مقایسه توابع تولید گندم زمستانه از آب در منطقه مشهد

محمد مهدی نخجوانی مقدم و بیژن قهرمان[1]

چکیده

به منظور تعیین توابع تولید گندم زمستانه (رقم۷۳/۵ C)از آب، آزمایشی در منطقه مشهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی شامل نه تیمار و در سه تکرار اجرا شد. تیمار اول بر اساس آبیاری در تمامی مراحل رشد گیاه (تیمار شاهد)، شش تیمار براساس قطع آب در مراحل شش‌گانه فصل رشد و دو تیمار باقی‌مانده نیز براساس کاهش یکسان میزان آب داده شده به میزان ۲۰ و ۶۰ درصد در طول فصل رشد نسبت به تیمار شاهد انتخاب شدند. به طور کلی تنش آبی سبب شد که مقادیر نفوذ عمقی به صورت منفی محاسبه شوند که این امر بیانگر استخراج آب از اعماق پایین‌تر از عمق ریشه گیاه بود. بر اساس نتایج به دست آمده، مدل‌های برآورد عملکرد در واحد سطح دارای ضریب هم‌بستگی بالاتری نسبت به مدل‌های برآورد عملکرد در واحد آب (بازده مصرف آب) بودند. ضرایب حساسیت به دست آمده نشان داد که مراحل دانه‌بندی و گل‌دهی گندم زمستانه به ترتیب حساس‌ترین مراحل فصل رشد به تنش رطوبتی می‌باشند. با مقایسه ضرایب حساسیت به دست آمده در پژوهش حاضر با مقادیر گزارش شده توسط سایر محققین اختلافاتی مشاهده شد که احتمالاً نوع واریته مورد استفاده، شرایط اقلیمی، شدت تنش اعمال شده و برخی عوامل ناشناخته ممکن است این اختلافات را توجیه کنند.

واژه‌های کلیدی: گندم زمستانه، تنش آبی، ضرایب حساسیت، تابع تولید، مشهد

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه خشک، آب مهم‌ترین عامل محدود کننده برای توسعه کشاورزی می‌باشد. در ایران نه تنها کمبود آب که ناشی از عوامل کلیماتولوژی منطقه است مشکلاتی را برای توسعه کشاورزی در پی داشته است، بلکه عدم استفاده بهینه از آب‌های استحصالی نیز باعث شده تا اراضی کمتری تحت پوشش قرار گیرند. در حال حاضر بخش کشاورزی کشور ما با مصرف ۸۳ میلیارد متر مکعب آب در سال بیش از ۹۰ درصد حجم منابع آب استحصال شده را به خود اختصاص می‌دهد. شرایط خشک‌سالی چند سال اخیر و هم چنین افزایش تقاضا برای مصرف آب به دلیل نیاز به تولیدات مواد غذایی بیشتر بر لزوم برنامه ریزی در زمینه مسایل آب کشاورزی بیش از پیش تأکید می‌نماید. بنابراین با توجه به سهم عظیم مصرف آب در بخش کشاورزی و هم چنین پایین بودن بازده مصرف آب، انتخاب و به کارگیری راه‌کارهایی در زمینه‌های بهبود روش‌های آبیاری و بهینه سازی مصرف آب در

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.3.5]

گیاهان، صرفه‌جویی قابل توجهی را در این بخش به همراه خواهد داشت و بدین طریق می‌توان خسارات ناشی از بحران کم آبی به بخش کشاورزی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد.

تابع تولید محصول از آب، تابعی ریاضی است که بیانگر رابطه بین مقدار آب داده شده و محصول تولیدی در گیاهان زراعی می‌باشد. توابع تولید در منابع مختلف به دو صورت ارائه می‌شوند. توابع گروه اول در مقیاس فصل رشد ارائه می‌شوند. در توابع گروه دوم، واکنش‌های گیاهان در مراحل مختلف رشد به آب (مقیاس درون فصلی)، در معادلات برآورد محصول در نظر گرفته می‌شوند. عده زیادی از محققین سعی نموده‌اند برای توابع تولید محصول نسبت به آب معادلات ساده‌ای را ارائه کنند تا در عمل بتوان از آنها به سادگی استفاده نمود. اکثر چنین معادلاتی از نوع درجه اول و یا درجه دوم هستند (٤). روابط بین عملکرد، آب مصرفی و تبخیر- تعرق فصلی، به طور گسترده به منظور اهداف مدیریتی در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند، استفاده می‌شوند (۱۳).

مقدار آب مصرفی بر میزان عملکرد تأثیر می‌گذارد و چگونگی مدیریت مصرف آب در طول دوره رشد گیاه بر حداکثر شدن میزان محصول تأثیر اساسی دارد. در توابعی که با توجه به زمان میزان محصول برآورد می‌شود، با در نظر گرفتن حساسیت‌های مختلف مراحل رشد نسبت به یکدیگر، کل دوره رشد به مراحل مختلفی تقسیم می‌شود. در این رابطه، توابع تولید محصول به صورت حاصل ضرب نسبت‌های تعرق به تعرق حداکثر و یا نسبت‌های تبخیر- تعرق به تبخیر- تعرق حداکثر توسط محققین مختلف ارائه شده اند (٦و ۱۳). با دانستن ضرایب حساسیت نسبی گیاه می‌توان با اعمال مدیریت صحیح تشخیص داد که در صورت کمبود آب در چه مرحله‌ای از رشد گیاه تنش رطوبتی را باید اعمال کرد تا کمترین صدمه به گیاه وارد شود و کاهش محصول به حداقل برسد.

جنسن (۱۰) برای گیاهانی که دارای مراحل مشخصی از رشد مانند جوانه زنی، رشد رویشی، گل‌دهی و تولید محصول هستند (مانند اغلب گیاهان زراعی) تابع تولیدی به شرح زیر پیشنهاد نمود:

$$\frac{Ya}{Ymax} = \prod_{i=1}^{n}\left(\frac{ETa}{ETmax}\right)_i^{\lambda i} \qquad [۱]$$

که در آن λi : ضریب حساسیت گیاه به تنش رطوبتی در مرحله رشد i ام، Ymax : حداکثر عملکرد گیاه در فصل رشد (تن در هکتار)، Ya : عملکرد واقعی محصول (تن در هکتار)، $(ETa)_i$: مقدار آب مصرفی گیاه در شرایط واقعی در مرحله رشد i ام (سانتی‌متر)، $(ETmax)_i$: مقدار آب مصرفی گیاه در شرایط بالقوه در مرحله رشد i ام (سانتی‌متر)، $\prod$: عملگر حاصل ضرب و n : تعداد مراحل رشد انتخابی گیاه است.

نیریزی و ریدزوسکی (۱۱) با استفاده از رابطه جنسن (۱۰) تأثیر تنش کم آبی در مراحل مختلف رشد بر میزان محصول دانه تولیدی را به شکل زیر ارائه کردند:

$$\frac{Ya}{Ymax} = \prod_{i=1}^{n}\left(\frac{Wa}{Wp}\right)_i^{\lambda i} \qquad [۲]$$

که در آن Wa : مقدار واقعی آب مصرفی گیاه و Wp : نیاز آبی گیاه در شرایط بدون محدودیت آب خاک در مراحل مختلف رشد گیاه می‌باشد. دورنباس و کسام (٦) رابطه ۳ را به صورت نسبت کاهش محصول با نسبت کاهش تبخیر- تعرق ارائه نموده‌اند:

$$1-\frac{Ya}{Ymax} = K_y\,(1-\frac{ETa}{ETmax}) \qquad [۳]$$

که در آن K_y ضریب حساسیت در مرحله مشخصی از رشد است. این رابطه تنها برای یک مرحله از رشد صادق است. رائو و همکاران (۱۲) رابطه فوق را به شکل غیر خطی زیر برای لحاظ کردن توأم مراحل مختلف رشد گیاهان بسط دادند:

$$\frac{Ya}{Ymax} = \prod_{i=1}^{n}\left[1-K_{yi}\left(1-\frac{ETa}{ETmax}\right)_i\right] \qquad [۴]$$

دورنباس و پروئیت (۷) مراحل بحرانی از نظر تنش رطوبتی را برای گیاهان زراعی و علوفه‌ای ارائه کرده‌اند. آنها مراحل حساس رشد گندم را مرحله تشکیل سنبله و دو هفته قبل از گرده افشانی معرفی نموده‌اند. در حالی‌که در تحقیقی که طی ۱۰

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.3.5]

سال، ژانگ و اویس (۱۳) در ناحیه مدیترانه شمالی داشتند به این نتیجه رسیدند که مراحل حساس رشد گندم به تنش آبی مرحله بزرگ شدن ساقه‌ها، مرحله گل‌دهی و در ادامه مرحله پر شدن دانه‌هاست. نتیجه نامبردگان با نتیجه گزارش شده توسط دورنباس و پروئیت تطابق چندانی ندارد. آنها هم چنین دریافتند که تنش آبی گندم به میزان بارندگی و توزیع بارندگی در خلال فصل رویش بستگی دارد و تنش رطوبتی را می‌توان در سال‌های خشک در مرحله کاشت بذر و در سال‌های مرطوب یا نسبتاً مرطوب در اوایل بهار اعمال کرد.

قهرمان و سپاسخواه (۸) گزارش کردند که محققین برای شرایط آب و هوایی مختلف ضرایب حساسیت مختلفی را برای گندم زمستانه به دست آورده‌اند. آرین (۳) ضرایب حساسیت گندم زمستانه به تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد در شرایط باجگاه (سالی آبی ۶۹ –۱۳۶۸) را تعیین و ارائه کرده است. آبخضر و قهرمان (۲) در پژوهشی که به منظور بررسی اثر تنش آبی در مراحل مختلف رشد گندم زمستانه انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که تنش در مرحله خوشه‌دهی، پنجه‌زنی و ساقه‌دهی، بیشترین تأثیر را به ترتیب بر عملکرد، نمایه سطح برگ و ارتفاع گیاه دارد. آنها هم چنین ضرایب حساسیت گندم زمستانه به تنش آبی را در مراحل مختلف رشد محاسبه و ارائه کرده‌اند. ژانگ (۱٤) با محاسبه ضرایب حساسیت گندم زمستانه به تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد در منطقه چین شمالی، نتیجه گرفت که ضرایب حساسیت منفی به‌دست آمده در مراحل پنجه‌زنی و رسیدگی دانه نشان می‌دهد که تنش آبی ملایم در این مراحل سودمند است. این نتیجه با تحقیقات دیگر هم‌آهنگی چندانی ندارد.

از آنجایی که پژوهش‌های انجام شده منجر به نتیجه واحدی در مورد حساسیت مراحل مختلف رشد گندم زمستانه به تنش رطوبتی نشده است و با توجه به محدودیت منابع آبی و هم چنین اهمیت گیاه گندم به عنوان یک محصول استراتژیک، پژوهش حاضر با هدف تعیین توابع تولید گیاه گندم زمستانه (رقم C ۷۳/۵) از آب، مقایسه نتایج با تحقیقات قبلی و تعیین مراحل حساس گندم در منطقه مشهد و مقایسه آن با تحقیقات پیشینیان انجام گردیده است.

مواد و روش‌ها

به منظور تعیین توابع تولید گندم زمستانه از آب (رقم C. ۷۳/۵) و حساسیت آن به تنش رطوبتی، آزمایشی در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با عرض جغرافیایی ′۱۶ °۳۶ و دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ′۳۸ °۵۹ شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا در سال زراعی ۸۲–۱۳۸۱ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از : T_1 : آبیاری کرتی بدون تنش رطوبتی در طول دوره رشد (تیمار شاهد)، T_2 : آبیاری کرتی با قطع آب در مرحله جوانه زنی، T_3 : آبیاری کرتی با قطع آب در مرحله پنجه‌زنی، T_4 : آبیاری کرتی با قطع آب در مرحله ساقه‌دهی، T_5 : آبیاری کرتی با قطع آب در مرحله گل‌دهی، T_6 : آبیاری کرتی با قطع آب در مرحله دانه‌بندی، T_7 : آبیاری کرتی با قطع آب در مرحله رسیدن دانه، T_8 : آبیاری کرتی با ۲۰ درصد آب کمتر نسبت به تیمار شاهد در کل فصل رشد و T_9 : آبیاری کرتی با ۶۰ درصد آب کمتر نسبت به تیمار شاهد در کل فصل رشد.

قبل از کاشت گیاه، از اعماق مختلف خاک مزرعه نمونه‌گیری و سپس خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه در لایه‌های مختلف تعیین شدند (جدول ۱). پس از عملیات اولیه آماده‌سازی زمین، تعداد ۲۷ کرت به ابعاد ۲ × ۲ متر به روش دستی و توسط کارگر ایجاد شد. قبل ازکاشت گیاه عملیات کودپاشی کرت‌های آزمایشی با استفاده از دو نوع کود فسفات آمونیوم و اوره (سرک) انجام شد.

رقم گندم مورد استفاده در این پژوهش C. ۷۳/۵ بود. این رقم شجره Spn/Mcd/Cama/3/Nzr از ارقام دانشگاه اورگان آمریکا و رقمی نسبتاً پایه بلند، کاملاً مقاوم به خوابیدگی و سرما، مقاوم به رنگ زرد و حساس به رنگ قهوه‌ای می‌باشد. کلیه کرت‌های آزمایشی در تاریخ ۱۳۸۱/۸/۲۰ به‌طور یکسان کشت شدند. کاشت بذرها به صورت دستی و با توجه به وزن

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.3.5]

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی لایه‌های مختلف خاک

عمق خاک (سانتی‌متر)	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعب)	بافت خاک	ظرفیت زراعی (درصد وزنی)
۰-۳۰	۱/۳۳	لوم	۲۱/۳۳
۳۰-۶۰	۱/۴	لوم رسی سیلتی	۲۱/۶۴
۶۰-۱۲۰	۱/۴۳	لوم رسی	۲۲/۸۴
۱۲۰-۱۸۰	۱/۴۷	لوم رسی	۲۳/۲۳

هزار دانه رقم مورد کاشت (۳۷ گرم) و بر اساس ۴۰۰ دانه در هر متر مربع برای هر کرت و با فواصل خطوط ۲۰ سانتی‌متری انجام گردید. برای محاسبه بیلان آب خاک در طول آزمایش، از بلوک‌های گچی واسنجی شده که در اعماق ۱۵، ٤۵، ۷۵، ۱۰۵، ۱۳۵ ، ۱٦۵ و ۱۸۰ سانتی‌متری خاک نصب شده بودند استفاده شد. دور آبیاری متداول در مشهد ۱۳ روز است. بنابراین برای به حداقل رسیدن احتمال تنش در تیمار شاهد از دور آبیاری ۱۰ روز استفاده شد. قبل از هر آبیاری، رطوبت خاک در عمق پروفیل خاک به دست می‌آمد و از این رو آبیاری هر کرت در هر دوره زمانی بر اساس کمبود رطوبت خاک آن کرت تا عمق توسعه ریشه با توجه به حد ظرفیت زراعی لایه‌های خاک انجام گرفت. به منظور هم‌آهنگی بین تیمارهای آزمایشی از یک تقویم زمانی آبیاری استفاده شد. نخستین آبیاری در تاریخ ۱۳۸۱/۸/۲۱ و آخرین آن در تاریخ ۱۳۸۲/۳/۱۸ انجام گرفت. در این پژوهش با توجه به این‌که حداکثر عمق ریشه گندم برابر ۱۲۰ سانتی‌متر (در اول دوره گل‌دهی، بر اساس مشاهدات منطقه‌ای، حداقل عمق ریشه گندم ۱۰ سانتی‌متر در زمان کاشت و تغییرات بینابین آنها خطی فرض شد) در نظر گرفته شد، برای تعیین نفوذ عمقی در هر دوره زمانی، از نیم‌رخ رطوبتی خاک تا عمق ۱۸۰ سانتی‌متری در ابتدا و انتهای هر دوره زمانی استفاده شد. بدین ترتیب که با ترسیم این دو نیم‌رخ رطوبتی در یک دستگاه محور مختصات، مساحت محصور بین دو منحنی در عمق بیشتر از عمق توسعه ریشه با استفاده ازنرم افزار (Ver 14) AutoCAD به دست آمد و در نتیجه تغییرات ذخیره رطوبت لایه‌های خاک در اعماق پایین‌تر از عمق توسعه ریشه در هر دوره زمانی تعیین و به عنوان فرونشت عمقی در نظر گرفته شد. پس از محاسبه یا اندازه‌گیری کلیه پارامترهای لازم (مقادیر عمق آب آبیاری، مقادیر بارندگی، تغییرات ذخیره آب خاک و مقادیر نفوذ عمقی)، با استفاده از معادله بیلان حجمی آب خاک، مقدار آب مصرفی گیاه و یا به عبارتی مقدار تبخیر- تعرق واقعی گیاه در تیمارهای مختلف تعیین شد.

پس از برداشت محصول (تاریخ ۱۳۸۲/٤/٤) و تعیین میزان عملکرد گیاه، کل آب داده شده و میزان کل تبخیر- تعرق در تیمارهای مختلف، با رگرسیون بین پارامترهای مزبور در تیمارهای نه‌گانه، توابع عملکرد در واحد سطح و در واحد آب مصرفی (بازده مصرف آب، WUE) در طول فصل رشد به دست آمد. در نهایت، بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر- تعرق در مراحل مختلف رشد و میزان محصول دانه در تیمارهای مختلف، ضرایب حساسیت گیاه در مراحل مختلف رشد با استفاده از روابط جنسن (۱۰) و نیریزی و ریدزوسکی (۱۱) و هم چنین ضرایب حساسیت محصول با استفاده از رابطه بسط داده شده فائو توسط رائو و همکاران (۱۲) محاسبه شدند.

نتایج و بحث

در پژوهش حاضر با توجه به پیشنهاد دورنباس و کسام (٦)، شش مرحلهٔ رشد برای گندم زمستانه در نظر گرفته شد. پس از برداشت نمونه‌های گیاهی بر اساس مشاهدات مزرعه‌ای، مراحل فنولوژی مختلف رشد گیاه از یکدیگر تفکیک و زمان رسیدن به

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.3.5]

هر یک از مراحل نیز مشخص شد. کل دوره رشد این رقم گندم ۲۲۲ روز به طول انجامید. مقادیر بارندگی در مراحل مختلف رشد گیاه در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج اندازه‌گیری رطوبت نشان داد (جداول ۳ و ٤) که تنش آبی سبب شد تا نیم‌رخ رطوبتی در عمق توسعه ریشه و در بعضی از شرایط در کل عمق خاک نسبت به تیمارهایی که آب کافی دریافت کرده‌اند به سمت رطوبت کمتر کشیده شود. در این شرایط بعضاً مقادیر نفوذ عمقی به صورت منفی محاسبه شد. البته مقادیر نفوذ عمقی منفی به جز در بعضی موارد خاص بیشتر در دوره‌هایی از فصل رشد که گیاه تحت تنش آبی بوده و هم چنین مقدار بارندگی ناچیز بوده دیده شد و علت آن نیز جذب آب از اعماق پایین‌تر از عمق ریشه توسط گیاه در حین دوره تنش بود.

در پژوهش حاضر با استفاده از معادله بیلان آبی خاک، مقادیر تبخیر- تعرق واقعی گیاه تعیین شد. مقدار فصلی تبخیر- تعرق در تیمار شاهد ۷۱/۳۷ سانتی‌متر به‌دست آمد. هم چنین تبخیر- تعرق پتانسیل گندم به روش‌های گوناگون و از روی حاصل ضرب ضریب گیاهی و تبخیر- تعرق گیاه مرجع (با استفاده از نرم افزار Ref- ET Ver 2) و بر اساس آمار آب و هوایی مشهد محاسبه شد. نتایج نشان داد که سه روش پنمن- فائو اصلاح شده، پنمن- فائو و تابش فائو به‌ترتیب با ٦٥/٤١، ٦٣/٤١ و ٦٢/٥١ سانتی‌متر نسبت به سایر روش‌ها تطابق بهتری با روش بیلان آبی خاک دارند. از این رو می‌توان ادعا کرد که گندم در تیمار شاهد تحت تنش قرار نگرفته است. جزئیات بیشتر در پژوهش نخجوانی مقدم (۵) ارائه شده است. مقادیر تبخیر- تعرق واقعی گیاه در تیمارهای مختلف در جدول ۵ نشان داده شده است.

توابع تولید در مقیاس فصل رشد

مدل‌های توابع تولید در پژوهش حاضر به دو صورت تعیین شدند. در حالت اول، روابط عملکرد گیاه (در واحد سطح یا در واحد آب) با میزان آب داده شده به گیاه و میزان تبخیر- تعرق گیاه تعیین شدند. برای محاسبه عملکرد در واحد آب در تیمارهای مختلف، عملکرد اندازه‌گیری شده هر تیمار (برحسب کیلوگرم در هکتار) بر میزان حجم آب دریافتی همان تیمار (برحسب متر مکعب در هکتار) تقسیم شد. پارامترهای مورد استفاده در تعیین روابط فوق در جدول ۵ ارائه شده‌اند. با در نظر گرفتن مقادیر متغیرها در این جدول و با استفاده از نرم افزار SIGMA PLOT (Ver 7)، رگرسیون‌گیری انجام شد و پس از آزمون‌های متعدد روابط بین عملکرد در واحد سطح و در واحد آب با میزان آب داده شده به گیاه و میزان تبخیر- تعرق گیاه به ترتیب مطابق روابط ۵، ۶، ۷ و ۸ تعیین شدند.

الف) عملکرد دانه با آب آبیاری

$$Y_{g(kh/ha)} = ۲/۹۷(I)^۲ - ۳۰۸/۷(I) + ۱۲۲۲۸/۹ \quad (R^۲ = ۰/۷۵ \ , \ P = ۰/۰۱۶) \qquad [۵]$$

$$Y_{g(kg/m^۳)} = ۰/۰۰۰۴(I)^۲ - ۰/۰۵۲(I) + ۲/۴۱ \quad (R^۲ = ۰/۲۱ \ , \ P = ۰/۴۸) \qquad [۶]$$

ب) عملکرد دانه با تبخیر- تعرق

$$Y_{g(kg/ha)} = ۱۶۶/۹۵(ET) - ۵۲۳۱/۰۲ \quad (R^۲ = ۰/۸۶ \ , \ P = ۰/۰۰۳) \qquad [۷]$$

$$Y_{g(kg/m^۳)} = ۰/۰۰۷(ET) + ۰/۳۵(I) \quad (R^۲ = ۰/۲۱ \ , \ P = ۰/۲۲) \qquad [۸]$$

در شکل ۱ مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمینی روابط فوق با احتمال کمتر از ۵ درصد نشان داده شده است.

ضریب توان دوم متغیر مستقل در معادلات ۵ و ٦ (یعنی ضریب I^2) مثبت است. در نتیجه شکل تابع یک سهمی با نقطه مینیمم خواهد بود (شکل ۱)؛ در حالی که مدل‌های متداول تولید محصول به عنوان تابعی از مقدار آب آبیاری عمدتاً دارای یک نقطه حداکثر هستند. در خصوص چنین تفاوتی باید متذکر شد که مدل‌های متداول با این دیدگاه به‌دست می‌آیند که نحوه توزیع تنش در طول فصل رشد تقریباً ثابت باشد. در حالی که در پژوهش حاضر تنها دو تیمار ۸ و۹ چنین ویژگی را داشتند و تیمارهای دیگر در یک مرحله مشخص از رشد هیچ گونه آبیاری نشده‌اند. بنابراین

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.3.5]

جدول ۲. فواصل زمانی ثبت شده، عمق ریشه گندم و میزان بارندگی در مراحل مختلف رشد گندم

مرحله رشد	جوانه زنی	پنجه زنی	ساقه دهی	گل‌دهی	دانه بندی	رسیدن دانه
طول مرحله (روز)	۲۱	۱۱۲*	۳۳	۱۸	۱۷	۲۱
متوسط عمق ریشه (سانتی‌متر)	۱۵	۲۵	٦۲	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰
میزان بارندگی (سانتی‌متر)	۱/۱۵	۲/۹	٦/۷	۱/۹۵	۰/۹	۰/٤

* : شامل دوره خواب زمستانی به مدت ۹۵ روز

جدول ۳. مقدار آب موجود تا عمق ۱۸۰ سانتی‌متری خاک در تیمارهای نه گانه و در انتهای مراحل مختلف رشد گندم (سانتی‌متر)

مرحله رشد	تیمار								
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
جوانه زنی	۳۶/۱	**۳۳/۴۸***	۳۶/۳۳	۳۶/۱۸	۳۶/۳۴	۳۶/۴۵	۳۶/۳۳	۳۵/۴۲	۳۴/۴۸
پنجه زنی	۴۲/۳۶	۴۱/۶۲	۴۱/۱	**۴۲/۴۵**	۴۲/۳۹	۴۲/۱۵	۴۲/۴۵	۴۱/۵۵	۴۰/۷۱
ساقه دهی	۴۷/۵۲	۴۷/۱۷	۴۷/۸۱	۳۹/۲۴	**۴۷/۶۹**	۴۷/۳۷	۴۷/۳۳	۴۵/۶۷	۴۱/۶۷
گل دهی	۴۸/۱۶	۴۸/۲۴	۴۹	۴۷/۲۴	۴۲/۷۵	**۴۷/۸۹**	۴۸/۲۲	۴۶/۵۱	۴۰/۵۸
دانه بندی	۴۸/۴۷	۴۸/۷۲	۴۹/۳۷	۴۸/۴۶	۴۷/۸۴	۴۱/۴۰	**۴۷/۸۱**	۴۶/۴۴	۳۹/۲۲
رسیدن دانه	۴۷/۰۷	۴۷/۳۶	۴۸/۴۸	۴۷/۴۱	۴۶/۸۲	۴۶/۹۷	**۴۰/۶۷**	۴۴/۸۱	۳۷/۰۱

*: اعداد پر رنگ نشان دهنده میزان آب خاک در طی مراحل تحت تنش است.

جدول ۴. مقدار آب موجود درعمق توسعه ریشه خاک در تیمارها و زمان‌های مختلف (سانتی متر)

مرحله رشد	تیمار								
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
جوانه زنی	۴/۷۹	**۴/۱۲***	۴/۹۸	۴/۸۲	۴/۹۹	۴/۷۶	۴/۶۲	۴/۶۵	۴/۴۹
پنجه زنی	۱۵/۵۱	۱۵/۴۱	۱۵/۱۰	**۱۵/۴۶**	۱۵/۳۳	۱۵/۳۳	۱۵/۴۵	۱۵/۱۶	۱۵/۱۹
ساقه دهی	۳۰/۸۵	۳۰/۶۸	۳۱/۰۶	۲۴/۸۶	**۳۱/۰۶**	۳۱/۰۵	۳۱/۰۹	۲۹/۹۲	۲۷/۶
گل دهی	۳۰/۸۳	۳۰/۸۶	۳۱/۲۳	۳۰/۳۵	۲۶/۹۲	**۳۰/۸۲**	۳۱/۲۴	۳۰/۲	۲۶/۴۷
دانه بندی	۳۰/۷۰	۳۰/۸۸	۳۱/۰۲	۳۰/۶۱	۳۰/۷۲	۲۴/۹۹	**۳۰/۷**	۲۹/۸۵	۲۵/۱۶
رسیدن دانه	۲۹/۲۲	۲۹/۵	۳۰/۰۹	۲۹/۴۶	۲۹/۴۹	۲۹/۳۷	**۲۴/۸**	۲۸/۳۶	۲۳/۵۶

*: اعداد پر رنگ نشان دهنده میزان آب خاک در طی مراحل تحت تنش است.

نباید توقع داشت که تابع تولید فصلی آن مشابه توابع تولید متداول باشد.

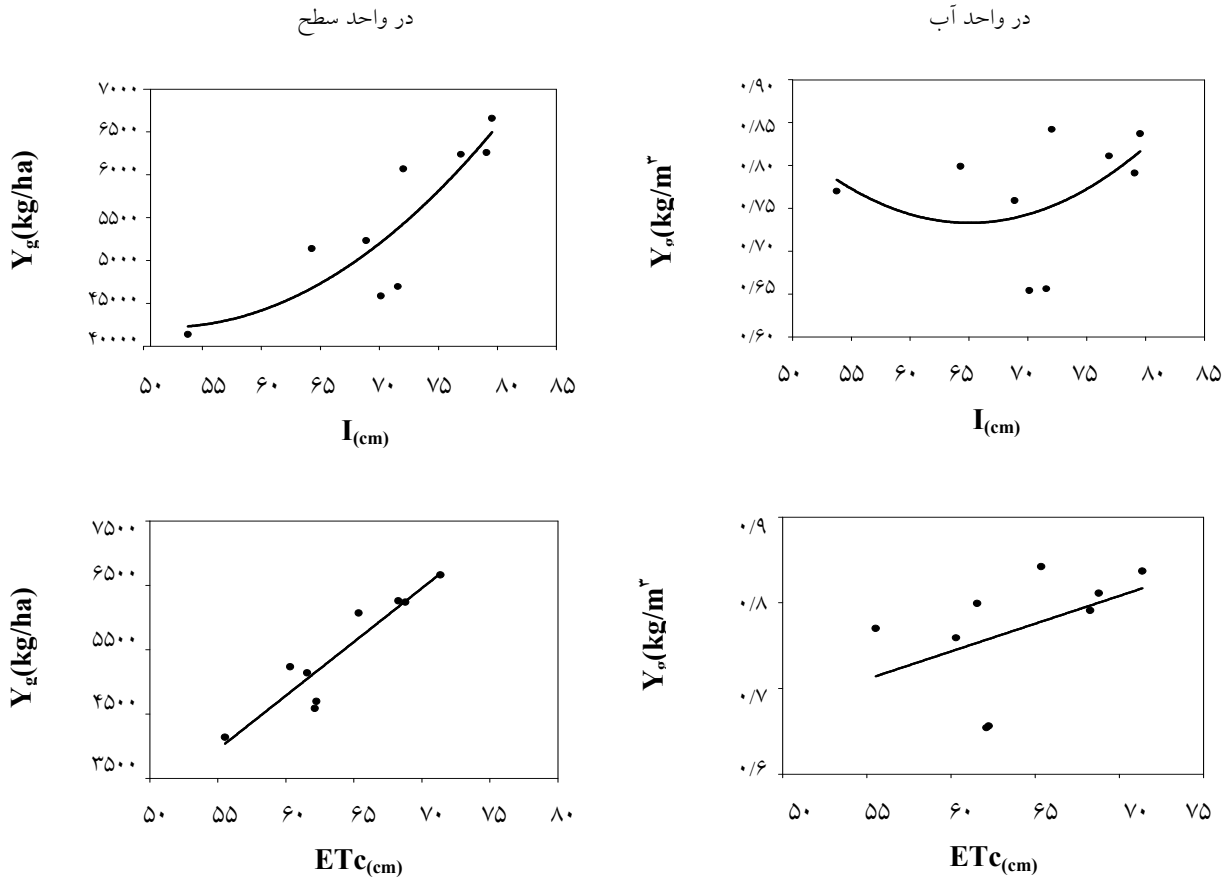
در حالت دوم، روابط به صورت بی بعد تعیین شدند. بدین منظور مقادیر نسبت کاهش عملکرد دانه ($1-Y_g/Y_{g\,max}$)، کل ماده خشک (Y_t) و نسبت کاهش کل ماده خشک ($1-Y_t/Y_{t\,max}$) در واحد سطح و در واحد آب محاسبه شدند. هم چنین نسبت کاهش تبخیر- تعرق ($1-ET/ET_{max}$) محاسبه ودر روابط مزبور به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد. مقادیر فوق در

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.3.5]

جدول ۵. پارامترهای محاسبه شده در تیمارهای نه گانه برای تعیین روابط عملکرد با آب آبیاری و تبخیر- تعرق

تیمار	آب آبیاری I (سانتی متر)	تبخیر- تعرق ET (سانتی متر)	نسبت کاهش تبخیر- تعرق $[1-ET/ET_m]$	عملکرد دانه Yg در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه Yg در واحد آب (کیلوگرم بر متر مکعب آب)
۱	۶۴/۵۴	۷۱/۳۷	۰	۶۶۵۸	۰/۸٤
۲	۶۱/۹۰	۶۸/۷۹	۰/۰۳۶	۶۲۳۸	۰/۸۱
۳	۶۴/۰۸	۶۸/۲۷	۰/۰۴۳	۶۲۵۸	۰/۷۹
۴	۵۳/۸۸	۶۰/۳۱	۰/۱۲۳	۵۲۳۱	۰/۷٦
۵	۵۵/۱۳	۶۲/۱۲	۰/۱۲۹	۴۵۸۶	۰/٦۵
۶	۵۶/۵۸	۶۲/۲۵	۰/۱۲۸	۴۶۹۶	۰/٦٦
۷	۴۹/۲۸	۶۱/۵۶	۰/۱۳۷	۵۱۳۷	۰/۸۰
۸	۵۷/۰۴	۶۵/۳۶	۰/۰۸۴	۶۰۶۷	۰/۸٤
۹	۳۸/۷۷	۵۵/۵۳	۰/۲۲۲	۴۱۳۸	۰/۷۷



شکل ۱. روابط عملکرد گیاه گندم زمستانه با آب آبیاری وتبخیر تعرق

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.3.5]

جدول٦ ارائه شده‌اند. در این مرحله نیز با در نظر گرفتن مقادیر متغیرها و با استفاده از نرم افزار (SIGMA PLOT (Ver 7، رگرسیون‌گیری انجام شد و پس از آزمون‌های متعدد روابط بین نسبت کاهش عملکرد دانه و نسبت کاهش کل ماده خشک در واحد سطح و در واحد آب با نسبت کاهش تبخیر- تعرق به ترتیب مطابق روابط ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ تعیین شدند. در شکل ۲ مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمینی روابط فوق نشان داده شده است. خطوط رگرسیون با احتمال ۵٪> α (روابط ۹ و ۱۱ در واحد سطح و روابط ۱۰ و ۱۲ در واحد آب) هستند.

ج) نسبت کاهش عملکرد دانه با نسبت کاهش تبخیر- تعرق

$$1-Y_g/Y_{g\,max}=1/877(1-ET/ET_{max})-0/006 \quad (R^2=0/89,\ P=0/0001) \qquad [9]$$

$$1-Y_g/Y_{g\,max}=0/557(1-ET/ET_{max})-0/024 \quad (R^2=0/21,\ P=0/22) \qquad [10]$$

د) نسبت کاهش کل ماده خشک با نسبت کاهش تبخیر- تعرق

$$1-Y_t/Y_{t\,max}=1/024(1-ET/ET_{max})-0/007 \quad (R^2=0/89,\ P=0/0001) \qquad [11]$$

$$1-Y_t Y_{t\,max}=-0/55(1-ET/ET_{max})-0/035 \quad (R^2=0/31,\ P=0/12) \qquad [12]$$

روابط به دست آمده در دو حالت فوق (معادلات ۵ تا۱۲) نشان می‌دهند که روابط بین عملکرد دانه در واحد سطح با میزان آب داده شده به گیاه و میزان تبخیر- تعرق و هم چنین روابط نسبت کاهش عملکرد دانه و نسبت کاهش کل ماده خشک در واحد سطح با نسبت کاهش تبخیر- تعرق از ضریب تبیین نسبتاً بالایی برخوردار است. ولی در عوض رابطه عملکرد دانه در واحد آب از دقت کافی برخوردار نیست. آبخضر و قهرمان (۲) نیز ضرایب هم‌بستگی پایینی را برای روابط بین عملکرد و متغیرهای مستقل در واحد آب گزارش کردند. فرم کلی روابط به دست آمده توسط آنها با روابط به دست آمده در این تحقیق هم‌آهنگی دارد.

ب) توابع تولید در مقیاس درون فصلی (توابع زمانی تولید)

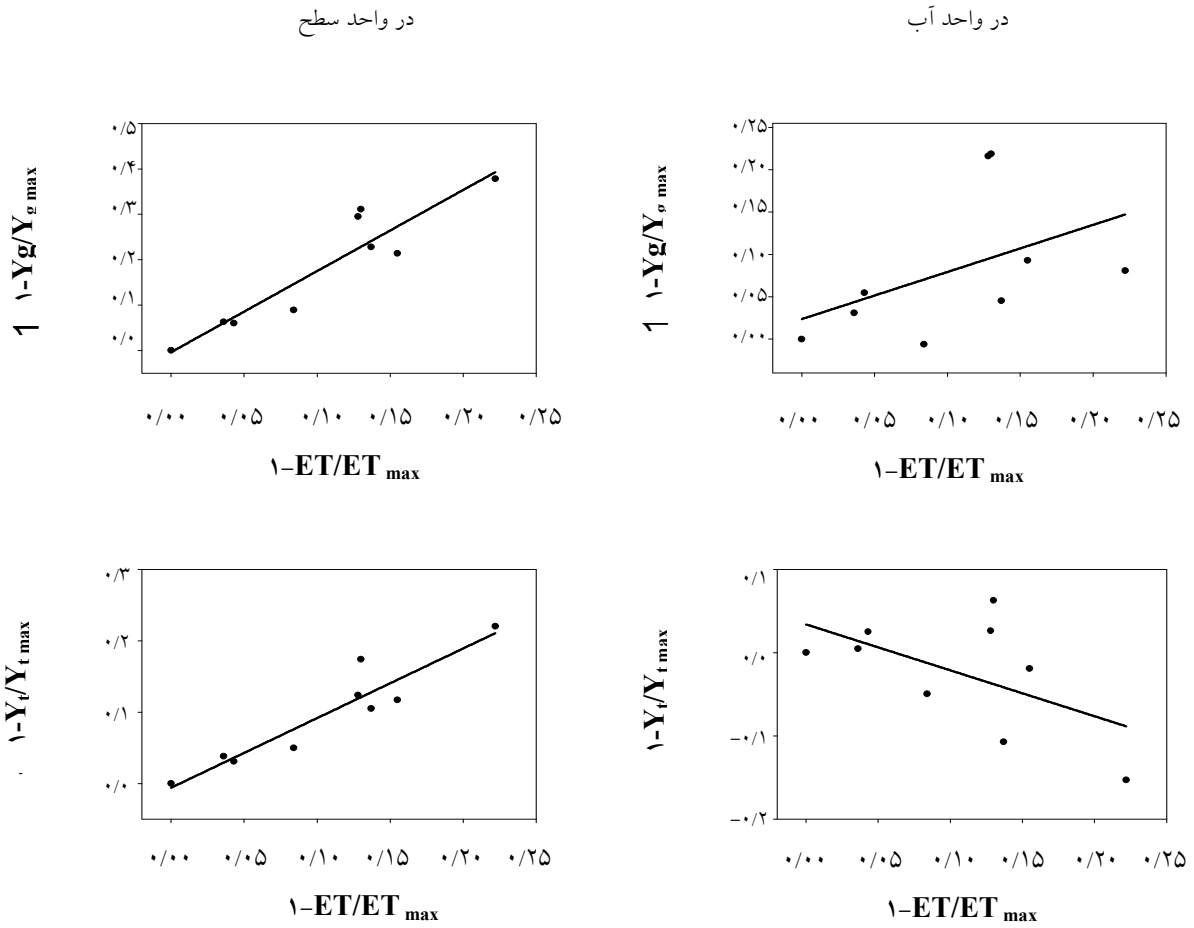
در تحقیق حاضر برای تعیین ضرایب حساسیت (λ_i) گیاه از روابط جنسن (۱۰) (رابطه ۱) و نیریزی و ریدزوسکی (۱۱) (رابطه ۲) استفاده شد. برای تعیین ضرایب λ_i با استفاده از رابطه۱، ابتدا مقادیر تبخیر- تعرق در تیمارهای نه گانه و در مراحل مختلف رشد گیاه (جدول ۷) تعیین شد و سپس مقادیر تبخیر- تعرق نسبی در تیمارهای مختلف محاسبه شد. در پژوهش حاضر تعداد تیمارهای تحت تنش آبی بیشتر از تعداد مراحل رشد گیاه و در نتیجه تعداد معادلات بیشتر از تعداد مجهولات (ضرایب λ_i در مراحل شش‌گانه فصل رشد) بود. بنابراین امکان حل دستگاه معادلات با هشت معادله و شش مجهول از طریق ریاضی و محاسباتی میسر نبود. بنابراین برای محاسبه ضرایب λ_i از روش بهینه سازی استفاده شد. بدین منظور با استفاده از نرم افزار(LINGO (Ver ۸ و با هدف به دست آوردن ضرایبی که کمترین خطا را در معادلات هشت‌گانه ایجاد کنند، ضرایب λi در مراحل مختلف رشد محاسبه شدند. نتایج به دست آمده در جدول ۸ ارائه شده‌اند. در این جدول هم‌چنین مقایسه‌ای بین ضرایب حساسیت به‌دست آمده از طریق رابطه جنسن (۱۰) با سایر مطالعات مشابه صورت گرفته است. با مقایسه ضرایب حساسیت به‌دست آمده توسط آبخضر و قهرمان (۲) و هم چنین یافته‌های آرین (۳) مشخص می‌شود که بر خلاف دو مطالعه مزبور که مرحله گل‌دهی را حساس‌ترین مرحله به تنش آبی معرفی نموده‌اند، در پژوهش حاضر مرحله دانه‌بندی حساس‌ترین مرحله فصل رشد به‌دست آمده است. در بین دو مطالعه مزبور، ضرایب حساسیت به‌دست آمده توسط آبخضر و قهرمان (۲) در مجموع تطابق بیشتری با ضرایب به‌دست آمده در پژوهش حاضر دارد. آن هم به این علت است که رقم مورد استفاده توسط آنها مشابه رقم مورد استفاده در تحقیق حاضر می‌باشد. البته بین ضرایب حساسیت به دست آمده توسط آبخضر و قهرمان (۲) در مراحل شش گانه فصل رشد و ضرایب به دست آمده در این پژوهش تفاوت‌هایی نیز وجود دارد. این اختلاف خصوصاً در مراحل گل‌دهی و رسیدن

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.3.5]

جدول ٦. پارامترهای محاسبه شده در تیمارهای نه گانه برای تعیین روابط نسبت کاهش عملکرد دانه و کل ماده خشک با نسبت کاهش تبخیر- تعرق

تیمار	نسبت کاهش عملکرد دانه $[1- Y_g/Y_{g\,max}]$		کل ماده خشک $[Y_t]$		نسبت کاهش کل ماده خشک $[1- Y_t/Y_{t\,max}]$	
	در واحد سطح	در واحد آب	در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار)	در واحد آب (کیلوگرم در متر مکعب آب)	در واحد سطح	در واحد آب
۱	۰	۰	۱۶۰۸۷	۲/۰۲	۰	۰
۲	۰/۰۶۳	۰/۰۳۱	۱۵۴۸۰	۲/۰۱	۰/۰۳۸	۰/۰۰۵
۳	۰/۰۶۰	۰/۰۵۵	۱۵۵۹۳	۱/۹۷	۰/۰۳۱	۰/۰۲۵
۴	۰/۲۱۴	۰/۰۹۳	۱۴۱۹۷	۲/۰٦	۰/۱۱۷	−۰/۰۱۹
۵	۰/۳۱۱	۰/۲۱۹	۱۳۲۹۳	۱/۸٦	۰/۱۷۳	۰/۰٦۳
۶	۰/۲۹۵	۰/۲۱٦	۱۴۰۹۷	۱/۹۷	۰/۱۲۴	۰/۰۲٦
۷	۰/۲۲۸	۰/۰٤۵	۱۴۳۹۳	۲/۲٤	۰/۱۰۵	−۰/۱۰۷
۸	۰/۰۸۹	−۰/۰۰٦	۱۵۲۹۰	۲/۱۲	۰/۰۴۹	−۰/۰٤۹
۹	۰/۳۷۸	۰/۰۸۱	۱۲۵۴۰	۲/۳۳	۰/۲۲۰	−۰/۱۵۳



شکل ۲. رابطه نسبت کاهش عملکرد دانه و کل ماده خشک با نسبت کاهش تبخیر- تعرق

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.3.5]

دانه به طور قابل توجه مشهود است. این تفاوت شاید ناشی از شرایط اقلیمی در دو سال انجام تحقیقات مزبور باشد. هم چنین در بررسی حاضر تعداد تیمارهای تحت تنش نسبت به بررسی انجام شده توسط آبخضر (۱) افزایش یافته بود. آبخضر (۱) تنها تأثیر تنش در مراحل شش‌گانه فصل رشد را در تعیین ضرایب حساسیت گیاه گندم در نظر گرفته بود، در حالی که در تحقیق حاضر علاوه بر در نظر گرفتن تأثیر فوق، تأثیر تنش آبی به میزان ۲۰ و۶۰ درصد در کل دوره رشد نیز در تعیین ضرایب حساسیت گندم مد نظر قرار گرفت. بدین منظور برای بررسی این‌که آیا افزایش تعداد تیمارها در پژوهش حاضر نسبت به مطالعه آبخضر و قهرمان (۲) تأثیری در میزان ضرایب حساسیت دارد یا نه، در این پژوهش ضرایب مزبور بدون در نظر گرفتن تأثیر دو تیمار ۸ و ۹ (تیمارهایی که درکل فصل رشد تحت تنش بودند) محاسبه شدند که ضرایب به دست آمده در این شرایط تفاوت زیادی با مقادیر قبلی نداشتند. این امر نشان می‌دهد که افزایش تعداد تیمارها در تحقیق حاضر نسبت به مطالعه انجام شده توسط آبخضر و قهرمان (۲) تأثیر زیادی در تفاوت ضرایب حساسیت به‌دست آمده ندارد.

مقایسه ضرایب به دست آمده در پژوهش حاضر با یافته‌های آرین (۳) مشخص می‌سازد که اگر چه هر دو مطالعه، مراحل گل‌دهی و بعد از آن دانه‌بندی را حساس‌ترین مراحل فصل رشد نسبت به تنش آبی معرفی کرده‌اند، ولی تفاوت زیادی بین ضرایب این دو تحقیق وجود دارد. دلایل زیادی ممکن است سبب اختلاف ضرایب به دست آمده در این پژوهش با یافته‌های آرین (۳) باشد. شاید یکی از دلایل اختلاف مربوط به رقم گندم مورد استفاده و دلیل دیگر میزان تنش اعمال شده در دو مطالعه باشد. رقم مورد استفاده توسط آرین (۳) عدل بود در حالی که رقم مورد استفاده در تحقیق حاضر C ۷۳/۵ می‌باشد.

با مقایسه ضرایب حساسیت به‌دست آمده توسط هیل و همکاران (۹) و ژانگ (۱٤) با ضرایب به‌دست آمده در این تحقیق، هم در ترتیب دوره‌های حساس به تنش و هم در مقادیر ضرایب، اختلاف زیادی مشاهده می‌شود که علت این امر نیز شاید به سبب شرایط اقلیمی متفاوت و هم چنین اختلاف در نوع واریته گندم باشد. نکته‌ای که در رابطه با ضرایب حساسیت به‌دست آمده توسط ژانگ (۱٤) قابل ذکر می‌باشد، این است که وی ضرایب حساسیت را برای دو مرحله پنجه‌زنی و رسیدگی دانه گندم زمستانه به صورت منفی محاسبه نموده است. این امر نشان دهنده آن است که تنش آبی در این دو مرحله تأثیر مثبتی بر عملکرد گندم زمستانه در تحقیق انجام شده توسط وی داشته است. با این وجود چون درجه تنش وارده، نوع واریته و شرایط اقلیمی در مطالعه مذکور برای ما مشخص نمی‌باشد، بنابراین نمی‌توان اظهار نظر قطعی‌تری انجام داد.

با توجه به این که محاسبه تبخیر- تعرق واقعی در دوره‌های مختلف رشد گیاه و در تیمارهای مختلف تنها توسط معادله بیلان آبی میسر است و تعیین دقیق عوامل آن همیشه میسر نیست، بنابراین این امر سبب محدودیت در استفاده از معادله جنسن (۱۰) می‌شود. از طرف دیگر مقادیر آب داده شده به گیاه در دوره‌های مختلف فصل رشد به آسانی می‌تواند اندازه‌گیری شود. بر این اساس، رابطه ۲ (نیریزی و ریدزوسکی (۱۱)) که برای تعیین ضرایب حساسیت از مقدار آب داده شده به گیاه به جای میزان تبخیر- تعرق گیاه استفاده می‌کند، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در پژوهش حاضر از آنجا که تیمارهای آزمایشی به گونه‌ای طراحی شده بود که هیچ مقدار آبی در تیمارهای ۲ الی ۷ در مرحله مشخصی از رشد داده نشود، بنابراین مقدار Wa در این مراحل معادل صفر بوده که این امر سبب خطا در محاسبه ضرایب حساسیت می‌شد. از این رو به جای نسبت Wa/Wm در رابطه ۲، از نسبت (Wa-Dp)/(Wm-Dp) که در واقع معیاری از تبخیر- تعرق است استفاده شد. در این نسبت‌ها Wa برابر مجموع آب آبیاری و بارندگی در نظر گرفته شد، زیرا بخشی از مقادیر نفوذ عمقی مطمئناً ناشی از بارندگی‌ها در طی فصل رشد بوده است. مقادیرWa و Wa-Dp برای تیمارها و مراحل مختلف رشد گیاه در جدول ۷ ارائه شده‌اند. با استفاده از این مقادیر و رابطه ۲ نیز ضرایب

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.3.5]

جدول ۷. میزان عملکرد گیاه (کیلوگرم در هکتار)، تبخیر- تعرق گیاه، آب داده شده و آب داده شده منهای آب زه‌کشی (نفوذ عمقی) در تیمارها و مراحل مختلف رشد گیاه

تیمار	عملکرد گیاه (kg/ha)	مرحله رشد					
		جوانه‌زنی	پنجه‌زنی	ساقه‌دهی	گل‌دهی	دانه‌بندی	رسیدن دانه
		ETc_1 (Wa_1) [Wa_1 - Dp_1]	ETc_2 (Wa_2) [Wa_2 - Dp_2]	ETc_3 (Wa_3) [Wa_3 - Dp_3]	ETc_4 (Wa_4) [Wa_4 - Dp_4]	ETc_5 (Wa_5) [Wa_5 - Dp_5]	ETc_6 (Wa_6) [Wa_6 - Dp_6]
۱	۶۶۵۸	۲/۲٤ (۴/۶۱) [۲/۴۶]	۴/۸۷ (۵/۳۱) [۴/۳۹]	۱۹/۱۱ (۲۴/۹۹) [۲۱/۸۸]	۱۴/۱۴ (۱۴/۷۸) [۱۴/۱۲]	۱۵/۳۸ (۱۵/۷۹) [۱۵/۲۶]	۱۵/۶۳ (۱۴/۰۶) [۱۴/۱۵]
۲	۶۲۳۸	۱/۳۶ (۱/۱۵) [۱/۰۱]	۴/۴۰ (۵/۶۳) [۴/۹۳]	۱۸/۹۲ (۲۵/۶۲) [۲۱/۷۸]	۱۳/۷۳ (۱۴/۸۰) [۱۳/۹۲]	۱۵/۳۹ (۱۵/۸۶) [۱۵/۴۰]	۱۵/۲۰ (۱۳/۸۴) [۱۳/۸۱]
۳	۶۲۵۸	۲/۱۳ (۴/۲۹) [۲/۳]	۳/۰۶ (۲/۹۰) [۲/۸۳]	۱۸/۸۸ (۲۷/۰۰) [۲۲/۵۴]	۱۴/۰٤ (۱۵/۲۴) [۱۴/۲۲]	۱۵/۳۹ (۱۵/۷۵) [۱۵/۱۸]	۱۴/۷۸ (۱۳/۹۰) [۱۳/۸۶]
۴	۵۲۳۱	۲/۲۱ (۴/۴۶) [۲/۳۳]	۴/۵۹ (۵/۳۱) [۴/۹۳]	۹/۵۷ (۶/۷۰) (۷)/۵۵]	۱۴/۰۴ (۲۲/۰۵) [۱۹/۵۴]	۱۵/۰۹ (۱۶/۳۳) [۱۵/۶۶]	۱۵/۱۰ (۱۴/۰۵) [۱۳/۹۶]
۵	۴۵۸۶	۲/۱۹ (۴/۲۳) [۲/۳۲]	۴/۷۸ (۵/۳۹) [۴/۹۶]	۱۸/۹۱ (۲۵/۱۲) [۲۲/۱۴]	۶/۸۸ (۱/۹۵) [۲/۷۵]	۱۴/۳۹ (۱۹/۴۷) [۱۸/۱۹]	۱۴/۹۸ (۱۳/۹۶) [۱۳/۷۴]
۶	۴۶۹۶	۲/۲۲ (۴/۶۴) [۲/۴۲]	۴/۵۴ (۵/۲۷) [۴/۶۵]	۱۸/۷۷ (۲۵/۳۵) [۲۲/۰۴]	۱۳/۸۲ (۱۴/۳۴) [۱۳/۵۸]	۸/۳۹ (۱/۹۰) [۲/۵۶]	۱۴/۵۱ (۲۰/۰۸) [۱۸/۸۹]
۷	۵۱۳۷	۲/۲۰ (۴/۷۹) [۲/۴۲]	۴/۶۲ (۵/۳۵) [۴/۷۱]	۱۸/۶۵ (۲۴/۷۱) [۲۱/۷۴]	۱۳/۲۹ (۱۴/۱۹) [۱۳/۴۴]	۱۵/۲۶ (۱۴/۸۴) [۱۴/۷۱]	۷/۵۴ (۰/۴۰) [۱/۶۳]
۸	۶۰۶۷	۲/۱۴ (۳/۹۶) [۲/۲۵]	۴/۴۴ (۵/۱۸) [۴/۸۶]	۱۷/۷۰ (۲۲/۶۸) [۲۰/۴۴]	۱۲/۸۶ (۱۳/۷۱) [۱۳/۱۳]	۱۳/۹۷ (۱۳/۸۹) [۱۳/۸۰]	۱۴/۲۵ (۱۲/۶۲) [۱۲/۷۵]
۹	۴۱۳۸	۱/۷۵ (۲/۶۱) [۱/۷۶]	۳/۴۴ (۴/۰۵) [۳/۸۰]	۱۴/۲۷ (۱۵/۶۷) [۱۵/۹۹]	۱۱/۱۸ (۱۰/۰۹) [۱۰/۰۵]	۱۴/۲۷ (۱۰/۹۲) [۱۰/۹۶]	۱۲/۶۲ (۱۰/۴۱) [۱۱/۰۳]

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.3.5]

جدول ۸. مقایسه ضرایب حساسیت گندم زمستانه به‌دست آمده در مراحل مختلف رشد با نتایج سایر مطالعات انجام شده

مرحله رشد	رابطه ۱ (جنسن (۱۰))					رابطه ۲ (نیریزی و ریدزفسکی(۱۱))	
	مطالعه حاضر	آبخضر و قهرمان (۲)	آرین (۳)	هیل و همکاران (۹)	ژانگ (۱٤)	مطالعه حاضر	آبخضر و قهرمان (۲)
جوانه زنی	۰/۰۷۴	۰/۰۰۸۶۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷۸	۰/۰۸۷۷	۰/۰۷۶
پنجه زنی	۰/۰۸۶	۰/۰۳۴	۰/۱۲	۰/۱۰	−۰/۱۱۰	۰/۱۶۲	۰/۳۹۶
ساقه دهی	۰/۳۰۵	۰/۳۹۶	۰/۱۵	۰/۸۴	۰/۲۹۸	۰/۳۳۳	۰/۴۱۴
گل دهی	۰/۴۴۷	۰/۷۲۴	۲/۱۰	۰/۱۰	۰/۲۳۷	۰/۲۶۷	۰/۰۳۹
دانه بندی	۰/۵۰۶	۰/۴۷۵	۰/۳۳	۵/۰۰	۰/۱۱۰	۰/۲۱۶	۰/۲۵۴
رسیدن دانه	۰/۲۹۲	۰/۱۲۵	۰/۲۰	۰/۷۶	−۰/۰۵۴۱	۰/۱۱۱	۰/۱۷۷

جدول ۹. مقایسه ضرایب حساسیت Ky گندم زمستانه به‌دست آمده در مراحل مختلف رشد با نتایج سایر مطالعات انجام شد.

مرحله رشد	رابطه ۴ (رائو و همکاران (۱۲))		مقادیر پیشنهادی دورنباس و کسام (٦)
	مطالعه حاضر	آبخضر (۱)	
جوانه زنی	۰/۰۷۱۸	۰/۳۸۶	۰/۲
پنجه زنی	۰/۰۷۵۸	۰/۶۸۲	*
ساقه دهی	۰/۳۶۷	۱/۰۷۶	*
گل دهی	۰/۵۱۷	۰/۹۷۲	۰/۶
دانه بندی	۰/۵۵۶	۰/۷۵۱	۰/۵
رسیدن دانه	۰/۳۵۷	۰/۶۷۲	*

*: فاقد عدد

حساسیت گیاه در مراحل مختلف رشد به دست آمد. در این جا نیز یک دستگاه هشت معادله شش مجهولی وجود داشت که با استفاده از نرم افزار LINGO (Ver 8) و از طریق تعیین جواب‌هایی که کمترین خطا را در معادلات ایجاد کنند، ضرایب حساسیت به تنش محاسبه شدند. بر خلاف رابطه ۱ که مرحله دانه‌بندی حساس‌ترین مرحله به تنش آبی تعیین شد، ضرایب به‌دست آمده با استفاده از رابطه ۲ نشان می‌دهند که مراحل ساقه‌دهی و گل‌دهی به ترتیب حساس‌ترین مراحل فصل رشد به تنش رطوبتی می‌باشند. هم چنین ضرایب به دست آمده از طریق رابطه ۲ در مقابل ضرایب حاصل از معادله ۱ به میزان قابل توجهی کمتر هستند. این امر شاید به دلیل در نظر نگرفتن تغییرات ذخیره رطوبتی خاک باشد. اصولاً این معادله چون تبخیر- تعرق را ملاک قرار نمی‌دهد، خیلی قابل استفاده نیست. در جدول ۸ ضرایب به دست آمده با استفاده ار رابطه ۲ در پژوهش حاضر و مطالعه آبخضر و قهرمان (۲) ارائه شده است. با مشاهده ضرایب به دست آمده توسط آبخضر و قهرمان (۲) مشخص می‌شود که آنها نیز با استفاده از رابطه ۲ حساس‌ترین‌مرحله به تنش آبی را مرحله ساقه‌دهی معرفی کرده‌اند. البته در ترتیب دوره‌های حساس به تنش و هم چنین در میزان ضرایب حساسیت به دست آمده در دو مطالعه مزبور

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.3.5]

تفاوت زیادی دیده می‌شود.

برای تعیین ضریب حساسیت محصول (K_y) از رابطه ۴ (رائو و همکاران (۱۲)) استفاده شد. در این جا نیز با توجه به بیشتر بودن تعداد معادلات نسبت به تعداد مجهولات، برای تعیین ضرایب K_y از نرم افزار LINGO (Ver 8) استفاده شد. ضرایب K_y به دست‌آمده از طریق رابطه ۴ در جدول ۹ ارائه شده‌اند. آبخضر (۱) نیز ضرایب K_y را برای رقم مورد استفاده در این پژوهش تعیین کرده است. ضرایب K_y به‌دست آمده توسط آبخضر (۱) و دورنباس و کسام (٦) نیز ارائه شده‌اند. با مقایسه ضرایب K_y به دست آمده توسط آبخضر (۱) و ضرایب K_y در پژوهش حاضر به این نتیجه می‌رسیم که بین مقادیر ضرایب K_y به دست آمده و هم چنین ترتیب مراحل حساس به تنش در دو پژوهش مزبور تفاوت زیادی دیده می‌شود. این امر همان طور که در بحث قبلی گفته شد، شاید ناشی از تفاوت شرایط اقلیمی و اختلاف میزان تنش آبی در پژوهش حاضر نسبت به مطالعه انجام شده توسط آبخضر (۱) باشد. با مقایسه ضرایب K_y به دست آمده در پژوهش حاضر با مقادیر پیشنهادی دورنباس وکسام (٦) درمی‌یابیم که ضرایب K_y در دو مرحله گل‌دهی و دانه‌بندی تطا بق خوبی با مقادیر پیشنهادی محققین فوق دارند.

نتیجه‌گیری

مقایسه مدل‌های برآورد عملکرد گندم زمستانه نشان داد که مدل‌های برآورد عملکرد در واحد سطح دارای ضریب هم‌بستگی بالاتری نسبت به مدل‌های برآورد عملکرد در واحد آب می‌باشند. هم چنین ضرایب حساسیت به دست آمده از رابطه جنسن (۱۰) نشان داد که مراحل دانه‌بندی وگل‌دهی گندم زمستانه به ترتیب حساس‌ترین مراحل فصل رشد به تنش رطوبتی می‌باشند. با مقایسه ضرایب به دست آمده در تحقیق حاضر با مقادیر گزارش شده توسط سایر محققین اختلافاتی در میزان ضرایب مشاهده شد که احتمالاً واریته مورد استفاده، شرایط اقلیمی متفاوت، شدت تنش اعمال شده و برخی عوامل ناشناخته ممکن است این اختلافات را توجیه کنند.

منابع مورد استفاده

۱.آبخضر، ح. ر. ۱۳۸۱. تعیین ضرایب حساسیت گیاه گندم زمستانه به تنش رطوبتی. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲.آبخضر، ح. ر. و ب. قهرمان. ۱۳۸۲. تعیین ضرایب حساسیت گندم زمستانه به تنش رطوبتی. پژوهش‌های زراعی ایران ۱(۱) : ۳-۱۲.

۳.آرین، ا. ۱۳۷۱. برازش مدل کامپیوتری مدیریت و برنامه بندی آبیاری و تخمین محصول گندم آبی. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۴.علیزاده، ا. ۱۳۷۸. *رابطه آب و خاک و گیاه*. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد، ۲۲۰ صفحه.

۵.نخجوانی مقدم، م. م. ۱۳۸۲. بررسی اثر تنش آبی در مراحل مختلف رشد گیاه گندم زمستانه و تعیین ضرایب حساسیت گندم. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

6. Doorenbos, J. and A.H. Kassam. 1979. Yield response to water. FAO Irrig. Drain. Paper No 33, 193p.
7. Doorenbos, J. and W.O. Pruitt. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrig. Drain. Paper 24, 144 p.
8. Ghahraman, B. and A. R. Sepaskhah. 1997. Use of a water deficit sensitivity index for partial irrigation scheduling of wheat and barely. Irrig. Sci. 18: 11-16.
9. Hill, R.W., R.J. Hanks and J. L. Wright. 1982. Crop yield models adapted to irrigation scheduling programs. Research Report No. 99, Utah Agricultural Experiment Station, Utah University, Logan, Utah.
10. Jensen, M. 1968. Water consumption by agricultural plants. *In*: T. Kozlowski (Ed.), Water Deficit and Plant Growth. Academic Press, New York.
11. Nairizi, S. and J. R. Rydzewski. 1977. Effect of dated soil moisture stress on crop yields. Expl. Agric. 13:51-59.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.3.5]

12. Rao, N. H., P. B. S. Sarma and S. Chander. 1988. A simple dated water production function for use in irrigated agriculture. Agric. Water Manag. 13: 25-32.
13. Zhang, H. and T. Oweis. 1999. Water-yield relation and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. Agric. Water Manag. 38: 195-211.
14. Zhang, X. 2002. Linking water balance to irrigation scheduling: A case study in the Piedmont of Mount Taihang. *In*: T.R. McVicar, Li Rui, J. Walker, R.W. Fitzpatrick and Liu Changming (Eds.), Regional Water and Soil Assessment for Managing Sustainable Agiculture in China and Australia, ACIAR Monograph 84: 57-69.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.3.5]