



به‌زراعی کشاورزی

دوره ۲۴ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۱

صفحه‌های ۴۰۶-۳۹۳

DOI: 10.22059/jci.2021.319201.2520

مقاله پژوهشی:

تعیین خلأ عملکرد و پتانسیل افزایش تولید کلزای آبی در ایران

سامانه رهبان^۱، بنیامین ترابی^{۲*}، افشین سلطانی^۳، ابراهیم زینلی^۲

۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۲. دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۳. استاد، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۰۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۲۸

چکیده

مطالعه حاضر با هدف برآورد خلأ عملکرد کلزای آبی در ایران، به‌عنوان اولین قدم برای برنامه‌ریزی به‌منظور افزایش پایدار تولید این گیاه زراعی مهم در سال ۱۳۹۶-۹۸ در آزمایشگاه مدل‌سازی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان برای دوره زمانی ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۳ انجام شد. برای برآورد خلأ عملکرد از روش ارائه‌شده در پروژه اطلس جهانی خلأ عملکرد در جهت شناسایی پهنه‌های اقلیمی و هم‌چنین شناسایی ایستگاه‌های هواشناسی مهم در مناطق تولید کلزا در کشور استفاده شد. عملکرد واقعی برای کلزای آبی در مناطق اصلی کشت آن در کشور بین ۱۱۸۴ تا ۲۳۵۸ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. دامنه عملکرد پتانسیل کلزای آبی ۳۸۲۳ تا ۶۵۲۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. بالاترین عملکرد پتانسیل در استان‌های همدان و لرستان محاسبه و کم‌ترین آن مربوط به جلگه خوزستان بود. دامنه خلأ عملکرد در اقلیم‌های اصلی کشت آن در کشور ۲۴۸۰ تا ۴۳۶۵ کیلوگرم در هکتار یعنی بین ۵۳ تا ۷۷ درصد خلأ و به‌طور متوسط ۳۲۷۶ کیلوگرم در هکتار معادل ۶۵ درصد خلأ عملکرد برآورد شد. با در نظر گرفتن عملکرد قابل‌حصول به‌عنوان عملکرد هدف، بین ۱۵۴۴ تا ۳۲۰۸ و به‌طور متوسط ۲۲۶۱ کیلوگرم در هکتار عملکرد قابل‌حصول وجود دارد. بزرگ‌بودن خلأ عملکرد، بیان‌گر این است که از ظرفیت تولید گیاهان زراعی در کشور به‌خوبی استفاده نمی‌شود. بررسی دلایل و روش‌های رفع خلأ عملکرد موجود و استفاده از راه‌کارهای مدیریتی کارآمد به‌منظور دستیابی به عملکردهای بالاتر از لحاظ اقتصادی و امنیت غذایی در کشور بسیار دارای اهمیت است.

کلیدواژه‌ها: پروتکل گیگا، عملکرد پتانسیل، عملکرد واقعی، مدل شبیه‌سازی، مناطق اقلیمی.

Determining Yield Gap and Potential for Improved Production of Irrigated Canola in Iran

Samaneh Rahban¹, Benjamin Torabi^{2*}, Afshin Soltani³, Ebrahim Zeinali²

1. Ph.D. Student, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

2. Associate Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

3. Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Received: February 16, 2021

Accepted: July 24, 2021

Abstract

The present study tries to estimate the yield gap of irrigated canola in Iran as the first step for planning sustainable improvement of production. It has been performed in the modeling laboratory of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources in 2017-2019. The protocol provided by the GYGA project is used for detection of climatic zones as well as major weather stations in canola production regions to estimate the yield gap. The actual yield of the irrigated canola in its major production regions is between 1184 to 2358 kg ha⁻¹. The range of potential yield is estimated between and 3823 and 6520 kg ha⁻¹. The highest potential yields belongs to Hamedan and Lorestan provinces and the lowest value to Khuzestan Plain. The range of the yield gap in its major production regions in the country is 2480 to 4365 kg ha⁻¹, i.e. 53% to 77% of gap and with an average, 3276 kg ha⁻¹ equal to 65% of the gap. With respect to the exploitable yield as the target yield, the exploitable yield is between 1544 and 3208 kg ha⁻¹, with an average of 2261 kg ha⁻¹. The magnitude of this gap indicates that the potentials of canola production in Iran are not exploited properly. Analyzing the reasons and methods of amendment the present yield gap and adoption of efficient management methods to achieve higher yields is crucial with regard to food security and economic.

Keywords: Actual yield, climatic zones, GYGA protocol, potential yield, simulation model.

۱. مقدمه

ایران کشوری با رشد جمعیت زیاد، بارندگی کم و نامنظم، زمین‌های قابل کشت و منابع آبی به شدت محدود توصیف می‌شود (Soltani et al., 2016). جمعیت کشور در ۵۰ سال گذشته از حدود ۳۰ میلیون به بیش از ۸۰ میلیون نفر افزایش یافته است و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۵۰ از ۹۲ میلیون نفر فراتر رود (WPP, 2017). تأمین مواد غذایی کافی برای این جمعیت یک چالش اساسی است، به‌ویژه که بهره‌برداری از منابع زمین و آب از مرزهای پایدار فراتر رفته است (Soltani et al., 2020).

کلزا (*Brassica napus* L.) بعد از سویا و نخل روغنی، سومین گیاه زراعی مهم تأمین‌کننده روغن خوراکی در دنیا می‌باشد (FAOSTAT, 2017). در حال حاضر تولید دانه‌های روغنی از جمله کلزا نمی‌تواند تقاضای داخلی را با توجه به رشد سریع مصرف روغن در کشور برآورده سازد. برای تحقق امنیت غذایی با توجه به محدودیت‌های موجود، نیاز به حمایت و گسترش نوآوری‌هایی در بخش دانش و فناوری وجود دارد تا بتوان همراه با افزایش تولیدات کشاورزی، در شرایطی کاملاً همگام با محیط، دسترسی به مواد غذایی را نیز بهبود بخشید (FTF, 2011). از این‌رو، با توجه به نیاز روز افزون بشر به مواد غذایی واره‌ای به نام فشرده‌سازی پایدار^۱ یا فشرده‌سازی اکولوژیکی^۲ مطرح می‌شود که به معنی افزایش عملکرد همراه با کاهش اثرات زیست‌محیطی سیستم‌های کشاورزی است (Mueller et al., 2012). یکی از راه‌کارهای فشرده‌سازی با کم‌ترین اثر بر محیط زیست، افزایش عملکرد در واحد سطح از طریق کاهش خلأ عملکرد^۳ است (Van Ittersum et al., 2013). نخستین گام جهت رفع خلأ عملکرد تعیین مقدار و

چگونگی پراکندگی آن در یک منطقه می‌باشد (Hochman et al., 2016). خلأ عملکرد یک محصول در یک منطقه مشخص اختلاف بین عملکرد ارقام موجود و مناسب (از لحاظ ژنوتیپ) تحت مدیریت بهینه محصولات زراعی (آبی/دیم) و میانگین عملکرد واقعی حاصل شده توسط کشاورزان تحت روش‌های مدیریتی مرسوم تعریف می‌شود (FAO, 2015). روش‌های مختلفی برای برآورد خلأ وجود دارد. Torabi et al. (2013) با دو روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی^۴ (AHP) و روش آنتروپی به رتبه‌بندی عوامل ایجادکننده خلأ عملکرد از دیدگاه متخصصان و کشاورزان منطقه گرگان پرداختند. Hajjarpoor et al. (2016) در مطالعه‌ای به خلأ عملکرد گندم در گرگان با استفاده از روش آنالیز خط مرزی پرداختند. Ghanbari & Tabei-Semiromi (2012) به بررسی خلأ عملکرد با استفاده از ترکیب مدل‌های گیاهی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در جلگه بروجن استان چهارمحال و بختیاری پرداختند. Kamkar et al. (2007) به آنالیز خلأ عملکرد زیره سبز در منطقه خراسان پرداختند. ایشان از یک مدل ساده فرایندگرا برای تعیین پتانسیل عملکرد زیره سبز استفاده کردند.

با توجه به این‌که برآوردهای قابل قبول خلأ عملکرد حاصل از طرح‌های تحقیقاتی در ایران غالباً در سطح محدود انجام گرفته است. بنابراین، تعیین مقدار خلأ عملکرد در سطح وسیع (کشور) مستلزم به کارگیری روش مناسب می‌باشد. در پروتکل گیگا (GYGA)^۵ به دلیل انجام رویکرد مشابه در تمامی کشورها نتایج حاصل از اجرای آن در کشورهای مختلف با یکدیگر قابل مقایسه می‌باشد. در این روش از ترکیب اطلاعات روزانه داده‌های هواشناسی، اطلاعات خاک و ویژگی‌های گیاهی برای تعیین عملکرد پتانسیل و محاسبه خلأ عملکرد در

1. Sustainable Intensification
2. Ecological Intensification
3. Yield Gap

4. Analytical Hierarchy Process
5. Global Yield Gap Atlas

دستیابی نشده پتانسیل عملکرد در زمین‌های زراعی جهان تحت شرایط اقلیمی، خاک و منابع آب آن‌ها را به دست می‌دهد.

۲.۲. اقلیم‌ها یا پهنه‌های اقلیمی

تعیین اقلیم‌ها یا پهنه‌های اقلیمی اصلی کشت گیاه زراعی در کشور مرحله‌ای ضروری در اجرای پروتکل گیگا است. پهنه‌بندی اقلیمی برای مناطق مختلف باعث می‌شود پهنه‌های با حداقل غیریکنواختی آب و هوایی شناسایی شده تا نیاز به اطلاعات هواشناسی را به حداقل برساند. در پروتکل گیگا، پهنه‌های اقلیمی براساس سه فاکتور درجه روز رشد جمعی در سال^۱، شاخص خشکی^۲ و شاخص نوسانات دمایی فصلی^۳ طبقه‌بندی شده است. برای اطلاعات بیش‌تر به سایت <http://www.yieldgap.org/web/guest/cz-ted> مراجعه شود.

۲.۳. تهیه لایه نقطه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی کشور

در این مطالعه، لایه نقطه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی کل کشور با طول و عرض جغرافیایی مشخص مورداستفاده قرار گرفت. این لایه برای انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی مرجع در پروتکل GYGA ضروری است.

۲.۴. تعیین محدوده تحت پوشش ایستگاه‌های هواشناسی

براساس روش ارائه‌شده در پروژه GYGA نقشه پهنه‌بندی اقلیمی ایران و لایه نقطه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی در محیط نرم‌افزار ArcGIS (نسخه 10.3) با یکدیگر ادغام شدند و سپس دور هر ایستگاه بافری به شعاع ۱۰۰ کیلومتر ترسیم شد. سپس بافرها براساس مرزهای اقلیمی برش خوردند تا محدوده تحت پوشش هر اقلیم مشخص

سطح وسیع استفاده می‌شود (Van Ittersum et al., 2013).

هدف گیگا در دسترس قراردادن اطلس آنلاینی است که شامل اطلاعات پتانسیل عملکرد، پتانسیل عملکرد آب محدود، عملکرد واقعی و خلأ عملکرد گیاهان زراعی باشد. عملکردها در سطح ملی و پهنه‌های اقلیمی نمایش داده می‌شوند. نتایج این اطلس می‌تواند برای شناسایی مناطقی استفاده شود که پتانسیل بالایی برای سرمایه‌گذاری توسعه کشاورزی و انتقال تکنولوژی دارند. همین‌طور از اطلاعات این اطلس می‌توان برای ارزیابی توانایی کشورها برای خودکفایی از طریق فشرده‌سازی استفاده کرد و اگر خودکفایی میسر نباشد، این اطلاعات برای ارزیابی میزان منابع لازم (مثل زمین و آب) برای خودکفایی یا مقدار واردات لازم برای تأمین نیازهای غذایی قابل استفاده است. مطالعه حاضر با هدف برآورد خلأ عملکرد کلزا در شرایط آبی در ایران، برای دوره زمانی ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۳ به روش پروتکل گیگا انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر با هدف برآورد خلأ عملکرد کلزا در شرایط آبی در ایران، به‌عنوان اولین قدم برای برنامه‌ریزی به‌منظور افزایش پایدار تولید این گیاه زراعی مهم در سال ۹۸-۱۳۹۶ در آزمایشگاه مدل‌سازی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد.

۲.۱. پروتکل GYGA

پروتکل گیگا (GYGA Global Yield Gap Water Productivity Atlas) یک پروژه بین‌المللی به رهبری دانشگاه واگنینگن در هلند و دانشگاه نبرسکا در آمریکاست. این پروژه، خلأ عملکرد و بهره‌وری آب در سراسر جهان را با هدف امنیت غذایی ارزیابی می‌کند و برآوردی از مقدار

1. Growing Degree Days (GDD)
2. Annual Aridity Index (AI)
3. Temperature Seasonality

۶.۲. اطلاعات خاک کشور

به منظور تهیه اطلاعات خاک از نقشه خاک HC27^۱ (Harvest Choice, 2010) در کشور استفاده شد. این نقشه خاک شامل ترکیبی از اطلاعات دو پایگاه مهم اطلاعاتی جهانی خاک HWS^۲ و WISE^۳ می باشد که براساس سه معیار بافت، عمق و حاصلخیزی (درصد محتوای کربن آلی) خاکها را از شماره یک تا ۲۷ در مناطق مختلف کدگذاری می کند.

۷.۲. تعیین مناطق اقلیمی اصلی و ایستگاههای هواشناسی مرجع کشت کلزای آبی و دیم با استفاده از پروتکل GYGA

پس از تعیین محدوده تحت پوشش ایستگاههای هواشناسی به وسیله ترسیم بافر ۱۰۰ کیلومتری دور هر ایستگاه هواشناسی و برش بافرها براساس مرزهای اقلیمی، در این مرحله براساس غالبیت کشت گیاه کلزا در هر یک از بافرهای موجود در مناطق اقلیمی، اقدام به انتخاب مناطق اقلیمی تعیین کننده^۴ (DCZ) و ایستگاههای هواشناسی مرجع^۵ (RWS) شد. برای انجام این مرحله نقشه پراکنش اراضی لایه مربوط به بافرهای تعیین کننده محدوده تحت پوشش هر ایستگاه با هم ادغام شد و با استفاده از تابع Zonal statistics as table برای هر منطقه اقلیمی و در محدوده هر ایستگاه هواشناسی سهم پوشش اراضی کلزا مشخص شد. براساس دستورالعمل GYGA، مناطق اقلیمی که بیش از ۵ درصد از سطح زیر کشت کل گیاه زراعی را به خود اختصاص داده باشند به عنوان DCZ شناخته می شوند (Van Bussel et al., 2015). بر این اساس به ترتیب ۱۶ منطقه اقلیمی اصلی مختلف و ۲۲ ایستگاه هواشناسی برای کلزای آبی در سطح کشور انتخاب شدند (شکل ۱).

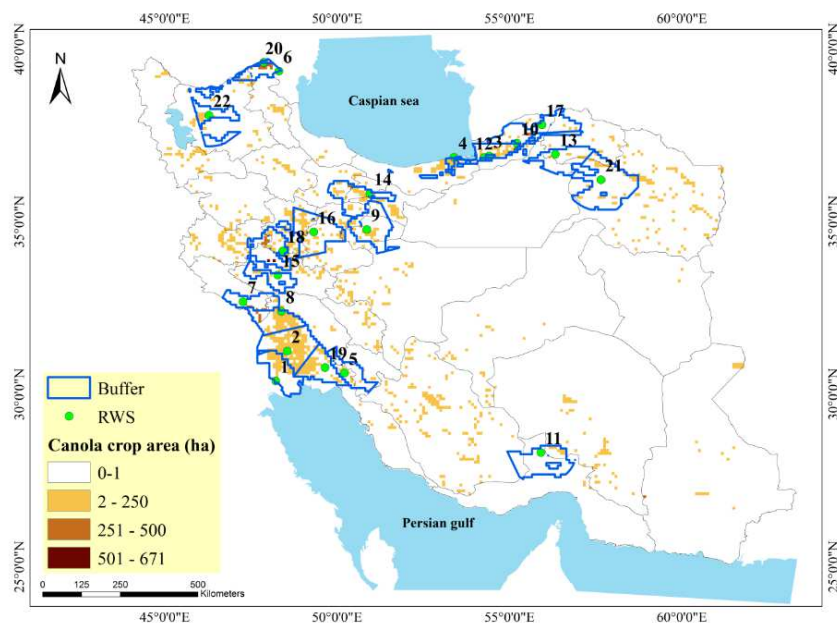
شود. در صورتی که بافرهای ترسیم شده بین ایستگاههای یک اقلیم هم پوشانی داشتند، بافرها به صورت مساوی برای آن ایستگاه برش خوردند. بدین صورت در این مرحله ایستگاههای مورد نیاز براساس مناطق اقلیمی انتخاب شدند. در مراحل بعدی این مطالعه، غالبیت کشت گیاه مورد نظر در هر یک از بافرهای موجود در مناطق اقلیمی، مد نظر قرار می گیرد (Van Bussel et al., 2015).

۵.۲. نقشه پراکنش اراضی زراعی تحت کشت کلزا

به منظور تهیه نقشه سطح زیر کشت کلزای آبی در کشور ابتدا نقشه پلیگونی پراکنش اراضی زراعی آبی کل کشور از وزارت جهاد کشاورزی طی سالهای ۹۵-۱۳۹۳ تهیه شد. سپس اراضی زراعی آبی مربوط به شهرستانهای هر استان در نرم افزار ArcGIS (نسخه ۱۰/۳) با استفاده از تابع Split جدا شد. پلیگونهای هر شهرستان با کمک تابع Polygon to raster به رستر تبدیل شدند. هر پیکسل (مربع) در نقشه دارای ابعاد 0.083×0.083 درجه می باشد که حدود ۸۶۰۰ هکتار مساحت دارد. با توجه به این نکته که سطح مطالعات گیگا براساس مقیاس جهانی بنا شده است، بنابراین برای تسهیل در ارزش گذاری پیکسلهای موجود در محدوده اراضی زراعی، پراکنش کلزا به نسبت مساوی در شهرستان لحاظ شد. در ادامه، برای تعیین ارزش پیکسلها (منظور از ارزش پیکسل سطح زیر کشت کلزا در محدوده هر پیکسل است) در محدودههای شهرستان میانگین سطح زیر کشت کلزا در سالهای ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ در هر شهرستان (برحسب هکتار) به تعداد پیکسل قرار گرفته در محدوده اراضی زراعی آبی آن شهرستان تقسیم شد و ارزش هر پیکسل تعیین شد. در نهایت با کمک تابع Image analysis در نرم افزار ArcGIS (نسخه 10.3) رستر شهرستانها به هم متصل شده تا نقشه نهایی سطح زیر کشت کلزا در کشور تهیه شود.

1. Harvest Choice
2. Harmonized World Soil Database
3. World Inventory of Soil Emission Potentials
4. Designated Climate Zone
5. Reference Weather Station

تعیین خلأ عملکرد و پتانسیل افزایش تولید کلزای آبی در ایران



شکل ۱. پراکنش سطح زیرکشت کلزا آبی در ایران به همراه ایستگاه‌های هواشناسی مرجع و محدوده ۱۰۰ کیلومتری اطراف هر ایستگاه (برای نام ایستگاه‌های مرجع موجود در مناطق اقلیمی به همراه کد تعیین شده در نقشه به جدول ۱ مراجعه شود).

۸.۲. اطلاعات هواشناسی

داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های هواشناسی مرجع، از مرکز اطلاعات و آمار سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. در صورتی که داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های انتخاب شده برای دوره زمانی مورد نظر ناقص بودند یا داده گم شده وجود داشت از نرم‌افزار Weatherman (نسخه ۴/۷) (به‌عنوان یک افزونه در مدل DSSAT) استفاده شد (www.dssat.net) تا نواقص موجود برطرف شوند.

۹.۲. اطلاعات مدیریتی

برای تعیین اطلاعات مدیریتی (شامل تراکم بوته و تاریخ کاشت و ارقام مورد استفاده و ...)، ابتدا اطلاعات تبیین در هر RWS از منابع موجود جمع‌آوری شد. سپس این اطلاعات برای حصول اطمینان با اطلاعات سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی مقایسه شد.

در انتها برای تعیین ویژگی‌های خاک در هر ایستگاه نقشه خاک HC27 بر روی نقشه محدوده تحت پوشش ایستگاه‌های هواشناسی مرجع (RWS) قرار گرفت و نوع خاک موجود در محدوده بافر هر RWS مشخص شد. در محدوده تحت پوشش هر RWS خاکی که بیش از ۵۰ درصد از سطح خاک در آن محدوده را پوشش می‌داد به‌عنوان خاک غالب محدوده تحت پوشش RWS در نظر گرفته شد. در صورتی که هیچ یک از خاک‌ها بیش از ۵۰ درصد از سطح تحت پوشش RWS را به‌خود اختصاص نمی‌داد، تمامی کد خاک‌هایی که بیش از ۱۰ درصد از سطح اراضی تحت پوشش RWS را شامل می‌شدند، به‌عنوان خاک‌های غالب در محدوده پوشش آن RWS در نظر گرفته شدند (Van Bussel et al., 2015). قابل ذکر است در محاسبات پایانی براساس وزن‌دهی به سطح پوشش خاک‌های مذکور در هر بافر، درجه تأثیرگذاری هر کدام از آن‌ها لحاظ می‌گردد.

۲. ۱۰. محاسبه عملکرد پتانسیل

محاسبه پتانسیل عملکرد با استفاده از مدل SSM-iCrop2 انجام شد (Soltani & Sinclair, 2012). این مدل توانایی شبیه‌سازی مراحل نمو (فنولوژی)، گسترش و پیری برگ، تأثیر خشکی هوا بر تولید ماده خشک، توزیع ماده خشک، تأثیر دماهای اکسترمم (دماهای بالا و پایین) بر سطح برگ، تشکیل عملکرد و موازنه آب خاک را دارد. در این مدل فنولوژی براساس مفهوم واحد دمایی تعدیل‌شده براساس مقدار رطوبت خاک پیش‌بینی می‌شود (Soltani & Sinclair, 2011, 2012). برای برآورد عملکرد کلزا تحت شرایط آبی، مدل در شرایط تشعشع محدود شبیه‌سازی را انجام می‌دهد. لازم به ذکر است که مدل SSM-iCrop2 برای گیاه کلزا توسط نویسندگان مقاله قبلاً پارامتریابی و ارزیابی شده است. برای اجرای مدل، اطلاعات زراعی شامل نوع کاشت (آبی یا دیم) و رقم و تاریخ کاشت وارد مدل شد. زمان آبیاری براساس رسیدن کسر آب قابل‌تعرق خاک به کم‌تر از ۰/۵ تنظیم شد. برای هر بافت خاک اراضی کلزا در محدوده بافر هر ایستگاه مدل برای دوره ۱۵ ساله (۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳) جداگانه اجرا و سپس میانگین عملکرد برای هر نوع خاک در محدوده ایستگاه محاسبه شد و در نهایت با استفاده از میانگین وزنی (مساحت اراضی مربوط به هر بافت خاک در محدوده ایستگاه) عملکرد ایستگاه تعیین شد.

۲. ۱۱. عملکرد واقعی

برای محاسبه عملکرد واقعی هر ایستگاه هواشناسی از اطلاعات عملکرد واقعی شهرستانی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ که از وزارت کشاورزی تهیه شده بود استفاده شد. ابتدا فرض شد عملکرد واقعی تمامی اراضی کلزا در هر شهرستان معادل میانگین عملکرد آن شهرستان است. سپس به کمک تابع Zonal statistics table در نرم‌افزار ArcGIS (نسخه ۱۰/۳) تعیین شد که در محدوده بافر هر ایستگاه هواشناسی

کدام شهرستان‌ها و با چه سطح زیر کشتی قرار گرفته‌اند. در ادامه با کمک میانگین وزنی، عملکرد واقعی هر ایستگاه هواشناسی تعیین شد.

۲. ۱۲. محاسبه خلأ عملکرد

با استفاده از پتانسیل عملکرد محاسبه‌شده توسط مدل و عملکرد واقعی محاسبه‌شده براساس میانگین وزنی در سطح هر ایستگاه انتخابی، خلأ عملکرد برآورد شد (رابطه ۱).

$$Yg = Yp - Ya \quad (\text{رابطه ۱})$$

عملکرد نسبی (RY) نیز از رابطه (۲) به دست آمد:

$$RY = (Ya / Yp) \times 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این معادلات؛ Yg خلأ عملکرد، Yp عملکرد پتانسیل و Ya عملکرد واقعی را نشان می‌دهد.

سپس براساس رویکرد پایین به بالای پروتکل گیگا نتایج را از مقیاس RWS به وسیله وزن‌دهی به مساحت اراضی تحت پوشش هر ایستگاه هواشناسی مرجع، به مناطق اقلیمی اصلی (DCZ) و سپس از طریق وزن‌دهی به هر یک از DCZ ها به کل کشور تعمیم داده شد (Gobbett et al., 2016).

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. مناطق اقلیمی برگزیده و ایستگاه‌های هواشناسی مرجع برای اراضی تحت کشت

مناطق اقلیمی برگزیده ۴۱۱۳۸ هکتار از اراضی زیر کشت کلزای آبی را شامل می‌شوند که در مجموع ۹۲/۴ درصد از اراضی کلزای آبی کشور را تحت پوشش قرار داده است. تعداد ۲۲ ایستگاه هواشناسی مرجع ۳۲۴۱۳ هکتار از اراضی زیر کشت کلزای آبی را شامل می‌شوند و در مجموع ۷۲/۸ درصد از اراضی کلزای آبی کشور را تحت پوشش قرار داده است.

تعیین خلأ عملکرد و پتانسیل افزایش تولید کلزای آبی در ایران

جدول ۱. لیست ایستگاه‌های هواشناسی انتخابی برای اراضی تحت کشت کلزای آبی، سطح زیر کشت اراضی تحت پوشش هر ایستگاه، کد اقلیمی، کد خاک (به همراه درصد اراضی که شامل آن نوع خاک است) و هم‌چنین موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها

شماره	کد اقلیم	ایستگاه هواشناسی	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع	کد خاک (درصد اراضی)	سطح زیر کشت در بافر (ha) (درصد اراضی)
۱	۸۰۰۲	آبادان	۳۰/۳۸	۴۸/۲۱	۶/۶	۱۷(۷۶/۸)	۱۰۲۰(۲/۳)
۲	۸۰۰۳	اهواز	۳۱/۳۴	۴۸/۷۴	۲۲/۵	۱۷(۶۷/۷)	۱۴۴۷(۳/۳)
۳	۶۲۰۲	اداره گرگان	۳۶/۹۱	۵۴/۴۱	۰	۲(۷۱/۴)	۸۴۶(۱/۹)
۴	۶۳۰۲	پاشاکلا (فرضی)	۳۶/۲۳	۵۲/۷۸	۲۱۲	۱۷(۵۴)	۴۳۳(۱)
۵	۷۰۰۳	بهبهان	۳۰/۶۱	۵۰/۲۲	۳۱۳	۱۴(۵۶/۷)	۶۲۶(۱/۴)
۶	۵۲۰۲	بيله سوار	۳۹/۳۷	۴۸/۳۲	۱۰۱/۴	۵(۱۰۰)	۴۳۹۴(۹/۹)
۷	۷۰۰۳	دهلران	۳۲/۶۸	۴۷/۲۸	۲۳۲	۵(۵۶/۶)	۱۹۶۲(۴/۴)
۸	۸۰۰۳	دزفول (صفی آباد)	۳۲/۲۵	۴۸/۴۳	۸۲/۹	۱۷(۷۳/۴)	۴۴۲۵(۹/۹)
۹	۶۰۰۳	قم	۳۴/۷۷	۵۰/۸۶	۸۷۹/۱	۸(۷۰/۱)	۶۳۹(۱/۴)
۱۰	۶۰۰۲	گنبد	۳۷/۲۷	۵۵/۲۱	۳۷/۲	۵(۶۸/۶)	۱۴۷۶(۳/۳)
۱۱	۷۰۰۲	حاجی آباد	۲۸/۳۱	۵۵/۹۱	۹۳۱/۲	۵(۱۰۰)	۴۰۲(۰/۹)
۱۲	۶۱۰۲	هاشم آباد	۳۶/۸۵	۵۴/۲۷	۱۳/۳	۵(۵۶/۶)	۲۹۰۱(۶/۵)
۱۳	۵۰۰۳	جاجرم	۳۶/۹۵	۵۶/۳۳	۹۸۴	۱۴(۱۰); ۵(۴۲); ۱۲(۴۴/۳)	۷۰۷(۱/۶)
۱۴	۵۰۰۳	کرج	۳۵/۸۱	۵۰/۹۵	۱۲۹۲/۹	۵(۵۴/۱)	۱۸۴۹(۴/۲)
۱۵	۵۱۰۳	خرم آباد	۳۳/۴۴	۴۸/۲۸	۱۱۴۷/۸	۵(۵۶/۶)	۴۱۹(۰/۹)
۱۶	۴۰۰۳	کمیجان	۳۴/۷۱	۹۴/۳۱	۱۷۴۱	۱۷(۱۸/۵); ۱۴(۳۶/۹); ۵(۴۴/۳)	۶۵۴(۱/۵)
۱۷	۵۰۰۳	مراوه تپه	۳۷/۸۰	۵۵/۹۴	۴۶۰	۱۷(۱۰۰)	۵۸۲(۱/۳)
۱۸	۴۱۰۲	نهایند	۳۴/۱۴	۴۸/۴۱	۱۶۷۷/۸	۱۲(۴۱/۸); ۵(۴۸/۶)	۴۵۳۵(۱۰/۲)
۱۹	۸۰۰۳	امیدیه (پایگاه)	۳۰/۸۳	۴۹/۵۵	۳۴/۹	۸(۶۶/۴)	۷۷۱(۱/۷)
۲۰	۵۱۰۲	پارس آباد	۳۹/۶۰	۴۷/۷۸	۷۲/۶	۵(۱۰۰)	۸۸۲(۲)
۲۱	۵۰۰۳	سبزوار	۳۶/۲۱	۵۷/۶۵	۹۶۲	۵(۶۳/۱)	۶۵۶(۱/۵)
۲۲	۴۱۰۳	تبریز	۳۸/۱۲	۴۶/۲۴	۱۳۶۱	۵(۵۲/۴)	۷۸۷(۱/۸)
مجموع	-	۲۲	-	-	-	-	۳۲۴۱۳(۷۲/۸)

Soil codes (IFPRI Harvest Choice): 2=Clay, high fertility, 120 cm depth; 5=Clay, medium fertility, 120 cm depth; 8= Clay, low fertility, 120 cm depth; 14=Loam, medium fertility 120cm depth; 17=Loam, low fertility 120 cm depth.

۳.۲. عملکرد واقعی

ابتدا مقایسه بین متوسط عملکرد واقعی کلزای آبی کشور حاصل از محاسبه به روش پروتکل گیگا با عملکرد واقعی کلزای آبی گزارش شده برای کشور توسط وزارت کشاورزی برای دوره زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ انجام پذیرفت. این بررسی در ارتباط با این موضوع که با داشتن اطلاعات پیرامون مناطق کلزا می‌توان تخمین مناسبی از عملکرد کل کشور به دست

آورد و با هدف کنترل جامعیت دستورالعمل گیگا، صورت گرفت. نتایج مقایسه نشان داد که با استفاده از پروتکل گیگا می‌توان با دقت خوبی عملکرد کلزا برای کشور را محاسبه کرد. ضریب همبستگی بین نتایج حاصل از پروتکل گیگا و نتایج گزارش شده توسط وزارت کشاورزی برابر ۰/۸۹، ضریب تغییرات ۹/۸۱ درصد و مقدار میانگین مربعات خطا ۱۷۴ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۲).

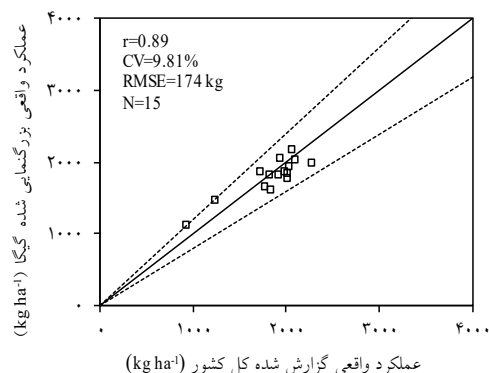
دارد. منطقه تحت پوشش این ایستگاه دارای خاک و شرایط آب و هوایی مطلوبی برای کشت کلزا می باشد. کمترین مقدار عملکرد واقعی مربوط به اقلیم ۷۰۰۳ بود که دو ایستگاه بهبهان و دهلران در این اقلیم قرار گرفته اند. مناطق اقلیمی واقع در جنوب غربی کشور دارای زمستان معتدل و تابستان بسیار گرم هستند. دمای بالا سبب کاهش طول دوره رشد و کاهش تشعشع دریافتی و در نتیجه کاهش عملکرد می شود (جدول ۲؛ شکل ۳).

بررسی تغییرات عملکرد واقعی نشان داد مناطقی که دارای درجه حرارت تجمعی تا ۶۰۰۰ درجه روز رشد در طول سال بودند متوسط عملکرد واقعی ۱۹۸۵ کیلوگرم در هکتار بوده است و با افزایش درجه حرارت تجمعی از ۶۰۰۰ درجه روز رشد، مقدار عملکرد واقعی کاهش یافت و مقدار متوسط عملکرد برای این مناطق ۱۱۸۴ کیلوگرم در هکتار بوده است (شکل ۴).

۳.۳. عملکرد پتانسیل

در سطح ملی عملکرد پتانسیل ۵۰۷۳ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. مقدار عملکرد پتانسیل برآورد شده در مناطق اقلیمی برگزیده از ۳۸۲۸ تا ۶۵۲۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. کمترین عملکردها مربوط به مناطق اقلیمی واقع در جنوب غربی کشور بود. در منطقه اقلیمی ۸۰۰۲ واقع در جلگه خوزستان عملکرد پتانسیل کم تر از ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. بیشترین عملکرد پتانسیل در اقلیم ۴۱۰۲ به مقدار ۶۵۲۰ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد. این اقلیم در محدوده دو استان همدان و لرستان واقع شده است (جدول ۲؛ شکل ۵).

از آنجاکه اقلیم های ۷۰۰۳، ۸۰۰۲ و ۸۰۰۳ کمترین عملکرد واقعی و پتانسیل را به خود اختصاص دادند می توان نتیجه گرفت که این اقلیم ها از توانایی بالقوه بالایی برای تولید کلزا برخوردار نیستند، اما در مورد



شکل ۲. میانگین عملکرد واقعی ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) گزارش شده توسط سازمان جهاد کشاورزی در مقابل عملکرد واقعی محاسبه شده توسط روش گیگا در سال های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳

در مطالعات قبلی مقایسه بین عملکرد واقعی گزارش شده برای سویا (Nehbandani, 2018)، گندم (Zahed, 2018) و جو (Alasti, 2020) در ایران، در آرژانتین برای سویا، گندم و ذرت (Aramburu Merlos *et al.*, 2015) و هم چنین گندم در استرالیا (Gobbett *et al.*, 2017) نشان دهنده توانایی و دقت بالای این دستورالعمل برای محاسبه و تعمیم نتایج به سطح کشوری بوده است.

دقت بالای پروتکل گیگا در محاسبه عملکرد واقعی کلزا برای کل کشور، این اطمینان را ایجاد کرد که به کمک این پروتکل و عملکردهای شبیه سازی شده برای مناطق مهم تولید کلزای آبی در کشور، می توان متوسط عملکرد پتانسیل برای کل کشور را با دقت بالایی محاسبه کرد.

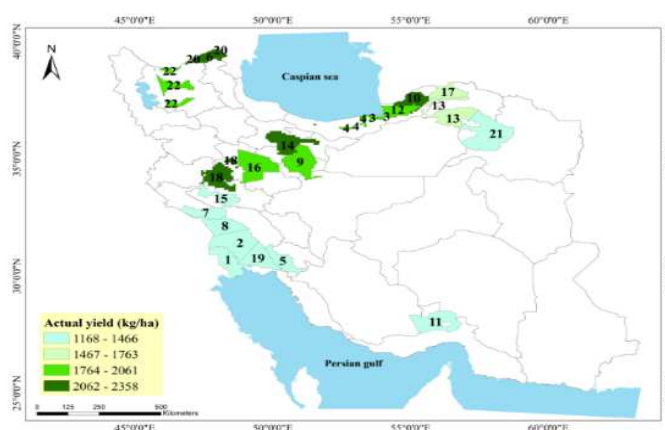
بر اساس نتایج، متوسط عملکرد واقعی کلزای آبی برای کل کشور در بازه زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ برابر ۱۷۹۸ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. دامنه عملکرد واقعی در اقلیم های مختلف بین ۱۱۸۴ تا ۲۳۵۸ کیلوگرم در هکتار بود. این تغییرات در نتیجه آب و هوا، خاک و سیستم های مدیریتی متفاوت در اقلیم های انتخابی مختلف به وجود آمده است. بالاترین عملکرد واقعی مربوط به اقلیم ۵۱۰۲ بود که فقط ایستگاه هواشناسی پارس آباد در این اقلیم قرار

تعیین خلأ عملکرد و پتانسیل افزایش تولید کلزای آبی در ایران

اقلیم‌های مناسب کشت محصول کلزا، اقلیم‌های ۱۰۱ و ۴۱۰۳ با این‌که بیش‌ترین عملکرد پتانسیل را داشتند، عملکرد واقعی کم‌تری در این اقلیم‌ها تخمین زده شد که نشان از ضعف مدیریتی در این مناطق می‌باشد.

جدول ۲. سطح برداشت، عملکرد واقعی، پتانسیل عملکرد، خلأ عملکرد، عملکرد نسبی، عملکرد قابل حصول، خلأ عملکرد قابل مدیریت برای کلزای آبی در مناطق اقلیمی اصلی تولید آن در کشور. عملکرد قابل حصول ۸۰ درصد از عملکرد پتانسیل در نظر گرفته شده است.

کد اقلیمی	ایستگاه‌های انتخابی	عملکرد واقعی (kg ha ⁻¹)	پتانسیل عملکرد (kg ha ⁻¹)	خلأ عملکرد (kg ha ⁻¹)	عملکرد نسبی (%)	عملکرد قابل حصول (kg ha ⁻¹)	خلأ عملکرد قابل مدیریت (kg ha ⁻¹)
۴۰۰۳	کمیجان	۱۹۰۷	۵۴۷۲	۳۵۶۵	۳۵	۴۳۷۷	۲۴۷۰
۴۱۰۲	نهادند	۲۱۵۵	۶۵۲۰	۴۳۶۵	۳۳	۵۲۱۶	۳۰۶۱
۴۱۰۳	تبریز	۱۸۹۷	۵۷۵۲	۳۸۵۵	۳۳	۴۶۰۲	۲۷۰۴
۵۰۰۳	جاجرم، مراوه تپه، گنبد، سبزوار	۱۷۷۵	۵۰۲۴	۳۲۴۹	۳۵	۴۰۱۹	۲۲۴۴
۵۱۰۲	پارس آباد	۲۳۵۸	۵۰۲۱	۲۶۶۳	۴۷	۴۰۱۷	۱۶۵۸
۵۱۰۳	خرم آباد	۱۴۱۵	۵۲۴۸	۳۸۳۳	۲۷	۴۱۸۹	۲۷۸۳
۵۲۰۲	بيله سوار	۲۱۶۹	۵۵۰۸	۳۳۳۹	۳۹	۴۴۰۶	۲۲۳۸
۶۰۰۲	گنبد	۲۲۰۰	۴۶۷۹	۲۴۸۰	۴۷	۳۷۴۳	۱۵۴۴
۶۰۰۳	قم	۲۰۴۲	۵۲۳۰	۳۱۸۷	۳۶	۴۱۸۴	۲۱۴۱
۶۱۰۲	هاشم آباد	۲۰۴۱	۴۷۸۷	۲۷۴۶	۴۳	۳۸۳۰	۱۷۸۹
۶۲۰۲	اداره گرگان	۱۹۸۵	۴۷۵۹	۲۷۷۴	۴۲	۳۸۰۸	۱۸۲۲
۶۳۰۲	پاشاکلا (فرضی)	۱۸۷۸	۴۶۸۲	۲۸۰۴	۴۰	۳۷۴۶	۱۸۶۷
۷۰۰۲	حاجی آباد	۱۲۷۵	۵۶۰۵	۴۳۲۹	۲۳	۴۴۸۴	۳۲۰۸
۷۰۰۳	بهپهان، دهلران	۱۱۸۴	۴۲۹۵	۳۱۱۱	۲۸	۳۴۳۶	۲۲۵۲
۸۰۰۲	آبادان	۱۲۸۴	۳۸۲۳	۲۵۴۰	۳۴	۳۰۵۹	۱۷۷۵
۸۰۰۳	اهواز، دزفول (صفی‌آباد)، امیدیه (پایگاه)	۱۳۵۶	۴۳۸۱	۳۰۲۵	۳۱	۳۵۰۴	۲۱۴۹
میانگین (مجموع)	-	۱۷۹۸	۵۰۷۳	۳۲۷۶	۳۵	۴۰۵۸	۲۲۶۱

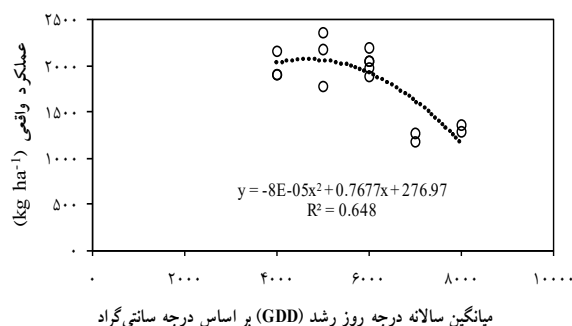


شکل ۳. عملکرد واقعی کلزای آبی (کیلوگرم در هکتار) در محدوده مناطق اصلی آن در ایران. (برای نام ایستگاه‌ها به‌همراه کد تعیین‌شده در نقشه به جدول (۱) مراجعه شود).

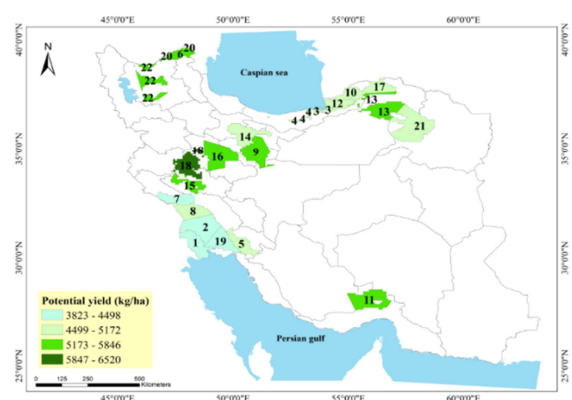
بزرگمهر کشاورزی

دوره ۲۴ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۱

سمانه رهبان، بنیامین ترابی، افشین سلطانی، ابراهیم زینلی



شکل ۴. رابطه عملکرد واقعی کلزای آبی با مناطق اقلیمی تعیین شده براساس میانگین سالانه درجه روز رشد (GDD) براساس درجه سانتی گراد



شکل ۵. عملکرد پتانسیل کلزای آبی (کیلوگرم در هکتار) در محدوده مناطق اصلی آن در ایران. (برای نام ایستگاه‌ها به همراه کد تعیین شده در نقشه به جدول (۱) مراجعه شود).

با افزایش متوسط سالانه درجه روز رشد و گرم‌تر شدن مناطق براساس کد اقلیمی تعیین شده، طول دوره رشدی گیاه برای طی کردن مراحل فنولوژیکی کاهش پیدا می‌کند. با کاهش طول دوره رشد ناشی از افزایش دما در مناطق اقلیمی با GDD بالا، سرعت نمو برای طی کردن فاز انتقال از رویشی به زایشی افزایش پیدا می‌کند. با افزایش سرعت نمو مراحل فنولوژیکی از جوانه‌زنی تا شروع پرشدن دانه‌ها و سپس از پرشدن دانه‌ها تا مرحله رسیدگی، به ترتیب تعداد دانه و وزن دانه‌ها کم‌تر می‌شود (Alati, 2020). همچنین با کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد گیاه در این مناطق اقلیمی، میزان کل تابش دریافت شده برای انجام فتوسنتز گیاه و تولید دانه طی مراحل

نتایج نشان داد که بین متوسط سالانه درجه روز رشد تجمعی (GDD) با متوسط عملکرد پتانسیل برآورد شده در مناطق اصلی کشت کلزا آبی کشور، رابطه معنی‌دار معکوس ($r = -0.77$) وجود دارد، یعنی با افزایش متوسط دمای تجمعی در مناطق کشت کلزای آبی، پتانسیل عملکرد کاهش پیدا کرده است (شکل ۶). بیش‌ترین عملکرد پتانسیل در مناطقی حاصل شده است که مقدار متوسط سالانه GDD تجمعی تا ۵۰۰۰ درجه روز رشد بوده است (اقلیم‌های واقع در غرب و شمال‌غربی کشور). کم‌ترین عملکردها مربوط به مناطق اقلیمی واقع در جنوب غربی کشور بود که بیش‌ترین مقدار درجه حرارت تجمعی را داشتند.

تعیین خلأ عملکرد و پتانسیل افزایش تولید کلزای آبی در ایران

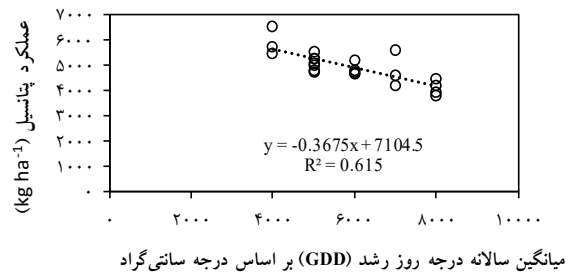
۴. محاسبه خلأ عملکرد

پس از برآورد مقدار عملکرد پتانسیل در ایستگاه‌ها و سپس مناطق اقلیمی مختلف با داشتن عملکرد واقعی در این مناطق، محاسبه میزان خلأ عملکرد انجام پذیرفت. با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، خلأ عملکرد در سطح ملی برابر ۳۲۷۶ کیلوگرم در هکتار برآورد شد (جدول ۲). نتایج این مطالعه نشان داد که تقریباً در همه مناطقی که پتانسیل عملکرد بالایی داشتند خلأ عملکرد بیش تر بود. در بین اقلیم‌های انتخابی، اقلیم ۴۱۰۲ (ایستگاه نهبوند) واقع در غرب کشور و اقلیم ۷۰۰۲ (ایستگاه حاجی‌آباد هرمزگان) در جنوب کشور خلأ عملکرد بیش از ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. در هشت اقلیم که بیش تر در مناطق مرکزی و جنوب غربی کشور واقع شده‌اند خلأ عملکرد بین ۳۰۰۰ تا ۳۹۰۰ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد و در سایر اقلیم‌ها خلأ عملکرد زیر ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. بیش ترین مقدار خلأ عملکرد در اقلیم‌های ۴۱۰۲ و ۷۰۰۲ با مقدار به ترتیب ۴۳۶۵ و ۴۳۲۹ کیلوگرم در هکتار بود، در این دو اقلیم عملکرد واقعی به ترتیب برابر ۲۱۵۵ و ۱۲۷۵ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد (شکل ۹).

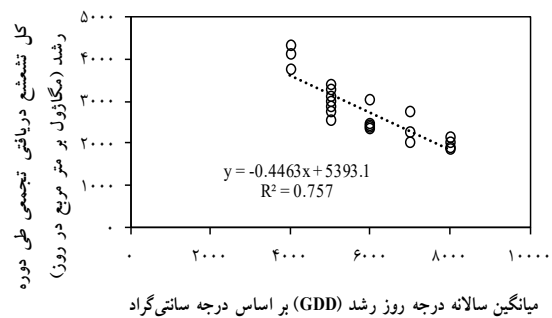
بالا بودن خلأ عملکرد بدین معنی است که ضعف در ارقام فعلی وجود ندارد و از پتانسیل ارقام فعلی به خوبی استفاده نمی‌شود و باید بهبود مدیریت در مزارع شامل مدیریت عناصر غذایی و کنترل آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز در مرکز توجه قرار گیرد. بنابراین، استفاده از نتایج تحقیقات به زراعی در مدیریت مزارع ضروری و کارگشا به نظر می‌رسد.

مقدار خلأ عملکرد به دست آمده در مناطق مختلف دارای اختلاف زیادی می‌باشند که دلیل آن را می‌توان استعداد اقلیمی و نوع مدیریت در هر منطقه دانست. عملکرد نسبی (درصد نسبی عملکرد واقعی به عملکرد پتانسیل) کلزای آبی در سطح ملی برابر با ۳۵ درصد است.

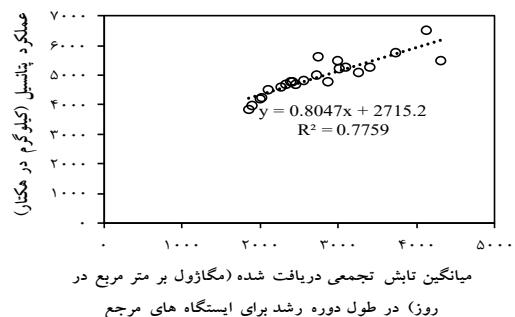
مختلف رشدی نیز کاهش پیدا می‌کند (شکل ۷). شکل ۸) ارتباط مستقیم پتانسیل عملکرد با میزان تشعشع دریافتی را در مناطق برگزیده نشان می‌دهد.



شکل ۶. ارتباط عملکرد پتانسیل (کیلوگرم در هکتار) با میانگین سالانه درجه روز رشد (GDD) (درجه سانتی‌گراد)



شکل ۷. ارتباط میانگین سالانه درجه روز رشد (GDD) (درجه سانتی‌گراد) با طول دوره رشد با کل تابش دریافتی (تجمعی) (MJ.m⁻².day⁻¹).

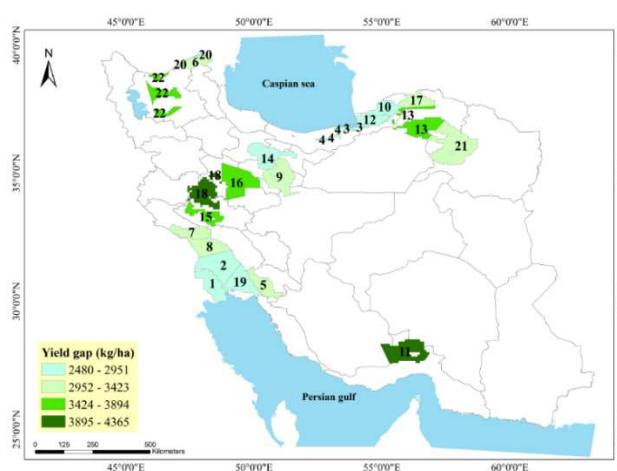


شکل ۸. ارتباط عملکرد پتانسیل با میانگین تابش تجمعی دریافت شده (مگاژول بر متر مربع در روز) در طول دوره رشد برای ایستگاه‌های مرجع

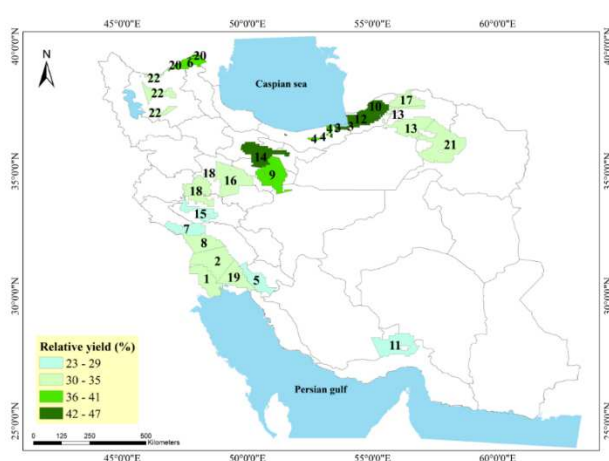
کلزا برای کل کشور انجام نشده است. پژوهش‌های انجام‌شده به صورت منطقه‌ای بوده‌اند. نتایج این مطالعه با نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در مناطق مختلف کشور توسط *Mojarrad et al.* (2017)، *Abravan et al.* (2015)، *Sekhvatifar et al.* (2020)، *Fisher* (2014)، *Foroughi Ayneh Deh et al.* (2020) و *Sekhvatifar et al.* (2019) *al.* مطابقت داشت.

این امر نشان می‌دهد که کشاورزان تنها به ۳۵ درصد از پتانسیل تولید دست یافته‌اند. بیش‌ترین عملکرد نسبی در اقلیم‌های ۶۰۰۲ و ۵۱۰۲ بود که عملکرد واقعی هر دو اقلیم ۴۷ درصد از عملکرد پتانسیل برآورد شد. کم‌ترین عملکرد نسبی مربوط به اقلیم ۷۰۰۲ می‌باشد که عملکرد واقعی ۲۳ درصد از عملکرد پتانسیل بوده است (جدول ۲؛ شکل ۱۰).

تاکنون مطالعه جامعی برای محاسبه پتانسیل عملکرد



شکل ۹. خلأ عملکرد پتانسیل کلزای آبی (کیلوگرم در هکتار) در محدوده مناطق اصلی آن در ایران. (برای نام ایستگاه‌ها به همراه کد تعیین‌شده در نقشه به جدول (۱) مراجعه شود).



شکل ۱۰. عملکرد نسبی کلزای آبی (درصد) در محدوده مناطق اصلی آن در ایران. (برای نام ایستگاه‌ها به همراه کد تعیین‌شده در نقشه به جدول (۱) مراجعه شود).

Gobbett, D., Hochman, Z., Horan, H., Navarro Carcia, J., Grassini, P., & Cassman, K. (2016). Yield gap analysis of rainfed wheat demonstrates local to global relevance. *The Journal of Agricultural Science*, 1-18.

Gobbett, D.L., Hochman, Z., Horan, H., Garcia, J.N., Grassini, P., & Cassman, K.G. (2017). Yield gap analysis of rainfed wheat demonstrates local to global relevance. *The Journal of Agricultural Science*, 155, 282-299

Hajjarpour, A., Soltani, A., & Torabi, B. (2016). Using boundary line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan.

Harvest Choice. (2010). HC27: Generic/Prototypical Soil Profiles. International Food Policy Research Institute, Washington, DC., and University of Minnesota, St. Paul, M.N. Available online at <http://harvestchoice.org/node/2239>.

Hochman, Z., & Horan, H. (2018). Causes of wheat yield gaps and opportunities to advance the water-limited yield frontier in Australia. *Field Crops Research*, 228, 20-30.

Kamkar, B., Koochaki, A., Nassiri Mahalati, M., & Rezvani Moghadam, P. (2007). Yield gap analysis of cumin in nine regions of Khorasan provinces using modelling approach. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 5(2), 333-342.

Mojarrad, F., Farhadi, B., & Kheyri, R. (2014). The Role of Climatic Factors in Determining the Start Date of Planting and Growing Period of Colza with Application of CropSyst Model, Case Study: Coastal Provinces of Caspian Sea in Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 90, 463-476.

Mueller, N. D., Gerber, J. S., Johnston, M., Ray, D. K., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, 490, 254-257.

Nehbandani, A.R. (2018). Evaluation of soybean yield gap in Iran. PhD Dissertation, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. (In Persian)

Sekhvatifar, Sh., Rahemi Karizaki, A., Moghaddam, N., & Mollashahi, M. (2020). Identifying Oilseed Rape Limiting Factors by Means of Performance Comparison Analysis. *Journal of Crops Improvement*, 22(1), 13-25.

Soltani, A., Alimaghani, M., & Nehbandani, A. (2020). Modeling plant production at country level as affected by availability and productivity of land and water, *Agricultural systems*. (Minor Revision Is Needed).

Soltani, A., & Sinclair, T.R. (2011). A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crops Research*, 124, 252-260.

۴. تشکر و قدردانی

از سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی کشور که در ارائه اطلاعات و داده‌های لازم برای انجام این مطالعه همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۶. منابع

Abravan, P., Soltani, A., Majidian, M., & Mohsenabadi, Gh. (2017). Study of field management factors and underlying reasons limiting yield of oilseed rape in east of Golestan province using CPA method, *Journal of Agroecology*, 46-60.

Alasti, O. (2020). Modeling potential production and gap production of barley under current and future climates of Iran, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. (In Persian)

Aramburu Merlos, F., Monzon, J.P., Mercau, J.L., Taboada, M., Andrade, F.H., Hall, A.J., Jobbagy, E., Cassman, K.G., & Grassini, P. (2015). Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research*, 184, 145-154.

FAO. (2015). In: In: Sadras, V.O., Cassman, K.G.G., Grassini, P., Hall, A.J., Bastiaanssen, W.G.M., Laborde, A.G., Milne, A.E., Sileshi, G., Steduto, P. (Eds.), *Yield Gap Analysis of Field Crops: Methods and Case Studies*, vol. 41 FAO Water Reports No., Rome, Italy.

FAOSTAT. (2017). Statistical Database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO, Rome, Italy.

Foroughi Ayneh Deh, A., Biabani, A., Rahemi Karizki, A., & Rassam Q. (2019). Investigation of physiological characteristics affecting the yield improvement of rapeseed cultivars. *Journal of Field Crops Research*, 17(1), 53-73.

FTF. (2011). Feed the Future: Global Food Security Research Strategy. U.S. Government 's global hunger and food security initiative. Available at: <http://www.feedthefuture.gov/>.

Ghanbari, A., & Taei-Semiromi, J. (2012). New approach for regional crop yield gap analysis in the Borujen Plain, Iran. *African Journal of Biotechnology*, 11, 6368-6376.

- Soltani, A., & Sinclair, T.R. (2012). Modeling physiology of crop development, growth and yield. CABI Publication, p. 322.
- Soltani, A., Hajjarpour, A., & Vadez, V. (2016). Analysis of chickpea yield gap and water limited potential yield in Iran. *Field Crops Research*, 185, 21-30.
- Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E., & Kazemi Korgehei, M. (2013). Ranking factors causing the wheat yield gap in Gorgan. *Journal of Crop Production*, 6(1), 171-189.
- Van Bussel, L.G., Grassini, P., Van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., Boogaard, H., de Groot, H., Saito, K., Cassman, K.G., & van Ittersum, M.K. (2015). From field to atlas: upscaling of location-specific yield gap estimates. *Field Crops Research*, 177, 98-108.
- Van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., & Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance- A review. *Field Crops Research*, 143, 4-17.
- WPP. (2017). United Nations, department of economic and social affairs, population division. In: World Population Prospects, Online Edition.
- Zahed, M. (2018). Modeling the production and yield gap of wheat in Iran. Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. (In Persian)