

مقاله علمی - پژوهشی

تعیین خلأ عملکرد سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در استان گلستان

امیر دادرسی^۱، بنیامین ترابی^{۲*}، اصغر رحیمی^۳، افشین سلطانی^۴ و ابراهیم زینلی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۷

دادرسی، ا.، ترابی، ب.، رحیمی، ا.، سلطانی، ا.، وزینلی، ا.، ۱۳۹۹. تعیین خلأ عملکرد سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در استان گلستان. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۴): ۶۱۳-۶۳۳.

چکیده

تحلیل خلأ عملکرد یک روش کمی برای افزایش احتمالی ظرفیت تولید گیاهان زراعی در یک ناحیه مشخص می‌باشد و یکی از مهم‌ترین بخش‌های طراحی راهبردهای تأمین غذا در مقیاس منطقه‌ای، ملی و جهانی است. در این راستا، با استفاده از مدل شبیه‌سازی SSM-iCrop2 مقدار عملکرد پتانسیل سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) برآورد شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار GIS و به کمک دو روش گیگا و درون‌یابی مقادیر عملکرد پتانسیل، عملکرد واقعی، خلأ عملکرد برای استان گلستان محاسبه گردید. نتایج نشان داد که عملکرد واقعی استان گلستان (میانگین ۱۰ ساله مورد بررسی) براساس گزارش جهاد کشاورزی معادل ۲۲ تن در هکتار می‌باشد. همچنین عملکرد واقعی محاسبه شده براساس روش گیگا معادل ۲۰ تن در هکتار و براساس روش درون‌یابی نیز ۲۲ تن در هکتار به دست آمد. حداکثر عملکرد غده گزارش شده توسط کشاورزان ۵۵ تن بوده است که بر این اساس مقدار عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده ارزیابی گردید. در روش گیگا ۵۲ تن در هکتار و در روش درون‌یابی ۴۲ تن در هکتار به دست آمد. که این امر نشان از دقت بالای روش گیگا در تخمین عملکرد پتانسیل دارد. مقدار خلأ عملکرد و عملکرد نسبی مشاهده شده برابر با ۳۳ تن در هکتار و ۴۰ درصد، برای روش گیگا معادل ۳۳ تن در هکتار و ۳۸ درصد و در روش درون‌یابی برابر با ۲۰ تن در هکتار و ۵۲ درصد به دست آمد. با مقایسه دو روش درون‌یابی و گیگا، می‌توان نتیجه گرفت هر دو روش، تخمین نسبتاً خوبی از مقدار عملکرد واقعی داشتند، ولی روش گیگا عملکرد پتانسیل را بهتر از روش درون‌یابی پیش‌بینی کرد. براساس داده‌های مورد نیاز اجرای مدل در سطح ملی، قابلیت مقایسه نتایج با تحقیقات صورت گرفته در اقلیم‌های مشابه در سراسر دنیا، تخمین عملکرد پتانسیل براساس مناطق عمده کاشت محصولات، روش گیگا به عنوان روش برتر می‌تواند برای تخمین خلأ عملکرد در سطح کشور و برای سایر محصولات نیز مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: امنیت غذایی، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، عملکرد پتانسیل

مقدمه

تحلیل خلأ عملکرد^۵ یک روش کمی برای افزایش احتمالی ظرفیت تولید گیاهان زراعی در یک ناحیه مشخص می‌باشد و یکی از مهم‌ترین بخش‌های طراحی راهبردهای تأمین غذا در مقیاس منطقه‌ای، ملی و جهانی است (Van Wart et al., 2013). در کشورهای در حال توسعه، به دلیل عدم توانایی کنترل عوامل محدودکننده، دستیابی به عملکرد پتانسیل برای یک محصول خاص امکان‌پذیر نمی‌باشد. یکی از مشکلات اساسی تولید گیاهان زراعی در کشور ما نیز اختلاف بین عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد قابل حصول (خلأ عملکرد)

- ۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، ایران.
- ۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
- ۳- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، ایران.
- ۴- استاد، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

(*)- نویسنده مسئول: (Email: ben_torabi@yahoo.com
Doi: 10.22067/jag.v12i4.76734

روش درون‌یابی یکی دیگر از روش‌های برآورد خلأ عملکرد می‌باشد (Kazemi, 2017). در این روش براساس اطلاعات هواشناسی، اطلاعات خاک و نحوه مدیریت مزارع میزان عملکرد پتانسیل توسط مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی برآورد شده و سپس براساس یکی از روش‌های درون‌یابی ($Kriging$, $Co-Kriging$, IDW^2 , LPI^3) در نرم‌افزار ArcGIS می‌توان عملکرد را در تمام نقاط منطقه مورد مطالعه مشخص نمود (Kazemi, 2017). با استفاده از این روش مقادیری و همکاران (Meghdadi et al., 2014) پتانسیل و خلأ عملکرد نخود دیم در استان زنجان را مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق آن‌ها عملکرد پتانسیل نخود در شرایط دیم استان زنجان با استفاده از مدل SSM برآورد شد. با توجه به میانگین عملکرد واقعی کشاورزان (میانگین سه سال زراعی ۱۳۸۷-۸۸ تا ۱۳۸۹-۹۰)، خلأ عملکرد مناطق مختلف استان به طور میانگین ۴۳ درصد تخمین زده شد که این میزان خلأ عملکرد برابر ۳۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. در مطالعه‌ای دیگر، احمدی علی‌پور و همکاران (Ahmadi Alipour et al., 2018) به پهنه‌بندی استان گلستان از نظر توان و خلأ تولید گندم با استفاده از مدل شبیه‌سازی SSM-Wheat پرداختند و گزارش نمودند که تولید پتانسیل گندم در شرایط آبی و دیم در استان گلستان برابر با ۱/۳۵ و ۱/۱۱ میلیون تن (جمع ۲/۴۶۹ میلیون تن) می‌باشد. همچنین گزارش نمودند که شهرستان‌های آزادشهر، مینودشت و رامیان به ترتیب با ۵۸۳۰، ۵۴۹۰ و ۵۴۷۰ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین خلأ عملکرد در کشت گندم آبی هستند و شهرستان‌های بندرترکمن، مراوه‌تپه و گرگان به ترتیب با خلأ عملکرد ۱۴۱۰، ۲۷۶۰ و ۳۵۸۰ کیلوگرم در هکتار دارای رتبه‌های آخر خلأ عملکرد در شرایط آبی می‌باشند.

سیب‌زمینی نقش مهمی در تغذیه و سبب غذایی جهان ایفا می‌کند و بعد از گندم، برنج و ذرت بیشترین سهم را در تولید محصولات غذایی دارد (FAO, 2014). از این رو، بررسی میزان خلأ عملکرد این محصول استراتژیک ضروری به نظر می‌رسد. در مورد برآورد خلأ عملکرد سیب‌زمینی در کشور مطالعاتی در سطح شهرستانی و استانی صورت گرفته است (Bagheri, 2016; Jalali & Jafari, 2018)، ولی در در مناطق اصلی کشت این محصول سطح ملی مطالعه‌ای جهت برآورد خلأ عملکرد صورت نگرفته است. بنابراین، تحقیق حاضر

است. تعیین میزان خلأ عملکرد جهت شناسایی عوامل محدودکننده عملکرد ضروری می‌باشد. از اولین تحقیقات صورت گرفته در ایران در خصوص خلأ عملکرد می‌توان به تحقیق سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2000) در زمینه تجزیه و تحلیل محدودیت‌های تولید گندم (*Triticum aestivum*) در استان گلستان اشاره کرد. در سال‌های اخیر به‌علت نگرانی‌های به‌وجود آمده در مورد مباحث امنیت غذایی، مطالعات در این زمینه در سطح جهان (Van Ittersum et al., 2015; Wang et al., 2015; Lobel et al., 2009; al., 2013) و ایران (Torabi et al., 2016; Hajjarpoor et al., 2009; Soltani et al., 2016; al., 2011) رو به افزایش بوده است. در این مطالعات با استفاده از روش‌های مناسب، میزان خلأ عملکرد و دلایل آن برآورد شده‌اند.

پروتکل گیگا یکی از روش‌های تعیین میزان خلأ عملکرد است که اخیراً استفاده از آن در بین محققان رو به افزایش بوده است (Van Ittersum et al., 2013). این پروتکل یک روش پایین به بالا است که برای برآورد خلأ عملکرد ملی از تقسیم‌بندی‌های اقلیمی استفاده می‌کند (Hochman et al., 2016). تاکنون مطالعات متعددی با استفاده از این پروتکل در کشورهای استرالیا، هند، چین، رومانی، برزیل، آرژانتین، اردن، سوئد و بیشتر کشورهای آفریقایی و اروپایی روی گیاهان گندم (*Triticum aestivum*)، جو (*Hordeum vulgare*)، ذرت (*Zea mays*)، سویا (*Glycine max*)، برنج (*Oryza sativa*)، نیشکر (*Saccharum officinarum*)، سورگوم (*Sorghum bicolor*)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) و کلزا (*Brassica napus*) انجام شده است (http://www.yieldgap.org/web/guest/yieldgaps). به‌عنوان مثال، گوبت و همکاران (Gobbett et al., 2017) گزارش نمودند که اراضی گندم دیم در استرالیا در شش منطقه اقلیمی کلیدی قرار دارد. آن‌ها ۲۲ ایستگاه مرجع در این اراضی انتخاب کرده و با استفاده از مدل APSIM عملکرد پتانسیل آب محدود (برای سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰) را محاسبه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در سطح ملی مقدار خلأ عملکرد حدود دو تن در هکتار و عملکرد نسبی (عملکرد واقعی تقسیم بر عملکرد پتانسیل ضرب در ۱۰۰) حدود ۴۷ درصد می‌باشد. زو و همکاران (Zu et al., 2018) برای بررسی خلأ عملکرد نیشکر در چین، نیز از روش گیگا استفاده کرده‌اند.

نسبت به واحد دمایی تجمعی در کل فصل رشد) به دما ربط داده می‌شود. کسر دریافت نور در هر روز از شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی نور (K برای PAR) براساس قانون بیر- بوگر- لامبرت در مدل محاسبه می‌شود (Sinclair, 2006). در نهایت، تولید ماده خشک با روش ساده مبتنی بر کارایی استفاده از تشعشع (RUE^۱) پیش‌بینی می‌شود.

جمع‌آوری داده‌ها

برای این مطالعه ابتدا آمار بلندمدت روزانه ایستگاه‌های هواشناسی از طریق سازمان هواشناسی استان گلستان جمع‌آوری شد، این اطلاعات شامل دمای حداقل و حداکثر، میزان بارندگی و ساعت آفتابی به‌صورت روزانه بود. تشعشع دریافتی با استفاده از نرم‌افزار Weatherman و براساس ساعت آفتابی محاسبه گردید. اطلاعات مدیریت متداول برای تولید سیب‌زمینی از کاشت تا برداشت از طریق سازمان جهاد کشاورزی هر ۱۴ شهرستان استان گلستان جمع‌آوری گردید. اطلاعات خاک مورد نیاز برای اجرای مدل که در قالب جدول ۲ بیان شده است از منبع (Koo & IFPRI-Harvest Choice (2013) Dimes تهیه شد (مقیاس نقشه مورد استفاده پنج دقیقه می‌باشد) (شکل ۲). نوع خاک هر ایستگاه در هر دو روش گیگا و درون‌یابی از طریق تعیین نوع کد خاک در نرم‌افزار GIS با توجه به میزان سطح زیرکشت قرار گرفته در هر نوع کد خاک درون محدوده ایستگاه هواشناسی مشخص شد.

محاسبه خلأ عملکرد به‌روش GYGA

پروتکل گیگا براساس گروه‌های اقلیمی - مشابه خلأ عملکرد را در سطوح پایین (منطقه‌ای) برآورد و به سطوح بالاتر (ملی) تعمیم می‌دهد. گیگا با استفاده از انتخاب مناطق اقلیمی کلیدی (CZs^۲)، تعیین مناطق اقلیمی برگزیده (DCZs^۳) و انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی مرجع (RWS^۴) در مناطق اقلیمی برگزیده مقادیر خلأ عملکرد محصولات را برآورد می‌کند. با توجه به بافت خاک، اطلاعات مدیریتی و پارامترهای گیاه زراعی در محدوده بافر هر ایستگاه هواشناسی (محدوده‌ای به‌شعاع ۱۰۰ کیلومتر در هر ایستگاه

به‌منظور: ۱) معرفی دو روش اطلس جهانی خلأ عملکرد موسوم به گیگا (GYGA) و روش درون‌یابی یا نرم‌افزار ArcGIG، و ۲) انتخاب روش برتر جهت برآورد خلأ عملکرد سیب‌زمینی در سطح ملی انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در استان گلستان، واقع در شمال شرقی ایران، انجام شد. در استان گلستان، سالانه به‌طور متوسط ۶۳۴۰ هکتار از اراضی زراعی با ظرفیت تولید ۱۳۸ هزار تن محصول به کشت سیب‌زمینی اختصاص می‌یابد. در این بین شهرستان گرگان با ۵۱۱۲ هکتار بیشترین سطح زیرکشت سیب‌زمینی را دارد.

معرفی مدل مورد استفاده

برای تخمین عملکرد پتانسیل سیب‌زمینی از مدل شبیه‌سازی SSM-iCrop2 استفاده شد (Soltani et al., 2013). این مدل به‌گونه‌ای طراحی شده است که قابلیت استفاده برای تمامی گیاهان زراعی و باغی را دارد، به‌شرطی که برای مناطق مورد مطالعه، پارامتریابی و ارزیابی صورت گرفته باشد. نتایج پارامتریابی و ارزیابی مدل سیب‌زمینی (SSM-iCrop2) به‌دست آمده در تحقیق حاضر براساس داده‌های تحقیقات سایر محققین (جدول ۱) حاکی از دقت قابل قبول مدل در پیش‌بینی عملکرد سیب‌زمینی می‌باشد (شکل ۱).

مدل SSM-iCrop2 براساس آمار هواشناسی (دمای حداقل، دمای حداکثر، مقدار تابش و میزان بارندگی) و با استفاده از زیر مدل‌های مربوط به فنولوژی، تغییرات سطح برگ، تولید و توزیع ماده خشک و موازنه آب خاک، می‌تواند مراحل نمو فنولوژیک و عملکرد سیب‌زمینی را محاسبه کند. در این مدل، مراحل فنولوژی براساس مفهوم واحد دمایی و مقدار رطوبت خاک پیش‌بینی می‌شود (Soltani & Sinclair, 2011). مدل، مراحل سبز شدن، شروع مؤثر پر شدن غده، پایان مؤثر پر شدن غده، شروع پیر شدن برگ‌ها و رسیدگی را پیش‌بینی می‌کند (Soltani, 1999). برای محاسبه تغییرات سطح برگ از روشی که در مدل EPIC و ALMANAC به‌کار گرفته شده استفاده می‌شود (Kiniry et al, 1992; Williams et al, 1989). در این روش، فرض بر آن است که دما مهم‌ترین عامل محدودکننده گسترش سطح برگ است و گسترش سطح برگ به‌طور غیرمستقیم از طریق مرحله نمو نسبی (واحد دمایی تجمعی در هر یک از مراحل رشد

1- Radiation use efficiency

2-Climate zones

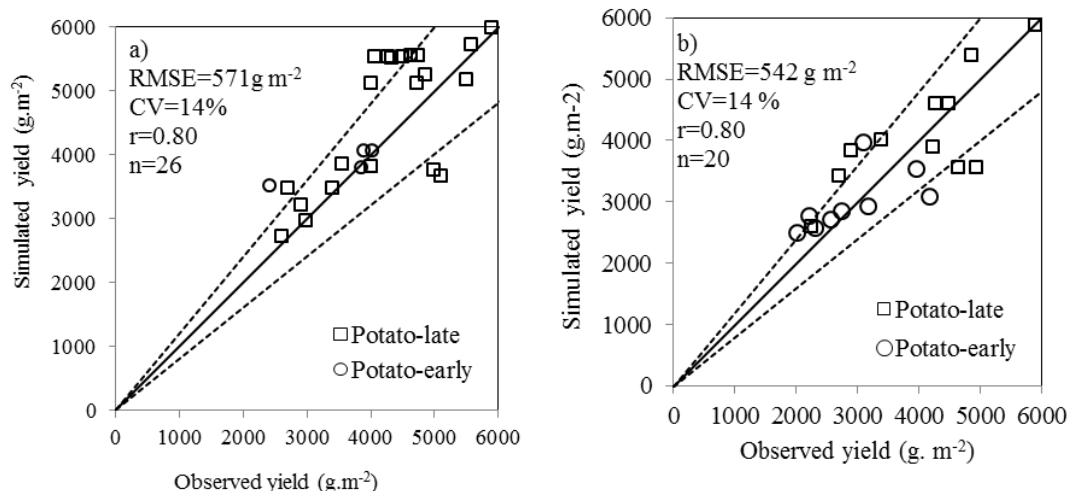
3-Designated climate zones

4- Reference weather station

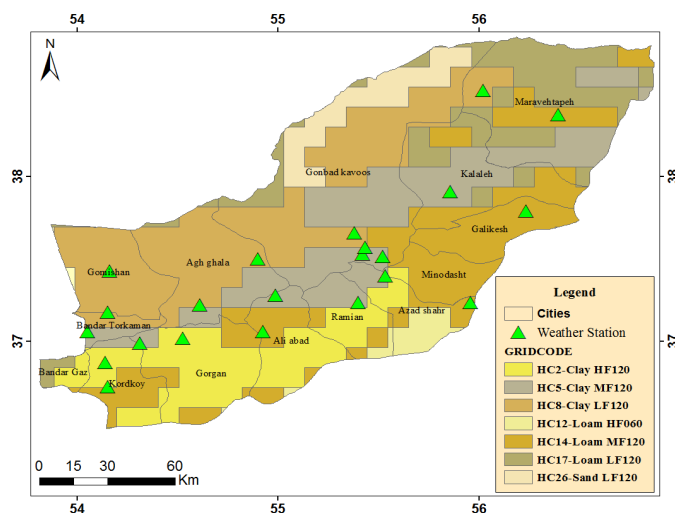
هواشناسی)، عملکرد پتانسیل با کمک مدل شبیه‌سازی SSM- iCrop2 و عملکرد واقعی نیز براساس اطلاعات قابل اعتماد محلی در محدوده هر بافر تعیین می‌شود.

جدول ۱- آزمایشات مورد استفاده برای پارامتریابی و ارزیابی مدل SSM-iCrop2
Table 1- Experiments used for parameterization and evaluation of SSM-iCrop model

استان، محل اجرای تحقیق و سال Province, location and year	تیمارها Treatments	منابع Reference
آزمایشات مورد استفاده برای پارامتریابی مدل Experiments used for parameterization model		
اردبیل، اردبیل، ۱۳۹۴ Ardabil, Ardabil, 2015	تراکم کشت Planting density	جم و همکاران (Jam et al., 2015)
اصفهان، اصفهان، ۱۳۹۰ Isfahan, Isfahan, 2011	آبیاری Irrigation	باغانی و همکاران (Baghani et al., 2012)
اصفهان، اصفهان، ۱۳۸۷ Isfahan, Isfahan, 2008	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	جلالی و صالحی (Jalali & Salehi, 2015)
کرمان و البرز، جیرفت و کرج، ۱۳۸۸-۱۳۸۹ Kerman and Alborz, Jiroft and Karaj, 2009-2010	کنترل علف‌های هرز Weed control	ممنوعی و همکاران (Mamnoei et al., 2016)
اصفهان، اصفهان، ۱۳۸۹ Isfahan, Isfahan, 2010	ژنوتیپ Genotype	رنجبر و همکاران (Ranjbar et al., 2013)
چهارمحال و بختیاری، شهرکرد، ۱۳۹۱ Chaharmahal and Bakhtiari, Shahr-e-Kord, 2012-2013	آبیاری Irrigation	نادری و همکاران (Naderi et al., 2016)
چهارمحال و بختیاری، شهرکرد، ۱۳۹۲ Chaharmahal and Bakhtiari, Shahr-e-Kord, 2013	نسبت کود نیتروژن Nitrogen fertilizer rate	باقری و همکاران (Bagheri et al., 2016)
خراسان رضوی، مشهد، ۱۳۸۵ Razavi Khorasan, Mashhad, 2006	سیب‌زمینی، ذرت، و کشت مخلوط Potato, corn and intercropping	حسین پناهی و همکاران (Hossein-Panahi et al., 2009)
کرمان، کرمان، ۱۳۸۱ Kerman, Kerman, 2002	آبیاری Irrigation	صباح و غفاری‌نژاد (Sabbah & Ghaffari-Nejad, 2008)
کرمان، کرمان، ۱۳۹۲ Kerman, Kerman, 2013	تاریخ کاشت Sowing date	نیک‌زاد و همکاران (et al., 2015 Nikzad)
همدان، همدان، ۱۳۸۱ Hamadan, Hamadan, 2002	ژنوتیپ Genotype	پرویزی (Parvizi, 2008)
آزمایشات مورد استفاده برای ارزیابی مدل Experiments used for model evaluation		
مرکزی، اراک، ۱۳۸۸ Markazi, Arak, 2009	آبیاری Irrigation	مدنی و همکاران (Madani et al., 2010)
اردبیل، اردبیل، ۱۳۹۰ Ardabil, Ardabil, 2011	مدیریت علف‌های هرز Weed management	امینی و همکاران (Amini et al., 2015)
آذربایجان غربی، ارومیه، ۱۳۸۷ West Azerbaijan, Uremia, 2008	آبیاری Irrigation	مسعودی و همکاران (Masoudi et al., 2010)
آذربایجان شرقی، تبریز، ۱۳۸۵ East Azerbaijan, Tabriz, 2006	آبیاری و عمق کاشت Irrigation, and planting depth	نصراله نژاد اصل و صداقت (Nasrollahzadeh-Asl & Sedaqat, 2015)
چهارمحال و بختیاری، شهرکرد، ۱۳۹۲ Chaharmahal and Bakhtiari, Shahr-e-Kord, 2013	ژنوتیپ و آبیاری Genotype, and irrigation	حقیقی و همکاران (Haghighati et al., 2016)
کرمانشاه، کرمانشاه، ۱۳۸۸ Kermanshah, Kermanshah, 2009	کود Fertilizer	رستمی‌اجیرلو و همکاران (Rostami-Ajirloo et al., 2012)
همدان، همدان، ۱۳۷۸ Hamadan, Hamadan, 1999	نسبت کود نیتروژن Nitrogen fertilizer rate	یزدان‌دوست و همدانی (Yazdandoust & Hamedani, 2003)
همدان، همدان، ۱۳۸۱ Hamadan, Hamadan, 2002	گیاهان پوششی Cover crops	ابوطالبیان و مظاهری (Aboutalebian & Mazaheri, 2011)
همدان، همدان، ۱۳۸۰ Hamadan, Hamadan, 2011	گیاهان پوششی و سیستم کشت Cover crops, and planting system	احمدوند و حاجی‌نژاد (Ahmadvand & Haji-Nia, 2015)



شکل ۱- شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل در مقابل عملکرد مشاهداتی (با رطوبت ۸۰ درصد) براساس نتایج پارامتریابی (a) و ارزیابی (b) مدل
 Fig. 1- Simulated versus observed fresh potato yield (80% MC) for parameterization (a) and evaluation (b) of the model
 حدود اطمینان ۲۰ درصد به صورت نقطه‌چین و خط ۱:۱ به صورت خط ممتد نشان داده شده است.
 ±20% discrepancy lines are indicated by dashed lines. The solid line is 1:1 line.



شکل ۲- نوع خاک در مناطق مختلف استان گلستان
 Fig. 2- Soil types in whole of region in Golestan province

و تغییرات دمایی استفاده می‌شود. نام هر پهنه متشکل از یک عدد چهار یا پنج رقمی است. در هر کلاس متغیر GDD با اعداد ۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ مشخص شده است. عدد صدگان (شاخص خشکی) با اعداد ۰، ۱۰۰، ۲۰۰ تا ۹۰۰ و کلاس‌های متغیر تغییرات دمایی با اعداد ۱، ۲، ۳ مشخص شده‌اند. در روش پهنه‌بندی به‌روش دامنه برون‌یابی اطلس جهانی خلأ عملکرد از این اعداد برای نام‌گذاری پهنه‌های اقلیمی استفاده می‌شود.

پس از تخمین عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی در محدوده هر ایستگاه هواشناسی، با توجه به سطح زیرکشت سیب‌زمینی در محدوده بافر هر ایستگاه هواشناسی عملکرد در سطح بالاتر (DCZ) با کمک میانگین وزنی محاسبه می‌شود و به همین ترتیب با استفاده از عملکرد تخمین زده شده در DCZ، عملکرد در مقیاس استان تعیین می‌شود. برای نام‌گذاری (یا کدگذاری) هر پهنه اقلیمی (CZ) از کلاس‌های تعریف شده برای متغیرهای درجه روز رشد (GDD)، شاخص خشکی

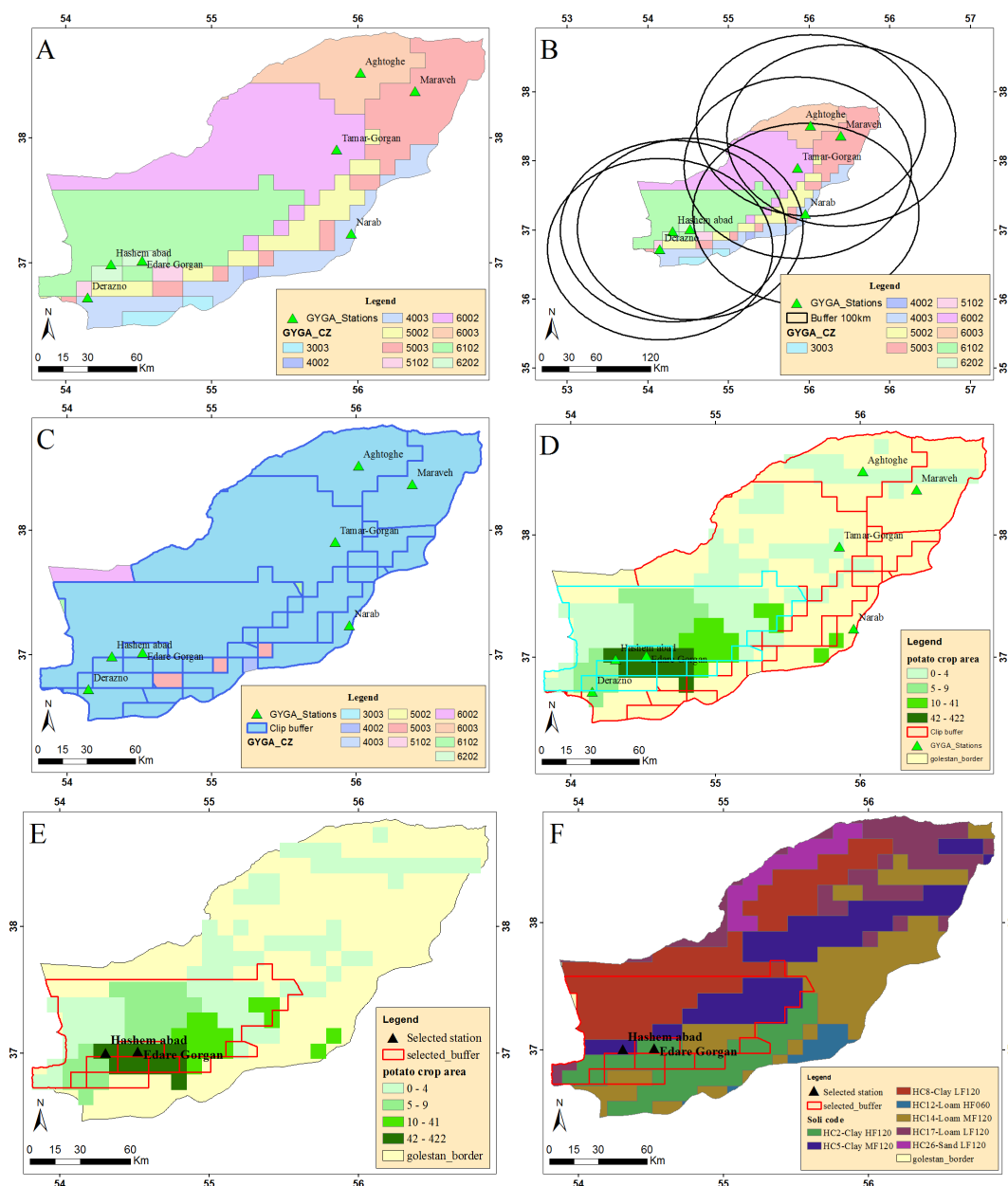
جدول ۲- خاک‌های مهم در مناطق اصلی کشت سیب‌زمینی در استان گلستان براساس IFPRI Harvest Choice (Koo & Dimes, 2013)
Table 2- Major soils in the main potato production areas in Golestan province based on IFPRI Harvest Choice (Koo & Dimes, 2013)

کد خاک Soil code	کربن آلی خاک Soc (%)	عمق خاک SOLDEP (mm)	آلیبدو خاک SALB	شماره منحنی خاک CN	زهکشی DRAINF (m)	اشباع SAT (m)	ظرفیت زراعی DUL (m)	پژمردگی دائم LL (m)
کد ۲، رسی، حاصلخیزی بالا، عمق ۱۲۰ cm- HC2- Clay HF120	>1.2	1200	0.05	85	0.2	0.458	0.405	0.233
کد ۵، رسی، حاصلخیزی متوسط، عمق ۱۲۰ cm HC5-Clay MF120	0.7-1.2	1200	0.05	85	0.2	0.458	0.405	0.233
کد ۸، رسی، حاصلخیزی کم، عمق ۱۲۰ cm- HC8- Clay LF120	0-0.7	1200	0.05	85	0.2	0.458	0.405	0.233
کد ۱۲، لومی، حاصلخیزی بالا، عمق ۶۰ cm- HC12- Loam HF060	>1.2	600	0.10	75	0.5	0.41	0.307	0.180
کد ۱۴، لومی، حاصلخیزی متوسط، عمق ۱۲۰ cm HC14-Loam MF120	0.7-1.2	1200	0.10	75	0.5	0.41	0.307	0.180
کد ۱۷، لومی، حاصلخیزی کم، عمق ۱۲۰ cm HC17-Loam LF120	0-0.7	1200	0.10	75	0.5	0.41	0.307	0.180
کد ۲۶، شنی، حاصلخیزی کم، عمق ۱۲۰ cm HC26-Sand LF120	0-0.7	1200	0.15	65	0.75	0.365	0.169	0.073

را به خود اختصاص دادند (شکل ۳ e) و سپس نوع خاک داخل هر ایستگاه (هاشم‌آباد و اداره گرگان) مشخص شد که این امر نیز با توجه به درصد اراضی که داخل هر نوع خاک قرار داشتند، انتخاب شدند. ایستگاه اداره گرگان دارای یک نوع خاک غالب (بالای ۵۰ درصد) بودند که تنها همان خاک انتخاب شد، ولی برای ایستگاه هاشم‌آباد با توجه به پراکنش اراضی در سطح بافر دو نوع خاک پایین ۵۰ درصد و بالای ۱۰ درصد انتخاب شدند تا مدل برای این شرایط اجرا گردد (شکل ۳ f) (Van Wart et al., 2013).

پروتکل گیگا چند مرحله را تشریح می‌کند تا با کمک میانگین وزنی بتوان عملکرد را برای محدوده ایستگاه هواشناسی، منطقه اقلیمی و در نهایت، کل استان محاسبه کند (Van Bussel et al., 2015). مراحل اجرای پروتکل گیگا به‌روشنی زیر بود ۱- مدل برای هر ایستگاه هواشناسی و برای هر نوع خاک در یک دوره ۱۰ ساله اجرا شد تا عملکرد پتانسیل سالانه برای هر نوع خاک به‌دست آید. ۲- با توجه به مساحت اراضی هر نوع خاک در محدوده هر ایستگاه، با استفاده از میانگین وزنی عملکرد محدوده هر ایستگاه محاسبه شد. ۳- میانگین عملکرد ۱۰ ساله هر ایستگاه محاسبه گردید. ۴- عملکرد محدوده ایستگاه هواشناسی به اقلیم تعمیم داده شد.

برای اطلاعات بیشتر به سایت زیر مراجعه شود (<http://www.yieldgap.org/web/guest/cz-ted>). براساس این پروتکل از بین ۲۳ ایستگاه هواشناسی استان گلستان، ایستگاه‌هایی که دارای بالاترین سطح زیرکشت سیب‌زمینی در محدوده آن‌ها وجود داشت، انتخاب شدند (در هر اقلیم تنها یک ایستگاه) (شکل ۳ a). کد اقلیم‌های ۶۱۰۲ و ۶۲۰۲ به‌عنوان اقلیم‌های انتخابی (DCZ) در استان معرفی شدند که در مجموع، ۴۳۱۱ هکتار از اراضی سیب‌زمینی استان در این دو اقلیم قرار دارد. سپس محدوده هر ایستگاه براساس بافرهایی با شعاع ۱۰۰ کیلومتر مشخص گردید (شکل ۳ b) و سپس ایستگاه‌ها براساس اقلیمی که در آن واقع شده است، برش زده شد، همچنین در صورت وجود هم‌پوشانی با ایستگاه مجاور بخش‌های اضافی بافر برش زده می‌شود (شکل ۳ c) تا درصد اراضی که داخل هر بافر براساس سهم آن از اراضی کل استان واقع شده است، مشخص گردد (شکل ۳ d)، در مرحله بعد با توجه به درصد اراضی که داخل هر بافر از کل استان قرار دارد، انتخاب می‌شود که در این تحقیق ایستگاه هاشم‌آباد (۲۶۱۴ هکتار ۴۹ درصد اراضی سیب‌زمینی استان) و اداره گرگان (۱۶۹۷ هکتار معادل ۳۲ درصد اراضی سیب‌زمینی استان) دارای بالاترین درصد اراضی بین سایر ایستگاه‌ها بودند، کل اراضی سیب‌زمینی که در داخل بافرها قرار گرفته بود ۵۲۹۷ هکتار بود که در مجموع، این دو ایستگاه ۸۱ درصد اراضی کل استان



شکل ۳- مراحل انتخاب ایستگاه براساس اراضی داخل بافر و نوع خاک داخل بافر انتخابی (براساس پروتکل GYGA) مناطق اقلیمی و ایستگاه‌های انتخابی براساس کد اقلیم در استان، (B) بافرها با شعاع ۱۰۰ کیلومتر در اطراف ایستگاه هواشناسی مرجع، (C) بافرهای برش زده شده براساس اقلیم، (D) اراضی سیب زمینی داخل بافرها، (E) بافرهای انتخابی که براساس پوشش اراضی سیب زمینی از بیشتر به کمتر انتخاب شده‌اند و (F) نوع خاک داخل بافرهای انتخابی

Fig. 3- The stage of selection reference weather station (RWS) buffer zone and soil types in buffers based on potato crop area (According to GYGA protocol). A) GYGA CZs regions and RWS selected based on climate zone, B) Buffer zones with a 100 km radius surrounding a weather station, C) Clipped buffer based on climate zone, D) Potato harvested area into buffer zone, E) Reference weather station (RWS) buffer zones which selected from the buffer zones according to their covered potato harvest areas from big to small, and F) Soil types into selected RWS

عملکرد واقعی از نقشه عملکرد پتانسیل کم شد تا مقادیر خلأ عملکرد محاسبه گردد. همچنین، با استفاده از نقشه‌های مذکور میانگین عملکرد پتانسیل، عملکرد واقعی و خلأ عملکرد برای هر شهرستان با توجه به میانگین‌گیری ایستگاه‌های موجود به‌دست آمد.

جهت پهنه‌بندی و ترسیم نقشه‌ها از نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰٫۲ استفاده شد. خلأ تولید از اختلاف میزان تولید پتانسیل هر شهرستان و میانگین تولید واقعی هر شهرستان به‌دست آمد. برای محاسبه خلأ تولید، ابتدا میانگین سطح زیرکشت هر شهرستان برحسب هکتار در میانگین عملکرد پتانسیل هر شهرستان ضرب شد و تولید پتانسیل برای هر شهرستان برحسب تن به‌دست آمد. سپس از اختلاف تولید پتانسیل هر شهرستان و میانگین تولید واقعی در سال‌های اخیر خلأ تولید محاسبه گردید.

تشعشع دریافتی با استفاده از نرم‌افزار Weatherman و براساس ساعت آفتابی محاسبه گردید، رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel و ترسیم نقشه‌های با نرم‌افزار ArcGIS صورت گرفت.

نتایج و بحث

تغییرات سطح زیرکشت، عملکرد و تولید واقعی

جدول ۳ سطح زیرکشت، عملکرد واقعی، تولید و سهم هر شهرستان از سطح زیرکشت محصول سیب‌زمینی نسبت به کل استان را برای میانگین دوره ۱۰ ساله را (طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳) نشان می‌دهد. مقادیر استانی سطح زیرکشت، عملکرد واقعی و تولید سیب‌زمینی به‌ترتیب برابر با ۶۳۴۰ هکتار، ۲۲ تن در هکتار و ۱۳۸۴۱۳ تن گزارش شده است. همچنین شهرستان‌های گرگان، آزادشهر و علی‌آباد بیشترین سطح زیرکشت محصول سیب‌زمینی استان را به خود اختصاص دادند. سطح زیرکشت، عملکرد واقعی، تولید و سهم شهرستان از کل اراضی سیب‌زمینی استان برای گرگان به‌ترتیب برابر با ۵۱۱۲/۸ هکتار، ۲۱/۵ تن در هکتار، ۱۰۸۴۹۹ تن و ۸۰/۶۴ درصد، برای آزادشهر برابر با ۴۴۶/۴ هکتار، ۲۹/۷ تن در هکتار، ۱۲۸۷۱ تن و ۷/۰۴ درصد و برای علی‌آباد ۳۴۹/۵ هکتار، ۲۳/۸ تن در هکتار، ۸۲۰۴ و ۵/۵۱ درصد گزارش شده است (جدول ۳). این در حالی است که در شهرستان‌های بندرگز، بندرترکمن، آق‌قلا، رامیان، کردکوی، کلاله و گنبد کاووس کل سطح زیرکشت محصول سیب‌زمینی برابر با ۲۶۷ هکتار گزارش شده است که در

در اقلیمی که دو ایستگاه وجود داشت با توجه به مساحت اراضی که هر یک از ایستگاه‌ها پوشش داده بودند، میانگین وزنی گرفته شد و عملکرد برای آن اقلیم محاسبه گردید. ۵- در نهایت، براساس اینکه چه مساحتی از اراضی زراعی در هر اقلیم موجود است، با استفاده از میانگین وزنی، عملکرد استان محاسبه شد.

برآورد خلأ عملکرد به‌روش درون‌یابی

در این مطالعه، اطلاعات هواشناسی ۱۰ ساله (از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ میلادی) ۲۳ ایستگاه از سازمان آب منطقه‌ای و سازمان هواشناسی استان گلستان تهیه و کنترل کیفی گردید. نحوه‌گزینش ایستگاه‌های هواشناسی به‌گونه‌ای بود که این ایستگاه‌ها بتوانند یک پوشش سراسری با توزیع مناسب در محدوده‌ی اراضی آبی ۱۴ شهرستان استان گلستان ایجاد کنند تا بیشترین دقت در فرآیند مدل‌سازی و درون‌یابی فراهم شود. در مرحله بعد، با توجه به آمار هواشناسی ۱۰ ساله ایستگاه‌های منتخب و اطلاعات مدیریت مزارع در سطح هر ایستگاه هواشناسی، عملکرد پتانسیل با مدل SSM-iCrop2 تخمین زده شد. در این حالت فرض شد گیاه زراعی از نظر آب و عناصر غذایی دچار محدودیت نبوده و این عوامل رشد گیاه را محدود نمی‌سازند. پس از محاسبه عملکرد پتانسیل در سطح هر ایستگاه هواشناسی، درون‌یابی برای کل اراضی آبی استان با چهار روش Kriging, Co-Kriging, IDW¹, LPI² براساس ۸۰ درصد داده‌های عملکرد پتانسیل انجام شد و از ۲۰ درصد داده‌های عملکرد پتانسیل باقی مانده برای ارزیابی استفاده گردید. همچنین، پس از تهیه عملکردهای واقعی هر شهرستان از طریق گزارش وزارت جهاد کشاورزی، از همین شیوه درون‌یابی برای تخمین عملکردهای واقعی کل اراضی آبی استان استفاده شد. از بین روش‌های استفاده شده روشی که کمترین مقدار RMSE را داشت، برای انجام درون‌یابی برای عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی انتخاب شد. برای عملکرد پتانسیل روش Kriging با مقدار RMSE برابر ۱۵/۳۴ و برای عملکرد واقعی روش IDW با مقدار RMSE برابر ۳/۷ روش‌های مناسبی برای درون‌یابی بودند. جهت محاسبه خلأ عملکرد نیز نقشه‌های به‌دست آمده برای عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی در نرم‌افزار ArcGIS با استفاده از تابع Raster Calculate نقشه رستری

1- Inverse distance weighting

2- Local polynomial interpolation

مقایسه با شهرستان‌های گرگان، آزادشهر و علی‌آباد بسیار ناچیز می‌باشد. در شهرستان‌های مراوه‌تپه، مینودشت، گالیکش و گمیشان

جدول ۳- سطح زیر کشت، عملکرد واقعی، تولید و سهم سطح زیر کشت محصول سیب‌زمینی هر شهرستان نسبت به کل اراضی سیب‌زمینی کاری استان (%) (میانگین سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳)

Table 3- Cultivated area, actual yield, production and, Share of city potato cultivated area to province (%) (average 2001-2015 years)

شهرستان City	سطح زیر کشت Cultivated area (ha)	عملکرد واقعی Actual yield (t.ha ⁻¹)	تولید Production (t)	سهم اراضی سیب‌زمینی شهرستان نسبت به استان Share of city potato cultivated area to province (%)
آزادشهر Azad-Shahr	446.4	29.7	12871	7.04
آق‌قلا Aghghala	98.5	22.8	2156	1.55
بندرگز Bandar-Gaz	5.6	19.3	103	0.09
بندر ترکمن Bandar-Torkaman	2.1	26.8	56	0.03
رامیان Ramian	124.1	21.2	2961	1.96
علی‌آباد Ali-Abad	349.5	23.8	8204	5.51
کردکوی Kordkoy	164.4	18.2	2878	2.59
کلاله Kalaleh	5.2	16.6	87	0.08
مراوه‌تپه Maravehtapeh	0	0	0	0.00
مینودشت Minodasht	0	0	0	0.00
گالیکش Galikesh	0	0	0	0.00
گرگان Gorgan	5112.8	21.5	108499	80.64
گمیشان Gomishan	0	0	0	0.00
گنبدکاووس Gonbadkavoos	31.9	20.0	597	0.50
استان گلستان Golestan province	6340	22	138413	100

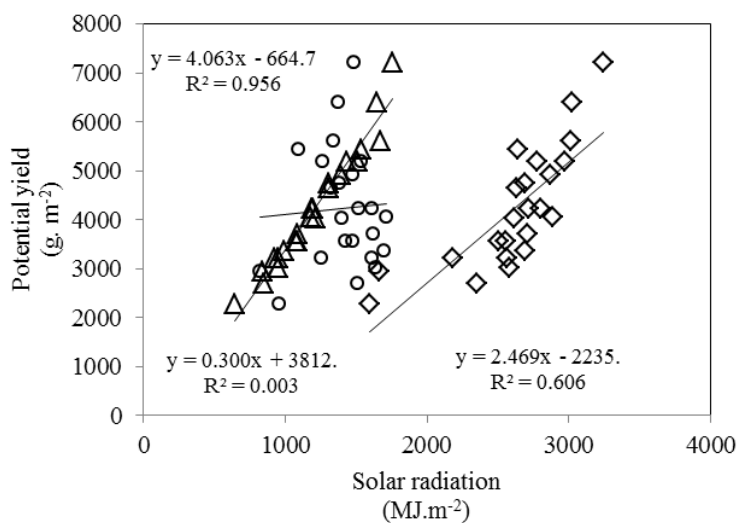
۶۲۰۲) به جز ایستگاه درازنو و نراب که در اقلیم ۴۰۰۳ و ایستگاه پارک گلستان که در اقلیم ۵۰۰۳ قرار گرفته است. براساس کد اقلیم- هایی که ایستگاه‌های هواشناسی در آن واقع شده‌اند، تاریخ کاشت عرف منطقه برآورد و به مدل معرفی شد. در مناطق با کد اقلیم ۴۰۰۳ (ایستگاه‌های دازنو و نراب) به دلیل داشتن اقلیمی سردتر نسبت به کد اقلیم‌های بالای ۵۰۰۳ (تمامی ایستگاه‌های مورد استفاده در این

برآورد عملکرد واقعی، عملکرد پتانسیل و خلأ عملکرد روش درونیابی

نتایج حاصل از اجرای مدل در راستای برآورد عملکرد پتانسیل براساس داده‌های هواشناسی روزانه ۲۳ ایستگاه هواشناسی در جدول ۴ نشان داده شده است. بیشتر ایستگاه‌های هواشناسی در کد اقلیم- های بالای ۵۰۰۳ بودند (کد اقلیم‌های ۵۱۰۲، ۶۰۰۲، ۶۰۰۳، ۶۱۰۲ و

نشان داد با افزایش دریافت تشعشع در طول دوره رشد (در ایستگاه-های هواشناسی مختلف) و به‌خصوص زمان پر شدن غده‌ها میزان عملکرد نیز افزایش یافته است، به‌طوری‌که شیب خط رگرسیونی بین عملکرد پتانسیل و $SRAD_1$ و $SRAD_3$ برابر 0.243 و 0.235 گرم بر مگاژول به‌دست آمد و همچنین مقدار R^2 نیز به‌ترتیب برابر با 0.60 و 0.95 به‌دست آمد که بیانگر تأثیرگذاری میزان تشعشع دریافتی در زمان پر شدن غده بر عملکرد غده سیب‌زمینی است، ولی این مقدار برای عملکرد پتانسیل و $SRAD_2$ 0.1 بود که نشان‌دهنده آن است که تأثیر چندانی بر عملکرد غده ندارد، یعنی افزایش عملکرد پتانسیل ارتباط کمتری با دریافت تشعشع در زمان رشد رویشی داشته است. این امر می‌تواند به‌دلیل طولانی بودن طول دوره پر شدن غده باشد که تشعشع دریافتی بالاتری نسبت به سایر مراحل رشد سیب‌زمینی دارد. از روش درون‌یابی جهت برآورد خلأ عملکرد، احمدی‌علی‌پور و همکاران (Ahmadi Alipour et al., 2018) در استان گلستان روی محصول گندم و مقدادی و همکاران (Meghdadi et al., 2014) در استان زنجان روی نخود دیم استفاده نموده و دقت بالای این روش را گزارش نموده‌اند.

تحقیق به‌جز ایستگاه درازنو و نراب و پارک ملی گلستان) سیب‌زمینی را به‌صورت بهاره کشت و در اواسط شهریور و اوایل مهر برداشت می‌کنند. در کد اقلیم‌های گرم (کد اقلیم‌های بالای 503) سیب‌زمینی در آذر ماه کشت و در ماه‌های اردیبهشت و خرداد برداشت می‌شود. از بین ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه بالاترین عملکرد پتانسیل مربوط به ایستگاه هواشناسی نراب با میانگین $72/2$ تن در هکتار (به‌دلیل سرما دوست بودن سیب‌زمینی در تاریخ کاشت‌هایی که به‌صورت بهاره کشت می‌شوند، عملکرد بالاتری دارد) و کمترین عملکرد پتانسیل با میانگین $22/8$ تن در هکتار مربوط به ایستگاه هواشناسی بندرترکمن بود. مقدار عملکرد پتانسیل استان نیز 42 تن در هکتار و مقدار خلأ عملکرد 20 تن برآورد گردید (جدول ۷). با توجه به اینکه در زراعت آبی عامل تأثیرگذار در عملکرد پتانسیل میزان تشعشع دریافتی در مراحل مختلف رشد توسط گیاه می‌باشد، بنابراین رابطه بین عملکرد پتانسیل و میزان تشعشع دریافتی از کاشت تا برداشت ($SRAD_1$)، میزان تشعشع دریافتی از کاشت تا زمان شروع پر شدن غده‌ها ($SRAD_2$) و میزان تشعشع دریافتی از شروع پر شدن غده تا زمان برداشت ($SRAD_3$) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴). نتایج



◇SRADt ○SRAD2 △SRAD3

شکل ۴- رابطه بین عملکرد پتانسیل با تشعشع دریافتی کل دوره ($SRAD_1$)، تشعشع دریافتی از کاشت تا شروع رشد غده ($SRAD_2$) و تشعشع دریافتی از شروع رشد غده تا رسیدگی برداشت ($SRAD_3$)

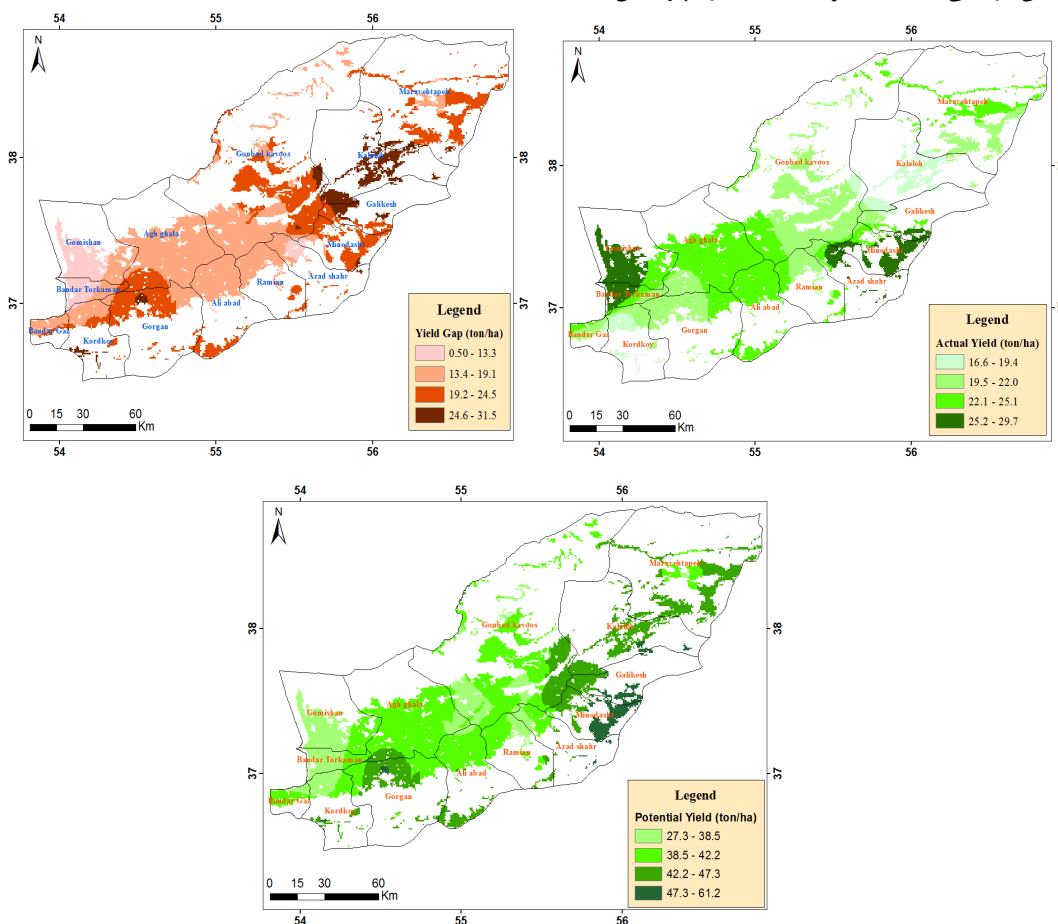
Fig. 4- The relationship between potential yield and total solar radiation ($SRAD_1$) and radiation received from sowing to initial tuber growth ($SRAD_2$) and radiation received from the onset of tuber growth to harvesting ($SRAD_3$)

جدول ۴- اطلاعات مربوط به تاریخ کاشت، روز تا رسیدگی، عملکرد پتانسیل و کد اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی
 Table 4- The information of sowing date, day to harvest, and potential yield and GYGA. CZs cods of weather stations.

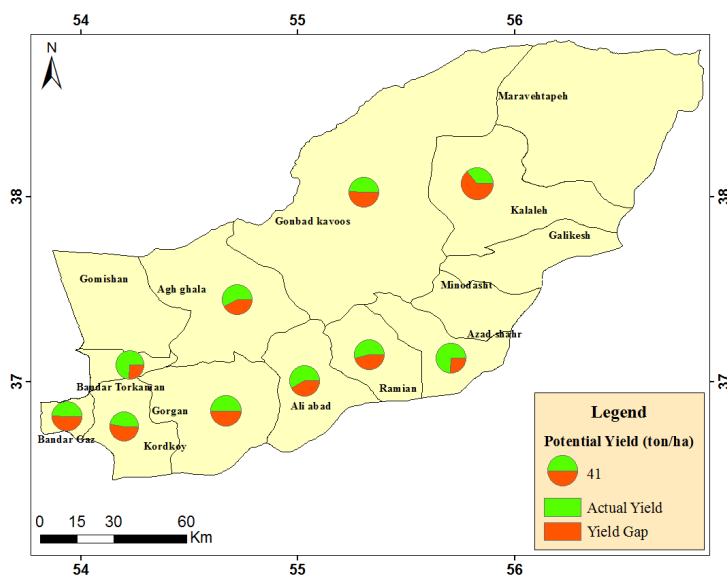
ایستگاه‌ها Stations	روز کشت (day from 1Jan)	روز تا برداشت Day to harvest	عملکرد پتانسیل Potential yield (t.ha ⁻¹)	کد اقلیم Climate code	تشعشع دریافتی در کل دوره رشد محصول Cumulative solar radiation from sowing to physiological maturity (MJ.m ⁻²)	تشعشع دریافتی از کاشت تا شروع پر شدن غده) Cumulative solar radiation from sowing to beginning tuber filling (MJ.m ⁻²)	تشعشع دریافتی از شروع غده‌دهی تا برداشت) Cumulative solar radiation from beginning tuber filling to harvest time (MJ.m ⁻²)
آق توفه Aghtogheh	317	194	40.6	6102	2890	1712	1178
آق قلا Aghghala	312	199	52.0	6003	2970	1535	1435
آراز کوثر Arazkoose	338	173	42.3	6102	2715	1522	1193
بهلک داشی BehlakeDashli	325	186	37.1	6102	2705	1620	1085
بندر ترکمن B-Turkman	338	173	22.8	6102	1596	956	640
درازنو Drazno	126	164	64.0	4003	3020	1373	1648
اداره گرگان Edare-Gorgan	342	196	56.2	6202	3014	1338	1675
فاضل آباد Fazelabad	337	173	40.3	6102	2612	1402	1210
قیان Ghapan	325	186	49.2	6102	2870	1475	1395
غفار حاجی Ghafar Haji	328	183	33.6	6102	2691	1700	991
گنبد Gonbad	337	173	32.1	6102	2180	1254	926
هاشم آباد Hshemabad	334	206	51.8	6102	2776	1264	1512
کارکنده Karkandeh	328	182	32.1	6102	2569	1616	953
کردکوی Kordkooy	335	176	26.9	6102	2356	1509	847
مرلوه تپه Marevhtapeh	323	188	29.5	5003	1663	825	838
مزرعه نمونه Mazraenemoneh	341	170	35.7	6102	2560	1481	1080
مینودشت Minodasht	340	162	35.6	6002	2504	1421	1083
نراب Narab	107	143	72.2	4003	3243	1486	1757
پارک گلستان Park Golestan	101	131	54.4	5003	2638	1098	1540
رامیان Ramian	332	179	30.1	6102	2585	1636	950
سد سبلان Sad Sailan	331	180	42.2	6102	2803	1612	1191
صوفی شیخ Sofishaikh	332	175	46.4	6102	2632	1322	1310
تمر tamer	327	183	47.6	6002	2695	1387	1308

گالیکش، مینودشت و گمیشان که پتانسیل بالایی جهت تولید سیب‌زمینی وجود دارد (شکل ۶)، این محصول کشت نمی‌شود (جدول ۳ و شکل ۶). از دلایل عدم کاشت سیب‌زمینی در این شهرستان‌ها می‌تواند عدم دسترسی به تجهیزات کاشت، داشت و برداشت، عدم آگاهی کشاورزان از پتانسیل تولید سیب‌زمینی در منطقه، و تجربه کم کشاورزان در زمینه کاشت این محصول اشاره نمود. براساس شکل ۶، بیشترین مقدار خلأ عملکرد مربوط به شهرستان کلاله می‌باشد که با وجود پتانسیل عملکرد بالا، مقدار عملکرد واقعی بسیار کمی دارد. همچنین کمترین خلأ عملکرد مربوط به شهرستان‌های آزادشهر و بندرتکمن می‌باشد.

شکل ۵ نقشه توزیع فضایی عملکرد پتانسیل، عملکرد واقعی و خلأ عملکرد به‌دست آمده به‌روش درون‌یابی برای اراضی آبی در سطح استان و در شهرستان‌های مختلف را نشان می‌دهد. براساس این نتایج، بالاترین عملکرد پتانسیل در شهرستان‌های گالیکش و مینودشت مشاهده شده است و کمترین میزان نیز مربوط به شهرستان بندرتکمن و گمیشان می‌باشد. دلیل عملکرد پتانسیل بالا در شهرستان‌های مذکور، دریافت تشعشع بیشتر در مراحل مختلف رشدی گیاه سیب‌زمینی می‌باشد. همچنین بالاترین عملکرد واقعی در شهرستان‌های مینودشت، گالیکش، بندرتکمن و گمیشان به‌دست آمد و کمترین میزان نیز مربوط به شهرستان کردکوی و کلاله است (شکل ۵). این در حالی است که با توجه به اینکه در شهرستان‌های



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی عملکرد پتانسیل، عملکرد واقعی و خلأ عملکرد سیب‌زمینی در استان گلستان
Fig. 5- The zoning maps of potential yield, actual yield and yield gap of potato in Golestan province



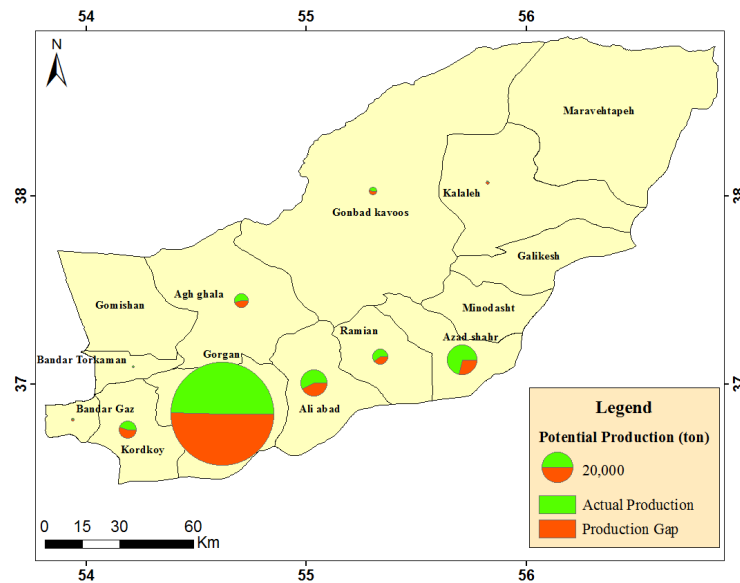
شکل ۶- نقشه عملکرد پتانسیل، عملکرد واقعی و خلأ عملکرد سیب‌زمینی در شهرستان‌های استان گلستان
 Fig. 6- The maps of potential yield, actual yield and yield gap of potato in cities of Golestan province

خلأ تولید

نتایج مربوط به تولید پتانسیل، تولید واقعی و خلأ تولید سیب‌زمینی در شکل ۷ نشان داد که شهرستان‌های گرگان، آزادشهر، علی‌آباد، کردکوی، رامیان و آق‌قلا به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر تولید پتانسیل را دارا می‌باشند و در سایر شهرستان‌های استان، کشت سیب‌زمینی صورت نمی‌گیرد. همچنین کمترین مقدار خلأ تولید مربوط به شهرستان آزادشهر بود که این به‌دلیل تولید واقعی بالاتر در این شهرستان نسبت به شهرستان‌های دیگر بود. بیشترین میزان تولید واقعی سیب‌زمینی در شهرستان گرگان ۱۰۸ هزار تن می‌باشد، این در حالی است که پتانسیل تولید معادل ۲۱۸ هزار تن برآورد شده است که در صورت رفع خلأ عملکرد با سطح زیرکشت ثابت (۵۱۱۲ هکتار) می‌توان به ۱۷۵ هزار تن (معادل ۸۰ درصد تولید پتانسیل به‌عنوان تولید قابل حصول) دست یافت. نخستین گام جهت رفع خلأ تولید یک محصول تعیین مقدار خلأ عملکرد و نحوه توزیع آن می‌باشد (Hochman et al., 2016). از بین بردن فاصله بین عملکردی که در حال حاضر در مزارع به‌دست می‌آید و عملکردی که می‌تواند به‌وسیله‌ی استفاده از بهترین ارقام سازگار با محیط و بهترین روش‌های مدیریت آب، خاک و گیاه به‌دست آید، راهکار کلیدی جهت غلبه بر چالش تغذیه‌ای جمعیت در حال رشد جهان است (Gobbett et al., 2016).

روش گیگا (GYGA)

براساس روش گیگا تنها اقلیم‌های ۶۱۰۲ و ۶۲۰۲ در استان گلستان برای برآورد خلأ عملکرد محصول سیب‌زمینی انتخاب شدند. داخل اقلیم ۶۱۰۲ ایستگاه هواشناسی هاشم‌آباد و داخل اقلیم ۶۲۰۲ ایستگاه هواشناسی اداره گرگان قرار دارد. نتایج نشان داد که ایستگاه هاشم‌آباد با ۲۶۱۴ هکتار از اراضی سیب‌زمینی استان به‌عنوان ایستگاه مهم‌تر و ایستگاه اداره گرگان با سطح زیرکشت ۱۶۹۷ هکتار در رتبه دوم انتخاب شد. عملکرد واقعی هر دو ایستگاه انتخابی برابر ۲۰ تن در هکتار به‌دست آمد. همچنین عملکرد پتانسیل براساس اطلاعات هواشناسی، نوع خاک و مدیریت زراعی در این ایستگاه‌ها برآورد شدند. عملکرد پتانسیل و خلأ عملکرد ایستگاه هواشناسی هاشم‌آباد به‌ترتیب برابر با ۵۳ و ۳۳ تن در هکتار و این مقادیر برای ایستگاه اداره گرگان به‌ترتیب برابر با ۵۱ و ۳۱ تن در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵). مقدار عملکرد نسبی، عملکرد قابل حصول، خلأ عملکرد قابل بهره‌برداری برای ایستگاه هاشم‌آباد به‌ترتیب برابر ۳۷ درصد، ۴۲ و ۲۲ تن در هکتار به‌دست آمد و این مقادیر برای ایستگاه اداره گرگان به‌ترتیب برابر با ۳۹ درصد، ۴۱ و ۲۱ تن در هکتار بود (جدول ۵).



شکل ۷- نقشه تولید پتانسیل، تولید واقعی و خلأ تولید سیب‌زمینی در شهرستان‌های استان گلستان
 Fig. 7- The map of potential production, actual production and production gap of potato in Golestan province's cities

عملکرد قابل حصول (۸۰ درصد از عملکرد پتانسیل) کشور ۳۷۴۵ کیلوگرم در هکتار است. همچنین میانگین سطح زیرکشت و عملکرد واقعی سویا در کشور به ترتیب ۶۱ هزار هکتار و ۲۲۵۷ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است.

انتخاب روش برتر

مقدار عملکرد واقعی استان گلستان (میانگین ۱۰ ساله مورد بررسی) براساس گزارش سازمان جهاد کشاورزی معادل ۲۲ تن در هکتار می‌باشد، این در حالی بود که عملکرد واقعی محاسبه شده براساس روش گیگا برابر با ۲۰ تن در هکتار و در روش درون‌یابی ۲۲ تن در هکتار محاسبه گردید. عملکرد رکود ثبت شده در استان توسط کشاورزان تا ۵۵ تن گزارش شده است که در مقایسه با آن در روش گیگا ۵۲ تن در هکتار و در روش درون‌یابی ۴۲ تن در هکتار به‌دست آمد (جدول ۷). خلأ عملکرد و عملکرد نسبی مشاهده شده (۳۳ تن در هکتار و ۴۰ درصد)، روش گیگا (۳۳ تن در هکتار و ۳۸ درصد) و روش درون‌یابی (۲۰ تن در هکتار و ۵۲ درصد) در جدول ۶ نشان داده شده است.

براساس میانگین وزنی این دو ایستگاه، مقدار عملکرد پتانسیل استان معادل ۵۲ تن در هکتار، عملکرد واقعی استان برابر ۲۰ تن در هکتار و مقدار خلأ عملکرد محاسبه شده ۳۲ تن در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵). در این میان عملکرد قابل حصول (۸۰ درصد عملکرد پتانسیل) برابر با ۴۲ تن در هکتار محاسبه شد و مقدار خلأ عملکردی که با توجه به شرایط اقلیمی و خاک استان گلستان قابل بهره‌برداری است، ۲۲ تن در هکتار بود. براساس نتایج ارائه شده در جدول ۶، میزان تولید واقعی استان برابر با ۸۶۲۲۰ تن، تولید پتانسیل برآورد شده برابر با ۲۲۵۰۸۹ تن، مقدار خلأ تولید برابر با ۱۳۸۸۶۹ تن و مقدار تولید نسبی براساس تولید پتانسیل ۳۸ درصد به‌دست آمد، ولی از کل مقدار تولید پتانسیل برآورد شده ۸۰ درصد آن قابل بهره‌برداری است یعنی معادل ۱۸۰۰۷۱ تن، این بدان معناست که می‌توان مقدار تولید استان را به‌میزان ۹۳۸۵۱ تن افزایش داد (جدول ۶). این امر با توجه به معرفی ارقام جدید و پر محصول در سطح کشور قابل دست‌یابی است. نهنبدانی و همکاران (Nehbandani et al., 2018) در بررسی خلأ عملکرد و مقدار تولید گیاه سویا در کشور با روش اطلس جهانی خلأ عملکرد (GYGA) گزارش نمودند که متوسط عملکرد پتانسیل سویا در کشور ۴۶۸۱ کیلوگرم در هکتار و متوسط

جدول ۵- اراضی داخل بافر و اقلیم، عملکرد واقعی، عملکرد پتانسیل، خلأ عملکرد پتانسیل، عملکرد نسبی برای عملکرد پتانسیل، عملکرد قابل حصول، خلأ عملکرد قابل حصول در ایستگاه‌ها و اقلیم‌های انتخابی استان گلستان

Table 5- Potato cultivated area in buffer and climat zone (CZ), actual and potential yield, potential gap yield, relative yield (RY), attainable yield, exploitable yield gap in its main weather stations and climate zones (CZ) in Golestan province

عملکرد قابل حصول، ۸۰ درصد عملکرد پتانسیل است.
Exploitable yield is 80% of potential yield.

ایستگاه‌های هواشناسی مرجع Reference weather stations	اراضی داخل بافر Area in buffer	اراضی داخل اقلیم Area in CZ	عملکرد واقعی Actual yield (t.ha ⁻¹)	عملکرد پتانسیل Potential yield (t.ha ⁻¹)	خلأ عملکرد Yield gap (t.ha ⁻¹)	عملکرد نسبی Relative yield (%)	عملکرد قابل حصول* Attainable yield (t.ha ⁻¹)	خلأ عملکرد قابل بهره‌برداری Exploitable yield gap (t.ha ⁻¹)
هاشم‌آباد Hshemabad	2614	2614	20	53	33	37	42	22
اداره گرگان Edare-Gorgan	1697	1697	20	51	31	39	41	21
مجموع / میانگین Sum/average	4311	4311	20	52	32	38	42	22

*عملکرد قابل حصول، ۸۰ درصد تولید پتانسیل است.

* Exploitable production is 80% of potential production.

جدول ۶- تولید واقعی، تولید پتانسیل، خلأ تولید پتانسیل، تولید نسبی برای تولید پتانسیل، تولید قابل حصول، خلأ تولید قابل حصول در ایستگاه‌ها و اقلیم‌های انتخابی استان گلستان

Table 6- Potato actual and potential production, potential gap production, relative production (RP) for potential production, exploitable production, exploitable production gap and RP for exploitable production in its main climate zones (CZ) in Golestan province

-	تولید واقعی Actual production (t)	تولید پتانسیل Potential production (t)	خلأ تولید production gap (t)	تولید نسبی RP%	تولید قابل حصول Attainable production (t)	خلأ تولید قابل بهره‌برداری Exploitable production gap (t)	تولید نسبی Relative production (%)
مجموع تولید Sum production	86220	225089	138869	38	180071	93851	48

می‌یابد، از دیگر تفاوت‌های روش درون‌یابی با روش گیگا قابلیت مقایسه نتایج روش گیگا با نتایج تحقیقات در اقلیم‌های مشابه در سایر کشورها می‌باشد، در حالی که در روش رون‌یابی چنین امکانی وجود ندارد. در روش درون‌یابی تخمین عملکرد به صورت نقطه‌ای در تمام منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است که این امر در مورد عملکرد واقعی سیب‌زمینی در تحقیق حاضر بیان شده است، ولی در روش گیگا تنها در مناطق اصلی کاشت برآورد می‌شود. همان‌گونه که در بخش مواد و روش‌ها نیز بدان اشاره شد، پروتکل گیگا یک روش پایین به بالا است که برای برآورد خلأ عملکرد ملی از پهنه‌بندی اقلیمی جهت آنالیز گروه‌های آگروکلیمایی مشابه استفاده می‌کند (Hochman et al., 2016). تاکنون مطالعات متعددی با استفاده از این پروتکل انجام شده است. گویت و همکاران (Gobbett et al., 2017) نشان دادند که اراضی گندم در استرالیا در شش منطقه اقلیمی

در روش گیگا تنها با استفاده از دو ایستگاه این مقادیر برآورد شد، ولی در روش درون‌یابی با استفاده از ۲۳ ایستگاه و داده‌های روزانه هواشناسی مقدار عملکرد استان برآورد شد. نحوه محاسبه در روش درون‌یابی براساس میانگین‌گیری از مقادیر ایستگاه‌های نزدیک به هم بوده که در نهایت، برای کل استان میانگین تمام نقاط برآورد شده نماینده مقدار عملکرد واقعی و پتانسیل استان محاسبه شد، ولی در مورد روش گیگا چون اساس این روش تمرکز بر روی نقاط اصلی کشت محصولات می‌باشد، براساس میانگین وزنی عملکرد و سطح زیرکشت منطقه انتخابی صورت گرفته است. هر یک از روش‌های مورد استفاده مزایا و معایب خاص خود را دارا می‌باشند. روش درون‌یابی نیازمند تعداد نقاط بیشتری (داده‌های مورد نیاز بیشتر) نسبت به روش گیگا می‌باشد که این امر در تحقیقات در سطح استانی امکان‌پذیر است، ولی در سطح ملی میزان دقت این روش کاهش

نسبی (عملکرد واقعی تقسیم بر عملکرد پتانسیل ضرب در ۱۰۰) حدود ۴۷ درصد می‌باشد. زو و همکاران (Zu et al., 2018) برای بررسی خلأ عملکرد نیشکر در چین نیز از روش پایین به بالا (GYGA) استفاده کرده‌اند.

کلیدی قرار دارد. آن‌ها ۲۲ ایستگاه مرجع در این اراضی انتخاب کرده و با استفاده از مدل APSIM عملکرد پتانسیل آب محدود (برای سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰) را محاسبه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در سطح ملی مقدار خلأ عملکرد حدود دو تن در هکتار و عملکرد

جدول ۷- مقایسه دو روش گیگا و درون‌یابی براساس عملکرد و تولید واقعی سیب‌زمینی در استان گلستان
Table 7- The comparison of GYGA and Interpolation method Based on the number of stations required, potential yields, actual yield, and yield gap of Potato in Golestan province

روش‌ها Approches	عملکرد واقعی Actual yield (t.ha ⁻¹)	عملکرد پتانسیل Potential yield (t.ha ⁻¹)	خلأ عملکرد Yield gap (t.ha ⁻¹)	عملکرد نسبی RY%	تعداد ایستگاه Stations numbers
پروتکل گیگا GYGA protocol	20	52	32	38	2
روش درون‌یابی Interpolation method	22	42	20	52	23
مشاهداتی Observation	22	55	33	40	-

برای برآورد خلأ عملکرد در سطح ملی طراحی شده است که با کمترین اطلاعات مورد نیاز بتواند در سطح وسیع عملکرد پتانسیل، تولید و خلأ عملکرد را محاسبه نماید، یکی از مزایای گیگا این است که نتایج به‌دست آمده در هر نقطه از جهان قابل مقایسه با سایر نقاط و مناطق کشت آن محصول خاص می‌باشد. براساس مقایسه صورت گرفته در این تحقیق نتیجه‌گیری شد که از روش اطلس جهانی برای برآورد خلأ عملکرد کشور استفاده گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که دو روش درون‌یابی و اطلس جهانی (GYGA) هر دو برآورد نسبتاً دقیقی از مقدار تولید واقعی، پتانسیل تولید و خلأ عملکرد و تولید داشتند با این تفاوت که در روش درون‌یابی با استفاده از آمار و اطلاعات ۲۳ ایستگاه هواشناسی این مقادیر برآورد شدند، ولی در روش اطلس جهانی تنها با دو ایستگاه هاشم‌آباد و اداره گرگان که در مناطق کشت سیب‌زمینی قرار داشتند، این مقادیر به‌دست آمدند. همان‌گونه که پیش‌تر نیز اشاره شد، روش گیگا روشی است که

References

- Aboutalebian, M.A., and Mazaheri, D., 2011. The combined effect of soil cover on weed control and yield of potato yield. *Iranian Journal of Field Crop Science* 43: 255-264. (In Persian with English Summary)
- Ahmadi Alipour, H., Soltani, A., Kazemi, H., and Nehbandani, A.R., 2018. Zoning Golestan province in terms of the ability and the wheat production gap using a simulation model (SSM). *Journal of Agricultural Crops Production* 20(1): 129-145. (In Persian with English Summary)
- Ahmadvand, G., and Haji-Nia, S., 2015. Effect of cover plant and different tillage systems on physical properties of soil and yield of potato. *Electronic Journal of Crop Production* 8: 163-182. (In Persian with English Summary)
- Amini, R.A., Daba-Khonmohamadi-Nasab, A., and Ghorbani-Far, S., 2015. Use of physical, agronomic and chemical methods in the management of potato weed. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 25(4): 105-118. (In Persian with English Summary)
- Baghani, j., Alizadeh, A., and Farid-hosseini, A., 2012. The effect of surface and subsurface drip irrigation on quantity and quality potato. *Iranian Journal of Irrigation Draining* 3(6): 238-244. (In Persian)
- Bagheri, H.R., 2016. Agro-ecological zonation and vacuum analysis of potato yield using the SUBSTOR-Potato simulation model and GIS in Chaharmahal va Bakhtiari province, Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Ramin Khuzestan. Iran. (In Persian)

- Bagheri, H.R., Gharineh, M.H., Bakhshandeh, A.M., Taei, J., Mehnatkesh, A.M., and Andarzayan, B., 2016. Effect of water stress and different levels of nitrogen fertilizer on yield and yield components and potato (*Solanum tuberosum* L.) water use efficiency. *Journal of Environmental Stresses in Agricultural Sciences* 9(1): 1-14. (In Persian)
- Batjes, N.H., 2000. Global Soil Profile Data (ISRIC-WISE). ORNL DAAC.
- Bommarco, R., Kleijn, D., and Potts, S.G., 2013. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology and Evolution* 28: 230-238.
- Cassman, K.G., Grassini, P., and van Wart, J., 2010. Crop Yield Potential, Yield Trends, and Global Food Security in a Changing Climate. *Handbook of Climate Change and Agroecosystems*. Imperial College Press, London. p. 37-51.
- Food and Agriculture Organization (FAO), 2014. The FAOSTAT Database. Available at <http://faostat.fao.org/default.aspx> (verified 5 September 2014).
- Gobbett, D.L., Hochman, Z., Horan, H., Garcia, J.N., Grassini, P., and Cassman, K.G., 2017. Yield gap analysis of rainfed wheat demonstrates local to global relevance. *The Journal of Agricultural Science* 155: 282-299.
- Haghighati, B., BromandNasab, S., and Naseri, A., 2016. Effect of deficit irrigation and partial root-zone drying on yield and water use efficiency of two potato cultivars. *Journal of Water Soil* 30(3): 717-729. (In Persian with English Summary)
- Hajjarpoor, A., Soltani, A., and Torabi, B., 2016. Using boundary line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan. *Electronic Electronic Journal of Crop Production* 8: 183-201. (In Persian with English abstract)
- Hochman, Z., Gobbett, D., Horan, H., and Garcia, J.N., 2016. Data rich yield gap analysis of wheat in Australia. *Field Crops Research* 197: 97-106.
- Hossein-Panahi, F., Koocheki, A., Nassiri, M., and Ghorbani, R., 2009. Evaluation of yield and yield component in potato/corn intercropping. *Iranian Journal of Field Crop Research* 7(1): 23-30. (In Persian with English Summary)
- Jalali, A.H., and Salehi, F., 2015. The effect of nitrogen application and its split on yield, dry matter percentage and potato harvest index of Marfona cultivar. *Journal of Crop Production and Processing* 15: 83-91. (In Persian with English Summary)
- Jalali, A.H., and Jafari, P., 2018. Calculating yield gap and increasing water productivity in potato. In: 7th National Conference on New Idea in Agriculture (Healthy Production). 6 March. Islamic Azad University of Khorasgan Branch. Esfahan. Iran. (In Persian)
- Jam, E., Ebadi, A., Amini, I., and Dehdar, B., 2015. Effect of planting density and seed-mini tuber size on some quantitative and qualitative traits of potato. *Agronomy Journal* 81: 20-29. (In Persian with English Summary)
- Kazemi, H., 2017. Application of Geographic Information System (GIS) in Crop Sciences. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian with English Summary)
- Kiniry, J.R., Williams, J.R., Gassman, P.W., and Debaeke, P., 1992. A general, process-oriented model for two competing plant species. *Transactions of the ASAE* 35: 801-810.
- Lobell, D.B., Cassman, K.G., and Field, C.B., 2009. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources* 34: 179-204.
- Madani, H., Moghimi, A., and Sajedi, N.A., 2010. Effect of different levels of zeolite and irrigation interval on yield and some potato traits. *New Finding in Agriculture* 3: 281-290. (In Persian)
- Mamnoei, E., Karaminezhad, M.R., Rashed Mohasel, M.H., Shimi, P., and Aein, A., 2016. Evaluation of some herbicides on potato weed control in Jiroft and Karaj. *Journal of Plant Protection* 30(3): 368-378. (In Persian with English Summary)
- Masoudi, F., Zardashti, M.R., Abdollahi M., oulakani, B., Rasoli Sadghiani, M.H., and Nazarli. H., 2010. Effect of irrigation intervals on yield and plant characteristics of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science* 12(3): 265-278. (In Persian with English Summary)
- Meghdadi, N., Soltani, A., Kamkar B., and Hajarpoor, A., 2014. Agroecological zoning of Zanjan province for estimating yield potential and yield gap in dryland-base chickpea production systems. *Journal Plant Production Research* 21: 27-49. (In Persian with English Summary)
- Naderi, M., Shayannejad, M., Haidari, S., and Haghighati, B., 2016. Effect of different levels of irrigation water on quantitative and qualitative characteristics of potato and determination of its optimum consumptive use of water in Shahr-e-Kord. *Journal of Water and Soil* 30(5): 1370-1381. (In Persian Persian with English Summary)
- Nasrollahzadeh-Asl, A., and Sedaqat, G., 2015. Effects of planting depth and irrigation disruption on yield and yield components in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Crop Science and Research in Arid Regions* 2(1): 31-42.

- (In Persian)
- Nehbandani, A.R., 2018. Yield gap analysis of soybean in Iran, Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. (In Persian with English Summary)
- Nehbandani, A.R., Soltani, A., Zeinali, E., Hoseini, F., Shahhoseini, A., and Mehmandoei, M., 2017. Soybean (*Glycine max* L. Merr.) yield gap analysis using boundary line method in Gorgan and Aliabad Katul. *Journal of Agroecology* 9: 760-776. (In Persian with English Summary)
- Nikzad, M., Taei, J., Azamisardoei, Z.A., and Amiri, E., 2015. Agro-ecological zonation of potato using GIS and WOFOST simulation model in Jiroft city. MSc. Thesis, Faculty of Agriculture, Jiroft University, Kerman, Iran. (In Persian with English Summary)
- Parvizi, K., 2008. Evaluation of quantitative and qualitative traits of late and early ripening advanced potato cultivars. *Agronomy Journal* 79: 80-90. (In Persian with English Summary)
- Ranjbar, M., Nasresfahani, M., and Mirzakhani, M., 2013. The study of growth indices of commercial and conventional potato cultivars in Esfahan region. *Iranian Journal of Dynamic in Agriculture* 1(4): 295-304. (In Persian)
- Rostami-Ajrloo, A., Mohamadi, G., and Shaban, M., 2012. Effect of nitrogen biofertilizers with urea fertilizer on some quantitative and qualitative traits of potato var. Marphona. *Electronic Journal of Crop Production* 5(3): 131-144. (In Persian with English Summary)
- Sabbah, A., and Ghaffari-Nejad, S.A., 2008. Determination of the best water level as trickle, irrigation and method of tape replacement on potato yield in Jiroft area. *Agronomy Journal* 79: 194-199. (In Persian with English Summary)
- Soltani, A., Khooei, F.R., Ghassemi-Golezani, K., Rahimzadeh-Khooei, F., and Moghaddam, M., 1999. A simple model for chickpea growth and yield. *Field Crops Research* 6: 213-224.
- Soltani, A., Galeshi, S., and Zeinali, E., 2000. Analysis of limitations contained in wheat production in Golestan province (Research Report). Management and Planning Organization of Golestan province, Golestan, Iran. (In Persian).
- Sinclair, T.R., 2006. A reminder of the limitations in using Beer's law to estimate daily radiation interception by vegetation. *Crop science* 46: 2343-2347.
- Soltani, A., Torabi, B., Galeshi, S., and Zeinali, E., 2009. Analyzing wheat yield constraints in Gorgan with Comparative Performance Analysis (CPA) method. (Research Report). Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. 65 p. (In Persian with English abstract)
- Soltani, A., and Sinclair, T.R., 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crops Research* 124: 252-260.
- Soltani, A., Maddah, V., and Sinclair, T.R., 2013. SSM-Wheat: A simulation model for wheat development, growth and yield. *International Journal of Plant Production* 7: 711-740.
- Soltani, A., Hajjarpour, A. and 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., and Zeinali, E., 2011. Assessment of yield gap due to nitrogen management in wheat. *Australian Journal of Crop Science* 5: 879.
- Van Bussel, L.G., Grassini, P., Van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., and 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., and Hochman, Z., 2013. Yield gap analysis with local to global relevance-A review. *Field Crops Research* 143: 4-17.
- Van Wart, J., Van Bussel, L.G., Wolf, J., Licker, R., Grassini, P., Nelson, A., and van Ittersum, M.K., 2013. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. *Field Crops Research* 143: 44-55.
- Van Ittersum, M.K., and Cassman, K.G., 2013. Yield gap analysis-Rationale, methods and applications-Introduction to the Special Issue. *Field Crops Research* 3: 143:1-3.
- Wang, N., Jassogne, L., Van Asten, P.J., Mukasa, D., Wanyama, I., Kagezi, G., and Giller, K.E., 2015. Evaluating coffee yield gaps and important biotic, abiotic, and management factors limiting coffee production in Uganda. *European Journal of Agronomy* 63: 1-11.
- Williamson, R.B. 1993. *Urban Runoff Data Book: A Manual for the Preliminary Evaluation of Urban Stormwater Impacts on Water Quality*. Water Quality Centre, Ecosystems Division, National Institute of Water and Atmospheric Research.
- Yazdandoust-amedani, M., 2003. A study of the effect of nitrogen rates on yield, yield components and nitrate

accumulation in potato varieties. Iranian Journal of Field Crop Science 34: 977-985. (In Persian with English Summary)

Zu, Q., Mi, C., Li Liu, D., He, L., Kuang, Z., Fang, Q., and Li, J., 2018. Spatio-temporal distribution of sugarcane potential yields and yield gaps in Southern China. European Journal of Agronomy 92: 72-83.



Determination of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Yield Gap in Golestan Province

A. Dadrasi¹ B. Torabi^{2*}, A. Rahimi³, A. Soltani⁴ and E. Zeinali²

Submitted: 21-11-2018

Accepted: 16-04-2019

Dadrasi, A., Torabi, B., Rahimi, A., Soltani, A., and Zeinali, E., 2021. Determination of Potato (*Solanum tuberosum* L.) yield gap in Golestan Province. Journal of Agroecology 12(4):613-633.

Introduction

Potato (*Solanum tuberosum* L.) accounts for the largest share in production of food products after wheat, rice and corn, which plays an important role in the nutrition and food basket of the world. Currently, the issue of food security and supplying is very important in different parts of the world and thus prediction of its demand that is increasing. Also, growing population will intensify this issue too. A key strategy to overcome the nutritional challenge of the growing population of the world is eliminating the gap between the current achievement in farms and the yield which can be achieved by using the best cultivars compatible with the environment and the best water, soil and plant management methods.

Materials and Methods

In this study, potential yield of potato was estimated using the SSM-iCrop2. then the production and yield gap of potato were investigated with two methods of Global Yield Gap Atlas (GYGA) and Arc GIS software by interpolation method for Golestan province. For this aim, the information of potato cultivation management in the province level and the daily data of 23 synoptic weather station as well as their soil data were used. Meanwhile, potential yield gap analysis protocol (GYGA protocol) was used to identify the main weather stations named reference weather stations (RWSs) and climates where potato is planted in Golestan province. Potential yield of potato was estimated within the area covered by each RWS, and then scaled up to the province level. In order to implement the interpolation method in ArcGIS software, initially, potential yield of 23 stations in the Golestan province was estimated. Afterwards, the potential and actual yield in the whole province was estimated using Kriging and IDW methods, respectively.

Results and Discussions

According to the Agricultural Jihad Report, the actual yield of Golestan province (a ten-year average) was reported as 22 t.ha⁻¹, while the actual yield calculated based on the interpolation method was estimated equal to 22 t.ha⁻¹. However, the actual yield calculated using the global yield gap atlas (GYGA) method was estimated as 20 t.ha⁻¹. High yield of potato in the province was reported by farmers up to 55 tons, which was considered as potential in the province to be compared with GYGA and interpolation methods, so that in the GYGA method, 52 t.ha⁻¹ and in the interpolation method, finding was 42 t.ha⁻¹. yield gap and relative yield in the GYGA method (33 t.ha⁻¹ and 38 percent), and interpolation (20 t.ha⁻¹ and 52 percent) were obtained. Also, in GYGA method, the

1- Ph.D. Graduated, Department of Genetic and Plant Production, Faculty of Agricultural Sciences, Vali-e-Asr University of Rafsanajn, Rafsanjan, Iran.

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

3- Associate Professor Department of Genetic and Plant Production, Faculty of Agricultural Sciences, Vali-e-Asr University of Rafsanajn, Rafsanjan, Iran.

4- Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran.

(*- Corresponding Author Email: ben_torabi@yahoo.com)

Doi:10.22067/jag.v12i4.76734

values were estimated using only two stations, but in the interpolation method the province's yield was estimated using 23 stations and daily meteorological data. The GYGA protocol is a bottom-up approach used by Hochman et al. (2016) to assess the variation of national yield from climatic zoning to analyze similar agro-cluster groups. So far, several studies have been done using this protocol. Gobbett et al. (2017) showed that wheat lands in Australia are located in six key climatic regions. They selected 22 reference stations in this area and calculated the limited water potential yield using the APSIM model (for the years of 1996 to 2010).

Conclusion

The results showed that both Global yield gap Atlas (GYGA) and interpolation method had accurate estimation of actual and potential production and yield, but those values obtained using statistics and 23 weather stations in the interpolation method, and using just 2 weather station (Hashemabad and Gorgan stations) in the Global Atlas method. As previously mentioned, the GYGA method is designed to estimate the yield gap at the national level, which can calculate the potential yield, production, and yield gap in a wide range even with the least amount of information. One of the advantages of GYGA protocol is that the results obtained at any point in the world are comparable to other areas and cultivations of that particular product. Based on the comparison made in this study, it was concluded that the Global yield gap Atlas method should be used to estimate the yield of the country.

Keywords: Food Security, Geographic Information System (GIS), Potential yield