

مقایسه توابع تولید گندم زمستانه از آب در منطقه مشهد

محمد مهدی نخجوانی مقدم و بیژن قهرمان^۱

چکیده

به منظور تعیین توابع تولید گندم زمستانه (رقم ۷۳/۵ 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 وارسته 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

۹۰ درصد حجم منابع آب استحصال شده را به خود اختصاص می‌دهد. شرایط خشک‌سالی چند سال اخیر و هم‌چنین 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 هم‌چنین پایین بودن بازده مصرف آب، انتخاب و به کارگیری راه‌کارهایی در زمینه‌های بهبود روش‌های آبیاری و بهینه سازی مصرف آب در

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 اقلیماتولوژی 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

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

هستند (مانند اغلب گیاهان زراعی) تابع تولیدی به شرح زیر پیشنهاد نمود:

$$\frac{Y_a}{Y_{max}} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{ETa_i}{ETmax_i} \right)^{\lambda_i} \quad [1]$$

که در آن λ_i : ضریب حساسیت گیاه به تنش رطوبتی در مرحله رشد i ام، Y_{max} : حداکثر عملکرد گیاه در فصل رشد (تن در هکتار)، Y_a : عملکرد واقعی محصول (تن در هکتار)، $(ETa)_i$: مقدار آب مصرفی گیاه در شرایط واقعی در مرحله رشد i ام (سانتی متر)، $(ETmax)_i$: مقدار آب مصرفی گیاه در شرایط بالقوه در مرحله رشد i ام (سانتی متر)، \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:

$$\frac{Y_a}{Y_{max}} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{W_a}{W_p} \right)^{\lambda_i} \quad [2]$$

که در آن W_a : مقدار واقعی آب مصرفی گیاه و W_p : نیاز آبی گیاه در شرایط بدون محدودیت آب خاک در مراحل مختلف رشد گیاه می باشد. دورنباس و کسام (۶) رابطه ۳ را به صورت نسبت کاهش محصول با نسبت کاهش تبخیر- تعرق ارائه نموده اند:

$$1 - \frac{Y_a}{Y_{max}} = K_y \left(1 - \frac{ETa}{ETmax} \right) \quad [3]$$

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

$$\frac{Y_a}{Y_{max}} = \prod_{i=1}^n \left[1 - K_{y_i} \left(1 - \frac{ETa_i}{ETmax_i} \right) \right] \quad [4]$$

دورنباس و پرویث (۷) مراحل بحرانی از نظر تنش رطوبتی را برای گیاهان زراعی و علوفه ای ارائه کرده اند. آنها مراحل حساس رشد گندم را مرحله تشکیل سنبله و دو هفته قبل از گرده افشانی معرفی نموده اند. در حالی که در تحقیقی که طی ۱۰

گیاهان، صرفه جویی قابل توجهی را در این بخش به همراه خواهد داشت و بدین طریق می توان خسارات ناشی از بحران کم آبی به بخش کشاورزی را به طور قابل ملاحظه ای کاهش داد.

تابع تولید محصول از آب، تابعی ریاضی است که بیانگر رابطه بین مقدار آب داده شده و محصول تولیدی در گیاهان زراعی می باشد. توابع تولید در منابع مختلف به دو صورت ارائه می شوند. توابع گروه اول در مقیاس فصل رشد ارائه می شوند. در توابع گروه دوم، واکنش های گیاهان در مراحل مختلف رشد به آب (مقیاس درون فصلی)، در معادلات برآورد محصول در نظر گرفته می شوند. عده زیادی از محققین سعی نموده اند برای توابع تولید محصول نسبت به آب معادلات ساده ای 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 (۴). 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 می شوند (۱۳).

مقدار آب مصرفی بر میزان عملکرد تأثیر می گذارد 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 می شود، با در نظر گرفتن حساسیت های مختلف مراحل رشد نسبت به یکدیگر، کل دوره رشد به مراحل مختلفی تقسیم می شود. در این رابطه، توابع تولید محصول به صورت حاصل ضرب نسبت های تعرق به تعرق حداکثر و یا نسبت های تبخیر- تعرق به تبخیر- تعرق حداکثر توسط محققین مختلف ارائه شده اند (۶ و ۱۳). با دانستن ضرایب حساسیت نسبی گیاه می توان با اعمال مدیریت صحیح تشخیص داد که در صورت کمبود آب در چه مرحله ای 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، گل دهی و تولید محصول

مراحل حساس گندم در منطقه مشهد و مقایسه آن با تحقیقات پیشینان 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 $36^{\circ} 16'$ و دقیقه شمالی، طول جغرافیایی $59^{\circ} 38'$ 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 2×2 متر به روش دستی و توسط کارگر ایجاد شد. قبل از کاشت 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 $1381/8/20$ به‌طور یکسان کشت شدند. کاشت بذرها به صورت دستی و با توجه به وزن

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 (۱۴) 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

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی لایه‌های مختلف خاک

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

لایه‌های خاک در اعماق پایین‌تر از عمق توسعه ریشه در هر دوره زمانی تعیین و به عنوان فرونشست 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 ۱۳۸۲/۴/۴) 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 هم‌چنین ضرایب حساسیت محصول با استفاده از رابطه بسط داده شده فائو توسط راتو و همکاران (۱۲) محاسبه شدند.

نتایج و بحث

در پژوهش حاضر با توجه به پیشنهاد دورنباس و کسام (۶)، شش مرحله 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

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، ۴۵، ۷۵، ۱۰۵، ۱۳۵، ۱۶۵ 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 از نرم افزار (Ver 14) AutoCAD به دست آمد و در نتیجه تغییرات ذخیره رطوبت

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

$$Y_{g(kh/ha)} = 2/97(I)^2 - 30.8/7(I) + 12228/9 \quad [5]$$

$$(R^2 = 0.75, P = 0.016)$$

$$Y_{g(kg/m^2)} = 0.0004(I)^2 - 0.052(I) + 2/41 \quad [6]$$

$$(R^2 = 0.21, P = 0.48)$$

ب) عملکرد دانه با تبخیر-تعرق

$$Y_{g(kg/ha)} = 166/95(ET) - 5231/0.2 \quad [7]$$

$$(R^2 = 0.86, P = 0.0003)$$

$$Y_{g(kg/m^2)} = 0.0007(ET) + 0.35(I) \quad [8]$$

$$(R^2 = 0.21, P = 0.22)$$

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 ۶ (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 به دست می‌آیند که نحوه توزیع تنش در طول فصل رشد تقریباً ثابت باشد. در حالی که در پژوهش حاضر تنها دو تیمار ۸ و ۹ چنین ویژگی را داشتند و تیمارهای دیگر در یک مرحله مشخص از رشد هیچ گونه آبیاری نشده‌اند. بنابراین

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 (جدول ۳ و ۴) 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 سانتی متر به دست 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 به ترتیب با ۶۵/۴۱، ۶۳/۴۱ و ۶۲/۵۱ سانتی متر 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

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	گل دهی	دانه بندی	رسیدن دانه
طول مرحله (روز)	۲۱	۱۱۲*	۳۳	۱۸	۱۷	۲۱
متوسط عمق ریشه (سانتی متر)	۱۵	۲۵	۶۲	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰
میزان بارندگی (سانتی متر)	۱/۱۵	۲/۹	۶/۷	۱/۹۵	۰/۹	۰/۴

* : شامل دوره خواب زمستانی به مدت ۹۵ روز

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

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 در عمق 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

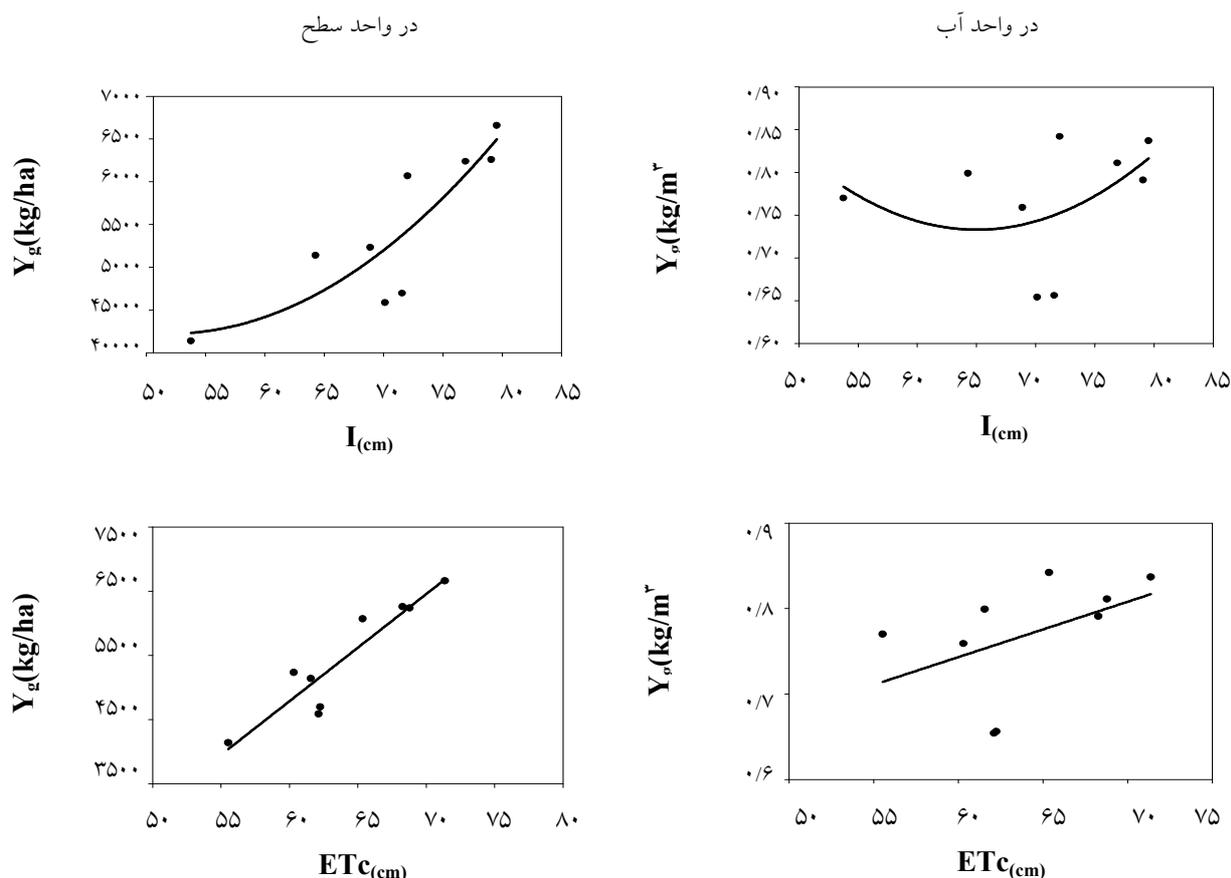
*: اعداد پر رنگ نشان دهنده میزان آب خاک در طی مراحل تحت تنش است.

ماده خشک (Y_i) و نسبت کاهش کل ماده خشک ($1-Y_i/Y_{tmax}$) در واحد سطح و در واحد آب محاسبه شدند. هم چنین نسبت کاهش تبخیر- تعرق ($1-ET/ET_{max}$) محاسبه و در روابط مزبور به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد. مقادیر فوق در

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 ($1-Y_g/Y_{gmax}$) کل

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

تیمار	عملکرد دانه Y_g		نسبت کاهش تبخیر- تعرق $[1-ET/ET_m]$	تبخیر- تعرق ET (سانتی متر)	آب آبیاری I (سانتی متر)
	در واحد آب (کیلوگرم بر متر مکعب آب)	در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار)			
۱	۰/۸۴	۶۶۵۸	۰	۷۱/۳۷	۶۴/۵۴
۲	۰/۸۱	۶۲۳۸	۰/۰۳۶	۶۸/۷۹	۶۱/۹۰
۳	۰/۷۹	۶۲۵۸	۰/۰۴۳	۶۸/۲۷	۶۴/۰۸
۴	۰/۷۶	۵۲۳۱	۰/۱۲۳	۶۰/۳۱	۵۳/۸۸
۵	۰/۶۵	۴۵۸۶	۰/۱۲۹	۶۲/۱۲	۵۵/۱۳
۶	۰/۶۶	۴۶۹۶	۰/۱۲۸	۶۲/۲۵	۵۶/۵۸
۷	۰/۸۰	۵۱۳۷	۰/۱۳۷	۶۱/۵۶	۴۹/۲۸
۸	۰/۸۴	۶۰۶۷	۰/۰۸۴	۶۵/۳۶	۵۷/۰۴
۹	۰/۷۷	۴۱۳۸	۰/۲۲۲	۵۵/۵۳	۳۸/۷۷



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

جدول ۶ 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 $\alpha < 0.05$ (روابط ۹ و ۱۱ در واحد سطح و روابط ۱۰ و ۱۲ در واحد آب) هستند.

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 رابطه ۱، 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 بهینه‌سازی 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 λ_i در مراحل مختلف رشد محاسبه شدند. نتایج به دست آمده در جدول ۸ ارائه شده‌اند. در این جدول هم‌چنین مقایسه‌ای بین ضرایب حساسیت به دست آمده از طریق رابطه جنسن (۱۰) با سایر مطالعات مشابه صورت گرفته است. با مقایسه ضرایب حساسیت به دست آمده توسط آبخضر و قهرمان (۲) و هم‌چنین یافته‌های آراین (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 به دست آمده است. در بین دو مطالعه مزبور، ضرایب حساسیت به دست آمده توسط آبخضر و قهرمان (۲) در مجموع تطابق بیشتری با ضرایب به دست 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 شش‌گانه فصل رشد و ضرایب به دست آمده در این پژوهش تفاوت‌هایی نیز وجود دارد. این اختلاف خصوصاً در مراحل گل‌دهی و رسیدن

جدول ۶ 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 $\alpha < 0.05$ (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

$$1 - Y_g / Y_{g \max} = 1/877(1 - ET/ET_{\max}) - 0/006 \quad [9]$$

$$(R^2 = 0/89, P = 0/0001)$$

$$1 - Y_g / Y_{g \max} = 0/557(1 - ET/ET_{\max}) - 0/024 \quad [10]$$

$$(R^2 = 0/21, P = 0/22)$$

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

$$1 - Y_t / Y_{t \max} = 1/024(1 - ET/ET_{\max}) - 0/007 \quad [11]$$

$$(R^2 = 0/89, P = 0/0001)$$

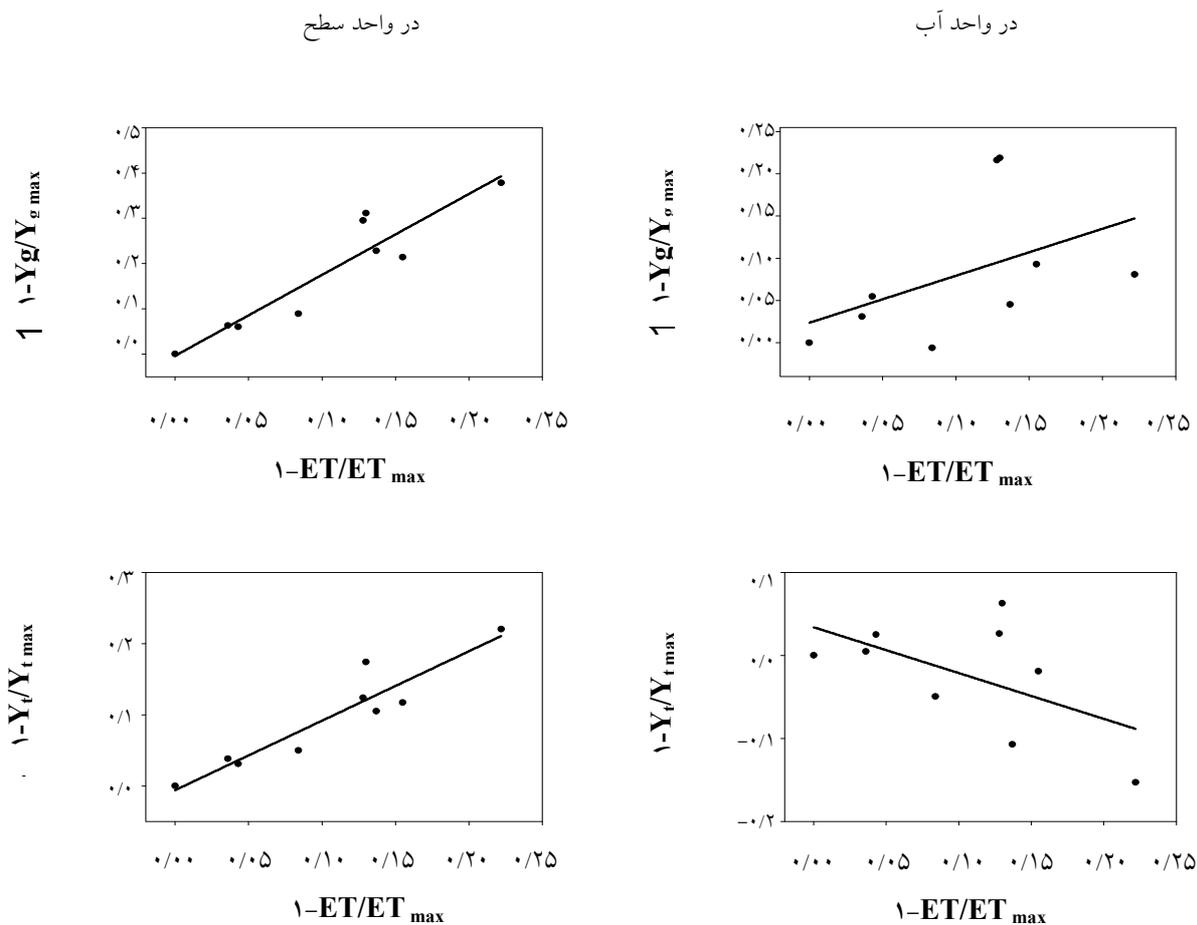
$$1 - Y_t / Y_{t \max} = -0/55(1 - ET/ET_{\max}) - 0/035 \quad [12]$$

$$(R^2 = 0/31, P = 0/12)$$

روابط به دست آمده در دو حالت فوق (معادلات ۵ تا ۱۲) نشان می‌دهند که روابط بین عملکرد دانه در واحد سطح با میزان آب داده شده به گیاه و میزان تبخیر-تعرق و هم‌چنین 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.

جدول ۶. پارامترهای محاسبه شده در تیمارهای نه گانه برای تعیین روابط نسبت کاهش عملکرد دانه و کل ماده خشک با نسبت کاهش تبخیر- تعرق

تیمار	کل ماده خشک $[Y_t]$			
	نسبت کاهش کل ماده خشک $[1 - Y_t/Y_{t \max}]$		نسبت کاهش عملکرد دانه $[1 - Y_g/Y_{g \max}]$	
	در واحد سطح	در واحد آب	در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار)	در واحد آب (کیلوگرم در متر مکعب آب)
۱	۰	۰	۱۶۰۸۷	۰
۲	۰/۰۳۸	۰/۰۰۵	۱۵۴۸۰	۰/۰۳۱
۳	۰/۰۳۱	۰/۰۲۵	۱۵۵۹۳	۰/۰۵۵
۴	۰/۱۱۷	-۰/۰۱۹	۱۴۱۹۷	۰/۰۹۳
۵	۰/۱۷۳	۰/۰۶۳	۱۳۲۹۳	۰/۲۱۹
۶	۰/۱۲۴	۰/۰۲۶	۱۴۰۹۷	۰/۲۱۶
۷	۰/۱۰۵	-۰/۱۰۷	۱۴۳۹۳	۰/۰۴۵
۸	۰/۰۴۹	-۰/۰۴۹	۱۵۲۹۰	-۰/۰۰۶
۹	۰/۲۲۰	-۰/۱۵۳	۱۲۵۴۰	۰/۰۸۱



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

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 شش گانه 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 و ۶۰ درصد در کل دوره رشد نیز در تعیین ضرایب حساسیت گندم مد نظر قرار گرفت. بدین منظور برای بررسی این که 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 در کل فصل رشد تحت تنش بودند) محاسبه شدند که ضرایب به دست آمده در این شرایط تفاوت زیادی با مقادیر قبلی نداشتند. این امر نشان می دهد که افزایش تعداد تیمارها در تحقیق حاضر نسبت به مطالعه انجام شده توسط آبخضر و قهرمان (۲) تأثیر زیادی در تفاوت ضرایب حساسیت به دست آمده ندارد.

مقایسه ضرایب به دست آمده در پژوهش حاضر با یافته های آرین (۳) مشخص می سازد که اگر چه هر دو مطالعه، مراحل گل دهی و بعد از آن دانه بندی را حساس ترین مراحل فصل رشد نسبت به تنش آبی معرفی کرده اند، ولی تفاوت زیادی بین ضرایب این دو تحقیق وجود دارد. دلایل زیادی ممکن است سبب اختلاف ضرایب به دست آمده در این پژوهش با یافته های 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 ۷۳/۵ می باشد.

با مقایسه ضرایب حساسیت به دست آمده توسط هیل و همکاران (۹) و ژانگ (۱۴) با ضرایب به دست آمده در این تحقیق، هم در ترتیب دوره های حساس به تنش و هم در مقادیر

ضرایب، اختلاف زیادی مشاهده می شود که علت این امر نیز شاید به سبب شرایط اقلیمی متفاوت و هم چنین اختلاف در نوع واریته گندم باشد. نکته ای که در رابطه با ضرایب حساسیت به دست آمده توسط ژانگ (۱۴) قابل ذکر می باشد، این است که وی ضرایب حساسیت را برای دو مرحله پنجه زنی 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 نمی باشد، بنابراین نمی توان اظهار نظر قطعی تری انجام داد.

با توجه به این که محاسبه تبخیر- تعرق واقعی در دوره های 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) می شود. از طرف دیگر مقادیر آب داده شده به گیاه در دوره های مختلف فصل رشد به آسانی می تواند اندازه گیری 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 می کند، می تواند مورد استفاده قرار گیرد. در پژوهش حاضر از آنجا که تیمارهای آزمایشی به گونه ای طراحی شده بود که هیچ مقدار آبی در تیمارهای ۲ الی ۷ در مرحله مشخصی از رشد داده نشود، بنابراین مقدار W_a در این مراحل معادل صفر بوده که این امر سبب خطا در محاسبه ضرایب حساسیت می شد. از این رو به جای نسبت W_a/W_m در رابطه ۲، از نسبت $(W_a-Dp)/(W_m-Dp)$ که در واقع معیاری از تبخیر- تعرق است استفاده شد. در این نسبت ها W_a برابر مجموع آب آبیاری و بارندگی در نظر گرفته شد، زیرا بخشی از مقادیر نفوذ عمقی مطمئناً ناشی از بارندگی ها در طی فصل رشد بوده است. مقادیر W_a و W_a-Dp برای تیمارها و مراحل مختلف رشد گیاه در جدول ۷ ارائه شده اند. با استفاده از این مقادیر و رابطه ۲ نیز ضرایب

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

مرحله رشد						عملکرد گیاه (kg/ha)	تیمار
رسیدن دانه	دانه بندی	گل دهی	ساقه دهی	پنجه زنی	جوانه زنی		
ETc ₆ (Wa ₆) [Wa ₆ - Dp ₆]	ETc ₅ (Wa ₅) [Wa ₅ - Dp ₅]	ETc ₄ (Wa ₄) [Wa ₄ - Dp ₄]	ETc ₃ (Wa ₃) [Wa ₃ - Dp ₃]	ETc ₂ (Wa ₂) [Wa ₂ - Dp ₂]	ETc ₁ (Wa ₁) [Wa ₁ - Dp ₁]		
۱۵/۶۳ (۱۴/۰۶) [۱۴/۱۵]	۱۵/۳۸ (۱۵/۷۹) [۱۵/۲۶]	۱۴/۱۴ (۱۴/۷۸) [۱۴/۱۲]	۱۹/۱۱ (۲۴/۹۹) [۲۱/۸۸]	۴/۸۷ (۵/۳۱) [۴/۳۹]	۲/۲۴ (۴/۶۱) [۲/۴۶]	۶۶۵۸	۱
۱۵/۲۰ (۱۳/۸۴) [۱۳/۸۱]	۱۵/۳۹ (۱۵/۸۶) [۱۵/۴۰]	۱۳/۷۳ (۱۴/۸۰) [۱۳/۹۲]	۱۸/۹۲ (۲۵/۶۲) [۲۱/۷۸]	۴/۴۰ (۵/۶۳) [۴/۹۳]	۱/۳۶ (۱/۱۵) [۱/۰۱]	۶۲۳۸	۲
۱۴/۷۸ (۱۳/۹۰) [۱۳/۸۶]	۱۵/۳۹ (۱۵/۷۵) [۱۵/۱۸]	۱۴/۰۴ (۱۵/۲۴) [۱۴/۲۲]	۱۸/۸۸ (۲۷/۰۰) [۲۲/۵۴]	۳/۰۶ (۲/۹۰) [۲/۸۳]	۲/۱۳ (۴/۲۹) [۲/۳]	۶۲۵۸	۳
۱۵/۱۰ (۱۴/۰۵) [۱۳/۹۶]	۱۵/۰۹ (۱۶/۳۳) [۱۵/۶۶]	۱۴/۰۴ (۲۲/۰۵) [۱۹/۵۴]	۹/۵۷ (۶/۷۰) [۷/۵۵]	۴/۵۹ (۵/۳۱) [۴/۹۳]	۲/۲۱ (۴/۴۶) [۲/۳۳]	۵۲۳۱	۴
۱۴/۹۸ (۱۳/۹۶) [۱۳/۷۴]	۱۴/۳۹ (۱۹/۴۷) [۱۸/۱۹]	۶/۸۸ (۱/۹۵) [۲/۷۵]	۱۸/۹۱ (۲۵/۱۲) [۲۲/۱۴]	۴/۷۸ (۵/۳۹) [۴/۹۶]	۲/۱۹ (۴/۲۳) [۲/۳۲]	۴۵۸۶	۵
۱۴/۵۱ (۲۰/۰۸) [۱۸/۸۹]	۸/۳۹ (۱/۹۰) [۲/۵۶]	۱۳/۸۲ (۱۴/۳۴) [۱۳/۵۸]	۱۸/۷۷ (۲۵/۳۵) [۲۲/۰۴]	۴/۵۴ (۵/۲۷) [۴/۶۵]	۲/۲۲ (۴/۶۴) [۲/۴۲]	۴۶۹۶	۶
۷/۵۴ (۰/۴۰) [۱/۶۳]	۱۵/۲۶ (۱۴/۸۴) [۱۴/۷۱]	۱۳/۲۹ (۱۴/۱۹) [۱۳/۴۴]	۱۸/۶۵ (۲۴/۷۱) [۲۱/۷۴]	۴/۶۲ (۵/۳۵) [۴/۷۱]	۲/۲۰ (۴/۷۹) [۲/۴۲]	۵۱۳۷	۷
۱۴/۲۵ (۱۲/۶۲) [۱۲/۷۵]	۱۳/۹۷ (۱۳/۸۹) [۱۳/۸۰]	۱۲/۸۶ (۱۳/۷۱) [۱۳/۱۳]	۱۷/۷۰ (۲۲/۶۸) [۲۰/۴۴]	۴/۴۴ (۵/۱۸) [۴/۸۶]	۲/۱۴ (۳/۹۶) [۲/۲۵]	۶۰۶۷	۸
۱۲/۶۲ (۱۰/۴۱) [۱۱/۰۳]	۱۴/۲۷ (۱۰/۹۲) [۱۰/۹۶]	۱۱/۱۸ (۱۰/۰۹) [۱۰/۰۵]	۱۴/۲۷ (۱۵/۶۷) [۱۵/۹۹]	۳/۴۴ (۴/۰۵) [۳/۸۰]	۱/۷۵ (۲/۶۱) [۱/۷۶]	۴۱۳۸	۹

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

مرحله رشد	رابطه ۱ (جنسن (۱۰))						رابطه ۲ (نیریزی و ریذفسکی (۱۱))	
	مطالعه حاضر	آبخضر و قهرمان (۲)	آرخین و همکاران (۳)	هیل و همکاران (۹)	ژانگ (۱۴)	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 به دست آمده در مراحل مختلف رشد با نتایج سایر مطالعات انجام شد.

مرحله رشد	رابطه ۴ (رائو و همکاران (۱۲))		مقادیر پیشنهادی دورنباس و کسام (۶)
	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

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 از 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 حساس ترین مرحله 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

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 حساس ترین مرحله به تنش آبی تعیین شد، ضرایب به دست آمده با استفاده از رابطه ۲ نشان می‌دهند که مراحل ساقه‌دهی و گل‌دهی به ترتیب حساس ترین 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

تفاوت زیادی دیده می‌شود.

وکسام (۶) درمی‌یابیم که ضرایب K_y در دو مرحله گل‌دهی و دانه‌بندی تطابق 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. هم‌چنین ضرایب حساسیت به دست آمده از رابطه جنسن (۱۰) نشان داد که مراحل دانه‌بندی و گل‌دهی 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 وارسته مورد استفاده، شرایط اقلیمی متفاوت، شدت تنش اعمال شده و برخی عوامل ناشناخته ممکن است این اختلافات را توجیه کنند.

برای تعیین ضریب حساسیت محصول (K_y) از رابطه ۴ (راو 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 دست آمده 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 به دست آمده توسط آبخضر (۱) و دورنباس و کسام (۶) 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 هم‌چنین ترتیب مراحل حساس به تنش در دو پژوهش مزبور تفاوت زیادی دیده می‌شود. این امر همان‌طور 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

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): ۳-۱۲.
۳. آرین، ا. ۱۳۷۱. برآزش 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.

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 Agriculture in China and Australia*, ACIAR Monograph 84: 57-69.