

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به

آنان که بر صفحه زندگیم، همواره عشق باریدند
صاحبان برترین مقام:

”پدر عزیز و مادر مهربانم“

ارزشمندترین نعمت‌های خداوند، که با گرمی آفتاب وجودشان،
با دریای زلال محبت‌شان و با نور چراغ عمرشان
موجب رشد و هدایت من شدند.

سپاسگزاری

اکنون که با استعانت از درگاه پروردگار منان، گامی دیگر از زندگیم را پشت سر نهادم، با خضوع و افتادگی تمام بر خود لازم می‌دانم مراتب سپاس و قدرانی صمیمانه‌ی خویش را تقدیم همه‌ی کسانی کنم که طی این مدت مرا یاری نمودند.

از اساتید راهنمای بزرگوارم، آقایان دکتر منوچهر قلی‌پور و دکتر حمید عباس‌دخت به خاطر تمام راهنمایی‌های علمی‌شان در طی مراحل انجام و تدوین پایان‌نامه نهایت تشکر و امتنان را دارم. از استاد مشاور گرانقدرم جناب آقای دکتر بهنام کامکار به خاطر تمام راهنمایی‌ها و مساعدت‌های بی‌دریغ و ارزشمندشان در طی مراحل انجام و تدوین پایان‌نامه کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم. از داوران ارجمند آقایان دکتر احمد غلامی و دکتر مکاریان،^۱ همچنین نماینده محترم تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر؟ که موجبات بهبود پایان‌نامه را فراهم آوردند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از اساتید و کارشناسان گروه زراعت؛ آقایان دکتر غلامی، دکتر اصغری، دکتر برادران، دکتر عامریان، دکتر قربانی، مهندس رحیمی، مهندس شاکری، مهندس مطهری‌نژاد و مهندس حسین‌پور تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از کارکنان مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، آقایان حسین‌پور، محمدی، شفقی و حسین‌پور به خاطر تمام کمک‌های صمیمانه و بی‌دریغشان سپاسگذارم.

از کلیه همکلاسی‌های گرم و صمیمی‌ام خانم‌ها؛ مهندس عصمت مرادی، الهام ابراز، الهام مشهدی، زهرا شیرازی، نفیسه‌السادات روضاتی، فرشته مغنی‌دامغانی، آقایان مهندس جلال امرائی و مصطفی محمدی و همچنین دوستان بسیار عزیزم خانم‌ها مهندس آرزو پورفرید، مهشید امیری، نصیبه رضوان‌طلب و کژال حیدری کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایم.

در پایان از پدر و مادر بزرگوارم، خواهر و برادران مهربانم؛ مهندس یگانه بصیری، مهندس جواد، محمد و مهدی بصیری که در طول این مدت صبورانه، صمیمی و مهربان یاریم نمودند و همواره مرا مورد لطف و محبت خود قرار دادند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

فاش می‌گویم سراسر لحظه‌های نجوای سپاسگزاریم مملو از دعاهایی است که برای سعادت‌مندی شما زیبا سیرتان دارم.

سپاسم برایتان بی‌پایان و کلامم ناتمام.

بهمن ماه ۱۳۸۷

محبوبه بصیری

فصل اول: مقدمه و کلیات

- ۱-۱. مقدمه..... ۱
- ۲-۱. اهمیت مدل سازی در گیاهان زراعی..... ۳
- ۳-۱. اهمیت ارزن مرواریدی..... ۵
- ۴-۱. ویژگی‌های مورفولوژیک و آناتومیک ارزن مرواریدی..... ۸
- ۵-۱. مرحله‌بندی رشد و نمو ارزن مرواریدی..... ۱۱
- ۶-۱. زیر مرحله‌های نه‌گانه‌ی رشد ارزن مرواریدی..... ۱۲
- ۱-۶-۱. مرحله صفر: سبز شدن..... ۱۲
- ۱-۶-۲. مرحله‌ی ۱: سه برگی..... ۱۳
- ۱-۶-۳. مرحله‌ی ۲: پنج برگی..... ۱۳
- ۱-۶-۴. مرحله‌ی ۳: تمایز پانیکل (تمایز نقطه‌ی رشد)..... ۱۴
- ۱-۶-۵. مرحله‌ی ۴: ظهور برگ پرچم..... ۱۴
- ۱-۶-۶. مرحله‌ی ۵: آبستنی..... ۱۴
- ۱-۶-۷. مرحله‌ی ۶: ۵۰ درصد گلدهی..... ۱۵
- ۱-۶-۸. مرحله‌ی ۷: شیری..... ۱۵
- ۱-۶-۹. مرحله ۸: خمیری..... ۱۵
- ۱-۶-۱۰. مرحله‌ی ۹: رسیدگی فیزیولوژیک..... ۱۵
- ۷-۱. سطح زیر کشت و تولید ارزن در جهان..... ۱۶
- ۸-۱. نیازهای اکولوژیکی و خاک مناسب جهت کشت ارزن مرواریدی..... ۱۷
- ۹-۱. عملیات کوددهی ارزن مرواریدی..... ۱۹
- ۱۰-۱. عملیات کنترل علف‌های هرز..... ۲۰

۱۱-۱. کنترل آفات و بیماری‌ها.....	۲۰
فصل دوم: بررسی منابع	
۱-۲. تاثیر عوامل محیطی بر نمو.....	۲۱
۲-۲. واکنش گیاهان به دما.....	۲۲
۳-۲. واکنش گیاهان به طول روز.....	۲۵
۴-۲. سبز شدن.....	۲۸
۵-۲. تاثیر دما و طول روز بر سرعت گلدهی.....	۳۱
۶-۲. مدل‌های مختلف برای کمی کردن واکنش سرعت نمو به دما و طول روز.....	۳۲
۷-۲. اهداف تحقیق.....	۳۶
فصل سوم: مواد و روش‌ها	
۱-۳. زمان و موقعیت محل اجرای آزمایش از نظر جغرافیایی.....	۳۸
۲-۳. ویژگی‌های آب و هوایی.....	۳۸
۳-۳. خصوصیات خاک مزرعه مورد آزمایش.....	۴۰
۴-۳. مشخصات طرح آزمایشی.....	۴۱
۵-۳. عملیات اجرایی.....	۴۱
۱-۵-۳. نقشه کشت.....	۴۱
۲-۵-۳. آماده‌سازی زمین و کوددهی.....	۴۲
۳-۵-۳. کاشت بذر ارزن مرواریدی.....	۴۲
۶-۳. عملیات داشت.....	۴۳
۱-۶-۳. مبارزه با علف‌های هرز و دفع آفات.....	۴۳
۲-۶-۳. آبیاری.....	۴۳

۴۳	۷-۳. نمونه برداری.....
۴۴	۸-۳. ارزیابی صفات مورفولوژیک.....
۴۵	۹-۳. بر آورد شاخص های رشد.....
۴۶	۱-۹-۳. شاخص سطح برگ (LAI).....
۴۶	۲-۹-۳. سرعت رشد گیاه (CGR).....
۴۶	۳-۹-۳. سرعت رشد نسبی (RGR).....
۴۷	۴-۹-۳. عملکرد علوفه تر.....
۴۷	۵-۹-۳. سرعت اسیمیلایون خالص (NAR).....
۴۷	۶-۹-۳. سطح ویژه برگ (SLA).....
۴۷	۷-۹-۳. وزن ویژه برگ (SLW).....
۴۸	۸-۹-۳. نسبت سطح برگ (LAR).....
۴۸	۹-۹-۳. نسبت سطح برگ (LAR).....
۴۸	۱۰-۳. فیلوکرون.....
۴۹	۱۱-۳. ثبت مشاهدات.....
۴۹	۱-۱۱-۳. سبز شدن.....
۴۹	۲-۱۱-۳. روز تا پنجه دهی.....
۴۹	۳-۱۱-۳. روز تا گلدهی.....
۵۰	۴-۱۱-۳. مراحل پس از گلدهی.....
۵۰	۱۲-۳. توابع، پارامترها و انتخاب مدل برتر.....
۵۵	۱۳-۳. محاسبه Tb و To با استفاده از مدل لجستیک.....

.....	۱۴-۳. محاسبه تعداد روز بیولوژیک	۵۶
.....	۱۵-۳. تجزیه و تحلیل اطلاعات	۵۷
فصل چهارم: نتایج و بحث		
.....	۱-۴. تجزیه و تحلیل رشد	۵۸
.....	۱-۱-۴. وزن خشک کل (TDW)	۵۹
.....	۲-۱-۴. شاخص سطح برگ (LAI)	۶۳
.....	۳-۱-۴. سرعت رشد محصول (CGR)	۶۷
.....	۴-۱-۴. سرعت رشد نسبی (RGR)	۷۰
.....	۵-۱-۴. سرعت جذب خالص (NAR)	۷۱
.....	۶-۱-۴. نسبت سطح برگ (LAR)	۷۳
.....	۷-۱-۴. وزن ویژه برگ (SLW)	۷۴
.....	۸-۱-۴. سطح ویژه برگ (SLA)	۷۵
.....	۹-۱-۴. نسبت وزن برگ (LWR)	۷۶
.....	۱۰-۱-۴. تعداد برگ در بوته و ساقه اصلی	۷۸
.....	۱۱-۱-۴. فیلوکرون	۸۱
.....	۱۲-۱-۴. عملکرد درهکتار	۸۴
.....	۲-۴. تخصیص ماده خشک به اندام‌های مختلف	۸۶
.....	۱-۲-۴. ضرایب توزیع ماده خشک	۸۹
.....	۴-۴. سبز شدن	۹۳

انتخاب مدل مناسب برای کمی کردن واکنش سرعت سبز شدن به دما.....	۹۵
برآورد دمای پایه برای مرحله سبز شدن.....	۹۶
تعیین تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن.....	۹۶
پنجه‌دهی.....	۹۷
پارامترهای برآورد شده مدل برای مرحله پنجه‌دهی.....	۱۰۸
تعیین تعداد روز بیولوژیک برای مرحله پنجه‌دهی.....	۱۱۲
نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....	۱۱۳
منابع مورد استفاده.....	۱۱۶

جدول ۱-۱. مراحل مختلف رشد و زمان نمو اندام‌های ارزن مرواریدی.....	۱۳
جدول ۱-۳. متوسط درجه حرارت در ماه‌های سال ۸۶-۱۳۸۵ بر حسب درجه سانتی‌گراد.....	۳۸
جدول ۲-۳. نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه.....	۴۰
جدول ۳-۳. توابع دمایی مورد استفاده در مدل‌سازی نمو فنولوژیکی.....	۵۴
جدول ۴-۳. توابع فتوسنتزی مورد استفاده در مدل‌سازی نمو فنولوژیکی.....	۵۵
جدول ۴-۱. مجموع مربعات صفات مورد بررسی در تاریخ‌های کاشت مختلف.....	۶۰
جدول ۴-۲. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در تاریخ‌های کاشت مختلف برای گیاه	
ارزن مرواریدی.....	۶۰
جدول ۴-۳. تجزیه واریانس (مجموع مربعات) صفات مورد بررسی در تاریخ‌های کاشت مختلف.....	۷۷
جدول ۴-۴. مقایسه میانگین‌های صفات مورد مطالعه در تاریخ‌های کاشت مورد مطالعه (آزمون	
LSD).....	۷۷
جدول ۴-۵. مجموع مربعات صفات مورد بررسی در تاریخ‌های مختلف کشت.....	۷۹
جدول ۴-۶. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در تاریخ‌های مختلف در شرایط	
مزرعه.....	۷۹
جدول ۴-۷. مجموع مربعات فیلوکرون در تاریخ‌های مختلف کشت.....	۸۲
جدول ۴-۸. مجموع مربعات عملکرد علوفه تر در هکتار در تاریخ‌های مختلف کشت.....	۸۵
جدول ۴-۹. مقایسه میانگین‌های عملکرد علوفه تر در تاریخ‌های مختلف	
کاشت).....	۸۶
جدول ۴-۱۰. ضرایب تخصیص ماده خشک به ساقه در تاریخ‌های کاشت مورد مطالعه.....	۹۲
جدول ۴-۱۱. ضرایب تخصیص ماده خشک به برگ در تاریخ‌های کاشت مورد	
مطالعه.....	۹۳

- جدول ۴-۱۲. مقادیر متوسط، حداقل و حداکثر روز تا سبز شدن و دمای هوا در دوره آزمایش..... ۹۳
- جدول ۴-۱۳. مجموع مربعات برای زمان از کاشت تا سبز شدن (VE)..... ۹۴
- جدول ۴-۱۴. مقایسه میانگین روز تا ۵۰ درصد سبز شدن در تاریخ‌های کشت مورد بررسی
ارزن مرواریدی..... ۹۴
- جدول ۴-۱۵. مجموع مربعات برای زمان از کاشت تا پنجه‌دهی..... ۹۹
- جدول ۴-۱۶. مقایسه میانگین روز تا ۵۰ درصد پنجه‌دهی در تاریخ‌های کشت مورد بررسی در شرایط
مزرعه..... ۹۹
- جدول ۴-۱۷. جذر میانگین مربع انحرافات ($RMSD$)، ضریب تبیین (R^2) و ضرایب a و b برای مدل‌های
مختلف توصیف کننده رابطه روز از سبز شدن تا پنجه‌دهی مشاهده شده و واقعی با دما و طول روز در
گیاه ارزن مرواریدی. در کلیه مدل‌های این جدول تابع دما از نوع درجه دوم (Q)
است..... ۱۰۲
- جدول ۴-۱۸. جذر میانگین مربع انحرافات ($RMSD$)، ضریب تبیین (R^2) و ضرایب a و b برای مدل‌های
مختلف توصیف کننده رابطه روز از سبز شدن تا پنجه‌دهی مشاهده شده و واقعی با دما و طول روز در
گیاه ارزن مرواریدی. در کلیه مدل‌های این جدول تابع دما از نوع لجستیک (L)
است..... ۱۰۲
- جدول ۴-۱۹. جذر میانگین مربع انحرافات ($RMSD$)، ضریب تبیین (R^2) و ضرایب a و b برای مدل‌های
مختلف توصیف کننده رابطه روز از سبز شدن تا پنجه‌دهی مشاهده شده و واقعی با دما و طول روز در
گیاه ارزن مرواریدی. در کلیه مدل‌های این جدول تابع دما از نوع مسطح (F) است..... ۱۰۳

جدول ۴-۲۰. جذر میانگین مربع انحرافات ($RMSD$)، ضریب تبیین (R^2) و ضرایب a و b برای مدل‌های مختلف توصیف کننده رابطه روز از سبز شدن تا پنجه‌دهی مشاهده شده و واقعی با دما و طول روز در گیاه ارزن مرواریدی. در کلیه مدل‌های این جدول تابع دما از نوع بتا (β) است..... ۱۰۳

جدول ۴-۲۱. برآورد دمای پایه (Tb)، دمای مطلوب (To)، طول روز بحرانی (Cpp) و ضریب حساسیت به طول روز ($PPsen$) برای مرحله پنجه‌دهی با مدل‌های L ، $L-Q$ ، $L-S$ ، $Q-L$ ، $Q-NE$ ، $Q-Q$ ، $Q-S$ ، $B-NE$ ، $B-Q$ ، $B-S$ ، $F-L$ ، $F-NE$ ، $F-Q$ ، $F-S$ ، $L-L$ ، $L-NE$ ، $L-Q$ ، $L-S$ ، $Q-L$ ، $Q-NE$ ، $Q-Q$ ، $Q-S$ ۱۱۰

جدول ۴-۲۲. برآورد ضریب ثابت a ، T_0 ، (P_0) ، (ap) ، (fo) و (at) برای مرحله پنجه‌دهی با مدل‌های B ، $B-Q$ ، $B-S$ ، $F-L$ ، $F-NE$ ، $F-Q$ ، $F-S$ ، $L-L$ ، $L-NE$ ، $L-Q$ ، $L-S$ ، $Q-L$ ، $Q-NE$ ، $Q-Q$ ، $Q-S$ ۱۱۱

- شکل ۱-۱. تفاوت طول گل‌آذین در انواع مختلف ارزن..... ۹
- شکل ۱-۲. گیاه ارزن مرواریدی در مرحله گرده‌افشانی..... ۹
- شکل ۱-۳. روند تغییرات طول روز (الف) و دمای حداکثر و حداقل (ب) در طی فصل آزمایش..... ۳۹
- شکل ۲-۳. تغییرات GDD از کاشت تا سبز شدن (الف)، از سبز شدن تا پنجه‌دهی (ب) در برابر طول روز در گیاه ارزن مرواریدی..... ۵۱
- شکل ۱-۴. روند تغییرات تولید ماده خشک کل در مقابل تجمع درجه روزهای رشد برای تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (۱۰ تیر (D۱)، ۲۰ تیر (D۲)، ۳۰ تیر (D۳)، ۹ مرداد (D۴)، ۱۹ مرداد (D۵)، ۲۹ مرداد (D۶))..... ۶۱
- شکل ۲-۴. روند تغییرات تولید ماده خشک کل در روزهای پس از کاشت در تاریخ‌های مورد بررسی (۱۰ تیر (D۱)، ۲۰ تیر (D۲)، ۳۰ تیر (D۳)، ۹ مرداد (D۴)، ۱۹ مرداد (D۵)، ۲۹ مرداد (D۶))..... ۶۱
- شکل ۳-۴. روند تغییرات تولید ماده خشک برگ در مقابل تجمع درجه روزهای رشد برای تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (۱۰ تیر (D۱)، ۲۰ تیر (D۲)، ۳۰ تیر (D۳)، ۹ مرداد (D۴)، ۱۹ مرداد (D۵)، ۲۹ مرداد (D۶))..... ۶۲
- شکل ۴-۴. روند تغییرات تولید ماده خشک ساقه در مقابل تجمع درجه روزهای رشد برای تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (۱۰ تیر (D۱)، ۲۰ تیر (D۲)، ۳۰ تیر (D۳)، ۹ مرداد (D۴)، ۱۹ مرداد (D۵)، ۲۹ مرداد (D۶))..... ۶۲
- شکل ۵-۴. روند تغییرات شاخص سطح برگ در مقابل تجمع درجه روزهای رشد برای تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (۱۰ تیر (D۱)، ۲۰ تیر (D۲)، ۳۰ تیر (D۳)، ۹ مرداد (D۴)، ۱۹ مرداد (D۵)، ۲۹ مرداد (D۶))..... ۶۴

- شکل ۴-۶. تغییرات سطح برگ نسبت به زمان..... ۶۵
- شکل ۴-۷. رابطه رگرسیونی بین سطح برگ و تغییرات وزن خشک کل..... ۶۶
- شکل ۴-۸. تغییرات تشعشع منطقه و سطح برگ در تاریخ‌های کاشت بررسی (۱۰ تیر (D^۱), ۲۰ تیر (D^۲), ۳۰ تیر (D^۳), ۹ مرداد (D^۴), ۱۹ مرداد (D^۵), ۲۹ مرداد (D^۶ بررسی))..... ۶۷
- شکل ۴-۹. روند تغییرات CGR در مقابل تجمع درجه روزهای رشد برای تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (۱۰ تیر (D^۱), ۲۰ تیر (D^۲), ۳۰ تیر (D^۳), ۹ مرداد (D^۴), ۱۹ مرداد (D^۵), ۲۹ مرداد (D^۶))..... ۶۸
- شکل ۴-۱۰. رابطه رگرسیونی بین سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ..... ۶۹
- شکل ۴-۱۱. شکل ۴-۱۱. مقادیر تغییرات RGR در تاریخ‌های کاشت مختلف..... ۷۱
- شکل ۴-۱۲. مقدار جذب خالص به هنگام حصول حداکثر شاخص سطح برگ..... ۷۲
- شکل ۴-۱۳. میانگین نسبت سطح برگ در زمان حصول حداکثر LAI در تاریخ‌های کاشت مختلف..... ۷۳
- شکل ۴-۱۴. میانگین وزن ویژه برگ در زمان حصول حداکثر LAI در تاریخ‌های کاشت مختلف..... ۷۴
- شکل ۴-۱۵. میانگین سطح ویژه برگ در زمان حصول حداکثر LAI در تاریخ‌های کاشت مختلف..... ۷۵
- شکل ۴-۱۶. میانگین نسبت وزن برگ در زمان حصول حداکثر LAI در تاریخ‌های کاشت مختلف..... ۷۶
- شکل ۴-۱۷. رابطه رگرسیونی بین تعداد برگ در بوته و میانگین دما..... ۸۰
- شکل ۴-۱۸. رابطه بین تعداد برگ و حداکثر شاخص سطح برگ..... ۸۰
- شکل ۴-۱۹. رابطه بین تعداد برگ و حداکثر شاخص سطح برگ..... ۸۱
- شکل ۴-۲۰. رابطه رگرسیونی تعداد برگ در ساقه اصلی با GDD در تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (۱۰ تیر (D^۱), ۲۰ تیر (D^۲), ۳۰ تیر (D^۳), ۹ مرداد (D^۴), ۱۹ مرداد (D^۵), ۲۹ مرداد (D^۶))..... ۸۳

شماره صفحه	فهرست شکل‌ها
۸۴.....	شکل ۴-۲۱. رابطه بین فیلوکرون با فتوپریود در زمان سبز شدن.....
۸۵.....	شکل ۴-۲۲. روند تغییرات عملکرد علوفه تر در تاریخ‌های کاشت مورد بررسی.....
۱۰.....	شکل ۴-۲۳. روند تغییرات ماده خشک برگ نسبت به زمان در تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (۱۰).....
۲۹.....	تیر (D۱)، ۲۰ تیر (D۲)، ۳۰ تیر (D۳)، ۹ مرداد (D۴)، ۱۹ مرداد (D۵)، ۲۹ مرداد (D۶).....
۸۸.....	شکل ۴-۲۴. روند تغییرات ماده خشک ساقه نسبت به زمان در تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (۱۰).....
۲۹.....	تیر (D۱)، ۲۰ تیر (D۲)، ۳۰ تیر (D۳)، ۹ مرداد (D۴)، ۱۹ مرداد (D۵)، ۲۹ مرداد (D۶).....
۸۸.....	شکل ۴-۲۵. روند تغییرات ماده خشک برگ نسبت به تغییرات ماده خشک کل در تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (۱۰) تیر (D۱)، ۲۰ تیر (D۲)، ۳۰ تیر (D۳)، ۹ مرداد (D۴)، ۱۹ مرداد (D۵)، ۲۹ مرداد (D۶).....
۹۱.....	شکل ۴-۲۶. روند تغییرات ماده خشک ساقه نسبت به تغییرات ماده خشک کل در تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (۱۰) تیر (D۱)، ۲۰ تیر (D۲)، ۳۰ تیر (D۳)، ۹ مرداد (D۴)، ۱۹ مرداد (D۵)، ۲۹ مرداد (D۶).....
۹۱.....	شکل ۴-۲۷. رابطه رگرسیونی بین سرعت سبز شدن و میانگین دما.....
۹۵.....	شکل ۴-۲۸. تغییرات طول روز (الف)، و دمای حداقل و حداکثر روزانه (ب) در طول فصل آزمایش.....
۹۸.....	شکل ۴-۲۹. رابطه سرعت پنجه‌دهی با دما.....
۱۰۰.....	شکل ۴-۳۰. رابطه سرعت پنجه‌دهی با طول روز.....
۱۰۰.....	شکل ۴-۳۱. مقادیر روز از سبز شدن تا پنجه‌دهی مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده با مدل‌های درجه دوم-دو تکه‌ای (Q-S)، درجه دوم-درجه دوم (Q-Q)، درجه دوم-نمایی منفی (Q-NE) و درجه دوم- لجستیک (Q-L).....
۱۰۴.....	

- شکل ۴-۳۲. مقادیر روز از سبز شدن تا پنجه‌دهی مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده با مدل‌های لجستیک-دو تکه‌ای (L-S)، لجستیک-درجه دوم (L-Q)، لجستیک-نمایی منفی (L-NE) و لجستیک-لجستیک (L-L)..... ۱۰۵
- شکل ۴-۳۳. مقادیر روز از سبز شدن تا پنجه‌دهی مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده با مدل‌های مسطح-دو تکه‌ای (F-S) و مسطح-درجه دوم (F-Q)، مسطح-نمایی منفی (F-NE) و مسطح-لجستیک (F-L)..... ۱۰۶
- شکل ۴-۳۴. مقادیر روز از سبز شدن تا پنجه‌دهی مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده با مدل‌های بتا-دو تکه‌ای (β -S) و بتا-درجه دوم (β -Q)، بتا-نمایی منفی (β -NE) و بتا-لجستیک (β -L)..... ۱۰۷

۱-۱. مقدمه

فنولوژی، مطالعه تغییرات نموی در گیاهان است که در نتیجه تغییرات فصلی و آب و هوایی در گیاهان ایجاد می‌شود (پری و همکاران، ۱۹۸۷). در واقع فنولوژی در بر گیرنده مراحل مختلف از قبیل جوانه‌زنی، سبز شدن، گلدهی، رسیدگی و بلوغ می‌باشد که تمام آنها تحت تاثیر اقلیم قرار می‌گیرند (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۱). درک پیش‌بینی فنولوژی گیاهان، اساس و پایه مدیریت زراعی به حساب می‌آید. دانش نمو فنولوژیکی در درک رشد محصول، پتانسیل عملکرد و پیش‌بینی فنولوژی مهم است (همر و همکاران، ۱۹۸۲). مطالعه فیزیولوژی نمو برای دانستن جنبه‌های فیزیولوژیکی و بوم‌شناختی عملکرد گیاه امری ضروری بشمار می‌آید، زیرا اثرات عوامل محیطی روی رشد و عملکرد گیاه بر اساس مراحل نموی که طی آنها این عوامل عمل می‌کنند، متفاوت است. به عبارت دیگر، عملکرد دانه در برخی مراحل نموی حساسیت بیشتری به عوامل محیطی نسبت به دیگر مراحل دارد. نمو گیاه به عنوان یک متغیر وضعیت شناخته می‌شود که نقش بسیار مهم و تعیین‌کننده‌ای در کارکرد و عملکرد گیاه ایفا می‌کند. کمی‌سازی تولید و ارایه راهکارهایی که بتواند فصل رشد گیاه را با بهترین شرایط محیطی موثر بر عملکرد منطبق سازد، نیازمند درک ارتباط مراحل نمو گیاه با عوامل اقلیمی است. اولین قدم برای به حداکثر رسانیدن عملکرد در مدیریت تولید یا اصلاح ژنتیکی گیاه این است که مطمئن شویم فنولوژی گیاه زراعی با منابع محیطی بخوبی تطبیق دارد. اگر گیاهان کشت شده از نظر تاریخ کاشت و تراکم در یک محیط معین محدودیتی نداشته باشند می‌توان گفت که تنها عامل موثر بر عملکرد گیاهان، مدت زمان تا گلدهی است (سامرفیلد و همکاران، ۱۹۹۱). تاریخ‌کشت نامناسب موجب قرار گرفتن مراحل مختلف نموی در زمان نامناسب می‌شود که نتیجه آن کاهش عملکرد (لوس و همکاران، ۱۹۹۰) و ایجاد مشکلات زراعی مثل تاخیر در کاشت محصول بعدی خواهد شد. در واقع، یکی از مهمترین عوامل موثر بر عملکرد گیاهان زراعی، انتخاب تاریخ کاشت مناسب و فراهم کردن شرایط مناسب برای جوانه زنی و سبز شدن سریع، یکنواخت و کامل بذرها، همراه با تولید

گیاهچه‌های قوی و استقرار خوب گیاهچه‌ها به منظور تولید محصول بیشتر گیاهان است (ابانوسکی و همکاران، ۲۰۰۰).

انجام آزمایشات و تحقیقات علمی برای تولید محصولات زراعی و یافتن شرایط مطلوب رشد، مستلزم هزینه‌های گزاف و صرف دقت زیاد است و این بخصوص برای کشورهای در حال توسعه به علت کمبود امکانات و پژوهشگر دشوار می‌باشد. امروزه با استفاده از مدل‌های زراعی و امکانات گسترده‌ای که در زمینه نرم‌افزارهای کامپیوتری فراهم شده و با پیدا کردن روابط بین فرایندهای رشد به منظور تولید محصولات زراعی و یافتن شرایط مطلوب رشد از طریق این قبیل برنامه‌ها می‌توان به نتایج قابل توجهی دست یافت و آنها را برای شرایط دیگر تعمیم داد و وضع جدید را پیش‌بینی کرد. این مدل‌ها محدودیت‌های جغرافیایی و محیطی را کاهش داده و برای ارقام مختلف گیاهان زراعی قابل تعمیم می‌باشند (کوچکی و بنایان، ۱۳۷۵).

به طور کلی، ظهور مدل‌های شبیه‌سازی، ابزار مفیدی در جهت افزایش کارایی برنامه‌های اصلاحی گیاهان زراعی محسوب می‌شوند. در واقع این مدل‌ها اساسی را برای بررسی پتانسیل اصلاحات ژنتیکی در گیاهان فراهم می‌کنند. این مدل‌ها، برای پیشگویی عملکرد و ارزیابی کارایی گیاه زراعی در محیط‌های مختلف، اطلاعاتی را در اختیار می‌گذارند. استفاده از این مدل‌ها بسیار سریع بوده و با در نظر گرفتن گیاه زراعی به عنوان یک سیستم پویا امکان پیش‌بینی تغییرات این سیستم نسبت به زمان را فراهم می‌آورد. علاوه بر آن از این مدل‌ها می‌توان در معرفی گیاهان جدید در یک منطقه نیز استفاده کرد. پیش‌بینی برای وضعیت تولید مواد غذایی در یک منطقه یا جهان و اتخاذ سیاست‌های لازم با توجه به تغییرات محیطی نیز از دیگر مزایای مدل‌سازی است (کوچکی و بنایان، ۱۳۷۵؛ امام و نیک‌نژاد، ۱۳۷۳). در همین راستا نیز با استفاده از داده‌های سال‌های گذشته‌ی آب و هوا و مدل شبیه‌سازی گیاهان زراعی می‌توان برای آزمون عملکرد یک ژنوتیپ در محیطی معین استفاده کرد. نوسان عملکردهای شبیه‌سازی شده در سال‌های مختلف، تخمینی از ریسکی است که کشاورز با کشت ژنوتیپ مربوط مواجه خواهد شد. این گونه مطالعات موجب انتخاب ژنوتیپ‌های برتر می‌شود. مدل‌های

گیاهی، روشی ارزانتر و سریعتر را ارائه می‌دهند و قادرند به سادگی روش‌های متفاوت را ارزیابی نمایند. این مدل‌ها قادرند روندهای آتی افزایش عملکرد را معین کرده و عملیات مناسب برای به حداقل رسانیدن اثرات مضر محیط مثل استفاده از گیاهان مناسب، ارقام سازگار و تغییر در عملیات مدیریتی را ارائه دهند. بدین ترتیب از مدل‌های ساده که استفاده و تفسیر آن آسان می‌باشد به صورت موفقیت‌آمیزی برای بررسی پتانسیل عملکرد و محدودیت‌های محیطی، ژنتیکی و مدیریتی مربوط به آن استفاده شده است.

کمی‌سازی فنولوژی یک گیاه دشوارترین و در عین حال مهمترین جزء ساخت مدل‌های 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 پاسخ گیاهان به عوامل اقلیمی را در شرایط متفاوت به درستی در اختیار قرار دهند، واجد اهمیت بوده و می‌تواند زمینه را برای دست یافتن به مدیریت‌های زراعی کارآمد فراهم نماید.

۱-۲. اهمیت مدل سازی در گیاهان زراعی

مدل ابزاری است که ما را در تفسیر و درک دنیایی که در آن زندگی می‌کنیم، یاری می‌کند. دانشمندان و مهندسين از انواع مدل‌ها به عنوان ابزاری برای درک پدیده‌های مورد مطالعه استفاده می‌کنند. مدل ریاضی، در اصل معادله یا مجموعه‌ای از معادلات است که رفتار هر سیستم را به طور کمی توصیف می‌کند. سیستم، به بخش محدودی از جهان واقعی اطلاق می‌شود که شامل بخش‌هایی است که اثرات متقابل با هم داشته و تغییر می‌کنند (کوچکی و بنایان، ۱۳۷۵؛ امام و نیک‌نژاد، ۱۳۷۳). مدل شبیه‌سازی یک گیاه، نمایش ریاضی فرآیندهای فیزیولوژیکی رشد و نمو گیاه است (نصیری محلاتی، ۱۳۷۶). مدل‌ها را می‌توان برای شبیه‌سازی تولید محصول، مصرف آب برای مناطق جدید، محصولات یا ارقام مختلف و عملیات و تکنیک‌های مدیریتی متفاوت قبل از شروع برنامه‌های بزرگ

استفاده کرد؛ از آنها همچنین می‌توان برای تعیین اثر تغییرات سالانه آب و هوا بر گیاه خیلی سریعتر از روش‌های متداول استفاده نمود.

گاهی اوقات می‌توان شبیه‌سازی را جایگزین آزمایشات مزرعه‌ای کرد و بدین ترتیب دورنمای نتایج آزمایشی مزرعه‌ای را وسیع‌تر و عمیق‌تر ساخت (کوچکی و بنایان، ۱۳۷۵). از مدل‌ها می‌توان در بهبود مدیریت تولید گیاهان زراعی، برای پیش‌بینی تاریخ‌های احتمالی برداشت یا پیش‌بینی عملکرد نهایی، یا به صورت فعال‌تر، برای پیش‌بینی مطمئن زمان وقوع حوادث فنولوژیکی استفاده نمود. در نتیجه کود، تنظیم‌کننده‌های رشد، نیتروژن، علف‌کش‌ها و کنترل بیماری‌ها در مناسب‌ترین زمان به کار گرفته شوند. بسیاری از مدل‌سازان از مدل‌های خود به عنوان وسیله‌ای برای ارزیابی خطرات موجود در تولید استفاده کرده‌اند. این امر با بررسی واکنش عملکرد (مدل) با آمار دراز مدت اقلیمی یک منطقه صورت می‌گیرد و در نتیجه‌ی آن بهترین تاریخ کاشت، تراکم، فاصله ردیف، رقم زراعی و غیره تعیین می‌شود. از مدل‌ها می‌توان در بررسی کمی اثر ویژگی‌های زراعی بر روی رشد و عملکرد گیاهان در محیط‌های خاص استفاده کرد. در مورد مسائل به‌نژادی گیاهان زراعی همچون دوره‌گیری، دیررسی و زودرسی، بهبود دانه بستن، مرفولوژی گل‌ها، افزایش رشد تک‌تک دانه‌ها و زمان گلدهی می‌توان از مدل‌ها استفاده کرد.

تعیین پتانسیل عملکرد منطقه‌ای، کمک به مدیریت آبیاری و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم از کاربردهای دیگر مدل‌سازی می‌باشد (پری و همکاران، ۱۹۸۷؛ امام و نیک‌نژاد، ۱۳۷۳؛ کوچکی و بنایان، ۱۳۷۵). استفاده از مدل‌سازی گیاهان زراعی همراه با به کارگیری آمار هواشناسی دراز مدت این امکان را می‌دهد که ارزش صفات مختلف به صورت کمی برآورد گردد. پیش‌بینی صحیح فنولوژی گیاهان یک نیاز اصلی برای شبیه‌سازی گیاهان است. تولید و تخصیص ماده خشک در مدل‌های شبیه‌سازی تا حد زیادی به وسیله زمان‌بندی مراحل فنولوژیکی تعیین می‌شود. به طور کلی پیش‌بینی نمو فنولوژیکی گیاهان، تعیین‌کننده کاربرد مفید مدل‌سازی در مطالعه سازگاری گیاهان است.

۱-۳. اهمیت ارزن مرواریدی

ارزن مرواریدی یک غله روز کوتاه است که از آن به عنوان گیاه تابستانی برای مصرف علوفه‌ای و دانه‌ای از دیر باز در بسیاری از کشورهای گرمسیر جهان کشت می‌شده است. پیشرفت‌های تازه در دورگه‌گیری از این گیاه، منجر به معرفی واریته‌های جدید و سودمندی شده است که برای کشت در مناطق خشک مناسب است.

سازگاری و مقاومت این گیاه به شرایط نامساعد محیطی موجب گسترش آن در بسیاری از کشورهای گرمسیر جهان، از غرب آفریقا تا شبه قاره هند شده و آنرا به صورت یک گیاه زراعی مهم در آورده است. دانه این گیاه علاوه بر مصرف علوفه‌ای دام و طیور، در جیره غذایی حدود ۵۰۰ میلیون نفر از مردم کره زمین وارد شده است. با اینکه بیش از نیمی از سطح زیر کشت ارزن مرواریدی مربوط به توده‌های محلی می‌باشد، هر ساله واریته‌ها و هیبریدهای جدیدی به زارعان معرفی می‌گردد (راشد محصل، ۱۳۷۶).

مهم‌ترین گونه‌های مورد کشت ارزن عبارتند از: ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica*)، ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum*)، ارزن پروسو یا ارزن معمولی (*Panicum miliaceum*)، ارزن ژاپنی (*Echinochola crus-galli*)، ارزن انگشتی (*Eleusine coracana*)، ارزن نوک‌قهوه‌ای (*Panicum ramosum*)، ارزن کودا (*Paspalum scrobiculatum*) و ارزن تف (*Eragrostis tef*) است. ارزن مرواریدی (*pennisetum glaucum*) گیاهی دیپلوئید ($2n=14$) از خانواده غلات و زیرخانواده گرامینه و جنس *Pennisetum* که شامل بیش از ۱۴۰ گونه در دنیای قدیم و دنیای جدید می‌باشد. ارزن، گیاهی است که دارای دانه‌های خیلی کوچک بوده و دانه‌های آن از دانه ذرت خوشه‌ای به مراتب کوچک‌تر می‌باشد و به همین علت به غله دانه ریز معروف است (ناصر خدابنده، ۱۳۷۱). بیشتر تیپ‌های مورد کشت این گیاه، یکساله و دگرگشن است و منشاء آن در منطقه گرمسیری غرب آفریقا است، جایی که بیشترین تعداد ارقام زراعی خویشاوند با انواع وحشی یافت می‌شود. بر اساس توزیعی که امروزه وجود دارد، برونکن و همکاران (۱۹۷۷) عقیده دارند که باید ناحیه ساحل غرب

آفریقا منشاء، موطن و محل به وجود آمدن ارزن مرواریدی باشد. همچنین چین و مغولستان هم به عنوان موطن تعدادی از ارزن‌ها به حساب می‌آیند.

ارزن می‌تواند تحت سخت‌ترین شرایط زراعی، از جمله در نواحی بسیار کم‌آب، جایی که حاصلخیزی خاک کم است و مقدار عناصر غذایی قابل دسترس گیاه به مقدار بارندگی بستگی دارد، نیز عملکرد قابل قبولی تولید نماید. ارزن مرواریدی در مقایسه با سایر غلات، ششمین غله مهم بعد از گندم، برنج، ذرت، جو و سورگوم می‌باشد. در هندوستان کشوری که نزدیک به یک میلیارد نفر جمعیت دارد، ارزن مرواریدی چهارمین غله مهم بعد از برنج، گندم و سورگوم می‌باشد.

این گیاه در ایران و دیگر کشورهای برخوردار از اقلیم گرم که سابقه تاریخی زیادی در امر زراعت دارند به مقدار زیاد کاشته می‌شود و زراعت آن در مصر به زمان‌های دور باز می‌گردد. در ایران نیز، ارزن قبلا کشت می‌شده است و مهمترین مناطق کاشت آن، استان‌های خراسان، مازندران و کرمان هستند. ارزن در برخی از کشورهای اروپایی نیز از قدیم برای تغذیه انسان، حیوانات و به خصوص پرندگان به مقدار زیاد کاشته می‌شد و در گذشته‌های دور سطح زیر کشت بالایی داشته و از اهمیت اقتصادی بسیار بالایی برخوردار بوده است. ولی با پیدایش گیاهان دیگر از جمله، ذرت و سیب زمینی، سطح زیر کشت آن رو به کاهش نهاده است. از این رو در رابطه با فیزیولوژی محصول، ژنتیک و تولید محصول، اطلاعات قابل دسترس بسیار کمتر از دیگر غلات می‌باشد. اما با توجه به افزایش درجه سازگاری و بیشتر شدن عملکرد احتمالا نقش آن به عنوان غذا بیشتر مورد توجه واقع خواهد شد (راشد محصل، ۱۳۷۶).

ارزن مرواریدی گونه‌ای از نباتات علوفه‌ای است که در قیاس با ذرت علوفه‌ای، در زمین‌های نامرغوب نیز قابل کشت بوده و عملکرد بالاتری دارد. این گیاه از رشد سریعی برخوردار بوده و علوفه‌ای مغذی و بسیار مورد توجه دام تولید می‌کند. از این رو می‌تواند جایگزین غلات علوفه‌ای یا دانه‌ای گردد که رشد و نمو آنها بر اثر عوامل نامساعد محیطی با شکست مواجه می‌شود. ارزن نوتروفید، هیبریدی (دو رگه‌ای) از ارزن‌های با منشاء آفریقا است که به دلیل دارا بودن صفاتی همچون تولید بالا

در تابستان، فقدان اسید پروسیک (اسیدی که سبب ایجاد مسمومیت در دام می‌شود)، خوشخوراکی فوق‌العاده و توانایی تحمل کم‌آبی و مقاومت در مقابل آفات و بیماری‌ها می‌تواند بر سایر نباتات علوفه‌ای ارجحیت داشته باشد.

در بین غلات، ارزن بیشترین کارایی مصرف آب را داراست. این نبات علوفه‌ای با دارا بودن خاصیت سبزخوری، قابلیت استفاده چرای مستقیم را نیز دارا است. با کشت این محصول در اراضی نامرغوب و با نیاز مراقبتی کمتر، تناژ بیشتری از محصول را می‌توان بدست آورد. این محصول دارای ۱۸ تا ۲۲ درصد پروتئین خام است، همچنین مقدار ویتامین A در این گیاه بیش از ذرت و سایر غلات گرمسیری می‌باشد. به همین دلیل در بین سایر گیاهان علوفه‌ای موجود از قبیل سورگوم، یونجه، ذرت، شبدر و ترتیکاله (تلاقی گندم و چاودار) شاخص است. انواع مختلف ارزن به دلیل کوتاه بودن فصل رشد و شاید داشتن پاره‌ای از خصوصیات، به آب کمتری نیاز دارند و در شرایط نامساعد میحیطی مثل عدم حاصلخیزی خاک، کمبود بارندگی و بالا بودن دما، بیشتر از سایر غلات، محصول تولید می‌کنند (شریفی جهان‌تیغ، ۱۳۸۵). این گیاه را در دنیا به جز به صورت تک‌کشتی، بیشتر به صورت مخلوط و همچنین به صورت کشت ثانویه بعد از غلات زمستانه کشت می‌کنند.

همان‌طور که اشاره شد ویژگی درخور توجه زراعت ارزن، دوره رشد کوتاه آن است. به طوری که ارزن‌های علوفه‌ای در ۶۵ تا ۷۰ روز به مرحله بلوغ می‌رسند. ارزن را می‌توان هنگامی کشت کرد که بیشتر محصولات زراعی دیگر تاریخ کاشت آنها گذشته باشد. ارزن مرواریدی را می‌توان از اواسط فروردین تا اوایل مرداد ماه به میزان ۲/۵ تا ۸ کیلوگرم در هکتار بذر، تقریباً در هر خاکی کشت نمود. ارزن به دلیل فصل رشد کوتاه و عملکرد بالا، گیاه مهمی است که برای تولید گاوهای شیری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ارزن علوفه‌ای در تناوب با سیب‌زمینی قرار می‌گیرد و نقش کنترل بیولوژیکی نماتد ریشه سیب‌زمینی را ایفا می‌کند (فریبورگ، ۱۹۹۵؛ چامبلیس، ۱۹۹۹). فرآورده‌های حاصل از ارزن‌ها در تغذیه‌ی میلیون‌ها نفر از جمعیت دنیا، به ویژه در کشورهای در حال رشد و رشد نیافته، مورد استفاده قرار می‌گیرند. به همین دلیل، ارزن‌ها را غلات مردمان فقیر نامیده‌اند. آن‌ها به صورت

آرد در تهیه نان و کیک، در مخلوط با حبوبات در تغذیه‌ی انسان و همچنین به صورت دانه و کنجاله در تغذیه‌ی طیور و دام به مصرف می‌رسند.

۴-۱. ویژگی‌های مورفولوژیک و آناتومیک ارزن مرواریدی

ارزن مرواریدی یک گرامینه زراعی درشت، خشن و پابند است و به عنوان یک غله مناسب برای کشاورزان خرده‌پا در مناطق کم‌باران و یا در خاک‌های فقیر استوایی، به ویژه در آفریقای مرکزی و هندوستان، مورد زراعت قرار می‌گیرد. حساسیت کم ارزن مرواریدی نسبت به نوع خاک و میزان آب قابل مصرف، از مهمترین مزایای زراعت آن در مناطق گرمسیری خشک به شمار می‌رود. ارزن مرواریدی گیاهی است به فرم ایستاده و با توانایی پنجه‌زنی زیاد و یکساله است. پنجه‌دهی در ارزن مرواریدی یک عامل کلیدی برای سازگاری گیاه به شرایط محیطی می‌باشد. گیاه می‌تواند عملکرد کم خود در ساقه اصلی را توسط پنجه‌های اضافی جبران کند (جونز، ۱۹۸۵). پنجه‌زنی حدود ۱۳ تا ۴۰ روز بعد از کاشت شروع می‌گردد و تعداد پنجه ممکن است به ۴۰ عدد برسد. یاخته‌های آغازین پنجه‌ها که در زاویه‌ی برگ‌های پائینی قرار دارند، به وسیله غلاف برگ‌ها در بر گرفته شده‌اند و به طور متناوب در طرفین ساقه ظاهر می‌شوند. در برخی از وارسته‌ها، پنجه‌های گره‌ی از گره‌های بالاتر ساقه، حتی بعد از گرده‌افشانی و لقاح نیز ظاهر می‌شوند (کاظمی اربط، ۱۳۷۸).

ارتفاع ارقام ارزن در حدود ۰/۵۰ تا ۳ متر بوده و در مدت ۵۰ تا ۱۸۰ روز می‌رسند (جونز، ۱۹۸۵). گیاه ارزن مرواریدی دارای گل‌آذین طویل و باریک بوده، و بسته به نوع وارسته طول آن، بین ۱۴۰-۱۵ سانتی‌متر تغییر می‌کند (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱. تفاوت طول گل آذین در انواع مختلف ارزن

به علت آنکه گل آذین آن استوانه‌ای و طویل و شبیه شمع می‌باشد، به ارزن شمعی موسوم شده است. گل آذین ارزن مرواریدی حدود ده هفته بعد از کاشت ظاهر می‌شود و پرچم‌های گل بعد از کلاله و خامه ظاهر می‌گردند. بنابراین ارزن مرواریدی پروتوزینوس است و به شدت می‌تواند دگرگرده‌افشان باشد. البته، خودگرده‌افشانی نیز امکان‌پذیر است (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲. گیاه ارزن مرواریدی در مرحله گرده‌افشانی

در محدوده معینی، رطوبت نسبی بالا و دمای پائین، گلدهی و گرده‌افشانی را تشدید می‌کنند. دانه‌ها به فاصله ۸ روز بعد از ظهور گل آذین تشکیل می‌شوند و بعد از یک ماه نیز می‌رسند. این امر نشان می‌دهد که فاصله‌ی بین ظهور گل آذین و رسیدن دانه در حدود چهل روز است. دانه یا میوه‌ی تشکیل شده‌ی ارزن مرواریدی همانند سایر غلات گندمه می‌باشد. دانه‌های آن مخروطی شکل و لخت

هستند. دانه‌ی ارزن‌ها، به استثنای دانه‌های ارزن‌مرواریدی، دارای غلافی متشکل از لما و پالنا هستند (آرنون، ۱۹۷۲).

وزن هزار دانه آنها ۴ تا ۸ گرم است. دانه‌ها بر روی گل‌آذینی متناوب، متراکم و استوانه‌ای به قطر ۱ تا ۷ سانتی‌متر تشکیل می‌شود. بذرها به رنگ سفید، زرد، خاکستری یا آبی روشن بوده و هر گل‌آذین ۹۰۰ تا ۳۰۰۰ دانه دارد (جونز، ۱۹۸۵). مقدار بذر لازم برای برداشت علوفه ۵ تا ۱۵ کیلوگرم در هکتار است (گیل، ۱۹۶۹). زمان لازم برای جوانه‌زنی دانه‌ها در حدود ۵ روز است و دوره دورمانسی آنها چند هفته بعد از برداشت مرتفع می‌شود.

برگ‌ها دراز و به طول ۱۰۰-۵۰ سانتی‌متر و به عرض ۷-۵ سانتی‌متر می‌باشند (گیل، ۱۹۶۹). برگ‌های آن همانند سورگوم دارای لبه‌اره‌ای و کرک‌دار بوده و در دو ردیف در طرفین ساقه قرار دارند. غلاف برگ بلند و لبه‌های آن در بخش پائینی به هم چسبیده و در بخش بالایی باز هستند. پهنک برگ می‌تواند صاف یا کرک‌دار بوده و دارای یک زبانک کوتاه باشد. رگ‌برگ اصلی برگ ارزن قطور بوده و در ممانعت از افتادگی یا آویزانی برگ نقش دارد. حداکثر شاخص سطح برگ در زمان ظهور گل‌آذین بدست آمده و سطح برگ در طول نمو دانه کاهش می‌یابد.

عمق نفوذ ریشه‌ی ارزن‌مرواریدی ممکن است از ۲ متر فراتر رود. در این گیاه سه نوع ریشه دیده می‌شود: ۱- ریشه‌ی اولیه یا رادیکل که تنها ریشه‌ی سمینال ارزن‌مرواریدی را تشکیل می‌دهد. ۲- ریشه‌های نابجا که از گره‌های پایه‌ای ساقه در زیر خاک به وجود می‌آیند. ۳- ریشه‌های مهارکننده یا گره‌ی ریشه‌هایی هستند که همانند ذرت و سورگوم از چندین گره بالای خاک ساقه نشأت می‌گیرند.

ریشه‌ی اولیه یا ریشه‌چه (رادیکل) محوری باریک دارد و به راحتی می‌توان آن را از سایر ریشه‌ها شناسایی کرد. این ریشه می‌تواند به فاصله‌ی ۴-۳ روز بعد از ظهور، انشعابات ظریف داشته باشد. ریشه‌ی سمینال فقط به مدت ۶۰-۴۵ روز فعال است و بعد از آن از بین می‌رود. ریشه‌های نابجا حدود ۷-۶ روز پس از جوانه‌زنی ظاهر می‌شوند. قطر آنها درشت‌تر از ریشه‌ی سمینال است. این

ریشه‌ها انشعابات متعدد ثانوی و ثالث نیز دارند و تا مراحل نهایی رشد نیازهای غذایی و رطوبتی گیاه را برآورده می‌کنند. همچون دیگر غلات، عمده ریشه‌ها و بیشترین گسترش جانبی آنها در ۳۰ سانتی‌متر فوقانی خاک دیده می‌شود و طول ریشه‌ها در زمان گرده افشانی به حداکثر خود می‌رسد (کاظمی اربط، ۱۳۷۸).

۵-۱. مرحله‌بندی رشد و نمو ارزن مرواریدی

چرخه‌ی زیستی ارزن مرواریدی به سه مرحله‌ی عمده و ۹ زیر مرحله تقسیم می‌شود (مایتی و بیدینگر، ۱۹۸۱). آشنایی با این مراحل از نظر مدیریت مزرعه، انجام طرح‌های پژوهشی و مقایسه‌ی آن با چرخه‌ی زیستی سایر غلات بسیار ارزشمند است. مراحل سه‌گانه رشد عبارتند از:

۱- مرحله‌ی رشد رویشی اول: این مرحله از زمان کاشت تا تمایز پانیکل در ساقه اصلی (۲۵ روز) به طول می‌انجامد. در این مرحله، بوته در خاک استقرار می‌یابد، سیستم ریشه سمینال و نابجا تشکیل و برگ‌ها متمایز می‌شوند. در وارپته‌های زودرس، ۷-۶ برگ تا پایان این مرحله به طور کامل گسترش می‌یابد. جوانه‌های پنجه تا پایان این مرحله تشکیل می‌شوند.

۲- مرحله‌ی نمو پانیکل یا مرحله رویشی دوم: این مرحله شامل زیر مرحله‌های ۵، ۴ و ۶ است که در حدود ۲۱-۲۲ روز به طول می‌انجامد. بقیه برگ‌ها در این مرحله گسترش می‌یابند. برگ‌های گسترش یافته‌ی قبلی ممکن است پژمرده شده و از بین بروند. در طول ساقه‌رفتن، برخی از اجزاء و فرآیندهای مربوط به تشکیل پانیکل گیاه از جمله نمو سنبلچه‌ها، گلچه‌ها، گلوم‌ها، مادگی، پرچم، گلدهی و گرده‌افشانی، دستخوش تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی قابل توجه می‌شوند.

۳- مرحله پرشدن دانه یا مرحله رویشی سوم: زمان لازم برای انجام این مرحله در حدود ۲۳-۲۴ روز است که با فرآیند لقاح گلچه‌ها در ساقه‌ی اصلی آغاز و تا رسیدگی فیزیولوژیکی دانه و پژمرده

شدن و مرگ برگ‌های پائینی ادامه می‌یابد. به طوری که، در مرحله‌ی رسیدگی فیزیولوژیکی فقط ۲ تا ۴ برگ انتهایی سبز باقی می‌مانند. در این موقع یک لایه‌ی سیاه‌رنگ در قسمت ناف دانه تشکیل می‌شود. طول دوره‌ی هر یک از این سه مرحله‌ی اصلی می‌تواند تا حدودی تحت تاثیر شرایط محیطی مانند طول روز، دما و... قرار بگیرد.

۱-۶. زیر مرحله‌های نه‌گانه‌ی رشد ارزن مرواریدی

مراحل مختلف چرخه‌ی رشد ارزن مرواریدی را می‌توان به نه زیر مرحله به شرح جدول (۱-۱) تقسیم کرد (مایتی و بیدینگر، ۱۹۸۱). مشخصات هر یک از این مرحله‌ها عبارتند از:

۱-۶-۱. زیر مرحله صفر: سبز شدن

زمان لازم از کاشت تا سبز شدن تحت تاثیر عمق کاشت، دما و رطوبت خاک قرار می‌گیرد. درجه‌حرارت بالا سرعت جوانه‌زنی را افزایش داده و اختلاف تاریخ جوانه‌زنی و سبز شدن را کاهش می‌دهد. به طور کلی بعد از حدود ۱۲ ساعت پس از جذب آب، ریشه‌چه از ناحیه ناف ظاهر شده و به طرف پائین رشد می‌کند و از آن تارهای کشنده منشعب می‌شوند. حدود دو یا سه هفته بعد، ساقه‌چه، در سطح خاک نمایان می‌شود.

جدول ۱-۱. مراحل مختلف رشد و زمان نمودارهای ارزشن مرواریدی (با اقتباس از مایتی و بیدینگر، ۱۹۸۱).

مرحله رشد	ویژگیهای قابل شناسایی	تعداد تقریبی روز بعد از سبز شدن
۰	قابل رویت بودن ساقه‌چه در سطح خاک	۰
۱	قابل رویت بودن سومین برگ	۶
۲	قابل رویت بودن پنجمین برگ	۱۴-۱۵
۳	تمایز پانیکل و تشکیل آپکس گنبدی شکل	۲۳-۲۴
۴	قابل رویت بودن آخرین برگ (برگ پرچم)	۳۸-۳۹
۵	ظهور پانیکل از غلاف برگ پرچم	۴۰-۴۱
۶	ظاهر شدن ۵۰ درصد مادگی	۴۵-۴۶
۷	مرحله‌ی شیری	۵۵
۸	مرحله خمیری	۶۳-۶۴
۹	تشکیل لایه‌ی سیاه‌رنگ یا رسیدگی فیزیولوژیکی	۷۰

۱-۶-۲. زیر مرحله‌ی ۱: سه برگی

حدود ۵ روز پس از ظاهر شدن ساقه‌چه در سطح خاک، پهنک سومین برگ قابل رویت می‌شود. اولین برگ به طور کامل گسترش می‌یابد و دومین برگ نیز در بخش پایه تا حدودی لوله‌ای شکل و پیچ خورده به نظر می‌رسد. ریشه‌ی سمینال رشد می‌کند، انشعابات ریز و ظریف از آن ظاهر می‌شود و یک یا دو عدد ریشه‌ی نابجا نیز در این موقع قابل رویت می‌شوند.

۱-۶-۳. زیر مرحله‌ی ۲: پنج برگی

حدود دو هفته بعد از سبز شدن، پهنک پنجمین برگ ظاهر می‌شود و اولین و دومین برگ به طور کامل گسترش می‌یابند. سومین برگ تا حدودی به صورت تاب‌خورده دیده می‌شود و نقطه رشد انتهایی به وسیله‌ی آغازه‌های برگ به طور کامل پوشیده می‌شود. ریشه‌ی سمینال کاملاً گسترش

یافته و دارای انشعابات نسبتاً طولی می‌باشد. ریشه‌های نابجا قابل رویت هستند و برگ‌های پنجه‌ها نیز ممکن است از داخل برگ‌های پائینی ظاهر و قابل رویت شوند.

۱-۶-۴. زیر مرحله ۳: تمایز پانیکل (تمایز نقطه‌ی رشد)

در این زیر مرحله تغییر از حالت رویشی به حالت زایشی رخ می‌دهد. کلیه برگ‌ها در این مرحله تشکیل شده‌اند، به طوریکه شش تا هفت عدد از آنها به طور کامل گسترش یافته‌اند و بقیه در مراحل مختلف رشد خود هستند. به دنبال تمایز پانیکل، نقطه‌ی رشد بر اثر دراز شدن نسبی دو تا سه عدد از میانگره‌ها، بالاتر از سطح خاک قرار می‌گیرد. با تشکیل انشعابات و رشد سریع‌تر، ریشه‌های نابجا پرپشت و متراکم می‌شوند. تعدادی پنجه نیز در این موقع قابل رویت می‌شوند.

۱-۶-۵. زیر مرحله ۴: ظهور برگ پرچم

پهنک برگ پرچم در داخل برگ تاب‌خورده‌ی ماقبل خود قابل رویت می‌باشد. میانگره‌های پائینی دارای کوتاه‌ترین میانگره‌ها هستند و طول آن‌ها به طرف انتهای ساقه به طور متناوب درازتر می‌شود. گل‌آذین نیز در این موقع در داخل غلاف آخرین برگ و همچنین ماقبل آن قرار دارد.

۱-۶-۶. زیر مرحله ۵: آبستنی

پانیکل در این زیر مرحله در داخل غلاف برگ پرچم قرار دارد. آن هنوز از یقه‌ی برگ خارج نشده است و دارای حداکثر رشد عرضی و طولی است. به دنبال آبستنی، پانیکل از غلاف برگ پرچم خارج و پدانکل (آخرین میانگره ساقه) دراز می‌شود.

۱-۶-۷. زیر مرحله ۶: ۵۰ درصد گلدهی

به طوری که قبلا اشاره شد، ارزن مرواریدی پروتوزینوس است. یعنی مادگی قبل از رسیدن و بلوغ ارگان نر، آماده پذیرش دانه‌ی گرده می‌شود. مادگی در حدود ۵-۳ روز بعد از ظهور پانیکل ظاهر می‌گردد. ظاهر شدن مادگی از وسط پانیکل شروع و به طرف بالا و پائین آن ادامه می‌یابد. مادگی‌ها به مدت چندین روز می‌توانند آمادگی پذیرش دانه‌ی گرده را داشته باشند. ولی، به محض لقاح به فاصله‌ی چند ساعت پژمرده و چروکیده می‌شوند. ظاهر شدن پرچم‌ها نیز از انتهای پانیکل صورت می‌گیرد و به طرف پائین گل‌آذین ادامه می‌یابد. در این حالت، ظهور مادگی تکمیل شده است.

۱-۶-۸. زیر مرحله ۷: شیری

به فاصله‌ی ۷-۶ روز بعد از باروری (لقاح)، دانه‌ها به سرعت رشد می‌کنند و در داخل گلچه‌ها، به حالت شیری در می‌آیند. مواد نشاسته‌ای آندوسپرمی در این موقع در داخل پوست دانه تجمع پیدا می‌کند و مواد خشک دانه‌ها به شدت افزایش می‌یابد و دانه وارد مرحله‌ی خمیری می‌شود.

۱-۶-۹. زیر مرحله ۸: خمیری

در این مرحله، محتوای شیری شکل دانه به تدریج به خمیری تبدیل می‌شود. حالت خمیری نیز با از دست دادن آب و افزایش ماده‌ی خشک به سمت سخت شدن گرایش پیدا می‌کند.

۱-۶-۱۰. زیر مرحله ۹: رسیدگی فیزیولوژیکی

موقعی که یک لایه‌ی سیاه‌رنگ در محل ناحیه‌ی ناف تشکیل می‌شود، دانه‌ها به مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی راه می‌یابند. در این موقع رشد گیاه و همچنین حرکت ماده‌ی خشک به طرف دانه متوقف می‌شود و ماده‌ی خشک دانه به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

۷-۱. سطح زیر کشت و تولید ارزن در جهان

سطح زیر کشت ارزن در دنیا ۳۸ میلیون هکتار است که چهل درصد از کل سطح زیر کشت ارزن به کشاورزان افریقایی تعلق دارد. هند بزرگترین تولید کننده ارزن در جهان می‌باشد و میزان تولید ارزن در این کشور حدود ۷/۳ میلیون تن است (فائو، ۲۰۰۶). آسیا، افریقا، روسیه و کشورهای آسیای میانه از جمله تولیدکنندگان عمده انواع ارزن به شمار می‌آیند (کاظمی اربط، ۱۳۸۴). سطح زیر کشت گیاه ارزن مرواریدی در جهان، در سال ۲۰۰۲، بیش از ۱۰ میلیون هکتار گزارش شده است و جدیدترین اخبار، حکایت از افزایش این رقم در سال‌های اخیر دارد. محدوده‌ی گسترش مناطق مساعد برای کشت این گیاه از شمال و غرب آفریقا، مناطق مرکزی آسیا، شبه قاره هند، خاور میانه و آمریکای مرکزی و استرالیا می‌باشد. اکنون بیش از دو سوم از کل ارزنی که در کشور هندوستان کشت می‌شود مربوط به ارزن مرواریدی می‌باشد و غالباً مربوط به ایالات گرم و خشک این کشور شامل ایالات راجاستان، ماهاراشترا، هاریانا و گوجارات است.

سطح زیر کشت ارزن در آسیا حدود ۲۰۸۵۳۰۰۰ هکتار می‌باشد که تولید کل آن ۱۶۷۶۷۰۰۰ تن می‌باشد (فائو، ۲۰۰۶). بر اساس گزارشی که در سال ۲۰۰۵ توسط فائو ارائه شد، هند با حدود ۶ میلیون هکتار و مالدیو با ۵ هکتار زیر کشت ارزن به ترتیب مقام اول و آخر را در دنیا دارا می‌باشند (فائو، ۲۰۰۵).

سطح زیر کشت این گیاه در ایران طبق آمار سازمان خوار و بار جهانی و کشاورزی (F.A.O) در سال ۲۰۰۵ به ده هزار هکتار رسیده است (فائو، ۲۰۰۵). بر اساس گزارشات دریافتی از استان‌ها، سطح زیر کشت ارزن در ایران در سال ۱۳۸۲ حدود ۳۶۰۰ هکتار برآورد شده که عمدتاً مناطق کوهستانی بوده‌اند. بیشترین سطح زیر کشت در مناطقی از کرمان و به خصوص جنوب خراسان (بیرجند) بوده است. طبق گزارش وزارت کشاورزی در سال ۸۵، گیاه ارزن مرواریدی برای اولین بار در استان گلستان کشت شد. عملکرد این گیاه در هر هکتار ۶۰ تا ۱۵۰ تن علوفه تر است درحالی‌که گیاهان علوفه‌ای دیگر نظیر ذرت در هر هکتار ۴۰ تن عملکرد دارند. عملکرد ارزن علوفه‌ای (نوتروفید) در منطقه‌ای

همچون کرج، ۱۰۰ تن علوفه در ۲ تا ۳ چین و در مازندران که به صورت دیم کشت می‌شود حدود ۶۰ تن و در مناطق گرم همچون دزفول به بیش از ۱۴۰ تن علوفه سبز در هکتار می‌رسد (شریفی جهان تیغ، ۱۳۸۵).

۸-۱. نیازهای اکولوژیکی و خاک مناسب جهت کشت ارزن مرواریدی

ارزن مرواریدی در سطح گسترده‌ای در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان کاشته می‌شود و مجدداً به عنوان گیاهی جهت رفع نیازهای غذایی جمعیت رو به افزایش این مناطق مورد توجه واقع شده است (بیاراسینک و همکاران ۱۹۸۳). این گیاه یکی از مقاومترین غلات به خشکی است و در برخی مناطق ایالات راجاستان هندوستان با ۵۰ میلیمتر بارندگی کشت می‌شود. ارقامی که در این مناطق کاشته می‌شوند مقاومت زیادی به خشکی دارند. واریته‌های زودرس و مقاوم به خشکی این گیاه را می‌توان در مناطق کم‌باران به جای سورگوم، مورد زراعت قرار داد.

ارزن مرواریدی در عین حال که نسبت به خشکی مقاوم است، به بارندگی منظم در طول دوره‌ی رشد نیاز دارد و برعکس سورگوم نمی‌تواند تنش شدید خشکی را تحمل نماید. این گیاه برای رسیدن محصول به دمای بالا نیاز دارد. بر اساس گزارش اسمیت و همکارانش (۱۹۸۹)، ارزن مرواریدی به عنوان یک گیاه پرمحصول و باکیفیت در منطقه دشت جنوبی ساحلی ایالات متحده بوده و ظاهراً از نظر استقرار در شرایط رطوبت محدود بر سورگوم برتری دارد. مشخصه ارزن مرواریدی عبارت از سرعت بالای فتوسنتزی و دمای مطلوب موردنیاز نسبتاً بالا می‌باشد. با افزایش دما، زمان شروع گلدهی تا سنبله‌دهی کاهش می‌یابد.

ارزن جهت رشد و نمو خود باید در مناطق معتدل و یا گرم که حداقل درجه حرارت محیط حدود ۱۷ درجه سانتی‌گراد باشد، کشت گردد. حداقل درجه حرارت لازم برای تولید جوانه و خروج جوانه اولیه آن از خاک بین ۱۰ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد است. ارزن در برابر سرما و یخبندان بسیار حساس است و در صورتی که در مناطق کوهستانی کاشته شود دوره زندگی آن طولانی می‌گردد. در بعضی از

کشورها مانند هندوستان و اتیوپی که آب و هوای گرم دارند ارزن را تا ارتفاع ۲۵۰۰ متری کشت می‌نمایند. توانایی ارزن مرواریدی برای رشد در خاک‌های فقیر احتمالاً به علت رشد سریع و عمیق ریشه آن است (نورمن و همکاران، ۱۹۸۴). این گیاه در مقابل خاک‌های مختلف مقاومت زیادی دارد. ارزن مرواریدی در دامنه وسیعی از خاک‌ها رشد می‌کند. این دامنه می‌تواند از رسی‌لومی تا خاک‌های شنی عمیق تغییر یابد. همچنین pH مناسب جهت رشد گیاه از کمی اسیدی (۵/۷) تا اسیدی (۵/۵) قابل تغییر است. در صورتی که خاکورزی مناسب و عمیق در زمین زراعی انجام شود عملکرد تا حد مطلوبی بالا می‌رود. این گیاه در خاک‌هایی که در فصول باران خیز سال با آب‌گرفتگی و غرقاب مواجه هستند با مشکل مواجه می‌شود. قرار گرفتن در چنین شرایطی منجر به نقص سیستم ریشه‌ای، کاهش عملکرد دانه و محتوای پروتئین آن می‌گردد (کوال و کاسام، ۱۹۸۷). گزارشات حاکی از آن است که این گیاه به اسیدیته خاک مقاوم بوده و به شوری نسبتاً حساس است (نورمن و همکاران، ۱۹۸۴).

به نظر می‌رسد گیاه ارزن مرواریدی نسبت به افزایش آبیاری پاسخ مطلوبی نمی‌دهد و تنها هنگام آغاز گلدهی تا مرحله خمیری شدن دانه به کمبود رطوبت خاک حساس باشد. به طور کلی در خاک‌های سبک بهترین نتیجه را می‌دهد (کووال و کاسام، ۱۹۸۷). خاک‌های سنگین و رسی برای کشت این گیاه مناسب نیستند. خاک باید عمق کافی داشته و تهویه در آن به خوبی انجام شود. ارزن به طور معمول برای خاک‌هایی با حاصلخیزی کمتر، مناسب است و در شرایط نامناسب مانند گرمای شدید و بارندگی کم رشد می‌کند. در بین غلات بیشترین کارایی مصرف آب مربوط به ارزن است. از این رو برای تهیه غذا و علوفه در شرایط حاد، راندمان بالایی دارد.

۹-۱. عملیات کوددهی ارزن مرواریدی:

ارزن مانند سایر گیاهان زراعی برای رشد و نمو خود احتیاج به مواد غذایی مختلف دارد و لازم است این مواد به اندازه کافی و در دوره رشد در اختیار گیاه قرار گیرند. مقدار و نوع مواد غذایی مورد نیاز در مناطق مختلفی که ارزن کشت می‌گردد بستگی به تناوب و بافت خاک دارد. نیاز کودی ارزن مرواریدی معادل گیاه سورگوم تخمین زده شده است. برای خاک‌های رسی میزان ۸۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژنه نیاز است که ۳۰ درصد آن را پیش از کشت به خاک می‌افزایند. بدیهی است با شنی‌تر شدن خاک میزان مصرف کود نیز افزایش می‌یابد. با توجه به سیستم ریشه‌ای قوی و کم‌توقعی، به طور معمول نیاز این گیاه به عناصر فسفر و پتاسیم و منیزیم در غالب خاک‌ها فراهم است و تنها با آزمایش و مشاهده فقر خاک می‌توان رژیم کودی مناسب را مشابه گیاه سورگوم اعمال کرد.

در مناطقی که این گیاه را بعد از گیاهان تیره لگومینوز در تناوب قرار می‌دهند، معمولاً به مزرعه ارزن، کود ازته نمی‌دهند. ولی در صورتی که ارزن بعد از سایر غلات و آیش در تناوب قرار گیرد، افزودن عناصر غذایی مختلف به زمین، به خصوص ازت و فسفر، موجب سریع‌تر شدن رشد و افزایش محصول ارزن خواهد شد. در شرایط تناوب اخیر، هرگاه حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم ازت و ۱۰۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم فسفر به هر هکتار زمین زراعی اضافه شود، نه تنها مقدار محصول افزایش می‌یابد بلکه کیفیت آن نیز بهتر خواهد شد. در زمین‌هایی که از نظر پتاسیم ضعیف می‌باشند، می‌توان ۵۰ تا ۷۵ کیلوگرم پتاسیم به زمین اضافه کرد. وجود فسفر سبب افزایش مقاومت گیاه در برابر خشکی و همچنین زودرسی ارزن خواهد شد (ناصر خدابنده، ۱۳۷۱).

۱-۱۰. عملیات کنترل علف‌های هرز

کنترل شیمیایی علف هرز در زراعت ارزن محدود است. اکثر علف‌های هرز مهم در زراعت ارزن، پهن‌برگ‌های یک‌ساله تابستانی و برخی گراس‌های یک‌ساله و چند ساله می‌باشد. در ضمن علف‌های هرز پهن‌برگ چند ساله نیز در مزارع ارزن یافت می‌شوند. برای تولید ارزن مرواریدی زارعان می‌توانند آترازین را قبل از کاشت و مخلوط با خاک استفاده کنند و یا آن را قبل از سبز شدن به میزان ۱/۱۲-۰/۵۶ کیلوگرم ماده فعال در هکتار مصرف نمایند. تناوب زراعی کاربرد این علف‌کش‌ها را محدود می‌سازد و زارعان باید حساسیت محصول بعدی را به آترازین در نظر بگیرند. در حال حاضر برای کنترل بیولوژیکی علف‌های هرز ارزن راه شناخته شده‌ای وجود ندارد.

۱-۱۱. کنترل آفات و بیماری‌ها

مهم‌ترین آفات ارزن عبارتند از ملخ‌ها، لاروهای برگ‌خوار و در برخی موارد سن‌های گندم نیز باعث خسارت اقتصادی می‌شوند. این آفات به وسیله سوین کنترل می‌شوند. ممکن است بیماری‌های خاصی در بعضی از گونه‌های ارزن وجود داشته باشد. مهم‌ترین این بیماری‌ها عبارتند از: بیماری‌های قارچی، باکتریایی، زنگ سیاه و بیماری لکه‌برگی. خسارت سیاهک‌های خوشه‌ای را می‌توان با خریداری بذرهای با کیفیت و ضدعفونی بذر با قارچ‌کش‌ها کاهش داد. بیماری‌های دیگر به ویژه بیماری‌های باکتریایی به آسانی کنترل نمی‌شوند. قارچ‌کش‌های حاوی مس برای کنترل بلایت مورد استفاده قرار می‌گیرند. قارچ‌زدگی و فساد بذر را می‌توان به وسیله ضدعفونی بذر در زمان کاشت کنترل کرد. لکه‌های برگ‌ی را نیز می‌توان به وسیله قارچ‌کش‌ها کنترل نمود.

۲-۱. تاثیر عوامل محیطی بر نمو

مراحل نمو یک گیاه نشان‌دهنده سن فیزیولوژیکی آن بوده که از طریق شکل‌گیری و ظهور اندام‌های مختلف مشخص می‌شوند. تغییرات در تاریخ‌کاشت یا منطقه می‌تواند به شدت طول مراحل نمو را تغییر دهد. اجزای اصلی محیط که نمو را تحت تاثیر قرار می‌دهند عبارتند از دما و فتوپریود. عواملی دیگر همچون میزان دریافت عناصر غذایی، قابلیت دسترسی آب، تراکم، تشعشع و غلظت CO₂ از جمله عواملی هستند که بر رشد و نمو گیاهان اثر می‌گذارند. یکی از این عوامل اصلی یعنی دما، به تنهایی تاثیر گسترده‌ای بر سرعت نمو دارد. درجه‌حرارتی که خارج از محدوده تعیین شده برای یک گیاه باشد سبب کاهش عملکرد می‌شود. درجه‌حرارت‌های بالا و پائین هر دو سبب کاهش سرعت تولید ماده خشک و نیز کاهش در پتانسیل عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند. به طور کلی، وقوع دماهای نزدیک‌تر به دمای بهینه، معادل با سرعت نمو بیشتر است و در نتیجه زمان کوتاه‌تری برای تکمیل یک مرحله نمو خاص لازم می‌شود (کافی و همکاران، ۱۳۸۴). معمولاً خصوصیات ژنتیکی و شرایط محیطی تعیین‌کننده طول دوره قبل از گلدهی به شمار می‌روند.

بسته به خصوصیات ژنتیکی گیاه، مراحل نمو را می‌توان صرفاً به عنوان تابعی از دما یا تلفیقی از دما و فتوپریود در نظر گرفت (اولیور و آناندل، ۱۹۹۸). کمی کردن اثرات این عوامل بر روی گیاهان، اساس مدل‌های شبیه‌سازی تولید محصولات می‌باشد (آتکینسون و پرتز، ۱۹۹۶؛ استوارت و همکاران، ۱۹۹۸). اثر این عوامل بر فرایندهای نمو و رشدی به طور مشخصی متفاوت است. کسب اطلاعات لازم در مورد منحنی‌های پاسخ نمو گیاه به تغییرات میانگین فاکتورهای اقلیمی، نیازمند تعیین یکسری از پارامترها نظیر دماهای کاردینال، حساسیت به فتوپریود، نیازهای حرارتی و... می‌باشد که حصول آنها تنها در صورتی امکان‌پذیر است که پاسخ‌های گیاه در دامنه‌ای از شرایط متفاوت دما و طول روز بررسی شود. سپس با ارایه مدل‌های مناسب، محدوده پاسخ و نوع پاسخ به عوامل اقلیمی تاثیرگذار و اثر متقابل آنها تفکیک شود.

رشد به معنی هر گونه افزایش بدون بازگشت در وزن یا اندازه‌ی اندام‌های یک ارگانیسم (از جمله گیاه) می‌باشد. برای مثال تغییر اندازه گیاه از نظر کل ارتفاع، وزن خشک، مجموع سطوح برگ‌ی، مجموع طول ریشه و غیره رشد محسوب می‌شود (کوچکی و نصیری محلاتی، ۱۳۷۵). مهمترین عامل موثر بر رشد، تشعشع می‌باشد. فرایند نمو عبارت است از عبور از مراحل فنولوژی مختلف بدون توجه به کم یا زیاد بودن میزان رشد. بنابراین نمو مستلزم انجام تمایز در بافت‌ها می‌باشد. تغییرات متوالی از یک مرحله‌ی فنولوژیکی به مرحله‌ی بعد، بوسیله‌ی پدیده‌هایی نظیر جوانه‌زنی، رشد رویشی، تشکیل جوانه‌ی گل، گلدهی، تشکیل دانه و غیره مشخص می‌گردد (کوچکی و نصیری محلاتی، ۱۳۷۵). مهمترین عامل محیطی موثر بر نمو گیاهان، دما است. علاوه بر تاثیر دما، واکنش گیاه به طول روز دو فاکتور محیطی مهم در نمو فنولوژیکی گیاهان محسوب می‌شود (الیس و همکاران، ۱۹۹۰؛ چایوهان و همکاران، ۲۰۰۲).

۲-۲. واکنش گیاهان به دما

در بین عوامل محیطی، دما، تقریباً مهمترین عاملی است که روی رشد، نمو و عملکرد گیاهان تاثیر بسزایی دارد و اثر آن بر رشد و نمو گیاهان به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. در بسیاری از گونه‌های گیاهی وقوع پدیده‌های مختلف نموی از قبیل سبز شدن و گلدهی تحت تاثیر دما قرار می‌گیرد.

هر گیاهی در طی زندگی خود مراحل مختلفی از نمو شامل جوانه‌زدن بذر، استقرار اولیه، رشد، گلدهی و پراکنش بذر را طی می‌کند. کلیه فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاهان اعم از جوانه‌زنی، گلدهی، رشد، فتوسنتز و تنفس دارای یک آستانه حداکثر و حداقل درجه حرارت می‌باشند که در این محدوده قادر به فعالیت هستند. بنابراین پتانسیل عملکرد هر گیاه در نهایت در ارتباط با رژیم‌های حرارتی است که گیاه در آن زندگی می‌کند. به عنوان مثال ممکن است شرایط درجه حرارت باعث شود یک

گیاه استقرار یافته و رشد کند ولی یک تغییر ناگهانی در هوا (مثل سرما) می‌تواند از گلدهی و تولید بذر آن جلوگیری کند (کوچکی و نصیری محلاتی، ۱۳۷۵).

تامی و ایوانس (۱۹۹۲) بیان داشتند که دما در طول رشد رویشی اثر مهمی بر زمان آغاز گلدهی و تعداد برگ‌های ساقه اصلی دارد. آنها همچنین اظهار داشتند وقتی گیاه به هنگام توسعه لپه‌ها در معرض دمای کم قرار می‌گیرد، طول دوره مراحل پیش از گلدهی کاهش می‌یابد. سرعت نمو هر گیاه زراعی با دما رابطه مثبتی دارد و همچنین گذر از مرحله رویشی به زایشی به شدت تحت تاثیر دما قرار می‌گیرد. دما مهمترین عامل موثر بر رشد و نمو گیاه بوده و فقط به مقدار جزئی توسط بشر قابل کنترل است. رشد و نمو گیاه زراعی به حدی به دما بستگی دارد، که هر رقم فقط در محدوده‌ی معینی از دما می‌تواند رشد کند. دمای حداقل، مطلوب و حداکثر برای هر فعالیت معروف به دماهای کاردینال هستند. دمای حداقل دمایی است که پائین‌تر از آن رشد گیاه متوقف می‌شود. این دما را اصطلاحاً، دمای پایه گیاه نیز می‌گویند که برای هر گونه‌ی گیاهی، عدد مشخصی می‌باشد. دمای مطلوب دمایی است که به شرط فراهم بودن سایر عوامل، گیاه حداکثر رشد خود را می‌کند و دمای حداکثر دمایی است که بالاتر از آن رشد گیاه متوقف می‌شود (کوچکی و نصیری محلاتی، ۱۳۷۵).

دما از چند طریق نمو گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد. قرار گرفتن گیاه در دمای پائین در مراحل اولیه نمو، پیشرفت به سوی گلدهی را در بسیاری از گونه‌ها و ارقام گیاهی مناطق معتدله تسریع می‌کند که بهاره‌سازی نامیده می‌شود (سامرفیلد و همکاران، ۱۹۹۱). بهاره‌سازی در دماهای بین ۵- ۱۶ درجه سانتی‌گراد صورت می‌گیرد، ولی به طور کلی دمای صفر تا ۸ درجه سانتی‌گراد بیشترین تاثیر را دارند و در این دامنه، بهاره‌سازی با سرعت بیشتری انجام می‌شود.

با افزایش دما بین دمای پایه^۱ و دمای مطلوب^۲ که تحت عنوان دماهای زیر مطلوب^۳ نامیده می‌شوند، گلدهی گیاهان تسریع می‌شود. واکنش به دما در این محدوده دمایی می‌تواند توسط طول روز و یا بهاره‌سازی تحت تاثیر قرار گیرد (سامرفیلد و همکارن، ۱۹۹۱؛ آتکینسون و پرتز، ۱۹۹۶). دماهای بین دمای مطلوب و دمای سقف^۴ (در آن و بالاتر از آن سرعت نمو صفر است) دماهای فوق مطلوب^۵ نامیده می‌شوند. با افزایش دما در این محدوده دمایی، سرعت نمو کاهش می‌یابد. در واقع گیاهان زراعی در محدوده‌ی مشخصی از درجه‌حرارت می‌توانند رشد و نمو کنند و رشد و نمو آنها تحت دماهای مطلوب به حداکثر می‌رسد. درجه‌حرارت مطلوب در گیاهان زراعی برحسب مراحل مختلف رشد گیاه متفاوت است. به عبارت دیگر گیاهان در هر مرحله از رشد به درجه حرارت مطلوبی نیاز دارند که ممکن است با درجه‌حرارت مناسب جهت مرحله‌ی دیگری از رشد اختلاف داشته باشند.

با افزایش دما به سمت دمای سقف سرعت نمو در گیاهان کاهش می‌یابد و ممکن است خسارات غیرقابل برگشتی را در گیاهان سبب شود و یا حتی ممکن است منجر به مرگ گیاه شود (سامرفیلد و همکارن، ۱۹۹۱؛ آتکینسون و پرتز، ۱۹۹۶).

^۱. Base Temperatures

^۲. Optimum Temperatures

^۳. Sub Optimal Temperatures

^۴. Ceiling Temperatures

^۵. Supra Optimal Temperatures.

۲-۳. واکنش گیاهان به طول روز

به دلیل وجود فتوپریودیسم در گیاهان زراعی، طول روز فاکتور محیطی مهمی محسوب می‌شود. بعلاوه طول روز، مدت دریافت نور بوسیله گیاهان را نیز مشخص می‌سازد. طول روز در واقع زمان بین طلوع تا غروب آفتاب است و بر حسب عرض جغرافیایی و فصل سال تغییر می‌یابد (کوچکی و نصیری محلاتی، ۱۳۷۵).

حساسیت به طول روز، گیاهان را قادر می‌سازد تا نمو خود را با میانگین اقلیمی الگوهای آب و هوایی انطباق دهند و در نتیجه از نابودی آنها در شرایط آب و هوایی نامناسب، جلوگیری می‌شود. به همین دلیل، از نظر حساسیت به طول روز، تنوع زیادی بین گونه های زراعی و نیز بین ارقام هر گونه وجود دارد. حساسیت به طول روز و تاثیر آن بر سرعت نمو، در دوره ی بین سبز شدن تا القای گلدهی (در عمل، شروع طویل شدن ساقه) حائز اهمیت است و زمان گلدهی بسیاری از ژنوتیپ های گیاهان زراعی یک ساله دنیا تحت تاثیر طول روز، تغییر می کند (نصیری محلاتی، ۱۳۷۶). در این ژنوتیپ های حساس به طول روز عموماً یک دوره اولیه و یک دوره پایانی در طول دوره رشد وجود دارد. اولین دوره، دوره پیش القایی^۱ یا دوره رویشی پایه^۲ نام دارد و تا زمانی که این دوره تکمیل نشود گیاه به طول روز واکنش نشان نمی‌دهد. در هر گونه یا رقم، طول دوره فاز رویشی پایه، ثابت است. بسیاری از ارقام گندم به محض سبز شدن به طول روز واکنش نشان می‌دهند، اما بسیاری از ارقام سویا تا زمانی که برگ های تک برگچه ای باز نشوند به طول روز واکنش نشان نمی‌دهند. دوره بعدی، دوره القای طول روز^۳ است.

طول دوره القایی به دوره بین انتهای دوره پیش القایی و شروع گلدهی گفته می‌شود که طول آن به وسیله طول روز کنترل می‌شود (سامرفیلد و همکاران، ۱۹۹۱؛ کوچکی و نصیری محلاتی، ۱۳۷۵). در واقع نمو گیاهان حساس به فتوپریود، در طول روز معینی آغاز شده و در طول روز معینی به حداکثر

^۱.Pre-Inductive Phase

^۲.Basic Vegetative Phase

^۳.Photoperiod- Inductive Phase.

می‌رسد. در دامنه بین این دو طول روز، افزایش طول روز بر نمو گیاه موثر بوده و سبب تسریع (گیاهان روز بلند مانند گندم و کانولا) یا تاخیر آن (گیاهان روز کوتاه مانند سویا) می‌شود (خواجه‌پور، ۱۳۸۶). گاردنر و آلار (۱۹۲۰) برای اولین بار واژه فتوپریودیسم را برای عکس العمل گیاه به طول روز انتخاب کردند، آنها بیان نمودند که طول مدت تابش نور و نیز تاریکی یک عامل مهم در برنامه رشد گیاهان و خصوصا در گلدهی گیاهان است (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۰). بر این اساس، سه گروه اصلی در گیاهان در پاسخ به طول روز شناخته شده است. ۱) گیاهان روز کوتاه^۱، ۲) گیاهان روز بلند^۲، ۳) گیاهان بی تفاوت^۳.

گیاهان روز کوتاه: گیاهانی هستند که گلدهی در آنها در اثر طول روزهای کوتاه‌تر از حداکثر طول روز بحرانی انجام می‌گیرد (فتوپریود لازم برای تحریک گل دادن در گیاه، طول روز بحرانی نامیده می‌شود) و اغلب تحت تاثیر عوامل محیطی مانند، دما قرار می‌گیرند.

گیاهان روز بلند: گلدهی در این گیاهان تحت تاثیر طول روزهای بلندتر از حداقل طول روز بحرانی انجام می‌گیرد. برای هر رقم از این گیاهان نیز آستانه‌ای از طول روز وجود دارد که روزهای بلندتر از آن گلدهی را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد. در این گیاهان، گلدهی به وسیله ژنوتیپ و سایر عوامل محیطی متاثر می‌گردد.

گیاهان بی تفاوت: عکس‌العمل گیاهان روز خنثی به طول روز بسیار ناچیز بوده و انتقال از مرحله‌ی رویشی به زایشی در این گیاهان بوسیله‌ی عوامل دیگری همچون سن گیاه، درجه حرارت هوا و خاک، رطوبت خاک، عناصر غذایی و ذخیره‌ی هیدرات‌های کربن در گیاه تعیین می‌شود (کوچکی و نصیری محلاتی، ۱۳۷۵). اصولا گلدهی در این گیاهان پس از دستیابی به یک حداقل سن یا اندازه در گیاه شروع می‌شود (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۰).

^۱. Short Day Plants
^۲. Long Day Plants
^۳. Neutral Day Plants.

در دو گروه حساس به طول روز (گیاهان روز کوتاه و روز بلند) گونه‌ها و ژنوتیپ‌هایی با واکنش‌های اجباری یا کیفی^۱ و اختیاری یا کمی^۲ وجود دارد. در گیاهان روز بلند کیفی با کاهش طول روز از یک مقدار معین (طول روز بحرانی) سرعت گلدهی کاهش می‌یابد. به طوری که با کاهش بیشتر طول روز به نقطه‌ای می‌رسیم (طول روز سقف) که در آن سرعت گلدهی به صفر می‌رسد. در واکنش از نوع روز بلند کیفی گیاهان در طول روز سقف و یا پائین‌تر از آن هیچ‌گاه به گل نمی‌روند. در گیاهان روز بلند کمی نیز همانند گیاهان روز بلند کیفی با کاهش طول روز از یک مقدار معین (طول روز بحرانی) سرعت گلدهی کاهش می‌یابد ولی در این گیاهان در طول روز سقف و یا پائین‌تر از آن گیاهان با حداقل سرعت به سوی مرحله گلدهی پیش می‌روند و هیچ‌گاه سرعت گلدهی به صفر نمی‌رسد. در این نوع واکنش به طول روز اگر گیاهان در معرض طول روز سقف یا پائین‌تر از آن قرار گیرند طولانی‌ترین زمان ممکن برای رسیدن به مرحله گلدهی را طی می‌کنند.

در گیاهان روز کوتاه کیفی با افزایش طول روز از یک مقدار معین (طول روز بحرانی) سرعت گلدهی کاهش می‌یابد به طوری که با افزایش بیشتر طول روز به نقطه‌ای می‌رسیم (طول روز سقف) که در آن سرعت گلدهی به صفر می‌رسد. در این نوع واکنش به طول روز اگر گیاهان در معرض طول روز سقف یا بالاتر از آن قرار گیرند هیچ‌گاه به گل نمی‌روند. در گیاهان روز کوتاه کمی نیز همانند گیاهان روز کوتاه کیفی با کاهش طول روز از یک مقدار معین (طول روز بحرانی) سرعت گلدهی کاهش می‌یابد ولی در این گیاهان در طول روز سقف و یا بالاتر از آن گیاهان با حداقل سرعت به سوی مرحله گلدهی پیش می‌روند، و هیچ‌گاه سرعت گلدهی به صفر نمی‌رسد. در این گیاهان در طول روز سقف یا بالاتر از آن بیشترین مدت زمان لازم برای رسیدن به مرحله گلدهی طی می‌شود (سامرفیلد و همکاران، ۱۹۹۱).

۲-۴. سبز شدن

سبز شدن احتمالاً مهمترین مرحله فنولوژیکی گیاه است که تعیین کننده موفقیت یا شکست زراعت می‌باشد (فورسلا و همکاران، ۲۰۰۰). سبز شدن به ظهور گیاهچه در سطح خاک گفته می‌شود (فورسلا و همکاران، ۲۰۰۰). بنیه بالای بذر شامل جوانه‌زدن و سبز شدن سریع، یکنواخت و کامل و همچنین تولید گیاهچه‌های قوی به منظور استقرار بهتر گیاهان جهت تولید محصول بیشتر ضروری می‌باشد. پیش‌بینی زمان سبز شدن، انتخاب تاریخ کاشت مناسب و استقرار سریع و کامل گیاهچه‌ها لازمه‌ی یک زراعت موفق است که همه این ویژگی‌ها به شدت تحت تاثیر عوامل محیطی مانند دما و رطوبت خاک قرار می‌گیرند (ایانوکی و همکاران، ۲۰۰۰؛ سفلدت و همکاران، ۲۰۰۲). بنابراین درک اساسی از سبز شدن و عوامل محیطی موثر بر آن در گیاهان زراعی ضروری می‌باشد.

تاریخ مناسب برای کشت زمانی است که گیاه در آن زمان به خوبی سبز شده، استقرار یافته و مراحل رشد آن تا حد امکان با شرایط محیطی مناسب انطباق داشته باشد و از طرفی با شرایط نامساعد محیطی مواجه نشود. در چنین شرایطی است که حداکثر محصول به دست خواهد آمد. سرعت جوانه‌زنی و رشد، پیش از سبز شدن بطور طبیعی تحت کنترل دمای خاک قرار دارد. بنابراین، بطور کلی، تاریخ سبز شدن به وسیله‌ی تاریخ کاشت و تغییرات دمای خاک تعیین می‌شود (امام و نیک نژاد، ۱۳۷۴).

در بیشتر مواقع، بررسی اثر آب و هوای نامطلوب در طول مراحل جوانه‌زنی و نمو گیاهچه از مراحل دیگر رشد مهمتر می‌باشد. بررسی واکنش جوانه‌زنی و سبز شدن بذر نسبت به دما و شناخت دماهای کاردینال (پایه، مطلوب و سقف) در جهت ایجاد مدل‌های پیش‌بینی‌کننده‌ی جوانه‌زنی و سبز شدن، انتخاب تاریخ کاشت مناسب، غربال کردن گونه‌ها و ژنوتیپ‌ها برای تحمل به دماهای پائین یا بالا و تعیین نواحی جغرافیایی که در آنجا گونه‌ها یا ژنوتیپ‌ها بتوانند با موفقیت جوانه بزنند و استقرار یابند مفید است (ماول و همکاران، ۱۹۹۴).

دانستن دماهای کاردینال جوانه‌زنی برای انتخاب زمان کاشت مناسب و کنترل علف‌های هرز بسیار مهم می‌باشد (اورس، ۱۹۹۱). گیاهان دارای سه دمای بحرانی شامل دمای پایه، مطلوب و سقف برای جوانه‌زنی می‌باشند. با استفاده از دماهای کاردینال می‌توان محدودیت‌های جغرافیایی را برآورد و زمان کاشت مناسب را قبل از کاشت انتخاب کرد (کوچکی و نصیری محلاتی، ۱۳۷۵). در زمینه تعیین دماهای کاردینال و بررسی مولفه‌های جوانه‌زنی در واکنش به دما برای گونه‌ها و ژنوتیپ‌های مختلف گیاهان، تحقیقات زیادی صورت گرفته است.

آنگس و همکاران (۱۹۸۱) پارامترهایی را که در مدل‌های نمو برای پیش‌بینی نمو استفاده می‌شوند، در تعدادی از گیاهان زراعی ارزیابی کردند و اثر دما را از زمان کاشت تا سبز شدن مورد بررسی قرار دادند. آنها ضمن بدست آوردن دمای پایه گندم، مجموع واحدهای حرارتی لازم برای سبز شدن را $77/9$ درجه روز رشد اعلام کردند. آنها در این مطالعه به این نتیجه رسیدند که طول دوره کاشت تا سبز شدن تحت تاثیر دما بوده و طول روز و ورنالیزاسیون تاثیری بر آن ندارد.

مطالعات قبلی نشان می‌دهند که در یک محدوده مشخص، با بیشتر شدن دما، سرعت جوانه‌زنی معمولاً به صورت خطی افزایش می‌یابد. ولی در فراتر از این محدوده، درجه حرارت‌های بالاتر منجر به تقلیل سرعت جوانه‌زنی می‌شوند (ماول و همکاران، ۱۹۹۴). این محدوده دمایی در قالب درجه حرارت‌های کاردینال قابل تعریف است.

تحقیقات نشان می‌دهد که درجه حرارت‌های کاردینال به گونه گیاه بستگی دارد و حتی بین ارقام یک گونه نیز تفاوت معنی‌داری وجود دارد (آنگس و همکاران، ۱۹۷۰).

ماداتز و همکاران (۲۰۰۱) با انجام آزمایشی به وجود تنوع ژنتیکی بین گونه‌های مختلف گراس‌های گرمادوست از لحاظ دمای پایه برای جوانه‌زنی پی بردند. البته سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) در نخود تفاوت معنی‌داری از نظر دمای پایه بدست نیاوردند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که دماهای کاردینال (پایه، مطلوب و سقف) برای جوانه‌زنی در واریته‌های مختلف ارزن اختلاف کمی با هم دارند (کامکار و همکاران، ۲۰۰۶). دماهای کاردینال محاسبه شده در ارزن معمولی به ترتیب $9/9$ درجه‌سانتی‌گراد برای

دمای پایه، ۴۰/۲ درجه سانتی‌گراد برای دمای ایتیمم و ۴۷/۸ درجه سانتی‌گراد برای دمای سقف بود. این محاسبات برای گونه ارزن‌مرواریدی به ترتیب ۷/۷، ۳۸/۹ و ۴۶ درجه سانتی‌گراد شده است.

آندا و پیتر (۱۹۹۴) دمای پایه برای سبز شدن سورگوم را ۱۰ درجه سانتی‌گراد بدست آوردند و مشاهده کردند که در خاک‌هایی با دمای اولیه پائین‌تر از دمای پایه (۹ درجه سانتی‌گراد)، بذرها سبز شدند و با افزایش دمای اولیه خاک، درصد و سرعت سبز شدن افزایش یافت که این امر باعث استقرار بهتر گیاهچه‌های سورگوم شد. آوال و آیکادا (۲۰۰۲) با بررسی اثر تغییرات دمای خاک بر روی سبز شدن گیاهچه و نمو فنولوژیکی بادام‌زمینی نتیجه گرفتند که با افزایش دما، سرعت و درصد سبز شدن افزایش می‌یابد به طوری که به ازای هر یک درجه سانتی‌گراد افزایش در دمای خاک سرعت سبز شدن گیاهچه بادام‌زمینی حدود ۱/۴ روز تقویمی جلو می‌افتد. الیس و همکاران (۱۹۸۶) دمای پایه برای جوانه زنی ۵ رقم نخود را بین ۰/۵- تا ۰/۵ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. آنها بیان کردند دمای پایه‌ی صدک‌های مختلف جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. همچنین گزارش کردند دمای مطلوب صدک‌های مختلف جوانه‌زنی در بین ارقام به استثنای رقم آل ۵۵۰، اختلاف معنی‌داری نشان نداد. ماداکادر و همکاران (۲۰۰۱) تغییرات دمای پایه برای جوانه‌زنی ارقام مختلف کشیده برگ‌های گرمادوست را مقایسه کردند. آنها دمای پایه برای جوانه‌زنی صدک‌های مختلف در چهار رقم *Virgatum ponicum* را بین ۵/۵ تا ۱۰/۹، در سه رقم *Andropogon gerardii* بین ۷/۳ تا ۸/۲، برای دو رقم *Sorgastrum natans* را بین ۷/۵ تا ۷/۶ و در رقم *Calamivilfa hongifolla* را بین ۴/۵ تا ۷/۹ گزارش کردند. آنها نشان دادند دمای پایه صدک‌های مختلف جوانه‌زنی در هر رقم اختلاف معنی‌داری ندارد. گرین و همکاران (۲۰۰۰) اثر دمای خاک در محدوده‌ی ۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد را بر غلات و کانولا بررسی کرده و اظهار داشتند که جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ی این گیاهان در دماهای پائین بسیار متغیر و کند بود و با افزایش دما، جوانه‌زنی و زمان تا سبز شدن بسیار سریع‌تر و یکنواخت‌تر شد. ایشان همچنین مشاهده کردند که درصد سبز شدن در دماهای بالاتر در مقایسه با دماهای پائین‌تر بیشتر بود.

۲-۵. تاثیر دما و طول روز بر سرعت گلدهی

مهم‌ترین مرحله فنولوژیکی گیاه، مرحله گلدهی یعنی عبور گیاه از مرحله رویشی به زایشی است. سرعت نمو مراحل رویشی و زایشی به شدت تحت تاثیر درجه حرارت و طول روز قرار می‌گیرد. سرعت نمو از سبز شدن تا گلدهی تحت تاثیر هر دو عامل دما و طول روز قرار می‌گیرد (هری، ۱۹۹۴). گاردنر و آلارد (۱۹۳۰) دریافتند که در محیطی با طول روز ثابت، دما تاثیر بسزایی در زمان گلدهی داشت و دمای پائین باعث تاخیر در گلدهی شد. سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که طول دوره رشد گیاه، بویژه زمان گلدهی گیاهان به شدت تحت تاثیر ژنوتیپ، درجه حرارت و فتوپریود قرار می‌گیرد. سامرفیلد و همکاران (۱۹۹۳) دریافتند که دما و طول روز، متغیرهای محیطی تعیین‌کننده سرعت گلدهی می‌باشد. آلکالد و لارن (۲۰۰۶) زمان ایجاد حساسیت به طول روز در شروع گلدهی را در ۹ ژنوتیپ مختلف گیاه نخود تعیین نمودند. نتایج آنها نشان داد که شروع گلدهی قبل و یا همزمان با ایجاد حساسیت به طول روز حادث می‌شود و در همه ژنوتیپ‌هایی که به طول روز حساس بودند، میزان نمو طی مراحل ابتدایی گلدهی تحت تاثیر طول روز قرار گرفت.

۲-۶. مدل‌های مختلف برای کمی کردن واکنش سرعت نمو به دما و طول روز

ترابی (۱۳۸۳) سبز شدن و گلدهی ۴ رقم نخود (بیوونیک، ۹۰۹۶c، هاشم و جم) را در ۱۲ تاریخ کاشت مورد بررسی قرار داد. وی برای کمی کردن واکنش سرعت سبز شدن و گلدهی به دما از توابع متعددی (شامل دندان مانند^۱، دو تکه‌ای^۲، بتا^۳، منحنی^۴، سیگموئیدی^۵، مسطح^۶، درجه دوم^۷ و درجه سوم^۸) و برای کمی کردن واکنش سرعت گلدهی به طول روز از توابع نمایی منفی^۹، سیگموئیدی و درجه دوم استفاده نمود. نتایج نشان داد که برای کمی کردن واکنش سرعت گلدهی به دما و طول روز تابع دندان مانند- درجه دوم و برای کمی 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. وی با استفاده از توابع منتخب دماهای کاردینال (دمای پایه، مطلوب و سقف) را برای مرحله سبز شدن و گلدهی تعیین نمود. بر مبنای مدل دندان مانند دمای پایه، مطلوب تحتانی و فوقانی برای سبز شدن در بین ارقام تفاوت معنی‌داری نشان نداد و به ترتیب ۴/۵، ۲۰/۲ و ۲۹ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. در بین ارقام، دمای پایه و مطلوب تحتانی برای مرحله گلدهی اختلاف معنی‌داری را نشان داد و بین ۳۰/۴ تا ۲۴/۱ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. دمای سقف در مطالعه وی به علت فراوانی اندک دماهای بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد به طور ثابت ۳۹ درجه سانتی‌گراد فرض شد.

طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز برآورد شده در بین ارقام اختلاف معنی‌داری را نشان داد و به ترتیب بین ۲۰/۸ تا ۲۲/۲ ساعت و ۰/۷۰۰ تا ۰/۹۰۰ متغیر بود. تعداد روز بیولوژیک

^۱.Dent-Link

^۲. Segmented

^۳. Beta

^۴. Curve

^۵. Logistic

^۶. Flat

^۷. Quadratic

^۸. Cubic

^۹. Negative Exponential.

مورد نیاز برای مراحل کاشت تا سبز شدن و سبز شدن تا گلدهی ارقام به ترتیب ۶/۳ و ۸/۲۱ تا ۶/۳۲ برآورد شد.

السن و همکاران (۱۹۹۳) برای پیش بینی فنولوژی دو رقم ذرت شیرین از معادله (۲-۱) استفاده کردند.

$$\left(\frac{1}{f}\right) = Ropt.f(T).(P) \quad (1-2)$$

در این معادله $\left(\frac{1}{f}\right)$ سرعت نمو روزانه، $Ropt$ حداکثر سرعت نمو که تحت شرایط دما و طول روز مطلوب حاصل می‌شود، $f(T)$ تابع دما و $f(P)$ تابع طول روز می‌باشد. آن‌ها مدل‌های متعددی (شامل خطی، درجه دوم، توانی، نمایی، سیگموئیدی، خطی شکسته و خطی خمیده) را برای توصیف سرعت نمو و دما برازش دادند که در بین این مدل‌ها، مدل خطی شکسته (توابع ۲-۲، ۳-۲ و ۴-۲) به عنوان مدل برتر انتخاب شد.

$$f(T) = 0 \quad \text{اگر } T \geq T \max \text{ یا } T \leq Tb \quad (2-2)$$

$$f(T) = Ropt(T - Tb)/(Topt - Tb) \quad \text{اگر } Topt < T < T \max \quad (3-2)$$

$$f(T) = Ropt(T - Topt)/(T \max - Topt) \quad \text{اگر } Topt < T < T \max \quad (4-2)$$

$f(T)$ در این معادله Tb ، $Topt$ و $Tmax$ به ترتیب دمای پایه، دمای مطلوب و دمای سقف هستند. همچنین آن‌ها توابع طول روز متعددی (شامل خطی، درجه دوم، توانی، نمایی، سیگموئیدی و خطی شکسته) را در ترکیب با تابع دمایی (خطی شکسته) به کار بردند ولی هیچ‌یک از توابع طول روز در ترکیب با تابع دمایی، برازش خوبی را نشان ندادند. بنابراین اثر طول روز در مدل پیش‌بینی کننده نمو به کار گرفته نشد و سرعت گلدهی از کاشت تا رسیدگی فقط تحت تاثیر دما قرار گرفت. مدل طول مدت کاشت تا رسیدگی را پیش‌بینی کرد و وسیله‌ای عملی برای پیش‌بینی تاریخ برداشت این دو رقم در مناطق گرمسیری فراهم ساخت.

فولیارد و همکاران (۲۰۰۴) مدل عکس‌العمل سورگوم به طول روز را به صورت روش آستانه- هذلولی بیان نمودند. نامبرندگان در این بررسی، سرعت نمو روزانه در هر روز معین از مرحله نمو را به صورت تابعی از زمان حرارتی و طول روز در نظر گرفتند. در این مدل ظهور سنبله زمانی حادث می‌شود که سرعت نمو (DR) برابر ۱ باشد. مقدار سرعت نمو در این مطالعه به دو روس جمععی و آستانه محاسبه گردید:

۱- روش جمععی: در این روش سرعت نمو به صورت جمع روزانه نسبت فتوترمال‌ها در نظر گرفته شد.

$$DR_i = \sum \frac{dtti}{f(pi)} \quad (5-2)$$

۲- روش آستانه

$$DR_i = \frac{1}{f(pi) * \sum dtti} \quad (6-2)$$

در این معادله dtti، زمان حرارتی روزانه و f(pi) زمان حرارتی مورد نیاز برای ظهور سنبله می‌باشد و در روش آستانه (۶-۲) زمانیکه مجموع دماهای روزانه بتواند مقدار زمان حرارتی مورد نیاز برای ظهور سنبله را تامین کند، ظهور سنبله حادث می‌شود. نتایج نشان داد که دو ماه تاخیر در تاریخ کاشت سبب شد تا مدت زمان کاشت تا ظهور برگ پرچم از ۸۷ به ۴۷ روز برسد و تعداد کل برگ از ۳۲ به ۱۶ عدد کاهش یافت. به طور کلی نتایج به دست آمده برتری روش آستانه نسبت به روش جمععی و همچنین برآزش مدل هذلولی بر عکس‌العمل گیاه را به طول روز و دما را تایید نمود.

یوسفی‌داز (۱۳۸۳) اثر عمق کشت (۳، ۶، ۹ و ۱۲ سانتی‌متر) و دما (۱۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد) را بر جوانه‌زنی و سبز شدن گیاه نخود مورد بررسی قرار داد. وی برای کمی کردن واکنش سبز شدن و جوانه‌زنی به دما از توابع متعددی (شامل دندان مانند، دوتکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم) استفاده نمود. نتایج نشان داد که بهترین تابع برای کمی کردن واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما، تابع دندان مانند است. بر اساس این تابع دمای پایه، دماهای مطلوب تحتانی

و فوقانی و دمای سقف برای مرحله جوانه‌زنی به ترتیب ۶/۵، ۲۰/۷، ۳۱/۹ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد و برای مرحله سبز شدن به ترتیب ۶/۵، ۲۶، ۳۲/۱ و ۳۸ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. تعداد ساعات بیولوژیک مورد نیاز برای جوانه‌زنی ۳۲/۵ ساعت محاسبه شد. همچنین تعداد ساعات بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن در اعماق مختلف (۳، ۶، ۹ و ۱۲ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌داری نشان داد و به ترتیب ۸۹، ۸۴، ۹۷ و ۱۰۵ ساعت بود.

احمدی (۱۳۸۶) سبز شدن و ساقه رفتن ۷ رقم گندم (آریا، اترک، کوهدشت، شیروودی، تجن، تارو و زاگرس) را در ۸ تاریخ کاشت مورد بررسی قرار داد. وی برای کمی کردن واکنش سرعت ساقه رفتن در مقابل دما و طول روز از ۲۱ تابع ترکیبی استفاده نمود. در این توابع ترکیبی جهت کمی کردن واکنش سرعت ساقه رفتن در مقابل دما از توابع مسطح، لجستیک، دو تکه‌ای، دندان مانند، بتا، درجه دوم و منفی و برای کمی کردن واکنش سرعت ساقه رفتن در مقابل طول روز از توابع نمایی منفی، دو تکه‌ای و درجه دوم استفاده نمود. وی بر اساس برآوردهای مدل لجستیک که به عنوان مدل برتر برای توصیف رابطه سرعت سبز شدن با دما انتخاب شد، مقدار دمای پایه ارقام اترک، کوهدشت، شیروودی، تجن، تارو و زاگرس را به ترتیب برابر ۲/۷۵، ۱/۲۱، ۳/۲۴، ۲/۲۱، ۵/۲، ۲/۷۵ و ۲/۷۵ درجه سانتی‌گراد برآورد نمود. مقدار دمای پایه برآورد شده توسط مدل‌های مختلف از ۱/۲۱ تا ۷ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. همچنین مقادیر برآورد شده توسط مدل لجستیک نیز نشان داد که دمای پایه ارقام مختلف گندم متفاوت است. مقدار دمای پایه ساقه رفتن در ارقام گندم توسط مدل دو تکه‌ای - دو تکه‌ای که مدل برتر برای توصیف رابطه سرعت ساقه رفتن در مقابل دما و طول روز در این ارقام بود، بین ۱/۲۵ تا ۵ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز برآورد شده در بین ارقام اختلاف معنی‌داری را نشان داد و به ترتیب بین ۱۲/۹۲ تا ۱۴/۰۳ ساعت و ۰/۱ تا ۰/۱۸ متغیر بود. تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای مراحل کاشت تا سبز شدن نیز بین ارقام مورد مطالعه، بین ۳/۳۷ تا ۴/۳ روز متغیر بود.

۲-۷. اهداف تحقیق

کسب اطلاعات لازم در مورد منحنی‌های پاسخ نمو گیاه به تغییرات میانگین عوامل اقلیمی پیش‌برنده نمو (دما و طول روز) نیاز به یکسری از پارامترها نظیر دماهای کاردینال، حساسیت به فتوپریود، نیازهای حرارتی و سایر پارامترها دارد که حصول آنها در صورتی امکانپذیر است که در دامنه‌ای از شرایط متفاوت دما و طول روز پاسخ‌های گیاه بررسی شود و سپس با ارایه مدل‌های مناسب محدوده پاسخ و نوع پاسخ به عوامل اقلیمی تاثیرگذار و اثر متقابل آنها تفکیک شود. کمی سازی فنولوژی یک گیاه دشوارترین و در عین حال مهم‌ترین جزء ساخت مدل‌های 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 در اختیار دهند، در مدیریت‌های زراعی و به ویژه تعیین تاریخ کاشت مطلوب حائز اهمیت است. با توجه به اتکای زیاد مدل‌های فنولوژی به پارامترهای مهم وابسته به دما و طول روز، دقت در برآورد این پارامترها یک ضرورت به شمار می‌رود. لذا این تحقیق به منظور دستیابی به اهداف زیر انجام شد:

- اثرات دما و طول روزهای مختلف بر واکنش‌های فنولوژیک گیاه ارزن ورواریدی به عنوان یک گیاه حساس به طول روز
- انتخاب بهترین مدل توصیف کننده پاسخ سرعت سبز شدن به دما
- تعیین دماهای کاردینال برای مرحله سبز شدن بر حسب دمای هوا
- مقایسه مدل‌های مختلف در کمی کردن واکنش سرعت پنجه‌دهی به دما و طول روز در شرایط مزرعه و انتخاب بهترین مدل توصیف کننده پاسخ سرعت پنجه‌دهی به دما و طول روز
- تعیین دمای کاردینال برای مرحله پنجه‌دهی بر حسب دمای هوا
- برآورد تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای عبور از مراحل مختلف نمو

با توجه به اهداف تعریف شده، فرضیات اولیه این طرح عبارت بودند از:

- ۱- تغییرات دما و طول روز به طور فاحش، ورود گیاه به فاز زایشی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.
- ۲- افزایش میانگین دما و طول روز موجب تسریع گذر گیاه از مراحل فنولوژیک خواهد شد.
- ۳- مدل‌های مختلف توانایی‌های متفاوتی در توجیه تغییرات منحنی‌های پاسخ به عوامل محیطی نشان خواهند داد .
- ۴- طول روز در زمان سبز شدن تأثیری بر تعداد نهایی برگ نخواهد داشت.
- ۵- پاسخ جوانه زنی گیاهچه در تاریخ کاشت‌های مختلف، متفاوت خواهد بود .

۱-۳. زمان و موقعیت محل اجرای آزمایش از نظر جغرافیایی

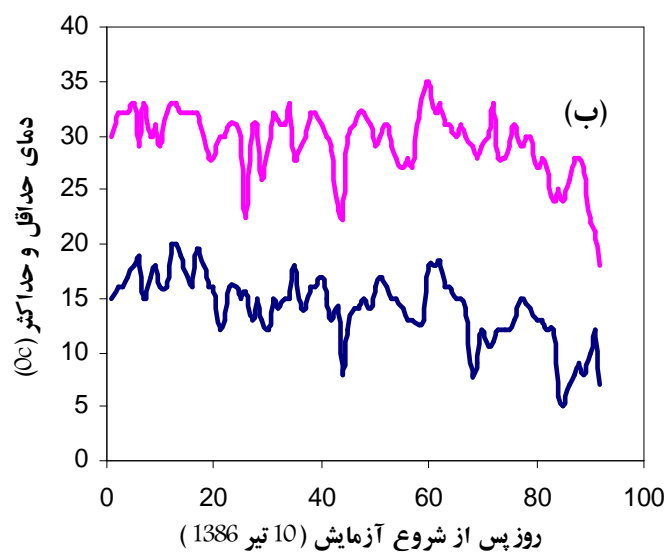
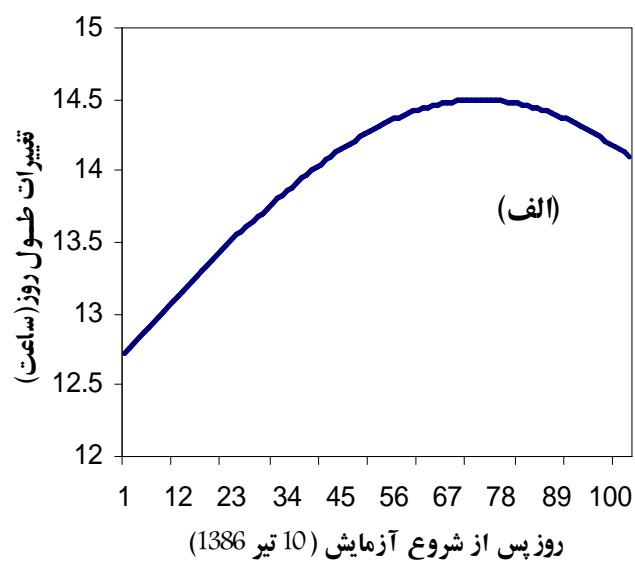
این آزمایش در سال ۸۶-۱۳۸۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود واقع در شهر بسطام به اجرا درآمد. شهر بسطام در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه و ۵۵ دقیقه طول شمالی واقع شده است و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۶۶ متر است.

۲-۳. ویژگی‌های آب و هوایی

بر اساس تقسیم‌بندی‌های اقلیمی منطقه بسطام دارای اقلیم سرد و خشک است. میانگین بارندگی سالانه بین ۱۶۰-۱۵۰ میلی‌متر بوده و بارندگی‌ها عمدتاً در فصل بهار و پائیز رخ می‌دهد. بر اساس اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی شاهرود میانگین سالانه دما در این منطقه ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. میانگین درجه‌حرارت در فصل زراعی مورد آزمایش ۲۲/۶ درجه‌سانتی‌گراد گزارش شد. همچنین مقادیر درجه‌حرارت در سالی که طرح در آن اجرا شد به قرار زیر است:

جدول ۱-۳. متوسط درجه‌حرارت در ماه‌های سال ۸۶-۱۳۸۵ بر حسب درجه‌سانتی‌گراد

مهر	شهریور	مرداد	تیر
۱۳/۹	۲۲/۳۵	۲۲/۱۵	۲۳/۳



شکل ۳-۱. روند تغییرات طول روز (الف) و دمای حداکثر و حداقل (ب) در طی فصل آزمایش

۳-۳. خصوصیات خاک مزرعه مورد آزمایش

قبل از انجام عملیات آماده‌سازی و اجرای نقشه آزمایش، به منظور تعیین بافت خاک و وضعیت عناصر غذایی از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه مرکب تهیه و سپس نمونه خاک موردنظر به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک در جدول (۲-۳) نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصله، بافت خاک از نوع لومی تعیین گردید.

جدول ۲-۳. نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه

عوامل مورد تجزیه	نتیجه آزمون
پتاسیم قابل جذب (ppm)	۶/۴
فسفر قابل جذب (ppm)	۱۰
نیترژن قابل جذب (ppm)	۰/۰۴
منیزیم قابل جذب (me/۱)	۲۲
کلسیم قابل جذب (me/۱)	۳۳
درصد مواد آلی	۰/۳۳
درصد کربن آلی	۰/۱۹
اسیدیته خاک (pH)	۷/۹۹
قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۶۹

۳-۴. مشخصات طرح آزمایشی

آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار اجرا شد. در این طرح، اثر تاریخ کاشت (به عنوان مکان‌های مختلف با دما و طول‌روز متفاوت) بر صفات فنولوژیکی ارزن‌مرواریدی مورد بررسی قرار گرفت.

۳-۵. عملیات اجرایی

۳-۵-۱. نقشه کشت

همانطور که گفته شد این آزمایش بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام گرفت.

تیمار مورد بررسی در این طرح شامل ۶ تاریخ کاشت به شرح زیر بودند:

۱۰-۱ تیر (A۱)	۲۰-۲ تیر (A۲)	۳۰-۳ تیر (A۳)
۹-۴ مرداد (A۴)	۱۹-۵ مرداد (A۵)	۲۹-۶ مرداد (A۶)

نقشه کشت به صورت زیر بود:

I	A۴	A۶	A۱	A۳	A۲	A۵
II	A۶	A۳	A۴	A۵	A۱	A۲
III	A۱	A۳	A۵	A۶	A۲	A۴
IV	A۵	A۱	A۶	A۴	A۳	A۲

ابعاد هر تکرار ۴×۲۱/۶ متر انتخاب شد که در مجموع حدود ۴۳۲ متر مربع زمین با احتساب حواشی و نهرها و فاصله ۱ متری بین تکرارها به اجرای این آزمایش اختصاص یافت. در هر تکرار ۶ کرت، هر

یک به مساحت ۱۶ متر و ۸۰ سانتی متر مربع (۴×۴/۲۰ متر) قرار گرفت. هر کرت شامل ۵ ردیف کاشت بود و فاصله بین ردیف‌ها ۶۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. مرز بین کرت‌ها با یک پشته کشت نشده مشخص شد.

۳-۵-۲. آماده‌سازی زمین و کوددهی

زمین آزمایش در سال قبل (۸۴-۸۵) به صورت آیش بود. عملیات آماده‌سازی زمین در اوایل تیرماه ماه ۱۳۸۶ صورت گرفت. در ابتدا زمین موردنظر توسط گاواهن برگرداندار شخم زده شد و پس از نمونه‌برداری از خاک به مقدار موردنیاز کود پایه فسفات‌آمونیم و پتاس به زمین اضافه شد. سپس اقدام به عمل تسطیح زمین گردید. در پایان به وسیله فاروئر پشته‌هایی به عرض ۶۰ سانتی متر در جهت شمالی جنوبی ایجاد گردید. ابتدا ابعاد کرت‌ها در زمین مورد آزمایش مشخص شد و پس از تعیین کرت‌ها، جوی‌های آبیاری تعبیه گردیدند.

۳-۵-۴- کاشت بذور ارزن مرواریدی

قبل از شروع کاشت، آزمایش جوانه‌زنی بذور ارزن مرواریدی در آزمایشگاه انجام شد. سپس کاشت در تاریخ ۱۳۸۶/۴/۱۰ با دست صورت گرفت. کاشت بذور بر روی خطوط در عمق ۳ تا ۵ سانتی متری و با فاصله روی ردیف ۶ سانتی متر و بین ردیف ۶۰ سانتی متر انجام گرفت.

۳-۶. عملیات داشت

۳-۶-۱. مبارزه با علف‌های هرز و دفع آفات

وجین علف‌های هرز در طول فصل رشد به صورت دستی انجام شد و از آنجایی که کل سطح مزرعه به دلیل وجود تیمار تاریخ‌کاشت به شکل همزمان تحت کشت قرار نگرفت، وجین علف‌های هرز در طول فصل زراعی در کرت‌های خالی و کشت نشده برای جلوگیری از گسترش علف‌های هرز و نیز آفات و بیماری‌های احتمالی به طور مستمر و به شکل دستی انجام گرفت.

مهمترین گونه‌های علف‌های هرز به ترتیب فراوانی آنها در سطح مزرعه؛ شامل خردل وحشی، تاج‌ریزی، طوق و پیچک صحرائی بودند. در طول فصل رشد بیماری و آفت خاصی مشاهده نشد. ضمن این‌که برای گیاه ارزن‌مرواریدی آفت و بیماری خاصی نیز گزارش نشده است.

۳-۶-۲. آبیاری

بلافاصله پس از کاشت ارزن در هر تاریخ کاشت آبیاری سنگینی به صورت نشتی انجام شد تا پشته‌ها کاملاً نم کشیده و تیره شدند. آبیاری‌های بعدی در طول فصل رشد هر ۱۰ روز یکبار انجام گرفت.

۳-۷. نمونه‌برداری

با توجه به تیمار تاریخ‌کاشت زمان هر نمونه‌برداری از وقتی که بوته‌ها به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری رسیدند آغاز شد و سپس هر ۷ روز یکبار تا پایان فصل رشد نسبت به نمونه‌برداری از هر تاریخ‌کاشت اقدام گردید. نحوه نمونه‌برداری بدین صورت بود که از ۵ ردیف کاشت در هر کرت، دو ردیف کناری و ۰/۵ متر ابتدا و انتهای هر کرت به عنوان حاشیه حذف شدند. سپس ۴ بوته به نحوی انتخاب شدند که بتوانند تا حد زیادی خصوصیات کرت مربوطه را نشان دهند. در هر نمونه‌برداری قطع بوته‌ها از سطح خاک و از ناحیه طوقه انجام گرفت.

۳-۸. ارزیابی صفات مورفولوژیک

پس از انجام نمونه برداری بوته‌ها در پاکت‌های شماره گذاری شده قرار گرفته و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه قسمت‌های مختلف گیاه شامل برگ و ساقه جدا گشته و پس از اندازه‌گیری سطح برگ و نیز وزن خشک ساقه و برگ به طور جداگانه اقدام به بررسی شاخص‌های رشدی در این گیاه شد.

۱) سطح برگ: اندازه‌گیری سطح برگ با توجه به ارتباط سطح و وزن برگ محاسبه گردید. به صورتیکه، در هر نمونه برداری، ابتدا سطح تعدادی برگ محاسبه شد. سپس وزن خشک آنها بدست آمد و بعد بر اساس معادله مربوط به این ارتباط، سطح برگ کلیه برگ‌ها برآورد شد.

۲) وزن خشک برگ: برگ‌ها در داخل پاکت شماره دار گذاشته شدند، سپس به آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت منتقل گشتند. پس از اعمال زمان لازم، پاکت‌ها به مدت ۲۰ تا ۲۵ دقیقه در هوای آزمایشگاه نگهداری شدند تا با محیط به تعادل دمایی برسند و در نهایت با ترازوی حساس به دقت $\pm 0/01$ گرم توزین شدند.

۳) وزن خشک ساقه: این اندازه‌گیری‌ها نیز مانند وزن خشک برگ انجام شد.

۳-۹. بر آورد شاخص‌های رشد

به تکنیک‌هایی که اجزای رشد گیاهان را از نظر کمی ارزیابی می‌کنند شاخص‌های رشد گویند. اندازه‌گیری دو عامل سطح برگ و وزن خشک اندام‌های هوایی در فواصل مکرر لازمه تجزیه و تحلیل رشد است. کمیت‌های دیگر تجزیه و تحلیل رشد، توسط محاسبه بدست می‌آید. رایج‌ترین راه دستیابی به تجزیه و تحلیل کلاسیکی رشد، اندازه‌گیری دو پارامتر مذکور بر روی تعداد نسبتاً زیادی از گیاهان در فواصل زمانی نسبتاً طولانی می‌باشد (راسل و همکاران، ۱۹۸۴). برای ارزیابی شاخص‌های رشد، از مقدار ماده خشک اندام‌های هوایی به دست آمده از انتخاب ۴ بوته به طور تصادفی برای هر کرت در هر بار نمونه‌برداری استفاده شد.

شاخص‌های رشد مورد بررسی در این آزمایش شامل موارد زیر بودند:

LAI: سطح برگ گیاه

CGR: سرعت رشد محصول

RGR: سرعت رشد نسبی

NAR: سرعت جذب خالص

SLA: سطح ویژه برگ

SLW: وزن ویژه برگ

LAR: نسبت سطح برگ

LWR: نسبت وزن برگ

TDW: وزن خشک کل

۳-۹-۱. شاخص سطح برگ (LAI)

واتسون در سال ۱۹۷۴ واژه شاخص سطح برگ را این طور تعریف نموده است: نسبت سطح برگ محصول به سطح زمینی که محصول روی آن سایه می اندازد. از آنجا که تشعشع خورشیدی به طور یکنواختی روی سطح زمین پخش می شود لذا، LAI یک معیار تقریبی از مساحت برگ ها در واحد سطح است که تشعشع خورشید برای آنها قابل دسترس می باشد.

۳-۹-۲. سرعت رشد گیاه (CGR)

بامعنا ترین واژه تجزیه و تحلیل رشد در جوامع گیاهی سرعت رشد گیاه (CGR) است، که نمایانگر میزان تجمع ماده خشک در گیاهان در یک واحد زمانی مشخص در واحد سطح خاک می باشد.

$$Y = a \cdot \exp(bx) \quad (1-3)$$

که در آن x مجموع واحدهای حرارتی (GDD)، a و b پارامترهای معادله می باشند. در معادله (۱-۳)، در صورتی که Y ماده خشک باشد و از معادله مشتق گرفته شود، سرعت رشد محصول (CGR) حاصل می شود:

$$Dy / dx = CGR = ab \cdot \exp(bx) \quad (2-3)$$

۳-۹-۳. سرعت رشد نسبی (RGR)

سرعت رشد نسبی (RGR) بیان کننده وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در یک فاصله زمانی است (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸). در این بررسی مقدار RGR از معادله زیر محاسبه گردید. مقدار b در این معادله، میزان RGR را نشان می دهد.

$$Y = a \cdot \exp(bx) \quad (3-3)$$

۳-۹-۴. عملکرد علوفه تر

جهت تعیین این صفت اقدام به برش بوته‌ها از سطح یک متر مربع واقع در خطوط مرکزی هر کرت (با احتساب حاشیه‌ها) گردید، بلافاصله بوته‌ها توزین شدند و سپس وزن مربوطه به کیلوگرم در هکتار بیان شد.

۳-۹-۵. سرعت اسیمیلاسیون خالص (NAR)

سرعت اسیمیلاسیون خالص (NAR) عبارت از سرعت تجمع ماده خشک در واحد سطح برگ در زمان معین است. در واقع این صفت معیاری از مدل کارایی فتوسنتزی برگ‌ها در یک جامع گیاهی می‌باشد.

$$NAR = CGR / LAI \quad (۴-۳)$$

۳-۹-۶. سطح ویژه برگ (SLA)

سطح ویژه برگ عبارت از نسبت سطح برگ به وزن خشک آن است و بر حسب سانتی‌متر مربع بر گرم بیان می‌شود (کلاوسون و همکاران، ۱۹۸۶).

$$SLA = LA / LW \quad (۵-۳)$$

۳-۹-۷. وزن ویژه برگ (SLW)

وزن ویژه برگ عبارت از نسبت وزن برگ به سطح آن است. وزن ویژه برگ معمولاً بر حسب گرم (وزن خشک برگ) بر متر مربع (سطح برگ) بیان می‌شود (ایوانس و همکاران، ۱۹۷۵).

$$SLW = LW / LA \quad (۶-۳)$$

۱۱-۳. ثبت مشاهدات

۱-۱۱-۳. سبز شدن

در هر تاریخ کاشت از هر پلات دو خط کاشت به طول ۵۰ سانتی متر انتخاب شده و تعداد بذور سبز شده در هر روز به صورت تجمعی ثبت گردید. بذور سبز شده به بذوری اطلاق شد که قسمتی از گیاهچه آنها در سطح خاک قابل مشاهده باشد (فهر و کاوینس، ۱۹۸۰). زمان تا سبز شدن ۵۰ درصد از کل بذور به عنوان زمان سبز شدن در نظر گرفته شد. سپس سرعت سبز شدن با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$(۱۰-۳) \quad \text{تعداد روز از کاشت تا سبز شدن} / ۱ = \text{سرعت نمو}$$

۲-۱۱-۳. روز تا پنجه‌دهی

پنجه‌دهی یا پنجه‌زنی اصطلاحی مربوط به خانواده گندمیان برای ساقه‌های جانبی می‌باشد. پنجه‌دهی ایجاد انشعابات از جوانه‌های جانبی ساقه اصلی بوده و در زاویه اتصال برگ‌ها، جوانه جانبی وجود دارد که تبدیل به ساقه‌های فرعی می‌شود و با دیدن این پدیده در ۵ بوته از ۱۰ بوته علامت‌گذاری شده، روز تا پنجه‌دهی مورد نظر ثبت گردید.

۳-۱۱-۳. روز تا گلدهی و محاسبه طول روز

در این مطالعه به منظور ثبت مرحله گلدهی در هر تاریخ کاشت در هر پلات ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب شده و علامت‌دار شدند. سپس زمان لازم برای رسیدن به مرحله شروع گلدهی (زمانی که در آن ۵۰ درصد بوته‌ها حداقل یک گل در هر جای بوته داشته باشند)، ثبت شد (فهر و کاوینس؛ ۱۹۸۰).

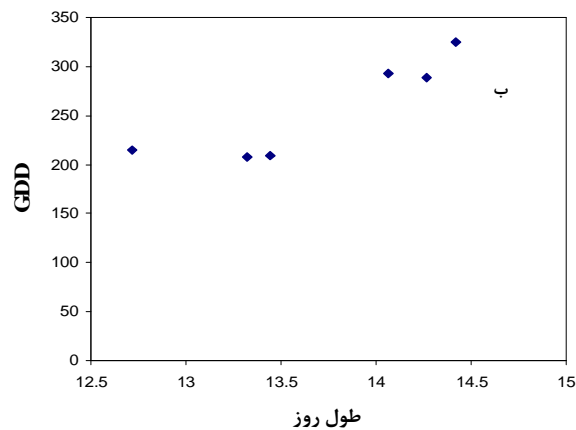
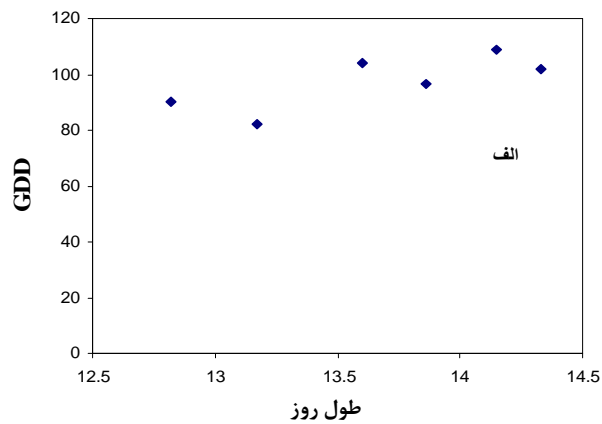
برای محاسبه طول روز از روش گوادریان و وان لار (۱۹۹۴) استفاده شد. شروع و پایان طول روز زمانی در نظر گرفته شد که خورشید ۴ درجه زیر افق باشد. این امر به این علت انجام شد که شدت نورخورشید در قبل از طلوع و بعد از غروب نیز برای تاثیرگذاری بر واکنش به طول روز کافی هستند (الیس و همکاران، ۱۹۹۱).

۳-۱۱-۴. مراحل پس از گلدهی

در این بررسی مرحله گلدهی تنها در بین سه تاریخ کاشت ۱۰ تیر، ۲۰ تیر و ۳۰ تیر مشاهده گردید و از آنجایی که در بین این تاریخ کاشت‌ها پس از ظهور گل‌آذین هیچ‌گونه بذری تشکیل نشد، ثبت مراحل پس از گلدهی در هیچ‌کدام از تاریخ‌ها صورت نگرفت.

۳-۱۲. توابع، پارامترها و انتخاب مدل برتر

بررسی تغییرات GDD از کاشت تا سبز شدن در برابر طول روز (شکل ۳-۲) و عدم وجود رابطه بین آن دو نشان داد که گیاه ارزن‌مرواریدی از کاشت تا سبز شدن عکس‌العملی نسبت به طول روز نشان نمی‌دهد (عدم معنی‌دار بودن شیب خط). به همین دلیل، برای محاسبه سرعت نمو طی این دوره فقط از دما استفاده شد. ولی از سبز شدن تا پنجه‌دهی و سبز شدن تا گلدهی نسبت به هر دو عامل دما و طول روز عکس‌العمل نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲. تغییرات GDD از کاشت تا سبز شدن (الف)، از سبز شدن تا پنجه‌دهی (ب) در برابر طول روز

برای محاسبه سرعت پنجه‌دهی از دما و طول روز استفاده شد. برای تعیین دمای پایه و نیز تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن از مدل زیر استفاده شد:

$$1/e = f(T)/eo$$

در این معادله $1/e$ سرعت سبز شدن، $f(T)$ تابع دما و eo تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن می‌باشد. تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن عبارت است از تعداد روز مورد نیاز برای سبز شدن تحت شرایط دمای مطلوب یا به عبارت دیگر حداقل تعداد روز از کاشت تا سبز شدن. برای توصیف سرعت سبز شدن در مقابل دما از تابع خطی استفاده شد.

برای تعیین دماهای کاردینال و پارامترهای مربوط به طول روز و تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای پنجه‌دهی از مدل زیر استفاده شد.

$$1/f = f(T).f(pp)/fo$$

در این معادله $1/f$ سرعت پنجه‌دهی، $f(T)$ تابع دما، $f(pp)$ تابع طول روز و fo تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای پنجه‌دهی است. تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای پنجه‌دهی عبارت است از تعداد روز مورد نیاز برای پنجه‌دهی تحت شرایط عدم محدودیت دما و طول روز یا به عبارت دیگر حداقل تعداد روز از سبز شدن تا پنجه‌دهی. برای $f(T)$ و $f(pp)$ توابع مختلفی در نظر گرفته شد که در جدول ۳-۱۳ و ۳-۱۴ ارائه شده است. در این توابع T ، To و Tc به ترتیب متوسط دمای هوا، دمای پایه، دمای مطلوب و دمای سقف می‌باشند. در تابع لجستیک a و t^* ضریب ثابت می‌باشند. a نشان‌دهنده تندی شیب افزایش سرعت سبز شدن در مقابل دما است و t^* عبارت از دمایی است که در آن سرعت سبز شدن به نصف حداکثر خود می‌رسد. pp ، Cpp و $PPsen$ به ترتیب طول روز، طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز می‌باشند. در این مطالعه از چهار تابع دمایی در ترکیب با ۴ تابع طول روز (۱۶ مدل) برای توصیف سرعت پنجه‌دهی در مقابل دما و طول روز استفاده شد. تخمین پارامترهای هر مدل با روش مطلوب‌سازی تکراری با کمک رویه *PROC NLIN* نرم‌افزار *SAS* صورت گرفت (سلطانی، ۱۳۸۶). در روش مطلوب‌سازی تکراری^۱ با هر بار وارد کردن مقادیر اولیه پارامترها، مقادیر نهایی آنها با روش کمترین توان‌های دوم تخمین زده می‌شود. تغییر مقادیر اولیه تا زمانی انجام گرفت که بهترین برآورد از پارامترها به دست آمد. این امر مستلزم دفعات بسیار زیاد برازش هر مدل بر داده‌ها بود. بهترین برآورد پارامترهای مدل بر اساس *SE* (خطای معیار) کمتر پارامترها و *RMSD* (جذر میانگین مربعات خطا) کمتر تجزیه رگرسیون مشخص شد. همچنین برای انتخاب مدل برتر از میان مدل‌های مختلف از معیارهای زیر استفاده شد.

۱- Iterative Optimization

۲- معادلات مورد استفاده در برنامه توسط دکتر افشین سلطانی نوشته شده است.

RMSD (جذر میانگین مربعات خطا): که به صورت زیر نیز محاسبه می‌شود:

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum (P - O)^2}{n-1}} \quad (11-3)$$

که در آن P و O به ترتیب تعداد روز پیش‌بینی شده و مشاهده شده تا مرحله نمودی معین و n تعداد مشاهدات می‌باشد. هرچه مقدار *RMSD* محاسبه شده برای مراحل سبز شدن و پنجه‌دهی کمتر باشد، نشان دهنده آن است که دقت مدل در پیش‌بینی این مراحل بیشتر است.

R^2 - ۲ (ضریب تبیین): با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SSG} \quad (12-3)$$

که در آن SSE و SSG به ترتیب مجموع مربعات خطا و مجموع مربعات کل می‌باشد که مقادیر آن‌ها در تجزیه رگرسیون بین سرعت سبز شدن، دما و سرعت گلدهی با دما و طول روز آمده است. R^2 برای محاسبه سبز شدن نشان می‌دهد که چند درصد از تغییرات سرعت سبز شدن به وسیله دما توجیه می‌شود و برای مرحله گلدهی نیز درصد تغییرات سرعت گلدهی توجیه شده که توسط دما و طول روز، را نشان می‌دهد. بالا بودن R^2 یک مدل نسبت به سایر مدل‌ها برای مراحل سبز شدن و گلدهی نشان دهنده این است که آن مدل درصد بیشتری از تغییرات سرعت سبز شدن را توسط دما و سرعت گلدهی را به وسیله دما و طول روز توجیه می‌کند.

۳- ضرایب a و b

ضرایب a و b، ضرایب رگرسیون ساده خطی ($y=a+bx$) بین تعداد روز از کاشت تا سبز شدن و تعداد روز از سبز شدن تا پنجه‌دهی مشاهده شده (به عنوان x) در برابر تعداد روز از کاشت تا سبز شدن و تعداد روز از سبز شدن تا پنجه‌دهی پیش‌بینی شده (به عنوان y) می‌باشند. ضرایب a و b به ترتیب نشان دهنده مقدار انحراف خط رگرسیون از مبدا مختصات و مقدار اریب خط رگرسیون از خط ۱:۱ (خط با زاویه ۴۵ درجه) می‌باشند. قرار گرفتن نقاط پیش‌بینی شده روی خط ۱:۱ نشان دهنده ایده‌آل بودن مدل است. خط ۱:۱ دارای عرض از مبدا صفر ($a=0$) و شیب یک ($b=1$) است.

جدول ۳-۳. توابع دمایی مورد استفاده در مدل‌سازی نمو فنولوژیکی

معادله	علامت اختصاری	تابع دما
$f(T) = [1 / (1 - \exp(-a \times (T - t_0)))]$	L	لجستیک
$f(T) = \left[(T - T_b) \times (T_c - T) \times \left(\frac{T_c - T_b}{2} \right)^{-2} \right]$	Q	درجه دوم
$f(T) = \frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)}$	اگر $T_b \leq T \leq T_o$ F	مسطح
$f(T) = \left[\left(\frac{T - T_b}{T_o - T_b} \times \frac{T_c - T}{T_c - T_b} \right)^{\left(\frac{T_c - T_o}{T_o - T_b} \right)^a} \right]$	β	بتا

جدول ۳-۴. توابع فتوپریودی مورد استفاده در مدل سازی نمو فنولوژیکی

معادله	علامت اختصاری	تابع دما
$(f(PP)) = [1 - (PP - Cpp) \times ppsen]$	S	دو تکه‌ای
$(f(PP)) = [1 - ppsen \times (Cpp - pp)^2]$	Q	درجه دوم
$(f(PP)) = [\exp(- ppsen \times (Cpp - pp))]$	NE	نمایی منفی
$(f(PP)) = (1 / (1 + \exp(- ap \times (pp - p0))))$	L	لجستیک

۱۳-۳. محاسبه Tb و To با استفاده از مدل لجستیک

برای محاسبه Tb (دمای پایه) و To (دمای مطلوب) در مدل لجستیک، ابتدا مقادیر a و T_0 پیش‌بینی شده توسط مدل را در معادله گذاشته و سپس آن را برابر $0/05$ و $0/95$ قرار می‌دهیم. پس از ساده کردن، معادلات زیر به دست آمد. علت استفاده از مقدار $0/05$ و $0/95$ آن است که با توجه به شکل مدل لجستیک، سرعت نمو در این تابع هرگز به صفر و یک نمی‌رسد.

$$Tb = \frac{(a \times T_0) - 2.94}{a} \qquad To = \frac{(a \times T_0) + 2.94}{a} \qquad (13-3) \cdot$$

که در این معادلات a و T_0 ضریب ثابت در تابع لجستیک می‌باشند. a نشان‌دهنده تندی شیب افزایش سرعت سبز شدن در مقابل دما است و T_0 عبارت از دمایی است که در آن سرعت سبز شدن به نصف حداکثر خود می‌رسد.

۱۴-۳. محاسبه تعداد روز بیولوژیک

برای محاسبه تعداد روز بیولوژیک از سبز شدن تا پنجه‌دهی از مدل زیر استفاده شد:

$$CBD = \sum_{i=1}^n f(T).f(PP) \quad (۱۴-۳)$$

که در این مدل، CBD تعداد روز بیولوژیک تجمعی از سبز شدن تا پنجه‌دهی، $f(t)$ فاکتور دما، $f(p)$ فاکتور طول روز و n تعداد روز تقویمی از سبز شدن تا پنجه‌دهی است. برای محاسبه تعداد روز بیولوژیک از داده‌های میانگین روزانه دما و طول روز استفاده شد. مقدار فاکتور دما با توجه به تابع برتر، تابع درجه دوم، (به نتایج و بحث مراجعه شود) به صورت زیر محاسبه شد:

$$f(T) = \left[(T - Tb) \times (Tc - T) \times \left(\frac{Tc - Tb}{2} \right)^{-2} \right] \quad (۱۵-۳)$$

و مقدار فاکتور طول روز با توجه به تابع برتر (لجستیک) به صورت زیر محاسبه شد:

$$f(PP) = (1 / (1 + \exp(-ap * (pp - p0)))) \quad (۱۶-۳)$$

در این معادله، P_0 طولی روزی که در آن سرعت نمو به نصف حداکثر خود می‌رسد، PP طول روز مشاهده شده و ap ضریب حساسیت به طول روز در مدل لجستیک می‌باشند. برای تعیین تعداد روز بیولوژیک از کاشت تا سبز شدن نیز از معادله (۱۳-۳) استفاده شد. اما با توجه به این که مرحله سبز شدن به طول روز واکنش نمی‌دهد، مقدار فاکتور حساسیت به طول روز، برای این مرحله برابر یک، در نظر گرفته شد. مقدار فاکتور دما با توجه به تابع برتر برای کمی کردن واکنش سرعت سبز شدن به دما، خطی، (به نتایج و بحث مراجعه شود) به صورت زیر محاسبه شد:

$$R = f(T).R_{max} \quad (۱۷-۳)$$

مقدار فاکتور دما برای هر روز (از کاشت تا سبز شدن) محاسبه و جمع آن‌ها محاسبه گردید. مرحله موردنظر در روزی رخ داده است که مجموع R معادل ۱ شود. یا از آن عبور کند، یعنی شرط

$\sum R = 1$ برقرار گردد. به این ترتیب روز مورد نظر به عنوان تعداد روز بیولوژیک برای مرحله سبز شدن در نظر گرفته شد.

۳-۱۵. تجزیه و تحلیل اطلاعات

داده‌های حاصل از آزمایش شامل ثبت مراحل فنولوژیکی گیاه و نمونه‌برداری‌های مختلف، با استفاده از نرم‌افزار SAS^۱ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسات میانگین صفات مورد بررسی بوسیله آزمون LSD^۲ در سطح احتمال ۱ درصد انجام شد و رابطه رگرسیونی بین صفات مربوطه توسط رویه *prog reg* و *prog nlin* محاسبه گردید (سلطانی، ۱۳۸۶). همچنین برای رسم نمودارها، گراف‌ها و شکل‌های مربوطه از نرم‌افزار کامپیوتری *Excel* استفاده گردید.

^۱ Statistical Analysis system

^۲ Least Signification difference.

۴-۱- تجزیه و تحلیل رشد

تجزیه و تحلیل رشد، روشی است برای توصیف و تفسیر عکس‌العمل‌های گیاه نسبت به شرایط محیطی مختلف که گیاه در طول دوره حیات خود با آنها مواجه می‌گردد. به کمک این روش شناخت بهتری از چگونگی انتقال و انباشت مواد ساخته شده فتوسنتزی در اندام‌های مختلف از طریق اندازه‌گیری ماده خشک تولید شده در طول فصل رشد گیاه بدست می‌آید (ایوانس، ۱۹۷۲؛ تزر، ۱۹۸۴). آنالیزهای رشد که توسط بلک من (۱۹۱۹) پیشنهاد گردیدند، وسیله ارزشمندی در تجزیه و تحلیل کمی گیاه محسوب می‌شوند. بلک من (۱۹۱۹) سرعت رشد مطلق (CGR)، سرعت رشد نسبی (RGR)، نسبت سطح برگ (LAR)، میزان جذب خالص (NAR) و سایر شاخص‌های مشابه که در تجزیه و تحلیل کمی رشد گیاه موثر هستند را برای تجزیه رشد گیاه، مورد استفاده قرار داد.

اندازه‌گیری سه پارامتر سطح برگ، وزن خشک کل گیاه و وزن خشک برگ در دوره رشد گیاه با فواصل زمانی (معمولاً یک تا دو هفته‌ای) لازمه تجزیه و تحلیل رشد است. دیگر کمیت‌های تجزیه و تحلیل رشد توسط محاسبه بدست می‌آیند (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸؛ سیواکمار و شاو، ۱۹۷۸؛ وترن ویلسون، ۱۹۸۹). عمده‌ترین کمیت‌هایی که در تجزیه و تحلیل‌های کمی رشد اجتماعات گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل سرعت رشد محصول (CGR)، میزان جذب خالص (NAR)، شاخص سطح برگ (LAI)، دوام سطح برگ (LAD)، سرعت رشد نسبی (RGR)، نسبت سطح برگ (LAR)، سطح ویژه برگ (SLA) و وزن ویژه برگ (SLW) می‌باشد (ایوانس و همکاران، ۱۹۷۵ و رادفورد، ۱۹۶۷).

۴-۱-۱- وزن خشک کل (TDW)

وزن خشک کل در طول فصل رشد بصورت تجمعی افزایش می‌یابد و یکی از فاکتورهای مهمی است که در محاسبه مربوط به شاخص‌های رشد گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. عملکرد کل ماده خشک نتیجه کارایی یک جامعه گیاهی زراعی از نظر استفاده از تشعشع خورشید در طول فصل رویشی است (کوچکی، ۱۳۷۷). تجمع ماده خشک در مراحل اولیه رشد گیاه به دلیل کم بودن سطوح برگ‌ی بعنوان سطوح دریافت‌کننده تشعشع خورشیدی آهسته‌تر است. ولی با گسترش سطح برگ، سرعت تجمع ماده خشک نیز افزایش می‌یابد و به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در اواخر فصل رشد به دلیل پیری و ریزش برگ‌ها، سرعت تجمع ماده خشک کاهش یافته و یا به یک حد ثابت می‌رسد. شکل (۴-۱) روند تغییرات فصلی وزن خشک کل را در تاریخ کاشت‌های مختلف بر حسب درجه روزهای رشد نشان می‌دهد. چنانکه مشاهده می‌شود تغییرات وزن خشک کل گیاه شامل ساقه و برگ روندی افزایشی داشته ولی برای برخی از تاریخ‌های کاشت، در انتهای فصل رشد تقریباً به یک حد ثابت رسیده است. حالت تقریباً مشابهی نیز در شکل ۴-۲ دیده می‌شود. تقلیل سرعت تجمع ماده خشک در اواخر فصل بیشتر مربوط به کاهش وزن خشک برگ (شکل ۴-۳) می‌باشد، زیرا روند تغییرات وزن خشک ساقه، حتی در اواخر فصل نیز روندی افزایشی (شکل ۴-۴) بوده است. چنین کاهش‌ی در روند تجمع ماده خشک برگ به علت در سایه قرار گرفتن و نیز افزایش سن برگ‌های پائین‌تر و در نتیجه ریزش برگ‌های پیرتر می‌باشد (کوچکی و همکاران، ۱۳۶۷).

نتایج حاصله از تجزیه واریانس، نشان داد که اثر تاریخ کاشت بر تولید وزن خشک کل، وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه، در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴-۱). تاریخ کاشت ۱۰ تیر، با میانگین ماده خشک کل ۱۳۱۸/۰۸۶ گرم در مترمربع بیشترین و تاریخ کاشت ۲۹ مرداد، با میانگین ۱۲۵/۷۳ گرم در مترمربع، کمترین میزان وزن خشک کل را در واحد سطح دارا بودند (جدول ۴-۲). همین‌طور بالاترین وزن خشک برگ و ساقه به تاریخ کاشت زودتر (۱۰ تیر) اختصاص داشت (به ترتیب

۴۶۳/۲۵ و ۸۵۴/۸۴ گرم در متر مربع). در تاریخ کشت ۲۹ مرداد، این مقادیر به ۷۷/۱۷ و ۴۸/۵۶ گرم در متر مربع تنزل یافت.

جدول ۴-۱. مجموع مربعات صفات مورد بررسی در تاریخ‌های کاشت مختلف

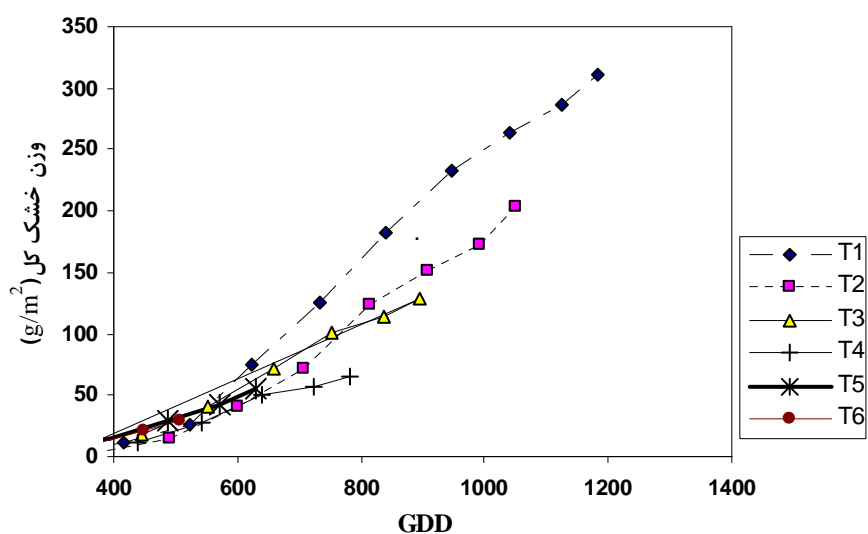
منابع	درجه	وزن خشک	وزن خشک	وزن خشک
تغییرات	آزادی	برگ	ساقه	کل
تکرار	۳	۹/۶۱۶ ^{ns}	۱۰۳۳۰۵/۲ ^{ns}	۳۵/۲۲ ^{ns}
تاریخ کاشت	۵	۲۵۶۰۱/۰۹**	۱۰/۱۴۵۹**	۲۳۱۰۲۹/۶۱۱**
خطا	۱۵	۲۵۷۸۴/۵۸	۱۰۳۵۳۳/۵۹	۲۳۱۶۶۸/۷۵

** تاثیر معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ns غیر معنی‌دار از نظر آماری

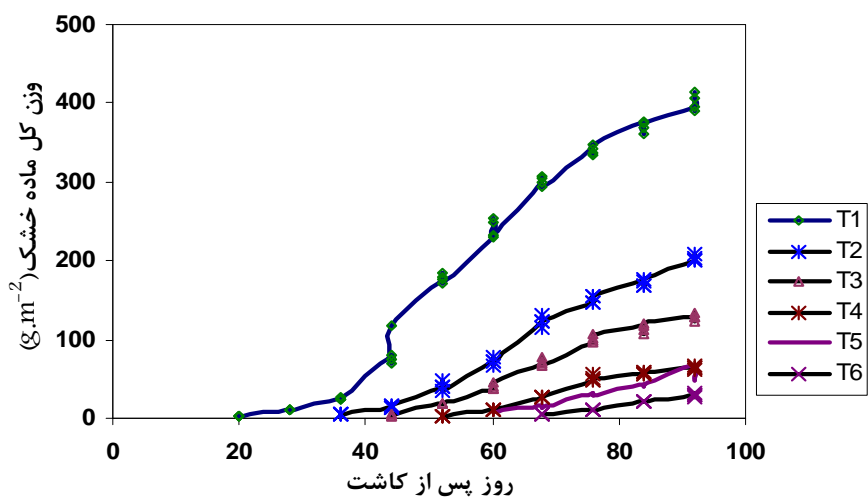
جدول ۴-۲. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در تاریخ‌های کشت مختلف برای گیاه ارزن مروریدی.

تاریخ کاشت	وزن خشک کل	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه
۱۰ تیر	۱۳۱۸/۰۸۹۵ a	۴۶۳/۲۵ a	۸۵۴/۸۴ a
۲۰ تیر	۸۶۳/۰۸۲ b	۳۲۵/۷۸ b	۸۳۷/۳۱ b
۳۰ تیر	۵۴۵/۵۳ c	۲۳۳/۷۸ c	۳۱۳/۰۳ c
۹ مرداد	۲۷۳/۸۳ d	۱۰۹/۷۸ d	۱۶۵/۶۶ d
۱۹ مرداد	۲۳۴/۴۳ e	۱۰۸/۱۶ e	۱۲۴/۶۵ e
۲۹ مرداد	۱۲۵/۷۳ f	۷۷/۱۷ f	۴۸/۵۶ f

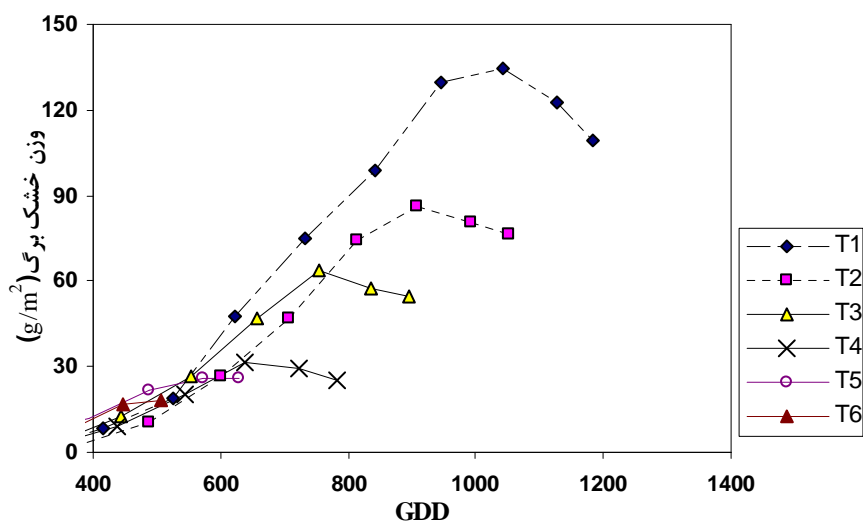
میانگین‌هایی که دارای حروف یکسان هستند، در سطح احتمال ۰/۰۱ اختلاف معنی‌دار ندارند.



شکل ۴-۱. روند تغییرات تولید ماده خشک کل در مقابل تجمع درجه روزهای رشد برای تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (۱۰).
 تیر (D۱)، ۲۰ تیر (D۲)، ۳۰ تیر (D۳)، ۹ مرداد (D۴)، ۱۹ مرداد (D۵)، ۲۹ مرداد (D۶).

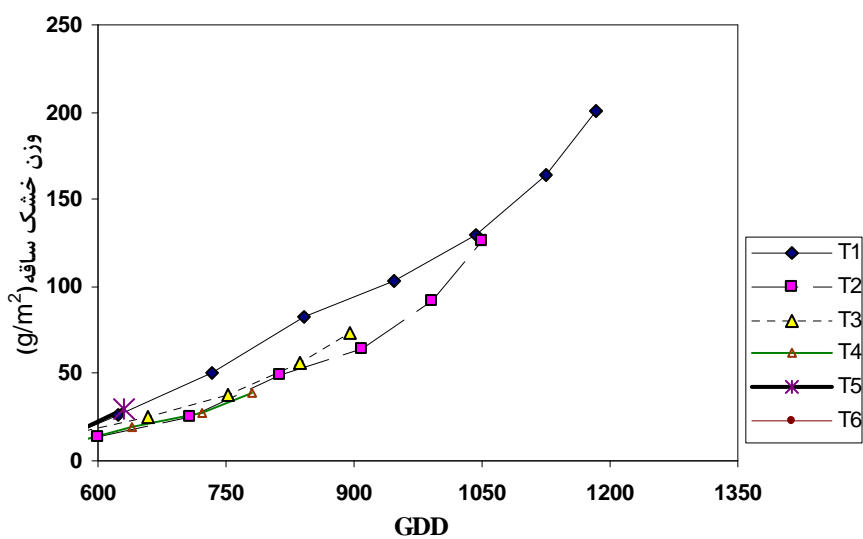


شکل ۴-۲. روند تغییرات تولید ماده خشک کل در روزهای پس از کاشت در تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (۱۰).
 تیر (D۱)، ۲۰ تیر (D۲)، ۳۰ تیر (D۳)، ۹ مرداد (D۴)، ۱۹ مرداد (D۵)، ۲۹ مرداد (D۶).



شکل ۳-۴. روند تغییرات تولید ماده خشک برگ در مقابل تجمع درجه روزهای رشد برای تاریخ‌های کاشت مورد بررسی

(۱۰ تیر (D^۱), ۲۰ تیر (D^۲), ۳۰ تیر (D^۳), ۹ مرداد (D^۴), ۱۹ مرداد (D^۵), ۲۹ مرداد (D^۶)).



شکل ۴-۴. روند تغییرات تولید ماده خشک ساقه در مقابل تجمع درجه روزهای رشد برای تاریخ‌های کاشت مورد بررسی

(۱۰ تیر (D^۱), ۲۰ تیر (D^۲), ۳۰ تیر (D^۳), ۹ مرداد (D^۴), ۱۹ مرداد (D^۵), ۲۹ مرداد (D^۶)).

۴-۱-۲- شاخص سطح برگ (LAI)

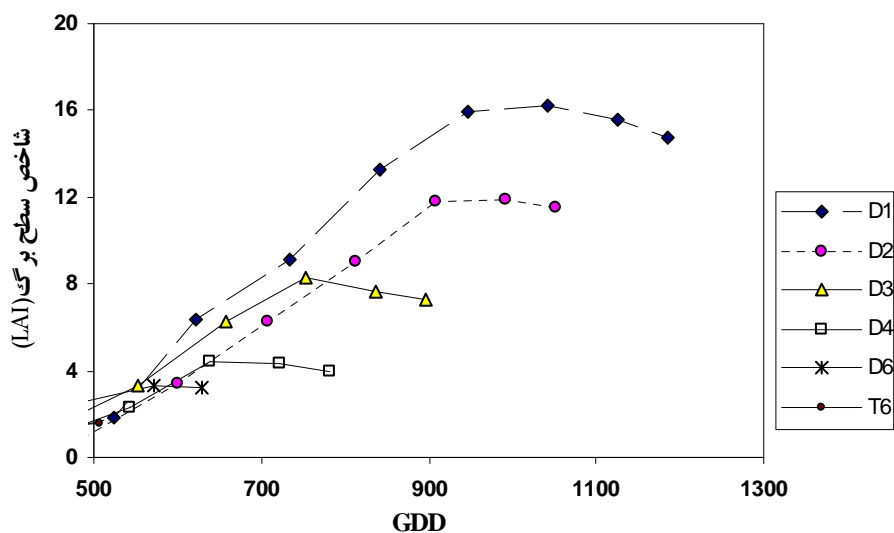
برگ‌ها اندام‌های اصلی دریافت تشعشع و فتوسنتز در گیاهان زراعی هستند. نمو سطح برگ در گیاهان رشد محدود، همزمان با ورود گیاه به فاز زایشی متوقف می‌شود، ولی در گیاهان رشد نامحدود بعد از فاز زایشی نیز ادامه می‌یابد. با افزایش سطح برگ میزان دریافت تشعشع هم بیشتر می‌شود. سطح اولیه برگ به صورت نمایی افزایش می‌یابد، ولی چون سطح برگ اولیه کم است بنابراین مقدار قابل توجهی از انرژی خورشیدی جذب نمی‌شود. از آنجا که گلدهی موجب توقف افزایشی سطح برگ می‌شود (در گیاهان رشد محدود)، اهداف زراعی باید در جهتی باشند که بتوانند فتوسنتز را از طریق دریافت تمام یا تقریباً تمام تشعشع خورشیدی به حداکثر برسانند (گاردنر و همکاران، ۱۹۸۵).

شاخص سطح برگ بیان‌کننده نسبت سطح برگ به سطح زمین اشغال شده توسط گیاه است و بر حسب مترمربع (سطح برگ) در مترمربع (سطح برگ) بیان می‌شود (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸). از آنجا که افزایش وزن خشک محصول، بستگی زیادی به توسعه سطح برگ آن دارد، لذا سطح برگ یکی از پارامترهای اصلی در اندازه‌گیری رشد گیاه است که در اواسط فصل رشد به حداکثر رسیده و سپس با مرگ برگ‌های پیرتر کاهش می‌یابد.

مقدار سطح برگ به طور جداگانه به تعداد برگ، طول مرحله نموی و نیز سرعت نمو در برگ‌ها بستگی دارد. سرعت ظهور برگ تحت تاثیر درجه حرارت و فتوپریود، تنش خشکی و تشعشع خورشید قرار می‌گیرد. همچنین سرعت نمو ممکن است به شرایط محیطی در طول مراحل اولیه نمو بستگی داشته باشد. از آنجایی که اولین اندام گیرنده تشعشع خورشید، برگ‌ها می‌باشند، برای حداکثر سرعت رشد محصول بایستی به میزان کافی برگ در جامعه گیاهی وجود داشته باشد و در نتیجه بیشترین مقدار نور خورشید را که در جامعه گیاهی می‌تابد جذب کند. وقتی این حالت رخ می‌دهد، میزان کارایی فتوسنتزی محصول (CGR) توسط بازده فتوسنتزی برگ‌ها (NAR) تعیین می‌گردد. کارایی NAR می‌تواند تحت تاثیر مقدار تشعشع خورشیدی، قابلیت فتوسنتزی برگ‌ها، LAI، چگونگی تقسیم یکنواخت تشعشع خورشید بر سطوح برگ‌ها و مقدار تنفس در گیاه قرار گیرد (کوچکی، ۱۳۷۷).

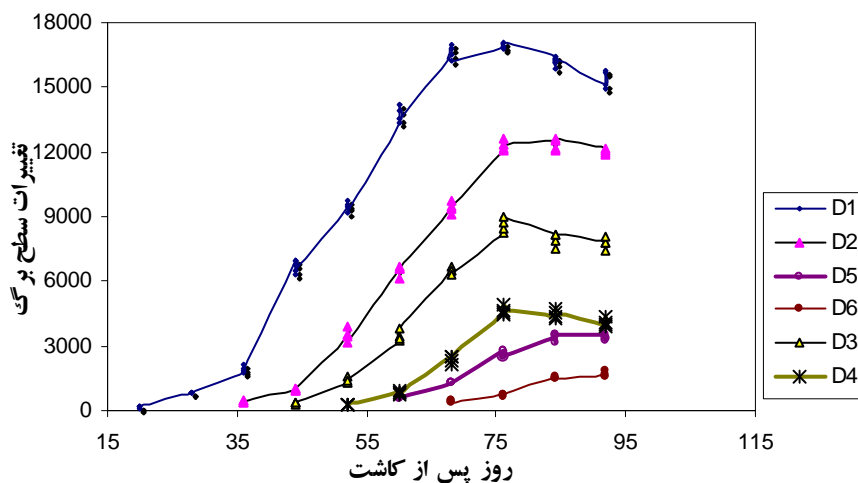
برگ‌ها رابط بین گیاهان زراعی و اتمسفر می‌باشند (آندرمین و همکاران، ۱۹۹۷). شاخص سطح برگ در رقابت گیاه با علف هرز، کارایی مصرف آب در گیاه و فرسایش خاک نقش مهمی ایفا می‌کند. همچنین از این شاخص برای برآورد سرعت جذب خالص مواد و مقدار تعرق در مطالعات فیزیولوژیکی استفاده می‌شود (اکرم‌قادری و همکاران، ۱۳۸۲).

در این بررسی روند تغییرات شاخص سطح برگ هر یک از تیمارهای مورد بررسی برای درجه روزهای رشد ۵۰۰ تا ۱۳۰۰ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که، تغییرات شاخص سطح برگ در تمام تاریخ‌های کاشت از روند تقریباً مشابهی برخوردار بود (شکل ۴-۵). بطوری‌که با رشد گیاه افزایش یافته و پس از رسیدن به حداکثر مقدار خود، با از بین رفتن برگ‌های پیرتر کاهش یافته است. بنابراین می‌توان گفت که LAI در تمام تاریخ‌های کشت در ابتدا به صورت نمایی افزایش یافته به نحوی که تغییرات شاخص سطح برگ نسبت به درجه‌های رشد از یک معادله درجه دوم تبعیت می‌کند. مک‌کلوم (۱۹۷۸) رابطه نمایی بین شاخص سطح برگ و زمان یا درجه روزهای رشد را در گیاهان مختلف گزارش نمود.



شکل ۴-۵. روند تغییرات شاخص سطح برگ در مقابل تجمع درجه روزهای رشد برای تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (۱۰ تیر (D۱)، ۲۰ تیر (D۲)، ۳۰ تیر (D۳)، ۹ مرداد (D۴)، ۱۹ مرداد (D۵)، ۲۹ مرداد (D۶)).

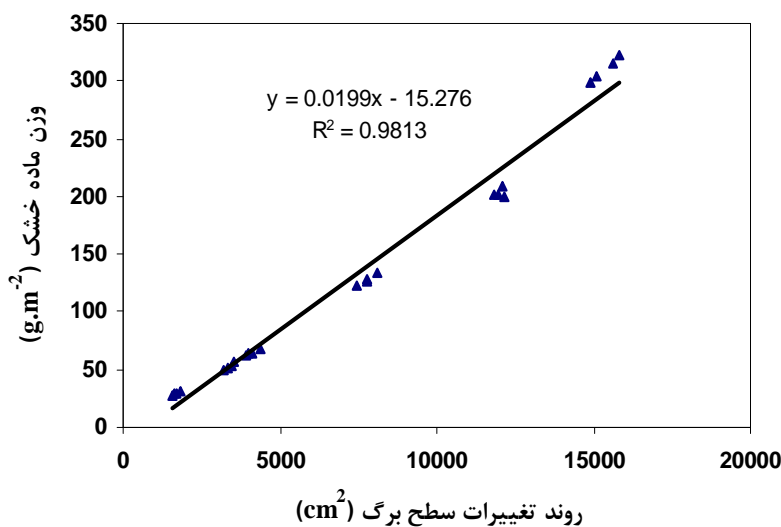
اندازه‌گیری شاخص سطح برگ در تاریخ‌های کاشت مختلف نشان داد که در دو نمونه برداری آخر همه تاریخ‌های کاشت، شاخص سطح برگ تقریباً روند نزولی داشته است (شکل ۴-۶). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین تاریخ‌های کاشت از نظر صفت شاخص سطح برگ حداکثر در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴-۳). همچنین نتایج مقایسات میانگین نشان داد که، در طول فصل رشد، تاریخ کاشت ۱۰ تیر و ۲۹ مرداد، به ترتیب بیشترین (۱۶/۲۹) و کمترین (۱/۶۱)، شاخص سطح برگ را دارا بودند (جدول ۴-۴).



شکل ۴-۶. تغییرات سطح برگ نسبت به زمان

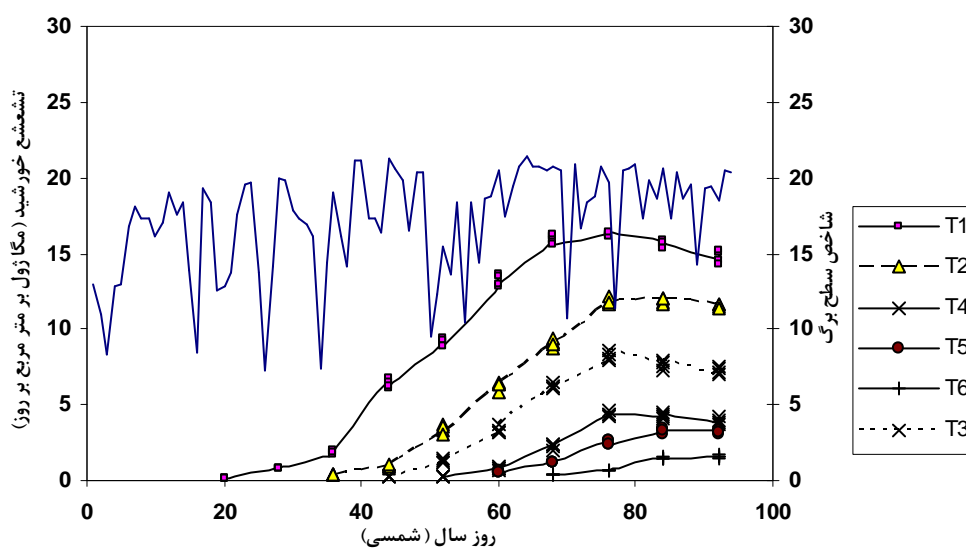
از آنجایی که افزایش وزن خشک محصول، بستگی زیادی به توسعه سطح برگ آن دارد، بین عملکرد و شاخص سطح برگ و دوام آن، همبستگی زیادی وجود دارد. به این صورت که هر چه دریافت نور خورشید و مدت تابش زیاد باشد تولید ماده خشک و بالاخره عملکرد بیشتر خواهد بود (گاردنر و همکاران، ۱۹۸۵). شکل ۴-۷ رابطه بین سطح برگ و ماده خشک تولید شده را نشان می‌دهد. رابطه رگرسیونی بین ماده خشک تولید شده و تغییرات شاخص سطح برگ از یک رابطه خطی مثبت ($y=a+bx$) تبعیت کرد. در واقع ضریب تبیین بالا ($R^2=0/98$) در معادله برازش یافته نشان‌دهنده ارتباط قوی بین

ماده خشک کل و شاخص سطح برگ می باشد. به طوری که حصول شاخص سطح برگ بیشتر، با تولید ماده خشک بیشتر همراه شد. از آنجا که افزایش وزن ماده خشک محصول بستگی زیادی به توسعه سطح برگ آن دارد. لذا سطح برگ یکی از پارامترهای اصلی در اندازه گیری رشد گیاه است (علیزاده و کوچکی، ۱۳۶۸).



شکل ۴-۷. رابطه رگرسیونی بین تغییرات وزن خشک کل و سطح برگ

شکل ۴-۸ روند تغییرات تشعشع منطقه را با روند تغییرات سطح برگ در تاریخ های کاشت مورد بررسی نشان می دهد. از آنجا که با تاخیر در کاشت، طول مراحل نموی کاهش یافت، می توان نتیجه گرفت، گیاهانی که در تاریخ های کاشت زودتر (۱۰ تیر، ۲۰ تیر و ۳۰ تیر) کشت شدند، فرصت بیشتری برای گسترش سطح برگ پیدا کردند و زمانی که حداکثر تشعشع در منطقه وجود داشت، بیشترین کارایی را در تولید ماده خشک داشته باشند.

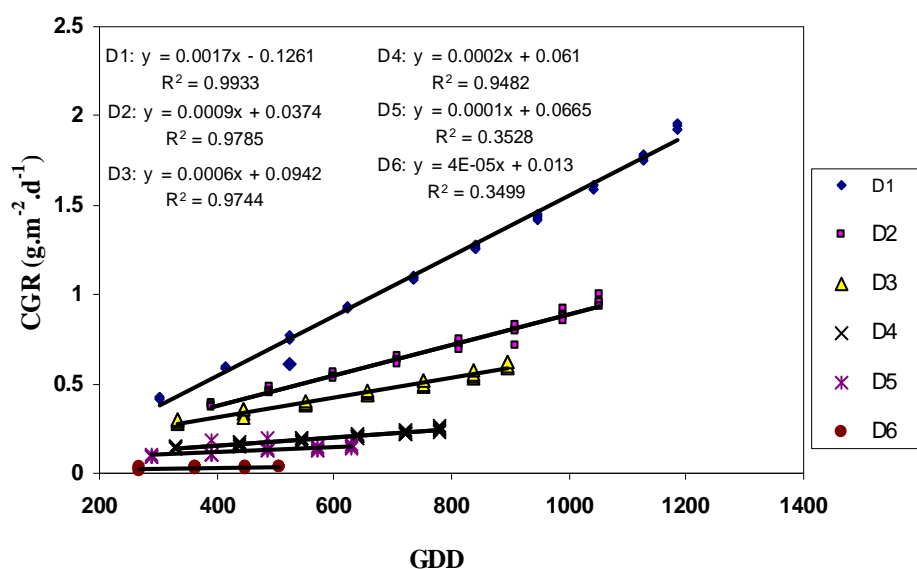


شکل ۴-۸. تغییرات تشعشع منطقه و سطح برگ در تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (۱۰ تیر (D^۱), ۲۰ تیر (D^۲), ۳۰ تیر (D^۳), ۹ مرداد (D^۴), ۱۹ مرداد (D^۵), ۲۹ مرداد (D^۶)).

۴-۱-۳- سرعت رشد محصول (CGR)

بامعناترین کمیت در تجزیه و تحلیل رشد جوامع گیاهی سرعت رشد محصول است که نمایانگر میزان تجمع ماده خشک در گیاهان در یک واحد زمانی می‌باشد. به عبارت دیگر سرعت رشد محصول، افزایش وزن خشک یک اجتماع گیاهی در واحد زمان می‌باشد. سرعت رشد محصول معمولاً بر حسب گرم (وزن خشک کل گیاه) در مترمربع (سطح زمین) در روز بیان می‌گردد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸). در مراحل اولیه رشد به دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی، درصد کمی از نور خورشید توسط گیاهان جذب شده که در نتیجه، سرعت رشد محصول کم می‌باشد. با نمو گیاهان افزایش سریعی در CGR پدید می‌آید، زیرا سطح برگ توسعه یافته و نور کمتری از لابلای شاخ و برگ به سطح خاک نفوذ می‌کند (کوچکی و همکاران، ۱۳۶۷). حداکثر سرعت رشد محصول برای هر گونه معین و در شرایط مطلوب محیط هنگامی پدید می‌آید که پوشش برگ‌ها کامل باشد. این حالت نشان‌دهنده حداکثر توانایی تولید ماده خشک و حداکثر میزان تبدیل انرژی خورشیدی در گیاه است (کوچکی و همکاران، ۱۳۶۷).

تغییرات سرعت رشد محصول بر مبنای درجه روزهای رشد (GDD)، برای تاریخ‌های کاشت مورد مطالعه در شکل ۴-۹ نشان داده شده است. در این مطالعه نیز CGR در کلیه تاریخ‌های کاشت همراه با افزایش شاخص سطح برگ (LAI) به سرعت افزایش یافته است. چنین روندی به علت افزایش تدریجی و فزاینده جذب تشعشع همزمان با افزایش سطح برگ در طول فصل رشد و در نتیجه افزایش سرعت تجمع ماده خشک در گیاهان می‌باشد.



شکل ۴-۹. روند تغییرات CGR در مقابل تجمع درجه روزهای رشد برای تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (۱۰)

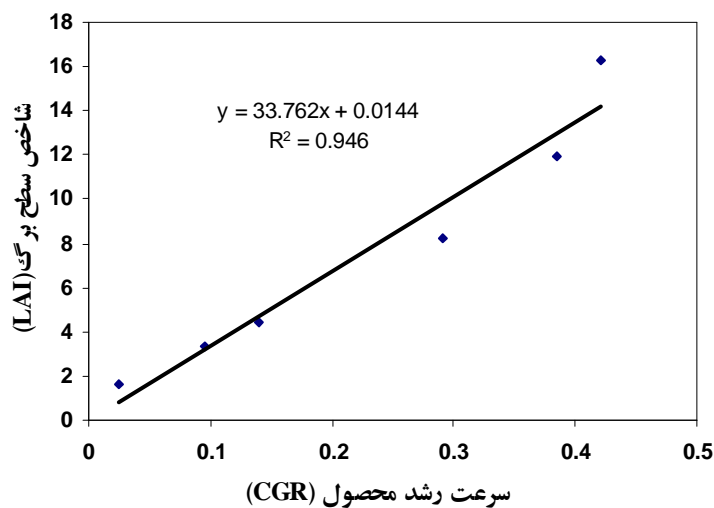
تیر (D^۱)، ۲۰ تیر (D^۲)، ۳۰ تیر (D^۳)، ۹ مرداد (D^۴)، ۱۹ مرداد (D^۵)، ۲۹ مرداد (D^۶).

علت این که بر خلاف انتظار CGR در انتهای فصل رشد، روند نزولی ندارد این است که فصل رشد گیاه کامل نشده و گیاه در زمانی برداشت شده که ماده خشک روند صعودی را داشته است به این ترتیب روند مشاهده شده بر خلاف انتظار، صعودی است.

در این بررسی تاریخ کاشت ۱۰ تیر و ۲۹ مرداد، به ترتیب با ۰/۴۲ گرم در مترمربع و ۰/۰۸ گرم در

مترمربع بیشترین و کمترین سرعت رشد محصول را دارا بودند.

شکل ۴-۱۰ رابطه بین CGR و شاخص سطح برگ (LAI) را نشان می‌دهد. بین CGR و LAI یک همبستگی مثبت و خطی وجود دارد. ضریب تبیین بالا در معادله برازش یافته ($y=a+bx$) نشان‌دهنده ارتباط قوی بین سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ می‌باشد. به این ترتیب تاریخ کاشت ۱۰ تیر، که دارای بیشترین شاخص سطح برگ تولید شده بود، از سرعت رشد محصول (CGR) بیشتری هم برخوردار است و بالعکس، تاریخ کاشت ۲۹ مرداد، که دارای کمترین شاخص سطح برگ بود، CGR کمتری نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت از خود نشان داد. به طور کلی می‌توان، مقدار CGR بیشتر در تاریخ کاشت ۱۰ تیر را به جذب بیشتر تشعشع خورشیدی در طول فصل رشد نسبت داد.

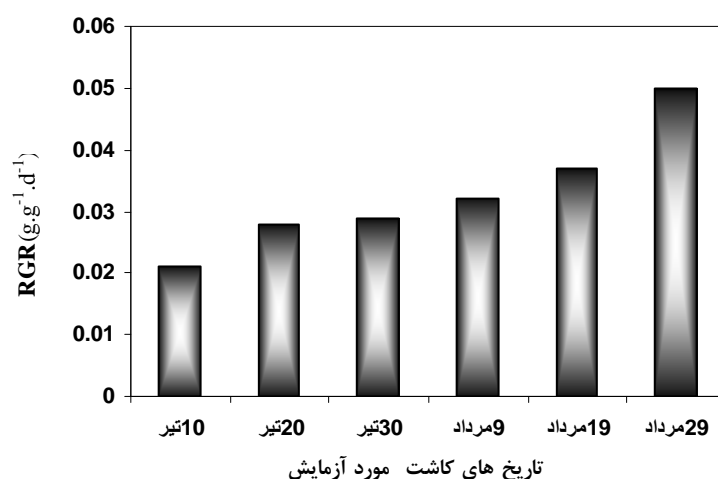


شکل ۴-۱۰. رابطه رگرسیونی بین سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ

۴-۱-۴- سرعت رشد نسبی (RGR)

سرعت رشد نسبی بیان‌کننده وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در یک فاصله زمانی است (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸). به عبارت دیگر سرعت رشد نسبی عبارت از تغییر در وزن به ازای واحد وزن است که قبلاً در گیاه یا اندام در حال رشد وجود داشته است و معمولاً بر حسب گرم بر گرم در روز بیان می‌شود (دیسون و واتسون، ۱۹۷۱). با افزایش سن گیاه، سرعت رشد نسبی کاهش می‌یابد. این کاهش به این علت است که قسمت‌هایی که به گیاه افزوده می‌شوند، بافت‌های ساختمانی هستند نه بافت‌های متابولیکی و چنین بافت‌هایی سهمی در رشد ندارند. کاهش سرعت رشد نسبی تا اندازه‌ای مربوط به در سایه قرار گرفتن و افزایش سن برگ‌های پائین‌تر گیاه نیز می‌باشد (کوچکی و همکاران، ۱۳۶۷). از طرف دیگر با مسن‌تر شدن گیاهان رقابت بین آنها برای جذب آب، مواد غذایی و نور افزایش یافته و به این ترتیب RGR کاهش می‌یابد.

مقادیر سرعت رشد نسبی (مقدار b در معادله ۳-۳) در تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (شکل ۴-۱۱) نشان می‌دهد که با تاخیر در کاشت، مقدار RGR افزایش می‌یابد. تاریخ کاشت ۲۹ مرداد دارای بیشترین میزان RGR، معادل ۰/۰۵ گرم بر گرم در روز و تاریخ کاشت ۱۰ تیر، با ۰/۲۱ گرم بر گرم دارای کمترین مقدار سرعت رشد نسبی بود. دلیل این امر هم می‌تواند افزایش بافت‌های ساختمانی نسبت به بافت‌های متابولیکی و همچنین، سایه‌اندازی برگ‌ها، پیری و ریزش آنها در طول فصل رشد در تاریخ‌های کاشت زودتر (۱۰ تیر، ۲۰ تیر، ۳۰ تیر)، نسبت به تاریخ‌های کاشت تاخیری باشد.



شکل ۴-۱۱. مقادیر تغییرات RGR در تاریخ‌های کاشت مختلف

۴-۱-۵- سرعت جذب خالص (NAR)

میزان جذب خالص عبارت از مقدار مواد خالص ساخته شده (غالباً فتوسنتزی) در واحد سطح برگ در واحد زمان است که معمولاً بر حسب گرم (وزن خشک کل گیاه) در متر مربع (سطح برگ) در روز بیان می‌شود (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸). میزان جذب خالص زمانی به بالاترین مقدار خود می‌رسد که تمام برگ‌ها در معرض نور کامل خورشید قرار بگیرند. این مقدار با زمانی که جثه گیاهان کوچک و برگ‌ها به اندازه‌ای هستند که هیچ‌کدام در سایه دیگری قرار نمی‌گیرند مطابقت می‌کند. با رشد گیاهان و افزایش سطح برگ، برگ‌های بیشتری در سایه یکدیگر قرار می‌گیرند؛ از این رو میزان جذب خالص در طول فصل رشد کاهش می‌یابد (کوچکی و همکاران، ۱۳۶۷).

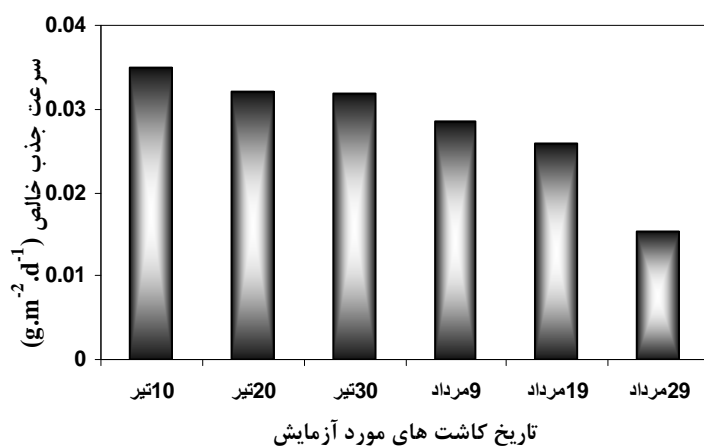
برتون (۱۹۷۲) در مطالعه‌ای بر روی سیب‌زمینی گزارش کرد که میزان جذب خالص تحت تاثیر درجه حرارت نیز می‌باشد. وی ملاحظه کرد که میزان جذب خالص در ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد به حداکثر رسیده و سپس در ۳۶ تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد.

تغییرات میزان جذب خالص بر مبنای درجه روزهای رشد در تاریخ‌های کاشت مختلف در شکل ۴-۱۲ نشان داده شده است. با تاخیر در تاریخ کشت، مقدار NAR در زمان حصول حداکثر LAI افزایش یافت. به طور کلی، کاهش جذب خالص با گذشت زمان، به سایه اندازی متقابل برگ‌ها به علت افزایش

سطح برگ نسبت داده می‌شود (باتری و بازل، ۱۹۷۴؛ کالر و همکاران، ۱۹۷۰). دیسون و واتسون (۱۹۷۱) دریافتند که NAR با گذشت زمان بطور یکنواخت کاهش می‌یابد. در واقع NAR تخمینی از میانگین کارآیی فتوسنتزی برگ‌ها در یک گیاه یا در یک جامعه گیاهی است (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸).

در این بررسی، تاریخ کاشت ۲۹ مرداد، با ۰/۰۷۸ گرم در مترمربع در روز، بیشترین و تاریخ کاشت ۱۰ تیر، با ۰/۰۴۵ گرم در مترمربع در روز، کمترین میزان جذب خالص را نشان دادند. کاهش جذب خالص در تاریخ کاشت‌های زودتر (۱۰ تیر، ۲۰ تیر و ۳۰ تیر)، به علت افزایش سایه‌اندازی متقابل برگ‌ها در نتیجه‌ی افزایش سطح برگ نسبت داده می‌شود (باتری و بازل، ۱۹۷۴؛ کالر و همکاران، ۱۹۷۰). هانت (۱۹۷۸) ملاحظه کرد هنگامی که برگ‌های جدید گیاه اضافه می‌شوند وزن خشک به دست آمده به ازای هر واحد سطح برگ کاهش می‌یابد.

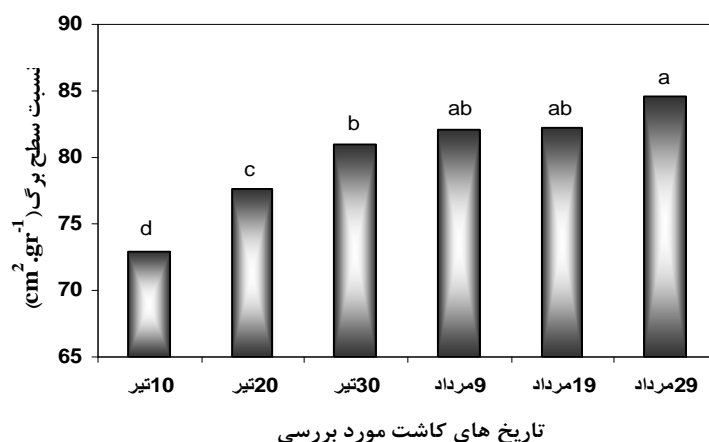
به نظر می‌رسد علت بالا بودن NAR در تاریخ کشت ۲۹ مرداد، با کم بودن سایه‌اندازی متقابل برگ‌ها ارتباط داشته باشد. برمنر و رادلی (۱۹۶۶) و همچنین برمنر و تاها (۱۹۶۶) نشان دادند کشت متراکم یا مصرف زیاد نیتروژن باعث افزایش سطح برگ و در نتیجه کاهش میزان جذب خالص می‌گردد.



شکل ۴-۱۲. مقدار جذب خالص به هنگام حصول حداکثر شاخص سطح برگ

۴-۱-۶- نسبت سطح برگ (LAR)، در زمان حصول حداکثر LAI

نسبت سطح برگ بیان‌کننده نسبت سطح پهنک یا بافت‌های فتوسنتز کننده به کل بافت‌های تنفس‌کننده یا وزن کل گیاه است و بر حسب سانتی‌متر مربع بر گرم بیان می‌شود. در واقع، نسبت سطح برگ یک گیاه در یک زمان (t)، به صورت نسبت سطح تولیدکننده به ازاء واحد ماده خشک گیاه تعریف می‌شود (رادفورد، ۱۹۶۷). نسبت سطح برگ نشان‌دهنده میزان پربریگی یک گیاه می‌باشد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸). روند تغییرات نسبت سطح برگ نزولی بوده و بالاترین مقدار آن در اوایل رشد مشاهده می‌شود و بعد به مرور زمان کاهش می‌یابد (بولوک و همکاران، ۱۹۹۳). کولینز (۱۹۷۷) با تجزیه رشد سیب‌زمینی دریافت که از ۶ تا ۱۶ هفته پس از کاشت نسبت سطح برگ حدود ۱۲ برابر کاهش می‌یابد. در این بررسی، بین تاریخ‌های کاشت از نظر صفت نسبت سطح برگ در زمان حصول حداکثر LAI و در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۴-۳). همچنین نتایج مقایسات میانگین (جدول ۴-۴)، نشان داد که، به موازات تاخیر در کاشت، نسبت سطح برگ روند افزایشی را نشان می‌دهد. براین اساس تاریخ کاشت ۱۰ تیر با ۷۲/۸۵ سانتی‌متر مربع بر گرم، کمترین و تاریخ کاشت ۲۹ مرداد با ۸۴/۵۲ سانتی‌متر مربع بر گرم، بیشترین میزان نسبت سطح برگ را داشتند. در واقع کاهش نسبت سطح برگ در تاریخ‌های کاشت زودتر (۱۰ تیر، ۲۰ تیر، ۳۰ تیر) در مقایسه با تاریخ‌های کاشت انتهایی را می‌توان به افزایش وزن کل گیاه یا افزایش بافت‌های تنفس‌کننده، به سطح برگ آن نسبت داد (شکل ۴-۱۳).

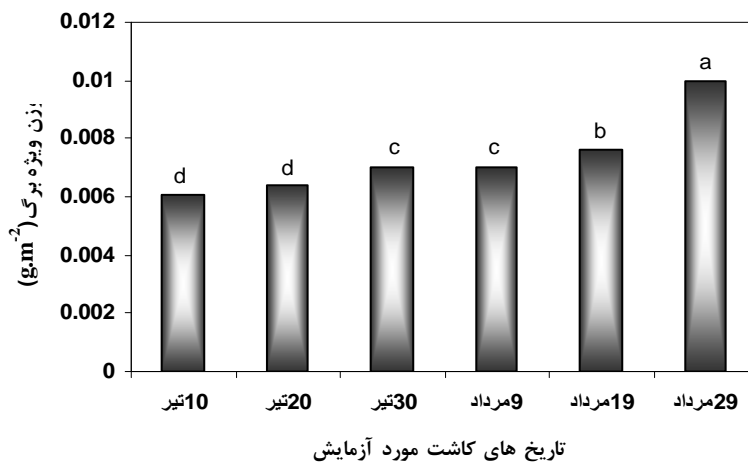


شکل ۴-۱۳. میانگین نسبت سطح برگ در زمان حصول حداکثر LAI در تاریخ‌های کاشت مختلف

۴-۱-۷- وزن ویژه برگ (SLW)، در زمان حصول حداکثر LAI

وزن ویژه برگ عبارت از نسبت وزن برگ به سطح آن است. وزن ویژه برگ معمولاً بر حسب گرم (وزن خشک برگ) بر سانتی‌متر مربع (سطح برگ) بیان می‌شود (ایوانس و همکاران، ۱۹۷۵). وزن ویژه برگ اغلب رابطه مثبتی با میزان جذب خالص دارد و به همین دلیل است که اغلب بین میزان جذب خالص و شاخص سطح برگ رابطه منفی مشاهده می‌شود (ایوانس، ۱۹۸۴). دورن هاف و شیبلیز (۱۶۷۶)، کاپلن و کالر (۱۹۷۷)، شیبلیز و بر (۱۹۶۵) رابطه مثبتی بین میزان جذب خالص و وزن ویژه برگ گزارش کرده‌اند. بنابراین بررسی اثر تاریخ کاشت بر روی وزن ویژه برگ دارای اهمیت است.

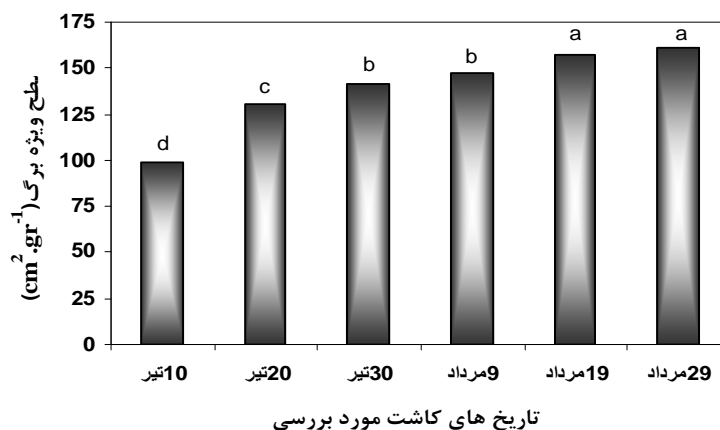
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین تاریخ‌های کاشت مورد بررسی، از نظر صفت وزن ویژه برگ در زمان حصول حداکثر شاخص سطح برگ در سطح احتمال ۱ درصد، اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۳-۴). در این بررسی، بین تاریخ‌های کاشت ۱۰ تیر و ۲۰ تیر از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴-۴). بر این اساس، تاریخ‌های کاشت ۱۰ تیر و ۲۰ تیر به ترتیب با ۰/۰۰۶۲ و ۰/۰۰۶۳ گرم بر سانتی‌متر مربع، کمترین میزان وزن ویژه برگ و تاریخ کاشت ۲۹ مرداد با ۰/۰۱۱ گرم بر سانتی‌متر مربع، دارای بیشترین میزان وزن ویژه برگ بود (شکل ۴-۱۴). در این بررسی هم تیمارهایی که از شاخص سطح برگ بیشتری برخوردار بودند (۱۰ تیر، ۲۰ تیر، ۳۰ تیر)، سرعت جذب خالص کمتر و در نتیجه وزن ویژه برگ کمتری را از خود نشان دادند و بالعکس.



شکل ۴-۱۴. میانگین وزن ویژه برگ در زمان حصول حداکثر LAI در تاریخ‌های کاشت مختلف

۴-۱-۸- سطح ویژه برگ (SLA)، در زمان حصول حداکثر LAI

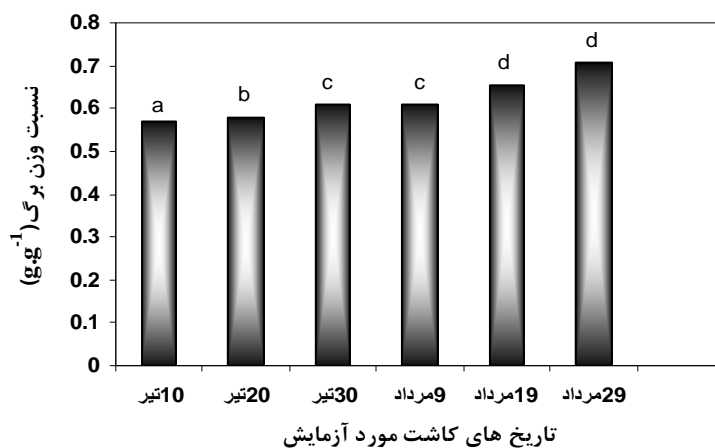
سطح ویژه برگ عبارت از نسبت سطح برگ به وزن خشک آن است و بر حسب سانتی‌متر مربع بر گرم بیان می‌شود (کلاوسون و همکاران، ۱۹۸۶). مک‌کلوم (۱۹۷۸) مشاهده کرد که سطح ویژه برگ در سیب‌زمینی در طول فصل رشد ابتدا افزایش و سپس کاهش پیدا می‌کند. نتایج این بررسی نشان داد که بین تاریخ‌های کاشت مورد بررسی از نظر صفت سطح ویژه برگ در زمان حصول حداکثر LAI و در سطح احتمال ۱ درصد، اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۴-۳). به طوری که با تغییر تاریخ کاشت از ۱۰ تیر به سمت تاریخ کاشت ۲۹ مرداد، مقدار سطح ویژه برگ یک روند صعودی را نشان می‌دهد. نتایج مقایسات میانگین (جدول ۴-۴) در مورد صفت مورد بررسی نشان داد که، تاریخ کاشت ۱۰ تیر، با $98/48$ سانتی‌مترمربع بر گرم کمترین سطح ویژه برگ و تاریخ کاشت ۲۹ مرداد، با $160/7$ سانتی‌مترمربع بر گرم، بیشترین میزان سطح ویژه برگ را دارا بودند (شکل ۴-۱۵). در واقع، SLA نشان‌دهنده نازکی برگ است و دلیل افزایش سطح ویژه برگ در تاریخ کاشت ۲۹ مرداد در مقایسه با سایر تاریخ‌های کاشت، کاهش وزن خشک برگ نسبت به سطح آن است. این حالت نشان‌دهنده ظرافت و نازکی برگ در تاریخ‌های کاشت انتهایی نسبت به تاریخ‌های کاشت اول می‌باشد.



شکل ۴-۱۵. میانگین سطح ویژه برگ در زمان حصول حداکثر LAI در تاریخ‌های کاشت مختلف

۴-۱-۹- نسبت وزن برگ (LWR)، در زمان حصول حداکثر LAI

نسبت وزن برگ بیان‌کننده نسبت وزن برگ به کل بافت‌های تنفس‌کننده یا وزن کل گیاه است و واحد آن (g/g^{-1}) می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین تاریخ‌های کاشت از نظر صفت نسبت وزن برگ در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۴-۳). در این بررسی، تاریخ کاشت ۱۰ تیر با ۰/۵۷ گرم بر گرم کمترین میزان نسبت وزن برگ و تاریخ کاشت ۲۹ مرداد با ۰/۷۰ گرم بر گرم، دارای بیشترین میزان نسبت وزن برگ بودند (جدول ۴-۴). علت کاهش نسبت وزن برگ در تاریخ‌های اول را می‌توان با افزایش بافت‌های ساختمانی در گیاه توجیه کرد (شکل ۴-۱۶).



شکل ۴-۱۶. میانگین نسبت وزن برگ در زمان حصول حداکثر LAI در تاریخ‌های کاشت مختلف

جدول ۳-۴. تجزیه واریانس (مجموع مربعات) صفات مورد بررسی در تاریخ‌های کاشت مورد مطالعه.

منابع تغییرات	درجه آزادی	نسبت وزن برگ	شاخص سطح برگ	سطح ویژه برگ	نسبت سطح برگ	وزن ویژه برگ	عملکرد در هکتار
تکرار	۳	۰/۰۰۰۱۰۶ ^{ns}	۰/۱۴۱ ^{ns}	۷/۰۱ ^{ns}	۳/۵۰ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۳ ^{ns}	۷/۴۴۲۶ ^{ns}
تاریخ کاشت	۵	**۰/۰۵۲۲۶	۶۳۶/۵۲**	۳۸۱۱/۷۵**	۴۲۱/۱۱**	۰/۰۰۰۰۰۲۱۳**	۵۴۸۵۶/۳۸۶**
خطا	۱۵	۰/۰۰۰۸۳۱	۰/۳۹۶	۶۵/۶۶	۱۸/۶۷۶	۰/۰۰۰۰۰۰۲۷۸	۱۴۹/۱۰۹۷

^{ns} غیر معنی‌دار از نظر آماری
^{**} معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۴-۴. مقایسه میانگین‌های صفات مورد مطالعه در تاریخ‌های کاشت مورد مطالعه (آزمون LSD).

تاریخ کاشت	نسبت وزن برگ	شاخص سطح برگ	سطح ویژه برگ	نسبت سطح برگ	وزن ویژه برگ	عملکرد در هکتار
۱۰ تیر	۰/۷۰۷۴ a	۱۶/۲۹۵ a	a۱۳۴/۰۷۵	۰/۰۰۷۸ cb	۱۲۷/۷۸۳ a	۱۶۰/۱۲۱ a
۲۰ تیر	۰/۶۵۴۱ b	۱۱/۹۷۲۵ b	a۱۳۲/۵۰۵	۰/۰۰۷۵ cb	۱۳۴/۰۷۵ a	۱۲۱/۲۶۷ b
۳۰ تیر	۰/۶۱۲۷۳ c	۸/۲۶۷۵ c	ab۱۳۰/۴۶۸	۰/۰۰۷۴ c	۱۳۲/۴۶۸ a	۸۲/۶۳۱ c
۹ مرداد	۰/۶۱۲۱۴۰ c	۴/۴۱۵ d	b۱۲۷/۷۸۳	۰/۰۰۷۶ cb	۱۳۰/۴۶۸ ab	۶۳/۵۱۴ d
۱۹ مرداد	۰/۵۷۸۹ d	۳/۳۶۲۵ e	c۱۱۸/۹۹۷	۰/۰۰۸۳ b	۱۱۸/۹۹۸ c	۳۸/۶۹۴ e
۲۹ مرداد	۰/۵۷۰۱ d	۱/۶۱ f	d۹۷/۵۶۰	۰/۰۱۰ a	۹۷/۵۶۰ d	۱۹/۸۹۱ f

میانگین‌های مربوط به هر صفت که حداقل در یک حرف مشترک هستند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشند.

۴-۱-۱۰- تعداد برگ در بوته و ساقه اصلی

عوامل ژنتیکی و محیطی سرعت ظهور برگ را تحت تاثیر قرار می‌دهند. برای مثال سیمه (۱۹۷۴) نتیجه گرفت که برای ارقام موجود در آزمایش وی، گندم‌های نیمه پاکوتاه در طی فصل رشد برگ‌های خود را بسیار سریعتر از ارقام معمول پابلند تولید کردند. بنابراین، هر چه دوره زمانی از خروج گیاهچه تا آغاز گل طولانی‌تر باشد، تعداد آغازی‌های برگ بیشتر خواهد شد (هی و کربی، ۱۹۹۱). هنگامی که گیاهان در تاریخ یا مکان‌های متفاوت کشت می‌شوند، اثرات شرایط محیطی روی سرعت ظهور برگ و در نتیجه تعداد برگ در بوته بخوبی مشهود است.

نتایج این تحقیق نشان داد که اثر تاریخ کاشت بر تعداد برگ در بوته و تعداد برگ در ساقه اصلی معنی‌دار بود (جدول ۴-۵). در بین تیمارها، تاریخ کاشت ۱۰ تیر بیشترین تعداد برگ در بوته (۶۴/۲۵) و در ساقه اصلی (۲۱/۷۵) را دارا بود و تاریخ کاشت ۲۹ مرداد، با داشتن ۲۴/۲۵ و ۱۱/۷۵ برگ به ترتیب کمترین تعداد برگ در بوته و در ساقه اصلی را به خود اختصاص داد (جدول ۴-۶).

تسریع نمو در گیاهان دیرکاشت به آن معنا است که با افزایش تاخیر در کاشت، طول دوره‌ی زمانی هر مرحله نموی بتدریج کاهش می‌یابد. برای مثال، تعداد برگها در ساقه اصلی کاهش می‌یابد. چون طول دوره‌ی آغازش برگ کم می‌شود، و این امر به نوبه خود موجب کاهش حداکثر تعداد پنجه آغازش شده می‌شود که به طور کلی به تعداد گره‌های برگ مربوط می‌شود (کربی و همکاران، ۱۹۸۵).

رابطه رگرسیون بین تعداد کل برگ و میانگین دما در شکل ۴-۱۷ نشان داده شده که بیانگر یک رابطه خطی مثبت برای آنها می‌باشد. ضریب تبیین بالا در معادله برازش یافته ($y=a+bx$) نشان‌دهنده قوی بودن ارتباط بین میانگین دما و تعداد کل برگ در بوته بوده است.

رابطه بین تعداد برگ در ساقه اصلی و شاخص سطح برگ مثبت بود (شکل ۴-۱۸). ضریب تبیین بالا ($R^2=0/98$)، در این شکل نشان‌دهنده ارتباط قوی بین تعداد برگ در بوته و حداکثر سطح برگ می‌باشد. در واقع این شکل نشان می‌دهد که، با افزایش هر برگ در بوته به میزان ۲/۸۴ سانتی‌متر مربع به سطح برگ

اضافه می‌شود. مقدار سطح برگ به طور جداگانه به تعداد برگ، طول مرحله نمو و نیز سرعت نمو در برگ‌ها بستگی دارد. تعداد برگ تحت تاثیر ژنوتیپ و محیط قرار می‌گیرد (هامفریس و ویلز، ۱۹۶۷). یک همبستگی منفی نیز بین تعداد کل برگ در ساقه اصلی و فتوپریود در زمان سبز شدن مشاهده می‌شود $(y=a-bx)$. این امر نشان‌دهنده تاثیر فتوپریود در زمان سبز شدن بر تعداد برگ در ساقه اصلی گیاه ارزن مرواریدی می‌باشد (شکل ۴-۱۹).

جدول ۴-۵. مجموع مربعات صفات مورد بررسی در تاریخ‌های مختلف کشت

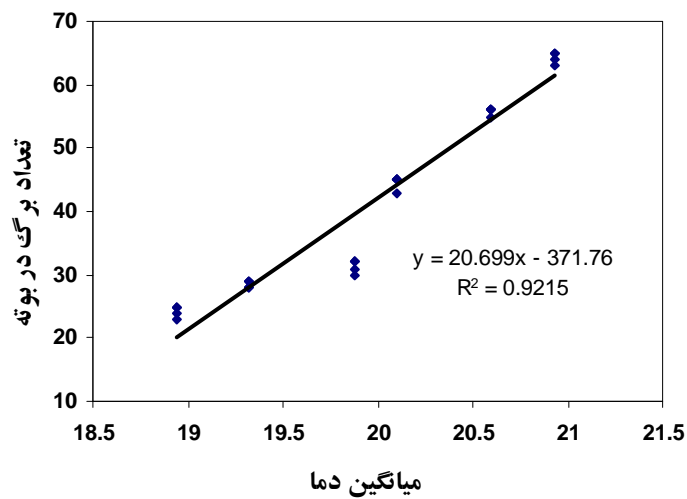
منابع تغییرات	df	تعداد برگ در بوته	تعداد برگ در ساقه اصلی
تکرار	۳	۱/۵ ^{ns}	۰/۵ ^{ns}
تاریخ کاشت	۵	۵۲۰۴/۸۳**	۲۸۰۰/۳۳**
خطا	۱۵	۱۱/۵	۱

^{ns} غیر معنی‌دار از نظر آماری و ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

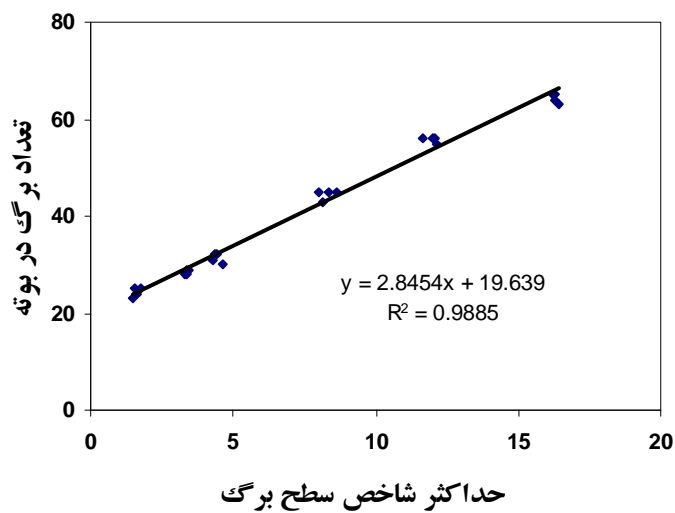
جدول ۴-۶. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در تاریخ‌های مختلف کشت در شرایط مزرعه

تاریخ کشت	تعداد برگ در بوته	تعداد برگ در ساقه اصلی
۱۰ تیر	۶۴/۲۵a	۲۱/۷۵a
۲۰ تیر	۵۵/۷۵b	۲۰b
۳۰ تیر	۴۴/۵c	۱۸c
۹ مرداد	۳۱/۲۵d	۱۶d
۱۹ مرداد	۲۸/۵e	۱۴e
۲۹ مرداد	۲۴/۲۵f	۱۱/۷۵f

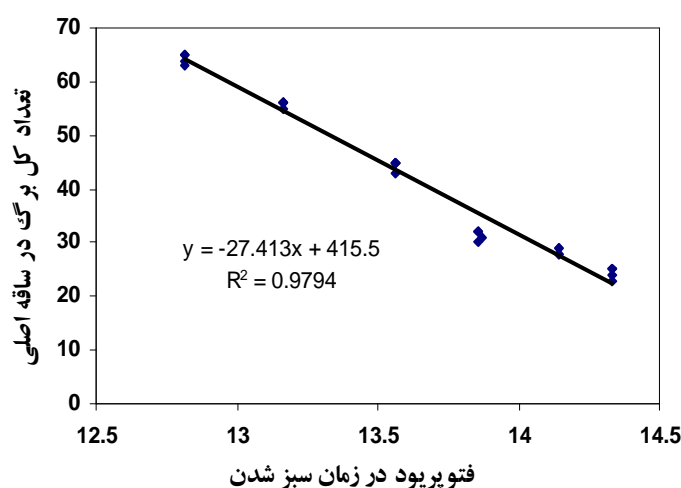
میانگین‌هایی که دارای حروف یکسان هستند، در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌دار ندارند (آزمون LSD).



شکل ۴-۱۷. رابطه رگرسیونی بین تعداد برگ در بوته و میانگین دما



شکل ۴-۱۸. رابطه بین تعداد برگ و حداکثر شاخص سطح برگ



شکل ۴-۱۹. رابطه تعداد کل برگ در ساقه اصلی با فتوپریود در زمان سبز شدن

۴-۱-۱۱-فیلوکرون

عکس شیب خط رگرسیون مربوط به تعداد برگ در مقابل درجه روز رشد، فیلوکرون بوده که واحد آن (درجه روز بر برگ) می‌باشد. فیلوکرون دوره بین ظهور دو برگ متوالی روی ساقه اصلی تعریف می‌شود (کلیپر و همکاران، ۱۹۸۲ بانتینگ و دورنان، ۱۹۹۶). مطالعات نشان می‌دهد که با تغییر تاریخ کاشت، تعداد برگ در ساقه اصلی و مرحله فنولوژیکی گیاه، فیلوکرون نیز تغییر می‌کند. سایر فاکتورهای محیطی شامل قابلیت دسترسی نیتروژن در خاک و تنش خشکی و شوری می‌توانند فیلوکرون را تحت تاثیر قرار دهند. در شرایط مزرعه دو فاکتور مهم تاثیرگذار بر روی سرعت ظهور برگ، درجه حرارت و طول روز می‌باشد (اسلافر و راوسون، ۱۹۹۴؛ بروکینگ، ۱۹۹۶). تعداد نهایی برگ بر اساس نیاز ورنالیزاسیون و حساسیت به طول روز واریته‌های مورد بررسی تعیین می‌شود و طول روز هیچ تاثیری بر سرعت ظهور برگ ندارد.

در مورد سرعت پیدایش آغازی برگ و ظهور آنها در گیاهان زراعی تحقیقات کمی صورت گرفته است. مشاهده شده که درجه حرارت، نور و عوامل دیگر فیلوکرون را تحت تاثیر قرار می‌دهند. در ریگراس علوفه‌ای مشاهده شده است که درجه حرارت‌های بالا (۱۸ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد) و نور زیاد سرعت فیلوکرون را افزایش

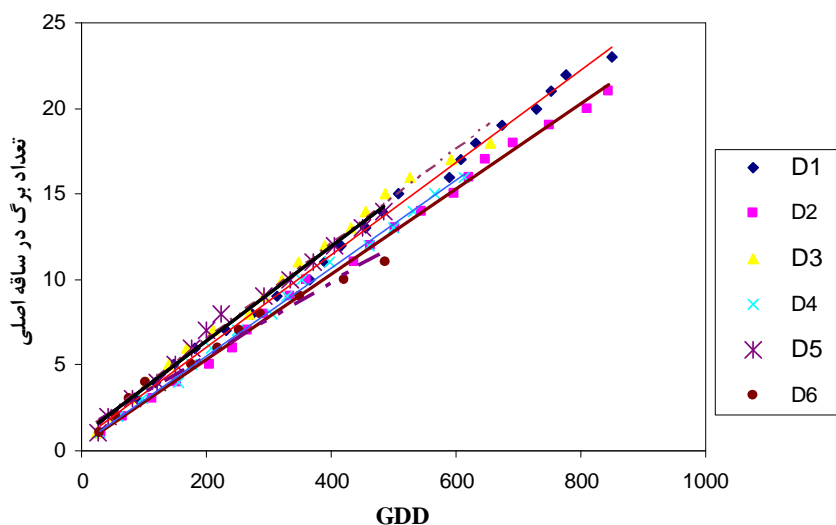
می‌دهند. زیرا میزان نمو گیاه بستگی به درجه‌حرارت دارد. افزایش درجه‌حرارت از ۱۵ به ۲۰ درجه‌سانتی‌گراد سرعت ظهور برگ‌ها را در گندم بیش از ۵۰ درصد افزایش داد (لانکر، ۱۹۷۲).

در غلات از فیلوکرون برای شبیه‌سازی نمو برگ که یک پارامتر مهم در مدل شبیه‌سازی است استفاده می‌نمایند. فیلوکرون و تعداد برگ نهایی تحت تاثیر ژنوتیپ و محیط قرار می‌گیرند. (کربی، ۱۹۸۵)، عده‌ای از محققان دیگر از جمله پترسون (۱۹۸۹) نیز بیان داشتند که فیلوکرون در سراسر مرحله نمو محصول ثابت نبوده و شدیداً تحت تاثیر شرایط محیطی پس از جوانه‌زنی قرار می‌گیرد.

نتایج این بررسی نشان داد که بین تاریخ‌های کاشت مورد مطالعه از نظر فیلوکرون تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۴-۷). عدم معنی‌دار شدن اثر تاریخ کاشت بر فیلوکرون این نکته را مشخص می‌کند که در تاریخ‌های مختلف کشت، تنها مدت ظهور برگ و در نتیجه تعداد برگ تغییر می‌کند، نه سرعت ظهور برگ. بر همین اساس، شیب تغییرات تعداد برگ در مقابل GDD تیمارهای مورد بررسی مشابه بدست آمد (شکل ۴-۲۰).

جدول ۴-۷- مجموع مربعات فیلوکرون در تاریخ‌های مختلف کشت

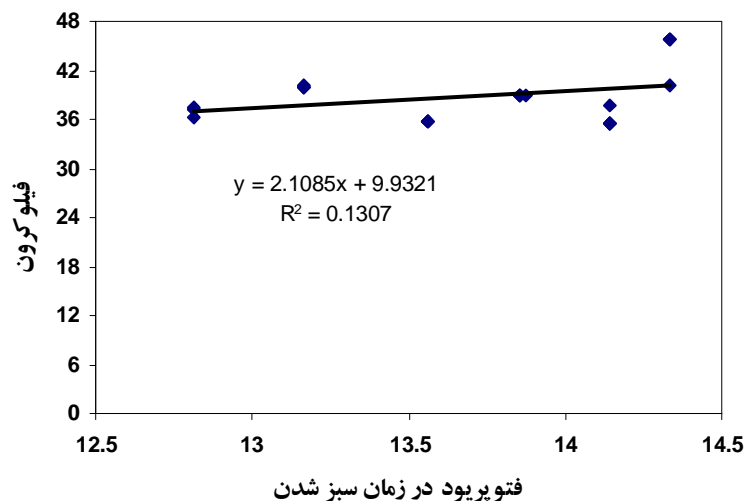
منابع تغییرات	درجه آزادی	فیلوکرون
تکرار	۳	۷/۴۰ ^{ns}
تاریخ کاشت	۵	۲۰۳/۲۹ ^{ns}
خطا	۱۵	۲۰/۷۰۷



شکل ۴-۲۰. رابطه گرسیونی تعداد برگ در ساقه اصلی با GDD در تاریخ کاشت‌های مورد بررسی (۱۰ تیر (D^۱), ۲۰

تیر (D^۲), ۳۰ تیر (D^۳), ۹ مرداد (D^۴), ۱۹ مرداد (D^۵), ۲۹ مرداد (D^۶)).

شکل ۴-۲۱ رابطه فیلوکرون با فتوپریود در زمان سبز شدن را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بین آنها رابطه‌ای وجود ندارد (شیب خط معنی‌دار نیست). ضریب تبیین پائین ($R^2=0/13$) در این معادله نیز مؤید این مطلب می‌باشد. میگلیتا (۱۹۸۹) تاثیر طول روز و دما را بر سرعت ظهور برگ در گندم مورد بررسی قرار داد. نتایج آزمایش وی عدم وابستگی سرعت ظهور پرموردیوم رویشی به طول روز، کاهش تعداد نهایی برگ در واریته‌های حساس به طول روز بر اثر افزایش طول روز و افزایش سرعت ظهور پرموردیوم برگ بر اثر افزایش دما را اثبات کرد. در این بررسی نیز مشاهده شد، که فتوپریود در زمان سبز شدن هیچ تاثیری بر روی سرعت ظهور برگ نداشته است. این مساله در حالی رخ داده است که روند تغییرات فتوپریود در طول فصل آزمایش قابل توجه بوده است (شکل ۴-۲۳).



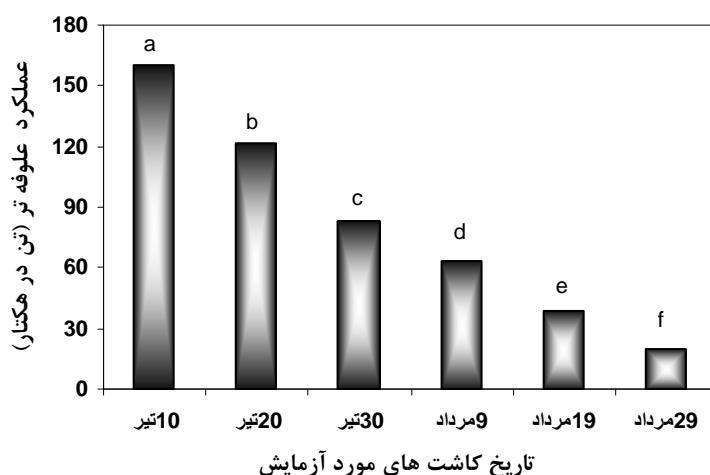
شکل ۴-۲۱. رابطه بین فیلوکرون با فتوپریود در زمان سبز شدن

۴-۱-۱۲- عملکرد علوفه تر

تاریخ کاشت عامل تعیین کننده و مهم در عملکرد گیاهان به حساب می آید. تاریخ کاشت مناسب جهت حصول بالاترین عملکرد ماده خشک و کیفیت برای نواحی مختلف، متفاوت است (هیتر و همکاران، ۲۰۰۲). روش های صحیح مدیریت زراعی برای استفاده حداکثر از ظرفیت محیط برای تولید گیاهان امری بسیار مهم بوده و تعیین مناسب ترین شرایط رشد می تواند در راستای افزایش عملکرد و به حداکثر رسانیدن بهره وری از محیط مدنظر باشد. یکی از عوامل مهم در تصمیم گیری های زراعی به منظور دستیابی به عملکردهای بالا همراه با کیفیت مناسب، تعیین مناسب ترین زمان کاشت و تراکم بوته است (خادم حمزه و کریمی، ۱۳۷۳). هانت در سال ۱۹۷۸ نشان داد که به ازای هر هفته تاخیر در تاریخ کاشت، عملکرد کانولا به میزان ۵ درصد کاهش یافت. تاخیر در تاریخ کاشت، دوره زمانی بین کاشت تا گلدهی را کاهش می دهد که نتیجه این امر کاهش در پتانسیل عملکرد می باشد.

نتایج تجزیه واریانس تیمارهای مورد بررسی در خصوص عملکرد نهایی در هکتار نشان داد که بین تاریخ های کاشت مورد مطالعه از نظر عملکرد در هکتار در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی دار وجود دارد (جدول ۴-۸). این امر نشان دهنده اهمیت انتخاب تاریخ کاشت مناسب جهت داشتن عملکرد مطلوب و

قابل قبول می‌باشد. همچنین نتایج مقایسات میانگین نشان داد که تاریخ کاشت ۱۰ تیر، بیشترین علوفه تر در هکتار و تاریخ کاشت ۲۹ مرداد کمترین عملکرد را در هکتار دارا بودند (جدول ۴-۹). نتایج این تحقیق نشان داد که میزان کاهش عملکرد در، تاریخ کاشت ۲۰ تیر نسبت به تاریخ کاشت ۱۰ تیر، ۲۴/۲۷ درصد، تاریخ کاشت ۳۰ تیر نسبت به تاریخ کاشت ۲۰ تیر، ۴۱/۸۷ درصد، تاریخ کاشت ۹ مرداد نسبت به تاریخ کاشت ۳۰ تیر، ۲۴/۱۴، تاریخ کاشت ۱۹ مرداد نسبت به تاریخ کاشت ۹ مرداد، ۴۹/۲۸ درصد و بالاخره تاریخ کشت ۲۹ مرداد نسبت به تاریخ کاشت ۱۹ مرداد، ۴۸/۵۹ درصد می‌باشد (شکل ۴-۲۲).



شکل ۴-۲۲. روند تغییرات عملکرد علوفه تر در تاریخ‌های کاشت مورد بررسی

جدول ۴-۸. مجموع مربعات عملکرد علوفه تر در هکتار در تاریخ‌های مختلف کشت

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد در هکتار
تکرار	۳	۲/۴۸۰۹ ^{ns}
تاریخ کاشت	۵	۱۰۹۷۱/۲۷۷**
خطا	۱۵	۹/۹۴۰

جدول ۴-۹. مقایسه میانگین عملکرد علوفه تر در هکتار در تاریخ‌های مختلف کشت (آزمون LSD)

عملکرد در هکتار	تاریخ کشت
۱۶۰/۱۲۱ a	۱۰ تیر
۱۲۱/۲۶۷ b	۲۰ تیر
۸۲/۶۳۱ c	۳۰ تیر
۶۳/۵۱۴ d	۹ مرداد
۳۸/۶۹۴ e	۱۹ مرداد
۱۹/۸۹۱ f	۲۹ مرداد

میانگین‌های مربوط به هر صفت که حداقل در یک حرف مشترک هستند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشند.

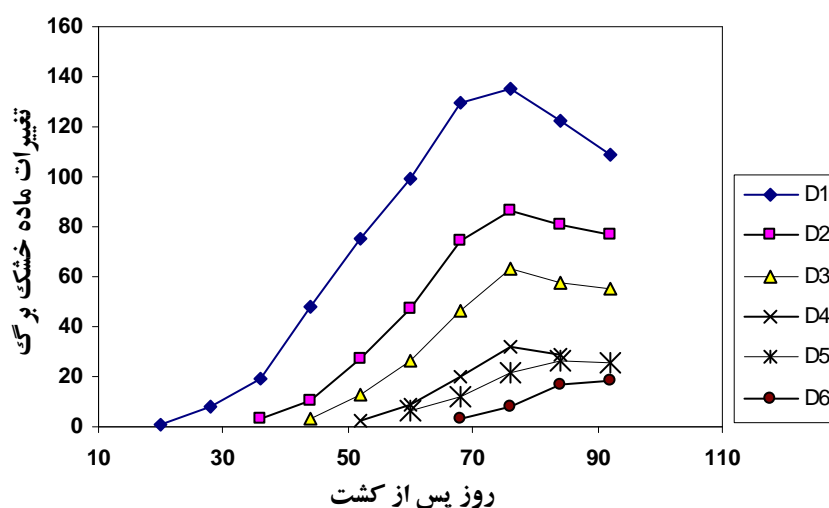
۴-۲- تخصیص ماده خشک به اندام‌های مختلف

توزیع ماده خشک به معنی تخصیص اسیمیلات‌های حاصل از فرایند فتوسنتز به اندام‌های مختلف گیاه می‌باشد. این اسیمیلات‌ها در واقع به اندام‌های رویشی روی زمین و زیرزمین و اندام‌های ذخیره‌ای اختصاص می‌یابند (پنینگ دورایس، ۱۹۸۹). پارامتر کلیدی در کمیت تجمع بیوماس قبل از گلدهی در ارزن مرواریدی، الگوی اختصاص ماده خشک بین برگ‌ها و ساقه‌ها است.

فان استروم و همکاران (۲۰۰۲) با تایید یافته‌های جونز و کنیری (۱۹۸۶)، الگوی توزیع ماده خشک به برگ‌ها و ساقه‌ها قبل از گلدهی در ارزن مرواریدی را تعریف نمودند. آنها دریافتند که بر اساس دامنه‌ای از فتوپریود و تراکم، مقدار بیوماس اختصاص یافته به پهنک دو برابر مقدار اختصاص یافته به بخش ساقه قبل از شروع رشد ساقه بود.

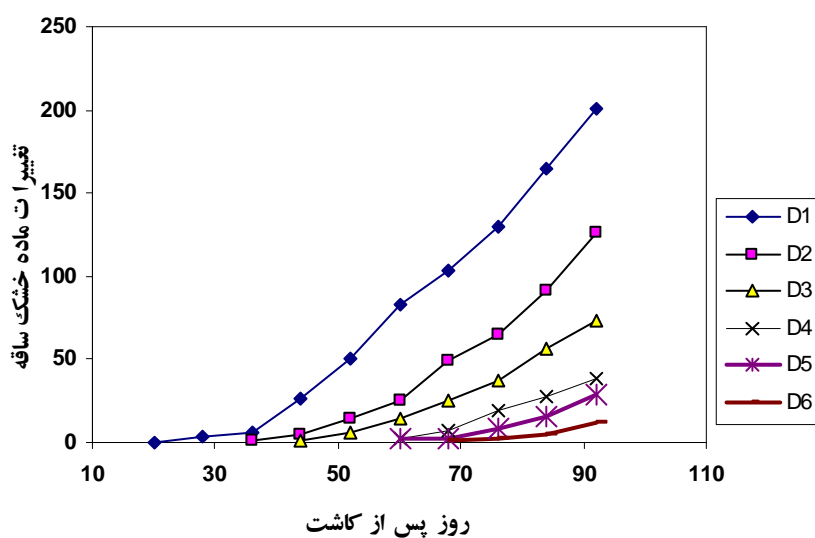
ترپین و همکاران (۲۰۰۲) اقدام به محاسبه معادله رگرسیونی برگ سبز و ساقه در مقابل کل بیوماس باقلا (*Vicia Faba*) نمودند. آنها از شیب معادله مذکور به عنوان ضریب توزیع استفاده کردند.

در شکل‌های ۲۳-۴ و ۲۴-۴ روند توزیع و تجمع ماده خشک برگ و ساقه در طول زمان از کاشت تا برداشت برای گیاه ارزن مرواریدی ارائه شده است (شایان ذکر است که این روند برای GDDهای مختلف در شکل‌های ۳-۴ و ۴-۴ آورده شده است). تا دو نمونه برداری آخر وزن خشک برگ به صورت نمایی (تقریباً مصادف با مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گیاه ارزن) رو به افزایش می‌باشد. در انتهای فصل رشد به علت پیری برگ‌ها و همچنین زرد شدن و ریزش آنها در تاریخ کاشت‌های زودتر رو به کاهش است. فاز نمایی افزایش وزن ساقه که تقریباً مصادف با مرحله ساقه‌دهی ارزن مرواریدی بود، سرعت بیشتری به خود گرفت (قبل از مرحله ساقه رفتن، ساقه به صورت ساختارهای اولیه ساقه یا ساقه کاذب دیده می‌شود). این روند افزایش تا رسیدن به نقطه حداکثر در ۹۲ روز پس از کاشت ادامه داشت (شکل ۴-۲۴).



شکل ۴-۲۳. روند تغییرات ماده خشک برگ نسبت به زمان در تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (۱۰ تیر (D^۱), ۲۰

تیر (D^۲), ۳۰ تیر (D^۳), ۹ مرداد (D^۴), ۱۹ مرداد (D^۵), ۲۹ مرداد (D^۶)).



شکل ۴-۲۴. روند تغییرات ماده خشک ساقه نسبت به زمان در تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (۱۰ تیر (D^۱), ۲۰

تیر (D^۲), ۳۰ تیر (D^۳), ۹ مرداد (D^۴), ۱۹ مرداد (D^۵), ۲۹ مرداد (D^۶)).

فان الاستروم و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که قبل از ساقه رفتن ارزش‌مندی میزان ماده خشک اختصاص داده شده به برگ‌ها به رقم، تراکم و طول روز وابسته نیست. همچنین در این زمان مقدار ماده

خشکی که به غلاف برگ‌ها اختصاص می‌یابد، نیمی از مقدار اختصاص یافته به پهنک برگ‌هاست. اختصاص ماده‌خشک به برگ‌ها در ارزن هنگامی که ۹۰ درصد از زمان سبز شدن تا گلدهی طی شود پایان می‌پذیرد که تقریباً برابر با زمان وقوع برگ پرچی است. براین اساس حدود ۶۷ درصد از ماده‌خشک قبل از رشد طولی ساقه به برگ‌ها اختصاص می‌یابد. در گندم نیز حدود ۸۰ درصد از ماده‌خشک به پهنک برگ‌ها اختصاص می‌یابد. بر اساس تحقیقات گومز و مک‌پرسون و همکاران (۱۹۹۸)، این رقم برای گندم ۶۲ درصد بود.

۴-۳-۱- ضرایب توزیع ماده خشک

متوسط ضرایب توزیع برای مراحل مختلف فنولوژی با استفاده از برازش رگرسیون خطی و غیر خطی داده‌های ماده خشک تجمعی هر اندام در مقابل ماده خشک کل تجمعی اندام‌های هوایی بدست آمد. با توجه به رشد محدود در ارزن، دوره تولید برگ موثر در ساقه اصلی همزمان با کامل شدن برگ پرچم خاتمه می‌یابد و در کل گیاه نیز معمولاً دوره موثر رشد برگ در پنجه‌ها تا زمان خوشه‌دهی ادامه می‌یابد (گاردنر و همکاران، ۱۹۸۵).

قبل از این مرحله (شروع گل‌آذین در ارزن) ماده خشک فقط بین برگ‌ها و ساقه توزیع می‌شود و بعد از این مرحله معمولاً ماده خشک بین ساقه‌ها، گل‌آذین و به مقدار کمتری به برگ‌ها اختصاص می‌یابد. بررسی و برازش داده‌های ماده‌خشک برگ‌ها در گیاه ارزن مرواریدی در مقابل ماده‌خشک کل نشان‌دهنده وجود یک الگوی دو قسمتی توزیع ماده خشک بین آنها می‌باشد (شکل ۴-۲۵). در حالی که روند افزایش ماده خشک ساقه در مقابل ماده خشک کل از یک الگوی ساده خطی برخوردار است (شکل ۴-۲۶).

در سطوح پایین تر مقدار ماده خشک کل، سهم بیشتری از ماده خشک به برگ‌ها اختصاص می‌یابد.

این الگوی توزیع ماده خشک توسط مدل زیر بیان می‌شود.

$$Y = a + b * x \quad \text{اگر } X < t_0 \quad (1-4)$$

$$Y = a + b * t_0 \quad \text{اگر } X \geq t_0 \quad (2-4)$$

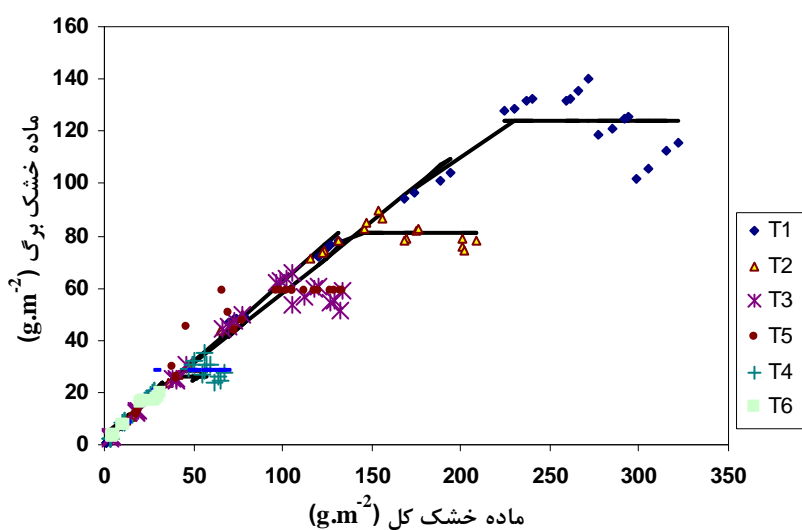
که در آن، Y ماده خشک برگ؛ X ، ماده خشک کل؛ t_0 ، نقطه چرخش بین دو بخش نمودار توزیع ماده خشک؛ b ، ضریب توزیع ماده خشک برگ و a عرض از مبدا می‌باشد.

اما در سطوح بالاتر ماده خشک کل (در صورت وجود شرایط محیطی مطلوب برای رشد رویشی)، مقدار ماده خشک بیشتری به ساقه اختصاص می‌یابد. این الگوی توزیع ماده خشک توسط مدل زیر بیان می‌شود.

$$Y = a + bX \quad (3-4)$$

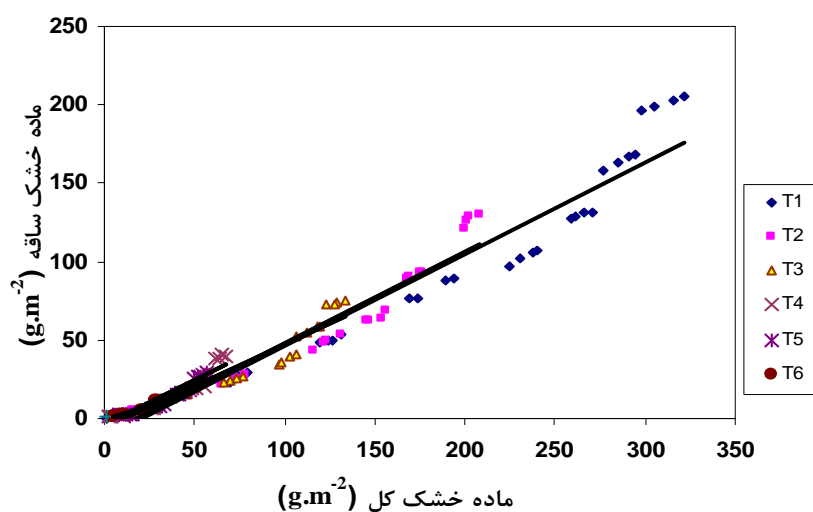
در این مدل Y ، ماده خشک ساقه؛ X ، ماده خشک کل؛ b ، ضریب توزیع ماده خشک ساقه و a عرض از مبدا می‌باشد.

زمانی که شرایط برای رشد رویشی گیاه فراهم باشد و مقدار ماده خشک رویشی (برگ و ساقه) بیشتری تولید شود، در این شرایط مقدار ماده خشک تولید شده بیشتری برای نگهداری ساختار گیاه در این شرایط به ساقه اختصاص می‌یابد. همچنین ممکن است به دلیل این که گسترش سطح برگ کافی نبوده و نمی‌تواند به عنوان یک مخزن ذخیره‌ای مناسب عمل کنند، بنابراین مقدار ماده خشک اختصاص یافته به ساقه بیشتر می‌شود.



شکل ۴-۲۵. روند تغییرات ماده خشک برگ نسبت به تغییرات ماده خشک کل در تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (۱۰)

تیر (D^۱)، ۲۰ تیر (D^۲)، ۳۰ تیر (D^۳)، ۹ مرداد (D^۴)، ۱۹ مرداد (D^۵)، ۲۹ مرداد (D^۶)).



شکل ۴-۲۶. روند تغییرات ماده خشک ساقه نسبت به تغییرات ماده خشک کل در تاریخ‌های کاشت مورد بررسی (۱۰)

تیر (D^۱)، ۲۰ تیر (D^۲)، ۳۰ تیر (D^۳)، ۹ مرداد (D^۴)، ۱۹ مرداد (D^۵)، ۲۹ مرداد (D^۶)).

جدول ۴-۱۰ و ۴-۱۱ ضرایب توزیع ماده خشک را به ترتیب برای ساقه و برگ در گیاه ارزن

مرواریدی نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که تاریخ‌های کاشت مختلف اثر معنی‌داری روی متوسط

ضرایب توزیع در برگ و ساقه داشته‌اند. بیشترین مقدار توزیع ماده خشک به ساقه، مربوط به تاریخ کاشت ۱۰ تیر با ضریب توزیع ۴۵٪ و کمترین آن در تاریخ کاشت ۲۹ مرداد با ضریب توزیع ۲۱٪ بوده است. تفاوت تاریخ کاشت اول نسبت به تاریخ کاشت ششم، ۲۴٪ می‌باشد. نسبت ۵۰:۵۰ توزیع ماده خشک بین برگ و ساقه در طی رشد رویشی برای نخود (سینگ، ۱۹۹۱) و باقلا (ترپنی و همکاران، ۲۰۰۲)، لوبیا چشم بلبلی (رابرتسون و همکاران، ۲۰۰۰) گزارش شده است.

از آنجایی که ظهور گل‌آذین در گیاه ارزن مرواریدی تحت تاریخ‌های کاشت مورد مطالعه فقط در سه تاریخ کاشت اول دیده شد و گل‌آذین‌های تولید شده فاقد هیچ گونه بذری بودند ضریب تخصیص ماده خشک به گل‌آذین در این تحقیق مورد مطالعه قرار نگرفت.

جدول ۴-۱۰. ضرایب تخصیص ماده خشک به ساقه در تاریخ‌های کاشت مورد مطالعه

تاریخ کاشت	ضریب تخصیص به ساقه	R ^۲	CV (%)
۱۰ تیر	۰/۲۳ ± ۴۵٪	۰/۹۴	۲۱/۸۸
۲۰ تیر	۰/۲۶ ± ۳۹٪	۰/۹۴	۲۲/۳
۳۰ تیر	۰/۲۹ ± ۳۶٪	۰/۹۳	۲۲/۴
۹ مرداد	۰/۳۸ ± ۲۷٪	۰/۹۱	۲۷/۵
۱۹ مرداد	۰/۳۵ ± ۲۹٪	۰/۹۲	۲۳/۱۲
۲۹ مرداد	۰/۳۵ ± ۲۱٪	۰/۹	۲۷/۱۸

جدول ۴-۱۱. ضرایب تخصیص ماده خشک به برگ در تاریخ‌های کاشت مورد مطالعه

تاریخ کاشت	ضریب تخصیص به برگ
۱۰ تیر	0 ± 0.55
۲۰ تیر	0.26 ± 0.61
۳۰ تیر	0.29 ± 0.64
۹ مرداد	0.38 ± 0.73
۱۹ مرداد	0.35 ± 0.71
۲۹ مرداد	0.36 ± 0.79

۴-۴- سبز شدن

جدول ۴-۱۲ میانگین روز تا ۵۰ درصد سبز شدن و متوسط دمای هوا در طول دوره سبز شدن را برای گیاه ارزن مرواریدی در تاریخ‌های کاشت مورد بررسی نشان می‌دهد. حداقل روز تا ۵۰ درصد سبز شدن برای این گیاه حدود ۶ روز و مربوط به تاریخ کاشت ۲۰ تیر بود. در این تاریخ کاشت به علت بالا بودن میانگین دمای دوره کاشت تا سبز شدن، بذور ۵ روز پس از کاشت سبز شدند. حداکثر تعداد روز از کاشت تا ۵۰ درصد سبز شدن بذور، برابر با ۹ روز و متعلق به تاریخ کاشت ۱۹ مرداد بود. متوسط دمای هوای تجربه شده طی دوره آزمایش در تاریخ‌های کاشت مختلف $24/056$ درجه سانتی‌گراد بود. بیشترین میانگین دمای تجربه شده در طی آزمایش مربوط به تاریخ کاشت‌های اول و حداقل آن مربوط به تاریخ کاشت ۲۹ مرداد بود.

جدول ۴-۱۲. مقادیر متوسط، حداقل و حداکثر روز تا سبز شدن و دمای هوا در دوره آزمایش

متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین
روز از کاشت تا سبز شدن	۵/۷۵	۹	۷/۲۵
متوسط دمای هوا (°C)	۱۵	۳۲	۲۴/۰۵۶

نتایج تجزیه واریانس مربوط به روز تا ۵۰ درصد سبز شدن در جدول ۴-۱۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بین تاریخ‌های کاشت از نظر این متغیر در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تفاوت بین تاریخ کشت ۲۰ تیر و ۳۰ تیر از نظر آماری قابل اغماض می‌باشد (جدول ۴-۱۴).

آنکس و همکاران (۱۹۸۱) بیان کردند که طول دوره سبز شدن به شدت تابعی از دما است و در اغلب گیاهان زراعی سرعت سبز شدن تحت تاثیر طول روز و بهاره‌سازی قرار نمی‌گیرد.

جدول ۴-۱۳. مجموع مربعات برای زمان از کاشت تا سبز شدن (VE)

منبع تغییر	df	VE
تکرار	۳	۰/۳۳ ^{ns}
تاریخ کاشت	۵	۴۹/۸۳ ^{**}
خطا	۱۵	۱/۱۶

** تاثیر معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ns غیر معنی‌دار از نظر آماری.

جدول ۴-۱۴. مقایسه میانگین روز تا ۵۰ درصد سبز شدن در تاریخ‌های کشت مورد بررسی آرزن مروری

تاریخ کشت	روز پس از سبز شدن
۱۰ تیر	۶c
۲۰ تیر	۵/۷۵c
۳۰ تیر	۶c
۹ مرداد	۹a
۱۹ مرداد	۸/۲۵b
۲۹ مرداد	۹a

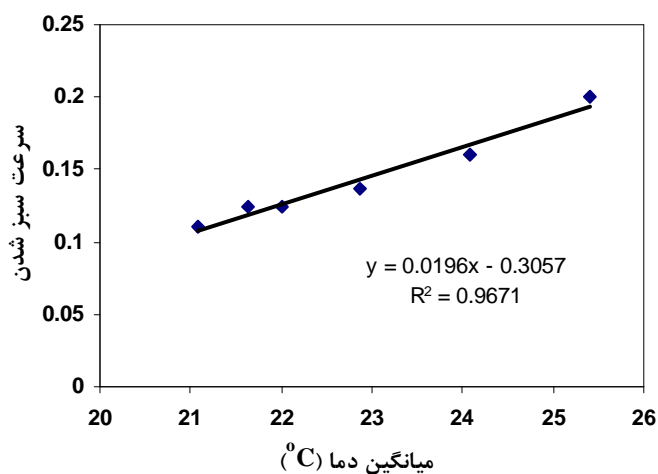
میانگین‌هایی که دارای حروف یکسان هستند، در سطح ۰/۰۱ اختلاف معنی‌دار ندارند (آزمون LSD).

نتایج این بررسی نشان داد که به ازای یک درجه سانتی‌گراد افزایش دما، سرعت سبز شدن به میزان حدود ۰/۰۲ بر روز افزایش می‌یابد (شکل ۴-۲۷).

۴-۴-۱- انتخاب مدل مناسب برای کمی کردن واکنش سرعت سبز شدن به دما

برای کمی کردن واکنش سرعت سبز شدن در مقابل دما از مدل‌های مختلفی استفاده شد. نتایج نشان داد که در این گیاه و در محدوده تاریخ کاشت‌های مورد بررسی، مدل برتر توصیف کننده رابطه سرعت سبز شدن با دما، مدل خطی ساده است (شکل ۴-۲۷).

کامکار (۱۳۸۴) از مدل دوتکه‌ای برای کمی کردن واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما در ارقام مختلف گیاه ارزن استفاده نمود. ترابی (۱۳۸۲) مدل دندان مانند را به عنوان مدل برتر برای کمی کردن واکنش سرعت سبز شدن در مقابل دما انتخاب کرد. عجم نوری (۱۳۸۶) گزارش کرد که مدل برتر برای توصیف رابطه سرعت سبز شدن گیاه باقلا در مقابل دما، مدل دوتکه‌ای است. یوسفی‌داز (۱۳۸۳) تابع دندان مانند را به عنوان بهترین تابع برای کمی کردن واکنش کمی کردن واکنش سرعت جوانه‌زنی و سبز شدن به دما در گیاه نخود گزارش نمود. این مسئله حاکی از این است که نوع پاسخ سبز شدن گیاهان مختلف به دما متفاوت است.



شکل ۴-۲۷. رابطه رگرسیونی بین سرعت سبز شدن و میانگین دما

۴-۴-۲- دمای پایه برای مرحله سبز شدن

از آنجایی که در این تحقیق، مدل برتر برای توصیف رابطه سرعت سبز شدن در مقابل دما در گیاه ارزن مرواریدی، مدل خطی ساده است، از بین دماهای کاردینال فقط دمای پایه محاسبه گردید. در این بررسی مقدار دمای پایه برای ارزن مرواریدی ۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. کامکار و همکاران (۲۰۰۶)، دماهای کاردینال را برای ارزن معمولی به ترتیب ۹/۹ درجه سانتی‌گراد برای دمای پایه، ۴۰/۲ درجه سانتی‌گراد برای دمای اپتیمم و ۴۷/۸ درجه سانتی‌گراد برای دمای سقف محاسبه کردند.

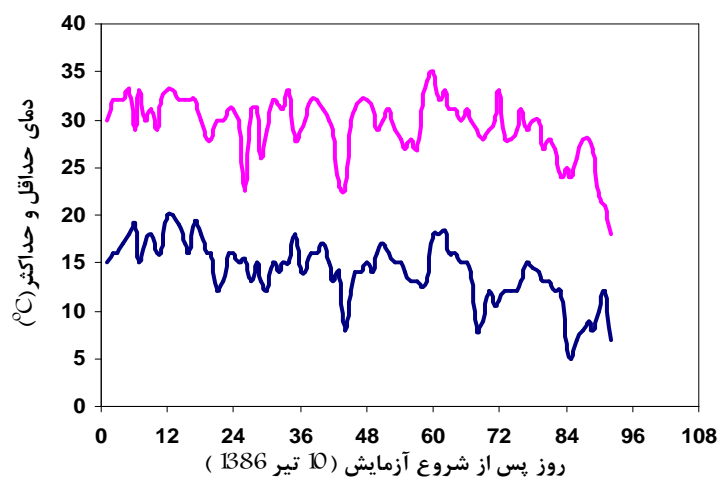
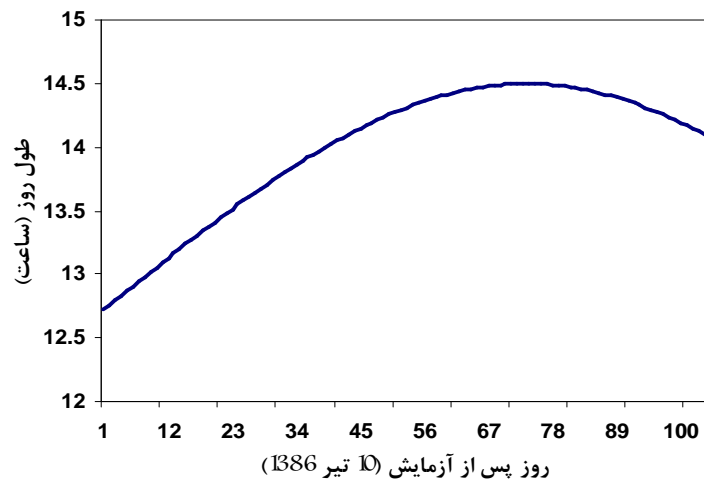
۴-۴-۳- تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن

تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای مرحله سبز شدن گیاه ارزن مرواریدی، در تاریخ‌های کاشت مورد بررسی به ترتیب برابر ۱/۲۹، ۱/۴۲، ۱/۲۰، ۱/۲۷، ۱/۱۲، ۱/۲۶ برآورد گردید. ساوتون و همکاران (۱۹۹۹) تعداد روز بیولوژیک، از کاشت تا سبز شدن گیاه ارزن وحشی را ۱/۹ روز گزارش کردند. ترابی (۱۳۸۲) میانگین تعداد روز بیولوژیک از کاشت تا سبز شدن گیاه نخود را ۵/۶ تا ۶/۵ روز و احمدی (۱۳۸۶) میانگین تعداد روز بیولوژیک از کاشت تا سبز شدن ارقام مختلف گندم را ۳/۳۷ تا ۴/۳ روز برآورد نمودند.

۴-۵- پنجه‌دهی

تغییرات دما و طول روز در طول دوره آزمایش در شکل ۴-۲۸ نشان داده شده است. دمای حداکثر از ۱۸ تا ۳۵ و دمای حداقل از ۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. طول روز نیز در طی دوره آزمایش از ۱۲/۷۱ تا ۱۴/۴۹۶۱ ساعت در روز متغیر بود.

از نظر آماری تعداد روز از سبز شدن تا پنجه‌دهی گیاه ارزن مرواریدی در تاریخ‌های مختلف کشت متفاوت بود (جدول ۴-۱۵). حداکثر تعداد روز از سبز شدن تا پنجه‌دهی در تاریخ کاشت ۲۹ مرداد اتفاق افتاد و حداقل تعداد روز از سبز شدن تا پنجه‌دهی در تاریخ کاشت ۳۰ تیر بدست آمد (جدول ۴-۱۶). در محدوده دمایی و طول روز این آزمایش، با افزایش دما، سرعت پنجه‌دهی افزایش نشان داد (شکل ۴-۲۹). این در حالی است که با بیشتر شدن طول روز، یک روند رو به پایین در سرعت پنجه‌دهی بدست آمد (شکل ۴-۳۰).



شکل ۴-۲۸ تغییرات طول روز (الف)، و دمای حداقل و حداکثر روزانه (ب) در طول فصل آزمایش

جدول ۴-۱۵. مجموع مربعات برای زمان از کاشت تا پنجه‌دهی

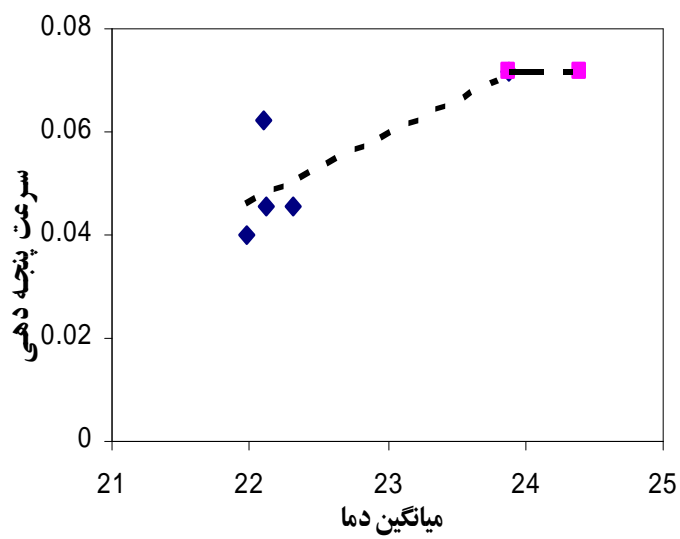
منبع تغییر	<i>df</i>	<i>VE</i>
تکرار	۳	۰/۴۵۸ ^{ns}
تاریخ کاشت	۵	۵۶۴/۲۰**
خطا	۱۵	۱/۲۹

**تاثیر معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و^{ns} غیر معنی‌دار از نظر آماری

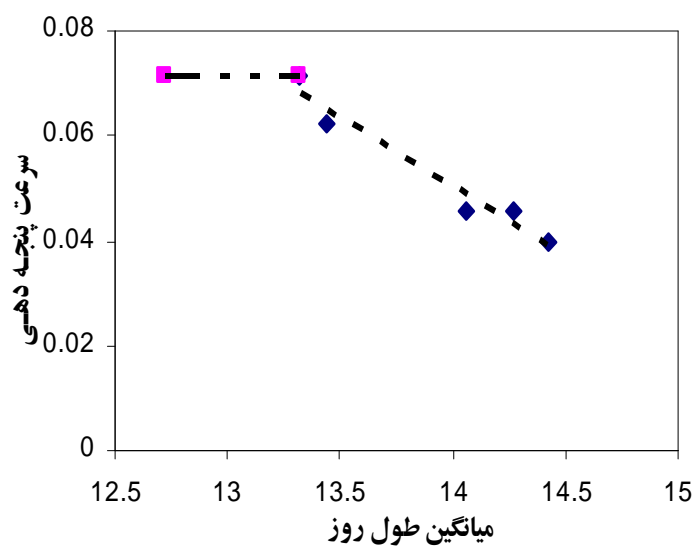
جدول ۴-۱۶. مقایسه میانگین روز تا ۵۰ درصد پنجه‌دهی در تاریخ‌های کشت مورد بررسی در شرایط مزرعه.

روز تا پنجه‌دهی	تاریخ کشت
۱۵d	۱۰ تیر
۱۴e	۲۰ تیر
۱۲f	۳۰ تیر
۲۲/۷۵b	۹ مرداد
۲۲c	۱۹ مرداد
۲۵a	۲۹ مرداد

میانگین‌هایی که دارای حروف یکسان هستند، در سطح ۰/۰۱ اختلاف معنی‌دار ندارند (آزمون LSD).



شکل ۴-۲۹. رابطه سرعت پنجه دهی با دما



شکل ۴-۳۰. رابطه سرعت پنجه دهی با طول روز

برای کمی کردن واکنش سرعت پنجه‌دهی در مقابل دما و طول روز از ۱۶ تابع ترکیبی استفاده شد. در این توابع ترکیبی، برای کمی کردن واکنش سرعت پنجه‌دهی در مقابل دما از توابع درجه دوم، لجستیک، مسطح و بتا و برای کمی کردن واکنش سرعت پنجه‌دهی در مقابل طول روز از توابع دو تکه‌ای، درجه دوم، نمایی منفی، لجستیک استفاده شد. جداول ۴-۱۷ تا ۴-۲۰ معیارهای ارزیابی مدل‌های مختلف را نشان می‌دهد. مدلی که جذر میانگین مربع انحرافات (*RMSD*) کمتر و R^2 بالاتر، a متمایل‌تر به صفر و b متمایل‌تر به ۱ داشت به عنوان مدل برتر انتخاب شد. بررسی این معیارها نشان داد که در گیاه ارزن مرواریدی بهترین مدل پیش‌بینی سرعت پنجه‌دهی در مقابل دما و طول روز، مدل درجه دوم-لجستیک بود. میزان انطباق خط رگرسیون (مقادیر پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر مشاهده شده) با خط ۱:۱ در شکل‌های ۴-۳۱ تا ۴-۳۴ آورده شده است. به طوریکه به وضوح قابل رویت می‌باشد. میزان انطباق در مدل درجه دوم-لجستیک در حد بالاتری قرار دارد.

یوسفی‌داز (۱۳۸۳) اثر عمق کشت (۳، ۶، ۹ و ۱۲ سانتی‌متر) و دما (۱۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد) را بر جوانه‌زنی و سبز شدن گیاه نخود مورد بررسی قرار داد. وی برای کمی کردن واکنش سبز شدن و جوانه‌زنی به دما از توابع متعددی (شامل دندان مانند، دو تکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم) استفاده نمود. احمدی (۱۳۸۶) سبز شدن و ساقه رفتن ۷ رقم گندم (آریا، اترک، کوه‌دشت، شیروودی، تجن، تارو و زاگرس) را در ۸ تاریخ کاشت مورد بررسی قرار داد. وی برای کمی کردن واکنش سرعت ساقه رفتن در مقابل دما و طول روز از ۲۱ تابع ترکیبی استفاده نمود. در این توابع ترکیبی جهت کمی کردن واکنش سرعت ساقه رفتن در مقابل دما از توابع مسطح، لجستیک، دو تکه‌ای، دندان مانند، بتا، درجه دوم و منفی و برای کمی کردن واکنش سرعت ساقه رفتن در مقابل طول روز از توابع نمایی منفی، دو تکه‌ای و درجه دوم استفاده نمود.

جدول ۴-۱۷. جذر میانگین مربع انحرافات ($RMSD$)، ضریب تبیین (R^2) و ضرایب a و b برای مدل‌های مختلف توصیف کننده رابطه سرعت پنجه‌دهی مشاهده شده و واقعی با دما و طول روز در گیاه ارزن مرواریدی. در کلیه مدل‌های این جدول تابع دما از نوع درجه دوم (Q) است.

b	a	R^2	$RMSD$	تابع طول روز
۰/۱۹	۱۳/۲۵	۰/۳۲	۵/۰۴	دو تکه‌ای (S)
۰/۲۲	۱۱/۹۴	۰/۶۶	۳/۸۴	درجه دوم (Q)
۰/۰۸	۱۵/۵۹	۰/۲۱	۴/۸۱	نمایی منفی (NE)
۰/۹۷	۰/۲۱	۰/۹۵	۱/۲۲	لجستیک (L)

جدول ۴-۱۸. جذر میانگین مربع انحرافات ($RMSD$)، ضریب تبیین (R^2) و ضرایب a و b برای مدل‌های مختلف توصیف کننده رابطه سرعت پنجه‌دهی مشاهده شده و واقعی با دما و طول روز در گیاه ارزن مرواریدی. در کلیه مدل‌های این جدول تابع دما از نوع لجستیک (L) است.

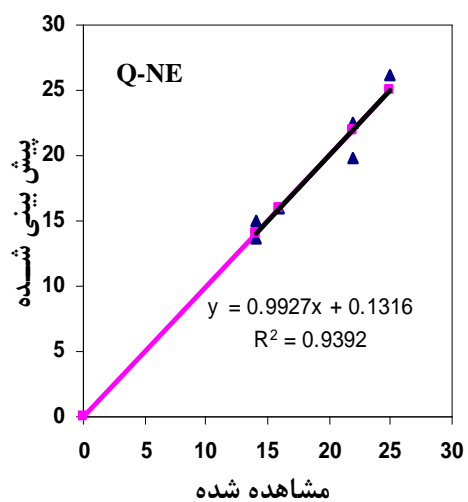
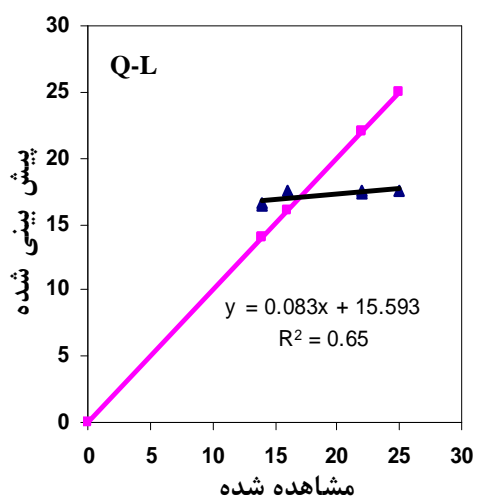
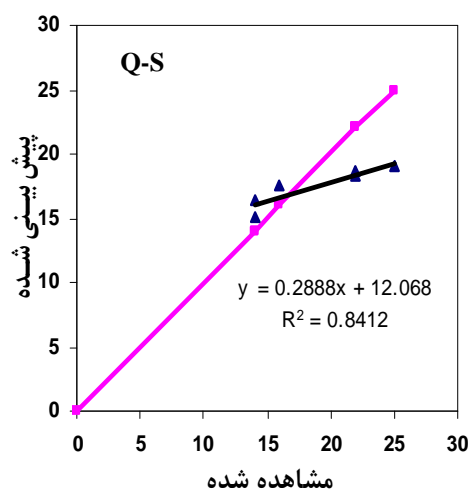
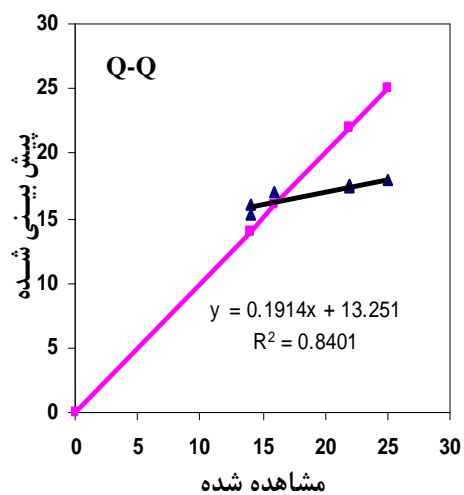
b	a	R^2	$RMSD$	تابع طول روز
۱/۰۵	۱/۷۵	۰/۸	۳/۹۴	دو تکه‌ای (S)
۰/۵۵	۷/۶۸	۰/۷۲	۳/۲۴	درجه دوم (Q)
۰/۳۸	۱۲/۴۳	۰/۸۸	۱/۷۹	نمایی منفی (NE)
۰/۹۶	۰/۱۱	۰/۹۵	۱/۴۵	لجستیک (L)

جدول ۴-۱۹. جذر میانگین مربع انحرافات ($RMSD$)، ضریب تبیین (R^2) و ضرایب a و b برای مدل‌های مختلف توصیف کننده رابطه سرعت پنجه‌دهی مشاهده شده و واقعی با دما و طول روز در گیاه ارزن مرواریدی. در کلیه مدل‌های این جدول تابع دما از نوع مسطح (F) است.

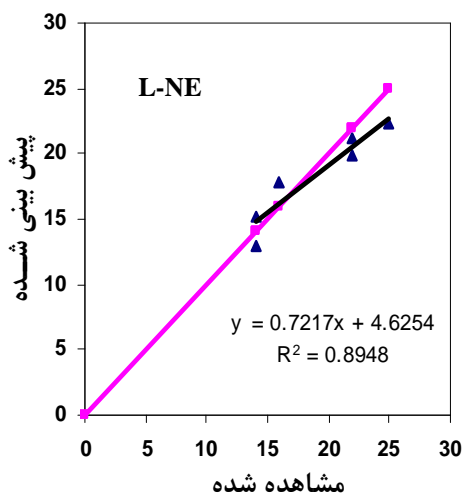
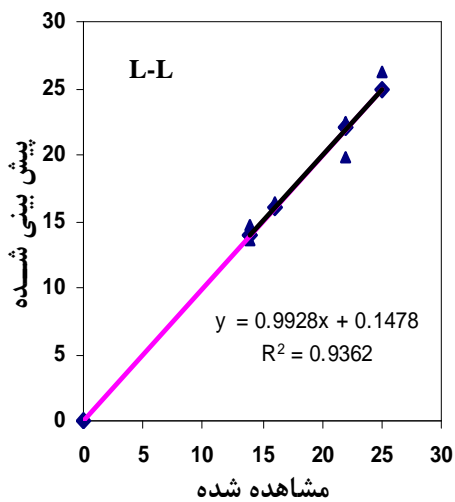
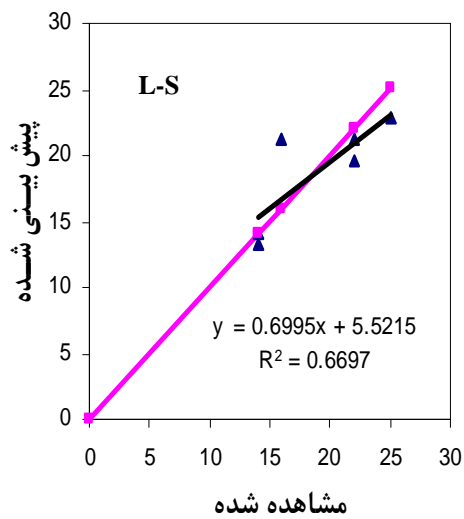
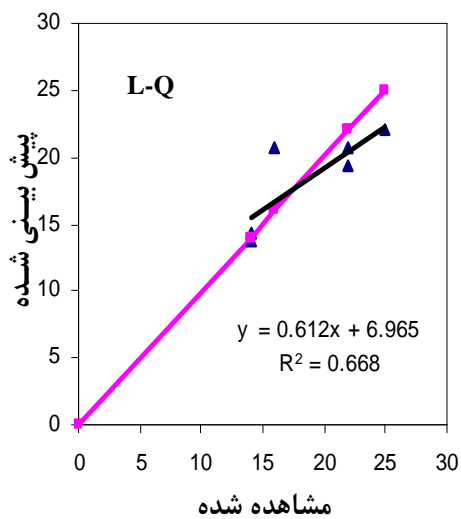
b	a	R^2	$RMSD$	تابع طول روز
۰/۱۶	۱۷/۳۲	۰/۸۲	۴/۰۲	دو تکه‌ای (S)
۰/۳۳	۱۱/۵۲	۰/۷۹	۲/۳۸	درجه دوم (Q)
۰/۳	۱۲/۲۶	۰/۴۷	۳/۵۹	نمایی منفی (NE)
۰/۹	۱/۶۲	۰/۹۵	۱/۴۴	لجستیک (L)

جدول ۴-۲۰. جذر میانگین مربع انحرافات ($RMSD$)، ضریب تبیین (R^2) و ضرایب a و b برای مدل‌های مختلف توصیف کننده رابطه سرعت پنجه‌دهی مشاهده شده و واقعی با دما و طول روز در گیاه ارزن مرواریدی. در کلیه مدل‌های این جدول تابع دما از نوع بتا (β) است.

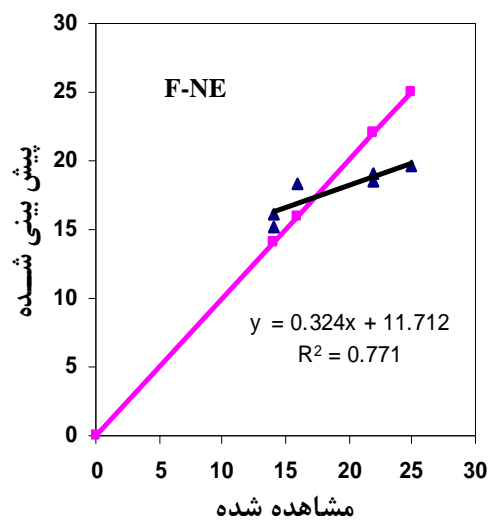
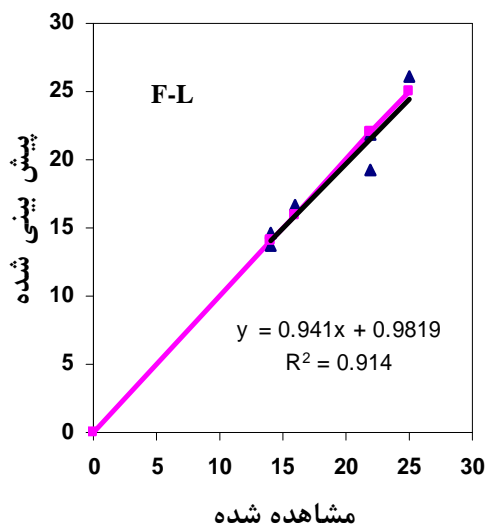
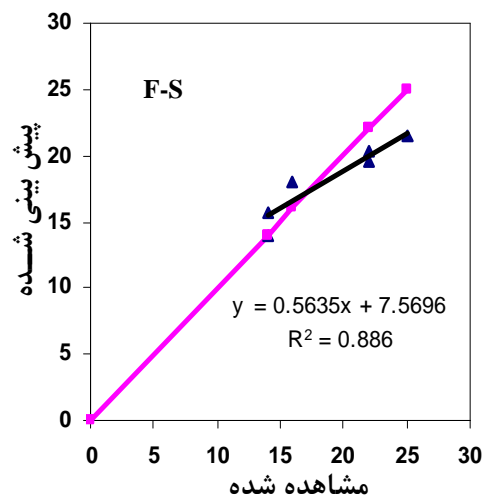
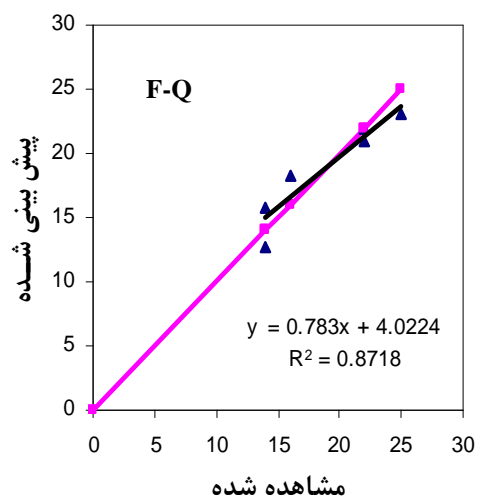
b	a	R^2	$RMSD$	تابع طول روز
۰/۶۲	۶/۶۴	۰/۸	۲/۱۵	دو تکه‌ای (S)
۰/۵۲	۱۰/۹۴	۰/۴۶	۳/۴۱	درجه دوم (Q)
۰/۳۳	۱۱/۲۲	۰/۵۹	۲/۵۶	نمایی منفی (NE)
۰/۷۴	۴/۶۷	۰/۸۹	۲/۱۲	لجستیک (L)



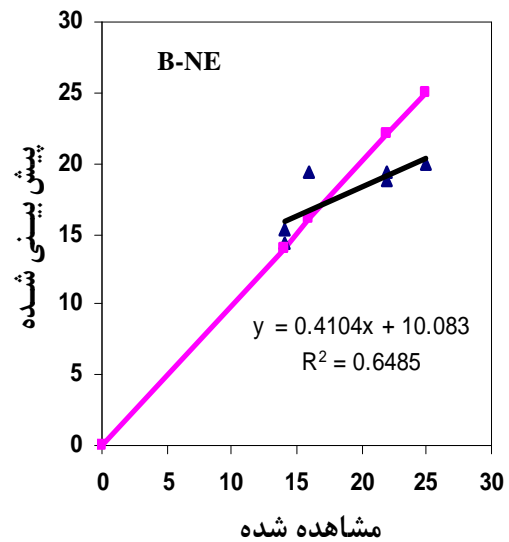
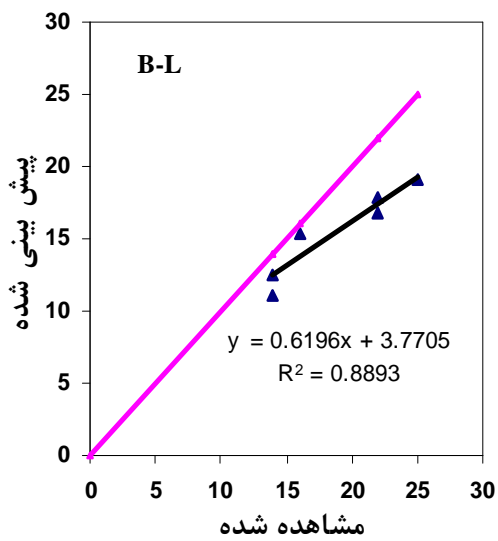
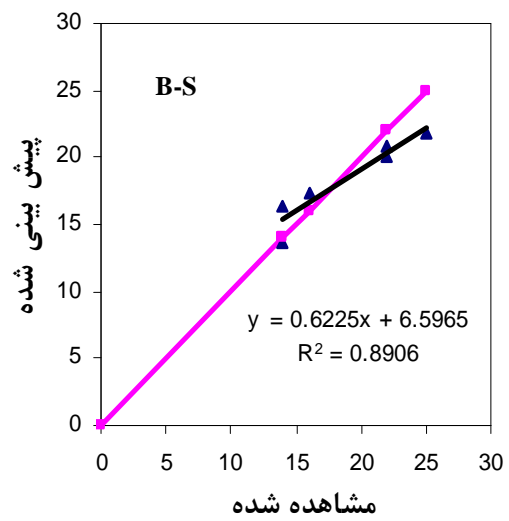
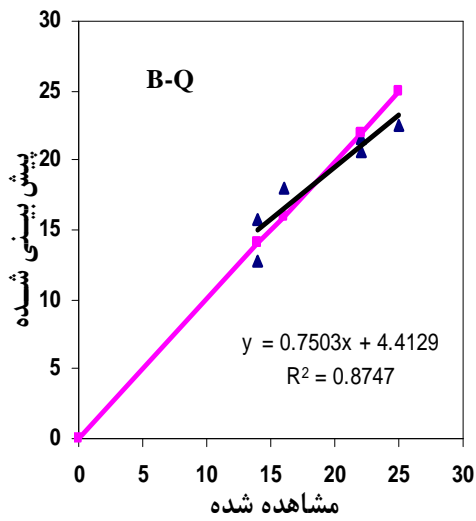
شکل ۴-۳۱. مقادیر روز از سبز شدن تا پنجه‌دهی مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده با مدل‌های درجه دوم-دو تکه‌ای ($Q-S$)، درجه دوم-درجه دوم ($Q-Q$)، درجه دوم-نمایی منفی ($Q-NE$) و درجه دوم-لجستیک ($Q-L$).



شکل ۴-۳۲. مقادیر روز از سبز شدن تا پنجه‌دهی مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده با مدل‌های لجستیک-دو تکه‌ای ($L-S$)، لجستیک-درجه دوم ($L-Q$)، لجستیک-نمایی منفی ($L-NE$) و لجستیک-لجستیک ($L-L$).



شکل ۴-۳۳. مقادیر روز از سبز شدن تا پنجه‌دهی مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده با مدل‌های مسطح-دوتکه‌ای ($F-S$) و مسطح-درجه دوم ($F-Q$)، مسطح-نمایی منفی ($F-NE$) و مسطح-لجستیک ($F-L$).



شکل ۴-۳۴. مقادیر روز از سبز شدن تا پنجه‌دهی مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده با مدل‌های بتا-دوتکه‌ای ($B-S$) و بتا-درجه دوم ($B-Q$)، بتا-نمایی منفی ($B-NE$) و بتا-لجستیک ($B-L$).

۴-۵-۱. پارامترهای برآورد شده مدل برای مرحله پنجه‌دهی

پارامترهای برآورد شده توسط مدل‌های مختلف در جدول‌های ۴-۲۱ و ۴-۲۲ نشان داده شده است. مقدار دمای پایه پنجه‌دهی توسط مدل درجه دوم-لجستیک، یعنی مدل برتر برای توصیف رابطه پنجه‌دهی در مقابل دما و طول روز، $9/24$ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. کامکار (۱۳۸۴)، با استفاده از مدل خط‌های شکسته در سه جنس زیره مقدار دمای پایه برای این گیاه را $3/5$ درجه سانتی‌گراد برآورد کرد. ترابی (۱۳۸۲)، دمای پایه برای گلدهی ارقام نخود را با استفاده از مدل دندان مانند-درجه دوم $3/3$ درجه سانتی‌گراد برآورد نمود. احمدی (۱۳۸۶)، دمای پایه برای مرحله ساقه رفتن ارقام گندم را با استفاده از مدل دوتکه‌ای-دوتکه‌ای بین $1/25$ تا 5 درجه سانتی‌گراد برآورد کرد.

در این بررسی، دمای مطلوب برآورد شده توسط مدل مسطح-لجستیک، 35 درجه سانتی‌گراد بدست آمد. کامکار (۱۳۸۴)، دمای مطلوب برای گیاه زیره را 15 درجه سانتی‌گراد برآورد کردند. ریچی و آلاگراسامی (۱۹۸۹) دمای مطلوب برای سورگوم را 34 درجه سانتی‌گراد و ترابی (۱۳۸۲) دمای مطلوب تحتانی برای گلدهی ارقام مختلف نخود را با استفاده از مدل دندان مانند-درجه دوم 30 درجه سانتی‌گراد و دمای مطلوب فوقانی را بین $34/1$ تا $30/4$ درجه سانتی‌گراد برآورد نمود. احمدی (۱۳۸۶)، دمای مطلوب برای مرحله ساقه رفتن ارقام گندم را توسط مدل دوتکه‌ای-دوتکه‌ای بین $26/78$ تا 28 درجه سانتی‌گراد برآورد کرد.

حداقل تعداد روز از سبز شدن تا پنجه‌دهی (FO) در شرایط مطلوب دما و طول روز، توسط مدل درجه دوم-لجستیک، $12/28$ روز برآورد گردید.

P_0 (طول روزی که در آن سرعت نمو به نصف حداکثر مقدار خود می‌رسد)، توسط مدل درجه دوم-لجستیک، $14/4656$ روز محاسبه شد.

ap (ضریب حساسیت به طول روز)، توسط مدل درجه دوم-لجستیک، مدل برتر برای توصیف رابطه پنجه‌دهی در مقابل دما و طول روز، $1/68$ - برآورد گردید.

طول روز بحرانی (طول روزی که در کمتر از آن سرعت پنجه‌دهی، شروع به کاهش یافتن می‌کند) در مدل لجستیک-نمایی منفی، ۱۴/۲۵۴۴ ساعت برآورد گردید (جدول ۴-۲۱). ضریب حساسیت به طول روز نیز توسط مدل لجستیک-نمایی منفی، ۰/۰۴۸۳- برآورد گردید (جدول ۴-۲۱).

کامکار (۱۳۸۴) مقدار طول روز بحرانی گیاه ارزن را توسط مدل دوتکه‌ای ۱۲/۴۳ ساعت و فولیارد و همکاران (۲۰۰۴) طول روز بحرانی سورگوم را ۱۲/۷ ساعت برآورد کردند. ترابی (۱۳۸۲) مقدار طول روز بحرانی را با استفاده از مدل دندان مانند- درجه دوم در ارقام نخود ۲۲/۲ تا ۲۰/۸ ساعت و ضریب حساسیت به طول روز ارقام نخود را ۰/۷۰۰ تا ۰/۹۰۰ برآورد کرد. عجم نوری (۱۳۸۶) طول روز بحرانی ارقام مختلف باقلا را بین ۱۴/۵ تا ۱۶/۱ ساعت و ضریب حساسیت به طول روز را ۰/۵۶ تا ۰/۲- برآورد نمود.

جدول ۴-۲۱-. برآورد دمای پایه (Tb)، دمای مطلوب (To)، طول روز بحرانی (Cpp) و ضریب حساسیت به طول روز (ppsen) برای مرحله پنجاهدهی با مدل‌های درجه دوم- دو تکه‌ای (Q-S)، درجه دوم- درجه دوم (Q-Q)، درجه دوم-نمایی (Q-NE)، درجه دوم- لجستیک (Q-L)، لجستیک - دو تکه‌ای (L-S)، لجستیک- درجه دوم (L-Q)، لجستیک- نمایی (L-NE)، لجستیک- لجستیک (L-L)، مسطح- دو تکه‌ای (F-S)، مسطح- درجه دوم (F-Q)، مسطح- نمایی (F-NE)، مسطح- لجستیک (F-L)، بتا- دو تکه‌ای (B-S)، بتا- درجه دوم (B-Q)، بتا-نمایی (B-NE)، بتا- لجستیک (B-L).

مدل	Tb	To	Cpp	ppsen
Q-S	۹/۹۹۲۸	-	۱۴/۲۸۲۵	۰/۰۴۸۹
Q-Q	۹/۵۱	-	۱۴/۴۵۳۵	-۰/۰۴۴۹
Q-NE	۹/۵۳۷۵	-	۱۴/۴۰۶۵	-۰/۰۱
Q-L	۹/۲۴	-	-	-
L-S	-	-	۱۴/۱۳۹۸	۰/۱۱۴۶
L-Q	-	-	۱۳/۴۰	-۰/۰۶۹۶
L-NE	-	-	۱۴/۱۵۶۱	-۰/۲۱۳۲
L-L	-	-	-	-
F-S	۷/۸۶۳۳	۳۵	۱۴/۰۶۵۸	۰/۲۶۱۳
F-Q	۹/۹۹۷۱	۳۵	۱۴/۳۶۴۴	-۰/۰۳۳۳
F-NE	۹/۹۹۵۸	۳۵	۱۳/۵۳۳۵	-۰/۰۳۰۱
F-L	۸/۹۲	۳۵	-	-
B-S	۷/۱۵۳۳	-	۱۵/۱۸۱۵	-۰/۱۰۳۵
B-Q	۹/۹۹۹۸	۳۵	۱۴/۳۸۰۴	-۰/۰۹۱
B-NE	۹/۹۹۹۸	۳۵	۱۶/۲۷۶۱	-۰/۰۲۵۸
B-L	۹/۹۷۰۶	۳۴/۹۹	-	-

جدول ۴-۲۲. برآورد ضریب ثابت a ، (T_0) ، (P_0) ، (ap) ، (fo) و (at) برای مرحله پنجاهدهی با مدل‌های درجه دوم- دو تکه‌ای $(Q-S)$ ، درجه دوم- درجه دوم $(Q-Q)$ ، درجه دوم-نمایی $(Q-NE)$ ، درجه دوم- لجستیک $(Q-L)$ ، لجستیک- دو تکه‌ای $(L-S)$ ، لجستیک- درجه دوم $(L-Q)$ ، لجستیک- نمایی $(L-NE)$ ، لجستیک- لجستیک $(L-L)$ ، مسطح- دو تکه‌ای $(F-S)$ ، مسطح- درجه دوم $(F-Q)$ ، مسطح- نمایی $(F-NE)$ ، مسطح- لجستیک $(F-L)$ ، بتا- دو تکه‌ای $(B-S)$ ، بتا- درجه دوم $(B-Q)$ ، بتا- نمایی $(B-NE)$ ، بتا- لجستیک $(B-L)$.

at	fo	ap	P_0	T_0	a	مدل
-	۱۶	-	-	-	-	Q-S
-	۱۵/۹۹	-	-	-	-	Q-Q
-	۱۶/۷۵۶۵	-	-	-	-	Q-NE
-	۱۲/۶۱۴۴	-۱/۶۷۵۵	۱۴/۴۶۵۶	-	-	Q-L
-	۱۵	-	-	۲۱/۲۵۷۴	۱/۱۴۹۲	L-S
-	۱۲/۰۸۴۴	-	-	۲۱/۸۱۱۹	۱/۰۰۱۷	L-Q
-	۱۱	-	-	۲۱/۵۲	۰/۱۸۱۹	L-NE
۰/۵۳۶۳	۱۲/۳۰۲۶	-۱/۶۹۷۳	۱۴/۵۴۱۵	۱۸/۷۷	-	L-L
-	۱۰/۹۸۷۴	-	-	-	-	F-S
-	۹/۲۳۸۴	-	-	-	-	F-Q
-	۹/۰۳۱۷	-	-	-	-	F-NE
-	۸/۰۳۶	-۲/۴۹۰۹	۱۴/۶۲۰۱	-	-	F-L
-	۲۲	-	-	-	-	B-S
-	۱۵/۴۰۹۸	-	-	-	۰/۳۸۵۷	B-Q
-	۱۰/۶۵۲۵	-	-	-	۱/۶۳۷۸	B-NE
-	۹/۱۷۳۲	-۱/۴۵۷۱	۱۴/۹۹	-	۱/۴۵۷۷	B-L

۴-۵-۲. تعیین تعداد روز بیولوژیک برای مرحله پنجه‌دهی

بر اساس دماهای کاردینال و پارامترهای مربوط به طول روز برآورده شده توسط مدل برتر، تعداد روز بیولوژیک برای رسیدن به مرحله پنجه‌دهی محاسبه شد. تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای طی شدن مرحله پنجه‌دهی، توسط مدل درجه دوم-لجستیک، بین ۱/۱۶ تا ۴/۴۴ روز در تاریخ کاشت‌های مختلف برآورد شد. ترابی (۱۳۸۲) و عجم نوروزی (۱۳۸۶) میانگین تعداد روز بیولوژیک برای سبز شدن تا گلدهی ارقام نخود و باقلا را به ترتیب ۲۱/۳ تا ۳۲/۱ روز و ۲۱/۳ تا ۳۲/۱ روز برآورد کردند. احمدی (۱۳۸۶) میانگین تعداد روز بیولوژیک برای سبز شدن تا پنجه‌دهی ۷ رقم گندم (آریا، اترک، کوه‌دشت، شیرودی، تجن، تارو و زاگرس) را در ۸ تاریخ کاشت بین ۱/۵۷ تا ۵/۸۳ روز برآورد کرد.

۴-۵-۳. نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که:

۱- تاریخ کاشت بر تمامی شاخص‌های رشدی مورد مطالعه تاثیر معنی‌دار گذاشت. به طوری که با تاخیر در کاشت مقادیر شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول کاهش، ولی مقادیر سطح ویژه برگ، وزن ویژه برگ، نسبت سطح برگ، سرعت جذب خالص و سرعت رشد نسبی به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد.

۲- اثر تاریخ کاشت بر روی فیلوکرون معنی‌دار نبود. عدم معنی‌دار شدن اثر تاریخ کاشت بر فیلوکرون نشان داد که تاریخ کاشت بر روی سرعت ظهور دو برگ متوالی تاثیر نداشته است و مواجهه گیاه با دماهای بالا سبب ایجاد تفاوت معنی‌دار بین تعداد برگ و حداکثر سطح برگ بوده است. یعنی سرعت ظهور برگ در تاریخ کاشت‌های مورد مطالعه تغییر نکرده، بلکه GDD (درجه روز- رشد) لازم برای ظهور هر برگ افزایش یافته است.

۳- با تاخیر در تاریخ کاشت عملکرد علوفه به طرز فاحشی کاهش پیدا کرد. به طوریکه در تاریخ کاشت ۲۰ تیر نسبت به تاریخ کاشت ۱۰ تیر، ۲۴/۲۷ درصد، تاریخ کاشت ۳۰ تیر نسبت به تاریخ کاشت ۲۰ تیر، ۴۱/۸۷ درصد، تاریخ کاشت ۹ مرداد نسبت به تاریخ کاشت ۳۰ تیر، ۲۴/۱۴، تاریخ کاشت ۱۹ مرداد نسبت به تاریخ کاشت ۹ مرداد، ۴۹/۲۸ درصد و بالاخره تاریخ کشت ۲۹ مرداد نسبت به تاریخ کاشت ۱۹ مرداد، ۴۸/۵۹ درصد کاهش در عملکرد حاصل گردید.

۴- تاخیر در کاشت، سبب تسریع نمو در گیاهان گردید طوریکه با افزایش تاخیر در کاشت، طول دوره‌ی زمانی هر مرحله نموی بتدریج کاهش یافت. بر این اساس، تعداد کل برگ‌ها در بوته و در ساقه اصلی کاهش پیدا کرد.

۵- طول دوره سبز شدن تابعی از دما است و با کاهش دمای هوا مدت زمان لازم برای سبز شدن افزایش می‌یابد.

۶- در تاریخ‌های کاشت مورد بررسی بهترین مدل برای توصیف رابطه سبز شدن در مقابل دما، مدل خطی ساده بود. بر این اساس دمای پایه برای سبز شدن گیاه ارزن مرواریدی به عنوان یک گیاه گرمادوست و روز کوتاه ۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد برآورد شد.

۷- در مرحله پنجه‌دهی، مدل درجه دوم-لجستیک به عنوان مدل برتر برای توصیف رابطه سرعت ساقه رفتن در مقابل دما و طول روز انتخاب شد.

۸- مقدار دماهای پایه و مطلوب برای مرحله پنجه‌دهی در تاریخ‌های مختلف به ترتیب ۹/۲۴ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد برآورد شد.

۹- طول دوره کاشت تا سبز شدن تابعی از دماست. اما از سبز شدن تا پنجه‌دهی هر دو عامل دما و طول روز تعیین‌کننده سرعت نمو می‌باشند.

۱۰- بررسی اثرات دما و طول در مرحله پنجه‌دهی نشان داد که واکنش این گیاه به طول روز از نوع روز کوتاه اختیاری است. طول روز بحرانی توسط مدل لجستیک-نمایی منفی ۱۴/۲۵۴۴ ساعت و نیز، ضریب حساسیت به طول روز توسط همین مدل ۰/۰۴۸۳- برآورد گردید.

۱۱- تعداد روز بیولوژیک موردنیاز از کاشت تا سبز شدن ۱/۱۲ تا ۱/۴۲ روز و سبز شدن تا پنجه‌دهی ۱/۱۶ تا ۴/۴۲ روز تخمین زده شد.

پیشنهادات

به منظور بررسی بیشتر اثر دما و طول روز بر نمو فنولوژیک گیاه ارزن مرواریدی پیشنهاد می‌شود که:

۱. آزمایش‌های گلخانه‌ای یک‌بار در شرایط دمایی ثابت و بار دیگر در شرایط طول روز ثابت انجام شود تا

امکان بررسی جداگانه اثرات دما و طول روز بر سرعت گلدهی فراهم آید.

۲. تاثیر تاریخ‌های کشت اوایل بهار تا اواسط تابستان نیز بررسی گردد تا امکان کمی‌سازی واکنش گلدهی

به دما و طول روز میسر شود.

منابع مورد استفاده

- احمدی، م. ۱۳۸۶. پیش‌بینی نمو فنولوژیک گیاه گندم. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- اکرم‌قادری، ف.، الف. سلطانی و ج. رضایی. ۱۳۸۲. برآورد سطح برگ در ارقام پنبه با استفاده از ویژگی‌های رویشی گیاه. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۱ (۱): ۲۳-۱۵.
- امام، ی. م. نیک‌نژاد. ۱۳۷۳. مقدمه‌ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات دانشگاه شیراز. ۵۷۱ صفحه.
- ترابی، بنیامین. ۱۳۸۲. پیش‌بینی نمو فنولوژیک گیاه نخود. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- خادم حمزه، ح و م. کریمی. ۱۳۷۳. بررسی اثرات تاریخ کاشت و تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا در منطقه اصفهان. پنجمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران. ۴۸۰ صفحه.
- خدابنده، ن. تیر ماه ۱۳۷۱. غلات. انتشارات و چاپ دانشگاه تهران. ۵۳۷ صفحه.
- خواججه‌پور، م. ر. ۱۳۸۶. اصول و مبانی زراعت (نگارش دوم). انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان. ۳۸۶ صفحه.
- راشد محصل، م. ح، حسینی، م، عبدی و ع، ملافیلابی. ۱۳۷۶. زراعت غلات (ترجمه). انتشارات دانشگاه مشهد. ۴۰۶ صفحه.
- سرمدنیا، غ. و ع. کوچکی. ۱۳۶۸. فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۶۷ صفحه.
- سلطانی، الف. ۱۳۸۶. کاربرد نرم‌افزار SAS در تجزیه‌های آماری. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۸۲ صفحه.

شریفی جهان تیغ، غ. م، عباسی. ۱۳۸۵. ارزن و سیلوکردن آن. انتشارات کانون آگهی پیام گلستان.

۲۷ صفحه

عجم نوروزی، حسین. مدلسازی نمو فنولوژیک در باقلا. پایان نامه دکتری. دانشگاه آزاد اسلامی تهران.

علیزاده، الف. و ع. کوچکی. ۱۳۶۸. کشاورزی و آب و هوا (ترجمه). انتشارات جاوید مشهد. ۴۶۲ صفحه.

علیزاده، الف. و ع. کوچکی. ۱۳۶۸. کشاورزی و آب و هوا. انتشارات جاوید مشهد.

کاظمی اربط، م. ۱۳۸۷. زراعت خصوصی (غلات). جلد اول. مرکز نشر دانشگاه تهران. ۳۱۵ صفحه

کافی، م.، ۱. جعفرنژاد و م، جامی الاحمدی. ۱۳۸۴. گندم (اکولوژی، فیزیولوژی و برآورد عملکرد). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۷۸ صفحه.

کامکار، بهنام. ۱۳۸۴. رهیافتی سیستمی در ارزیابی پتانسیل و خلا تولید عملکرد در زیره سبز و سه گونه ارزن در استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی. پایان نامه دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد.

کوچکی، ع. و م. نصیری محلاتی. ۱۳۷۵. اکولوژی گیاهان زراعی (جلد اول). انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه مشهد.

کوچکی، ع. و سرمدنی، غ. ۱۳۸۰. فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۰۰ صفحه.

کوچکی، ع. و م. بنایان اول. ۱۳۷۵. مدل‌سازی در گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

کوچکی، ع، م. ح. راشد محصل و م. نصیری ور. صدرآبادی. ۱۳۶۷. مبانی فیزیولوژیکی رشد و نمو گیاهان زراعی. انتشارات آستان قدس رضوی مشهد.

نصیری محلاتی، م.، ۱۳۷۶. مدلسازی فرآیندهای رشد گیاهان زراعی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۸۰ صفحه.

هاشمی دزفولی، الف.، ع. کوچکی و م. بنایان اول. ۱۳۷۵. افزایش عملکرد گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

یوسفی داز، م. ۱۳۸۳. پیش‌بینی گیاه نخود در واکنش به دما و عمق کاشت. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

Alcalde, J. A., and Larrian, M. F. 2006. *Timing of photoperiod sensitivity in relation to floral initiation in contrasting genotypes of Pea (Pisum sativum L)*. Field Crop Res. 96: 348-354.

Anda, A., and Piter, L. 1994. *Sorghum germination and development as influenced by soil temperature and water content*. Agron. J. 86: 621-624.

Angus, J.F. D.H. Mackenzie, R. Morton, and C. A. Schafer. 1981. *Phasic development in field crops. II. Thermal and photoperiodic response of spring of spring wheat*. E. S. P. C, Amsterdam.

Arnon, I. 1972. *Crop production in dry regions. Vol.II: Systematic treatment of the principal crops*. Leonard Hill, London.

Atkinson, D., and J. R. Porter. 1996. Temperature, plant development and crops yield. Trend In Plant Sci. 119-124.

Blackman, V.H. 1919. *The compound interest law and plant growth*. Ann. Bot. 33: 353- 360.

Brar, G. S., J. F. Gomez, B. L. Mc. Micheal, A. G. Matches, and H. M. Taylor. 1991. *Germination of twenty forage legumes as influenced by temperature*. Agron. J. 83: 173-175.

Bremner, P. W., and R. W. Radley. 1966b. *Studies in potato agronomy. II. The effects of variety and time of planting on growth, development, and yield*. J. Agric. Sci., 66: 253-261.

Bremner, P.M., and M.A. Taha. 1966a. *Studies in potato agronomy. I. The effects of variety, size, and spacing on growth, development and yield*. J. Agric. Sci., 66:241-252.

- Broking, R. 1996. *Temperature response of vernalization in wheat: A. development analysis*. Ann. Bot. 78: 507-512.
- Brunken, J. N. 1977. *A systematic study of Pennisetum sect. Pennisetum (Graminae)*. American Journal of Botany. 64: 161-176.
- Bullick, D. G., F. W. Simmons. I. M. Chury, and G. I. Johnson. 1993. Growth analysis of corn growth with or without starter fertilizer. Crop Sci. 33:112-117.
- Bunting, A. H., and D. S. H. Drennan. 1996. *In The Growth of Cereals and Grass, ed. J. D. IV.ins and F. L. Milthorpe*. London: Butterworth.
- Burton, W.G.1972.*Response of the potato plant and tuber to temperature*, In A. R. Rees, K.E.Cockshall, D,W. Hand, and R.G. Hurd (eds).Crop processes in controlled environments, Accademic press, New york.
- Buttery, B.R., and R.I.Buzzell. 1974. *Evaluation of methods used in cumputing net assimilation rates pf soybean* . Crop Sci. 14: 41-44.
- Chambliss, C.G., L.S. Dunavin, J., and R.L., Stanely. 1999. p. 47-48. in C. G. Chambliss (ed) florida, forage handbook. Univ . of Florida, Coop. Ext. Publ. SP 253. Univ. of florida, Gaineville.
- Chouhan, Y. S., Johansen, J. K. Moon, Y. H. Lee, and S. H. Lee. 2002. *Photoperiod responses of extra-short-duration pigeonepea lines developed at different latitudes*. Crop Sci. 42: 1139-1149.
- Collins, W. B. 1977. *Analysis of the effects of nutrient supply on the growth of potato crops*. Ann. Appl. Biol. 69: 47-63.
- Collins, W.B.1977. *Analysis of growth in kenebec with emphasis on the relationship Between stem number and yield*. Am. Potato J.78:164-172.
- Dayson. P.W. and D.J. Watson. 1971. *An analysis of the effects of nutrient supply on the growth of potato crops*. Ann .Apple.Biol .69:47-63.
- Ellis, R. H., S. Covell, E. H. Roberts, and R. J. S ummerfield. 1986. *The influence of temperature on sed germination rate in grain legumes*. II. Intraspecific variation in chickpea (*Cicer arietum* l.) at constant temperature. J. Exp. Bot. 37: 1503-1515.
- Ellis, R.H., P. Hadley, E. H. Roberts, and R.J. Summerfield. 1990. *Qutitative relation between temperature and crop development and growth*. In: *Climatic change and plant genetic resources*. 85-115. Eds. Jackson, M. T., B. V. Ford-lloyd, and M. L. Parry. London and New York. Belhaven Press.

- Evans, G. C. 1970. *The quantitative analysis of plant growth*. University of California press, Berkeley.
- Evans, G.C.1972. *The quantitative analysis of plant growth*. University of California press, Berkeley.
- Evans, L. T. 1987. *short day induction of inflorescence initiation in some winter wheat varieties*. Aust. J. Plant Physio. 14: 277-286.
- Evans, L. T., I. F. Wardlaw, and R.A. Fisher. 1975. In L.T. Evans (ed.): *Crop physiology*. London. Combridge university press.
- F.A.O. 1982. *FAO Production Year book 1981*. Vol 350. *Food and Agriculture Organization of the united Nations*. F.A.O. Statistics Series No. 40.
- F.A.O. 2005. *Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO)*, <http://apps.fao.org>.
- FAO. *Stat. Data base Result*, 2006 <http://apps.fao.org>.
- Fehr, W. R., and C. E. Caviness. 1980. *Stage of soybran development*. Iowa. Crop Exp. Serr. Agric. Home Econ. Exp. Stn. Spc. Rep. 80.
- Folliard, A., Traore, P. C. S., Vaksman, M., and Kouressy, M. 2004. *Modeling of sorghum response to photoperiod: a threshold-hyperbolic approach*. Field Crop Res. 89: 59-70.
- Forcella, F., Benech Arold, R. L., Sanchez, R., and Ghera, C. M. 2000. *Modelling emergence*. Field crop Res. 67: 123-139.
- Fribourg, H.A.1995. *Summer annual grasses*. P. 463-472. In. R.F. Barnes etal. (ed.) forage, vol. 10. An introduction to grassland agriculture. Iowa State univ. press, Ames.
- Gardner, F. P., Pearce, R. B. and Mitchell, R.L. 1985. *Physiology of crop plants*. Iowa State Univ. press, Ames. P:187-208.
- Gardner, W. W., and Alland, H. A. 1930. *photoperiodic response of soybeans in relation to temperature and other invironmental factors*. J. Agric. Res. 41: 719-732.
- Gill, N.T. and K.C.Vear.1969.*Agricultural botany. Graminae: cereals*. Gerad uckwor and Co.LTD.
- Goadriaan, J., and H.H. Van Laar. 1994. *Modeling Potential crop growth processes*. Klower Academic Pub, Dordrecht, The Netherlands.

- Green, B., Grevers, M., and Lafond, G. 2000. *Soil temperature and crop emergence under conventional and direct seedling*. Ca/ DOCS/ Crop/ integrated. Pest-managment / soil-fertility- fertilizer/ Ses 1294-asp.
- Hammer, G. L., Goyne, P. J., and Woodruff, D. R. 1982. *Phenology of Sunflower cultivars. III. Models for Prediction in field environments*. Aust. J. Agric. Res. 33: 263-274.
- Harlan, J. R., and J. M. J. deWet. 1971. *Toward a Rational Classification of Cultivated plants*. Taxon 20: 509-517.
- Heater, M. D. and J.G. Lauer. 2002. *Planting Date and Hybrid influence on corn forage yield and quality*. Agron. J., 94:281-289.
- Horie, T., 1994. *Crop ontogeny and development*. In Boote, K.J., Bennett, J.M., Sinclair, T. R., Paulsen, G. M. (Eds), *Physiology and Determination of Crop Yield*. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, USA, pp.153-180.
- Humphries, E.C., and A. W. Wheeler. 1963. *Annu.Rev. Plant Physiol.*14:385-410.
- Hunt, R. 1978. *plant growth analysis*. London. Edward Arnold.
- Iannucci, A., N. di Fonzo, and P. Martinieho. 2000. *Temperature requirements for seed germination in four annual clovers grown under tow irrigation treatment*. Seed Sci & Technol. 28: 59-66.
- International Crop Research Institute for the semi-Arid Tropics (ICRSAT). 1988. *Annual report*. Patancheru, Andhra Pradesh, India.
- Jones, C.A. 1985. *C₄ grasses and cereals: Growth, development ment and stress response*. John Wiley Sons, New York.
- Jones, C.A., and Kiniry, J.R.(eds). 1986. *CERES-maize: A simulation model of maize growth and development*. Texas Aand M University Press, college station. TX. 194pp.
- Kamkar, B., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. and Rezvani Moghaddam, P. 2006. *Cardinal temperature for germination in three Millet specieses (Panicum miliaceum, Pennisetum glaucum and Setaria italica)*. Asian Journal of Plant Sciences. 5:2.316-319.
- karimi, M.M. 1991. *Growth analysis of wheat and barley on different soil types*. Iran Agri. Rest.9:17-36.
- Kirby. E. J. M., M. Appleyard, and G. Fellows .1985. *Effect of sowing date and variety on mainshoot leaf emergence and number of leaves of barley and wheat*. Agron . J.5:17-126.

- Klepper, B., R.w Richman, and C. M. PETERSON. 1982. *Quantitative characterisation of vegetation development in small grain cereal*. Agron. J. 74: 789-792.
- Koller, W., E.Nyquist, and I. S. Chorush . 1970. *Growth analysis of the soybean community*. Crop Sci. 10:407-412.
- Loss, S. P. M. W. Perry, and W. K. Anderson. 1990. *Flowering times of Wheats in south-western Australian: A modeling approach*. Aust. J. Agric. Res. 41: 213-223.
- Lucas, E.O.and G. M. Milbourn.1976. *The effect of decsity of planting on the growth of two phaseolus vulgaris varieties in England* .J.Agric .Sci.Camb.84:89-99.
- Madakadze, I. C., Prithiviraj. B., Stewart, K. A., Peterson, P.R., Coulman, B. E., and smith, D.L. 2001. *Variation in base temperature for germination in warm season grasses*. Seed Sci.& Technol. 29: 31-38.
- Maiiti, R.K. and F.R. Bidinger. 1981. *Gowth and development of the pearl millet plan* ICRISAT Research Bulletin NO. 6. Andhra Pradesh, India.
- McCollum. R.E. 1978. *Analysis of potato growth under differing P regims. I. Tuber yields and allocation of dry matter and P*. Agron. J. 70: 51-57.
- Miglietta , F., 1989. *Effect of photoperipd and temperature on leaf initiation rates in wheat (Triticum SPP)*. Field Crops Res, 21:121-130.
- Monteith, J. L. 1980. *Micro climatology in tropical agriculture Report No. 4*. Sutton Bonington. Dept. of Agric. Monogr. 2. Jaipur India.
- Muchow, R.C, M.J. Robertson and B.C. Pengely. 1993. *Radiation-use efficiency of soybean, mungbean and cowpea under different environmental conditions*. Field Crops Res. 32: 1-16.
- Mwale, S. S., S. N. Azam-Ali, J. A. Clark, R. G. Bradley, and M. R. Chatha. 1994. *Effect of temperature on the germination of sunflower (Heliantus annuus l.)* .Seed Sci and Technol. 22:565-571.
- Norman, M.J. T., C. J. Peerson, and P. G. E. Secale. 1984. *The ecology of tropical food crops*. Cambridge University press, London.
- Olivier, F. C., and J. G. Annandale. 1988. *Thermal time requirements for the development of green pea (Pisum sativum L.)*. Field Crops Res. 56: 301-307.
- owal, M. and A. H. Kassam. 1978. *Agricultural ecology of savanna*. Oxford Press, Londod.
- Perry, M. W., Siddique, K. H. M., and Wallace, J. F. 1987. *Predicting fenological development of Australian wheats*. AUST. J. Agric. Res. 38: 809-819.

- Peterson .C.M., B .Klepper , and R.W .Rickman . 1989 .*Seed reserves and seedling development in winter wheat* . Agron . J . 81:245-251 .
- Rachie, K. O and J. V. Majmudar. 1980. Pearl millet. Pennsylvania State University Press, University Park, Pennsylvania.
- Rad ford, P. J. 1967. *Growth analysis formulae their use and abuse*. Crop. Sci. 7: 171-175.
- Ritchie, J.T., and Alagarswamy, G. 1989. Simulation of sorghum and pear millet phenology. In : ICRISAT(Ed), Modeling the growth and development of orghum and pearl millet. Research Bulletin no. 12, Patancheru, India. pp:24-26.
- Robertson, M.J., P.S. Carberry, Y.S. Chauhan, R. Ranaganathum, and G.J. Q' Leary. 2001. *Predicting growth and development of pigeonepea: simulation model*. Field Crops Res. 1: 195-210.
- Ruseel, M. P., Wilhelm, W.W., Olson, R. A. and Power, J.F. 1984, *Growth analysis based on degree days*. Crop Science, 24. 28-32.
- Seefeldet, S.S., Kidwell, K. K., and Waller, J. E. 2002. *Base growth temperature, germination rates and growth response of cotemporary spring wheat (Triticum aestivum L.)*. cultivars from the USA pasivis spring west field Crops Res.75: 47-52.
- Siddique, K., Loss, S., French, B., and veitch, C. 1997. *sowing depth for chickpea, faba bean, Lentil and field pea*. [http:// agsprv 34. agric. Wa. gov. au/ agency/pubns/farmnote/ 1997/ FO. 4597](http://agsprv34.agric.wa.gov.au/agency/pubns/farmnote/1997/FO.4597).
- Singh, P., 1991. *Influence of water deficit on phenology, growth and dry matter allocation in chickpea*. Field Crops. Res. 28, 1-15.
- Sivakumar, M.V. K., and R., H. Shaw. 1978. *Methods of growth analysis in field grown soybeans*. Ann. Bot 42: 213-22.
- Slafer G. A. and Rawson H. M. 1997. *Phyllochron in Wheat as affected by photoperiod under two temperature regimes*. Australian Journal of Plant Physiology 24, 151-158.
- Slafer, G. A. and H. M. Rawson. 1994. *Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: Are-examination of some assumptions made by physiologists and modelers*. Aust. J. Plant physiol. 21:393-460.
- Smith, R. L, C. S. Hoveland, and W.W. Hanna. 1989. *Water stress and temperature in relation to seed germination of pearmillet and sorghum*. Agron. J. 81: 303-305.

- Soltani, A., Hammer, G.L., Torabi, B., Robertson, M. J., and Zeinali, E. 2006. *Modeling chickpea growth and development: phenological development*. Field Crop Res. 99, 1-130.
- Stapper M. and Fisher R. A. 1990. *Genotype, sowing date and planting spacing influence on grain yield irrigated wheat in southern New South Wales*. I. Phasic development, canopy growth and spike production. Australian Journal of Agricultural Research 41, 997-1019.
- Stewart, D. W., L. M. Dwyer, and L. L. Carrigan. 1998. *Phenological temperature response of maize*. Agron. J. 90: 73-79.
- Strand, R.H., and Fribouring, H. A. 1973. *Relationships between seeding rates and environmental variables, seeding methods, and establishment of small seeded legumes*. Agron. J. 65: 807-810.
- Summerfield, R. J., Lawn, R. j., Ellis, R. H., Roberts, E. H., and CAHAY, P. M. 1993. *Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops: II. Soybean*. Exp. Agric. 29: 253-286.
- Summerfield, R. J., R. J. Lawn, E. H. Roberts, and R. H. Ellis, 1991. *Toward the reliable prediction of time to flowering in six annual crops*. I. The development of time to flowering field environments. Exp. Agric. 27: 11-31.
- Syme J. R. 1974. *Leaf appearance rate and associated characters in some Mexican and Australian Wheats*. Australian Journal of Agricultural Research. 25, 1-7.
- Tesar, M. B. 1984. *Physiological basis of crop growth and development and development*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, 291-321.
- Theurer, J.C. 1979. *Growth patterns in sugarbeet production*. J. Am. Soc. Sugarbeet Technol. 24: 343-367.
- Tommy, A. M. and E. J .Evans.1992. *The influence of pre-floral growth and development on pathway of floral development , dry matter distribution and seed yield in oilseed rape (Brassica napus L)*. Ann. Appl. Boll. 121:687-696
- Triplett, G. B., Tesare, G. R., and tesare, M. B. 1960. *Effects of compaction, depth of planting and soil moisture tension on seeding emergence of alfalfa*. Agron. J. 52: 681-684.
- Turpin, J.E., Robertson, M.J., Hillcoat, N.S., Herridge, D.F, 2002. *Faba bean (Vicia Faba) in Australia's northern grains belt: canopy development, biomass, and nitrogen accumulation and partition*. Aust. J. Agric. Res. 53, 227-237.

Warren W.J. 1981. *Analysis of growth photosynthesis, and light interception for single plants and stands*. Ann. Bot. 48: 507-512.

Watson, D. J., 1947. *Comparative Physiological Studies on the Growth of Field Crops: I. Variation in Net Assimilation Rate and Leaf Area between Species and Varieties, and within and between Years*, Ann. Bot. 1947. 1 1:41-76.of field Crops.



دانشکده کشاورزی
پایان نامه کارشناسی ارشد
گروه زراعت

عنوان پایان نامه ارشد
پیش بینی نمو فنولوژیک ارزن مرواریدی با استفاده از رهیافت مدل سازی

محبوبه بصیری

اساتید راهنما
دکتر منوچهر قلی پور
دکتر حمید عباس دخت

استاد مشاور
دکتر بهنام کامکار

اسفند ۱۳۸۷



Shahrood University of Technology
Faculty of Agronomy Science
Thesis M.S.C

Prediction of Developmental stages of Pearl millet by modeling approach

Mahboobeh Basiri

Supervisor
Dr.M.Gholipoor
Dr.H.Abasdokht

Advisor
Dr.B.Kamkar

Winter2009

Prediction of Developmental stages of Pearl millet by modeling approach

Abstract

This study was conducted in a field experiment, conducted in research farm of Shahrood University of Technology (36°29'N , 54°55'E), Semnan, Iran to quantify the phenological response of Pearl millet to temperature and photoperiod. This experimental design was a completely randomized with factorial arrangement in 4 replication in 2006-2007. The six sowing dates (from 1 July to 20 August, with 10 days interval) were selected to provide various temperature and photoperiod situations. The data regarding No. of days to emergence and to tillering were recorded and analyzed. Among various functions used in this study, simple linear function, and Squared Logistic functions appeared to be appropriate to describe changes in emergence and in tillering, respectively. The predicted base temperature by linear function was 15.5 °C. The base and optimum temperatures for tillering tended to be 9.4 and 35 °C, respectively. The ceiling temperature was considered to be constant (45 °C). The estimated critical photoperiod and photoperiod sensitivity coefficient were 14.45 h and -0.0483, respectively. It was required 1.2 to 1.42 biological days from sowing to emergence, and 1.16 to 4.42 biological days from sowing to tillering. It was appeared that this crop has a quantitative or facultative short-day response to photoperiod.

Keyword: Millet, Phenology, Temperature, Photoperiod, Biological day