٤٦٠١٥

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دانشکده علوم زراعی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته زراعت

عنوان

پیش‌بینی نمو فنولوژیک گیاه گندم

(*Triticum aestivum L.*)

پژوهشگر:
منصوره احمدی

استاد راهنما:
دکتر بهنام کامکار

اساتید مشاور:
دکتر افشین سلطانی
مهندس ابراهیم زینلی

۱۳۸۷ /۳/ ۲۳

دی ۱۳۸۶

٤٦٠٨٥

تقدیم به یگانه خالق هستی که فرشتگانی چون **مادر** دلسوز و **همسر**
فداکارم را آفرید تا در این راه پشتیبانم باشند

۱۳۸۷ /۳/ ۲۳

سپاسگزاری

خداوند منان را سپاس که خود دانش و کمال بی انتهاست و بشر را ودیعه دانش نهاد تا با آنچه از کمالات است، ذهن و روان بیاراید و با این اعتقاد و باور که او سرچشمه تمامی کمالات است، مفتخرم که با برخورداری از الطاف بی کرانش توانسته‌ام در مسیر پر فروغ علم و دانش که همواره مورد توصیه اولیاء الهی بوده، قدم بگذارم. بر خود لازم می‌دانم مراتب سپاس و قدردانی صمیمانه خویش را تقدیم همه کسانی کنم که طی این مدت مرا یاری دادند.

از استاد راهنمای ارجمند و دلسوزم جناب آقای دکتر بهنام کامکار به خاطر تمام راهنمایی‌ها و مساعدت‌های بی‌دریغ و ارزشمندشان در طی مراحل انجام و تدوین پایان‌نامه نهایت تشکر را دارم. از اساتید مشاور گرانقدرم آقایان دکتر افشین سلطانی و مهندس ابراهیم زینلی که از راهنمایی‌های علمی شان برخوردار بودم کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم. از داوران ارجمند آقایان دکتر ناصر لطیفی و دکتر سر ا.. گالشی و همچنین نماینده محترم تحصیلات تکمیلی خانم دکتر منیژه میان آبادی تشکر و قدردانی می‌نمایم. از اساتید و کارشناسان گروه زراعت و اصلاح نباتات دکتر محمد هادی پهلوان، مهندس فیروز صلاحی و مهندس سهیل سیرانی به خاطر همکاری هایشان متشکرم. همچنین از خانواده همسرم به خاطر حمایت‌های مادی و معنویشان قدردانی می‌نمایم. در پایان از تمامی دوستان و عزیزانی که گامی در جهت اعتلای علمی و معنوی اینجانب برداشته‌اند سپاسگزارم و برای همه آن‌ها از درگاه خداوند متعال سلامتی و طول عمر با عزتشان را خواستارم.

فهرست مطالب | شماره صفحه

فصل اول: مقدمه و بررسی منابع

۱-۱. . اهمیت گیاه گندم..... ۱

۱-۲. تعریف نمو..... ۱

۱-۳. ضرورت استفاده از مدل‌ها..... ۲

۱-۴. ضرورت پارامتریابی در مدل‌ها..... ۳

۱-۵. فنولوژی و مقیاس‌های تعیین مراحل نمو در غلات..... ۳

۱-۶. عوامل محیطی موثر بر فنولوژی گیاهان زراعی..... ۴

۱-۷. تاثیر دما بر سبز شدن..... ۵

۱-۸. تاثیر دما و طول روز بر سرعت ساقه رفتن..... ۶

۱-۹. مدل‌های مختلف برای کمّی کردن واکنش سرعت نمو به دما و طول روز..... ۸

۱-۱۰. اهداف تحقیق..... ۲۱

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲-۱. مشخصات محل اجرای آزمایش..... ۲۳

۲-۲. طرح آزمایش..... ۲۴

۲-۳. عملیات زراعی..... ۲۴

۲-۴. ثبت مشاهدات..... ۲۵

۲-۵. توابع، پارامترها و انتخاب مدل برتر..... ۲۶

۲-۶. توابع دمایی مورد استفاده در مدل‌سازی نمو..... ۲۹

۲-۷. توابع فتوپریودی مورد استفاده در مدل‌سازی نمو..... ۳۰

۲-۸. محاسبه Tb و To با مدل لجستیک..... ۳۰

۲-۹. محاسبه تعداد روزبیولوژیک..... ۳۰

فهرست مطالب | شماره صفحه

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱. سبز شدن

۳-۱-۱. بررسی متغیرهای مختلف در مرحله سبز شدن..... ۳۲

۳-۱-۲. نتایج تجزیه واریانس..... ۳۳

۳-۱-۳. مقایسه مدل‌های مختلف برای کمّی کردن واکنش سرعت سبز شدن به دما..... ۳۵

۳-۱-۴. برآورد دماهای کاردینال برای مرحله سبز شدن..... ۴۰

۳-۱-۵. تعیین تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن..... ۴۳

۳-۲. ساقه رفتن

۳-۲-۱. بررسی وضعیت عوامل اقلیمی(دما و طول روز) در طول دوره آزمایش..... ۴۴

۳-۲-۲. نتایج تجزیه واریانس..... ۴۸

۳-۲-۳. مقایسه مدل‌های مختلف برای کمّی کردن واکنش سرعت ساقه رفتن در مقابل دما و طول روز..... ۴۹

۳-۲-۴. برآورد پارامترهای مدل برای مرحله ساقه رفتن..... ۶۱

۳-۲-۶. سایر مراحل نمو..... ۷۱

۳-۲-۷. تعیین تعداد روز بیولوژیک برای مراحل مختلف نمو..... ۷۵

۳-۲-۸. نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۷۷

۳-۳. منابع مورد استفاده..... ۸۶

فهرست جدول‌ها | شماره صفحه

جدول۳ – ۱. میانگین روز از کاشت تاسبز شدن و متوسط دمای هوا در طول این دوره در تاریخ‌های کاشت مختلف در هفت رقم گندم در شرایط مزرعه..... ۳۲

جدول۳ – ۲. نتایج تجزیه واریانس(درجه آزادی و میانگین مربعات) برای زمان از کاشت تا سبز شدن (*VE*)..... ۳۳

جدول ۳ – ۳ –مقایسه میانگین روز تا ۵۰ درصد سبز شدن جمعیت(*VE*) در تاریخ‌های کاشت و ارقام مختلف گندم در شرایط مزرعه..... ۳۳

جدول۳-۴. نتایج مقایسه میانگین تاریخ‌های کاشت از نظر تعداد روز از کاشت تا سبزشدن..... ۳۴

جدول ۳-۵-الف. جذر میانگین مربع انحرافات(RMSD) و ضریب تبیین(R^2) برای مدل‌های مسطح، لجستیک، دوتکه‌ای و دندان مانند توصیف کننده رابطه سرعت سبز شدن با دما در ارقام مختلف گندم..... ۳۷

جدول ۳-۵-ب. جذر میانگین مربع انحرافات(RMSD) و ضریب تبیین(R^2) برای مدل‌های بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم توصیف کننده رابطه سرعت سبز شدن با دما در ارقام مختلف گندم..... ۳۸

جدول۳ - ۶-الف. برآورد دمای پایه(Tb)، دمای مطلوب(To)، دمای سقف(Tc) و حداقل روز تا سبز شدن در شرایط مطلوب دما (Fo) توسط مدل‌های مسطح،درجه دوم، دو تکه‌ای و منحنی برای سبز شدن در ارقام گندم..... ۴۱

جدول۳ – ۶ –ب. برآورد ضریب ثابت a، دمای پایه(Tb)، دمای مطلوب(To)، دمای مطلوب تحتانی(To1)، دمای مطلوب فوقانی(To2)، دمای سقف(Tc) و حداقل روز تا سبز شدن در شرایط مطلوب دما (Fo) توسط مدل‌های بتا، دندان مانند و لجستیک برای سبز شدن در ارقام گندم..... ۴۲

جدول۳-۷. میانگین روز از سبز شدن تا ساقه رفتن، متوسط دمای هوا و طول روز در طول همین دوره در تاریخ‌های کاشت مختلف در هفت رقم گندم در شرایط مزرعه..... ۴۵

جدول۳-۸. نتایج تجزیه واریانس(درجه آزادی و میانگین مربعات) برای زمان از سبز شدن تا ساقه رفتن تاساقه رفتن(*EF*)..... ۴۸

جدول۳-۹-. تاریخ کاشت و مقایسه میانگین روز از سبز شدن تا ساقه رفتن بین تاریخ‌های کاشت مختلف در هفت رقم گندم در شرایط مزرعه..... ۴۹

جدول۳-۱۰-الف. جذر میانگین مربع انحرافات(RMSD) و ضریب تبیین(R^2) برای مدل‌های مختلف توصیف کننده رابطه سرعت ساقه رفتن با دما و طول روز در ارقام مختلف گندم(مدل دوتکه‌ای)..... ۵۱

فهرست جدول‌ها | شماره صفحه

جدول۳-۱۰-ب. جذر میانگین مربع انحرافات(RMSD) و ضریب تبیین(R^2) برای مدل‌های مختلف توصیف کننده رابطه سرعت ساقه رفتن با دما و طول روزدر ارقام مختلف گندم(مدل دوتکه‌ای) ۵۲

جدول۳-۱۱-الف. جذر میانگین مربع انحرافات(RMSD) و ضریب تبیین(R^2) برای مدل‌های مختلف توصیف کننده رابطه سرعت ساقه رفتن با دما و طول روز در ارقام مختلف گندم(مدل نمایی منفی)..... ۵۳

جدول۳-۱۱-ب. جذر میانگین مربع انحرافات(RMSD) و ضریب تبیین(R^2) برای مدل‌های مختلف توصیف کننده رابطه سرعت ساقه رفتن با دما و طول روز در ارقام مختلف گندم(مدل نمایی منفی)..... ۵۴

جدول۳-۱۲-الف. جذر میانگین مربع انحرافات(RMSD) و ضریب تبیین(R^2) برای مدل‌های مختلف توصیف کننده رابطه سرعت ساقه رفتن با دما و طول روز در ارقام مختلف گندم(مدل درجه دوم)..... ۵۵

جدول۳-۱۲-ب. جذر میانگین مربع انحرافات(RMSD) و ضریب تبیین(R^2) برای مدل‌های مختلف توصیف کننده رابطه سرعت ساقه رفتن با دما و طول روز در ارقام مختلف گندم(مدل درجه دوم)..... ۵۶

جدول۳-۱۳-الف. برآورد دمای پایه(Tb)، دمای مطلوب(To)، طول روز بحرانی(CPP) و ضریب حساسیت به طول روز($PPsen$) برای ساقه رفتن هفت رقم گندم با مدل‌های F-S، F-NE و F-Q ۶۴

جدول ۳-۱۳-ب. برآورد ضریب ثابت a، $t0$ ، دمای پایه(Tb)، دمای مطلوب(To)، طول روز بحرانی(CPP) و ضریب جساسیت به طول روز($PPsen$) برای ساقه رفتن هفت رقم گندم با مدل‌های L-S، L-NE و L-Q..... ۶۵

جدول۳-۱۳-پ. برآورد دمای پایه(Tb) ، دمای مطلوب تحتانی(To_1)، دمای مطلوب فوقانی(To_2)، دمای سقف(Tc)،طول روز بحرانی(CPP) و ضریب حساسیت به طول روز($PPsen$) برای ساقه رفتن هفت رقم گندم با مدل‌های D-S، D-NE و D-Q..... ۶۶

جدول۳-۱۳-ت. برآورد دمای پایه(Tb) ، دمای مطلوب (To)، دمای سقف(Tc)، طول روز بحرانی(CPP) و ضریب حساسیت به طول روز($PPsen$) برای ساقه رفتن هفت رقم گندم با مدل‌های S-S، S-NE و S-Q ۶۷

جدول۳-۱۳-ث. برآورد ضریب ثابت a ، دمای پایه(Tb) ، دمای مطلوب (To)، دمای سقف(Tc)، طول روز بحرانی(CPP) و ضریب حساسیت به طول روز($PPsen$) برای ساقه رفتن هفت رقم گندم با مدل‌های B-S، B-NE و B-Q..... ۶۸

جدول۳-۱۳-ج. برآورد دمای پایه(Tb) ، دمای سقف(Tc)، طول روز بحرانی(CPP) و ضریب حساسیت به طول روز ($PPsen$) برای ساقه رفتن هفت رقم گندم با مدل‌های Q-S، Q-NE و Q-Q. ۶۹

جدول۳-۱۳-چ. برآورد دمای پایه(Tb) ، دمای مطلوب (To)، دمای سقف(Tc)، طول روز بحرانی(CPP) و ضریب حساسیت به طول روز($PPsen$) برای ساقه رفتن هفت رقم گندم با مدل‌های V-S، V-NE و V-Q. ۷۰

جدول ۳-۱۴. حداقل، حداکثر و میانگین طول دوره مراحل مختلف نمو در تاریخ کاشت‌های مختلف در هفت رقم گندم..... ۷۳

جدول ۳-۱۵. نتایج تجزیه واریانس(درجه آزادی(df) و میانگین مربعات(MS)) روز از سبز شدن تا پنجه‌زنی(TL)، پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن(SE)، ساقه رفتن تا شروع آبستنی(BT)، شروع تا پایان آبستنی(ER)، پایان آبستنی تا ساقه رفتن(AC) و ساقه رفتن تا رسیدگی فیزیولوژیک(PM)..... ۷۴

جدول ۳-۱۶. برآورد تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز از کاشت تا سبز شدن(VE)، سبز شدن تا پنجه‌زنی(TL)، پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن(SE)، ساقه رفتن تا شروع آبستنی(BT)، شروع تا پایان آبستنی(ER)، پایان آبستنی تا ساقه رفتن(AC)، سبز شدن تا ساقه رفتن(VC)، ساقه رفتن تا رسیدگی فیزیولوژیک(AM) و کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک(PM) در هفت رقم گندم..... ۷۶

شکل۳-۱- الف- برازش مدل لجستیک (مدل برتر) بر داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده سرعت سبز شدن در مقابل دما در ارقام مختلف گندم. ارقام عبارتند از: آریا(R)، اترک(A)، کوهدشت(K)، شیرودی(S)، تجن(T)، تارو(O) و زاگرس(Z)..... ۳۶

شکل ۳-۲- مقادیر روز از کاشت تا سبز شدن مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده با مدل‌های مختلف. مدل‌ها عبارتند از: بتا(B)، مسطح(F)، دندان مانند(D)، درجه دوم(Q)، منحنی(C)، دوتکه‌ای(S)، لجستیک(L) و درجه سوم(CU). ارقام عبارتند از: آریا(R)، اترک(A)، کوهدشت(K)، شیرودی(S)، تجن(T)، تارو(O) و زاگرس(Z)..... ۳۹

شکل۳-۳. تغییرات میانگین دمای روزانه(الف)وطول روز(ب)در طول آزمایش..... ۴۶

شکل۳-۴. طول دوره سبز شدن تا ساقه رفتن در تاریخ‌های کاشت مختلف در هفت رقم گندم در شرایط مزرعه. ارقام عبارتند از: آریا(R)، اترک(A)، کوهدشت(K)، شیرودی(S)، تجن(T)، تارو(O) و زاگرس(Z)..... ۴۸

شکل ۳-۵-الف. مقادیر روز از سبز شدن تا ساقه رفتن مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده با مدل‌های مختلف. مدل‌ها عبارتند از: مسطح-دوتکه‌ای(S-F)، مسطح-نمایی منفی(F-NE)، مسطح-درجه دوم(F-Q)، لجستیک-دوتکه‌ای (L-S)، لجستیک-نمایی منفی(L-NE) و لجستیک-درجه دوم(L-Q). ارقام عبارتند از: آریا(R)، اترک(A)، کوهدشت(K)، شیرودی(S)، جن(T)، تارو(O) و زاگرس(Z)..... ۵۷

شکل ۳-۵-ب. مقادیر روز از سبز شدن تا ساقه رفتن مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده با مدل‌های مختلف. مدل‌ها عبارتند از: دوتکه‌ای-دوتکه‌ای(S-S)، دوتکه‌ای-نمایی منفی(S-NE)، دوتکه‌ای-درجه دوم(S-Q)،دندان مانند-دوتکه‌ای (D-S)، دندان مانند-نمایی منفی(D-NE) ودندان مانند-درجه دوم(D-Q). ارقام عبارتند از: آریا(R)، اترک(A)، کوهدشت(K)، شیرودی(S)، جن(T)، تارو(O) و زاگرس(Z)..... ۵۸

شکل ۳-۵-ج. مقادیر روز از سبز شدن تا ساقه رفتن مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده با مدل‌های مختلف. مدل‌ها عبارتند از: بتا-دوتکه‌ای(B-S)، بتا-نمایی منفی(B-NE)، بتا-درجه دوم(B-Q)،منحنی-دوتکه‌ای (V-S)، منحنی-نمایی منفی(V-NE) ومنحنی-درجه دوم(V-Q). ارقام عبارتند از: آریا(R)، اترک(A)، کوهدشت(K)، شیرودی(S)، جن(T)، تارو(O) و زاگرس(Z)..... ۵۹

شکل ۳-۵-ج. مقادیر روز از سبز شدن تا ساقه رفتن مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده با مدل‌های مختلف. مدل‌ها عبارتند از: درجه دوم-دوتکه‌ای(Q-S)، درجه دوم-نمایی منفی(Q-NE)، درجه دوم-درجه دوم(Q-Q). ارقام عبارتند از: آریا(R)، اترک(A)، کوهدشت(K)، شیرودی(S)، جن(T)، تارو(O) و زاگرس(Z)..... ۶۰

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی ویژگی‌های نموی ۷ رقم گندم(آریا، اترک، کوهدشت، شیرودی، تجن، تارو و زاگرس) در ۸ تاریخ کاشت(۲۳ آذر، ۳۰ دی، ۱ اسفند، ۲۹ اسفند ، ۲۷ فروردین، ۳۱ اردیبهشت، ۹ تیر و ۱۵ مرداد) طی سال‌های زراعی ۸۵-۱۳۸۴در گرگان اجرا شد. برای کمّی کردن واکنش سرعت سبز شدن به دما و سرعت ساقه رفتن به دما و طول روز از توابع متعددی استفاده شد که در بین آن‌ها تابع لجستیک برای سرعت سبز شدن و تابع دوتکه‌ای-دوتکه‌ای به عنوان تابع برتر انتخاب شدند. با استفاده از توابع برتر، دماهای پایه و مطلوب برای مراحل سبز شدن و ساقه رفتن و طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز برای مرحله ساقه رفتن تعیین شدند. دماهای پایه و مطلوب برآورد شده توسط مدل لجستیک برای سبز شدن ارقام مختلف متفاوت و برای مجموع ارقام گندم ۲/۸۷ و ۲۶/۹۵ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. دمای پایه برای مرحله ساقه رفتن ارقام مختلف متفاوت واز ۱/۲۵ تا ۵ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. دمای مطلوب برآورد شده توسط مدل دوتکه‌ای-دوتکه‌ای برای ارقام مختلف از ۲۶/۷۸ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. مقدار دمای سقف در این مطالعه به علت فراوانی اندک دماهای بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد به طور ثابت ۳۷ درجه سانتی‌گراد فرض شد. بررسی اثرات دما و طول روز بر مرحله ساقه رفتن گندم نشان داد که واکنش این گیاه به طول روز از نوع روز بلند اختیاری است. طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز برآورد شده در بین ارقام مختلف متفاوت بود و به ترتیب از ۱۲/۹۶ تا ۱۴/۰۰۴ ساعت و ۰/۱ تا ۰/۱۸ متغیر بود. تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز از کاشت تا سبز شدن ارقام مختلف ۳/۱۲ تا ۴/۱۴ ، سبز شدن تا پنجه‌زنی۱/۵۷تا۵/۸۳، پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن ۶/۰۹ تا ۱۳/۰۱، ساقه‌رفتن تا شروع آبستنی ۴/۸۲ تا ۸/۰۳، شروع تا پایان آبستنی ۰/۸۷ تا ۱/۷۸، پایان آبستنی تا گلدهی ۵/۱۵ تا ۷/۶۹ و گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک ۲۰/۱۴ تا ۲۷/۲۷ روز بیولوژیک تخمین زده شد.

کلمات کلیدی: گندم، فنولوژی، دما، طول روز، روز بیولوژیک

فصل اول

مقدمه و بررسی منابع

۱ – ۱. اهمیت گیاه گندم

گندم نان (*Triticum aestivum l.*) بی شک در بین گیاهان انگشت‌شماری که به عنوان منابع غذایی در سطح گسترده‌ای کشت می‌شوند، نقش عمده‌ای ایفا می‌کند و احتمالا محوری برای شروع کشاورزی بوده است(هارلان،۱۹۸۱). بیلتیانو(۱۹۸۳) گندم را بر اساس خصوصیات ژنتیکی تقسیم بندی کرد. بر اساس این تقسیم‌بندی تمام گونه‌های گندم به سه دسته دیپلوئید(2n=2x=14 کروموزوم)، تتراپلوئید(2n=4x=28کروموزم) و هگزاپلوئید(2n=6x=42کروموزوم) تقسیم شده‌اند. در ایران نیز مانند بسیاری از کشورهای جهان نان حاصله از گندم مهمترین ماده غذایی روزانه مردم را تشکیل می‌دهد و نقش عمده‌ای 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 می‌گیرد. کاه گندم نیز علاوه بر مصرف درتغذیه دام، در کارخانه‌های کاغذ سازی و مقوا سازی نیز مورد استفاده قرار دارد. گندم در محدوده وسیعی از شرایط آب و هوایی جهان رشد می‌کند و در حقیقت این گیاه سازگارترین غلات است. گندم از عرض جغرافیایی حدود ۶۰ درجه شمالی در شمال اروپا تا ۴۰ درجه جنوبی در آمریکای جنوبی، در مناطقی با ارتفاع چند متر تا بیش از ۳۰۰۰ 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. میزان تولید گندم در ایران در سال ۲۰۰۵ میلادی، ۱۴/۵ تن، سطح زیر کشت این محصول ۶/۵ میلیون هکتار و متوسط عملکرد آن ۲۲۳۰/۷ کیلو گرم در هکتار بوده است(فائو، ۲۰۰۵).

۱ – ۲. تعریف نمو

رشد و نمو دو مفهوم در ارتباط نزدیک با هم هستند. نمو را می‌توان پیشرفت منظم مراحل تعریف شده حیات یک گیاه از جوانه‌زنی تا مرگ تعریف کرد. در حالیکه رشد به افزایش در ماده خشک، حجم، طول یا سطح برخی از اندام‌های گیاه اطلاق می‌شود(اولیور و آناندل، ۱۹۹۸). همچنین نمو گیاه به عنوان یک توالی از وقایع فنولوژیکی تعریف شده است که توسط عوامل خارجی کنترل می‌شود و تعیین کننده تغییرات در شکل یا کارکرد برخی اندام‌ها می‌باشد(لندسبرگ،

۱۹۹۷). نمو گیاه به عنوان یک متغیر وضعیت که نقش بسیار مهم و تعیین کننده‌ای در کارکرد و عملکرد گیاه ایفا می کند، مطرح است. مطالعه فیزیولوژی نمو گندم برای دانستن جنبه های فیزیولوژیکی و بوم شناختی عملکرد آن امری ضروری به شمار می‌آید، زیرا اثرات عوامل معین محیطی روی رشد و عملکرد گیاه بر اساس مراحل نموی که در طی آنها این عوامل عمل می کنند، متفاوت است(اسلافر و راسون،۱۹۹۴). به عبارت دیگر عملکرد دانه در طی برخی مراحل نموی حساسیت بیشتری به عوامل محیطی نسبت به دیگر مراحل دارد. کمّی سازی تولید و ارائه راهکارهایی که بتوانند فصل رشد گیاه زراعی را با بهترین شرایط محیطی موثر بر عملکرد منطبق سازند، نیازمند درک ارتباط مراحل نمو گیاه با عوامل اقلیمی است.

۱ – ۳. ضرورت استفاده از مدل‌ها

مدل‌ها نقش مهمی در ساخت داده‌ها وایده‌ها 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 کاملا مشخص و معین باشد و دیگر جایی برای احتمال و امکان وجود ندارد. نیاز به یک معادله ما را مجبور می‌سازد تا فرض کنیم و مدل جهت آزمون کردن این فرضیات ساخته می‌شود. اگر پیش‌بینی‌های مدل از واقعیات موجود دقیق نباشد، بایستی بپذیریم که شناخت ما از سیستم مورد مطالعه کامل نیست(۱). از این مدل‌ها برای انجام مطالعات مختلف از جمله انتخاب گیاه و رقم مناسب برای کاشت(۱۶ و۲۴)، تعیین بهترین مدیریت‌های زراعی(۲۴)، برآورد پتانسیل تولید مناطق(۴۴)، تعیین خط‌مشی برای به نژادی ارقام(۳۳)، تعیین اولویت‌های تحقیقاتی، انتقال تکنولوژی(۴۸)، پهنه‌بندی اکولوژیک(۱۸) و پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم(۴۵ و۶۳) استفاده شده است. مدل‌های پیش‌بینی نمو فنولوژیک بر اساس توصیف ریاضی واکنش‌ها به عوامل محیطی استوار هستند. مدل‌های متعددی برای کمّی کردن این واکنش‌ها وجود دارد، ولی در اکثر مواقع در مکان‌هایی با شرایط محیطی مختلف این مدل‌ها پیش‌بینی‌های ناموفقی را نشان می‌دهند. یکی از دلایل چنین رفتاری می تواند این باشدکه، پارامترهای استفاده شده در مدل از یکسری داده‌های محدود برآورد شده باشند. برای به دست آوردن برآوردهای دقیق تر پارامترها برای پیش‌بینی مراحل فنولوژیک، داده‌های مورد استفاده باید دامنه وسیعی از محل‌ها و یا تاریخ‌های کاشت را در برگیرد.

۱ – ۴. ضرورت پارامتریابی در مدل‌ها

ساختن مدل‌ها 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 متفاوتی به دما و طول‌روز داشته باشند یا به عبارتی انتظار می‌رود که منحنی‌های پاسخ به دما و طول‌روز در آن‌ها متفاوت باشد، پارامترهای متفاوتی نیز خواهند داشت که برآورد آن‌ها از ضروریات مدل‌هاست. یکی از منابع مهم انحراف نتایج مدل، عدم موفقیت مدل‌ها در شبیه سازی فنولوژی است. که مسلماً بخشی از این اختلاف به عدم برآورد دقیق پارامترهای مورد استفاده در مدل باز می‌گردد. همچنین در بعضی از موارد، پارامترهای بعضی از مدل‌ها از روش واسنج(کالیبراسیون) محاسبه می‌شوند که چون اساس محاسباتی دقیقی ندارند، ممکن است منشا بعضی از انحرافات در مدل‌ها شوند. حداقل دما برای رشد گندم ۴-۳ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دمای سقف ۳۲-۳۰ درجه سانتی‌گراد است(کوچکی، ۱۳۷۲). زینلی و سلطانی(۱۳۸۰) با بررسی جوانه‌زنی در دامنه دمایی ثابت ۵ تا ۳۴ درجه سانتی‌گراد، دمای کاردینال برای جوانه‌زنی دوازده رقم گندم را به دست آوردند. آن‌ها گزارش کردند که دمای پایه ارقام مورد مطالعه از ۲ تا ۲/۹ ، دمای مطلوب از ۳۱/۸ تا ۳۲/۲ و دمای سقف از ۳۸/۱ تا ۴۲/۱ درجه سانتی‌گراد متغیر بود.برار و استوارت(۱۹۹۴) دامنه دمایی ۱۰ تا ۳۷/۵ درجه سانتی‌گراد را بر جوانه‌زنی ۱۳ رقم سورگوم مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادکه دردمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد هیچ بذری جوانه نزد ولی با افزایش دما از ۱۵/۵ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی افزایش یافت. همچنین دماهای بالاتر از ۳۲ درجه سانتی‌گراد نیز موجب کاهش جوانه‌زنی شد.

۱ –۵. فنولوژی و مقیاس‌های تعیین مراحل نمو در غلات

مطالعه روند نمو گیاه در رابطه با آب و هوا، فنولوژی گفته می‌شود(پری و همکاران، ۱۹۸۷). دانش نمو فنولوژیک در درک رشد محصول، پتانسیل عملکرد و پیش‌بینی فنولوژی مهم است(همر و همکاران، ۱۹۸۲). به منظور کمّی کردن نمو برای اهداف علمی و مدیریتی، رشد و نمو غلات به صورت مقیاس‌های عددی متعددی نشان داده شده است. متداول‌ترین مقیاسهای مورد استفاده، مقیاس‌هاس فیکس[1]، زادوکس[2] و هان[3] هستند.

1.Fiecks Scale
2. Zadoks Scale
3. Haun Scale

احتمالا مقیاس فیکس شناخته شده ترین مقیاس عددی برای تعیین مرحله نمو بوده و بیشتر از سایر مقیاس‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مقیاس تغییرات نموی بوته از مرحله یک بر گی تا رسیدن دانه به صورت یازده مرحله بیان شده است. مقیاس زادوکس در مقایسه با مقیاس فیکس اطلاعات مفصل‌تری را طی مراحل اولیه نمو ارائه می‌کند. این مقیاس بر ده مرحله اصلی نمو گیاه شامل جوانه‌زنی، رشد گیاهچه ، پنجه‌زنی، طویل شدن ساقه، آبستنی، ظهور گل آذین، گرده افشانی، شیری شدن دانه، خمیری شدن دانه و رسیدگی استوار است، که این مراحل خود به مراحل فرعی تقسیم می‌شوند. مقیاس هان توصیف دقیقی از نمو گیاه از ظهور نخستین برگ تا گلدهی را فراهم می‌کند ولی نمو پنجه و دانه را شرح نمی‌دهد(زینلی و سلطانی، چاپ نشده).

۱ – ۶. عوامل محیطی موثر بر فنولوژی گیاهان زراعی

معمولا خصوصیات ژنتیکی و شرایط محیطی طول دوره قبل از گلدهی را تعیین می‌کنند. بسته به خصوصیات ژنتیکی گیاه مراحل نمو را می‌توان صرفا به عنوان تابعی از دما یا تلفیقی از دما و فتوپریود در نظر گرفت(اولیور وآناندل، ۱۹۹۸). عوامل دیگر همچون میزان جذب عناصر غذایی(رودریگویزو همکاران،۱۹۹۴)، قابلیت دسترسی به آب، تراکم گیاهی، تشعشع(راسون، ۱۹۹۴) و غلظت C_{O2}(راسون، ۱۹۹۲) نیز ممکن است زمانی که نیازها در حداکثر هستند(اسلافر، ۱۹۹۵)، اثر کمی بر نمو داشته باشد.

سرعت فرآیندهای متابولیکی و نمو در تمام موجودات زنده تحت تاثیر دما قرار می‌گیرد. هر گونه در مرحله خاصی از نمو خود در هر شرایط خاصی یک دمای پایه دارد که در صورتی‌که دما به کمتر از آن برسد، نمو گیاه متوقف خواهد شد. از زمانی که رامور ایده زمان حرارتی را مطرح نمود و بعد از آن آیتکن(۱۰) آن را بسط داد، از این مفهوم در بسیاری از گیاهان زراعی و در بسیاری از تحقیقات استفاده شده است. فرضیه مربوط به زمان حرارتی این است که مجموع تفاوت بین دمای واقعی و دمای پایه رشد باید به یک مقدار خاص برسد تا یک مرحله نمو شکل گیرد. دراین روش فرض بر این است که بین سرعت نمو و درجه حرارت در فاصله بین دمای پایه و دمای بهینه یک رابطه خطی وجود دارد(۲۳). دما مهمترین عامل پیش برنده نمو گیاه به شمار می‌رود(۶۱ و۷۳) و اهمیت این عامل در پیشرفت مراحل نمو مدت‌هاست که شناخته شده است. در اغلب مدل‌های نمو نیز از دما به عنوان اولین متغیر پیش‌برنده استفاده می‌شود(۵۸). از سویی به دلیل تاثیر دما، یک گیاه همیشه به مقدار معینی از زمان تقویمی برای رسیدن به یک مرحله خاص از نمو نیاز ندارد، اگر نمو گیاه بر اساس زمان حرارتی(با واحد درجه روز) بیان شود و زمان حرارتی نیز به درستی

فرموله شود، گیاه همواره برای رسیدن به یک مرحله خاص از نمو به مقدار مشخصی زمان حرارتی نیاز خواهد داشت. رامور(۹) به این نتیجه رسید که جمع میانگین دمای روزانه می‌تواند به عنوان یک شاخص در تعریف مراحل فنولوژی مورد استفاده قرار گیرد. روش مورد استفاده وی در سال ۱۸۷۵ توسط آدانسون تصحیح شد. به نحوی که در محاسبه‌ها تنها دماهای بالاتر از صفر منظور گردید. در سال ۱۸۳۷ نیز بوسین گالت(۹) به بررسی مقدار زمان حرارتی مورد نیاز برای گذر از مراحل فنولوژی در گونه‌های مختلف پرداخت. جمع‌بندی فرضیه‌ها و روش‌های ارائه شده در این زمینه برای توصیف نمو به عنوان تابعی از دما نیز توسط ابه(۹) صورت پذیرفت. گلیمور و روگرز(۳۰) با تصحیح مقادیر روزانه بر اساس دمای پایه و نیز تعریف دماهای کاردینال این مفهوم را گسترش دادند و با وارد کردن تاثیر فتوپریود بر تاخیر یا تسریع گذر از مراحل فنولوژی در گونه‌های حساس به فتوپریود این مفهوم کامل‌تر گردید. در مراحل بعد مفهوم فتوپریود نیز در کمی‌سازی فنولوژی وارد شده است. از این مفهوم در بسیاری از مدل‌های رشد و نمو به خوبی استفاده شده است(۷۱). در گونه‌های غیر حساس به فتوپریود، سرعت نمو به عنوان تابعی از میانگین دمای روزانه محاسبه می‌شود و از چنین روابط ساده‌ای در توصیف جوانه‌زنی(۲۸) و تعیین طول دوره بعد از گرده‌افشانی(۴۶) به شکل موفقیت‌آمیزی استفاده شده است. بی‌شک صرفاً ساخت یک مدل نمی‌تواند تضمین کننده ارائه نتایج مطلوب و قابل قبول باشد. بلکه انطباق پارامترهای مدل با واقعیت‌های موجود این ضرورت را ایجاد می‌کند که در برآورد پاسخ ارقام مختلف و نوسانات عوامل محیطی، پارامتریابی دقیقی انجام شود. منحنی‌های پاسخ به عوامل محیطی زمانی در توجیه تغییرات موفق عمل می‌کنند که طیفی از عوامل محیطی را تجربه کنند. تغییر تاریخ‌های کاشت به علت مواجه کردن گیاه با شرایط متفاوت دما و طول روز می‌تواند در این زمینه راهگشا باشد.

۱ – ۷. تاثیر دما بر سبز شدن

در میان عوامل محیطی دما بیشترین تاثیر را بر سرعت نمو دارد. مطالعات مختلف نشان داده‌است که رابطه بین سرعت نمو و دما تقریباً خطی است و این رابطه در محدوده وسیعی از دما برقرار می‌باشد. در بسیاری از گونه‌های گیاهی، وقوع پدیده‌های مختلف نموی مانند سبز شدن تحت تاثیر دما قرار می‌گیرد و در واقع عامل تعیین کننده سرعت نمو از کاشت تا سبز شدن دماست. سبز شدن احتمالاً مهم‌ترین مرحله فنولوژیکی گیاه است که تعیین کننده موفقیت یا شکست زراعت می‌باشد(فورسلا و همکاران، ۲۰۰۰). مرحله کاشت تا خروج گیاهچه به فتوپریود غیر حساس است زیرا

محرک‌های طول روز توسط برگ‌ها درک می‌شوند(ایوانز، ۱۹۸۷). در نتیجه گیاهان تا زمانی که اولین برگ خارج نشده باشد، قادر به نشان دادن واکنش به فتوپریود نیستند.

آنگس و همکاران(۱۹۸۱) اثر دما را، از کاشت تا سبزشدن مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش دما سرعت سبز شدن افزایش یافت، به طوری که در تابستان بذور برخی گونه‌ها پس از ۲-۳ روز سبز شد. همچنین تابع تغییرات میزان نمو در برابر دما از کاشت تا ظهور ریشه‌چه غیرخطی بود.

کاماها و مگویر(۱۹۹۲) اثر شش دمای ثابت را بر جوانه‌زنی شش نوع گندم زمستانه بررسی کردند. آنها دریافتند که درصد جوانه‌زنی از صفر تا ۱۰۰ درصد متغیر بود و بیشترین درصد جوانه زنی بین ۱۷ تا ۲۵ درجه سانتیگراد اتفاق افتاد و جوانه زنی در دماهای زیر ۱۳ درجه سانتیگراد کاهش یافت و حتی برای بیشتر ارقام در دمای ۵ درجه سانتیگراد به صفر رسید. آن ها گزارش کردند که سرعت جوانه‌زنی با افزایش دما افزایش یافته و بالاترین مقدار آن در دمای ۲۱ تا۲۵ درجه سانتیگراد مشاهده شد.

گرین و همکاران(۲۰۰۰) اثر دمای خاک در محدوده ۲۰-۵ درجه سانتی‌گراد را بر غلات و کانولا بررسی کردند و دریافتند که جوانه‌زنی و رشد گیاهچه این گیاهان در دماهای پایین بسیار متغیر و کند بود و با افزایش دما جوانه‌زنی و سبز شدن بسیار سریع‌تر و یکنواخت‌تر شد. آن‌ها همچنین مشاهده کردند که درصد سبز شدن در دماهای بالاتر در مقایسه با دماهای پایین‌تر بیشتر بود.

آند و پینتر(۱۹۹۴) دمای پایه برای سبز شدن سورگوم را ۱۰ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند و نشان دادند که بذور سورگوم در خاک‌هایی با دمای اولیه پایین‌تر از دمای پایه(۹ درجه سانتی‌گراد) سبز نشدند و با افزایش دمای اولیه خاک درصد و سرعت سبز شدن افزایش یافت که این امر سبب استقرار بهتر گیاهچه‌های سورگوم شد.

ماداکادز و همکاران(۲۰۰۱) تغییرات دمای پایه برای جوانه‌زنی ارقام مختلف گراس‌های گرمادوست را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که دمای پایه و درصد جوانه‌زنی بین گونه‌ها و درون هر گونه متفاوت بود. آن‌ها دمای پایه برای جوانه‌زنی دهک‌های مختلف در چهار رقم *Panicum virgatum* را بین ۵/۵ تا ۱۰/۹ ، در سه رقم *Andropogon longifolia* را بین ۷/۳ تا ۸/۷ در دو رقم *Sorgastrum nutans* را بین ۷/۵ تا ۱۰/۹ و در دو رقم *Calamovilfa longifolia* را بین ۴/۵ تا ۷/۹ درجه سانتی‌گراد گزارش نمودند.

۱ – ۸. تاثیر دما و طول روز بر سرعت گلدهی

مهم‌ترین مرحله فنولوژیک گیاه، مرحله گلدهی یعنی عبور گیاه از مرحله رویشی به زایشی است. سرعت نمو از سبز شدن تا گلدهی تحت تاثیر هر دو عامل دما و طول روز قرار می‌گیرد. گارنر و آلارد(۱۹۳۰) دریافتند که در محیطی با طول روز ثابت، دما تاثیر بسزایی در زمان تا گلدهی داشت و دمای پایین باعث تاخیر در گلدهی شد. سامرفیلد و همکاران(۱۹۹۳) دریافتند که دما و طول روز، متغیرهای محیطی تعیین کننده سرعت گلدهی می‌باشند. نتزر و همکاران(۱۹۸۶) نشان دادند که در دو واریته *Jetneuf* و *Mikado* کانولا طول روزهای بلند طی سبز شدن تا گلدهی باعث تسریع نمو شد. اسلافر و راسون(۱۹۹۶) اثر دما و طول روز را بر نمو ۴ ژنوتیپ گندم مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که سرعت نمو به وسیله طول روز، دما و اثرات متقابل آن‌ها تغییر می‌کند. آن‌ها اظهار داشتند که اگرچه میان ارقام از نظر مقدار طول روز مطلوب اختلاف وجود دارد، اما بدون توجه به مراحل نمو طول روز مطلوب در دماهای بالاتر همیشه طولانی‌تر بود.

آلکالد و لارن(۲۰۰۶) زمان ایجاد حساسیت به طول روز در شروع گلدهی را در ۹ ژنوتیپ مختلف گیاه نخود تعیین نمودند. نتایج نشان داد که شروع گلدهی قبل یا همزمان با ایجاد حساسیت به طول روز حادث می‌شود ودر همه ژنوتیپ‌هایی که به طول روز حساس بودند، میزان نمو طی مراحل ابتدایی گلدهی تحت تاثیر طول روز قرار گرفت.

کربی و همکاران(۱۹۹۹) نمو چندین رقم گندم زمستانه و بهاره را در دو مکان طی ۸ تاریخ کاشت مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها چرخه زندگی گیاه را از کاشت تا ظهور سنبله به سه مرحله شامل کاشت تا برجستگی دوگانه، برجستگی دوگانه تا تشکیل سنبلچه انتهایی و ظهور سنبلچه انتهایی تا ظهور خوشه تقسیم نمودند. نتایج نشان داد که با تاخیر در کاشت واحدهای حرارتی مورد نیاز گیاه از کاشت تا ظهور سنبله کاهش یافت. همچنین طول روز، طول هر دو مرحله کاشت تا برجستگی دوگانه، برجستگی دوگانه تا ظهور سنبلچه انتهایی را تحت تاثیر قرارداد.

۱ – ۹. مدل‌های مختلف برای کمّی کردن واکنش سرعت نمو به دما و طول روز

پری و همکاران(۱۹۸۷) برای پیش‌بینی نمو فنولوژیک گندم‌های استرالیا از مدل‌های زیر استفاده کردند:

$$\left(\frac{1}{f}\right) = b0 + b1(TM) \qquad (۱-۱)$$

$$\left(\frac{1}{f}\right) = b0 + b1(TM) + b2(PM) \qquad (۱-۲)$$

$$\left(\frac{1}{f}\right) = b0 + b1(TM) + b2(PM) + b3(TM \cdot PM) \qquad (۱-۳)$$

$$\left(\frac{1}{f}\right) = a\{1 + \exp[-b(PM - t)] \cdot \{1 - \exp[-c(PM - P)]\}\} \qquad (۱-۴)$$

که در آن f طول مدت مرحله، T_M و P_M به ترتیب میانگین دما و طول روز و b_0، b_1، b2، b3، a، b، c و t ضرایب رگرسیون هستند. در میان این مدل‌ها، مدل(۲-۱) به دلیل جذر میانگین مربعات خطای کمتر به عنوان مدل برتر برای توصیف سرعت نمو انتخاب شد. در این مدل‌ها برای تکمیل یک مرحله نموی معین لازم است مجموع سرعت نمو روزانه تا رسیدن به مرحله معین برابر ۱ شود: یعنی $\sum 1/f=1$ که در آن ۱/f سرعت نمو روزانه و n تعداد روز مورد نیاز برای تکمیل یک مرحله نموی معین است.

ترابی(۱۳۸۳) سبز شدن و گلدهی ۴ رقم نخود(بیونیج، c ۹۰۹۶ ، هاشم و جم) را در ۱۲ تاریخ کاشت مورد بررسی قرار داد. وی برای کمّی کردن واکنش سرعت سبز شدن و گلدهی به دما از توابع متعددی(شامل دندان مانند[1]، دوتکه‌ای[2]، بتا[3]، منحنی[4]، سیگموئیدی[5]، مسطح[6]، درجه دوم[7] و درجه سوم[8]) و برای کمّی کردن واکنش سرعت گلدهی به طول روز از توابع نمایی منفی[9]، سیگموئیدی و درجه دوم استفاده نمود. نتایج نشان داد که برای کمّی کردن واکنش سرعت گلدهی به دما و طول‌روز تابع دندان مانند – درجه دوم و برای کمّی کردن واکنش سرعت سبز شدن به دما اکثر توابع مورد استفاده یعنی مسطح، لجستیک ، دندان مانند، بتا و منحنی مناسب بودند ولی برای هماهنگی با سرعت گلدهی تابع دندان مانند به عنوان مدل برتر انتخاب شد.

---

1. Dent-Like
2. Segmented
3. Beta
4. Curv
5. Logistic
6. Flat
7. Quadratic
8. Cubic
9. Negative Exponential