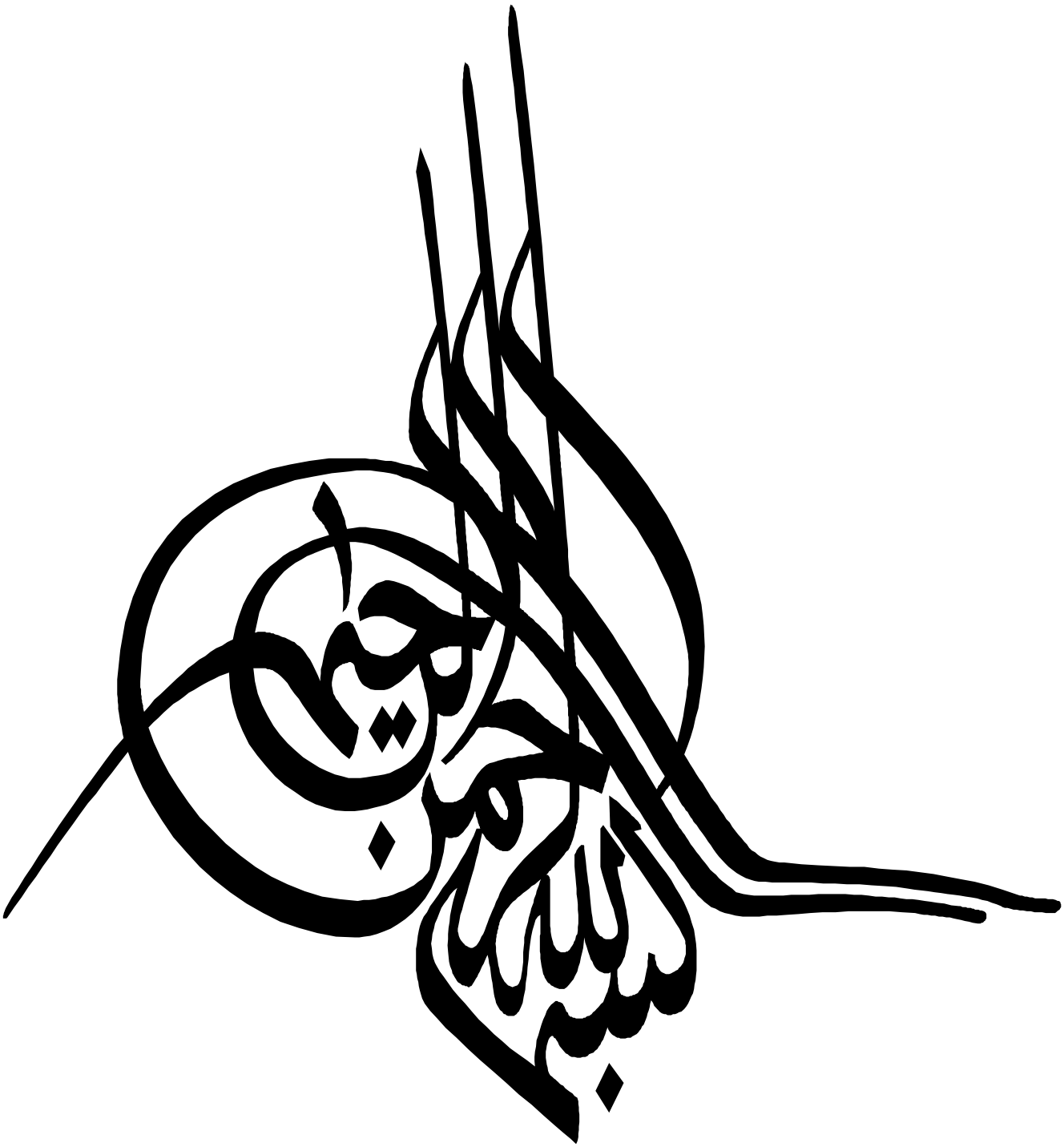
بسم الله الرحمن الرحيم

سپاسگزاری

آن بی‌همتای بزرگ را می‌ستایم که همواره الطاف بی پایانش را بر من ارزانی داشته‌است. اکنون که به فضل خداوند منان مراحل تحقیق و نگارش این پایان‌نامه به اتمام رسیده‌است بر خود لازم می‌دانم از تمام کسانی که با بذل عنایت خویش اینجانب را یاری نموده‌اند سپاسگزاری نمایم. از استادان ارجمند، جناب آقای دکتر مجید جامی‌الاحمدی و جناب آقای دکتر بهنام کامکار که زحمت راهنمائی این پایان‌نامه را بر عهده داشتند و با دلسوزی و پشتکار، رهنمون‌های دقیق و نکته سنجی‌های صحیح خویش موجب دلگرمی من برای تداوم این راه بودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم. از کلیه پرسنل زحمتکش گروه زراعت به خاطر همکاری‌های مداوم و صادقانه‌شان، تقدیر می‌نمایم. سپاس فراوان خویش را به دوستان عزیزم آقایان محمد انتصاری،حجت غفاری و نادر محمدی وخانم‌ها لیلا عشقی، زهرا حاتمی، بهاره پارسا مطلق، افسانه نادرپور، ملیحه کناقستانی، مائده کمالی،مرضیه یوسفی و زهره انصار تقدیم می‌دارم. در پایان ارادت خالصانه خود را با تمام وجود نثار خانواده گرامی بالاخص پدر و مادر عزیزم که صبر، تلاش، سعه صدر و تشویق‌های آنان همواره در تمام مراحل زندگی امید بخش راه من بوده است، ابراز می‌دارم.

عنوان

شماره صفحه

فصل اول: کلیات

۱-۱- پیش‌گفتار ۲

۱-۲- اهمیت گیاه گندم ۲

۱-۳- مدل‌های شبیه‌سازی ۵

۱-۴- اهمیت مدل‌سازی در گیاهان زراعی ۶

عنوان

شماره صفحه

فصل دوم: بررسی منابع

۲-۱- مدل‌سازی در گندم ۹

۲-۲- پارامتریابی در مدل ۱۰

۲-۳- تعریف نمو ۱۱

۲-۴- فنولوژی ۱۲

۲-۵-دماهای کاردینال ۱۵

۲-۶- فنولوژی و مقیاس‌های تعیین مراحل نمو در غلات ۱۶

۲-۷- تأثیر دما بر جوانه‌زنی و سبزشدن..... ۱۷

۲-۸- مدل‌های مختلف برای کمی کردن واکنش سرعت نمو به دما و طول روز..... ۲۲

عنوان

شماره صفحه

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- مشخصات محل اجرای طرح..... ۳۱

۳-۲- مشخصات آماری طرح..... ۳۲

۳-۳- عملیات زراعی ۳۴

۳-۴- ثبت مشاهدات..... ۳۴

۳-۵- سبز شدن..... ۳۵

۳-۶- توابع، پارامترها و انتخاب مدل برتر ۳۵

عنوان

شماره صفحه

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- سبز شدن..... ۴۱

۴-۱-۱- بررسی متغیرهای مختلف در مرحله سبز شدن ۴۱
۴-۲-۱- نتایج تجزیه واریانس مقایسه ۴۶
۴-۳-۱- مقایسه مدل‌های مختلف برای کمی کردن واکنش سرعت سبز شدن به دما ۵۰
۴-۴-۱- برآورد دماهای کاردینال برای مرحله سبز شدن ۷۱
۴-۵-۱- تعیین تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن ۷۷
۴-۲- سایر مراحل نمو ۷۸
۴-۳- تعیین تعداد روز بیولوژیک برای مراحل مختلف نمو ۸۷
منابع مورد استفاده ۹۲

فهرست جداول

عنوان **شماره صفحه**

جدول ۳-۱- مشخصات نمونه خاک در گرگان و بیرجند ۳۲
جدول۳-۲- خصوصیات زراعی ارقام در بیرجند..... ۳۳
جدول۳-۳- خصوصیات زراعی ارقام در گرگان..... ۳۳
جدول ۳-۲- توابع دمایی مورد استفاده در مدل‌سازی..... ۳۸
جدول ۴-۱- میانگین روز از کاشت تا سبز شدن و متوسط دمای هوا در دوره آزمایش در گرگان..... ۴۲
جدول ۴-۲- میانگین روز از کاشت تا سبز شدن و متوسط دمای هوا در دوره آزمایش در بیرجند..... ۴۳
جدول ۴-۳- الف-نتایج تجزیه واریانس برای زمان از کاشت تا سبز شدن در گرگان و بیرجند..... ۴۶

جدول ۴-۳-ب- نتایج تجزیه واریانس برای زمان از کاشت تا سبز شدن در گرگان و بیرجند.....۴۷

جدول ۴-۴- نتایج مقایسه میانگین تاریخ های کاشت از نظر تعداد روز از کاشت تا سطوح مختلف سبز شدن در گرگان.....۴۸

جدول ۴-۵- نتایج مقایسه میانگین تاریخ های کاشت از نظر تعداد روز از کاشت تا سطوح مختلف سبز شدن در بیرجند.....۴۹

جدول ۴-۶- نتایج مقایسه میانگین رقم های مختلف از نظر تعداد روز از کاشت تا سطوح مختلف سبز شدن در بیرجند.....۴۹

جدول ۴-۷- الف: شاخص های مختلف برای مدل های گوناگون و توصیف رابطه سرعت سبز شدن با دما در ارقام مختلف گندم در گرگان.....۵۲

جدول ۴-۷- ب: شاخص های مختلف برای مدل های گوناگون و توصیف رابطه سرعت سبز شدن با دما در ارقام مختلف گندم در گرگان.....۵۳

جدول ۴-۷- ج: شاخص های مختلف برای مدل های گوناگون و توصیف رابطه سرعت سبز شدن با دما در ارقام مختلف گندم در گرگان.....۵۴

جدول ۴-۷- د: شاخص های مختلف برای مدل های گوناگون و توصیف رابطه سرعت سبز شدن با دما در ارقام مختلف گندم در گرگان.....۵۵

جدول ۴-۸- الف: شاخص های مختلف برای مدل های گوناگون و توصیف رابطه سرعت سبز شدن با دما در ارقام مختلف گندم در بیرجند.....۵۶

جدول ۴-۸- ب: شاخص های مختلف برای مدل های گوناگون و توصیف رابطه سرعت سبز شدن با دما در ارقام مختلف گندم در بیرجند.....۵۷

جدول ۴-۸- ج: شاخص های مختلف برای مدل های گوناگون و توصیف رابطه سرعت سبز شدن با دما در ارقام مختلف گندم در بیرجند.....۵۸

جدول ۴-۸- د: شاخص های مختلف برای مدل های گوناگون و توصیف رابطه سرعت سبز شدن با دما در ارقام مختلف گندم در بیرجند.....۵۹

جدول ۴-۹- الف: برآورد دماهای مختلف و حداقل روز تا سبز شدن در شرایط مطلوب دما توسط مدل های مختلف برای سبز شدن در ارقام مختلف گندم در گرگان.....۷۴

جدول ۴-۹- ب: برآورد دماهای مختلف و حداقل روز تا سبز شدن در شرایط مطلوب دما توسط مدل های مختلف برای سبز شدن در ارقام مختلف گندم در گرگان.....۷۵

جدول ۴-۱۰- الف: برآورد دماهای مختلف و حداقل روز تا سبز شدن در شرایط مطلوب دما توسط مدل های مختلف برای سبز شدن در ارقام مختلف گندم در بیرجند.....۷۶

جدول ۴-۱۰- ب: برآورد دماهای مختلف و حداقل روز تا سبز شدن در شرایط مطلوب دما توسط مدل های مختلف برای سبز شدن در ارقام مختلف گندم در بیرجند.....۷۷

جدول ۴-۱۱- نتایج تجزیه واریانس برای زمان از کاشت تا پنجه زنی، ساقه‌روی، شروع آبستن، پایان آبستنی و رسیدگی فیزیولوژی در گرگان ۸۱

جدول ۴-۱۲- مقایسه میانگین روز تا پنجه زنی در تاریخ های کاشت ارقام مختلف گندم در شرایط مزرعه ۸۱

جدول ۴-۱۳- مقایسه میانگین روز تا ساقه روی در تاریخ های کاشت ارقام مختلف گندم در شرایط مزرعه ۸۲

جدول ۴-۱۴- مقایسه میانگین روز تا شروع آبستنی در تاریخ های کاشت ارقام مختلف گندم در شرایط مزرعه.....۸۲

جدول ۴-۱۵- مقایسه میانگین روز تا پایان آبستنی در تاریخ های کاشت ارقام مختلف گندم در شرایط مزرعه.....۸۳

جدول ۴-۱۶- مقایسه میانگین روز تا شروع گلدهی در تاریخ های کاشت ارقام مختلف گندم در شرایط مزرعه.....۸۳

جدول ۴-۱۷- مقایسه میانگین روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در تاریخ های کاشت ارقام مختلف گندم در شرایط مزرعه ۸۴

جدول ۴-۱۸- الف: حداقل،حداکثر و میانگین طول دوره مراحل مختلف نمو در تاریخ های مختلف کاشت در هفت رقم گندم در گرگان ۸۵

جدول ۴-۱۸- ب: حداقل،حداکثر و میانگین طول دوره مراحل مختلف نمو در تاریخ های مختلف کاشت در هفت رقم گندم در گرگان ۸۶

جدول ۴-۱۸- ج: حداقل،حداکثر و میانگین طول دوره مراحل مختلف نمو در تاریخ های مختلف کاشت در هفت رقم گندم در گرگان ۸۷

جدول ۴-۱۹-الف:حداقل،حداکثر و میانگین طول دوره در مراحل مختلف نمو در تاریخ کاشت های مختلف در هفت رقم گندم در گرگان ۸۹

جدول ۴-۱۹- ب:حداقل،حداکثر و میانگین طول دوره در مراحل مختلف نمو در تاریخ کاشت های مختلف در هفت رقم گندم در گرگان ۹۰

جدول ۴-۱۹- ج:حداقل،حداکثر و میانگین طول دوره در مراحل مختلف نمو در تاریخ کاشت های مختلف در هفت رقم گندم در گرگان ۹۱

فهرست اشکال

عنوان **شماره صفحه**

شکل ۴-۱- میانگین دمای روزانه از شروع آزمایش تا پایان دوره در هفت رقم گندم در شرایط مزرعه در بیرجند..... ۴۴

شکل ۴-۲- میانگین دمای روزانه از شروع آزمایش تا پایان دوره در هفت رقم گندم در شرایط مزرعه در گرگان..... ۴۴

شکل ۴-۳- طول دوره کاشت تا سبزشدن در تاریخ کاشت‌های مختلف در هفت رقم گندم در شرایط مزرعه در گرگان..... ۴۵

شکل ۴-۴- طول دوره کاشت تا سبزشدن در تاریخ کاشت‌های مختلف در هفت رقم گندم در شرایط مزرعه در بیرجند..... ۴۵

شکل ۴-۵- مقادیر روز از کاشت تا سبز شدن مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده و خط یک به یک با مدل دندان مانند در ارقام مختلف گندم در گرگان..... ۶۰

شکل ۴-۶- مقادیر روز از کاشت تا سبز شدن مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده و خط یک به یک با مدل مسطح در ارقام مختلف گندم در گرگان ۶۱

شکل ۴-۷- مقادیر روز از کاشت تا سبز شدن مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده و خط یک به یک با مدل دوتکه ای در ارقام مختلف گندم در گرگان..... ۶۲

شکل ۴-۸- مقادیر روز از کاشت تا سبز شدن مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده و خط یک به یک با مدل لجستیک در ارقام مختلف گندم در بیرجند ۶۳

شکل ۴-۹- مقادیر روز از کاشت تا سبز شدن مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده و خط یک به یک با مدل درجه دوم در ارقام مختلف گندم در بیرجند ۶۴

شکل ۴-۱۰- مقادیر روز از کاشت تا سبز شدن مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده و خط یک به یک با مدل دندان‌مانند و مسطح در ارقام مختلف گندم در بیرجند ۶۵

شکل ۴-۱۱- برازش مدل دندان مانند بر داده های واقعی و شبیه سازی شده سرعت سبزشدن در مقابل دما در ارقام مختلف گندم در گرگان ۶۶

شکل ۴-۱۲- برازش مدل دندان مانند بر داده های واقعی و شبیه سازی شده سرعت سبزشدن در مقابل دما در ارقام مختلف گندم در گرگان ۶۷

شکل ۴-۱۳- برازش مدل دندان مانند بر داده های واقعی و شبیه سازی شده سرعت سبزشدن در مقابل دما در ارقام مختلف گندم در گرگان ۶۸

شکل ۴-۱۴- برازش مدل لجستیک بر داده های واقعی و شبیه سازی شده سرعت سبزشدن در مقابل دما در ارقام مختلف گندم در بیرجند ۶۹

شکل ۴-۱۵- برازش مدل درجه‌دوم بر داده های واقعی و شبیه سازی شده سرعت سبز شدن در مقابل دما در ارقام مختلف گندم در بیرجند ۷۰

شکل ۴-۱۶- برازش مدل مسطح و دندان‌مانند بر داده های واقعی و شبیه سازی شده سرعت سبز شدن در مقابل دما در ارقام مختلف گندم در بیرجند ۷۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱- پیش‌گفتار

فنولوژی[1]، مطالعه نمو گیاه در رابطه با آب‌وهوا می‌باشد (پری و همکاران، ۱۹۸۷). اولین قدم برای به حداکثر رسانیدن عملکرد در مدیریت تولید این است که فنولوژی گیاه زراعی با منابع محیطی به خوبی تطبیق یابد (ترابی، ۱۳۸۳). امروزه با استفاده از مدل‌های زراعی و امکانات گسترده‌ای که در زمینه نرم‌افزارهای رایانه‌ای در دسترس است با پیدا کردن روابط بین فرآیندهای رشد به منظور تولید محصولات زراعی و یافتن شرایط مطلوب رشد از طریق این قبیل برنامه‌ها می‌توان به نتایج قابل توجهی دست یافت و با آن وضع جدید را پیش‌بینی کرد. این مدل‌ها محدودیت‌های جغرافیایی و محیطی را کاهش داده و در مورد گیاهان زراعی برای ارقام مختلف قابل تعمیم می‌باشند (کوچکی و بنایان، ۱۳۷۵). استفاده از این مدل بسیار سریع بوده و با در نظر گرفتن گیاه زراعی به عنوان یک سیستم پویا، امکان پیش‌بینی تغییرات سیستم نسبت به زمان را فراهم می‌آورند. علاوه بر آن از این مدل‌ها می‌توان در پیش‌بینی موفقبت گیاهان جدید در یک منطقه نیز استفاده کرد (ترابی، ۱۳۸۳).

۱-۲- اهمیت گیاه گندم

گندم نان (*Triticuma esstivuam* L) بی‌شک در بین گیاهان انگشت‌شماری که به عنوان منابع غذایی در سطح گسترده‌ای کشت می‌شوند، نقش عمده‌ای ایفا می‌کند و احتمالاً محوری برای شروع کشاورزی بوده است

[1] . Phenology

(هارلان، ۱۹۸۱). گندم در ردهٔ غلات سردسیری قرار گرفته و نقش آن به عنوان تأمین‌کنندهٔ اصلی غذای بشر، روشن و آشکار است. بیلتیانو (۱۹۸۳) گندم را براساس خصوصیات ژنتیکی تقسیم‌بندی کرد. بر اساس این تقسیم‌بندی تمام گونه‌های گندم به سه دسته دیپلوئید (۲n=۶x=۴۲ کروموزوم)، تتراپلوئید (۲n=۴x=۲۸کروموزوم) و هگزاپلوئید (۲n=۶x=۴۲کروموزوم) تقسیم شده‌اند (فائو، ۲۰۰۵). این گیاه در محدودهٔ وسیعی از شرایط آب و هوایی جهان رشد می‌کند و در حقیقت جزء سازگارترین غلات است (فائو، ۲۰۰۸). در ایران نیز مانند بسیاری از کشورهای جهان نان حاصله از گندم مهمترین ماده غذایی روزانه مردم را تشکیل می‌دهد و نقش عمد ه‌ای در تامین انرژی و پروتئین مورد نیاز بدن به عهده دارد. در بعضی از کشورهای پیشرفته، گندم به دلیل محتوای خیلی زیاد پروتئین، چربی و مواد معدنی در جیره غذایی دام مورد استفاده قرار دارد. کاه گندم نیز علاوه بر مصرف در تغذیه دام، در کارخانه‌های کاغذسازی و مقواسازی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (فائو، ۲۰۰۵). در شرایط اقلیمی متغیر مناطق نیمه خشک، انواع گیاهانی که بتوانند بدون آبیاری کشت شوند نسبتاً محدودند و هیچکدام از آن‌ها نتوانسته‌اند بر گندم که مهمترین گیاه این مناطق است ارجحیت پیدا کنند. این موضوع به همان اندازه که در کشاورزی سنتی خاور نزدیک صادق است در مناطق جدیدی که از اواخر قرن نوزدهم زیر کشت آورده شده‌اند؛ مانند نواحی وسیعی در آمریکا، شوروی و استرالیا نیز صادق می‌باشد. غلات حتی در شرایط فاریاب نیز در تناوب نقش عمده‌ای ایفا می‌کنند. بنابراین، غلات در مناطق خشک اهمیت اقتصادی زیادی دارند (کوچکی، ۱۳۶۴). گندم از عرض جغرافیایی حدود ۶۰ درجه شمالی در شمال اروپا تا ۴۰ درجه جنوبی در آمریکای جنوبی، در مناطق با ارتفاع چند متر تا بیش از۳۰۰۰ متر بالای سطح دریا کشت می‌شود. گندم گیاهی روز بلند است، لذا برای گل‌دادن احتیاج زیادی به نور دارد. بنابراین اگر گندم در منطقه‌ای کاشته شود که طول روز آن منطقه در موقع گل‌دادن کمتر از ۱۲ تا ۱۴ ساعت در روز باشد، رشد رویشی آن زیادتر و رشد زایشی کم می‌شود و در نتیجه گیاه محصول کمتری می‌دهد. تقریبا یک ششم از کل زمین‌های زراعی جهان زیر کشت گندم است (فائو، ۲۰۰۵).

میزان تولید گندم در ایران در سال ۲۰۰۸ میلادی، ۱۰ میلیون تن، سطح زیر کشت این محصول ۴۷۵۰۰۰۰ میلیون هکتار و متوسط عملکرد آن ۲۱۰۵ کیلوگرم در هکتار بوده است (فائو، ۲۰۰۸).

مطالعه فیزیولوژی نموّ گندم برای دانستن جنبه‌های فیزیولوژیکی و بوم‌شناختی عملکرد امری ضروری به شمار می‌آید، زیرا اثرات عوامل معین محیطی روی رشد و عملکرد گیاه بر اساس مراحل نموّی که در طی آن‌ها این عوامل عمل می‌کنند، متفاوت است. نموّ گیاه به عنوان یک متغیر وضعیت که نقش بسیار مهم و تعیین-کننده‌ای در کارکرد و عملکرد گیاه ایفا می‌کند مطرح است و از مهم‌ترین صفات سازگاری گیاهان زراعی است (سادراس، ۲۰۰۶). کمّی‌سازی تولید و ارائه راهکارهایی که بتوانند فصل رشد گیاهان زراعی را با بهترین شرایط محیطی موثر بر عملکرد منطبق سازند، نیازمند درک ارتباط مراحل نمو گیاه با عوامل اقلیمی است.

اجزای اصلی محیط که نمّو را تحت تأثیر قرار می‌دهند، شامل درجه حرارت و فتوپریود می‌شود. فاکتورهای دیگر همچون میزان دریافت عناصر غذایی، قابلیت دسترسی به آب، تراکم گیاهی، تشعشع و غلظت دی اکسید کربن ممکن است زمانی‌که نیازها حداکثر هستند اثر کمّی بر نمّو داشته باشند. کسب اطلاعات لازم در مورد منحنی‌های پاسخ مراحل نمّو به تغییرات میانگین فاکتورهای اقلیمی، نیاز به یک‌سری از پارامترها نظیر دماهای کاردینال، حساسیت به فتوپریود، نیازهای حرارتی و نظایر آن دارد که حصول آن‌ها تنها در صورتی امکان‌پذیر است که در دامنه‌ای از شرایط متفاوت دما وطول روز پاسخ‌های گیاه بررسی شود و سپس با ارائه مدل‌های مناسب، محدوده پاسخ و نوع پاسخ به عوامل اقلیمی تأثیرگذار و اثر متقابل آن‌ها تفکیک شود. شبیه‌سازی مراحل نمّو یکی از بخش‌های مهم بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است، چرا که تقسیم مواد فتوسنتزی به اندام‌های مختلف متفاوت است، همچنین مدل‌های نمّوی می‌توانند در کنترل آفات، برنامه‌های کاربرد مواد غذایی، برنامه‌های اصلاحی و برنامه‌ریزی‌های برداشت مورد استفاده قرار گیرند (استریک و همکاران، ۲۰۰۳). کمّی‌سازی فنولوژی یک گیاه سخت‌ترین و در عین حال مهم‌ترین جزء ساخت

مدل‌های شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی است که باید از دقت پیش‌بینی مراحل نمّو در آن‌ها با استفاده از روش‌های آماری موجود اطمینان حاصل نمود. لذا به نظر می‌رسد که یافتن مدل‌های مناسبی که پاسخ گیاهان به عوامل اقلیمی را در شرایط متفاوت به درستی در اختیار قرار دهند، از لحاظ دست یافتن به مدیریت‌های زراعی و به ویژه تعیین تاریخ کاشت، مطلوب است. در این تحقیق هدف یافتن پارامترهای تأثیرگذار بر فنولوژی گیاه گندم و استفاده از این پارامترها در ساخت یک مدل ساده از فنولوژی این گیاه و آزمون مدل با داده‌های مستقل است.

۱-۳- مدل‌های شبیه‌سازی

مدل‌ها نقش مهمی در ساخت داده‌ها و ایده‌ها دارند و قادرند نقاط ضعف دانش ما را تعیین نمایند. یک مدل از رشد گیاه، توصیف ریاضی شناخت ما از رفتار گیاه است و به علت استفاده از توابع ریاضی بایستی این رفتار در هر مرحله کاملاً مشخص و معین باشد. نیاز به یک معادله ما را مجبور به ساختن فرض می‌نماید و مدل‌ها برای آزمون کردن این فرضیات ساخته می‌شوند. اگر پیش‌بینی‌های مدل از واقعیات موجود دقیق نباشد، بایستی بپذیریم که شناخت ما از سیستم مورد مطالعه کامل نیست (احترامیان، ۱۳۸۰). از این مدل‌ها برای انجام مطالعات مختلف از جمله انتخاب گیاه و رقم مناسب برای کاشت (کافی، ۱۳۶۹؛ آگاروال و کالرا، ۱۹۹۴)، تعیین بهترین مدیریت‌های زراعی (آگاروال و کالرا، ۱۹۹۴)، برآورد پتانسیل تولید مناطق (بولتینگ و همکاران، ۲۰۰۱)، تعیین خط و مشی برای به‌نژادی ارقام (بازگونزالس، ۱۹۹۴)، تعیین الویت‌های تحقیقاتی، انتقال تکنولوژی (براوون و مایر، ۱۹۸۸)، پهنه‌بندی اکولوژیک (نبوی، ۱۳۸۲) و پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم (بوته، ۱۹۹۴؛ فاووسی و آگوبلاف، ۱۹۸۰) استفاده شده است.

مدل‌های پیش‌بینی نمو فنولوژیک براساس توصیف ریاضی واکنش‌ها به عوامل محیطی استوار هستند. مدل-های متعددی برای کمّی‌کردن این واکنش‌ها وجود دارد، ولی در اکثر موارد در مکان‌هایی با شرایط محیطی

مختلف این مدل‌ها پیش‌بینی‌های ناموفقی را نشان می‌دهند. یکی از دلایل چنین رفتاری می‌تواند این باشد که، پارامترهای استفاده شده در مدل از یک سری داده‌های محدود برآورد شده‌باشند. برای به‌دست‌آوردن برآوردهای دقیق‌تر پارامترها برای پیش‌بینی مراحل فنولوژیک، داده‌های مورد استفاده باید دامنه وسیعی از محل‌ها و یا تاریخ‌های کاشت را در برگیرند.

۱-۴- اهمیت مدل‌سازی در گیاهان زراعی

مدل ابزاری است که ما را در تفسیر و درک دنیایی که در آن زندگی می‌کنیم یاری می‌کند. دانشمندان و مهندسان از انواع مدل‌ها به عنوان ابزاری برای درک پدیده‌های مورد مطالعه استفاده می‌کنند. مدل ریاضی، معادله یا مجموعه‌ای از مطالعات است که رفتار هر سیستم را به طور کمّی توصیف می‌کند. سیستم، به بخش محدودی از جهان واقعی اطلاق می‌شود و بخش‌هایی را در بر می‌گیرد که اثرات متقابل با هم داشته باشند و تغییر می‌کنند (کوچکی و بنایان، ۱۳۷۵؛ امام و نیک نژاد، ۱۳۷۳؛ سلطانی، ۱۳۷۸؛ ترابی، ۱۳۸۳).

از مدل‌ها می‌توان در بهبود مدیریت تولید گیاهان زراعی برای پیش‌بینی تاریخ‌های احتمالی برداشت یا پیش-بینی عملکرد نهائی، یا به صورت فعال‌تر، برای پیش‌بینی مطمئن زمان وقوع حوادث فنولوژیک به نحوی که کود، تنظیم‌کننده‌های رشد، نیتروژن، علف کش‌ها و کنترل بیماری‌ها در مناسب‌ترین زمان به کار گرفته شوند، استفاده نمود. بسیاری از مدلسازان از مدل‌های خود برای ارزیابی خطرات موجود در تولید استفاده کرده‌اند (ترابی، ۱۳۸۳).

کمّی‌سازی فنولوژی یک گیاه دشوارترین و در عین حال مهم‌ترین جزء ساخت مدل های شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی است که باید از دقت پیش‌بینی مراحل نمو در آن‌ها با استفاده از روش‌های آماری موجود اطمینان حاصل نمود. لذا به نظر می‌رسد که یافتن مدل‌های مناسبی که بتوانند پاسخ فنولوژیک گیاهان به عوامل اقلیمی را در دامنه وسیعی از شرایط محیطی به درستی دراختیار دهند، در مدیریت‌های زراعی و به ویژه تعیین تاریخ کاشت مطلوب حائز اهمیّت است. با توجه به اتکای زیرمدل‌های فنولوژی به

پارامترهای مهم وابسته به دما و طول روز، دقت در برآورد این پارامترها یک ضرورت به شمار می‌آید، همچنین جهت ممانعت از کلّی نگری به پارامترهای مدل‌ها در شبیه‌سازی مراحل فنولوژی، لازم است دامنه تغییرات احتمالی پارامترها در ارقام مختلف بررسی شود. لذا این تحقیق با هدف دست یابی به اهداف زیر انجام شد:

- مقایسه مدل های مختلف در کمّی کردن واکنش‌های سرعت سبزشدن هفت رقم گندم در دو منطقه بیرجند و گرگان به دما در شرایط مزرعه در هر منطقه و انتخاب بهترین مدل توصیف‌کننده پاسخ سرعت سبزشدن به دما
- تعیین دماهای کاردینال برای مرحله سبزشدن بر حسب دمای هوا
- برآورد تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای عبور از مراحل مختلف نمو در دو منطقه گرگان و بیرجند

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱- مدل‌سازی در گندم

در گذشته تعدادی از مدل‌های شبیه‌سازی برای گندم تهیه شده‌است که از آن جمله می‌توان به مدل DSSAT (که ازCERESS-WHEAT و CROPSIM-WHEAT مشتق شده‌است) و CropSyst و APSIM (جونز و همکاران،۲۰۰۳؛ هوگنبوم و همکاران، ۲۰۰۴) اشاره کرد. مدل DSSAT یکی از معروف‌ترین و پراستفاده‌ترین مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است (برای بیش از بیست گیاه زراعی مختلف) که در آن برنامه‌های کامپیوتری در یک بسته نرم‌افزاری به منظور تسهیل در کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی در تحقیقات و تصمیمات جمع شده‌اند (سلطانی و هوگنبوم، ۲۰۰۷). جونز و همکاران (۲۰۰۳) بیش از ۱۲۰ مطالعه انجام شده توسط مدل DSSAT در کل دنیا، از شمال آمریکا تا آفریقا را لیست کرده‌اند. در این مطالعات، مدل شبیه‌سازی گیاهان زراعی DSSAT برای تعیین عملیات مطلوب مدیریتی محصولات، مدیریت کود، مدیریت آبیاری، دقّت کشاورزی، مدیریت آفت، تنوع و تغییر اقلیم، آلودگی محیط و آموزش استفاده شده است (سلطانی و هوگبنوم، ۲۰۰۷).

هاندال و کائور (۱۹۹۷) جهت پیش‌بینی عملکرد گندم در دشت‌های آبی پنجاب هندوستان استفاده از مدل CERES-WHEAT و داده‌های اقلیمی پنج ساله، عملکرد دانه، ماده خشک کل، مراحل فنولوژیکی گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک را شبیه‌سازی نمودند. مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده با نتایج اندازه‌گیری شده در مزرعه نشان داد که مدل به‌طور رضایت‌بخشی عملکرد دانه، ماده خشک و مراحل فنولوژی را پیش‌بینی می-نماید. ساوین و همکاران (۱۹۹۵) برای ارزیابی راهکارهای مدیریتی تیمارهای مختلف، دو رقم گندم زودرس و متوسطرس در دو تاریخ کاشت، زود کاشت و دیرهنگام، در دو منطقه جهت تولید گندم در پامپوس آرژانتین با استغاده از مدل CERES-WHEAT گزارش نمودند که بدون محدودیت نیتروژن، حداکثر

عملکرد از کاشت زود هنگام و رقم متوسطرس بدست می‌آید، که عملکرد بیشتر این راهکار به علت منطبق شدن گیاه با مصرف آب بیشتر در طی دوره رشد گیاه بود.

مدل CropSyst بر خلاف دیگر مدل‌ها مثل مدل DSSAT از یک روش واحد و یکسان برای شبیه‌سازی رشد و نمو تمام گیاهان علفی استفاده می‌کند. مدل CropSyst در آزمایشات و تحقیقات زیادی مورد استفاده قرار گرفته است. استوکل و همکاران (۱۹۹۴) مدل CropSyst را برای گندم بهاره و زمستانه در واکنش به تیمارهای مختلف آب و کود نیتروژن کالیبره نمودند سپس مدل مذکور برای بیوماس، عملکرد دانه، نیترات خاک، کلراید خاک در این آزمایش مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج رضایت‌بخشی از آن حاصل شد.

توسعه APSIM با تشکیل APSRU در سال ۱۹۹۱ آغاز شده‌است. توسعه APSIM نیاز به مشاهدات اولیه‌ای دارد که پیش‌بینی‌های دقیق تولید گیاهان زراعی را در ارتباط با عوامل اقلیم، ژنوتیپ، خاک و مدیریت میسّر می‌سازد. APSIM در ابتدا به عنوان یک شبیه‌ساز سیستم‌های زراعی طراحی شد که جهت ترکیب تخمین دقیق عملکرد، در واکنش به مدیریت، با پیش‌بینی نتایج بلندمدت عملیات زراعی به روی منابع خاک (مثل دینامیک مواد آلی خاک، فرسایش، اسیدی شدن و غیره) به کار می‌رفت. به طور کلی مدل‌های شبه‌سازی گندم ابزارهای کارگشا هستند که از آنها می‌توان در تحقیق، مدیریت زراعی و آموزش استفاده کرد و باعث کاهش قابل ملاحظه در وقت و هزینه می‌شوند. جنبه هایی از سیستم زراعی که APSIM به آنها می‌پردازد عبارتنند از: تناوب، آیش، بقایا، استقرار گیاه، مرگ گیاه در اثر عوامل نامناسب و مدیریت پویا در پاسخ به شرایط محیطی.

۲-۲- پارامتریابی در مدل

ساختن مدل نیازمند واردکردن پارامترهایی با حداقل خطاست و مسلماً عدم توجه به برآورد دقیق پارامترهای مدل موجب انحراف نتایج مدل از واقعیت موجود می‌شود. لذا ارقام مختلف که انتظار می‌رود پاسخ‌های