

**Research Paper**

**مقاله پژوهشی**

**Water Crisis Management Strategy through  
Investigation of Virtual Water Using  
CROPWAT Software**

**بررسی آب مجازی با رویکرد مدیریت منابع آب با  
استفاده از نرم افزار CROPWAT**

Marzie Makaremi<sup>1\*</sup>, Fereshteh Ghomi Avili<sup>2</sup> and Ali Akbar Moradi Rad<sup>3</sup>

1- Ph.D. in Environment Engineering, Department of Civil Engineering, Aryan Institute of Science and Technology, Babol, Iran.

2- Ph.D. in Environment Engineering, Department of Civil Engineering, Nowshahr Branch, Islamic Azad University, Nowshahr, Iran.

3- M.Sc. in Civil Engineering-Water and Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, Aryan Institute of Science and Technology, Babol, Iran.

\*Corresponding Author, Email: [makaremi20@yahoo.com](mailto:makaremi20@yahoo.com)

مرضیه مکارمی<sup>۱\*</sup>، فرشته قمی آویلی<sup>۲</sup> و علی اکبر مرادی رادی<sup>۳</sup>

۱- دکترای مهندسی محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه علوم و فناوری آریان، بابل، ایران.

۲- دکترای مهندسی محیط زیست، گروه عمران، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، نوشهر، ایران.

۳- کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده عمران، دانشگاه علوم و فناوری آریان، بابل، ایران.

\*نویسنده مسئول، ایمیل: [makaremi20@yahoo.com](mailto:makaremi20@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۴

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۶/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۴

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Received: 24/11/2020

Revised: 20/09/2021

Accepted: 06/10/2021

© IWWA

**Abstract**

**چکیده**

Water is one of the most important components of sustainable life. However, the excessive use of this vital element has caused irreparable damage to the limited water resources, and the agricultural industry assumed as the largest amount of consumed water. In recent years, the significant reduction of water resources as well as the growing trend of drought necessitates a review and change in the agricultural industry. In this research the water requirement of agricultural plants of Mazandaran province including rice, wheat, barley and citrus is estimated in order to investigate the volume of green and blue virtual water, exported and imported water by these crops across the province. Meteorological data such as rainfall, maximum and minimum temperature, relative humidity, sundial of the area and information such as cultivation area, crops yield rate, exported and imported water volume collected from relevant agencies over the last ten years. FAO Penman-Monteith and USDA methods in CROPWAT software used to estimate virtual water and water needs. Results showed that rice, wheat, barley and citrus consumption accounted for the largest water requirement. Also, rice water requirement is blue water and wheat, barley and citrus plants consume green water sources which is not relocated and is not suitable for other purposes or storage. Consequently, due to the climatic potential of Mazandaran province, the pattern of cultivation alter to plants with low water requirements that are able to absorb their required water from green water sources, such as wheat, barley and citrus as well as lower plant area with abundant water requirement such as rice can save more water resources and the water crisis could be effectively in control.

آب یکی از مهم ترین اجزای مورد نیاز برای تداوم حیات است. مصرف بی رویه این عنصر، صدمات جبران ناپذیری به منابع آبی وارد ساخته و صنعت کشاورزی بیشترین حجم آب مصرفی را به خود اختصاص داده است. در سال های اخیر کاهش چشمگیر منابع آبی و همچنین روند رو به رشد خشک سالی لزوم بازبینی و تغییر در صنعت کشاورزی را ایجاد می نماید. به همین منظور در این پژوهش، برآورد نیاز آبی محصولات کشاورزی استان مازندران شامل برنج، گندم، جو، مرکبات و بررسی حجم آب مجازی سبز، آبی و میزان آب صادر و وارد شده توسط این محصولات در سطح استان به عنوان قطب کشاورزی کشور است. بدین منظور اطلاعات هواشناسی از جمله بارش، حداقل و حداکثر دما، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی منطقه و اطلاعاتی هم چون سطح زیر کشت، میزان عملکرد این محصولات، حجم آب صادر و وارد شده در طی ده سال اخیر از سازمان های مربوطه دریافت شده است. به منظور برآورد نیاز آبی و آب مجازی از روش های فائیم پنمن-مانتیت و USDA در نرم افزار CROPWAT استفاده شده است. یافته ها نشان داد به ترتیب برنج، گندم، جو و مرکبات بیشترین نیاز آبی و حجم آب مصرفی را به خود اختصاص داده اند. هم چنین عمده آب مورد نیاز برنج از آب آبی تأمین می شود و بیشترین آب مصرفی گیاهان گندم، جو و مرکبات از منابع آب سبز بوده که برای ذخیره سازی مناسب نیست. با توجه به پتانسیل اقلیمی استان مازندران، تغییر الگوی کشت به سمت گیاهانی با نیاز آبی کم که قادر به جذب آب مورد نیاز خود از منابع آب سبز هستند مانند گندم، جو و مرکبات و همچنین کاهش سطح زیر کشت گیاهانی با نیاز آبی فراوان مانند برنج منابع آبی بیشتری را ذخیره سازی نموده و در کنترل بحران آب مؤثر باشد.

**Keywords:** Water crisis, Virtual water, Blue water, Green water, CROPWAT

**واژه های کلیدی:** بحران آب، آب مجازی، آب سبز، آب آبی، CROPWAT

با برداشت بی‌رویه از منابع آبی در سال‌های اخیر و تغییرات اقلیمی پیش‌رو، لزوم بررسی تولیدات کشاورزی با هدف کاهش برداشت از منابع آب کشور و اتحاد تصمیمات مدیریتی در تغییر الگوی مصرف وجود دارد. با بررسی آب مورد استفاده محصولات و خصوصیات هیدرولوژی و اقلیمی هر منطقه، مدیریت و کاهش روند هدررفت منابع آبی مقدور خواهد بود. با توجه به وضعیت بحرانی گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی، ضرورت بازبینی و بررسی میزان آب مورد استفاده محصولات متداول کشاورزی هرچند در مناطق پربارش نیز وجود دارد. هرچند بر اساس نتایج مشاهده تحلیل شیمیایی پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری می‌توان بیان کرد که عناصر موجود در پساب همگی در محدوده قابل قبول و مورد استفاده برای کشاورزی است که باید راه‌کارهای لازم در این زمینه برای کشور اعمال شود (چوپان و امامی ۱۳۹۹). امروزه پژوهشگران حوزه آب تأکید بر بازنگری در سیاست‌گذاری‌ها و رویکردهای مدیریتی منابع آب به خصوص رویکرد مدیریتی آب مجازی دارند. لذا در این پژوهش آب مجازی مورد استفاده در کشت محصولات کشاورزی استان مازندران شامل آب آبی و آب سبز مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- مواد و روش‌ها

عملکرد گیاه و محتوی آب مجازی آن در تولیدات کشاورزی وابسته به نوع آب‌وهوا و تغییرات آن، محل جغرافیایی تحت مطالعه، نوع گیاه، فضای کشت و برداشت، رطوبت و حاصل‌خیزی خاک است (Badrulmasud et al., 2019). استان مازندران به‌عنوان قطب کشاورزی و باغداری کشور نقش به‌سزایی در تأمین محصولات کشاورزی در کشور ایران به‌عهده دارد. این استان دارای مختصات جغرافیایی  $35^{\circ} 46'$  تا  $36^{\circ} 58'$  عرض شمالی و  $50^{\circ}$  تا  $54^{\circ} 08'$  طول شرقی و توپوگرافی نسبتاً هموار است. آب و هوای این منطقه معتدل و مرطوب بوده و میانگین بارندگی سالیانه داستان ۹۷۷ میلی‌متر است.

نیاز آبی گیاه، مقدار آبی است که گیاه در طی فصل رشد به آن احتیاج دارد. برای تعیین میزان تبخیر-تعرق گیاه ( $ET_c^1$ )، ابتدا باید میزان تبخیر-تعرق پتانسیل ( $ET_0^2$ ) برآورد شود و سپس به‌وسیله آن تبخیر-تعرق گیاه موردنظر را محاسبه نمود. در این پژوهش سطح زیر کشت و عملکرد برنج، گندم، جو و مرکبات در شهرستان‌های آمل، امیرآباد، بابلسر، رامسر، ساری، قائم‌شهر، نوشهر مورد بررسی قرار گرفته است. برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل، روش زائو پنمن-مانتیت

در آینده نزدیک، رشد جمعیت و توسعه اقتصادی در کنار تشدید کمبود آب موجب افزایش هزینه‌های تأمین آب می‌شود و این مسئله، ضمن تهدید اقتصاد حوضه‌های آبخیز به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، موجب بروز مناقشات جدی بین کشورها و یا ساکنان محلی خواهد شد (معلمی، ۱۳۹۷). از سویی دیگر تغییرات اقلیمی دلیل اصلی تشدید مسائل مربوط به کمبود آب بوده و خواهد شد. هم‌چنین گسترش مسائل اجتماعی و اقتصادی، الزامات انسان (مانند آبیاری کشاورزی، توسعه صنعتی، افزایش تولید کالا، محصولات کشاورزی و تولید برق) موجب درگیری‌های شدیدی بین عرضه آب و تقاضا در محصولات کشاورزی می‌شود (Zhao et al., 2016). از این منظر، نیاز به تصمیم‌گیری‌های اصولی‌تر برای مدیریت تقاضای آب است. یکی از این راه‌کارها استفاده از مفهوم آب مجازی و تجارت آن است (بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۶). کشور ایران در حال حاضر حجم زیادی از آب مجازی را وارد می‌کند، این در حالی است که مقدار کمتری از آب مجازی را به خارج از کشور صادر می‌کند که مختص محصولات با نیاز آبی بالا و کم‌ارزش است (Faramarzi et al., 2010).

آب مجازی در واقع میزان آب موردنیاز برای تولید یک محصول از آغاز تولید تا لحظه مصرف است که نادیده گرفته‌شده و مؤلفه پنهان تولید به شمار می‌آید (Lylliwhite., 2010; Liu et al., 2007). یک کشور یا منطقه می‌تواند با انتخاب خود به‌عنوان واردکننده آب مجازی، خود را از فشار بر منابع آبی آزاد سازد (Yang et al., 2006; Gerbens-leenes et al., 2009). شرایط اقلیمی و فرهنگی، مکان تولید، مدیریت و برنامه‌ریزی در حجم آب مجازی هر کالا مؤثر است و قطعاً مقدار آن در مورد یک کالا در مناطق مختلف، متفاوت است. تجارت آب مجازی می‌تواند منجر به واردات محصول از دیگر مناطق شود و به‌این ترتیب، از آثار منفی استفاده از منابع آب پرهیز می‌شود (Salah, 2014).

(Hoekstra and Mekonnen 2016) در بریتانیا، Zhao et al., (2016) در چین، Badrolmasud et al., (2019) در کشور کانادا و در ایران زارع ابیانه و همکاران (۱۳۹۴)، پور صالحی و همکاران (2016)، بذرافشان و همکاران و تهامی پور و عابدی (۱۳۹۶) به بررسی ردپای آب و تجارت آب مجازی پرداختند. نتایج مطالعات نشان داد برای استفاده بهینه از آب مصرفی باید سیاستی ترکیبی از صادرات و واردات محصولات کشاورزی با در نظر گرفتن منافع اقتصادی را دنبال نمود.

نشان داده شده است. برای برآورد نیاز آبی از روش زائو پنمن-مانتیت، از رابطه (۱) استفاده می شود (Allen et al., 1998).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 279} U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

به عنوان یکی از روش های مورد تأیید و استاندارد برای محاسبه تبخیر-تعرق مرجع، با توجه به داده های اقلیمی پیشنهاد شده است (موسوی و همکاران، ۱۳۸۸). داده های اقلیمی مورد استفاده اطلاعات هواشناسی روزانه ایستگاه های سینوپتیک هواشناسی شهرستان های مورد مطالعه در دوره آماری ۱۰ ساله شامل حداقل و حداکثر دما، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی، سرعت باد و بارندگی هستند. موقعیت جغرافیایی ایستگاه های مورد مطالعه در شکل ۱



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه های مورد مطالعه در استان مازندران

$$P = 101.3 \left( \frac{293 - 0.0065 Z}{293} \right)^{5.26} \quad (5)$$

$$Ra = 37.6 dr (W_s \sin \phi \sin \theta + \cos \phi \cos \theta \sin W_s) \quad (6)$$

$$W_s = \text{Arc cos}(-\tan \phi \cdot \tan \theta) \quad (7)$$

$$dr = 1 + 0.33 \cos(0.172 J) \quad (8)$$

$$\theta = 0.409 \sin(0.0172 J - 1.39) \quad (9)$$

$$J = \text{integer} \left( 275 \frac{M}{9} - 30 + D \right) \quad (10)$$

که  $Z$ : ارتفاع محل از سطح دریا (متر) است.  $Ra$ : تابش برون زمینی (مگاژول بر مترمربع)،  $dr$ : فاصله نسبی زمین تا خورشید،  $\theta$ : زاویه میل خورشید (رادیان)،  $\phi$ : عرض جغرافیایی (رادیان)،  $W_s$ : زاویه ساعتی غروب خورشید (رادیان)،  $M$ : شماره ماه میلادی سال که تبخیر-تعرق برای آن محاسبه می شود.  $J$ : شماره روز ژولیوسی از ابتدای سال مسیحی و  $D$ : شماره روز از ماه هستند.

$$N = 7.64 W_s \quad (11)$$

که  $N$ : حداکثر ساعت روشنایی در روز  $J$  از سال (ساعت) است.

برای محاسبه  $ET_0$  (میلی متر بر روز) از داده های متوسط دمای هوا:  $T$  (درجه سلسیوس)، شیب منحنی فشار بخار:  $\Delta$  (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس)، تابش خالص بر سطح گیاه:  $R_n$  (ماژول بر مترمربع بر روز)، میانگین سرعت باد در ارتفاع دو متری:  $U_2$  (متر بر ثانیه)، گرمای خاک:  $G$  (مگاژول بر مترمربع بر روز)، ضریب سایکرومتری:  $\gamma$  (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس)، فشار بخار اشباع:  $e_s$  (کیلوپاسکال) و فشار بخار واقعی:  $e_a$  (کیلوپاسکال) استفاده می شود. جزئیات معادله زائو پنمن-مانتیت از رابطه (۲) محاسبه می شود:

$$\lambda T = 2.501 - (2.361 \times 10^{-3}) \quad (2)$$

که  $\lambda$ : گرمای نهان تبخیر (مگاژول بر کیلوگرم) و  $T$ : دمای هوا بر حسب سانتی گراد است.

$$\Delta = \frac{2504 \exp(17.27T/(T + 237.7))}{(T + 237.7)^2} \quad (3)$$

$$\frac{P}{\lambda} \gamma = 0.00163 \quad (4)$$

مؤثر) و برای انسان‌ها و سایر موجودات غیرقابل استفاده است و تنها در فرآیند رشد و نمو گیاهان، مورد استفاده قرار می‌گیرد و یا تبخیر می‌شود را آب سبز می‌نامند (Hoekstra and Chapagain, 2008). مقدار آب سبز بر اساس میزان بارش مؤثر در طول فصل رشد گیاهان مختلف و در مناطق مختلف با روش USDA<sup>3</sup> که توسط وزارت کشاورزی امریکا ارائه شده است به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Pe, 10 = \begin{cases} P_{10} \times \frac{4.17 - 0.02p_{10}}{4.17} & P_{10} \leq 83 \text{ mm} \\ 41.7 + 0.1P_{10} & P_{10} > 83 \text{ mm} \end{cases} \quad (14)$$

که  $P_{10}$ : کل بارندگی ده روزه برحسب میلی‌متر و  $Pe, 10$ : میزان بارندگی مؤثر در طول مدت ده روزه است. مقدار آب سبز به صورت مجموع بارندگی‌های مؤثر ده روزه در طول فصل رشد محاسبه می‌شود. آب مجازی سبز، متوسط بارش مؤثر محصول (مترمکعب بر هکتار) در نظر گرفته می‌شود.

آب آبی شامل آب‌های سطحی و آب زیرزمینی موجود در منطقه است. برای تعیین آب مجازی آبی، نیاز خالص آبیاری محاسبه می‌شود. نیاز خالص آبیاری ( $IR$ ) مقدار آبی که در اثر وقوع بارش مؤثر، مقدار آن کسر شده است در نظر گرفته می‌شود.

$$IR = ET_c - GW \quad (15)$$

که  $ET_c$ : نیاز آبی (میلی‌متر) و  $GW$ : بارش مؤثر (میلی‌متر) هستند. آب مجازی آبی به صورت متوسط نیاز آبی خالص گیاه محاسبه می‌شود.

بر مبنای مقادیر نیاز آبی محاسبه شده، میزان آب مجازی و بهره‌وری مصرف آب تعیین می‌شود. مقدار آب مجازی به صورت نسبت نیاز آبی به عملکرد محصول (مترمکعب آب به ازای هر تن محصول) با استفاده از رابطه (۱۶) محاسبه می‌شود که مجموع آب مجازی آبی و آب مجازی سبز است.

$$TVWC = \frac{ET_c}{TP} \quad (16)$$

که  $TVWC$ : میزان آب مجازی گیاه (مترمکعب بر تن) و  $ET_c$ : کل نیاز آبی گیاه (مترمکعب بر هکتار) است.  $TP$ : نیز عملکرد کل محصول است.

کل واردات آب مجازی ( $TVWi$ ) و کل صادرات آب مجازی ( $TVWE$ ) برای استان به صورت روابط (۱۷) و (۱۸) محاسبه می‌شود.

$$R_n = 0.77 \left( 0.25 + \left( \frac{0.5n}{N} \right) R_a - 2.45 \right) \times 10^{-9} \left( 0.9 \frac{n}{N} + 0.1 \right) (0.34 - 0.14 \sqrt{e^a}) (T_{kx}^4 + T_{kn}^4) e_a \quad (12)$$

$$= 0.611 \exp \left( \frac{17.27 T_d}{T_d + 237.3} \right)$$

که  $n$ : تعداد ساعت آفتابی واقعی (ساعت)،  $e_a$ : فشار واقعی بخار آب (کیلوپاسکال)،  $T_{kn}$  و  $T_{kx}$ : حداکثر و حداقل دمای روزانه (کلوین) و  $T_d$ : دمای نقطه شبنم هستند (Zhao et al., 2010). برای به دست آوردن میزان تبخیر و تعرق مرجع از نرم‌افزار CROPWAT استفاده شده است.

CROPWAT یک سیستم پشتیبانی است که بخش آب و خاک سازمان فائو برای برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری آن را راه‌اندازی کرده است. این برنامه یک ابزار کاربردی مشترک است که هواشناسان، متخصصان کشاورزی و مهندسان آبیاری به کمک آن محاسبات و استانداردهای تبخیر و تعرق گیاه مرجع، نیاز آبی و آبیاری محصولات را تخمین می‌زنند. هم‌چنین در مورد طرح‌های خاص مدیریتی و برنامه‌های آبیاری در برخورد با کمبود آب به عنوان یک راهنما برای بهبود عملیات آبیاری و زمان‌بندی آبیاری عمل می‌کند. پایگاه داده‌های CROPWAT شامل داده‌هایی برای ۶ ناحیه اقلیمی و ۱۴۴ کشور است. برای انجام محاسبات مربوط به برنامه‌ریزی آبیاری، تاکنون مدل‌های رایانه‌ای متعددی تهیه شده که CROPWAT در زمره آن‌ها قرار دارد. در این برنامه محاسبات مربوط به نیاز آبی محصولات مختلف و نیازمندی‌های آبیاری بر مبنای روش‌های ارائه شده در نشریات زائو در مورد آبیاری و زهکشی قابل ارائه است (Allen et al., 1989).

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (13)$$

نیاز آبی محصول ( $ET_c$ ) از حاصل ضرب تبخیر-تعرق پتانسیل در ضریب رشد گیاه ( $K_c$ ) محاسبه می‌شود. برای تعیین ضرایب رشد گیاهان در طی زمان رشد گیاه، کل دوره رشد به سه مرحله تقسیم می‌شود. طول مدت مراحل مختلف رشد و هم‌چنین ضرایب گیاهی در این سه مرحله از رشد (ابتدایی-میانی-انتهایی)، با استفاده از اطلاعات موجود در نشریه ۵۶ زائو و تطبیق آن با شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه تعیین می‌شود (Horleman and Neubert, 2007; Hoekstra et al., 2009).

برای برآورد آب مجازی و اجزای آن شامل آب سبز و آبی از چارچوب پیشنهادی آبابایی و رضانی (۱۳۹۴) استفاده می‌شود. به‌طور کلی آب حاصل از بارش که در خاک ذخیره شده (بارش

استان مازندران براساس روابط ذکر شده از روش زائو پنمن-مانتیت و مدل رایانه‌ای CROPWAT با استفاده از داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه شده است. نیاز آبی شامل آب آبی و آب سبز محصولات برنج، گندم، جو و مرکبات به تفکیک ایستگاه‌ها و نوع محصولات در دوره ۱۰ ساله است. در ادامه نتایج محاسبات به دو صورت نیاز آبی هر محصول در سال‌های مورد مطالعه و میانگین ده ساله نیاز آبی در شهرهای استان در قالب نمودارهای میله‌ای ارائه شده است. در استان مازندران حجم زیادی از آب برای کشت برنج مصرف می‌شود که نشان‌دهنده اهمیت بررسی نیاز آبی برنج در این استان است. شکل‌های ۲ و ۳ میزان آب مورد استفاده در تولید برنج در این استان را نشان می‌دهند.

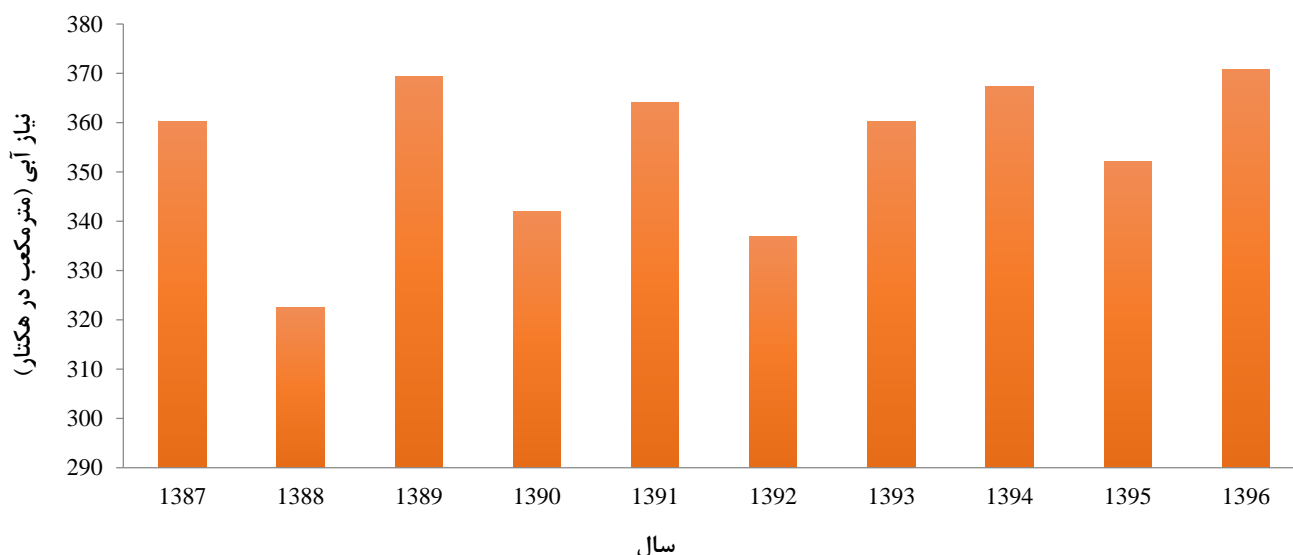
$$TVWV_j = \sum_{c=1}^M (VWV_{c,j}) \quad (17)$$

$$TVWE_j = \sum_{c=1}^N (VWE_{c,j}) \quad (18)$$

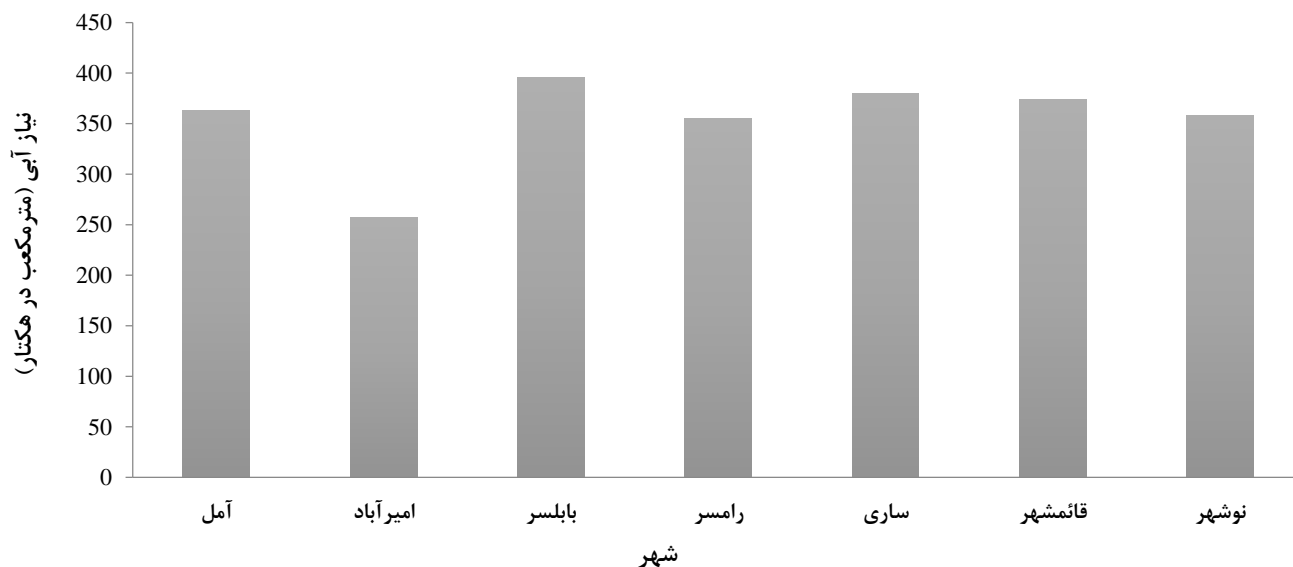
که  $TVWV_j$ : کل واردات آب مجازی در سال  $j$  ( $m^3y^{-1}$ );  $TVWE_j$ : کل صادرات آب مجازی در سال  $j$  ( $m^3y^{-1}$ );  $M$ : تعداد محصولات وارد شده تحت بررسی و  $N$ : تعداد محصولات غذایی صادر شده مورد بررسی هستند (Ababaei and Ramezani, 2014).

### ۳- نتایج

نیاز آبی و میزان آب مجازی گیاه  $TVW_c$  محصولات کشاورزی



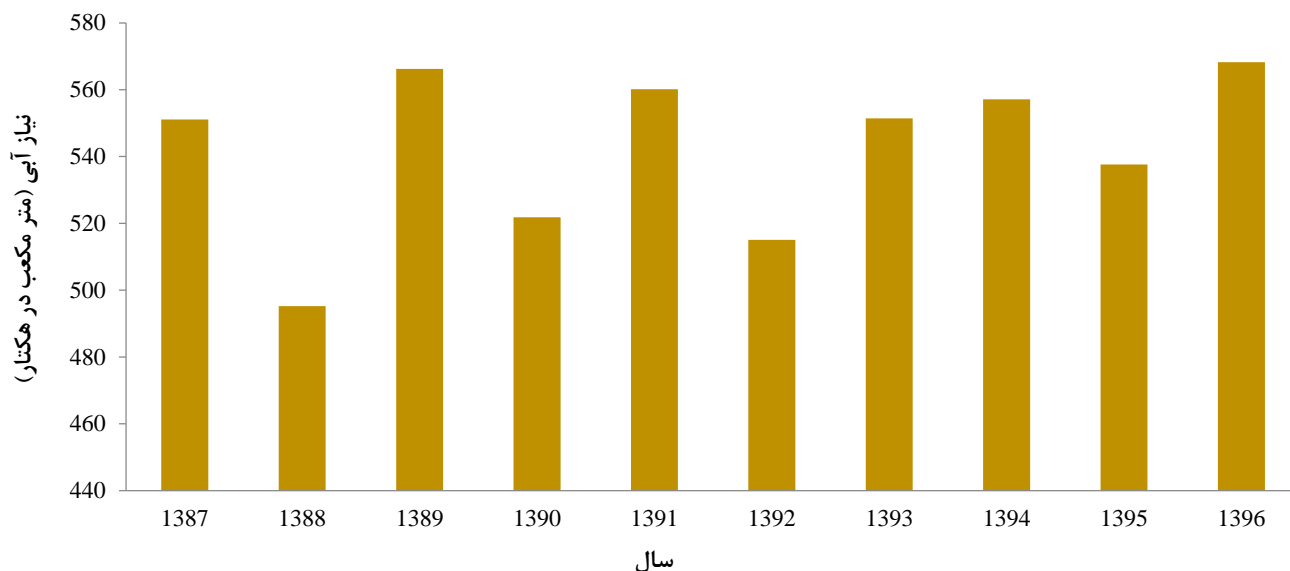
شکل ۲- نمودار نیاز آبی گیاه برنج در سطح استان مازندران در ده سال اخیر به تفکیک سال



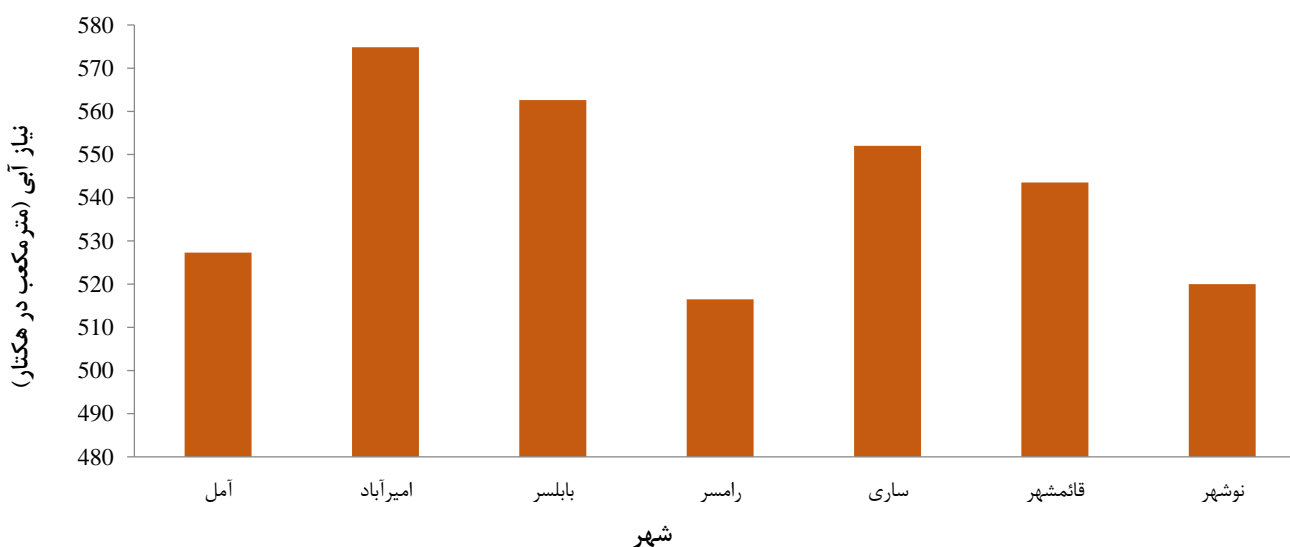
شکل ۳- نمودار میانگین ده‌ساله نیاز آبی برنج به تفکیک شهر در استان مازندران

کمترین نیاز آبی برنج به ترتیب مربوط به شهرهای بابلسر و امیرآباد است. نتایج ارزیابی نیاز آبی گندم در ده سال اخیر در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در نمودارهای ارائه شده شکل‌های ۳ و ۴ قابل مشاهده است.

شکل ۲ نمودار میزان نیاز آبی برنج در سطح استان را طی سال‌های ۱۳۸۷ الی ۱۳۹۶ نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین نیاز آبی برنج در طی ده سال اخیر به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۸۸ مشاهده می‌شود. شکل ۳ نمودار میانگین ده‌ساله نیاز آبی برنج در شهرهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد که بیشترین و



شکل ۴- نمودار نیاز آبی گیاه گندم در سطح استان مازندران در ده سال اخیر به تفکیک سال



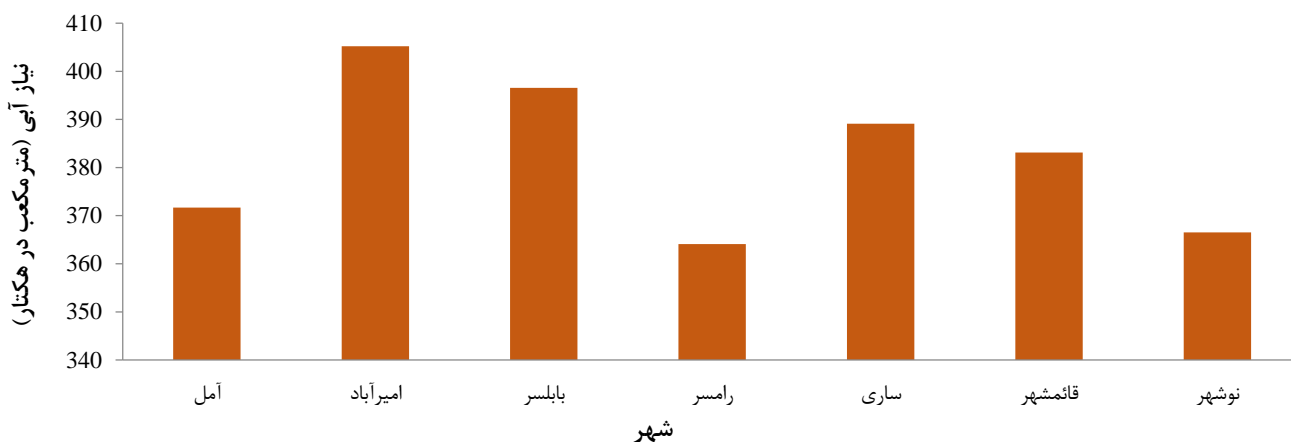
شکل ۵- میانگین ده ساله نیاز آبی گندم به تفکیک شهر در استان مازندران

و عمده آب مصرفی آن از نوع آب سبز است. لذا تولید بیشتر گندم و استفاده از این پتانسیل در کشت و کار آن، می‌تواند در آینده حتی نیاز بیشتر گندم را برآورده کند. در شکل‌های ۶ و ۷ نمودارهای میله‌ای میانگین سالانه نیاز آبی گیاه جو و نیاز آبی میانگین ده‌ساله این محصول به تفکیک شهرهای استان ارائه شده است.

نمودار ارائه شده در شکل ۴ نشان‌دهنده بیشترین و کمترین نیاز آبی در ده سال گذشته در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۸۸ است. هم‌چنین براساس نمودار شکل ۵ بیشترین و کمترین نیاز آبی با توجه به شرایط اقلیمی خاص هر منطقه، به ترتیب در شهرهای امیرآباد و رامسر مشاهده شده است. تأثیرات تغییر آب و هوا در سطح استان و هم‌چنین در سال‌های مختلف به چشم می‌آید. از طرفی گندم در سطح استان مازندران به صورت دیم کشت می‌شود



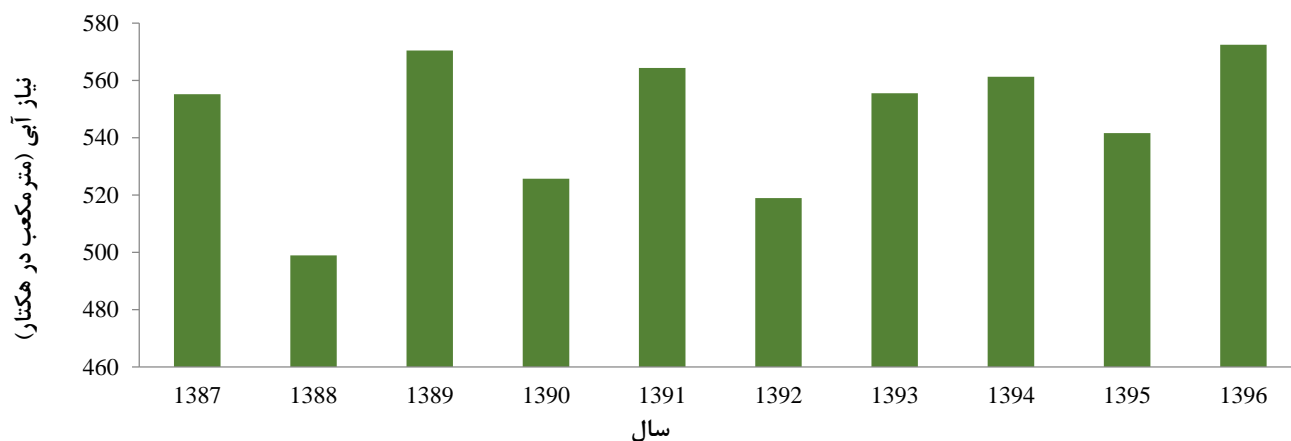
شکل ۶- نمودار نیاز آبی گیاه جو در سطح استان مازندران در ده سال اخیر به تفکیک سال



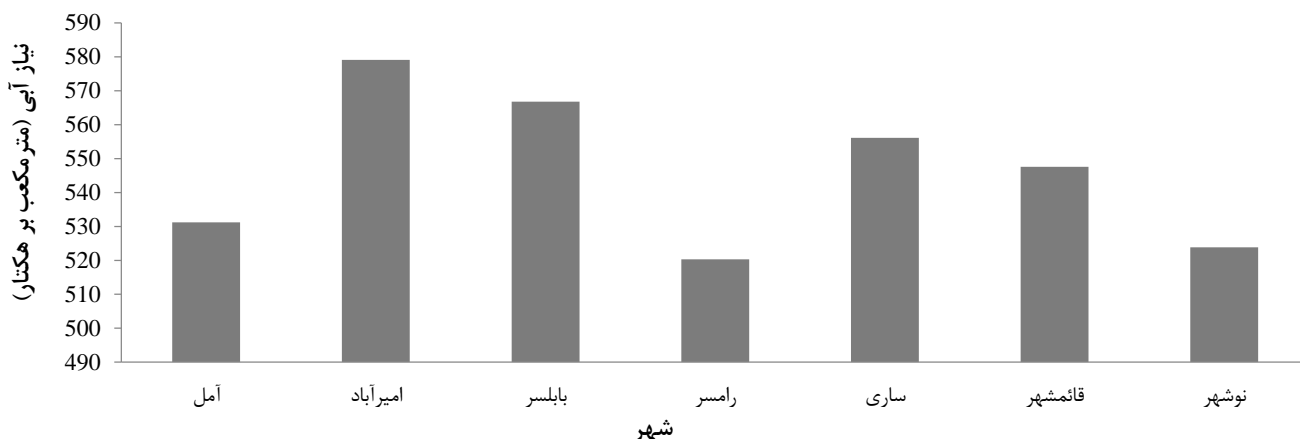
شکل ۷- میانگین ده ساله نیاز آبی گیاه جو به تفکیک شهر در استان مازندران

مرکبات یکی از محصولات مهم باغبانی است که در جهان دارای سابقه‌ی کشت و پرورش ۴۰۰۰ ساله است. با توجه به این مسئله که مرکبات، یکی از محصولات تجاری و استراتژیک استان مازندران است و باغداران در سطح چشمگیری به کشت این محصول پرداخته‌اند، ارزیابی حجم نیاز آبی مرکبات و آب مجازی مصرفی، در بهبود کنترل منابع آبی در دسترس بسیار مفید است.

با توجه به نمودار شکل ۶ بیشترین و کمترین نیاز آبی در شهرهای امیرآباد و رامسر و همچنین براساس نمودار شکل ۷ بیشترین و کمترین میزان نیاز آبی این محصول در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۶ مشاهده می‌شود. با توجه به اقلیم منطقه امیرآباد و ویژگی‌های هواشناسی در این منطقه نیاز آبی گیاه جو در ده سال گذشته بیشتر از سایر ایستگاه‌های استان مازندران شده است.



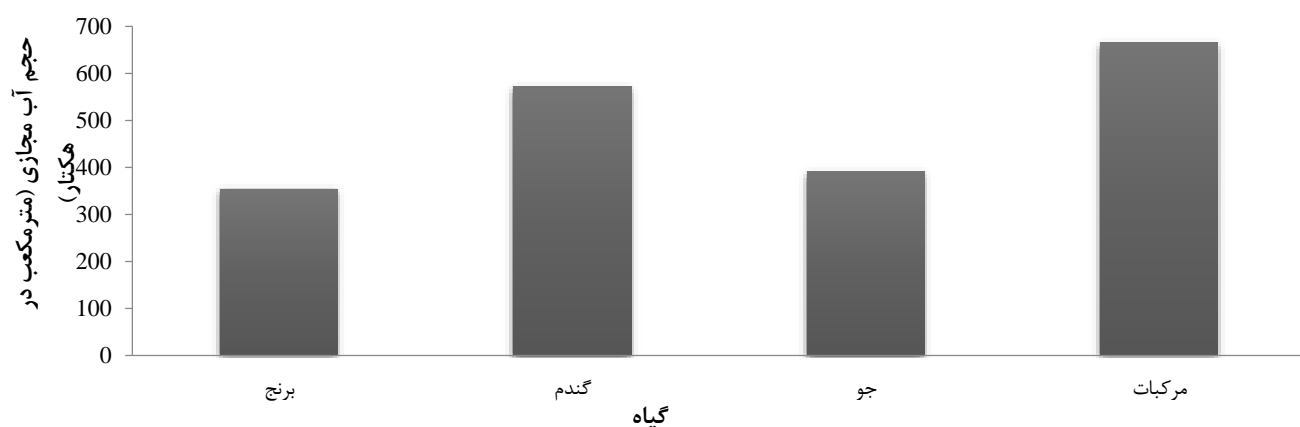
شکل ۸- نمودار نیاز آبی مرکبات در سطح استان مازندران در ده سال اخیر به تفکیک سال



شکل ۹- میانگین ده ساله نیاز آبی مرکبات به تفکیک شهر در مازندران

نیاز آبی را به خود اختصاص می‌دهند. توصیه می‌شود سطح زیر کشت مرکبات در مناطق شناسایی شده با کمترین نیاز آبی افزایش و سطح زیر کشت آن در مناطقی با نیاز آبی بالاتر، کاهش یابد. شکل ۱۰ میزان نیاز آبی چهار محصول مذکور را در طی ده سال گذشته در سطح استان مازندران نشان می‌دهد، همان‌طور که مشاهده می‌شود به ترتیب مرکبات، گندم، جو و برنج بیشترین نیاز آبی را به خود اختصاص داده‌اند.

همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین نیاز آبی مرکبات به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۸۸ ایجاد شده است. با نگاهی به نمودار مربوط به تغییرات نیاز آبی در بین ایستگاه‌ها در ده سال اخیر در شکل ۹، مشخص می‌شود کمترین نیاز آبی مرکبات، در شهرهای امل، رامسر و نوشهر است. بنابراین این مناطق استعداد بیشتری برای کشت و کار مرکبات دارند. با این‌وجود، مرکبات در شهرستان‌های امیرآباد و بابلسر بیشترین



شکل ۱۰- میانگین نیاز آبی گیاهان در طی ده سال گذشته در سطح استان مازندران

استان مازندران را نشان می‌دهد.

جدول ۱ میانگین کل آب مجازی محصولات مورد بررسی در طی ده سال گذشته با توجه به سطح زیر کشت این محصولات در

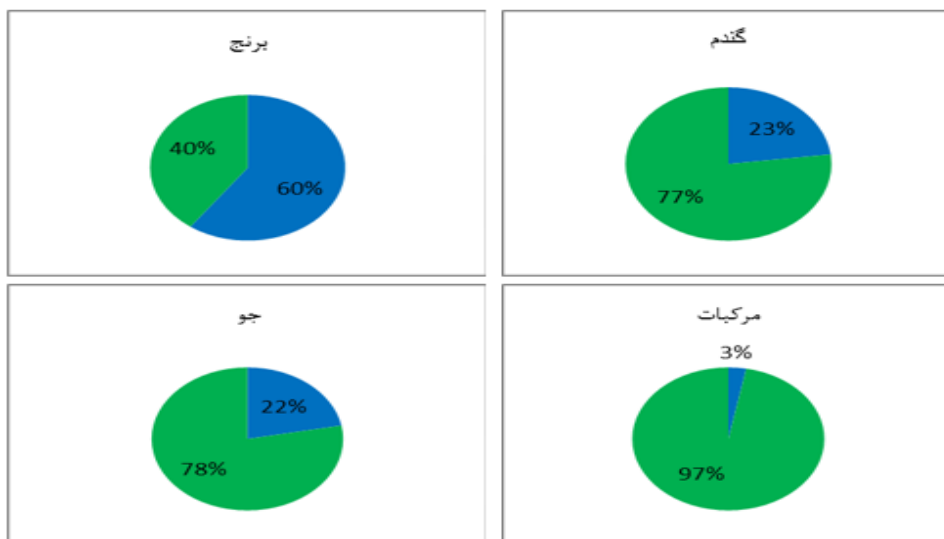
جدول ۱- میانگین ده‌ساله کل آب مجازی محصولات مورد بررسی در استان مازندران از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۶

سال	۸۷	۸۸	۸۹	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵	۹۶
برنج	۱۷۹۵۲	۱۴۵۷۰	۱۷۵۷۷	۱۵۸۲۹	۱۶۲۳۰	۱۴۸۳۷	۱۵۳۴۸	۱۴۷۳۹	۱۵۱۲۴	۱۵۹۲۸
گندم	۷۰۳۰	۵۴۹۰	۸۰۱۸	۹۱۸۱	۶۰۹۵	۵۵۰۸	۶۹۸۷	۷۲۵۱	۵۸۳۳	۶۲۰۲
جو	۳۳۰۷	۲۵۱۶	۲۹۳۳	۳۷۲۸	۴۴۱۶	۱۸۱۷	۲۴۱۸	۲۸۵۴	۳۲۲۷	۲۸۶۳
مرکبات	۳۹۲	۴۵۰	۳۷۵	۴۶۵	۴۴۷	۳۶۸	۴۰۴	۳۹۳	۴۰۲	۳۶۲



و هوایی و نزولات جوی بوده است. میزان آب مجازی سبز و آبی بر مبنای روش USDA، با استفاده از خروجی مدل، روابط (۱۳) تا (۱۵) و داده‌های اقلیمی هم‌چون میزان بارش منطقه و نیاز خالص آبیاری هر محصول محاسبه شده است. در شکل ۱۱، درصد آب مجازی سبز و آبی در چهار محصول برنج، گندم، جو و مرکبات در طی ده سال گذشته در کل استان مازندران قابل مشاهده است.

جدول ۱ نشان می‌دهد برنج بیشترین مصرف آب مجازی را به‌خود اختصاص داده است و مرکبات از محصولات با مصرف آب مجازی کمتری به‌شمار می‌رود. بعد از برنج، گندم بیشترین حجم آب مجازی را به‌خود اختصاص داده است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد تغییرات در حجم آب مصرفی در طی سال‌های مختلف، مربوط به تغییر سطح زیر کشت و عملکرد گیاهان مورد مطالعه در طی سال‌های مختلف و همچنین تغییرات شرایط جوی و آب



شکل ۱۱- درصد میانگین نیاز آبی سبز و آبی در گیاهان مورد مطالعه در سطح استان مازندران در ده سال اخیر

سبز در محصولات گندم و جو را نشان می‌دهد. جدول ۲ حجم آب صادر شده و وارد شده محصولات گندم و جو را نشان می‌دهد. کل واردات آب مجازی ( $TVW_I$ ) و کل صادرات آب مجازی ( $TVW_E$ ) بر اساس داده‌های موجود اداره گمرک کشور و روابط (۱۷) و (۱۸) محاسبه شده‌اند.

در نمودارهای ارائه‌شده در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود بیشترین میزان آب سبز که آب قابل استفاده از گیاهان بوده و قابل برداشت نیست، متعلق به مرکبات است. هم‌چنین بیشترین میزان آب آبی مصرفی که بخشی از منابع آبی قابل جمع‌آوری و برداشت است در تولید برنج مورد استفاده قرار گرفته است. هم‌چنین نمودارهای فوق نسبت مشابهی از مصرف آب آبی و آب

جدول ۲- حجم آب صادر شده و وارد شده به‌واسطه محصولات مورد مطالعه در استان مازندران از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۶

سال	آب مجازی صادر شده (مترمکعب در سال)		آب مجازی وارد شده (مترمکعب در سال)	
	گندم	جو	گندم	جو
۸۸	-	۰/۲۸۵	۱۰۳۵۷۵	-
۸۹	۳۸۹۱	۰/۰۰۴	-	۱۴۵۷۰
۹۰	۱۶/۵	۰/۲۹۹	۲۲۲۴۳	-
۹۱	۵۵	۰/۱۰۸	۵۸۴۰۰	۴۵۲۶۳
۹۲	-	۰/۱۰۵	۵۲۴۲۸	۱۱۵۲۱۲
۹۳	-	-	۵۲۶	۶۳۵۳
۹۴	-	-	۲۴۱۶	۲۲۰۹۸
۹۵	-	۰/۰۸۱	۲۱۶۳۸	۲۳۶۴۸
۹۶	۱۳۶۳	۰/۰۵۰	-	-
جمع	۵۳۲۵/۵	۰/۸۸۴	۲۶۱۲۲۹	۲۲۷۱۴۷

آبی بالا به منابع آبی باز نمی‌گردد. تولید مرکبات آب مجازی کمتری را در برمی‌گیرد. عمده آب مجازی مصرف شده توسط مرکبات از نوع آب سبز است و مرکبات در گروه محصولات کم‌مصرف با بهره‌وری بالای آب قرار دارند. گندم و جو نیز شرایطی مشابه مرکبات در استان مازندران دارند.

با افزایش محصول‌های سازگار در منطقه به دلیل مصرف آب مجازی کمتر و عملکرد بیشتر و تغییر دادن میزان تولید محصول‌هایی مانند مرکبات، گندم و جو که دارای نیاز آبی کمتر در سطح استان هستند، به مبادله آگاهانه آب مجازی در استان پرداخت. علاوه بر این نیاز آبی گیاهان در شهرهای غربی استان نسبت به شهرهای شرقی کمتر بوده و این به دلیل بارندگی بیشتر و بارندگی مؤثر، بیشتر در شهرهای غربی است. بنابراین می‌توان بیان کرد غرب استان مازندران بیشتر مستعد کشت گیاهان با نیاز آبی بالاتر هم‌چون برنج نسبت به شرق استان مازندران است. با تغییر الگوی کشت متناسب با اقلیم منطقه و نیاز آبی محصول می‌توان ذخیره‌سازی بیشتر منابع آبی و هم‌چنین استفاده کارا تر از منابع آب موجود را بهبود بخشید. مضافاً، به کارگیری فناوری‌های نوین کشاورزی مانند کشاورزی حفاظتی، استفاده از بذور اصلاح‌شده و برگزاری برنامه‌های آموزشی و ترویجی برای کشاورزان برای بهبود بهره‌وری در استفاده از منابع از طریق افزایش عملکرد و کاهش مصرف نهاده‌های تولید، در حفظ توان صادراتی استان و کاهش فشار موجود بر منابع آب، می‌تواند راهگشا باشد.

#### ۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Crop Evapotranspiration
- 2- Reference Evapotranspiration
- 3- United States Department of Agriculture

#### ۶- مراجع

- آبابایی، ب.، و رضائی، ح.، (۱۳۹۴)، "ردپای آب مجازی در محصولات گندم ایران"، *مجله آب‌وخاک*، ۲۳(۶)، ۱۴۵۸-۱۴۶۸.
- بذرافشان، الف.، دهقان‌پیر، ش.، و حلی‌ساز، آ.، (۱۳۹۶)، "برآورد بیان آب مجازی در بخش کشاورزی در استان هرمزگان طی دهه گذشته"، *مجله مدیریت بیابان*، ۵(۱۰)، ۱۱۶-۱۲۹.
- تهامی‌پور، م.، و عابدی، س.، (۱۳۹۶)، "ارزیابی تجارت آب مجازی در بخش صنعت استان زنجان"، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۸(۳)، ۳۶-۴۵.

ارزیابی حجم آب صادر و وارد شده در استان مازندران نشان داد محصول جو نقشی در صادرات آب مجازی از مازندران نداشته و بیشترین آب صادرشده در مازندران توسط گندم صورت گرفته است. هم‌چنین برنج و مرکبات از محصولات عمده استان مازندران در بازار داخلی و خارج از کشور هستند. حجم بیشتر آب مجازی مصرف شده توسط گندم و مرکبات از منابع آب سبز است که قابل انتقال و جابجایی نیست و تنها توسط گیاهان مصرف می‌شود. با توجه به این امر، صادرات آب مجازی توسط این دو گیاه آسیبی به منابع آب تجدیدناپذیر این استان وارد نمی‌سازد. ضمن این که حجم آب وارد شده توسط گیاه گندم و جو، چندین برابر حجم آب صادر شده است.

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

با روند رو به افزایش کم‌آبی در استان مازندران، اهمیت آب مجازی در امنیت غذایی استان پیوسته رو به افزایش است. بنابراین با توجه به عملکرد هریک از محصول‌های مورد مطالعه، میزان آب مجازی مصرفی و ارزش اقتصادی آن‌ها می‌توان صادرات آب مجازی محصول‌های با نیاز آبی بالا را کاهش داده و با وارد کردن محصول‌هایی که دارای میزان آب مجازی مصرفی بالایی هستند، به امنیت آبی و مدیریت منابع آب در استان مازندران کمک کرد. مطالعه نیاز آبی محصولات کشاورزی استان مازندران در ده سال اخیر نشان داد مرکبات، گندم، جو و برنج بیشترین نیاز آبی را به خود اختصاص داده‌اند. بررسی سطح زیر کشت این محصولات در استان نشان داد برنج بیشترین مصرف آب مجازی را به خود اختصاص داده است و مرکبات از محصولات با مصرف آب مجازی کمتری به شمار می‌رود. هم‌چنین ۹۷ درصد از نیاز آبی مرکبات از آب سبز تأمین می‌شود در حالی که نیاز آبی برنج تنها ۴۰ درصد از آب سبز تأمین شده و ۶۰ درصد نیاز به آب آبی دارد. هم‌چنین در خصوص گندم و جو در حدود ۷۸ درصد از نیاز آبی از آب سبز تأمین می‌شود.

به‌طور کلی تولید مرکبات، برنج و جو بیشتر از نیاز استان است که به استان‌های دیگر و یا خارج از کشور ارسال می‌شود. حجم آب مجازی مورد نیاز گیاه برنج در سطح استان نسبت به سایر محصولات بیشتر است. خروج برنج از استان به مناطق دیگر کشور به معنی خروج حجم بالایی از آب مجازی است. با توجه به این که آب مصرفی برنج عمدتاً از نوع آب آبی است و این نوع آب مجازی علاوه بر این که قابل انتقال است، در سایر بخش‌ها نیز قابل استفاده است. در حقیقت آب مجازی مصرف شده توسط این گیاه با نیاز

- assessment of the environmental impacts of food production and processing”, In: *Environmental Assessment and Management in the Food Industry*, The University of Warwick, pp. 255-271.
- Liu, J., Williams, J.R., Zehnder, A.J.B., and Yang, H., (2007), “GEPIC-modeling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale”, *Agricultural Systems*, 94(2), 478-493.
- PourSalehi, F., Khashei, A., and Bidokhti, Z., (2016), “Changes in cropping pattern and intensification based on virtual water with the saffron centrality (Case Study: Birjand plain)”, *Journal of Zaffron Research*, 3(1), 18-30.
- Salah, A., (2014), “Investigating virtual water trade patterns in economic activity of Guilan province by application of expanded input-output table”, M.Sc. Thesis, School of Economics, Shahid Beheshti University, Iran.
- Yang, H., Wang, L., Abbaspour, K.C., and Zehnder, A.J., (2006), “Virtual water highway: Water use efficiency in global trade”, *Hydrology and Earth System Sciences*, 3(1), 1-26.
- Yang, H., Wang, L., Abbaspour, K.C., and Zehnder, A.J., (2006), “Virtual water trade: An assessment of water use efficiency in the international food trade”, *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(3), 443-454.
- Zhao, A., Zhu, X., Liu, X., Pan, Y., and Zuo, D., (2016), “Impacts of land use change and climate variability on green and blue water resources in the Weihe River Basin of northwest China”, *CATENA Journal*, 137, 318-32.
- Zhao, X., Yang, H., Yang, Z., Chen, B., and Qin, Y., (2010), “Applying the input-output method to account for water footprint and virtual water trade in the Haihe River basin in China”, *Environmental Science and Technology*, 44(23), 9150-91.
- چوپان، ی.، و امامی، س.، (۱۳۹۹)، “بررسی امکان‌سنجی بهره‌گیری از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری تربت‌حیدریه برای آبیاری محصولات کشاورزی”، *نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۱۵(۱)، ۳۹-۴۵.
- زارع ابیانه، ح.، آرام، م.، اخوان، س.، (۱۳۹۴) “ارزیابی حجم آب مجازی مبادلاتی محصولات عمده زراعی استان همدان”، *مجله پژوهش آب ایران*، ۹(۳)، ۱۵۱-۱۶۱.
- معلمی، م.، (۱۳۹۷)، “بررسی تأثیر رشد درآمد سرانه بر رشد خالص واردات آب مجازی در کشورهای منتخب”، *مجله نظریه‌های کاربردی اقتصاد*، ۱۵(۱)، ۱۳۳-۱۵۸.
- موسوی، ن.، اکبری، م.، سلطانی، غ.، زارع، م.، (۱۳۸۸)، “آب مجازی: راه‌کارهای نوین در جهت مقابله با بحران آب”، *همایش ملی مدیریت بحران آب*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.
- Ababaei, B., and Ramezani, H., (2014), “Estimation of water footprint component of Iran’s wheat production, comparison of global and national scale estimates”, *Environmental Process Journal*, 1(3), 193-205.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Rase D., and Smith, M., (1998), “Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements, irrigation and drainage paper”, FAO (Food and Agriculture Organization) of the United Nations, 56.
- BadrulMasud, M., Wada, Y., Goss, G., and Faramarzi, M., (2019), “Global implications of regional grain production through virtual water trade”, *Science of the Total Environment*, 659, 807-820.
- Faramarzi, M., Yang, H., Mousavi, J., Schulin, R., Binder, C.R., and Abbaspour, K.C., (2010), “Analysis of intra-country virtual water trade strategy to alleviate water scarcity in Iran”, *Hydrology and Earth Sciences*, 14(8), 1417-1433.
- Gerbens-Leenes, W., Hoekstra, A.Y., and Vander Meer, T.H., (2009), “The water footprint of bioenergy”, *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 106(25), 10219-10223.
- Hoekstra, A., and Mekonnen, M., (2016), “Imported water risk: The case of the UK”, *Environmental Research Letters*, 11(5), 50-52.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., (2008), *Globalization of water: Sharing the planet’s freshwater resources*, Blackwater Publishing, Oxford, UK.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., and Mekonnen, M.M., (2009), *Water footprint manual: State of the art*, Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands.
- Horlemann, L., and Neubert, S., (2007), *A realistic concept for resolving the water crisis inter-and intra-annual variation of water footprint of crops and blue water scarcity in the Yellow River basin virtual water trade*, Research Report, German Development Institute, pp. 216-227.
- Lillywhite, R., (2010), “Footprinting methods for



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.