



واکنش رشد، نمو و عملکرد بادام زمینی به تغییرات دما و غلظت دی‌اکسیدکربن

سیدعلی نورحسینی^۱، افشین سلطانی^۲، حسین عجم‌نوروزی^۳

دریافت: ۹۶/۵/۲۲ پذیرش: ۹۶/۱۱/۱۰

چکیده

به منظور بررسی اثر تغییرات دما و غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن بر رشد، نمو و عملکرد بادام زمینی (رقم نورث کارولینای ۲) از مدل SSM-Peanut استفاده شد. مدل SSM-Peanut ترکیبی از سناریوهای مختلف تغییر اقلیم شامل کاهش ۱، ۲، ۳، ۴، افزایش ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ درجه سانتی‌گراد دما و عدم تغییر دما و همچنین غلظت‌های دی‌اکسیدکربن به میزان ۳۵۰، ۴۰۰، ۴۵۰، ۵۰۰، ۵۵۰، ۶۰۰، ۶۵۰ و ۷۰۰ پی‌پی‌ام در نظر گرفته شد. این مطالعه با استفاده از داده‌های آزمایش‌های مزرعه‌ای اجرا شده در شهرستان آستانه اشرفیه صورت گرفت. شبیه‌سازی بر مبنای داده‌های هواشناسی واقعی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ ایستگاه سینوپتیک کیشهر (شهرستان آستانه اشرفیه) اجرا شد. نتایج نشان داد که کاهش دما نسبت به شرایط کنونی منجر به افزایش روز تا مراحل فنولوژیکی بادام زمینی گردید، به طوری که با کاهش ۴ درجه-ای دما، روز تا رسیدگی از ۱۳۵ روز به ۱۶۶ روز افزایش پیدا کرد. با افزایش ۱ تا ۵ درجه دما نسبت به شرایط کنونی، روز تا رسیدگی از ۱۳۵ روز به ۱۱۶ روز کاهش پیدا کرد. کاهش دما نسبت به شرایط کنونی باعث کاهش عملکرد بادام زمینی گردید، به طوری که در شرایط کنونی صرفاً با کاهش ۴ درجه سانتیگراد ۴۰ درصد از عملکرد دانه و غلاف کاهش پیدا کرد. اما با افزایش غلظت CO₂ از شدت کاهش عملکرد کاسته شد، به طوری که کاهش ۴ درجه سانتیگراد دما در غلظت ۵۵۰ پی‌پی‌ام CO₂ هوا منجر به کاهش ۳۷ درصد از عملکرد بادام زمینی کاهش شد. افزایش دو درجه‌ای دما منجر به افزایش ۸ درصدی عملکرد دانه و غلاف بادام زمینی شد. در مجموع افزایش غلظت CO₂ همزمان با نوسانات دمایی شرایط بهتری را برای بهبود عملکرد بادام زمینی نشان داد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات دما، تغییرات عملکرد، غلظت دی‌اکسیدکربن، مدل SSM-Peanut مراحل فنولوژیکی

نورحسینی، س.ع.، ا. سلطانی و ح. عجم‌نوروزی. ۱۳۹۹. واکنش رشد، نمو و عملکرد بادام زمینی به تغییرات دما و غلظت دی‌اکسیدکربن. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۴۰: ۱۷-۱.

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران- مسئول مکاتبات. Noorhosseini@gilan.pnu.ac.ir

۲- استاد، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۳- استادیار، گروه زراعت، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

مقدمه

تغییر جهانی اقلیم تا اندازه‌ای در ارتباط با افزایش غلظت دی اکسید کربن می‌باشد (هنگولد، ۲۰۰۰). غلظت دی اکسید کربن از حدود ۲۸۰ میکرومول بر مول (ppm) در قبل از انقلاب صنعتی به ۳۷۹ میکرومول بر مول در حال حاضر افزایش یافته است (هیئت بین‌دولتی تغییرات اقلیمی، ۲۰۰۷). همچنین انتظار می‌رود که غلظت دی‌اکسیدکربن تا سال ۲۱۰۰ به حدود ۷۰۰ پی‌پی‌ام برسد که نسبت به شرایط کنونی حدوداً دو برابر خواهد شد (هیئت بین‌دولتی تغییرات اقلیمی، ۲۰۱۴). افزایش غلظت CO₂ باعث ایجاد تغییرات اقلیمی شامل افزایش دما و به تبع آن تغییر الگوی بارندگی و تابش خورشیدی می‌شود (هیئت بین‌دولتی تغییرات اقلیمی، ۲۰۰۷؛ سلطانی و قلی‌پور، ۲۰۰۶). مطابق داده‌های ثبت شده اقلیمی، متوسط درجه حرارت سطح زمین تا پایان قرن بیستم حدود ۶ درجه سانتیگراد افزایش پیدا کرده که بیشترین گرمایش از ۱۹۱۰ تا ۱۹۴۵ و از ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۰ اتفاق افتاده است. بر اساس مدل‌های گردش عمومی ۱ (GCM) تحت سناریوهای مختلف، پیش‌بینی می‌شود که متوسط دمای جهان طی دوره ۱۹۹۰-۲۱۰۰ بین ۴/۱ تا ۸/۵ درجه سانتیگراد افزایش یابد که توأم با تغییراتی در الگوهای مکانی و زمانی بارندگی خواهد بود (هیئت بین‌دولتی تغییرات اقلیمی، ۲۰۰۱).

تغییر اقلیم همه بخش‌های اقتصادی را تا اندازه‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهد، اما بخش کشاورزی شاید حساسترین و آسیب پذیرترین بخش باشد، چرا که محصولات کشاورزی وابستگی زیادی به منابع اقلیمی دارند. بر اساس شواهد علمی تغییر اقلیم آینده، بویژه اثرات ترکیبی افزایش دما، بالا رفتن غلظت CO₂ جو، افزایش احتمال وقوع حوادث حدی (خشکسالی‌ها، سیلاب‌ها، یخبندان‌ها و غیره) و کاهش آب قابل دسترس گیاه می‌تواند اثرات قابل ملاحظه‌ای بر روی محصولات کشاورزی داشته باشد (چیوتی و جانستون، ۱۹۹۵). بالا رفتن دما موجب بالا رفتن میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاهی می‌شود که نتیجه آن افزایش نیاز آبی گیاهان است (سرافروزه و همکاران، ۱۳۹۰). خشکسالی‌های شدید و افزایش دما، توسعه گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و این امر می‌تواند یکی از دلایل کاهش محصولات کشاورزی باشد (ریدسما و همکاران، ۲۰۰۷؛ ساکالوسکین و همکاران، ۲۰۰۸). بسیاری از محققین، تفسیرهای متفاوتی را از پیامدهای تغییر دما بر روی مراحل مختلف فنولوژیکی بیان

نموده‌اند (ارنالدی و همکاران، ۲۰۰۵؛ کارول و همکاران، ۲۰۰۹). به همین دلیل، دانشمندان از دماهای مبنای متفاوت و محاسبات مختلف برای تعیین پیامدهای تغییر دما بر گیاهان استفاده می‌کنند (ویلگولاسکی، ۱۹۹۹؛ کریپینسک و همکاران، ۲۰۰۶). به طور کلی با ادامه روند گرمایش زمین، سرعت تغییرات محیط احتمالاً بی‌سابقه خواهد بود. تعداد و شدت بیشتر بارندگی‌ها، افزایش دما، خشکسالی و انواع دیگر مخاطرات آب و هوایی مورد انتظار که همه این‌ها بر عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی اثر می‌گذارد (هاتفیلد و همکاران، ۲۰۱۱).

افزایش غلظت CO₂ به دو طریق بر فرآیندهای گیاه اثر می‌گذارد؛ یکی تأثیر مستقیم این گاز بر فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی گیاه است و دیگری تأثیر غیرمستقیم آن از طریق تغییرات دما و بارندگی می‌باشد. تأثیر نهایی افزایش غلظت CO₂ و تغییرات آب و هوایی همراه با آن بر گیاهان زراعی کاملاً به شرایط محیطی جاری در محل مورد نظر بستگی دارد و ممکن است از محلی به محل دیگر متفاوت باشد (سلطانی و قلی‌پور، ۲۰۰۶). برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید گیاهان زراعی میتوان از مدل‌های گیاهی استفاده کرد؛ پیامدهای ناشی از افزایش غلظت CO₂، افزایش دما و تغییر در الگوهای بارندگی توسط محققان بسیاری به وسیله مدل‌های گیاهان زراعی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند (لودویگ و آسنگ، ۲۰۰۶؛ آبراه و ساواگ، ۲۰۰۶؛ کوچکی و همکاران، ۲۰۰۶؛ قلی‌پور و سلطانی، ۲۰۰۹). به طور کلی افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اثر مثبتی بر رشد و عملکرد گیاهان سه کربنه از جمله بادام‌زمینی دارد، به طوری که سرعت رشد گیاهان سه کربنه با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن تا ۷۰۰ پی‌پی‌ام افزایش می‌یابد. افزایش غلظت بیشتر از این مقدار منجر به کاهش فتوسنتز و در غلظت‌های بالاتر موجب مسمومیت در گیاهان فوق می‌گردد. هرچند دما اثر متضادی بر رشد و عملکرد گیاهان سه کربنه دارد، اما نتایج نهایی اثر تغییرات دما بر رشد گیاهان سه کربنه بستگی به شرایط محیطی و دمای فعلی آن دارد (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۶). لذا بررسی اثر متقابل دما و CO₂ در شرایط محیطی مختلف می‌تواند نتایج متفاوتی را نشان دهد. نهبندانی و سلطانی (۱۳۹۵) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد سویا در گرگان گزارش کردند که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن تا ۷۰۰ پی‌پی‌ام منجر به افزایش عملکرد شد و دو درجه افزایش دما در غلظت فوق افزایش عملکرد را بیشتر نمود. همچنین حجارپور و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر گیاه نخود گزارش کردند که دو برابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن نسبت به شرایط فعلی همزمان با افزایش دما تا ۶ درجه سانتیگراد

تشکیل عملکرد در مدل با توجه به کل ماده خشک تولید شده در دوره شروع پر شدن دانه تا پایان رشد دانه شبیه‌سازی می‌شود. مدل‌سازی سرعت رشد دانه‌ها و تشکیل عملکرد بر مبنای مفهوم افزایش خطی شاخص برداشت محاسبه شد. مدل شبیه‌سازی را به صورت روزانه استفاده می‌کند و از اطلاعات آب و خاک و هوا استفاده می‌کند (سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۲). لازم به ذکر است که این مدل اثر آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز را بر روی گیاه در نظر نمی‌گیرد، بنابراین، در این تحقیق نیز اثر این عوامل بر خصوصیات فیزیولوژیکی و صفات گیاهی مطرح نمی‌باشد. در این مطالعه داده‌های آب و هوایی دراز مدت روزانه شامل حداقل و حداکثر دما، بارندگی و ساعات آفتابی برای تمامی سال‌های موجود از ایستگاه هوا و اقلیم‌شناسی منطقه مورد مطالعه جمع-آوری شد. ابتدا پارامتریابی و ارزیابی مدل SSM-Peanut با استفاده از داده‌های آزمایش‌های مزرعه‌ای اجرا شده در شهرستان آستانه اشرفیه صورت گرفت که به طور کامل توسط نورحسینی و همکاران (۲۰۱۷) شرح داده شده است. در این مطالعه نیز از مدل نهایی شده در تحقیق قبلی برای شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد بادام‌زمینی استفاده شد. به منظور پارامتریابی مدل SSM-peanut برای بادام‌زمینی رقم NC2، ابتدا مقادیر حدودی پارامترها از منابع پیشین استخراج و وارد مدل گردید. تغییر چندانی در پارامترهایی که تقریباً در تمامی ارقام مختلف ثابت هستند از قبیل J.RUE1.KPAR، EED، FRTRL، SLNS، SLNG، WSSL، WSSG، TEC، GRTDP، SNCS، SNCG، GNC، MXNUP و WSSN که به تفسیر در مطالعه نورحسینی و همکاران (۲۰۱۷) شرح داده شده است، ایجاد نگردید و برای رقم NC2 نیز ثابت در نظر گرفته شد. اما در خصوص پارامترهایی از قبیل PLAPOW، PHYL، PDHI، bbR1TLM، bbR7R8، bbR5R7، bbEMR1 و bbR1TLP که امکان تفاوت با توجه به نوع رقم مورد کشت در منطقه مورد مطالعه وجود داشت، از نتایج تحقیقات زراعی اجرا شده در شهرستان آستانه اشرفیه بهره گرفته شد و براساس روش پارامتریابی سلطانی و سینکلر (۲۰۱۲) عمل گردید. توضیحات و مقادیر پارامترهای مدل نهایی بادام زمینی رقم NC2 در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. ارزیابی مدل با استفاده از داده‌های آزمایش‌های مرحله پارامتریابی و داده‌های آزمایش‌های مستقل از آن انجام شد. در ابتدا با استفاده از داده‌های آزمایش‌های مرحله پارامتریابی؛ مراحل فنولوژی (روز تا گلدهی، روز تا تشکیل غلاف و دانه، روز تا شروع رسیدگی دانه و غلاف)، حداکثر شاخص سطح برگ، ماده خشک کل در رسیدگی، عملکرد

منجر به افزایش عملکرد در چهار منطقه مختلف گنبد، کرمانشاه، بجنورد و مراغه گردید که بیشترین افزایش عملکرد را در گنبد و کرمانشاه گزارش کردند.

مطالعه اثرات تغییر اقلیم به معنای افزایش درجه حرارت و غلظت CO₂ و تغییر در بارندگی بر سیستم‌های کشت می‌تواند به گسترش استراتژی‌های سازگاری مورد نیاز کمک کند. در نتیجه، این استراتژی‌ها می‌توانند عملکرد بیشتر و پایداری را تولید کنند (قلی‌پور و سلطانی، ۲۰۰۹). لذا توجه به این مسئله مهم و بررسی چگونگی کشت و تولید محصولات زراعی در آینده حائز اهمیت می‌باشد. بادام‌زمینی به عنوان مهمترین و اقتصادی‌ترین دانه‌های روغنی و پروتئینی در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری است (مایتی و ایلینگ، ۲۰۰۲)، یکی از گیاهان زراعی مهم است که شرایط آینده زمین می‌تواند کشت و کار آن دستخوش تغییر کند. سطح زیر کشت این گیاه در ایران حدود ۳۵۰۰ هکتار است که بیشترین تولید به ترتیب متعلق به استان گیلان (حدود ۲۸۰۰ هکتار) می‌باشد (جهاد کشاورزی، ۱۳۹۵). در خصوص گیاه بادام‌زمینی نیز علی‌رغم گذشت یک قرن از کاشت و تولید آن در ایران و همچنین نوسانات سطح زیر کشت آن در مناطق مختلف به دلیل شرایط آب و هوایی، هنوز پیش‌بینی موثری برای تولید آن در آینده صورت نگرفته است. لذا ضرورت می‌یابد با پیش‌بینی آب و هوای آینده مناطق کشت بادام‌زمینی، به بررسی اثرات آن بر رشد و عملکرد این گیاه پرداخت تا بتوان شرایط مناسب را برای تولید آن طراحی نمود. براین اساس تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرات دما و دی‌اکسید کربن بر مراحل فنولوژیکی، رشد و عملکرد بادام‌زمینی تحت شرایط استان گیلان با استفاده از مدل SSM-Peanut انجام شد.

مواد و روش‌ها

مدل مورد استفاده: برای شبیه‌سازی نمو، رشد و عملکرد بادام‌زمینی از مدل SSM-peanut استفاده شد (سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۲). مدل SSM مراحل فنولوژیک را به عنوان تابعی از دما و طول روز پیش‌بینی می‌کند. گسترش و پیری برگ تابعی از دما، نیتروژن فراهم برای رشد برگ، تراکم بوته و انتقال مجدد نیتروژن می‌باشد. مدل SSM فرآیندهای رشد و نمو گیاه را در پاسخ به فاکتورهای محیطی تشعشع خورشیدی، حرارت، نیتروژن و قابلیت دسترسی آب شبیه‌سازی می‌کند. ماده خشک تولید شده در هر روز به صورت حاصل‌ضرب کل تشعشع خورشیدی رسیده، کسری از تشعشع خورشیدی که توسط گیاه دریافت می‌شود و کارایی استفاده از تشعشع محاسبه می‌شود.

گرفت. به طوری که نورحسینی و همکاران (نورحسینی و همکاران، ۲۰۱۷) گزارش کردند که تفاوت معنی‌داری بین مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل SSM-Peanut و مقادیر مشاهده شده در مزرعه وجود نداشت.

دانه و عملکرد غلاف مشاهده شده با مقادیر شبیه‌سازی توسط مدل مقایسه شد. سپس ارزیابی مستقل مدل با استفاده از داده‌های استخراج شده از سایر آزمایش‌ها (شامل روز تا رسیدگی، ماده خشک کل در رسیدگی، عملکرد دانه و عملکرد غلاف) صورت

جدول ۱- توضیحات و مقادیر برخی پارامترهای استفاده شده در مدل نهایی SSM برای بادام زمینی رقم NC2 (نورحسینی و همکاران، ۲۰۱۷)

پارامترها	توضیح	واحد	مقدار
وابسته به رقم			
PHYL	فیلوکرون	درجه سانتیگراد روز	۵۶
PLAPOW	ضریب توان (b) در معادله آلومتریک ($Y=aX^b$) سطح برگ بوته در مقابل تعداد گره در ساقه اصلی	-	۲/۸
PDHI	حداکثر سرعت افزایش در شاخص برداشت در روز در مرحله خطی افزایش آن	-	۰/۰۰۸۵
bbEMR1	سبز شدن تا شروع گلدهی	روز بیولوژیک	۲۵
bbR5R7	شروع پر شدن دانه تا رسیدگی فیزیولوژیک	روز بیولوژیک	۴۶
bbR7R8	رسیدگی فیزیولوژیک تا برداشت	روز بیولوژیک	۱
bbR1TLM	شروع گلدهی تا پایان تولید برگ در ساقه اصلی	روز بیولوژیک	۶۸
وابسته به گونه			
KPAR	ضریب خاموشی تشعشع فعال فتوسنتزی	-	۰/۶۵
IRUE1	کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی در شرایط مطلوب	گرم بر مگاژول	۲/۲
FRTRL	کسری از ماده خشک تاج در مرحله شروع رشد دانه که قابل انتقال مجدد به دانه‌ها است	گرم بر گرم	۰/۲
EED	عمق موثر استخراج آب	میلی‌متر	۱۰۰۰
GRTDP	سرعت افزایش عمق ریشه	میلی‌متر بر روز	۳۵
TEC	ضریب کارایی تعرق	پاسکال	۴/۵
WSSG	آستانه FTSW برای رشد	-	۰/۳۵
WSSL	آستانه FTSW برای نمو سطح برگ	-	۰/۳۵
SLNG	نیترژن ویژه برگ‌های در حال رشد و سبز	گرم نیترژن در مترمربع برگ	۲/۲
SLNS	نیترژن ویژه برگ‌های پیر و زرد	گرم نیترژن در مترمربع برگ	۱
SNCG	غلظت نیترژن در ساقه سبز	گرم نیترژن بر گرم وزن خشک	۰/۰۲
SNCS	غلظت نیترژن حداقل در ساقه زرد	گرم نیترژن بر گرم وزن خشک	۰/۰۱
GNC	غلظت نیترژن دانه	گرم نیترژن بر گرم وزن خشک	۰/۰۴۸
MXNUP	حداکثر سرعت تجمع نیترژن	گرم نیترژن در مترمربع در روز	۰/۶
WSSN	آستانه FTSW برای تجمع نیترژن	-	۰/۵

همچنین غلظت‌های دی‌اکسیدکربن به میزان ۳۵۰، ۴۰۰، ۴۵۰، ۵۰۰، ۵۵۰، ۶۰۰، ۶۵۰ و ۷۰۰ پی‌پی‌ام در نظر گرفته شد. این مطالعه با یک دید کلی در مورد چگونگی پاسخ سیستم در محدوده‌ای از شرایط مطرح شده طراحی گردید، تا امکان

سناریوهای تغییر اقلیم: برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد بادام زمینی در استان گیلان در این مطالعه ترکیبی از سناریوهای مختلف تغییر اقلیم شامل کاهش ۱، ۲، ۳، ۴، افزایش ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ درجه سانتی‌گراد دما و عدم تغییر دما و

رقم محلی خود منطقه می‌باشد، استفاده شد. مقدار نیتروژن خالص خاک که در اول فصل قابل جذب است (مقدار نیتروژن خاکی که گیاه می‌تواند قبل از تثبیت آن برای تولید خود استفاده کند که بر مبنای میزان کود اضافه شده به خاک و آزمایش خاک تخمین زده شد)، $2/76$ گرم در متر مربع در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن اینکه کشت بادام زمینی به دلیل سطح ایستایی بالا در منطقه بدون آبیاری انجام می‌شود، لذا پس از بررسی سطح ایستایی منطقه عدد $0/5$ برای کسر آب قابل دسترس خاک (FTSW) در نظر گرفته شد. اطلاعات خاک با توجه به نقطه جغرافیایی و بافت خاک منطقه مورد مطالعه از مجموعه اطلاعات جهانی تهیه شده توسط باتجس (باتز، ۲۰۰۰) استخراج گردید که در جدول ۲ ارائه شده است.

جداسازی اثر هریک از اجزاء متفاوت تغییر اقلیم فراهم گردد. ابتدا اعمال تغییرات دمایی ذکر شده در داده‌های هواشناسی واقعی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ ایستگاه سینوپتیک کیشهر (شهرستان آستانه اشرفیه) با عرض جغرافیایی 37 درجه و 23 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 49 درجه و 53 دقیقه شرقی، برای شرایط آینده و تحت هر سناریو تولید شد.

شبیه‌سازی‌ها: همانطور که مطرح شد مدل SSM-peanut

برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد بادام زمینی در شرایط اقلیمی فعلی استان گیلان و تحت سناریوهای مختلف اجرا شد. برای این منظور تراکم بوته بادام زمینی $6/25$ بوته در مترمربع منظور شد. تاریخ کاشت برای تمام سناریوها ۲۵ اردیبهشت در نظر گرفته شد و از پارامترهای رقم نورث کارولینای ۲ (NC2)، که

جدول ۲- پارامترهای مهم در موازنه آب خاک برای منطقه مورد مطالعه

پارامترها	مقدار	منبع
SAT: مقدار آب خاک در حالت اشباع (مترمکعب در مترمکعب)	$0/458$	باتز، ۲۰۰۰
DUL: مقدار آب خاک در ظرفیت زراعی (مترمکعب در مترمکعب)	$0/405$	باتز، ۲۰۰۰
EXTR: مقدار آب قابل استخراج (مترمکعب در مترمکعب)	$0/172$	باتز، ۲۰۰۰
LL: مقدار آب خاک در نقطه پژمردگی دائم (مترمکعب در مترمکعب)	$0/233$	باتز، ۲۰۰۰
SOLDEP: عمق خاک (میلی‌متر)	۱۲۰۰	باتز، ۲۰۰۰
SALB: آلبيدو خاک	$0/05$	باتز، ۲۰۰۰
DRAINF: فاکتور زهکشی	$0/2$	باتز، ۲۰۰۰
CN: شماره منحنی	۸۵	باتز، ۲۰۰۰

دانه، روز تا رسیدگی برداشت، شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک، عملکرد دانه و غلاف از خروجی مدل ثبت شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: تجزیه داده‌ها با استفاده از روش آنالیز سطح پاسخ (Response surface analysis) در نرم-افزار SAS (سلطانی، ۱۳۹۲) انجام شد. سطح پاسخ در واقع عبارت است از یک رگرسیون چندگانه که در آن دما و غلظت CO_2 متغیرهای مستقل می‌باشند. در این آنالیز وضعیت سطح پاسخ متغیر اندازه‌گیری شده به سطوح هر دو عامل به طور همزمان مطالعه شده تا بدین وسیله سطح دما و غلظت CO_2 که در آن متغیر اندازه‌گیری شده به حداکثر یا حداقل خود می‌رسد، یافت می‌شود. در این مطالعه آنالیز سطح پاسخ با مدل درجه دوم

اثر غیر مستقیم افزایش غلظت CO_2 (تغییر دما)، با تغییرات اعمال شده در داده‌های هواشناسی، خروجی‌های مدل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اما برای تأثیر مستقیم آن نیاز به اعمال تغییراتی در مدل می‌باشد؛ افزایش غلظت CO_2 به طور مستقیم دو پارامتر مدل یعنی کارایی استفاده از تشعشع و ضریب کارایی تعرق را تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا تغییر ضرایب این پارامترها در اثر تغییر غلظت CO_2 بر مبنای گزارشات صورت گرفته در تحقیقات پیشین برآورد شد (سلطانی و ترابی، ۱۳۸۸؛ نه‌بندانی و سلطانی، ۱۳۹۵؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۷؛ حجاریپور و همکاران، ۱۳۹۲).

در انتها با اجرای مدل برای هر سال و تحت هر سناریو، روز تا گلدهی، روز تا شروع تشکیل غلاف، روز تا شروع تشکیل

روز تا شروع تشکیل غلاف، روز تا شروع تشکیل دانه، روز تا رسیدگی برداشت، حداکثر شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک، عملکرد دانه و عملکرد غلاف بادامزمینی به ترتیب برابر با ۰/۸۸، ۰/۸۹، ۰/۸۸، ۰/۸۷، ۰/۶۷، ۰/۶۶، ۰/۶۴ و ۰/۶۴ بدست آمد.

مراحل فنولوژیکی: نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان داد که اثرات خطی، فقط اثرات دما بر تمامی مراحل فنولوژیکی (روز تا شروع گلدهی، روز تا شروع تشکیل غلاف، روز تا شروع تشکیل دانه و روز تا رسیدگی برداشت) بادامزمینی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. در مورد اثرات درجه دوم نیز فقط اثر دما بر تمامی مراحل فنولوژیکی در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. اثرات متقابل دما و غلظت CO₂ معنی دار نبودند. بنابراین تغییرات دما مؤثرترین عامل بر روز تا مراحل مختلف فنولوژیکی بوده و تغییرات غلظت CO₂ اثر معنی داری بر آن‌ها نداشت (جدول ۴). با استفاده از ضرایب متغیرها مدل-های درجه دوم زیر به ترتیب برای روز تا شروع گلدهی، روز تا شروع تشکیل غلاف، روز تا شروع تشکیل دانه و روز تا رسیدگی برداشت بدست آمد:

$$Y_{R1} = 42.8 - 3T + 0.236T^2$$

$$Y_{R3} = 58.68 - 3.69T + 0.327T^2$$

$$Y_{R5} = 76.64 - 4.64T + 0.478T^2$$

$$Y_{R8} = 134.99 - 7.316T - 0.0008C + 0.732T^2$$

شدن سریع‌تر مراحل نمو بادامزمینی می‌باشد. افزایش دما بیش از ۵ درجه سانتیگراد سبب می‌شود تأثیر دما بر کاهش روز تا مراحل مختلف فنولوژیکی از جمله روز تا رسیدگی کمتر گردد. این امر به دلیل افزایش تعداد روزهایی است که میانگین دما بیشتر از حد مطلوب برای گیاه بوده که در آن‌ها سرعت نمو رو به کاهش می‌گذارد. همانطور که در شکل مشخص است، در دماهای ثابت تغییرات غلظت CO₂ اثری بر روز تا مراحل مختلف فنولوژیکی ندارد. سایر مطالعات انجام شده در بسیاری از گیاهان زراعی از جمله نخود (حجاریپور و همکاران، ۱۳۹۲؛ کوچکی و همکاران، ۲۰۰۶)، گندم (کوچکی و همکاران، ۲۰۰۸)، برنج (پراسد و همکاران، ۲۰۰۶)، ذرت (ایسلام و همکاران،

زیر انجام گرفت. همچنین فقدان برازش، خطای خالص و ضریب تبیین نیز در نتایج گزارش گردید.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 T - \beta_2 C + \beta_{11} T^2 - \beta_{22} C^2 + \beta_{12} TC$$

در این فرمول Y متغیر پاسخ (مراحل مختلف فنولوژیکی، حداکثر شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک، عملکرد دانه و غلاف)، T و C متغیر مستقل (به ترتیب دما و غلظت CO₂)، β_0 ضریب ثابت، β_1 و β_2 اثرات خطی، β_{11} و β_{22} اثر مربعات و β_{12} اثر متقابل می‌باشد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس سطح واکنش به منظور تعیین معنی داری مدل چندجمله‌ای درجه دوم برای تمامی مراحل فنولوژیکی (روز تا شروع گلدهی، روز تا شروع تشکیل غلاف، روز تا شروع تشکیل دانه و روز تا رسیدگی برداشت)، حداکثر شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک، عملکرد دانه و عملکرد غلاف بادامزمینی در جداول ۳ و ۵ ارائه شده است. با توجه به جدول، سطح پاسخ درجه دو در سطح احتمال یک درصد برای تمامی صفات فوق معنی دار بود. فقدان برازش برای هیچکدام از صفات مورد بررسی معنی دار نشد. ضریب تبیین برای روز تا شروع گلدهی،

(۱)

(۲)

(۳)

(۴)

شکل ۱ تا ۴ ارتباط بین روز تا مراحل فنولوژیکی در بادام-زمینی را با تغییرات دما در شرایط افزایش غلظت CO₂ نشان می‌دهد. همانطوری که شکل نشان می‌دهد در صورت کاهش دما نسبت به شرایط کنونی روز تا مراحل مختلف فنولوژیکی افزایش می‌یابد. زیرا در این شرایط سرعت نمو بادامزمینی که به شدت وابسته به دما می‌باشد به دلیل نامساعد شدن دما کاهش یافته و از این رو، روز تا مراحل مختلف فنولوژیکی (روز تا رسیدگی از ۱۳۵ روز به ۱۶۶ روز) افزایش می‌یابد. با افزایش دمای ۱ تا ۵ درجه سانتیگراد نسبت به شرایط کنونی روز تا مراحل مختلف فنولوژیکی کاهش پیدا می‌کند (روز تا رسیدگی از ۱۳۵ روز به ۱۱۶ روز کاهش می‌یابد) که به دلیل سرعت نمو بیشتر و طی

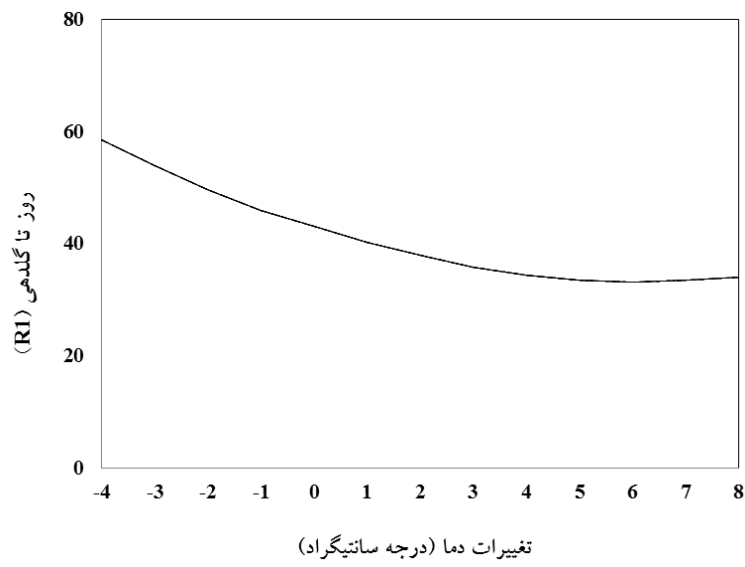
افزایش دما به طور معنی داری طول دوره مراحل فنولوژیکی از جمله روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی را کاهش داد. (۲۰۱۲) و سویا (مال و همکاران، ۲۰۰۴؛ نه‌بندانی و سلطانی، ۱۳۹۵) نشان داد که افزایش غلظت CO₂ تأثیر مستقیمی بر فنولوژی این گیاهان ندارد اما تأثیر غیر مستقیم آن از طریق

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس برازش سطح پاسخ درجه دو برای مراحل فنولوژی بادام زمینی

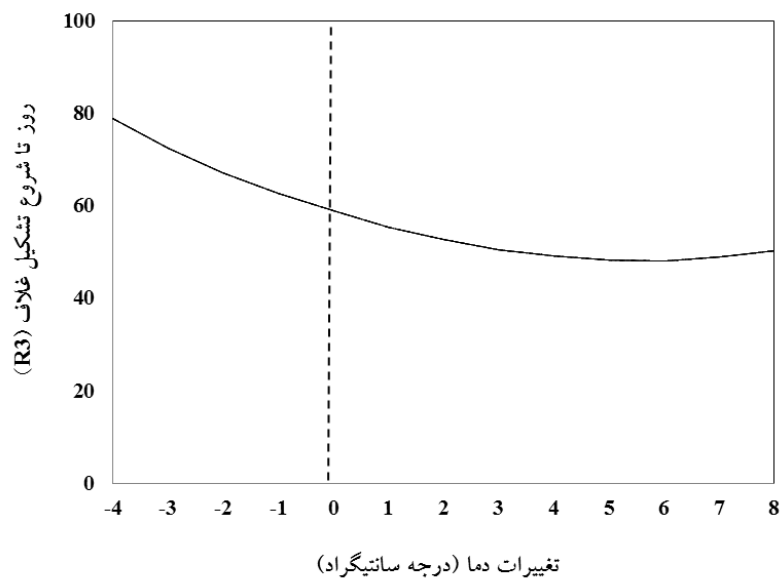
منابع تغییر	درجه آزادی	روز تا شروع گلدهی	روز تا شروع تشکیل غلاف	روز تا شروع تشکیل دانه	روز تا رسیدگی برداشت
مجموع مربعات					
رگرسیون	۵	۶۳۵۳۸**	۸۹۵۳۵**	۱۳۰۶۴۰**	۳۲۹۵۸۹**
خطی	۲	۵۵۵۳۳**	۷۴۰۹۵**	۹۷۷۱۸**	۲۵۲۲۹۱**
درجه دوم	۲	۸۰۰۴/۶۷**	۱۵۴۴۰**	۳۲۹۲۲**	۷۷۲۹۸**
برهمکنش	۱	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns
فقدان برازش	۹۸	۱۵/۲۷۷ ns	۲۲/۳۰ ns	۷۱/۸۹ ns	۱۹۶۵۶ ns
خطای خالص	۸۳۲	۸۳۷۳/۳۳	۱۱۳۴۲	۱۷۲۴۶	۲۹۹۸۵
خطای کل	۹۳۰	۸۳۸۸/۶۱	۱۱۳۶۵	۱۷۳۱۸	۴۹۶۴۱
ضریب تبیین	-	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۸۷

جدول ۴- مقادیر ضرایب مدل برازش شده در آنالیز سطح پاسخ برای مراحل فنولوژی بادام زمینی

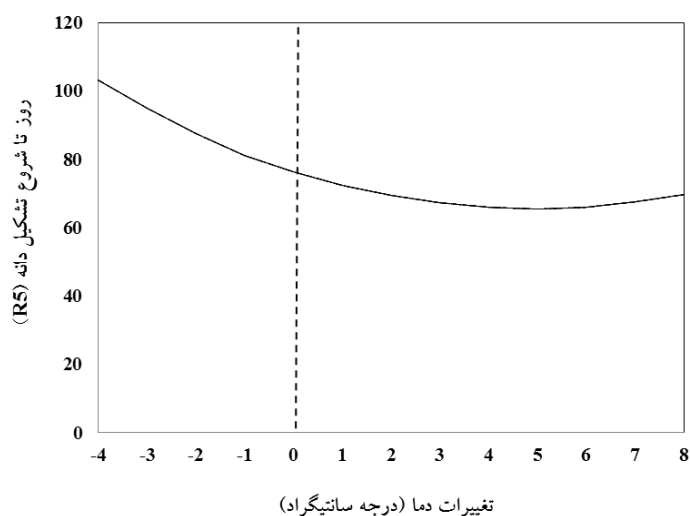
ضریب	روز تا شروع گلدهی	روز تا شروع تشکیل غلاف	روز تا شروع تشکیل دانه	روز تا رسیدگی برداشت
β_0	۴۲/۸۰**	۵۸/۶۸**	۷۶/۶۴**	۱۳۴/۹۹**
β_1	-۳/۰۰**	-۳/۶۹**	-۴/۶۴**	-۷/۳۱۶**
β_2	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	-۰/۰۰۰۸ ns
β_{11}	۰/۲۳۶**	۰/۳۲۷**	۰/۴۷۸**	۰/۷۳۲**
β_{12}	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns
β_{22}	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns



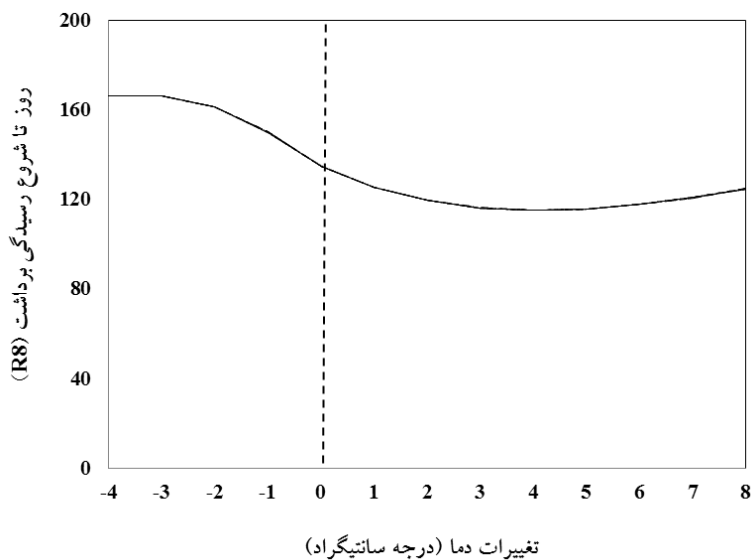
شکل ۱ - روز تا شروع گلدهی تحت تأثیر سطوح مختلف دما



شکل ۲ - روز تا شروع تشکیل غلاف تحت تأثیر سطوح مختلف دما



شکل ۳ - روز تا شروع تشکیل دانه تحت تأثیر سطوح مختلف دما



شکل ۴ - روز تا رسیدگی برداشت تحت تأثیر سطوح مختلف دما

بنابراین تغییرات دما مؤثرترین عامل بر حداکثر شاخص سطح برگ بادام زمینی می‌باشد (جدول ۶). با استفاده از ضرایب متغیرها مدل درجه دوم زیر به دست آمد:

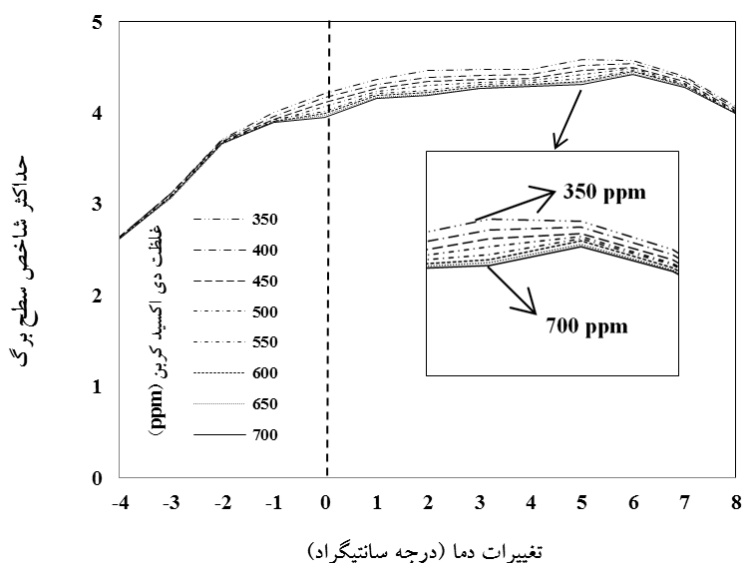
شاخص سطح برگ: نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان داد که اثرات خطی و همچنین اثرات درجه دوم، فقط اثر دما بر حداکثر شاخص سطح برگ بادام زمینی در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. اثرات متقابل دما و دی اکسید کربن معنی دار نبودند.

$$Y_{MLAI} = 4.492 + 0.227T - 0.001C + 0.00002T^2 - 0.000001C^2 \quad (5)$$

کاهش دما نسبت به شرایط کنونی شاخص سطح برگ نیز کاهش می‌یابد در عین حال با افزایش ۱ تا ۶ درجه دما نسبت به شرایط کنونی افزایش شاخص سطح برگ حاصل گردید. در حالی که

شکل ۵ ارتباط بین حداکثر شاخص سطح برگ در بادام-زمینی را با تغییرات دما در شرایط افزایش غلظت CO_2 نشان می‌دهد. همانطور که در شکل قابل مشاهده است در صورت

افزایش بیش از ۶ درجه سانتیگراد دما به مرور روند کاهشی شاخص سطح برگ بادمزمینی را نشان می‌دهد.



شکل ۵ - حداکثر شاخص سطح برگ تحت تأثیر سطوح مختلف دما و دی اکسید کربن

بر تجمع ماده خشک گیاه بادمزمینی معنی‌دار بود. اثرات متقابل دما و غلظت CO_2 نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). با استفاده از ضرایب متغیرها، مدل درجه دوم زیر برای حداکثر شاخص سطح برگ بادمزمینی بدست آمد.

$$Y_{WTOP} = 562.614 + 23.951T + 1.027C - 8.048T^2 - 0.009C$$

پی‌پی‌ام منجر به افزایش تجمع ماده خشک در گیاه بادمزمینی گردید.

عملکرد بادمزمینی: نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان داد که اثرات خطی دما در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه و غلاف بادمزمینی معنی‌دار بود. در مورد اثرات درجه دوم نیز اثر دما بر عملکرد دانه و غلاف در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). با استفاده از ضرایب متغیرها مدل درجه دوم برای عملکرد دانه و غلاف بادمزمینی به ترتیب زیر بدست آمد:

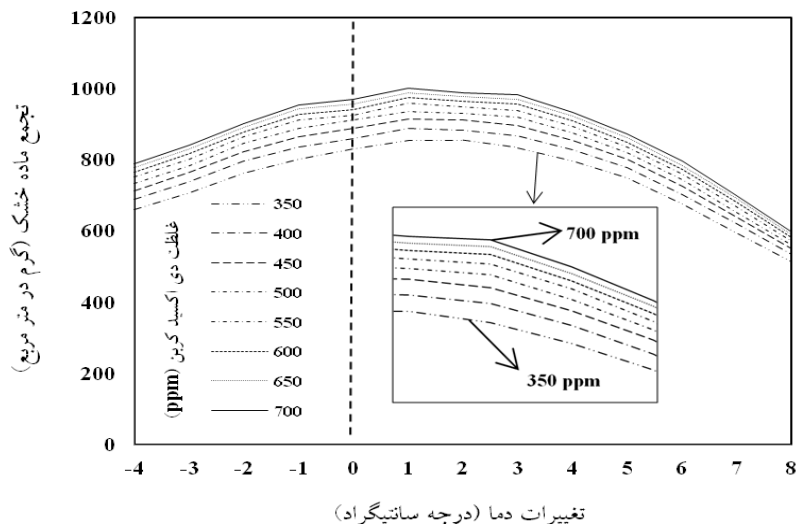
$$Y_{WSEED} = 261.168 + 19.318T + 0.220C - 3.929T^2 - 0.0002C^2$$

$$Y_{WPOD} = 339.729 + 25.076T + 0.284C - 5.102T^2 - 0.0002C^2$$

تجمع ماده خشک: نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان داد که اثرات خطی دما و غلظت CO_2 در سطح احتمال یک درصد بر تجمع ماده خشک گیاه بادمزمینی معنی‌دار بود. در مورد اثرات درجه دوم اثر دما و غلظت CO_2 در سطح احتمال یک درصد (۶)

شکل ۶ ارتباط بین تجمع ماده خشک در بادمزمینی با تغییرات دما و غلظت CO_2 را نشان می‌دهد. در صورت کاهش دما نسبت به شرایط کنونی تجمع ماده خشک نیز کاهش می‌یابد. در این شرایط با افزایش غلظت CO_2 از شدت کاهش تجمع ماده خشک کاسته می‌شود. اما همانطور که در شکل فوق مشاهده می‌شود در محدوده تغییرات دمایی بین صفر تا ۳ درجه سانتیگراد نوسان در تجمع ماده خشک تقریباً ناچیز می‌باشد. با افزایش تغییرات دما به میزان بیش از ۳ درجه سانتیگراد روند کاهشی تجمع ماده خشک در بادمزمینی مشاهده می‌شود. در تمامی محدوده‌های دمایی، افزایش غلظت CO_2 از ۳۵۰ تا ۷۰۰ (۷)

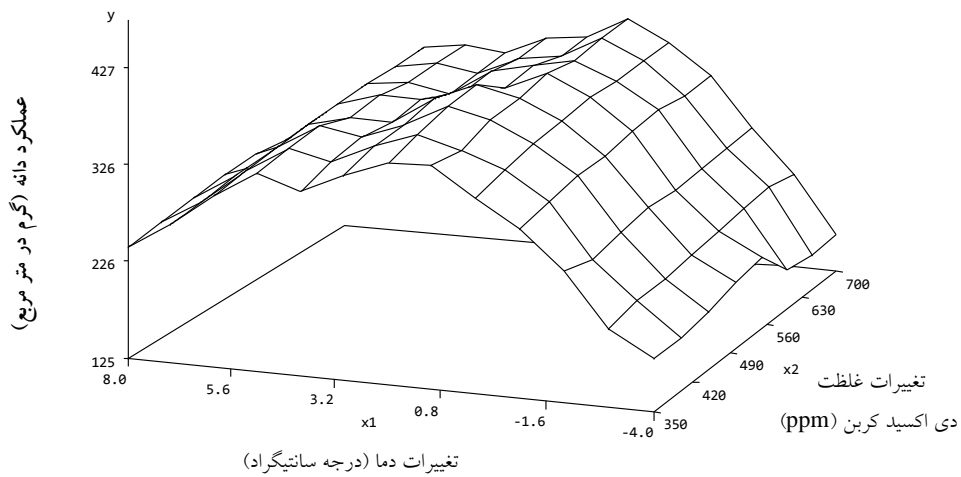
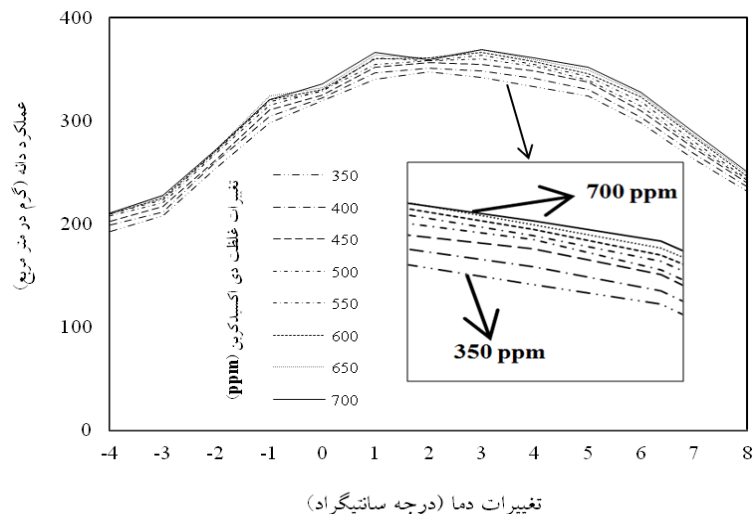
(۸)



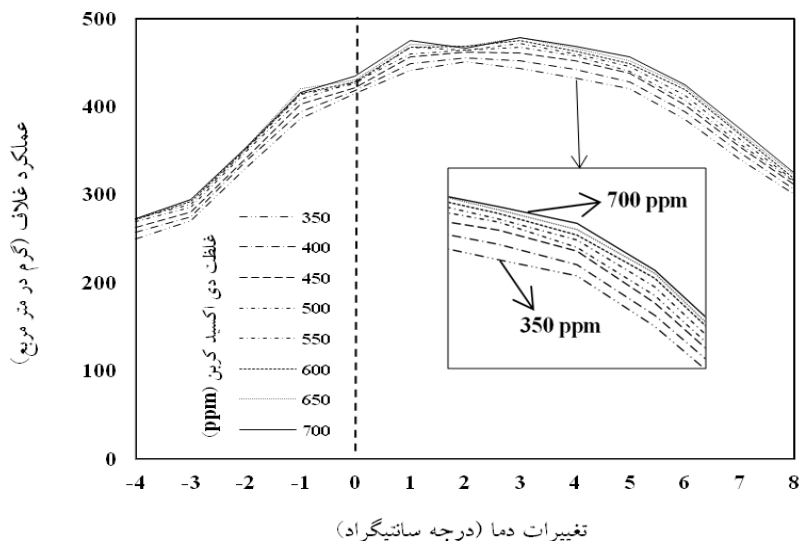
شکل ۶ - تجمع ماده خشک تحت تأثیر سطوح مختلف دما و دی‌اکسید کربن

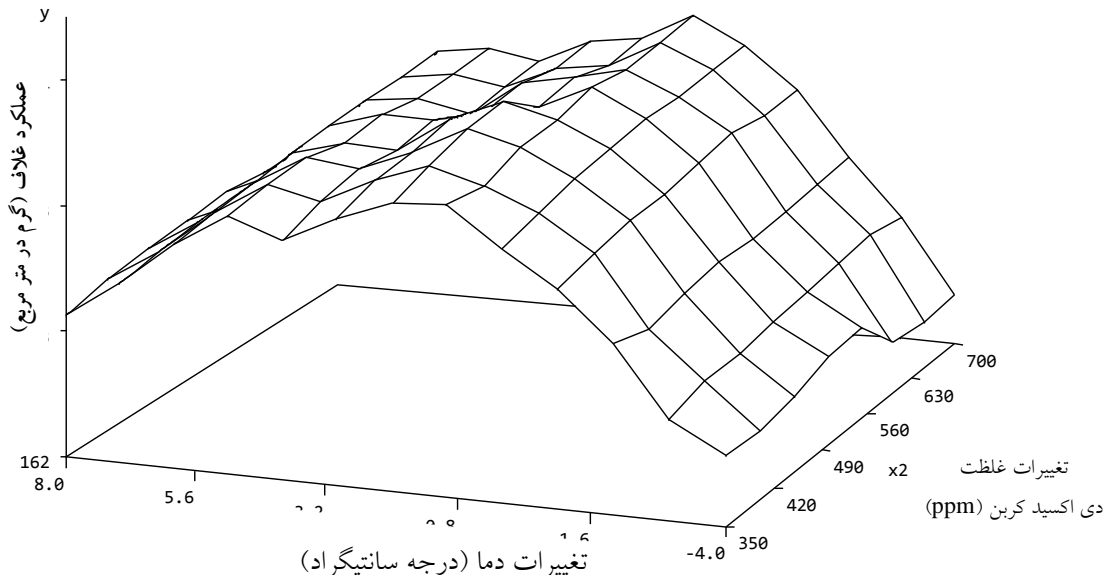
علاوه بر اثرات مستقیم افزایش بیش از حد دما در اقلیم آینده، با افزایش CO_2 اثرات غیر مستقیمی بر گرم شدن هوا نیز به وجود خواهد آورد که در مجموع افزایش بیش از حد دما باعث روند صعودی گرم شدن کره زمین خواهد شد. این موضوع می‌تواند احتمال فزونی یافتن دمای هوا بر دمای آستانه رشد و نمو را تقویت نموده و منجر به توقف رشد گردد (قلی‌پور و سلطان، ۲۰۰۵). نه‌بندانی و سلطانی (۱۳۹۵) گزارش کردند که افزایش ۳ تا ۸ درجه دما نسبت به شرایط کنونی سبب کاهش عملکرد می‌شود. تاکاریندا و همکاران (۲۰۱۳) بیان داشتند که دماهای بالا باعث کاهش تعداد غلاف در سویا و به تبع آن کاهش عملکرد می‌شود. کاهش عملکرد به دلیل افزایش دما به دلیل کاهش طول دوره پر شدن دانه می‌باشد اما افزایش غلظت CO_2 در تمامی دماها به دلیل اختصاص بیشتر ماده فتوسنتزی برای دانه سبب افزایش عملکرد می‌شود (ویلر و همکاران، ۱۹۹۶). از طرفی دیگر همانطور که ذکر شد در دماهای بیشتر از حد مطلوب گیاه اثرات مثبت دی‌اکسید کربن کاهش می‌یابد.

شکل ۷ و ۸ به ترتیب واکنش عملکرد دانه و غلاف بادام زمینی به مقادیر دما و غلظت CO_2 را نشان می‌دهد. در صورت کاهش دما نسبت به شرایط کنونی عملکرد بادام زمینی نیز روند کاهشی به خود می‌گیرد، به طوری که در شرایط کنونی با کاهش ۴ درجه سانتیگراد به ترتیب ۱۲۷ و ۱۶۵ گرم در مترمربع عملکرد دانه و غلاف کاهش پیدا کرد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت CO_2 از شدت کاهش عملکرد کاسته می‌شود. افزایش دو درجه‌ای دما منجر به افزایش عملکرد دانه و غلاف بادام زمینی به ترتیب ۲۸ و ۳۶ گرم در متر مربع شد، اما در محدوده افزایش دمایی بین ۱ تا ۴ درجه سانتیگراد، تقریباً تفاوت ناچیزی در عملکرد مشاهده می‌شود. با افزایش بیش از ۴ درجه سانتیگراد روند کاهشی در مقدار عملکرد مشاهده گردید. در مجموع افزایش غلظت CO_2 همزمان با نوسانات دمایی شرایط بهتری را برای بهبود عملکرد بادام زمینی نشان داد، به طوری که در تمامی محدوده‌های دمایی مورد مطالعه با افزایش CO_2 از ۳۵۰ تا ۷۰۰ پی‌پی‌ام منجر به افزایش عملکرد بادام زمینی گردید.



شکل ۷ - عملکرد دانه بادام زمینی تحت تأثیر سطوح مختلف دما و دی اکسید کربن





شکل ۸ - عملکرد غلاف بادام زمینی تحت تأثیر سطوح مختلف دما و دی اکسید کربن

جدول ۵ - نتایج تجزیه واریانس برازش سطح پاسخ درجه دو برای شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک، عملکرد دانه و غلاف بادام زمینی

منابع تغییر	درجه آزادی	حداکثر شاخص سطح برگ (متر مربع در متر مربع)	تجمع ماده خشک (گرم در متر مربع)	عملکرد دانه (گرم در متر مربع)	عملکرد غلاف (گرم در متر مربع)
مجموع مربعات					
رگرسیون	۵	۲۶۰/۴۹۸**	۱۳۲۸۲۲۸۷**	۲۵۵۰۸۲۴**	۴۲۹۹۸۷۵**
خطی Linear	۲	۱۵۸/۱۶۲**	۳۸۸۴۹۴۱**	۳۲۱۴۳۳**	۵۴۲۵۹۹**
درجه دوم Quadratic	۲	۱۰۲/۲۵۶**	۹۳۸۲۶۸۶**	۲۲۲۸۸۰۸**	۳۷۵۶۲۸۰**
برهمکنش Crossproduct	۱	۰/۰۸۱ ns	۱۴۶۶۰ ns	۵۸۲/۶۱۴ ns	۹۹۵/۲۲۳ ns
فقدان برازش Lack of Fit	۹۸	۹/۴۳۷ns	۸۶۳۰۸ns	۶۰۱۹۹ns	۱۰۱۵۰۲ns
خطای خالص Pure Error	۸۳۲	۱۱۹/۹۳۲	۶۷۹۴۵۶۲	۱۳۸۹۰۹۰	۲۳۴۲۷۳۹
خطای کل Total error	۹۳۰	۱۲۹/۳۶۹	۶۸۸۰۸۷۰	۱۴۴۹۲۸۹	۲۴۴۴۲۴۱
ضریب تبیین	-	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۶۴	۰/۶۴

جدول ۶ - مقادیر ضرایب مدل برازش شده در آنالیز سطح پاسخ برای شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک، عملکرد دانه و غلاف بادام زمینی

ضریب	حداکثر شاخص سطح برگ (متر مربع در متر مربع)	تجمع ماده خشک (گرم در متر مربع)	عملکرد دانه (گرم در متر مربع)	عملکرد غلاف (گرم در متر مربع)
β_0	۴/۴۹۲**	۵۶۲/۶۱۴**	۲۶۱/۱۶۸۲**	۳۳۹/۷۲۹۷**
β_1	۰/۲۲۷**	۲۳/۹۵۱**	۱۹/۳۱۸۲**	۲۵/۰۷۶**
β_2	-۰/۰۰۱ ns	۱/۰۲۷**	۰/۲۲۰۲ ns	۰/۲۸۴ ns
β_{11}	-۰/۰۲۷**	-۸/۰۴۸**	-۳/۹۲۹۷**	-۵/۱۰۲**
β_{12}	۰/۰۰۰۰۲ ns	-۰/۰۰۰۰۶**	۰/۰۰۱۸ ns	۰/۰۰۰۲ ns
β_{22}	۰/۰۰۰۰۰۱ ns	-۰/۰۰۰۰۹ ns	-۰/۰۰۰۰۲ ns	-۰/۰۰۰۰۲ ns

نتیجه‌گیری

است در منطقه آستانه اشرفیه افزایش پیدا خواهد کرد. به نظر می‌رسد سرعت رشد بادام زمینی همانند سایر گیاهان سه کربنه زمانی که غلظت CO₂ محیط تا ۷۰۰ پی‌پی‌ام برسد، افزایش می‌یابد. به طوریکه در ۷۰۰ پی‌پی‌ام رشد گیاهان سه کربنه ممکن است بیشتر از گیاهان چهارکربنه باشد (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۶). لذا می‌توان چنین پیش‌بینی که در این منطقه افزایش غلظت CO₂ همزمان با نوسانات دمایی شرایط بهتری را برای بهبود عملکرد بادام‌زمینی در منطقه فوق نشان خواهد داد. که درنهایت با توجه به تغییرات پیش‌بینی شده راهکارهایی را که برای تولید بادام‌زمینی در اقلیم آینده می‌توان پیشنهاد داد شامل استفاده از ارقام مقاوم به دماهای بالا، استفاده تاریخ کاشت مناسب برای جلوگیری از تنش‌های گرمایی در فصل رشد بادام زمینی، استفاده از ارقام دیررس به منظور افزایش دور پرشدن دانه و جلوگیری از رسیدگی زود هنگام که منجر به کاهش عملکرد می‌شود. استفاده از سایر مدیریت‌های زراعی مناسب از جمله آبیاری مناسب، کودهای تغذیه‌ای و استفاده از مواد آلی می‌تواند بر بهبود تولید بادام زمینی در آینده مؤثر باشد.

به طور کلی نتایج نشان داد که کاهش دما نسبت به شرایط کنونی در شرایط آستانه اشرفیه تعداد روز تا مراحل فنولوژیکی بادام زمینی را حدود ۳۱ روز افزایش داد، اما افزایش دما تا ۵ درجه سانتیگراد منجر به رسیدگی دانه‌های بادام زمینی در روز ۱۱۶ ام شد که نسبت به شرایط کنونی حدود ۱۹ روز کاهش پیدا کرد. کاهش دما نسبت به شرایط کنونی باعث کاهش عملکرد بادام‌زمینی گردید، به طوری که با کاهش ۴ درجه سانتیگراد نسبت به شرایط کنونی به ترتیب ۱۲۷ و ۱۶۵ گرم در مترمربع عملکرد دانه و غلاف کاهش پیدا کرد. اما با افزایش غلظت CO₂ از شدت کاهش عملکرد کاسته شد. افزایش دو درجه‌ای دما منجر به افزایش عملکرد دانه و غلاف بادام‌زمینی (به ترتیب با افزایش ۲۸ و ۳۶ گرم در متر مربع) شد. در تمامی محدوده‌های دمایی مورد مطالعه با افزایش CO₂ از ۳۵۰ تا ۷۰۰ پی‌پی‌ام منجر به افزایش عملکرد بادام‌زمینی گردید. در مجموع اثر مثبت دما و CO₂ بر عملکرد بادام زمینی در منطقه آستانه اشرفیه حاکی از آن است که در آینده عملکرد بادام زمینی که یک گیاه سه کربنه

منابع

- جهاد کشاورزی. ۱۳۹۵. اطلاعات گیاهان زراعی استان گیلان. مدیریت جهاد کشاورزی استان گیلان، بخش آمار و اطلاعات.
- حجارپور، ا.، سلطانی، ا.، زینلی، و. ف. سیدی. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر تولید نخود در شرایط دیم و آبی کرمانشاه. پژوهش‌های تولیدات گیاهی. جلد ۲۰، شماره ۲: ۲۳۵-۲۵۲.
- سرافروزه، ف. م. جلالی، ط. جلالی و ا. جمالی. ۱۳۹۰. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم آینده بر مصرف آب محصول گندم در تبریز. فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی. جلد ۱۲، شماره ۳۷: ۹۶-۸۱.
- سلطانی، ا. و ب. ترابی. ۱۳۸۸. مدل‌سازی گیاهان زراعی، مطالعات موردی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ اول. ۲۳۲ صفحه.
- قلی‌پور، م و ا. سلطانی. ۱۳۸۴. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات رشدی و عملکرد دانه گندم زمستانی در شرایط دیم و فاریاب تبریز با استفاده از شبیه‌سازی. مجله دانش کشاورزی. جلد ۱۵، شماره ۳: ۱۶۳-۱۷۶.
- کوچکی، ع. ر. و سرمدنیا، غ. خ. ۱۳۸۶. فیزیولوژی گیاهان زراعی (ترجمه). تألیف: گاردنر، ف. پ.، پیرس، آ. ب. و میشل، آر. ال. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ سیزدهم. ۴۰۰ صفحه.
- کوچکی، ع. ر. و م. نصیری. ۱۳۸۷. تأثیر تغییر اقلیم همراه با افزایش غلظت CO₂ بر عملکرد گندم در ایران و ارزیابی راهکارهای سازگاری. پژوهش‌های زراعی ایران. جلد ۶، شماره ۱: ۱۳۹-۱۵۳.
- نه‌بندانی، ع. ر. و ا. سلطانی. ۱۳۹۵. شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر نمو، نیاز آبیاری و عملکرد سویا در گرگان. نشریه آب و خاک. جلد ۳۰، شماره ۱: ۷۷-۸۷.

- Abraha, M.G. and M.J. Savage. 2006. Potential impacts of climate change on the grain yield of maize for the midlands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agric. Ecosyst. Environ.* 15:150-160.
- Batjes, N.H. 2000. Global Soil Profile Data (ISRIC-WISE)" [Global Soil Profile Data (International Soil Reference and Information Centre - World Inventory of Soil Emission Potentials)]. Data set. Available on-line [<http://www.daac.ornl.gov>] from ORNL Distributed Active Archive Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A.
- Carroll, E, T. Sparks, A. Donnelly and T. Cooney. 2009. Irish phenological observations from the early 20th century reveal a strong response to temperature, *Biology and Environment*, Pp116-126. *Proceedings of the Royal Irish Academy*, Vol. 109B.

- Chiotti, Q.P. and T. Johnston. 1995. Extending the boundaries of climate change research: A discussion on agriculture, *J. Rural Stud.* 11: 335-350.
- Crepinsek, Z., L. Kajfez-Bogataj and K. Bergant. 2006. Modeling of weather variability effect on phytophenology. *Ecological Modelling.* 194: 256-265.
- Gholipour, M. and A. Soltani. 2009. Future climate impacts on chickpea in Iran and ICARDA. *Res. J. Environ. Sci.* 3: 16-28.
- Hajarpoor, A., A. Soltani, E. Zeinali and F. Sayyedi. 2014. Simulating climate change impacts on production of chickpea under water-limited conditions. *Agric. Sci. Dev.* 3(6): 209-2017
- Hatfield, J.L., K.J. Boote, B.A. Kimball, L.H. Ziska, R.C. Izaurralde, D. Ort, A.M. Thomson and D. Wolfe. 2011. Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production. *Agro. J.* 103: 351-370.
- Hengeveld, H.G. 2000. Projections for Canada's climate future. A discussion of recent simulations with the Canadian Global Climate Model. CCD 0001, Environment Canada.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. Summary for policymakers. Report of Working Group I. Climate Change 2001: The scientific basis. http://www.meto.gov.uk/sec5/CR_div/ipcc/wg1/WGI-SPM.pdf.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policy Makers.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Synthesis Report. Summary for Policymakers.
- Islam, A., L.R. Ahuja, L.A. Garcia, L. Ma, A.S. Saseendran. and T.J. Trout. 2012. Modeling the impacts of climate change on irrigated corn production in the Central Great Plains. *Agric. Water Manage.* 110(1): 94-108.
- Koocheki, A., M. Nassiri, A. Soltani, H. Sharif and R. Ghorbani. 2006. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. *Clim. Res.* 30: 247-253.
- Koocheki, A., M. Nassiri, A. Soltani, H. Sharifi and R. Ghorbani. 2006. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. *Clim. Res.* 247-253.
- Ludwig, F. and S. Asseng. 2006. Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia. *Agric. Syst.* 90:159-179.
- Maiti, R. and P.W. Ebeling. 2002. *The Peanut (Arachis hypogaea) Crop.* Science Publishers, Inc. 376p.
- Mall, R., M. Lal, V. Bhatia, L. Rathore and R. Singh. 2004. Mitigating climate change impact on soybean productivity in India: a simulation study. *Agric. Forest Meteorol.* 121(2):113-125.
- Noorhosseini, S.A., A. Soltani and H. Ajamnoroozi. 2017. Simulating peanut (*Arachis hypogaea* L.) growth and yield with the use of the simple simulation model (SSM). *Comput. Electron. Agric.* In press, 14p.
- Orlandi, F., L. Ruga, B. Romano and M. Fprnaciari. 2005. Olive flowering as an indicator of local climate changes. *Theor. App. Climatol.* 81:169-176.
- Prasad, P.V.V., K.J. Boote, L.H. Allen, J.E. Sheehy and J.M.G. Thomas. 2006. Species, ecotype and cultivardifferences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. *Field Crops Res.* 95(3):398-411.
- Reidsma, P., F. Evert and A.O. Lansink. 2007. Analysis of farm performance in Europe under different climatic and management conditions to improve understanding of adaptive capacity. *Clim. Change.* 84: 403-422.
- Sakalauskiene, S., A. Brazaityte and J. Sakalauskaite. 2008. Complex influence of different humidity and temperature regime on PEA photosynthetic indices in VI-VII organogenesis stages. Pp.106. Abstracts of International Scientific Conference, actualities in plant physiology. 12-13 June Lithuanian University of Agriculture, Babtai.
- Soltani, A. and M. Gholipour. 2006. Simulating the impact of climate change on growth, yield and water use of chickpea. *J. Agri. Sci. Natur. Resour.* 13(2): 69-79.
- Soltani, A. and T.R. Sinclair. 2012. *Modeling Physiology of Crop Development, Growth and Yield.* CABI, Wallingford, U.K.
- Soltani, A., Gholipour, M. and Ghassemi-Golezani, K. 2007. Analysis of temperature and atmospheric CO₂ effects on radiation use efficiency in chickpea (*Cicerarietinum* L.). *J. Plant Sci.* 2(1):89-95.
- Tacarindua, C.R., T. Shiraiwa, K. Homma, E. Kumagai and R. Sameshima. 2013. The effects of increased temperature on crop growth and yield of soybean grown in a temperature gradient chamber. *Field Crops Res.* 154(1):74-81.

-
- Wheeler, T.R., T.D. Hong, R.H. Ellis, G.T. Batts, J.I.L. Morison and P.Hadley. 1996. The duration and rate of grain growth, and harvest index, of wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to temperature and CO₂. *J. Exp. Bot.* 47(5): 623–630.
- Wielgolaski, F.E. 1999. Starting dates and basic temperatures in phenological observations of plants. *Int. J. Biometeorology.* 42: 158-168.

Response of growth, development and yield of peanut to changes in temperature and carbon dioxide

S.A. Noorhosseini¹, A. Soltani², H. Ajamnorhoozi^{3*}

Received: 2017-8-13 Accepted: 2018-1-30

Abstract

In order to evaluate the effect of temperature changes at carbon dioxide concentrations on the growth, development and yield of peanuts (cultivar North Carolina 2), SSM-Peanut model was used. The SSM-peanut model was used to run different scenarios including combination of -1, -2, -3, -4, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 °C changes in temperature and CO₂ concentration of 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700 ppm. This study was performed using data from field experiments conducted in Astaneh Ashrafieh. Simulation were applied using actual meteorological data of the period 2007-2015 from Kiashahr Synoptic Station (37°23' N, 49°53' E) for future conditions and under all scenarios. The results showed that the temperature reduction compared to the current conditions, increased the day to the phenological stages in peanuts. So that, days to maturity increased from 135 to 166 days. However, fluctuation in temperature from 1 to 5°C decreased days to maturity from 135 to 116 days. Reducing the temperature compared to the current conditions reduced the yield of peanuts. So, in the present situation, the yield of seeds and pods decreased by 40%, with a decrease of 4°C. But increase in CO₂ concentration will compensate this decrease, So that by reducing the temperature of 4 °C at the concentration of 550 ppm CO₂ resulted in a 37% decrease in peanut yields. Increasing temperature of 2 °C resulted to increase grain yield and peanut pod by 8%. Overall, the increase in CO₂ concentration with the different temperature fluctuations indicates better conditions for improving yield of peanut.

Keywords: Carbon dioxide concentration, phenological stages, ssm-peanut model, temperature changes, yield changes

1- PhD Student, Department of Agronomy, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran

2- Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

3- Assistant Professor, Department of Agronomy, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran