

تخمین پتانسیل تولید گندم و جو زمستانه آبی به روش فائو

فرهاد بیات^{*}، فریدون سرمدیان^۱، محمدرضا جهانسوز^۲، مرجیا سبحانی^۳

۱- دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۴- کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

تولید بالقوه به عملکرد رقمی از یک محصول در یک محیط معین با منابع رشد کافی و عاری از آفات و بیماری‌ها اطلاق می‌شود که تنها با تابش خورشید و دمای آن محیط تعیین می‌شود. آگاهی از میزان پتانسیل تولید به هدایت تحقیقات کشاورزی به منظور شناسایی عوامل محدودکننده رشد و متعاقباً کاهش شکاف عملکرد و در نهایت به تضمین امنیت غذایی کمک می‌کند. این مطالعه در سال ۱۳۹۹ به منظور برآورد عملکرد بالقوه ارقام پرمحصول گندم (پیشگام) و جو (بهمن) زمستانه با استفاده از مدل رشد تابشی-گرمایی فائو و داده‌های دراز مدت تشعشع و دمای شهرستان ابهر (واقع در استان زنجان) انجام گردید. علاوه بر آن، نیاز آبی این گیاهان با استفاده از مدل کراپوات فائو و داده‌های اقلیمی شامل رطوبت نسبی هوا، سرعت باد، ساعت‌های آفتابی، تشعشع، دمای کمینه و بیشینه هوا مطالعه شد. براساس یافته‌های تحقیق حاضر، مقدار باران مؤثر، نیاز آبی و آبیاری نیز در طول چرخه رشد برای محصول گندم به ترتیب ۹۳/۴، ۶۱۵/۳ و ۵۲۲/۷ میلی‌متر تخمین زده شد. پتانسیل عملکرد دانه در ارقام پرمحصول گندم و جو شش ردیفه زمستانه با احتساب شاخص برداشت ۴۵ درصد و رطوبت دانه ۱۱ درصد، به ترتیب ۸/۴۸ و ۷/۹۴ تن در هکتار برآورد گردید. در گندم آبی، بر اساس متوسط عملکرد واقعی (۴/۵ تن در هکتار) در این منطقه، خلأ عملکرد ۴ تن در هکتار (۴۷/۱ درصد) می‌باشد. در جو آبی، با توجه به عملکرد واقعی (۳/۸۵ تن در هکتار)، مقدار خلأ عملکرد به ۴/۱ تن در هکتار (۵۰/۹ درصد) می‌رسد. این اختلاف قابل توجه بین عملکرد واقعی و عملکرد پتانسیل، ضرورت انجام تحقیقات به‌زراعی و به‌نژادی برای شناخت و رفع موانع رشد و در نهایت تقلیل خلأ عملکرد محصول را بیش از پیش نشان می‌دهد.

کلید واژه‌ها: مدل رشد گیاه، مدل تابشی-گرمایی، شبیه‌سازی رشد، عملکرد بالقوه، ارقام پرمحصول، نیاز آبی.

مقدمه

گندم و جو به عنوان محصولات استراتژیک در کشور محسوب می‌شوند که علاوه بر حضور پر رنگ در جیره غذایی عموم افراد جامعه، از دیرباز تا امروز در تأمین علوفه مورد نیاز دام خرده‌مالکین نیز نقش کلیدی ایفا می‌کنند (آکار و همکاران، ۲۰۰۴؛ مسعودی و حاتمی، ۱۳۹۰). از زمان افزایش قیمت مواد غذایی در سال ۲۰۰۸، این سوال که چگونه غذای جهان در سال ۲۰۵۰ را تأمین کنیم، توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است (فائو، ۲۰۰۹). دپارتمان امور اقتصادی و اجتماعی سازمان ملل متحد پیش بینی می‌کند که جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ در مجموع به ۹/۳ میلیارد نفر خواهد رسید که با در نظر گرفتن روندهای پیش‌بینی‌شده مانند تغییر در ساختار رژیم غذایی، میزان مصرف و رشد درآمد، نیاز به افزایش ۷۰ تا ۱۰۰ درصدی در تولید جهانی محصول دارد (بروینسما، ۲۰۰۹؛ ون وارت و همکاران، ۲۰۱۳). به طور کلی، رشد جمعیت، افزایش نسبت مصرف مواد غذایی مبتنی بر حیوانات، کمبود منابع آب و زمین و تأثیرات تغییرات آب و هوایی، وضعیت امنیت غذایی جهان را بیش از پیش وخیم‌تر می‌کند (تیان و همکاران، ۲۰۲۱). زیرا با در نظر گرفتن افزایش جمعیت، اراضی قابل کشت و ذخایر آبی جهت تولید غذای کافی دارای محدودیت بوده و امکان افزایش سطح زیر کشت وجود ندارد. به‌ویژه این‌که، امروزه به دلایل زیست‌محیطی از تبدیل مراتع، مناطق حفاظت‌شده، جنگل‌ها و تالاب به عرصه تولید دام و محصول شدیداً ممانعت می‌شود. بنابراین، به‌طور مکرر به تلاش‌ها در راستای افزایش عملکرد محصول از طریق بهبود تولید در واحد سطح تأکید می‌گردد (سرچینگر و همکاران، ۲۰۰۸).

بر اساس گزارش جهاد کشاورزی (۱۳۹۸)، در منطقه ابهر، هر ساله نزدیک به ۴ هزار هکتار از اراضی شهرستان جهت کشت آبی گندم (۲/۵ هکتار) و جو (۱/۵ هکتار) اختصاص می‌یابد که متوسط عملکرد آن‌ها به ترتیب در حدود ۵/۰ و ۴/۵ تن در هکتار است که این میزان می‌تواند نشانگر فاصله قابل‌توجه بین مقدار عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی (مشاهده شده) در آن نواحی باشد. در واقع، عملکرد پتانسیل به میزان عملکرد رقمی از یک محصول تحت محیطی اطلاق

می‌گردد که به آن سازش داشته و علاوه بر وفور منابع رشد (آب و مواد مغذی)، آفات و بیماری‌ها نیز به‌طور مؤثری کنترل می‌شوند (میچل و شیپلی، ۲۰۱۸). از این‌رو، در یک رقم یا هیبرید معین تحت محیط رشد بخصوص، پتانسیل عملکرد توسط مقدار تشعشع، دما و تراکم گیاه در واحد سطح تعیین می‌شود. در مرحله بعد، عامل کمبود آب پس از خصوصیات ژنوتیپ، میزان تابش خورشیدی، دما و تراکم گیاهی عملکرد پتانسیل ناشی از محدودیت آب را تعیین می‌کند که بیش‌تر در شرایط دیم حادث می‌گردد. علاوه بر کاهش عملکرد به واسطه کمبود آب، عملکرد واقعی مزارع توسط عوامل محدودکننده دیگری نظیر کمبود مواد مغذی یا عدم تعادل آن‌ها، کیفیت پایین خاک، بیماری‌ها، آفات، رقابت علف‌های هرز، ماندابی و ورس بوته‌ها شکل می‌گیرد (ایوانز و فیشر، ۱۹۹۹) که در اینجا، میزان تفاوت عملکرد پتانسیل و عملکرد زارع، خلاء عملکرد نامیده می‌شود.

امروزه مدل‌های متعددی که مبتنی بر میزان تبخیر تفرق، تشعشع و حرارت هستند جهت تخمین پتانسیل تولید ماده خشک در گیاه توسط محققین مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این میان، می‌توان به مدل فائو (تابشی حرارتی)، واخنینگن، آلبرو، دی‌ست، آپسیم، وُفتست و آکواکراپ اشاره کرد (سالو و همکاران، ۲۰۱۶). بر اساس نتایج یک تحقیق در ایران (در مقیاس ملی)، با استفاده از مدل SSM-iCrop2، عملکرد بالقوه برآورد شده جو در شرایط آبی بین ۵۲۸۳ تا ۸۲۸۶ کیلوگرم در هکتار (با میانگین ۷۰۹۰ کیلوگرم در هکتار) و در شرایط دیم بین ۱۰۷۲ تا ۴۰۰۲ کیلوگرم در هکتار (با میانگین ۲۷۲۳ کیلوگرم در هکتار) متغیر بود و از طرف دیگر، شکاف عملکرد در جو آبی بین ۳۲۳۷ تا ۴۶۹۷ کیلوگرم در هکتار (۵۰ تا ۷۶ درصد) با میانگین ۴۰۸۱ کیلوگرم در هکتار (۵۸ درصد) و در جو دیم بین ۶۱۵ تا ۳۱۲۵ کیلوگرم در هکتار (۵۳ تا ۸۲ درصد) با میانگین ۱۷۱۴ کیلوگرم متغیر است. در هکتار (۶۳ درصد) محاسبه شده بود (الستی و همکاران، ۲۰۲۲). به‌طور مشابه، یافته‌های تحقیق دیگری در مقیاس کشوری (ایران) نشان داد که میانگین عملکرد پتانسیل ۸/۸ تن در هکتار، عملکرد واقعی گندم آبی تقریباً ۳/۴ تن در هکتار، و شکاف عملکرد ۵/۴ تن در هکتار (۶۲ درصد) می‌باشد. همچنین، در این تحقیق بیان شد که کشاورزان، به طور متوسط، تنها به ۳۸ درصد از

نهال و بذر کرج نشان داد که عملکرد برخی از ارقام تا ۶/۸۵ تن در هکتار می‌رسد (مامنوبی و همکاران، ۲۰۰۶).

در ایران، از مدل فائو به منظور ارزیابی پتانسیل تولید پنبه در مسیله استان قم (سید جلالی، ۲۰۰۴)، یونجه در استان قزوین (طاعتی و همکاران، ۲۰۱۵)، چغندر قند در لرستان و دشت سیلاخور (سهرابی و چگینی، ۱۳۹۰)، ذرت در شهرکرد (گیوی و نوری، ۱۳۹۱) استفاده شده است. برای منطقه هشتگرد (یدالهی نوش‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۶) و دشت مغان (ایزدفرد و همکاران، ۱۳۹۶) نیز پتانسیل عملکرد گندم و جو بر اساس تشعشع و حرارت منطقه به وسیله مدل فائو مورد مطالعه قرار گرفته است. مدل تابشی-گرمایی تولید دارای سه فرض است که عبارتند از الف)، زیست‌توده خالص تجمع‌یافته از یک روند سیگموئیدی پیروی می‌کند. ب)، متوسط میزان تولید زیست‌توده خالص، نصف میزان حداکثر تولید زیست‌توده است. پ)، کل زیست‌توده خالص تجمع‌یافته می‌تواند از طریق متوسط میزان تولید زیست‌توده و تعداد روزهایی که گیاه از جوانه‌زنی تا بلوغ سپری می‌کند، محاسبه شود (ایوبی و جلالیان، ۱۳۹۵).

در کل، عملکرد یک صفت پیچیده و کمی است که حاصل عمل تجمعی تعداد زیادی ژن کوچک اثر می‌باشد. میزان بروز این ژن‌ها، تابع شرایط محیطی بوده و مستعد نوسان است که موجب پیوستگی در مقادیر چنین صفاتی می‌گردد. در واقع، تعدد عوامل ژنتیکی دخیل در ظهور یک صفت، منجر به افزایش نقش محیط در میزان بروز آن‌ها و شکل‌گیری صفاتی مانند عملکرد می‌شود (هاینو، ۲۰۱۴). در صورتی که آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به طور کامل فراهم بوده و محیط عاری از علف هرز، آفت و بیماری باشد، سرعت رشد محصول توسط عوامل نظیر میزان تشعشع خورشیدی، درجه حرارت، غلظت کربن دی‌اکسید و نیز خصوصیات ژنتیکی گیاه تعیین می‌گردد (ون ایترسم و ربینج، ۱۹۹۷). اغلب مواقع، دستیابی به عملکرد بالقوه در شرایط مزرعه امکان‌پذیر نیست، زیرا مجموعه‌ای از عوامل محدودکننده (آب و مواد مغذی) و عوامل کاهنده (آفات و بیماری) رشد منجر به شکاف بین عملکرد واقعی و پتانسیل می‌شوند (کروپف و همکاران، ۱۹۹۴). از این‌رو، اهداف و کوشش‌های مدیریت و پژوهش‌های زراعی در راستای مهار عوامل ایجادکننده خلاء عملکرد هستند.

عملکرد پتانسیل گندم آبی دست‌یافته‌اند (زاهد و همکاران، ۱۳۹۸). در مطالعه‌ای، متوسط عملکرد پتانسیل گندم با استفاده از مدل وُفتست برای استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی مورد ارزیابی قرار گرفت که مقادیر آن به ترتیب ۶/۲، ۶/۹ و ۴/۸ تن در هکتار بود و متوسط خلاء عملکرد برای سه استان به ترتیب ۳/۷، ۴/۳ و ۲/۸ تن در هکتار محاسبه شده بود (نصیری محلاتی و کوچکی، ۱۳۸۸).

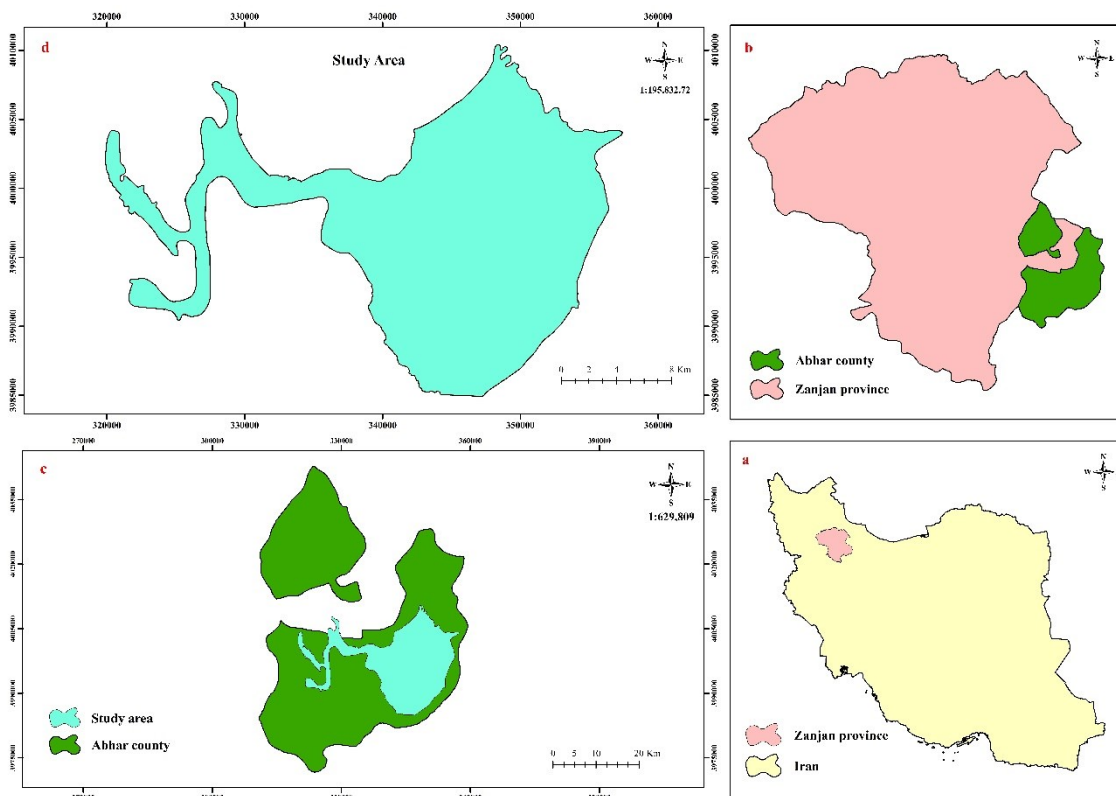
در استان خوزستان، بیش‌ترین و کم‌ترین پتانسیل عملکرد دانه به ترتیب برای شهرستان‌های ایذه (۹۲۴۷ کیلوگرم در هکتار) و شوشتر (۷۵۳۸ کیلوگرم در هکتار) برآورد شده بود و بیش‌ترین خلاء عملکرد نیز مربوط به شهرستان ماهشهر (۶۵/۸ درصد) و کم‌ترین آن مربوط به دزفول (۴۱/۶ درصد) محاسبه شد (قرینه و همکاران، ۱۳۹۱). در شهرستان کرج (استان البرز) نیز تولید پتانسیل ۳۶ رقم گندم در شرایط مطلوب رشدی مورد بررسی قرار گرفت که در آن رقم قدس با شاخص برداشت ۳۴/۳۱ درصد، بالاترین میزان زیست‌توده (۲۳/۴۹ تن در هکتار) و عملکرد دانه (۸/۰۶ تن در هکتار داشت) را در بین دیگر ارقام داشت و دامنه تغییرات زیست‌توده و عملکرد دانه به ترتیب ۱۴/۱ - ۲۳/۵ تن در هکتار (میانگین ۱۷/۹ تن در هکتار) و ۳/۴ - ۸/۱ تن در هکتار (میانگین ۵/۵ تن در هکتار) بود (زیلویی و همکاران، ۱۳۹۲). در مطالعه‌ای، زیست‌توده و عملکرد دانه در جو با شاخص برداشت ۴۵ درصد برای دشت مغان به ترتیب ۱۴/۶۵ و ۶/۶۰ تن در هکتار برآورد گردید (ایزدفرد و همکاران، ۱۳۹۶). در شهرستان هشتگرد، زیست‌توده و عملکرد دانه جو با شاخص برداشت ۴۰ درصد، به ترتیب ۸/۳۰ و ۲۰/۷۵ تن در هکتار تخمین زده شد (یدالهی نوش‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۶). در فرانسه، آلمان و انگلستان میانگین عملکرد برداشت‌شده توسط زارعین به ترتیب برابر با ۶/۳۷، ۵/۸۸ و ۵/۵۴ تن در هکتار گزارش شده است (آکار و همکاران، ۲۰۰۴). 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 تن در هکتار برآورد شد (اشرف و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج مطالعه اثرات رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد محصول و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه زراعی جو در مؤسسه تحقیقات اصلاح

دو گیاه عمده گندم و جو در شرایط بهینه رشد انجام شده بود.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه، عرصه مورد مطالعه با وسعت ۳۰۲۴۷ هکتار در شهرستان ابهر (واقع در استان زنجان) می باشد که بین طول شرقی ۴۹°۱۰' تا ۴۹°۲۵' و بین عرض شمالی ۳۳°۱۵' تا ۳۳°۳۶' قرار دارد (شکل ۱). در محدوده مورد بررسی، ارتفاع از سطح دریا نیز بین ۱۳۶۶ متر و ۲۹۶۱ متر متغیر بود. به طور تقریبی، ۳۶۶۲ هکتار از اراضی به دلیل وجود ناهمواری های زیاد، شیب تند و سازه های صنعتی فاقد امکان زراعت است. این منطقه دارای اقلیم مدیترانه ای با زمستان های سرد و مرطوب در مقابل تابستان های معتدل و خشک است. میانگین کمینه و بیشینه دمای سالانه به ترتیب برابر با ۰/۱ و ۱۲/۷ درجه سانتی گراد (میانگین دمای سالانه ۱۲/۷ درجه سانتی گراد) است. همچنین، میانگین بارش سالانه در این منطقه ۳۰۳/۴ میلی متر می باشد.

تا به امروز، در برخی از نقاط کشور، ظرفیت تولید پتانسیل گیاهان زراعی مهم مورد مطالعه قرار نگرفته است. در نتیجه، مقدار توان تولید محصول و فاصله عملکرد واقعی با آن هنوز ناشناخته می باشد. برای همین، برآورد میزان عملکرد آیدئوتیپ ها در منطقه هدف به انتخاب ارقام مناسب برای آن منطقه و هدف مندی اقدامات به زراعی کمک شایانی می کند. در واقع، ارزیابی فاصله عملکرد پتانسیل و تولید واقعی می تواند به سیاست گذاری و مدیریت در حوزه کشاورزی کمک کند تا اقدامات به زراعی لازم جهت رفع عوامل محدودکننده رشد و تقلیل شکاف عملکرد اتخاذ شود (هاکمن و همکاران، ۲۰۱۳). به طور کلی، شناخت عملکرد بالقوه مبتنی بر توان محیط موجب تسهیل و تسریع روند کاهش خلاء عملکرد از طریق مدیریت می شود. به ویژه این که، در کشورهای در حال توسعه، دستیابی به توان تولید ژنتیکی بهره برداری نشده به امنیت غذایی جهانی کمک می کند. از این رو، تحقیق حاضر با هدف تعیین عملکرد بالقوه گندم و جو زمستانه بر اساس تشعشع و حرارت منطقه مورد مطالعه (ابهر)، از طریق خصوصیات گیاهی ارقام پرمحصول



شکل ۱. موقعیت جغرافیای منطقه مورد مطالعه در شهرستان ابهر واقع در استان زنجان.

متری از سطح زمین ($^{\circ}\text{C}$)؛ u_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (m s^{-1})؛ 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 ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)؛ γ ثابت سایکرومتری ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)؛ P_{tot} بارش کل (mm)؛ P_{eff} بارش مؤثر (mm)
 مدل تابشی-گرمایی پتانسیل تولید، به طور کلی فرآیند محاسبه عملکرد پتانسیل در مدل فائو از طریق تابش، دما و خصوصیات ارقام پرمحصول می‌باشد (شکل ۲). گیاهان دارای مسیر فتوسنتزی C_3 ، به دو زیر گروه تقسیم می‌شوند. در زیر گروه اول (I)، حداکثر میزان فتوسنتز در دمای ۱۵-۲۰ درجه سلیسیوس انجام می‌گیرد که گیاهانی مانند گندم، جو، سیب‌زمینی و لوبیا (ارقام معتدله و مرتفع گرمسیری) در این گروه جای دارند. در زیر گروه دوم (II)، مقادیر بهینه فتوسنتز در دمای ۲۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد حاصل می‌گردد و گیاهانی نظیر لوبیا (ارقام گرمسیری)، سویا، برنج، پنبه و سیب‌زمینی شیرین جزو این گروه هستند (سایس و همکاران، ۱۹۹۱). گندم و جو جزو گیاهان زراعی سه‌کربنه هستند که اولین محصول چرخه فتوسنتزی آن‌ها، تری فسفوجلایسریک اسید (اسید آلی سه‌کربنه) است. بر همین اساس، از مدل فائو جهت برآورد حداکثر تولید ماده خشک گیاه استفاده گردید (رابطه ۶). ضریب تنفسی که به میانگین دمای شبانه‌روز وابسته است، از طریق رابطه ۷ محاسبه شد. با توجه به میانگین دمای روز در طول چرخه رشد محصول، میزان حداکثر فتوسنتز برگ با استفاده از شکل ۳ تعیین و سپس به وسیله یکی از روابط ۸، ۹ و ۱۰ میزان حداکثر تولید زیست‌توده ناخالص در گیاه زراعی برآورد شد. روابط موجود در جدول ۱، برای تخمین میزان حداکثر تولید زیست توده ناخالص در روزهای ابری و صاف در ماه‌های مختلف به کار گرفته شد. همچنین، برای محاسبه کسری از روز با آسمان ابری و صاف به ترتیب از روابط ۱۱ و ۱۲ و برای محاسبه ضریب شاخص سطح برگ از رابطه ۱۳ استفاده گردید...

داده‌های تحقیق، داده‌های اولیه تحقیق شامل دما (کمینه و بیشینه)، رطوبت نسبی، سرعت باد و طول ساعات آفتابی متعلق به ایستگاه سینوپتیک خرمدره (ارتفاع از سطح دریا: ۱۵۷۵ متر، عرض جغرافیایی: $36/196$ درجه و طول جغرافیایی: $49/211$ درجه)، نزدیک‌ترین ایستگاه به محل مطالعه، بودند که از سازمان هواشناسی کل کشور (واقع در تهران) دریافت شد. دمای طول روز بر اساس دمای حداقل و حداکثر شبانه‌روز با استفاده از نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۱۹ محاسبه گردید (رابطه ۱). مقادیر تابش خورشیدی (رابطه ۲)، تبخیر-تعرق پتانسیل (۳) و مقدار بارش مؤثر در ماه (رابطه ۴ و ۵) نیز از طریق داده‌های اولیه در نرم‌افزار کراپ‌وات نسخه ۸ مورد محاسبه قرار گرفت.

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

$$S_t = \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) S_o \quad (2)$$

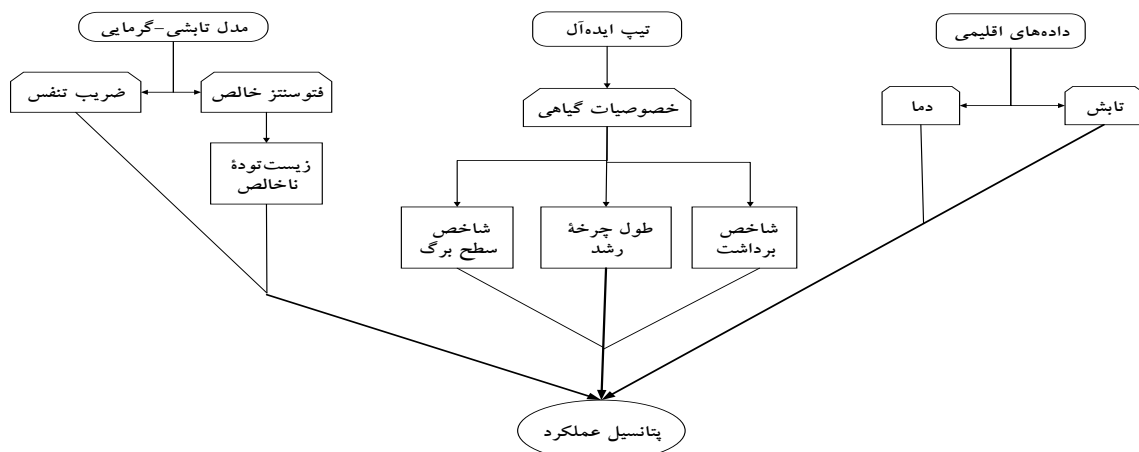
$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (3)$$

$$P_{\text{tot}} \leq 70 \text{ mm} \Rightarrow P_{\text{eff}} = 0.6(P_{\text{tot}}) - 10 \quad (4)$$

$$P_{\text{tot}} > 70 \text{ mm} \Rightarrow P_{\text{eff}} = 0.8(P_{\text{tot}}) - 25 \quad (5)$$

که در آن،

t_d دمای روز ($^{\circ}\text{C}$)؛ t_{\max} و t_{\min} حداکثر و حداقل دمای شبانه‌روز ($^{\circ}\text{C}$)؛ N طول روز یا مجموع ساعات روشنایی در عرض جغرافیایی معین (h) ؛ a_s کسری از تشعشع فزاینده در روزهای ابری ($n=0$)؛ $a_s + b_s$ کسری از تشعشع فزاینده در روزهای صاف ($n=N$)؛ n/N کسر ابرناکی؛ ساعات آفتابی در روز (h) ؛ S_o تشعشع فزاینده ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)؛ S_t مجموع تشعشع ورودی به جو زمین با طول موج کوتاه بر اساس تعداد ساعات آفتابی ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)؛ ET_0 تبخیر و تعرق مرجع یا پتانسیل (mm day^{-1})؛ R_n تشعشع خالص در سطح کانوبی 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



شکل ۲. رویه محاسبه عملکرد پتانسیل گندم و جو در مدل رشد فائو.

$$Y = \frac{(0.36bgm \times K_{LAI} \times HI)}{(1/L + 0.25C_t)} \quad (6)$$

$$C_t = c_{30}(0.001t^2 + 0.0019t + 0.044) \quad (7)$$

$$P_m = 20 \Rightarrow y = 5(P_m - 20) = 0 \Rightarrow bgm = f \times bo + (1-f) \times bc \quad (8)$$

$$P_m > 20 \Rightarrow y = 5(P_m - 20) \Rightarrow bgm = f \times bo \times (1 + 0.002y) + (1-f) \times bc \times (1 + 0.005y) \quad (9)$$

$$P_m < 20 \Rightarrow y = 5(P_m - 20) \Rightarrow bgm = f \times bo \times (1 - 0.25y) + (1-f) \times bc \times (1 - 0.01y) \quad (10)$$

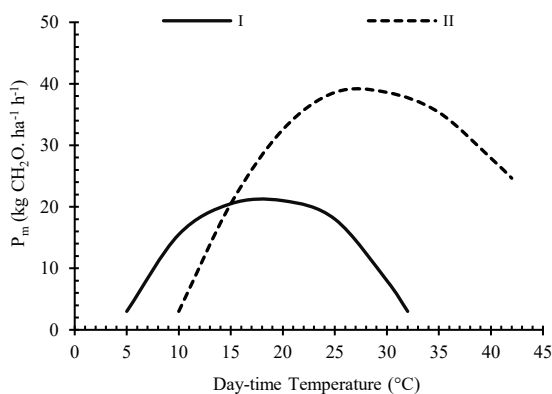
$$f = \left(\frac{n}{N}\right) \quad (11)$$

$$1 - f = 1 - \left(\frac{n}{N}\right) \quad (12)$$

$$K_{LAI} = -0.0303LAI^2 + 0.3522LAI \quad (13)$$

که در آن، bc حداکثر تولید زیست توده ناخالص در روزهای کاملاً صاف ($kg \text{ CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$)؛ bo حداکثر تولید زیست توده ناخالص در روزهای ابری ($kg \text{ CH}_2\text{O ha}^{-1}$)؛ f بخشی از روز با آسمان ابری؛ n تعداد ساعات آفتابی در روز؛ N طول روز؛ $1-f$ بخشی از روز با آسمان صاف؛ K_{LAI} ضریب تصحیح برای شاخص سطح برگ کم تر از ۵ در زمان حداکثر تولید زیست توده ناخالص.

Y پتانسیل عملکرد دانه ($kg \text{ ha}^{-1}$)؛ bgm حداکثر تولید زیست توده ناخالص ($kg \text{ ha}^{-1} \text{ hr}^{-1}$)؛ HI شاخص برداشت (%); L طول چرخه رشد؛ C_t ضریب تنفس؛ c_{30} ثابت تنفس (برای لگومها و غیرلگومها به ترتیب ۰/۰۲۸۳ و ۰/۰۱۰۸)؛ t میانگین دمای روزانه ($^{\circ}\text{C}$)؛ P_m حداکثر فتوستنز طبق دمای طول روز چرخه رشد ($kg \text{ CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{ hr}^{-1}$)؛



شکل ۳- رابطه بین حداکثر فتوستنز برگ با دمای روز در زیر گروه فتوستنزی I و II (سایس و همکاران، ۱۹۹۱).

جدول ۱- معادلات برآورد طول روز (N)، تولید زیست توده ناخالص در روزهای ابری (bo) و صاف (bc).

Month	bc	bo	N
March	$bc = -0.0407x^2 - 0.2614x + 428.86$	$bo = -0.0279x^2 - 0.1757x + 229.83$	$N = -0.0001x^2 + 0.0037x + 11.988$
April	$bc = -0.0329x^2 + 1.3343x + 426.23$	$bo = -0.0243x^2 + 0.8514x + 227.94$	$N = 0.0002x^2 + 0.0223x + 12.051$
May	$bc = -0.0264x^2 + 2.6271x + 416.91$	$bo = -0.0221x^2 + 1.6757x + 221.17$	$N = 0.0006x^2 + 0.0342x + 12.101$
June	$bc = -0.0236x^2 + 3.3529x + 409.69$	$bo = -0.02x^2 + 2.1x + 216$	$N = 0.0008x^2 + 0.041x + 12.128$
July	$bc = -0.0236x^2 + 3.0529x + 412.69$	$bo = -0.0214x^2 + 1.9771x + 218.11$	$N = 0.0007x^2 + 0.0404x + 12.074$
August	$bc = -0.0307x^2 + 2.0586x + 421.86$	$bo = -0.0243x^2 + 1.3314x + 224.74$	$N = 0.0004x^2 + 0.0252x + 12.09$
September	$bc = -0.0393x^2 + 0.6014x + 428.94$	$bo = -0.0271x^2 + 0.3457x + 229.77$	$N = 0.0132x + 12$
October	$bc = -0.0421x^2 - 1.1243x + 426.77$	$bo = -0.0286x^2 - 0.6771x + 227.89$	$N = -0.0003x^2 - 0.0085x + 11.997$
November	$bc = -0.0443x^2 - 2.6286x + 417.34$	$bo = -0.0279x^2 - 1.6357x + 222.03$	$N = -0.0005x^2 - 0.0298x + 12.001$

x، عرض جغرافیای بر حسب درجه که برابر با ۳۶/۱۹۶ است.

در شرایط بهینه رشد استفاده شدند (جدول ۳). با توجه اینکه در ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه میانگین دمای روزانه کم‌تر از ۵ درجه سانتی‌گراد بوده و رشد متوقف می‌شود، لذا مقادیر متغیرها برای این سه ماه محاسبه نشدند.

محاسبات اولیه پتانسیل تولید، مقادیر متغیرها و ضرایب اقلیمی پیش‌نیاز جهت جایگزینی در معادله نهایی تخمین تولید پتانسیل (رابطه ۸) در محصول گندم زمستانه و جو بهاره مورد محاسبه قرار گرفتند (جدول ۲). همچنین بر اساس منابع، متوسط خصوصیات گیاهی این دو گیاه زراعی

جدول ۲- متغیرها و ضرایب لازم جهت تخمین تولید پتانسیل گندم و جو زمستانه آبی.

		Oct	Nov	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Average
Wheat	t_{mean}	14.8	7.5	7.1	12.3	17.0	22.2	25.9	13.7
	t_{day}	21.2	14.3	13.1	17.6	21.6	26.7	28.6	19.1
	n	7.7	5.9	6.1	6.9	9	11	11.1	7.8
	N	11.28	10.23	11.90	13.15	14.10	14.62	14.40	12.7
	bc	329.98	263.06	365.17	430.80	476.58	499.53	491.67	402.8
	bo	165.27	125.70	186.37	226.42	252.24	265.34	261.10	208.7
Barley	t_{mean}	14.8	7.5	7.1	12.3	17.0	22.2	-	13.0
	t_{day}	21.2	14.3	13.1	17.6	21.6	26.7	-	18.6
	n	7.7	5.9	6.1	6.9	9	11	-	7.6
	N	11.3	10.2	11.9	13.1	14.1	14.6	-	12.6
	bc	330.0	263.1	365.2	430.8	476.6	499.5	-	397.0
	bo	165.3	125.7	186.4	226.4	252.2	265.3	-	205.3

t_{mean} میانگین دمای روزانه؛ t_{day} میانگین دمای روز؛ n تعداد ساعات آفتابی؛ N طول روز؛ bc حداکثر تولید زیست‌توده در روزهای

صاف؛ bo حداکثر تولید زیست‌توده در روزهای ابری.

جدول ۳- خصوصیات گیاهی لازم جهت تخمین تولید پتانسیل گندم و جو زمستانه آبی.

Crop	f	1-f	C ₃₀	C _t	LAI	K _{LAI}	P _m	y	L	HI	bgm
Wheat	0.38	0.62	0.0108	0.0028	4	0.92	21	5	181	0.45	335.58
Barley	0.39	0.61	0.0108	0.0026	4	0.92	21.1	5.5	171	0.45	329.18

f: بخشی از روز با آسمانی ابری؛ 1-f: بخشی از روز با آسمانی صاف؛ C₃₀: ثابت تنفس (لگوم‌ها: ۰/۰۲۸۳؛ غیر لگوم‌ها: ۰/۰۱۰۸)؛ C_t: ضریب تنفس؛ LAI: شاخص سطح برگ؛ K_{LAI}: ضریب تصحیح شاخص سطح برگ؛ P_m: حداکثر فتوسنتز برگ (kg CH₂O/ha.hr)؛ y: ضریب تولید زیست‌توده ناخالص؛ L: طول چرخه رشد (day)؛ HI: شاخص برداشت (/)؛ bgm: حداکثر تولید زیست‌توده ناخالص (kg/ha).

زراعی گندم و جو، در جدول ۴ آورده شده است. در نرم‌افزار کراپ‌وات، ضریب گیاهی به صورت روزانه محاسبه شده است و شکل ۴ (a و b)، ضریب گیاهی گندم

برآورد نیاز آبی محصول، با استفاده نرم‌افزار کراپ‌وات نسخه ۸، نیاز آبی محصول در چرخه رشد محاسبه گردید (رابطه ۱۴). برخی از خصوصیات مرتبط با نیاز آبی محصول

همراه ضرایب گیاهی مربوط به آنها، از نشریه شماره ۵۶ آبیاری و زهکشی فائو استخراج گردید (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) که مقادیر میانی و نهایی ضریب گیاهی بر اساس داده‌های اقلیمی منطقه از طریق رابطه ۱۵ اصلاح شدند. در نهایت، ضرایب گیاهی از آغاز تا پایان چرخه رشد از طریق درونیابی خطی در نرم‌افزار کراپ‌وات برآورد گردید (علیزاده، ۱۳۹۰).

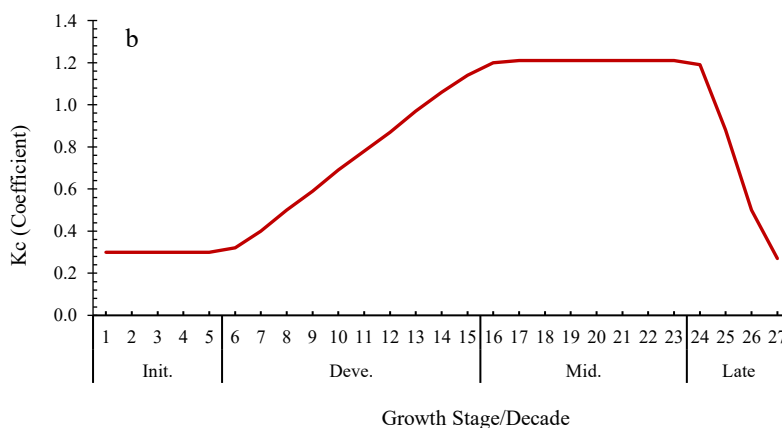
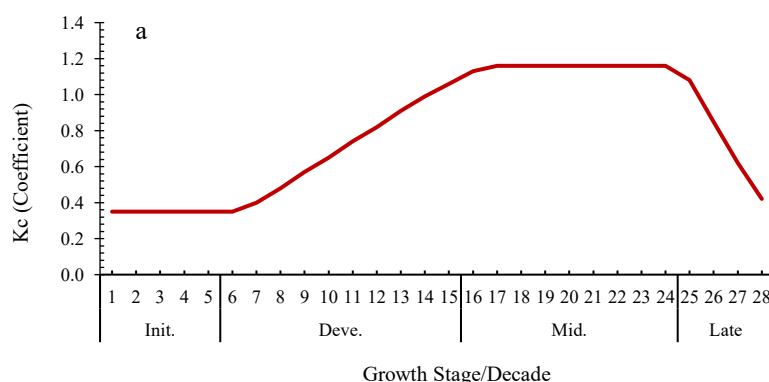
و جو زمستانه را در چهار مرحله اصلی رشد با فاصله زمانی ۱۰ روزه نشان می‌دهد. تاریخ کشت با توجه به اطلاعات کشاورزان محلی، تاریخ برداشت محصولات تابستانه و همچنین تاریخ وقوع سرماهای زودرس پاییزه انتخاب گردید که بر این اساس، نیمه اول مهرماه (۱۵ مهر)، به عنوان بهترین زمان کشت گندم و جو زمستانه آبی بود. علاوه بر آن، طول هر یک از مراحل چهارگانه رشد (ابتدایی، توسعه گیاه، میانی و نهایی) بر اساس اقلیم منطقه (نیمه‌خشک) به

$$ET_{Crop} = K_c \times ET_0 \quad (14)$$

$$K_c = K_{c_i} + [0.04(U_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)] \left[\frac{h}{3} \right]^{0.3} \quad (15)$$

سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (m/s)؛ RH_{min} رطوبت نسبی حداقل هوا (%); h حداکثر ارتفاع گیاه (m).

که در آن ET_m تبخیر و تعرق بیشینه؛ K_c ضریب گیاهی؛ ET_0 تبخیر تعرق پتانسیل (mm)؛ K_{c_c} ضریب گیاهی اصلاح شده برای مرحله معین؛ K_{c_i} ضریب گیاهی مرحله معین (در نشریه شماره ۵۶ فائو)؛ U_2



شکل ۴- ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد گندم (a) و جو (b) زمستانه با توجه اقلیم به منطقه ابهر.

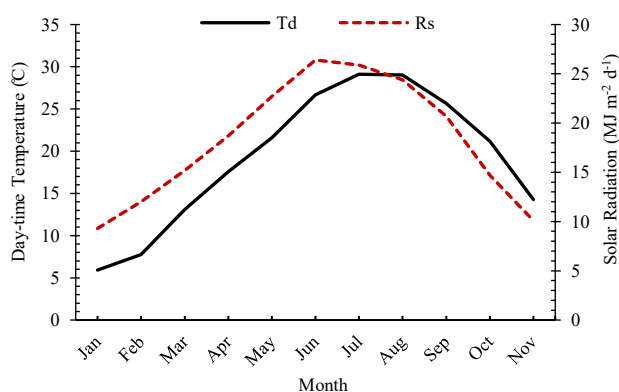
جدول ۴- خصوصیات گیاهی لازم جهت تعیین نیاز آبی گندم و جو شش ردیفه زمستانه آبی.

Crop		Initial	Development	Mid-season	Late season	Total
Wheat	Kc values	0.35	0.70	1.15	0.35	
	Stage (days)	60	100	85	35	280
	Rooting depth (m)	0.30		1.50		
	Critical depletion (fraction)	0.55		0.55	0.90	
	Yield Response fraction	0.20	0.60	0.50	0.40	1.00
	Crop height (m)			1.20		
Barley	Kc values	0.30	0.73	1.20	0.25	
	Stage (days)	55	100	85	25	265
	Rooting depth (m)	0.30		1.50		
	Critical depletion (fraction)	0.55		0.55	0.90	
	Yield Response fraction	0.20	0.60	0.50	0.40	1.00
	Crop height (m)			1.00		

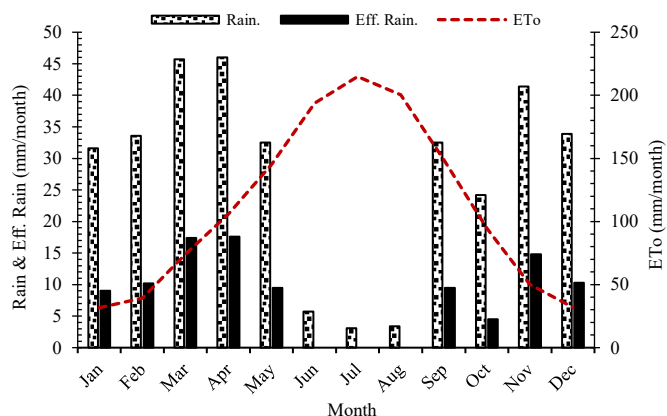
نتایج و بحث

گرفت. میزان حداقل، حداکثر و میانگین نیاز آبی به ترتیب ۶۰۸، ۷۸۸ و ۶۹۱ میلی‌متر برآورد شد (فولادمند، ۱۳۸۹). میزان باران مؤثر در طول چرخه رشد (دهه اول مهر تا اواخر خرداد)، نیاز آبی و آبیاری محصول جو با متوسط ضریب گیاهی ۰/۷۹ در ناحیه مورد مطالعه به ترتیب ۹۳/۴، ۶۱۵/۳ و ۵۲۲/۷ میلی‌متر مورد محاسبه قرار گرفت (شکل ۷-ب). در برخی مطالعات مزرعه‌ای، مقادیر ۶۴۵ و ۵۷۸/۶ میلی‌متر آبیاری در گیاه جو پاییزه، بیش‌ترین میزان تولید زیست‌توده و عملکرد دانه را در مقایسه با دیگر سطوح آبیاری داشت (مامنویی و همکاران، ۲۰۰۶).

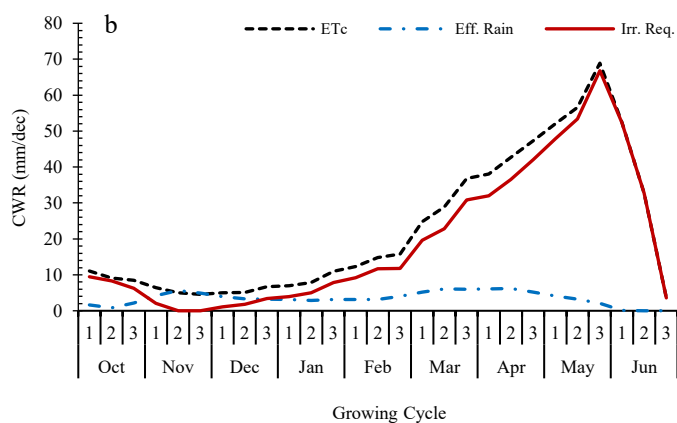
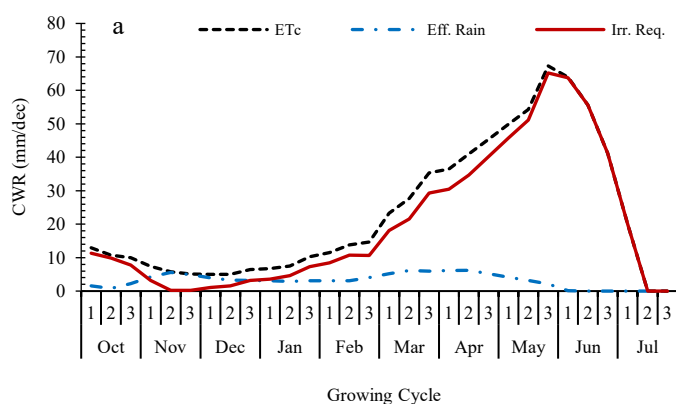
وضعیت اقلیمی و نیاز آبی محصول، مقدار تشعشع و دمای روز (شکل ۵) و همچنین مجموع بارش، بارش مؤثر و تبخیر- تعرق ماهانه (شکل ۶) محاسبه شد. مقدار بارش مؤثر و تبخیر- تعرق پتانسیل سالانه در این منطقه به ترتیب برابر با ۱۰۲/۸ و ۱۳۲۹/۹۵ میلی‌متر بود. مقادیر باران مؤثر در طی چرخه رشد (دهه اول مهر تا نیمه اول تیر)، نیاز آبی و آبیاری محصول گندم با متوسط ضریب گیاهی ۰/۷۹ در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۹۳/۴، ۶۹۴/۵ و ۶۰۱/۱ میلی‌متر برآورد گردید (شکل ۷-ا). میزان نیاز آبی برای گندم در مناطق مختلف استان فارس مورد مطالعه قرار



شکل ۵- میانگین دما و تشعشع در طی روز براساس داده‌های اقلیمی (۳۳ سال).



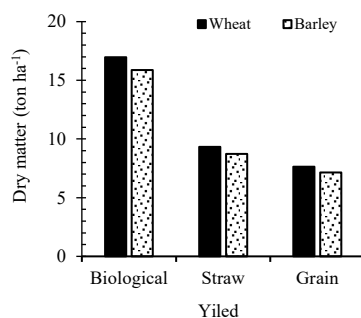
شکل ۶- مجموع بارش، بارش مؤثر و تبخیر تعرق ماهانه بر اساس داده‌های اقلیمی (۳۳ سال).



شکل ۷- میزان بارش مؤثر در چرخه رشد، نیاز آبی و آبیاری گندم (a) و جو شش ردیفه (b) زمستانه آبی.

با شاخص برداشت ۴۵ درصد به ترتیب ۷/۱۵ و ۱۵/۸۸ تن در هکتار برآورد شد (شکل ۶) که با احتساب ۱۱ درصد رطوبت دانه، پتانسیل عملکرد اقتصادی این گیاه زراعی ۷/۹۳ تن در هکتار محاسبه گردید.

تولید پتانسیل، در تحقیق حاضر، میزان ماده خشک زیست توده و دانه گیاه زراعی گندم با شاخص برداشت ۴۵ درصد، به ترتیب ۱۶/۹۸ و ۷/۶۴ تن در هکتار برآورد گردید (شکل ۸). در کل، عملکرد پتانسیل با احتساب ۱۱ درصد رطوبت دانه پس از برداشت، ۸/۴۸ تن در هکتار محاسبه شد. مقادیر ماده خشک زیست توده و دانه برای محصول جو شش ردیفه



شکل ۸- میزان پتانسیل تولید زیست‌توده در گندم و جو زمستانه آبی.

سطح برگ در طی چرخه رشد (به ویژه در بهار پس از رفع محدودیت دمایی) نیز تعیین‌کننده میزان تولید آسمیلات است. از طرف دیگر، افزایش بیش از حد شاخص سطح برگ در واحد سطح ناشی از افزایش تراکم کشت یا افزایش کاربرد کود نیتروژن می‌تواند منجر به کاهش عملکرد گردد (پتر و همکاران، ۱۹۸۸).

در مدل رشد فائو، اگرچه میزان زیست‌توده برآورد شده قابل اطمینان است. اما، عملکرد دانه به شاخص برداشت بکار رفته در مدل بستگی دارد. در تخمین عملکرد پتانسیل دانه، اغلب شاخص برداشت مرجع برای ارقام پُر محصول که تحت شرایط مطلوب محیطی رشد یافته‌اند، مورد استفاده قرار می‌گیرد (هنگ و همکاران، ۲۰۰۹). برخی منابع، دامنه تغییرات برای شاخص برداشت ارقام پُر بازده در گندم و جو را ۳۵-۴۵ درصد (۴۰٪) ذکر کردند (سایس و همکاران، ۱۹۹۳). در منابع دیگر، میانگین شاخص برداشت و حداکثر مقدار آن در ارقام گندم به ترتیب ۳۷ و ۵۶ درصد و در ارقام جو به ترتیب ۳۸ و ۵۷ درصد گزارش شد (آنکوویچ و همکاران، ۲۰۱۰). در آزمایش مزرعه‌ای سه ساله در جنوب فنلاند، میانگین شاخص برداشت برای ارقام مدرن گندم و جو شش ردیفه به ترتیب ۵۵ و ۴۰ درصد عنوان شد (پلتونن-ساینو و همکاران، ۲۰۰۸). آزمایشی با هدف بررسی رابطه صفات فیزیولوژیک و عملکرد پتانسیل ارقام متداول گندم در ایران، دامنه تغییرات برای شاخص برداشت را ۲۰-۴۰ درصد (میانگین ۳۱٪) نشان داد (زیلوی و همکاران، ۱۳۹۲). در تحقیق حاضر، دامنه تغییرات برای شاخص برداشت ارقام پُر محصول ۴۰-۵۰ درصد (میانگین ۴۵٪) در نظر گرفته شد. محققین دیگر در شهرستان هشتگرد کرج، زیست‌توده و عملکرد گندم زمستانه با

تراکم گیاهی، میزان سطوح فتوسنتز کننده، دریافت فوتون و متعاقب آن مقدار تولید آسمیلات‌ها در واحد سطح را نشان می‌دهد (تسیالنتاس و ماسلاریس، ۲۰۰۸). در بهترین تراکم، گیاهان از منابع رشد مانند نور، آب و مواد مغذی با کم‌ترین رقابت درون و برون بوته‌ای بهره‌برداری می‌کنند که در نتیجه آن عملکرد پتانسیل میسر می‌شود (اولسن و همکاران، ۲۰۰۶). اما در تراکم‌های بیش از حد، شیوع بیماری‌های قارچی مانند زنگ بسیار محتمل است که موجب کاهش سبزمانی برگ‌ها و در نتیجه افت میزان فتوسنتز در واحد سطح می‌گردد (ساواری و همکاران، ۲۰۱۹). در ارزیابی تطابق نیازهای گیاه زراعی با شرایط محیطی، دامنه تغییرات برای میانگین شاخص سطح برگ گندم و جو در طی چرخه رشد، ۴-۵ متر مربع برگ در یک متر مربع از سطح زمین عنوان شده است (ایوبی و جلالیان، ۱۳۹۵؛ سایس و همکاران، ۱۹۹۳) که می‌تواند با تراکم ۴۵۰ بوته در متر مربع یا از طریق کاشت ۳۰۰ کیلوگرم بذر در هکتار حاصل گردد (چگنی، ۱۳۹۳). حداکثر مقدار شاخص سطح برگ و محدوده آن تحت تأثیر تاریخ کاشت و تراکم در واحد سطح قرار می‌گیرد. به طور معمول، برای تولید یک تن عملکرد دانه سطح برگی به مساحت ۱/۴-۰/۸ هکتار مورد نیاز است (پتر و همکاران، ۱۹۸۸). البته مقادیر سطح برگ مورد نیاز برای تولید یک کیلوگرم دانه در ارقام گندم با یکدیگر متفاوت است. برای مثال، در رقم بیزرکا سطح برگی به مساحت ۲۵۲/۴ متر مربع را برای تولید یک کیلوگرم دانه احتیاج دارد در حالی که ارقام ساوا، میروئوسکا، زئالاتا دولینا، قفقاز، آئوروا و لیه‌لولا سطح برگی به مساحت ۳۱۳-۴۳۲ متر مربع جهت تولید یک کیلوگرم نیاز دارند (پتر و همکاران، ۱۹۸۸). به عبارت دیگر، مدت زمان سبزمانی

دانه در جو شش ردیفه با شاخص برداشت ۴۵ درصد، به ترتیب ۱۵/۸۸ و ۷/۱۵ تُن در هکتار برآورد گردید که با احتساب ۱۱ درصد رطوبت دانه، پتانسیل عملکرد اقتصادی به ۷/۹۴ تُن در هکتار رسید. عملکرد، یک صفت کمی است که برآیندی اثر متقابل تعداد زیادی ژن و شرایط محیطی می‌باشد. از این رو، زارع تلاش می‌کند که شرایط بهینه رشد را تا حد امکان از طریق به‌زراعی فراهم آورد تا ظرفیت تولید گیاه بروز نماید.

یکی از چالش‌هایی که باید در تحقیقات آبی مدنظر قرار بگیرد این است که تغییرات در محیط به صورت پیوسته می‌باشد، برای همین، استفاده از داده‌های یک ایستگاه همدیدی به منظور برآورد پتانسیل عملکرد گیاهان زراعی در یک منطقه وسیع نمی‌تواند به‌طور دقیق بیانگر توان تولید یک گیاه در آن منطقه معین باشد. بنابراین، بهتر این است که داده‌های چندین ایستگاه موجود در داخل و یا اطراف منطقه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی مورد ارزیابی قرار گرفته و در نتیجه، لایه‌های پیوسته رستری ایجاد و سپس اقدام به تخمین عملکرد گردد.

منابع

1. Akar, T., Avci, M., & Dusunceli, F. (2004). Barley: Post harvest operations. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, The Central Research Institute for Field Crops, Ankara, Turkey, 64.
2. Alasti, O., Zeinali, E., Soltani, A., & Torabi, B. (2022). Exploring the current status of barley yield and production gap of Iran. *European Journal of Agronomy*, 139, 126547.
3. Alizadeh, A. (1390). Soil, Water and Plant Relationship, 12th edition, Imam Reza University Press, Mashhad, Iran, 356 p.
4. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9), D05109.
5. Ashraf, S., Ashraf, V. & Abbaspour, H. (2011). Assessment of land production potential for barley using geographic information system (GIS) method. *Indian Journal of Science and Technology*, 4(12), 1775-1777.

شاخص برداشت ۵۰ درصد را به ترتیب ۲۴/۶۰ و ۱۲/۳۰ تُن در هکتار تخمین زدند (یدالهی نوش‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۶). در تحقیقی، زیست‌توده و عملکرد دانه گندم با شاخص برداشت پایه (۴۸ درصد) را در دشت مغان مورد مطالعه قرار گرفت که مقادیر آن‌ها به ترتیب ۱۷/۷۰ و ۸/۵۰ تُن در هکتار برآورد گردید (ایزدفرد و همکاران، ۱۳۹۶). در دشت عقیلی خوزستان، عملکرد گندم زمستانه آبی با استفاده از مدل رشد فائو ۸/۰۴ تُن در هکتار برآورد گردید (سیدجلالی و همکاران، ۱۳۹۲).

در طی روزهای سرد سال، عمل فتوسنتز تقلیل می‌یابد و تنها توان تأمین نیاز تنفس نگهداری گیاهچه‌ها را دارد و در نتیجه، مواد فتوسنتزی ناچیزی صرف تنفس رشدی می‌گردد. لذا در این دوره، افزایش ماده خشک اندک و رشد گیاهچه‌ها بطئی است (هاری و هانر، ۱۹۹۱). تصمیمات مدیریتی از قبیل انتخاب رقم، تاریخ کاشت و تراکم گیاه می‌تواند عملکرد پتانسیل را در مکانی معین از طریق تأثیر بر میزان استفاده از تشعشع قابل دسترس و ذخایر رطوبتی خاک در طول چرخه رشد تحت شعاع قرار دهد (کاسمن و همکاران، ۲۰۱۰). به طور معمول برای تولید یک تُن عملکرد دانه، سطح برگی به مساحت ۰/۸-۱/۴ هکتار مورد نیاز است. البته مقادیر سطح برگ مورد نیاز جهت تولید یک کیلوگرم دانه در ارقام گندم با یکدیگر متفاوت است و این‌ها به مدت زمان سبزمانی سطح برگ در بهار و تابستان بستگی دارد.

نتیجه‌گیری

مقادیر باران مؤثر در طی چرخه رشد، نیاز آبی و آبیاری محصول گندم با متوسط ضریب گیاهی ۰/۷۹ به ترتیب ۹۳/۴، ۶۹۴/۵ و ۶۰۱/۱ میلی‌متر برآورد گردید. میزان باران مؤثر در طول چرخه رشد، نیاز آبی و آبیاری محصول جو با متوسط ضریب گیاهی ۰/۷۹ به ترتیب ۹۳/۴، ۶۱۵/۳ و ۵۲۲/۷ میلی‌متر مورد محاسبه قرار گرفت. ماده خشک زیست‌توده و دانه در گندم با شاخص برداشت ۴۵ درصد، به ترتیب ۱۶/۹۸ و ۷/۶۴ تُن در هکتار محاسبه شد که با احتساب ۱۱ درصد رطوبت دانه، پتانسیل عملکرد اقتصادی به ۸/۴۸ تُن در هکتار می‌رسد. ماده خشک زیست‌توده و

- ... & Horan, H. (2013). Reprint of "Quantifying yield gaps in rainfed cropping systems: A case study of wheat in Australia". *Field Crops Research*, 143, 65-75.
18. Hurry, V. M., & Huner, N. P. (1991). Low growth temperature effects a differential inhibition of photosynthesis in spring and winter wheat. *Plant Physiology*, 96(2), 491-497.
19. Izadfar, A., Sarmadian, F., Jahansooz, M., Peikani, G., & Chaichi, M. (2017). Comparison between AquaCrop and radiation-thermal production potential models for potential yield estimation in part of Moghan plain, Ardabil Province, Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(4), 853-864.
20. Kropff, M. J., Cassman, K. G., Peng, S., Matthews, R. B., & Setter, T. L. (1994). Quantitative understanding of yield potential. *Breaking the Yield Barrier*, 21-38.
21. Mamnouie, E., Fotouhi Ghazvini, R., Esfahany, M. & Nakhoda, B. (2006). The Effects of Water Deficit on Crop Yield and the Physiological Characteristics of Barley (*Hordeum vulgare* L.) Varieties. *J. Agric. Sci. Technol.*, 8, 211-219.
22. Masoudi, H. & Hatami, A. (1390). The process of using wheat straw and stubble in livestock feeding. The 5th National Conference on Agricultural Residues (Tarbiat Modares University, Tehran), 953-960.
23. Mitchell, P. L., & Sheehy, J. E. (2018). Potential yield of wheat in the United Kingdom: How to reach 20 t ha⁻¹. *Field crops research*, 224, 115-125.
24. Nassiri Mahalati M., & Koocheki A. (2009). Agroecological zoning of wheat in Khorasan provinces: Estimating yield potential and yield gap. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 7(2), 695-709.
25. Olsen, J., Kristensen, L., & Weiner, J. (2006). Influence of sowing density and spatial pattern of spring wheat (*Triticum aestivum*) on the suppression of different weed species. *Weed Biol. Manag.* 6, 165-173.
26. Peltonen-Sainio, P. Muurinen, S. Rajala, A. & Jauhainen, L. (2008). Variation in harvest index of modern spring barley, oat and wheat cultivars adapted to northern growing conditions. *Journal of Agricultural Science*, 146, 35-47.
27. Petr, J., Cerny, V., & Hruska, L. (1988). Yield formation in the main field crops.
6. Ayubi, S., & Jalalian, A. (2015). *Land Evaluation (Agriculture and Natural Resources)*, fifth edition. Isfahan University of Technology, 386 p.
7. Bruinsma, J. (2009). The resource outlook to 2050: by how much do land, water and crop yields need to increase by 2050?. In *How to feed the World in 2050. Proceedings of a technical meeting of experts*, Rome, Italy, 24-26 June 2009 (pp. 1-33). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
8. Cassman, K. G., Grassini, P., & van Wart, J. (2010). Crop yield potential, yield trends, and global food security in a changing climate. *Handbook of climate change and agroecosystems*. Imperial College Press, London, 37-51.
9. Chegeni, H. (2014). Effect of plant density on yield and yield components of wheat cultivars. *Applied Field Crops Research*, 27(104), 9-21.
10. Evans, L. T., & Fischer, R. A. (1999). Yield potential: its definition, measurement, and significance. *Crop science*, 39(6), 1544-1551.
11. Foladmand, H. (2014). Estimation of Mean and Critical Irrigation Requirements for the Important Agricultural Crops of Fars Province. *Water and Soil Science*, 20(2), 187-196.
12. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2009). *How to Feed the World in 2050: High-Level Expert Forum*.
13. Gharineh, M., Bakhshandeh, A., Andarzian, B., & Fayeziadeh, N. (2012). Agro-climatic zonation of Khouzestan province based on potential yield of irrigated wheat using WOFOST model. *Journal of Agroecology*, 4(3), 255-264.
14. Givi, J., & Nouri, M. (2012). Comparison Between Land Production Potential Prediction for Maize, Using FAO and Wageningen Models and Assessment of Management Level for Its Cultivation Around Shahrekord City. *Water and Soil*, 26(4), 873-885.
15. Heino, M. (2014). Quantitative traits. In *Stock Identification Methods*. Academic Press, 59-76 pp.
16. Heng, L. K., Hsiao, T., Evett, S., Howell, T., & Steduto, P. (2009). Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. *Agronomy Journal*, 101(3), 488-498.
17. Hochman, Z., Gobbett, D., Holzworth, D., McClelland, T., van Rees, H., Marinoni, O.,

38. Tsialtas, J. T., & Maslaris, N. (2008). Evaluation of a leaf area prediction model proposed for sunflower. *Photosynthetica*, 46(2), 294-297.
39. 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.
40. Van Ittersum, M. K., & Rabbinge, R. (1997). Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field crops research*, 52(3), 197-208.
41. Van Wart, J., Kersebaum, K. C., Peng, S., Milner, M., & Cassman, K. G. (2013). Estimating crop yield potential at regional to national scales. *Field Crops Research*, 143, 34-43.
42. Yadollahi Nooshabadi, S. J., Jahansuz, M. R., Majnoun Hosseini, N., & Peykani, G. R. (2017). Evaluation of Hashtgerd area land for major crops production ability by FAO method. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(1), 25-38.
43. Zahed, M., Soltani, A., Zeinali, E., Torabi, B., Zand, E., Alimagham, S. (2019). Modeling of irrigated wheat yield potential and gap in Iran. *Journal of Crop Production*, 12(3), 35-52.
44. Ziloe, N., Ahmadi, A., Joudi, M., Bagheri Dehabadi, M., & Mohammad Morad Taram, H. (2013). Study of Phenological Traits and Their Relation with Yield Potential in Wheat. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 44(4), 549-562.
28. Salo, T. J., Palosuo, T., Kersebaum, K. C., Nendel, C., Angulo, C., Ewert, F., ... & Ferrise, R. (2016). Comparing the performance of 11 crop simulation models in predicting yield response to nitrogen fertilization. *The Journal of Agricultural Science*, 154(7), 1218-1240.
29. Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature ecology & evolution*, 3(3), 430.
30. Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R. A., Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa, J., Tokgoz, S., Hayes, D., & Yu, T. H. (2008). Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science*, 319(5867), 1238-1240.
31. Seyed jalali, S., Sarmadian, F., & Shorafa, M. (2014). Modeling of Land Production Potential for Irrigated Winter Wheat in Aghili Plain, Khuzestan Province. *Iranian Journal of Soil Research*, 27(4), 427-439.
32. Seyedjalali, S. A. (2004). Modelling of land production potential for irrigated cotton in Qom Masileh, Qom province. *The fourth international Iran & Russia conference*, 18(1), 642-647.
33. Sohrabi, A., & Chegini, M. (2012). Evaluation of land suitability and radiation-thermal production potential of sugar beet by FAO method in the fields of Department of Agriculture of Lorestan, Iran and its comparison with Silakhoor Plain. *Journal of Sugar Beet*, 27(2), 196-185.
34. 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.
35. Sys, C., Van Ranst, E., Debaveye, J., & Beernaert, F. (1993). *Land Evaluation part III, Crop Requirements*. Agricultural publication, 7. 197p.
36. Taati, A., Sarmadian, F., Mousavi, A., & Rahmani, A. (2015). Agro-ecological zoning for cultivation of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) using RS and GIS. *Scientia Agriculturae*, 9, 93-100.
37. Tian, X., Engel, B. A., Qian, H., Hua, E., Sun, S., & Wang, Y. (2021). Will reaching the maximum achievable yield potential meet future global food demand?. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126285.