

## مدلسازی پتانسیل و خلاء عملکرد چغندر قند در ایران

## Modeling of sugar beet yield gap and potential in Iran

زهرا محمدزاده<sup>۱\*</sup>، افشین سلطانی<sup>۲\*</sup>، حسین عجم نوروزی<sup>۳</sup> و امیر بهزاد بذرگر<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۸/۰۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۱۰

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.22092/jsb.2021.352324.1255

ز. محمدزاده، ا. سلطانی، ح. عجم نوروزی و ا.ب. بذرگر. ۱۳۹۹. مدلسازی پتانسیل و خلاء عملکرد چغندر قند در ایران. چغندر قند، ۳۶(۱): ۲۷-۴۶.

## چکیده

چغندر قند گیاهی صنعتی و استراتژیک از نقطه نظر تولید شکر در ایران می‌باشد که اطلاعات دقیقی در رابطه با پتانسیل عملکرد و خلاء عملکرد آن در ایران در دسترس نیست. این مطالعه با هدف برآورد پتانسیل عملکرد چغندر قند با استفاده از پروتکل گیگا (GYGA) با توجه به شرایط فعلی برای اولین بار در ایران انجام شد. بر اساس این پروتکل مناطق زراعی و اقلیمی (CZ)، ایستگاه‌های هواشناسی مرجع (RWs) و بافرهای محدوده هر ایستگاه هواشناسی در هر منطقه اقلیمی، نوع بافت خاک در محدوده بافرها تعیین و برای ارزیابی پتانسیل عملکرد و خلاء عملکرد و تولید از مدل SSM-iCrop2 استفاده شد. در نهایت ۲۸ ایستگاه هواشناسی در ۱۳ منطقه اقلیمی برای چغندر قند انتخاب شد که این ۱۳ اقلیم ۹۲/۷ درصد از کل اراضی کشت چغندر قند را در بر می‌گیرد. نتایج حاصل از مدلسازی میزان تولید پتانسیل و خلاء محاسبه شده از آن را به ترتیب ۱۱/۳۹ و ۶/۲۳ میلیون تن برآورد کرد. عملکرد واقعی (Ya) و عملکرد پتانسیل (Yp) چغندر قند به ترتیب ۴۶/۶۶ و ۱۰۲/۹۹ تن در هکتار و در نتیجه خلاء عملکرد (Yg) چغندر قند در ایران با ۵۶/۳۲ تن در هکتار با عملکرد نسبی (RY=(Ya/Yp)\*100) ۴۵ درصد برآورد شد. این موضوع بیان‌گر این است که با شیوه‌های مدیریت فعلی تنها کمتر از نیمی از پتانسیل عملکرد تولید می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، امنیت غذایی، پروتکل گیگا، مدل SSM-iCrop2

- 
- ۱ - دانشجوی گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران.  
 ۲ - استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. ایران.  
 ۳ - استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران.  
 ۴ - دانشیار گروه علوم کشاورزی، واحد کاشمر، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشمر، ایران. و دانشکده علوم محیطی، دانشگاه گوئلف، گوئلف، کانادا.
- \* - نویسنده مسئول. eli.mhmdzde@gmail.com  
 \* - نویسنده مسئول. afshin.soltani@gau.ac.ir

## مقدمه

امروز جمعیت جهان با سرعت زیادی رو به افزایش است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ به ۱۰ میلیارد نفر افزایش یابد (O'Neil et al. 2010). برای تأمین امنیت غذایی این جمعیت در آینده نیاز است تولید غذا را ۷۰ تا ۱۱۰ درصد افزایش داد (FAO 2009; Tilman et al. 2011; Ray et al. 2013; Soltani et al. 2016). نگرانی‌های زیادی در مورد امنیت غذایی و تغذیه آینده وجود دارد و افزایش تولیدات زراعی به‌عنوان مهم‌ترین هدف تحقیقات کشاورزی برای مقابله با این معضل بزرگ جهانی است (Foley et al. 2011; Hajjarpoor et al. 2018). افزایش تولید را می‌توان از طریق افزایش سطح زیرکشت یا از طریق افزایش عملکرد در واحد سطح یا هر دو به‌دست آورد (Bruinsma et al. 2009). افزایش عملکرد در واحد سطح را می‌توان از طریق افزایش عملکرد پتانسیل یا از طریق کاهش خلا عملکرد بدست آورد (Fischer et al. 2014). محققین بسیاری بیان کرده‌اند که افزایش عملکرد محصولات زراعی به جای افزایش سطح زیر کشت، راهکار پایدارتری جهت ایجاد امنیت غذایی است (Foley et al. 2011).

اولین قدم برای کاهش خلاء عملکرد، محاسبه مقدار عملکرد پتانسیل است. عملکرد پتانسیل به‌عنوان حداکثر عملکرد قابل برداشت از ارقام سازگار فعلی گیاهان زراعی در شرایطی است که آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز به‌طور مؤثری کنترل می‌شوند، با انجام آبیاری و کوددهی، محدودیت آب و عناصر غذایی رفع می‌گردد و سایر عملیات زراعی نیز به صورت مطلوب انجام می‌گیرد (Soltani et al. 2019; Van Ittersum et al. 2013; Lobell et al. 2009). خلاء عملکرد اختلاف بین عملکردهای واقعی و عملکرد پتانسیل تعریف می‌شود. در بیشتر سیستم‌های کشت گیاهان زراعی اصلی، رسیدن به پتانسیل عملکرد به لحاظ فنی و اقتصادی توجیه‌پذیر نیست. بنابراین، رسیدن به ۷۰ تا ۸۰ درصد پتانسیل عملکرد مد نظر قرار می‌گیرد که

به آن عملکرد قابل حصول (Attainable Yield) گفته می‌شود. نخستین گام در جهت رفع خلاء عملکرد کمی‌سازی خلاء عملکرد و تعیین نقشه‌های پراکنش نحوه توزیع آن است (Hochman et al. 2016; Zahed et al. 2019). امروزه روش‌های مختلفی برای ارزیابی خلاء عملکرد توسط محققان ارائه شده است، به‌عنوان مثال دیهیم فرد و همکاران (Deihim Fard et al. 2015) با استفاده از مدل SUCROS، پتانسیل عملکرد چغندر قند در خراسان رضوی را بین ۱۰۰ تا ۱۳۷ تن در هکتار و نیز میزان خلاء را بین ۷۴ تا ۱۰۹ تن در هکتار گزارش کردند و عنوان کردند نسبت عملکرد تولید شده به آب مصرفی در این مناطق مورد مطالعه بسیار پایین است و تولید چغندر قند با هزینه و مصرف بسیار بالای آب انجام می‌شود. نهبندانی و همکاران (Nehbandani et al. 2016) با بررسی خلاء عملکرد سویا در گرگان و علی‌آباد کتول با استفاده از روش آنالیز خط مرزی گزارش کردند که میانگین عملکرد در مزارع مورد بررسی حدود ۳/۵ تن در هکتار بود که با بهبود مدیریت زراعی می‌تواند به حدود ۵/۵ تن در هکتار نیز افزایش پیدا کند. حجارپور و همکاران (Hajjarpoor et al. 2016) با استفاده از روش آنالیز خط مرزی مقدار خلا عملکرد و عملکرد قابل حصول گندم در شمال شرقی ایران (گلستان- گرگان) را به ترتیب حدود ۱۵۰۰ و ۶۲۰۰ کیلوگرم در هکتار برآورد کردند. اما محاسبه خلاء عملکرد در سطح وسیع (کشور) مستلزم به‌کارگیری روشی مناسب می‌باشد که در این میان وان ایترسام و همکاران (Van Ittersum et al. 2013) براساس برآورد ملی خلاء عملکرد برای محصولات عمده زراعی، چهارچوبی را برای برآورد جهانی خلاء عملکرد تحت عنوان پروتکل گیگا (Global Yield Gap Atlas, GYG) (اطلس جهانی خلاء عملکرد) مطرح کرده‌اند. پروتکل گیگا روشی را در اختیار قرار می‌دهد تا به‌توان با استفاده از طرح پهنه‌بندی اقلیمی و تعریف پهنه‌های اقلیمی - کشاورزی مشابه، خلا عملکرد را در سطح کشور محاسبه کرد (http://www.yieldgap.org).

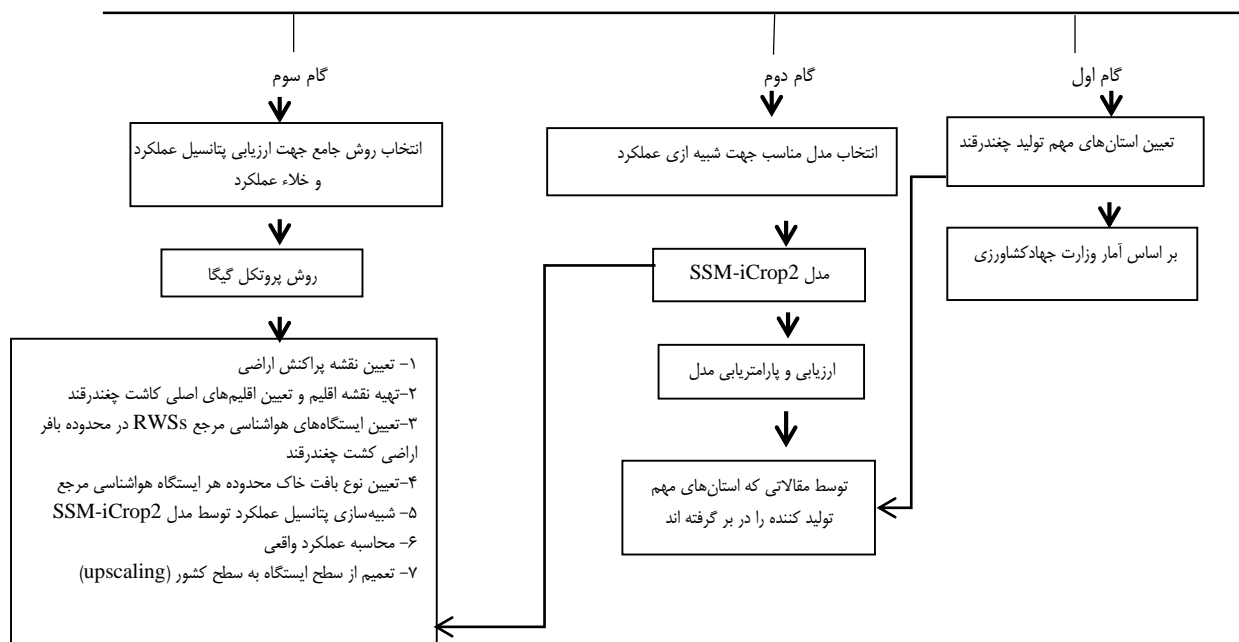
درصد از شکر تولید شده در ایران از چغندرقد می‌باشد (http://www.isfs.ir)، با این حال، افزایش تقاضا برای این محصول توأم با کمبود عملکرد تولیدی منجر به واردات شکر شده است. سالانه بر اساس نیاز به طور متوسط ۸۷۲ هزار تن شکر (آمار ۱۳۹۴-۱۳۹۰) وارد می‌شود (FAO 2015). با توجه به اهمیت چغندرقد در بحث اقتصادی کشور و تولید شکر این مطالعه با هدف مدل‌سازی عملکرد پتانسیل، محاسبه خلاء عملکرد و شناسایی مناطق آن برای اولین بار در ایران بر اساس یک روش جهانی معتبر (پروتکل گیگا) انجام شد.

### مواد و روش‌ها

این مطالعه بر اساس پروتکل گیگا انجام شد. مراحل انجام کار در شکل ۱ قابل مشاهده است.

عملکرد برنج در امریکا (Esp et al. 2016)، گندم در استرالیا (Gobbett et al. 2017)، ذرت در آمریکا، آرژانتین و کنیا (Grassini et al. 2015)، ذرت، سویا و گندم در آرژانتین (Merlos et al. 2015)، سیب‌زمینی در چین (Wang et al. 2018)، سویا (Nehbandani 2018)، گندم (Zahed et al. 2019)، جو (Alasti et al. 2020) و سیب‌زمینی (Dadrasi 2019) در ایران از روش گیگا استفاده شده است.

ایران با تولید ۵/۵ میلیون تن چغندرقد و حدود ۱۱۱ هزار هکتار سطح زیرکشت یازدهمین کشور تولید کننده چغندرقد در جهان و سومین کشور در خاورمیانه است (FAO 2018). چغندرقد با قابلیت کشت در اغلب مناطق ایران به عنوان مهم‌ترین منبع تولید شکر کشور است (Zare Abyaneh et al. 2012)، که ۱/۸ درصد از کل سطح زیرکشت آبی ایران را به خود اختصاص می‌دهد. ۵۰



شکل ۱ تعیین خلاء عملکرد چغندرقد در مناطق مهم تولید به روش گیگا در فاصله سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۵

#### گام اول: تعیین استان‌های مهم تولید چغندرقد

برای این کار از آمار وزارت جهاد کشاورزی در سال‌های

زراعی ۸۳-۸۴ تا ۹۲-۹۳ استفاده شد.

#### گام دوم: پارامتریابی و ارزیابی

در این مطالعه از مدل SSM-iCrop2 برای شبیه‌سازی

پتانسیل عملکرد استفاده شد (Soltani and Sinclair 2011).

سطح زیرکشت چغندرقد از آمار سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ استفاده شد و در محیط (ESRI 2010) ArcGIS v10.2 تهیه شد. برای تهیه نقشه‌های اقلیمی گیگا از سایت <http://www.yieldgap.org/web/guest/cz-ted> استفاده شد، که در آن، مناطق براساس سه متغیر اقلیمی شامل درجه روز رشد سالانه، نوسان دمای فصلی و شاخص خشکی تعیین شدند (Van Wart et al. 2013). در نهایت این شاخص‌ها به صورت یک کد ۴ رقمی نمایش داده می‌شوند، که رقم هزارگان، صدگان و عدد یکان آن به ترتیب مربوط به درجه روز رشد، شاخص خشکی و نوسانات دمایی می‌باشد. بر اساس پروتکل گیگا برای انتخاب اقلیم‌های اصلی باید حداقل پنج درصد از اراضی چغندرقد در آن اقلیم باشد و در نهایت حداقل ۵۰ درصد از کل اراضی چغندرقد توسط اقلیم‌های انتخابی پوشش داده شده باشند.

#### اطلاعات هواشناسی و تعیین بافرها بر اساس ایستگاه هواشناسی مرجع

برای برآورد عملکرد پتانسیل و خلا عملکرد هر ایستگاه در شرایط آبی از اطلاعات هواشناسی یک دوره ۱۰ ساله (۲۰۰۵-۲۰۱۵) استفاده شد. این اطلاعات از سازمان هواشناسی ایران تهیه شد. بر اساس پروتکل گیگا از بافرهایی با شعاع ۱۰۰ کیلومتر اطراف هر ایستگاه هواشناسی استفاده شد. برای تهیه بافر ۱۰۰ کیلومتری در اطراف هر ایستگاه هواشناسی از تابع بافر (Buffer) در نرم‌افزار (ESRI 2010) ArcGIS v10.2 استفاده شد. ایستگاه‌هایی که در محدوده بافر آنها کمتر از ۰/۹ درصد اراضی چغندرقد کل کشور وجود داشت از فهرست ایستگاه‌ها حذف شدند (جدول ۳ و ۴).

#### اطلاعات خاک

اطلاعات خاک مورد استفاده برای شبیه سازی توسط مدل از نقشه خاک (HarvestChoice, HC27) استخراج شد (Koo J and Dimes 2013). این نقشه بر اساس بافت خاک و عمق خاک طبقه‌بندی می‌شود (جدول ۱). ارزیابی HC27 برای

در این مدل مقدار عملکرد پتانسیل بر مبنای داده‌های هواشناسی، شرایط خاک، نحوه مدیریت (مانند آبیاری، تاریخ کاشت، آبی یا دیم بودن، بهاره یا پاییزه بودن کاشت و...) و پارامترهای گیاهی محاسبه می‌شود. مدل توانایی شبیه‌سازی مراحل فنولوژی، گسترش و پیری برگ، توزیع ماده خشک، تشکیل عملکرد و موازنه آب خاک را دارد. مدل شبیه‌سازی را به صورت روزانه انجام می‌دهد. بدین منظور با استفاده از مقالات معتبر داخلی برای استان‌های مهم تولید کننده چغندرقد اطلاعات مورد نیاز (تاریخ کاشت و برداشت و عملکرد ریشه) جمع آوری شده و براساس آن مدل پارامتریابی و ارزیابی شد. مدل SSM-iCrop2 برای چغندرقد براساس سه مرحله ابتدای رشد تا شروع پرشدن ریشه، دوره پرشدن ریشه و کل دوره که از کاشت تا برداشت را پیش‌بینی می‌کند. نحوه دقیق پارامتریابی، ارزیابی، ست‌آپ مدل و پارامترهای گیاهی به دست آمده و نیز منابع مقالات مورد استفاده در گزارش سلطانی و همکاران (Soltani et al. 2020) قابل مشاهده است. برای اطمینان بیشتر درستی مدل، ارزیابی برای مقدار نیاز آبیاری خالص و عملکرد پتانسیل نیز براساس مقالات انجام شد و نتایج در سایت <http://www.yieldgap.org/iran> برای چغندرقد قابل مشاهده است.

برای ارزیابی قدرت مدل، در پیش‌بینی عملکرد از سه شاخص جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تغییرات (CV) و نیز ضریب همبستگی (r) استفاده شد. در این مطالعه مقادیر واقعی مقالات مورد مطالعه در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده در شکل ۱ با حدود اطمینان ۲۰ درصد ترسیم شد.

گام سوم: تهیه نقشه اراضی زراعی و مناطق اقلیمی بر اساس پروتکل گیگا

برای تعیین ایستگاه‌های مرجع برای یک محصول زراعی مشخص، به نقشه محدوده اقلیمی تحت پوشش برای هر ایستگاه و نقشه پراکنش اراضی آن محصول نیاز است. جزئیات این پروتکل توسط گراسینی و همکاران (Grassini et al. 2015) و وان باسل و همکاران (Van Bussel et al. 2015) در سایت گیگا به صورت کامل تشریح شده است. برای تهیه نقشه

پوشش ایستگاه مرجع را به خود اختصاص ندادند، تمامی خاک‌هایی که بیش از ۱۰ درصد از سطح اراضی تحت پوشش ایستگاه مرجع شامل شدند به عنوان خاک‌های غالب آن بافر در نظر گرفته شدند (Zahed et al. 2019; Grassini et al. 2015).

شرایط ایران با مدل SSM-iCrop2 توسط نهپندانی و همکاران (2020) گزارش شد و نتایج نشان داد ارزیابی این بانک اطلاعات خاک برای ایران قابل قبول است. در محدوده تحت پوشش هر ایستگاه (بافر)، خاکی که بیش از ۵۰ درصد از سطح خاک در آن محدوده را پوشش دهد به عنوان خاک غالب آن بافر در نظر گرفته شد. در صورتی که هیچ یک از خاک‌ها بیش از ۵۰ درصد از سطح

**جدول ۱** پروفایل‌های خاک حاصل از ترکیب کلاس‌های متغیرهای موجود، کد آنها و طبقه‌بندی متغیرهای مختلف مربوط به خاک

شماره پروفایل	کد پروفایل	شماره پروفایل	کد پروفایل	شماره پروفایل	کد پروفایل
۱	Clay HF180	۱۰	Loam HF180	۱۹	Sand HF180
۲	Clay HF120	۱۱	Loam HF120	۲۰	Sand HF120
۳	Clay HF060	۱۲	Loam HF060	۲۱	Sand HF060
۴	Clay MF180	۱۳	Loam MF180	۲۲	Sand MF180
۵	Clay MF120	۱۴	Loam MF120	۲۳	Sand MF120
۶	Clay MF060	۱۵	Loam MF060	۲۴	Sand MF060
۷	Clay LF180	۱۶	Loam LF180	۲۵	Sand LF180
۸	Clay LF120	۱۷	Loam LF120	۲۶	Sand LF120
۹	Clay LF060	۱۸	Loam LF060	۲۷	Sand LF060

کد HC27	بافت خاک	کد HC27	حاصلخیزی ماده آلی (%)	کد HC27	عمق خاک
Clay	رسی	LF	< ۰/۷	۶۰	> ۹۰cm
Loam	لوم	MF	۰/۱-۱/۲	۱۲۰	۹۰-۱۵۰cm
Sand	شنی	HF	> ۱/۲	۱۸۰	< ۱۵۰cm

با استفاده از پتانسیل عملکرد محاسبه شده توسط مدل و عملکرد واقعی محاسبه شده بر اساس میانگین وزنی در سطح هر ایستگاه انتخابی، خلا عملکرد از رابطه ۱ و عملکرد نسبی (RY) از رابطه ۲ به دست آمد.

$$Yg = Yp - Ya \quad (۱)$$

$$RY = (Ya/Yp) * 100 \quad (۲)$$

#### درشت مقیاس نمایی

پروتکل گیگا چند مرحله را تشریح می‌کند تا به کمک میانگین وزنی به توان عملکرد را برای محدوده هر ایستگاه هواشناسی، منطقه اقلیمی و در نهایت کشور محاسبه کرد (Van Bussel et al. 2015). مراحل محاسبه عملکرد در کشور به روش از پایین به بالا (شکل ۲):

#### عملکرد واقعی

بر اساس پروتکل گیگا حداقل اطلاعات ۱۰ ساله عملکرد واقعی برای محصولات آبی نیاز است ولی از آن جهت که عملکرد و کیفیت چغندر قند در طی دهه‌های اخیر به طور معنی‌داری روند صعودی داشته است، بنابراین طبق پروتکل گیگا از عملکرد سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۹۰ به عنوان عملکرد واقعی در سطح کشور استفاده شد.

#### عملکرد واقعی ایستگاه

هر بافر در برگزیده شهرستان‌های مختلفی می‌باشد که میزان عملکرد واقعی هر شهرستان بر اساس آمار سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ از سازمان‌های جهاد کشاورزی استان‌ها تهیه شد. عملکرد واقعی بر اساس سهم اراضی هر شهرستان برای هر ایستگاه با استفاده از میانگین وزنی محاسبه شد.

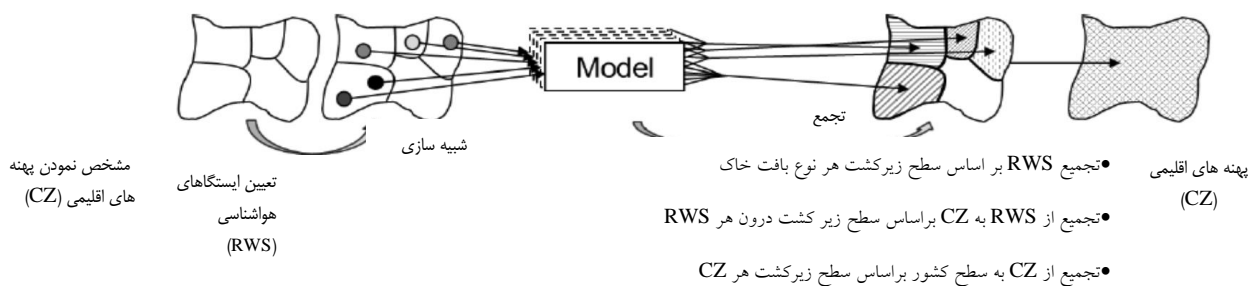
۴- عملکرد محدوده ایستگاه هواشناسی به اقلیم تعمیم داده شد.

۵- و در آخر بر اساس اینکه چه مساحتی از چغندر قند در هر اقلیم موجود بود با استفاده از میانگین وزنی، عملکرد کشور محاسبه شد.

۱- برای هر ایستگاه هواشناسی عملکرد برای هر نوع خاک به صورت سالانه محاسبه شد.

۲- باتوجه به مساحت اراضی هر نوع خاک در محدوده هر ایستگاه با استفاده از میانگین وزنی عملکرد محدوده هر ایستگاه محاسبه شد.

۳- میانگین عملکرد پتانسیل ۱۰ ساله و عملکرد واقعی پنج ساله برای هر ایستگاه محاسبه شد.



شکل ۲ درشت مقیاس نمایی از سطح ایستگاه به سطح کشور

در طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ در ایران را نشان می‌دهد (Ministry of Agriculture Jihad 2001-2016). بررسی‌ها نشان می‌دهد از سال ۸۱ تا ۸۶ روند سطح زیرکشت با ضریب تغییرات ۹ درصد دارای نوسانات کم بوده است و بعد از آن در سال ۸۷ این روند به صورت خطی کاهش یافت و نسبت به میانگین سال‌های ۸۰ تا ۸۶ حدود ۱۲۰ هزار هکتار کاهش سطح زیرکشت و به دنبال آن کاهش تولید مشاهده شد. در واقع سال ۸۷ یک سال ویژه بود، که به دلیل حجم زیاد واردات و افت قیمت شکر، تعدادی از کارخانجات تعطیل شدند و تعداد دیگری نیز با حداقل ظرفیت کار کردند. از سال ۸۷ تا ۹۵ افزایش سطح زیرکشت نسبت به سال‌های ۸۰ تا ۸۶ روند آرام‌تری داشته با این حال تولید و عملکرد افزایش یافت. در واقع بررسی‌ها نشان داد، تولید از طریق افزایش عملکرد در واحد سطح توانسته افزایش پیدا کند، به طوری که ایران در سال ۸۶ با حدود ۱۶۰ هزار هکتار، حدود ۵/۵ مگا تن تولید چغندر قند داشته و در سال ۹۵ با حدود ۱۱۰ هزار هکتار این رقم به ۵/۹ مگا تن تولید رسیده است.

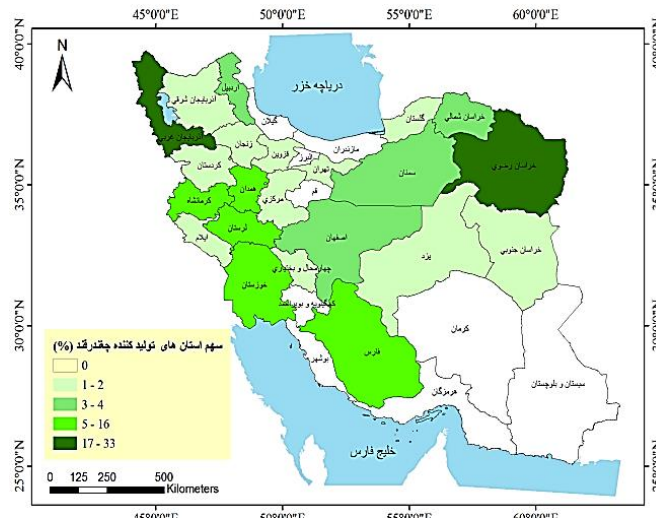
جهت ارزیابی و اطمینان از روش گیگا، پیش‌بینی عملکرد واقعی مدل بر اساس پروتکل گیگا در برابر عملکرد واقعی گزارش شده توسط جهاد کشاورزی، شکل ۱ با حدود اطمینان ۲۰ درصد ترسیم شد.

## نتایج و بحث

### استان‌های مهم تولیدکننده

نتایج این مطالعه نشان داد که ۸۵ درصد تولید کل کشور به تفکیک استانی به ترتیب مربوط به استان‌های آذربایجان غربی، خراسان رضوی، فارس، کرمانشاه، همدان، خوزستان و لرستان و سهم آنها به ترتیب ۳۳/۵، ۱۷/۲، ۱۰/۵، ۹/۸، ۵/۴، ۴/۶ و ۴/۳ درصد و سایر استان‌ها کمتر از ۱۴/۶ درصد از کل کشور را به خود اختصاص دادند (شکل ۳).

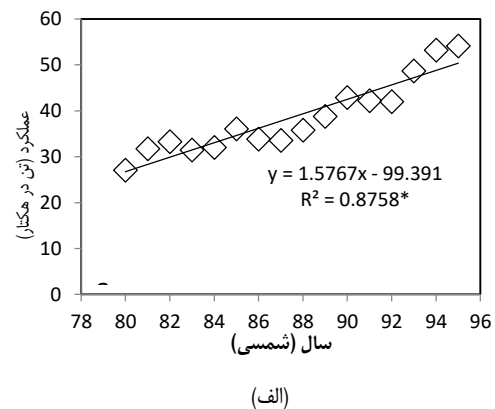
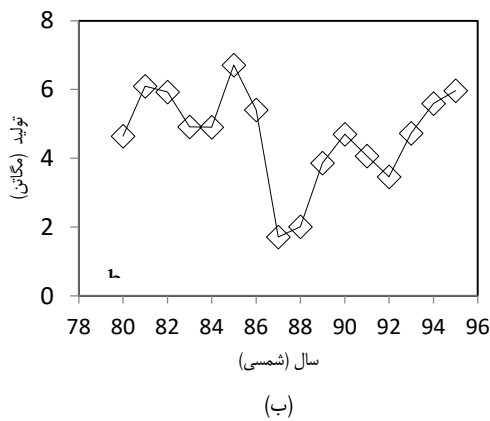
نوسانات تولید و سطح زیرکشت در هر استان مربوط به شرایط اقلیمی و اقتصادی و سیاسی آن منطقه و نیز میزان سازگاری محصول با منطقه مورد نظر است. شکل ۴ به ترتیب عملکرد (۴-a)، تولید (۴-b) و سطح زیرکشت (۴-c) چغندر قند



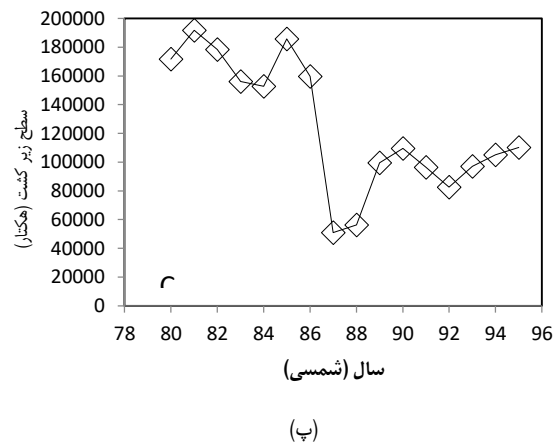
شکل ۳ نقشه سهم هر یک از استان‌های تولیدکننده چغندر قند در کشور طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹۵

عملکرد را بیشتر به بهبود عملیات مدیریتی و مکانیزاسیون در تولید چغندر قند و نیز معرفی ارقام جدید مونوزرم نسبت دادند.

در گزارش دیهیم فرد و همکاران (Deihim Fard *et al.* 2015) عملکرد واقعی چغندر قند در استان خراسان رضوی در سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۷ روند صعودی داشته و شیب تغییرات عملکرد مثبت بوده است. آنها این افزایش



شکل ۴ روند الف- تغییرات عملکرد، ب- تولید و پ- سطح زیر کشت چغندر قند در ایران از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵

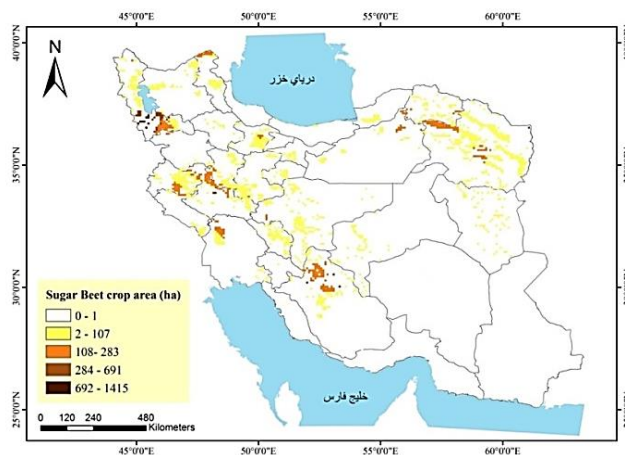


## اراضی زراعی

۱۰۶۹۳ هکتار)، همدان (۵۹۸۹ هکتار)، لرستان (۴۷۰۴ هکتار)، خوزستان (۳۹۰۳ هکتار) بود (شکل ۵).

به طور کلی بیشتر سطح زیر کشت چغندر قند در ایران با توجه به نقشه پراکنش اراضی (شکل ۵) از یک سمت شمال شرق و از طرف دیگر از شمال غرب تا جنوب غرب و به سمت مرکز ایران کشیده شده است (شکل ۵) و بیشترین سطح زیر کشت و تولید آن در شمال غرب کشور، جنوب دریاچه ارومیه مربوط به استان آذربایجان غربی به ترتیب با ۲۸ و ۳۳/۵ درصد از کل سطح زیر کشت و تولید چغندر قند کشور است.

نقشه پراکنش سطح زیر کشت چغندر قند ایران بر اساس آمار سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ در محیط GIS تهیه شد (شکل ۵). محدوده‌های زرد تا قهوه‌ای پر رنگ بیانگر سطح زیر کشت چغندر قند می‌باشد که مناطق پررنگ بیانگر سطح زیر کشت بالاتری هستند. بیشترین سطح زیر کشت چغندر قند به ترتیب متعلق به استان‌های آذربایجان غربی (۳۰۷۰۲ هکتار)، خراسان رضوی (۱۹۳۰۵ هکتار)، فارس (۱۲۴۴۵ هکتار)، کرمانشاه



شکل ۵ نقشه پراکنش اراضی (سطح زیر کشت) چغندر قند در ایران بر اساس آمار سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹۵ (اندازه هر پیکسل  $0.08^* 0.08$  درجه است).

زیر کشت در اقلیم ۴۱۰۳ قرار دارد و کمترین سطح زیر کشت داخل بافر با ۰/۹ درصد پوشش‌دهی مربوط به ایستگاه‌های بروجن، قزوین و مانه و سملقان در اقلیم ۴۰۰۳ و آباده در اقلیم ۵۰۰۳ بود (جدول ۳).

بر اساس جدول ۳، ۲۱ ایستگاه که یک نوع خاک غالب داشتند (حداکثر ۵۰ درصد اراضی آن بافر را به خود اختصاص داده بودند) با همان بافت خاک غالب در مدل اجرا شدند، اما هفت ایستگاه آباده، بروجن، بروجرد، مشکین شهر، نهاوند، سقز و کرمانشاه بیش از یک نوع خاک غالب داشتند، که بر اساس تعداد بافت خاک، تعداد سناریو برای آن ایستگاه‌ها اجرا شد. بر اساس جدول ۳، بیشتر خاک‌های اراضی کشت چغندر قند به ترتیب از نوع کد خاک ۵ و ۱۷ هستند که به ترتیب خاک‌هایی رسی، با

## مناطق اقلیمی، ایستگاه هواشناسی مرجع و بافت خاک برای چغندر قند

محدوده اقلیمی اصلی چغندر قند در ایران، شامل ۱۳ اقلیم است که ۹۲/۷ درصد از کل اراضی چغندر قند در ایران را شامل می‌شود (جدول ۲ و شکل ۶). نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که بیش از ۵۰ درصد از سطح زیر کشت چغندر قند کشور به ترتیب در پهنه‌های ۴۱۰۳ (۱۹/۱ درصد)، ۴۰۰۳ (۱۵/۳ درصد)، ۵۰۰۳ (۱۴/۱ درصد) بود که در مجموع پهنه‌هایی نسبتاً خنک و خشک هستند. در این ۱۳ منطقه اقلیمی ۲۸ ایستگاه هواشناسی مرجع انتخاب شد (جدول ۳) که حدود ۷۶ درصد از کل اراضی چغندر قند کشور را پوشش دادند. بیشترین سطح زیر کشت داخل بافر مربوط به ایستگاه سقز (شماره ۲۳ جدول ۲) با ۸/۴ درصد سطح



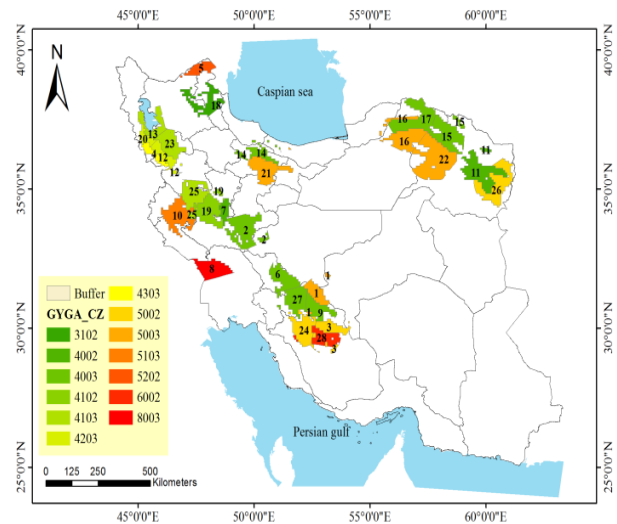
### درشت مقیاس نمایی

ضریب همبستگی بین نتایج حاصل از پروتکل گیگا و نتایج گزارش شده توسط وزارت جهادکشاورزی برابر با ۹۹ درصد، ضریب تغییرات ۲/۳ درصد و مقدار میانگین مربعات ۱۰۳۴ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۷). دقت بالای پروتکل گیگا برای محاسبه عملکرد واقعی گندم در استرالیا (Gobbett *et al.*, 2017)، سویا، ذرت و گندم در آرژانتین (Merlos *et al.*, 2015)، و نیز گندم (Zahed *et al.*, 2019) و سویا در ایران (Nehbandani 2018) گزارش شده است. در واقع دقت بالای پروتکل در محاسبه عملکرد واقعی برای کل کشور، این اطمینان را به وجود آورد که با استفاده از این پروتکل و عملکردهای پتانسیل شبیه‌سازی شده برای مناطق مهم تولید چغندرقد کشور، می‌توان به این روش اعتماد کرد و متوسط عملکرد پتانسیل برای کل کشور را با دقت بالایی محاسبه کرد.

### برآورد عملکرد پتانسیل، واقعی و خلاء عملکرد از سطح ایستگاه تا کشور

در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ به ترتیب نقشه عملکرد واقعی و پتانسیل و خلاء عملکرد ایستگاه‌های انتخابی ترسیم شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود عملکرد در چهار کلاس طبقه‌بندی شده است. رنگ‌های روشن تا تیره نشان دهنده محدود ایستگاه‌ها از عملکردهای پایین تا عملکردهای بالا است. شماره ایستگاه‌ها در جدول ۳ معرف ایستگاه انتخابی است. مقادیر مختلف تغییرات عملکرد واقعی در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ بین ۲۱/۶۳ تا ۸۰/۶۰ تن در هکتار متغیر بود. بیشترین عملکردهای پتانسیل در شمال شرق ایران، استان خراسان رضوی و در جنوب غربی ایران، شمال استان فارس، و کمترین آن در استان اردبیل مشاهده شد (شکل ۹). مقادیر مختلف تغییرات عملکرد پتانسیل در ۱۰ سال شبیه‌سازی شده بین ۶۶/۳ تا ۱۲۱/۲۳ تن در هکتار متغیر بود. نتایج خلاء عملکرد ایستگاه‌های انتخابی در شکل ۱۰ نشان می‌دهد که پایین‌ترین میزان خلاء مربوط به ایستگاه‌های (شماره ایستگاه)، دزفول (۸)، مشکین‌شهر (۱۸)، بانه (۴)،

حاصلخیزی متوسط و عمق خاک ۱۲۰ و خاک‌هایی لوم با حاصلخیزی ضعیف و عمق خاک ۱۲۰ سانتی‌متری می‌باشند (جدول ۱ و ۳) در واقع کشت چغندرقد در ایران در اراضی با خاک متوسط تا ضعیف صورت می‌گیرد.



شکل ۶ مناطق اقلیمی انتخاب شده چغندرقد در ایران در محدوده بافرهای ایستگاه‌های هواشناسی انتخابی (شماره روی هر بافر نشان دهنده ایستگاه‌های هواشناسی انتخابی است که در جدول ۳ ارائه شده است)

### جدول ۲ اقلیم‌های انتخابی چغندرقد، اراضی داخل اقلیم و سهم هریک از اقلیم‌های منتخب از سطح زیر کشت چغندرقد

کد اقلیم	سطح زیر کشت در اقلیم (هکتار)	سطح زیر کشت از کل کشور (درصد)
۴۱۰۳	۲۱۱۶۲	۱۹/۱
۴۰۰۳	۱۶۹۰۸	۱۵/۳
۵۰۰۳	۱۵۶۱۵	۱۴/۱
۵۰۰۲	۹۱۶۰	۸/۳
۴۲۰۳	۸۶۸۴	۷/۸
۴۱۰۲	۸۲۸۵	۷/۵
۵۱۰۳	۶۳۴۲	۵/۷
۴۰۰۲	۵۷۷۲	۵/۲
۴۳۰۳	۲۶۷۸	۲/۴
۸۰۰۳	۲۶۶۸	۲/۴
۶۰۰۲	۲۶۱۶	۲/۴
۳۱۰۲	۱۳۶۱	۱/۲
۵۲۰۲	۱۳۰۱	۱/۲
جمع	۱۰۲۵۵۲	۹۲/۷
کل کشور	۱۱۰۶۳۱	-

استان‌های اردبیل، آذربایجان غربی و شمال خوزستان مشاهده می‌شود (شکل ۱۰).

براساس نتایج جدول ۴ عملکرد واقعی و پتانسیل چغندرقد به ترتیب ۴۶/۶۶ و ۱۰۲/۹۸۶ تن در هکتار که در نتیجه خلاء عملکرد چغندرقد در کشور با میزان ۵۶/۳۲۳ تن در هکتار در سطح کشور برآورد شد.

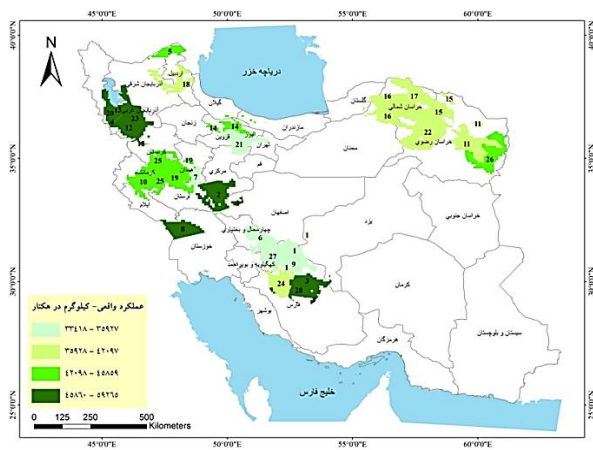
پیرانشهر (۲۰)، بیله‌سوار (۵)، مهاباد (۱۲) و بیشترین خلاءها مربوط به ایستگاه‌های (شماره) اقلید فارس (۹)، فریمان (۱۱)، قوچان (۱۵)، بروجرد (۷)، آباد (۱)، تربت جام (۲۶)، کرج (۲۱)، یاسوج (۲۷)، جاجرم (۱۶)، درود زن (۲۴) بود. در واقع بیشترین خلا در استان‌های خراسان رضوی، خراسان شمالی، البرز و شمال استان فارس مشاهده می‌شود و کمترین میزان خلاء در

**جدول ۳** ایستگاه‌های هواشناسی انتخاب شده، کد اقلیمی، طول، عرض، ارتفاع از سطح دریا، کد خاک (درصد اراضی در کد خاک)، سطح زیرکشت در بافر به هکتار (درصد از کل اراضی چغندرقد) هر ایستگاه

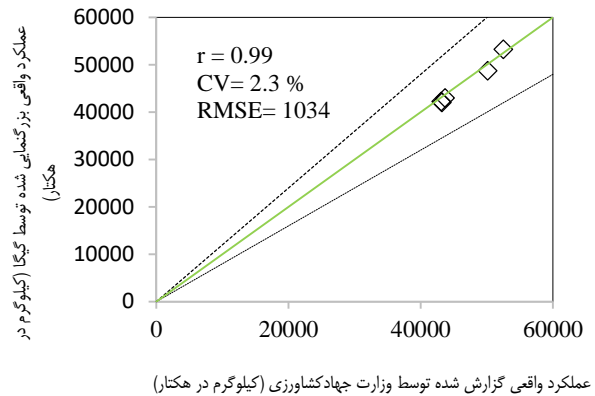
شماره ایستگاه	مناطق اقلیمی	ایستگاه هواشناسی مرجع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	کد خاک (درصد)	سطح زیرکشت درون هر بافر (درصد از کل سطح زیرکشت)
۱	۵۰۰۳	آباد	۳۱/۲	۵۲/۶۲	۲۰۳۰	۵(۲۱), ۱۴(۴۷), ۱۷(۳۲)	۱۰۰۴(۰/۹)
۲	۴۰۰۳	الیگودرز	۳۳/۴۱	۴۹/۷	۲۰۲۲/۱	۱۷(۶۵)	۱۴۰۲(۱/۳)
۳	۵۰۰۲	تخت جمشید	۲۹/۹۲	۵۲/۹۸	۱۶۰۵	۱۴(۶۹)	۱۹۷۷(۱/۸)
۴	۴۳۰۳	بانه	۳۶/۰۱	۴۵/۹	۱۶۰۰	۱۲(۱۰۰)	۱۳۳۹(۱/۲)
۵	۵۲۰۲	بیله سوار	۳۹/۳۷	۴۸/۳۲	۱۰۱/۴	۵(۸۶)	۱۲۷۹(۱/۲)
۶	۴۰۰۳	بروجن	۳۱/۹۸	۵۱/۳	۲۲۶۰	۵(۱۲), ۱۲(۱۲), ۱۴(۳۰), ۱۷(۴۶)	۹۷۸(۰/۹)
۷	۴۰۰۲	بروجرد	۳۳/۹۲	۴۸/۷۶	۱۶۲۹	۵(۴۲), ۱۴(۱۶), ۱۷(۴۰)	۱۰۹۲(۱)
۸	۸۰۰۳	دزفول(صفی‌آباد)	۳۲/۲۵	۴۸/۴۳	۸۲/۹	۱۷(۷۰)	۲۵۱۳(۲/۳)
۹	۴۰۰۳	اقلید فارس	۳۰/۹	۵۲/۶۳	۲۳۰۰	۵(۷۰)	۴۶۹۲(۴/۲)
۱۰	۵۱۰۳	اسلام‌آباد غرب	۳۴/۱۲	۴۶/۴۷	۱۳۴۸/۸	۱۲(۶۰)	۶۰۱۳(۵/۴)
۱۱	۴۰۰۲	فریمان	۳۵/۶۵	۵۹/۸۳	۱۴۷۲	۱۷(۵۳)	۳۶۵۲(۳/۳)
۱۲	۴۲۰۳	مهاباد	۳۶/۷۵	۴۵/۷۲	۱۳۵۱/۸	۱۲(۱۰۰)	۱۹۸۶(۱/۸)
۱۳	۴۱۰۳	ارومیه	۳۷/۶۶	۴۵/۰۶	۱۳۲۸	۵(۵۳)	۸۳۷۴(۷/۶)
۱۴	۴۰۰۳	قزوین	۳۶/۲۶	۵۰/۰۶	۱۲۷۹/۱	۱۷(۸۴)	۱۰۰۶(۰/۹)
۱۵	۴۰۰۳	قوچان	۳۷/۱۲	۵۸/۴۵	۱۲۸۷	۵(۵۸)	۲۳۶۸(۳/۱)
۱۶	۵۰۰۳	جاجرم	۳۶/۹۵	۵۶/۳۳	۹۸۴	۵(۸۸)	۲۰۳۶(۱/۸)
۱۷	۴۰۰۳	مانه و سملقان	۳۷/۵۱	۵۶/۸۶	۸۹۰	۱۴(۵۲)	۹۵۷(۰/۹)
۱۸	۳۱۰۲	مشکین شهر	۳۸/۳۸	۴۷/۶۸	۱۵۶۰/۶	۵(۴۷), ۱۲(۲۲), ۱۴(۳۱)	۱۲۵۵(۱/۱)
۱۹	۴۱۰۲	نهبوند	۳۴/۱۴	۴۸/۴۱	۱۶۷۷/۸	۵(۲۹), ۱۲(۴۵), ۱۷(۲۱)	۷۶۲۳(۶/۹)
۲۰	۴۲۰۳	پیرانشهر	۳۶/۷	۴۵/۱۵	۱۴۴۳/۵	۱۲(۵۰)	۶۶۹۲(۶)
۲۱	۵۰۰۳	کرج	۳۵/۸۱	۵۰/۹۵	۱۲۹۲/۹	۱۷(۸۱)	۱۴۷۵(۱/۳)
۲۲	۵۰۰۳	سبزوار	۳۶/۲۱	۵۷/۶۵	۹۶۲	۵(۹۳)	۶۵۰۸(۵/۹)
۲۳	۴۱۰۳	سقر	۳۶/۲۲	۴۶/۳۱	۱۵۲۲/۸	۲(۱۷), ۵(۲۴), ۱۲(۱۷), ۱۴(۴۲)	۹۲۸۰(۸/۴)
۲۴	۵۰۰۲	درود زن	۳۰/۲۱	۵۲/۴۲	۱۶۴۲	۱۷(۵۰)	۱۳۳۹(۱/۲)
۲۵	۴۱۰۳	کرمانشاه	۳۴/۳۵	۴۷/۱۵	۱۳۱۸/۵	۵(۲۵), ۱۲(۱۳), ۱۴(۱۴), ۱۷(۴۷)	۲۳۳۳(۲/۱)
۲۶	۵۰۰۲	تربت جام	۳۵/۲۹	۶۰/۵۶	۹۵۰/۴	۱۷(۷۴)	۲۲۳۸(۲)
۲۷	۴۰۰۳	یاسوج	۳۰/۷	۵۱/۵۶	۱۸۱۶/۳	۱۴(۵۹)	۱۵۱۲(۱/۴)
۲۸	۶۰۰۲	زرقان	۲۹/۷۸	۵۲/۷	۱۵۹۶	۵(۸۴)	۱۱۵۸(۱)
							۸۴۱۲۱(۷۶)

مجموع / میانگین

کد خاک ۲: رسی، حاصلخیزی بالا، عمق ۱۲۰ سانتی‌متر، کد خاک ۵: رسی، حاصلخیزی متوسط، عمق خاک ۱۲۰ سانتی‌متر، کد خاک ۱۲: لومی، حاصلخیزی بالا، عمق خاک ۶۰ سانتی‌متر، کد خاک ۱۴: لومی، حاصلخیزی متوسط، عمق ۱۲۰ سانتی‌متر، کد خاک ۱۷: لومی، حاصلخیزی کم، عمق خاک ۱۲۰ سانتی‌متر، کد خاک ۲۶: شنی، حاصلخیزی کم، عمق ۱۲۰ سانتی‌متر.

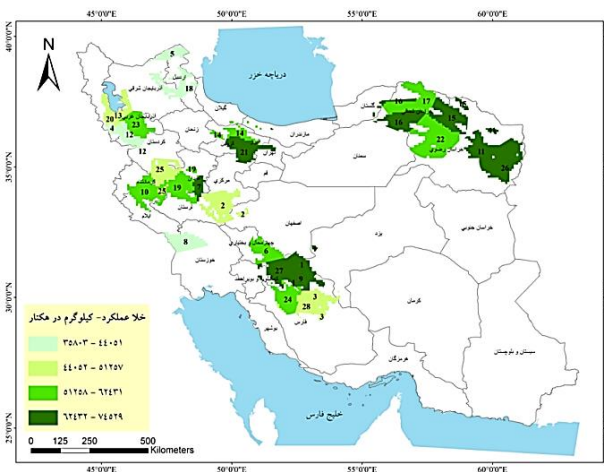


شکل ۸ نقشه عملکرد واقعی برای ایستگاه‌های انتخابی بر اساس سال ۱۳۹۴-۱۳۹۱ (شماره درون بافر بر اساس جدول ۳ بیان گر نام ایستگاه‌ها می‌باشند.)

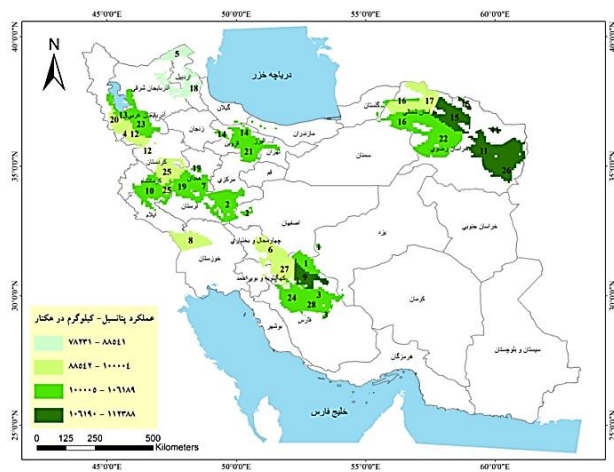


عملکرد واقعی گزارش شده توسط وزارت جهاد کشاورزی (کیلوگرم در هکتار)

شکل ۷ میانگین عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار) گزارش شده توسط وزارت جهاد کشاورزی در مقابل عملکرد واقعی کشور محاسبه شده توسط روش گیگا در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ (خط ۱:۱ با حدود اطمینان  $\pm 20\%$  درصد)



شکل ۱۰ نقشه خلاء عملکرد چغندر قند در ایستگاه‌های انتخابی (شماره درون بافر بر اساس جدول ۳ بیان گر نام ایستگاه‌ها می‌باشند.)



شکل ۹ نقشه عملکرد پتانسیل چغندر قند در ایستگاه‌های انتخابی بر اساس سال ۱۳۸۴-۱۳۹۴ (شماره درون بافر بر اساس جدول ۳ بیان گر نام ایستگاه‌ها می‌باشند.)

تن در هکتار بود و دامنه آن در اقلیم‌های اصلی بین ۱۶/۸۱ و ۴۸/۷۶ تن در هکتار بود.

در واقع با مشخص بودن عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی می‌توان به محاسبه خلاء عملکرد پرداخت. هر چند بیشترین عملکرد پتانسیل مربوط به اقلیم ۴۰۰۲ می‌باشد اما کمترین عملکرد واقعی هم مربوط به این اقلیم بود و منجر به

بیشترین عملکرد پتانسیل و عملکرد قابل حصول به ترتیب با ۱۱۰/۴۳۱ و ۸۸/۱۱۵ تن در هکتار مربوط به کد اقلیم ۴۰۰۲ که ۵/۲ درصد از کل اراضی چغندر قند (جدول ۲ و ۴) در آن قرار داد و کمترین آن به ترتیب با ۷۸/۲۳۱ و ۶۲/۵۸۵ تن در هکتار مربوط به اقلیم خنک و نسبتاً مرطوب ۳۱۰۲ می‌باشد (جدول ۴). خلاء عملکرد قابل بهره‌برداری در سطح کشور ۵۳/۷۳

کاشت دیر هنگام از عوامل پایین بودن عملکرد پتانسیل در اقلیم ۳۱۰۲ بوده است. اقلیم ۸۰۰۳ که شامل ایستگاه اقلیم دزفول است تنها اقلیمی است که در آن کشت پاییزه انجام می‌شود (جدول ۴). عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی برای این اقلیم به ترتیب ۹۴/۹۵۳ و ۵۹/۱۵۰ تن در هکتار برآورد شد که دارای کمترین خلاء عملکرد (۳۵/۸۰۳ تن در هکتار) بود (جدول ۴).

خلاء عملکرد معادل ۷۰/۷۸۶ تن در هکتار شد که بالاترین مقدار خلاء عملکرد در بین اقلیم‌ها بود، که به این معنی است این اقلیم تنها توانسته است ۳۶ درصد عملکرد پتانسیل را به دست آورد. در این میان اقلیم‌های ۳۱۰۲، ۴۱۰۳، ۴۲۰۳، ۵۲۰۲، ۶۰۰۲ و ۸۰۰۳ توانستند به بیش از نیمی از عملکرد پتانسیل دست پیدا کنند (جدول ۵).

بررسی اطلاعات ورودی و خروجی مدل نشان داد وجود

تشعشع پایین در طول فصل رشد، تعداد روز ابری زیاد و تاریخ

**جدول ۴** اقلیم، ایستگاه‌های انتخابی در هر اقلیم، عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار)، پتانسیل عملکرد (کیلوگرم در هکتار)، خلاء عملکرد، عملکرد نسبی (درصد)، عملکرد قابل حصول (۸۰ درصد عملکرد پتانسیل)، خلاء قابل بهره‌برداری

اقلیم‌های انتخابی	ایستگاه‌های انتخابی در هر اقلیم	عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار)	پتانسیل عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	خلاء عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد نسبی (درصد)	عملکرد قابل حصول (کیلوگرم در هکتار)	خلاء عملکرد قابل بهره‌برداری (کیلوگرم در هکتار)
۳۱۰۲	مشکین‌شهر	۴۰۶۱۰	۷۸۲۳۱	۳۷۶۲۱	۵۲	۶۲۵۸۵	۲۱۹۷۴
۴۰۰۲	بروجرد، فریمان	۳۹۳۵۷	۱۱۰۱۴۳	۷۰۷۸۶	۳۶	۸۸۱۱۵	۴۸۷۵۸
۴۰۰۳	الیگودرز، بروجن، اقلید فارس، قزوین، قوچان، مانه و سملقان، یاسوج	۳۸۵۷۸	۱۰۵۰۴۹	۶۶۴۷۱	۳۷	۸۴۰۳۹	۴۵۴۶۱
۴۱۰۲	نهایوند	۴۵۷۲۲	۱۰۲۵۵۶	۵۶۸۳۴	۴۵	۸۲۰۴۵	۳۶۲۳۳
۴۱۰۳	ارومیه، سقز، کرمانشاه	۵۲۹۹۴	۱۰۳۱۱۵	۵۰۱۲۲	۵۱	۸۲۴۹۲	۲۹۴۹۹
۴۲۰۳	مهایاد، پیرانشهر	۵۶۰۱۷	۹۸۹۲۶	۴۲۹۰۹	۵۷	۷۹۱۴۱	۲۳۱۲۴
۴۳۰۳	بانه	۵۷۷۸۵	۹۸۶۰۹	۴۰۸۲۴	۵۹	۷۸۸۸۷	۲۱۱۰۲
۵۰۰۲	تخت جمشید، تربت‌جام، درودزن	۴۷۳۳۳	۱۰۶۶۸۲	۵۹۳۴۹	۴۴	۸۵۳۴۶	۳۸۰۱۳
۵۰۰۳	آباد، جاجرم، کرج، سبزواری	۳۹۲۹۵	۱۰۳۲۲۲	۶۳۹۲۶	۲۸	۸۲۵۷۷	۴۳۲۸۲
۵۱۰۳	اسلام‌آباد غرب	۴۵۸۵۹	۱۰۲۹۱۹	۵۷۰۶۰	۴۵	۸۲۳۳۵	۳۶۴۷۶
۵۲۰۲	بيله‌سوار	۴۴۸۳۱	۸۸۵۴۱	۴۳۷۱۰	۵۱	۷۰۸۳۳	۲۶۰۰۲
۶۰۰۲	زرقان	۵۹۲۶۵	۱۰۶۱۸۹	۴۶۹۲۴	۵۶	۸۴۹۵۱	۲۵۶۸۶
۸۰۰۳	دزفول (صفی‌آباد)	۵۹۱۵۰	۹۴۹۵۳	۳۵۸۰۳	۶۲	۷۵۹۶۳	۱۶۸۱۳
میانگین کشوری	-	۴۶۶۶۳	۱۰۲۹۸۶	۵۶۲۲۳	۴۵	۸۲۳۸۹	۳۵۷۲۶

سیب‌زمینی پرداختند و مقدار عملکرد پتانسیل را به ترتیب ۴۸ و ۲۸ تن در هکتار و مقدار عملکرد نسبی را به ترتیب ۶۸ و ۶۶ درصد گزارش کردند (<http://www.yieldgap.org>).

متوسط عملکرد جهانی چغندر قند (سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵) حدود ۵۷ تن در هکتار گزارش شد (FAO 2018)، در حالی که عملکرد واقعی چغندر قند در ایران به طور متوسط ۴۶/۶۶ تن در هکتار گزارش شد هر چند که در طی سال‌های مورد مطالعه به طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۴). از آنجا

بر اساس جدول ۴ مقدار عملکرد نسبی چغندر قند بین ۳۶

تا ۶۲ درصد با میانگین ۴۵ درصد برآورده شد. کمترین عملکرد نسبی با ۳۷ درصد و بیشترین آن با ۶۲ درصد به ترتیب مربوط به اقلیم‌های ۴۰۰۲ (اقلیم خنک و خشک کشت بهاره) و ۸۰۰۳ (اقلیم گرم و خشک کشت پاییزه) می‌باشد. عملکرد نسبی در اقلیم‌هایی که عملکرد واقعی کمتری و پتانسیل عملکرد بالاتری داشتند کمتر بود که منجر به تولید خلاء بزرگتری شد. کشور اردن و تونس با استفاده از روش گیگا به بررسی پتانسیل عملکرد

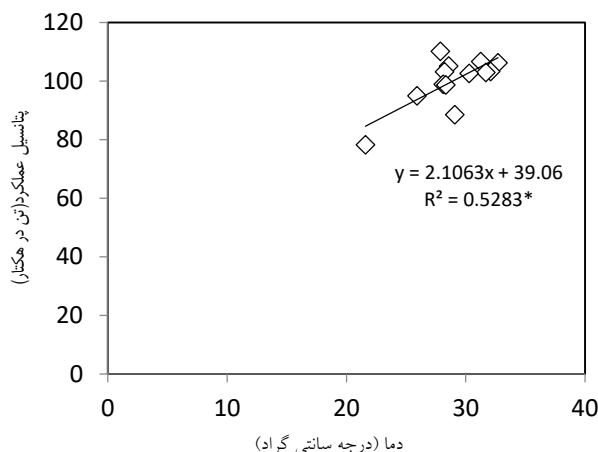
که پتانسیل عملکرد در طی سال‌های مورد مطالعه تغییرات چندانی نداشته به نظر می‌رسد شرایط آب و هوایی نسبتاً پایدار بوده و تفاوت عملکرد واقعی در سال‌های مورد مطالعه بیشتر ناشی از عوامل مدیریتی بوده است.

متوسط عملکرد واقعی پایین چغندر قند نسبت به آمار جهانی ناشی از عوامل مختلف از جمله مدیریت می‌باشد که تولید چغندر قند را محدود می‌کند. خشکی و کم‌آبی مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید چغندر قند در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا از جمله ایران است (Deihim Fard et al. 2015). از دیگر عوامل مدیریتی، بیماری و آفات هستند. بیماری ریزومانیا که امروز به عنوان مهم‌ترین عامل خسارت‌زا در مزارع چغندر قند جهان تبدیل شده است به طوری که در صورت عدم اجرای کنترل مؤثر، عملکرد و درصد قند به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Rezaei et al. 2014). پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه چغندر قند نیز یکی از خطرناکترین و رایج‌ترین بیماری‌ها در تمام دنیا محسوب می‌شود (Pourrahim et al. 2016) به طوری که خسارت این بیماری در آمریکا ۲۴ درصد گزارش شده است، و به عنوان مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد در اغلب استان‌های ایران به خصوص همدان-غرب کشور- شناسایی شده است (Arjmandian et al. 2019). پارسا (Parsa 2007) میزان خلاء عملکرد چغندر قند خراسان - شمال شرق ایران- را بین ۱۴ تا ۷۰ تن برآورد کرد و دلایل وجود خلاء عملکرد را در این مناطق، کوچک بودن اراضی، عدم به کارگیری ماشین‌آلات و مکانیزاسیون، استفاده از بذور پلی‌ژرم، کشت غیرردیفی و عدم استفاده از کودهای میکرو اعلام کرد.

در گزارش (BYC 2018) میزان عملکرد واقعی در انگلستان ۹۷ تن در هکتار در خاک‌های شنی- لومی در شرایط آب و هوایی خوب سال ۲۰۱۷ گزارش شد، و عواملی چون کیفیت بذر، تراکم بوته (۱۰ بوته در متر مربع)، زود بسته شدن سایه‌انداز

و یکنواختی آن و در نهایت مبارزه با علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها مؤثر در افزایش عملکرد در سال مورد مطالعه بوده است عوامل اقلیمی (تشعشع، دما، بارندگی و غیره)، خاکی و مدیریتی به شدت بر رشد و عملکرد گیاه چغندر قند تأثیرگذار هستند، بررسی کمی تأثیر این عوامل بر رشد چغندر قند در مناطق مختلف با استفاده از مدلسازی می‌تواند کمک شایانی به درک بهتر عوامل محدود کننده عملکرد این گیاه در مناطق مختلف و خلاء عملکرد ناشی از محدودیت این عوامل را شناسایی نماید (Deihim Fard et al. 2015). یکی از دلایل اصلی تفاوت در عملکرد پتانسیل بین اقلیم‌های مورد مطالعه ناشی از تفاوت شرایط اقلیمی بین آنها بود. عوامل تأثیرگذار بر عملکرد پتانسیل به وسیله عوامل اقلیم و ژنتیک در مدل تعیین می‌شوند که از عوامل اقلیمی می‌توان دما، تشعشع، بارندگی را نام برد (Meghdadi et al. 2014). بنابراین بر اساس خروجی‌های مدل روابط بین عملکرد پتانسیل با پارامترهای اقلیمی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنالیز نشان می‌دهد که بین عملکرد پتانسیل و تشعشع در مرحله پر شدن ریشه  $(R^2 = 0.01 \leq p \leq 0.89)$  و کل دوره رشد  $(R^2 = 0.71 \leq p \leq 0.01)$  ارتباط خطی معنی‌داری وجود دارد (شکل ۱۱). که با افزایش تشعشع دریافتی در زمان پر شدن ریشه و کل دوره رشد، عملکرد پتانسیل افزایش می‌یابد. شیب خط در معادله در مرحله پر شدن ریشه نشان می‌دهد که تأثیر تشعشع در مرحله پر شدن ریشه بیش از مرحله کاشت تا برداشت است. نتایج نشان داد اقلیم‌هایی که بیشترین تشعشع را در مرحله پر شدن ریشه دریافت کردند و در این مرحله در دامنه مطلوب دمایی (حداکثر درجه حرارت ۳۰ درجه سانتی‌گراد) بودند بیش‌ترین پتانسیل عملکرد را داشتند. با کاهش تشعشع و افزایش دما از دامنه مطلوب (حد فوقانی ۳۰ درجه سانتی‌گراد و حد تحتانی ۲۰ درجه سانتی‌گراد) پتانسیل عملکرد کاهش یافت. اقلیم ۳۱۰۲ کم‌ترین تشعشع دریافتی را در بین اقلیم‌های کاشت بهاره در تمامی مراحل رشد نسبت به سایر

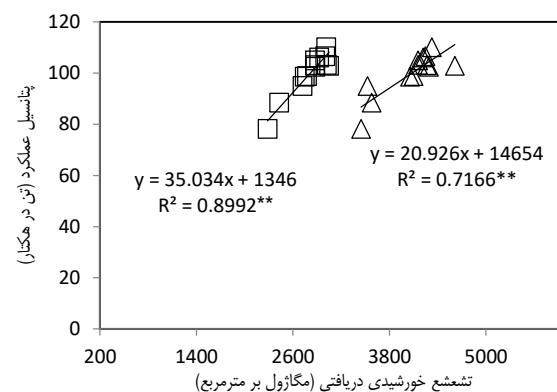
داشت که از سمت شمال شرق به شرق پتانسیل عملکرد به دلیل اختلاف در تشعشع و میانگین دما در طول فصل رشد افزایش یافت.



شکل ۱۲ ارتباط بین پتانسیل عملکرد و دمای حداکثر از کاشت تا برداشت تکنولوژیک.

میزان تبخیر و تعرق در مناطق مختلف با توجه به شرایط اقلیمی متفاوت می‌باشد. افزایش تبخیر و تعرق نشان‌دهنده شرایط رطوبتی مناسب برای گیاه است که در این شرایط توانسته  $CO_2$  بیشتری را تثبیت نماید و در نهایت بر عملکرد تأثیرگذار است (Zare Abyaneh *et al.* 2012). بررسی خروجی مدل نشان داد رابطه خطی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد پتانسیل و تبخیر و تعرق در طول دوره رشد چغندرقد وجود دارد ( $R^2=0.62, p \leq 0.01$ ) (شکل ۱۳). کم‌ترین میزان تبخیر و تعرق در اقلیم خنک  $310.2$  با  $6580$  مترمکعب در هکتار و بیش‌ترین میزان تبخیر و تعرق در اقلیم گرم و خشک  $600.2$  با  $18350$  مترمکعب در هکتار بود. هرچند اقلیم  $600.2$  بیش‌ترین تبخیر و تعرق داشت و میزان تشعشع آن بالا بود، اما بیش‌ترین پتانسیل عملکرد مربوط به این اقلیم نبود. در واقع با بررسی خروجی‌های مدل برای اقلیم  $600.2$  نشان داد، در مرحله پرشدن ریشه، دمای حداکثر خارج از دامنه مطلوب بود (میانگین  $33$  درجه سانتی‌گراد) که باعث کاهش عملکرد این اقلیم شده است. میزان تبخیر و تعرق چغندرقد از  $250$  میلی‌متر در مناطق مرطوب تا

اقلیم‌ها داشت و هم‌چنین پایین بودن میانگین دما از دامنه مطلوب در زمان پر شدن ریشه از عوامل پایین بودن پتانسیل عملکرد در این اقلیم بود. اسکات و ژاگارد (Scott and Jaggard 2000) اظهار داشتند که در نیم قرن گذشته، تشعشع جذب شده توسط کنوپی چغندرقد عامل محدود کننده عملکرد در انگلستان بوده است.



شکل ۱۱ ارتباط بین پتانسیل عملکرد و تشعشع خورشیدی رسیده از کاشت تا برداشت تکنولوژیک چغندرقد ( $\Delta$ ) و دوره پر شدن ریشه ( $\square$ )

بررسی‌های خروجی مدل نشان داد بین عملکرد پتانسیل و دما از کاشت تا برداشت تکنولوژیک رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد ( $R^2=0.53, p \leq 0.05$ ). در واقع در شکل ۱۲ با افزایش دما تا حد مطلوب پتانسیل عملکرد افزایش پیدا کرد. سانچز-سستر و همکاران (Sánchez-Sastre *et al.* 2018) با بررسی تأثیر متغیرهای اقلیمی بر چغندرقد گزارش کردند که رابطه مثبتی بین رشد ریشه با متوسط دما در روزهای اول رشد ( $65$  روز بعد از کاشت) وجود دارد و در دوره نهایی رشد، بیشترین تأثیر معنی‌دار بر رشد تحت تأثیر تشعشع می‌باشد. دیهیم فرد و همکاران (2015) عنوان کردند که به ازای هر یک درجه افزایش دما از حد بهینه در طول فصل رشد چغندرقد،  $5$  تن در هکتار کاهش عملکرد مشاهده شد. پارسا (Parsa 2007) متوسط پتانسیل شمال شرق ایران را  $108$  تن در هکتار برآورد کرد و بیان

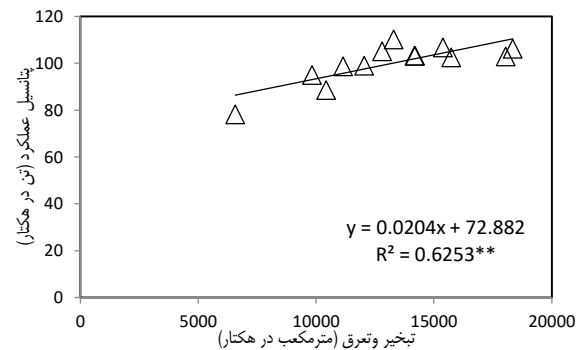
باعث کاهش شدید عملکرد چغندرقد بین ۲۳ تا ۶۰ درصد در بین مناطق مختلف استان خراسان رضوی- شمال شرق ایران- شد، که در شرایط محدودیت آب خلاء عملکرد را به طور متوسط ۴۹ تن در هکتار برآورد کردند. ایشان عنوان کردند محدودیت آب اهمیت بیشتری نسبت به نیتروژن دارد.

باتوجه به نتایج به دست آمده مدل‌های پیش‌بینی عملکرد در شرایط تغییر اقلیم نشان داده‌اند که در آینده، تغییرات عملکرد چغندرقد تحت تأثیر تنش خشکی بیشتر نیز خواهد شد (Rezaei and Fazeli 2018; Jones *et al.* 2003). بنابراین لازم است روی کشت پاییزه چغندرقد برنامه‌ریزی دقیق‌تری صورت گیرد. هرچند امروزه مطالعات متعددی بر روی کاشت چغندر پاییزه در ایران صورت گرفته است. کشت پاییزه علاوه بر استفاده بهینه از نزولات آسمانی در طول دوره رشد، دارای مزایای دیگر از جمله کاهش میزان تنفس گیاه، افزایش کارایی مصرف آب، مصرف آب کمتر، افزایش عملکرد، کاهش مصرف علف کش به دلیل پایین بودن جمعیت علف‌های هرز در پاییز می‌باشد (Sharifi *et al.* 2000). با توجه به شرایط فعلی اقلیمی ایران و تغییر اقلیم در آینده پیش‌بینی می‌شود که کشت پاییزه چغندرقد، جایگزین کشت بهاره شود (Mohammadyosefi *et al.* 2017). در واقع آینده کشت چغندرقد به گسترش کشت پاییزه در مناطق مستعد، که نیاز آبی کمتری را می‌طلبد بستگی دارد.

### نتیجه‌گیری کلی

محدوده اقلیمی اصلی چغندرقد در ایران ۱۳ پهنه اقلیمی با ۹۲/۷ درصد پوشش از کل اراضی چغندرقد را شامل می‌شود. ۵۰ درصد از تولید چغندرقد در اراضی نسبتاً خنک و خشک می‌باشند. عملکرد پتانسیل چغندرقد در ایران، ۱۰۲/۹۹ تن در هکتار برآورد شده این در حالی است که عملکرد واقعی ایران ۴۶/۶۶ تن در هکتار بود و خلا ۵۶/۳۲ تن در هکتار ایجاد کرد.

۲۷۰۰ میلی‌متر برای مناطق گرم و خشک متغیر است (Gifford and Evans 1981; Stanhill 1986).



شکل ۱۳ ارتباط بین پتانسیل عملکرد چغندرقد و تبخیر و تعرق از کاشت تا برداشت تکنولوژیک

### آینده کشت چغندرقد در ایران

در این مطالعه میزان آب موردنیاز برای رسیدن به پتانسیل عملکرد در کشت بهاره (۱۰۳ تن در هکتار)، ۱۲۳۷۱ مترمکعب در هکتار برآورد شد در حالی که برای رسیدن به پتانسیل عملکرد در کشت پاییزه (۹۵ تن در هکتار) به میزان ۶۸۳۳ مترمکعب در هکتار آب نیاز بود که این مقدار نیاز آبی در کشت پاییزه به حدود نصف تقلیل می‌یابد.

هرچند که چغندرقد در طیف گسترده‌ای از آب و هوا می‌تواند رشد کند (Kiymaz and Ertek 2003) اما خشکی و کم‌آبی مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید چغندرقد در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا از جمله ایران است. چغندرقد بهاره در حال حاضر، در مناطقی کشت می‌شود که محدودیت آب شدیدتر بوده و افزایش سطح زیرکشت این گیاه در اکثر مناطق کشت بهاره با اصل حفظ منابع آب و خاک مغایرت دارد (Sadeghzadeh *et al.* 2015). بر همین اساس در شرایط اقلیمی خشک کشور، تولید محصولاتی مانند چغندرقد به دلیل نیاز آبی نسبت زیاد در بهار و تابستان از چالش‌های اصلی کشت این گیاه است (Dihim Fard and Rahimi Moghadam 2016). دیهیم فرد و همکاران (2015) عنوان کردند که محدودیت آب

پیش‌بینی مدل‌های تغییر اقلیم آینده و مطالعاتی که روی کاشت پاییزه چغندر قند صورت گرفته است (Jahadakbar *et al.* 2013; Javaheri *et al.* 2006; Dihim Fard and Rahimi 2016; Moghadam 2016; Mohammadyosefi *et al.* 2017) نظر می‌رسد در بیشتر مناطق مستعد کشت پاییزه در ایران، این کشت مرسوم شود.

### تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی کشور و نیز محققین و کشاورزان استان‌های مختلف ایران انجام شده است، بدین وسیله از همکاری و حمایت ایشان تشکر و قدردانی می‌کنیم.

با بررسی اطلاعات ورودی و خروجی مدل و نیز آمار هواشناسی نشان داد عوامل اقلیمی چون تشعشع، دما و رطوبت بر عملکرد پتانسیل چغندر قند در مناطق مختلف تأثیر گذار است.

با توجه به اینکه عملکرد نسبی چغندر قند برای ایران ۴۵ درصد برآورد شد می‌توان نتیجه گرفت که باشیوه‌های مدیریت فعلی تنها کمتر از نیمی از عملکرد پتانسیل تولید می‌شود. در صورتی که به‌توان با برنامه‌ریزی بلند مدت و مدیریت صحیح در جهت کاهش خلاهای تولیدی در نظام‌های تولید چغندر قند گام برداشت، می‌توان باعث افزایش عملکرد ریشه و در نهایت باعث افزایش عملکرد شکر شد.

و در نهایت با توجه به اینکه ایران جز مناطق خشک و نیمه‌خشک است و نیاز آبی چغندر قند بالا است، و نیز با توجه به

### منابع مورد استفاده:

### References:

- Alasti O, Zeinali E, Soltani A, Torabi B. Estimation of Yield Gap and the Potential of Rainfed Barley Production Increase in Iran. *Journal of Crop Production*. 2020; 13(3):41-60. (in Persian, abstract in English)
- Arjmandian A, Mirzaei S, Zafari D. Biological control of Rhizoctonia root rot of sugar beet in Iran. *Journal of Sugar Beet*. 2019; 35: 47-63. (in Persian, abstract in English)
- Bruinsma J. Resource Outlook to 2050: By how much do land, water and crop yields need to increase by 2050? Paper Presented at the FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050, Rome: FAO. 2009.
- BYC. Beet- Yield- Challenge/2017-18 Beet Yield Challenge Report\first year report May 2018. <https://bbro.co.uk/on-farm/>
- Dadrasi A, Modeling potential production and yield gap in potato under current and future climatic conditions of Iran (PhD Thesis). Vali-e-Asr University of Rafsanjane; 2019. (in Persian, abstract in English)
- Deihim Fard R, Nassiri Mahallati M, Koocheki A. Simulating the potential yield and yield gaps of sugar beet due to water and nitrogen limitations in Khorasan province using SUCROS model. *Journal of Agroecology*. 2015; 7: 315-330. (in Persian, abstract in English)
- Dihim Fard R, Rahimi Moghadam S. Assessing the yield of spring and autumn-sown sugar beet in Mashhad and Neyshabour, Khorasan using a simulation model. *Journal of Plant Production Research*. 2016; 22: 157-180. (in Persian, abstract in English)
- Esp MB, Yang H, Cassman KG, Guilpart N, Sharif H, Linqvist BA. Estimating yield potential in temperate high-yielding, direct-seeded US rice production systems. *Field Crops Research*. 2016; 193:123-132.



- ESRI. ArcGIS 10.0. Redlands, CA, USA: Environmental Systems Research Institute. 2010
- FAO. Global Agriculture Towards 2050. Rome, Italy. 2009
- FAO. FAOSTAT. Available online at (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP>). 2015.
- FAO. FAOSTAT. Available online at: (<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>). 2018.
- Fischer T, Byerlee D, Edmeades GO. Crop Yields and Global Food Security: Will Yield Increase Continue to Feed the World? ACIAR Monograph. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra. 2014.
- Foley JA, Ramankutty N, Brauman KA, Cassidy ES, Gerber JS, Johnston M, Mueller, ND, O'Connell C, Ray DK, West PC, Balzer C, Bennett EM, Carpenter SR, Hill J, Monfreda C, Polasky S, Rockstrom J, Sheehan J, Siebert S, Tilman D, Zaks DPM. Solutions for a cultivated planet. *Nature*. 2011; 478: 337–342.
- Gifford RM, Evans LT. Photosynthesis, carbon partitioning and yield. *Annu. Rev. Plant Physiology*. 1981; 32: 485-509.
- Gobbett DL, Hochman Z, Horan H, Garcia JN, Grassini P, Cassman KG. Yield gap analysis of rainfed wheat demonstrates local to global relevance. *The Journal of Agricultural Science*. 2017; 155: 282-299.
- Grassini P, Van Bussel LGJ, Van Wart J, Wolf J, Lieven C, Yang H, Boogaard H, Groot H, Van Ittersum M, Cassman KG. How good is good enough? Data requirements for reliable crop yield simulations and yield-gap analysis. *Field Crops Research*. 2015; 177: 49-63.
- Hajjarpoor A, Soltani A, Torabi B. Using boundary line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan. *Journal of Crop Production*. 2016. 8: 183-201. (in Persian, abstract in English)
- Hajjarpoor A, Vadez V, Soltani A, Gaur P, Whitbread A, Babu DS, Gumma MK, Diancoumba M, Khalva` J. Characterization of the main chickpea cropping systems in India using a yield gap analysis approach. *Field Crops Research*. 2018; 233: 93-104.
- Hochman Z, Gobbett D, Horan H, Navarro Garcia J. Data rich yield gap analysis of wheat in Australia. *Field Crops Res*. 2016; 197: 97-1066.
- Jahadakbar MR, Ebrahimian HR, Taleghani DF. Sugar beet autumn planting in warm areas of Esfahan province and Izeh Khozestan. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*. 2013; 2: 189- 201. (in Persian, abstract in English)
- Javaheri MA, Najafinezhad H, Azad Shahraki F. Study of autumn sowing of sugar beet in Orzouiee area (Kerman province). *Pajouhesh and Sazandegi*. 2006; 71: 85-93. (in Persian, abstract in English)
- Jones PD, Lister DH, Jaggard KW, Pidgeon JD. Future climate impact on the productivity of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Europe. *Climatic Change*. 2003; 58, 93–108.
- Kiyamaz S, Ertek A. Yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) at different water and nitrogen levels under the climatic conditions of Kırsehir, Turkey. *Agricultural Water Management*. 2015; 158: 156-165.
- Koo J, Dimes J. HC27 Generic soil profile database. Harvard Dataverse ver. 4. Washington, DC: International Food Policy Research Institute. 2013.

- Lobell DB, Cassman KG, Field CB. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annu. Rev. Environmental and Resource*. 2009; 34: 179-204.
- Meghdadi N, Soltani A, Kamkar B, Hajarpoor, A. Agroecological zoning of Zanjan province for estimating yield potential and yield gap in dryland-base chickpea production systems. *Journal Plant Production Research*. 2014; 21: 27-49. (in Persian, abstract in English)
- Merlos FA, Monzon JP, Mercau JL, Taboada M, Andrade FH, Hall AJ, Jobbagy E, Cassman KG, Grassini P. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research*. 2015; 184: 145-154.
- Ministry of Agriculture Jihad. 2001-2015. Planning and Economical Division. Bureau for Statistics and Information Technology. (in Persian).
- Mohammadyosefi A, Ahmadi M, Najafi Zarini H. Assessment of relationship between effective traits on bolting and root yield of sugar beet lines for autumn sowing. *Journal of Crop Production*. 2017; 10: 11-28. DOI: 10.22069/EJCP.2017.9581.1745. (in Persian, abstract in English)
- Nehbandani AR, Yield gap analysis of soybean in Iran (PhD Thesis). Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource; 2018. (in Persian, abstract in English)
- Nehbandani A, Soltani A, Zeinali E, Hoseini F, Shahoseini A, Mehmandoy M. Soybean (*Glycine max* L. Merr.) Yield Gap Analysis using Boundary Line Method in Gorgan and Aliabad Katul. *Agroecology*. 2016; 9(3): 760-776. (in Persian, abstract in English)
- Nehbandani A, Soltan A, Taghdisi Naghab R, Dadrasi A, Alimagham SM. Assessing HC27 Soil Database for Modeling Plant Production. *International Journal of Plant Production*. 2020; 14: 679–687.
- O'Neill BC, Dalton M, Fuchs R, Jiang L, Pachauri S, Zigova K. Global demographic trends and future carbon emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2010; 107: 17521-17526.
- Parsa S, Modelling spatial and temporal variation of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Khorasan province (PhD thesis). Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, 2007. (in Persian, abstract in English)
- Pourrahim R, Najafi H, Farzadfar S, Ardeh MJ, Sheikholeslami M, Seddigheh Fatemy S, Ghasemi A, Arbabi M. Sugar Beet Handbook (Plant Protection). 2016. Registration No. 50954.
- Ray DK, Mueller ND, West PC, Foley JA. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. 2013; 8(6): 1-8.
- Rezaei J, Fazeli SF. Evaluation of the Broom's Barn sugar beet Growth Model, for managing optimal water consumption. The 15th National Congress of Agronomy and Plant Breeding in Iran. Poster, September 2018. (in Persian, abstract in English)
- Rezaei J, Bannayan Awal M, Nezami A, Mehrvar M, Mahmoudi B. Physiological Response of Sugar Beet to Viral Diseases of Rhizomania. *Journal of Plant Protection*. 2014; 28(1), 138-146. (in Persian, abstract in English)

- Sadeghzadeh Hemayati S, Rajabi A, Aghaiizade M, Orazizadeh MR. Suitable regions and proper cultivar for autumn fallow sugar beet in Iran Proceedings of the thirty sixth annual seminar of sugar factories in Iran. 2015; 1-15. (in Persian, abstract in English)
- Sánchez-Sastre L, Martín-Ramos P, Navas-Gracia L, Hernández-Navarro S, Martín-Gil J. Impact of climatic variables on carbon content in sugar beet root. *Agronomy*. 2018; 8(8):1-25.
- Scott RK, Jaggard KW. Impact of weather, agronomy and breeding on yields of sugar beet grown in the UK since 1970. *The Journal of Agricultural Sciences*. 2000; 134: 341-352.
- Sharifi H, Sadeghian SY, Hosseini M. Autumn- sown sugar beet production: present and future. Sugar Beet Seed Institute. Technical Report. 2000. (in Persian)
- Soltani A, Alimagham SM, Nehbandani AR, Torabi B, Zeinali E, Dadrasi A, Zand S, Ghassemi S, Pourshirazi S, Alasti O, Hosseini RS, Zahed M, Arabameri R, Mohammadzadeh Z, Rahban S, Kamari H, Fayazi H, Mohammadi S, Keramat S, Vadez V, Van Ittersum M K, Sinclair TR. Modeling plant production at country level as affected by availability and productivity of land and water. *Agricultural Systems*. 2020; 182:1-7
- Soltani A, Hajjarpoor A, Vadez A. Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. *Field Crops Research*. 2016; 185: 21-30.
- Soltani N, Dille AJ, Robinson E. Potential yield loss in sugar beet due to weed interference in the United States and Canada. *Weed Technology*. 2019; 32(6): 749-753.
- Soltani A, Sinclair TR. A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crops Research*. 2011; 124: 252-260.
- Stanhill G. Water use efficiency. *Advances Agronomy*. 1986; 39: 53-85.
- Tilman D, Balzer C, Hill J, Befort BL. Global food demand in and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2011; 108 (50): 20260–20264.
- Van Bussel LGJ, Grassini P, Van Wart J, Wolf J, Claessens L, Yang H, Boogaard H, de Groot H, Saito K, Cassman KG, van Ittersum MK. From field to atlas: Upscaling of location-specific yield gap estimates. *Field Crops Research*. 2015; 177: 98-108.
- Van Ittersum MK, Cassman KG, Grassini P, Wolf J, Tiftonell P, Hochman Z. Yield gap analysis with local to global relevance- A review. *Field Crops Research*. 2013; 143: 4-17.
- Van Wart J, Van Bussel LGJ, Wolf J, Licker R, Grassini P, Nelson A, Boogaard H, Gerber J, Mueller ND, Claessens L, van Ittersum MK, Cassman KG. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. *Field Crops Research*. 2013; 143: 44-55.
- Wang N, Reidsma P, Pronk A, De Wit AJW, Van Ittersum MK. Can potato add to China's food self-sufficiency? The scope for increasing potato production in China. *European Journal of Agronomy*. 2018; 101: 20-29.

- Zahed M, Soltani A, Zeinali E, Totabi B, Zand S, Alimaghani SM. Modeling of irrigated wheat yield potential and gap in Iran. *Journal of Crop Production*. 2019; 12(3): 35-52. (in Persian, abstract in English)
- Zare Abyaneh H, Farokhi E, Bayat Varkeshi M, Ahmadi M. Determination of water requirement and effect of its variations on some quantitative and qualitative traits of sugar beet product. *Journal of Sugar Beet*. 2012; 27: 153-167. (in Persian, abstract in English)