کیلوگرم بر هکتار) است. بیشترین میزان مصرف آب مجازی گندم در گستره منطقه مطالعاتی مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۱ تا ۳۲ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان درمیان به میزان ۲۵۳۷ (مترمکعب بر تن) است، همچنین کمترین میزان مصرف آب مجازی گندم مربوط به مناطق بین عرض‌های ۲۸ تا ۲۹ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان مشهد به میزان ۹۹۰ (مترمکعب بر تن) است.



شکل ۲- روند تغییرات نیاز آبی، عملکرد و آب مجازی محصول گندم در عرض‌های جغرافیایی مختلف

نتایج نشان می‌دهد که بین نیاز آبی و آب مجازی گندم در عرض‌های جغرافیایی مختلف شرق کشور ۵۳

شامل میانگین بلندمدت (۲۰ ساله) میانگین حداکثر دمای ماهانه، میانگین حداقل دمای ماهانه، میانگین رطوبت نسبی ماهانه، میانگین ماهانه سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین، مجموع ساعات آفتابی ماهانه و مجموع بارش ماهانه استفاده شد.

در قسمت دوم به منظور محاسبه عملکرد محصولات مورد مطالعه (مخرج کسر آب مجازی)، داده‌های مربوط به سطح زیر کشت و تولید محصولات از بانک اطلاعاتی وزارت جهاد کشاورزی با مراجعه حضوری دریافت گردید. سپس با استفاده از آزمون‌های آماری (توزیع نرمال) در سطح اطمینان ۹۵ درصد داده‌های پرت (شامل سال‌هایی که با دخالت بیش‌ازحد عوامل انسانی عملکرد نرمال منطقه بشدت تحت تأثیر قرار گرفته است) حذف گردید. در ادامه نیز میانگین بلندمدت (۲۰ ساله) عملکرد هر محصول، در شهرستان‌های مربوط به دشت‌هایی که ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه به‌عنوان ایستگاه معرف آن‌ها بودند، به‌عنوان عملکرد شاخص آن ایستگاه در محاسبات مربوط به آب مجازی در نظر گرفته شد.

نهایتاً نقشه پراکندگی نیاز آبی، عملکرد محصول و آب مجازی محصولات مورد مطالعه در گستره چهار استان شرقی کشور در محیط ArcGIS تهیه شد و میانگین منطقه‌ای هر یک از این پارامترها در بازه‌های یک‌درجه‌ای عرض جغرافیایی از ۲۵ تا ۳۸ درجه عرض شمالی در توسط توابع موجود در محیط ArcGIS محاسبه شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

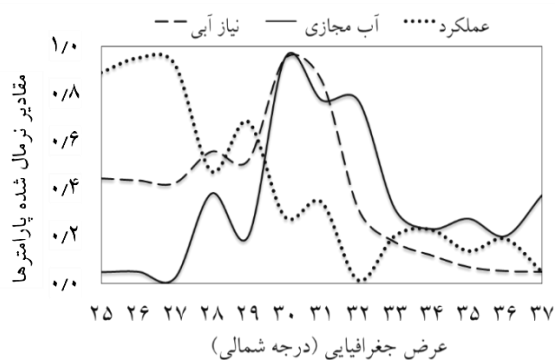
نتایج و بحث

در ادامه به بررسی روند تغییرات میانگین ۲۰ ساله نیاز آبی، عملکرد و آب مجازی محصولات نه‌گانه در عرض‌های جغرافیایی مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۲ روند تغییرات نیاز آبی، عملکرد و آب مجازی محصول گندم در عرض‌های جغرافیایی مختلف نشان داده شده است.

عرض‌های ۳۱ تا ۳۲ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان سیب و سوران به میزان ۲۵۱۹ (مترمکعب بر تن) و کمترین میزان آب مجازی مربوط به مناطق بین عرض‌های ۲۸ تا ۲۹ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان مشهد به میزان ۸۸۷ (مترمکعب بر تن) است.

میزان همبستگی بین آب مجازی این محصول با نیاز آبی ۴۷ درصد و به‌صورت مستقیم درحالی‌که این همبستگی با عملکرد محصول ۵۹ درصد و به‌صورت معکوس است. نتایج نشان می‌دهد که روند تغییرات آب مجازی در امتداد عرض جغرافیایی از جنوب به شمال همانند محصول گندم یک روند کاهش-افزایش-کاهش است. دلیل یکسان بودن روند تغییرات آب مجازی گندم و جو را می‌توان به شباهت گندم و جو دانست.

شکل ۴ روند تغییرات نیاز آبی، عملکرد و آب مجازی محصول یونجه در عرض‌های جغرافیایی مختلف نشان می‌دهد.

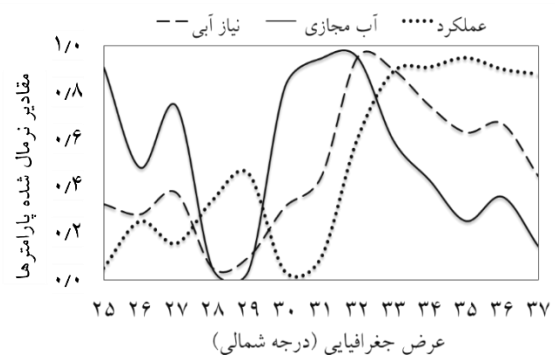


شکل ۴- روند تغییرات نیاز آبی، عملکرد و آب مجازی یونجه در عرض‌های جغرافیایی مختلف

بر اساس شکل ۴ مشاهده می‌گردد که بیشترین میزان نیاز آبی یونجه مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۰ تا ۳۱ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان زابل به میزان ۲۳۱۱۰ (مترمکعب بر هکتار) و کمترین مقدار آن مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۶ تا ۳۷ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان قوچان به میزان ۸۱۰۹ (مترمکعب بر هکتار) است. بیشترین عملکرد یونجه مربوط به مناطق بین عرض‌های ۲۶ تا ۲۷ درجه شمالی شامل دشت‌های

درصد همبستگی به‌صورت مستقیم وجود دارد. این همبستگی بین عملکرد گندم با آب مجازی در عرض‌های جغرافیایی مختلف ۵۵ درصد اما به‌صورت معکوس است. نتایج نشان می‌دهد از جنوب به شمال به ترتیب یک روند کاهش-افزایش-کاهش در میزان مصرف آب مجازی محصول گندم در شرق کشور وجود دارد.

شکل ۳ روند تغییرات نیاز آبی، عملکرد و آب مجازی محصول جو در عرض‌های جغرافیایی مختلف را نشان می‌دهد.



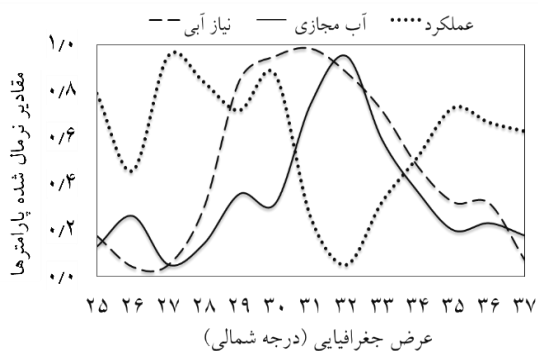
شکل ۳- روند تغییرات نیاز آبی، عملکرد و آب مجازی محصول جو در عرض‌های جغرافیایی مختلف

با توجه به شکل ۳ ملاحظه می‌گردد که روند تغییرات نیاز آبی جو شبیه گندم است طوری که بیشترین میزان نیاز آبی این محصول در مناطق بین عرض‌های ۳۲ تا ۳۳ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان سبزوار به میزان ۵۴۲۸ (مترمکعب بر هکتار) و کمترین میزان نیاز آبی مربوط به مناطق بین عرض‌های ۲۸ تا ۲۹ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان خاش به میزان ۲۱۴۲ (مترمکعب بر هکتار) است. بیشترین میزان عملکرد جو مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۵ تا ۳۶ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان گرمه به میزان ۳۲۴۰ (کیلوگرم بر هکتار) است و کمترین عملکرد مربوط به مناطق بین عرض‌های ۲۸ تا ۲۹ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان کنارک به میزان ۱۲۲۳ (کیلوگرم بر هکتار) است. روند تغییرات آب مجازی جو شبیه به گندم است و بیشترین میزان آب مجازی آن مربوط به مناطق بین

بر هکتار) و کمترین مقدار آن مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۶ تا ۳۷ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان قوچان به میزان ۸۸۴۶ (مترمکعب بر هکتار) است. بیشترین میزان عملکرد چغندر قند مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۵ تا ۳۶ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان بینالود به میزان ۴۴۲۰۸ (کیلوگرم بر هکتار) و کمترین آن مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۱ تا ۳۲ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان سریش به میزان ۲۱۰۳۲ (کیلوگرم بر هکتار) است. بیشترین مقدار آب مجازی چغندر قند مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۱ تا ۳۲ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان سریش به میزان ۵۹۷ (مترمکعب بر تن) و کمترین آن مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۵ تا ۳۶ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان بینالود به میزان ۲۱۶ (مترمکعب بر تن) است.

نتایج نشان می‌دهد که بین نیاز آبی و آب مجازی چغندر قند ۸۴ درصد همبستگی مستقیم و بین عملکرد و آب مجازی ۹۳ درصد همبستگی معکوس وجود دارد. نتایج نشان می‌دهد از جنوب به شمال به ترتیب یک روند افزایش-کاهش کلی در میزان آب مجازی چغندر قند در شرق کشور وجود دارد.

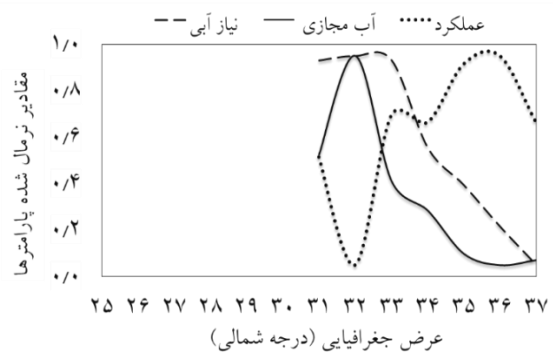
شکل ۶ تغییرات نیاز آبی، عملکرد و آب مجازی محصول ذرت را در عرض‌های جغرافیایی مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۶- روند تغییرات نیاز آبی، عملکرد و آب مجازی محصول ذرت در عرض‌های جغرافیایی مختلف

شهرستان ایرانشهر به میزان ۱۶۸۴۱ (کیلوگرم بر هکتار) و کمترین مقدار آن مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۲ تا ۳۳ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان مانه و سملقان به میزان ۴۹۷۷ (کیلوگرم بر هکتار) است.

بیشترین میزان آب مجازی یونجه در گستره منطقه مطالعاتی مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۰ تا ۳۱ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان زابل به میزان ۲۸۴۶ (مترمکعب بر تن) و کمترین میزان آن مربوط به مناطق بین عرض‌های ۲۷ تا ۲۸ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان ایرانشهر به میزان ۸۸۹ (مترمکعب بر تن) است. مقدار آب مجازی یونجه در عرض‌های جغرافیایی مختلف با نیاز آبی دارای ۵۲ درصد همبستگی مستقیم و با عملکرد ۵۸ درصد همبستگی معکوس دارد. همچنین نتایج نشان داد که آب مجازی این محصول از جنوب به شمال به ترتیب یک روند افزایش-کاهش دارد که مشابه روند تغییرات گندم و جو نیست. روند تغییرات نیاز آبی، عملکرد و آب مجازی چغندر قند در عرض‌های جغرافیایی مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- روند تغییرات نیاز آبی، عملکرد و آب مجازی چغندر قند در عرض‌های جغرافیایی مختلف

با توجه به شکل ۵ ملاحظه می‌گردد که در منطقه مورد مطالعه، چغندر قند در عرض‌های پایین‌تر از ۳۱ درجه (استان سیستان و بلوچستان) کشت نمی‌شود. نتایج نشان می‌دهد بیشترین میزان نیاز آبی این محصول مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۲ تا ۳۳ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان بیرجند به میزان ۱۲۹۷۴ (مترمکعب

شکل ۷- روند تغییرات نیاز آبی، عملکرد و آب مجازی محصول هندوانه در عرض‌های جغرافیایی مختلف

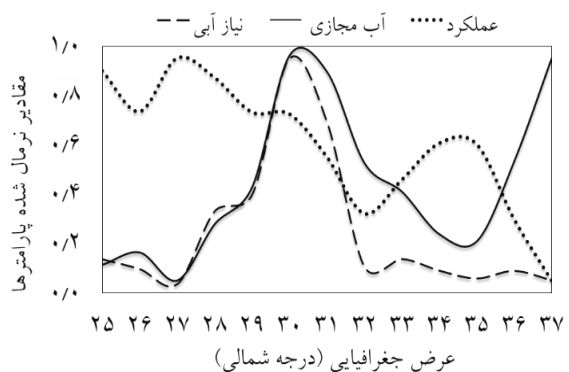
بر اساس شکل ۷ ملاحظه می‌شود که بیشترین میزان نیاز آبی هندوانه مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۰ تا ۳۱ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان زابل به میزان ۱۵۵۵۱ (مترمکعب بر هکتار) و کمترین آن مربوط به مناطق بین عرض‌های ۲۶ تا ۲۷ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان قوچان به میزان ۵۰۲۹ (مترمکعب بر هکتار) است. بیشترین میزان عملکرد هندوانه مربوط به مناطق بین عرض‌های ۲۶ تا ۲۷ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان ایرانشهر به میزان ۳۰۰۸۳ (کیلوگرم بر هکتار) و کمترین آن مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۶ تا ۳۷ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان بجنورد به میزان ۵۱۵۷ (کیلوگرم بر هکتار) است. بیشترین میزان آب مجازی هندوانه مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۶ تا ۳۷ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان بجنورد به میزان ۱۲۸۱ (مترمکعب بر تن) و کمترین میزان آن مربوط به مناطق بین عرض‌های ۲۶ تا ۲۷ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان ایرانشهر به میزان ۲۰۵ (مترمکعب بر تن) است.

نتایج نشان‌دهنده وجود همبستگی مستقیم بین نیاز آبی و آب مجازی هندوانه در عرض‌های جغرافیایی مختلف به میزان ۶۱ درصد و همبستگی معکوس بین عملکرد و آب مجازی به میزان ۶۰ درصد است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که از جنوب به شمال به ترتیب یک روند افزایش-کاهش-افزایش کلی در میزان آب مجازی محصول هندوانه در شرق کشور وجود دارد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد کاهش شدید عملکرد هندوانه در عرض‌های بیشتر از ۳۵ درجه شمالی باعث افزایش شدید میزان آب مجازی این محصول در این ناحیه شده است.

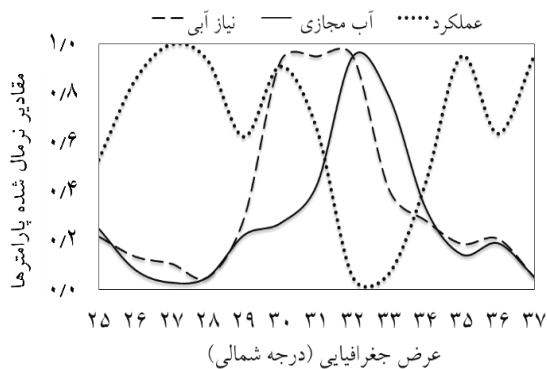
شکل ۶ نشان می‌دهد که بیشترین میزان نیاز آبی ذرت مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۰ تا ۳۱ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان زابل به میزان ۸۸۳۲ (مترمکعب بر هکتار) و کمترین مقدار آن مربوط به مناطق بین عرض‌های ۲۷ تا ۲۸ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان قوچان به میزان ۶۰۷۲ (مترمکعب بر هکتار) است. بیشترین عملکرد مربوط به عرض‌های ۳۵ تا ۳۶ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان ایرانشهر به میزان ۵۹۳۹۱ (کیلوگرم بر هکتار) و کمترین میزان مربوط به عرض‌های ۳۱ تا ۳۲ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان سریش به میزان ۲۳۶۲۱ (کیلوگرم بر هکتار) است. بیشترین آب مجازی ذرت بین عرض‌های ۳۱ تا ۳۲ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان سریش به میزان ۳۵۶ (مترمکعب بر تن) و کمترین آن بین عرض‌های ۲۶ تا ۲۷ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان ایرانشهر به میزان ۱۱۰ (مترمکعب بر تن) است.

نتایج همبستگی بین نیاز آبی و آب مجازی ذرت در عرض‌های جغرافیایی مختلف نشان‌دهنده وجود ۷۶ درصد همبستگی مستقیم و این نتایج بین عملکرد و آب مجازی برابر ۹۰ درصد همبستگی معکوس است. نتایج حاکی از وجود یک روند افزایش-کاهش در آب مجازی ذرت از جنوب به شمال منطقه مورد مطالعه است.

تغییرات نیاز آبی، عملکرد و آب مجازی هندوانه در عرض‌های جغرافیایی مختلف در شکل ۷ نشان داده شده است.



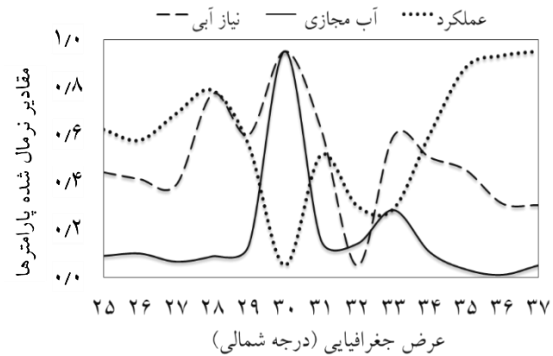
نتایج نشان می‌دهد که بین میزان تغییرات نیاز آبی و آب مجازی گوجه‌فرنگی ۶۴ درصد همبستگی مستقیم وجود دارد و بین عملکرد و آب مجازی این محصول در عرض‌های جغرافیایی مختلف ۷۸ درصد همبستگی معکوس وجود دارد. روند تغییرات آب مجازی گوجه از جنوب به شمال به صورت افزایش-کاهش است. روند تغییرات نیاز آبی، عملکرد و آب مجازی محصول پیاز در عرض‌های جغرافیایی مختلف در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹- روند تغییرات نیاز آبی، عملکرد و آب مجازی محصول پیاز در عرض‌های جغرافیایی مختلف

با توجه به شکل ۹ ملاحظه می‌گردد که بیشترین میزان نیاز آبی پیاز مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۰ تا ۳۱ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان نهبندان به میزان ۱۲۷۳۹ (مترمکعب بر هکتار) و کمترین آن مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۶ تا ۳۷ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان قوچان به میزان ۶۶۶۲ (مترمکعب بر هکتار) است. بیشترین میزان عملکرد پیاز مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۵ تا ۳۶ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان چناران به میزان ۴۴۹۶۵ (کیلوگرم بر هکتار) و کمترین آن مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۲ تا ۳۳ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان سرخس به میزان ۱۰۵۹۱ (کیلوگرم بر هکتار) است. همچنین بیشترین میزان آب مجازی پیاز در گستره منطقه مطالعاتی مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۰ تا ۳۱ درجه شمالی شامل

روند تغییرات نیاز آبی، عملکرد و آب مجازی گوجه-فرنگی در عرض‌های جغرافیایی مختلف در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸- روند تغییرات نیاز آبی، عملکرد و آب مجازی محصول گوجه‌فرنگی در عرض‌های جغرافیایی مختلف

همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌گردد، بیشترین میزان نیاز آبی گوجه‌فرنگی مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۰ تا ۳۱ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان زابل به میزان ۱۳۰۱۵ (مترمکعب بر هکتار) و کمترین مقدار آن مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۲ تا ۳۳ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان بیرجند به میزان ۶۲۲۸ (مترمکعب بر هکتار) است.

بیشترین عملکرد گوجه مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۵ تا ۳۶ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان چناران به میزان ۳۹۰۴۴ (کیلوگرم بر هکتار) و کمترین آن مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۰ تا ۳۱ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان زهک به میزان ۵۶۸۳ (کیلوگرم بر هکتار) است. بیشترین مقدار آب مجازی گوجه‌فرنگی مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۰ تا ۳۱ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان زهک به میزان ۲۲۵۱ (مترمکعب بر تن) و کمترین میزان آن مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۵ تا ۳۶ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان تخت جلگه به میزان ۲۰۵ (مترمکعب بر تن) است.

عرض‌های ۲۶ تا ۲۷ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان سرباز به میزان ۳۴۲۳۸ (کیلوگرم بر هکتار) و کمترین آن مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۰ تا ۳۱ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان درمیان به میزان ۱۰۳۰۸ (کیلوگرم بر هکتار) است. بیشترین میزان مجازی این محصول مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۰ تا ۳۱ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان زابل به میزان ۱۲۲۴ (مترمکعب بر تن) و کمترین آن مربوط به مناطق بین عرض‌های ۲۷ تا ۲۸ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان ایرانشهر به میزان ۱۲۸ (مترمکعب بر تن) است.

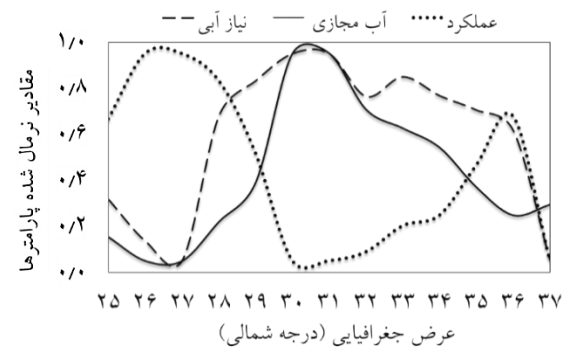
بین نیاز آبی و آب مجازی سیب‌زمینی در عرض‌های جغرافیایی مختلف ۷۹ درصد همبستگی مستقیم و بین میزان عملکرد و آب مجازی این محصول در عرض‌های جغرافیایی مختلف ۸۵ درصد همبستگی معکوس وجود دارد. نتایج نشان می‌دهد از جنوب به شمال به ترتیب یک روند افزایش-کاهش کلی در میزان مصرف آب مجازی محصول سیب‌زمینی در شرق کشور وجود دارد.

با جمع‌بندی مطالب ذکر شده در بالا می‌توان بیان کرد که همبستگی بین نیاز آبی و آب مجازی محصولات مورد مطالعه مستقیم و به‌طور متوسط برابر ۶۵ درصد است و همبستگی بین عملکرد و آب مجازی محصولات ذکر شده معکوس و به‌طور متوسط برابر ۷۴ درصد است.

جدول ۱ میزان همبستگی آب مجازی محصولات مختلف را با نیاز آبی، عملکرد، تبخیر و تعرق، باران موثر و عرض جغرافیایی نشان می‌دهد.

دشت‌های شهرستان درمیان به میزان ۹۶۷ (مترمکعب بر تن) و کمترین مقدار آن مربوط به مناطق بین عرض‌های ۳۵ تا ۳۶ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان چناران به میزان ۱۰۸ (مترمکعب بر تن) است.

نتایج همبستگی بین نیاز آبی و آب مجازی محصول پیاز در عرض‌های جغرافیایی مختلف مستقیم و به میزان ۶۷ درصد و بین عملکرد و آب مجازی معکوس و برابر ۹۱ درصد است. روند تغییرات آب مجازی این محصول از جنوب به شمال افزایش-کاهش است. روند تغییرات نیاز آبی، عملکرد و آب مجازی سیب‌زمینی در عرض‌های جغرافیایی مختلف در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰- روند تغییرات نیاز آبی، عملکرد و آب مجازی محصول سیب‌زمینی در عرض‌های جغرافیایی مختلف

با توجه به شکل ۱۰ ملاحظه می‌شود که بیشترین نیاز آبی سیب‌زمینی مربوط به مناطق واقع در عرض‌های ۳۰ تا ۳۱ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان سرخس به میزان ۱۲۹۴۵ (مترمکعب بر هکتار) و کمترین آن مربوط به مناطق بین عرض‌های ۲۷ تا ۲۸ درجه شمالی شامل دشت‌های شهرستان ایرانشهر به میزان ۳۰۵۳ (مترمکعب بر هکتار) است. بیشترین میزان عملکرد سیب‌زمینی در

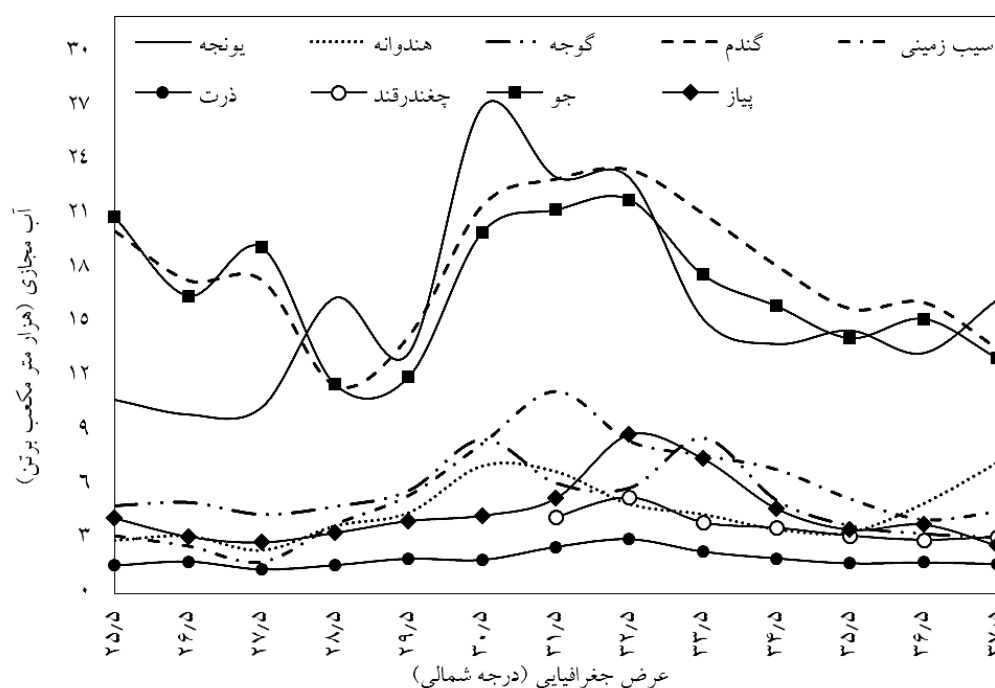
جدول ۱- نتایج محاسبه همبستگی آب مجازی محصولات با نیاز آبی، عملکرد، تبخیر و تعرق، باران موثر و عرض جغرافیایی

متغیر	نوع محصول								
	گندم	جو	یونجه	چغندر قند	ذرت	هندوانه	گوجه‌فرنگی	پیاز	سیب‌زمینی
CWR	۵۳	۴۷	۵۲	۸۴	۷۶	۶۱	۶۴	۶۷	۷۹
Y	-۵۵	-۵۹	-۵۸	-۹۳	-۹۰	-۶۰	-۷۸	-۹۱	-۸۵

ET	۵۹	۷۴	۴۹	۷۲	۷۲	۷۵	۷۱	۶۱	۴۶
P _{eff}	۶۳	۷۵	۵۶	۵۷	۷۵	۸۰	۷۱	۷۳	۷۲
latitude	۳۵	۶۰	۵۳	۷۱	۷۲	۷۳	۷۷	۵۷	۷۹

تبخیر و تعرق، باران موثر و عرض جغرافیایی به ترتیب مربوط به جو، گندم، سیب‌زمینی، یونجه و گندم است. شکل ۱۱ تغییرات متوسط ۲۰ ساله آب مجازی محصولات مورد مطالعه در عرض‌های جغرافیایی مختلف را نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج جدول ۱ بیشترین میزان همبستگی بین آب‌مجازی محصولات مختلف با نیاز آبی، عملکرد، تبخیر و تعرق، باران موثر و عرض جغرافیایی به ترتیب مربوط به چغندر قند، چغندر قند، هندوانه، هندوانه و سیب‌زمینی است، همچنین کمترین میزان همبستگی بین آب‌مجازی محصولات مختلف با نیاز آبی، عملکرد،



شکل ۱۱- روند تغییرات آب مجازی محصولات مورد مطالعه در عرض‌های جغرافیایی مختلف

الگوی تغییرات تابع آب مجازی نسبت به متغیر مستقل عرض جغرافیایی در همه موارد گوسی شکل است که علیرغم مقدار ماکزیمم متفاوت، همگی در بازه مشخص و کوچکی از عرض جغرافیایی اتفاق می‌افتد. این بازه که تقریباً آب مجازی محصولات مورد مطالعه در آن ماکزیمم است، بازه‌ی ۳۰ تا ۳۳ درجه شمالی است که هرچه از این محدوده به سمت شمال و جنوب حرکت کنیم آب مجازی کاهش می‌یابد. علت اصلی کاهش میزان آب مجازی در مناطق جنوبی، برای محصولاتی با دوره

اولین نکته‌ای که از شکل ۱۱ به ذهن می‌رسد، شباهت بسیار زیاد روند تغییرات محصولات یونجه، چغندر قند، ذرت، گوجه‌فرنگی، پیاز و سیب‌زمینی با هم و دو محصول گندم و جو - که هردو جزو غلات هستند - با همدیگر است. این محصولات جزو محصولات صنعتی هستند. در میان محصولات مورد بررسی، الگوی تغییرات آب مجازی هندوانه - که جزو محصولات جالیزی است - با عرض جغرافیایی، با همه محصولات متفاوت بود.

جهت کشت بر اساس میزان بهینه مصرف آب مجازی در محدود عرض‌های مورد مطالعه با فواصل یک درجه یک درجه، از عرض ۲۵ تا ۳۸ درجه در جدول ۲ آمده است.

رشد زمستانه نظیر گندم و جو، کاهش قابل توجه طول دوره رشد گیاه و برای سایر محصولات که دوره رشد آن‌ها یک‌ساله است نظیر یونجه و ذرت افزایش قابل توجه عملکرد است. جایگاه هریک از محصولات مورد مطالعه

جدول ۲- رتبه‌بندی محصولات مورد مطالعه بر اساس میزان بهینه آب مجازی در عرض‌های جغرافیایی مختلف

عرض جغرافیایی		رتبه محصول از نظر میزان آب مجازی (رتبه ۱ کمترین و ۹ بیشترین)								
(درجه شمالی)		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۲۵-۲۶	ذرت	هندوانه	سیب‌زمینی	پیاز	گوجه‌فرنگی	یونجه	گندم	جو	-	-
۲۶-۲۷	ذرت	سیب‌زمینی	پیاز	هندوانه	گوجه‌فرنگی	یونجه	جو	گندم	-	-
۲۷-۲۸	ذرت	سیب‌زمینی	هندوانه	پیاز	گوجه‌فرنگی	یونجه	گندم	جو	-	-
۲۸-۲۹	ذرت	پیاز	هندوانه	سیب‌زمینی	گوجه‌فرنگی	گندم	جو	یونجه	-	-
۲۹-۳۰	ذرت	پیاز	هندوانه	سیب‌زمینی	گوجه‌فرنگی	جو	یونجه	گندم	-	-
۳۰-۳۱	ذرت	پیاز	هندوانه	سیب‌زمینی	گوجه‌فرنگی	جو	گندم	یونجه	-	-
۳۱-۳۲	ذرت	چغندر قند	پیاز	گوجه‌فرنگی	هندوانه	سیب‌زمینی	جو	گندم	یونجه	-
۳۲-۳۳	ذرت	هندوانه	چغندر قند	گوجه‌فرنگی	سیب‌زمینی	پیاز	جو	یونجه	گندم	-
۳۳-۳۴	ذرت	چغندر قند	هندوانه	پیاز	سیب‌زمینی	گوجه‌فرنگی	یونجه	جو	گندم	-
۳۴-۳۵	ذرت	هندوانه	چغندر قند	پیاز	گوجه‌فرنگی	سیب‌زمینی	یونجه	جو	گندم	-
۳۵-۳۶	ذرت	چغندر قند	هندوانه	پیاز	گوجه‌فرنگی	سیب‌زمینی	جو	یونجه	گندم	-
۳۶-۳۷	ذرت	چغندر قند	گوجه‌فرنگی	پیاز	سیب‌زمینی	هندوانه	یونجه	جو	گندم	-
۳۷-۳۸	ذرت	پیاز	گوجه‌فرنگی	چغندر قند	سیب‌زمینی	هندوانه	جو	گندم	یونجه	-

با توجه به شکل ۱۲ ملاحظه می‌گردد که بیشترین و کمترین مقدار میانگین آب مجازی محصولات مورد مطالعه به ترتیب مربوط به یونجه به میزان ۲/۷ (هزار مترمکعب بر تن) و ذرت به میزان ۰/۳ (هزار مترمکعب بر تن) است.

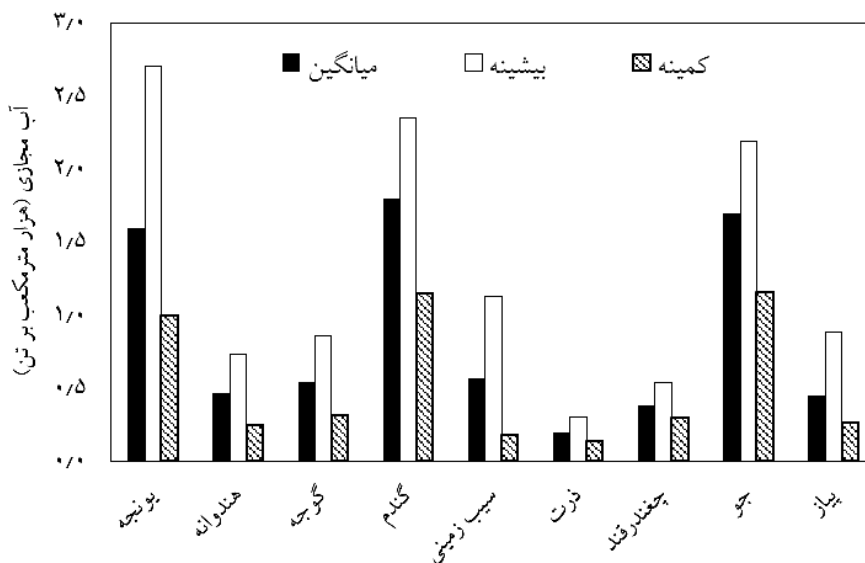
نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی تغییرات میانگین ۲۰ ساله آب مجازی نه محصول عمده در ۵۶ شهرستان شرق کشور،

بر اساس نتایج جدول ۲ مشاهده می‌گردد که در کلیه عرض‌های جغرافیایی مورد مطالعه، محصول ذرت از نظر میزان آب مجازی در جایگاه نخست قرار دارد. چغندر قند، گندم و جو در مناطق بین عرض‌های ۲۵ تا ۳۱ درجه به‌عنوان پرمصرف‌ترین محصولات از نظر میزان آب مجازی هستند، همچنین سه محصول گندم، جو و یونجه در عرض‌های بالاتر از ۳۱ درجه به‌عنوان پرمصرف‌ترین محصولات از نظر مصرف آب مجازی به‌حساب می‌آیند. شکل ۱۲ مقادیر میانگین، بیشینه و کمینه آب مجازی محصولات مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

آب مجازی همانند سایر محصولات است. محدوده‌ای از عرض جغرافیایی که میانگین آب مجازی حداکثر مقدار خود را دارد، بین عرض‌های جغرافیایی ۳۰ تا ۳۳ درجه شمالی است و هرچه از این محدوده به سمت شمال و جنوب حرکت کنیم میزان آب مجازی کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج این تحقیق و مقایسه میزان آب مجازی محصولات مختلف در عرض‌های جغرافیایی منطقه توصیه می‌شود در بهینه‌سازی‌های الگوی کشت و یا برنامه‌های کلان‌تر آمایش سرزمین کشاورزی که با توابع هدفی چون افزایش بهره‌وری مصرف آب، حفظ امنیت غذایی و ... انجام می‌گیرد، در کنار سایر قیود به عرض جغرافیایی نیز توجه گردد.

نشان داد که آب مجازی محصولات ذکر شده در عرض‌های جغرافیایی در بازه ۲۵ تا ۳۸ درجه شمالی به‌طور میانگین با نیاز آبی و عملکرد به ترتیب ۶۵ درصد همبستگی مستقیم و ۷۴ درصد همبستگی معکوس دارد. همچنین نتایج نشان داد که روند تغییرات آب مجازی با عرض جغرافیایی مورد بررسی گوسی شکل است به این ترتیب که به‌جز گندم و جو مقدار آب مجازی در ابتدای بازه کم و در اواسط بازه زیاد و با نزدیک شدن به انتهای بازه عرض مورد بررسی، آب مجازی کاهش می‌یابد. در مورد گندم و جو رفتار کمی متفاوت است به این صورت که از ابتدای بازه عرض جغرافیایی تا یک-چهارم آن، آب مجازی نزولی و از آن‌پس روند تغییرات



شکل ۱۲- سبزینه، کمیینه و میانگین آب مجازی محصولات مورد مطالعه در گستره محدوده مطالعاتی

منابع مورد استفاده

- ناصری، ا.، عباسی، ف. و اکبری، م. ۱۳۹۶. برآورد آب مصرفی در بخش کشاورزی به روش بیلان آب. مجله تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۶۸(۱۸): ۱۷-۲۳.
- Ababaei, B., & Etedali, H. R. 2014. Estimation of water footprint components of Iran's wheat production: Comparison of global and national scale estimates. *Environmental processes*, 1(3), 193-205.
- Ababaei, B., & Etedali, H. R. 2017. Water footprint assessment of main cereals in Iran. *Agricultural Water Management*, 179, 401-411.
- Akoto-Danso, E. K., Karg, H., Drechsel, P., Nyarko, G., & Buerkert, A. 2019. Virtual water flow in food trade systems of two West African cities. *Agricultural Water Management*, 213, 760-772.
- Akoto-Danso, E. K., Karg, H., Drechsel, P., Nyarko, G., & Buerkert, A. 2019. Virtual water flow in food trade systems of two West African cities. *Agricultural Water Management*, 213, 760-772.

- Ali, M. H., and Mubarak, S. 2017. Effective rainfall calculation methods for field crops: An Overview, Analysis and New Formulation. *Asian Research Journal of Agriculture*, 1-12.
- Ali, M. H., and Mubarak, S. 2017. Effective rainfall calculation methods for field crops: An Overview, Analysis and New Formulation. *Asian Research Journal of Agriculture*, 1-12.
- Allen, R. G. 1998. Crop evapotranspiration. *FAO irrigation and drainage paper*, 56, 60-64.
- Allen, R. G. 1998. Crop evapotranspiration. *FAO irrigation and drainage paper*, 56, 60-64.
- Bazrafshan, O., Etedali, H. R., Moshizi, Z. G. N., & Shamili, M. 2019. Virtual water trade and water footprint accounting of Saffron production in Iran. *Agricultural Water Management*, 213, 368-374.
- Bazrafshan, O., Etedali, H. R., Moshizi, Z. G. N., & Shamili, M. 2019. Virtual water trade and water footprint accounting of Saffron production in Iran. *Agricultural Water Management*, 213, 368-374.
- Bulsink F, Hoekstra AY, Booij MJ, 2010. The water footprint of Indonesian provinces related to the consumption of crop products. *Hydrol Earth Syst Sc* 14(1): 119-128.
- Bulsink F, Hoekstra AY, Booij MJ, 2010. The water footprint of Indonesian provinces related to the consumption of crop products. *Hydrol Earth Syst Sc* 14(1): 119-128.
- Cao, X., Cui, S., Shu, R., & Wu, M. 2020. Misestimation of water saving in agricultural virtual water trade by not considering the role of irrigation. *Agricultural Water Management*, 241, 106355.
- Cao, X., Cui, S., Shu, R., & Wu, M. 2020. Misestimation of water saving in agricultural virtual water trade by not considering the role of irrigation. *Agricultural Water Management*, 241, 106355.
- Chapagain AK, Orr S, 2009. An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes. *J Environ Manage* 90: 1219-1228.
- Chapagain AK, Orr S, 2009. An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes. *J Environ Manage* 90: 1219-1228.
- Delpasand, M., Bozorg-Haddad, O., & Loáiciga, H. A. 2020. Integrated virtual water trade management considering self-sufficient production of strategic agricultural and industrial products. *Science of The Total Environment*, 140797.
- Delpasand, M., Bozorg-Haddad, O., & Loáiciga, H. A. 2020. Integrated virtual water trade management considering self-sufficient production of strategic agricultural and industrial products. *Science of The Total Environment*, 140797.
- Fader M, Gerten D, Thammer M, Heinke J, Lotze-Campen H, Lucht W, Cramer W, 2011. Internal and external greenblue agricultural water footprints of nations, and related water and land savings through trade. *Hydrol Earth Syst Sc* 15: 1641-1660.
- Fader M, Gerten D, Thammer M, Heinke J, Lotze-Campen H, Lucht W, Cramer W, 2011. Internal and external greenblue agricultural water footprints of nations, and related water and land savings through trade. *Hydrol Earth Syst Sc* 15: 1641-1660.
- FAO, 2005. AQUASTAT Information System on Water and Agriculture: Online database. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Land and Water Development Division, Rome.
- FAO, 2005. AQUASTAT Information System on Water and Agriculture: Online database. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Land and Water Development Division, Rome.
- FAO, 2011. Climate change, water and food security. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Land and Water Development Division, Rome.
- FAO, 2011. Climate change, water and food security. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Land and Water Development Division, Rome.
- Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM, Mekonnen MM, 2011. *The Water Footprint Assessment Manual*. Earthscan, London
- Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM, Mekonnen MM, 2011. *The Water Footprint Assessment Manual*. Earthscan, London
- Hoekstra, A. Y. 2003. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. In *Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade* 12, Delft, 2003 (pp. 25-47).
- Hoekstra, A. Y. 2003. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. In *Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade* 12, Delft, 2003 (pp. 25-47).
- Hoekstra, A. Y. 2009. Water security of nations: how international trade affects national water scarcity and dependency. *Threats to Global Water Security*, Springer, 27-36.
- Hoekstra, A. Y. 2009. Water security of nations: how international trade affects national water scarcity and dependency. *Threats to Global Water Security*, Springer, 27-36.

- Hoekstra, A. Y., and Hung, P. Q. 2005 "Virtual water trade." Proc., Proceedings of the international expert meeting on virtual water trade, 1-244.
- Hoekstra, A. Y., and Hung, P. Q. 2005 "Virtual water trade." Proc., Proceedings of the international expert meeting on virtual water trade, 1-244.
- Liu J, Yang H, 2010. Spatially explicit assessment of global consumptive water uses in cropland: green and blue water. *J Hydrol* 384: 187-197.
- Liu J, Yang H, 2010. Spatially explicit assessment of global consumptive water uses in cropland: green and blue water. *J Hydrol* 384: 187-197.
- Liu, X., Shi, L., Engel, B. A., Sun, S., Zhao, X., Wu, P., & Wang, Y. 2020. New challenges of food security in Northwest China: Water footprint and virtual water perspective. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118939.
- Long AH, Xu ZM, Zhang ZQ, Su ZY, 2005. Primary estimation of water footprint of Gansu Province in 2000. *Resour Sci* 27: 123-129.
- Long AH, Xu ZM, Zhang ZQ, Su ZY, 2005. Primary estimation of water footprint of Gansu Province in 2000. *Resour Sci* 27: 123-129.
- Lowry, W. P. 1972. Compendium of lecture notes in climatology for Class III meteorological personnel, Secretariat of the World Meteorological Organization.
- Lowry, W. P. 1972. Compendium of lecture notes in climatology for Class III meteorological personnel, Secretariat of the World Meteorological Organization.
- Ma J, Wang DX, Lai HL, Wang Y, 2005. Water footprint-An application in water resources research. *Resour Sci* 27: 96-100.
- Ma J, Wang DX, Lai HL, Wang Y, 2005. Water footprint-An application in water resources research. *Resour Sci* 27: 96-100.
- Maeda EE, Pellikka K, Clark BJ, Siljander M, 2011. Prospective changes in irrigation water requirements caused by agricultural expansion and climate changes in the eastern arc mountains of Kenya. *J Environ Manage* 92: 982-993.
- Maeda EE, Pellikka K, Clark BJ, Siljander M, 2011. Prospective changes in irrigation water requirements caused by agricultural expansion and climate changes in the eastern arc mountains of Kenya. *J Environ Manage* 92: 982-993.
- Mekonnen MM, Hoekstra AY, 2010. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Value of Water Research Report Series No. 47, UNESCOIHE, Delft, The Netherlands. Available in <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report47WaterFootprintCropsVol1.pdf>.
- Mekonnen MM, Hoekstra AY, 2010. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Value of Water Research Report Series No. 47, UNESCOIHE, Delft, The Netherlands. Available in <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report47WaterFootprintCropsVol1.pdf>.
- Schwarz, J., Mathijs, E., & Maertens, M. 2019. A dynamic view on agricultural trade patterns and virtual water flows in Peru. *Science of The Total Environment*, 683, 719-728.
- Schwarz, J., Mathijs, E., & Maertens, M. 2019. A dynamic view on agricultural trade patterns and virtual water flows in Peru. *Science of The Total Environment*, 683, 719-728.
- Sun, S. K., Yin, Y. L., Wu, P. T., Wang, Y. B., Luan, X. B., & Li, C. 2019. Geographical evolution of agricultural production in China and its effects on water stress, economy, and the environment: the virtual water perspective. *Water Resources Research*, 55(5), 4014-4029.
- Talozi, S., Al Sakaji, Y., & Altz-Stamm, A. 2020. Towards a water-energy-food nexus policy: realizing the blue and green virtual water of agriculture in Jordan. *International Journal of Water Resources Development*, 31(3), 461-482.
- Xiong W, Holman I, Lin ED, Conway D, Jiang JH, Xu YL, Li Y, 2010. Climate change, water availability and future cereal production in China. *Agr Ecosyst Environ* 135: 58-69.
- Xiong W, Holman I, Lin ED, Conway D, Jiang JH, Xu YL, Li Y, 2010. Climate change, water availability and future cereal production in China. *Agr Ecosyst Environ* 135: 58-69.
- Ye, Q., Li, Y., Zhuo, L., Zhang, W., Xiong, W., Wang, C., & Wang, P. 2018. Optimal allocation of physical water resources integrated with virtual water trade in water scarce regions: a case study for Beijing, China. *water research*, 129, 264-276.



Investigating the impacts of latitude on virtual water content of major crops in the eastern provinces of Iran

Ali Arefinia¹ and Khaled Ahmadaali^{*2}

1) MSc. Student, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

2*) Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

* Corresponding author: khaled.ahmadauli@gmail.com

Received: 27-09-2020

Accepted: 10-11-2020

Abstract

Temperature is a key factor in yield, crop water requirement, and then virtual water content of various agricultural products. Therefore, it is necessary to investigate the effect of latitude as one of the most effective factors on the average temperature and consequently on the variation of virtual water of agricultural products, considering the major share of this sector in water consumption (about 90%). In this research, the virtual water content of nine major plants including wheat, barley, alfalfa, sugar beet, corn, watermelon, tomato, onion and potato in four eastern provinces (including 56 cities) of Iran was calculated based on 20-year statistical data. Then, the average virtual water of each plant was calculated in different latitudes from 25° to 38°N at 1° intervals using ArcGIS software. The regression between the average virtual water with crop water requirement and yield of the products revealed a positive correlation between virtual water and crop water requirement ($r=0.65$) and a negative correlation between virtual water and yield ($r=-0.74$). The average virtual water from the lowest to the highest was 0.19, 0.38, 0.45, 0.46, 0.53, 0.57, 1.59, 1.69, and 1.80 thousand cubic meters per ton for corn, sugar beet, onion, watermelon, tomato, potato, alfalfa, barley, and wheat, respectively. The results showed that the variation pattern of virtual water of the studied products across different latitude was Gaussian. Despite the different maximum values of virtual water, they occurred in the latitude range of 30° to 33° N and by moving away from the mentioned range to higher or lower latitude, the virtual water content of all products decreases. The results of the present study can be used in national plans for agricultural land-use planning and agro-climate zoning.

Keywords: latitude; crop yield; major crops; crop water requirement; virtual water.