محیط‌شناسی، دورهٔ ٤١، شمارهٔ ٣، پاییز ١٣٩٤، صفحهٔ ٥٤٣-٥٢٩

بررسی تناسب مناطق زیر کشت گندم در ایران با نیاز آبی و عملکرد گندم با رویکرد آب مجازی

تورج نصرآبادی[1]*، الهام عرب[2]، فرزام پوراصغر سنگاچین[3]

۱. استادیار گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست دانشگاه تهران،

۲. کارشناس ارشد برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست دانشگاه تهران، aelhamarab@gmail.com

۳. دکترای برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست دانشگاه تهران، farzam_1344@yahoo.com

تاریخ وصول مقاله: ٩٤/٢/١٥ تاریخ پذیرش مقاله: ٩٤/٧/١١

چکیده

به‌رغم وجود محدودیت و تنش آبی در کشور استفادهٔ بهینه از منابع آب در ایران صورت نمی‌گیرد. عمده‌ترین مصرف‌کننده، با مصرف بیش از ۹۰ درصد از آب استحصال‌شدهٔ کشور، بخش کشاورزی است. ازاین‌رو نبود مدیریت صحیح مصرف آب در این بخش می‌تواند به منابع آب کشور آسیب وارد کند. یکی از روش‌های کاهش مصرف آب در این بخش، توجه به میزان آب مجازی محصولات در انتخاب محصول مناسب در هر منطقه است. آب مجازی مقدار آبی است که برای تولید هر محصول صرف می‌شود. عمده‌ترین محصول کشت‌شده در کشور گندم است. با توجه به اهمیت و مصرف زیاد این محصول در کشور انتخاب مناطقی با کمینهٔ نیاز آبی سبب کاهش در مصرف آب در بخش کشاورزی خواهد شد. میزان آب مجازی گندم در هر استان حاصل تقسیم نیاز خالص آب برای کشت بر عملکرد آن در هر استان است. در این تحقیق عملکرد گندم، میزان آب خالص مورد نیاز برای کشت، میزان آب مورد نیاز برای آبیاری و سطح زیر کشت در هر استان بررسی و با مقایسهٔ این ارقام در هر استان مکان‌های مناسب برای کشت این محصول پیشنهاد شده است.

کلیدواژه

آب مجازی، بهینه‌سازی، کشت، گندم.

۱. سرآغاز

منابع آب یکی از چالش‌های مهم محیط‌زیست در ایران به شمار می‌روند. این چالش به دلیل موقعیت جغرافیایی کشور در سال‌های اخیر تشدید شده است. سرانهٔ منابع آب تجدیدشوندهٔ سالانهٔ کشور در سال ۱۳۳۵ رقمی در حدود ۷۰۰۰ متر مکعب بوده و اکنون این رقم به حدود ۱۸۰۰ متر مکعب رسیده است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۱۴۱۰ به ۸۰۰ متر مکعب یا کمتر از آن تنزل یابد که این رقم به مراتب پایین‌تر از مرز کم آبی است که در عرف بین‌المللی برای یک کشور تعریف می‌شود. بر این اساس، ایران طی دهه‌های آینده وارد مرحلهٔ تنش آبی، یعنی سرانهٔ آب تجدیدپذیر کمتر از ۱۷۰۰ متر مکعب خواهد شد.

به‌رغم محدودیت شدید منابع آب در ایران، از منابع آب محدود به صورت مطلوب استفاده نمی‌شود. به همین دلیل شاخص بهره‌وری آب که نشان می‌دهد به ازای هر واحد تولید ناخالص داخلی چه مقدار آب مصرف شده است، در مقایسه با سایر مناطق جهان بسیار کمتر است. بررسی این شاخص بین کشورهای مختلف جهان

* نویسنده مسئول: Email: tnasrabadi@ut.ac.ir

تفاوت‌های آشکاری را بین کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه نشان می‌دهد به طوری که مقدار کل این شاخص بین ۲۸/۲ در کشورهای با درآمد بالا تا ۰/۸ در کشورهای با درآمد پایین در نوسان بوده است. بر اساس اطلاعات منتشرشده از سوی بانک جهانی در سال ۲۰۰۶، متوسط این شاخص طی دورهٔ ۱۹۸۷– ۲۰۰۴ در ایران برای بخش‌های کشاورزی، صنعت و شاخص کل به ترتیب معادل ۰/۲، ۲۶/۲ و ۱/۶ بوده است که نسبت به کشورهای توسعه‌یافته و متوسط جهانی ارقام پایین‌تری را نمایان می‌کند (به استثنای بخش صنعت). متوسط جهانی این شاخص به ترتیب ۱، ۱۸/۷ و ۸/۶ است (بانک جهانی، ۲۰۰۶).

یکی از نشانه‌های کمبود شدید آب خشک‌شدن رودخانه‌هاست. در حال حاضر بسیاری از رودخانه‌های جهان به دلیل برداشت‌های بی‌رویه در بالادست، قبل از رسیدن به دریا یا دریاچه‌ها خشک می‌شوند. برداشت بی‌رویه از منابع آب و از دست رفتن منابع آبیاری به معنای پایان کشاورزی است. پدیده‌ای که در حال حاضر بسیاری از کشورهای پرجمعیت جهان از جمله ایران با آن مواجه‌اند. این کسری آب تا حد زیادی نامرئی و از منظر تاریخی پدیده‌ای جدید و به سرعت نیز در حال گسترش است (براون، ۱۳۸۷).

افت شدید ذخایر آب زیرزمینی نیز از دیگر مشکلات به‌وجودآمدهٔ ناشی از مصرف نادرست منابع آب کشور است به گونه‌ای که عمق و بستر آب نسبت به ۵۰ سال گذشته از ۱۰ تا ۱۵ متری سطح زمین به ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر و در برخی مناطق به ۲۰۰ متر رسیده است. همچنین، این امر در برخی مناطق سبب تداخل آب شور و شیرین شده است (شفیعی، ۱۳۹۰).

از مجموع حدود ۱۳۰ میلیارد متر مکعب پتانسیل آبی کشور به طور متوسط حدود ۹۳/۳ میلیارد متر مکعب آب سالانه استحصال می‌شود که از این مقدار بخش کشاورزی با استحصال ۸۶/۳ میلیارد مکعب و با سهم بیش از ۹۲/۴ درصد بیشترین مصرف را به خود اختصاص داده است. استفادهٔ بیش از حد منابع آب تولید پساب را نیز به دنبال خواهد داشت و علاوه بر کاهش منابع آب کشور سبب آلوده‌شدن باقی‌ماندهٔ آن می‌شود. حجم پساب در سال ۱۳۸۸ به بیش از یک چهارم منابع آب تجدیدشونده و معادل ۳۴/۵ میلیارد متر مکعب رسید. از این میزان ۲۹ میلیارد متر مکعب پساب کشاورزی، ۴ میلیارد متر مکعب پساب شهری و ۱/۵ میلیارد متر مکعب پساب صنعتی است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۵).

اصطلاح «آب مجازی» از سال ۱۹۹۳ میلادی از سوی تونی آلن استاد دانشگاه لندن (مؤسسهٔ تحقیقات آب) وارد فرهنگ آب جهان شد. وی همچنین به منظور فائق‌آمدن بر مشکلات متعدد کشورهای کم‌آب به خصوص در خاورمیانه، «تجارت آب مجازی» را در سال ۱۹۹۷ میلادی پیشنهاد کرد. وی همچنین آب موجود در غلات، شیر و محصولات دامی را بر اساس مقدار آب مورد نیاز برای تولید آن‌ها تفسیر کرد که این مفهوم به‌منزلهٔ ابزار اقتصادی توانمند برای کاهش مشکلات مربوط به کمبود آب در سطح اقتصادهای ملی مطرح شد (Allan, 1997; 2003).

در سال‌های اخیر مفهوم آب مجازی را برای کالاهایی که در تولید آن‌ها آب زیادی استفاده شده است یا در صادرات موجب اتلاف منابع کمیاب آب در یک حوضهٔ آبریز می‌شود به کار می‌برند (Xiaoling, et al., 2014; Zhang, et al., 2014; Yoo, et al., 2012; El-Gafy, 2014). همچنین، آب مجازی به‌منزلهٔ یک شاخص تخمین می‌زند آسیب‌های زیست‌محیطی تولید یک محصول خاص به چه میزان است. در واقع مقدار آب مجازی یک محصول تأثیر مصرف این محصول در محیط‌زیست را بیان می‌کند (Starr and Levison, 2014; Bulsink, et al., 2010; Yoo, et al., 2009; Hoekstra and Chapagain, 2007).

مقدار آب مجازی هر محصول، مقدار آبی است که برای تولید آن در محل تولید واقعی آن مصرف می‌شود. همچنین، می‌توان مقدار آب مجازی را که در محل مصرف برای تولید آن محصول نیاز است، به‌منزلهٔ میزان آب

مجازی آن محصول در نظر گرفت (Abu-Sharar, et al., 2012; Montesinos, et al., 2011; Aldaya, et al., 2010).

Chapagain و همکاران (۲۰۰۵) با محاسبهٔ جریان آب مجازی در جهان بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۱، اثر آن را در منابع آب ملی و جهانی با توجه به اقلیم، کارایی مصرف آب و الگوی کشت هر محصول در هر کشور بررسی کرده‌اند. بر این اساس مقدار کل آب موردنیاز در کشورهای واردکننده، در صورتی که تمام محصولات واردشده در داخل خود آن‌ها تولید می‌شد معادل ۱۶۰۵ گیگا متر مکعب در سال می‌شد. در صورتی که کشورهای صادرکننده با صرف ۱۲۵۳ گیگا متر مکعب در سال این محصولات را تولید کرده‌اند که سبب صرفه‌جویی ۳۵۲ گیگا متر مکعب در سال آب در سطح جهانی شده است. مهم‌ترین عامل در این صرفه‌جویی به نظر کارایی مصرف آب است (Chapagain, et al., 2005).

Mekonnen و Hoekstra در سال ۲۰۱۰ میزان جریان آب مجازی از طریق صادرات و واردات گندم در کشورها را بررسی کرده‌اند. بر اساس این گزارش امریکا، کانادا، استرالیا و آرژانتین بزرگ‌ترین صادرکنندگان آب مجازی از طریق گندم و برزیل، ژاپن و ایتالیا بزرگ‌ترین واردکنندگان به شمار می‌روند. ایران نیز هفتمین واردکننده محسوب می‌شود. همچنین، ایران بعد از چین، هند، روسیه، امریکا و پاکستان ششمین مصرف‌کنندهٔ عمدهٔ گندم در سطح جهان است (Mekonnen and Hoekstra, 2010).

از حدود ۱۲ میلیون هکتار سطح محصولات سالانهٔ برداشت‌شده در ایران در سال زراعی ۱۳۸۹- ۹۰ حدود ۸/۸ میلیون هکتار معادل ۷۳/۱ درصد به غلات اختصاص داشته است. محصول گندم با ۷۲/۴ درصد عمده‌ترین محصول کشور است (آمارنامهٔ کشاورزی محصولات زراعی، ۱۳۹۰). همچنین، عمده‌ترین محصول واردشده به کشور نیز گندم است که این امر نشان‌دهندهٔ اهمیت این محصول است. گندم در ایران به‌منزلهٔ غذای غالب مردم مطرح و در جهان نیز به‌منزلهٔ یک محصول استراتژیک مدنظر است. هوکسترا و هانگ (۲۰۰۲) در گزارشی جریان آب مجازی در جهان را از طریق تجارت محصولات کشاورزی طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹ مشخص کردند. محاسبات آنان نشان می‌دهد که گندم با ۳۰/۲ درصد تجارت آب مجازی در رتبهٔ اول این تجارت قرار دارد (Hoekstra and Hung, 2002).

Mekonnen و Hoekstra در سال ۲۰۱۱ جمع جریان آب مجازی جهانی را بین سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ در حدود ۲۳۲۰ Gm^3/yr برآورد کرده‌اند. بیشترین میزان یعنی ۷۶ درصد از جریان آب مجازی بین کشورها مربوط به تجارت محصولات کشاورزی و محصولات مشتق‌شده از آن است. بیشترین جریان آب مجازی جهانی مربوط به دانه‌های روغنی و فراورده‌های آن‌هاست که ۴۳ درصد کل جریان آب مجازی را به خود اختصاص داده است. بعد از دانه‌های روغنی بیشترین میزان جریان آب مجازی مربوط به غلات با ۱۷ درصد است (Mekonnen and Hoekstra, 2011). همان‌طور که بیان شد گندم محصولی استراتژیک در جهان است. هرگونه تغییر در میزان تولید جهانی آن، مانند کاهش سطح زیر کشت به دلیل مقرون به‌صرفه شدن محصولی دیگر مانند کشت محصولاتی برای تولید سوخت یا افزایش تقاضا در بازار (کشورهای پرجمعیت مانند چین با رشد اقتصادی و به دنبال آن تغییر رژیم غذایی، سبب افزایش میزان تقاضا در محصولات غذایی از جمله گندم شده‌اند که در بازارهای جهانی اثر خواهد گذاشت) آثار زیادی در قیمت و میزان گندم تولیدی می‌گذارد. لذا به منظور حفظ امنیت غذایی کشور باید بدون شتاب‌زدگی به مدیریت این محصول توجه شود.

یکی از گزینه‌هایی که در سال‌های قبل مطرح شد خودکفایی در تولید این محصول بوده است. این گزینه که تا حدی در سال‌های ۱۳۸۳- ۸۴ اجرا شد از طرف اکثر کارشناسان رد شد. عملاً هم این طرح به دلیل

محدودیت‌های موجود که عمده‌ترین آن کمبود منابع آب است اجرایی نشد.

با توجه به شرایط محدود منابع آب کشور و نیاز زیاد این محصول به آب، توسعهٔ کشت این محصول منطقی نیست و می‌توان با واردکردن کسری موجود از فشار بر منابع آب کشور کاست. این امر در واقع به معنی واردکردن آب به شکل مجازی است. مورد دیگری که در خصوص کشت گندم باید مدنظر قرار گیرد پایین‌بودن عملکرد گندم در ایران است. با افزایش عملکرد کشت گندم در واقع میزان آب مصرفی برای هر کیلوگرم کاهش می‌یابد که به معنی صرفه‌جویی در مصرف آب است. با توجه به کم‌بودن منابع آب موجود به جای افزایش سطح زیر کشت که سبب افزایش مصرف آب می‌شود، عملکرد سطح زیر کشت موجود را باید افزایش داد. این میزان در حال حاضر حدود ۳/۵ تن و در فرانسه این مقدار در حدود ۷/۵ تن در هکتار است.

با توجه به مصرف و تقاضای زیاد این محصول در جهان، تغییر در میزان تولید این محصول در جهان می‌تواند در بازار جهانی اثر گذارد و قیمت آن را تحت تأثیر قرار دهد. لذا در کشور باید برنامهٔ جامعی برای تولید، واردات و صادرات این محصول وجود داشته باشد. با توجه به اهمیت این محصول در ایران و جهان در این مطالعه به بررسی این محصول در ایران از جهت مصرف آب پرداخته شده است.

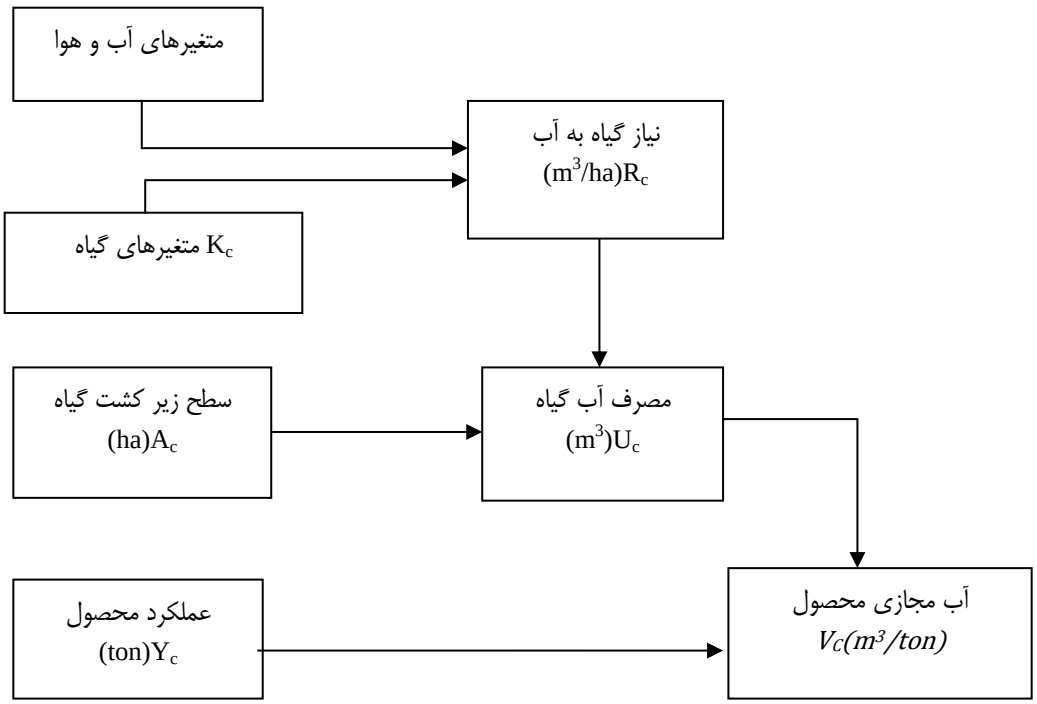
۲. مواد و روش‌ها

میزان آب مجازی هر گیاه علاوه بر نوع گیاه و اقلیم منطقه، به عملکرد محصول یا میزان برداشت در سطح نیز بستگی دارد و حاصل تقسیم نیاز خالص آب برای کشت بر عملکرد آن در هر منطقه است. در این تحقیق برای بررسی مکان‌های مناسب برای کشت گندم در ایران عوامل مؤثر در میزان آب مجازی گندم در هر منطقه بررسی شده است. برای انتخاب اولویت‌های کشت گندم می‌توان نیاز آبیاری در هر منطقه و سطح زیر کشت گندم را بررسی کرد. با توجه به توضیحات داده‌شده در هر منطقه گیاه به میزان متفاوتی آب نیاز دارد که این تفاوت به دلیل متفاوت‌بودن شرایط اقلیمی مانند دما و رطوبت منطقه است. از طرفی در هر منطقه میزان متفاوتی بارندگی وجود دارد که می‌تواند بخشی از نیاز آبی گیاه را تأمین کند. تفاوت این دو میزان معادل آب موردنیاز هر منطقه برای آبیاری گیاه موردنظر است.

ابتدا باید مقدار نیاز آبی گندم در تمام کشور برآورد شود. روش‌های مختلفی برای محاسبهٔ این مقدار وجود دارد. مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب با استفاده از فرمول پنمن- منتیت ارائه‌شده از سوس فائو در نرم‌افزار کراپ وات برای استان‌های مختلف و محصولات زراعی و باغی این مقدار را محاسبه و بعضی موارد را از طریق فرمول هارگروز یو بلینی کریدل تصحیح کرده است. این مقادیر در کتاب برآورد آب موردنیاز گیاهان عمدهٔ زراعی و باغی به تفکیک استان‌ها گردآوری و در این تحقیق نیز از همین داده‌ها استفاده شده است (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶). عملکرد و سطح زیر کشت در هر استان نیز از آمارنامهٔ کشاورزی سال ۱۳۸۹- ۹۰ استخراج شده است (آمارنامهٔ کشاورزی محصولات زراعی، ۱۳۹۰).

در تمام روش‌هایی که از طریق آن‌ها تبخیر و تعرق گیاه مرجع محاسبه می‌شود برای آنکه بتوان نتایج را به سطوح پوشش گیاهی موردنظر تعمیم داد لازم است مقادیر به‌دست‌آمده را در ضریب گیاهی Kc ضرب کرد. این ضریب به عواملی مانند نوع گیاه، مرحلهٔ رشد و شرایط آب و هوایی محل بستگی دارد. ضریب گیاهی مقدار ثابتی نیست و طی دورهٔ رشد گیاه تغییر می‌کند. طبق پیشنهاد فائو این ضریب برای مراحل ابتدایی رشد، مرحلهٔ میانی و مرحلهٔ رشد نهایی در نظر گرفته می‌شود.

در شکل ۱ به طور خلاصه مراحل به‌دست‌آوردن میزان آب مجازی محصولات بیان شده است.



شکل ۱. مراحل به‌دست‌آوردن میزان آب مجازی

آب مجازی محصولات کشاورزی VC (m^3/ton) از تقسیم کل میزان آب مورد نیاز برای تولید محصول c به کل محصول تولیدشده به دست می‌آید.

$$V_c = \frac{U_C}{Y_C}$$

برای محاسبهٔ آب مجازی محصول c در سطح یک کشور باید کل حجم آب مصرف‌شده برای تولید این محصول در کشور را به کل محصول تولیدشده در آن کشور تقسیم کرد.

$$V_C = \frac{\sum U_C}{\sum Y_C}$$

مقدار آب موردنیاز برای محصول c را می‌توان از ضرب‌کردن مقدار نیاز آبی محصول برای کل دورهٔ رشد گیاه RC (m^3/ha) در کل اراضی کشت‌شده AC (ha) به دست آورد.

$$U_C = R_C \times A_C$$

فرض بر این است که نیاز آبی گیاه به طور کامل از طریق آبیاری یا بارندگی تأمین می‌شود. این مقدار طی دورهٔ رشد گیاه lp (day) از مجموع تبخیر از مزرعه (m/day) EC به دست می‌آید.

$$Rc = ۱۰۰۰۰ \times \sum_{d=۱}^{d=lp} E_c$$

مقدار تبخیر از مزرعه را از ضرب‌کردن ضریب گیاهی در تبخیر و تعرق گیاه مرجع محاسبه می‌کنند.

$$E_c = K_c \times E_r$$

معادلهٔ پنمن- مونتیت کلاسیک برای محاسبهٔ تبخیر و تعرق به صورت زیر است.

$$E = \frac{\Delta\left(R_n - G\right) + c_p \rho_a \dfrac{\left(e_s - e_a\right)}{ra}}{\left[\Delta + \gamma\left(1 + \dfrac{r_s}{r_a}\right)\right]\rho_w \lambda}$$

E (m/day): تبخیر و تعرق؛

λ (MJ/kg): گرمای نهان تبخیر؛

Δ(kPa /°C): شیب منحنی فشار بخار و درجهٔ حرارت؛

CP (MJ/kg/°C): شیب منحنی فشار بخار و درجهٔ حرارت؛

ρa (kg/m^3): چگالی متوسط هوا در فشار ثابت؛

ρw (kg/m^3): چگالی آب؛

γ (kPa/°C): ثابت سایکرومتری؛

es (kPa): فشار بخار اشباع؛

ea (kPa): فشار بخار محیط؛

Rn ($MJ/m^2/day$): تابش خالص بر سطح محصول؛

G ($MJ/m^2/day$): فلاسک حرارتی خاک؛

ra (d/m): مقاومت ایرودینامیکی؛

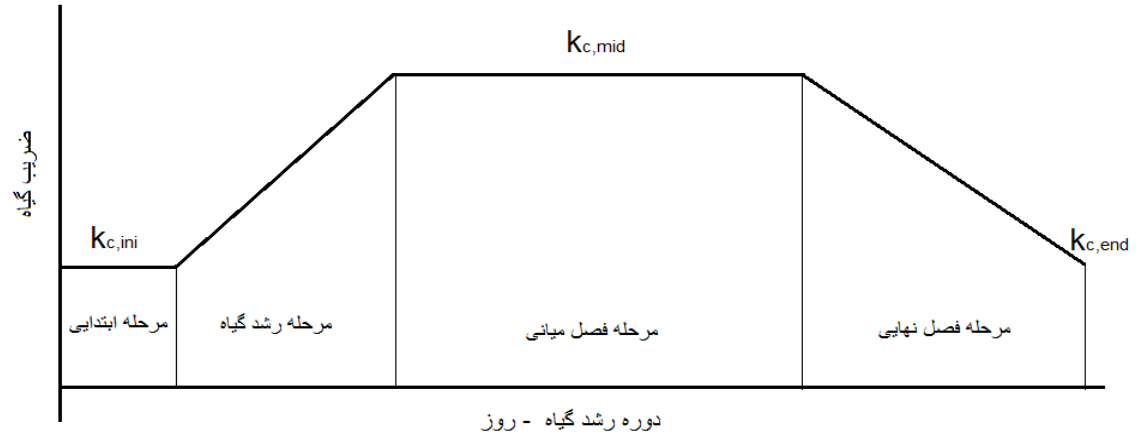
rs (d/m): مقاومت سطحی تودهٔ محصول.

برای محاسبهٔ تبخیر و تعرق گیاه مرجع معمولاً ازمعادلهٔ پنمن- مونتیت استفاده می‌شود. در معادلهٔ اصلی پنمن- مونتیت مستقیماً نیاز آبی گیاه در یک مرحله با استفاده از ضرایب مقاومت گیاهی، ضریب انعکاس و مقاومت هوا تعیین می‌شود. ولی در حال حاضر به دلیل کمبود اطلاعات کارشناسان فائو با انتخاب ضرایب ثابت در این معادله، آن را برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع کالیبره کرده‌اند. در این روش نیاز آبی گیاه با استفاده از ضرایب موجود در دو مرحله محاسبه می‌شود.

$$E_r = \frac{۰/۴۰۸ \times \Delta \times (R_n - G) + \gamma \times \frac{۹۰۰}{T+۲۷۳} \times U_۲ \times (e_a - e_s)}{\Delta + \gamma (۱+۰/۳۴ \times U_۲)}$$

به دلیل اینکه پوشش زمین، پوشش تاج محصول و مقاومت ایرودینامیکی چمن با محصول موردنظر متفاوت است تبخیر و تعرق گیاه مرجع با محصول موردنظر متفاوت است. این تفاوت در ضریب گیاه اعمال می‌شود. عوامل مؤثر در این ضریب نوع گیاه، آب و هوا و مراحل رشد گیاه است. برای مثال، در نواحی خشک و نواحی با سرعت باد زیاد این ضریب بیشتر است. با رشد گیاه پوشش زمین، ارتفاع گیاه و سطح برگ‌ها تغییر می‌کند که سبب تغییر در میزان تبخیر می‌شود. لذا ضریب گیاه در هر مرحله متفاوت است. مراحل رشد گیاه را به چهار مرحلهٔ ابتدایی، رشد گیاه، فصل میانی و فصل نهایی تقسیم می‌کنند که ارتباط آن با ضرب گیاهی در شکل ۲ نشان داده شده است.

در مرحلهٔ ابتدایی تقریباً ده درصد زمین پوشیده شده است. طول این مرحله به نوع گیاه و شرایط اقلیمی بستگی دارد. در این مرحله سطح برگ‌ها کم است لذا تبخیر بیشتر از سطح خاک صورت می‌گیرد. در صورتی که خاک در اثر آبیاری یا بارندگی مرطوب باشد ضریب گیاه در این مرحله بیشتر از زمانی است که خاک خشک باشد. در مرحلهٔ رشد گیاه پوشش از ده درصد تا حد نهایی تغییر می‌کند و با افزایش سایه تبخیر کاهش و تعرق از گیاه افزایش می‌یابد.



شکل ۲. رابطهٔ ضریب گیاهی و مراحل رشد گیاه

مرحلهٔ فصل میانی از زمان پوشش کامل مؤثر تا زمان باروری گیاه طول می‌کشد که معمولاً همراه با زردشدن برگ‌ها و رسیدن میوه است. در این مرحله ضریب گیاه بیشترین مقدار را دارد و ثابت می‌ماند. در مرحلهٔ فصل نهایی اگر قبل از برداشت محصول مرتباً آبیاری شود ضریب گیاه بیشتر و در صورتی که آبیاری انجام نشود ضریب گیاه کمتر است. در نهایت پس از محاسبهٔ داده‌های مربوط به میزان آب مجازی محصول گندم در سطح کشور داده‌های بالا از طریق نرم‌افزار GIS-Arc map روی نقشهٔ ایران به صورت دسته‌های مختلف نشان داده شده‌اند و این آمار تحلیل شده است.

۳. نتایج و بحث

برای محاسبهٔ نیاز آبی گندم در کل کشور از میانگین وزنی طبق فرمول زیر استفاده شده است.

$$CWR_c = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(CWR_{c,i} \times A_{c,i}\right)}{TA_c} CWR_c$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(CWR_{c,i} \times A_{c,i}\right)}{TA_c}$$

که در این فرمول i,c به ترتیب معرف محصول و استان است. CWRc (m^3/ha) نیاز آبی محصول گندم در کل کشور است و CWRc,i نیاز آبی محصول گندم در استان i است. Ac,i,j (ha) سطح زیر کشت محصول در هر استان و TAc کل سطح زیر کشت محصول در کشور است.

متوسط میزان آب مجازی یک محصول از تقسیم متوسط نیاز آبی یک محصول در کشور به متوسط عملکرد آن به دست می‌آید. با توجه به اینکه عملکرد محصولات در هر سال با توجه به شرایط اقلیمی و تکنولوژی استفاده‌شده در کشت محصول متفاوت است، میانگین آب مجازی محصولات برای سال‌های ۱۳۸۰- ۱۳۹۰ طبق فرمول زیر به دست می‌آید.

$$VWC_c = \left(\sum_{j=1}^{n} \frac{CWR_c}{Y_{c,j}}\right) / n$$

در این فرمول VWCc متوسط آب مجازی محصول c (گندم) در کشور و Yc,j متوسط عملکرد آن در سال j و n تعداد سال‌های تحت بررسی است. میزان عملکرد و سطح زیر کشت گندم در استان‌های مختلف از آمارنامهٔ کشاورزی منتشرشده از سوی وزارت جهاد کشاورزی و بانک اطلاعات آن استخراج شده است. این محاسبات برای محصول گندم در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند.

جدول ۱. نیاز خالص آب، سطح زیر کشت و نیاز آبی گندم در کشور

استان	نیاز خالص آب در سطح گندم (m^3/ha)	سطح زیر کشت آبی ۹۰ -۸۹ (ha)	نیاز آبی گندم (m^3) (ضرب دو ستون)
اردبیل	۵۱۲۳	۸۲۸۹۸	۴۲۴۷۱۴۰۸۶
اصفهان	۶۹۰۱	۵۶۱۷۳	۳۸۷۶۶۳۹۱۶
ایلام	۵۲۰۵	۴۹۳۹۴	۲۵۷۰۹۵۷۷۰
آذربایجان شرقی	۵۲۷۵	۹۱۸۹۵	۴۸۴۸۱۱۷۶۴
آذربایجان غربی	۵۳۷۶	۱۰۰۴۰۸	۵۳۹۷۹۳۴۰۸
بوشهر	۵۹۹۰	۱۶۷۸۱	۱۰۰۵۱۸۱۹۰
تهران	۶۰۴۹	۷۲۹۶۶	۴۴۱۳۹۵۶۵۶
چهارمحال و بختیاری	۶۱۴۰	۲۸۲۱۸	۱۷۳۲۵۸۵۲۰
خراسان جنوبی	۵۸۳۴	۲۹۸۳۶	۱۷۴۰۶۳۲۲۴

ادامهٔ جدول ۱. نیاز خالص آب، سطح زیر کشت و نیاز آبی گندم در کشور

استان	نیاز خالص آب در سطح گندم (m^3/ha)	سطح زیر کشت آبی ۹۰ -۸۹ (ha)	نیاز آبی گندم (m^3) (ضرب دو ستون)
خراسان رضوی	۶۰۵۴	۲۴۴۵۷۴	۱۴۸۰۷۵۹۶۹۶
خراسان شمالی	۵۷۴۰	۴۵۹۲۷	۲۶۳۶۲۰۹۸۰
خوزستان	۵۷۷۷	۴۷۹۶۰۰	۲۷۷۰۸۸۹۰۰۰
زنجان	۶۲۹۷	۱۷۰۳۱	۱۰۷۲۵۲۷۲۲
سمنان	۶۰۹۲	۳۱۴۱۳	۱۹۱۳۸۳۷۰۲
سیستان و بلوچستان	۶۲۳۸	۷۹۸۳۶	۴۹۸۰۱۶۹۶۸
فارس	۶۶۹۵	۳۳۰۳۹۷	۲۲۱۲۲۴۳۹۱۳
قزوین	۵۸۷۰	۵۸۱۷۲	۳۴۱۴۶۹۶۴۰
قم	۶۹۱۰	۱۴۸۲۰	۱۰۲۴۰۶۲۰۰
کردستان	۵۵۳۳	۳۶۳۶۸	۲۰۱۲۳۶۲۶۶
کرمان	۶۵۸۵	۱۰۱۸۹۲	۶۷۱۰۱۵۴۲۶
کرمانشاه	۵۳۸۰	۶۳۲۲۲	۳۴۰۱۳۴۳۶۰
کهگیلویه و بویراحمد	۵۲۹۰	۲۰۲۸۰	۱۰۷۲۸۱۲۰۰
گلستان	۵۱۰۵	۱۶۹۶۱۰	۸۶۵۸۵۹۰۵۰
لرستان	۶۵۷۶	۶۲۰۰۷	۴۰۷۷۹۹۳۷۰
مازندران	۳۴۸۰	۳۳۹۶	۱۱۸۱۸۰۸۰
مرکزی	۶۶۳۵	۶۵۰۱۳	۴۳۱۳۶۱۲۵۵
هرمزگان	۵۴۵۰	۱۳۵۰۱	۷۳۵۸۰۴۵۰
همدان	۶۱۹۰	۷۶۳۰۸	۴۷۲۳۴۶۵۲۰
یزد	۷۱۰۵	۲۴۸۸۳	۱۷۶۷۹۳۷۱۵
کل کشور	۵۹۶۳/۳۸	۲۴۶۶۸۱۹	۱۴۷۱۰۵۸۳۰۵۰

مأخذ: آمارنامهٔ وزارت جهاد کشاورزی

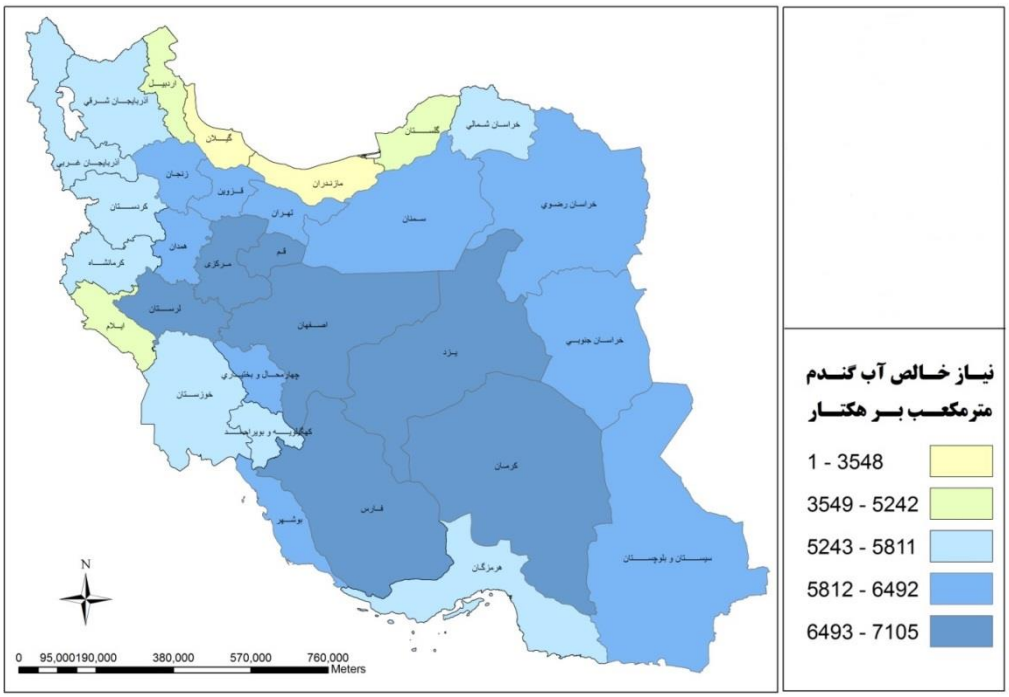
میزان عملکرد و آب مجازی گندم در دههٔ اخیر نیز در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. عملکرد و میزان آب مجازی گندم

سال	عملکرد گندم (kg/ha)	میزان آب مجازی (m^3/kg)
۹۰-۸۹	۳۴۵۵	۱/۷۲۶
۸۹-۸۸	۳۰۹۷	۱/۹۲۶
۸۸-۸۷	۳۶۷۲	۱/۶۲۴
۸۷-۸۶	۲۸۵۵	۲/۰۸۹
۸۶-۸۵	۳۸۰۱	۱/۵۶۹
۸۵-۸۴	۳۷۴۵	۱/۵۹۲
۸۴-۸۳	۳۷۸۶	۱/۵۷۵
۸۳-۸۲	۳۸۲۷	۱/۵۵۸
۸۲-۸۱	۳۶۲۹	۱/۶۴۳
۸۱-۸۰	۳۵۸۹	۱/۶۶۲
میانگین کل کشور		۱/۶۹۶

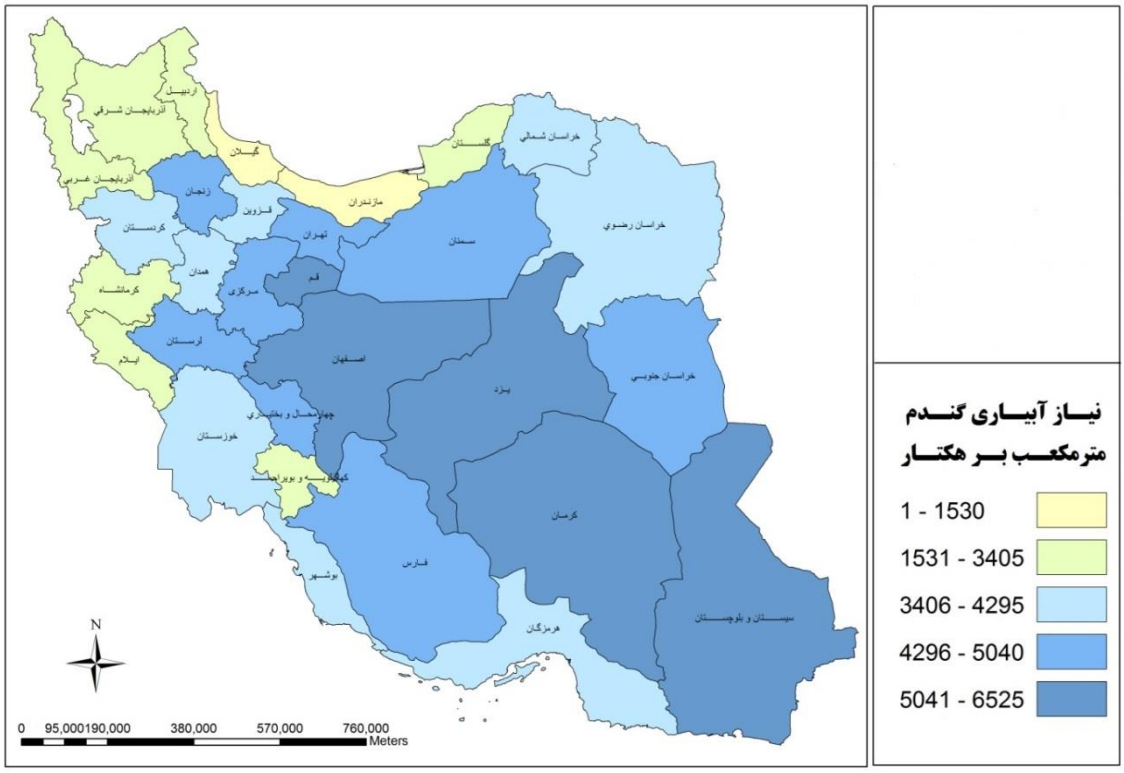
مأخذ: آمارنامهٔ وزارت جهاد کشاورزی

همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است نیاز خالص آب برای گندم در مناطق مرکزی ایران بیشتر است. علت این موضوع نیز بالاتربودن دما و رطوبت کم این مناطق است. مطابق شکل هرچه از مناطق مرکزی دورتر می‌شویم میزان نیاز آبی گندم کاسته می‌شود و در حاشیهٔ دریای خزر کمترین میزان را دارد.



شکل ۳. نیاز خالص آب برای تولید گندم در هر استان

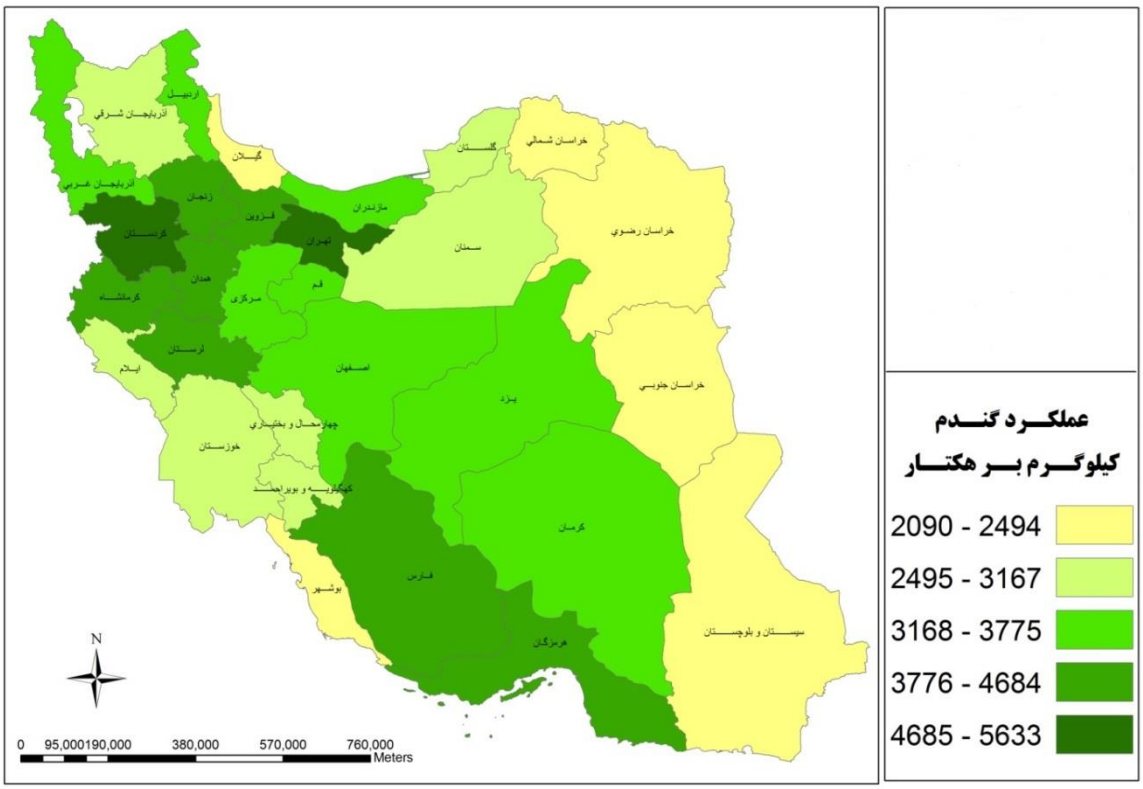
از تفاوت نیاز آبی گندم و میزان بارندگی هر منطقه می‌توان نیاز آبیاری گندم را به دست آورد. در واقع این پارامتر به اقلیم هر استان بستگی دارد و به نحوهٔ کشت بستگی ندارد. در شکل ۴ نیاز آبیاری گندم برای استان‌های مختلف نشان داده شده است.



شکل ۴. نیاز آبیاری گندم در هر استان

همان‌طور که مشاهده می‌شود در نواحی مرکزی و جنوب‌شرق کشور (استان‌های قم، اصفهان، یزد، کرمان و سیستان و بلوچستان) بیشترین نیاز آبیاری را داریم. در شمال و شمال‌غرب کشور (استان‌های گیلان، مازندران، گلستان، اردبیل، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، کرمانشاه، ایلام و کهگیلویه و بویراحمد) نیز کمترین میزان نیاز آبیاری وجود دارد. در واقع از نظر نیاز آبیاری این مناطق باید در اولویت کشت گندم قرار گیرند.

علاوه بر در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و نیاز آبیاری گندم که خارج از اختیار کشاورزان است، عملکرد این محصول در استان‌های مختلف نیز بررسی شده است. در واقع عملکرد گندم بیشتر به نحوهٔ کشت و آبیاری و میزان مکانیزه‌شدن کشت بستگی دارد. در شکل ۵ عملکرد گندم آبی در استان‌های مختلف نشان داده شده است. کمترین عملکرد مربوط به استان‌های شرق کشور و استان بوشهر می‌شود. عملکرد گندم در استان‌های تهران و کردستان بالای ۵ تن در هکتار است. استان‌های قزوین، همدان، زنجان و هرمزگان نیز عملکرد بالای ۴ تن در هکتار دارند. در مناطقی که کشت و نحوهٔ آبیاری به صورت صنعتی است، عملکرد محصول بالاتر است و مناطقی که به صورت سنتی کشت می‌شوند یا دچار کمبود آب هستند عملکرد محصول کمتر شده است. در مجموع مناطقی که عملکرد بالایی دارند باید در اولویت کشت قرار گیرند. در واقع عملکرد بالاتر به معنی کاهش مصرف آب برای تولید هر کیلوگرم از گندم است.



شکل ۵. عملکرد گندم در کشور

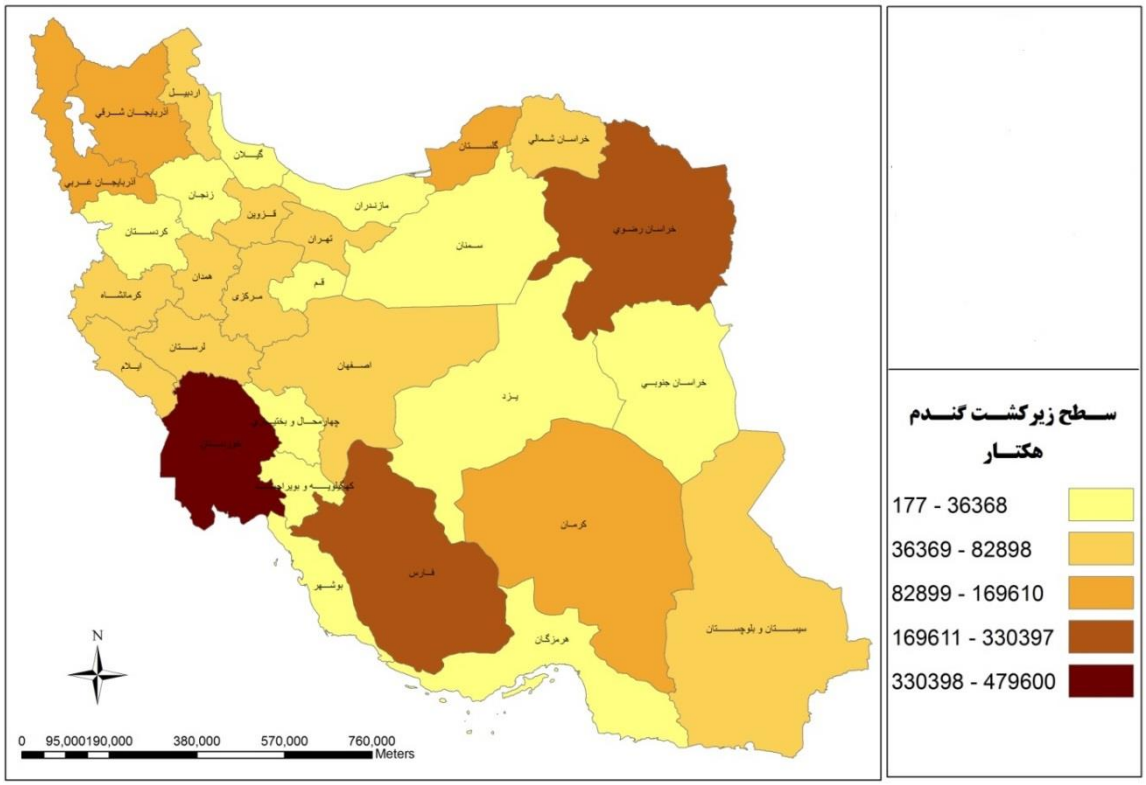
در شکل ۶ سطح زیر کشت گندم آبی در استان‌های مختلف نشان داده شده است. بیشترین میزان سطح زیر کشت مربوط به استان خوزستان است. این استان از نظر نیاز آبیاری در ردهٔ ۱۳ در میان استان‌های کشور است. همچنین، از نظر عملکرد این استان با ۳/۱ تن در هکتار در رتبهٔ ۱۸ قرار دارد. با توجه به این شرایط این استان به خصوص از نظر عملکرد در وضعیت مناسبی نیست. لذا گسترش سطح زیر کشت در این استان توصیه نمی‌شود.

استان فارس بعد از خوزستان بیشترین سطح زیر کشت را دارد. این استان از نظر نیاز آبیاری در رتبهٔ ۲۳ در بین استان‌هاست و از این نظر در شرایط مناسبی نیست، اما عملکرد این استان با ۴/۵ تن در هکتار در رتبهٔ ۴ قرار دارد. در واقع این استان با افزایش عملکرد به شرایط اقلیمی غلبه کرده است که می‌تواند الگوی مناسبی برای سایر استان‌ها باشد. برای تصمیم‌گیری در خصوص افزایش یا کاهش کشت در این استان باید به دیگر شرایط مانند منابع آب و فشار وارد بر آن توجه کرد. سومین استان از نظر سطح زیر کشت خراسان رضوی است. این استان از نظر نیاز آبیاری در ردهٔ ۱۶ و از نظر عملکرد (۲/۵ تن در هکتار) در رتبهٔ ۲۵ است. با توجه به محدودبودن منابع آب و شرایط نامناسب منابع آب زیرزمینی این استان، به نظر می‌رسد با کاهش سطح زیر کشت و افزایش عملکرد در این استان، می‌توان از اتلاف آب جلوگیری کرد و از فشار بر منابع آب آن کاست.

استان گلستان با ۱۶۹۶۱۰ هکتار سطح زیر کشت گندم، در مقام بعدی قرار دارد. این استان با عملکرد ۲/۷ تن در هکتار در وضعیت مناسبی نیست هرچند نیاز آبیاری گندم در این استان با ۲۵۰۵ متر مکعب در هکتار کم است. با توجه به کم‌بودن نیاز آبیاری در این استان، از نظر طبیعی در موقعیت مناسبی قرار دارد و پتانسیل گسترش سطح زیر کشت را داراست. ولی پایین‌بودن عملکرد کشت گندم سبب بالارفتن آب مجازی گندم در این استان و اتلاف

منابع آب می‌شود. با افزایش عملکرد می‌توان از این موقعیت (کم‌بودن نیاز آبیاری) به نحو بهتری استفاده کرد.

استان کرمان نیز با دارابودن ۱۰۱۸۹۲ هکتار سطح زیر کشت گندم، شایان ملاحظه است. این استان نیز دارای نیاز آبیاری بالایی است، ازاین‌رو به نظر می‌رسد از نظر مصرف آب، دارابودن این مقدار سطح زیر کشت مناسب نباشد، هرچند عملکرد تولید این محصول با ۳/۷ تن بر هکتار بیش از میانگین کشور است.

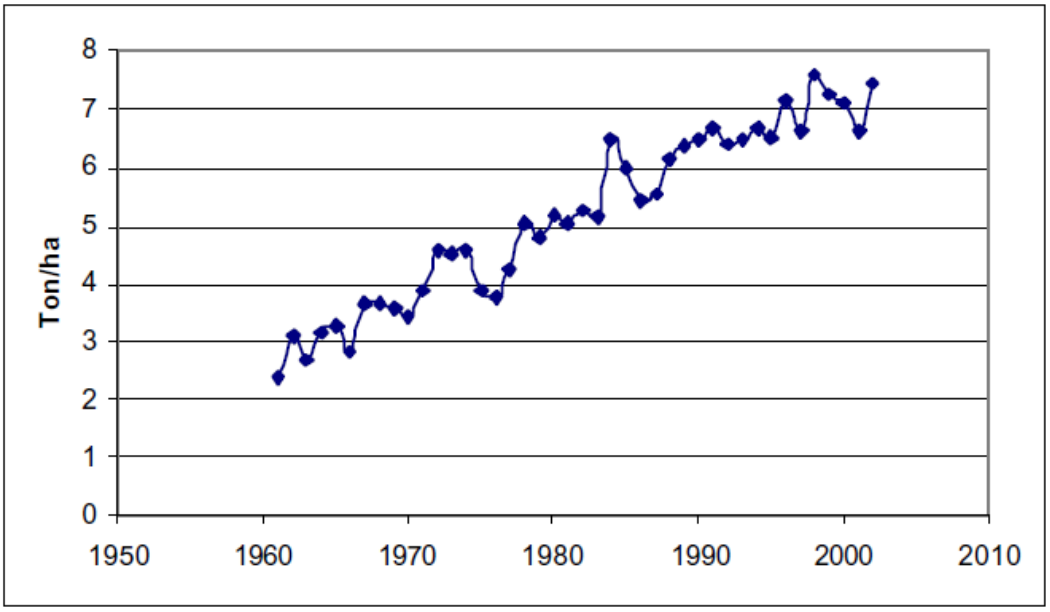


شکل ۶. سطح زیر کشت گندم در هر استان

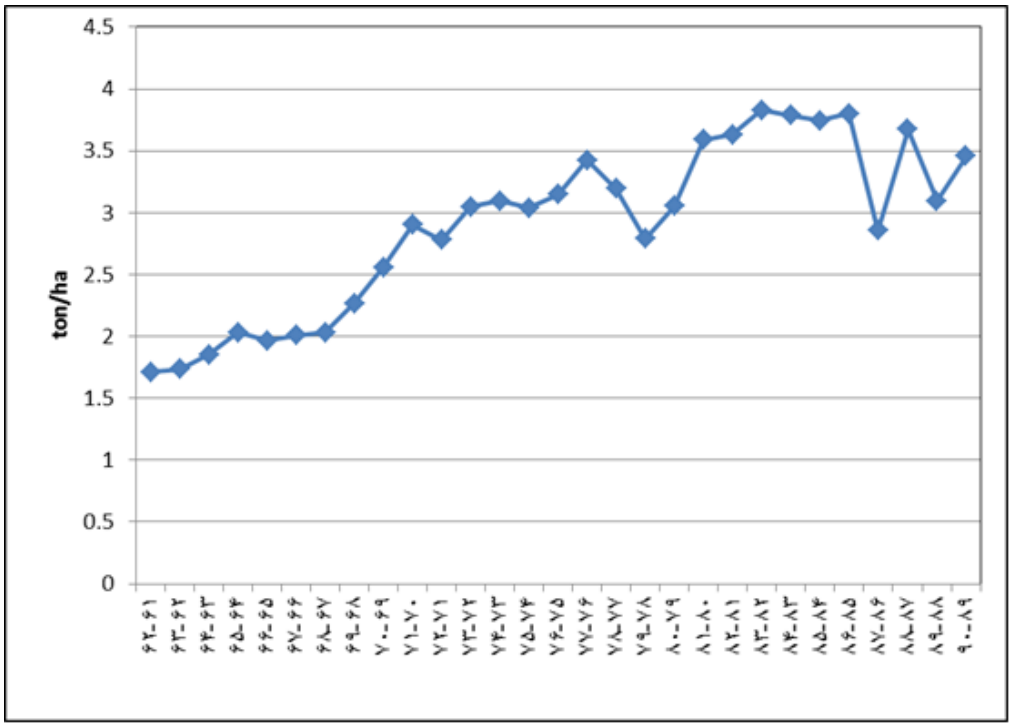
استان‌های آذربایجان شرقی و غربی نیز به ترتیب سطح زیر کشت زیادی دارند. این استان‌ها با توجه به اقلیمی که دارند نیاز آبیاری کمتری نسبت به سایر استان‌ها دارند و به نظر می‌رسد برای کشت گندم مناسب‌اند هرچند آذربایجان شرقی با عملکرد ۲/۸ تن در هکتار از این نظر در وضع مناسبی قرار ندارد. نکتهٔ مهمی که در این منطقه باید مورد توجه قرار گیرد، منابع آب موجود و فشار وارد بر آن است. هرچند در این مناطق میزان نیاز آبیاری برای گندم کم است، منابع آب آن تحت فشار است و به نظر می‌رسد به جای گسترش سطح زیر کشت گندم بهتر است از میزان آن کاست و بخش بیشتری از منابع آب موجود را به محیط‌زیست و به خصوص دریاچهٔ ارومیه اختصاص داد.

مورد مهمی که در خصوص کشت گندم باید توجه کرد پایین‌بودن عملکرد آن در ایران است. برای کشت گندم در هر منطقه با توجه به اقلیم و شرایط آب و هوا، میزان آب مورد نیاز در هر هکتار ثابت است. لذا به ازای تولید گندم در هر هکتار میزان ثابتی آب مصرف می‌شود. بنابراین، با افزایش عملکرد کشت گندم (کیلوگرم بر هکتار) در واقع میزان آب مصرفی برای هر کیلوگرم کاهش می‌یابد که به معنی صرفه‌جویی در مصرف آب است. با توجه به کم‌بودن منابع آب موجود به جای افزایش سطح زیر کشت که سبب افزایش مصرف آب می‌شود، عملکرد سطح زیر کشت

موجود را باید افزایش داد. این میـزان در حـال حاضـر در حدود ۳/۵ تن در هکتـار و در فرانسـه ۷/۵ تـن در هکتـار است. در شکل‌های ۷ و ۸ رونـد تغییـرات عملکـرد تولیـد گندم در ایران و فرانسه نشان داده شده است. البته عملکرد در تمام استان‌ها یکسان نیست؛ بیشترین عملکرد آبی گندم با ۵/۶ تن در هکتار متعلق به استان تهران و کمتـرین آن بـا ۲ تن در هکتار به استان بوشهر تعلق دارد.



شکل ۷. عملکرد گندم در فرانسه بین سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ (پایگاه داده‌های فائو)



شکل ۸. عملکرد گندم بین سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۰ در ایران

۴. نتیجه‌گیری

همان‌طور که مشاهده می‌شود تمام استان‌هایی که سطح زیر کشت بالایی از گندم را در کشور دارند از نظر نیاز آبیاری و عملکرد موجود در اولویت نیستند. در واقع این امر سبب اتلاف آب در کشور می‌شود. این امر به خصوص در مناطقی که از نظر منابع آب در شرایط مناسبی نیستند اهمیت بیشتری دارد. استان خوزستان، فارس و خراسان رضوی که به ترتیب بیشترین سطح زیر کشت را دارند، نیاز آبیاری بالایی دارند که گسترش سطح زیر کشت در آن‌ها مناسب نیست. در مجموع استان‌های شمالی و غربی کشور نیاز آبیاری کمتری دارند. استان‌های تهران و کردستان بیشترین عملکرد را در سال ۱۳۸۹- ۹۰ دارند که با توجه به نیاز آبیاری آن‌ها می‌توانند برای گسترش سطح زیر کشت بررسی شوند.

در نهایت باید توجه داشت که برای تصمیم‌گیری به منظور گسترش کشت یا کاهش آن علاوه بر نیاز آبیاری و عملکرد باید نکات بیشتری بررسی شوند. برای مثال، ممکن است استانی از نظر موارد بالا شرایط مناسبی داشته باشد، اما منابع آب آن به دلیل استفادهٔ بیش از حد تحت فشار باشد. مانند حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه که برای کشت مناسب است، اما به دلیل تحت فشاربودن منابع آب آن، گسترش سطح زیر کشت در آن منطقی نیست. استان‌هایی که زیرساخت‌های مناسب‌تری برای کشت مکانیزه و روش‌های نوین آبیاری دارند نیز باید در اولویت برای گسترش کشت قرار گیرند. این امر در واقع به معنی امکان آن استان برای افزایش عملکرد است. همچنین، برای کشت گندم علاوه بر مسائل گفته‌شده باید مزیت نسبی محصولات مختلف بررسی شود و اولویت با محصولی باشد که مزیت بیشتری دارد و در واقع هر محصول به صورت جداگانه بررسی نشود، بلکه به تمام محصولات در کنار یکدیگر توجه شود و با استخراج مزیت نسبی هر محصول، در هر منطقه محصولات با اولویت بالاتر کشت شوند.

مسئلهٔ مهمی که باید قبل از همهٔ موارد حل شود بهره‌وری آب در آبیاری کشتزارهاست. در واقع با افزایش این مقادیر با روش‌های نوین آبیاری، مقدار شایان توجهی در مصرف آب صرفه‌جویی خواهد شد.

منابع

آمارنامهٔ کشاورزی محصولات زراعی. ۱۳۹۰. وزارت جهاد کشاورزی.

براون، ل. ۱۳۸۷. ترجمهٔ طراوتی، ح. طرح امید، آینده و محیط‌زیست، نشر جهاد دانشگاهی مشهد.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. ۱۳۸۵. «مجموعهٔ اسناد ملی توسعه در برنامهٔ چهارم توسعهٔ اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران»، سند توسعهٔ بخشی «آب».

شفیعی، م. ۱۳۹۰. «چشم‌انداز منابع زیست و آب در ایران با نگاهی به شرایط جهانی و چالش‌های کنونی»، گزارش راهبردی ۱۳۵، مرکز تحقیقات استراتژیک.

فرشی، ع.، شریعتی، م. جارالله‌ی، ر.، قائمی، م.، شهابی فر، م.، تولایی، م. ۱۳۷۶. *برآورد آب موردنیاز گیاهان عمدهٔ زراعی و باغی کشور*، جلد اول، انتشارات مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب.

Abu-Sharar, T.M., Al-Karablieh, E.K. and Haddadin, M.J. 2012. Role of virtual water in optimizing water resources management in Jordan. Water Resources Management, 26(14): pp. 3977–3993.

Aldaya, M.M., Allan, J.A. and Hoekstra, A.Y. 2010. Strategic importance of green water in international crop trade. Ecological Economics, 69(4): pp. 887–894.

Allan, J. 2003. Virtual water eliminates water war?Acase study from the Middle east.

Allan, T. 1997. Virtual water: a long-term solution for water short Middle Eastern economies. university of london: Water Issues Group.

Bulsink, F., Hoekstra, A.Y. and Booij, M.J. 2010. The water footprint of Indonesian provinces related to the consumption of crop products. Hydrology and Earth System Sciences, 14(1): pp. 119–128.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., and Savenije, H.H.G. 2005. Water saving through international trade of agricultural products. Hydrology and Earth System Sciences, 2: pp. 2219-2251.

El-Gafy, I.K. 2014. System Dynamic Model for Crop Production, Water Footprint, and Virtual Water Nexus, Water Resources Management, 28: pp. 4467–4490.

Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. 2007. The water footprints of Morocco and the Netherlands: global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities. Ecological Economics, 64(1): pp. 143–151.

Hoekstra, A. and Hung, P. 2002. Virtual water trade,A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade,Value of Water Research Report Series No. 11. UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands.

Mekonnen, M. and Hoekstra, A. 2010. A global and high-resolution assessment of the green,blue and grey water footprint of wheat,Value of Water Research Report Series No. 42. UNESCO-IHE,the Netherlands.

Mekonnen, M. and Hoekstra, A. 2011. National water footprint accounts:The green, blue and grey water footprint of production and consumption ,Value of Water Research Report Series No. 50. UNESCO-IHE, Delft,the Netherlands.

Montesinos, P., Camacho, E., Campos, B. and Rodríguez-Díaz, J. 2011. Analysis of Virtual Irrigation Water. Application to Water Resources Management in a Mediterranean River Basin, Water Resources Management, 25 (6): pp. 1635-1651.

Starr, G. and Levison, J. 2014. Identification of Crop Groundwater and Surface Water Consumption Using Blue and Green Virtual Water Contents at a Subwatershed Scale, Environmental Processes. 1: pp. 497–515.

Xiaoling, S., Jianfang, L. and Singh, V.P. 2014. Optimal Allocation of Agricultural Water Resources Based on Virtual Water Subdivision in Shiyang River Basin, Water Resources Management, 28: pp. 2243–2257.

Yoo, S., Taegon K., Jeong-Bin I. and Jin-Yong, C. 2012. Estimation of the international virtual water flow of grain crop products in Korea, Paddy and Water Environment, 10 (2): pp. 83-93.

Yoo, S., Choi, J.Y., Kim, T.G., Im, J.B. and Chun, C.H. 2009. Estimation of crop virtual water in Korea. Journal of Korean Water Resources Association, 42(11): pp. 911–920.

World Bank. 2006. World Development Indicators.

Zhang, C., McBean, E.A. and Huang, J. 2014. A Virtual Water Assessment Methodology for Cropping Pattern Investigation, Water Resources Management, 28: pp. 2331–2349.