

ارزیابی هم‌پوشانی دوره‌ی رشد منطقه‌ی ابهر با چرخه‌ی رشد گندم زمستانه و جو بهاره‌ی دیم

فرهاد بیات^۱، محمدرضا جهان‌سوز^{۲*}، محمدباقر حسینی^۲، فریدون سرمدیان^۳، غلام‌رضا پیکانی‌ماچانی^۴، مصطفی اویسی^۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۴- گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

فصل رشد، بخشی از سال می‌باشد که طی آن شرایط آب و هوایی (دمای مناسب و رطوبت کافی) و رشد مطلوب گیاه امکان‌پذیر است. با شناخت دوره رشد در منطقه و نیاز آبی گیاه می‌توان مدیریت صحیحی در تولید محصولات دیم اتخاذ کرد. در این تحقیق، طول دوره‌ی رشد منطقه‌ی ابهر با استفاده از میان‌یابی خطی و داده‌های اقلیمی مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر آن، نیاز آبی، عملکرد پتانسیل و افت عملکرد در بافت خاک سنگین، متوسط و سبک برای گندم زمستانه و جو بهاره‌ی دیم با استفاده از روش فائو و اطلاعات دراز مدت هواشناسی مطالعه شد. نتایج نشان داد که از لحاظ رطوبت، طول دوره‌ی رشد ۱۷۹ روز بود که شروع و پایان آن به ترتیب ۱۰ آبان و ۸ اردیبهشت برآورد شد. اما با در نظر گرفتن دمای هوا و دمای بحرانی گیاه، از آغاز دهه‌ی دوم آذر ماه تا پایان دهه‌ی اول اسفند ماه، جزو دوره‌ی رشد محسوب نمی‌شود. از این‌رو، طول دوره‌ی رشد به ۸۹ روز تقلیل یافت. طول دوره‌ی مرطوب نیز ۳۸ روز محاسبه شد که شروع و پایان آن به ترتیب ۱۸ آذر و ۲۵ دی ماه بود. بارش مؤثر، نیاز آبی و آبیاری محصول برای گندم به ترتیب برابر با ۸۹، ۶۱۱/۲ و ۵۲۲/۴ میلی‌متر و برای جو به ترتیب ۴۱/۸، ۳۹۰/۳ و ۳۴۸/۵ میلی‌متر بود. میزان افت عملکرد ناشی از تنش آبی در بافت خاک سنگین، متوسط و سبک در گندم به ترتیب برابر با ۱۲/۶، ۰/۰ و ۴۲/۲ درصد و مقادیر آن برای جو به ترتیب برابر با ۴۲/۳، ۲۸/۰ و ۶۵/۵ درصد محاسبه شد. میانگین، حداقل و حداکثر تولید نهایی در بافت‌های خاک ذکر شده برای گندم به ترتیب ۱/۲۶، ۰/۵۰ و ۱/۹۰ تن در هکتار و برای جو به ترتیب ۰/۴۸، ۰/۱۸ و ۰/۸۰ تن در هکتار برآورد شد. جهت کاهش اثرهای منفی کوتاهی دوره‌ی رشد منطقه و هم‌پوشانی ناقص آن با چرخه‌ی رشد محصول، اقداماتی مانند برداشت مطلوب از آب بارش، کشت به موقع، بهبود بهره‌وری از آب، انتخاب ارقام مقاوم به خشکی یا ارقام زودرس و حفظ رطوبت با خاک‌ورزی حفاظتی را جهت دستیابی به پایداری در تولید محصول دیم توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل تولید، فصل رشد، محصول دیم، نیاز آبی

مقدمه

به گزارش مرکز آمار ایران^۱ (۱۳۹۷)، پس از بخش خدمات و صنعت، کشاورزی سومین رکن عمده اقتصاد کشور است که در حدود ۱۰ درصد از تولید ناخالص ملی، ۱۵ درصد از کل صادرات، ۱۱ درصد از صادرات غیرنفتی و ۱۹ درصد از جمعیت شاغل کشور را به خود اختصاص داده است. اغلب تولیدکنندگان این بخش خرده مالک هستند و در مناطقی از کشور هنوز کشاورزی معیشتی در جریان است. مساحت اراضی زراعی بیش از ۱۵/۵ میلیون هکتار است که سهم کشت آبی و دیم به ترتیب ۶/۲ و ۹/۳ میلیون هکتار است. بخش عمده اراضی زراعی (۶۰ درصد) به کشت غلات اختصاص دارد که در این میان سطح زیر کشت گندم و جو به ترتیب ۶/۵۳ و ۱/۷۷ میلیون هکتار برآورد می شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۸).

طول چرخه رشد^۲ در ژنوتیپ های مختلف گندم پاییزه ۱۸۰-۲۵۰ روز و مجموع حرارت تجمعی آن در طول فصل رشد ۲۳۰۰ درجه روز رشد است (امام، ۱۳۹۰). محدوده دمایی برای رشد گندم ۲۵-۱۰ درجه سانتیگراد است و دمای مطلوب جهت رشد بین ۱۲ تا ۲۳ درجه سانتیگراد می باشد. دماهای پایین، پنجه زنی این گیاه را تحریک می کنند. گندم زمستانه در مراحل اولیه رشد می تواند در دمای ۲۰- درجه سانتیگراد زنده بماند، اما دمای ۱- درجه سانتیگراد در زمان گل دهی و ظهور سنبله می تواند

عملکرد را به طور معنی داری کاهش دهد. اراضی تحت کشت گندم دیم نیازمند دریافت بارش بیش از ۳۰۰ میلی متر در چرخه رشد هستند و میانگین بارش سالانه نیز بایستی در حدود ۱۲۵۰-۳۵۰ میلی متر باشد (Sys et al., 1993).

حرارت تجمعی مورد نیاز جو در چرخه رشد به طور معمول ۱۷۴۵ درجه روز رشد است (Black et al., 1992). این گیاه زراعی در مناطقی با میانگین دمای کم تر از ۲۰ درجه سانتیگراد در طول چرخه رشد کشت می شود. مقدار بارش بایستی ۱۱۰۰-۳۰۰ میلی متر باشد و در طول چرخه رشد پراکنش مناسبی داشته باشد. رطوبت نسبی هوا در محدوده کمی تا متوسط مطلوب است. بادهای گرم و خشک پس از ظهور سنبله عملکرد دانه را کاهش می دهد (Sys et al., 1993).

دوره رشد^۳ یا فصل رشد^۴ محدوده زمانی از سال است که در آن دو عامل مهم دمای مناسب و رطوبت کافی جهت رشد و نمو گیاه فراهم باشد و اگر دمای محیط از حد بحرانی گیاه کم تر باشد موجب توقف رشد محصول می شود (Mueller et al., 2015; Thirupathi et al., 2015). این رو، جهت تعیین دوره رشد از لحاظ حرارتی باید مدت زمانی را که متوسط دمای شبانه روز از این مقدار بیش تر است را در نظر گرفت. از لحاظ رطوبتی، دوره رشد متشکل از دو بخش است که در بخش نخست آن، بارندگی از نصف میزان تبخیر-تعرق پتانسیل^۵ به روش پنمن مانیت^۶ بیش تر

⁴ Growing season

⁵ Evapotranspiration Potential (ETo)

⁶ Penman-Monteith method

¹ Statistical Centre of Iran (SCI)

² Growth cycle

³ Growing period

در شرایط عدم کمبود آب، مواد غذایی و مشکل آفات و بیماری‌ها، تولیدات گیاهی اغلب یک رابطه‌ی خطی با میزان تابش تجمعی دریافتی دارند و تابش فعال فتوسنتزی^۱ جذب شده مهم‌ترین عامل رشد گیاه می‌باشد (علیمددی و همکاران، ۱۳۸۵). این مدل از ضرایب ثابت مبتنی بر آسمیلاسیون دی‌اکسید کربن و تنفس است که در کنار متغیرهای دمایی و تابشی وابسته به محیط از متغیرهای گیاهی شامل ضریب تصحیح شاخص سطح برگ، طول دوره رشد و شاخص برداشت نیز بهره می‌برد. در این روش، حداکثر فتوسنتز برگ بر اساس متوسط درجه حرارت در ساعات روز در دوره رشد و نوع گیاه مربوطه قابل محاسبه می‌باشد (Ye and Ranst, 2002).

اطلاع از آغاز، پایان و طول دوره‌ی رشد، دوره‌ای با رطوبت کافی و دمای مناسب، کمک می‌کند که تا حد امکان گیاه زراعی از مواجهه با تنش‌های دمایی و رطوبتی مصون بماند. به عبارت دیگر، در کشت دیم باید راهبرد اجتناب از تنش اتخاذ گردد (Sorecha et al., 2017). تعیین تقریبی دوره رشد جهت به حداقل رساندن مقدار افت محصول بسیار مهم است. به عنوان مثال، هر چه کشت به تعویق افتد احتمال هم‌زمانی گرده‌افشانی و دانه‌بندی محصول با دماهای نامناسب که عامل کاهش شاخص برداشت است، بیشتر می‌شود (Sacks et al., 2010). همچنین کاشت زود هنگام نیز موجب تولید گیاهچه‌های ضعیف با توسعه ریشه‌ای محدود، که در مرحله ساقه‌روی با روزهای سرد زمستان روبرو شده و

باشد. در بخش دوم، طی آن ۱۰۰ میلی‌متر از آب ذخیره شده در فصل مرطوب، پس از پایان بارش‌ها از خاک تبخیر گردد (Bello et al., 2010; Edoga, 2007; Yousif et al., 2018). در نشریه‌ی شماره‌ی ۵۶ فائو، چرخه‌ی رشد گیاهان یک‌ساله به مراحل چهارگانه شامل مرحله‌ی اولیه‌ی رشد (از کاشت تا سبز شدن و پوشش ۱۰ درصدی زمین توسط شاخ و برگ گیاه)، توسعه‌ی محصول (از پوشش ۱۰ درصدی تا پوشش ۸۰-۷۰ درصدی زمین توسط کانوپی گیاه) که لزوماً به معنی حداکثر ارتفاع گیاه نیست، مرحله‌ی میانی رشد (از پوشش ۸۰-۷۰ درصدی تا بلوغ که شامل دوره‌ی گل‌دهی و دانه‌بندی می‌شود) و مرحله‌ی آخر (از بلوغ تا برداشت محصول) تقسیم‌بندی شده است (Allen et al., 1998; Mehta and Pandey, 2015).

استفاده از متغیرهای اقلیمی مثل تشعشع و دما در مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه، برآورد پتانسیل عملکرد گیاهان زراعی و همین‌طور ظرفیت تولید اراضی در انواع مختلفی از نظام‌های کشت را پیش از برداشت محصول امکان‌پذیر می‌سازد (Bouman and Vanler, 2006; Khaledian et al., 2009; Tayefe et al., 2013). مدل پتانسیل تولید بر اساس تابش و دما توسط فائو ارائه شده است (FAO, 1979). بر اساس فرضیه‌های ساده و مؤثر این روش، امکان تخمین توان تولید زیست توده و عملکرد اقتصادی بسیاری از گیاهان زراعی یک‌ساله در شرایط عاری از آفات برای گیاهان به سادگی امکان‌پذیر است (Ashraf, 2011). زیرا

^۱ Photosynthetic Active Radiation (PAR)

خوشه‌های آغازین نابارور می‌شوند (Zamani and Nasser, 2008). پیامدهای ناشی از بی‌توجهی به دوره‌ی رشد در کشت گندم زمستانه شامل عدم استفاده از بارش‌های پاییزه، عدم رشد کافی گیاه قبل از وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و مواجهه‌ی آن با سرما در مرحله‌ی سبز شدن، زمستان‌گذرانی نامطلوب و رشد کند گیاه پس از اتمام یخبندان دیررس زمستانه، عدم استفاده‌ی کافی از بارش‌های اوایل بهار، هم‌زمانی دوره‌ی گل‌دهی و دانه‌بندی با دمای هوای بالا و وزش بادهای گرم و متعاقب آن مرگ دانه‌های گرده و کوتاهی دوره‌ی پر شدن دانه و در نهایت کاهش عملکرد ناشی از عدم استفاده‌ی از فرصت‌های اقلیمی است (Segele and Lamb, 2005; Mugalavai et al., 2008). از طرف دیگر، تاریخ کشت‌های زود هنگام پاییزه ممکن است موجب جوانه‌زنی بذر در اثر بارش‌های پراکنده و غیر قابل اتکاء اوایل پاییز شده و گیاهچه‌ها با خشکی و نهایتاً مرگ مواجه شوند. علاوه بر آن، خطر پیدایش آفات بذر و گیاهچه‌های ضعیف ناشی از باران‌های غیرمؤثر نیز وجود دارد (Stern et al., 1982; Ati et al., 2002; Raes et al., 2004). در طول چرخه‌ی رشد جو بهاره‌ی دیم، محدودیت‌های اقلیمی بیش‌تر نمود پیدا می‌کنند. طبق عادت زارعین، کشت این محصول با تأخیر انجام شده و گیاه از بارش‌های اواخر زمستان و اوایل بهار به خوبی استفاده نمی‌کند (Araya et al., 2010) و در نتیجه‌ی تنش آبی، چرخه‌ی رشد آن بیش از حد کاهش می‌یابد. مراحل مهمی از چرخه‌ی رشد آن از جمله

گل‌دهی و پُر شدن دانه (Liu et al., 2013) با دمای بالا و باد گرم مواجه می‌شود که در نتیجه این سوء مدیریت، عملکرد در جو بهاره به شدت کاهش می‌یابد.

گندم و جو جایگاه ویژه‌ای در کشت و کار خرده مالکین دارد، زیرا در شرایط دیم با نهاده و هزینه‌ی کم‌تر، عملکرد اقتصادی قابل قبول به همراه کاه و کلش جهت تغذیه دام تولید می‌کنند. در تحقیق حاضر فرض بر این بود که طول دوره‌ی رشد از لحاظ رطوبت، احتمالاً تا دهه‌ی اول ماه خرداد (دهه‌ی سوم ماه می) تداوم دارد. از این‌رو، هم‌پوشانی طول دوره‌ی رشد منطقه با چرخه‌ی رشد گندم زمستانه و جو بهاره به همراه میزان نیاز آبی و عملکرد آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت، زیرا با شناخت بازه‌ی رشد و نیاز آبی، به ویژه در کشت دیم، می‌توان یک مدیریت صحیح جهت تعامل گیاه با تنش‌های اقلیمی اتخاذ کرد. اهداف این مطالعه تخمین پتانسیل تولید تابشی حرارتی، پتانسیل تولید اراضی، پتانسیل تولید با مدیریت و نیاز آبی دو محصول ذکر شده بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: اراضی مورد مطالعه در شهرستان ابهر با وسعت ۳۰۲۴۷ هکتار بین طول شرقی ۴۹°۱۰' تا ۴۹°۲۵' و بین عرض شمالی ۳۶°۱۵' و ۳۶° قرار دارد که در ۳۶۶۲ هکتار آن به دلیل ناهمواری‌های زیاد، شیب تند و سازه‌های صنعتی امکان زراعت وجود ندارد. بر اساس اطلاعات اقلیمی ایستگاه سینوپتیک خرمدره، نزدیک‌ترین ایستگاه به محل مطالعه، این منطقه از

پتانسیل به ترتیب برابر با ۳۳۴ و ۱۳۲۹/۹۵ میلی‌متر است. بر اساس داده‌های دراز مدت، میانگین دمای روز و شب نیز با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد.

اقلیم مدیترانه‌ای برخوردار بوده و دارای زمستان‌های سرد و مرطوب در مقابل تابستان‌های معتدل و خشک است. میانگین کمینه و بیشینه دمای سالانه به ترتیب برابر با ۰/۱ و ۲۵/۴ درجه‌ی سانتیگراد و مجموع سالانه‌ی بارش و تبخیر-تعرق (جدول ۱).

$$t_d = \left(\frac{t_{\max} + t_{\min}}{2} \right) + \left(\frac{t_{\max} - t_{\min}}{4\pi} \right) \times \left(\frac{46 - N}{N} \right) \quad (\text{Gommes, 1983}) \quad (1)$$

$$t_n = \left(\frac{t_{\max} + t_{\min}}{2} \right) - \left(\frac{t_{\max} - t_{\min}}{4\pi} \right) \times \left(\frac{46 - N}{24 - N} \right) \quad (\text{Gommes, 1983}) \quad (2)$$

طول روز یا تعداد ساعات روشنایی در عرض جغرافیایی معین (h) است.

که در آن: t_d و t_n : به ترتیب دمای روز و شب ($^{\circ}\text{C}$)؛ t_{\min} و t_{\max} : حداقل و حداکثر دمای شبانه‌روز ($^{\circ}\text{C}$)؛ N :

جدول ۱- میانگین دما (شب، روز و روزانه) و تشعشع خورشیدی ماهانه بر اساس داده‌های اقلیمی (دوره‌ی ۳۳ ساله)

۱۲ بهمن - ۹ اسفند	۱۱ دی - ۱۱ بهمن	۱۰ آذر - ۱۰ دی	۱۰ آبان - ۹ آذر	۹ مهر - ۹ آبان	۱۰ شهریور - ۸ مهر	۱۰ مرداد - ۹ شهریور	۱۰ تیر - ۹ مرداد	۱۱ خرداد - ۹ تیر	۱۱ اردیبهشت - ۱۰ خرداد	۱۲ فروردین - ۱۰ اردیبهشت	۱۰ اسفند - ۱۱ فروردین	
فوریه	ژانویه	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژوئیه	ژوئن	مه	آوریل	مارس	
۷/۷	۵/۹	۹/۴	۱۴/۳	۲۱/۲	۲۵/۶	۲۹/۰	۲۹/۱	۲۶/۷	۲۱/۶	۱۷/۶	۱۳/۱	دمای روز (درجه‌ی سلسیوس)
-۳/۹	-۵/۵	-۲/۳	۲/۵	۹/۲	۱۳/۸	۱۷/۹	۱۷/۹	۱۵/۲	۱۰/۵	۶/۰	۱/۳	دمای شب (درجه‌ی سلسیوس)
۱/۴	-۰/۸	۲/۴	۷/۵	۱۴/۸	۱۹/۹	۲۴/۲	۲۴/۶	۲۲/۲	۱۷/۰	۱۲/۳	۷/۱	دمای روزانه (درجه‌ی سلسیوس)
۱۲/۰	۹/۳	۸/۳	۱۰/۱	۱۴/۷	۲۰/۷	۲۴/۴	۲۵/۹	۲۶/۴	۲۲/۷	۱۸/۷	۱۵/۲	تشعشع خورشیدی (مگاژول بر متر مربع در روز)

عنوان تنها روش استاندارد از بین روش‌های تجربی متعدد جهت محاسبه‌ی تبخیر تعرق پتانسیل یا تبخیر تعرق گیاه مرجع و همچنین ارزیابی سایر

محاسبه‌ی تبخیر-تعرق پتانسیل: در سال ۱۹۹۰ میلادی، کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی^۱ و سازمان فائو معادله‌ی پنمن‌مانتیت (رابطه‌ی ۳) را به

¹ International Commission on Irrigation and Drainage

می کند (Allen *et al.*, 1998). میزان تبخیر تعرق گیاه مرجع با استفاده از داده‌های اقلیمی (دوره‌ی ۳۳ ساله) ایستگاه سینوپتیک خرم‌دره در نرم‌افزار Cropwat نسخه‌ی ۸ مبتنی بر روش پنمن مانیتث انجام گرفت (جدول ۲).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

$$P_{tot} \leq 70 \text{ mm} \Rightarrow P_{eff} = 0.6(P_{tot}) - 10$$

$$P_{tot} > 70 \text{ mm} \Rightarrow P_{eff} = 0.8(P_{tot}) - 25$$

روش‌ها پیشنهاد کردند (Hargreaves, 1994). این روش نیازمند داده‌های درازمدت به‌صورت ماهانه از قبیل دمای کمینه و بیشه، درصد رطوبت نسبی، سرعت باد و مجموع ساعات آفتابی بوده که در طیف وسیعی از مناطق و اقلیم‌ها با درجه اطمینان بالاتری، تبخیر و تعرق پتانسیل را برآورد

$$(Allen \text{ et al.}, 1998) \quad (3)$$

$$(Smith, 1988) \quad (4)$$

$$(Smith, 1988) \quad (5)$$

e_s : فشار بخار اشباع (kPa)؛ e_a : فشار بخار واقعی (kPa)؛ $e_s - e_a$: کمبود فشار بخار اشباع (kPa)؛ Δ : شیب منحنی فشار بخار ($^{\circ}\text{C}^{-1}$ kPa)؛ γ : ثابت سایکرومتری ($^{\circ}\text{C}^{-1}$ kPa)؛ P_{tot} : بارش کل (mm)؛ P_{eff} : بارش مؤثر (mm).

که در آن:

ET_0 : تبخیر و تعرق مرجع یا پتانسیل (mm day^{-1})؛ R_n : تشعشع خالص در سطح کانوپی گیاه ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)؛ G : تراکم جریان حرارت خاک ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)؛ T : دمای هوا در ارتفاع ۲ متری ($^{\circ}\text{C}$)؛ u_2 : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (m s^{-1})؛

جدول ۲- میانگین بارش، بارش مؤثر و تبخیر تعرق پتانسیل ماهانه بر اساس داده‌های اقلیمی (دوره‌ی ۳۳ ساله)

۱۲ بهمن-۹ اسفند	۱۱ دی-۱۱ بهمن	۱۰ آذر-۱۰ دی	۱۰ آبان-۹ آذر	۹ مهر-۹ آبان	۱۰ شهریور-۸ مهر	۱۰ مرداد-۹ شهریور	۱۰ تیر-۹ مرداد	۱۱ خرداد-۹ تیر	۱۱ اردیبهشت-۱۰ خرداد	۱۲ فروردین-۱۰ اردیبهشت	۱۰ اسفند-۱۱ فروردین
فوریه	ژانویه	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژوئیه	ژوئن	مه	آوریل	مارس
۳۳/۶	۳۱/۶	۳۳/۹	۴۱/۴	۲۴/۲	۳۲/۵	۳/۴	۳/۱	۵/۷	۳۲/۵	۴۶	۴۵/۷
۱۰/۲	۹/۰	۱۰/۳	۱۴/۸	۴/۵	۹/۵	۰	۰	۰	۹/۵	۱۷/۶	۱۷/۴
۳۹/۲	۳۱/۶	۳۱/۹	۵۰/۱	۹۴/۶	۱۴۹/۱	۲۰۰/۳	۲۱۴/۸	۱۹۳/۸	۱۴۵/۱	۱۰۵/۹	۷۴/۱

توجه به شرایط "الف" و "ب" در نظر گرفته و سپس تعداد روزهای محاسبه‌شده از طریق رابطه‌ی ۶، برای تعیین تاریخ شروع و پایان دوره‌ی رشد به

تعیین دوره‌ی رشد: با استفاده از روش میان‌یابی خطی جهت تعیین دوره‌ی رشد از لحاظ رطوبتی، مقادیر بارندگی و تبخیر-تعرق دو ماه متوالی با

محاسبه گردید. در نهایت، روزهایی با میانگین دمای روزانه کم تر از ۵ درجه سانتیگراد، از طول دوره‌ی رطوبتی مطلوب کسر شدند.

$$t = \text{integer} \left[\frac{(P_1 - 1/2 E_1) \times 30}{(P_1 - P_2 + 1/2 (E_2 - E_1))} \right]$$

$$P_1 < 1/2 E_1 \text{ and } P_2 > 1/2 E_2$$

$$P_1 > 1/2 E_1 \text{ and } P_2 < 1/2 E_2$$

$$t = \text{integer} \left[\frac{(P_1 - E_1) \times 30}{(P_1 - P_2 + E_2 - E_1)} \right]$$

$$P_1 < E_1 \text{ and } P_2 > E_2$$

$$P_1 > E_1 \text{ and } P_2 < E_2$$

است، از طریق رابطه‌ی ۹ محاسبه گردید. با توجه به میزان حداکثر فتوسنتز برگ^۲ در میانگین دمای روز منطقه (شکل ۱)، یکی از روابط ۱۰، ۱۱ و ۱۲ جهت تخمین میزان حداکثر تولید زیست توده‌ی ناخالص^۳ در گیاه زراعی استفاده شد. از روابط جدول ۳ جهت تخمین طول روز، میزان تولید زیست توده‌ی ناخالص در روزهای صاف و ابری استفاده شد (De Wit, 1978). برای محاسبه‌ی کسری از روز با آسمان ابری و صاف به ترتیب از روابط ۱۳ و ۱۴ و برای محاسبه ضریب شاخص سطح برگ از رابطه‌ی ۱۵ استفاده شد.

$$Y = \frac{(0.36 \text{bgm} \times K_{LAI} \times HI)}{(1/L + 0.25C_t)} \quad (۸)$$

$$C_t = ct_{30}(0.001t^2 + 0.0019t + 0.044) \quad (۹)$$

$$P_m = 20 \Rightarrow y = 5(P_m - 20) = 0 \Rightarrow \text{bgm} = f \times bo + (1-f) \times bc \quad (۱۰)$$

$$P_m > 20 \Rightarrow y = 5(P_m - 20) \Rightarrow \text{bgm} = f \times bo \times (1 + 0.002y) + (1 - f) \times bc \times (1 + 0.005y) \quad (۱۱)$$

$$P_m < 20 \Rightarrow y = 5(P_m - 20) \Rightarrow \text{bgm} = f \times bo \times (1 - 0.25y) + (1 - f) \times bc \times (1 - 0.01y) \quad (۱۲)$$

نصف ماه اول اضافه شدند. جهت محاسبه‌ی دوره‌ی مرطوب نیز ابتدا دو ماه متوالی با توجه به شرایط "ت" و "ث" در نظر گرفته و سپس از طریق رابطه‌ی ۷، آغاز و پایان دوره‌ی مذکور

$$(Sys et al., 1991) \quad (۶)$$

الف- شروع دوره‌ی رشد (شروع بارندگی)

ب- پایان دوره‌ی بارندگی

$$(Sys et al., 1991) \quad (۷)$$

ت- شروع دوره‌ی مرطوب

ث- پایان دوره‌ی مرطوب

که در آن: P_1 و P_2 : به ترتیب بارش ماه اول و دوم (mm)؛ E_1 و E_2 : به ترتیب تبخیر-تعرق پتانسیل ماه اول و دوم (mm)؛ و t : زمان (day) است.

مدل تابشی حرارتی پتانسیل تولید: محاسبه‌ی پتانسیل تولید برای هر یک از گیاهان زراعی مورد مطالعه با استفاده از روش فائو انجام شد (Sys et al., 1991). در این روش با استفاده از ویژگی‌های گیاهی و داده‌های اقلیمی از جمله تابش خورشید و دما، میزان تولید زیست توده محصول برآورد گردید (رابطه‌ی ۸). ضریب تنفسی که به میانگین دمای شبانه‌روز و عوامل مربوط به عملکرد وابسته

³ Maximum gross biomass production rate (bgm)

¹ Radiation temperature production potential

² Maximum leaf photosynthesis rate (Pm)

$$f = \left(\frac{n}{N}\right) \quad (13)$$

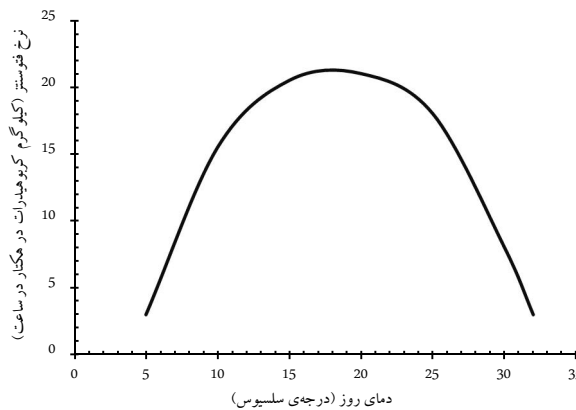
$$1 - f = 1 - \left(\frac{n}{N}\right) \quad (14)$$

$$K_{LAI} = -0.0303LAI^2 + 0.3522LAI \quad (15)$$

زیست توده‌ی ناخالص در روزهای کاملاً صاف
($kg\ CH_2O\ ha^{-1}\ day^{-1}$)؛ حداکثر تولید
زیست توده‌ی ناخالص در روزهای ابری (kg)
($CH_2O\ ha^{-1}\ day^{-1}$)؛ بخشی از روز با آسمان
ابری؛ $l-f$ ؛ بخشی از روز با آسمان صاف؛ n ؛ تعداد
ساعات آفتابی در روز؛ N ؛ طول روز؛ K_{LAI} ؛
ضریب تصحیح برای شاخص سطح برگ کم‌تر از
۵ در زمان حداکثر تولید زیست توده‌ی ناخالص
است.

که در آن:

Y : تولید پتانسیل محصول ($kg\ ha^{-1}$)؛ bgm ؛
حداکثر تولید زیست توده‌ی ناخالص ($kg\ ha^{-1}\ hr^{-1}$)
($^{\circ}C$)؛ HI ؛ شاخص برداشت؛ L ؛ طول چرخه‌ی رشد؛
 Ct ؛ ضریب تنفس؛ C_{30} ؛ ثابت تنفس (برای لگوم‌ها
و غیرلگوم‌ها به ترتیب 0.283 و 0.108)؛ t ؛
میانگین دمای شبانه‌روز ($^{\circ}C$)؛ P_m ؛ حداکثر
فتوسنتز طبق دمای روز در چرخه‌ی رشد (kg)
($CH_2O\ ha^{-1}\ hr^{-1}$)؛ bc ؛ حداکثر تولید



شکل ۱- رابطه‌ی بین حداکثر نرخ فتوسنتز برگ با دمای روز در زیر گروه فتوسنتزی I (FAO, 1981).

جدول ۳- معادلات برآورد طول روز (N)، تولید ناخالص زیست توده در روزهای ابری (bo) و صاف (bc) در نیمکره‌ی

شمالی.

ماه	تولید ناخالص زیست توده در روز صاف (bc)	تولید ناخالص زیست توده در روز ابری (bo)	طول روز یا تعداد ساعات روشنایی (N)
مارس ۱۰ اسفند-۱۱ فروردین	$bc = -0.0407x^2 - 0.2614x + 428.86$	$bo = -0.0279x^2 - 0.1757x + 229.83$	$N = -0.0001x^2 + 0.0037x + 11.988$
آوریل ۱۲ فروردین-۱۰ اردیبهشت	$bc = -0.0329x^2 + 1.3343x + 426.23$	$bo = -0.0243x^2 + 0.8514x + 227.94$	$N = 0.0002x^2 + 0.0223x + 12.051$
مه ۱۱ اردیبهشت-۱۰ خرداد	$bc = -0.0264x^2 + 2.6271x + 416.91$	$bo = -0.0221x^2 + 1.6757x + 221.17$	$N = 0.0006x^2 + 0.0342x + 12.101$
ژوئن ۱۱ خرداد-۹ تیر	$bc = -0.0236x^2 + 3.3529x + 409.69$	$bo = -0.02x^2 + 2.1x + 216$	$N = 0.0008x^2 + 0.041x + 12.128$
ژوئیه ۱۰ تیر-۹ مرداد	$bc = -0.0236x^2 + 3.0529x + 412.69$	$bo = -0.0214x^2 + 1.9771x + 218.11$	$N = 0.0007x^2 + 0.0404x + 12.074$
اوت ۱۰ مرداد-۹ شهریور	$bc = -0.0307x^2 + 2.0586x + 421.86$	$bo = -0.0243x^2 + 1.3314x + 224.74$	$N = 0.0004x^2 + 0.0252x + 12.09$
سپتامبر ۱۰ شهریور-۸ مهر	$bc = -0.0393x^2 + 0.6014x + 428.94$	$bo = -0.0271x^2 + 0.3457x + 229.77$	$N = 0.0132x + 12$
اکتبر ۹ مهر-۹ آبان	$bc = -0.0421x^2 - 1.1243x + 426.77$	$bo = -0.0286x^2 - 0.6771x + 227.89$	$N = -0.0003x^2 - 0.0085x + 11.997$
نوامبر ۱۰ آبان-۹ آذر	$bc = -0.0443x^2 - 2.6286x + 417.34$	$bo = -0.0279x^2 - 1.6357x + 222.03$	$N = -0.0005x^2 - 0.0298x + 12.001$

x ، عرض جغرافیای بر حسب درجه که برابر با $36/196$ است.

در کشت دیم استفاده شدند (جدول ۵). با توجه به اینکه از آغاز دهه‌ی دوم آذر ماه تا پایان دهه‌ی اول اسفند ماه میانگین دمای روزانه کم‌تر از ۵ درجه‌ی سانتیگراد بوده و رشد متوقف می‌شود لذا مقادیر متغیرها برای این سه ماه محاسبه نشدند.

محاسبات اولیه‌ی پتانسیل تولید: مقادیر متغیرهای اقلیمی پیش‌نیاز جهت جایگزینی در معادله‌ی نهایی تخمین تولید پتانسیل (رابطه‌ی ۸) برای محصول گندم زمستانه و جو بهاره مورد محاسبه قرار گرفتند (جدول ۴). همچنین بر اساس منابع، میانگین خصوصیات گیاهی این دو محصول

جدول ۴- متغیرهای اقلیمی در چرخه‌ی رشد گندم زمستانه و جو بهاره جهت تخمین پتانسیل تولید.

	اکتبر	نوامبر	مارس	آوریل	مه	ژوئن	
	۹ مهر- ۹ آبان	۱۰ آبان- ۹ آذر	۱۰ اسفند- فروردین	۱۲ فروردین- اردیبهشت	۱۱ اردیبهشت- ۱۰ خرداد	۱۱ خرداد-۹ تیر	میانگین
گندم زمستانه	۱۴/۸	۷/۵	۷/۱	۱۲/۳	۱۷/۰	۲۲/۲	دمای روزانه (t _{daily})
	۲۱/۲	۱۴/۳	۱۳/۱	۱۷/۶	۲۱/۶	۲۶/۷	دمای روز (t _{day})
	۷/۷	۵/۹	۶/۱	۶/۹	۹/۰	۱۱/۰	تعداد ساعات آفتابی (n)
	۱۱/۳	۱۰/۳	۱۱/۹	۱۳/۱	۱۴/۱	۱۴/۷	تعداد ساعات روشنایی (N)
	۳۳۱/۰	۲۶۴/۲	۳۶۶/۱	۴۳۱/۴	۴۷۷/۴	۵۰۰/۱	نرخ تولید ناخالص زیست‌توده در روز صاف (bc)
	۱۶۶/۰	۱۲۶/۳	۱۸۷/۰	۲۲۶/۹	۲۵۲/۹	۲۶۵/۸	نرخ تولید ناخالص زیست‌توده در روز ابری (bo)
جو بهاره			۷/۱	۱۲/۳	۱۷/۰	۲۲/۲	دمای روزانه
			۱۳/۱	۱۷/۶	۲۱/۶	۲۶/۷	دمای روز
			۶/۱	۶/۹	۹/۰	۱۱	تعداد ساعات آفتابی (n)
			۱۱/۹	۱۳/۱	۱۴/۱	۱۴/۶۶	تعداد ساعات روشنایی (N)
			۳۶۶/۱	۴۳۱/۴	۴۷۷/۴	۵۰۰/۱۱	نرخ تولید ناخالص زیست‌توده در روز صاف (bc)
			۱۸۷/۰	۲۲۶/۹	۲۵۲/۹	۲۶۵/۸	نرخ تولید ناخالص زیست‌توده در روز ابری (bo)

جدول ۵- متغیرهای گیاهی گندم زمستانه و جو بهاره جهت تخمین پتانسیل تولید.

محصول	f	1-f	C ₃₀	C _t	LAI	K _{LAI}	P _m	y	L	HI	bgm
گندم	۰/۴۰	۰/۶۰	۰/۰۱۰۸	۰/۰۰۲۴	۲/۵	۰/۶۹	۲۱/۶	۸/۰	۱۴۵	۰/۳۶	۳۳۲/۳۵
جو	۰/۴۱	۰/۵۹	۰/۰۱۰۸	۰/۰۰۲۷	۱/۵	۰/۴۶	۲۱/۳	۶/۵	۹۷	۰/۳۸	۳۵۹/۴۹

f: بخشی از روز با آسمان ابری؛ 1-f: بخشی از روز با آسمان صاف؛ C₃₀: ثابت تنفس؛ C_t: ضریب تنفس؛ LAI: شاخص سطح برگ؛ K_{LAI}: ضریب تصحیح؛ P_m: حداکثر فتوسنتز؛ y: ضریب فتوسنتزی؛ L: طول چرخه‌ی رشد؛ HI: شاخص برداشت؛ bgm: حداکثر تولید زیست‌توده‌ی ناخالص

استخراج شد که مقادیر میانی و نهایی ضریب گیاهی بر اساس داده‌های اقلیمی منطقه از طریق رابطه‌ی ۱۷ اصلاح شدند (Allen *et al.*, 1998). نهایتاً، با استفاده از نرم‌افزار کراپ‌وات ضرایب گیاهی از آغاز تا پایان چرخه‌ی رشد از طریق درون‌یابی خطی برآورد گردید (علیزاده، ۱۳۹۳). به منظور اعمال نقش تنش آبی در دو محصول دیم، ابتدا از طریق رابطه‌ی ۱۸ میزان تبخیر-تعرق واقعی در طول فصل رشد محاسبه و سپس درصد تولید محصول در شرایط تنش رطوبتی (رابطه‌ی ۱۹) برآورد شد و در نهایت، مقدار عملکرد پتانسیل به واسطه‌ی محدودیت آب محاسبه شد (رابطه‌ی ۲۰).

برآورد نیاز آبی محصول: با استفاده از نرم‌افزار کراپ‌وات نسخه‌ی ۸، نیاز آبی محصول (رابطه‌ی ۱۶) در ماه‌های مختلف سال محاسبه گردید. برخی از خصوصیات مرتبط با نیاز آبی این دو محصول زراعی، در جدول ۵ آورده شده است. تاریخ کشت با توجه به تاریخ شروع و پایان دوره‌ی رشد، کشاورزان محلی و سازمان جهاد کشاورزی شهرستان ابهر انتخاب شد. تاریخ کشت گندم زمستانه و جو بهاره به ترتیب نهم آبان ماه و پانزدهم اسفند ماه بود. همچنین، طول هر یک از مراحل چهارگانه‌ی رشد (ابتدایی، توسعه‌ی گیاه، میانی و نهایی) بر اساس اقلیم منطقه (نیمه‌خشک) به همراه ضرایب گیاهی^۱ مربوط به هر مرحله از نشریه‌ی شماره‌ی ۵۶ آبیاری و زهکشی فائو

$$ET_{Crop} = K_c \times ET_0 \quad (\text{Doorenbos and Pruitt, 1977}) \quad (16)$$

$$K_{c_c} = K_{c_t} + [0.04(U_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)] \left[\frac{h}{3} \right]^{0.3} \quad (\text{Allen et al., 1998}) \quad (17)$$

$$ET_{actual} = St. D - St. D (e^{ET_{c \times \frac{t}{1-p} \times Sa.D})} \quad (\text{Rijtema and Aboukhaled, 1975}) \quad (18)$$

$$Y_{rw} = \left[1 - Ky \times \left(1 - \frac{ET_a}{ET_c} \right) \right] \quad (\text{Doorenbos and Kassam 1979}) \quad (19)$$

$$WPP = RTPP \times Y_{rw} \quad (\text{Doorenbos and Kassam 1979}) \quad (20)$$

متری از سطح زمین (m/s)؛ RH_{min} : رطوبت نسبی حداقل هوا (%؛ h : حداکثر ارتفاع گیاه (m)؛ WPP : تولید پتانسیل در تنش رطوبتی ($kg ha^{-1}$)؛ $RTPP$: تولید پتانسیل در شرایط بهینه ($kg ha^{-1}$)؛ Y_{rw} : کاهش عملکرد ناشی از تنش رطوبتی (%؛ Ky : فاکتور پاسخ گیاه؛ ET_a : تبخیر تعرق واقعی

که در آن: ET_c (ET_m): تبخیر و تعرق بیشینه؛ K_c : ضریب گیاهی؛ ET_0 : تبخیر تعرق پتانسیل (mm)؛ K_{c_c} : ضریب گیاهی اصلاح‌شده برای مرحله‌ی معین؛ K_{c_t} : ضریب گیاهی مرحله‌ی معین (در نشریه‌ی شماره‌ی ۵۶ فائو)؛ U_2 : سرعت باد در ارتفاع ۲

¹ Crop Coefficient (Kc)

توسعه‌ی ریشه؛ P: میزان آب سهل الوصول خاک برای گیاه است.

(mm)؛ St.D: مقدار آب قابل استفاده (mm) در عمق توسعه‌ی ریشه (D) طی زمان معین (t)؛ Sa.D: حداکثر آب قابل استفاده (mm) در عمق

جدول ۵- خصوصیات محصول گندم زمستانه و جو دو ردیفه‌ی بهاره جهت تعیین نیاز آبی.

محصول	مرحله‌ی اولیه	مرحله‌ی توسعه	مرحله‌ی میانی	مرحله‌ی نهایی	کل
گندم زمستانه	۰/۷۰	۱/۱۵	۰/۲۵	۲۴۰	۲۴۰
	۰/۳۰	۱۴۰	۴۰	۳۰	۲۴۰
	۰/۳۰	۱۵۰	۰/۹۰	۳۰	۲۴۰
	۰/۵۵	۰/۶۰	۰/۵۰	۰/۴۰	۱/۰۰
	۰/۲۰	۱/۰۰	۰/۴۰	۰/۴۰	۱/۰۰
جو دو ردیفه	۰/۳۰	۱۵	۱/۲۰	۲۲	۱۰۹
	۰/۳۰	۱۵	۴۲	۲۲	۱۰۹
	۰/۳۰	۱۵	۴۲	۲۲	۱۰۹
	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۰	۱/۰۰
	۰/۲۰	۰/۶۰	۰/۵۰	۰/۴۰	۱/۰۰

(Khiddir, 1986). اگر معیار سرزمین کیفی باشد، درجه‌ی بالاتر به آن اختصاص می‌یابد (جدول ۶)، مثلاً اگر بافت خاک SL شد، باید عدد ۸۵ را در نظر گرفت. هر گاه آن ویژگی حالت مرزی داشته باشد مانند SL در مرز LS و یا روند تغییرات این معیار در دو کلاس کنار هم قرار گیرد مانند بافت C و SC در یک خاکرخ، می‌توان از میانگین آن‌ها استفاده کرد. برای مثال، اگر بافت LS-SL با درجات ۶۰-۸۵ باشد، میانگین (۷۲/۵) آن‌ها در محاسبات استفاده می‌شود. اگر معیار اراضی کمی باشد، از طریق میان‌یابی خطی درجه‌ی معیار مورد نظر (y) محاسبه می‌شود (رابطه‌ی ۲۳). در نهایت،

پتانسیل تولید اراضی^۱: با تلفیق و اعمال اثرات محدودیت‌های اراضی بر رشد محصول، پتانسیل تولید اراضی به دست می‌آید. در واقع، شاخص اراضی^۲، اثر معیارهای سرزمین از جمله بافت خاک، عمق خاک، درصد سنگریزه، درصد کربنات کلسیم، شیب سرزمین، سطح فرسایش آبی، میانگین دمای روزانه در چرخه‌ی رشد محصول، مجموع بارش در چرخه‌ی رشد محصول بر تولید را تعیین می‌کند. شاخص اراضی از طریق معادله‌ی ریشه‌ی دوم محاسبه شد (رابطه‌ی ۲۱) زیرا تا حدودی اثرات متقابل بین معیارها را کمینه می‌کند و عدد آن نیز بین صفر و یک قرار دارد

² Land Index (LI)

¹ Land Production Potential (LPP)

از طریق معادله‌ی ۲۲ میزان پتانسیل تولید اراضی محاسبه و نقشه‌ی آن در نرم‌افزار Arc GIS نسخه‌ی ۱۰/۴/۱ ترسیم شد.

$$LI = R_{\min} \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \dots} \quad (21)$$

$$LPP = WPP \times LI \quad (22)$$

$$y = a + \frac{(b - a)(x - c)}{d - c} \quad (23)$$

که در آن: A، B، C، ...: درجه‌ی دیگر معیارهای اراضی؛ y: درجه‌ی معیاری با مقدار x؛ a: درجه‌ی معیاری با مقدار c؛ b: درجه‌ی معیاری با مقدار d است.

که در آن: LPP: پتانسیل تولید اراضی (kg h^{-1})؛ WPP: تولید در محدودیت آب (kg h^{-1})؛ LI: شاخص اراضی؛ Rmin: کم‌ترین درجه مربوط به یک

جدول ۶- درجات مربوط به هشت معیار ارزیابی تناسب گیاه زراعی گندم و جو با اراضی (Sys et al., 1993).

درجه‌بندی	۱۰۰	۹۵	۸۵	۶۰	۴۰	۲۵	۰
بافت خاک	C < 60s, SiC, Co, Si, SiL, Cl	C < 60v, SC, C > 60s, L	C > 60v, SCL	SL, LFS	-	Cm, SiCm, LcS, fS, cS	
عمق خاک (سانتی‌متر)	> ۹۰	۵۰-۹۰	۲۰-۵۰	۱۰-۲۰	-	< ۱۰	
سنگریزه (درصد)	۳-۰	۱۵-۳	۳۵-۱۵	۵۵-۳۵	-	> ۵۵	
کلسیم کربنات (درصد)	۲۰-۳	۳۰-۲۰	۴۰-۳۰	۶۰-۴۰	-	> ۶۰	
شیب اراضی (درصد)	۲-۰	۴-۲	۸-۴	۱۶-۸	-	> ۱۶	
فرسایش آبی (سطح)	E ₀	E ₁	E ₂	E ₃	-	E ₄	
دما (درجه‌ی سلسیوس)	۱۵-۱۸	۱۲-۱۵	۱۰-۱۲	۸-۱۰	-	< ۸	
بارش (میلی‌متر)	۴۵۰-۷۰۰	۳۵۰-۴۵۰	۲۵۰-۳۵۰	۲۵۰	-	< ۲۰۰	

انتخاب رقم، آبیاری صحیح، مهار آفت و بیماری، تغذیه و حفاظت خاک با یکدیگر تفاوت دارد. در محاسبات مربوط به WPP، RTPP و LPP، فرض بر این است که مشکل مدیریتی، بیماری و آفت وجود ندارد. لذا برای محاسبه‌ی تولید پتانسیل مدیریتی، نخست باید همه‌ی عوامل مدیریتی از

پتانسیل تولید مدیریتی^۱: میزان عملکرد مزارع کشاورزان در یک منطقه با شرایط یکسان اقلیمی، خاک و ناهمواری‌ها متفاوت است. زیرا نوع مدیریتی، میزان امکانات، سطح مهارت و آگاهی کشاورزان با یکدیگر یکسان نیست. بنابراین نوع نگرش و عملکرد آنان در رابطه با تاریخ کاشت،

¹ Management Production Potential (MPP)

سانتیگراد)، تقریباً برابر با ۱۷۹ روز بود. ولی با در نظر گرفتن محدودیت دمایی جهت رشد گیاهان، تعداد روزهای ماه دسامبر (۱۰ آذر-۱۰ دی)، ژانویه (۱۱ دی-۱۱ بهمن) و فوریه (۱۲ بهمن-۹ اسفند) با میانگین دمای روزانه کم‌تر از دمای بحرانی (به ترتیب ۲/۴، ۰/۸- و ۱/۴ درجه‌ی سانتیگراد) از طول دوره‌ی ۱۷۹ روز کسر شد. بنابراین، طول دوره رشد از لحاظ دو عامل رطوبت و دما ۸۹ روز بود. طول دوره‌ی مرطوب، دوره‌ی که بارندگی بیش از تبخیر-تعرق پتانسیل است، بسیار کوتاه (۳۸ روز) بود به طوری که شروع و پایان آن به ترتیب نهم دسامبر (۱۸ آذر) و ۱۵ ژانویه (۲۵ دی) تشخیص داده شد. دوره‌ی رشد در طی هر یک از سال‌های ۱۹۸۶-۲۰۱۸ به طور جداگانه محاسبه گردید (شکل ۳). از لحاظ رطوبت، طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین دوره‌ی رشد به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۶۵ (۲۳۰ روز) و ۱۳۷۴ (۱۰۱ روز) و میانگین این دوره‌ی در ۳۳ سال گذشته ۱۶۴ روز بود. همچنین در این بررسی مشخص شد که در ۴۳ درصد دوره‌ی ۳۳ ساله، شروع دوره‌ی رشد دهه‌ی اول ماه نوامبر و در ۳۶ درصد موارد شروع آن، دهه‌ی پایانی ماه اکتبر بود.

پتانسیل تولید: پتانسیل عملکرد زیستی، گاه و دانه‌ی هر دو محصول گندم زمستانه‌ی دیم و جو بهاره‌ی دیم با استفاده از مدل فائو مبتنی بر تابش و دما با فرض وجود شرایط بهینه‌ی رشد از جمله آب کافی، خاک حاصلخیز، عدم وجود رقابت با علف‌هرز و محیط عاری از آفت و بیماری محاسبه گردید (شکل ۴). با صرف نظر از رطوبت دانه در

مرحله‌ی کاشت تا برداشت محصول، کمی سازی شود و سپس تولید نهایی محاسبه شود. اما، محاسبه‌ی شاخص مدیریتی به علت تعدد عوامل دخیل در آن آسان نیست. از این رو در تحقیق حاضر، نسبت میانگین عملکرد زارعین منطقه به تولید پتانسیل سرزمین به عنوان شاخص مدیریت در نظر گرفته شد (رابطه‌ی ۲۴) که از حاصل ضرب آن در پتانسیل تولید سرزمین (رابطه‌ی ۲۵)، تولید پتانسیل مدیریت محاسبه شد (ایوبی و جلالیان، ۱۳۹۵). نقشه‌ی تولید پتانسیل مدیریت در نرم افزار آرک جی‌آی‌اس نسخه‌ی ۱۰/۴/۱ ترسیم شد.

$$MI = \frac{Y_{ave.}}{LPP} \quad (24)$$

$$MPP = LPP \times MI \quad (25)$$

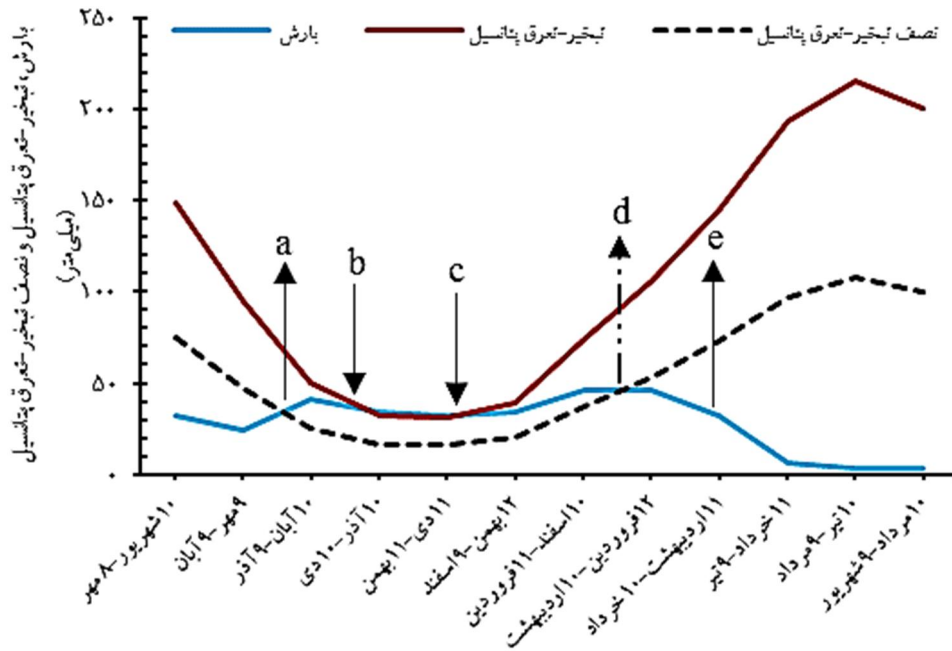
که در آن:

MPP: پتانسیل تولید مدیریت ($kg h^{-1}$)؛ LPP: پتانسیل تولید اراضی ($kg h^{-1}$)؛ MI: شاخص مدیریت (%). $Y_{ave.}$: متوسط عملکرد زارعین منطقه ($kg h^{-1}$) است.

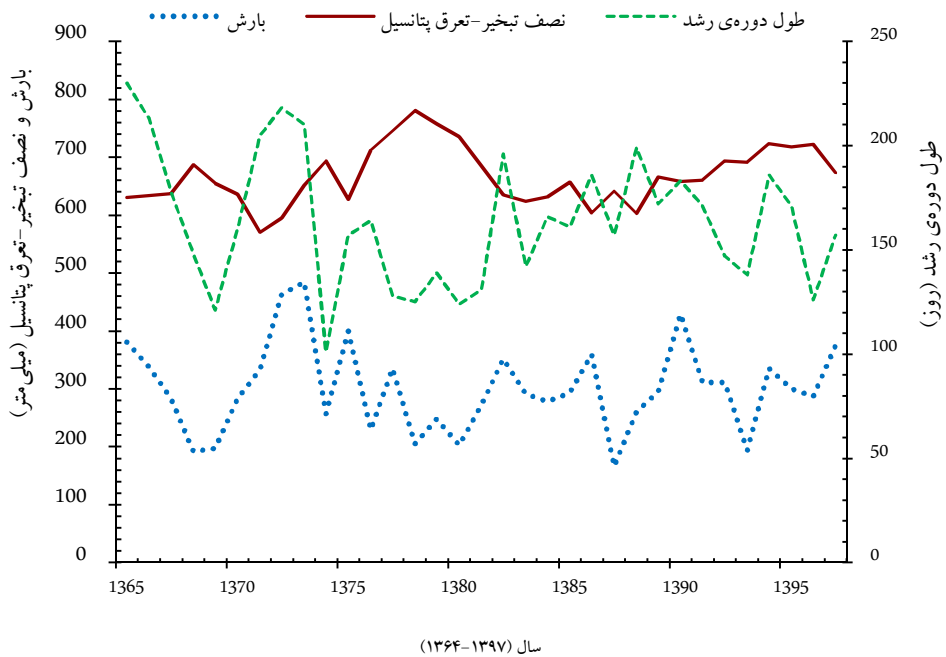
نتایج

دوره‌ی رشد: از لحاظ رطوبتی، طول دوره‌ی رشد از طریق میانگین دراز مدت داده‌های هواشناسی (۳۳ سال) برآورد گردید (شکل ۲). شروع این دوره یا آغاز بارش‌ها، یکم ماه نوامبر (دهم ماه آبان) و پایان آن با احتساب تعداد روزهایی که ۱۰۰ میلی‌متر آب از طریق تبخیر تعرق از خاک خارج می‌شود، ۲۸ ماه آوریل (هشتم ماه اردیبهشت) بود. بنابراین، طول این دوره با صرف نظر از دمای بحرانی (۵ درجه‌ی

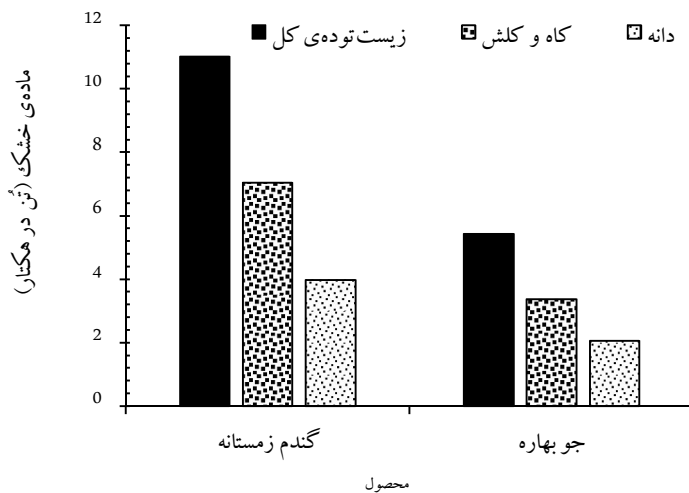
زمان برداشت، میزان ماده‌ی خشک در قالب عملکرد زیستی، کاه و دانه در گندم به ترتیب ۱۱/۰۱، ۷/۰۵ و ۳/۹۷ تن در هکتار و مقادیر آنها برای جو به ترتیب برابر با ۵/۴۲، ۳/۳۶ و ۲/۰۶ تن در هکتار تخمین زده شد.



شکل ۲- طول دوره‌ی رشد (a-e)، دوره‌ی بارندگی (a-d) و دوره‌ی مرطوب (b-c) بر اساس داده‌های اقلیمی (۳۳ ساله)



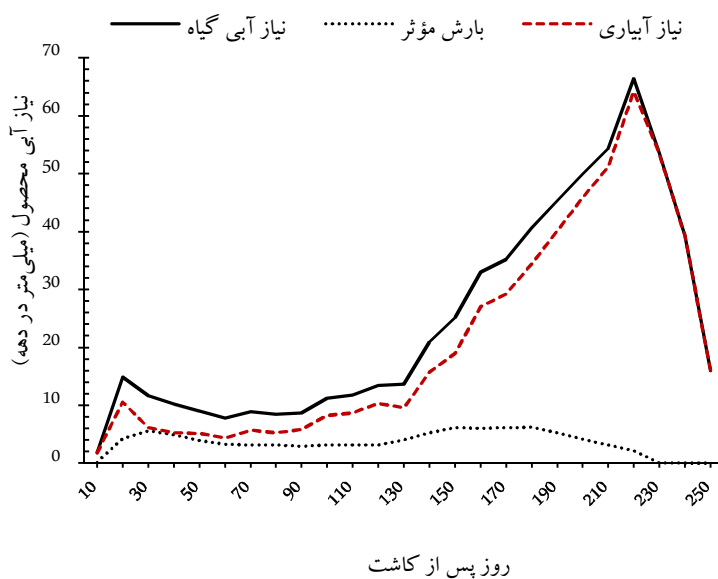
شکل ۳- تغییرات طول دوره‌ی رشد به همراه بارش و نصف تبخیر-تعرق پتانسیل در طی ۳۳ سال گذشته



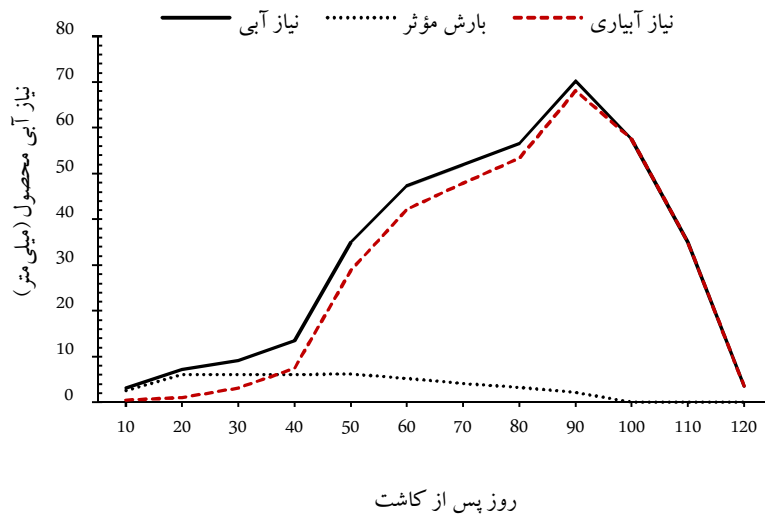
شکل ۴- پتانسیل تولید گندم زمستانه و جو بهاره در شرایط بهینه.

گیاه زراعی جو به ترتیب برابر با $41/8$ ، $390/3$ و $348/5$ میلی‌متر بود (شکل ۶). از لحاظ زمانی، بیش‌ترین میزان نیاز آبی در مراحل ساقه‌روی، گل‌دهی و پر شدن دانه برای گندم به ترتیب برابر با $121/2$ ، $170/6$ و $108/9$ میلی‌متر و مقادیر آن برای جو به ترتیب $95/8$ ، $178/8$ و $96/2$ میلی‌متر در آن مراحل محاسبه شد.

نیاز آبی محصول: نیاز آبی گیاه زراعی گندم دیم زمستانه و جو دیم بهاره با توجه به داده‌های اقلیمی، تاریخ کشت، ضریب آبی گیاه و برخی ویژگی‌های دیگر برآورد گردید. میزان بارش مؤثر، میزان نیاز آبی و نیاز آبیاری در طول چرخه‌ی رشد گندم به ترتیب برابر با 89 ، $611/2$ و $522/4$ میلی‌متر (شکل ۵) و مقادیر آن‌ها برای



شکل ۵- میزان بارش مؤثر، نیاز آبی (تبخیر-تعرق محصول) و نیاز آبیاری گیاه زراعی گندم زمستانه‌ی دیم در طول چرخه‌ی رشد.



شکل ۶- میزان بارش مؤثر، نیاز آبی (تبخیر-تعرق محصول) و نیاز آبیاری گیاه زراعی جو بهاره‌ی دیم در طول چرخه‌ی رشد.

تولید پتانسیل به واسطه‌ی محدودیت آب^۱

تولید در محدودیت آب یا تولید پتانسیل اقلیمی^۲ برای هر دو محصول دیم، گندم زمستانه و جو بهاره، با توجه به سه نوع بافت متداول خاک محاسبه گردید (جدول ۷). میزان افت عملکرد ناشی از قابلیت دسترسی به رطوبت در بافت خاک سنگین، متوسط و سبک در محصول گندم به

ترتیب برابر با ۱۲/۶، ۰/۰ و ۴۲/۲ درصد و مقادیر آن برای محصول جو به ترتیب برابر با ۴۲/۳، ۲۸/۰ و ۶۵/۵ درصد بود. با اعمال محدودیت آبی، میزان عملکرد دانه در بافت خاک سنگین، متوسط و سبک در گندم به ترتیب ۳/۴۷، ۴/۰۸ و ۲/۲۹ تن در هکتار و مقادیر آن در جو به ترتیب ۱/۱۹، ۱/۴۸ و ۰/۷۱ تن در هکتار بود.

جدول ۷- تولید پتانسیل گندم زمستانه و جو دو ردیفه‌ی بهاره در محدودیت آب.

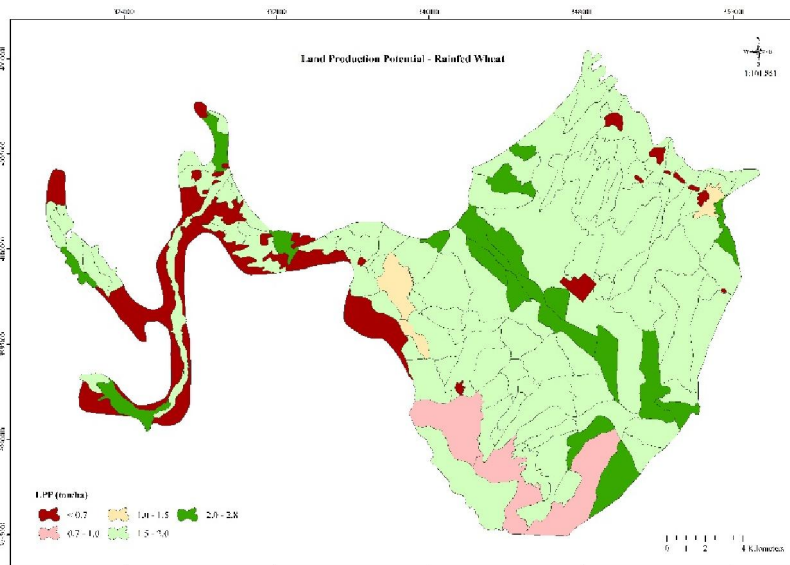
ماده‌ی خشک (کیلوگرم در هکتار)			بافت خاک	محصول
دانه	کاه و کلش	زیست توده‌ی کل		
۳۴۶۵/۵۲	۶۱۶۰/۹۲	۹۶۲۶/۴۳	سنگین	گندم زمستانه
۴۰۷۵/۲۶	۶۹۳۸/۹۶	۱۱۰۱۴/۲۳	متوسط	
۲۲۹۱/۸۴	۴۰۷۴/۳۸	۶۳۶۶/۲۲	سبک	
۱۱۸۸/۴۶	۱۹۳۹/۰۷	۳۱۲۷/۵۳	سنگین	جو بهاره
۱۴۸۳/۰۰	۲۴۱۹/۶۳	۳۹۰۲/۶۳	متوسط	
۷۱۰/۶۰	۱۱۵۹/۴۱	۱۸۷۰/۰۱	سبک	

² Climatic production potential

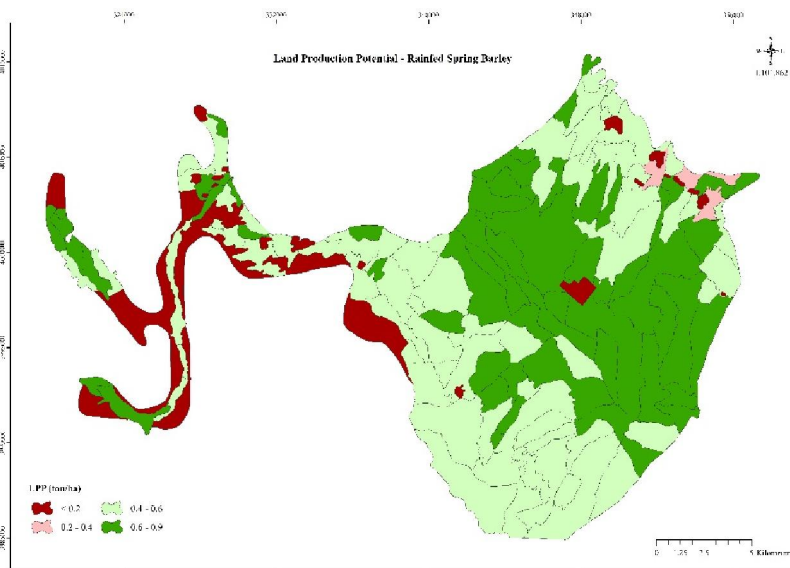
¹ Water-limited production potential

۳۰/۹۳ و ۷۴/۸۲ درصد و برای کشت جو دیم به ترتیب ۳۸/۹۰، ۲۸/۰۸ و ۵۲/۶۶ درصد بود. میانگین، حداقل و حداکثر پتانسیل تولید اراضی در کشت گندم دیم به ترتیب ۱/۸۰، ۰/۷۱، ۲/۷۱ تُن در هکتار و مقادیر این کمیت‌ها برای کشت جو دو ردیفه‌ی دیم ۰/۵۳، ۰/۲۰ و ۰/۸۸ تُن در هکتار برآورد گردید.

پتانسیل تولید اراضی: در ۷۰ درصد از اراضی مورد مطالعه، پتانسیل تولید اراضی برای گندم دیم ۵/۰-۱/۲ تُن در هکتار (شکل ۷) و در ۴۱/۵ درصد از اراضی پتانسیل تولید اراضی برای جو بهاره‌ی دیم ۰/۹-۰/۶ تُن در هکتار (شکل ۸) برآورد شد. میانگین، حداقل و حداکثر شاخص اراضی جهت کشت گندم دیم به ترتیب ۵۶/۳۷،



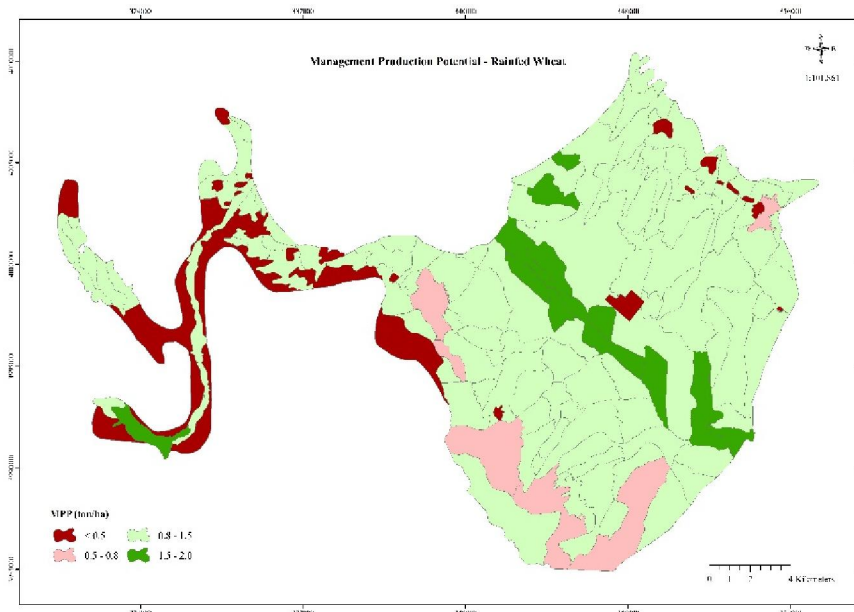
شکل ۷- نقشه‌ی پتانسیل تولید اراضی برای گندم زمستانی دیم در اراضی ابر



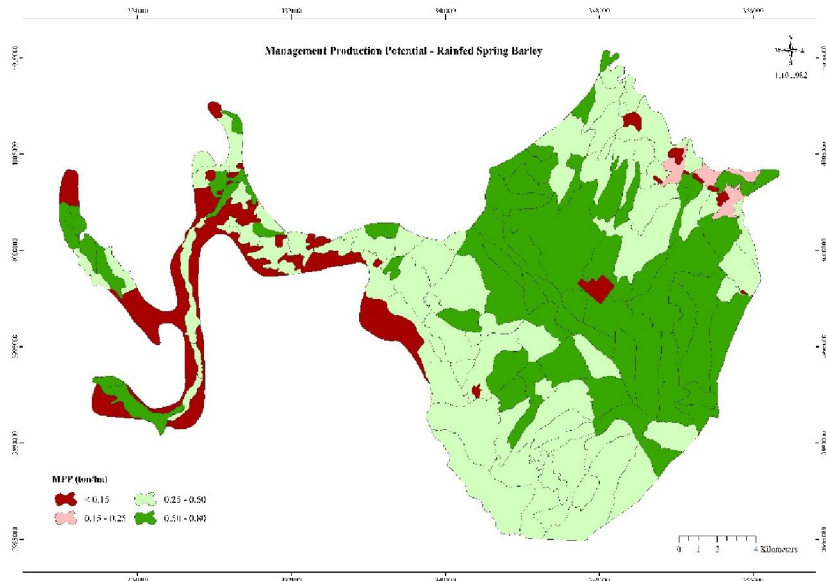
شکل ۸- نقشه‌ی پتانسیل تولید اراضی برای جو بهاره‌ی دیم در اراضی ابر

حداقل و حداکثر تولید پتانسیل مدیریت برای گندم ۱/۲۶، ۰/۵۰ و ۱/۹۰ تن در هکتار (شکل ۹) و مقادیر آن‌ها برای جو به ترتیب برابر با ۰/۴۸، ۰/۱۸ و ۰/۸۰ تن در هکتار (شکل ۱۰) تخمین زده شد.

پتانسیل تولید مدیریت: با توجه به میانگین عملکرد گندم زمستانه و جو دو ردیفه‌ی بهاره در کشت دیم منطقه و تولید پتانسیل سرزمین آن دو، شاخص مدیریت در کشت و کار گندم و جو به ترتیب ۷۰ و ۹۰ درصد محاسبه شد. میانگین



شکل ۹- نقشه‌ی پتانسیل تولید مدیریت برای گندم زمستانه‌ی دیم در اراضی ابهر



شکل ۱۰- نقشه‌ی پتانسیل تولید مدیریت برای جو دو ردیفه‌ی بهاره‌ی دیم در اراضی ابهر

بحث

فروردین (دهه‌ی سوم مارس) تعیین شد (سرمدیان و همکاران، ۱۳۸۳). در مناطقی که دارای دوره‌ی رشد کوتاه و بارش نامنظم هستند و یا اغلب بارش‌ها در زمانی از سال رخ می‌دهد که گیاه قادر به بهره‌مندی از آن نیست در چنین مواقعی، کشاورز باید در اتخاذ برنامه‌ی برداشت حداکثری از آب بارش، کشت به موقع، بهبود راندمان استفاده از آب، انتخاب ارقام متحمل به خشکی یا ارقام زودرس و استفاده از عملیات‌های خاک‌ورزی که رطوبت را در خاک حفظ می‌کند، دقت داشته باشد تا اتلاف عملکرد ناشی از دوره‌های خشک به حداقل برسد. در غیر این صورت، پایداری در تولید محصول دیم و تلاش‌ها جهت تضمین امنیت غذایی به خطر خواهد افتاد (Edao et al., 2018). به‌طور معمول، زمان کشت گندم زمستانه‌ی دیم بین ماه مهر و آبان بوده و طول چرخه‌ی رشد آن تقریباً ۸ ماه است که از آغاز دهه‌ی دوم آذر ماه تا پایان دهه‌ی اول اسفند ماه رشد آن به دلیل میانگین دمای پایین شبانه‌روز متوقف می‌گردد. بهترین زمان کشت جهت استفاده‌ی حداکثر از بارش‌ها، دهه‌ی سوم اکتبر (اواخر مهر ماه) می‌باشد. اگر گندم زمستانه قبل از وقوع سرما و یخبندان‌های زودرس پاییزه کشت شود، می‌تواند تا حدودی رشد کرده و استقرار یابد که در این حالت سرمای زمستان را تا حد زیادی تحمل می‌کند. از طرف دیگر، پس از اتمام آخرین یخبندان‌های زمستانه می‌تواند به سرعت رشد مجدد خود را از سر بگیرد. بهترین زمان کاشت جو دیم بهار در این مناطق، دهه‌ی اول مارس یا نیمه دوم اسفند ماه است تا به محض دریافت واحدهای دمایی، شروع به رشد

دوره‌ی رشد: از ۳۶۵ روز سال، تنها ۱۷۹ روز آن از لحاظ رطوبت جهت کشت دیم در منطقه مورد مطالعه مطلوب است. منحنی رشد منطقه در حد بسیار جزئی از روند دوره‌ی رشد نرمال پیروی می‌کند. این دوره‌ی نرمال شامل چهار بخش است که عبارتند از بخش اول، شروع دوره‌ی رشد، مرحله‌ای که بارندگی از تبخیر تعرق پتانسیل کم‌تر ولی از نصف آن بیش‌تر است. بخش دوم، دوره‌ی مرطوب که در آن بارندگی از میزان تبخیر تعرق بیش‌تر است. دوره‌ی مرطوب منطقه مورد مطالعه خیلی کوتاه بود (۳۸ روز) و با دمای هوای پایین‌تر از دمای بحرانی گیاه هم‌پوشانی دارد که در آن امکان رشد برای بسیاری نباتات وجود ندارد. بخش سوم، پایان فصل بارندگی می‌باشد که مقدار آن بین نقطه‌ی c و d در شکل ۴، یعنی بین آخرین نقطه‌ای از منحنی بارش که توسط منحنی‌های تبخیر-تعرق و نصف تبخیر-تعرق قطع می‌شود. بخش چهارم، پایان دوره‌ی رشد، نقطه‌ای از منحنی که در آن میزان بارش از نصف تبخیر-تعرق نیز کم‌تر بوده و گیاه زراعی از آب موجود در خاک استفاده می‌کند (ایوبی و جلالیان، ۱۳۹۵). در مطالعه‌ای دیگر مشخص گردید که از لحاظ رطوبت کافی جهت نمو گیاه، طول دوره‌ی رشد منطقه‌ی ابهر ۱۸۲ روز و آغاز و پایان آن به ترتیب ۱۶ آبان و ۱۸ اردیبهشت بود (دماوندی، ۱۳۸۱). در منطقه‌ی اشتهازد نیز طول دوره‌ی رشد با استفاده از تجزیه‌ی داده‌های بارش و تبخیر تعرق ۱۳۵ روز برآورد گردید که شروع و پایان آن به ترتیب دهه‌ی سوم آبان (دهه‌ی دوم نوامبر) و دهه‌ی اول

۱۰-۹ تن در هکتار بود (Stapper and Fischer, 1990abc). میانگین عملکرد بیولوژیکی گندم دیم زمستانه در ۱۰۱۵ آزمایش معادل ۶/۷ تن در هکتار و عملکرد دانه آن در ۱۴۵۳۵ آزمایش معادل ۲/۵ تن در هکتار بوده است (Unkovich *et al.*, 2006). میانگین، میانه و مُد شاخص برداشت در گندم دیم با استفاده از داده‌های ۱۹۴ آزمایش به ترتیب ۳۶، ۳۶ و ۳۳ درصد برآورد شد که در بیش از ۵۰ درصد موارد، شاخص برداشت گندم دیم در محدوده‌ی ۳۰-۴۰ درصد قرار داشت (Unkovich *et al.*, 2010).

محدوده‌ی عملکرد اقتصادی قابل قبول برای محصول جو تحت شرایط دیم ۳-۲ تن در هکتار و شرایط آبی ۴-۳ تن در هکتار است (Sys *et al.*, 1993). میانگین عملکرد ماده‌ی خشک کل (۹۶ آزمایش) و عملکرد دانه (۲۹۹۲) در این گیاه زراعی به ترتیب ۷/۸ و ۲/۶ تن در هکتار بود (Unkovich *et al.*, 2006). میانگین، میانه و مُد برای شاخص برداشت جو دیم حاصل از داده‌های ۱۲۷ مورد آزمایش به ترتیب ۳۸، ۳۹ و ۴۷ درصد محاسبه شد که در ۷۰ درصد موارد شاخص برداشت در محدوده‌ی ۳۵-۴۵ قرار داشت (Unkovich *et al.*, 2010). میانگین عملکردهای بالاتر جو بهاره در برخی از مناطق بیانگر عدم وجود محدودیت دوره‌ی رشد جهت دستیابی به پتانسیل تولید می‌باشد برای مثال در صربستان، مجارستان، کرواسی و استرالیا به ترتیب ۳/۴، ۳/۸، ۳/۹ و ۵/۱ تن در هکتار دانه برداشت شده است (Daničić *et al.*, 2019).

کند. زیرا تأخیر در کاشت موجب هم‌زمانی مراحل حساس گل‌دهی و پُر شدن دانه با دما و تبخیر بالا شده و منجر به کوتاهی چرخه‌ی رشد و در نتیجه‌ی آن اُفت شدید عملکرد می‌شود. زیرا افزایش دما موجب افزایش درجه روز رشد و تسریع مراحل فنولوژیکی گیاه شده و متعاقب آن منجر به کاهش طول فصل رشد محصول می‌شود (Hussain and Mudasser, 2007).

پتانسیل تولید: در کرج، تولید پتانسیل ۳۶ رقم مختلف گندم در شرایط مطلوب رشدی مورد بررسی قرار گرفت که میانگین عملکرد زیست توده و دانه‌ی آن‌ها با شاخص برداشت ۲۰-۴۰ درصد به ترتیب ۱۷/۹ و ۵/۵ تن در هکتار عنوان شد (زیلویی و همکاران، ۱۳۹۲). در کشت دیم، عملکرد اقتصادی قابل قبول گندم بین ۲/۵-۳/۵ تن دانه در هکتار است و میانگین عملکرد زارع بین ۱/۲-۳/۰ تن دانه در هکتار است. در کشت آبی، عملکرد اقتصادی قابل قبول بین ۴-۶ تن دانه در هکتار است و میانگین عملکرد زارع بین ۳-۵ تن دانه در هکتار است (Sys *et al.*, 1993). در چین، عملکرد گندم از سال ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۷ از ۱/۹ به ۴/۱ تن در هکتار و از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۴ از ۴/۱ به ۵/۱ تن در هکتار افزایش پیدا کرده است (Sun *et al.*, 2018). حداکثر رشد، عملکرد و شاخص برداشت گندم در مجموعه‌ای از آزمایشات در شرایط مطلوب رشد در جنوب شرقی استرالیا طی سال‌های ۱۹۸۳-۱۹۸۵ مورد بررسی قرار گرفت که شاخص برداشت در آن از ۲۸-۵۱ درصد متغیر بود. با احتساب ۱۲ درصد رطوبت دانه در زمان برداشت، حداکثر پتانسیل عملکرد دانه در شرایط بهینه

پتانسیل تولید در محدودیت آب: نتایج تحقیقی که در منطقه‌ی سوات و چیترا^۱ پاکستان انجام گرفت، نشان داد که در اثر افزایش ۳/۰-۱/۵ درجه‌ی سانتیگراد و متعاقب آن کوتاهی فصل رشد، عملکرد گندم در این دو منطقه به ترتیب ۱۴-۷ درصد و ۲۳-۱۴ درصد کاهش یافت (Hussain and Mudasser, 2007). چون گندم از آغاز گل‌دهی تا مرحله‌ی خمیری نرم نیاز آبی بالایی دارد در صورت مواجه با تنش آبی عملکرد آن کاهش خواهد یافت (امام، ۱۳۹۰). در اتیوپی، محدودیت آب بر گیاه جو مورد بررسی قرار گرفت که در آن میانگین عملکرد دانه و زیست‌توده این محصول به ترتیب ۱/۱۳ و ۶/۲۰ تن در هکتار برآورد شد و مقدار پیش‌بینی شده‌ی عملکرد دانه و زیست‌توده از طریق مدل آکوآکراپ فائو به ترتیب برابر با ۱/۲۲ و ۶/۳۰ تن در هکتار بود (Araya et al., 2010). در اروپای شمالی و مرکزی عملکرد دانه‌ی جو بهاره با شبیه‌سازی توسط سه مدل هرمس^۲، مونیکا^۳ و ووفوست^۴ به ترتیب ۱/۱۲، ۱/۲۸ و ۱/۳۳ تن در هکتار بود (Rötter et al., 2012). در کل، جو بهاره در نواحی نیمه‌خشک به علت سیستم ریشه‌ای گسترده به خوبی عمل می‌کند (Fischer and Maurer, 1978). با این حال، هم‌زمانی مرحله‌ی گل‌دهی و دانه‌بندی گیاه جو با دماهای بالا و کمبود رطوبت شدید، عملکرد و زیست‌توده آن را کاهش می‌دهد (Araya et al., 2010). با مشاهده‌ی فاصله‌ی عملکرد غلاتی مانند گندم و

نیاز آبی محصول: در مطالعه‌ی، نیاز آبی گندم زمستانه رقم کراس آزادی در منطقه‌ی زرقان استان فارس از طریق لایسیمتر (روش مستقیم) با ضرایب گیاهی ۰/۳۷، ۰/۶۸، ۱/۱۱ و ۰/۵۱ برای مراحل چهارگانه‌ی رشد در سه سال متوالی به ترتیب ۷۲۰، ۷۱۲ و ۶۷۴ میلی‌متر محاسبه گردید (Niazi et al., 2005). در یک تحقیق، نیاز آبی گندم زمستانه رقم گاسکوژن در مشهد با ضرایب گیاهی ۰/۳، ۰/۸، ۱/۱۴ و ۰/۴ به ترتیب برای مراحل چهارگانه رشد با استفاده از روش تراز انرژی و لایسیمتری به ترتیب ۵۳۶/۵ و ۵۴۴/۵ میلی‌متر برآورد گردید (قائم‌بایگی و همکاران، ۱۳۹۲). نیاز آبی گندم زمستانه در بیرجند با متوسط ضریب گیاهی ۰/۷۴ به میزان ۷۶۱/۸ میلی‌متر برآورد گردید که در شرایط کاهش یک ماهه از طول فصل رشد ناشی از دماهای بالا، مقدار نیاز آن با متوسط ضریب گیاهی ۰/۷۷ به ۶۶۵/۹ میلی‌متر تنزل می‌یابد (رحمانی و همکاران، ۱۳۹۴). نیاز آبی جو بهاره دیم با میانگین ضریب گیاهی ۰/۸۷ در منطقه‌ی تبت چین به میزان ۳۸۹/۰ میلی‌متر برآورد شد (Liu et al., 2013). نیاز آبی جو پاییزه در بیرجند با میانگین ضریب گیاهی ۰/۶۸ به مقدار ۴۵۶/۹ میلی‌متر برآورد گردید که با کوتاه‌تر شدن یک ماهه‌ی فصل رشد گیاه به وسیله تنش گرمایی، میزان آن با میانگین ضریب گیاهی ۰/۷۱ به ۳۸۱/۱ میلی‌متر تقلیل می‌یابد (رحمانی و همکاران، ۱۳۹۴).

³ MONICA
⁴ WOFOST

¹ Swat & Chitral
² HERMES

عملکرد واقعی و بهینه در اروپای غربی ۳۰ درصد و جهان ۴۸ درصد (۲۶ تا ۶۹ درصد) گزارش شده است (Fischer *et al.*, 2012). نتایج تحقیق حاضر و مطالعات دیگر نشان می‌دهد که مدیریت نامطلوب مانند عدم تطبیق و تنظیم چرخه‌ی رشد گیاه (از طریق تاریخ کشت) با دوره‌ی رشد منطقه، منجر به افزایش فاصله‌ی عملکرد واقعی و پتانسیل محصول می‌شود. برخی از عملیات‌های زراعی نابجا مانند شخم عمیق در اراضی کم عمق با عامل محدودکننده‌ی مواد گچی، سنگ، سنگریزه و قلوه سنگ در خاک زیر سطحی و یا شخم در جهت موازات شیب (دماوندی و همکاران، ۱۳۷۹)، پیامد منفی و مهلک بر ارزش زراعی زمین و متعاقب آن بر عملکرد محصول دارند که بعضاً جبران‌ناپذیر بوده و یا هزینه‌ی بالایی جهت اصلاح اثرات آن مورد نیاز است. به‌طور کلی، با اتخاذ اقدامات مدیریتی از قبیل برداشت مطلوب از آب بارش، کشت به موقع، بهبود راندمان استفاده از آب، انتخاب ارقام متحمل به خشکی یا ارقام زودرس و همچنین حفظ رطوبت با خاک‌ورزی‌های مناسب می‌توان عوامل محدودکننده‌ی رشد محصول دیم را تا حدودی مهار کرد.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج پژوهش حاضر و داده‌های مقطعی^۱ حاصل از مشاهده‌ی منطقه‌ی ابهر و مصاحبه با کشاورزان و کارشناسان بومی، مرحله‌ی مهم پُر شدن دانه در چرخه‌ی رشد گندم زمستانه و جو بهاره در زراعت دیم با طول دوره‌ی رشد منطقه

جو در بیش از دو دهه‌ی گذشته در اروپا مشخص شد که بهبود ژنتیکی در این گیاهان ادامه دارد ولی تغییرات مطلوب ژنتیکی توسط تغییرات اقلیمی از قبیل افزایش تنش گرمایی و وقوع خشکی‌های مکرر خنثی شده و میزان افزایش در عملکرد کاهش می‌یابد (Brisson *et al.*, 2010).

پتانسیل تولید اراضی: در شهرستان آبیگ استان قزوین، دامنه‌ی عملکرد برای گندم دیم ۰/۳۴۲-۰/۲۹۹ تُن در هکتار و برای جو ۰/۴۴۳-۰/۴۵۴ تُن در هکتار برآورد گردید که در آن تحقیق، کمبود بارندگی در چرخه‌ی رشد محصول به همراه شیب تند، درصد سنگریزه‌ی بالا، شوری، گچ و عمق کم خاک جزو عوامل محدودکننده‌ی رشد عنوان شدند (Taaty and Sarmadian, 2015). در دشت دامغان، ابتدا عملکرد پتانسیل جو از طریق مدل رشد فائو محاسبه و سپس محدودیت‌های خاک در آن اعمال گردید که مقدار آن تا ۵/۲۸ تُن در هکتار برآورد شد (Ashraf *et al.*, 2011). در تحقیق حاضر نیز میزان بارش کل در چرخه‌ی رشد محصول، درصد سنگریزه و درصد کربنات کلسیم در اکثر فازهای سرزمین جزو عوامل محدودکننده‌ی رشد بودند.

پتانسیل تولید مدیریت: در دشت‌های شمال و جنوب غربی چین عملکرد واقعی گندم زمستانه‌ی دیم به ترتیب ۴۷ و ۴۵ درصد با عملکرد بهینه اختلاف داشت که محققین بهبود مدیریت، سرمایه‌گذاری و راهبردهای جدید را جهت کاهش فاصله‌ی عملکرد واقعی و بهینه پیشنهاد دادند (Sun *et al.*, 2018). متوسط فاصله‌ی

^۱ Cross-sectional data

(شروع دوره‌ی رشد) کشت گردد تا بذور آن به محض دریافت بارش‌های مؤثر شروع به جوانه‌زنی کنند که علاوه بر زمستان‌گذرانی مناسب، عدم‌همپوشانی (در حدود یک ماه) چرخه‌ی رشد با دوره‌ی رشد با تسریع در رشد مجدد پس از روزهای یخبندان تا حدودی اثرهای منفی کوتاهی دوره‌ی رشد تقلیل یابد. در رابطه با جو بهاره، با توجه به شرایط زمین، عملیات کشت بهتر است در نیمه‌ی دوم اسفند ماه انجام گیرد تا مدت زمان کم‌تری از چرخه‌ی رشد آن با خشکی و دمای بالا مواجه گردد.

هم‌پوشانی لازم را ندارد. بنابراین، در این منطقه موفقیت کشت دیم تا حد زیادی به ذخیره‌ی رطوبتی خاک وابسته است. زیرا بارش مؤثر در طول چرخه‌ی رشد این دو گیاه ناکافی بوده و نیاز آبی آن‌ها را تأمین نمی‌کند. از این‌رو، عدم هم‌پوشانی دوره‌ی رشد منطقه با چرخه‌ی رشد گیاه زراعی به همراه مدیریت نامناسب زارع، منجر به افزایش فاصله‌ی عملکرد واقعی و پتانسیل در گندم (۶۸/۲۶ درصد) و جو (۷۶/۷۰ درصد) دیم شده است. در رابطه با تاریخ کاشت، بهتر است که گندم زمستانه‌ی دیم قبل از فرارسیدن دهه‌ی اول آبان ماه

منابع

- احمدی کریم، عبادزاده حمیدرضا، حاتمی فرشاد، عبد شاه هلدا، کاظمیان آرزو. ۱۳۹۸. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ جلد اول: محصولات زراعی. وزارت جهاد کشاورزی، ۸۷ ص.
- امام یحیی. ۱۳۹۰. زراعت غلات. مرکز نشر دانشگاه شیراز، ایران، ۱۹۴ ص.
- ایوبی شمس‌الله، جلالیان احمد. ۱۳۹۵. ارزیابی اراضی (کاربری کشاورزی و منابع طبیعی). انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، ۳۸۶ ص.
- دماوندی عباسعلی. ۲۰۰۲. مطالعات نیمه تفصیلی ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای زراعت‌های مهم شهرستان ابهر (استان زنجان). مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۱۳۸، ۷۵ ص.
- دماوندی عباسعلی، ضیائی جاوید علیرضا، قاسم‌زاده گنجه‌ای محمد. ۱۳۷۹. مطالعات نیمه تفصیلی دقیق خاک‌شناسی و طبقه‌بندی منطقه ابهر (استان زنجان). مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۱۱۵، ۹۲ ص.
- رحمانی میترا، جامی الاحمدی مجید، شهیدی علی، هادی‌زاده ازغندی مصطفی. ۱۳۹۴. تأثیر تغییر اقلیم بر طول مراحل رشد و نیاز آبی گندم و جو (مطالعه موردی: دشت بیرجند). بوم‌شناسی کشاورزی، ۷(۴)، ۴۴۰-۴۴۳.
- زیلویی نسرین، احمدی علی، جودی مهدی، باقری ده‌آبادی محسن، محمد مراد طارم هاله. ۱۳۹۲. مطالعه صفات فنولوژیک و ارتباط آنها با پتانسیل عملکرد در گندم. علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۴(۴)، ۵۶۲-۵۴۹.

- سرمدیان فریدون، فاتحی شاهرخ، محمودی شهلا. ۱۳۸۳. بررسی و تعیین تناسب کیفی اراضی برای محصولات فاریاب (گندم، جو و پنبه) در منطقه اشتهارد. علوم کشاورزی ایران، ۳۵(۳)، ۶۶۸-۶۵۷.
- علیزاده امین. ۱۳۹۳. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه صنعتی سجاد، ایران، ۷۲۸ ص.
- علیمددی احمد، جهانسوز محمدرضا، احمدی علی، توگل افشاری رضا، رستم‌زamina. ۱۳۸۵. ارزیابی کارایی مصرف نور، ضریب استهلاک نوری و دریافت تابش در ارقام مختلف لوبیا چشم بلبلی، ماش و لوبیا قرمز در کشت دوم. پژوهش و سازندگی، ۱۹(۲)، ۶۷-۷۵.
- قائمی بایگی مریم، رائینی سرجاز محمود، موسوی بایگی محمد. ۱۳۹۲. برآورد ضریب گیاهی و تبخیر-تعرق گندم رقم گاسکوژن در مشهد با استفاده از روش تراز انرژی. مهندسی آبیاری و آب، ۳(۱۱)، ۶۸-۵۸.
- مرکز آمار ایران. ۱۳۹۷. آمارنامه کشاورزی. نتایج سرشماری کشاورزی، ۷۱ ص.

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9), D05109.

Araya A, Habtu S, Hadgu KM, Kebede A, Dejene T. 2010. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley (*Hordeum vulgare*). Agricultural Water Management, 97(11), 1838-1846.

Ashraf S. 2011. Land suitability evaluation for irrigated barley in Damghan plain, Iran. Indian Journal of Science and Technology, 4(9), 1182-1187.

Ati OF, Stigter CJ, Oladipo EO. 2002. A comparison of methods to determine the onset of the growing season in northern Nigeria. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 22(6), 731-742.

Bello NJ, Eruola AO, Ufeogbune GC, Awomeso JA. 2010. Evaluation of some empirical methods of estimating potential evapotranspiration for determination of length of growing season in a tropical wet and dry climate. African J of Agricultural Res, 5, 2116-2123.

Black AL, Frank AB, Bauer A. 1992. A crop calendar for spring wheat and for spring barley. North Dakota farm research-North Dakota, Agricultural Experiment Station (USA). 21-25

Bouman BAM, Van Laar HH. 2006. Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions. Agricultural Systems, 87(3), 249-273.

Brisson N, Gate P, Gouache D, Charmet G, Oury FX, Huard F. 2010. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. Field Crops Research, 119(1), 201-212.

Daničić M, Zekić V, Miroslavljević M, Lalić B, Putnik-Delić M, Maksimović I, Dalla Marta A. 2019. The Response of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) to climate change in Northern Serbia. Atmosphere, 10(1), 14.

De Wit CT. 1978. Simulation of assimilation, respiration and transpiration of crops. Simulation monographs. PUDOC, Wageningen.

Doorenbos J, Kassam AH. 1979. Yield response to water. Irrigation and drainage paper, 33, 257.

- Doorenbos J, Pruitt WO. 1977. Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage paper, 24, 144.
- Edao AL, Kibert K, Mamo G. 2018. Analysis of Start, End, and Length of the Growing Season and Number of Rainy Days in Semi-Arid Central Refit Valley of Oromia State, Ethiopia. *Adv Crop Sci Tech*, 6(386), 2.
- Edoga RN. 2007. Determination of length of growing season in Samaru using different potential evapotranspiration models. *AU JT*, 11(1), 28-35.
- Fischer RA, Maurer R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29(5), 897-912.
- Fischer T, Byerlee D, Edmeades G. 2012. Crop yields and food security: will yield increases continue to feed the world. In *Proceedings of the 12th Australian Agronomy Conference* (pp. 14-18).
- Food and Agricultural Organization. 1979. Report on agro-ecological zones project. Methodology and result for Africa. World soil resources report. No. 48, FAO, Rome.
- Gommes RA. 1983. Pocket computers in agrometeorology. FAO Plant Production and Protection Papers (FAO). No. 45, 140 pp.
- Hargreaves GH. 1994. Defining and using reference evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 120(6), 1132-1139.
- Hussain SS, Mudasser M. 2007. Prospects for wheat production under changing climate in mountain areas of Pakistan—An econometric analysis. *Agricultural Systems*, 94(2), 494-501.
- Khaledian MR, Mailhol JC, Ruelle P, Rosique P. 2009. Adapting PILOTE model for water and yield management under direct seeding system: The case of corn and durum wheat in a Mediterranean context. *Agricultural water management*, 96(5), 757-770.
- Khiddir SM. 1986. A statistical approach in the use of parametric systems applied to the FAO framework for land evaluation (Doctoral dissertation, Ghent University, Belgium), 141 pp.
- Liu ZF, Yao ZJ, Yu CQ, Zhong ZM. 2013. Assessing crop water demand and deficit for the growth of spring highland barley in Tibet, China. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(3), 541-551.
- Mehta R, Pandey V. 2015. Reference evapotranspiration (ET_o) and crop water requirement (ET_c) of wheat and maize in Gujarat. *Journal of agrometeorology*, 17(1), 107.
- Mueller B, Hauser M, Iles C, Rimi RH, Zwiers FW, Wan H. 2015. Lengthening of the growing season in wheat and maize producing regions. *Weather and climate extremes*, 9, 47-56.
- Mugalavai EM, Kipkorir EC, Raes D, Rao MS. 2008. Analysis of rainfall onset, cessation and length of growing season for western Kenya. *Agricultural and forest meteorology*, 148(6-7), 1123-1135.
- Niazi J, Fooladmand HR, Ahmadi SH, Vaziri J. 2005. Water requirement and crop coefficient of wheat in Zarghan area, Fars province. *Journal of Water and Soil Science*, 9(1): 1-8. (In Farsi)

- Raes D, Sithole A, Makarau A, Milford J. 2004. Evaluation of first planting dates recommended by criteria currently used in Zimbabwe. *Agricultural and forest meteorology*, 125(3-4), 177-185.
- Rijtema PE, Aboukhaled A. 1975. Crop water use. In: *Research on Crop Water Use, Salt Affected Soils and Drainage in the Arab Republic of Egypt*. Aboukhaled, A.; Arar, A., Balba, AM; Bishay, BG, 5-61.
- Rötter RP, Palosuo T, Kersebaum KC, Angulo C, Bindi M, Ewert F, ... Olesen JE. 2012. Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe: a comparison of nine crop models. *Field Crops Research*, 133, 23-36.
- Sacks WJ, Deryng D, Foley JA, Ramankutty N. 2010. Crop planting dates: an analysis of global patterns. *Global Ecology and Biogeography*, 19(5), 607-620.
- Segele ZT, Lamb PJ. 2005. Characterization and variability of Kiremt rainy season over Ethiopia. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 89(1-4), 153-180.
- Smith M. 1988. Manual for CROPWAT version 5.2. FAO: Rome, Italy. 45pp.
- Sorecha EM, Bayissa B, Toru T. 2017. Characterization of Rainfall Indices for Crop Production in Kersa District, Eastern Ethiopia: Farmers' Advisory. *Acad. Res. J. Agri. Sci. Res*, 5(2), 134-139.
- Stapper M, Fischer RA. 1990a. Genotype, sowing date and plant spacing influence on high-yielding irrigated wheat in southern New South Wales. I. Phasic development, canopy growth, and spike production. *Australian Journal of Agricultural Research*, 41(6), 997-1019.
- Stapper M, Fischer RA. 1990b. Genotype, sowing date and plant spacing influence on high-yielding irrigated wheat in southern New South Wales. II. Growth, yield and nitrogen use. *Australian Journal of Agricultural Research*, 41(6), 1021-1041.
- Stapper M, Fischer RA. 1990c. Genotype, sowing date and plant spacing influence on high-yielding irrigated wheat in southern New South Wales. III. Potential yields and optimum flowering dates. *Australian Journal of Agricultural Research*, 41(6), 1043-1056.
- Stern RD, Dennett MD, Dale IC. 1982. Analysing daily rainfall measurements to give agronomically useful results. I. Direct methods. *Experimental Agriculture*, 18(3), 223-236.
- Sun S, Yang X, Lin X, Sassenrath GF, Li K. 2018. Winter Wheat Yield Gaps and Patterns in China. *Agronomy Journal*, 110(1), 319-330.
- Sys C, Van Ranst E, Debaveye J, Beernaert F. 1993. Land evaluation part III, crop requirements. *Agricultural publication*, 7. 197p.
- Sys C, Van Ranst E, Debaveye J. 1991. Land evaluation. Part I, principles in land evaluation and crop production calculation. *International Training Center for Post Graduate Soil Scientists*, Ghent University, Ghent. Pp.274.
- Taaty A, Sarmadian F. 2015. Land suitability survey in Abike agro-habitat areas for wheat and barley farming. *Journal of Land Management*, 2(2), 123-136. (In Farsi)
- Tayefe M, Amiri E, Nasrollahzade A, Hashemi SA. 2013. Testing the modeling capability of ORYZA2000 under nitrogen limit conditions in Northern Iran. *International Journal of Biosciences (IJB)*, 3(11), 1-7.
- Thirupathi M, Shashikala AV, Prabhakar M. 2015. Variability study on the length of growing period (LGP) using ground and space based (MODIS) data for the selected

- mandals of Warangal district. *International Journal of Advancement in Remote Sensing, GIS and Geography*, 3(2), 48-58.
- Unkovich M, Baldock J, Forbes M. 2010. Variability in harvest index of grain crops and potential significance for carbon accounting: examples from Australian agriculture. *Advances in Agronomy*, 105, 173-219.
- Unkovich MJ, Baldock J, Forbes M. 2006. Australian crop yields and harvest indices.
- Ye L, Ranst EV. 2002. Population carrying capacity and sustainable agricultural use of land resources in Caoxian County (North China). *Journal of Sustainable Agriculture*, 19(4), 75-94.
- Yousif LA, Khatir AA, El-Hag FM, Abdelkarim AM, Adam HS, AW A, ... Ali-Babiker IEA. 2018. Length of the growing season for dry rainfed farming under Monsoon climate in Gedarif, Sudan. *African Journal of Agricultural Research*, 13(42), 2311-2323.
- Zamani AS, Nasser A. 2008. Response of dryland wheat production and precipitation water productivity to planting date. *Asian Journal of Plant Sciences*, 7(3), 323-326.

DOI: 10.22092/idaj.2020.128725.281

Evaluating overlap of Abhar region growing period with growth cycle of rainfed winter wheat and spring barley

Farhad Bayat¹, Mohammad Reza Jahansuz^{2*}, Mohammad Bagher Hosseini²,
Fereydoun Sarmadian³, Gholamreza Peykani Machiani⁴, Mostafa Oveysi²

1- *Ph.D. student of Crop Ecology, Department of Agriculture and Plant Breeding, University of Tehran, Karaj, Iran*

2- *Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Tehran, Karaj, Iran*

3- *Department of Science and Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran*

4- *Department of Agricultural Economic, University of Tehran, Karaj, Iran*

Abstract

Growing season is the part of a year with suitable temperature and sufficient moisture for crop normal growth. When recognizing the growing period in the region and crop water requirement can adopt appropriate management to better compromise crop with climate limitations in rainfed agriculture. In the research, the length of growing period in Abhar area using linear interpolation and climatic data was investigated. Besides that, crop water requirement, potential yield, and yield reduction in heavy, medium, and light soil texture for rainfed winter wheat and spring barley were studied using FAO method and long-term synoptic information. Results showed that the length of growing period in terms of moisture was estimated 179 days that its beginning and ending were 1st November and 28th April, respectively. But, considering air temperature and crop critical temperature, from beginning of December to end of February was not involved in the growing period. Therefore, the length of the growing period was declined to 89 days. The humid period was calculated 38 days that its beginning and ending were 9th December and 15th January, respectively. Efficient rainfall, crop water requirement, and crop irrigation requirement during winter wheat growing cycle were 89, 611.2, and 522.4 and during spring barley growing cycle were 41.8, 390.3, and 348.5 mm, respectively. Generally, the average, minimum and maximum final yields were estimated for wheat by 1.26, 0.50 and 1.90 Mg ha⁻¹ and for barley by 0.48, 0.18 and 0.80 Mg ha⁻¹, respectively. To mitigate the negative consequences of the shortness of region growing period and its incomplete overlapping with crop growth cycle, measures such as optimum rainwater harvest, sowing in time, improving water use efficiency, selecting drought-resistant or short-season cultivars, and using conservation tillage practices to maintain water are suggested to reach sustainability in rainfed crop production.

Keywords: Production potential, Growing season, Rainfed crop, Water requirement

* Corresponding author: jahansuz@ut.ac.ir

Received: 2019/12/12

Accepted: 2020/08/22