



مدلسازی پتانسیل و خلأ عملکرد گندم آبی در ایران

محبوبه زاهد^{۱*}، افشین سلطانی^۲، ابراهیم زینلی^۳، بنیامین ترابی^۴،

اسکندر زند^۵، سید مجید عالیمقام^۱

^۱دانشجوی سابق دکترا، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۲استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۳دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۴استادیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۵استاد، بخش تحقیقات گیاهپزشکی کشور، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۶

چکیده

سابقه و هدف: گندم نقش پر اهمیتی در الگوی غذایی بیشتر مردم جهان و ایران دارد. به طوری که، مصرف گندم در حدود ۴۰ درصد از انرژی و پروتئین مردم ایران را تشکیل می‌دهد. رفع خلأ عملکرد می‌تواند نقش پررنگی در افزایش تولید این محصول داشته باشد. اولین گام برای رفع خلأ عملکرد، آگاهی از میزان کمی خلأ در یک منطقه می‌باشد. تاکنون خلأ عملکرد گندم آبی برای کل کشور توسط یک پروتکل استاندارد جهانی ارزیابی نشده است. بنابراین هدف از این مطالعه استفاده از پروتکل ارائه شده در پروژه اطلس جهانی خلأ عملکرد (پروتکل گیگا) برای محاسبه خلأ عملکرد گندم آبی برای کل ایران است.

مواد و روش‌ها: پروتکل گیگا، روشی را برای تعیین خلأ عملکرد در سطح وسیع پیشنهاد می‌دهد که برای این منظور، ابتدا بر اساس این پروتکل، محدوده تحت پوشش ایستگاه‌های هواشناسی تعیین شد. در مرحله بعد، ایستگاه‌های مهم پوشش دهنده اراضی گندم آبی در ایران شناسایی شد که شامل ۲۹ ایستگاه هواشناسی بود. سپس بر مبنای پروتکل و با استفاده از مدل شبیه‌سازی گیاهی SSM-iCrop2-wheat، مقدار پتانسیل عملکرد گندم آبی در محدوده هر ایستگاه و سپس در سطح کشور از طریق شبیه سازی برآورد شد. همچنین مقدار عملکرد واقعی نیز با روش پروتکل گیگا در سطح محدوده ایستگاه‌های هواشناسی و سپس در سطح کل کشور محاسبه شد. در نهایت از اختلاف عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی مقدار خلأ عملکرد برای سطح محدوده ایستگاه و کل سطح کشور به دست آمد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج بدست آمده، در ایران برای دوره زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ (سال برداشت) مقدار متوسط عملکرد واقعی گندم آبی در حدود ۳/۴ تن در هکتار، عملکرد پتانسیل ۸/۸ تن و مقدار خلأ عملکرد ۵/۴ تن در هکتار (۶۲ درصد) بود. در حال حاضر، با توجه به ارقام گندم آبی موجود و شرایط محیطی حاکم بر کشور، کشاورزان فقط به ۳۸ درصد از عملکرد پتانسیل گندم آبی دست یافته‌اند. نتایج حاکی از آن بود که مقدار خلأ عملکرد با نوع اقلیم مناطق تولید گندم آبی در کشور، رابطه معنی‌داری نداشت و در همه مناطق کشور، مقدار خلأ عملکرد در حدود ۶۲ درصد بود. در صورتی که کشاورزان در ایران با اعمال مدیریت زراعی مناسب در مزارع گندم آبی، بتوانند به ۸۰ درصد از عملکرد پتانسیل دست یابند، عملکرد این محصول به ۷ تن در هکتار خواهد رسید. با احتساب وجود ۲/۲ میلیون هکتار اراضی گندم آبی و در صورت دسترسی به عملکرد قابل حصول، مقدار تولید گندم در اراضی آبی از ۷/۵ میلیون تن کنونی به ۱۹/۸ میلیون تن خواهد رسید.

*نویسنده مسئول: mahboube.zahed@gmail.com

نتیجه‌گیری: با توجه به ارقام گندم موجود و اقلیم موجود در مناطق تولید گندم آبی در ایران، مقدار قابل توجهی خلأ عملکرد برای گندم آبی در ایران وجود دارد. با توجه به این که محیط و ارقام موجود اجازه دسترسی به عملکرد پتانسیل ۸/۸ تن در هکتار را می‌دهند، پایین بودن مقدار عملکرد واقعی گندم آبی در ایران را می‌توان به نحوه مدیریت زراعی برای تولید این محصول ارتباط داد. از عوامل کاهش‌دهنده عملکرد در کشور می‌توان به مواردی مانند نحوه آماده سازی بستر کاشت، تاریخ کاشت، مدیریت علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها، عناصر غذایی، زمان و مقدار کوددهی، زمان و مقدار آبیاری و ... اشاره کرد که این موارد با مدیریت بهتر، قابل برطرف کردن می‌باشند. برای رفع خلأ عملکرد لازم است تا در سطح منطقه‌ای عوامل اصلی ایجاد خلأ شناسایی و با اعمال مدیریت مناسب در جهت برطرف کردن این مشکلات اقدام کرد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل عملکرد، پروتکل گیگا، گندم، مدل SSM

مقدمه

مصرف گندم در حدود ۴۰ درصد از انرژی غذایی روزانه مردم ایران را تشکیل می‌دهد (۸). بر اساس این تقاضا، سالیانه در حدود ۶/۳ میلیون هکتار (متوسط ۱۵ سال اخیر، حدود ۶۰ درصد) از اراضی کشاورزی در کشور زیر کشت گندم می‌رود (۲۱). با توجه به مشکلات کم آبی و افزایش جمعیت، افزایش تولید از طریق افزایش سطح زیر کشت گندم در کشور امکان‌پذیر نیست. بنابراین برای افزایش تولید باید مقدار تولید در واحد سطح افزایش یابد. رفع خلأ عملکرد می‌تواند راهکار ارزشمندی در جهت افزایش عملکرد در واحد سطح باشد (۱۰، ۲۴). در یک منطقه مشخص خلأ عملکرد عبارت است از اختلاف بین پتانسیل عملکرد با عملکرد واقعی بدست آمده در مزارع کشاورزان آن منطقه می‌باشد (۳۷). اولین قدم برای کاهش خلأ عملکرد محاسبه مقدار پتانسیل عملکرد می‌باشد. در شرایط آبی پتانسیل عملکرد عبارت است از عملکرد یک رقم زراعی سازگار با محیط در شرایط عدم محدودیت آب، عناصر غذایی، خسارت علف هرز، آفات و بیماری. کمی‌سازی خلأ عملکرد و تعیین نقشه پراکنش نحوه توزیع آن در سطح کشور به عنوان نخستین گام جهت رفع خلأ عملکرد می‌باشد (۱۵). تعیین مقدار خلأ عملکرد در سطح وسیع مستلزم به کارگیری روش مناسب برای

محاسبه عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی می‌باشد. وان ایترسام و همکاران (۲۰۱۳) برای ترسیم اطلس خلأ عملکرد محصولات مهم زراعی در سطح جهان، پروتکل گیگا (GYGA)^۱ را برای محاسبه خلأ عملکرد پیشنهاد و برای محصولات عمده زراعی مورد استفاده قرار دادند (۳۹). در این پروتکل، عملکرد پتانسیل با به کارگیری یک مدل شبیه‌سازی مناسب برای منطقه مورد نظر، تخمین زده می‌شود (۱۱). برای محاسبه خلأ عملکرد برنج در امریکا (۷)، ذرت در چین (۱۸)، ذرت در امریکا، آرژانتین و کنیا (۱۲)، ذرت، گندم و سویا در آرژانتین (۲۰) از پروتکل گیگا استفاده شده است. تاکنون در ایران از پروتکل گیگا فقط برای محاسبه خلأ عملکرد سویا استفاده شده است (۲۶). در کشور مطالعاتی برای محاسبه خلأ عملکرد محصولات مختلف در سطح منطقه‌ای انجام شده است (برای گندم آبی در بندرگز (۲۷)؛ برای گندم آبی در گرگان (۳۶)؛ برای گندم در استان گلستان (۱، ۱۴)؛ برای نخود دیم در زنجان (۱۹))، ولی تاکنون مطالعه خلأ عملکرد گندم آبی برای کل سطح کشور به کمک یک روش استاندارد جهانی انجام نشده است. بنابراین هدف از این مطالعه، استفاده از پروتکل جهانی گیگا برای محاسبه عملکرد

محاسبه می‌شد. برای این کار از مدل شبیه‌سازی گیاهی SSM-iCrop2-wheat برای دوره زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ استفاده شد. این مدل، ساده شده مدل SSM-Wheat می‌باشد (۳۴ و ۳۵). وجه تمایز این مدل نسبت به سایر مدل‌های موجود، بومی بودن آن می‌باشد که در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان طراحی و ساخته شده است. در این مدل مقدار عملکرد پتانسیل بر مبنای داده‌های هواشناسی، شرایط خاک، نحوه مدیریت (مانند آبیاری) و پارامترهای گیاهی محاسبه می‌شود.

این 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. لازم به ذکر است که این مدل اثر آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز را بر روی گیاه در نظر نمی‌گیرد. برای استفاده از مدل SSM-iCrop2-wheat جهت شبیه‌سازی پتانسیل عملکرد، به اطلاعات گیاهی (رقم)، اطلاعات هواشناسی، اطلاعات خاک و اطلاعات مدیریتی تولید گندم آبی در محدوده هر ایستگاه نیاز می‌باشد. داده‌های هواشناسی برای ایستگاه‌های مرجع از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. شبیه‌سازی برای دوره زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ انجام شد. برای تهیه فرمت نهایی داده‌ها برای استفاده در مدل و پر کردن داده‌های گمشده در دوره مد نظر، از نرم‌افزار WeatherMan استفاده شد. این نرم افزار به عنوان یک افزونه بر روی مدل DSSAT می‌باشد (www.dssat.net). اطلاعات خاک از نقشه خاک تهیه شده در مؤسسه IFPIR^۲ موسوم به پروژه نقشه خاک HC27^۳ استخراج شد (۱۷).

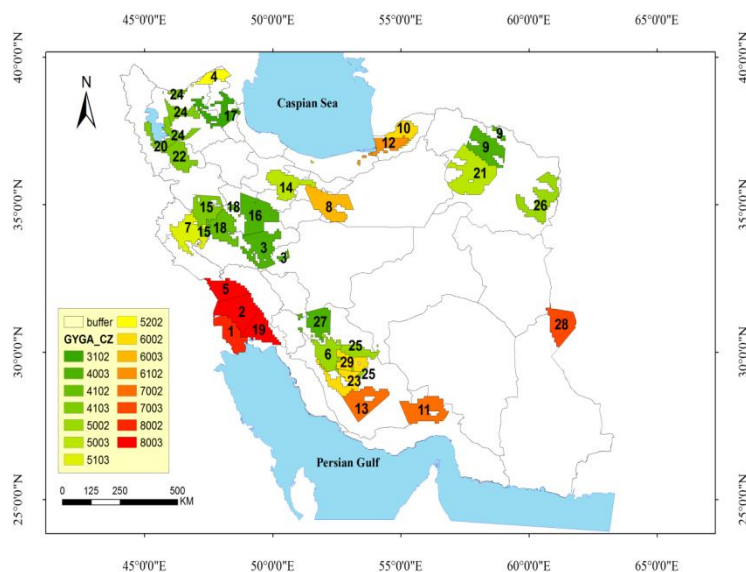
پتانسیل و خلأ عملکرد گندم آبی در سطح کل کشور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای محاسبه عملکرد پتانسیل و خلأ عملکرد از پروتکل گیگا استفاده شد. جزییات این پروتکل توسط گراسینی و همکاران (۲۰۱۵) و وان باسل و همکاران (۲۰۱۵) و در سایت گیگا (www.yieldgap.org) به صورت کامل توضیح داده شده است (۱۲ و ۳۸). بر اساس پروتکل گیگا ابتدا نقشه پهنه‌های اقلیمی برای کشور تهیه شد. این نقشه در پروژه گیگا برای کل جهان تهیه شده و بر روی سایت آن قابل دسترس است (www.yieldgap.org). سپس نقاط ایستگاه‌های هم‌دیدگی کشور در فضای ArcGIS ۱۰,۳ بر روی نقشه پهنه‌بندی اقلیمی انداخته و محدوده تحت پوشش هر ایستگاه به روش توضیح داده شده توسط وان باسل و همکاران (۲۰۱۵) تعیین شد (۳۸). در مرحله بعد با استفاده از نقشه پراکنش اراضی گندم آبی در کشور و نقشه‌ای که محدوده ایستگاه‌های هواشناسی در آن تعیین شد (شکل ۱)، در فضای ArcGIS ۱۰,۳ مقدار پوشش اراضی گندم آبی در محدوده تعیین شده برای هر یک از ایستگاه‌های هواشناسی به دست آمد. ایستگاه‌های هواشناسی که بیش از ۱ درصد از اراضی گندم آبی کشور را تحت پوشش قرار دادند به عنوان ایستگاه مرجع^۱ شناسایی شدند. از ۲۲۸ ایستگاه هواشناسی، ۲۹ ایستگاه هواشناسی به عنوان ایستگاه مرجع برای گندم آبی در کشور تعیین شدند که اطلاعات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. پس از تعیین ایستگاه‌های مرجع، باید عملکرد پتانسیل گندم آبی در هر یک از ایستگاه‌های مرجع به کمک مدل شبیه‌سازی گیاهی

2. International Food Policy Research Institute
3. Harvest Choice Generic/Prototypical Soil Profiles

1. Reference Weather Stations (RWSs)



شکل ۱- مناطق اقلیمی اصلی کشت گندم آبی در ایران. شماره‌ها نشان‌دهنده ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشند که در جدول ۱ آورده شد.

Figure 1- Main climate zones over irrigated wheat cultivated areas in Iran. Numbers are reference weather stations as described in Table 1.

محدوده هر یک از ایستگاه‌های مرجع، ابتدا اطلاعات تاریخ کاشت متداول برای هر منطقه به تفکیک جمع‌آوری شد. سپس به کمک این اطلاعات الگوریتمی در مدل تعریف شد تا به صورت خودکار تاریخ کاشت برای هر منطقه تعیین شود. بر اساس این الگوریتم، شبیه‌سازی برای جستجوی تاریخ کاشت برای گندم آبی از ۲۳۴ امین روز از سال میلادی (مطابق با یک شهریور) آغاز شد. پس از ۲۳۴ امین روز از سال میلادی، اولین دوره پنج روزه بدون بارندگی با متوسط دمای زیر ۱۵ درجه سانتی‌گراد پیدا شد. در نهایت، روز پنجم دوره به عنوان تاریخ کاشت در نظر گرفته شد. لازم به توضیح است که برای ایستگاه‌های حاجی‌آباد هرمزگان، جهرم، زابل، آبادان، اهواز، دزفول و امیدیه، متوسط دمای دوره پنج روزه باید به زیر ۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌رسید. در جدول (۲) برخی از پارامترهای گیاهی مورد نیاز در مدل SSM-iCrop2-wheat ارائه شده است.

نقشه خاک بر روی نقشه محدوده تحت پوشش ایستگاه‌های مرجع در فضای ۱۰،۳ ArcGIS انداخته شد و نوع خاک موجود در محدوده هر ایستگاه مرجع مشخص شد. در محدوده تحت پوشش هر ایستگاه مرجع خاکی که بیش از ۵۰ درصد از سطح خاک در آن محدوده را پوشش می‌داد به عنوان خاک کل محدوده تحت پوشش ایستگاه مرجع در نظر گرفته شد. در صورتی که هیچ یک از خاک‌ها بیش از ۵۰ درصد از سطح تحت پوشش ایستگاه مرجع را به خود اختصاص ندادند، تمامی خاک‌هایی که بیش از ۱۰ درصد از سطح اراضی تحت پوشش ایستگاه مرجع شامل می‌شدند، به عنوان خاک‌های غالب در محدوده پوشش آن ایستگاه مرجع در نظر گرفته شدند (۳۸). شبیه‌سازی در شرایط تشعشع محدود و عدم محدودیت آب و عناصر غذایی برای خاک‌های غالب در محدوده هر ایستگاه انجام شد. بنابراین، تاریخ کاشت، تنها اطلاعات مدیریتی مورد نیاز برای شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل توسط مدل SSM-iCrop2-wheat بود. برای تعیین تاریخ کاشت در

جدول ۱- ایستگاه‌های هواشناسی انتخاب شده و اطلاعات مورد نیاز آن‌ها برای گندم آبی در ایران

Table 1- Selected reference weather stations and their information for irrigated wheat in Iran

NO.	کد اقلیم DCZ	ایستگاه هواشناسی Stations in Dez	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع (متر) Elevation (m)	کد خاک (درصد اراضی) Soil code (Harvest area %)	سطح زیر کشت در بافر (هکتار) Area in buffer (%)
1	8002	آبادان (Abadan)	30.38	48.22	7	17 (54%)	30124 (1.3%)
2	8003	اهواز (Ahwaz)	31.25	48.55	22.5	17 (45%);8 (40%)	147983 (6.6%)
3	4003	الیگودرز (Aligoodarz)	33.40	49.70	2022	17 (44%);14 (33%);12 (15%)	44219 (2%)
4	5202	بيله سوار (Bilesowar)	39.36	48.31	101	5 (86%)	32508 (1.5%)
5	8003	دزفول (Dezful)	32.25	48.43	82.9	17 (54%)	115119 (5.1%)
6	5002	درودزن (Dorodzan)	30.21	52.42	1642	14 (51%)	28192 (1.3%)
7	5103	اسلام آباد غرب (Eslamabadegharb)	34.12	46.47	1348.8	12 (41%);5 (40%)	46852 (2.1%)
8	6003	گرمسار (Garmsar)	35.24	52.36	900	5(82%)	34404 (1.5%)
9	4003	قوچان (Ghoochan)	37.07	58.50	1287	5 (71%)	26491 (1.2%)
10	6002	گنبد (Gonbad)	37.27	55.21	37	5 (36%);8 (44%)	27078 (1.2%)
11	7002	حاجی آباد (Hajiabadhormozgan)	28.31	55.91	931	5 (135%)	27669 (1.2%)
12	6102	هاشم آباد (Hashemabad)	36.85	54.26	13	5 (35%);8 (27%);14 (26%);2 (11%)	95397 (4.3%)
13	7002	جهرم (Jahrom)	28.48	53.53	1082	5 (61%)	34699 (1.6%)
14	5003	کرج (Karaj)	35.81	50.95	1292.9	17 (45%);5 (45%)	47945 (2.1%)
15	4103	کرمانشاه (Kermanshah)	34.35	47.15	1319	12 (39%);5 (25%);14 (20%);17 (16%)	47415 (2.1%)
16	4003	کمیجان (Komijan)	34.70	49.32	1741	5 (57%)	46422 (2.1%)
17	3102	مشکین شهر (Meshkinshahr)	38.38	47.67	1568.5	14 (54%)	34998 (1.6%)
18	4102	نهادند (Nahavand)	34.15	48.42	1681	5 (36%);17 (34%);12 (27%)	51077 (2.3%)
19	8003	امیدیه (Omidiyeh)	30.77	49.65	34.9	8 (46%);17 (36%);5 (19%)	56518 (2.5%)
20	4103	ارومیه (Oromiyeh)	37.66	45.06	1328	2 (38%);5 (34%);16 (16%)	29414 (1.3%)
21	5003	سبزوار (Sabsevar)	36.21	57.65	962	5 (73%)	44624 (2%)
22	4103	سقز (Saghez)	36.22	46.31	1522.8	14 (40%);5 (26%);2 (18%);12 (16%)	23481 (1.1%)
23	6002	شیراز (Shiraz)	29.56	52.60	1488	5 (83%)	33182 (1.5%)
24	4103	تبریز (Tabriz)	38.08	46.28	1361	5 (56%)	20235 (0.9%)
25	5002	تخت جمشید (Takhtejamsheid)	29.92	52.85	1605	14 (64%)	23794 (1.1%)
26	5002	تربت جام (Torbatejam)	35.29	60.56	950	17 (80%)	26499 (1.2%)
27	4003	یاسوج (Yasouj)	30.70	51.56	1816	14 (55%)	22691 (1%)
28	7003	زابل (Zabol)	31.09	61.54	489	17 (52%)	49020 (2.2%)
29	6002	زرقان (Zarghan)	29.78	52.70	1596	5 (70%)	36583 (1.6%)
مجموع (Sum)	-	29	-	-	-	-	1284633(57.27%)

جدول ۲- برخی از پارامترهای مورد استفاده در مدل SSM-iCrop2-wheat برای گندم آبی در کشور

Table 2- SSM- iCrop2- wheat parameters estimates for irrigated wheat in Iran

پارامتر Parameter	مخفف Abv.	مقدار Value
دمای پایه برای نمو (درجه سانتی گراد) Base temperature for development (°C)	TBD	0
دمای مطلوب تحتانی برای نمو (درجه سانتی گراد) Lower optimum temperature for development (°C)	TP1D	25
دمای مطلوب فوقانی برای نمو (درجه سانتی گراد) Upper optimum temperature for development (°C)	TP2D	28
دمای سقف برای نمو (درجه سانتی گراد) Ceiling temperature for development (°C)	TCD	40
واحد حرارتی از کاشت تا سبز شدن (درجه سانتی گراد روز) Temperature unit from sowing to emergence (°C)	tuEMR	132
واحد حرارتی از شروع رشد دانه (درجه سانتیگراد روز) Temperature unit from sowing to beginning seed growth(°C)	tuBSG	1620
واحد حرارتی از کاشت تا پایان موثر پر شدن دانه (درجه سانتیگراد روز) Temperature unit from sowing to termination seed growth(°C)	tuTSG	2172
واحد حرارتی از کاشت تا رسیدگی برداشت (درجه سانتیگراد روز) Temperature unit from sowing to maturity(°C)	tuHAR	2400
شاخص سطح برگ حداکثر Maximum leaf area index	LAIMX	6.5
ضریب خاموشی برای تشعشع فعال فتوسنتزی Coefficient for photosynthetically active radiation extinction	KPAR	0.65
کارایی استفاده از تشعشع در شرایط مطلوب رشد Radiation use efficiency under optimal growth conditions	IRUE	2.2
حداکثر شاخص برداشت Harvest index Maximum	HImax	0.5
حداقل شاخص برداشت Harvest index Minimum	HImin	0.25
عمق ریشه در موقع سبز شدن (میلیمتر) Depth of root at emergence (mm)	iDEPORT	200
حداکثر عمق موثر استخراج آب از خاک توسط ریشه (میلیمتر) Maximum effective depth of water extraction from soil by roots (mm)	MEED	1000
ضریب کارایی تعرق Transpiration efficiency coefficient	TEC	5.8

ایستگاه‌های مرجع به روش واسنجی پیدا شد. برای این کار، ابتدا اطلاعات عملکرد، مراحل فنولوژیک اندازه‌گیری شده در آزمایشات از مقالات کار شده بر روی گندم در مناطق مختلف کشور، گردآوری شد. سپس، بر اساس اطلاعات موجود در مقالات برای هر منطقه و سال‌های آزمایشات در مقالات، شبیه‌سازی انجام شد.

بسیاری از پارامترهای گیاهی مانند دماهای کاردینال، کارایی استفاده از تشعشع، ضریب خاموشی، عمق موثر ریشه، ضریب کارایی تعرق و... برای ارقام مختلف اختلاف چندانی نداشتند. مقادیر این پارامترها از منابع استخراج شدند (۳۳، ۳۴ و ۳۵). مقدار شاخص سطح برگ حداکثر و مقدار درجه روز رشد جمععی برای مراحل مختلف فنولوژیکی در

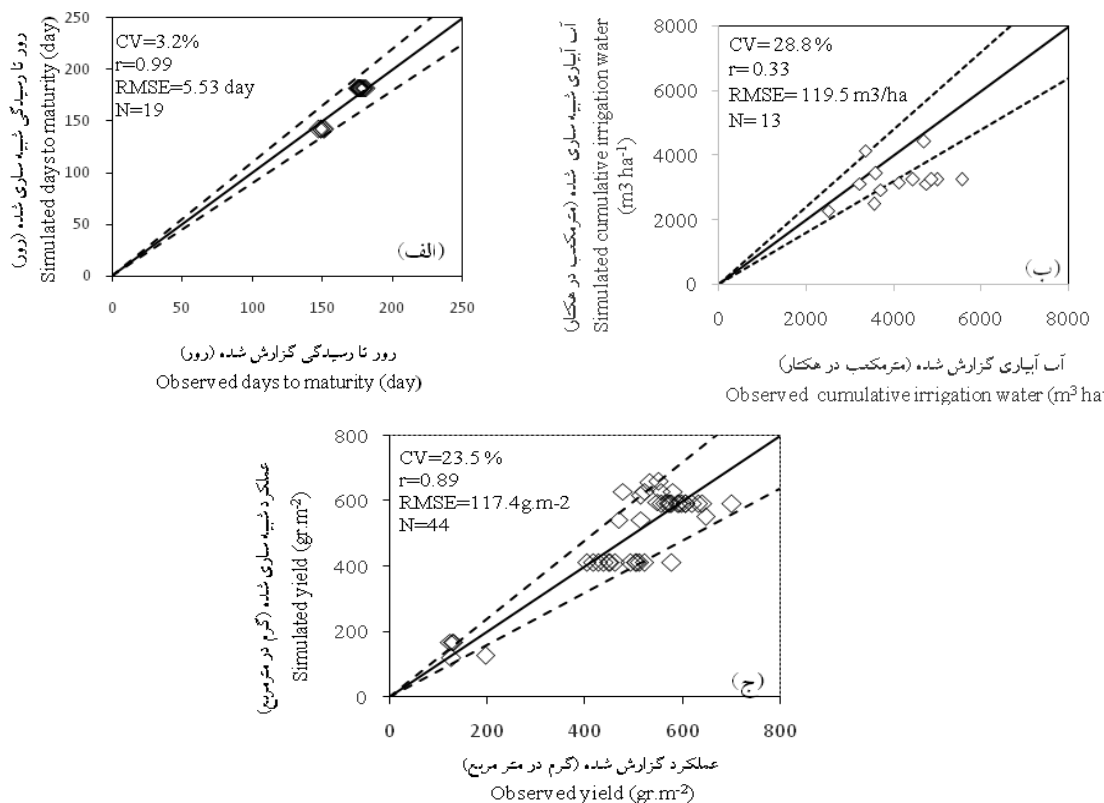
داده‌های مستقل بیانگر دقت مدل بود به طوری که برای روز تا رسیدگی مقدار ضریب همبستگی برابر ۰/۹۹، میانگین مربعات خطا برابر ۵/۵۳ روز و ضریب تغییرات برابر ۳/۲ درصد و برای عملکرد ضریب همبستگی برابر ۰/۸۹، میانگین مربعات خطا برابر ۱۱۷/۴ گرم بر مترمربع و ضریب تغییرات برابر ۲۳/۵ درصد به‌دست آمد (شکل ۲). نتایج بررسی پارامتریابی و ارزیابی نشان از دقت قابل قبول مدل برای شبیه‌سازی روز تا رسیدگی و عملکرد گندم آبی در کشور بود.

نتایج مقایسه متوسط عملکرد واقعی گندم آبی کشور حاصل از محاسبه به روش پروتکل گیگا با عملکرد واقعی گندم آبی گزارش شده برای کشور توسط وزارت کشاورزی برای دوره زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ نشان داد که با استفاده از پروتکل گیگا می‌توان با دقت بالایی عملکرد متوسط گندم برای کشور را محاسبه کرد. ضریب همبستگی بین نتایج حاصل از پروتکل گیگا و نتایج گزارش شده توسط وزارت کشاورزی برابر ۰/۹۹ ضریب تغییرات ۴/۴۹ درصد و مقدار میانگین مربعات خطا ۱۵۲ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۳). دقت بالای پروتکل گیگا برای محاسبه عملکرد واقعی برای سویا، گندم و ذرت در آرژانتین (۲۰) و گندم در استرالیا (۱۱) گزارش شده است. دقت بالای پروتکل گیگا در محاسبه متوسط عملکرد واقعی گندم برای کل کشور، این اطمینان را حاصل کرد که به کمک این پروتکل و عملکردهای پتانسیل شبیه‌سازی شده برای مناطق مهم تولید گندم آبی در کشور، می‌توان متوسط عملکرد پتانسیل برای کل کشور را با دقت بالایی محاسبه کرد.

در مرحله بعد با تغییر مقادیر برای پارامترهای درجه روز رشد برای مراحل فنولوژیک و شاخص سطح برگ حداکثر، پارامتریابی انجام شد. مقادیر این پارامترها طوری تغییر داده شدند که روز تا رسیدگی و عملکرد شبیه‌سازی شده در مقایسه با مقادیر مشاهده شده دارای کمترین خطا شود. پس از مرحله پارامتریابی، ارزیابی مدل با داده‌های مستقلی انجام شد که از مقالات جمع‌آوری شده بودند. بر اساس پروتکل گیگا، مقدار عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی به کمک میانگین وزنی، ابتدا به سطح اقلیم و از اقلیم به سطح کل کشور تعمیم داده شد. برای این کار، سطح پوشش اراضی گندم آبی در محدوده ایستگاه و یا در داخل اقلیم به عنوان وزن در نظر گرفته شد. ابتدا بر اساس وزن نوع خاک (سطح پوشش اراضی آبی در محدوده هر نوع خاک در داخل یک محدوده ایستگاه هواشناسی)، متوسط عملکرد پتانسیل (یا عملکرد واقعی) برای محدوده ایستگاه‌ها محاسبه شد. سپس بر اساس وزن هر ایستگاه (سطح پوشش اراضی آبی در داخل هر محدوده ایستگاه هواشناسی)، متوسط عملکرد پتانسیل (یا عملکرد واقعی) برای هر اقلیم به صورت جداگانه محاسبه شد. در نهایت با توجه به وزن اقلیم‌ها (سطح اراضی گندم آبی در داخل هر اقلیم مشخص در کشور)، متوسط عملکرد پتانسیل (یا عملکرد واقعی) برای کل کشور محاسبه شد. جزییات این روش توسط وان باسل و همکاران (۲۰۱۵) توضیح داده شد است (۳۸).

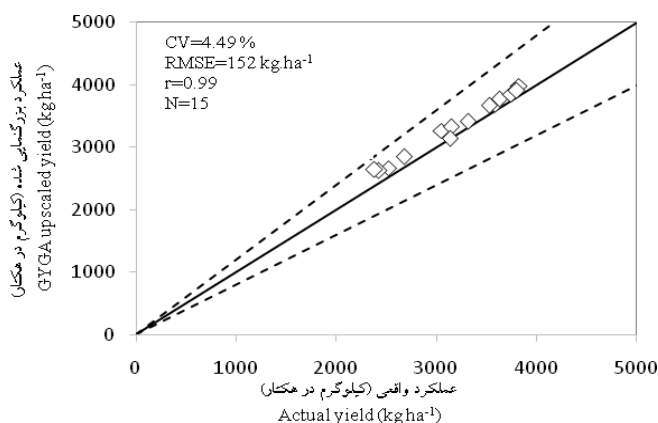
نتایج و بحث

ارزیابی خروجی مدل SSM-iCrop2-wheat با



شکل ۲- (الف) روز تا رسیدگی (روز)، (ب) میزان آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) و (ج) عملکرد پتانسیل (گرم در مترمربع) مشاهده شده در برابر شبیه‌سازی شده (براساس میزان رطوبت ۱۳/۵٪) توسط مدل **SSM-iCrop2-wheat** و با استفاده از داده‌های مورد استفاده در ارزیابی مدل.

Figure 2- Simulated versus (a) measured wheat days to maturity (day), (b) Cumulative irrigation water ($m^3 ha^{-1}$) and (c) yield ($gr.m^{-2}$), ((13/5 %mc) by SSM-iCrop2-wheatmodel based on data used in the model evaluation.



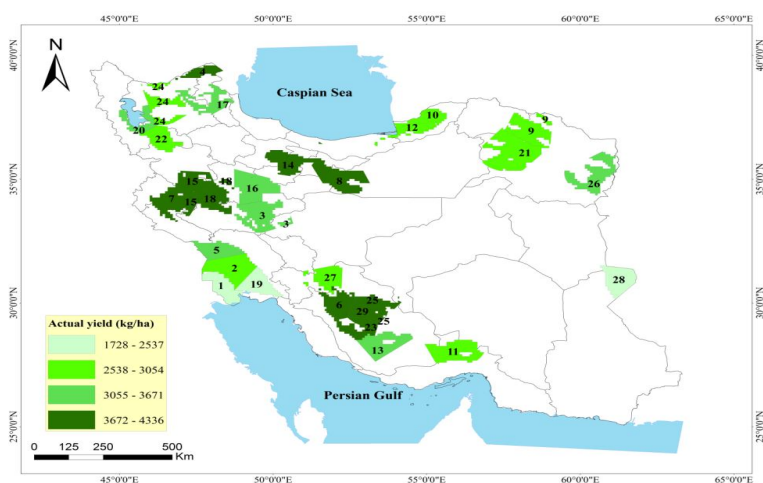
شکل ۳- میانگین عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار) کشوری گزارش شده توسط سازمان جهاد کشاورزی در مقابل عملکرد واقعی کشوری محاسبه شده توسط روش گیگا در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴. خط ممتد و خط نقطه چین به ترتیب خط ۱:۱ و خطوط $\pm 20\%$ درصد می‌باشند.

Figure 3- The average actual yield (kg/ha) of the country reported by Ministry of Agriculture versus the actual yield of the country calculated by the GYGA method during 2001to 2015. Solid line is 1:1 line The $\pm 20\%$ discrepancy lines are indicated by dashed lines.

همه این ایستگاه‌ها به جز ایستگاه زابل، در جنوب و جنوب غرب کشور واقع شده‌اند.

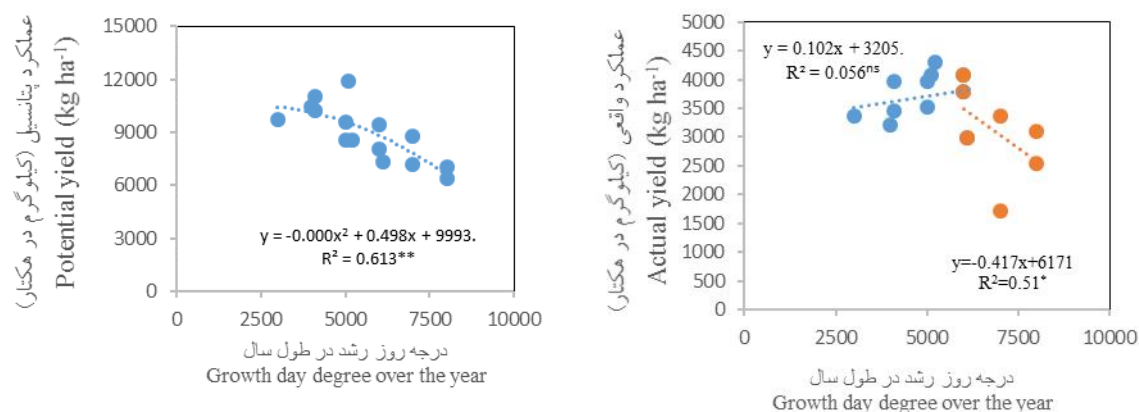
مقدار متوسط عملکرد پتانسیل برای کشور در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ برابر ۸/۸ تن در هکتار به دست آمد (جدول ۳). در مناطق مختلف کشور عملکرد پتانسیل بین ۶/۴ در (ایستگاه آبادان با شماره ایستگاه ۱) و ۱۲ تن در هکتار (ایستگاه اسلام آباد غرب با شماره ایستگاه ۷) متغیر بود (شکل ۶). رابطه بین عملکرد پتانسیل با درجه حرارت تجمعی در طول سال در مناطق مختلف کشور بیانگر این موضوع بود که بیشترین عملکرد پتانسیل در مناطقی حاصل شد که مقدار درجه حرارتی تجمعی در طول سال کمتر از ۴۰۰۰ درجه روز رشد بود. با افزایش زمان حرارتی تجمعی در طول سال از ۴۰۰۰ درجه بیشتر، عملکرد پتانسیل نیز کاهش داشت (شکل ۶). ایستگاه‌هایی که زمان حرارتی تجمعی در طول سال کمتر از ۴۰۰۰ درجه روز بود و بیشترین پتانسیل عملکرد گندم آبی را به خود اختصاص دادند شامل ایستگاه‌های مشکین‌شهر (شماره ایستگاه ۱۷)، الیگودرز (شماره ایستگاه ۳)، قوچان (شماره ایستگاه ۹)، کمبجان (شماره ایستگاه ۱۶) و یاسوج (شماره ایستگاه ۲۷) بودند (جدول ۲، شکل ۶). تمامی این ایستگاه‌ها یا در نیمه غربی کشور و یا در شمال غرب کشور واقع شده‌اند.

با استفاده از پروتکل گیگا، متوسط عملکرد واقعی گندم آبی برای کل کشور برای بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ برابر ۳۳۷۸ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. بیشترین عملکرد واقعی با مقدار ۴۳۱۱ کیلوگرم در هکتار برای ایستگاه بیله سوار (شماره ایستگاه ۴) و کمترین عملکرد واقعی با مقدار ۱۷۲۸ کیلوگرم در هکتار، در ایستگاه زابل (شماره ایستگاه ۲۸) مشاهده شد (شکل ۴). نتایج بررسی این مطالعه نشان داد که متوسط عملکرد واقعی تا حدودی تحت تأثیر اقلیم منطقه تولید گندم آبی بود. به طوری که، بین مقدار عملکرد واقعی گندم در مناطق دارای درجه حرارت تجمعی کمتر از ۶۰۰۰ درجه روز در طول سال تفاوت چندانی وجود نداشت و متوسط عملکرد برای این مناطق ۳/۷ تن در هکتار بود. با افزایش مقدار زمانی حرارتی تجمعی بیشتر از ۶۰۰۰ درجه روز رشد، مقدار عملکرد واقعی کاهش یافت (شکل ۵). مقدار متوسط عملکرد برای مناطقی که مقدار زمان حرارتی تجمعی در طول سال بیش از ۶۰۰۰ درجه روز بود، برابر ۲/۷ تن در هکتار بود که این مناطق شامل ایستگاه‌های حاجی‌آباد هرمزگان (شماره ایستگاه ۱۱)، جهرم (شماره ایستگاه ۱۳)، زابل (شماره ایستگاه ۲۸)، آبادان (شماره ایستگاه ۱)، اهواز (شماره ایستگاه ۲)، دزفول (شماره ایستگاه ۵) و امیدیه (شماره ایستگاه ۱۹) بودند. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود،



شکل ۴- عملکرد واقعی گندم آبی (کیلوگرم در هکتار) در ایستگاه‌های هواشناسی انتخابی کشور

Figure 4- Irrigated wheat actual yield (kg/ha) in its main buffer zones in Iran.



شکل ۵- رابطه بین مقدار عملکرد پتانسیل و واقعی گندم آبی در مقابل درجه حرارت تجمعی در اقلیم‌های اصلی در کشور

Figure 5- Irrigated wheat potential and actual yield versus growth day degree in its main climate zones in Iran

جدول ۳- سطح زیر کشت در اقلیم، عملکرد واقعی (کیلوگرم بر هکتار)، عملکرد پتانسیل (کیلوگرم بر هکتار)، خلأ عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)، عملکرد نسبی گندم آبی در اقلیم‌های انتخابی در ایران. پتانسیل عملکرد توسط مدل SSM برای سال‌های ۹۴-۱۳۹۸ بر اساس رطوبت دانه ۱۳/۵ درصد شبیه‌سازی شد.

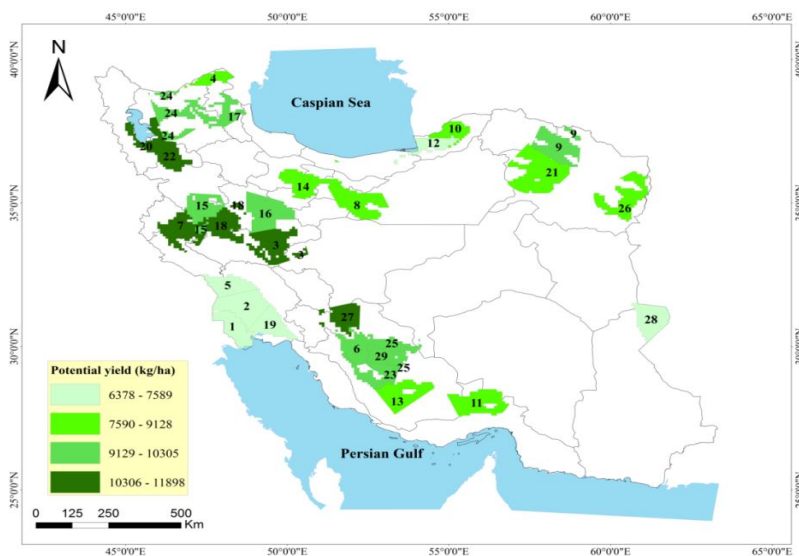
Table 3- Irrigated wheat harvest area in climate, actual and potential yield (kg ha^{-1}), yield gap (kg ha^{-1}), relative yield (RY, %) its main climate zones in Iran. Potential yield is simulated by SSM during 2001-2015 and is adjusted with 13/5 % moisture content.

کد اقلیم (DCZ)	ایستگاه انتخابی Stations in DCZ	سطح زیر کشت در اقلیم (هکتار) Harvested Area (ha)	عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار) Actual yield (kg ha^{-1})	عملکرد پتانسیل (کیلوگرم در هکتار) Potential yield (kg/ha)	خلأ عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield gap (kg/ha)	عملکرد نسبی (%) RY (%)
3102	مشکین شهر (Meshkinshahr)	37419	3361(12.2)	9714(6.2)	6353	35
4003	الیگودرز-قوچان-کمیجان-یاسوج (Aligoodarz-Ghoochan-Komijan-Yasouj)	269376	3208(14.4)	10468(4.7)	7260	31
4102	نهادند (Nahavand)	74569	3978(16.1)	11018(7.0)	7040	36
4103	ارومیه-سقز-کرمانشاه-تبریز (Tabriz-Oromiyeh-Saghez-Kermanshah)	166254	3459(14.4)	10221(5.9)	6762	34
5002	تخت جمشید-درودزن-ترت جام (Torbatejam -Takhtejamsheid-dorodzan)	157184	3978(17.1)	9588(3.8)	5609	41
5003	کرج-سبزوار (Karaj- Sabzevar)	209448	3518(14.3)	8548(4.5)	5029	41
5103	اسلام آباد غرب (Eslamabadgharb)	55262	4070(23.2)	11898(5.4)	7828	34
5202	بيله سوار (Bilesowar)	33019	4311(20.2)	8533(6.9)	4222	51
6002	شیراز-گنبد-زرقان (Shiraz- Gonbad- Zarghan)	155107	3801(21.1)	9403(4.1)	5602	40
6003	گرمسار (Garmsar)	148139	4082(22.0)	8056(7.6)	3974	51
6102	هاشم آباد (Hashemabad)	95498	2980(19.3)	7354(6.4)	4374	41
7002	حاجی عرب هرمزگان-جهرم (Hajiabadhormozgan- Jahrom)	121711	3365(18.4)	8809(2.8)	5442	38

7003	زابل (Zabol)	108944	1728(27.3)	7214(8.5)	5486	24
8002	آبادان (Abadan)	76902	2537(22.0)	6424(7.5)	3887	39
8003	اهواز-دزفول-امیدیه (Ahwaz- Dezful- Omidyeh)	319620	3096(18.1)	7028(5.9)	3931	44
میانگین وزنی (AVG Weighted)		2028452	3378(18.0)	8821(5.5)	5443	38

آبی در اهواز را ۶۳۲۴ کیلوگرم در هکتار برآورد کرد (۳). در مطالعه حاضر مقدار عملکرد پتانسیل برای اهواز ۶۸۴۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. همچنین متوسط عملکرد پتانسیل برای کل اراضی گندم واقع در اقلیم با کد ۸۰۰۳ (اقلیمی که ایستگاه اهواز در آن واقع شده است) برابر ۷۰۲۸ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد (جدول ۳) که با نتایج گزارش شده توسط اندرزیان و همکاران (۱۳۸۷) مطابقت داشت.

این در حالی است که کمترین عملکرد پتانسیل در ایستگاه‌های واقع در جنوب و جنوب غرب کشور مشاهده شد (شکل ۶). تاکنون مطالعه جامعی برای محاسبه پتانسیل عملکرد گندم آبی برای کل کشور انجام نشده است. محاسبات انجام شده به صورت منطقه‌ای بوده‌اند که در ادامه نتایج برخی از این مطالعات با نتایج حاصل مورد مقایسه قرار گرفتند. اندرزیان و همکاران (۱۳۸۷) در مطالعه‌ای با استفاده از مدل CERES-Wheat میزان پتانسیل عملکرد گندم



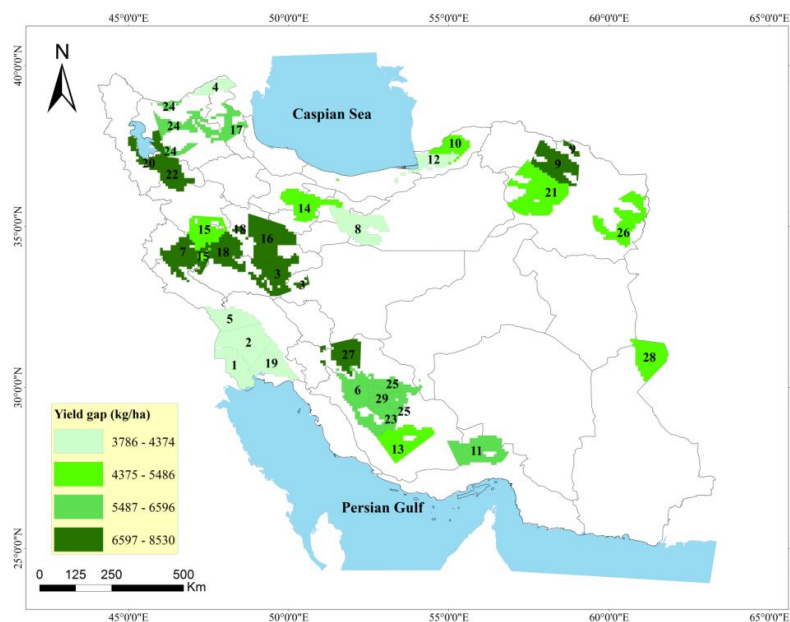
شکل ۶- عملکرد پتانسیل گندم آبی (کیلوگرم در هکتار) در ایستگاه‌های هواشناسی انتخابی کشور
Figure 6- Irrigated wheat potential yield (kg/ha) in its main buffer zones in Iran

حصول ۲۰ تا ۳۰ درصد کمتر از عملکرد پتانسیل می‌باشد (۹). در این مطالعه مقدار عملکرد قابل حصول (۸۰ درصد از عملکرد پتانسیل) برای ایستگاه هاشم‌آباد واقع در گرگان ۵۸۸۲ و برای گنبد ۶۲۳۵ کیلوگرم در هکتار برآورد شد (هر دو این ایستگاه‌ها در استان گلستان واقع شده‌اند) که این نتایج با نتایج

حجاریور (۱۳۹۵) در یک مطالعه پیمایشی طی دو سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳ و ۱۳۹۳-۹۴ با جمع‌آوری اطلاعات (از ۶۸۴ مزرعه) در سطح استان گلستان، با بهبود شرایط مدیریتی تولید گندم آبی، مقدار عملکرد قابل حصول در این استان را ۶۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کرد (۱۳). به‌طور معمول عملکرد قابل

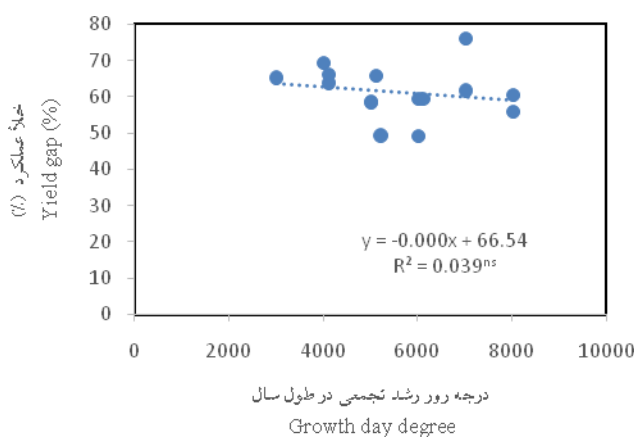
۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ برابر ۵/۴ تن در هکتار برآورد شد (جدول ۷). بیشترین مقدار خلأ عملکرد با ۸/۵ تن در هکتار در ایستگاه سقز (شماره ایستگاه ۲۲) و کمترین مقدار آن ۳/۷ تن در هکتار در ایستگاه اهواز (شماره ایستگاه ۲) مشاهده شد (شکل ۷).

گزارش شده توسط حجارپور (۱۳۹۵) مطابقت داشت. پس از تخمین مقدار عملکرد پتانسیل برای مناطق مختلف و با داشتن عملکرد واقعی در این مناطق، امکان محاسبه خلأ عملکرد حاصل شد. متوسط مقدار خلأ عملکرد گندم آبی در کشور برای دوره زمانی



شکل ۷- خلأ عملکرد گندم آبی (کیلوگرم در هکتار) در ایستگاه‌های هواشناسی انتخابی کشور

Figure 7- Irrigated wheat yield gap (kg/ha) in its main buffer zones in Iran.



شکل ۸- رابطه بین مقدار خلأ عملکرد گندم آبی در مقابل درجه حرارت تجمعی در اقلیم‌های اصلی در کشور

Figure 8- Irrigated wheat yield gap versus growth day degree in its main climate zones in Iran

مختلف تقریباً یکسان و در حدود ۶۲ درصد به دست آمد. به عبارتی دیگر، در تمام مناطق تولید گندم آبی در کشور فقط در حدود ۳۸ درصد از پتانسیل محیط

با وجود اینکه مقدار خلأ عملکرد در مناطق مختلف از نظر تناژ اختلاف زیادی مشاهده شد (شکل ۸)، ولی مقدار متوسط درصد خلأ عملکرد در مناطق

است، آب نهاده بسیار ارزشمندی است که تولید محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با ادامه روند کنونی افزایش جمعیت، ایران از نظر وضعیت آب در شرایط بحرانی قرار خواهد گرفت. مقایسه مصرف آب برای تولید محصولات کشاورزی در ایران با سایر کشورها حاکی از آن است که در این کشور، فشار زیادی به منابع آب وارد می‌شود. مصرف غیر اصولی آب علاوه بر نداشتن بازده اقتصادی برای کشاورزان باعث وارد آمدن فشار اکولوژیکی بر محیط زیست نیز می‌شود. پدیده فرونشست زمین در ایران دلیل مهمی بر وجود فشار زیاد بر منابع آب‌های زیرزمینی می‌باشد که در سال‌های گذشته این پدیده در اکثر مناطق ایران مشاهده شده است (۲، ۲۲ و ۲۳). پس از محاسبه خلأ عملکرد در سطح کشور، این سوال مطرح می‌شود که آیا شرایط آب تخصیصی به اراضی گندم آبی در ایران امکان رفع خلأ عملکرد وجود دارد یا نه. برای این منظور به کمک مدل شبیه‌سازی، مقدار آب آبیاری لازم برای تولید پتانسیل محاسبه و مقدار بهره‌وری پتانسیل آب برای مناطق تولید گندم در کشور تخمین زده شد. نتایج این بخش نشان داد که برای دستیابی به عملکرد پتانسیل گندم آبی (۸/۸ تن در هکتار) در ایران به طور متوسط به ۳۲۹۲ مترمکعب در هکتار به آب آبیاری نیاز است (جدول ۴). مقدار پتانسیل بهره‌وری آب برای گندم آبی در کشور به طور متوسط ۱/۷ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب به دست آمد که در مناطق مختلف بین ۱/۳۶ و ۲/۲۳ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب متغیر بود (جدول ۴، شکل ۹). عزیزی زهان و همکاران (۱۳۹۳) با تحلیل آزمایش‌های مزرعه‌ای انجام شده در مؤسسه تحقیقات آب و خاک (طی بیست سال اخیر) در نقاط مختلف کشور دامنه تغییرات مقادیر بهره‌وری آب گندم را بین ۰/۳ تا ۲/۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند (۴). نخجوانی

برای تولید گندم آبی استفاده می‌شود. لی و همکاران (۲۰۱۷) بر اساس پروتکل گیگا میزان خلأ عملکرد ذرت در چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که میزان عملکرد پتانسیل برای ذرت آبی و دیم به ترتیب ۱۴/۲ و ۱۰/۷ تن در هکتار برآورد شد. مقدار خلأ عملکرد نیز به ترتیب ۴۲ و ۳۵ درصد برای ذرت آبی و دیم برآورد شد (۱۸). حجارپور و همکاران (۱۳۹۴) با به کارگیری داده‌های حاصل از ۹۵ مزرعه گندم طی سال‌های زراعی ۸۷-۱۳۸۶ و ۸۸-۱۳۸۷ در منطقه گرگان نشان داد که در حالی که متوسط عملکرد کشاورزان ۴۷۰۰ کیلوگرم در هکتار بود، آن‌ها می‌توانند با بهبود مدیریت زراعی به عملکرد قابل حصول ۶۲۰۰ کیلوگرم در هکتار دست یابند (۱۳). وان باسل و همکاران (۲۰۱۵) در مقاله‌ای پروتکل گیگا را مورد بررسی و تشریح قرار داد. در این مقاله به بررسی آنالیز خلأ عملکرد در قالب پهنه بندی اقلیمی زراعی جهت تعمیم جزء به کل پتانسیل در یک مکان خاص پرداختند که می‌تواند مبنای تخمین خلأ عملکرد در سطوح منطقه‌ای، ملی و جهانی باشد. در این روش با توجه به شرایط خاک، شرایط آب و هوایی و سیستم کشت و کار در هر منطقه خلأ عملکرد محاسبه شده در هر منطقه به سطح وسیع‌تری که مشابه با آن منطقه است تعمیم داده خواهد شد (۳۸). اسپی و همکاران (۲۰۱۶) خلأ عملکرد برنج در آمریکا را طی سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۹۹ مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در این مطالعه ابتدا، میزان خلأ عملکرد را برای مناطق مختلف کشور و سپس با استفاده از پروتکل گیگا، برای کل کشور محاسبه کردند. بر اساس نتایج این مطالعه پتانسیل عملکرد برنج بین ۱۱/۵ تا ۱۴/۵ تن در هکتار برآورد شد و کشاورزان فقط توانستند به ۵۸ تا ۷۶ درصد از پتانسیل عملکرد دست یابند (۷). با توجه به اینکه ایران در منطقه خشک و نیمه خشک واقع شده

(۳۱). رضوی (۱۳۸۷) در تحقیقی با عنوان اثر حذف آبیاری در مراحل رشد گندم بر کارایی مصرف آب و عملکرد کمی و کیفی آن در ارومیه گزارش کرد که با مصرف ۴۱۳۰ مترمکعب آب مصرفی، عملکرد گندم حدود ۵۶۰۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (۲۹). در سایر مناطق جهان مقدار پتانسیل بهره‌وری آب برای گندم در استرالیا ۲ کیلوگرم بر متر مکعب (۳۰)، برای آمریکا ۲/۲ کیلوگرم بر متر مکعب (۲۸) و برای اروپا و استرالیا ۳/۴ کیلوگرم بر متر مکعب (۵) گزارش شده است.

مقدم و همکاران (۱۳۹۶) با تحلیل بهره‌وری آب گندم در برخی از مناطق ایران بیان کردند که استان الیزر حداکثر بهره‌وری آب (۲/۱ کیلوگرم بر مترمکعب) را به خود اختصاص داد (۲۵). سپهوند (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای میزان بهره‌وری آب در گندم در مناطق غرب کشور (استان لرستان) طی سال‌های پرباران را مورد بررسی قرار داد. نتایج این تحقیق نشان داد که با ۱۵۰۰ متر مکعب در هکتار آب آبیاری مصرفی و ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار کل آب مصرفی (آب آبیاری و بارندگی موثر)، حدود ۸ تن عملکرد (با بهره‌وری ۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب) به دست آمد

جدول ۴- مقدار آب آبیاری (CIRGW)، تعداد آبیاری (IRGNO)، مقدار تبخیر و تعرق (SUMETt)، پتانسیل بهره‌وری آب بر اساس وزن تر (WPwet) در اقلیم‌های اصلی تولید گندم آبی در کشور.

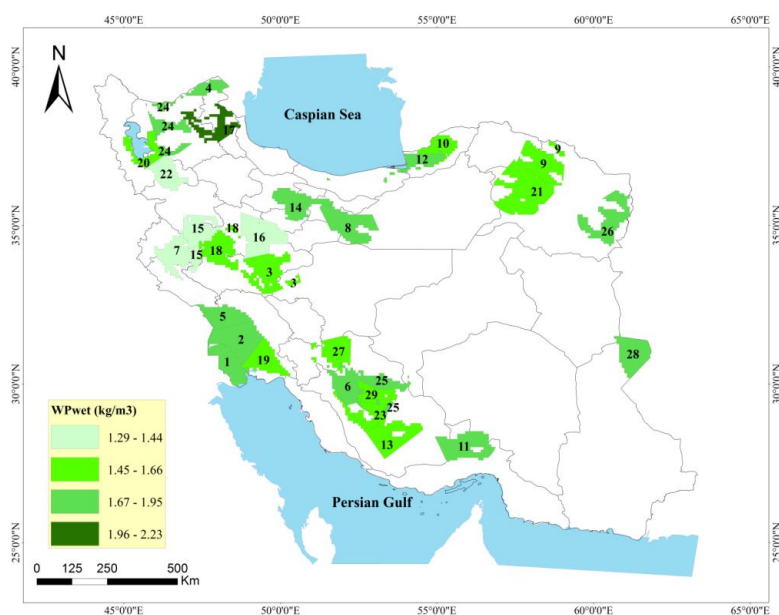
Table 4- Cumulative irrigation water, irrigation number, ET, potential water productivity based on dry in its main climate zones in Iran.

کد اقلیم (DCZ)	ایستگاه انتخابی (Stations in DCZ)	مقدار آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) CIRGW	تعداد آبیاری IRGNO	مقدار تبخیر و تعرق (مترمکعب در هکتار) SUMETt	پتانسیل بهره‌وری آب (کیلوگرم در متر مکعب) WPwet
3102	مشکین شهر (Meshkinshahr)	1961	4	4444	2.23
4003	الیگودرز-قوچان-کمیجان-یاسوج (Aligoodarz-Ghoochan-Komijan-Yasouj)	4321	7	7044	1.50
4102	نهادند (Nahavand)	4308	8	7270	1.53
4103	ارومیه-سقز-کرمانشاه-تبریز (Oromiyeh-Saghez-Kermanshah-Tabriz)	4236	7	6893	1.52
5002	تخت جمشید-درودزن-ترت جام (Torbatejam Takhtejamsheid-dorodzan)	3429	6	5496	1.76
5003	کرج-سبزواری (Karaj- Sabzevar)	3077	5	5015	1.73
5103	اسلام آباد غرب (Eslamabadgharb)	5903	11	8824	1.36
5202	بيله سوار (Bilesowar)	2403	4	4724	1.84
6002	شیراز-گنبد-زرقان (Shiraz- Gonbad- Zarghan)	3485	5	5986	1.59
6003	گرمسار (Garmsar)	3117	5	4460	1.87
6102	هاشم آباد (Hashemabad)	1136	2	3949	1.89
7002	حاجی عرب هرمزگان-جهرم (Hajiabadhormozgan- Jahrom)	3327	5	5157	1.73

7003	زابل (Zabol)	3432	6	4163	1.75
8002	آبادان (Abadan)	2294	4	3334	1.95
8003	اهواز-دزفول-امیدیه (Ahwaz- Dezful- Omidiyeh)	2374	4	3967	1.80
	میانگین وزنی	3292	6	5364	1.71

گندم آبی در گرگان گزارش کردند که مصرف بهینه کودهای نیتروژن باعث رفع ۲۵ درصد از خلأ عملکرد می‌شود. تاریخ کاشت نامناسب باعث ۲۰ درصد خلأ عملکرد بوده است. همچنین انتخاب رقم می‌تواند ۱۰ درصد از خلأ عملکرد را توجیه کند (۱۳). با رفع خلأ عملکرد گندم می‌توان تا حدودی اقدام به کاهش سطح زیر کشت این محصول کرد تا از اراضی و آب حاصل از این طریق، در جهت افزایش تولید سایر محصولات مهم (گیاهان روغنی و قندی) استفاده شود (۶).

از عوامل کاهشده عملکرد می‌توان به خسارت آفات، علف‌های هرز و کمبود حاصلخیزی خاک اشاره کرد. به عنوان مثال، خالغانی (۱۳۸۷) گزارش کرد که عدم مدیریت مناسب علف‌های هرز در مزارع کشور منجر به کاهش ۲۳ درصدی عملکرد می‌شود (۱۷). از طرفی دیگر شهبازی و بشارتی (۱۳۹۴) گزارش کردند که ۶۳، ۴۲ و ۲۱ درصد از اراضی کشاورزی کشور به ترتیب با کمبود ماده آلی، فسفر و پتاسیم مواجه هستند (۳۲). حجار پور و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی عوامل ایجاد کننده خلأ عملکرد



شکل ۹- پتانسیل بهره‌وری آب گندم آبی (کیلوگرم بر مترمکعب) در ایستگاه‌های انتخابی کشور

Figure 9- Irrigated wheat potential water productivity (kg/m³) in its main buffer zones in Iran.

عملکرد واقعی گندم آبی در حدود ۳/۴ تن در هکتار، عملکرد پتانسیل ۸/۸ تن و مقدار خلأ عملکرد ۵/۴ تن در هکتار (۶۲ درصد) بود. در حال حاضر، با توجه به

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج بدست آمده، در ایران برای دوره زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ (سال برداشت) مقدار متوسط

عملکرد پتانسیل ۸/۸ تن در هکتار را می‌دهند، پایین بودن مقدار عملکرد واقعی گندم آبی در ایران را می‌توان به نحوه مدیریت زراعی برای تولید این محصول ارتباط داد. در مطالعه حاضر مقدار خلأ عملکرد گندم آبی در سطح کوچک و کل کشور محاسبه شد. اما علاوه بر آگاهی از مقدار خلأ عملکرد، رفع خلأ عملکرد مستلزم شناسایی عوامل ایجاد خلأ و رفع آن‌ها در هر منطقه می‌باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت‌های سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشور و جناب آقای دکتر علیرضا نهبندانی در طول انجام این پژوهش، کمال تشکر را دارند.

ارقام گندم آبی موجود و شرایط محیطی حاکم بر کشور، کشاورزان فقط به ۳۸ درصد از عملکرد پتانسیل گندم آبی دست یافته‌اند. نتایج حاکی از آن بود که مقدار خلأ عملکرد با نوع اقلیم مناطق تولید گندم آبی در کشور، رابطه معنی‌داری نداشت و در همه مناطق کشور، مقدار خلأ عملکرد در حدود ۶۲ درصد بود. در صورتی که کشاورزان در ایران با اعمال مدیریت زراعی مناسب در مزارع گندم آبی، بتوانند به ۸۰ درصد از عملکرد پتانسیل دست یابند، عملکرد این محصول به ۷ تن در هکتار خواهد رسید. با احتساب وجود ۲/۲ میلیون هکتار اراضی گندم آبی و در صورت دسترسی به عملکرد قابل حصول، مقدار تولید گندم در اراضی آبی از ۷/۵ میلیون تن کنونی به ۱۹/۸ میلیون تن خواهد رسید. نتایج نشان می‌دهد که محیط و ارقام موجود اجازه دسترسی به

References

- Ahmadi, H. 2017. Modeling wheat production and yield gap in Golestan province. Ph.D thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natutal Resources, Gorgan, Iran. (In Persian)
- Amiraslani, F., and Dragovich, D. 2011. Combating desertification in Iran over the last 50 years: An overview of changing approaches. J. Environ. Manage. 92: 1-13.
- ., andarzian, B., Bakhshandeh, A.M., Bannayan, M., and Emam, Y. 2008. Evaluation of the CERES-wheat model in Ahvaz condition. J. Field Crops Res. 6: 1. 11-22. (In Persian)
- Azizizahan, A.A., Shahabifar, M., Ebrahimipak, N.A., Razavi, R., Ghalebi, S., Soraee tabrizi, M., Toloe, R., and Piri, R. 2014. An evaluation on wheat water efficiency in Iran and world. 1st National Conference Management of Soil and water in wheat production. P. 2-15.
- Edreira, J.I., Guilpart, N., Sadras, V., Cassman, K., van Ittersum, M., Schils, R.L.M., and Grassini, P. 2018. Water productivity of rainfed maize and wheat: A local to global perspective. Agric. Meteorol. 259: 364-373.
- Esfandiyavpor, A. 2015. Increasing the main products (wheat) self sufficiency coefficient. Ministry of Agriculture Jihad. A project to increase the self sufficiency coefficient of 8 main products of the country.
- Espe, M.B., Cassman, K.G., Yang, H., Guilpart, N., Grassini, P., VanWart, J., Anders, M., Beighley, D., Harrell, D., Linscombe, S., and McKenzie, K. 2016. Yield gapanalysis of US rice production systems shows opportunities for improvement. Field Crops Res. 196: 276-283.
- FAOSTAT. 2015. <http://faostat3.fao.org/download/E/EF/EFAO> (accessed at: 19-10-2015).
- Fisher, R.A. 2014. Definitions and determination of crop yield, yield gaps, and of rates of change. Field Crops Res., 6359: 1-10.
- Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., and Gerber, J.S., et al. 2011. Solutions for a cultivated planet. J. Nature. 478: 337-342.
- Gobbett, D.L., Hochman, Z., Horan, H., Navarro Garcia, J., Grassini, P., and

- Cassman, K.G. 2016. Yield gap analysis of rainfed wheat demonstrates local to global relevance. *J. Agri. Sci. P.* 1-18.
12. Grassini, P., van Bussel, L.G., Van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., Boogaard, H., De Groot, H., vanIttersum, M.K., and Cassman, K.G. 2015. How good is good enough? Data requirements for reliable crop yield simulations and yield-gap analysis. *Field Crops Res.* 177: 49-63.
 13. Hajjarpoor, A., Soltani, A., and Torabi, B. 2015. Using boundary line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan. *J. Crop Prod.* 8: 183-201. (In Persian).
 14. Hajjarpoor, A. 2016. Analysis of the yield limitations in Golestan province. Ph.D thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian)
 15. Hochman, Z., Gobbett, D., Horan, H., and Navarro Garcia, J. 2016. Data rich yield gap analysis of wheat in Australia. *Field Crops Res.* 197: 97-1066.
 16. Kamaladdin, H., and Dehghanzadeh, B. 2013. Investigation irrigation water saving in wheat agronomy in Ahvaz. *J. Water Eng.* 75-85. (In Persian)
 17. Koo, J., and Dimes, J.P. 2010. Generic Soil Profiles for Crop Modeling Applications (HC27)." International Food Policy Research Institute, Washington, D.C., and University of Minnesota, St. Paul, MN. Available online at <http://harvestchoice.org/node/662>.
 18. Liu, B., Chen, X., Meng, Q., Yang, H., and van Wart, J. 2017. Estimating maize yield potential and yield gap with agro-climatic zones in China—Distinguish irrigated and rainfed conditions. *Agric. For. Meteorol.* 239: 108-117.
 19. 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. *J. Plant Prod., Res.* 21: 3. 27-49. (In Persian)
 20. Merlos, F.A., Monzon, J.P., Mercau, J. L., Taboada, M., Andrade, F.H., Hall, A.J., Jobbagy, E., Cassman, K.G., and Grassini, P. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Res.* 184: 145-154.
 21. Ministry of Agriculture Jihad. 2001-2015. Planning and Economical Division. Bureau for Statistics and Information Technology. (In Persian)
 22. Motagh, M., Walter, T.R., Sharifi, M.A., Fielding, E., Schenk, A., Anderssohn, J., and Zschau, J. 2008. Land subsidence in Iran caused by widespread water reservoir overexploitation. *Geophysical Research Letters* 35, L16403.
 23. Mousavi, S.M., Shamsai, A., Hesham El Naggar, M., and Khamehchian, M. 2001. A GPS-based monitoring program of land subsidence due to groundwater withdrawal in Iran. *Can J. Civil Eng.* 28: 3. 452-464.
 24. Mueller, N.D., Gerber, J.S., Johnston, M., Ray, D.K., and Ramankutty, N. et al. 2012. Closing yield gaps: nutrient and water management to boost crop production. *J. Nature.* 490: 254-257.
 25. Nakhjavanimoghadam, M.M., Ghahraman, B., and Zarei, Gh. 2017. Wheat Water Productivity Analysis under Different Irrigation Management Practices in Some Regions of Iran. *J. Water Res. in Agri.* 31: 1. 43-57. (In Persian)
 26. Nehbandani, A. 2018. Yield gap analysis of soybean in Iran. Ph.D thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natutal Resources, Gorgan, Iran. (In Persian)
 27. Nekahi, M.Z., Soltani, A., Siahmarguee, A., and Bagherani, N. 2014. Yield gap associated with crop management in wheat (Case study: Golestan province-Bandar-gaz). *J. Crop Prod.* 7: 135-156. (In Persian)
 28. Patrignani, P., Lollato, R.P., Ochsner, T.E., Godsey, C.B., and Edwards, J.T. 2014. Yield gap and production gap of rainfed winter wheat in the Southern Grain Plains. *J. Agro.* 106: 1329-1339.
 29. Razavi, R. 2008. The effect of elimination of irrigation at Stages of wheat growth on water use efficiency and its quantitative and qualities yield. *J. Water Soil Sci.* 22: 1. 37-145. (In Persian)

30. Sadras, V.O., and Roget, D.K. 2004. Production and environmental aspects of cropping intensification in a semiarid environment of southeastern Australia. *J. Agro.* 96: 236-246.
31. Sepahvand, M. 2009. Comparing the water requirement (WR), water productivity (WP) and economical water productivity (EWP) of wheat and rapeseed in wet years in western Iran in wet years. *J. Water Res.* 3: 4. 63-68. (In Persian)
32. Shahbazi, K., and Besharati, H. 2013. Overview of Agricultural Soil Fertility Status of Iran. *J. Land Mang.* 1: 1. 1-15. (In Persian)
33. Soltani, A., and Sinclair, T.R. 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crops Res.* 124: 252-260.
34. Soltani, A., Sinclair, T.R. 2012. Modeling physiology of crop development, growth and yield. *CABi.* 322 (In Persian)
35. Soltani, A., Maddah, V., and Sinclair, T.R. 2013. SSM-Wheat: a simulation model for wheat development, growth and yield. *J. Plant Prod.* 7: 711-740.
36. Torabi, B. 2011. Analysis of the yield limitations in Gorgan using simulation model and hierarchical process (AHP). Ph.D thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian)
37. Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., and Zeinali, E. 2012. Analyzing Wheat Yield Constraints in Gorgan. *J. Crop Prod.* 4: 1-17. (In Persian)
38. van Bussel, L.G., Grassini, P., VanWart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., Boogaard, H., de Groot, H., Saito, K., Cassman, K.G., and vanIttersum, M.K. 2015. From field to atlas: upscaling of location-specific yield gap estimates. *Field Crops Res.* 177: 98-108.
39. Van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Titttonell, P., and Hochman, Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance—A review. *Field Crops Res.* 143: 4-17.