



به زراعی کشاورزی

دوره ۱۵ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۲
صفحه‌های ۱۶۰-۱۴۷

مدل‌سازی اثر زوال بذر بر سبزشدن گندم در تنش خشکی: بهینه‌سازی برنامه Germin در پیش‌بینی الگوی سبزشدن

الیاس سلطانی*^۱، افشین سلطانی^۲، مصطفی اویسی

۱. استادیار گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت- ایران
۲. استاد گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان- ایران
۳. استادیار گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت- ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۲/۳۱

تاریخ وصول مقاله: ۹۱/۱۰/۶

چکیده

تاکنون، برنامه‌های کامپیوتری مختلفی نظیر برنامه Germin برای محاسبه مؤلفه‌های جوانه‌زنی طراحی شده است که استفاده از آن‌ها اشکالاتی در بر دارد. هدف از این مطالعه اصلاح برنامه Germin برای محاسبه مؤلفه‌های جوانه‌زنی بود. با کمک برنامه بهینه‌شده اقدام به مدل‌سازی تأثیرات زوال بذر بر سبزشدن گندم در سطوح مختلف خشکی شد. به این منظور این آزمایش در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی به روش فاکتوریل با ترکیب پنج سطح زوال بذر (صفر، ۴۸، ۷۲، ۹۶ و ۱۴۴ ساعت دوره تسریع پیری) و سه سطح خشکی (۱-، ۵- و ۱۰- بار) انجام شد. نتایج نشان داد که تابع چاپمن - ریچاردز به خوبی سبزشدن تجمعی را در همه تیمارهای زوال بذر و شرایط خشکی شرح می‌دهد. با افزایش دوره‌های تسریع پیری زمان حرارتی برای سبزشدن از ۱۴۵ به ۱۹۴ درجه سانتی‌گراد روز رشد افزایش یافت و تنش خشکی نیز به افزایش زمان حرارتی منجر شد. برای مثال در تیمار ۱۴۴ ساعت تسریع پیری زمان حرارتی به ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد روز رشد رسید. درصد و سرعت سبزشدن با افزایش دوره تسریع پیری کاهش یافتند. نتایج نشان داد با افزایش زمان حرارتی در شرایط مطلوب محیطی زمان حرارتی برای سبزشدن در شرایط تنش خشکی به‌طور خطی افزایش یافت. برنامه بهینه‌شده توانست مؤلفه‌های جوانه‌زنی را محاسبه کند و توصیه می‌شود در مطالعات بذری از Germin بهینه‌شده استفاده شود.

کلیدواژه‌ها: تسریع پیری، جوانه‌زنی، زمان حرارتی، مدل چاپمن - ریچاردز.

۱. مقدمه

سبز شدن یکی از مراحل مهم فنولوژیکی گیاهان است [۹]. کاهش درصد و سرعت سبز شدن موجب استقرار ضعیف و عدم پوشش مناسب زمین خواهد شد که بر عملکرد نهایی اثر منفی می‌گذارد [۸]. مطالعات نشان داده است که بذرهایی با قدرت بالاتر اولیه دارای جوانه‌زنی و رشد اولیه بهتری هستند [۵، ۳، ۴]. قدرت یا کیفیت بذر متناسب با میزان دما و رطوبت بذر در دوران رسیدگی، برداشت، خرمن‌کوبی، خشک‌کردن، ذخیره‌کردن و شرایط کاشت تغییر می‌کند [۱۵، ۱۶، ۷، ۲۵، ۱۷]. شرایط انباری متفاوت باعث ایجاد اختلاف‌های معنی‌داری در جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهان می‌شود [۱۷، ۶]. اثر قدرت بذر روی کارکرد جوانه‌زنی و سبز شدن بذر به نوع تنش‌های محیطی آن دوره بستگی دارد که تحت شرایط تنش در گونه‌های مختلف گیاهی متغیر است [۵].

تنش خشکی یکی از عوامل مهم ناتوانی بذور در سبز شدن موفق در شرایط مزرعه محسوب می‌شود. این تنش سرعت و درصد سبز شدن را کاهش می‌دهد و در نهایت، استقرار گیاهچه را به تأخیر می‌اندازد [۱۹]. در آزمایشی به بررسی اثر تنش‌های محیطی بر سبز شدن بذره‌های آفتابگردان، سویا و ذرت با سطوح مختلف قدرت بذر پرداخته شد و نشان داده شد میزان کاهش درصد سبز شدن برای بذرهایی با سطح قدرت بذر بالاتر نسبت به بذرهایی با قدرت متوسط و پایین کمتر بود. به این معنا که بذرهایی با قدرت بذر کمتر، دامنه تحمل کمتری نسبت به شرایط تنش نشان می‌دهند [۵].

بعضی محققان به توصیف و پیش‌بینی سبز شدن و جوانه‌زنی بذر با استفاده از مدل‌های رگرسیونی پرداخته‌اند [۲۰، ۲۲، ۲۳]. امتیاز این توابع این است که پارامترهای این مدل‌ها مانند دماهای کاردینال و سرعت ذاتی جوانه‌زنی و سبز شدن دارای مفاهیم بیولوژیکی هستند [۱۰-۱۳]. در

مطالعه تأثیرات زوال بذر بر جوانه‌زنی گندم در واکنش به دما با استفاده از مدل‌های مذکور، نشان داده شد که بر اثر زوال بذر شکل تابع برازش‌یافته به واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما و در نتیجه پیش‌بینی دماهای کاردینال تغییر نکرد. اما، حداکثر سرعت ذاتی جوانه‌زنی بین تیمارهای زوال متفاوت بود [۲۳].

علاوه بر کاربرد مستقیم توابع دمایی برای محاسبه دماهای کاردینال و سرعت ذاتی جوانه‌زنی، برنامه‌های مختلفی نظیر برنامه Germin [۲] برای محاسبه مؤلفه‌های جوانه‌زنی یا سبز شدن مثل زمان تا شروع و پایان جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی نوشته شده‌اند. در مطالعات علوم بذر، ایرادی که بر این برنامه وارد است این است که زمان تا درصدهای خاصی از جوانه‌زنی را بر حسب حداکثر جوانه‌زنی در آن تیمار خاص محاسبه می‌کند، در نتیجه در شرایط تنش‌های محیطی که درصد جوانه‌زنی و سبز شدن کاهش می‌یابد، ممکن است محاسبه درستی از زمان تا درصدهای خاصی از جوانه‌زنی نشان ندهد. برای مثال ممکن است بذور در شرایط تنش، حتی کمتر از ۵۰ درصد جوانه‌زنی داشته باشند و در نتیجه هرگز ۵۰ یا ۹۰ درصد جوانه نزنند، ولی این برنامه براساس حداکثر میزان جوانه‌زنی در آن تیمار، زمان تا ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی را محاسبه می‌کند که در مقایسه با مقادیر پارامترها میان تیمارهای آزمایشی قابل استفاده نیست. برنامه‌های دیگری نظیر برنامه Germinator نیز پیشنهاد شده است [۱۴]. این برنامه با استفاده از روش عکس‌برداری هم‌زمان^۱ درصد جوانه‌زنی را محاسبه می‌کند و سپس، به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی مدل هیل را برازش می‌دهد و با کمک آن پارامترهایی نظیر درصد،

1. Imaging

سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی را محاسبه می‌کند. با توجه به دسترسی نداشتن به امکانات این تکنیک در ایران، روشی ساده‌تر و در عین حال دقیق می‌تواند کمک خوبی به محققان کشور در این زمینه باشد. بنابراین، هدف از این مطالعه اصلاح برنامه Germin برای محاسبه مؤلفه‌های جوانه‌زنی بود و با کمک برنامه بهینه‌شده اثر زوال بذر بر واکنش سبزشدن بذر گندم (رقم زاگرس) تحت شرایط خشکی ارزیابی شد.

۲. مواد و روش‌ها

این مطالعه روی بذر گندم رقم زاگرس، در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، در سال ۱۳۸۷، انجام شد. این آزمایش در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی به روش فاکتوریل با ترکیب پنج سطح زوال بذر (صفر، ۴۸، ۷۲، ۹۶ و ۱۴۴ ساعت دوره تسریع پیری) و سه سطح خشکی (۱-، ۵- و ۱۰- بار) انجام شد. برای زوال بذرهای از روش تسریع پیری استفاده شد [۱۸، ۳، ۲۳]. در این روش بذرهای برای دوره‌های ۰، ۴۸، ۷۲، ۹۶ و ۱۴۴ ساعت در دمای ۴۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بالای ۹۵ درصد قرار گرفتند. برای این کار بذرهای روی توری سیمی از جنس آلومینیوم ریخته شدند و در ظرف‌های واکيوم قرار داده شدند که در کف آن آب ریخته شده بود و سپس، ظرف‌ها در دمای مورد نظر قرار گرفتند (برای هر تیمار از ظرف‌های جداگانه استفاده شد). در نهایت، همه بذرهای در یک زمان از انکوباتور خارج شدند.

برای کشت در گلخانه تعداد ۲۵ بذر از هر تیمار بذری زوال در ۴ تکرار تحت شرایط شاهد (پتانسیل ۱- بار)، خشکی متوسط (پتانسیل ۵- بار) و خشکی شدید (پتانسیل ۱۰- بار) در گلدان‌هایی با قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۷ سانتی‌متر کشت شدند. داخل گلدان‌ها پلاستیک‌های

بدون منفذ قرار داده شد و سپس، به میزان ۶ کیلوگرم در آن‌ها خاک ریخته شد. مجموع وزن خاک خشک، وزن گلدان خالی، پلاستیک و آب (برای پتانسیل‌های مختلف) به‌عنوان وزن مرجع در نظر گرفته شد. گلدان‌ها به‌طور روزانه وزن می‌شدند و در هنگام نیاز، به اندازه اختلاف از وزن مرجع به آن‌ها آب اضافه می‌شد.

خاک مورد نیاز برای اجرای آزمایش دارای ۲۸ درصد رس، ۶۲ درصد سیلت، ۱۰ درصد شن، و وزن مخصوص ظاهری ۱/۷ گرم در سانتی‌متر مکعب بود. پتانسیل‌های خشکی (در دو سطح ۱- و ۵- بار) پس از تعیین درصد رس، سیلت، شن و وزن مخصوص ظاهری خاک با استفاده از منحنی رطوبتی خاک حاسبه شد که رابطه بین پتانسیل آب خاک و رطوبت خاک را مشخص می‌کند [۲۱]. در این آزمایش برای ترسیم منحنی رطوبتی خاک از برنامه Psycalc استفاده شد [۲۴، ۲].

برای محاسبه زمان حرارتی از رابطه زیر استفاده شد [۲۰]:

$$y = (\bar{T} - T_b) t_{(g)} \quad (1)$$

در این رابطه y زمان حرارتی برای سبزشدن بذر، \bar{T} میانگین دما طی دوره آزمایش، T_b دمای پایه برای سبزشدن (برای این توده‌های بذر ۲/۱ درجه سانتی‌گراد [۲۳]) و $t_{(g)}$ زمان تا سبزشدن درصد خاصی از بذور است.

۱.۲. روش بهینه‌سازی برنامه Germin

در برنامه Germin زمان رسیدن به درصد خاصی از حداکثر جوانه‌زنی محاسبه می‌شود، برای مثال در یک توده بذر با درصد جوانه‌زنی نهایی ۴۰ درصد، زمان تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی معادل زمان تا ۲۰ درصد جوانه‌زنی خواهد بود. همچنین، در برنامه Germin محاسبه مؤلفه‌ها از درون‌یابی خطی داده‌های تجمعی جوانه‌زنی یا سبزشدن صورت می‌گیرد. البته در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان

کرد، برای مثال از T30. در مورد یکنواختی سبزشدن نیز با توجه به اینکه یکنواختی سبزشدن اختلاف بین زمان شروع تا پایان سبزشدن است، می توان با تغییر در برنامه اختلاف دو دهک دیگر را محاسبه کرد. برای مثال اگر حداکثر سبزشدن ۳۰ درصد باشد، می توان اختلاف T30 و T10 را به عنوان یکنواختی سبزشدن یا جوانه زنی، در نظر گرفت. این کار را محققان دیگری نیز انجام داده اند [۱۴].

دومین تفاوت در نحوه محاسبه زمان تا سبزشدن یا جوانه زنی، است (شکل ۱). در Germin (نسخه ۲) زمان تا درصدهای خاصی از سبزشدن یا جوانه زنی، برای حداکثر جوانه زنی محاسبه نمی شود، بلکه مقدار حداکثر ۱۰۰ درصد در نظر گرفته می شود؛ یعنی قابلیت توده بذری برای جوانه زنی ۱۰۰ درصد بوده است که از این ۱۰۰ درصد ممکن است درصد کمتری جوانه بزنند. برای مقایسه بهتر دو نسخه این برنامه به شکل ۱ توجه کنید. همان طور که مشاهده می شود، در نسخه جدید برنامه، بعد از برآزش مدل چاپمن - ریچاردز زمان تا ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد سبزشدن محاسبه می شود. در شکل الف مشاهده می شود به دلیل اینکه درصد سبزشدن کمتر از ۹۰ درصد بوده است زمان تا رسیدن به این درصد بی نهایت خواهد بود، یعنی هرگز، به این زمان نخواهد رسید که در واقع نیز چنین است. در نسخه قدیمی این برنامه زمان تا درصدهای خاصی از جوانه زنی یا سبزشدن، براساس حداکثر درصد جوانه زنی یا سبزشدن، محاسبه می شود. برای مثال در شکل اب درصد سبزشدن معادل ۶۷ درصد بوده است، یعنی ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد حداکثر سبزشدن در اصل زمان تا ۶/۷، ۳۳/۵ و ۶۰/۳ بوده است و نسخه قدیمی برنامه زمان تا رسیدن به این درصدها را محاسبه می کند.

زراعی زمان رسیدن به مراحل مختلف فنولوژیک براساس ۵۰ درصد از حداکثر آن مرحله فنولوژیک اهمیت دارد. برنامه بهینه شده Germin (نسخه ۲) دو تفاوت اساسی با نسخه قدیمی خود دارد؛ اول اینکه، روند جوانه زنی یا سبزشدن، با استفاده از مدل رشد چاپمن - ریچاردز به صورت زیر کمی سازی شد (شکل الف) [۲۰]:

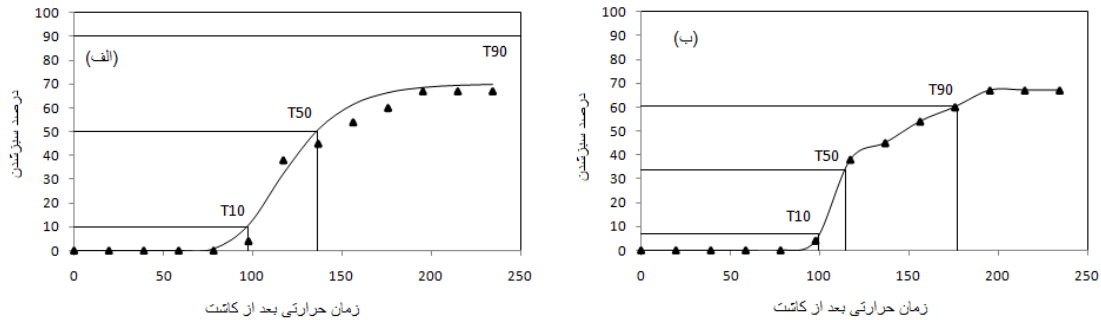
$$E(\%) = a(1 - \exp(-by))^c \quad (2)$$

که در این رابطه E درصد سبزشدن گیاهچه یا جوانه زنی، t زمان حرارتی برای سبزشدن و a ، b و c ضرایب معادله هستند. ضریب a حداکثر درصد سبزشدن، b سرعت سبزشدن (در روز) و c پارامتر شکل هستند. چنانچه مدل توصیف خوبی از داده ها داشته باشد، با کمک برنامه ای که در ویزوال بیسیک ادیتور^۱ اکسل نوشته شد مؤلفه های سبزشدن یا جوانه زنی، محاسبه خواهند شد. مؤلفه هایی که در این مدل محاسبه می شوند عبارت اند از زمان تا ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد جوانه زنی، سرعت، یکنواختی و درصد جوانه زنی. در برنامه Germin (نسخه ۲) زمان تا درصدهای خاصی از جوانه زنی از طریق درون یابی خطی داده های حاصل از مدل چاپمن - ریچاردز محاسبه می شود. سرعت جوانه زنی نیز مشابه نسخه اول [۲] و به صورت زیر محاسبه می شود:

$$R50 = 1/T50 \quad (3) \quad (\text{سرعت جوانه زنی})$$

در این معادله T50 معادل زمان تا ۵۰ درصد جوانه زنی است. یکنواختی جوانه زنی نیز حاصل تفاضل زمان تا ۱۰ درصد جوانه زنی و زمان تا ۹۰ درصد جوانه زنی است. همچنین، در صورتی که درصد سبزشدن به ۵۰ نرسد، سرعت سبزشدن را می توان از دهک های دیگر محاسبه

مدل‌سازی اثر زوال بذر بر سبزشدن گندم در تنش خشکی: بهینه‌سازی برنامه Germin در پیش‌بینی الگوی سبزشدن



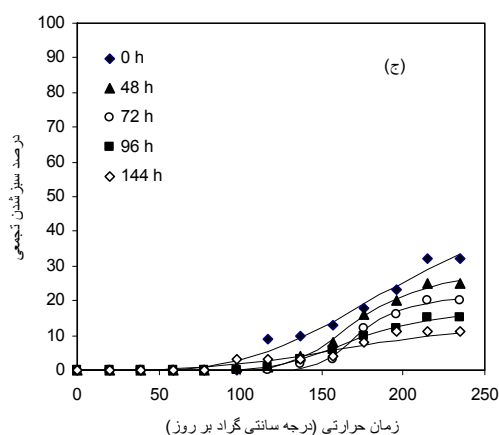
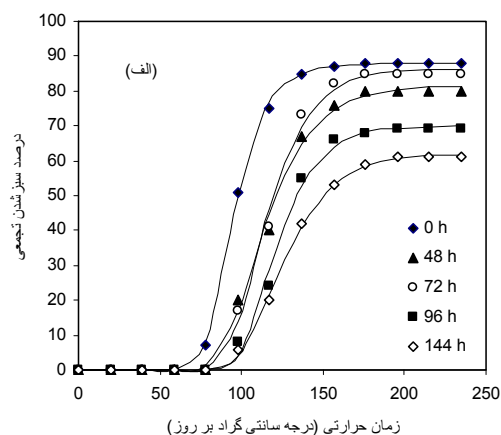
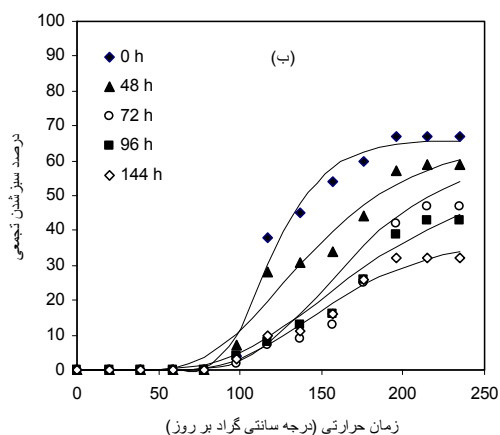
شکل ۱. نحوه محاسبه زمان‌های سبزشدن با دو نسخه مختلف برنامه Germin، (الف) نسخه ۲ برنامه است که بعد از برازش مدل چاپمن - ریچاردز زمان تا درصدهای خاصی از سبزشدن را از طریق درون‌یابی خطی محاسبه می‌کند. (ب) نسخه قدیمی برنامه را نشان می‌دهد که با درون‌یابی خطی به داده‌های اصلی زمان تا درصدهای خاصی از حداکثر سبزشدن را محاسبه می‌کند. همچنین، از هر دو نسخه می‌توان برای تعیین زمان‌های جوانه‌زنی استفاده کرد.

حدود ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد بر روز رسید (شکل ۲ ج).

جدول ۱ اطلاعات مربوط به ضرایب معادله برازش داده شده برای همه تیمارها با مقادیر اشتباه استاندارد، تخمین ضرایب و مقدار ضریب تبیین (R^2) بین زمان حرارتی و سبزشدن تجمعی را نشان می‌دهد. تیمارهای شاهد بذری دارای بالاترین مقادیر ضرایب a و b بودند. حداکثر درصد سبزشدن (ضریب a) در تیمار محیطی شاهد با افزایش هر ساعت دوره تسریع پیری به صورت خطی با شیبی معادل ۰/۱۹ درصد کاهش یافت (ضریب تبیین ۰/۷۹؛ شکل ۴). میزان کاهش حداکثر درصد سبزشدن با افزایش سطح زوال بذر در تیمار خشکی ۵- بار نیز مشابه تیمار محیطی شاهد بود (شکل ۵)، با این تفاوت که میزان اولیه حداکثر درصد سبزشدن از ۹۱ درصد در تیمار شاهد محیطی به ۷۶ درصد در تیمار خشکی ۵- بار رسید. این نشان می‌دهد که واکنش درصد سبزشدن بذرهایی با قدرت مختلف در شرایط تنش خشکی متوسط و شرایط مطلوب رشد یکسان است، یعنی با شیب یکسانی کاهش می‌یابند. اما، با افزایش شدت تنش خشکی تا ۱۰- بار اختلافات بین بذور با قدرت‌های متفاوت بیشتر نمایان شد و کاهش شدیدی در درصد سبزشدن بذور مشاهده شد (شکل ۶).

۳. نتایج و بحث

درصد سبزشدن تجمعی در مقابل زمان حرارتی، به صورت مشاهده شده و پیش‌بینی شده در شکل ۲ نشان داده شده است. مدل استفاده شده (معادله ۲) توصیف مناسبی از واکنش سبزشدن در مقابل زمان حرارتی پیشنهاد کرد (شکل‌های ۲ و ۳). البته دقت پیش‌بینی برای تیمارهای بذر در محیط شاهد بیشتر بود (جدول ۱؛ شکل ۳). زمان حرارتی مشاهده شده مورد نیاز برای سبزشدن در تیمار شاهد بذر و در محیط شاهد ۱۴۵ درجه سانتی‌گراد بر روز بود و با افزایش دوره زوال بذر به ۱۹۴ درجه سانتی‌گراد بر روز در تیمار ۱۴۴ ساعت تسریع پیری رسید (شکل ۲الف). در محیط خشکی متوسط زمان حرارتی برای همه تیمارهای بذری افزایش یافت، به طوری که برای تیمار شاهد بذری و ۱۴۴ ساعت تسریع پیری به ترتیب ۱۹۱ و ۲۰۷ درجه سانتی‌گراد بر روز بود (شکل ۲ب). تنش شدید خشکی موجب افزایش بیشتر زمان حرارتی برای سبزشدن شد. به طوری که زمان حرارتی برای سبزشدن بذرهایی شاهد به ۲۱۱ درجه سانتی‌گراد بر روز افزایش یافت و این مقدار برای بذرهایی زوال یافته به مدت ۱۴۴ ساعت به



شکل ۲. درصد سبز شدن تجمعی مشاهده شده (علائم) و پیش‌بینی شده (خط‌ها) در مقابل زمان حرارتی برای بذره‌های شاهد، ۴۸، ۷۲، ۹۶ و ۱۴۴ ساعت تسریع پیری شده در شرایط محیطی شاهد (الف) و خشکی متوسط (۵- بار) (ب) خشکی شدید (۱۰- بار) (ج).

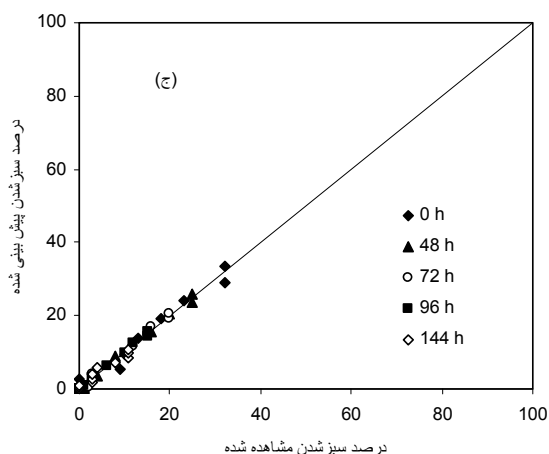
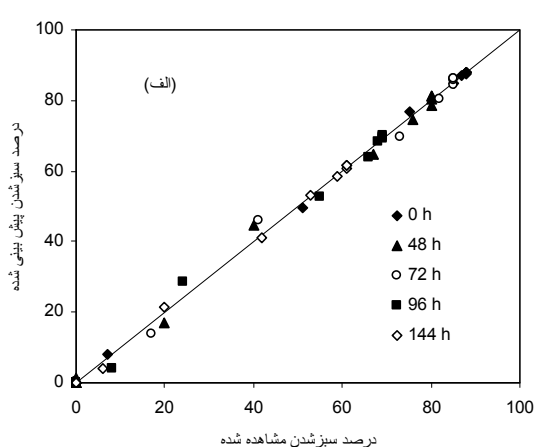
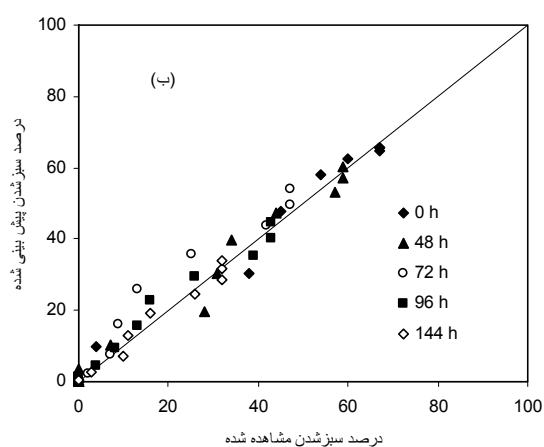
خشکی شدید به ترتیب حدود ۲، ۴ و ۶۳ درصد بود (شکل ۷). این امر نشان می‌دهد که کیفیت بذر به‌ویژه در شرایط نامساعد محیطی اهمیت زیادی دارد. سرعت سبز شدن (ضریب b) نیز با افزایش دوره زوال کاهش معنی‌داری در هر دو شرایط محیطی داشت. اما نوع واکنش سرعت سبز شدن در برابر زوال بذر در شرایط محیطی شاهد و خشکی ۵- بار تفاوت داشت (شکل‌های ۴ و ۵). در شرایط محیطی شاهد شیب کاهش سرعت سبز شدن معادل ۰/۰۰۰۱ به ازای هر ساعت افزایش زوال

نتایج نشان داد که درصد کاهش در تیمار ۱۴۴ ساعت زوال نسبت به شاهد برای صفت درصد سبز شدن در شرایط محیطی شاهد، خشکی متوسط و خشکی شدید به ترتیب حدود ۲۹، ۲۲ و ۷۲ درصد بود (شکل ۷). این امر حاکی از آن است که در شرایط تنش شدید محیطی (نظیر خشکی شدید) اختلافات بین بذور با قدرت‌های متفاوت بیشتر نمایان خواهد شد. همچنین، درصد کاهش بذوری که ۷۲ ساعت زوال یافته بودند نسبت به شاهد برای صفت درصد سبز شدن در شرایط شاهد، خشکی متوسط و

مدلسازی اثر زوال بذر بر سبز شدن گندم در تنش خشکی: بهینه‌سازی برنامه Germin در پیش‌بینی الگوی سبز شدن

۵۸ درصد بود. در بذره‌های زوال‌یافته به مدت ۱۴۴ ساعت درصد کاهش سرعت سبز شدن نسبت به شاهد در همان شرایط محیطی به ترتیب ۳۳، ۵۱ و ۸۷ درصد بود. پارامتر شکل (ضریب c) در شرایط محیطی مختلف تحت تأثیر زوال بذر قرار نگرفت، همچنین، تغییرات این پارامتر روند مشخصی تحت تأثیر شرایط محیطی نیز نداشت (جدول ۱).

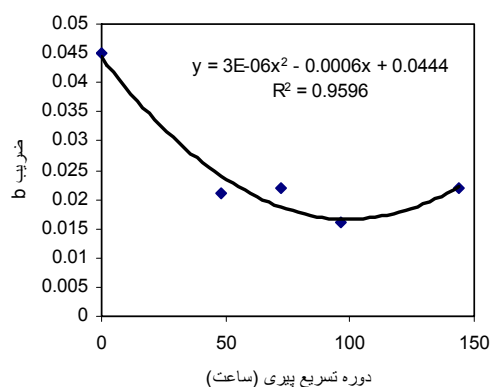
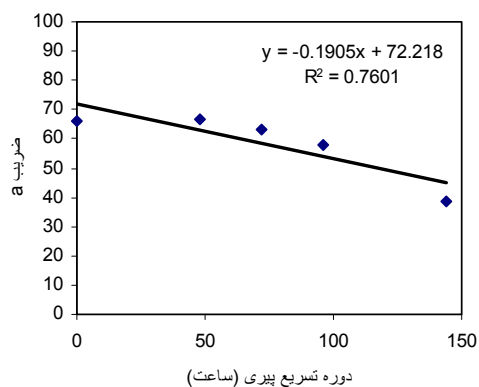
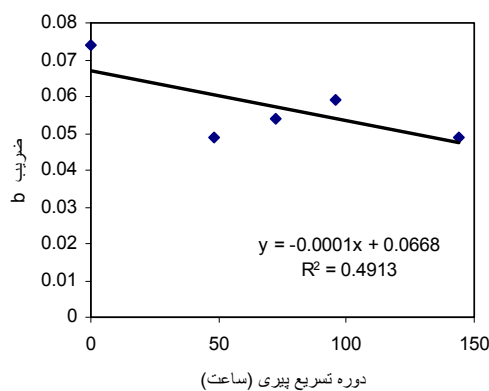
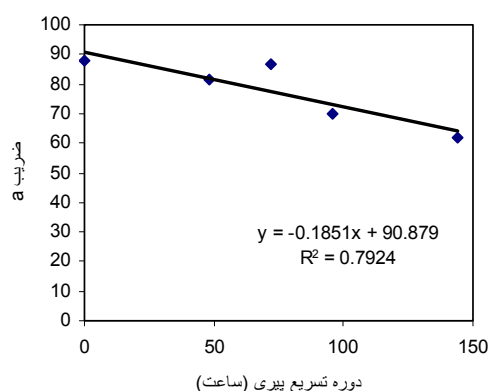
بود، ولی تحت تنش خشکی ۵- بار نوع واکنش نیز تفاوت داشت و کاهش شدید اولیه‌ای در سرعت سبز شدن مشاهده شد. این نشان می‌دهد که کاهش سرعت سبز شدن تحت تأثیر زوال بذر در شرایط دشوار محیطی بیشتر می‌شود. درصد کاهش سرعت سبز شدن بذور زوال‌یافته به مدت ۷۲ ساعت نسبت به شاهد در شرایط محیطی مطلوب، تنش خشکی متوسط و تنش خشکی شدید به ترتیب ۲۷، ۵۱ و



شکل ۳. درصد سبز شدن مشاهده شده در مقابل پیش‌بینی شده در تیمارهای زوال بذر در شرایط شاهد (الف) و خشکی متوسط (۵- بار) (ب) خشکی شدید (۱۰- بار) (ج) با استفاده تابع رشد مجانب. خط ۱:۱ نیز رسم شده است.

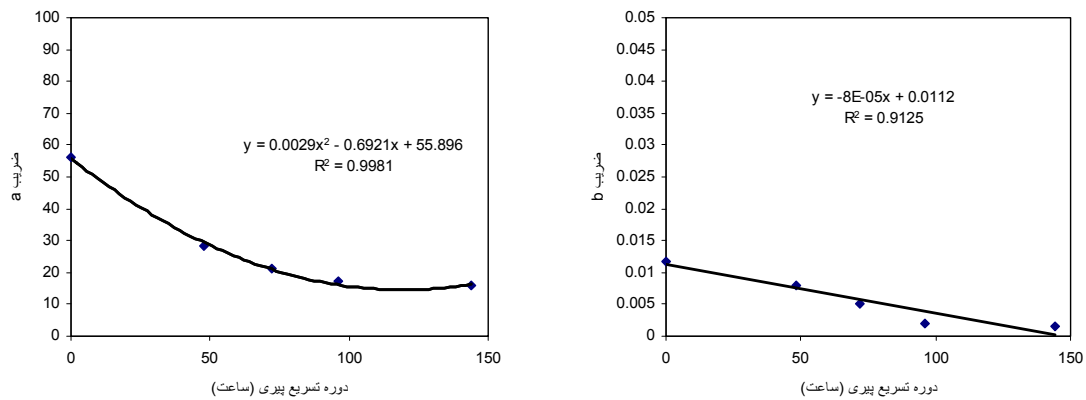
جدول ۱. ضرایب a، b و c همراه با مقادیر اشتباه استاندارد آن‌ها و ضریب تبیین (R²) در مدل استفاده شده برای توصیف سبزشدن

R ²	ضریب c	ضریب b	ضریب a	تیمار بذری	شرایط محیطی
۰/۹۸	۷۶۰/۸±۵۲۶/۱	۰/۰۷۴±۰/۰۰۷۴	۸۷/۷۹±۱/۲۳	۰	
۰/۹۸	۱۸۰/۲±۱۰۲/۱	۰/۰۴۹±۰/۰۰۵۲	۸۱/۴۹±۱/۶۴	۴۸	
۰/۹۳	۳۶۷/۲±۴۰۴/۰	۰/۰۵۴±۰/۰۰۹۹	۸۶/۴۵±۲/۸۳	۷۲	شاهد
۰/۹۳	۹۲۸/۵±۱۲۹۹/۴	۰/۰۵۹±۰/۰۱۱۸	۷۰/۰۳±۲/۴۰	۹۶	
۰/۹۶	۳۱۱/۰±۲۴۷/۶	۰/۰۴۹±۰/۰۰۶۶	۶۱/۹۹±۱/۷۲	۱۴۴	
۰/۷۶	۱۶۳/۴±۳۲۰/۶	۰/۰۴۵±۰/۰۱۷۳	۶۶/۰۳±۵/۱۲	۰	
۰/۷۶	۱۳/۲۷±۱۴/۲	۰/۰۲۱±۰/۰۰۹۴	۶۶/۷۴±۱۲/۵۶	۴۸	خشکی متوسط (۵- بار)
۰/۸۰	۲۷/۲۲±۲۸/۴۷	۰/۰۲۲±۰/۰۰۸۰	۶۳/۱۷±۱۱/۷۹	۷۲	
۰/۸۷	۱۰/۴۷±۷/۷۴	۰/۰۱۶±۰/۰۰۶۳	۵۸/۱۵±۱۴/۴۸	۹۶	
۰/۵۹	۲۱/۶۶±۴۰/۵۸	۰/۰۲۲±۰/۰۱۵۱	۳۸/۴۱±۱۱/۹۹	۱۴۴	
۰/۸۳	۸/۰۳±۹/۹۵	۰/۰۱۲±۰/۰۱۰۶	۵۶/۲۲±۱۳/۴۸	۰	
۰/۸۰	۱۶۳/۸±۴۰۶/۵۰	۰/۰۰۸±۰/۰۱۶۷	۲۸/۳۸±۶/۳۴	۴۸	خشکی شدید (۱۰- بار)
۰/۷۵	۴۵۶±۳/۹	۰/۰۰۵±۰/۰۲۹۰	۲۱/۰۴±۳/۵۷	۷۲	

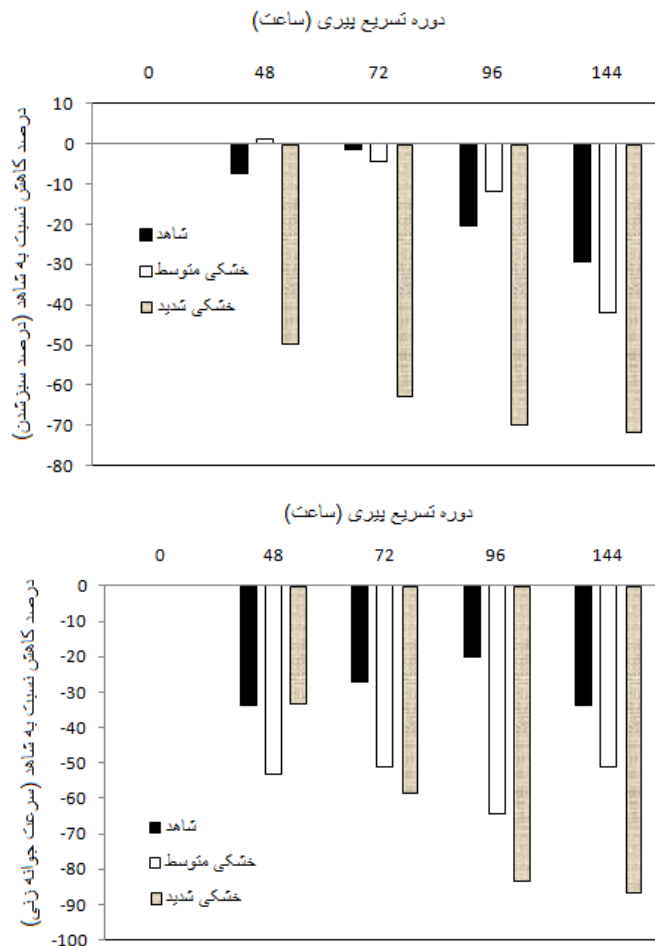


شکل ۵. اثر زوال بذری بر ضرایب a (حداکثر سبزشدن) و b (سرعت سبزشدن) در شرایط خشکی متوسط (۵- بار)

مدل‌سازی اثر زوال بذر بر سبزشدن گندم در تنش خشکی: بهینه‌سازی برنامه Germin در پیش‌بینی الگوی سبزشدن



شکل ۶. اثر زوال بذر بر ضرایب a (حداکثر سبزشدن) و b (سرعت سبزشدن) در شرایط خشکی شدید (۱۰- بار)

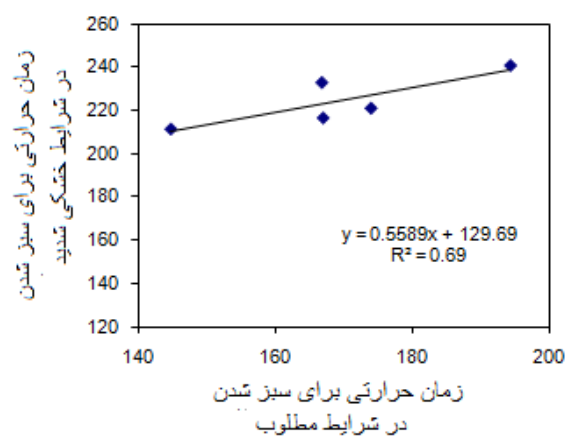
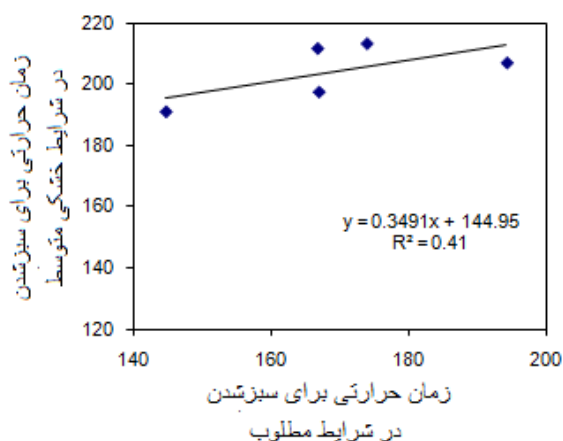


شکل ۷. درصد کاهش درصد و سرعت سبزشدن بذرهای زوال‌یافته نسبت به شاهد در شرایط محیطی مطلوب، خشکی متوسط و خشکی شدید. همچنین، درصد و سرعت در این شکل‌ها از مقادیر به‌دست‌آمده توسط مدل هستند و نه داده‌های مشاهده‌ای.

تسریع پیری کاهش پیدا کرد، به طوری که درصد سبز شدن از ۸۷ درصد در بذره‌های شاهد به صفر درصد در بذره‌هایی که ۱۵ روز تسریع پیری شده بودند، رسید [۳]. بذره‌های بزرگ‌تر خردل و با دوره انبارداری کمتر درصد سبز شدن بیشتری نسبت به بذره‌های کوچک و دوره انبارداری بیشتر داشتند [۴]. با هر سال افزایش دوره انبارداری، استقرار گیاهچه کاهش می‌یابد که این کاهش در بین ارقام مطالعه شده متفاوت بود. همچنین، بذره‌هایی با قدرت بالاتر سرعت سبز شدن بیشتری داشتند [۲۵]. با اینکه تحقیقات زیادی درباره اثر زوال بذر بر سبز شدن اجرا شده است، درباره اثر زوال بذر در سبز شدن در تنش‌های محیطی مطالعات محدودی انجام گرفته است [۵]. در تحقیقی نشان داده شد که اثر متقابل قدرت بذر و تنش محیطی در آفتابگردان و سویا معنی‌دار بود، ولی در ذرت اثرات قدرت بذر و تنش محیطی معنی‌دار نبود [۵]. همچنین، آن‌ها نشان دادند که میزان کاهش درصد سبز شدن برای بذره‌هایی با سطح قدرت بذر بالاتر نسبت به بذره‌هایی با قدرت متوسط و پایین کمتر بود، یعنی بذره‌هایی با قدرت بذر کمتر دامنه تحمل به شرایط تنش کمتری دارند [۵].

زوال بذر موجب افزایش زمان حرارتی برای سبز شدن بذور در شرایط محیطی مطلوب، خشکی متوسط و خشکی شدید شد (شکل ۲). با افزایش زمان حرارتی برای سبز شدن در شرایط محیطی مطلوب زمان حرارتی برای سبز شدن در خشکی متوسط (پتانسیل ۵- بار) نیز به صورت خطی و با شیب ۰/۳۵ افزایش یافت (شکل ۸). همچنین، بین زمان حرارتی برای سبز شدن در شرایط عدم تنش محیطی و تنش شدید خشکی رابطه‌ای وجود داشت و با افزایش زمان حرارتی برای سبز شدن در شرایط مطلوب، زمان حرارتی برای سبز شدن در شرایط خشکی شدید نیز به صورت خطی و با شیب ۰/۵۶ افزایش یافت (شکل ۸). از این رابطه می‌توان در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی استفاده کرد. معمولاً این مدل‌ها برای شرایط مطلوب محیطی طراحی می‌شوند، با استفاده از این رابطه می‌توان فرآیند سبز شدن در شرایط خشکی را تصحیح کرد. حتی ممکن است دیگر مراحل نمو نیز با همین ضریب قابل تصحیح باشند که نیاز به بررسی دارد.

مطالعات مختلفی درباره اثر زوال بذر بر سبز شدن انجام شده است؛ درصد سبز شدن بذره‌های پنبه با افزایش در دوره



شکل ۸. رابطه بین زمان حرارتی برای سبز شدن در شرایط تنش خشکی متوسط (۵- بار) و تنش خشکی شدید (۱۰- بار) در مقابل زمان حرارتی در شرایط محیطی مطلوب

جدول ۲. مقایسه دو نسخه برنامه Germin در محاسبه زمان تا ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد سبزشدن.

برای بذرهای شاهد در سه سطح خشکی

Germin ^{v2}			Germin ^{v1}			درصد سبزشدن	سطوح خشکی
T90	T50	T10	T90	T50	T10		
-	۹۷/۲	۷۹/۴	۱۲۵/۵	۹۴/۶	۷۹/۰	۸۸	شاهد
-	۱۳۹/۵	۹۷/۲	۱۷۶/۸	۱۱۴/۷	۹۹/۳	۶۷	خشکی متوسط
-	-	۱۳۶/۶	۲۰۸/۱	۱۶۸/۱	۱۰۴/۷	۳۲	خشکی شدید

برخی از تیمارها کمتر از ۵۰ درصد هستند برای مقایسه تیمارها از برنامه نسخه جدید Germin استفاده شود و پارامترهایی نظیر T10 الی T50 مقایسه شوند. در این موارد می‌توان یکنواختی جوانه‌زنی را نیز از اختلاف زمان تا ۱۰ و ۵۰ درصد جوانه‌زنی محاسبه کرد.

نتایج نشان داد که نسخه قدیمی برنامه Germin در شرایطی که درصد سبزشدن یا جوانه‌زنی، بالاست پیش‌بینی مناسبی دارد، ولی با کاهش درصد سبزشدن زمان‌های محاسبه‌شده منطقی به نظر نمی‌رسند. برای مثال زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی محاسبه‌شده در شرایط خشکی متوسط در اصل زمان تا ۳۳/۵ درصد سبزشدن بود (جدول ۲). هرچند در مدل‌های شبیه‌سازی رشد زمان تا ۵۰ درصد حداکثر سبزشدن اهمیت دارد، در مطالعات بذری و مقایسه توده‌های مختلف بذری بهتر است زمان تا درصد خاصی از جوانه‌زنی براساس ۱۰۰ درصد جوانه‌زنی محاسبه شوند تا اختلاف بین توده‌های بذری نمایان‌تر شود. برنامه Germin نسخه ۲ در شرایط محیطی مطلوب برای سبزشدن پیش‌بینی مشابهی با نسخه قدیمی Germin داشت و در مواردی که درصد سبزشدن پایین بود نیز مقادیر منطقی‌تری برای زمان تا سبزشدن محاسبه کرد. با این حال در مطالعاتی که درصد سبزشدن و یا جوانه‌زنی، کمتر از ۹۰ درصد است، بهتر است از نسخه دوم برنامه استفاده شود. امروزه، روند رو به گسترش استفاده از مدل‌ها را در

جدول ۲ مقایسه دو نسخه Germin برای محاسبه زمان تا ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد سبزشدن را در سه سطح خشکی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود درصد سبزشدن برای شرایط شاهد، خشکی متوسط و خشکی شدید به ترتیب ۸۸، ۶۷ و ۳۲ درصد بود، یعنی بذور هرگز به ۹۰ درصد سبزشدن نرسیدند. زمان محاسبه‌شده تا ۱۰ و ۵۰ درصد سبزشدن در شرایط محیطی شاهد با هر دو نسخه تقریباً یکسان بود (جدول ۲). نسخه اول Germin زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی را حدود ۱۲۶ درجه روز رشد تعیین کرد. اما براساس نسخه دوم Germin به دلیل اینکه بذور به ۹۰ درصد جوانه‌زنی نرسیدند، این مقدار محاسبه نمی‌شود. در شرایط خشکی متوسط T10 محاسبه‌شده با دو نسخه ۱ و ۲ Germin به ترتیب حدود ۹۹ و ۹۷ درجه روز رشد بود. در شرایط خشکی متوسط T50 محاسبه‌شده با دو نسخه ۱ و ۲ Germin به ترتیب حدود ۱۱۵ و ۱۴۰ درجه روز رشد بود. همچنین، T50 در نسخه اول Germin در اصل زمان تا ۳۳/۵ درصد جوانه‌زنی بوده است که طبعاً زمان کمتری خواهد داشت. در شرایط خشکی شدید نیز به دلیل اینکه درصد سبزشدن کمتر از ۵۰ درصد بود نسخه ۲ Germin زمان تا ۵۰ و ۹۰ درصد سبزشدن را محاسبه نمی‌کند. در این شرایط T10 محاسبه‌شده با دو نسخه ۱ و ۲ Germin به ترتیب حدود ۱۰۵ و ۱۳۷ درجه روز رشد بود. توصیه می‌شود برای مواردی که درصد جوانه‌زنی

خشکی شدید بیشتر از شرایط مساعد محیطی شد، می توان نتیجه گرفت که استفاده از بذور با کیفیت پایین در شرایط نامساعد محیطی اهمیت بیشتری خواهد یافت.

منابع

۱. سلطانی، ا؛ اکرم قادری، ف؛ سلطانی، ا؛ (۱۳۸۷). «کاربرد مدل سازی جوانه زنی در واکنش به دما و پتانسیل آب در تحقیقات علوم بذر». *اولین همایش ملی علوم و تکنولوژی بذر ایران ۲۲ و ۲۳ آبان ماه*.
۲. سلطانی، ا؛ مداح، و؛ (۱۳۸۹). *برنامه های کاربردی ساده برای آموزش و پژوهش در زراعت*. انتشارات انجمن علمی بوم شناختی دانشگاه شهید بهشتی. ص. ۸۰
3. Basra SMA, Ahmad N, Khan M M, Iqbal N and Cheema MA (2003) Assessment of cottonseed deterioration during accelerated ageing. *Seed Science Technology*. 31: 531-540.
4. ChitraDevi L, Kant K and Dadlani M (2003) Effect of size grading and ageing on sinapine leakage, electrical conductivity and germination percentage in the seed of mustard (*Brassica juncea* L.). *Seed Science Technology*. 31: 505-509.
5. De Figueiredo E, Albuquerque MC and De Carvalho NM (2003) Effect of the type of environmental stress on the emergence of sunflower (*Helianthus annuus* L.), soybean (*Glycine max* L.) and maize (*Zea mays* L.) seeds with different levels of vigor. *Seed Science Technology*. 31: 465-479.
6. Dhar U, Pangtey YPS and Tewari A (1999) Seed deterioration studies in Indian butter tree (*Aisandra butyracea* (Roxb.) Baehni). *Seed Science Technology*. 27: 963-968.

تحقیقات زراعی شاهد هستیم. مدل های مختلفی برای پیش بینی سبز شدن در گیاهان مختلف استفاده شده است [۱۲]. مدل های هیدروترمال تایم نمونه ای از این مدل هاست که برای استفاده از این نوع مدل نیاز به محاسبه T10 تا T90 است [۱]. با استفاده از نسخه جدید برنامه Germin می توان این زمان ها را به راحتی محاسبه کرد. همچنین، با کمک این برنامه می توان دیگر مؤلفه های سبز شدن (و یا جوانه زنی) را نیز محاسبه و تیمارها و آزمایش های مختلف را مقایسه کرد. همچنین، کاربرد این برنامه دو مزیت دیگر نیز به همراه داشت: اول اینکه با کمک ضرایب این مدل (ضرایب a, b و c) بذور با کیفیت های مختلف در شرایط محیطی شاهد و خشکی مقایسه شدند و دوم اینکه پارامترهای به دست آمده در این تحقیق می توانند در قسمت فنولوژی مدل های شبیه سازی گندم برای محاسبه زمان تا سبز شدن به کار روند.

در نهایت، استفاده از هر یک از دو نسخه برای شرایط خاص خود توصیه می شود. برای دسترسی به نسخه جدید برنامه Germin می توانید با نویسنده مسئول تماس بگیرید.

۱.۳ نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که نسخه ۲ برنامه Germin به خوبی می تواند سبز شدن (و یا جوانه زنی) را توصیف کند و می توان از مؤلفه های محاسبه شده توسط این برنامه استفاده کرد. زوال بذر موجب افزایش زمان حرارتی برای سبز شدن، کاهش درصد سبز شدن و کاهش سرعت سبز شدن در گندم شد. تنش خشکی نیز موجب کاهش درصد و سرعت سبز شدن و افزایش زمان حرارتی برای سبز شدن شد. بین زمان حرارتی برای سبز شدن در شرایط شاهد و تنش خشکی ارتباط خطی وجود داشت که با استفاده از رگرسیون خطی توصیف شد. با توجه به اینکه اختلاف بین بذورهای زوال یافته با شاهد در شرایط تنش

7. Ellis RH and Roberts EH (1980) The influence of temperature and moisture on seed viability period in barley (*Hordeum distichum* L.). *Annals Botany*. 45: 31-37.
8. Ellis RH (1992) Seed and seedling vigour in relation to crop growth and yield. *Plant Growth Regulation*. 11: 249-255.
9. Forcella F, Benech Arnold RL, Sanchez R and Ghersa CM (2000) Modeling seedling emergence. *Field Crop Research*. 67: 123-139.
10. Hardegree SP (2006) Predicting germination response to temperature. I. Cardinal temperature models and subpopulation-specific regression. *Annals Botany*. 97: 1115-1125.
11. Hardegree SP and Winstral AH (2006) Predicting Germination Response to Temperature. II. Three-dimensional Regression, Statistical Gridding and Iterative-probit Optimization Using Measured and Interpolated-subpopulation Data. *Annals Botany*. 98: 403-410.
12. Jame YW and Cutforth HW (2004) Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. *Agriculture and Forest Meteorological*. 124: 207-218.
13. Jami Al-Ahmadi M and Kafi M (2007) Cardinal temperatures for germination of *Kochia scoparia* (L.). *Journal of Arid Environmental*. 68: 308-314.
14. Joosen RVL, Kodde J, Willems LAJ, Ligterink W, van der Plas LHW and Hilhorst HWM (2010) GERMINATOR: a soft ware package for high-throughput scoring and curve fitting of Arabidopsis seed germination. *Plant Journal*. 62: 148-159.
15. Krishnan P, Nagarajan S, Dadlani M and Moharir AV (2003) Characterization of wheat (*Triticum aestivum*) and soybean (*Glycine max*) seeds under accelerated ageing conditions by proton nuclear magnetic spectroscopy. *Seed Science Technology*. 31: 541-550.
16. Krishnan P, Nagarajan S and Moharir AV (2004) Thermodynamic characterisation of seed deterioration during storage under accelerated ageing conditions. *Biosystem Engineering*. 89: 425-433.
17. Marshal AH and Lewis DN (2004) Influence of seed storage conditions on seedling emergence, seedling growth and dry matter production of temperate forage grasses. *Seed Science Technology*. 32: 493-501.
18. Modarresi R, Rucker M and Tekrony DM (2002) Accelerating ageing test for comparing wheat seed vigour. *Seed Science Technology*. 30: 683-687.
19. Springer TL (2005) Germination and early seedling growth of chaffy-seeded grasses at negative water potentials. *Crop Science*. 45: 2075-2080.
20. Qiu J, Bai Y, Oulman B and Romo JT (2006) Using thermal time models to predict seedling emergence of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) under alternating temperature regimes. *Seed Science Research*. 16: 261-271.

21. Saxton KE, Rawls WJ, Romberger JS and Papendick RI (1986) Estimation generalized soil water characteristics from texture. Soil Science Society Amer. J. 50: 1031-1036.
22. Soltani A, Robertson MJ, Torabi B, Yousefi-Daz M and Sarparast R (2006) Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. Agriculture Forest Meteorological. 138: 156-167.
23. Soltani E, Galeshi S, Kamkar B and Akramghaderi F (2008) Modeling seed aging effects on the response of germination to temperature in wheat. Seed Science Biotechnology. 2: 32-36.
24. Soltani E, Galeshi S, Kamkar B and Akramghaderi F (2009) The effect of seed aging on the seedling growth as affected by environmental factors in wheat. Research Journal of Environmental Science. 3: 184-192.
25. Verma SS, Verma U and Tomer RPS (2003) Studies on seed quality parameters in deteriorating seeds in Brassica (*Brassica campestris*) seeds. Seed Science Technology. 31: 389-396.