دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

بهره‌گیری از رهیافت مدل‌سازی در طراحی تیپ ایده‌آل گندم برای شرایط تنش خشکی

ف. حسین پناهی[۱]، م. کافی[۲]، م. پارسا[۳]، م. نصیری محلاتی[۲] و م. بنایان[۴]

۱- استادیار دانشگاه کردستان، نویسنده مسئول: (agro_expert@yahoo.com)
۲، ۳ و ۴- استاد، استادیار و دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد
تاریخ دریافت: ۹۱/۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۱۹

چکیده

شناسایی صفات کلیدی تعیین کنندهٔ عملکرد تحت شرایط تنش خشکی جهت اصلاح گیاهان زراعی نیازمند درک مبانی فیزیولوژیکی عملکرد گیاه است و یکی از علوم تقریباً جدیدی که کمک زیادی در درک مبانی فیزیولوژیکی رشد و نمو گیاهان زراعی می‌کند مدل‌سازی است. این مطالعه نیز با هدف شناسایی صفات تعیین کنندهٔ عملکرد گندم تحت شرایط تنش خشکی با بهره‌گیری از رهیافت مدل‌سازی صورت گرفت. بدین منظور ابتدا آزمون تأیید مدل روی مدل SWB-WGro که قبلاً در شرایط آب و هوایی مشهد تعیین اعتبار شده بود، صورت گرفت. سپس صفات مناسب جهت طراحی تیپ ایده‌آل گندم توسط تکنیک آنالیز حساسیّت مدل شناسایی شد. آزمون تأیید مدل نشان داد که توانایی مدل از نظر شبیه‌سازی عملکرد نهایی گندم تحت گستره‌ای از مقادیر متفاوت فراهمی آب عالی بود (RMSE% = 4.32 – 9.71) در نهایت تیپ ایده‌آل مناسب برای شرایط تنش خشکی در شرایط آب و هوایی مشهد تیپی با برگ‌های نازک و عمودی همراه با غلظت نیتروژن برگ بالا، سبزبمان طولانی‌تر، سرعت نمو کمتر قبل از مرحلهٔ گلدهی و سرعت نمو بالاتر بعد از آن تعریف شد.

کلیدواژه‌ها: آنالیز حساسیت، شبیه‌سازی، مدل پنمن- مونتیث فائو، مدل سوکروز، مدل لینتول

مقدمه

به اعتقاد اکثر متخصصین زراعت و اصلاح نباتات، دانش فیزیولوژی می‌تواند سبب افزایش کارایی اصلاح نباتات شود (۲۳). اگرچه در دهه‌های گذشته متخصصین اصلاح نباتات از طریق انتخاب تجربی موفقیت‌های زیادی در افزایش عملکرد پتانسیل به دست آوردند اما پیشرفت بیشتر در این زمینه نیازمند درک مکانیزم‌های فیزیولوژیکی رشد و نمو گیاهان و استفاده از آنها در برنامه‌های اصلاحی آینده

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

می‌باشد (۹). در این میان مدل‌های رشد ابزار سودمندی جهت ارتباط علوم فیزیولوژی و اصلاح نباتات هستند. هامر و همکاران (۱۹) بیان کردند که مدل‌های رشد گیاهان زراعی می‌توانند پاسخ‌های گیاه به عوامل ژنتیکی، محیطی و مدیریتی را براساس مکانیسم‌های فیزیولوژیکی کمّی کنند و از این طریق پیش‌بینی‌هایی در ارتباط با شناسایی ژنوتیپ‌های ایده‌آل برای محیط‌ها و مدیریت‌های مختلف ارائه کنند. البته مدل‌های کنونی توانایی لازم جهت تشریح تمام اختلافات ژنتیکی بین واریته‌های مختلف را ندارند اما آنها ابزارهای قدرتمندی در تشریح مکانیزم‌هایی هستند که تعیین کنندهٔ عملکرد نهایی در هر محیط می‌باشند (۹).

مفهوم طراحی یک تیپ گیاهی با خصوصیات مطلوب برای مجموعه‌ای از شرایط خاص اولین بار توسط دونالد (۱۳) ارائه شد. دونالد معتقد بود که روش‌های اصلاحی رایج که مبتنی بر انتخاب براساس عملکرد می‌باشند وراثت‌پذیری پائینی دارند و انتخاب براساس خصوصیات فیزیولوژیکی که به صورت مستقیم یا غیر مستقیم سبب افزایش عملکرد می‌شوند نتایج سودمندتری به بار خواهد آورد. لذا او مفهوم تیپ ایده‌آل را به عنوان یک رهیافت سودمند در زمینهٔ اصلاح گیاهان به این صورت تعریف کرد که تیپ ایده‌آل، گیاهانی با خصوصیات مدل شدهٔ مطلوبی هستند که فتوسنتز، رشد و تولید دانه را تحت تأثیر قرار خواهند داد.

طی چند دههٔ گذشته فعالیت‌های زیادی در راستای طراحی تیپ‌های ویژهٔ گیاهی برای شرایط خاص صورت گرفته که می‌توان به برنج (۳۲)، سیب‌زمینی (۲۰)، ذرت (۳۳)، نخود (۱۸) و گندم (۱۰، ۲۱ و ۴۲) اشاره کرد.

چالش عمده‌ای که در ارتباط با طراحی تیپ‌های ایده‌آل وجود دارد انتخاب نوع صفاتی است که باید در ترکیب با هم قرار گیرند تا منجر به افزایش عملکرد و ثبات آن شوند (۲۱). در واقع از آنجائیکه مفهوم تیپ ایده‌آل، انتخاب گستره‌ای از صفات فنولوژیکی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی منطبق با محیط رشد آن گیاه است لذا باید انتظار داشت که برای هر محیط یا هدف خاص، یک تیپ ایده‌آل ویژه وجود داشته باشد (۲).

طراحی تیپ ایده‌آل گیاهان زراعی همراه با محدودیت‌هایی از قبیل سختی در انتخاب صفات تعیین‌کننده، وجود مکانیزم‌های پس‌خور در بین فرآیندهای فیزیولوژیکی، ارزیابی این صفات در محیط‌های ویژه و محدودیت تغییرات ژنتیکی برای برخی از صفات می‌باشد (۹). بعلاوه ممکن است برخی صفات مورفولوژیکی از قبیل قدرت اولیه، تعداد پنجه و سنبله در غلات، اندازه و کیفیت دانه و واکنش به آفات و بیماری‌ها هنوز در مدل‌های شبیه‌ساز تلفیق نشده باشند (۴). با وجود تمام این محدودیت‌ها ارتباطات اصلی بین صفات و فرآیندهای فیزیولوژیکیِ پایه کاملاً در مدل‌ها گنجانده شده‌اند در نتیجه چنین رهیافت سیستمیکی جهت طراحی تیپ‌های گیاهی

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

می‌تواند به خوبی نشان دهد که کدام مشخصات به احتمال زیاد می‌تواند توسط اصلاح‌گران برای پتانسیل عملکرد بالاتر انتخاب شوند (۳۳).

در مطالعاتی که در ارتباط با گیاه گندم انجام شده صفات متفاوتی بسته به هدف و محل مطالعه انتخاب شده است. در مطالعه‌ای در شمال چین نشان داده شد که صفات تعداد دانه در هر سنبله و به دنبال آن وزن دانه بیشترین تأثیر را روی عملکرد گندم داشتند (۲۱). نیاز بهاره‌سازی و پاسخ به طول روز نیز نقش مهمی در تعیین عملکرد ایفا کردند به گونه‌ای که در فصول خشک نشان داده شد که جهت حصول عملکرد بالاتر، واریته‌ها باید پاسخ محدودی به بهاره‌سازی و طول روز نشان دهند زیرا این خصوصیت سبب القای زودرسی در گیاه شده و بدین‌وسیله گیاه از بروز تنش خشکی در مراحل پایانی فصل رشد اجتناب می‌ورزد. پارامتر مهم دیگری که در تعیین عملکرد نقش داشت سطح برگِ پرچم بود. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که با افزایش سطح برگ پرچم عملکرد گندم هم در فصول خشک و هم در فصول مرطوب افزایش یافت. هرندل و همکاران (۲۱) در مجموع نتیجه گرفتند که جهت بهبود عملکرد گندم در شمال چین متخصصین اصلاح نباتات باید روی صفات مذکور تمرکز کنند و در صورت امکان آنها را با هم در یک برنامه اصلاحی ترکیب نمایند.

نتایج تازه‌ترین تحقیقی که روی گیاه گندم انجام شده نیز نشان داد که فنولوژی بهترین مشخصه گیاهی جهت اصلاح گندم می‌باشد زیرا با زمان‌بندی مناسب و بهینهٔ مراحل نموی می‌توان از خسارات ناشی از تنش‌هایی نظیر یخزدگی، گرما و خشکی جلوگیری کرد (۱۰). بعلاوه به دلیل حساسیت‌های متفاوتی که در واریته‌های مختلف گندم نسبت به بهاره‌سازی، دما و طول روز وجود دارد، وراثت‌پذیری بالا و زمینهٔ ژنتیکی بسیار غنی در ارتباط با فنولوژی موجود است (۴۰). بر این اساس برادلی و همکاران (۱۰) بهینه‌سازی فنولوژی گیاه را به عنوان مبنا قرار داده و تیپ‌های ایده‌آلی از گندم برای مناطق مالی و ویمرا در آفریقا، نیوزیلند و انگلستان طراحی کردند که عملکردهای نسبتاً بالاتری نسبت به واریته‌های کنونی داشت و مشخصات تغییر یافتهٔ آنها شامل زمانِ زودتر گلدهی و رسیدگی نسبت به واریته‌های کنونی، ساقه‌های سنگین‌تر و تخصیص بیشتر مواد به دانه بود. همچنین تیپ ایده‌آلی برای ۵ منطقهٔ استرالیا با مشخصات زیر طراحی شد که دارای عملکرد پتانسیل بالاتری بود. این مشخصات شامل افزایش سرعت طویل شدن ساقه، زمان گلدهی زودتر اما فاصلهٔ مرحلهٔ ساقه‌رفتن تا گلدهی طولانی‌تر و شاخص برداشت افزایش یافته نسبت به واریته‌های کنونی استرالیا بود. برادلی و همکاران (۱۰) معتقد بودند که بهینه‌سازی فنولوژی باید به گونه‌ای صورت بگیرد که در نهایت بیشترین میزانِ تخصیص ممکن به دانه‌ها اتفاق بیفتد. در مجموع آنها تأکید کردند که تمام چالش‌ها در ارتباط با طراحی تیپ‌های ایده‌آل یافتن ژرم‌پلاسم‌هایی

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

است که فنولوژی آن نسبت به فنولوژی واریته‌های کنونی انعطاف بیشتری داشته باشد، دارای ساختاری کوتاه بوده و به گونه‌ای رشد کند که بیشترین میزان نور را در طول فصل رشد جذب کند.

با توجه به اثرات متقابل پیچیده‌ای که بین صفات مختلف گیاهی و متغیرهای اقلیمی وجود دارد، ضرورت طراحی یک تیپ ایده‌آل ویژه برای هر منطقه بسیار ضروری به نظر می‌رسد (۲). از آنجائیکه مطالعات مرتبط با طراحی تیپ‌های خاصّ گیاهی در ایران بسیار محدود می‌باشد، لذا این مطالعه با هدف طراحی تیپ ایده‌آل گندم برای شرایط تنش خشکی در شرایط آب و هوایی مشهد صورت گرفته است.

مواد و روشها

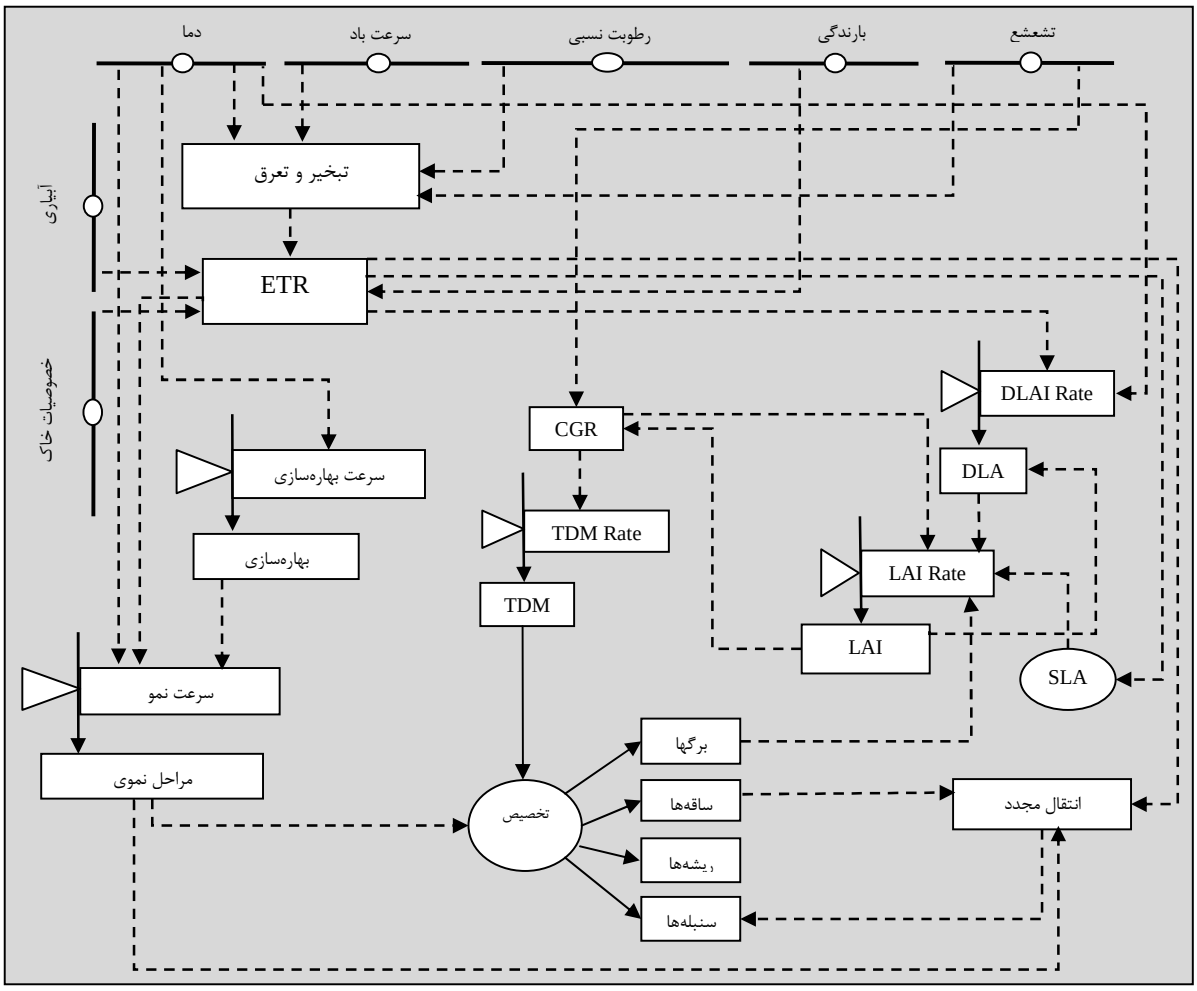
تشریح ساختار کلی مدل

مدلی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت توسط حسین‌پناهی و همکاران (۲۲) به طور کامل تشریح و در شرایط آب و هوایی مشهد تعیین اعتبار شده است. مدل مذکور شامل دو زیر مدل اصلی جهت شبیه‌سازی اجزای موازنهٔ آب خاک (زیر مدل SWB)[1] و شبیه‌سازی رشد و نمو گندم (زیر مدل WGro)[2] براساس میزان آب قابل دسترس در طول فصل رشد می‌باشد (شکل ۱). زیر مدل SWB تبخیر و تعرق و سایر اجزای موازنهٔ آب خاک را با تکیه بر روش پنمن-مونتیث فائو (۵) شبیه‌سازی می‌کند، و زیر مدل WGro یک مدل رشد و نمو گندم است که با استفاده از مدل‌های پایهٔ SUCROS (۴۳) و LINTUL (۴۱) ساخته شد.

جهت محاسبهٔ اثر تنش خشکی روی رشد و نمو گندم از نسبت تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر و تعرق پتانسیل (ETR)[3]، که توسط زیر مدل SWB محاسبه شد استفاده گردید. این نسبت همواره بین صفر و یک متغیر بوده، به گونه‌ای که در شرایط مطلوب برابر با یک و در شرایط محدودیت شدید آب برابر با صفر می‌شود. تا زمانیکه میزان رطوبت خاک منطقهٔ توسعهٔ ریشه در حد ظرفیت زراعی باشد میزان تبخیر و تعرق در حد بیشینه بوده و اصطلاحاً تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_p)[4] نامیده می‌شود (۴۴). با افزایش میزان تخلیه رطوبت خاک، درجه گشودگی روزنه‌های گیاه کمتر شده و میزان تبخیر و تعرق واقعی (ET_a)[5] نیز کمتر از تبخیر و تعرق پتانسیل خواهد شد. از آنجائیکه تعرق و فتوسنتز تقریباً به طور مشابهی به کاهش گشودگی روزنه‌ها پاسخ خواهند داد (۳۰)، لذا می‌توان از ETR به عنوان یک ضریب کاهشی برای محاسبهٔ تولید در شرایط محدودیت آب استفاده کرد. در مدل SWB-WGro تأثیر تنش خشکی از طریق پارامتر ETR در تولید برگ، میزان مرگ و میر برگ‌ها، کارایی مصرف نور و سرعت نمو اعمال شد. در مدل‌های گذشته استفاده از ETR در شبیه‌سازی اثرات تنش خشکی روی رشد و نمو گیاه موفقیت‌آمیز ارزیابی شده است (۲۴ و ۴۳).

1- Soil Water Balance
2- Wheat Growth
3- Evapotranspiration ratio
4- Potential evapotranspiration
5- Actual evapotranspiration

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]



شکل ۱- نمودار گردشی و عملیاتی مدل ETR، نسبت تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر و تعرق پتانسیل، CGR، سرعت رشد محصول (گرم ماده خشک در مترمربع در روز)، TDM، کل ماده خشک تولیدی، LAI، شاخص سطح برگ، DLAI، میزان مرگ و میر برگ‌ها، SLA، سطح ویژهٔ برگ (متر مربع برگ به ازاء هر گرم برگ)، rate، سرعت.

زیر مدل WGro شامل ۵ زیرمدل فرعی جهت شبیه‌سازی فرآیند بهاره‌سازی، مراحل نموی، تولید سطح برگ و جذب نور، تولید مادهٔ خشک و تخصیص مادهٔ خشک ساخته شده به اندام‌های مختلف می‌باشد (شکل ۱). میزان بهاره‌سازی برحسب تعداد تجمعی روزهای بهاره‌سازی بیان شد و از انتگرال‌گیری سرعت روزانهٔ بهاره‌سازی محاسبه گردید. سرعت بهاره‌سازی نیز به عنوان تابعی از دما در مدل تعریف شد. گسترهٔ دمایی مورد استفاده در مدل

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

براساس مدل ارائه شده توسط جامیسون و همکاران (۲۴) بین صفر تا ۱۵ درجه سانتیگراد تعریف شد. مدت زمان لازم برای تکمیل فرآیند بهاره‌سازی نیز ۵۰ روز در نظر گرفته شد (۸) بدین معنی که گیاه قبل از مرحلهٔ گلدهی باید ۵۰ روز را در معرض دماهای بین صفر تا ۱۵ درجه سانتیگراد بگذراند. تأثیر بهاره‌سازی روی نمو توسط فاکتوری به نام فاکتور بهاره‌سازی که مقدار آن بین صفر و یک تغییر می‌کند اعمال شد. مقادیر صفر و یک به ترتیب به منزلهٔ عدم شروع بهاره‌سازی و تکمیل بهاره‌سازی می‌باشند و مقادیر حدواسط نشان می‌دهد که بهاره‌سازی در حال انجام است. تأثیر بهاره‌سازی روی نمو گیاه از طریق ضرب فاکتور بهاره‌سازی در سرعت نمو اعمال شد.

برای شبیه‌سازی مراحل نموی از رهیافت موجود در مدل SUCROS (۴۳) استفاده شد. مراحل نموی به عنوان متغیری بدون واحد توصیف شد که مقدار آن در زمان سبز شدن صفر، در مرحلهٔ گلدهی ۱ و در زمان رسیدگی ۲ در نظر گرفته شد و از انتگرال‌گیری سرعت نمو بدست آمد. سرعت نمو که تابعی از دماست در قالب یک معادلهٔ تجربی در دو دورهٔ مجزا محاسبه شد. در دورهٔ اول که مابین زمان سبز شدن گیاه تا زمان گلدهی بود، سرعت نمو در مقدار صفر در روز در صفر درجهٔ سانتیگراد تا حداکثر ۰/۰۲۷ در روز در دماهای ۳۰ درجهٔ سانتیگراد و بالاتر تعریف شد. در دورهٔ دوم نیز که از زمان گلدهی تا زمان رسیدگی بود سرعت نمو در مقدار صفر در روز در صفر درجهٔ سانتیگراد تا حداکثر ۰/۰۳۱ در روز در دماهای ۳۰ درجهٔ سانتیگراد و بالاتر تعریف شد. از آنجائیکه خشکی نیز سبب افزایش سرعت نمو می‌گردد، لذا در مدل یک تابع تجربی برای بیان تأثیر خشکی روی سرعت نمو نیز تعریف گردید.

شاخص سطح برگ از انتگرال‌گیری سرعت رشد سطح برگ شبیه‌سازی شد و سرعت رشد سطح برگ نیز از حاصل‌ضرب سرعت روزانهٔ رشد گیاه (CGR، گرم ماده خشک در مترمربع در روز) در سطح ویژهٔ برگ (SLA، مترمربع برگ به ازاء هر گرم برگ) در کسری از ماده خشکی که به برگ‌ها اختصاص می‌یابد، منهای میزان مرگ و میر برگ‌ها (DLAI، متر مربع برگ در متر مربع زمین در روز) محاسبه شد (۴۱). میزان مرگ و میر برگ‌ها نیز از حاصل‌ضرب میزان شاخص سطح برگ در سرعت مرگ و میر برگ‌ها (RDR، بر روز) بدست آمد. سرعت مرگ و میر برگ‌ها نیز به عنوان توابعی تجربی از دما و خشکی در مدل تعریف شد.

مقادیر روزانهٔ جذب نور توسط کانوپی نیز براساس معادلهٔ لامبرت- بیر شبیه‌سازی شد. تولید ماده خشک روزانه از حاصلضرب نور جذب شده در میزان کارایی مصرف نور، که در مدل به عنوان تابعی از خشکی تعریف گردید، محاسبه شد. سپس ماده خشک تولیدی بین اندام‌های مختلف توسط یکسری توابع تجربی که خود تابع مرحلهٔ نمو هستند تخصیص یافت (۴۳). جزئیات کامل فرآیندهای مدل به همراه معادلات مربوطه

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

توسط حسین‌پناهی و همکاران (۲۲) ارائه شده است.

گرچه مدل SWB-WGro در شرایط آب و هوایی مشهد تعیین اعتبار شد (۲۲)، اما جهت اطمینان بیشتر از نتایج مدل، صحت مدل مورد نظر با استفاده از داده‌های سه پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، که در فاصله سالهای ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۸ در دانشگاه فردوسی مشهد اجرا گردیده بود مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش اول که سال زراعی ۱۳۸۲-۱۳۸۱ اجرا شد آزمایشی جهت بررسی اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد گیاه گندم زمستانه و تعیین ضرایب حساسیت گندم نسبت به آن بود (۲۹). نه تیمار مختلف آبیاری برای این آزمایش در نظر گرفته شد که جزئیات تیمارها و خصوصیات اقلیمی سال انجام آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

آزمایش دوم که سال زراعی ۱۳۸۴-۱۳۸۳ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد آزمایشی جهت بررسی عملکرد و کارایی مصرف آب لاین‌های جدید گندم مناطق سرد نسبت به تنش رطوبتی آخر فصل بود (۲۸). نه لاین جدید گندم در معرض دو تیمار آبیاری شامل آبیاری کامل و قطع آبیاری در مراحل پایانی فصل رشد قرار گرفتند که جزئیات تیمارها و خصوصیات اقلیمی سال انجام آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است.

آزمایش سوم که سال زراعی ۱۳۸۸-۱۳۸۷ در منطقهٔ نیشابور اجرا شد بررسی بهره‌وری آب در مزارع تحت آبیاری گندم بود (۱۲). ارزیابی‌ها در سه مزرعهٔ واقعی با نام‌های فاروب رومان، حاجی آباد و سلیمانی صورت گرفت. در هر مزرعه مقدار مصرف آب اندازه‌گیری و با توجه به عملکرد حاصله، نرخ بهره‌وری آب محاسبه می‌شد. جزئیات آبیاری در مزارع نامبرده و خصوصیات اقلیمی سال انجام آزمایش در جدول ۳ نشان داده شده است.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

جدول ۱- مشخصات محل اجرای آزمایش نخجوانی مقدم (۲۹) و عمق آبیاری (میلیمتر) در تیمارهای مختلف آبیاری در طول فصل رشد

محل	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	بارندگی (میلیمتر)*	تبخیر و تعرق تجمعی (میلیمتر)*	بافت خاک	ظرفیت زراعی ($m^3.m^{-3}$)	تاریخ کشت
مشهد	۳۶° و ۲۸′	۹۸۵	۲۳۵/۶	۵۹۴	لومی رسی	۰/۲۵	۱۹ آبان ۱۳۸۱

	تیمارهای آبیاری							
تاریخ	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
۱۳۸۱/۸/۲۱	۱۵/۴	۰	۱۳/۸	۱۴/۴	۱۳/۴	۱۵/۴	۱۶/۴	۱۲/۳	۶/۱
۱۳۸۱/۹/۲	۱۹/۲	۰	۱۷/۶	۱۸/۷	۱۷/۴	۱۹/۵	۲۰/۱	۱۵/۳	۷/۶
۱۳۸۱/۱۲/۱۶	۲۴/۱	۲۷/۲	۰	۲۴/۱	۴۴/۸	۲۳/۷	۲۴/۵	۱۹/۲	۹/۶
۱۳۸۲/۱/۵	۵۴/۱	۵۵/۱	۶۲/۴	۰	۵۵/۹	۵۵/۹	۵۴/۷	۴۳/۲	۲۱/۶
۱۳۸۲/۱/۱۶	۵۷/۴	۶۰/۹	۶۴/۸	۰	۵۸/۲	۶۰/۱	۵۷/۷	۴۵/۹	۲۲/۹
۱۳۸۲/۱/۲۴	۷۱/۵	۷۳/۲	۷۵/۸	۰	۷۰/۲	۷۰/۵	۶۷/۷	۵۷/۲	۲۸/۶
۱۳۸۲/۲/۷	۶۵/۸	۶۷/۵	۶۸/۱	۱۲۵/۷	۰	۶۳/۸	۶۳/۴	۵۲/۶	۲۶/۳
۱۳۸۲/۲/۱۶	۶۲/۵	۶۰/۹	۶۴/۸	۷۵/۲	۰	۶۰/۱	۵۹	۵۰	۲۵
۱۳۸۲/۲/۲۵	۶۶/۱	۶۵/۷	۳۶/۳	۷۰/۹	۱۰۵/۱	۰	۶۱/۹	۵۲/۸	۲۶/۴
۱۳۸۲/۳/۳	۷۲/۸	۷۳/۹	۷۲/۲	۷۳/۴	۷۰/۶	۰	۶۷/۵	۵۸/۲	۲۹/۱
۱۳۸۲/۳/۱۱	۶۷/۳	۶۵/۵	۶۸/۴	۶۸/۳	۶۷/۱	۱۲۴/۴	۰	۵۳/۸	۲۶/۹
۱۳۸۲/۳/۱۹	۶۹/۳	۶۸/۹	۶۶/۵	۶۸/۲	۶۸/۵	۷۲/۳	۰	۵۵/۴	۲۷/۷
مجموع	۶۴۵/۵	۶۱۸/۸	۶۱۰/۷	۵۳۸/۹	۵۷۱/۲	۵۶۵/۷	۴۹۲/۹	۵۱۵/۹	۲۵۷/۸

*: در طول فصل رشد

جدول ۲- مشخصات محل اجرای آزمایش مهدیزاده کاریزکی (۲۸) و عمق آبیاری (میلیمتر) در تیمارهای مختلف آبیاری در طول فصل رشد

محل	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	بارندگی (میلیمتر)*	تبخیر و تعرق تجمعی (میلیمتر)*	بافت خاک	ظرفیت زراعی ($m^3.m^{-3}$)	تاریخ کشت
مشهد	۳۶° و ۲۸′	۹۸۵	۲۳۵/۶	۵۹۴	لومی رسی	۰/۲۵	۱۹ آبان ۱۳۸۱

	تیمارهای آبیاری	
تاریخ	T1	T2
۱۳۸۳/۸/۲	۸۵/۳	۸۵/۵
۱۳۸۳/۸/۱۸	۶۵/۴	۶۵/۲
۱۳۸۴/۱/۲۹	۵۸/۷	۵۸/۷
۱۳۸۴/۲/۱۵	۵۹/۵	۵۹/۲
۱۳۸۴/۲/۳۱	۵۷/۶	۰
۱۳۸۴/۳/۱۰	۶۰	۰
۱۳۸۴/۳/۲۱	۵۸/۶	۰
مجموع	۴۴۵/۱	۲۶۸/۶

*: در طول فصل رشد

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

جدول ۳- مشخصات مزارع تحت آزمایش دهقان (۱۲) و عمق آبیاری (میلیمتر) در آبیاری‌های صورت گرفته در طول فصل رشد

محل	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	بارندگی (میلیمتر)*	تبخیر و تعرق تجمعی (میلیمتر)*
نیشابور	۳۶° و ۲۲′	۱۲۵۰	۲۸۵/۶	۵۲۶
مزرعه فاروب رومان		مزرعه حاجی آباد		مزرعه سلیمانی
تاریخ	عمق آبیاری	تاریخ	عمق آبیاری	تاریخ	عمق آبیاری
۱۳۸۷/۷/۲۱	۲۳۰	۱۳۸۷/۸/۵	۱۰۰	۱۳۸۷/۷/۲۵	۱۰۰
۱۳۸۷/۹/۱	۱۱۵	۱۳۸۷/۹/۱	۷۵	۱۳۸۸/۱/۳	۸۰
۱۳۸۷/۱۲/۴	۱۱۵	۱۳۸۷/۱۲/۱۵	۷۵	۱۳۸۸/۱/۱۷	۸۰
۱۳۸۸/۱۲/۲۴	۱۱۵	۱۳۸۸/۲/۵	۷۵	۱۳۸۸/۱/۳۱	۸۰
۱۳۸۸/۱/۱۲	۱۱۵	۱۳۸۸/۲/۲۵	۷۵	۱۳۸۸/۲/۱۵	۸۰
۱۳۸۸/۱/۲۵	۱۱۵	-	-	-	-
۱۳۸۸/۲/۱۵	۱۱۵	-	-	-	-
مجموع	۹۲۰		۴۰۰		۴۲۰
بافت خاک	لوم		لوم		سیلت لوم
رطوبت ظرفیت زراعی	۰/۲۷		۰/۲۶		۰/۱۹

*: در طول فصل رشد

برای هر کدام از این آزمایشات ابتدا اطلاعات هواشناسی سال انجام آزمایش جمع‌آوری و به عنوان ورودی در مدل تعریف شد. همان‌طور که توضیح داده شد در هر آزمایش نسبت تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر و تعرق پتانسیل (ETR) با استفاده از زیر مدل SWB محاسبه و به عنوان ضریب کاهشی جهت محاسبهٔ رشد، نمو و عملکرد گندم تحت تیمارهای مختلف آبیاری مورد استفاده قرار گرفت.

در پایان نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل با نتایج واقعی بوسیلهٔ دو روش برازش رگرسیون خطی بین مشاهدات و داده‌های شبیه‌سازی شده و مقایسهٔ آن با خط ۱:۱ و روش جذر میانگین مربعات خطا[1] (RMSE%) معادلهٔ (۱) مقایسه شد (۲۴).

$$RMSE\% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2}{n}} \cdot \frac{100}{\bar{O}} \qquad (1)$$

در این معادله O_i و S_i به ترتیب مشاهده iام و مقدار شبیه‌سازی شده آن، n تعداد مشاهدات و $\bar{O}$ میانگین مشاهدات می‌باشد. در این روش چنانچه مقادیر RMSE% کمتر از ۱۰٪ باشد شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰٪ خوب، بین ۲۰ تا ۳۰٪ متوسط و بیشتر از ۳۰٪ ضعیف ارزیابی خواهد شد (۳۰).

طراحی تیپ ایده‌آل

جهت کاربرد مدل‌های رشد در طراحی تیپ‌های ایده‌آل چهارچوبی کلی توسط آگاروال و همکاران (۴) ارائه شده است. این رهیافت قبل از هر چیز نیازمند یک مدل شبیه‌ساز گیاه زراعی است که باید در محیط مورد نظر آزمون و تعیین اعتبار شده باشد. سپس با استفاده از تکنیک

1- Root Mean Square Error

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

آنالیز حساسیت مدل، مقدار پارامترهای تعیین کنندهٔ گیاه مورد نظر در گسترهٔ ژنتیکی موجود آنقدر تغییر داده می‌شود تا بهترین مقدار برای هر پارامتر به دست بیاید. این کار همانند تولید لاین‌های ایزوژنیک عمل می‌کند زیرا فقط مقدار یک پارامتر تغییر کرده و مقادیر سایر پارامترها ثابت باقی می‌ماند. بعد از انجام آنالیز حساسیت، ترکیبات متفاوتی از صفات مختلف نیز ایجاد می‌شود و بدینوسیله تعداد زیادی واریته‌های مجازی تولید شده که عملکرد آنها می‌تواند به آسانی توسط مدل شبیه‌سازی گردد تا بهترین واریته از نظر عملکرد مشخص شود. بدیهی است که نتایج شبیه‌سازی می‌تواند اهمیت صفات مختلف در محیط مورد نظر را نشان دهد و از این طریق اهداف اصلاحی مشخصی بر اساس صفات مورد نظر تعیین گردد.

در مدل این مطالعه نیز پارامترهای کارایی مصرف نور (گرم ماده خشک به ازاء هر مگاژول تشعشع جذب شده)، سطح ویژهٔ برگ، ضریب خاموشی نور و حداکثر سرعت نمو در دمای ۳۰ درجهٔ سانتیگراد در مراحل رویشی و زایشی با استفاده از تکنیک آنالیز حساسیت به عنوان پارامترهای تأثیرگذار انتخاب شدند. برای هر پارامتر ۴ تغییر شامل ۱۰ و ۲۰ درصد افزایش و کاهش در مقدار پارامترها در نظر گرفته شد و تأثیر آن روی عملکرد نهایی تحت دو شرایط پتانسیل و محدودیت آب مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به اثر متقابلی که این پارامترها با تغییرات اقلیمی دارند میزان تأثیر هر پارامتر در طول ده فصل رشد گندم (فاصلهٔ سال‌های ۸۰-۱۳۷۹ تا ۸۹-۱۳۸۸) ارزیابی شد و میانگین تغییرات ده ساله مبنای تصمیم‌گیری قرار گرفت. بدین منظور داده‌های هواشناسی ده فصل رشد مذکور جمع‌آوری شد و به عنوان ورودی وارد مدل گردید. برای هر دو شرایط پتانسیل و محدودیت آب تاریخ کاشت ۲۰ مهر ماه در نظر گرفته شد. شرایط پتانسیل در مدل به گونه‌ای تعریف شد که در طول فصل رشد گیاه با هیچ‌گونه کمبود آبی مواجه نشود و برای شرایط محدودیت آب فرض شد که گیاه در دو مرحله در تاریخ‌های ۲۰ مهرماه و ۱۰ آبان ماه به ترتیب ۸۰ و ۵۰ میلی‌متر آبیاری دریافت کردند و رشد گیاه در ادامهٔ فصل رشد فقط متکی به بارندگی بود. اعمال دو مرحلهٔ آبیاری در ابتدای فصل رشد درشرایط محدودیت آب به دلیل یکسان سازی تاریخ کاشت در هر ده سال و اطمینان از سبز شدن و استقرار کامل گیاه طی فصل پاییز بود تا اثر تنش خشکی طی فصل بهار مورد ارزیابی قرار گیرد.

نتایج و بحث

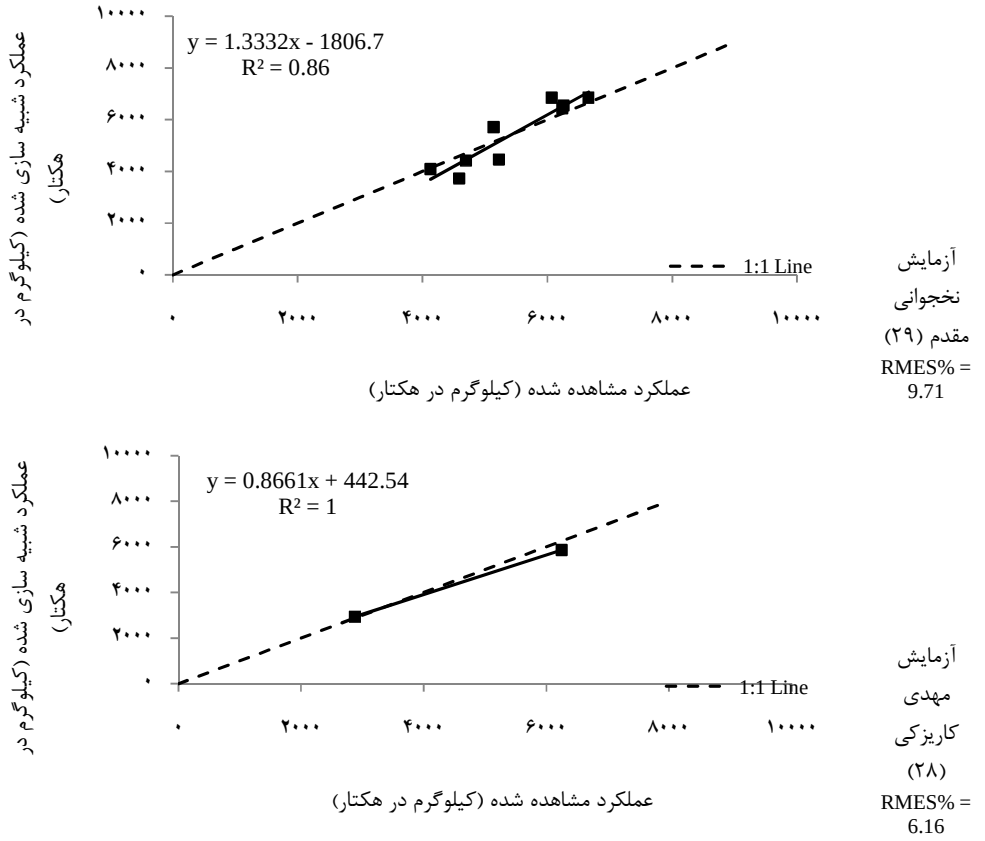
آزمون تأیید مدل[1]

حسین‌پناهی و همکاران (۲۲) مدل SWB-WGro را با موفقیت تعیین اعتبار کردند و نتیجه گرفتند که توانایی مدل در پیش‌بینی عملکرد نهایی عالی ارزیابی شد (RMSE% = 6.32 - 8.12)، نتایج آزمون تأیید مدل این مطالعه نیز مجدداً توانایی مدل در

1- Model Verification

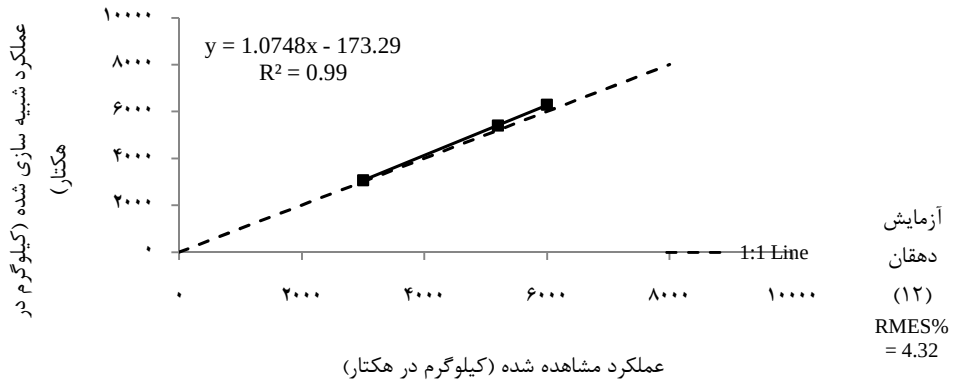
[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

شبیه‌سازی عملکرد گندم تحت گستره‌ای از مقادیر متفاوت فرآهمی آب را نشان داد. بر این اساس توانایی مدل در پیش‌بینی عملکرد تیمارهای آزمایش نخجوانی مقدم (۲۹) عالی ارزیابی شد و مقدار RMSE% برای این آزمایش ۹/۷۱ بدست آمد (شکل ۲). دقّت مدل در پیش‌بینی عملکرد آزمایش مهدی زاد کاریزکی (۲۸) نیز براساس نتایج RMSE% بالاتر از آزمایش نخجوانی مقدم بود و مقدار آن حدود ۶/۱۶ بدست آمد (شکل ۲). با این حال شاید بتوان کارکرد مدل را برای آزمایش نخجوانی مقدم بهتر تلقی کرد زیرا در این آزمایش گسترهٔ وسیعی از مقادیر فراهمی آب در قالب ۹ تیمار مورد ارزیابی قرار گرفت اما آزمایش مهدی زاد کاریزکی (۲۸) فقط مشتمل بر دو تیمار بود.



شکل ۲- رگرسیون خطی بین عملکرد گندم شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در آزمایشات نخجوانی مقدم (۲۹)، مهدی زاد کاریزکی (۲۸) و دهقان (۱۲).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]



ادامه شکل ۲.

به دو دلیل مقایسهٔ عملکردهای شبیه‌سازی شده با عملکردهای مشاهده شده در آزمایش دهقان (۱۲) اهمیّت بیشتری نسبت به دو آزمایش قبل داشت. اول اینکه عملکردهای ثبت شده در این آزمایش مربوط به سه مزرعهٔ واقعی تحت مدیریت یک کشاورز بود و دوم اینکه محل ثبت این عملکردها متفاوت با آزمایشات قبلی بود. آزمایش دهقان در شهر نیشابور و آزمایشات دیگر در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل قادر به شبیه‌سازی عملکرد خارج از محل ساخت و ارزیابی مدل نیز می‌باشد. هر چند که استفاده از آن در مناطق دیگر بدون انجام آزمون تعیین اعتبار صحیح نخواهد بود. مقدار RMSE% برای آزمایش دهقان ۴/۳۲ بدست آمد و نشان داد که توانایی مدل در شبیه‌سازی عملکرد نهایی مزارع این آزمایش بسیار عالی بوده است (شکل ۲).

در مجموع آزمون‌های تعیین اعتبار در مطالعهٔ حسین‌پناهی و همکاران (۲۲) و تأیید مدل در این مطالعه توانایی بالای مدل در شبیه‌سازی رشد و نمو گندم را به اثبات رساندند. به همین دلیل مدل جهت شبیه‌سازی تغییرات عملکرد پتانسیل و عملکرد تحت شرایط محدودیت آب طی ده سال گذشته در شرایط آب و هوایی مشهد اجرا شد تا صفات تعیین‌کنندهٔ عملکرد گندم شناسایی شده و براساس آنها تیپ ایده‌آلی برای شرایط تنش خشکی طراحی شود.

آنالیز حساسیت مدل جهت طراحی تیپ ایده‌آل

براساس نتایج شبیه‌سازی مدل SWB-WGro کارایی مصرف نور (RUE) هم تحت شرایط پتانسیل و هم تحت شرایط محدودیت آب بیشترین تأثیر را روی عملکرد گذاشت (جدول ۴). تحت شرایط پتانسیل ۱۰ و ۲۰ درصد کاهش در مقدار پایهٔ RUE به ترتیب سبب

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

۱۸/۵۷ و ۳۷/۵۹ درصد کاهش در عملکرد گندم شد. مقدار افزایش عملکرد به ازاء ۱۰ و ۲۰ درصد افزایش در مقدار پایهٔ RUE نیز به ترتیب ۱۸/۰۹ و ۳۵/۸۱ درصد به دست آمد. تحت شرایط محدودیت آب ۱۰ و ۲۰ درصد کاهش در مقدار پایهٔ RUE به ترتیب سبب ۴۰/۶۵ و ۶۷/۵۲ درصد کاهش در عملکرد گندم و ۱۰ و ۲۰ درصد افزایش در مقدار پایهٔ RUE به ترتیب سبب ۵۳/۲۶ و ۱۱۳/۵۵ درصد افزایش در عملکرد گندم شد. بنابراین براساس نتایج این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که اگر بهبود ژنتیکی RUE امکان‌پذیر باشد، RUE می‌تواند به عنوان یک پارامتر بسیار مهم سبب افزایش عملکرد تحت شرایط تنش خشکی گردد. اما آیا امکان تغییر ژنتیکی RUE وجود دارد؟

در منابع گزارشات گاهاً متناقضی در ارتباط با تغییر RUE از طریق اصلاح نباتات وجود دارد. ایوانز و فیشر (۱۴) معتقد بودند که RUE در گندم نسبتاً ثابت است و سینکلایر (۳۸) بیان داشت که افزایش RUE در گندم از طریق اصلاح‌نباتات به ندرت امکان‌پذیر است. به همین دلیل این محققین نتیجه گرفتند که افزایش عملکرد یا باید از طریق افزایش جذب نور صورت بگیرد و یا از طریق افزایش شاخص برداشت. در نقطهٔ مقابل شیرمن و همکاران (۳۷) نشان دادند که میزان RUE در ارقام جدید گندم نسبت به ارقام قدیم افزایش یافته است. آن‌ها در مطالعهٔ خود روی ارقامی که در فاصلهٔ سال‌های ۱۹۷۲ تا ۱۹۹۵ آزاد شده‌اند نشان دادند که به طور میانگین میزان افزایش RUE در هر سال حدود ۰/۰۱۲ گرم به ازاء هر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی[1] بوده است.

۱- تشعشعاتی که طول موج آنها بین ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر است.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

جدول ۴- میانگین تغییرات عملکرد گندم (کیلوگرم در هکتار) برحسب مقدار و درصد در یک دورهٔ ده ساله (فاصلهٔ سال‌های ۸۰-۱۳۷۹ تا ۸۹-۱۳۸۸) در شرایط پتانسیل و شرایط محدودیت آب* به ازاء ۱۰ و ۲۰ درصد کاهش و افزایش در مقدار پایهٔ پارامترهای مدل در شرایط آب و هوایی مشهد

	کارایی مصرف نور (RUE)				
	۲۰٪ کاهش	۱۰٪ کاهش	مقدار پایه (۲/۴)	۱۰٪ افزایش	۲۰٪ افزایش
شرایط پتانسیل	۵۱۳۸ (-۳۷/۵۹ ٪)	۶۷۰۱ (-۱۸/۵۷ ٪)	۸۲۲۷	۹۷۱۴ (۱۸/۰۹ ٪)	۱۱۶۹ (۳۵/۸۱ ٪)
شرایط محدودیت آب	۶۰۰ (-۶۷/۵۲ ٪)	۱۱۴۲ (-۴۰/۶۵ ٪)	۱۹۸۶	۳۱۰۹ (۵۳/۲۶ ٪)	۴۳۹۰ (۱۱۳/۵۵ ٪)
	سطح ویژهٔ برگ (SLA)				
	۲۰٪ کاهش	۱۰٪ کاهش	مقدار پایه (۰/۰۲)	۱۰٪ افزایش	۲۰٪ افزایش
شرایط پتانسیل	۶۴۲۳ (-۲۱/۹۸ ٪)	۷۴۴۵ (-۹/۵۲ ٪)	۸۲۲۷	۸۸۳۱ (۷/۳۵ ٪)	۹۳۰۷ (۱۳/۱۷ ٪)
شرایط محدودیت آب	۷۵۱ (-۵۹/۳۹ ٪)	۱۲۶۹ (-۳۴/۰۴ ٪)	۱۹۸۶	۲۸۲۶ (۳۹/۳۲ ٪)	۳۶۵۸ (۷۷/۹۵ ٪)
	ضریب خاموشی نور (K)				
	۲۰٪ کاهش	۱۰٪ کاهش	مقدار پایه (۰/۶)	۱۰٪ افزایش	۲۰٪ افزایش
شرایط پتانسیل	۶۱۱۴ (-۲۵/۷۵ ٪)	۷۳۳۴ (-۱۰/۸۸ ٪)	۸۲۲۷	۸۸۹۰ (۸/۰۸ ٪)	۹۳۹۸ (۱۴/۲۷ ٪)
شرایط محدودیت آب	۶۳۳ (-۶۵/۲۹ ٪)	۱۱۸۲ (-۳۸/۲۵ ٪)	۱۹۸۶	۲۹۳۹ (۴۴/۵۸ ٪)	۳۸۵۴ (۸۷/۰۳ ٪)
	حداکثر سرعت نمو قبل از گلدهی در ۳۰ درجهٔ سانتیگراد				
	۲۰٪ کاهش	۱۰٪ کاهش	مقدار پایه (۰/۰۲۷)	۱۰٪ افزایش	۲۰٪ افزایش
شرایط پتانسیل	۸۸۸۲ (۸/۰۴٪)	۸۴۹۴ (۳/۲۶٪)	۸۲۲۷	۷۹۰۹ (-۳/۸۵٪)	۷۵۰۰ (-۸/۷۴٪)
شرایط محدودیت آب	۲۶۸۶ (۲۰/۸۱٪)	۲۳۰۶ (۹/۰۶٪)	۱۹۸۶	۱۶۳۶ (-۱۲/۳۵٪)	۱۳۶۶ (-۲۲/۳۳٪)
	حداکثر سرعت نمو بعد از گلدهی در ۳۰ درجهٔ سانتیگراد				
	۲۰٪ کاهش	۱۰٪ کاهش	مقدار پایه (۰/۰۳۱)	۱۰٪ افزایش	۲۰٪ افزایش
شرایط پتانسیل	۸۶۱۶ (۴/۷۲ ٪)	۸۴۳۳ (۲/۴۹٪)	۸۲۲۷	۷۹۹۷ (-۲/۷۹٪)	۷۷۷۳ (-۵/۵۱٪)
شرایط محدودیت آب	۲۰۰۹ (۰/۹۱ ٪)	۲۰۰۰ (۰/۶۶٪)	۱۹۸۶	۱۹۷۳ (-۰/۵۷٪)	۱۹۵۶ (-۱/۴۴٪)

*: برای شرایط محدودیت آب فرض شد که گیاه در دو مرحله در تاریخ‌های ۲۰ مهرماه و ۱۰ آبان ماه به ترتیب ۸۰ و ۵۰ میلیمتر آبیاری دریافت کردند و رشد گیاه در ادامهٔ فصل رشد فقط متکی به بارندگی بود.

برخی محققین اعتقاد دارند که تغییر در ساختار کانوپی به گونه‌ای که سبب توزیع بهتر نور در کانوپی شده و در نتیجه برگهای پایینی قادر به جذب و استفادهٔ بیشتری از نور گردند، سبب افزایش RUE خواهد شد (۳۵). نتایج برخی مطالعات مدل‌سازی نیز نشان داده که توزیع بهتر نیتروژن در کانوپی نقش بسیار مهمی در افزایش RUE دارد (۲۶). مطالعات اخیر نیز ایجاد تعادل بهینه بین منبع و مخزن را راهکاری بسیار مؤثر برای افزایش RUE عنوان کرده‌اند (۱۷ و ۳۵). در واقع قدرت مخزن عامل محدود کنندهٔ عملکرد گندم بوده (۳۵) و RUE در اثر محدودیت مخزن، مخصوصاً در بخش‌های پایانی فصل رشد کاهش پیدا می‌کند (۱۷). آکرچ و اسلافر (۱) بیان کردند که در محیط‌های مدیترانه‌ای واریته‌هایی که تعداد دانهٔ بالاتری

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

تولید می‌کنند قدرت مخزن بالاتر و در نتیجه RUE بالاتری، مخصوصاً طی مرحلهٔ گلدهی دارند. این شواهد در مجموع نشان می‌دهد که امیدواری‌های زیادی برای افزایش RUE وجود دارد که می‌تواند مورد توجه متخصصین اصلاح نباتات قرار بگیرد.

یکی از خصوصیات کانوپی‌های عمودی ضریب خاموشی نور (K) بالاتر بوده که سبب افزایش جذب نور، مخصوصاً در لایه‌های پایینی کانوپی می‌گردد (۳۱). نتایج این مطالعه نیز نشان داد که عملکرد رابطهٔ مستقیمی با افزایش میزان K داشت به گونه‌ای که تحت شرایط پتانسیل میزان افزایش عملکرد به ازاء ۱۰ و ۲۰ درصد افزایش در مقدار پایهٔ K به ترتیب ۸/۰۸ و ۱۴/۲۷ درصد بود و تحت شرایط محدودیت آب این میزان به ترتیب به ۴۴/۵۸ و ۸۷/۰۳ درصد افزایش یافت (جدول ۴). البته غیر محتمل به نظر می‌رسد که این میزان افزایش در عمل اتفاق بیفتد. زیرا مقدار K در مدل ثابت فرض شده و هیچ مکانیزم پس‌خوری مقدار آن را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. این در حالیست که مقدار K در طول زمان متغیر بوده و میزان آن تحت تأثیر زاویهٔ نور خورشید و زاویهٔ برگ قرار می‌گیرد (۳۱).

کینیری و همکاران (۲۵) ثابت فرض کردن مقدار K در طول فصل رشد را عامل خطا در اندازه‌گیری جذب نور، کارایی مصرف آن و میزان تولید مادهٔ خشک عنوان کردند. کالدرینی و همکاران (۱۱) نیز همبستگی بین پیشرفت عملکرد و افزایش K را طی قرن بیستم ضعیف عنوان کردند. با وجود این گزارشات تاکنون مکانیزم مشخصی برای تغییرات K در نسخه‌های کنونی مدل‌های رشد گیاهان زراعی ارائه نشده و در اغلب مدل‌هایی که مبتنی بر رهیافت RUE هستند مقدار K به عنوان یک پارامتر ثابت در نظر گرفته می‌شود. بنابراین تا زمانیکه مکانیزم‌های پس‌خوری که تغییرات K را کنترل می‌کنند وارد مدل نشوند نمی‌توان نتایج آن را با قاطعیت قبول کرد. البته نباید فراموش کرد که عمودی بودن کانوپی که از چند دههٔ پیش مورد نظر دونالد بود (۱۳) و در تحقیقات اخیر نیز روی آن تأکید فراوان شده است (۳۵) بی ارتباط با افزایش K نخواهد بود اما آن چیزی که به عنوان یک چالش مطرح است متغیر فرض کردن K جهت پیش‌بینی صحیح‌تر مقادیر جذب نور در مدل‌ها می‌باشد (۳۱).

پارامتر دیگری که در این مطالعه سبب افزایش قابل توجه عملکرد مخصوصاً تحت شرایط محدودیت آب شد سطح ویژهٔ برگ (SLA) بود. نقش اصلی SLA در مدل این مطالعه شبیه‌سازی مقادیر سطح برگ بود و برخلاف K مقدار آن تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تأثیر افزایش SLA روی عملکرد تحت شرایط محدودیت آب بسیار بالاتر از شرایط پتانسیل بود (جدول ۴) به گونه‌ای که ۱۰ و ۲۰ درصد افزایش در مقدار SLA به ترتیب سبب ۳۹/۳۲ و ۷۷/۹۵ درصد افزایش عملکرد تحت شرایط

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

محدودیت آب شد و این میزان تحت شرایط پتانسیل به ترتیب ۷/۳۵ و ۱۳/۱۷ درصد بدست آمد.

SLA یکی از مهم‌ترین پارامترهای گیاهی جهت سازگاری با محیط‌های مختلف رشدی است (۱۵) که تنوع ژنتیکی بسیار بالایی دارد به گونه‌ای که در گیاهی مثل گندم از ۰/۰۲ تا ۰/۰۳۳ متر مربع به ازاء هر گرم برگ متغیر می‌باشد (۳۴). دامنهٔ تغییرات ژنتیکی بالا دست متخصصان اصلاح نباتات را برای ایجاد تغییرات در آن باز خواهد گذاشت. در مطالعات گذشته اهمیّت SLA برای اصلاح گندم در مناطق خشک به خوبی نشان داده شده است (۷ و ۳۴). آسنگ و همکاران (۷) در استرالیا تأثیر افزایش SLA روی عملکرد گندم در خاک‌های مختلف را با مدل APSIM به خوبی نشان دادند. آنها میزان افزایش عملکرد پتانسیل گندم را بسته به نوع خاک بین ۵ تا ۱۵ درصد گزارش کردند که بسیار مشابه با نتایج این مطالعه می‌باشد.

یکی از محدودیت‌های عملکرد گندم در مناطق مدیترانه‌ای برخورد دورهٔ پر شدن دانه با دماهای بالای آخر فصل رشد می‌باشد. در این مناطق گندم معمولاً در پاییز کشت شده و طی فصول زمستان و اوایل بهار به ندرت با کمبود آب مواجه می‌شود اما در بخشهای پایانی فصل رشد کمبود رطوبت خاک اثرات مخربی روی عملکرد گیاه می‌گذارد. مطالعات نشان داده‌اند که یکی از بهترین راهکارها جهت تخفیف اثرات خشکی پایان فصل رشد افزایش قدرت اولیهٔ گیاه است (۷ و ۳۴). در واقع رشد سریع اولیه سبب افزایش قابل ملاحظهٔ سطح برگ شده و از این طریق میزان پوشش سطح زمین بیشتر می‌گردد. اثرات مثبت این مسئله شامل کاهش تلفات تبخیری از سطح خاک، افزایش کارایی تعرق، توانایی بالاتر در مقابله با علف‌های هرز، افزایش جذب نور و تولید مادهٔ خشک سبب بهبود عملکرد در این شرایط می‌گردد (۳۴). افزایش SLA بهترین راه برای افزایش قدرت اولیهٔ گیاه بوده و نقش بسزایی در بهبود عملکرد گندم در مناطق خشک ایفا می‌کند (۷). محققین یکی از دلایل برتری جو نسبت به گندم در محیط‌های خشک را بالا بودن قدرت اولیهٔ جو می‌دانند به گونه‌ای که میزان SLA جو پس از سبز شدن حدود ۷۵ درصد بالاتر از گندم می‌باشد (۲۷). بنابراین به نظر می‌رسد که SLA پارامتر بسیار مهمی جهت بهبود عملکرد مخصوصاً تحت شرایط تنش خشکی می‌باشد و دامنهٔ ژنتیکی[۱] گسترده برای آن کمک شایانی به موفقیت برنامه‌های اصلاحی می‌نماید.

دو پارامتر دیگر که آنالیز حساسیت مدل برای آنها اجرا شد شامل سرعت نمو طی مراحل رویشی و زایشی می‌باشد. مراحل نموی از این نظر حائز اهمیت هستند که سبب سازگاری و حصول عملکرد بالا در گیاه می‌شوند زیرا با تغییر در مراحل نموی امکان فرار گیاه از تنش‌های محیطی بالاخص تنش خشکی فرآهم می‌آید. بعلاوه با تغییر در مراحل نموی می‌توان تخصیص مادهٔ خشک تولیدی به اندام‌های

۱- منظور میزان کل تغییرات مقدار کمّی آن پارامتر در تمام ژنوتیپ های موجود است.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

مختلف گیاه را مدیریت کرد (۱۰). از طرفی دیگر میزان وراثت‌پذیری و تغییرات ژنتیکی برای تغییر در فنولوژی گندم بسیار بالاست زیرا ژنوتیپ‌های مختلف درجات متفاوتی از حساسیت به طول روز، بهاره‌سازی و دما دارند (۳۶، ۴۰). این مسئله سبب می‌شود که اصلاح‌گران به راحتی بتوانند ژنوتیپ‌هایی متفاوت از نظر فنولوژی بسته به هدف و محیط مورد نظر جهت اجتناب از تنش و تخصیص بیشتر اسیمیلات‌های تولیدی به دانه اصلاح کنند (۳۹). با این حال نتایج مطالعات مختلفی که در این زمینه صورت گرفته است بسیار متفاوت می‌باشد.

در حالیکه برخی محققین اعتقاد دارند که تسریع در گلدهی سبب اجتناب از خشکی و بهبود عملکرد در مناطق خشک می‌شود (۶)، نتایج مطالعات دیگر نشان داده‌اند نه تنها گلدهی سریع سبب بهبود عملکرد مخصوصاً در مناطق مدیترانه‌ای نخواهد شد، بلکه طویل شدن فاصلهٔ ساقه‌رفتن تا گلدهی را عامل اصلی افزایش عملکرد در این مناطق برشمردند (۱۰، ۱۶ و ۳۶) زیرا طویل شدن این مرحله سبب افزایش تعداد دانه شده و تعداد دانه نیز به عنوان مهم‌ترین جزء عملکرد گندم شناخته شده است (۱). البته تمام این محققین روی این مسئله که نمو گیاه باید متناسب با زمان بروز تنش خشکی به گونه‌ای تطابق یابد که مراحل حساس گیاه با کمبود آب مواجه نشود اتفاق نظر دارند (۶، ۱۰ و ۳۶).

نتایج این مطالعه نیز نشان داد که تسریع در گلدهی (افزایش حداکثر سرعت نمو قبل از گلدهی در دمای ۳۰ درجهٔ سانتیگراد) نه تنها سبب افزایش عملکرد گندم نشد بلکه حتی عملکرد آن را هم در شرایط پتانسیل و هم تحت شرایط محدودیت آب کاهش داد (جدول ۴). ده و بیست درصد افزایش در حداکثر سرعت نمو قبل از گلدهی در دمای ۳۰ درجهٔ سانتیگراد به ترتیب سبب کاهش عملکرد به میزان ۳/۸۵ و ۸/۷۴ درصد تحت شرایط پتانسیل و ۱۲/۳۵ و ۲۲/۳۳ درصد تحت شرایط محدودیت آب شد. بسیاری از فرآیندهای مدل از قبیل اتمام رشد ریشه، شروع تخصیص مواد به اندام‌های ذخیره‌ای، مرگ و میر برگ‌ها و ... وابسته به مرحلهٔ نموی تعریف شد. به همین دلیل گلدهی سریعتر سبب کاهش سطح برگ و جذب نور گردید. کاهش سطح برگ در مدل به دو دلیل اتفاق افتاد. اول به دلیل کوتاه شدن دورهٔ رشد رویشی و دوم به این دلیل که زمان مرگ و میر برگ‌ها زودتر آغاز شد. از طرفی رشد ریشه که در مدل روی میزان آب قابل دسترس خاک تأثیر می‌گذارد زودتر متوقف شد. این عوامل سبب شد که تسریع گلدهی سبب کاهش تولید مادهٔ خشک و در نتیجه عملکرد گندم گردد. لازم به ذکر است که تحت شرایط پتانسیل تسریع در گلدهی فقط روی سطح برگ تأثیر گذاشت اما در شرایط محدودیت آب میزان رشد ریشه نیز تحت تأثیر قرار گرفت به همین دلیل میزان کاهش عملکرد آن بالاتر بود. بالعکس کاهش

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

سرعت نمو قبل از گلدهی سبب افزایش عملکرد شد که به دلیل افزایش سطح برگ، جذب نور و در نتیجه تولید مادهٔ خشک بود (جدول ۴).

ریچاردز (۳۶) نیز بیان کرد که افزایش طول دورهٔ رویشی سبب تقویت سیستم ریشه‌ای شده و در نتیجه گیاه در مراحل پایانی فصل رشد قادر به استخراج بیشتر آب از اعماق زمین خواهد بود. فالکس و همکاران (۱۶) نیز نشان دادند که تسریع در گلدهی در شرایط آب و هوایی انگلستان سبب کاهش عملکرد شد. آنها نیز دلیل این مسئله را رشد کمتر ریشه طی مرحلهٔ رویشی برشمردند و بیان کردند که رشد کمتر ریشه سبب کاهش آب قابل دسترس گیاه و کاهش توانایی آن در استخراج آب از اعماق زمین در مراحل پایانی فصل رشد می‌گردد. برادلی و همکاران (۱۰) نیز با هدف طراحی یک تیپ ایده‌آل گندم با تکیه بر خصوصیات فنولوژیکی طویل بودن فاصلهٔ ساقه رفتن تا گلدهی را عامل بسیار مهمی در افزایش عملکرد عنوان کردند.

میزان تغییرات عملکرد ناشی از تغییر در حداکثر سرعت نمو بعد از گلدهی در دمای ۳۰ درجهٔ سانتیگراد کمتر از تغییر در سرعت نمو قبل از گلدهی بود (جدول ۴). افزایش سرعت نمو بعد از گلدهی هم در شرایط پتانسیل و هم در شرایط محدودیت آب سبب کاهش طول دورهٔ پر شدن دانه و در نتیجه عملکرد شد اما میزان این کاهش تحت شرایط پتانسیل بیشتر بود. متقابلاً کاهش ۱۰ و ۲۰ درصد در سرعت نمو بعد از گلدهی به ترتیب سبب ۲/۴۹ و ۴/۷۲ درصد افزایش عملکرد در شرایط پتانسیل و ۰/۶۶ و ۰/۹۱ درصد تحت شرایط محدودیت آب شد و دلیل آن افزایش طول دورهٔ پر شدن دانه بود. از آنجائیکه تحت شرایط محدودیت آب سرعت نمو تحت تأثیر خشکی نیز قرار گرفت و با توجه به اینکه شدت تنش خشکی در مراحل پایانی فصل رشد نیز بسیار بالاتر بود، لذا کاهش سرعت نمو بعد از گلدهی به اندازهٔ شرایط پتانسیل سبب افزایش عملکرد نشد. این نتایج به وضوح نشان می‌دهد که کمبود رطوبت و افزایش دما عامل اصلی کوتاه بودن دورهٔ پر شدن دانه در مناطق خشک از قبیل مشهد می‌باشد و بعید به نظر می‌رسد که تغییر در سرعت نمو بعد از گلدهی از طریق اصلاح نباتات تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی عملکرد گندم تحت شرایط محدودیت آب داشته باشد. در واقع همانطور که قبلاً نشان داده شد به نظر می‌رسد که تغییر در مراحل نموی قبل از گلدهی تأثیر بسیار بیشتری روی عملکرد گیاه خواهد گذاشت.

مطالعاتی که بوت و همکاران (۹) با مدل CROPGRO روی سویا انجام دادند صحت این مطلب را به خوبی نشان می‌دهد. آنها دریافتند که منحنی پاسخ عملکرد به افزایش تدریجی طول دورهٔ پر شدن دانه یک منحنی مجانبی بود یعنی در اوایل مقداری افزایش در عملکرد دانهٔ سویا مشاهده شد اما منحنی خیلی زود مجانب شد و بعد از آن تغییری در عملکرد دانه اتفاق نیفتاد. آن‌ها به خوبی نشان دادند که کم شدن

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

شاخص سطح برگ و کاهش تدریجی غلظت نیتروژن در طول دورهٔ پر شدن دانه مانع افزایش عملکرد خواهد شد. در این مطالعه نیز اگرچه تغییرات نیتروژن گیاه مورد بررسی قرار نگرفت اما کاهش شدید در میزان شاخص سطح برگ در طول دورهٔ پر شدن دانه اتفاق افتاد (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). آگاروال و همکاران (۳) نیز با این که معتقد بودند که طولانی شدن دورهٔ پر شدن دانه یک صفت ضروری برای افزایش عملکرد پتانسیل در برنج می‌باشد، اما نهایتاً به این نتیجه رسیدند که دامنهٔ ژنتیکی برای این صفت در برنج خیلی بالا نیست. بعلاوه یک رابطهٔ منفی قوی بین افزایش دورهٔ پر شدن دانه و سرعت پرشدن دانه وجود دارد. فان‌گینکل و همکاران (۴۲) نیز در شرایط آب و هوایی مکزیک نتیجه گرفتند که ژنوتیپ‌هایی که طول دورهٔ پر شدن دانه در آنها کوتاهتر بود عملکرد بالاتری مخصوصاً تحت تنش‌های پایانی فصل رشد داشتند زیرا از دماهای بالای آخر فصل رشد اجتناب می‌کردند.جهت اطمینان از نتایج حاصله اثرات ترکیبی سرعت نمو قبل و بعد از گلدهی نیز مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ۴ تیپ نموی طراحی و پاسخ عملکرد در هر دو شرایط پتانسیل و محدودیت آب شبیه‌سازی گردید (جدول ۵).

۲۰ درصد افزایش در حداکثر سرعت نمو قبل و بعد از گلدهی در دمای ۳۰ درجهٔ سانتیگراد (تیپ ۱) سبب کاهش عملکرد هم در شرایط پتانسیل (۱۲/۹۶ درصد) و هم تحت شرایط محدودیت آب (۲۳/۴۷ درصد) گردید. دلیل این مسئله کاهش کل طول فصل رشد در هر دو شرایط بود. تسریع در گلدهی و کاهش سرعت نمو بعد از گلدهی (تیپ ۲) نیز سبب کاهش عملکرد به میزان ۴/۷۳ درصد در شرایط پتانسیل و ۲۱/۶۸ درصد تحت شرایط محدودیت آب گردید.

تسریع در گلدهی سبب کاهش سیستم ریشه‌ای، کاهش سطح برگ، کاهش جذب نور و در نتیجه کاهش تولید مادهٔ خشک گردید و افزایش سرعت نمو بعد از گلدهی به دلیل دماهای بسیار بالا در بخشهای پایانی فصل رشد و افزایش شدت تنش خشکی نتوانست طول دورهٔ پر شدن دانه را به میزان قابل توجهی افزایش دهد تا کاهش عملکرد ناشی از تسریع در گلدهی جبران شود. بنابراین این دو تیپ که در تسریع گلدهی مشترک بودند به وضوح نشان دادند که صفت تسریع گلدهی برای شرایط آب و هوایی مشهد مناسب نیست. همانند آن چیزی که فان‌گینکل و همکاران (۴۲) در مکزیک نشان دادند کوتاه شدن دورهٔ پر شدن دانه تحت شرایط محدودیت آب سبب افزایش قابل توجه عملکرد به میزان ۱۹/۵۳ درصد شد (تیپ ۳) و این تیپ بهترین تیپ نموی برای شرایط محدودیت آب بود. این مسئله نیز به دلیل اجتناب از دماهای بالا و خشکی‌های شدید آخر فصل بود. البته تأثیر این تیپ روی عملکرد تحت شرایط پتانسیل چندان قابل توجه نبود (۱/۹۳ درصد افزایش در عملکرد). بهترین تیپ نموی

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

گندم برای شرایط پتانسیل تیپ ۴ بود که در آن سرعت نمو قبل و بعد از گلدهی به میزان ۲۰ درصد کاهش یافت و این مسئله سبب افزایش طول دورهٔ رشد گردید. البته این تیپ تحت شرایط محدودیت آب نیز تا حدودی سبب افزایش عملکرد گردید اما میزان آن قابل توجه نبود (۳/۸۷ درصد افزایش عملکرد).

جدول ۵- میانگین تغییرات عملکرد گندم (کیلوگرم در هکتار) بر حسب مقدار و درصد برای یک دورهٔ ده سالهٔ فصل رشد گندم (فاصلهٔ سالهای ۸۰-۱۳۷۹ تا ۸۹-۱۳۸۸) در شرایط پتانسیل و شرایط محدودیت آب* در ۴ تیپ گیاهی متفاوت از نظر سرعت نمو در شرایط آب و هوایی مشهد

	تیپ پایه	تیپ ۱	تیپ ۲	تیپ ۳	تیپ ۴
شرایط پتانسیل	۸۲۲۷	۷۱۵۳ (-۱۲/۹۶ ٪)	۷۸۳۱ (-۴/۷۳ ٪)	۸۳۷۸ (۱/۹۳ ٪)	۹۳۲۷ (۱۳/۴۴ ٪)
شرایط محدودیت آب	۱۹۸۶	۱۳۴۲ (-۲۳/۴۷ ٪)	۱۳۸۰ (-۲۱/۶۸ ٪)	۲۶۵۳ (۱۹/۵۳ ٪)	۲۰۶۳ (۳/۸۷ ٪)

*: برای شرایط محدودیت آب فرض شد که گیاه در دو مرحله در تاریخ‌های ۲۰ مهرماه و ۱۰ آبان ماه به ترتیب ۸۰ و ۵۰ میلیمتر آبیاری دریافت کردند و رشد گیاه در ادامهٔ فصل رشد فقط متکی به بارندگی بود.

تیپ پایه: سرعت نمو قبل و بعد از گلدهی بر اساس مقادیر پایهٔ تعریف شده در مدل

تیپ ۱: ۲۰ درصد افزایش در حداکثر سرعت نمو قبل و بعد از گلدهی در دمای ۳۰ درجهٔ سانتیگراد

تیپ ۲: ۲۰ درصد افزایش در حداکثر سرعت نمو قبل از گلدهی در دمای ۳۰ درجهٔ سانتیگراد و ۲۰ درصد کاهش در حداکثر سرعت نمو بعد از گلدهی در دمای ۳۰ درجهٔ سانتیگراد

تیپ ۳: ۲۰ درصد کاهش در حداکثر سرعت نمو قبل از گلدهی در دمای ۳۰ درجهٔ سانتیگراد و ۲۰ درصد افزایش در حداکثر سرعت نمو بعد از گلدهی در دمای ۳۰ درجهٔ سانتیگراد

تیپ ۴: ۲۰ درصد کاهش در حداکثر سرعت نمو قبل و بعد از گلدهی در دمای ۳۰ درجهٔ سانتیگراد

براساس یافته‌های این مطالعه تیپ ایده‌آل مناسب برای شرایط محدودیت آب در منطقهٔ مشهد و مناطق مشابه با آن از نظر اقلیمی باید دارای خصوصیات زیر باشد.

۱- برگ‌ها (مخصوصاً برگ پرچم) سبزبمان طولانی‌تری داشته باشند چون این صفت سبب افزایش RUE می‌گردد (۲۱ و ۳۷).

۲- برگ‌ها عمودی‌تر باشند (این صفت سبب افزایش K شده (۳۱) و RUE را نیز به واسطهٔ توزیع بهتر نور در کانوپی بهبود می‌بخشد (۳۵)).

۳- برگ‌های اولیهٔ گیاه نازک‌تر و پهن‌تر باشند (این صفت سبب افزایش SLA، افزایش قدرت اولیهٔ گیاه و در نتیجه افزایش کارایی تعرق می‌گردند (۷ و ۳۴). مطالعات گذشته به خوبی نشان داده‌اند که امکان اصلاح این صفت از طریق واریته‌های جو امکان‌پذیر می‌باشد (۷ و ۲۷)).

۴- طول دورهٔ مابین ساقه‌رفتن و گلدهی طولانی‌تر باشد (این صفت سبب افزایش تشکیل تعداد دانه شده و در نتیجه قدرت مخزن افزایش پیدا می‌کند (۱)).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

۵- سرعت نمو بعد از گلدهی بالاتر از مقادیر کنونی باشد تا گیاه از دماهای بالا و تنش‌های خشکی شدیدتر در مراحل پایانی فصل رشد اجتناب کند (۴۲).

مدل ارائه شده توسط حسین‌پناهی و همکاران (۲۲) اگرچه به خوبی قادر به شبیه‌سازی رشد و نمو گندم تحت شرایط تنش خشکی می‌باشد اما طبیعتاً دارای ضعف‌هایی است که در مطالعات آینده باید با دقت بیشتری مورد بررسی قرار بگیرد. به عنوان مثال مدل فاقد مکانیزمی جهت محاسبهٔ خسارت سرمای زمستانه می‌باشد در نتیجه امکان مطالعهٔ تاریخ کاشت، به عنوان یک استراتژی سودمند در مدیریت مزارع گندم مناطق خشک را فرآهم نمی‌آورد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده این بخش به ساختار مدل اضافه گردد. همچنین پیشنهاد می‌شود که مطالعاتی از این قبیل در سایر مناطق کشور نیز اجرا شده تا گیاهانی سازگار با شرایط آب و هوایی ایران طراحی شده و اطلاعات آن در اختیار متخصصین اصلاح نباتات قرار بگیرد.

منابع:

1. Acreche, M.M. and G.A. Slafer. 2009. Grain weight, radiation interception and use efficiency as affected by sink-strength in Mediterranean wheats released from 1940 to 2005. Field Crops Research, 110: 98-105.
2. Aggarwal, P.K., M.J. Kropff, R.B. Matthews and C.G. McLaren. 1996. Using simulation models to design new plant types and to analyze genotype by environment interactions in rice. In: Cooper, M. and G.L. Hammer. 1996. Plant adaptation and crop improvement. CAB INTERNATIONAL. pp: 403-418.
3. Aggarwal, P.K., M.J. Kropff, K.G. Cassman and H.F.M. Ten Berge. 1997. Simulating genotypic strategies for increasing rice yield potential in irrigated, tropical environments. Field Crops Research, 51: 5-17.
4. Aggarwal, P.K., R.B. Matthews and M.J. Kropff. 1995. Opportunities for the application of system approaches in plant breeding. In: Aggarwal, P.K., R.B. Matthews, M.J. Kropff and H.H. Van Laar. Applications of systems approaches in plant breeding. SARP Research Proceedings, AB-DLO, TPE-WAU, Wageningen and IRRI, Los Banos. pp: 135-144.
5. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome.
6. Araus, J.L., G.A. Slafer, M.P. Reynolds and C. Roya. 2002. Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for? Annuals of Botany, 89: 925-940.
7. Asseng, S., N.C. Turner, T. Botwright and A.G. Condon. 2003. Evaluating the Impact of a Trait for Increased Specific Leaf Area on Wheat Yields Using a Crop Simulation Model. Agronomy Journal, 95: 10-19.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

8. Bergjord, A.K., H. Bonesmo and A.O. Skjelvag. 2008. Modelling the course of frost tolerance in winter wheat I. Model development. European Journal of Agronomy, 28: 321-330.
9. Boote, K.J., M.J. Kropff and P.S. Bindraban. 2001. Physiology and modelling of traits in crop plants: implications for genetic improvement. Agricultural Systems, 70 : 395-420.
10. Bradley, R.S., P. Riffkin and G. Oleary. 2012. Designing resource-efficient ideotypes for new cropping conditions: Wheat (*Triticum aestivum* L.) in the High Rainfall Zone of southern Australia. Field Crops Research, 125: 69-82.
11. Calderini, D.F., M.P. Reynolds and G.A. Slafer. 1999. Genetic changes in wheat yield and main physiological changes associated with them during 20th century. In: Shearman V.J., R.S. Bradley, R.K. Scott, and M.J. Foulkes. 2005. Physiological Processes Associated with Wheat Yield Progress in the UK. Crop Science, 45: 175-185.
12. Dehghan, H. 2010. Water productivity indicator in irrigated fields of wheat, Case study: Neyshabour Plain. M.Sc. thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.
13. Donald, C.M. 1968. The breeding of crop ideotypes. Euphytica, 17: 385-403.
14. Evans, L.T. and R.A. Fischer. 1999. Yield potential: its definition, measurement, and significance. Crop Science, 39: 1544-1551.
15. Evanz J.R. and H. Porter. 2001. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. Plant, Cell and Environment, 24: 755-767.
16. Foulkes M.J., R.S. Bradley R. Weightman and J.W. Snape. 2007. Identifying physiological traits associated with improved drought resistance in winter wheat. Field Crops Research, 103: 11-24.
17. Foulkes, M.J., G.A. Slafer, W.J. Davies, P.M. Berry, R.S. Bradley, P. Martre, D.F. Calderini, S. Griffiths and M.P. Reynolds. 2011. Raising yield potential of wheat. III. Optimizing partitioning to grain while maintaining lodging resistance. Journal of Experimental Botany, 62: 469-486.
18. Gaur, P.M., V.K. Gour and S. Srinivasan. 2008. An induced brachytic mutant of chickpea and its possible use in ideotype breeding. Euphytica, 159: 35-41.
19. Hammer, G.L., S.C. Chapman and P. Snell. 1999. Crop simulation modelling to improve selection efficiency in plant breeding programs. In: Boote, K.J., M.J. Kropff, and P.S. Bindraban. 2001. Physiology and modelling of traits in crop plants: implications for genetic improvement. Agricultural Systems, 70: 395-420.
20. Haverkort, A.J. and C. Grashoff. 2004. IDEOTYPING-POTATO a modelling approach to genotype performance. In: MacKerron, D.K.L., and Haverkort, A.J., (eds). Decision Support Systems in Potato Production - Bringing Models to Practice. Wageningen Academic Publisher. pp: 199-211.
21. Herndl, M., S.C. Gang, W. Pu, S. Graeff and W. Claupein. 2007. A Model Based ldeotyping Approach for Wheat Under Different Environmental Conditions in North China Plain. Agricultural Sciences in China, 6: 1426-1436.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

22. Hosseinpanahi, F., M. Kafi, M. Parsa, M. Nassiri and M. Bannayan. 2012. Evaluation of a model to simulate wheat growth and development under drought stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research. (In press).
23. Jackson, P., M. Robertson, M. Copper and G.L. Hammer. 1996. The role of physiological understanding in plant breeding: from a breeding perspective. Field Crops Research, 49: 11-37.
24. Jamieson, P.D., M.A. Semenov, I.R. Brooking and G.S. Francis. 1998. Sirius: a mechanistic model of wheat response to environmental, variation. European Journal of Agronomy, 8: 161-179.
25. Kiniry, J.R., C.A. Jones, J.C. Otoole, R. Blanchet, M. Cabelguenne and D.A. Spanel. 1989. Radiation use efficiency in biomass accumulation prior to grain filling for five grain crop species. Field Crops Research, 20: 51-64.
26. Long, S.P., X.G. Zhu, S.L. Naidu and D.R. Ort. 2006. Can improvement in photosynthesis increase crop yields? Plant, Cell and Environment, 29: 315-330.
27. Lopez-Castaneda C., R.A. Richards and G.D. Farquhar. 1995. Variation in early vigor between wheat and barley. Crop Science, 35: 472-479.
28. Mehdizade-Karizaki, M. 2006. Evaluation of yield and water use efficiency of new wheat lines rather than late season water stress. M.Sc. thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.
29. Nakhjavani-Moghadam, M.M. 2003. Investigation the effects of water stress on different growing stages of winter wheat and determination of sensitivity coefficient of wheat to water stress. M.Sc. thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.
30. Nassiri Mahalati, M. 2008. Modelling. In: Koocheki, A., and Khaje-Hosseini, M. (Eds) Advances in agronomy. Jahad university press, Mashhad.
31. O'Connell, M.G., G.J. O'Leary, D.M. Whitfield and D.J. Connor. 2004. Interception of photosynthetically active radiation and radiation-use efficiency of wheat, field pea and mustard in a semi-arid environment. Field Crops Research, 85: 111-124.
32. Peng, SH., G.S. Khush, P. Virk, Q. Tang and Y. Zou. 2008. Progress in ideotype breeding to increase rice yield potential. Field Crops Research, 108: 32-38.
33. Qi, R., Y. Ma, B. Hu, P.D. Reffye and P.H. Cournède. 2010. Optimization of source-sink dynamics in plant growth for ideotype breeding: A case study on maize. Computers and Electronics in Agriculture, 71: 96-105.
34. Rebetzke, G.J., T.L. Botwright, C.S. Moore, R.A. Richards and A.G. Condon. 2004. Genotypic variation in specific leaf area for genetic improvement of early vigour in wheat. Field Crops Research, 88: 179-189.
35. Reynolds, M., M.J. Foulkes, G.A. Slafer, P. Berry, M.A.J. Parry, J.W. Snape and W.J. Angus. 2009. Raising yield potential in wheat. Journal of Experimental Botany, 60: 1899-1918.
36. Richards, R.A. 2006. Physiological traits used in the breeding of new cultivars for water-scarce environments. Agricultural Water Management, 80: 197-211.
37. Shearman, V.J., R.S. Bradley, R.K. Scott and M.J. Foulkes. 2005. Physiological Processes Associated with Wheat Yield Progress in the UK. Crop Science, 45: 175-185.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

38. Sinclair, T.R. 1994. Limits to crop yield? In: Asseng S., N.C. Turner, J.D. Ray and B.A. Keating. 2002. A simulation analysis that predicts the influence of physiological traits on the potential yield of wheat. European Journal of Agronomy, 17: 123-141.
39. Slafer, G.A., J.L. Araus, C. Royo and L.F. Garcia del-Moral. 2005. Promising eco-physiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments. Annuals of Applied Biology, 146: 61-70.
40. Snape, J.W., K. Butterworth, E. Whitechurch and A.J. Worland. 2001. Waiting for fine times: Genetics of flowering time in wheat. Euphytica, 119: 185-190.
41. Spitters, C.J.T. and A.H.C.M. Schapendonk. 1990. Evaluation of breeding strategies for drought tolerance in potato by means of crop growth simulation. Plant and Soil, 123: 193-203.
42. Van Ginkel, M., D.S. Calhoun, G. Gebeyehu, A. Miranda, C. Tian-you, R. Pargas Lara, R.M. Trethowan, K. Sayre, J. Crossa and S. Rajaram. 1998. Plant traits related to yield of wheat in early, late, or continuous drought Conditions. Euphytica, 100: 109-121.
43. Van Laar, H.H., J. Goudriaan and H. Van Keulen. 1997. SUCROS97: Simulation of crop growth for potential and water-limited production situations. C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology and Resource Conservation, Wageningen, Netherlands, 52 pp.
44. Zhang, Y., Q. Yu, C. Liu, J. Jiang and X. Zhang. 2004. Estimation of winter wheat evapotranspiration under water stress with two semiempirical approaches. Agronomy Journal, 96: 159-168.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]

Using Modeling Approach for Designing a Wheat Ideotype for Drought Stress Conditions

F. Hosseinpanahi[1], M. Kafi[2], M. Parsa[3], M. Nassiri Mahalati[2] and M. Banayyan[4]

1- Assistant Professor, University of Kurdistan
(Corresponding author: agro_expert@yahoo.com)
2, 3 and 4- Professor, Assistant Professor and Associate Professor, University of Ferdowsi Mashhad
Received: 16, May, 2012 Accepted: 8, January, 2013

Abstract

Understanding the physiological basis of crop yield is crucial factor to identify key traits limiting yield under water stress conditions in order to crop breeding. Modeling is a new approach to understand the physiological basis of crop growth and development. This study was carried out in order to identify traits determining wheat yield under drought stress conditions using odeling approach. To achieve this goal the model verification test was done firstly on SWB-WGro model, which was previously validated at Mashhad region. Then key traits to design wheat ideotype were identified using sensitivity analysis technique. Results of verification test showed that the ability of model for simulation of final yield was excellent under different water supplies range (RMSE% = 4.32-9.71). Finally, the suitable ideotype for water stress conditions in Mashhad region was defined as a plant with thinner and vertical leaves, which have a high nitrogen concentration, longer stay-green, lower pre-anthesis development rate and higher post-anthesis development rate.

Keywords: Sensitivity analysis, Simulation, FAO Penman-Monteith model, SUCROS model, LINTUL model

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-04-22]