بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده کشاورزی
گروه زراعت

عنوان پایان نامه ارشد

تاثیر باکتری سودوموناس بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی دو رقم سیب‌زمینی- اگریا و ساوالان در شرایط تنش کم آبیاری

دانشجو
سیده محدثه قاضی‌زاده

اساتید راهنما
دکتر محمدرضا عامریان
دکتر حمیدرضا اصغری

اساتید مشاور
مهندس مهدی رحیمی
دکتر هادی اسدی رحمانی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن‌ماه ۱۳۹۰

تقدیم به

پدرم

استوارترین پشتوانه زندگیم که همواره چتر محبتش بر سرم بوده

و مادرم

دل انگیزترین رایحه مهر، که دامان پر مهرش یگانه پناهم بوده

قدردانی و تشکر

یارب دل ما را تو به رحمت جان ده — درد همه را به صابری درمان ده

این بنده چه داند که چه می باید جست — داننده تویی هر آنچه دانی آن ده

سپاس و ستایش خدای را سزاست که آدمیان را اندیشیدن و تفکر آموخت تا به سرانگشت معرفت، اسرار هستی را یک به یک پرده بردارند. خداوندی که هر پرسشی را به پاسخی ختم نمود و ذهن پویای بشر را مشتاق یافتن این پاسخ ها قرار داد. پروردگاری که در سایه رحمت بی پایانش توانستم گامی دیگر بردارم و وجود خویش را به زینت علم بیارایم. باشد که به خود آیم، شاکر باشم، اندیشه ای کنم و طریقی گزینم.

اکنون که خداوند متعال بر بنده حقیر خود منت نهاده و از سر لطف و کرم مرا لایق فراگیری علم قرار داده، چنانچه این مختصر تلاشم شایسته ارزشی باشد، شایسته تر آن است که زحمات اساتید بزرگوارم **جناب آقای دکتر محمدرضا عامریان و جناب آقای دکتر حمیدرضا اصغری** را ارج نهم که در سایه راهنمایی های عالمانه، سعی و تلاش بی حد و حصرشان، دلسوزی های صبورانه و همکاری های بی دریغشان، این بار گران به منزل رسید.

صمیمانه ترین مراتب قدردانی خود را از اساتید مشاور **آقای مهندس مهدی رحیمی و دکتر هادی اسدی رحمانی** که شاگردی در محضرشان برایم کمال امتنان است، ابراز می دارم. از محضر اساتید محترم **آقای دکتر برادران، آقای دکتر احمد غلامی، آقای دکتر عباس دخت، آقای دکتر مکاریان** و نیز سایر اساتید بزرگوار گروه زراعت تشکر می کنم.

از دوستان و هم کلاسی های بسیار خوبم خانم ها دلفانی، باقریان، کاظمی، قاضوی، اکبری، رستم زاده، طالع زاده، مهقانی، بیطرفان، خسروی، غیاثی و خسروجردی که جای جای این پایان نامه نشانی از حضور پاک و صمیمی آنهاست قدردانی می کنم. از آقای مهندس مهدی بیاری و نیز کارکنان بخش مزرعه آقایان حسین پور، محمدی و سپاسگزارم. از پدر، مادر، خواهر و برادرم که با فراهم آوردن محیطی آرام و صمیمی پیمودن این راه را برایم آسان کردند، متشکرم.

سیده محدثه قاضی زاده

بهمن ماه ۹۰

چکیده

خشکی یکی از مهمترین عوامل محدود کننده‌ی رشد و تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان می‌باشد. یکی از راه‌حل‌های نوین جهت کاهش خسارات ناشی از تنش‌های محیطی در کشاورزی پایدار استفاده از نهاده‌های بیولوژیک همچون باکتری‌های مفید در خاک مزارع می‌باشد. به منظور بررسی تاثیر باکتری سودوموناس بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه سیب‌زمینی آزمایشی مزرعه‌ای به صورت اسپیلیت پلات فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شاهرود واقع در منطقه بسطام اجرا شد. تنش کم‌آبیاری به عنوان فاکتور اصلی در سه سطح (دور آبیاری ۷، ۱۰ و ۱۴ روزه) و باکتری سودوموناس (تلقیح و عدم تلقیح) به عنوان فاکتور فرعی اول و رقم (ساوالان و اگریا) به عنوان فاکتور فرعی دوم در نظر گرفته شدند. غده‌ها در زمان کاشت با باکتری سودوموناس فلورسنس (غلظت $۱۰^{۸}$سلول در هر گرم باکتری) تلقیح شدند. بعد از ظهور بوته‌ها آبیاری برای تمام تیمارها بطور یکنواخت صورت گرفت، پس از استقرار بوته‌ها، ۵۸ روز پس از کاشت تیمار تنش کم‌آبیاری اعمال گردید. نتایج نشان داد با افزایش دور آبیاری، قطر غده، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و اقتصادی، پروتئین غده، محتوای کلروفیل و محتوای آب نسبی کاهش یافته، در حالی‌که صفاتی همچون فسفر گیاه و خاک، درصد پتاسیم برگ و محتوای پرولین افزایش یافت. تلقیح غده‌ها با باکتری سودوموناس فلورسنس موجب بهبود عملکرد بیولوژیک، افزایش درصد فسفر گیاه، محتوای کلروفیل **a** و محتوای پرولین گیاه و همچنین سبب افزایش ۲۲/۸۶ درصدی عملکرد نسبت به عدم تلقیح شد. از طرفی تلقیح با باکتری موجب کاهش خسارت غشای پلاسمایی در شرایط تنش گردید. در مجموع بررسی مقایسه میانگین‌ها در این آزمایش نشان داد تلقیح با باکتری می‌تواند برخی خسارات و تغییرات ایجاد شده در خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاه را در شرایط تنش کم‌آبیاری بهبود بخشد.

کلمات کلیدی: سیب‌زمینی، باکتری سودوموناس فلورسنس، تنش خشکی، رقم اگریا و رقم ساوالان

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- بررسی تاثیر باکتری سودوموناس فلورسنس بر عملکرد بیولوژیکی و پایداری غشاء دو رقم سیب‌زمینی در شرایط تنش کم‌آبیاری. دومین همایش ملی فیزیولوژی گیاهی ایران- یزد- دانشگاه یزد، اردیبهشت ماه ۱۳۹۰.

۲- تاثیر باکتری سودوموناس فلورسنس بر میزان فسفر خاک و برخی صفات مورفولوژیک دو رقم سیب‌زمینی در شرایط تنش کم‌آبیاری - دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران- تبریز - دانشگاه تبریز - شهریورماه ۱۳۹۰.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه و کلیات	۱
۱-۱- اهمیت سیب‌زمینی	۳
۱-۱-۱- گیاهشناسی	۴
۱-۱-۲- سازگاری	۵
۱-۱-۳- مراحل رشد و نمو	۷
۱-۱-۴- ارقام	۸
۱-۱-۵- نیاز غذایی	۹
۱-۲- تنش	۱۰
۱-۲-۱- نقش آب در گیاه	۱۱
۱-۲-۲- خشکی	۱۲
۱-۳- کود بیولوژیک	۱۳
۱-۳-۱- باکتری محرک رشد گیاه (PGPR)	۱۵
۱-۳-۲- باکتری‌های حل کننده فسفات (PSB)	۱۶
فصل دوم: بررسی منابع	۱۹
۲-۱- تنش خشکی	۲۰
۲-۱-۱- اثرات تنش خشکی بر گیاهان و پاسخ آن‌ها	۲۰
۲-۱-۲-اثر تنش بر صفات مورفولوژیکی گیاه و عکس العمل‌های رشدی در گیاه	۲۱
۲-۱-۳- اثرتنش بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه	۲۴
۲-۱-۳-۱- تنش خشکی و فتوسنتز	۲۴
۲-۱-۳-۲- تنش خشکی و محتوای آب نسبی	۲۶
۲-۱-۳-۳- تنش خشکی و تنظیم اسمزی	۲۷
۲-۱-۳-۴- تنش خشکی و پرولین	۲۷
۲-۱-۳-۵- تنش خشکی و غشای سلولی	۲۸
۲-۱-۳-۶- تنش خشکی و پروتئین سازی	۳۰
۲-۱-۳-۷- تنش خشکی و اسید آبسیزیک	۳۱
۲-۱-۳-۸- اثر تنش خشکی بر جذب عناصر غذایی	۳۲

۲-۲- کود بیولوژیک ۳۳
۲-۲-۱- باکتری‌های حل کننده فسفات به‌عنوان محرک رشد گیاه ۳۴
۲-۲-۲- نقش میگرو ارگانیسم‌ها در تامین عناصر غذایی ۳۵
۲-۲-۳- نقش میکروارگانیسم‌ها در تحمل به خشکی ۳۶
۲-۲-۳-۱- سازگاری میکروارگانیسم‌ها در سطح سلولی ۳۶
۲-۲-۳-۲- کاهش تنش‌های غیرزنده در گیاهان توسط ریزوسفر و باکتری‌های اندوفیتیک ۳۷

فصل سوم: مواد و روش ها ۴۰
۳-۱- زمان و موقعیت محل اجرای آزمایش ۴۱
۳-۲- خصوصیات خاک محل آزمایش ۴۱
۳-۳- مشخصات طرح آزمایشی ۴۳
۳-۴- عملیات اجرایی ۴۴
۳-۴-۱- آماده سازی زمین ۴۴
۳-۴-۲- تلقیح غده‌ها ۴۴
۳-۴-۳- کاشت، داشت و برداشت ۴۴
۳-۵- نمونه‌برداری ۴۵
۳-۶- صفات فیزیولوژیک ۴۵
۳-۶-۱- محتوای آب نسبی(RWC) ۴۵
۳-۶-۲- محتوای کلروفیل برگ ۴۶
۳-۶-۳- فسفر خاک ۴۷
۳-۶-۴- فسفر گیاه ۴۷
۳-۶-۵- پتاسیم برگ ۴۸
۳-۶-۶- پرولین ۴۸
۳-۶-۷- پایداری و خسارت غشای پلاسمایی ۴۹
۳-۶-۸- پروتئین غده ۵۰
۳-۷- شاخص‌های رشد گیاه ۵۱
۳-۷-۱- شاخص سطح برگ (LAI) ۵۲
۳-۷-۲- سرعت رشد محصول (CGR) ۵۲
۳-۷-۳- سرعت رشد نسبی (RGR) ۵۳
۳-۸- محاسبات آماری طرح ۵۳

فصل چهارم: نتایج و بحث ۵۴
۴-۱- صفات مورفولوژیکی گیاه ۵۵
۴-۱-۱- وزن خشک کل بوته ۵۵
۴-۱-۲- وزن خشک غده ۶۱
۴-۱-۳- وزن خشک برگ ۶۴
۴-۱-۴- وزن خشک ساقه ۶۷
۴-۱-۵- ارتفاع بوته ۶۹
۴-۱-۶- تعداد غده در مترمربع ۷۲
۴-۱-۷- قطر غده ۷۵
۴-۲- صفات فیزیولوژیکی گیاه ۷۷
۴-۲-۱- فسفر خاک و گیاه ۷۷
۴-۲-۲- پتاسیم برگ ۸۰
۴-۲-۳- پروتئین غده ۸۱
۴-۲-۴- محتوای کلروفیل ۸۳
۴-۲-۵- پرولین ۸۶
۴-۲-۶- پایداری و خسارت غشای پلاسمایی ۸۸
۴-۲-۷- محتوای آب نسبی ۹۱
۴-۲-۷-۱-محتوای آب نسبی قبل از آبیاری ۹۱
۴-۲-۷-۲- محتوای آب نسبی بعداز آبیاری ۹۴
۴-۳- شاخص برداشت ۹۶
۴-۴- عملکرد بیولوژیک ۹۷
۴-۵- عملکرد ۹۹
۴-۶- شاخص‌های رشد گیاه ۱۰۱
۴-۶-۱- شاخص سطح برگ ۱۰۱
۴-۶-۲- سرعت رشد محصول ۱۰۳
۴-۶-۳- سرعت رشدنسبی ۱۰۶
۴-۷- نتیجه‌گیری نهایی ۱۰۸
۴-۸- پیشنهادها ۱۰۸
پیوست‌ها ۱۱۰
منابع ۱۱۸

فهرست شکل ها

شکل **صفحه**

۳-۱- نقشه کاشت طرح آزمایشی مورد استفاده در مزرعه ۴۳

۴-۱- روند تغییرات وزن خشک کل تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری ۵۵

۴-۲- روند تغییرات وزن خشک کل تحت تاثیر باکتری سودوموناس ۵۶

۴-۳- روند تغییرات وزن خشک کل تحت تاثیر رقم ۵۷

۴-۴- مقایسه میانگین وزن خشک کل تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و رقم در ۷۲ روز پس از کاشت ۵۸

۴-۵- مقایسه میانگین وزن خشک کل تحت تاثیر باکتری سودوموناس در ۷۲ روز پس از کاشت ۵۹

۴-۶- مقایسه میانگین وزن خشک کل تحت تاثیر باکتری سودوموناس در ۱۱۵ روز پس از کاشت ۶۰

۴-۷- مقایسه میانگین وزن خشک کل تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و رقم در ۱۱۵ روز پس از کاشت ۶۰

۴-۸- مقایسه میانگین وزن خشک غده تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری ۷۲ روز پس از کاشت ۶۲

۴-۹- مقایسه میانگین وزن خشک غده تحت تاثیر باکتری سودوموناس در ۷۲ روز پس از کاشت ۶۲

۴-۱۰- مقایسه میانگین وزن خشک غده تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری در ۱۱۵ روز پس از کاشت ۶۳

۴-۱۱- مقایسه میانگین وزن خشک برگ تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس در ۱۱۵ روز پس از کاشت ۶۵

۴-۱۲- مقایسه میانگین وزن خشک برگ تحت تاثیر ترکیب تیماری باکتری سودوموناس و رقم در ۱۱۵ روز پس از کاشت ۶۶

۴-۱۳- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و رقم در ۷۲ روز پس از کاشت ۶۷

۴-۱۴- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس در ۱۱۵ روز پس از کاشت ۶۸

۴-۱۵- مقایسه میانگین ارتفاع بوته تحت تاثیر باکتری سودوموناس در ۷۲ روز پس از کاشت ۷۰

۴-۱۶- مقایسه میانگین ارتفاع بوته تحت تاثیر رقم در ۷۲ روز پس از کاشت ۷۰

۴-۱۷- مقایسه میانگین ارتفاع بوته تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و رقم در ۱۱۵ روز پس از کاشت ۷۱

۴-۱۸- مقایسه میانگین تعداد غده در متر مربع تحت تاثیر باکتری سودوموناس در ۷۲ روز پس از کاشت ۷۲

۴-۱۹- مقایسه میانگین تعداد غده در مترمربع تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و رقم در ۷۲ روز پس از کاشت ۷۳
۴-۲۰- مقایسه میانگین تعداد غده در متر مربع تحت تاثیر باکتری سودوموناس در ۱۱۵ روز پس از کاشت ۷۴
۴-۲۱- مقایسه میانگین تعداد غده در مترمربع تحت تاثیر اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و رقم در ۱۱۵ روز پس از کاشت ۷۴
۴-۲۲- مقایسه میانگین درصد غده‌های (۵۵-۳۵) میلی‌متری تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری ۷۶
۴-۲۳- مقایسه میانگین درصد غده‌های (۵۵-۳۵) میلی‌متری تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری و رقم ۷۶
۴-۲۴- مقایسه میانگین غلظت فسفر خاک تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس ۷۷
۴-۲۵- مقایسه میانگین درصد فسفر گیاه تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری ۷۸
۴-۲۶- مقایسه میانگین درصد فسفر گیاه تحت تاثیر باکتری سودوموناس ۷۸
۴-۲۷- مقایسه میانگین درصد فسفرگیاه تحت تاثیر رقم ۷۹
۴-۲۸- مقایسه میانگین درصد پتاسیم برگ تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری ۸۰
۴-۲۹- مقایسه میانگین درصد پروتئین غده تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس ۸۲
۴-۳۰- مقایسه میانگین محتوای کلروفیل a تحت تاثیر باکتری سودوموناس ۸۳
۴-۳۱- مقایسه میانگین محتوای کلروفیل b تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری ۸۴
۴-۳۲- مقایسه میانگین محتوای کلروفیل کل تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری ۸۴
۴-۳۳- مقایسه میانگین محتوای کلروفیل b تحت تاثیر رقم ۸۵
۴-۳۴- مقایسه میانگین محتوای کلروفیل کل تحت تاثیر رقم ۸۵
۴-۳۵- مقایسه میانگین محتوای پرولین برگ تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس ۸۷
۴-۳۶- مقایسه میانگین پایداری غشای پلاسمایی تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس ۸۹
۴-۳۷- مقایسه میانگین خسارت غشای پلاسمایی تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری ۹۰
۴-۳۸- مقایسه میانگین خسارت غشای پلاسمایی تحت تاثیر باکتری سودوموناس ۹۰
۴-۳۹- مقایسه میانگین خسارت غشای پلاسمایی تحت تاثیر رقم ۹۱
۴-۴۰- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس قبل از آبیاری ۹۲

۴-۴۱- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ تحت تاثیر ترکیب تیماری باکتری سودوموناس و رقم قبل از آبیاری ۹۳
۴-۴۲- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس بعد از آبیاری ۹۴
۴-۴۳- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و رقم بعد از آبیاری ۹۵
۴-۴۴- مقایسه میانگین شاخص برداشت تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری ۹۶
۴-۴۵- مقایسه میانگین شاخص برداشت تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری و رقم ۹۷
۴-۴۶- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس ۹۸
۴-۴۷- مقایسه میانگین عملکرد تحت تاثیر باکتری سودوموناس ۱۰۰
۴-۴۸- مقایسه میانگین عملکرد تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری و رقم ۱۰۰
۴-۴۹- روند تغییرات شاخص سطح برگ تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری ۱۰۲
۴-۵۰- روند تغییرات شاخص سطح برگ تحت تاثیر باکتری سودوموناس ۱۰۲
۴-۵۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ تحت تاثیر رقم ۱۰۲
۴-۵۲- روند تغییرات سرعت رشد محصول تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری ۱۰۴
۴-۵۳- روند تغییرات سرعت رشد محصول تحت تاثیر باکتری سودوموناس ۱۰۵
۴-۵۴- روند تغییرات سرعت رشد محصول تحت تاثیر رقم ۱۰۵
۴-۵۵- روند تغییرات سرعت رشد نسبی تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری ۱۰۶
۴-۵۶- روند تغییرات سرعت رشد نسبی تحت تاثیر باکتری سودوموناس ۱۰۶
۴-۵۷- روند تغییرات سرعت رشد نسبی تحت تاثیر رقم ۱۰۷

فهرست جداول

جدول **صفحه**

۱-۱- بررسی برخی خصوصیات دو رقم اگریا و ساوالان ۹
۱-۲- مکانیسم‌های کاهش دهنده تنش توسط باکتری‌های محرک رشد در گیاهان مختلف ۳۷
۱-۳- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش ۴۲

فهرست پیوست‌ها

پیوست ۴-۱ میانگین مربعات وزن خشک کل تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس فلورسنس و رقم در نمونه برداری‌های مختلف ۱۱۱

پیوست ۴-۲- میانگین مربعات وزن خشک غده تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم در نمونه برداری‌های مختلف ۱۱۱
پیوست ۴-۳- میانگین مربعات وزن خشک برگ تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم در نمونه برداری‌های مختلف ۱۱۲
پیوست ۴-۴- مقایسه میانگین وزن خشک برگ تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم ۱۱۲
پیوست ۴-۵- میانگین مربعات وزن خشک ساقه تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم در نمونه برداری‌های مختلف ۱۱۳
پیوست ۴-۶- میانگین مربعات ارتفاع بوته تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم در نمونه برداری‌های مختلف ۱۱۳
پیوست ۴-۷- میانگین مربعات تعداد غده در مترمربع تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم در نمونه برداری‌های مختلف ۱۱۴
پیوست ۴-۸- میانگین مربعات قطر غده، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و عملکرد نهایی تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس فلورسنس و رقم ۱۱۴
پیوست ۴-۹- مقایسه میانگین مربعات قطر غده، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و عملکرد نهایی تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس فلورسنس و رقم ۱۱۵
پیوست ۴-۱۰- میانگین مربعات فسفر خاک، فسفر گیاه و پتاسیم برگ تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم ۱۱۵
پیوست ۴-۱۱- مقایسه میانگین پروتئین غده تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم ۱۱۶
پیوست ۴-۱۲- میانگین مربعات رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس فلورسنس و رقم ۱۱۶
پیوست ۴-۱۳- میانگین مربعات پرولین، پایداری و خسارت غشای پلاسمایی و محتوای آب نسبی گیاه تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم ۱۱۷
پیوست ۴-۱۴- مقایسه میانگین پرولین تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس ۱۱۷

فصل اول

مقدمه و کلیات

بر خلاف جانوران، گیاهان به علت حضور ثابت در یک مکان ناچار به تحمل تنش‌های محیطی نظیر خشکی، شوری، گرما، سرما و . . . هستند و از سوی دیگر تنش‌های محیطی از مهم‌ترین عوامل تعیین کننده الگوی پراکنش گیاهان در سطح جهان می‌باشند و تنش خشکی نیز به سهم خود تعیین کننده بخشی از این پراکنش می‌باشد (احمدزاده، ۱۳۷۶).

با توجه به محدودیت‌های شدید آبی در اکثر مناطق ایران، در کشور ما تنش خشکی به عنوان مهم‌ترین تنش تاثیر گذار بر گیاهان زراعی معرفی شده است. دانشمندان با تحقیقات زیادی بر روی انواع گیاهان توانسته‌اند برخی از اثرات خشکی بر روی گیاهان را شناسایی کنند و به دنبال انواع ساز و کارهای تحمل در گیاهان بوده‌اند تا شاید بتوانند با شناخت آن‌ها و چگونگی اثرشان گامی در جهت حفظ عملکرد گیاهان زراعی در شرایط تنش بردارند. فرآیندهای درون سلولی از جمله : نفوذپذیری در غشاء، وضعیت آب سلول، میزان اسمولیت‌ها، وضعیت پروتئین‌ها، فعالیت هورمون‌های گیاهی، جریان‌های یونی، انتقال و

فتوسنتز و در نهایت رشد و عملکرد همگی تحت تاثیر تنش قرار می‌گیرند. به‌طور کلی توانایی گیاهان برای پاسخ به تنش و بقا در شرایط کمبود آب به گونه و رقم گیاهی، طول و مدت تنش خشکی، سن و مرحله نموی گیاه، نوع سلول و اندام‌های گیاهی و اجزای زیر سلولی و به ساختار آن بستگی دارد.

۱-۱- اهمیت سیب‌زمینی

سیب‌زمینی از نظر تولید ماده خشک و قرار گرفتن در جیره غذایی، دارای اهمیت زیادی است. این محصول از نظر میزان تولید در دنیا پس از گندم، برنج و ذرت در مقام چهارم قرار دارد (خواجه‌پور، ۲۰۰۵). ایران سومین تولید کننده سیب‌زمینی در آسیا است که میزان تولید آن در سال ۲۰۰۹ حدود ۴ میلیون و ۱۰۷ هزار و ۶۲۶ تن بوده است (فائو، ۲۰۰۹).

سیب‌زمینی از محصولات غده‌ای است که نقش مهمی در تغذیه مردم جهان دارد و به دلیل عملکرد بسیار بالا در واحد سطح، انرژی و مقدار پروتئین تولیدی در واحد سطح بیش از گندم و برنج می‌باشد (خواجه‌پور، ۱۳۸۳).

سیب‌زمینی در ارتفاعات۱۲۰۰ تا ۱۸۰۰ متری کوه‌های آند در منطقه پرو و بولیوی اهلی گشته است. سابقه کشت سیب‌زمینی در این منطقه به حدود ۷۰۰۰ سال پیش می‌رسد. سیب‌زمینی از ارتفاعات آند به سایر نقاط قاره آمریکا راه یافت و در نیمه دوم قرن شانزدهم توسط کاشفان قاره جدید به اروپا و از آنجا به آسیا و سایر نقاط جهان برده شد (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۴). امروزه و پس از گذشت حدود چهار قرن، سیب‌زمینی از نظر مقدار تولید چهارمین محصول جهان پس از گندم، برنج و ذرت می‌باشد و تقریباً در تمام نقاط جهان کشت می‌شود (خواجه پور، ۱۳۸۳).

تحقیقات نشان می‌دهد سیب‌زمینی برای رشد مناسب و عملکرد بهینه، نیاز به آبیاری مکرر دارد (یوان و همکاران، ۲۰۰۳؛ کزیلیگلو و همکاران، ۲۰۰۶). بریمنر و طاها (۱۹۹۶) مراحل رشد سیب‌زمینی را به چهار

مرحله نمو اولیه گیاه از کاشت تا غده بندی، تشکیل غده، حجیم شدن غده و رسیدگی تقسیم نمودند. به‌علت وجود آب مورد نیاز در غده برای سبز شدن در اوایل دوره رشد، نیاز آبی سیب زمینی در این دوره زیاد نیست، ولی به علت سیستم ریشه‌ای سطحی، برای تولید حداکثر محصول نیاز به وجود آب کافی در سطح خاک می‌باشد. تمام مراحل رشد سیب زمینی به ویژه تشکیل غده آن به کمبود آب خیلی حساس است (شوک، ۲۰۰۴). با وجود این به نظر می‌رسد مرحله اولیه رشد به تنش آبی حساسیت نداشته باشند. به علاوه، مراحل تولید استولون[1] و غده‌بندی[2] نسبت به پرشدن[3] و طویل شدن[4] به تنش آبی خیلی حساس است (حسن و همکاران، ۲۰۰۲).

۱-۱-۱- گیاهشناسی

سیب‌زمینی گیاهی یک‌ساله با نام علمی سوالانوم توبرسوم (*Solanum tuberosum* L.) از تیره (Solanaceae) و آتوتتراپلوئید با ۴۸ کروموزوم می‌باشد (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۴). گیاه به صورت علفی با یک یا چند ساقه اصلی و معمولاً به فرم ایستاده رشد می‌کند. ارتفاع بوته به ۶۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر می‌رسد. طول دوره رشد گیاه به رقم و شرایط تولید بستگی زیادی داشته و از ۳ تا ۶ ماه متغیر است و جهت بهره‌برداری از غده‌های زیر زمینی آن کشت می‌شود.

در زراعت از غده‌های سیب‌زمینی برای تکثیر آن استفاده می‌شود. غده سیب‌زمینی از تجمع مواد غذایی در ناحیه انتهایی ساقه زیر زمینی و رشد این ناحیه بوجود می‌آید. بنابراین، غده سیب‌زمینی یک ساقه تغییر شکل یافته با میانگره‌های کوتاه و متورم است. گره‌های ساقه در روی غده با فیلوتاکسی مارپیچ

1. Stolonization
2. Tuberization
3. Bulking
4. Tuber enlargement

به صورت مکان‌های فرو رفته به نام چشم دیده می‌شود. فاصله میانگره‌ها از راس غده به طرف قاعده غده به تدریج زیادتر می‌شود. بنابراین، تراکم چشم‌ها در ناحیه راسی زیادتر است. هر چشم در کنار یک برگ رشد نیافته به صورت اثر برگ یا ابرو قرار دارد (خواجه پور،۱۳۸۳).

برگ سیب‌زمینی کمی کرکدار بوده و به صورت متناوب و مرکب و هر برگ دارای ۹ یا بیشتر برگچه می‌باشد. کرک‌هایی که در سطح برگ وجود دارند حاوی مقداری سولانین بوده که این سم می‌تواند یک سیستم دفاعی بخصوص در مقابل شته باشد. دو نوع ساقه در سیب‌زمینی وجود دارد. یکی ساقه هوایی و دیگری ساقه زیر زمینی می‌باشد. ساقه هوایی می‌تواند به صورت خوابیده روی زمین یا به صورت کاملاً ایستاده باشد. ساقه زیر زمینی به صورت رونده و افقی در سطح زیرین خاک رشد می‌کند که می‌تواند به صورت جانبی از ساقه عمودی نیز منشا بگیرد (رستگار، ۱۳۸۵).

ساقه زیرزمینی با ذخیره نمودن مقدار زیادی نشاسته به صورت غده درآمده است. گل‌های سیب‌زمینی منظم، دارای رنگ سفید مایل به قرمز ارغوانی است که به صورت گل آذین پنج تایی می‌باشد. لقاح به صورت خودگشن انجام و میوه‌ای غیرخوراکی و دارای سولانین به قطر دو سانتی‌متر تولید می‌نماید (رستگار، ۱۳۸۵).

۱-۱-۲- سازگاری

سیب زمینی در اکثر نواحی جهان و در محدوده عرض جغرافیایی ۶۵ درجه شمالی تا ۴۵ درجه جنوبی و از سطح دریا تا ارتفاع بیش از ۳۵۰۰ متر از سطح دریا (بسته به عرض جغرافیایی) مورد کشت قرار می‌گیرد. سیب‌زمینی گیاهی سرما دوست و حساس به گرما است که رشد خوبی در دمای شبانه روز حدود ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد دارد. شروع رشد جوانه در دمای ۷ تا ۹ درجه سانتی‌گراد به کندی آغاز می‌شود، در دمای ۱۸ درجه سانتی‌گراد دارای رشد حداکثر است و در دمای ۶ درجه سانتی‌گراد متوقف

می‌شود. دمای مناسب برای غده‌دهی ۱۶ تا ۱۹ درجه سانتی‌گراد است. شب‌های خنک برای تجمع کربوهیدارت‌ها مطلوب می‌باشد. سیب‌زمینی به یخبندان حساس می‌باشد. اندام‌های رویشی از دمای ۲- درجه سانتی‌گراد یا کمتر آسیب می‌بینند. سرمازدگی غدد ممکن است به دلیل کشت دیرهنگام و یا تاخیر در برداشت در نواحی سرد اتفاق افتد (خواجه پور، ۱۳۸۳).

سیب‌زمینی از نظر گلدهی روز بلند و از نظر غده‌بندی، گیاهی روز کوتاه به شمار می‌رود. شدت نور زیاد برای غده‌دهی زود هنگام مناسب است و موجب افزایش عملکرد و درصد ماده خشک غده می‌شود. اما شدت نور خیلی زیاد می‌تواند موجب تنش رطوبتی، زودرسی و کاهش عملکرد گردد. سیب زمینی به بافت خاک، وجود سنگ ریزه و کلوخه در خاک حساس است. بافت‌های شن لومی و لوم شنی با ماده آلی ۲ تا ۵ درصد برای سیب‌زمینی ایده‌آل محسوب می‌شوند، زیرا این خاک‌ها فاقد مشکلات آب ایستادگی بوده و توسعه بیماری‌ها در این گونه خاک‌ها کمتر است. خاک باید عمیق و تا عمق حداقل ۹۰ سانتی‌متری فاقد لایه غیرقابل نفوذ بوده و تا عمق ۳۵ سانتی‌متری به خوبی نفوذپذیر باشد (خواجه پور، ۱۳۸۳).

سیب‌زمینی حساسیت زیادی به pH خاک ندارد و در محدوده pH حدود ۶ تا ۷/۵ به خوبی رشد می‌کند. سیب‌زمینی از گیاهان حساس به شوری خاک محسوب می‌شود. در خاک‌های شور، رنگ برگ‌ها تیره شده و حاشیه آن‌ها می‌سوزد. سیب‌زمینی به تنش رطوبتی، به خصوص از مرحله شروع غده‌بندی تا شروع زرد شدن برگ‌ها حساس می‌باشد. بیشترین حساسیت به تنش رطوبتی در اواسط دوران رشد غده و حدود ۳ تا ۶ هفته پس از شروع غده‌بندی مشاهده می‌گردد (خواجه پور، ۱۳۸۳).

کمبود آب می‌تواند به طور مستقیم و غیرمستقیم بر میزان آسیمیلاسیون خالص اثر بگذارد. اثر غیر مستقیم، از طریق تسریع پیری برگ صورت می‌گیرد. در ضمن، پیر شدن زود هنگام برگ دوره رشد را کوتاه می‌کند. بنابراین، یک دوره خشکی می‌تواند مجموع نور دریافت شده توسط گیاه و راندمان استفاده از این نور برای تولید ماده خشک را کاهش دهد. کمبود آب نه تنها عملکرد غده، بلکه کیفیت آن را نیز

کاهش می‌دهد. به‌طورکلی برای رسیدن به حد مطلوب عملکرد در گیاه سیب‌زمینی، رطوبت خاک باید به‌طور یکنواخت بین ۶۰ تا ۷۰ درصد ظرفیت زراعی تأمین گردد. تأمین نامنظم آب به رشد نامنظم غده منتهی خواهد شد، که ممکن است موجب تشکیل غده‌های بد شکل و ایجاد ترک بر روی غده‌ها گردد. تأمین آب بر مقدار ماده خشک غده نیز اثر می‌گذارد. میزان آبی که برای رشد مطلوب گیاه لازم است تا حدودی موجب کاهش درصد ماده خشک غده می‌شود، به ویژه اگر مقدار زیادی آب در اواخر این دوره داده شود. اما مقدار ماده خشک غده توسط عوامل متعددی کنترل می‌شود که با یکدیگر اثر متقابل دارند، به گونه‌ای که پیش بینی اثر یک عامل به تنهایی مشکل است (کینگ و همکاران، ۲۰۰۴).

۱-۱-۳- مراحل رشد و نمو

تقسیم بندی نمو سیب زمینی برای مقاصد زراعی ارتباطی به گلدهی و رسیدگی میوه و دانه ندارد، بلکه بر مبنای تشکیل و رشد غده انجام شده است. نمو سیب زمینی شامل مراحل زیر است:

کاشت تا سبز شدن : طی این دوره جوانه رشد کرده و اولین برگ به طور کامل از خاک خارج می‌شود. طول این دوره به میزان خواب جوانه‌های موجود روی غده، دما و رطوبت خاک، عمق و روش کاشت، بافت و ساختمان خاک بستگی داشته و غالباً ۳ تا ۴ هفته می‌باشد (خواجه پور، ۱۳۸۳).

رشد رویشی : این دوره از سبز شدن آغاز شده و با شروع غده‌بندی به اتمام می‌رسد. طی این مدت که به حدود ۳ تا ۵ هفته می‌رسد، برگ‌ها و ساقه‌ها در هوا و ریشه‌ها و استولن‌ها در زیر خاک رشد می‌کنند (خواجه پور، ۱۳۸۳).

آغاز غده‌بندی : در این زمان اولین غده به اندازه یک نخود در راس یک استولن مشاهده می‌شود. زمان شروع غده‌بندی تحت تاثیر میزان انتقال مواد غذایی به سمت ریشه قرار دارد. اما معمولاً هنگامی که ارتفاع بوته به ۱۵ تا ۲۰ سانتی متر می‌رسد، شروع می‌شود. در بعضی ارقام و شرایط، این مرحله با اوایل

باز شدن گل‌ها همراه است. دوران غده‌بندی، که طی آن غدد قابل برداشت تشکیل می‌گردند، در شرایط مساعد زراعی حدود دو هفته به طول می‌انجامد (خواجه پور، ۱۳۸۳). شاخص سطح برگ در این مرحله بین ۱ تا ۳ می‌باشد (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۴).

رشد غده : گیاه در این مرحله در حداکثر رشد رویشی می‌باشد، پوشش زمین کامل است و غدد در حال رشد سریع می‌باشد. دوره رشد غده ۶۰ تا ۹۰ روز به طول می‌انجامد. رشد ساقه با ایجاد انشعاباتی ادامه می‌یابد و گلدهی بر روی ساقه‌های اصلی و انشعابات ظاهر می‌شود (خواجه پور، ۱۳۸۳). شاخص سطح برگ در این مرحله به حداکثر خود یعنی ۳/۵ تا ۶ می‌رسد و سپس با ریزش برگ‌های مسن تر تا نزدیک به ۱ کاهش می‌یابد (کوچکی و همکارن، ۱۳۷۴).

رسیدگی : در این مرحله بخش هوایی گیاه پیر به نظر می‌رسد و برگ‌ها شروع به زرد شدن می‌کنند. پوست چوب پنبه‌ای غدد در حال تشکیل و ضخیم شدن است. در این زمان درصد ماده خشک غده به حد مطلوب منطبق با شرایط تولید، رقم و هدف تولید (۱۷ تا ۲۳ درصد) رسیده و پوست چوب پنبه‌ای در اثر مالش با دست جدا نمی‌شود (خواجه پور، ۱۳۸۳). ارقام زودرس ظرف ۹۰ تا ۱۰۰ روز بعد از کاشت به مرحله رسیدگی می‌رسند، درحالی‌که ارقام دیررس ۱۵۰ روز یا بیشتر نیاز دارند (کوچکی و همکاران،۱۳۷۴).

۱-۱-۴- ارقام

ارقام سیب‌زمینی را می‌توان بر اساس خصوصیات گیاه‌شناسی، موارد استفاده و طول دوره رسیدگی گروه‌بندی نمود. ارقام مختلف سیب‌زمینی از نظر گستردگی شاخ و برگ، رنگ گل، رنگ و شکل برگ، وجود و میزان کرک روی برگ و ساقه، شکل غده، رنگ و بافت پوست چوب پنبه‌ای، مغز بافت و . . . با یکدیگر متفاوتند. از لحاظ طول دوره رشد (کاشت تا رسیدگی)، ارقام به گروه‌های زودرس، میان‌رس و

دیررس تقسیم می‌شوند. طول دوره رشد در ارقام زودرس ۹۰ تا ۱۲۰ روز، در ارقام میان‌رس ۱۲۰ تا ۱۵۰ روز و در ارقام دیررس ۱۵۰ تا۱۸۰ روز می‌باشد. واضح است که این محدوده‌های زمانی مطلق نیستند و نیز طول دوره رشد با کاهش دما افزایش می‌یابد. انتخاب رقم مناسب برای هر ناحیه باید با توجه به بازارپسندی، موارد استفاده غده، بیماری‌های شایع، طول فصل رشد موثر موجود و زمان مناسب ارائه محصول به بازار (با توجه به قیمت و عملکرد محصول) انجام گیرد (خواجه‌پور، ۱۳۸۳). رقم ساوالان به دلیل بالا بودن درصد ماده خشک و اندازه و فرم مناسب غده و پایین بودن قندهای احیایی برای مصارف صنعتی است. همچنین مقاوم به امراض به‌خصوص بیماری فیتوفترا است. رقم اگریا رقمی است میان‌رس، شکل غده بیضی شکل، رنگ پوست غده زرد و رنگ گوشت زرد، گستردگی بوته بسیار خوب بوده و مناسب صنایع چیپس سازی است مصرف تازه آن بسیار مطلوب بوده و عملکرد آن بالاو ماده خشک آن حدود ۲۲/۵٪ و خاصیت انبار داری خوب می باشد.

جدول ۱-۱- بررسی برخی خصوصیات دو رقم اگریا و ساوالان

رقم	گروه‌رسیدگی	شکل غده	رنگ مغز	مقدار ماده‌خشک
اگریا	میان‌رس	بیضی‌کشیده	زرد	زیاد
ساوالان	میان‌رس	گرد تا بیضی	زرد مایل به سفید	زیاد

۱-۱-۵- نیاز غذایی

نیاز سیب زمینی به عناصر غذایی زیاد است. مقدار عناصر غذایی خاک بر میزان رشد رویشی، زمان غده‌بندی، زمان رسیدگی، اندازه و وزن مخصوص غده، توسعه بافت چوب پنبه‌ای و آسیب پذیری غدد از ضربات مکانیکی تاثیر می‌گذارد. کمبود نیتروژن سبب کاهش عملکرد، گسترش بیماری‌ها و پیری زودرس گیاه می‌شود. از سوی دیگر زیادی نیتروژن خاک سبب تحریک رشد رویشی، تاخیر در غده‌بندی و

رسیدگی، کاهش وزن مخصوص غده، افزایش درصد غدد درشت، ایجاد حفره‌های مغزی و قندهای احیاکننده می‌گردد. زیادی نیتروژن خاک می‌تواند موجب افزایش نیترات غدد گردد و از این لحاظ بسیار نامطلوب می‌باشد.

نیاز سیب‌زمینی به پتاسیم از بسیاری از محصولات دیگر بیشتر است. فراوانی پتاسیم خاک موجب کاهش وزن مخصوص سیب زمینی و توسعه پوست چوب پنبه‌ای می‌شود. این دو صفت موجب کاهش خسارات مکانیکی در جریان برداشت و انبارسازی می‌گردد. فراوانی پتاسیم خاک برای کاهش قندهای احیاکننده و در نتیجه افزایش کیفیت انبارداری و سرخ کردن مطلوب می‌باشد.

فسفر در مراحل اولیه رشد گیاه و سپس در غده‌سازی ضروری است. فراوانی فسفر خاک موجب افزایش تعداد غده در بوته می گردد. از طرفی کمبود فسفر در اوایل فصل رشد، سبب تأخیر رشد قسمت‌های انتهایی شده و غده‌ها کوچک، دوکی شکل و قدری سفت می‌شوند. همچنین ممکن است فسفر میزان آلودگی ویروسی را کاهش دهد. میزان مصرف فسفر اغلب ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار است ولی در خاکهایی که تثبیت فسفر بیشتر است، به مقدار بیشتری فسفر نیاز است.

۱-۲- تنش

به طور کلی، تنش به معنای فشار شدید اثرات منفی برخی نیروهاست که منجر به توقف عملکرد نظام‌های طبیعی می‌شود. به عبارتی، تنش به عنوان کاهش رشد کمی یا کیفی یک گیاه خاص تعریف می‌شود که در اثر تغییرات خارج از حد مطلوب عوامل محیطی ایجاد می‌شود (کافی و دامغانی، ۱۳۸۱؛ لویت، ۱۹۸۰). در محیط‌های طبیعی عوامل زنده (حشرات، باکتری‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌ها) و عوامل غیرزنده (نور، درجه حرارت، فراهمی آب، مواد غذایی و ساختمان خاک) رشد گیاهان عالی را تحت تأثیر

خود قرار می‌دهند. از میان این عوامل، تنش خشکی و کم آبی مهم‌ترین عوامل غیر زنده است که محدود کننده رشد و تولید گیاهان در جهان به شمار می‌رود (فلیکس و همکاران، ۲۰۰۴).

۱-۲-۱- نقش آب در گیاه

در بین تمامی منابع لازم برای رشد و فعالیت گیاه، آب به عنوان فراوان‌ترین و در عین حال محدودترین منبع برای کشاورزی محسوب می‌شود. آب فراوان ترین جزء تشکیل دهنده سلول‌های زنده گیاه است. آب برخلاف برخی دیگر از مواد درون سلول گیاهی، یک جزء موقت محسوب می‌شود، زیرا گیاه به طور دائم آب را جذب کرده و از دست می‌دهد. تقریباً ۹۵ درصد آب از طریق تعرق از گیاه خارج می‌گردد و تنها کمتر از ۵ درصد آب در معادلات مختلف گیاهی شرکت می‌کنند (کافی و همکاران، ۱۳۸۸).

آب به دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاص خود، نظیر وجود پیوندهای هیدروژنی، گرمای نهان ذوب، ظرفیت گرمایی ویژه، گرمای نهان تبخیر، ویسکوزیته و نیروهای کششی بین مولکول‌های خود و دیواره سطح تماس، توانسته نقش اساسی در گیاه داشته باشد. آب در اساسی‌ترین واکنش حیات، یعنی فتوسنتز، به عنوان ماده تامین کننده الکترون و هیدروژن و اکسیژن نقش دارد. آب در حفظ اسکلت گیاهی و به عنوان بهترین حلال جهت انجام بسیاری از واکنش‌های بیوشیمیایی مطرح است. آب تاثیر بسزایی بر ساختمان مولکول‌ها و خصوصیات پروتئین‌ها، غشاها و اسیدهای نوکلئیک داشته و در خنک شدن گیاه و پراکنش انرژی و کمک به تداوم حیات گیاه نقش اساسی دارد. علاوه بر موارد ذکر شده می‌توان نقش‌های جزئی‌تر بیشماری را برای آب در کره حیات مطرح کرد (تایز و زایگر، ۲۰۰۶؛ کافی و دامغانی، ۱۳۸۱؛ علیزاده، ۱۳۸۲ و سلطانی، ۱۳۸۶).

۱-۲-۲- خشکی

خشکی به عنوان یک عامل تنش‌زای محیطی دارای تعاریف متعددی است. از نظر یک هواشناس، خشکی به عنوان یک دوره طولانی بدون بارندگی قابل توجه تلقی می‌شود (جلیل و همکاران، ۲۰۰۷b). خشکسالی از نظر اجتماعی- اقتصادی نتیجه بحران آب و کاهش تولیدات کشاورزی است که اثرات منفی بر کل اقتصاد جامعه می‌گذارد (آسیائی، ۱۳۸۵). از دیدگاه زراعی، خشکی عبارت از یک دوره‌ای همراه با کاهش رطوبت خاک و عملکرد محصول است (میشرا و سینگ، ۲۰۱۰) و یا کاهش عملکرد محصول در مقایسه با شرایط فراهمی آب تعریف می‌شود (ترنر، ۱۹۸۰). یکی دیگر از تعاریف رایج خشکی در کشاورزی توسط ماس و هوفمن (۱۹۷۷) ارائه شده است: به نظر آن‌ها تنش خشکی هنگامی افزایش می‌یابد که تقاضای بالای تبخیر اتمسفری برگ‌ها (تبخیر- تعرق بالقوه) از ظرفیت و توانایی ریشه‌ها برای استخراج آب از خاک (تبخیر- تعرق حقیقی) فراتر می‌رود.

از نظر یک فیزیولوژیست گیاهی، خشکی چیزی فراتر از فقدان بارندگی است و از این منظر پاسخ گیاه به تنش در نظر گرفته می‌شود، یعنی زمانی خشکی ظهور کرده که اندام‌های مختلف گیاه تحت تاثیر قرار گرفته باشند. دماهای بالا، بادهای گرم، رطوبت نسبی پایین، زمان وقوع بارش و خصوصیات بارش (توزیع روزهای بارش در طی فصل رشد محصول، شدت بارش، مدت بارش و زمان شروع و پایان بارش) همگی در وقوع خشکی نقش اساسی دارند. عوامل دیگری مانند تغییرات اقلیم و آلودگی آب‌های زیر زمینی نیز در کمبود آب نقش دارند. خشکی اثر وخیمی روی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دارد و می‌تواند منجر به کاهش موجودی آب، کاهش کیفیت آب، ناتوانی در تولید محصول و کاهش عملکرد شود (میشرا و سینگ، ۲۰۱۰).

عموماً تنش خشکی زمانی رخ می‌دهد که آب موجود در خاک به علت شرایط جوی و یا از طریق تبخیر و تعرق از دست رفته باشد (اوبر و شارپ، ۲۰۰۳). تنش خشکی منجر به بسته شدن روزنه‌ها و

کاهش تبادلات گازی می‌شود. همچنین موجب اختلال در متابولیسم، ساختار سلول‌ها و در نهایت موجب توقف واکنش‌های کاتالیزوری آنزیم‌ها شود (اسمیرنوف، ۱۹۹۳ و جلیل و همکاران، ۲۰۰۷d).

بررسی‌ها نشان داده است که همراه تنش خشکی، دست کم هفت تنش ثانویه دیگر ایجاد می‌شود (کافی و دامغانی، ۱۳۸۱):

۱- کاهش رطوبت قابل دسترس خاک در محیط ریشه.

۲- افزایش تبخیر و تعرق نسبت به جذب آب.

۳- افزایش تنفس سلولی و خسارت به فرآیندهای متابولیکی و ساختمانی سلول، کاهش رشد برگ‌ها و فتوسنتز.

۴- بازدارندگی نوری، اکسیداسیون نوری و سرانجام مرگ برگ‌ها.

۵- افزایش سختی خاک ناشی از خشک شدن و تاثیر بر رشد ریشه.

۶- غیرقابل دسترس شدن مواد غذایی در محیط ریشه.

۷- تجمع نمک‌ها در لایه‌های بالایی خاک و اطراف ریشه‌ها و مسمومیت عناصر معدنی.

۱-۳- کود بیولوژیک

استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید در عملیات کشاورزی از ۶۰ سال پیش تاکنون آغاز شده است. افزایش این جمعیت‌های مفید می‌تواند مقاومت گیاه به سمیت عناصر سنگین و تنش‌های مختلف محیطی مانند کمبود آب و عناصر غذایی را افزایش دهد (وو و همکاران، ۲۰۰۵). کودهای زیستی به طور معمول به عنوان مایه تلقیح میکروبی معرفی می‌شوند که توانایی متحرک سازی عناصر غذایی خاک را برای گیاه زراعی از حالت غیرقابل دسترس به دسترس از طریق فرآیندهای بیولوژیکی دارند، بیان می‌شوند. اصطلاح کودهای زیستی یا بیولوژیک منحصراً به مواد آلی حاصل از کودهای دامی، بقایای گیاهی، کود سبز و . . .

اطلاق نمی‌گردد، بلکه ریز جانداران باکتریایی و قارچی به ویژه باکتری‌های محرک رشد گیاه یا اصطلاحاً (PGPR)[1] و مواد حاصل از فعالیت آن‌ها از جمله مهم‌ترین کودهای زیستی محسوب می‌گردند. نتایج تحقیقات نشان داده است که مکانیسم‌های زیادی مسئول افزایش رشد و عملکرد در گیاهان می‌باشند. علاوه بر افزایش جذب عناصر غذایی، سنتز بیولوژیک هورمون‌های گیاهی به وسیله ریزجانداران، کنترل پاتوژن‌های گیاهی، توان تولید ACC[2] دآمیناز، قدرت حل کنندگی فسفات و تولید سیدرفور از جمله این مکانیسم‌ها می‌باشند. هدف از عملیات کشاورزی ارگانیک افزایش تنوع زیستی، ایجاد چرخه‌های بیولوژیک و فعالیت بیولوژیک خاک در سیستم‌های زراعی به شکلی است که همانند اکوسیستم‌های طبیعی از نظر اجتماعی، اکولوژیکی و اقتصادی پایدار باشد (سامان و همکاران، ۲۰۰۸).

در نظام‌های کشاورزی پایدار کاربرد کودهای زیستی از اهمیت ویژه‌ای در افزایش تولید محصول و حفظ حاصلخیزی پایدار خاک برخوردار است. این گروه از میکروارگانیسم‌ها علاوه بر افزایش فراهمی زیستی عناصر معدنی خاک از طریق تثبیت زیستی نیتروژن، انحلال فسفر و پتاسیم و مهار عوامل بیماری‌زا، با تولید هورمون‌های تنظیم کننده‌ی رشد گیاه عملکرد گیاهان زراعی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. کاربرد کودهای زیستی به‌ویژه باکتری‌های محرک رشد گیاه مهم‌ترین راهبرد در مدیریت تلفیقی تغذیه گیاهی برای سیستم کشاورزی پایدار است. در این سیستم تلفیق کودهای شیمیایی و کاربرد باکتری‌های مذکور صورت می‌گیرد. باکتری‌های جنس سودوموناس، آزوسپیریلیوم و ازتوباکتر از مهم‌ترین باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌باشد که با تثبیت زیستی نیتروژن و انحلال فسفر خاک با تولید مقادیر قابل ملاحظه هورمون‌های محرک رشد رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

1. Plant Growth Promoting Rhizobacteria

2. 1-Amino Cyclopropane-1- Carboxylate deaminase

۱-۳-۱- باکتری های محرک رشد گیاه

اصطلاح PGPR در سال ۱۹۷۸ توسط کلوپر و اسکروت وضع گردید و تا سال‌های متمادی به‌طور عمده برای سودوموناس‌های فلورسنس و تنها برای انواعی استفاده می‌شد که به‌طور غیرمستقیم و از طریق کنترل عوامل بیماری‌زای گیاه، شرایط تشدید رشد گیاه را فراهم می‌ساختند. محققین بعدی از جمله کاپولنیک و همکاران (۱۹۹۱) با محسوب کردن اثرات مفیدی که از سوی باکتری‌های ریزوسفری به‌طور مستقیم بر رشد گیاه اثر می‌گذارند، گستره PGPR را وسعت بخشیدند. امروزه اصطلاح PGPR در معنای وسیعتری به‌کار رفته و برای برخی دیگر از باکتری‌های فعال ریزوسفری که تاثیر مشخصی در افزایش رشد گیاه نشان داده‌اند مانند آزوسپیریلوم، ازتوباکتر و غیره نیز به‌کار می‌روند.

اثراتی که این باکتری‌ها از طریق مکانیسم‌های مختلف روی گیاه می‌گذارند، عبارتنداز (علی‌پور و همکاران، ۱۳۸۳):

۱- تولید انواع متابولیت‌های مؤثر در رشد گیاه همانند تولید انواع تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه توسط گروه‌های میکروبی شامل اکسین‌ها، جیبرلین‌ها، سیتوکینین‌ها و ...، تولید انواع ویتامین‌ها به‌خصوص ویتامین‌های گروه B، تولید انواع اسیدهای آمینه همانند آرژنین، لیزین و ترکیبات آلی که توسط گروه‌های میکروبی آزاد شده و میل ترکیبی بسیار شدیدی با عناصر فلزی دارند. این مواد به نام یونوفر معروفند و از مهم‌ترین نوع آن‌ها سیدروفورها می‌باشند که میل ترکیبی شدیدی با آهن سه ظرفیتی (غیرقابل استفاده برای گیاه) داشته و این مسئله موجب می‌شود قابلیت جذب آهن توسط گیاه افزایش یابد. نکته قابل توجه این‌است که سیدروفورهای تولید شده توسط این باکتری‌ها، قابل استفاده برای عوامل بیماری‌زای گیاهی نمی‌باشد. زیرا برای جذب فعال سیدروفورها نیاز به وجود ماده‌ی پذیرنده در غشاء سلولی می‌باشد که این پذیرنده‌ها از جنس پروتئین بوده و فقط در سلول‌های ریشه گیاه موجود می‌باشند و در نتیجه پاتوژن‌های گیاهی از جذب آهن محروم شده و بدین طریق فعالیت عوامل بیماری‌زا کاهش یافته و گیاه بهتر می‌تواند

آهن را جذب نماید، درنتیجه میزان رقابت کاهش یافته و گیاه از تغذیه و رشد بهتری برخوردار می‌گردد. همچنین بسیاری از انواع PGPR مانند سودوموناس‌ها توان تجزیه سموم شیمیایی را در خاک دارند که سبب عدم ورود آن‌ها به چرخه غذایی گیاه، انسان و دام می‌گردند.

۲- افزایش حلالیت ترکیبات نامحلول از طریق تولید اسیدهای معدنی و آلی از مهم‌ترین اسیدهای معدنی می‌توان به اسید سولفوریک و اسید نیتریک اشاره کرد که در اثر فرآیند اکسایش گوگرد و فرآیند نیتریفیکاسیون تولید می‌گردند. از اسیدهای آلی می‌توان به اسید سیتریک، اسید سوکسینیک، اسید مالونیک، اسید اگزالیک و . . . اشاره نمود. این اسیدها در انحلال ترکیبات فسفات نقش مهمی ایفا می‌نماید. این مواد توسط انواع مختلف باکتری‌ها به‌خصوص سودوموناس‌ها به‌وجود می‌آیند.

۳- روی رشد و فعالیت عوامل بیماری‌زای گیاهی اثرات منفی دارند.

۴- تجزیه ترکیبات آلی موجود در ریزوسفر همانند انواع هیدروکربن‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها و . . . توسط آنزیم‌های تولید شده توسط باکتری‌ها مانند ساکاراز، لیپاز، پروتئاز، سلولاز و همی سلولاز و تجزیه ترکیبات سمی موجود در ریزوسفر (پلی فنل‌های موجود در برگ، اسیدهای فنلی، آلکالوئیدها و گلیکوزیدها) که توسط اندام‌های گیاه به خاک اضافه و اثر منفی روی رشد گیاهان دارند.

۱-۳-۲- باکتری های حل‌کننده فسفات (PSB)[1]

فسفر پس از نیتروژن مهم‌ترین عنصر مورد نیاز گیاهان می‌باشد و مهم‌ترین نقش آن در فرآیند تولید و انتقال انرژی است. شکل‌های مختلف فسفر در خاک از طریق ویژگی‌هایی از قبیل مقدار ماده آلی، نوع ذرات خاک، pH و سطح آنها کنترل می‌شود (وگر و همکاران، ۲۰۰۴). تامین فسفر مورد نیاز گیاه عموماً از طریق استفاده از کودهای شیمیایی انجام می‌شود. با وجود این مقدار زیادی از فسفر موجود در کودهای

1. Phosphat Solubilizing Bacteria

شیمیایی پس از ورود به خاک نامحلول شده و در خاک‌های آهکی به ترکیبات نامحلول کلسیم و منیزیم تبدیل شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود.

علاوه بر مصرف کودهای شیمیایی یکی دیگر از روش‌های تامین کننده فسفر مورد نیاز گیاه، استفاده از منابع زیستی می‌باشد (خالد و همکاران، ۲۰۰۶). در خاک میکروارگانیسم‌هایی وجود دارند که با تولید متابولیت‌های اولیه و ترشح در خاک قادرند روی کانی‌های معدنی و ترکیبات آلی فسفاته اثر گذاشته، موجب آزادسازی فسفر و حل شدن آن در محلول خاک گردند. معمولاً فرآیند معدنی شدن به کمک واکنش‌های آنزیمی صورت می‌گیرد. مهمترین آنزیم‌های مؤثر بر این ترکیبات، فسفاتازها هستند که بیشتر به دو صورت فسفاتاز اسیدی و قلیایی وجود دارند. فسفری که از فرآیند فوق آزاد می‌گردد به صورت‌های مختلف توسط میکروارگانیسم‌های دیگر و گیاهان مصرف می‌گردد. یکی از دلایل عمده حل‌کنندگی فسفات، تولید اسیدهای آلی توسط میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. تولید اسیدهای آلی موجب اسیدی شدن سلول‌های میکروبی و محیط اطراف آن می‌شود (گلدستین، ۱۹۹۴). اسید گلوکونیک یکی از این اسیدها می‌باشد که توسط سویه‌های سودوموناس (ایلمر و همکاران، ۱۹۹۲) و اروینیا (لیو و همکاران، ۱۹۹۲) تولید می‌شود. مکانیسم‌های دیگری که برای حل‌کنندگی فسفر پیشنهاد شده است عبارت از تولید مواد کلات‌کننده و تولید اسیدهای معدنی از قبیل اسید سولفوریک، اسید نیتریک و اسید کربنیک توسط میکروارگانیسم‌های خاک می‌باشند (رودیگز و همکاران، ۲۰۰۶). مهمترین باکتری‌های حل کننده فسفات به دو جنس سودوموناس و باسیلوس تعلق دارد (وب سایت باشگاه مهندسان ایران).

الف) جنس سودوموناس: از گروه باکتری های میله ای شکل، هوازی مطلق، اکثراً متحرک هستند. این باکتری‌ها کاتالاز مثبت و اغلب اکسیداز مثبت هستند. از میان گونه‌های مختلف سودوموناس *P. putida*، *P. flurescent* و *P. aeroginosa* نقش بسیار مهمی در جذب عناصر غذایی مثل فسفر و بعضی از کانی‌ها دارند. بررسی‌های به عمل آمده حاکی از آن است که سودوموناس‌ها روی محیط‌های کشت

حاوی تری کلسیم فسفات در حضور قندهایی مثل گلوکز، pH محیط را پایین آورده و با تولید اسیدهای آلی مثل اسید ۲- کتوگلوگونیک، اسید فوماریک و اسید فرمیک روی حلالیت فسفات‌ها اثر می‌گذارند.

ب) جنس باسیلوس: باسیلوس‌ها باکتری‌های میله‌ای شکل، تولیدکننده اسپور، هوازی و یا هوازی اختیاری و غالباً کاتالاز مثبت هستند. معمولاً در هوا، آب، خاک، بقایای گیاهی و جانوری دیده می‌شوند. باسیلوس‌ها نقش بسیار مهمی در فعل و انفعالات شیمیایی دارند و به دلیل توانایی تولید آنزیم هایی مثل پروتئاز، آمیلاز و فسفاتاز، در اکثر فرآیندهای تجزیه مواد آلی شرکت می‌نمایند. همچنین گونه‌های مختلفی از باسیلوس‌ها مثل *B. firmus*، *B. megatherium*، *B. circulans* و *B. polymyxa* قادرند روی کانی‌های مختلف مثل کانی‌های فسفاتی اثر گذاشته و موجب رهاسازی فسفر و حلالیت آن شود.

با توجه به نقش میکروارگانیسم‌ها در کنترل تنش‌ها، احتمال می‌رود که کاربرد آن‌ها نیز بتواند به عنوان یکی از روش‌های کاهش دهنده اثرات تنش روی گیاهان مفید باشد. لذا در این مطالعه به بررسی نقش باکتری سودوموناس در کاهش اثرات تنش خشکی در دو رقم سیب‌زمینی پرداخته شد. در قالب این پژوهش اهداف زیر مطرح و دنبال گردید:

۱. بررسی تاثیر باکتری سودوموناس بر خصوصیات فیزیولوژیک دو رقم سیب‌زمینی در شرایط تنش کم آبی و عدم تنش.
۲. مقایسه عملکرد دو رقم سیب‌زمینی تحت تاثیر باکتری سودوموناس در شرایط تنش کم آبی.
۳. بررسی تاثیر تنش کم آبی بر پارامترهای فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی سیب‌زمینی تحت تاثیر باکتری سودوموناس.

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱- تنش خشکی

۲-۱-۱- اثرات تنش خشکی بر گیاهان و پاسخ آن‌ها

کمبود آب یکی از اساسی‌ترین عوامل محیطی محدود کننده تولیدات کشاورزی است. گیاهان زراعی در طی دوره زندگی خود به طور مکرر با تنش رطوبتی مواجه می‌شوند، ولی مراحل معینی از رشد از قبیل جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و گلدهی از بحرانی‌ترین مراحل مواجهه با خسارت‌های ناشی از تنش رطوبتی به شمار می‌آیند (کافی و رستمی، ۱۳۸۶ و معصومی و همکاران، ۱۳۸۷). تنش رطوبتی از طریق تاثیر بر آماس سلولی و در نتیجه باز و بسته شدن روزنه‌ها، فرآیندهای فتوسنتزی، تنفس و تعرق را تحت تاثیر قرار داده و از سوی دیگر با تاثیر بر فرآیندهای آنزیمی که به طور مستقیم با پتانسیل آب کنترل می‌شود، بر رشد گیاه اثر منفی می‌گذارد (کافی و همکاران، ۱۳۸۴).

گزارش‌های زیادی مبنی بر تاثیر کمبود آب در رابطه با مختل شدن فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان و تغییر در متابولیسم کربوهیدات‌ها و نیتروژن، تغییر در ساختمان پروتئین‌ها و فعالیت آنزیم‌ها، تجمع پرولین و کاهش تشدید کننده‌های رشد وجود دارد (برار و همکاران، ۱۹۹۰؛ لویت ،۱۹۸۰ و سینگ و پاتال، ۱۹۹۶). این تغییرات فیزیولوژیکی در نهایت منجر به تغییرات مورفولوژیکی در بذر، گیاهچه، برگ و ارتفاع گیاه می‌گردد. همانطور که تنش‌های مختلف اثرات متفاوتی بر گیاهان می‌گذارند، گیاهان نیز مجموعه‌ای از پاسخ‌ها در سطح مولکولی، سلولی و مورفولوژیکی را نشان می‌دهند، نظیر تغییرات فیزیولوژیکی و نموی (تغییر در چرخه سلولی، ممانعت از رشد شاخه و افزایش رشد ریشه، تنظیم انتقال یونی نظیر جذب، ترشح و تفکیک یونی) و تغیرات متابولیکی (سنتز نمک‌های سازگار کننده، جلوگیری از کاهش پروتئین‌ها، بالا نگه داشتن میزان فتوسنتز، کاهش تنفس و تنظیم اسمزی) را نشان می‌دهند (لویت، ۱۹۸۰).

۲-۱-۲- اثر تنش بر صفات مورفولوژیکی و عکس العمل‌های رشدی در گیاه

تنش آبی مهم ترین عامل ناتوانی بذور برای جوانه‌زنی در شرایط مزرعه می‌باشد، زیرا این تنش سرعت و درصد جوانه زنی را کاهش داده و در نهایت استقرار گیاهچه را به تاخیر می‌اندازد. کاهش پتانسیل اسمزی و ماتریک موجب کاهش دسترسی بذور به آب می‌شود. بنابراین، پتانسیل آب محیط تاثیر مستقیمی بر سرعت جذب آب و جوانه زنی دارد (رحیمیان و همکاران، ۱۳۷۰).

صفت ارتفاع بوته به شدت به محیط رشد وابسته است. ثابت شده است که تنش خشکی عامل محدود کننده مهمی در مرحله رشد و استقرار گیاه می‌باشد و بر ارتفاع و رشد و توسعه گیاه تاثیر گذار است (انجوم و همکاران، ۲۰۰۳؛ بات و رائو، ۲۰۰۵؛ شائو و همکاران، ۲۰۰۸). با توجه به اینکه فرآیند رشد حاصل فعالیت‌های حیاتی در شرایطی است که گیاه آب کافی در اختیار داشته باشد، در صورت عدم تامین آب مورد نیاز به دلیل کاهش فشار تورژسانس سلول‌های در حال رشد و تاثیر بر طول سلول‌ها، ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد (احمدی و بیکر، ۱۳۷۹). کاهش ارتفاع گیاه با کاهش اندازه سلول و پیری بیشتر برگ گیاه *Abelmoschus esculentus* تحت شرایط تنش آبی همراه بود (بات و رائو، ۲۰۰۵). در آزمایش ضابط و همکاران (۱۳۸۲) در ارتباط با گیاه ماش، بیشترین آسیب ناشی از تنش خشکی مربوط به ارتفاع گیاه و کمترین آسیب مربوط به عملکرد اقتصادی و تعداد دانه در غلاف بوده است. کاهش ارتفاع گیاه و تعداد گره در ساقه اصلی دلیلی است بر این‌که تنش خشکی موجب کاهش تقسیمات سلولی شده و رشد رویشی گیاه را کاهش داده است، لذا عملکرد بیولوژیکی گیاه کاهش یافته است. با توجه به آنکه عملکرد بیولوژیکی کاهش بیشتری نشان داده است، می‌توان نتیجه گرفت که تنش خشکی بر روی قسمت‌های رویشی گیاه نسبت به عملکرد اقتصادی تاثیر بیشتری داشته است.

رشد برگ یکی از پارامترهایی است که به شدت به عوامل محیطی وابسته است. فرآیند تقسیم و طویل شدن سلول نسبت به خشکی بسیار حساس است. به طور کلی، تنش خشکی در طول دوره رویشی موجب

کوچک شدن برگ‌ها می‌شود. همچنین شاخص سطح برگ، دوره رسیدن محصول و میزان جذب نور توسط گیاه کاهش می‌یابد (لویت، ۱۹۸۰). یکی از راهکارهای گیاه به هنگام وقوع تنش، کاهش سطح و تعداد برگ می‌باشد. برگ به عنوان واحد فتوسنتزی در گیاه نقش ویژه‌ای دارد. در شرایط تنش، ژنوتیپ‌هایی با تعداد برگ بیشتر توان فتوسنتزی بالایی دارند، اما این موضوع با تعرق بیشتر گیاه در تقابل است. شواهد نشان می‌دهد که ارتباط ضعیفی بین ویژگی اندام‌های هوایی در کاهش تعرق آب و افزایش عملکرد وجود دارد (پالد و همکاران، ۱۹۸۵). از لحاظ تئوری، کاهش سطح برگ یک ساز و کار سازگاری مهم به شمار می‌رود، زیرا کاهش سطح برگ اولین راهبردی است که گیاه زراعی در مواجهه با محدودیت آب انتخاب می‌کند. طبق گزارش معصومی و همکاران (۱۳۸۷)، تنش خشکی در نخود موجب کاهش ارتفاع بوته، کوچک و ضخیم شدن برگ‌ها و ریزش زودهنگام آن‌ها می‌شود.کاهش تعداد برگ در زمان تنش، به‌علت پیری زودرس گیاه و تجمع زیاد اتیلن، راهی برای کاهش تعرق و رسیدگی زودتر گیاه برای فرار از تنش می‌باشد. لیپورت و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که در شرایط خشکی، برگ‌ها کوچکتر و تعداد آن‌ها کمتر می‌شود.

در محیط‌های خشک آب قابل دسترس یک عامل محدود کننده کلیدی است، بنابراین استخراج آب از اعماق خاک و قابل دسترس نمودن آب برای گیاه از طریق راهکارهای سازگاری مربوط به سیستم ریشه حاصل می‌شود. ویژگی‌های ریشه در تعیین واکنش برخی گیاهان به خشکی بسیار مهمتر از خصوصیات اندام‌های هوایی می‌باشد (خزاعی و کافی، ۱۳۸۲). توسعه سیستم ریشه‌ای در شرایط تنش خشکی، یکی از عواملی است که جذب آب را افزایش داده و از طریق بالا بردن میزان پرولین موجب حفظ فشار اسمزی می‌شود (دیجیبریل و همکاران، ۲۰۰۵). در شرایط تنش خشکی افزایش رشد ریشه در آفتابگردان (طاهر و همکاران، ۲۰۰۲) و پروانش (جلیل و همکاران، ۲۰۰۸-a,c) گزارش شده است.

به دنبال کاهش ارتفاع گیاه و تعداد برگ در شرایط تنش خشکی، کاهش وزن خشک اندام نیز حاصل می‌شود. کمبود ملایم آب موجب توسعه ریشه به بخش‌های عمیق‌تر و مرطوب‌تر خاک می‌شود و فرآیند توسعه برگ را به سرعت تحت تاثیر قرار می‌دهد، اما فعالیت فتوسنتزی به مقدار کمتری تحت تاثیر قرار می‌گیرد. به دنبال جلوگیری از توسعه برگ میزان مصرف کربن و انرژی در اندام‌های هوایی کاهش یافته و سهم بیشتری از آسیمیلات‌ها در ریشه گیاه توزیع می‌گردد که در نتیجه ریشه توانایی جذب آب و مواد معدنی بیشتری را می‌یابد و افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی را به دنبال دارد. که این افزایش با محتوای اسید آبسیزیک مرتبط است (شارپ و لینوبل، ۲۰۰۲ و مانیوانان و همکاران ۲۰۰۷).

یکی از متداولترین اثرات تنش خشکی در گیاهان زراعی، کاهش در تولید بیوماس تر و خشک می‌باشد (فاروق و همکاران،۲۰۰۹). تنش خشکی به شدت با فرآیند توزیع ماده خشک و بیوماس در ارتباط است (کیج و همکاران، ۲۰۰۴). کاهش بیوماس در شرایط تنش تقریباً در تمام ژنوتیپ‌های آفتابگردان (طاهر و مهدی، ۲۰۰۱)، سویا (اسپکت و همکاران، ۲۰۰۱)، حبوبات (وبر و همکاران، ۲۰۰۶) و جعفری (پتروپولوس و همکاران، ۲۰۰۸) گزارش شده است. در شرایط تنش خشکی تعداد روزنه‌ها کاهش و این امر بر میزان سنتز ماده خشک در اندام هوایی تاثیر گذاشته و موجب کاهش وزن خشک گیاهان می‌شود (حاجبی و حیدری شریف آباد، ۱۳۸۶).

با کاهش مقدار آب میزان تجمع مواد فتوسنتزی و سرعت رشد نسبی کاهش می‌یابد و افت قابل توجه سرعت رشد نسبی بیان‌گر کاهش ماده خشک تولید شده در اثر کاهش رشد شاخ و برگ در مرحله‌ی رشد سبزینه‌ای است که می‌تواند یکی از علل کاهش عملکرد محصول باشد (مودب شبستری و مجتهدی، ۱۳۶۹).

۲-۱-۳- اثر تنش بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه

علاوه بر صفات مورفولوژیکی که در سازگاری گیاه به شرایط تنش خشکی مورد توجه قرار می‌گیرند، صفات فیزیولوژیک نیز اهمیت حیاتی در بقاء و سازگاری گیاهان به تنش‌های محیطی دارند. از این رو توجه به شاخص‌های فیزیولوژیکی به منظور مطالعه میزان مقاومت به خشکی یکی از جنبه‌های مهم مقاومت به خشکی در گیاهان به شمار می آید. واکنش گیاه به تنش خشکی به ماهیت کمبود آب وابسته است و می‌تواند به‌صورت پاسخ‌های فیزیولوژیک کوتاه مدت یا بلند مدت باشد (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). کمبود آب موجب کاهش فشار آماس و در نتیجه کاهش نمو سلول و اندازه سلول‌ها می‌شود. تنظیم اسمزی می‌تواند قابلیت حفظ فشار تورگر را برای ادامه حیات و رشد گیاه در شرایط خشکی شدید فراهم سازد (شائو و همکاران، ۲۰۰۸).

۲-۱-۳-۱- تنش خشکی و فتوسنتز

فتوسنتز یکی از فرآیندهای مهم فیزیولوژیکی گیاه است که در اثر کمبود آب شدت آن کاهش می‌یابد (گوسگوناوا و همکاران، ۲۰۰۶). فعالیت فتوسنتز مربوط به سه گروه فرآیند عمده می‌شود که تمام آن‌ها تحت تاثیر تنش رطوبت قرار می‌گیرند:

۱- فرآیند انتقال دی اکسید کربن به نقاط فتوسنتزی

۲- فرآیندهای شیمیایی وابسته به نور

۳- فرآیندهای مستقل از نور

دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش از جمله شاخص های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است. تنش خشکی موجب تولید اکسیژن فعال همراه با کاهش و تجزیه کلروفیل می‌شود. در طی تنش، کلروفیل‌ها در کلروپلاست تجزیه و ساختارهای تیلاکوئید ناپدید می‌گردند (سایروم و همکاران،

۱۹۹۸). نتایج تحقیقات نشان داده که تنش خشکی ملایم بر روی مقدار کلروفیل در دو گیاه سردسیری فستوکا (*Festuca*) و *Poa pratensis* اثری نداشته، ولی خشکی شدید مقدار کلروفیل را در این دو گیاه کاهش می‌دهد (هانی، ۲۰۰۱). همچنین مقدار کلروفیل در گیاه توتون همراه با کاهش پتانسیل آب خاک تحت تنش کاهش می‌یابد (پاستور و تریپی، ۱۹۹۳). بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش، فراهمی دی اکسید کربن را برای سیستم فتوسنتزی مشکل می‌سازد. کریدمن (۱۹۶۸) بیان کرد زمانی که کمبود آب در برگ‌ها بین ۱۰ تا ۱۵ درصد است، شدت فتوسنتز تا حد ۱۵ تا ۱۸ درصد کاهش می‌یابد و هنگامی که کمبود آب در برگ‌ها به ۲۰ درصد برسد، فتوسنتز تا ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. به طور کلی، کاهش رشد گیاهان زراعی در شرایط تنش خشکی به واسطه محدود شدن فتوسنتز صورت می‌گیرد. عوامل محدود کننده فتوسنتز به دو دسته عوامل روزنه‌ای، که منجر به کاهش انتشار به فضای بین سلولی در اثر کاهش هدایت روزنه‌ای دی اکسیدکربن می‌شوند و عوامل غیرروزنه‌ای، که فتوسنتز را از طریق اثر مستقیم کمبود آب بر فرآیندهای بیوشیمیایی فرآوری کربن محدود می‌کنند، تقسیم می‌شوند (احمدی و بیکر، ۱۳۷۹).

روبیسکو[1] آنزیم موثر در فتوسنتز است که ۵۰ درصد پروتئین محلول برگ را تشکیل می‌دهد (ون استن و همکاران، ۱۹۹۵). بنابراین تغییر در میزان پروتئین برگ با تغییر در محتوای این آنزیم همراه است. به نظر می‌رسد که کاهش محتوای پروتئین تحت تنش خشکی با افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین و نیز تجمع آمینو اسیدهای آزاد از جمله پرولین مرتبط می‌باشد (کاس تریلو و توروجیلو، ۱۹۹۴). فیشر و همکاران (۱۹۹۸) اظهار داشتند که عامل اصلی محدود کننده فتوسنتز، کاهش هدایت مزوفیلی است. از عوامل تاثیرگذار بر کاهش هدایت مزوفیلی، می‌توان کاهش غلظت کلروفیل (احمدی و بیکر، ۱۳۷۹) و کاهش غلظت پروتئین (کاس تریلو، ۱۹۸۹) را ذکر کرد. کاهش غلظت کلروفیل به میزان ۱۲ درصد و در مقابل تجمع پرولین تحت تنش کمبود آب در گیاه کلزا مشاهده شده است (امیدبیگی و

1. Ribulose Biphosphate Carboxylase/Oxygenase

همکاران، ۲۰۰۱). محسن زاده و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که کاهش در میزان کلروفیل a و b و کل در شرایط تنش در گیاه آفتابگردان می‌تواند در اثر تخریب کلروپلاست باشد. کاهش در فتوسنتز در شرایط تنش ممکن است به خاطر بسته بودن بیشتر روزنه‌ها باشد. نتایج برررسی‌های مختلف نشان داده است که بخشی از محدودیت‌های روزنه‌ای فتوسنتز بستگی به شدت کمبود آب دارد. در یک تنش ملایم که ابتدا رخ می‌دهد، محدودیت‌های روزنه‌ای نقش دارد ولی در صورتی که کمبود آب طولانی مدت باشد، محدودیت‌های غیر روزنه‌ای مانند فعالیت بازدارنده‌های فتوشیمیایی در طول دوره تنش غالب هستند (دینگ کن و همکاران، ۲۰۰۵).

۲-۱-۳-۲- تنش خشکی و محتوای آب نسبی (RWC) [1]

محتوای آب نسبی بالاتر به معنی توانایی برگ در حفظ مقادیر بیشتر آب در شرایط تنش است. کاهش محتوای آب نسبی برگ در اثر تنش خشکی، دارای همبستگی مثبت و بالایی با محتوای رطوبتی خاک می‌باشد (نوتیال و همکاران،۲۰۰۲). کاهش رشد و فعالیت ریشه و افزایش میزان تبخیر و تعرق از جامعه گیاهی از عوامل دخیل در کاهش محتوای آب نسبی به‌شمار می‌روند (تارومینگ کنگ و کوتو، ۲۰۰۳). کاستریلو و تریجیلو (۱۹۹۴) همبستگی مثبتی را بین محتوای آب نسبی و غلظت کلروفیل، پروتئین و فعالیت روبیسکو مشاهده کردند. با توجه به نقش پروتئین و کلروفیل در حفظ فتوسنتز و مقاومت به خشکی، می‌توان از محتوای آب نسبی به عنوان شاخصی در جهت مقاومت به خشکی استفاده کرد. زمانی‌که محتوای آب نسبی بین ۳۰ تا ۷۰ درصد باشد، بازدارنده‌های غیر روزنه‌ای نظیر بازدارنده‌های نوری، کاهش کربوکسیلاسیون، چرخه کلوین و تنفس نوری رخ می‌دهد و انتقال الکترون نیز در این حالت

1. Relative Water Content

عامل محدود کننده‌تری است. در محتوای آب نسبی کمتر از ۳۰ درصد، به غشای کلروپلاست صدمه وارد شده و خسارت غیرقابل بازگشت است (کافی و دامغانی، ۱۳۸۱).

۲-۱-۳-۳- تنش خشکی و تنظیم اسمزی

یکی از وظایف مهم گیاه در طی تنش خشکی حفظ آماس سلولی از طریق تنظیم اسمزی است. مشخص شده است که تنظیم اسمزی مکانیسم احتمالی تحمل به خشکی از طریق ترکیبات ایجاد کننده فشار اسمزی مانند پرولین می‌باشد (اشرف و محمود،۱۹۹۰). تجمع این ترکیبات در سلول‌های گیاه سبب ایجاد پتانسیل منفی‌تر گردیده و در نتیجه گیاه به منظور جبران آب سلولی، فشار اسمزی سیتوپلاسم را افزایش داده و از طریق تنظیم اسمزی با تنش مقابله می‌کند.

افزایش پتانسیل فشاری (آماس) اسمزی از طریق تجمع مواد محلول در سلول‌های در حال بزرگ شدن، با وجود کاهش پتانسیل آب تنظیم اسمزی نامیده می‌شود. از مزایای تنظیم اسمزی به حفظ آماس سلول، ادامه طویل شدن سلول، باز نگه داشتن شکاف روزنه‌ها، ادامه فتوسنتز، بقا در هنگام بروز پسابیدگی و گسترش بیشتر ریشه می‌توان اشاره کرد و از معایب آن می‌توان محدودیت دامنه عمل تنظیم، ناپایداری و دوام کم پدیده اسمزی را نام برد (کافی و همکاران،۱۳۸۸).

۲-۱-۳-۴- تنش خشکی و پرولین

گیاهان به‌هنگام مواجهه با تنش‌های محیطی از قبیل خشکی، شوری، گرما و غیره یا ذخیره مواد تنظیم کننده فشار اسمزی با این تنش‌ها مقابله می‌کنند. مواد تنظیم‌کننده‌ی فشار اسمزی بیش‌تر شامل اسیدهای آمینه، قندها، برخی یون‌های معدنی، هورمون‌ها و پروتئین‌ها هستند. یکی از اسیدهای آمینه فعال در پدیده‌ی تنظیم اسمزی، پرولین می‌باشد. که در ایجاد وحفظ فشار اسمزی درون گیاه نقش مهمی

دارد (رنجی و پرویزی آلمانی، ۱۳۷۵). اگرچه پرولین در همه‌ی اندام‌های گیاه کامل در شرایط تنش خشکی تجمع می‌یابد ولی سریع‌ترین انباشت را در برگ‌ها دارد. تجمع پرولین در ریشه‌ها با گسترش کم‌تر و یا تأخیر زمانی نسبت به تجمع در برگ‌ها صورت می‌گیرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که افزایش پرولین در ریشه‌ها ناشی از انتقال آن از برگ می‌باشد. افزایش غلظت پرولین در اثر ممانعت از تجزیه پرولین، جلوگیری از ورود پرولین به چرخه ساخت پروتئین و یا افزایش تجزیه پروتئین است که ممکن است با کاهش رشد همراه باشد (باندرسکار و استرونسکای، ۲۰۰۳). باندرسکار و استرونسکای (۲۰۰۳) در آزمایشات خود گزارش نمودند که میزان پرولین در برگ‌های جو در شرایط تنش خشکی دو برابر افزایش نشان داد که نشان‌دهنده مقاومت به کم آبی است و ارقام مقاوم پرولین بیشتری دارند. مطالعات فاطیان (۲۰۰۸) بر روی گیاه گلرنگ نشان داد که تنش کمبود آب منجر به افزایش ۸۳ درصدی در میزان پرولین برگ در زمان اعمال تنش خشکی شد.

۲-۱-۳-۵-تنش خشکی و غشای سلولی

تصور می‌شود که غشاء سیتوپلاسمی توسط پمپ یونی (سدیم – پتاسیم)، موجب بالا نگه داشتن غلظت محلول‌ها در داخل سلول و در نتیجه ایجاد فشار مثبت تورژسانس می‌شود. واکنش غشاء سیتوپلاسمی در مقابل عوامل و شرایط مختلف محیطی مانند گرما، خشکی و انجماد تغییر می‌کند و با توجه به نقش آن در کنترل تبادلات آب و املاح برای تورژسانس سلول، رشد گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد (کوچکی، ۱۳۷۰). در تنش‌های شدید بعضی از قسمت‌های فسفولیپیدهای دو لایه‌ای غشا حالت هگزاگونال و ساختار غشا به ساختار منفذ دار تبدیل می‌شود و نشت مواد روی می‌دهد (میرجلیلی، ۱۳۸۴). خزاعی (۱۳۸۱) گزارش کرده است که میزان خسارت غشاهای سلولی بر اثر تنش خشکی ممکن است از طریق اندازه‌گیری نشت الکترولیت‌ها از سلول سنجیده شود. در شرایط تنش رطوبتی، پایداری

غشای سلولی جزء اصلی تحمل به تنش خشکی در گندم است. تغییرات جزیی در غشا می‌تواند در گیاهان به عنوان هشدار دهنده تنش باشد و گیاه برای مقابله با این شرایط سطوح آنتی اکسیدان‌های مختلف (سوپراکسیداز، کاتالاز و پراکسیداز) خود را بالا می‌برد. تنش خشکی موجب افزایش اکسیداسیون چربی‌ها و به دنبال آن کاهش شاخص پایداری غشای سلول در گیاهان مختلف می‌شود (سایرام و ساکسنا، ۲۰۰۰). علاوه بر خصوصیات غشا، قابلیت ارتجاعی دیواره سلولی یکی از مهمترین راهکارهای سازگاری به تنش آبی است. این خصوصیت در حفظ آماس یا حجم سیمپلاست نقش دارد. زمانی‌که گیاه تحت شرایط تنش آب خود را از دست می‌دهد، ممکن است پتانسیل آبی سلولی کاهش نیابد اما فشار آماس به وسیله کاهش حجم سلولی از طریق خصوصیت ارتجاعی دیواره سلولی تنظیم شود. کاهش اندازه سلولی یک ویژگی است که به میزان مقاومت گیاه بستگی دارد (مارتینز، ۲۰۰۴). تولید و تجمع گونه‌های سمی اکسیژن نظیر پراکسید هیدروژن، رادیکال‌های سوپر اکسید و رادیکال‌های هیدروکسیل در شرایط تنش خشکی به بسیاری از ترکیبات سلولی نظیر چربی‌ها، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای نوکلئیک صدمه می‌زند و در نتیجه پراکسیداسیون چربی‌ها، غشاهای سلولی آسیب می‌بینند. یکی از واکنش‌هایی که در حضور گونه‌های فعال اکسیژن وسعت بیشتری پیدا می‌کند، پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی است که موجب تولید آلدئیدهایی مانند مالوند آلدئید و محصولاتی مانند اتیلن می‌شود (لیانگ و همکاران،۲۰۰۳). جیانگ و هوانگ (۲۰۰۱) افزایش غلظت مالوند آلدئید را نشان‌دهنده‌ی افزایش واکنش پراکسیداسیون لیپیدها و اکسید شدن اسیدهای چرب غشایی می‌دانند. افزایش پراکسیداسیون چربی و به دنبال آن کاهش شاخص پایداری غشاء سلول در گیاهان گندم (سایروم و ساکسنا، ۲۰۰۰)، لوبیا (ترکان و همکاران، ۲۰۰۵) و گراس‌های چمنی (جیانگ و هوانگ، ۲۰۰۱) گزارش شده است.

۲-۱-۳-۶-تنش خشکی و پروتئین سازی

در طیف وسیعی از گونه‌های گیاهی، در پاسخ به تنش خشکی تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مانند تغییر در سنتز و یا تخریب پروتئین ممکن است رخ دهد. کاهش در فراوانی پلی ریبوزوم‌ها با کاهش سنتز پروتئین‌ها در ارتباط است. بروز تنش رطوبتی وضعیت پلی ریبوزوم‌های موثر در ساخته شدن پروتئین‌ها در بافت‌ها را تغییر می‌دهد. مطالعات انجام شده بر روی ذرت بر این دلالت دارد که افزایش سطوح تنش آبی موجب کاهش پلی ریبوزوم‌ها شده و در نتیجه موجب کاهش پروتئین می‌شود (اسکات و همکاران، ۱۹۷۹). همزمان با کاهش کل پروتئین‌ها، مقدار آمینو اسیدهای آزاد افزایش یافته و به دنبال آن سنتز پروتئین کاهش می‌یابد. اما در مواردی بیوسنتز برخی آمینو اسیدهای غیرپروتئینی خاص مانند بتائین و پرولین تحریک می‌شود (نیلسون و ارکات،۱۹۹۶). از بین رفتن کلروفیل موجب کاهش تولید موادی نظیر پروتئین‌ها می‌گردد که ارتباط مستقیم با میزان کلروفیل دارد (هاشم زاده و همکاران، ۱۳۸۰). کلشرشتا و همکاران (۱۹۸۷) گزارش کردند که در برگ‌های بالغ تحت شرایط تنش کمبود آب و تجزیه پروتئین‌ها موجب کاهش غلظت پروتئین و در نتیجه افزایش اسید آمینه‌های آزاد از جمله پرولین می‌شوند. یکی از تغییرات عمده بیوشیمیایی که در اثر کاهش رطوبت خاک در گیاهان زراعی روی می‌دهد، تغییر در میزان تولید پروتئین‌های گیاهی در جهت تجزیه و یا جلوگیری از ساختن بعضی از آن‌ها و نیز ساخت دسته کوچکی از پروتئین‌های مخصوص تنش است (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). کاهش غلظت پروتئین در شرایط تنش، به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین می‌باشد (کاستریلو و کالکارگو، ۱۹۸۹)، که با کاهش آنزیم رابیسکو و نقصان فتوسنتز همراه است (هنسون و هیتز، ۱۹۸۲). بیولی و لارسن (۱۹۸۲) در آزمایشات خود بر روی برخی از گیاهان زراعی اعلام داشتند که افزایش تنش رطوبتی از حالت خفیف به متوسط، بازده ساخت پروتئین در گیاهان را کاهش می‌دهد.

۲-۱-۳-۷- تنش خشکی و اسید آبسیزیک (ABA) [1]

تنش‌های محیطی سیستم هورمونی گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهند. در بعضی موارد تنش موجب تغییر سطح هورمونی در گیاه شده و آن را افزایش می‌دهد یا اینکه حساسیت گیاه به تنش را تحت تاثیر قرار می‌دهند. تغییرات هورمونی اغلب با تغییرات ایجاد شده در رفتار گیاه همبستگی دارد. به‌عبارت دیگر، هورمون‌ها در این شرایط به عنوان مکمل‌هایی برای فراهم نمودن زمینه‌های لازم برای مقاومت به تنش عمل می‌نماید. یکی از مهمترین پیام‌ها در تنش خشکی و سایر تنش‌های غیر زنده تغییر در میزان هورمون اسید آبسیزیک است. خشکی موجب تحریک و تولید اسید آبسیزیک می‌شود و این هورمون توانایی تحریک ژن‌های مختلف درگیر در تولید انواع پیام‌ها برای تنظیم راهکارهای شیمیایی را دارد (شینوزاکی و همکاران، ۱۹۹۷). در صورت وقوع تنش در دوره رویشی بسیاری از نهاندانگان، اسید آبسیزیک به سرعت در ریشه گیاه سنتز و به بخش‌های هوایی منتقل می‌شود. اگرچه گزارش‌هایی نیز وجود دارد که اسید آبسیزیک در تمام بافت‌هایی که دارای کلروپلاست و آمیلوپلاست هستند ساخته می‌شود (کافی و دامغانی، ۱۳۷۹). مطالعات متعددی نشان داده است که اسید آبسیزیک به عنوان یک واسطه در واکنش پذیری گیاه به محرک‌های محیطی عمل می‌نماید. این پدیده در گیاهانی مانند برنج، جو، سویا، گوجه فرنگی، یونجه و پنبه به اثبات رسیده است. غلظت اسید آبسیزیک در این گیاهان با افزایش شدت تنش افزایش و با کاهش تنش و یا آبیاری‌های مجدد به سرعت کاهش یافته و به سطح اولیه باز می‌گردد (کافی و دامغانی، ۱۳۸۱و نیلسون و ارکات، ۱۹۹۶). اعتقاد بر این است که تنش خشکی موجب افزایش میزان ABA برگ‌های گیاه می‌شود. در این ارتباط شواهد معتبری وجود دارد که تائید می‌نماید غلظت ABA بافت برگ، هدر رفت آب گیاه را از طریق کاهش گشودگی روزنه‌ها کم می‌کند (ترنر و همکاران، ۲۰۰۱). عمل بسته شدن روزنه‌ها بسیار سریع انجام می‌شود. به نظر می‌رسد سلول‌های

1. Abscisic acid

نگهبان روزنه، دارای گیرنده مخصوص ABA هستند که در دیواره بیرونی غشای پلاسمایی آن‌ها قرار گرفته است. وجود این گیرنده و عمل آن موجب تغییر در باز شدن کانال‌های یونی شده و شیب پروتئین را فعال می‌نماید. در واقع، بسته شدن روزنه‌ها در پاسخ به عوامل شیمیایی از جمله ABA به عنوان یک راهکار اجتناب از تنش خشکی مطرح است (کافی و همکاران، ۱۳۸۸).

۲-۱-۳-۸- اثر تنش خشکی بر جذب عناصر غذایی

کمبود آب در نوع و مقدار عناصر معدنی گیاه موثر است. به طور کلی، تامین رطوبت برای گیاه شرایط را برای جذب عناصر معدنی مهم فراهم می‌سازد. تاثیر تنش خشکی بر رشد گیاه بیش از اثر آن بر جذب عناصر معدنی می‌باشد (فنایی و همکاران، ۲۰۰۹). به طور کلی، بعضی از پژوهشگران معتقدند که در اثر تنش خشکی میزان جذب سدیم و پتاسیم به‌دلیل تنظیم فشار اسمزی و نقش یون پتاسیم در کنترل روزنه‌ها در گیاه افزایش می‌یابد. پتاسیم یکی از عناصر مهم در متابولیسم گیاه می‌باشد، این عنصر چندین آنزیم را که در سوخت و ساز کربوهیدرات‌ها مشارکت دارند فعال کرده و کاهش پتاسیم بر روی فعالیت فتوسنتز نیز تاثیرگذار است. باز و بسته شدن روزنه‌ها نقش مهمی در تنظیم اسمزی گیاه در شرایط خشکی دارد و پتاسیم در مکانیسم کنترل روزنه نقش دارد، به همین دلیل است گیاهانی که پتاسیم بیشتری دارند، سازگاری بیشتری با کمبود آب نشان داده و در ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی در زمان تنش افزایش پتاسیم در اندام‌های هوایی مشهود است. در یک بررسی روی سیب‌زمینی، ذرت و فلفل مشخص شدکه میزان پتاسیم در اثر اعمال تنش خشکی در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد (هندا و بری‌سان، ۱۹۸۳). تنش آبی موجب کاهش پتانسیل آب برگ، توقف گسترش سطح برگ، کاهش توسعه سلولی ریشه و کاهش توسعه ریشه می‌شود. ممکن است علت کاهش سطح برگ، کاهش جذب پتاسیم ناشی از کاهش توسعه ریشه باشد (لیپتی و همکاران، ۱۹۹۸). به طورکلی با کاهش آب در گیاه، فتوسنتز

کاهش یافته و نهایتاً میزان محصول به نحو چشمگیری کاسته خواهد شد. با این وجود مقادیر مناسب پتاسیم می‌تواند از این امر ناخواسته جلوگیری نماید. زیرا پتاسیم کافی در گیاه سبب ایجاد تعادل در پتانسیل آب در گیاه و افزایش ساخت ترکیبات آلی می‌شود که این امر سبب می‌گردد تا وزن تر و خشک گیاهانی که دارای پتاسیم کافی هستند نسبت به وزن گیاهانی که دچار کمبود پتاسیم می‌باشند، حتی در شرایط تنش آبی نیز افزون‌تر باشد (هکل و مدیش، ۱۹۹۰). به علاوه پتاسیم می‌تواند انتقال مواد فتوسنتزی به نقاط مختلف گیاه و انباشت آن را نیز تنظیم نماید (مارشنر، ۱۹۹۵). ایتو و کامورا (۱۹۹۱) در آزمایشی مشاهده کردند که با افزایش تنش آبی، غلظت پتاسیم در تمام بخش‌های ساقه سویا بشدت افزایش یافت و سبب کاهش پتانسیل آب درون آوندها نسبت به پتانسیل آب خاک گردید. با افزایش تنش، پتاسیم بیشتری در بخش‌های فوقانی گیاه تجمع یافت. به طور مثال، در شرایط کمبود رطوبت جذب فسفر کاهش می‌یابد. همچنین در زمانی‌که رطوبت مساعد باشد ممکن است درصد پتاسیم در بافت‌های گیاه کاهش یابد و این موضوع می‌تواند به‌علت رقیق شدن آن باشد.

تنش خشکی تجمع فسفر را در سویا محدود کرده و انتقال فسفر به بذر را کاهش داده است. تنش خشکی وزن خشک اندام هوایی، عملکرد بذر و تجمع فسفر را کاهش داد (جین و همکاران، ۲۰۰۶). افزایش فسفر اثر تنش خشکی را روی رشد گیاه، تجمع فسفر و عملکرد بذر ارقام مختلف جو کاهش داد (جونز و همکاران، ۲۰۰۵). افزایش فسفر در گونه‌های مختلف گیاهی مانند گندم، پنبه، شبدر سفید سبب افزایش عمکرد بیولوژیک، جذب آب و فسفر بیشتر در گیاهان تحت تنش فسفر شد (سینگ و همکاران، ۲۰۰۳).

۲-۲- کود بیولوژیک

در سراسر جهان تحقیقات گسترده‌ای در جهت مقابله با تنش‌های غیر زنده انجام شده است. تولید واریته‌های متحمل به خشکی و گرما، تغییر تاریخ کاشت و روش‌های مدیریت منابع از جمله راهکارهای

مناسب ارائه شده است (ونکاتسوارلو و شنکر، ۲۰۰۹). بسیاری از این روش‌ها هزینه بر و گران هستند. مطالعات اخیر نشان داده است که میکروارگانیسم‌ها نیز توانایی کمک به گیاهان برای مقابله با تنش‌های غیر زنده را دارند. نقش میکروارگانیسم‌ها به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم در افزایش رشد گیاه، مدیریت تغذیه‌ای و کنترل بیماری‌ها به خوبی مشهود می‌باشد (ساکسنا و همکاران، ۲۰۰۵). اخیراً نقش میکروارگانیسم‌ها در مدیریت تنش‌های غیر زنده و زنده از اهمیت زیادی برخوردار است (یانگ و همکاران، ۲۰۰۹).

۲-۲-۱ – باکتری‌های حل‌کننده فسفات به عنوان محرک رشد گیاه

با وجود این‌که تعداد زیادی باکترهای حل‌کننده فسفات در خاک وجود دارد، معمولاً تعداد آن‌ها برای رقابت با سایر باکتری‌های موجود در فضای رایزوسفر کافی نبوده و میزان فسفر آزاد شده برای افزایش رشد گیاه کافی نمی‌باشد. بنابراین تلقیح گیاهان با غلظت‌های بالاتر میکروارگانیسم‌ها نسبت به محیط رایزوسفر، برای بالا بردن حلالیت فسفر و افزایش عملکرد گیاه لازم می‌باشد. گزارشات متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد باکتری‌هایی که پس از تلقیح بذور گیاه و یا خاک، قابلیت انحلال فسفر آلی و یا غیرآلی را در خاک داشته موجب افزایش رشد گیاه می‌گردد (داتا و همکاران، ۱۹۸۲؛ سوبا و همکارن، ۱۹۸۲ و کلوپر و همکاران، ۱۹۸۸). متابولیت‌های تولید شده توسط باکتری‌های مذکور، مانند فیتوهورمون‌ها، آنتی بیوتیک‌ها و یا سیدروفورها و. . . برای رشد گیاه سودمند می‌باشد. مواد تولید شده نقش اساسی در انحلال فسفر و در نتیجه افزایش رشد و عملکردی گیاه دارد (کلوپر و همکاران، ۱۹۸۹و ساسلو، ۱۹۸۲). با توجه به این‌که فسفر قابل دسترس در تغذیه گیاه محدود است (گلدستن، ۱۹۸۶)، شواهد نشان می‌دهد که باکتری‌های حل کنند فسفات نقش مهمی در تغذیه گیاه و در نتیجه افزایش رشد و عملکرد گیاه دارد. چابوت و همکاران (۱۹۹۳) افزایش رشد ذرت و کاهو را توسط PSB ها گزارش کردند. سویه‌های

سودوموناس پوتیدا رشد ریشه و ساقه کلزا و قابلیت جذب فسفر را افزایش می‌دهد (لیفشیتز و همکاران، ۱۹۸۷).

۲-۲-۲- نقش میکروارگانیسم‌ها در تامین عناصر غذایی

گزارش‌های متعددی مبنی بر توانایی گونه‌های مختلف باکتری برای انحلال فسفات معدنی (غیرآلی) وجود دارد. که می‌توان به باکتری‌های جنس سودوموناس، باسیلوس، رایزوبیوم، اگروباکتریوم و . . . اشاره کرد (گلدستین، ۱۹۸۶). در رایزوسفر گیاه، جمعیت قابل توجهی از باکتری‌های حل‌کننده فسفات هوازی و بی‌هوازی وجود دارند و به طور معمول غلظت باکتری‌های مذکور در محیط رایزوسفری نسبت به خاک غیر رایزوسفری بالاتر می‌باشد (الکساندر، ۱۹۷۷). تغییر در غلظت فسفر خاک می‌تواند در نتیجه رسوب فسفر متابولیت‌های آلی بوده (بابنکو و همکاران، ۱۹۸۴)، یا تشکیل ترکیبات فسفر آلی با ترشحات اسیدهای آلی باشد که متعاقباً به عنوان یک منبع انرژی یا ماده مغذی استفاده می‌شود (ایلمر و همکارن، ۱۹۹۲). دلیل دیگر آن می‌تواند تفاوت در سرعت انتشار و جذب فسفر باشد. برخی از مطالعات نشان می‌دهد که برخی از عناصر معدنی در فرآیند انحلال فسفات تاثیرگذار هستند. غلظت بحرانی پتاسیم برای میزان انحلال مطلوب لازم است (بیور و همکاران، ۱۹۸۰). در حالی‌که منیزیم و سدیم برای برخی قارچ‌ها مهم بوده و برای سویه‌های سودوموناس مطلوب نیستند (ایلمر و همکاران، ۱۹۹۲).

خاک حاوی طیف گسترده‌ای از مواد آلی است که می‌تواند به عنوان یک منبع فسفر برای گیاه باشد. فسفات آلی برای در دسترس قرار گرفتن باید به فسفات معدنی تبدیل شود که آنزیم فسفاتاز این واکنش را انجام می‌دهد (سارپاتکا و همکاران، ۱۹۹۷). منبع عمده فعالیت فسفاتاز منشاء میکروبی می‌باشد (ژو و همکاران، ۱۹۹۵). برنز و همکاران (۱۹۸۳) فعالیت فسفاتاز را در رایزوسفر ذرت، جو و گندم مطالعه کرد و نشان داد که فعالیت فسفاتاز در رایزوسفر داخلی در اسیدیته خنثی و اسیدی قابل توجه بود.

باکتری‌های مختلف خاک مانند سویه‌های رایزوبیوم (عبداله، ۱۹۹۴)، باسیلوس (اسکراری و همکاران، ۱۹۹۸) و سودوموناس (گوگی و همکاران،۱۹۹۱) مقادیر قابل توجهی اسید فسفاتاز تولید می‌کنند.

۲-۲-۳- نقش میکروارگانیسم‌ها در تحمل به تنش خشکی

۲-۲-۳-۱- سازگاری میکروارگانیسم‌ها در سطح سلولی

عوامل تنش‌زای مختلف بر عملکرد و کارایی میکروارگانیسم‌ها تاثیر گذارند. بنابراین انتخاب و استقرار میکروارگانیسم‌ها در اکوسیستم‌های در معرض تنش، نیازمند تحقیقات گسترده می‌باشد (ونکاتسوالو و همکاران، ۲۰۰۸).

در شرایط تنش، بیشتر رایزوباکترها مواد محافظ اسمزی[1] مانند K^+، گلوتامات، ترهالوز، پرولین، گلایسین بتائین، پرولین بتائین و ... تولید می‌کنند که سبب تعادل اسمولیتی سیتوپلاسم می‌شوند (بلانکو و برنارند ۱۹۹۴). فضای پروتوپلاسمی باکتری حاوی مقدار زیادی پلی ساکاریدهای آنیونی شناخته شده مانند الیگوساکاریدهای مشتق شده از غشاء می‌باشد. این پلی ساکاریدها برای انتقال توسط پروتئین پورین بزرگ بوده و احتمالاً به عنوان محافظ فشار تورگر پریپلاسم این میکروارگانیسم‌ها عمل می‌کنند (چانگ و همکاران، ۲۰۰۷، ساندیا و همکاران، a ۲۰۰۹).

برخی باکتری‌ها نظیر سودوموناس در شرایط تنش، زنده می‌مانند. که ممکن است ناشی از تولید اگزوپلی ساکاریدها (EPS)[2] باشد که میکروارگانیسم‌ها را در تنش هیدروژنی و نوسانات در پتانسیل آبی از طریق افزایش آب و تنظیم انتشار منابع کربنی در محیط درون میکروارگانیسم محافظت می‌کند (ساندیا و همکاران،b ۲۰۰۹). همچنین اگزوپلی ساکاریدها دارای منافذ آبی و خاصیت تجمعی (سیمانی) هستند،

1. Osmoprotectant

2. Exopoly saccharides

بنابراین نقش کلیدی در تشکیل و ثبات خاکدانه‌ها و تنظیم مواد غذایی و جریان آب در ریشه گیاهان از طریق تشکیل بیوفیلم را دارند (رابرسون و فیرستون، ۱۹۹۲). استفاده از رایزوبیوم، ازتو باکتر، سودوموناس و باسیلوس در اکوسیتم‌های بیابانی، مناطقی با خاک‌های اسیدی، شور و قلیایی در هند گزارش شده است (سلواکومار و همکاران، ۲۰۰۷).

۲-۲-۳-۲- کاهش تنش های غیر زنده در گیاهان توسط ریزوسفر و باکتری‌های اندوفیتیک:

علاوه بر توسعه مکانیسم‌هایی برای تحمل تنش، همچنین میکروارگانیسم‌ها می‌توانند در تحمل در گیاهان نسبت به تنش‌های غیر زنده نظیر خشکی، خسارت یخبندان، شوری، مسمومیت عناصر و دمای بالا اثرات سودمندی داشته باشند. در چند دهه اخیر، سویه‌های مختلف باکتری‌های همزیست شامل ریزوبیوم، باسیلوس، سودوموناس، آزوسپریلیوم، میکروباکتریوم، متیلوباکتریوم، اینترو باکتر و غیره در تحمل گیاه میزبان به تنش‌های مختلف غیر زنده محیطی گزارش شده است. کاربرد این میکروارگانیسم‌ها در کاهش تنش در کشاورزی در حال توسعه و پیشرفت می‌باشد (سروان کومار و سامیاپان، ۲۰۰۷). مکانیسم‌های متنوعی برای کاهش تنش توسط باکتری‌ها در گیاهان پیشنهاد شده است (جدول۲-۱).

جدول ۲-۱- مکانیسم‌های کاهش دهنده تنش توسط باکتری‌ها در گیاهان مختلف

میکروارگانیسم	گیاه	نوع تنش	مکانیسم	منبع
Pseudomonas fluorescens	بادام زمینی	شوری	سنتزACCدی آمیناز	سروان کوما و سامیاپان، ۲۰۰۷
P. putida	کلزا	دمای پایین	سنتزACCدی آمیناز	چانگ و همکاران، ۲۰۰۷
Pseudomonas sp.	لوبیا	خشکی	کاهش تولید اتیلن	ارشد و همکاران، ۲۰۰۸
Pseudomonas sp. AMK-P6	سورگوم	گرما	تولید پروتئین شوک گرمایی	علی و همکاران، ۲۰۰۹
Pseudomonas putida P45	آفتابگردان	خشکی	بهبود خاکدانه های خاک	ساندیا و همکاران، ۲۰۰۹a ,b

تولید ایندول استیک اسید، جیبرلین و برخی عوامل تعیین کننده نامشخص توسط باکتری‌های محرک رشد گیاه، موجب افزایش طول ریشه، سطح جذب ریشه و تعداد ریشه‌های مویی، افزایش نفوذ و جذب مواد غذایی و به موجب آن سبب بهبود سلامتی گیاه تحت شرایط تنش می‌شوند (اگامباردیوا و کاکاروا، ۲۰۰۹). در مقابل برخی دیگر از سویه‌های باکتری‌های محرک رشد گیاه، سیتوکنین و آنتی اکسیدانت تولید کرده که در نتیجه تجمع اسید آبسزیک (ABA) و تخریب گونه‌های فعال اکسیژن را به همراه دارد و فعالیت زیاد آنزیم آنتی اکسیدانت سبب تحمل به تنش اکسیداتیو می‌شوند (استاجنر و همکاران، ۱۹۹۷).

در شرایط تنش، هورمون گیاهی اتیلن درونی سبب تنظیم سنتز هورمونی گیاه می‌شود و در نتیجه سبب کاهش رشد ریشه و اندام هوایی گیاه می‌گردد. در حضور باکتری‌های تولید کننده ACC[1] دی‌آمیناز، به منظور تولید نیتروژن و انرژی ACC گیاه توسط سلول‌های باکتری تجزیه شده و کاهش می‌یابد. علاوه بر این باکتری‌ها اثر مخرب اتیلن را کاهش داده و سبب بهبود سلامت و تحریک رشد گیاه در شرایط تنش می‌شود (گلیک، ۲۰۰۷). سلیم و همکاران (۲۰۰۷) نقش PGPR های حاوی ACC دی‌آمیناز، را در شرایط تنش بررسی کردند. تلقیح با باکتری حاوی ACC دی‌آمیناز، سبب افزایش طول ریشه‌ها می‌شود که ممکن است موجب جذب بیشتر آب از عمق خاک تحت شرایط خشکی شده، در نتیجه سبب افزایش راندمان آب مصرفی در گیاه تحت شرایط خشکی می‌شود (زهیر و همکاران، ۲۰۰۸).

فعل و انفعالات پیچیده و پویا بین میکروارگانیسم‌ها، ریشه، خاک و آب در منطقه ریزوسفر سبب تغییرات فیزیکوشیمیایی و خواص ساختاری در خاک می‌شود. پلی ساکاریدهای میکروبی می‌تواند با اتصال خاکدانه‌های ریز موجب تشکیل خاکدانه‌های درشت شوند. ریشه گیاهان و هیف قارچ‌های همزیست در بین منافذ خاکدانه‌های ریز نفوذ کرده و در نتیجه سبب ثبات خاکدانه‌های درشت می‌شود. تیمار گیاهان

1. Aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC)

با باکتری‌های تولید کننده اگزو پلی ساکاریدها سبب افزایش مقاومت به تنش آبی به علت افزایش بهبود ساختار خاک می‌شود (ساندیا و همکاران،b ۲۰۰۹). همچنین ESP توانایی اتصال به کاتیون Na^+ را دارد که در نتیجه در شرایط شوری این کاتیون برای گیاه غیر قابل دسترس می‌شود. افزایش تولید پرولین همراه با کاهش نشت الکترولیت، موجب حفظ محتوای آب نسبی در برگ‌ها و جذب انتخابی یون پتاسیم شده و در نتیجه تحمل شوری در ذرت تلقیح شده با رایزوبیوم و سودوموناس را به همراه دارد (بانو و فاطیما، ۲۰۰۹). پرولین از غشاها و پروتئین‌ها در برابر تاثیر تجمع خسارت یون‌های معدنی مضر و دمای بالا محافظت می‌کند (اسمیرنوف و کامبیس، ۱۹۸۹).

فصل سوم

مواد و روش ها

۳-۱- زمان و موقعیت محل اجرای آزمایش

آزمایش در سال ۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود، واقع در شهر بسطام (کیلومتر ۸ جاده شاهرود- آزادشهر) اجرا شد. شهرستان شاهرود در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی واقع شده است و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۶۶ متر است. منطقه بسطام دارای اقلیم سرد و خشک است. میانگین بارندگی سالانه در این منطقه بین ۱۵۰ تا ۱۶۰ میلی متر است و بارندگی‌ها عمدتاً در فصل پاییز و زمستان رخ می‌دهد. حداقل و حداکثر دمای منطقه به ترتیب ۱۳- و ۳۹ درجه سانتی گراد است. بر اساس اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی شاهرود، در سال زراعی ۸۹-۸۸ مجموع بارندگی در این منطقه ۱۷۸/۵ میلی متر و میانگین حداقل و حداکثر دمای روزانه به ترتیب ۵/۸ و ۲۰/۱ درجه سانتی گراد بوده است.

۳-۲- خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش

نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری در جدول ۳-۱ نشان داده شده است.

جدول ۳-۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

پارامتر های اندازه گیری شده	مقدار	واحد
درصد اشباع(SP)	۳۰/۶	درصد
هدایت الکتریکی($Ec\times 10^3$)	۸/۰۹	دسی‌زیمنس بر متر
اسیدیته گل اشباع(pH of pasta)	۷/۸۹	-
درصد مواد خنثی شونده(T.N.V.)	۲۷	درصد
کربن آلی(O.C)	۰/۷۹	درصد
ازت کل(Total N)	۰/۰۵۷	درصد
فسفر قابل جذب(P (ava)	۱۴	پی‌پی‌ام
پتاسیم قابل جذب (K (ava	۱۴۳	پی‌پی‌ام
رس (Clay)	۲۲	درصد
لای (Silt)	۴۶	درصد
شن (Sand)	۳۲	درصد
درصد رطوبت	۱/۵	درصد
نسبت جذب سدیم[1] (SAR)	۴/۱	-
مجموعه کاتیون‌ها	۸۱/۲	میلی‌اکی‌والان در لیتر
Na+	۲۲/۲	میلی‌اکی‌والان در لیتر
Mg^{2+}	۲۶	میلی‌اکی‌والان در لیتر
Ca2+	۳۳	میلی‌اکی‌والان در لیتر
مجموع آنیون‌ها	۸۰/۶	میلی‌اکی‌والان در لیتر
SO_4^{2-}	۲۸/۶	میلی‌اکی‌والان در لیتر
Cl-	۴۷/۵	میلی‌اکی‌والان در لیتر
HCO_3^-	۴/۵	میلی‌اکی‌والان در لیتر
$CO3^-$	۰	میلی‌اکی‌والان در لیتر

1.Sodium Absorption Ratio

۳-۳- مشخصات طرح آزمایش

این آزمایش به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه روی گیاه سیب‌زمینی اجرا شد.

فاکتورهای آزمایش عبارت بودند از: آبیاری به عنوان فاکتور اصلی با سه سطح، دور آبیاری ۷روزه (a_0)، دور آبیاری۱۰ روزه (a_1) و دور آبیاری ۱۴ روزه (a_2) و باکتری سودوموناس به عنوان فاکتور فرعی اول در دو سطح، عدم تلقیح با باکتری (b_0) و تلقیح با باکتری (b_1) و دو رقم سیب‌زمینی به عنوان فاکتور فرعی دوم، ساوالان (c_1) و اگریا (c_2). بنابراین تعداد تیمارها ۱۲ و تعداد کل کرت‌های آزمایشی ۳۶ کرت بود. نقشه کشت در شکل ۳-۱ مشاهده می‌گردد.

	a_2				a_0				a_1			
تکرار اول	b_1 c_1	b_1 c_2	b_0 c_1	b_0 c_2	b_0 c_2	b_1 c_1	b_1 c_2	b_0 c_1	b_0 c_2	b_1 c_2	b_1 c_1	b_0 c_1
	a_2				a_1				a_0			
تکرار دوم	b_0 c_2	b_1 c_1	b_1 c_2	b_0 c_1	b_1 c_2	b_0 c_1	b_1 c_1	b_0 c_2	b_0 c_1	b_1 c_2	b_1 c_1	b_0 c_2
	a_0				a_1				a_2			
تکرار سوم	b_1 c_1	b_0 c_2	b_0 c_1	b_1 c_2	b_0 c_1	b_1 c_2	b_1 c_1	b_0 c_2	b_0 c_2	b_1 c_1	b_0 c_1	b_1 c_2

شکل۳-۱- نقشه طرح آزمایشی مورد استفاده در مزرعه شامل دور آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم (a_0-a_1-a_2- به ترتیب دور آبیاری ۷ ، ۱۰ و ۱۴ روزه * b_1-b_2- به ترتیب عدم تلقیح و تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسنس* c_1-c_2- به ترتیب رقم ساوالان و اگریا می باشند).

۳-۴- عملیات اجرایی

۳-۴-۱- آماده سازی زمین

دو هفته قبل از کاشت در تاریخ ۲۰ اردیبهشت ۱۳۸۹ آماده سازی زمین با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار و دیسک صورت گرفت و سپس پشته‌هایی با فاصله خطوط ۶۰ سانتی متر در مزرعه ایجاد شد. ضمناً، دوخط به صورت نکاشت برای رعایت فاصله بین کرت‌ها در نظر گرفته شد.

۳-۴-۲- تلقیح غده‌ها

غدد سیب‌زمینی پس از شستشو برش داده شد، به طوری‌که هر قطعه سیب‌زمینی دارای دو یا سه جوانه چشمی باشد. سپس غدد را در سایه با باکتری سودوموناس فلورسنس محلول پاشی نموده به‌طوری‌که تمام غدد با آن آغشته شوند و پس از آن غدد کشت شدند.

مایه تلقیح باکتریایی به صورت مایع از بانک میکروبی موسسه تحقیقات آب و خاک تهیه شد. مایه تلقیح باکتریایی حاوی، *Pseudomonas fluorescent* strain- 169 و جمعیت آن در مایه تلقیح استفاده شده حدود $۱۰^{۸}$سلول در هر گرم باکتری بود.

۳-۴-۳- عملیات کاشت، داشت، برداشت

عملیات کاشت در تاریخ ۳خرداد ۱۳۸۹ به صورت دستی انجام شد. هر کرت آزمایشی دارای ۵ خط کاشت به طول ۶ متر بود و فاصله بین خطوط ۶۰ سانتی متر و فاصله بوته ها روی ردیف ۲۰ -۱۵ سانتی متر و عمق کاشت ۱۵ - ۱۰ سانتی‌متر بود. دو خط کناری به عنوان حاشیه و ۳ خط وسط جهت اندازه‌گیری‌های تعریف شده در آزمایش در نظر گرفته شد.

آبیاری به روش جوی و پشته ای و تا زمان استقرار بوته‌ها به صورت منظم و ثابت انجام شد و پس از استقرار بوته‌ها، سطوح تنش کم‌آبیاری اعمال شد. مقادیر آب مصرفی در هر آبیاری یکسان بود. طی دوران داشت، دو بار وجین کامل علف‌های هرز به صورت دستی و همچنین خاک‌دهی پای بوته‌ها انجام شد.

برداشت محصول به صورت دستی و در تاریخ ۱۳ آبان ماه ۱۳۸۹ صورت گرفت. ۸ بوته برای ارزیابی عملکرد تعیین و برداشت شد. غده‌ها پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل شده و وزن تر، قطر غده و وزن خشک غده‌ها اندازه‌گیری شد.

۳-۵- نمونه برداری

پس از اعمال تیمارها، هفت بار نمونه برداری به روش تخریبی در طول فصل رشد انجام شد. در شش نمونه برداری اول که در زمان‌های ۷۲، ۸۵، ۱۰۰، ۱۱۵، ۱۳۰ و ۱۴۵ روز پس از کاشت صورت گرفت، از دو ردیف وسط هر کرت، ۳ بوته به عنوان معیار برداشت گردید. نمونه‌ها پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل شده و به چهار بخش برگ، ساقه، ریشه و غده تفکیک شدند. سپس اجزای تفکیک شده گیاه درون پاکت‌های مجزا قرار داده شده و توسط دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند. نمونه‌های خشک شده توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند.

۳-۶- صفات فیزیولوژیک

۳-۶-۱ محتوای آب نسبی برگ (RWC)[1]

مقدار نسبی آب برگ قبل و بعد از آبیاری در ۱۰۳ و ۱۰۵ روز پس از کاشت بر حسب درصد اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین مقدار آب نسبی برگ، از هر کرت سه بوته به طور تصادفی انتخاب شده و چهارمین برگ از بالا که برگ جوان و کاملاً رشد یافته بود، برداشت شد. برگ‌ها بلافاصله درون

1. Relative Water Content

پوشش‌های پلاستیکی داخل یخدان قرار داده و به آزمایشگاه منتقل شدند. برگ‌ها با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین (وزن تر) و سپس به مدت ۲۴ ساعت درون آب مقطر در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از گذشت این مدت، برگ‌ها از آب مقطر خارج گردیده و پس از خشک شدن آن‌ها روی کاغذ صافی، مجدداً توزین شدند (وزن اشباع). سپس نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس وزن شدند (وزن خشک). مقدار نسبی آب برگ با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (لویت، ۱۹۸۰).

رابطه (۳-۱) RWC = {(وزن خشک – وزن اشباع) / (وزن خشک – وزن تر)} × ۱۰۰

۳-۶-۲- محتوی کلروفیل برگ

برای سنجش کلروفیل از بافت تازه برگ استفاده شد. به ۰/۰۱ گرم از بافت برگ ۷ میلی‌لیتر دی متیل سولفوکسید اضافه کرده و نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از گذشت این زمان نمونه‌ها را از آون خارج کرده و پس از سرد شدن با قرار دادن در اسپکتروفتومتر مدل (Jenway 6305 ساخت شرکت Jenway انگلیس) میزان جذب نمونه‌های حاوی کلروفیل در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانو متر قرائت گردید (هیسوکس و ایسریلستام، ۱۹۷۹).

رابطه (۳-۲) [1]*Chl* a (μg/g) = (۱۲/۲۵ * A663) – (۲/۵۵ * A645)

رابطه (۳-۳) *Chl* b (μg/g) = (۲۰/۳۱ * A645) – (۴/۹۱ * A663)

رابطه (۳-۴) *Chl* (total) = *Chl* a + *Chl* b

1. Chlorophyll

۳-۶-۳- فسفر خاک

فسفر خاک به روش اولسن (۱۹۵۴) اندازه گیری شد. به این ترتیب که ۱ گرم از نمونه خاک با ۲۰ میلی لیتر محلول عصاره گیر بیکربنات سدیم ۰/۵ مولار برای ۳۰ دقیقه شیکر شد. سپس نمونه‌ها به منظور جداسازی فاز محلول از ذرات معدنی صاف شده و پس از آن به ترتیب ۲۰۰۰، ۶۰۰ و ۶۰۰ میکرولیتر آب مقطر، عصاره نمونه و معرف رنگی به کوت‌ها اضافه شد. بعد از کامل شدن رنگ آبی میزان جذب را با استفاده از اسپکتروفتومتر (Jenway 6305 ساخت شرکت Jenway انگلیس)، در طول موج ۸۸۲ نانومتر قرائت شد. برای محاسبه غلظت فسفر نمونه‌ها، منحنی استاندارد رسم گردید و از معادله خطی بدست آمده برای تعیین غلظت‌های نمونه‌های فسفر استفاده شد.

۳-۶-۴- فسفر گیاه

برای تعیین درصد فسفر ۲ گرم از پودر بافت خشک شده برگ را با دقت ۰/۰۰۱گرم توزین و در بوته چینی ریخته و در کوره الکتریکی ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت حرارت داده شد. خاکستر حاصل را با آب مقطر کمی خیس کرده و به آن ۱۰ میلی لیتر اسید هیدروکلریک ۲ مول اضافه و بعد از اتمام فعل و انفعالات، محتویات را از کاغذ صافی ریز عبور داده و به داخل بالن ژوژه ۱۰۰میلی لیتر ریخته شد. عصاره نهایی به حجم ۱۰۰میلی لیتر رسانیده شد. مقدار ۵ سی سی از محلول عصاره حاصل را به داخل بالن ژوژه ۲۵ میلی لیتر ریخته و ۵ سی سی به آن محلول آمونیوم مولیبدات- وانادات اضافه کرده و به حجم رسانده شد. سپس میزان جذب را با دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید و درصد فسفر گیاه با توجه به فسفر قرائت شده محاسبه شد (واهینگ و همکاران، ۱۹۸۹).

۳-۶-۴- پتاسیم برگ

برای تعیین درصد پتاسیم ۲ گرم از پودر بافت خشک شده برگ را با دقت ۰/۰۰۱گرم توزین و در بوته چینی ریخته و در کوره ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت حرارت داده شد. خاکستر حاصل را با آب مقطر کمی خیس کرده و به آن ۱۰میلی لیتر اسید هیدروکلریک ۲ مول اضافه و بعد از اتمام فعل و انفعالات محتویات بوته از کاغذ صافی ریز عبور داده و به داخل بالن ژوژه ۱۰۰میلی لیتر ریخته شد. عصاره نهایی به حجم ۱۰۰میلی لیتر رسانیده شد. محلول حاصل از عصاره گیری را به نسبت ۱ به ۹ با کلرور سزیم رقیق کرده و جذب با دستگاه فلم فتومتر و در طول موج ۷۶۶/۵ نانومتر قرائت گردید و درصد پتاسیم برگ با توجه به پتاسیم قرائت شده محاسبه شد (غازان شاهی، ۱۳۸۵).

۳-۶-۶- پرولین

برای اندازه‌گیری پرولین از روش بیتز و همکاران (۱۹۷۳) استفاده گردید. پس از توزین ۰/۵ گرم از نمونه‌های برگی خشک پودر شده ، مقدار ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳ درصد اضافه گردید و به‌مدت ۷۲ ساعت در یخچال نگهداری شد، سپس محلول از کاغذ صافی عبور داده شد و ۲ میلی‌لیتر از آن به لوله‌های آزمایش منتقل شد. به هر لوله ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال و ۲ میلی‌لیتر معرف ناین‌هیدرین اضافه گردید. لوله‌ها به مدت یک ساعت در بن ماری جوش قرار گرفت. پس از سرد شدن لوله‌ها، به هرکدام از آن‌ها ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه گردید و محلول هم زده شد. سپس قسمت رویی محلول برداشته و میزان جذب آن را در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. برای محاسبه میزان پرولین نمونه‌ها، منحنی استاندارد تعیین غلظت پرولین نیز رسم گردید. معادله خطی بدست آمده برای تعیین غلظت‌های مجهول پرولین مورد استفاده قرار گرفت.

۳-۶-۷- پایداری و خسارت غشای پلاسمایی

برای اندازه‌گیری پایداری غشای پلاسمایی، ۰/۱ گرم نمونه برگ به صورت قطعات یکسان بریده شد و در داخل دو سری لوله آزمایش حاوی ۱۰ میلی لیتر آب مقطر قرار گرفت. یکسری از نمونه‌ها ابتدا در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت نیم ساعت ($\mathbf{C_1}$) قرار گرفته و سپس هدایت الکتریکی نمونه‌ها به کمک دستگاه **EC** متر (مدل- **Jenway**) اندازه‌گیری شد. سری دوم لوله‌های آزمایش حاوی نمونه‌ها نیز به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد ($\mathbf{C_2}$) قرار گرفته و پس از سرد شدن، هدایت الکتریکی آنها اندازه‌گیری شد و شاخص پایداری غشا از فرمول زیر بدست آمد (سایروم و سریواساوا ، ۲۰۰۱).

رابطه (۳-۵) $\text{شاخص پایداری غشاء پلاسمایی} = (1- C_1/C_2) \times 100$

همچنین برای اندازه‌گیری خسارت غشای پلاسمایی، لوله‌های آزمایش حاوی بافت‌های گیاهی در شرایط عادی آزمایشگاه قرار گرفت و هر ۱۰ساعت یک بار هدایت الکتریکی آن‌ها اندازه‌گیری شد، تا میزان نشت یونی که توسط **EC** متر قرائت شده در دو مرحله متوالی تقریبا ثابت بماند. آخرین عدد ثابت به عنوان($\mathbf{C_1}$) و عدد قرائت شده در دمای ۱۰۰درجه به عنوان ($\mathbf{C_2}$) در نظر گرفته شد و در فرمول جایگزین گردید، **EC** آب مقطر به عنوان ($\mathbf{C_w}$) معادل، (ds/m)۰/۰۱ می‌باشد (ریزا و همکاران، ۱۹۹۴).

رابطه (۳-۶) $\text{خسارت غشاء پلاسمایی} = (C_1-C_w)/(C_2-C_w)$

۳-۶-۸- پروتئین غده

اندازه گیری پروتئین شامل ۳ بخش می‌باشد. مقدار نیتروژن موجود در غده به روش کجلدال[1] تعیین گردید. برای مرحله هضم کجلدال از اجاق هضم کننده 2040 Digester از شرکت Foss tecator و برای مراحل تقطیر و تیتراسیون از دستگاه تمام خودکار Kjeltec Analysis Unit 2300 از همان شرکت استفاده گردید. برای انجام عمل هضم مقدار ۱ گرم از نمونه غده پودر شده را درون فلاسک‌های شیشه‌ای مخصوص کجلدال ریخته و یک عدد قرص کاتالیزور شامل ۱/۵ گرم سولفات پتاسیم و ۰/۱۵گرم سولفات مس به هر فلاسک اضافه گردید. سپس به هر فلاسک ۲۰ میلی لیتر اسید سولفوریک ۹۸٪ افزوده شد و فلاسک‌ها درون اجاق مخصوص قرار داده شدند. دمای اجاق به آرامی و هر بار ۴۰ درجه سانتی گراد افزایش یافت تا به دمای ۳۸۰ درجه سانتی گراد رسید. این شیوه برای جلوگیری از جوشش و کف کردن مواد درون فلاسک‌ها بسیار موثر بود. پایان عمل هضم پس از ۲ تا ۲/۵ ساعت و با تبدیل محلول سیاهرنگ درون فلاسک‌ها به محلولی نسبتا زلال به رنگ سبز بسیار کمرنگ مشخص می‌شد. مقدار نیتروژن نمونه‌ها پس از سرد شدن در دمای آزمایشگاه توسط دستگاه کجلدال سنجیده شد. دستگاه دارای سه مخزن آب مقطر، هیدروکسید سدیم۴۰ درصد و محلول دریافت کننده بود. محلول دریافت کننده از ترکیب ۱۰۰ میلی لیتر برومو کروزول سبز (۰/۱ گرم برومو کروزول سبز در ۱۰۰ میلی لیتر الکل)، ۷۰ میلی لیتر متیل قرمز (۰/۱ میلی گرم متیل قرمز در ۱۰۰ میلی لیتر الکل) و ۱۰ لیتر اسید بوریک ۱ درصد تشکیل شده بود.

پس از قرارگیری فلاسک‌ها در دستگاه به ترتیب ۲۰ میلی لیتر آب مقطر و ۳۰ میلی لیتر سود سوز آور ۴۰ درصد به نمونه اضافه شده و با فشار بخار آب عمل تقطیر انجام گرفت. طی مرحله تقطیر نیتروژن موجود در نمونه به صورت گاز آمونیاک متصاعد شده و رنگ محلول حاوی نمونه به قهوه‌ای سوخته تبدیل

1. kjeldahl

می گردد. گاز آمونیاک حاصل به ظرفی حاوی محلول دریافت کننده منتقل شده و به همراه اسید بوریک، بورات آمونیوم را تشکیل می‌دهد که معرف‌های موجود در محلول دریافت کننده آن را به صورت رنگ سبز نمایان می‌سازند. عمل تیتراسیون نیز توسط دستگاه صورت گرفت. طی این عمل بورات آمونیوم حاصل در محلول دریافت کننده توسط مقدار کافی از محلول تیتریزول اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال و تا رسیدن به رنگ ارغوانی تیره تیتر شد. مقدار نیتروژن موجود در نمونه بر اساس مقدار اسید کلریدریک مصرف شده در تیتراسیون توسط دستگاه مشخص گردید. از رابطه ۳-۸ به منظور تبدیل مقدار اسید کلریدریک ۰/۱ مولار مصرف شده در تیتراسیون به نیتروژن نمونه ذکر شده است.

درصد نیتروژن = (A ×۰/۱۴) / وزن نمونه (گرم) (رابطه ۳-۷)

در این رابطه A حجم اسید کلریدریک ۰/۱ مولار مصرفی بر حسب میلی لیتر می‌باشد. برای تبدیل درصد نیتروژن به درصد پروتئین از رابطه ۳-۹ استفاده گردید.

درصد پروتئین نمونه = درصد نیتروژن × ضریب تبدیل نیتروژن (رابطه۳-۸)

۳-۷- شاخص های رشد گیاه

برای محاسبه شاخص‌های رشد گیاهی از روابط زیر استفاده شد (وارن ویلسون، ۱۹۸۱).

۳-۷-۱- شاخص سطح برگ (LAI)[1].

شاخص سطح برگ، یکی از شاخص‌های مهم برای تعیین رشد گیاه است. شاخص سطح برگ بیان کننده‌ی نسبت سطح برگ (فقط یک طرف برگ) به سطح زمین اشغال شده توسط گیاه است (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۲).

رابطه (۳-۹)

$$LAI= [(LA 2 + LA 1) / 2] (1/GA)$$

LA : سطح برگ(سانتی‌متر مربع)

GA: سطح زمین

۳-۷-۲- سرعت رشد گیاه (CGR)[2]

سرعت رشد محصول، افزایش وزن یک اجتماع گیاهی در واحد سطح و در واحد زمان می باشد و به طور وسیعی در تجزیه و تحلیل رشد محصولات به کار گرفته شده است (کوچکی و سرمدنیا،۱۳۸۲).

رابطه (۳-۱۰)

$$CGR= (W2-W1)/(T2-T1)GA$$

W : وزن خشک گیاه (گرم)

T: زمان نمونه برداری (روز)

GA: سطح زمین

1. Leaf Area Index

2. Crop Growth Rate

۳-۷-۳- سرعت رشد نسبی (RGR)[1]

سرعت رشد نسبی بیان‌کننده وزن خشک اضافه شده به وزن اولیه در یک فاصله زمانی است.

رابطه (۳-۱۱) $RGR= (Ln\ W2- Ln\ W1)/ (T2-T1)$

W : وزن خشک گیاه (گرم)

T: زمان نمونه برداری (روز)

۳-۸- محاسبات آماری طرح

تجزیه تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و MSTATC انجام شد و نمودارها با استفاده از نرم افزارExcel رسم شدند.

1. Relative Growth Rate

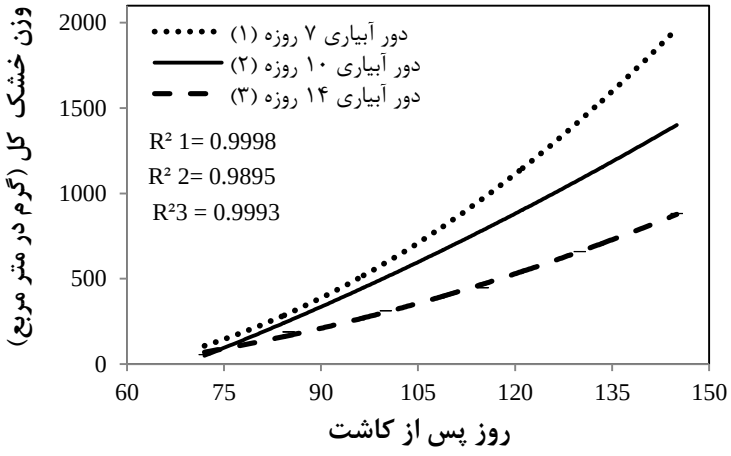
فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- صفات مورفولوژیکی گیاه

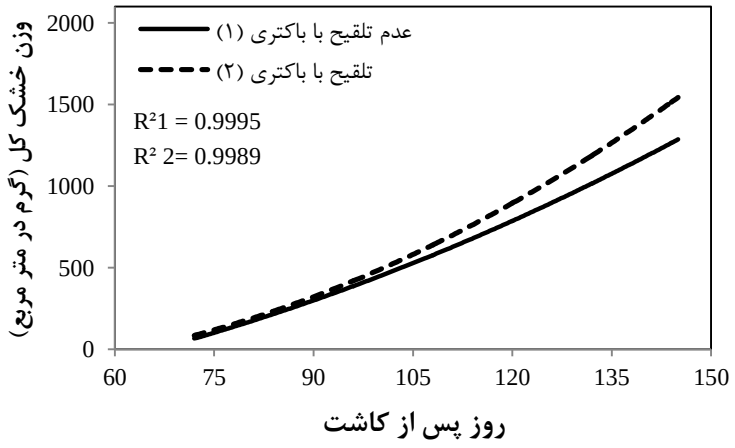
۴-۱-۲- وزن خشک کل

روند تغییرات وزن خشک کل (وزن خشک برگ+ ساقه+ غده) تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری در طول دوره رشد در شکل ۴-۱ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴-۱ وزن خشک کل در طول دوره رشد روند افزایشی داشته است. در مراحل اولیه اندازه‌گیری (آغاز غده‌بندی تا رشد غده‌ها) سه تیمار تنش کم‌آبیاری اختلاف زیادی با یکدیگر نداشته ولی از شروع مرحله رشد و پر شدن غده دور آبیاری ۷ روزه نسبت به ۱۰و ۱۴ روزه از شیب بالاتری برخوردار بود. که این روند تا انتهای مرحله رشد غده و رسیدگی ادامه دارد. افزایش دور آبیاری می‌تواند از طریق کاهش سطح برگ، تعداد برگ و همچنین از طریق خسارات فیزیولوژیکی به رنگدانه‌های فتوسنتزی و غشای سلولی بر وزن خشک کل اثرات منفی داشته و موجب کاهش آن در طول دوره رشد گردد.



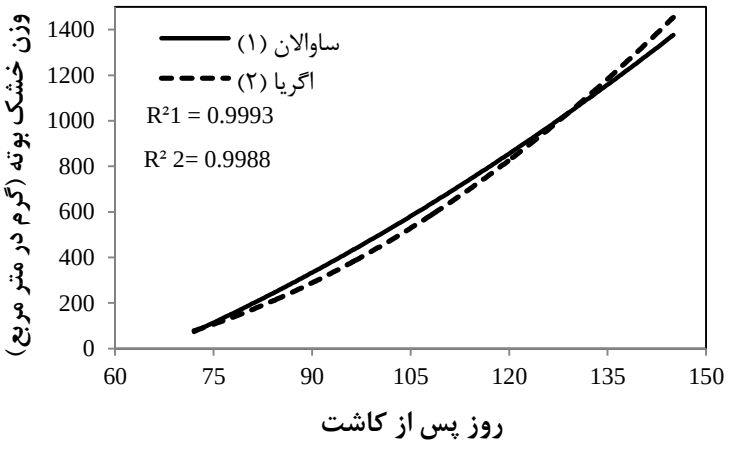
شکل ۴-۱- روند تغییرات وزن خشک کل تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری

شکل ۴-۲ روند تغییرات وزن خشک کل تحت تاثیر باکتری سودوموناس فلورسنس را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تا ۱۰۰ روز پس از کاشت، هر دو سطح باکتری روند مشابهی داشته و افزایش می‌یابد. از اواسط مرحله رشد غده تلقیح با باکتری شیب بیشتری دارد. که می‌توان یکی از دلایل احتمالی آن را چنین ذکر کرد که باکتری سودوموناس فلورسنس از طریق اثرات مثبتی که بر خاک و انحلال مواد غذایی دارد، موجب افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی شده و در نتیجه افزایش رشد و تجمع ماده خشک را به همراه دارد. نتایج تحقیقات اشرف و همکاران (۲۰۰۴) حاکی از آنست که تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده فسفات قادر است با بهبود شرایط خاک، وزن خشک گیاه را افزایش دهند.



شکل ۴-۲- روند تغییرات وزن خشک کل تحت تاثیر باکتری سودوموناس

مقایسه روند تغییرات وزن خشک کل تحت تاثیر رقم در شکل ۴-۳ نشان می‌دهد که رقم ساوالان و اگریا به جز مرحله اول نمونه برداری در سایر نمونه برداری‌ها اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.



شکل ۴-۳- روند تغییرات وزن خشک کل تحت تاثیر رقم

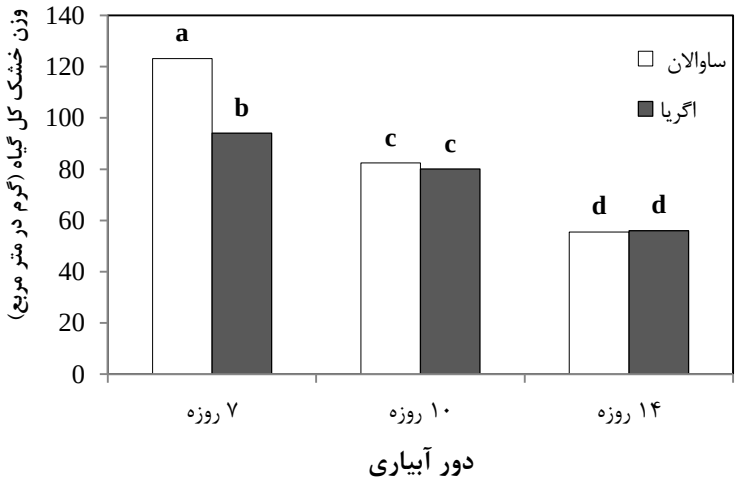
تنش آبی موجب کاهش رشد و عملکرد سیب زمینی می‌شود. تنش آبی در مرحله رشد رویشی و تا قبل از مرحله تشکیل غده‌ها، سطح برگ، تعداد ساقه های فرعی، سیستم ریشه، ارتفاع بوته و به طور کلی نمو پوشش سبز گیاه را کاهش می‌دهد .دومین مرحله رشد سیب زمینی مرحله تشکیل غده‌هاست که تنش آبی در این مرحله یکی از اجزای عملکرد یعنی تعداد غده در بوته را کاهش می‌دهد .سومین مرحله رشد گیا ه سیب زمینی، مرحله بزرگ شدن غده‌هاست .در این مرحله تنش آبی به شدت عملکرد و کیفیت محصول را کاهش می‌دهد. آخرین مرحله رشد گیاه سیب زمینی، مرحله رسیدگی است .در این مرحله پوشش سبز گیاه کاهش یافته و پوست غده‌ها ضخیم شده و نیاز آبی گیاه کاهش می‌یابد (اخوان و همکاران، ۲۰۰۷).

به منظور بررسی بیشتر تاثیر سطوح آزمایشی بر وزن خشک کل به شرح دو مرحله از نمونه‌برداری، مرحله آغاز غده‌بندی (۷۲ روز پس از کاشت) و اواسط پر شدن غده (۱۱۵ روز پس از کاشت) می‌پردازیم.

مرحله آغاز غده‌بندی:

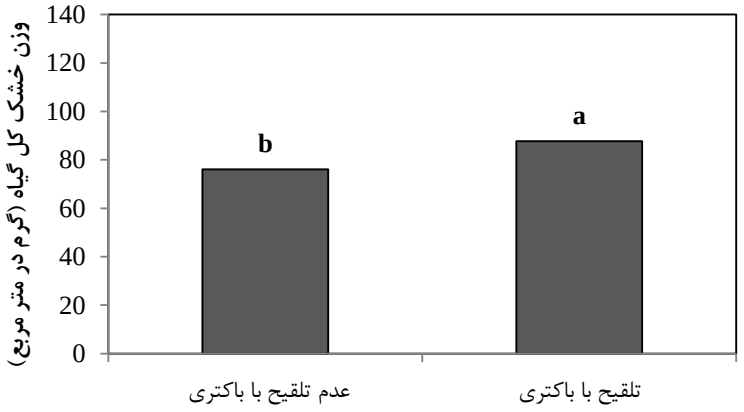
طبق نتایج تجزیه واریانس جدول پیوست (۴-۱)، در ۷۲ روز پس از کاشت، تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس، رقم و همچنین اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و رقم بر وزن خشک کل گیاه اثرات معنی‌داری داشته‌اند ($p < ۰/۰۱$).

همانطور که در شکل ۴-۴ مشاهده می‌گردد، بیشترین تجمع ماده خشک (۱۲۳/۲۱ گرم در مترمربع) در تیمار دور آبیاری ۷ روزه و رقم ساوالان و کمترین مقدار (۵۵/۵۲ گرم درمترمربع) در دور آبیاری ۱۴ روزه و رقم ساوالان حاصل شد. وزن خشک کل رقم ساوالان در دور آبیاری ۱۴ روزه نسبت به دور آبیاری ۷ و ۱۰ روزه به ترتیب به میزان ۵۴/۹۳ و ۳۲/۶۵ درصد کاهش نشان داد. همچنین رقم اگریا در دور آبیاری ۱۴ روزه نسبت به ۷ و ۱۰ روزه کاهش ۴۰/۴۰ و ۳۰/۰۱ درصدی در وزن خشک کل داشت. با توجه به این نتایج می‌توان بیان کرد که رقم اگریا با افزایش دور آبیاری نسبت به رقم ساوالان کاهش کمتری در وزن خشک کل نشان داد.



شکل ۴-۴- مقایسه میانگین وزن خشک کل تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و رقم در ۷۲ روز پس از کاشت

همچنین در این مرحله از رشد گیاه (آغاز غده‌بندی)، تیمار باکتری سودوموناس بر وزن خشک کل گیاه اثر معنی‌داری داشت. به طوری که تلقیح با باکتری سودوموناس نسبت به عدم تلقیح سبب افزایش ۱۵/۲۵ درصدی وزن خشک کل گردید (شکل ۴-۵).

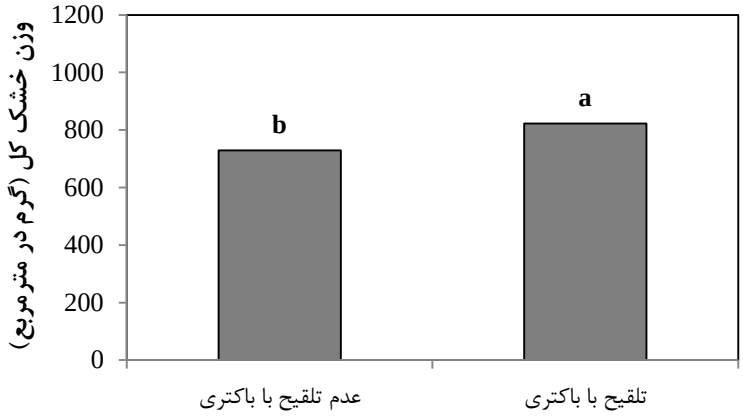


شکل ۴-۵- مقایسه میانگین وزن خشک کل گیاه تحت تاثیر تلقیح با باکتری سودوموناس در ۷۲ روز پس از کاشت

اواسط پر شدن غده:

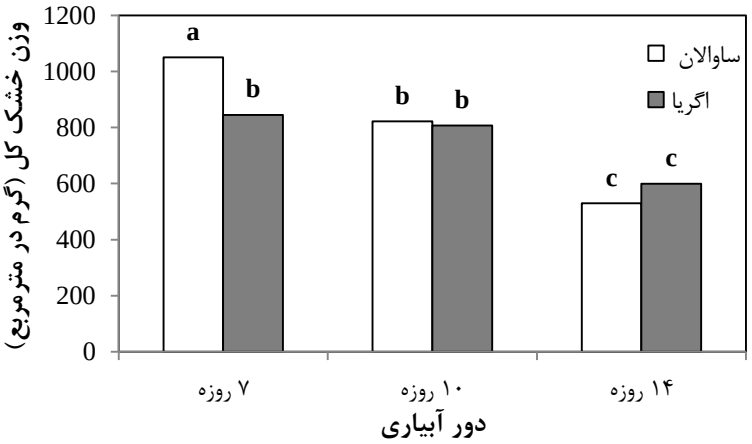
با توجه به نتایج تجزیه واریانس جدول پیوست (۴-۱)، وزن خشک کل در ۱۱۵ روز پس از کاشت (اواسط پر شدن غده) تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و رقم قرار گرفت ($p < ۰/۰۵$).

با توجه به شکل ۴-۶ ، تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسنس موجب افزایش وزن خشک کل نسبت به شرایط عدم تلقیح شده است. وزن خشک کل در شرایط عدم تلقیح باکتری به ترتیب به میزان ۷۲۸/۶۱ و ۸۲۲/۱۹ گرم در متر مربع بود. که تلقیح با باکتری موجب افزایش ۱۲/۸۴ درصدی و تلقیح با وزن خشک کل گردید.



شکل ۴-۶- مقایسه میانگین وزن خشک کل تحت تاثیر تلقیح با باکتری سودوموناس در ۱۱۵ روز پس از کاشت

شکل (۴-۷) مقایسه میانگین ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و رقم را در ۱۱۵ روز پس از کاشت نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود بیشترین وزن خشک کل در بین ترکیبات تیماری، مربوط به تیمار دور آبیاری ۷ روزه و رقم ساوالان (۱۰۵۰/۵۸ گرم در مترمربع) و کمترین میزان آن مربوط به تیمار دور آبیاری ۱۴ روزه و رقم ساوالان (۵۲۹/۵۹ گرم در متر مربع) می‌باشد.



شکل ۴-۷- مقایسه میانگین وزن خشک کل تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و رقم در ۱۱۵ روز پس از کاشت

در شرایط تنش رطوبتی، کاهش ماده خشک می‌تواند به دلیل کاهش سطح برگ گیاه (رستمی و همکاران، ۲۰۰۳)، کاهش فشار آماس سلول و همچنین کاهش نرخ فتوسنتزی بدلیل محدودیت‌های بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب از قبیل کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی به خصوص کلروفیل (لولر و همکاران، ۲۰۰۲) و تاثیر بر روزنه ها، آنزیم‌های چرخه کالوین (امام و نیک نژاد، ۲۰۰۴) باشد. نتایج تحقیقات توکلی و همکاران (۱۹۸۹)، بویر (۱۹۶۸) و دک (۱۹۸۶) نیز کاهش تجمع ماده خشک گیاهان مختلف را در شرایط تنش خشکی نشان می‌دهد. باکتری سودوموناس می‌تواند از طریق بهبود شرایط خاک و افزایش فراهمی آب و عناصر غذایی موجب بهبود رشد و تجمع ماده خشک در شرایط کم‌آبیاری می‌شود. استفاده از باکتری‌های سودوموناس با تغییر در فعالیت برخی از آنزیم‌ها در ریشه و توانایی تثبیت ازت مولکولی، جذب بیشتر عناصر ازت و فسفر را موجب شده (قریب و همکاران، ۲۰۰۸) و از طریق تولید سیدروفورها، سنتز آنتی بیوتیک‌ها و تولید هورمون‌های گیاهی (عبدالجلیل و همکاران، ۲۰۰۷؛ استیکن و همکاران، ۲۰۰۶ ؛ مبلا و وارمن، ۲۰۰۵؛ افتخاری و همکاران، ۱۳۸۹) در مجموع موجب تجمع ماده خشک و افزایش رشد رویشی در گیاه می‌شود. نتایج تحقیقات مارولاندا و همکاران (۲۰۰۹)، اوزتوک و همکاران (۲۰۰۳)، افضل و اصغری (۲۰۰۸) و ریبایدو و همکاران (۲۰۰۶) با نتایج این تحقیق مطابقت دارند.

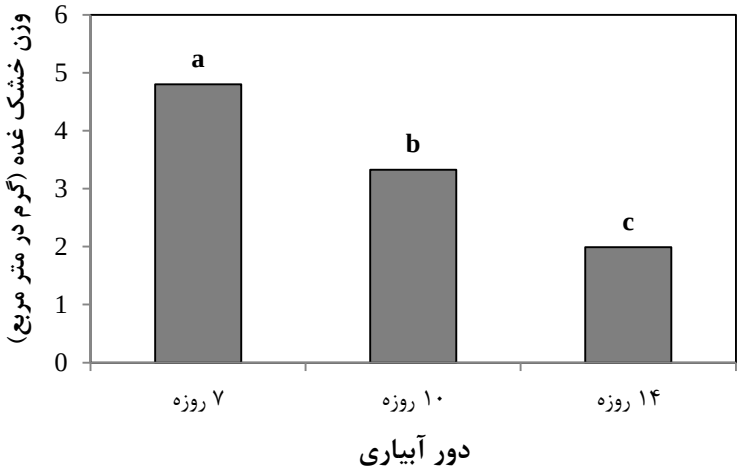
۴-۱-۲- وزن خشک غده

مرحله آغاز غده‌بندی

با توجه به جدول پیوست (۴-۲)، در ۷۲ روز پس از کاشت، تیمار تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس بر وزن خشک غده معنی‌دار شد ($p < ۰/۰۱$).

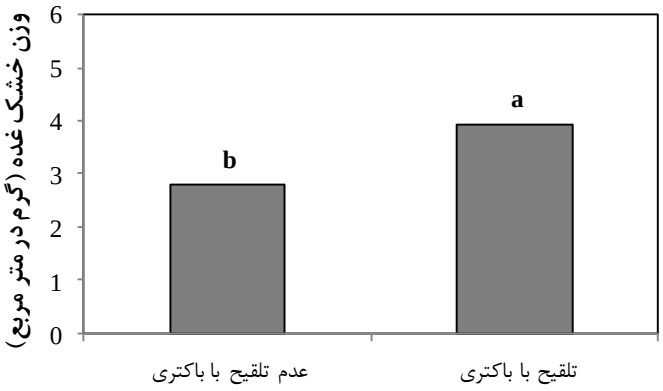
همانطور که در شکل ۴-۸ مشاهده می‌شود، با افزایش دور آبیاری وزن خشک غده کاهش می‌یابد. بیشترین وزن خشک غده مربوط به تیمار دور آبیاری ۷ روزه به میزان ۴/۸۰ گرم در متر مربع و کمترین

مقدار آن در دور آبیاری ۱۴ روزه به میزان ۱/۹۹ گرم در متر مربع می‌باشد. وزن خشک غده در دور آبیاری ۱۰ روزه نسبت به ۷ روزه کاهش ۳۰/۶۲ درصدی داشت. همچنین وزن خشک غده در دور آبیاری ۱۴ روزه نسبت به ۷ روزه ۵۸/۵۴ درصد کاهش داشت.



شکل ۴-۸- مقایسه میانگین وزن خشک غده تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری در ۷۲ روز پس از کاشت

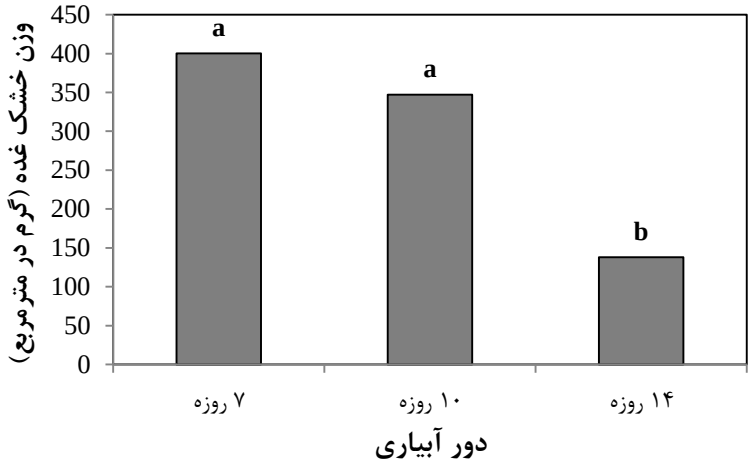
شکل ۴-۹ مقایسه میانگین وزن خشک غده تحت تاثیر باکتری سودوموناس را نشان می‌دهد. وزن خشک غده در تیمار عدم تلقیح با باکتری سودوموناس ۲/۸۰ گرم در متر مربع می‌باشد که تلقیح با باکتری میزان وزن خشک غده را به میزان ۳۰ درصد افزایش داد.



شکل ۴-۹- مقایسه میانگین وزن خشک غده تحت تاثیر تلقیح با باکتری سودوموناس در ۷۲ روز پس از کاشت

اواسط پر شدن غده

در این مرحله از رشد، اثر تیمار دور آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد بر وزن خشک غده معنی‌دار بود (جدول پیوست۴-۲). شکل ۴-۱۰ مقایسه میانگین وزن خشک غده تحت تاثیر دور آبیاری را در اواسط پر شدن غده نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین وزن خشک غده در دور آبیاری ۷ روزه و کمترین میزان در تیمار دور آبیاری ۱۴ روزه حاصل شد.



شکل ۴-۱۰- مقایسه میانگین وزن خشک غده تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری در ۱۱۵ روز پس از کاشت

کارافیلیدیس و همکاران (۱۹۹۶) گزارش دادند کمبود رطوبت موجب زودرسی محصول و کاهش کل وزن تر و ماده‌ی خشک سیب زمینی می‌شود. شیمشی و ساسنوشی (۱۹۸۵) نشان دادند که افزایش میزان آب مصرفی، باعث بالا رفتن تولید ماده‌ی خشک غده می‌گردد. کاهش وزن خشک تحت تاثیر تنش خشکی توسط دماگانت و همکاران (۱۹۹۵)، دان دام (۱۹۹۳) و خورشیدی بنام و همکاران (۱۳۸۱)گزارش شده که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. بر اساس گزارش جفریز و مک کرون (۱۹۹۳) تنش آبی موجب پیری زودرس برگ‌ها، کاهش طول رشد، کاهش دریافت تابش خورشیدی و در نتیجه موجب کاهش عملکرد ماده خشک غده گیاه سیب‌زمینی می‌گردد. نتایج حاصل از تحقیقات محمدی و

فائزنیا (۲۰۰۱) نشان داد که با افزایش میزان مصرف آب، درصد ماده خشک غده‌های سیب‌زمینی افزایش می‌یابد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. گیلز و اسشیپر (۱۹۸۳) افزایش وزن غده را در سیب‌زمینی‌های آغشته به باکتری سودوموناس گزارش کردند. غده‌ها می‌توانند به عنوان مخزن آب گیاه عمل کنند. به طوری‌که طی شرایط تنش آبی، کاهش پتانسیل آب در برگ‌ها موجب می‌شود آب از ریشه، ساقه‌ها و غده‌ها به سمت برگ‌ها حرکت کنند. ممکن است این دلیلی بر کاهش رشد غده‌ها محسوب شود.

۴-۱-۳- وزن خشک برگ

مرحله آغازغده‌بندی

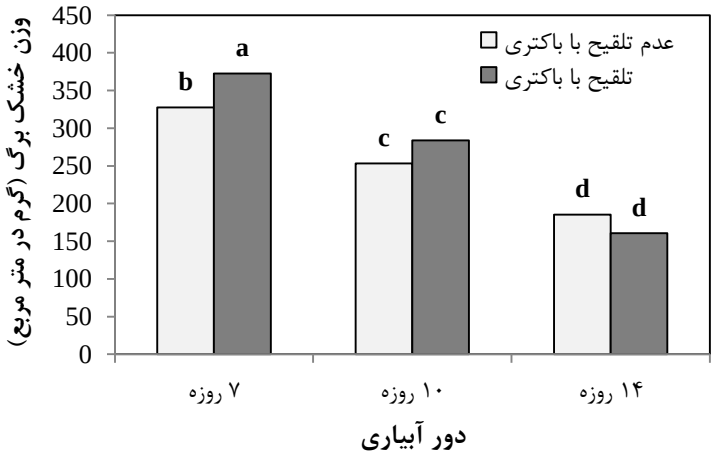
وزن خشک برگ در این مرحله از رشد (۷۲ روز پس از کاشت) تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم قرار گرفت (جدول پیوست ۴-۳).

همان طور که در جدول پیوست (۴-۴) مشاهده می‌شود، وزن خشک برگ با افزایش دور آبیاری کاهش می‌یابد. وزن خشک برگ در تیمار دور آبیاری ۷ روزه نسبت به ۱۰ روزه بیشتر بوده ولی از نظر آماری اختلاف معنی‌دار نیست. دور آبیاری ۱۴ روزه به ترتیب موجب کاهش ۴۴/۲۱ و ۳۴/۵۹ درصدی وزن خشک برگ نسبت به دور آبیاری ۷ و ۱۰ روزه گردید.

با توجه به جدول پیوست (۴-۴) تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسنس سبب افزایش وزن خشک برگ گردید. وزن خشک برگ در شرایط تلقیح با باکتری ۴۱/۸۵ گرم در متر مربع بود که نسبت به عدم تلقیح موجب افزایش ۱۴/۷۸ درصدی وزن خشک برگ گردید. همچنین رقم ساوالان نسبت به رقم اگریا از وزن خشک برگ بالاتری برخوردار است.

اواسط پر شدن غده

اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس و ترکیب تیماری باکتری سودوموناس و رقم در ۱۱۵ روزپس از کاشت بر وزن خشک برگ معنی‌دار شد ($p < ۰/۰۱$) (جدول پیوست ۴-۳). همانطور که شکل ۴-۱۱ نشان می‌دهد، افزایش در آبیاری سبب تاثیر معنی‌داری در وزن خشک برگ گیاه سیب‌زمینی در ۱۱۵ روز پس از کاشت گردید. به طوری که حداکثر وزن خشک برگ در تیمار دور آبیاری ۷ روزه و حداقل وزن خشک در تیمار دور آبیاری ۱۴ روزه مشاهده شد. تلقیح باکتری سودموناس تنها توانست وزن خشک برگ را در دور آبیاری ۷ روزه بهبود بخشد. در شرایط تلقیح با باکتری، گیاهان تیمار شده با این باکتری ۱۳/۷۷ درصد افزایش وزن خشک برگ داشتند. در دور آبیاری ۱۰ و ۱۴ روزه اختلاف معنی‌داری بین شرایط تلقیح و عدم تلقیح با باکتری مشاهده نشد.



شکل ۴-۱۱- مقایسه میانگین وزن خشک برگ تحت تاثیر ترکیبات تیماری تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس در ۱۱۵ روز پس از کاشت

در این مرحله از رشد تیمار دور آبیاری ۷ روزه و تلقیح با باکتری بالاترین میزان وزن خشک برگ (۳۷۲/۶۰ گرم در متر مربع) را دارا بود. و تیمارهای دور آبیاری ۷ روزه و عدم تلقیح با باکتری (۳۲۷/۴۸ گرم در مترمربع) در مکان دوم قرار می‌گیرد. در شرایط تنش کم‌آبیاری، گیاه مواد غذایی بیشتری از برگ به سمت ریشه فرستاده و موجب کاهش وزن خشک برگ می‌شود. نتایج بویر (۱۹۷۰) و دک (۱۹۸۶) نیز بیانگر کاهش وزن خشک برگ در شرایط تنش است. افزایش تعداد برگ و سطح برگ و نهایتاً وزن خشک برگ در نتیجه کاربرد باکتری‌های محرک رشد توسط وو و همکاران (۲۰۰۵) گزارش شده است. همچنین ککماک و همکاران (۲۰۰۶) تاثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد را بر افزایش وزن خشک برگ گزارش کرده‌اند که با نتایج این تحقیق در شرایط عدم تنش مشابهت دارد. اثر متقابل باکتری سودوموناس و رقم نیز در این مرحله از رشد در سطح احتمال ۵ درصد بر وزن خشک برگ معنی‌دار بود (جدول پیوست ۴-۳). با توجه به شکل (۴-۱۲)، رقم ساوالان در شرایط تلقیح با باکتری سودوموناس بالاترین وزن خشک برگ (۲۹۷/۳۷ گرم در متر مربع) را دارا بود. سایر تیمارها نسبت به یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند.

شکل ۴-۱۲- مقایسه میانگین وزن خشک برگ تحت تاثیر ترکیب تیماری باکتری سودوموناس و رقم در ۱۱۵ روز پس از کاشت

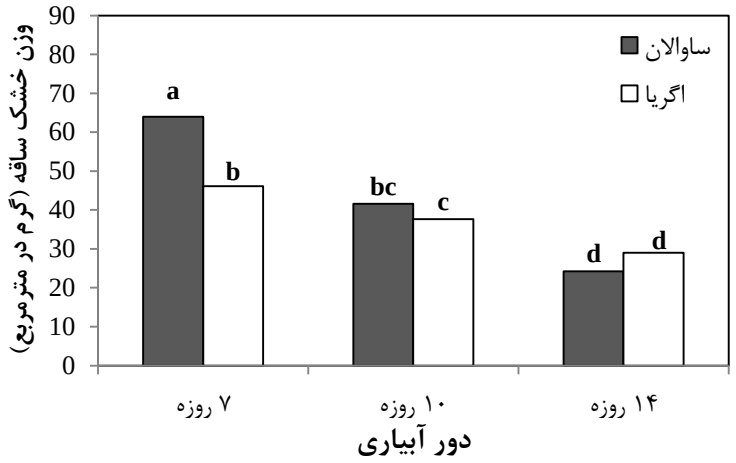
رقم ساوالان و اگریا در شرایط عدم تلقیح با باکتری تفاوت معنی‌داری در وزن خشک برگ نداشتند، اما تلقیح ارقام ساوالان با باکتری سودموموناس در حدود ۲۰/ ۱۷ درصد نسبت به رقم اگریا افزایش وزن خشک نشان داد.

۴-۱-۴- وزن خشک ساقه

مرحله آغاز غده‌بندی

اثر تیمار تنش کم‌آبیاری و اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و رقم در سطح احتمال ۱ درصد و رقم در سطح احتمال ۵ درصد در مرحله آغاز غده‌بندی (۷۲ روز پس از کاشت) بر وزن خشک ساقه معنی‌دار شد (جدول پیوست ۴-۵).

همانطور که در شکل ۴-۱۳ مشاهده می‌شود، رقم ساوالان در دور آبیاری ۷ روزه با میانگین ۶۳/۹۹ گرم در متر مربع، بیشترین وزن خشک ساقه را دارا است. کمترین وزن خشک ساقه (۲۴/۲۰ گرم در مترمربع) را رقم ساوالان در دور آبیاری ۱۴ روزه به خود اختصاص داده است که در مقایسه با شرایط دور آبیاری ۷ روزه کاهش ۶۲/۱۸ درصدی را به همراه داشته است.

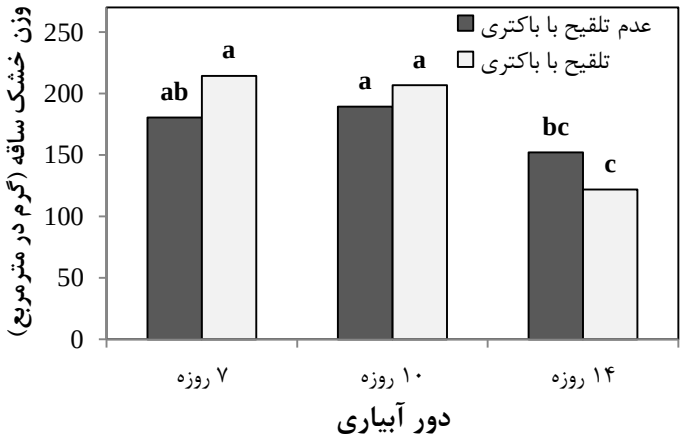


شکل ۴-۱۳- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و رقم در ۷۲ روز پس از کاشت

اواسط پر شدن غده‌ها

در این مرحله از رشد گیاه (۱۱۵ روز پس ازکاشت)، اثر تنش کم‌آبیاری ($p< ۰/۰۱$) و اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس ($p< ۰/۰۵$) بر وزن خشک ساقه معنی‌دار شد (جدول پیوست ۴-۵).

همان‌طور که در شکل ۴- ۱۴ مشاهده می‌شود، بیشترین وزن خشک ساقه به ترتیب در تیمارهای دور آبیاری ۷ روزه و تلقیح با باکتری سودوموناس (۲۱۴/۳۷ گرم در متر مربع)، دور آبیاری ۱۰ روزه و تلقیح با باکتری سودوموناس (۲۰۶/۶۷ گرم در متر مربع) مشاهده شد که البته با عدم تلقیح در دور آبیاری ۷ و ۱۰ نیز اختلاف معنی‌داری نداشتند. می‌توان گفت تنش ملایم (۱۰ دور آبیاری روزه) و تیمار با باکتری سودوموناس وزن خشک ساقه را در این مرحله از رشد تحت تاثیر قرار نداده است. کمترین وزن خشک ساقه مربوط به تیمار دور آبیاری ۱۴ روزه و تلقیح با باکتری سودوموناس بود. که تلقیح با باکتری در این سطح تنش نتوانسته کاهش وزن خشک ساقه را جبران نماید.



شکل ۴-۱۴- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس در ۱۱۵ روز پس از کاشت

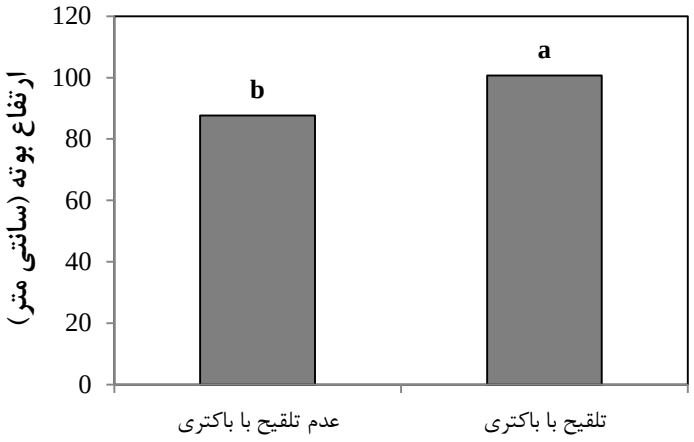
تلقیح با باکتری سودوموناس در هر دو تیمار تنش وزن خشک ساقه را به ترتیب به میزان ۱۸/۷۵ و ۹/۱۴ درصد افزایش داد. ممکن است باکتری سودوموناس موجب بهبود شرایط رشدی گیاه و اثرات مثبت و موثر بر سیستم فتوسنتزی و انتقال مواد داشته و موجب اختصاص بیشتر مواد به اندام‌های در حال رشد شده باشد.

۴-۱-۵- ارتفاع بوته

مرحله آغاز غده‌بندی

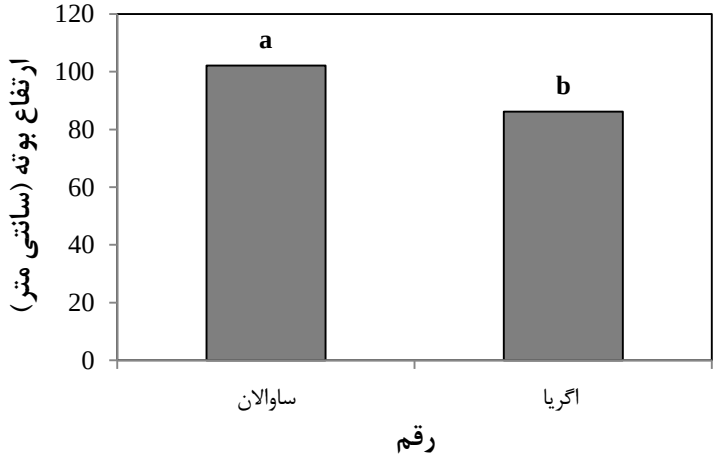
در ۷۲ روز پس از کاشت که همزمان با آغاز غده‌بندی است، تیمار باکتری سودوموناس و رقم در سطح احتمال ۱ درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول پیوست۴-۶).

با توجه به شکل ۴-۱۵، مشاهده می‌شود که ارتفاع بوته در این مرحله از رشد در شرایط عدم تلقیح با باکتری ۷۸/۶۰ سانتی متر است. در حالی‌که ارتفاع بوته‌های تلقیح شده با باکتری به میزان ۲۲/۰۴ سانتی متر افزایش یافت. ممکن است باکتری سودوموناس از طریق تولید هورمون‌های اکسین و جیبرلین موجب افزایش رشد گیاه شود (رشید و همکاران، ۲۰۰۴ ؛ یزدانی و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین اثرات هورمونی القا شده در گیاه توسط باکتری، ممکن است به صورت مستقیم سبب تغییرات مورفولوژیکی در گیاه شده و یا از طریق ازدیاد ریشه، زمینه دسترسی به آب و املاح بیشتر و در نتیجه رشد بهتر بخش‌های هوایی گیاه را ممکن سازد (عموآقایی و مستاجران، ۲۰۰۷). نتایج بررسی تحقیقات شاهورانا و همکاران (۲۰۰۶)، لارسن و همکاران (۲۰۰۹) و رمضانیان (۲۰۰۵) نشان داد که باکتری سودوموناس سبب افزایش ارتفاع گیاه می شود که با نتایج این تحقیق مشابهت دارد.



شکل ۴-۱۵- مقایسه میانگین ارتفاع بوته تحت تاثیر تلقیح با باکتری سودوموناس در ۷۲ روز پس از کاشت

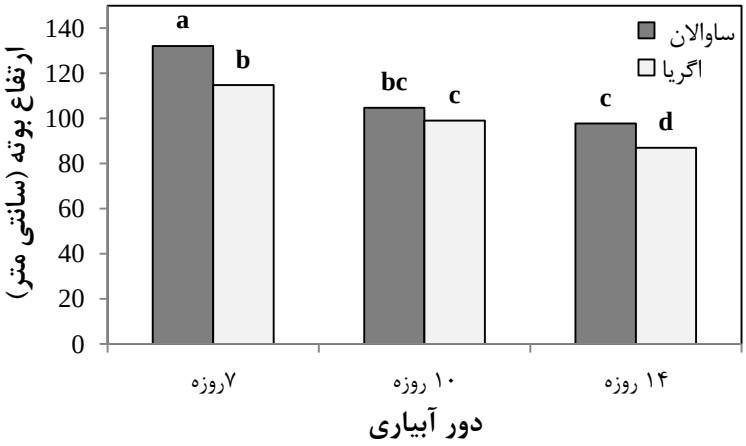
با توجه به شکل ۴-۱۶، مشاهده می‌شود که در ۷۲ روز پس از کاشت، رقم ساوالان (۱۰۲/۱۲ سانتی‌متر) نسبت به رقم اگریا (۸۶/۱۲ سانتی‌متر)، به میزان ۱۸/۵۸ درصد افزایش ارتفاع داشت.



شکل ۴-۱۶- مقایسه میانگین ارتفاع بوته تحت تاثیر رقم در ۷۲ روز پس از کاشت

اواسط پر شدن غده

اثر باکتری سودوموناس، رقم و اثر متقابل باکتری سودوموناس و رقم در این مرحله از رشد بر ارتفاع گیاه معنی‌دار بود (جدول پیوست ۴-۶). با توجه به شکل (۴-۱۷) همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار دور آبیاری ۷ روزه و رقم ساوالان می‌باشد. رقم اگریا در دور آبیاری ۷ و ۱۰ روزه اختلاف ارتفاع چندانی نداشته و در یک سطح آماری قرار می‌گیرند. کوتاه‌ترین بوته‌ها در این مرحله از رشد رقم اگریا در شرایط دور آبیاری ۱۴ روزه می‌باشد. پاسبان اسلام و همکاران (۲۰۰۶) بیان داشتند که تنش خشکی از طریق کاهش فتوسنتز و در نتیجه کمبود شیره‌پرورده، موجب کوتاه‌ترکاهش ارتفاع بوته و در نهایت کاهش عملکرد می‌شود. لارچر (۲۰۰۱) گزارش کرده است که در شرایط تنش خشکی اس‌ید آبسزیک رشد ساقه را به‌علت توقف ترشح پروتون‌های القاء شده توسط اکسین متوقف می‌نماید.

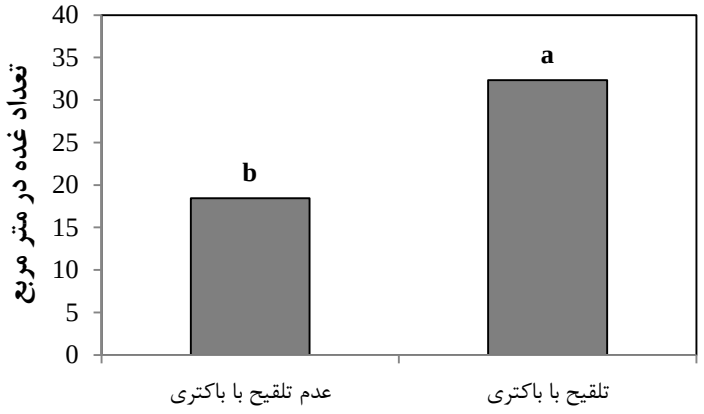


شکل ۴-۱۷- مقایسه میانگین ارتفاع بوته تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و رقم در ۱۱۵ روز پس از کاشت

۴-۱-۶- تعداد غده در متر مربع

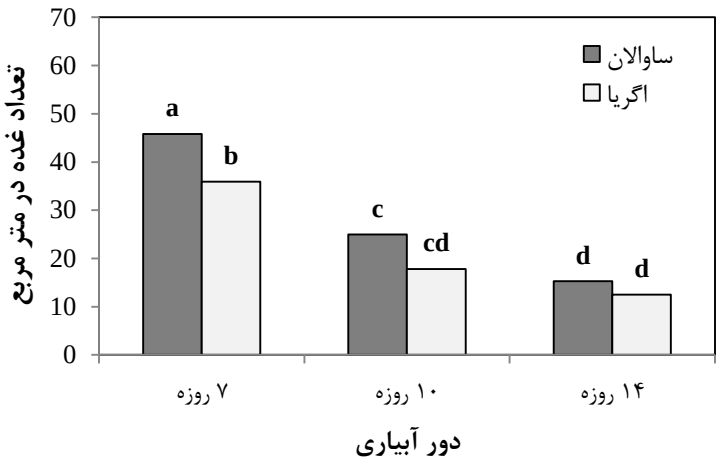
مرحله آغاز غده‌بندی

تیمار تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و رقم در ۷۲ روز پس از کاشت بر تعداد غده در متر مربع معنی‌دار شد (جدول پیوست۴-۷). همان‌طور که در شکل ۴-۱۸ مشاهده می‌شود، تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسنس موجب افزایش ۷۵/۲۷ درصدی تعداد غده نسبت به شرایط عدم تلقیح می‌شود.



شکل ۴-۱۸- مقایسه میانگین تعداد غده در مترمربع تحت تاثیر تلقیح با باکتری سودوموناس در ۷۲ روز پس از کاشت

شکل (۴-۱۹) نشان دهنده اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و رقم بر تعداد غده در متر مربع می‌باشد.



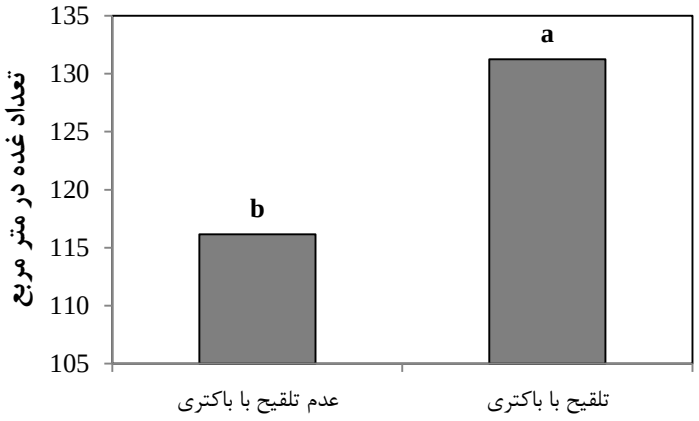
شکل ۴- ۱۹- مقایسه میانگین تعداد غده در متر مربع تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و رقم در ۷۲ روز پس از کاشت

با توجه به شکل بیشترین تعداد غده در متر مربع مربوط به تیمار دور آبیاری ۷ روزه و رقم ساوالان می‌باشد. رقم اگریا در دور آبیاری ۷ روزه ۳۵/۹۱ غده در متر مربع را دارد. با افزایش دور آبیاری تعداد غده‌ها کاهش می‌یابند به طوری‌که کمترین تعداد غده را تیمار دور آبیاری ۱۴ روزه و رقم اگریا (۱۲/۴۹ غده در متر مربع) را دارا است.

اواسط پر شدن غده

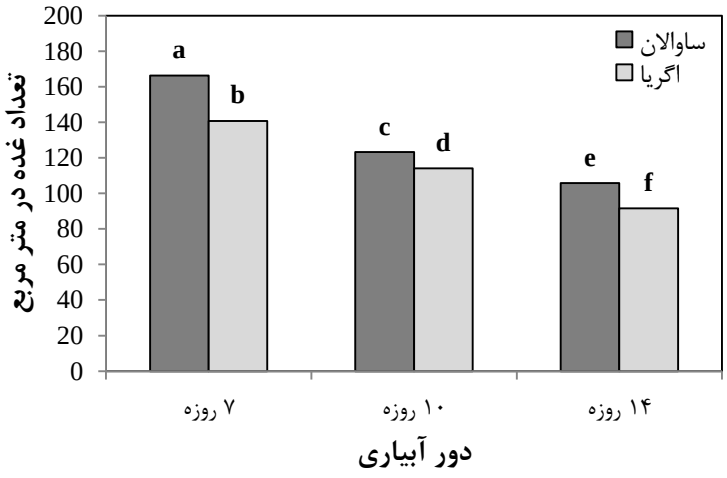
در این مرحله از رشد تعداد غده در متر مربع تحت تاثیر تیمارها تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس، رقم و اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول پیوست ۴-۷).

همان طور که در شکل ۴-۲۰ مشاهده می‌گردد، در شرایط عدم تلقیح ۱۱۶/۱۵ غده و در گیاهان تلقیح یافته با باکتری ۱۳۱/۲۵ غده حاصل شد، که تلقیح با باکتری تعداد غده را به میزان ۱۳ درصد افزایش داد.



شکل ۴-۲۰- مقایسه میانگین تعداد غده در متر مربع تحت تاثیر تلقیح با باکتری سودوموناس در ۱۱۵ روز پس از کاشت

شکل ۴-۲۱ نشان دهنده تاثیر اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و رقم می‌باشد. همان طور که مشاهده می‌شود، با افزایش دور آبیاری از ۷ روز به ۱۴ روز تعدا غده کاهش می‌یابد. بیشترین تعداد غده در تیمار دور آبیاری ۷ روزه و رقم ساوالان حاصل گردید. در تمام سطوح دور آبیاری، تعداد غده در رقم ساوالان نسبت به رقم اگریا بیشتر می‌باشد. در دور آبیاری ۱۴ روزه رقم اگریا کمترین تعداد غده (۹۱/۶۷ غده در متر مربع) را دارا بود.



شکل ۴-۲۱- مقایسه میانگین تعداد غده در متر مربع تحت تاثیر اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و رقم در ۱۱۵ روز پس از کاشت

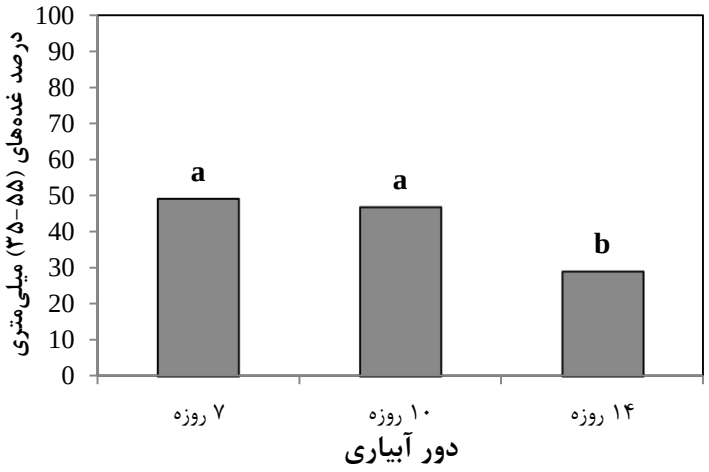
به نظر می‌رسد کودهای زیستی با فراهم نمودن مقدار متناسبی از فسفر و تقویت حجم رویشی گیاه، سبب افزایش تولیدات فتوسنتزی و اختصاص آنها به ریشه و افزایش تعداد غدد می‌شود. آغشته کردن قطعات بذری سیب‌زمینی به باکتری سودوموناس، سبب افزایش وزن و تعداد غده به ترتیب به میزان ۷۰ و ۹۳ درصد گردید (گیلز، ۱۹۸۳). در بوته سیب‌زمینی به مرور تعداد غده افزایش می‌یابد و تعداد زیادی غده به وجود می‌آید که فقط برخی از آن‌ها به اندازه مطلوب می‌رسند. با افزایش دور آبیاری از تعداد غده کاسته می‌شود که نتایج تحقیقات تیمه گودا و دیوا کومار(۱۹۹۳)، هاورکرت و همکاران (۱۹۹۰)، یوان و همکاران (۲۰۰۳)، جوادی (۱۳۸۷) و محمدی (۱۳۸۰) موید نتایج این تحقیق است.

۴-۱-۷- قطر غده در زمان برداشت

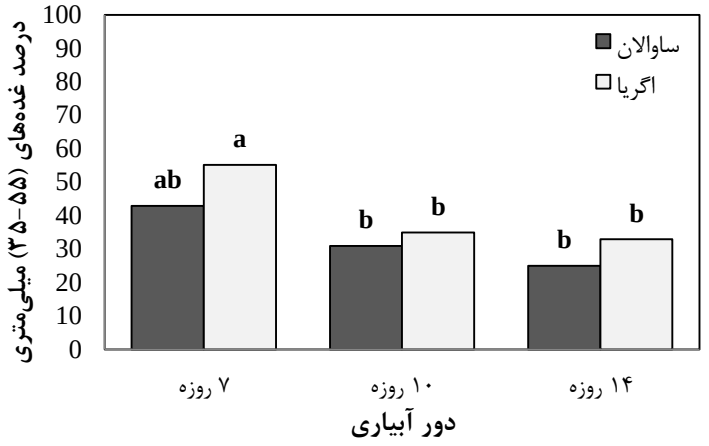
با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول پیوست ۴-۸) اثر تنش کم‌آبیاری تنش کم‌آبیاری و رقم بر درصد غده‌های (۵۵-۳۵) میلی‌متری بود.

با توجه به شکل ۴-۲۲، در دور آبیاری ۷ و ۱۰ روزه اختلاف معنی‌داری وجود نداشته است. با افزایش دور آبیاری از ۷ روز به ۱۴ روزه، میانگین درصد غده‌های (۵۵-۳۵) میلی‌متری از ۴۹/۰۵ درصد به ۲۸/۹۸ درصد رسید که کاهش ۴۰/۹۱ درصدی را به‌همراه داشت. حیدری وهمکاران (۲۰۰۴) در آزمایشی نشان دادند که اثر دور آبیاری بر اندازه غده سیب‌زمینی معنی‌دار نیست، اما نتایج الدریج و همکاران (۱۹۹۲) کاهش اندازه غده در پاسخ به افزایش دور آبیاری را نشان داد. علت کاهش در اندازه غده با کاهش میزان آب آبیاری را می‌توان به تاخیر افتادن سرعت رشد در اثر تنش کم‌آبی دانست (مسعودی و همکاران، ۱۳۸۹). همان‌طور که در شکل ۴-۲۳ مشاهده می‌شود، بیشترین درصد غده‌های (۵۵-۳۵) میلی‌متری (۵۵/۱۸ درصد) در دور آبیاری ۷ روزه و رقم اگریا مشاهده شد. با افزایش دور آبیاری درصد غده‌ها کاهش

یافته است. در دور آبیاری ۱۰ و ۱۴ روزه هرچند بیا ارقام ساوالان و اگریا اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود اما رقم اگریا به‌مراتب درصد غده‌های (۵۵-۳۵)میلی‌متری بیشتری را دارا می‌باشد.



شکل ۴-۲۲- مقایسه میانگین درصد غده‌های (۵۵-۳۵) میلی‌متری تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری



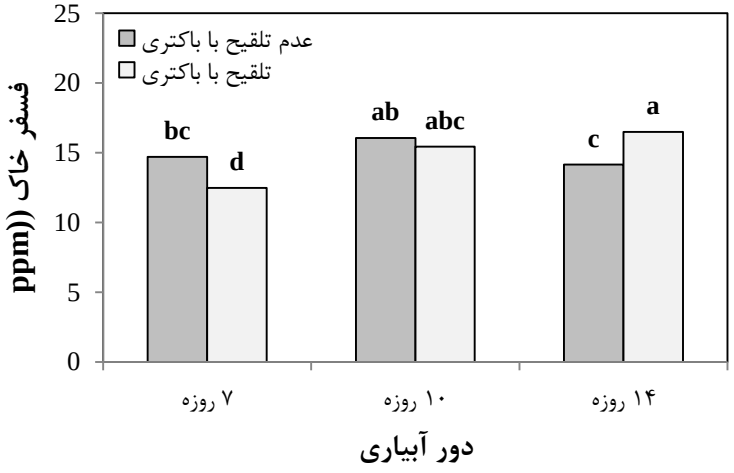
شکل ۴-۲۳- مقایسه میانگین درصد غده‌های (۵۵-۳۵) میلی‌متری تحت تاثیر اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و رقم

۴-۲- صفات فیزیولوژیکی

۴-۲-۱- فسفر خاک و گیاه

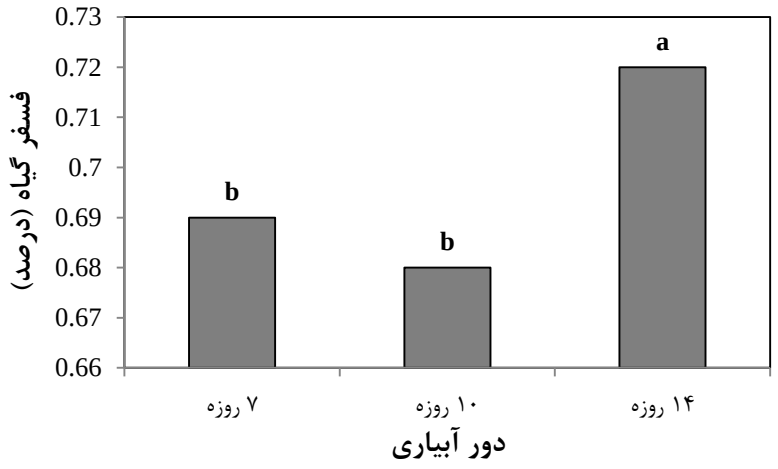
نتایج تجزیه واریانس غلظت فسفر خاک نشان داد که اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس بر میزان فسفر خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است و همچنین اثر تنش کم‌آبیاری ($p < ۰/۰۱$)، باکتری سودوموناس ($p < ۰/۰۱$) و رقم ($p < ۰/۰۵$) بر درصد فسفر گیاه معنی‌دار شد (جدول پیوست ۴-۱۰).

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس نشان داد که بیشترین غلظت فسفر خاک در تیمار دور آبیاری ۱۴ روزه و تلقیح با باکتری (۱۶/۵۰ ppm) و کمترین غلظت در دور آبیاری ۷ روزه و تلقیح با باکتری سودوموناس (۱۲/۴۷ ppm) مشاهده گردید (شکل ۴-۲۴). در شرایط تلقیح گیاه با باکتری و دور آبیاری ۱۴ روزه غلظت فسفر خاک، نسبت به تیمار مشابه بدون تلقیح حدود ۲۵/۶۵ درصد افزایش نشان داد.



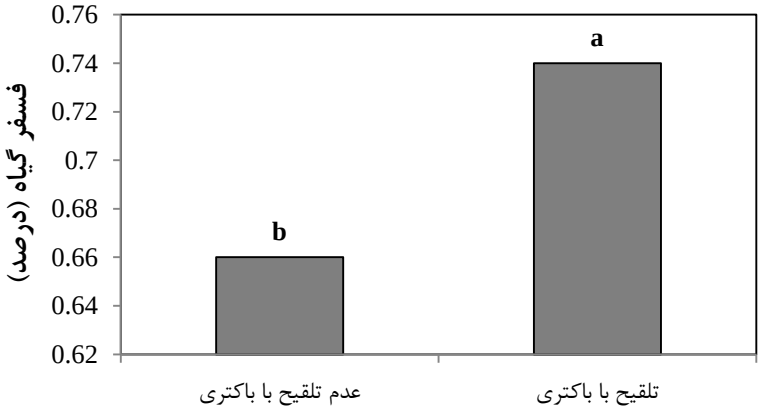
شکل۴-۲۴- مقایسه میانگین غلظت فسفر خاک تحت تاثیر ترکیبات تیماری تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس

همان‌طور که در شکل (۴-۲۵) مشاهده می‌شود، با افزایش دور آبیاری میزان فسفر گیاه افزایش یافته است. بیشترین درصد فسفر گیاه در دور آبیاری ۱۴ روزه و کمترین درصد آن در دور آبیاری ۱۰ روزه به ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۶۸ درصد مشاهده شد. بین فسفر گیاه در دور آبیاری ۷ و ۱۰ روزه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.



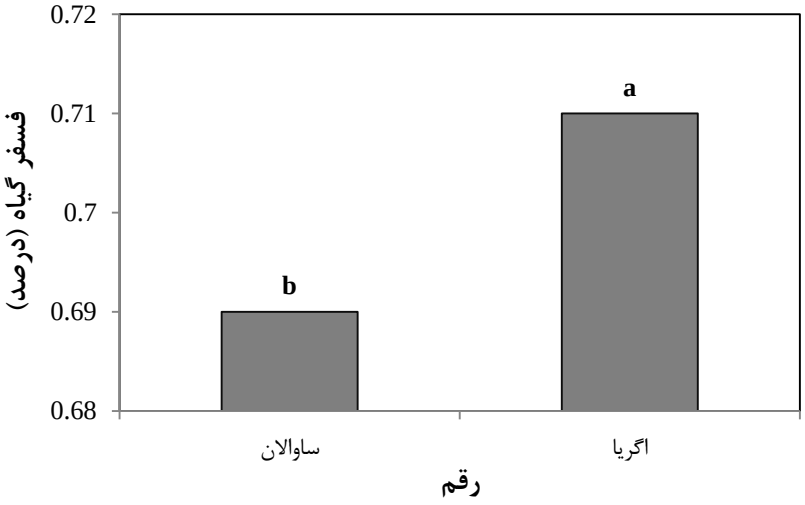
شکل ۴-۲۵- مقایسه میانگین درصد فسفر گیاه تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری

با توجه به شکل ۴- ۲۶، تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسنس درصد فسفرگیاه را به میزان ۱۲/۱۲ درصد افزایش داد.



شکل ۴-۲۶- مقایسه میانگین درصد فسفر گیاه تحت تاثیر تلقیح با باکتری سودوموناس

با توجه به شکل ۴-۲۷، رقم اگریا (با میانگین ۰/۷۱ درصد) نسبت به رقم ساوالان (با میانگین ۰/۶۹ درصد) درصد فسفر گیاه بالاتری دارد.



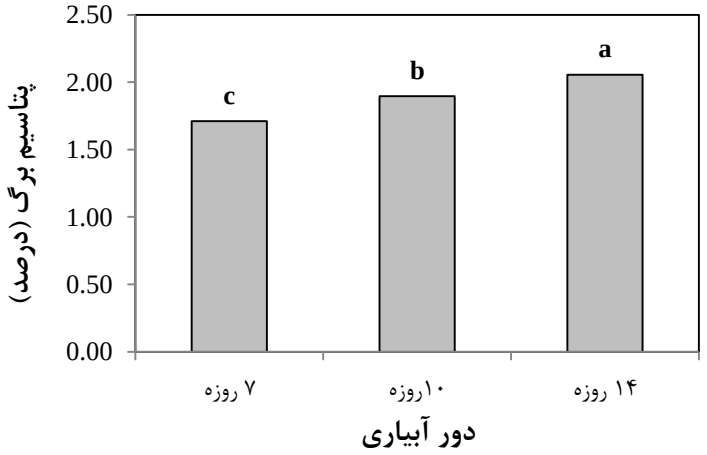
شکل ۴-۲۷- مقایسه میانگین درصد فسفر گیاه تحت تاثیر رقم

گلیک و همکاران (۱۹۹۸) بیان کردند که شواهدی دال بر افزایش فراهمی عناصر غذایی گیاه در ریزوسفر به دلیل فعالیت باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه وجود دارد. که این فرایند شامل افزایش انحلال عناصر غذایی و یا تولید مواد کلات‌کننده مانند سیدروفورها می‌باشد. برخی از سویه‌های جنس سودوموناس قادر به تولید اکسین و فسفر آلی محلول هستند که از این طریق سبب افزایش فسفر خاک می‌شوند (نایمن و همکاران، ۲۰۰۹؛ لارسن، ۲۰۰۹). یکی از دلایل عمده حل کنندگی فسفات، تولید اسیدهای آلی توسط میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. باکتری‌های سودوموناس و باسیلوس از طریق تولید و ترشح اسیدهای آلی به ویژه اسید اگزالیک و اسید سیتریک، در حلالیت فسفات های کم محلول و با تولید آنزیم های فسفاتاز در آزاد شدن فسفر از ترکیبات آلی فسفره نقش مهمی دارند (عموآقایی و مستاجران،

۲۰۰۷). تولید اسیدهای آلی موجب اسیدی شدن محیط اطراف شده و در نتیجه فسفر در اثر جایگزینی پروتون به جای کلسیم آزاد می‌شود (رودیگز و همکاران، ۱۹۹۹). افزایش قابلیت جذب فسفر توسط گیاه با افزودن حل کننده فسفات با نتایج میتال و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد. به نظر می‌رسد که باکتری موجب افزایش حلالیت فسفر و جذب آن توسط گیاه می‌شود (زیدی، ۲۰۰۵). هورنیک (۲۰۰۵) گزارش کرد که کاربرد کودهای فسفر موجب افزایش غلظت فسفر در بافت‌های گیاه سیب‌زمینی می‌شود.

۴-۲-۲- پتاسیم برگ

فقط اثر اصلی تنش کم‌آبیاری بر درصد پتاسیم برگ ($p\leq$ ۰/۰۵) معنی‌دار شد و سایر اثرات معنی‌دار نبودند (جدول پیوست۴-۱۰). با افزایش فواصل دور آبیاری، میزان پتاسیم بیشتری در برگ‌ها از طریق تنظیم فشار اسمزی و کنترل روزنه‌ها به منظور حفظ پتانسیل تورگر آب برگ تجمع یافته است. همان طور که در شکل (۴-۲۸) مشاهده می‌گردد، دور آبیاری ۷ روزه با ۱/۷۱ درصد کمترین و دور آبیاری ۱۴ روزه با میانگین ۲/۰۵ درصد بالاترین میزان پتاسم برگ را دارا بود.



شکل۴-۲۸- مقایسه میانگین محتوای پتاسیم برگ تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری

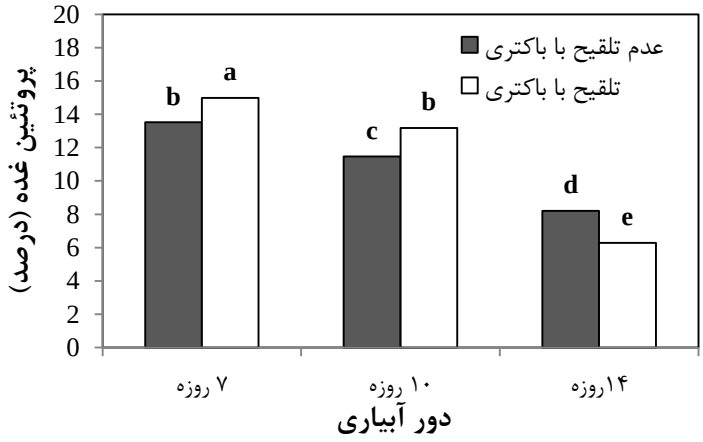
دور آبیاری ۱۴ روزه موجب افزایش ۱۹/۸۳ درصدی میزان پتاسیم برگ نسبت به دور آبیاری ۷ روزه شد. به نظر می‌رسد که افزایش معنی‌دار یون پتاسیم در شرایط تنش، نشان‌دهنده نقش این یون در کاهش پتانسیل اسمزی و انجام ساز وکار تنظیم اسمزی در ژنوتیپ متحمل باشد. پتاسیم می‌تواند از طریق تنظیم اسمزی موجب بالاتر نگه داشتن میزان آب نسبی در ژنوتیپ متحمل به خشکی شده و به این ترتیب در تحمل به خشکی نقش مهمی داشته باشد. همچنین یون پتاسیم در باز و بسته شدن روزنه‌ها و حفظ تعادل یونی نقش دارد. گزارش شده است که افزایش غلظت پتاسیم می‌تواند نقش مهمی در افزایش هدایت روزنه‌ای داشته باشد. یون پتاسیم طی تنش خشکی روی پتانسیل اسمزی برگ، پتانسیل آماس، اندازه سلول و ظرفیت آب برگ اثر مثبت دارد (باجی و همکاران، ۲۰۰۰). مراد شاهی و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند که در زمان وقوع تنش کمبود آب، میزان جذب پتاسیم از ریشه و انتقال آن به بخش های هوایی افزایش می یابد. نقش اسموتیکی پتاسیم و همکاری در ایجاد تحمل بالا در شرایط تنش توسط ارابی و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شده است. بریتو و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند که افزایش پتاسیم ممکن است توجیه کننده افزایش اسمولیت‌ها در قسمت‌های هوایی تحت تنش باشد. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج سایر محققان مانند کاملی و لوسل (۱۹۹۵) بر روی گیاه یونجه و خانا و همکاران (۱۹۹۵) بر روی برنج و گندم مشابهت دارد.

۴-۲-۳- پروتئین غده

جدول تجزیه واریانس (جدول پیوست۴-۱۰) نشان داد اثرات تنش کم‌آبیاری، رقم و اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس ($p\leq$ ۰/۰۱) بر درصد پروتئین غده معنی‌دار بود. با افزایش دور آبیاری میزان پروتئین غده کاهش یافت به طوری‌که در دور آبیاری ۱۴ روزه میزان پروتئین غده ۷/۲۳ درصد وزن خشک گزارش گردید (جدول پیوست۴-۱۱).

میانگین درصد پروتئین غده رقم ساوالان ۱۱/۸۰ درصد بود که نسبت به رقم اگریا۹/۹۷ درصد بیشتر بود و در گروه آماری متفاوتی قرار گرفت (جدول پیوست ۴-۱۱).

شکل (۴-۲۹) مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس را نشان می‌دهد.



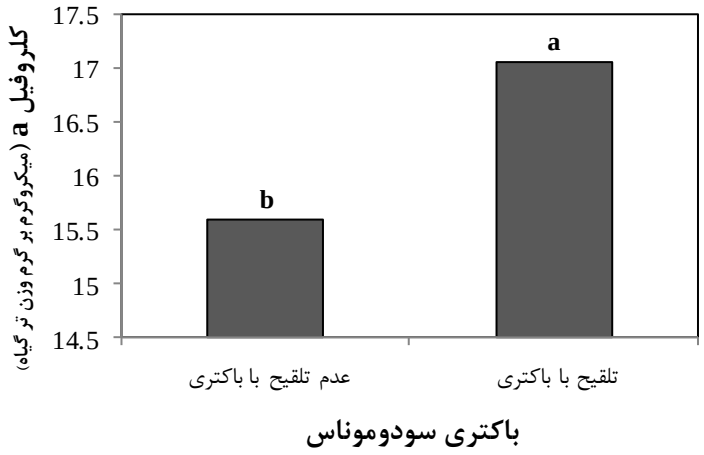
شکل۴-۲۹- مقایسه میانگین درصد پروتئین غده تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس

با توجه به شکل، در شرایط آبیاری ۷ و ۱۰ روزه تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسنس میزان پروتئین غده را نسبت به عدم تلقیح به ترتیب به میزان ۱۰/۷۲ و ۱۴/۸۲ درصد افزایش داد. اما در دور آبیاری ۱۴ روزه غده های تلقیح نشده با باکتری سودوموناس میزان پروتئین بالاتری داشتند. که می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که باکتری سودوموناس در شرایط تنش شدید اثر مثبتی بر میزان پروتئین غده نخواهد داشت. بیشترین میزان پروتئین در تیمار دور آبیاری ۷ روزه و تلقیح با باکتری سودوموناس حاصل گردید. تیمار دور آبیاری ۱۴ روزه و تلقیح با باکتری کمترین میزان پروتئین غده (۶/۷۲ درصد) را دارا بود. رادیکال‌های آزاد اکسیژن با تغییر موقعیت آمینو اسیدها در رشته‌های پروتئین موجب تسهیل تأثیر آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین‌ها گردیده و بنابراین یکی از دلایل کاهش محتوی پروتئین در گیاهانی که در معرض خشکی هستند، تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌باشد (اسمالوود و همکاران، ۱۹۹۹). التایب

(۲۰۰۵) گزارش کرده است که محتوی پروتئین محلول و آزاد در اندام هوایی و ریشه گیاهچه‌ها در شرایط تنش کاهش یافته است.

۴-۲-۴- محتوای کلروفیل

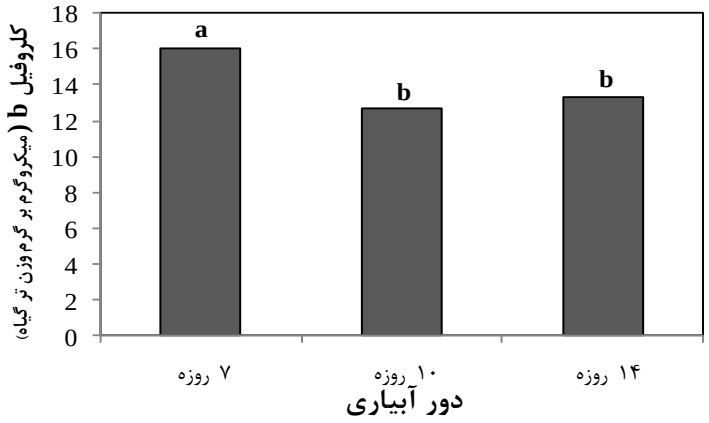
نتایج تجزیه واریانس محتوای کلروفیل در جدول پیوست (۴-۱۲) نشان می‌دهد که باکتری سودوموناس بر محتوای کلروفیل a در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. محتوای کلروفیل a گیاهان تلقیح یافته با باکتری سودوموناس، ۱۷/۰۵ میکروگرم بر گرم وزن تر گیاه بود که نسبت به شرایط عدم تلقیح این پارامتر ۹/۳ درصد افزایش داد (شکل۴-۳۰).



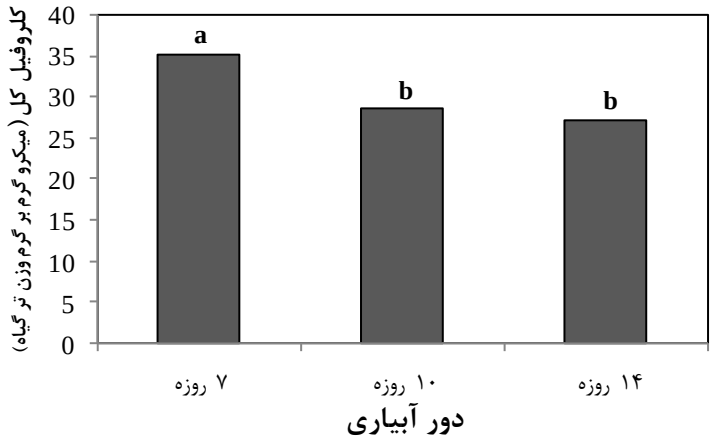
شکل۴-۳۰- مقایسه میانگین محتوای کلروفیلa تحت تاثیر باکتری سودوموناس

اثر تنش کم‌آبیاری و رقم بر محتوای کلروفیل b و کلروفیل کل معنی‌دار شد (جدول پیوست۴-۱۲). با افزایش فواصل آبیاری محتوای کلروفیل b و کلروفیل کل کاهش یافت. به‌طوری‌که بالاترین محتوای کلروفیل b (شکل۴-۳۱) و کل (شکل۴-۳۲) در دور آبیاری ۷ روزه به ترتیب به میزان ۱۵/۹۹ و ۳۵/۰۴ میکروگرم بر گرم وزن تر گیاه بود. بین دور آبیاری ۱۰ و ۱۴ روزه اختلاف معنی داری وجود نداشت و در

دور آبیاری ۱۴ روزه نسبت به ۷ روزه محتوای کلروفیل b و کلروفیل کل به میزان ۲۲/۸۲ و ۲۲/۸۰ درصد کاهش یافته بود.

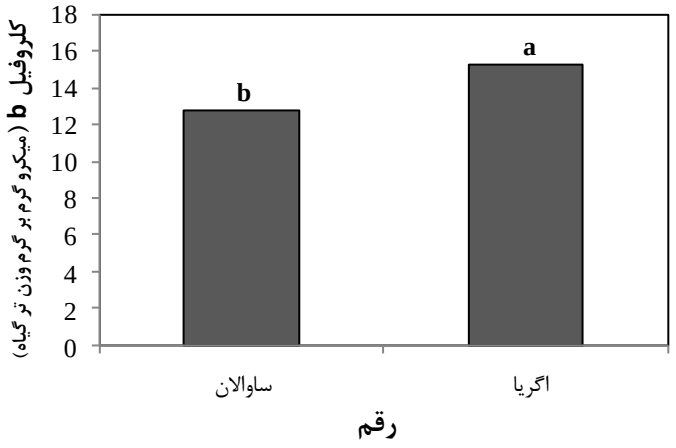


شکل۴-۳۱- مقایسه میانگین محتوای کلروفیل b تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری

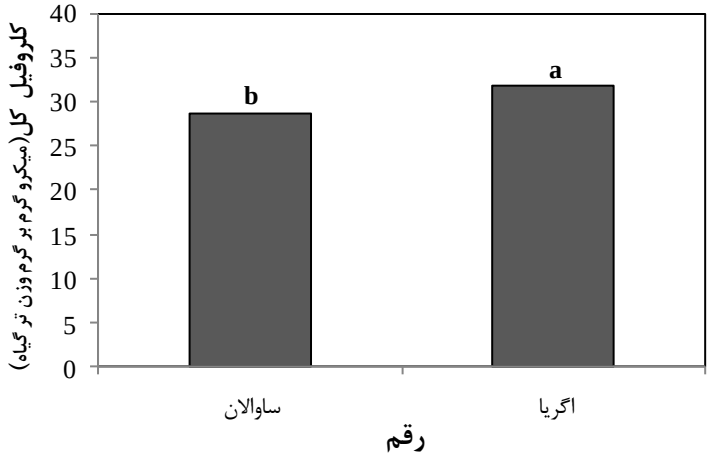


شکل۴-۳۲- مقایسه میانگین محتوای کلروفیل کل تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری

محتوای کلروفیل b و کلروفیل کل رقم اگریا ۱۵/۲۳و ۳۱/۸۳ میکرو گرم بر گرم وزن تر گیاه و ساوالان به ترتیب ۱۲/۷۶ و ۲۸/۶۰ میکروگرم بر گرم وزن تر گیاه بود (شکل‌های ۴-۳۳ و ۴-۳۴).



شکل۴-۳۳-مقایسه میانگین محتوای کلروفیل b تحت تاثیر رقم



شکل۴-۳۴- مقایسه میانگین محتوای کلروفیل کل تحت تاثیر رقم

کاهش مقدار کلروفیل در شرایط تنش خشکی می‌تواند به دلیل تأثیر این تنش بر پیش‌سازهای سنتز کلروفیل و یا تخریب کلروفیل موجود و یا اتیلن تولید شده در شرایط تنش باشد. احتمالاً اتیلن با تاثیر بر روی آنزیم‌های کاتابولیسم کلروفیل، مقدار کاتابولسم کلروفیل را افزایش داده، در نتیجه بر مقدار کلروفیل اثر می‌گذارد (مظاهری تیرانی و منوچهری کلانتری، ۱۳۸۶).

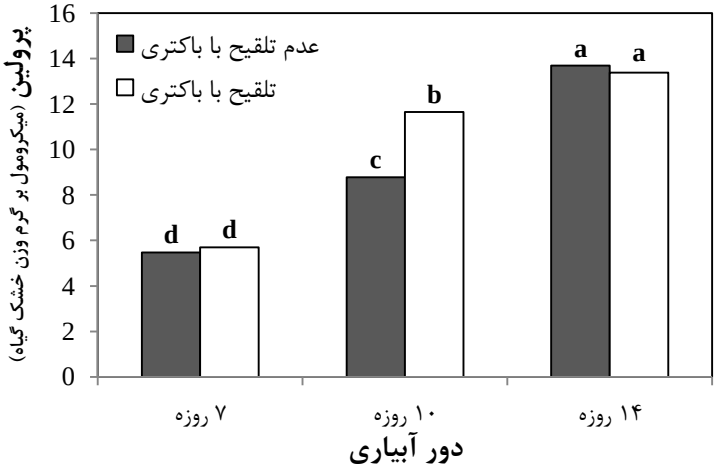
تنش کم آبی موجب شکسته شدن کلروپلاست (حسنی و امیدبیگی، ۲۰۰۱)، تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی، کاهش مقدار کلروفیل برگ و تخریب تشکیلات فتوسنتزی می‌گردد (کیرناک و همکاران، ۲۰۰۱)، با افزایش میزان برخی از تنظیم کننده‌های رشد نظیر اتیلن و آبسیزیک اسید در شرایط تنش خشکی (میهالوئیک و همکاران، ۱۹۹۷)، فعالیت آنزیم کلروفیلاز (درایکیوایسز ، ۱۹۹۴)، پراکسیداز و ترکیبات فنلی (احمدی و سی وسه مرده، ۲۰۰۴) تحریک و با تجزیه کلروفیل، کلروفیلید آزاد می‌شود و در مراحل بعدی با گسستن حلقه‌های پورفیرینی این مواد به صورت فعال به واکوئل منتقل می‌شوند (سایروم و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین در شرایط تنش پیش ماده سنتز کلروفیل (اسید گلوتامیک) به سمت تولید پرولین تمایل پیدا کرده و این امر سبب کاهش محتوای کلروفیل برگ می‌گردد (برادران فیروزآبادی، ۱۳۸۷). در تنش‌های شدید با وجود افزایش وزن مخصوص برگ، تخریب کلروفیل نیز افزایش می‌یابد (احمدی و سی وسه مرده، ۲۰۰۴؛ لارسون و همکاران، ۱۹۹۸) که به تلفات کلروفیل منجر خواهد شد. کاهش غلظت کلروفیل در شرایط تنش خشکی در گیاهان *Phragmites australis* (پاگتر و همکاران، ۲۰۰۵) و *Aeluropus lagopoides* (محسن زاده و همکاران، ۲۰۰۶) و مریم گلی (ابرائو و مانیبوش، ۲۰۰۸) گزارش شده است.

۴-۲-۵- پرولین

تجزیه واریانس میزان پرولین نشان می‌دهد که تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس بر میزان پرولین معنی‌دار بود (جدول پیوست ۴-۱۳). میزان پرولین در دور آبیاری ۷، ۱۰ و ۱۴ روزه به ترتیب ۵/۵۸، ۱۰/۲۱ و ۱۳/۵۴ (میکرومول بر گرم وزن خشک گیاه) بود (جدول۴-۱۴). میزان پرولین در برگ‌های گیاه سیب‌زمینی در دور آبیاری ۱۴ روزه در مقایسه با دور آبیاری ۷ روزه به طور معنی‌داری افزایش یافت به طوری‌که دور آبیاری ۱۰ روزه نسبت به ۷ روزه، ۸۲/۹۷ درصد و دور آبیاری ۱۴ روزه نسبت به ۷ روزه ۱۴۲/۶۵ درصد افزایش پرولین داشته اند. در واقع تجمع

پرولین در چنین شرایطی مکانیسم سریعی بوجود می‌آورد که موجب ثابت ماندن فشار اسمزی در سلول‌ها و بافت‌ها گردیده و امکان افزایش فشار تورژسانس بیشتر را برای رشد گیاه فراهم می‌کند. میزان پرولین در شرایط تلقیح با باکتری نسبت به عدم تلقیح افزایش یافت (جدول۴-۱۴). پرولین در تنظیم اسمزی گیاه در شرایط تنش نقش دارد. میزان تنظیم اسمزی در اندام‌های در حال رشد به تامین اسمولیت‌ها بستگی دارد زیرا این عمل با صرف انرژی همراه بوده و ساختارهای کربنی لازم برای تولید متابولیت‌ها به تداوم فتوسنتز وابسته است. بر این اساس، گیاهان تلقیح شده با باکتری سودوموناس وضعیت آبی بهتری داشته و برای تداوم فتوسنتز و تولید اسیدهای آلی جهت تامین ساختارهای کربنی و انرژی برای تنظیم اسمزی نقش موثرتری دارند.

اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان پرولین معنی‌دار بود (جدول پیوست۴-۱۳). میزان پرولین در دور آبیاری ۱۴ بالاترین مقدار را دارا بود. اما در این سطح آبیاری، تلقیح و عدم تلقیح با باکتری اختلاف معنی‌داری در میزان پرولین نداشتند. در دور آبیاری ۱۰ روزه تلقیح با باکتری نسبت به عدم تلقیح میزان پرولین را تا ۳۲/۸۳ درصد افزایش داد (شکل۴-۳۵).

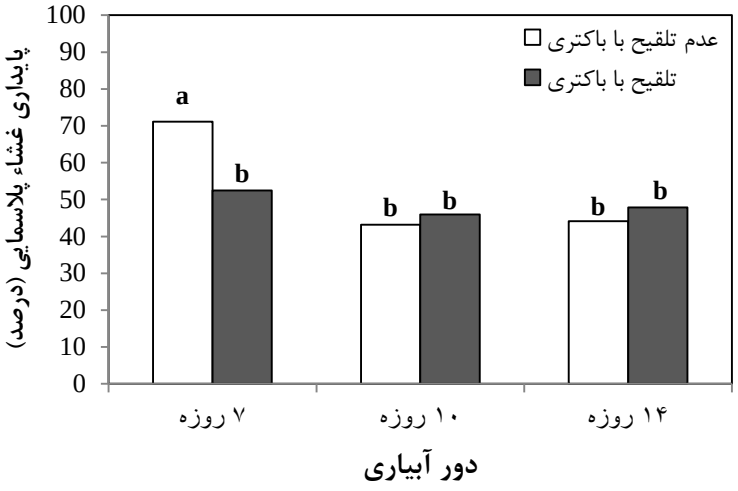


شکل۴-۳۵- مقایسه میانگین محتوای پرولین برگ تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس

تیمار دور آبیاری ۷ روزه در هر دو شرایط عدم تلقیح و تلقیح با باکتری کمترین میزان پرولین را دارا بودند. افزایش غلظت پرولین، عمومی ترین عکس العملی است که به محض کمبود آب یا کاهش پتانسیل اسمزی در گیاهان مشاهده شده است (کاستا و مورل، ۱۹۹۴). پرولین از طریق تنظیم اسمزی و جلوگیری از تخریب آنزیم ها بردباری و تحمل گیاه را در برابر تنش ها افزایش می‌دهد (کوزنتسو و همکاران، ۱۹۹۹) و از طریق غیر فعال کردن رادیکال‌های هیدروکسیل و سایر ترکیبات تولید شده در شرایط تنش که موجب اختلال در انتقال الکترون در کلروپلاست و میتوکندری می‌شود، از آسیب به پروتئین‌ها و غشای سلول جلوگیری می‌کند (عهدین و همکاران، ۲۰۰۵ و بوهنرت و همکاران، ۲۰۰۴). نتایج این تحقیق با نتایج مراد شاهی و همکاران (۲۰۰۴)، اشرف و فولاد (۲۰۰۷)، آخوندی و همکاران (۲۰۰۶)، تاتار و گورک (۲۰۰۸)، وندرسکولو و همکاران (۲۰۰۷)، ارابی و همکاران (۲۰۰۶)، جوهری پیریواتلو و همکاران (۲۰۱۰) و معاونی (۲۰۱۱) مطابقت دارد.

۴-۲-۶- پایداری و خسارت غشای پلاسمایی

تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس بر پایداری غشای پلاسمایی ($p\leq$ ۰/۰۵) معنی‌دار بود (جدول پیوست ۴-۱۳). با توجه به مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس، بیشترین میزان پایداری غشاء (۷۱/۱۷٪) در دور آبیاری ۷ روزه و عدم مصرف باکتری مشاهده شد. با افزایش دور آبیاری، پایداری غشا کاهش می‌یابد که با توجه به شکل (۴-۳۶) مصرف باکتری سودوموناس موجب افزایش این پایداری می‌شود. در دور آبیاری ۱۴ روزه تلقیح با باکتری موجب افزایش ۸/۴۰ درصدی پایداری غشا نسبت به عدم تلقیح شد.

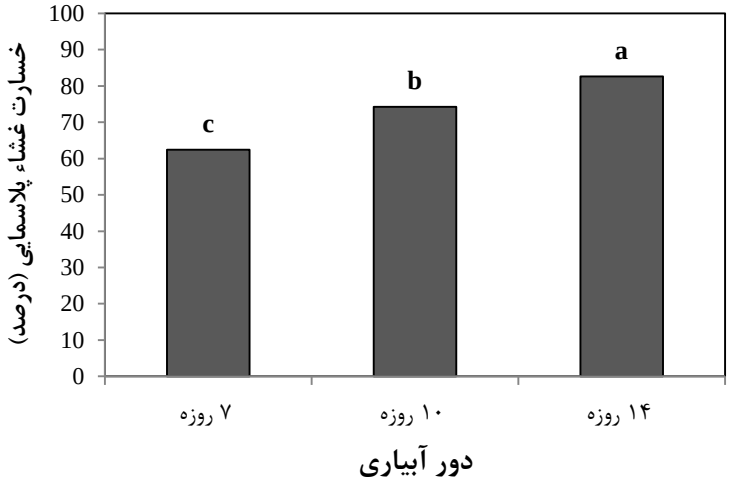


شکل۴-۳۶- مقایسه میانگین پایداری غشای پلاسمایی تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس

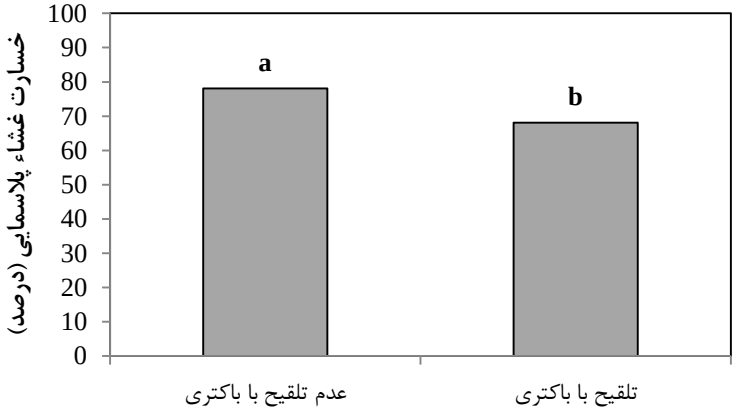
درصد خسارت غشا تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم قرار گرفت (جدول پیوست ۴-۱۳). افزایش فواصل آبیاری از ۷ روز تا ۱۴ روز، خسارت غشای سلولی را به دنبال داشت به طوری‌که دور آبیاری ۱۴ روزه موجب خسارت ۸۲/۶۷ درصدی به غشای سلول شد (شکل۴-۳۷). باکتری سودوموناس در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان خسارت غشا معنی‌دار بود. میزان خسارت غشا در شرایط عدم تلقیح ۷۸/۱۱ درصد بود که تلقیح با باکتری میزان خسارت را تا ۱۲/۷۸ درصد کاهش داد (شکل۴-۳۸). در بین ارقام اگریا و ساوالان، رقم اگریا خسارت بیشتری (۷۵/۲۹ درصد) را متحمل شد (شکل۴-۳۹).

مکارون و همکاران(۱۹۹۵) گزارش کردند که تنش موجب افزایش میزان نسخه برداری از ژن‌های اکسید کننده و چربی‌های دیواره سلولی می‌شود، که در نهایت این امر سبب تخریب دیواره سلولی خواهد شد. هیانگ و همکاران (۲۰۰۴) نیز در آزمایشی که بر روی لوبیا انجام دادند. نتایج مشابهی را گزارش کردند. تولید و تجمع گونه‌های سمی اکسیژن نظیر هیدروژن پراکسید، رادیکال‌های سوپر اکسید و رادیکال‌های هیدروکسیل در شرایط تنش خشکی (فویر و همکاران، ۱۹۹۴) به بسیاری از ترکیبات سلولی نظیر چربی‌ها، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای نوکلئیک صدمه می‌زند (جیانگ و هوانگ، ۲۰۰۱) و

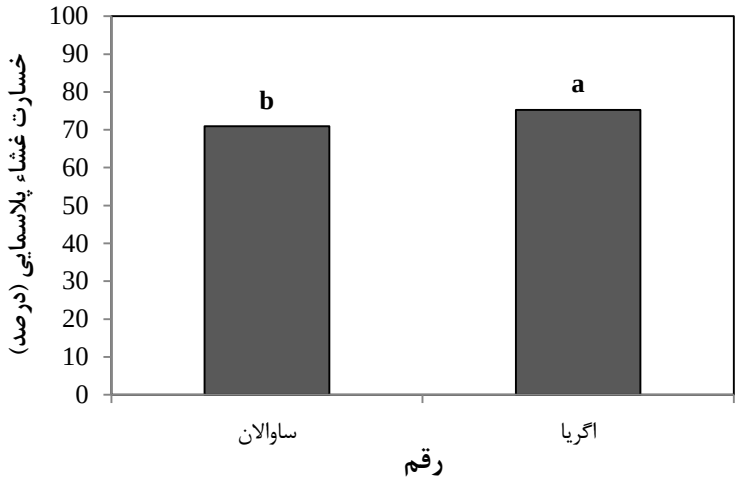
در نتیجه پراکسیداسیون چربی‌ها (لیانگ و همکاران، ۲۰۰۳) غشاهای سلولی آسیب می‌بینند. به دنبال صدمه به غشای سلولی، تراوائی افزایش یافته و بدین ترتیب نشت الکترولیتی از سلول موجب پژمردگی گیاه می‌شود (بلام و ابرکون، ۱۹۸۱). مجیدی (۱۳۷۳) اظهار داشت که تنش‌های محیطی با تغییر ساختمان غشاء از نظر کمیت و کیفیت اسیدهای چرب و پروتئین‌ها می‌توانند رشد گیاه را تحت تاثیر قرار دهند. با افزایش شدت تنش از میزان پایداری غشاء سلولی کاسته می‌شود.



شکل۴-۳۷- مقایسه میانگین خسارت غشای پلاسمایی تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری



شکل۴-۳۸- مقایسه میانگین خسارت غشای پلاسمایی تحت تاثیر تلقیح با باکتری سودوموناس



شکل۴-۳۹- مقایسه میانگین خسارت غشای پلاسمایی تحت تاثیر رقم

حق پرست (۱۳۷۶) نشان داد که در گندم، تنش خشکی موجب خسارت به غشای سلولی شده و سبب غلیظ شدن محیط داخل سلول می‌شود. افزایش پراکسیداسیون چربی و به دنبال آن کاهش شاخص پایداری غشاء سلول در شرایط تنش خشکی در گیاهان گندم (سایروم و ساکسنا، ۲۰۰۰)، لوبیا (ترکان و همکاران، ۲۰۰۵) و گراس‌های چمنی (جیانگ و هیانگ، ۲۰۰۱) نیز گزارش شده است

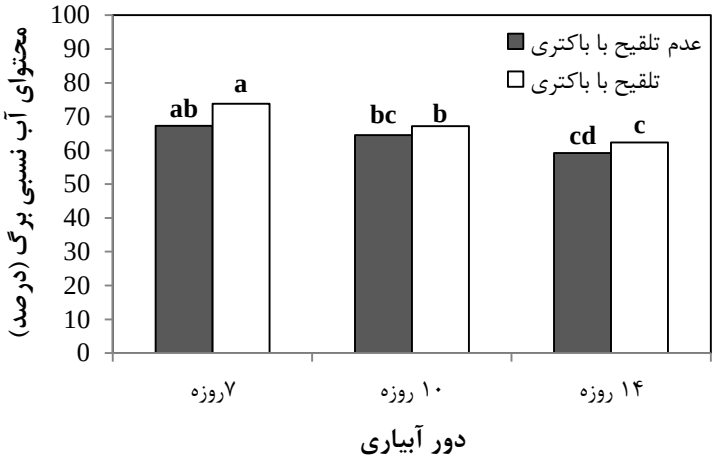
۴-۲-۷- محتوای آب نسبی برگ

محتوای آب نسبی برگ در دو زمان قبل و بعد از آبیاری بر حسب درصد اندازه‌گیری شد.

۴-۲-۷-۱-محتوای آب نسبی برگ قبل از آبیاری

اثر تنش کم‌آبیاری ($p\leq ۰/۰۱$)، اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس؛ اثر متقابل باکتری سودوموناس و رقم در سطح احتمال ۵ درصد بر محتوای آب نسبی برگ معنی‌دار بود (جدول پیوست۴-۱۳). با افزایش فواصل آبیاری از ۷ تا ۱۴ روز، محتوای آب نسبی کاهش یافت.

اگرچه با افزایش دور آبیاری محتوای آب نسبی کاهش یافت ولی تلقیح با باکتری سودوموناس موجب بهبود آب نسبی گردید. در دور آبیاری ۱۴ روزه تلقیح با باکتری نسبت به عدم تلقیح محتوای آب نسبی را به میزان ۹ درصد افزایش داد. در دور آبیاری ۱۰ روزه، تلقیح با باکتری موجب افزایش محتوای شده اما اختلاف معنی‌داری با عدم تلقیح نداشت. در شرایط نرمال (دور آبیاری ۷ روزه) باکتری سودوموناس اثر مثبتی بر محتوای آب نسبی نداشت (شکل ۴-۴۰).

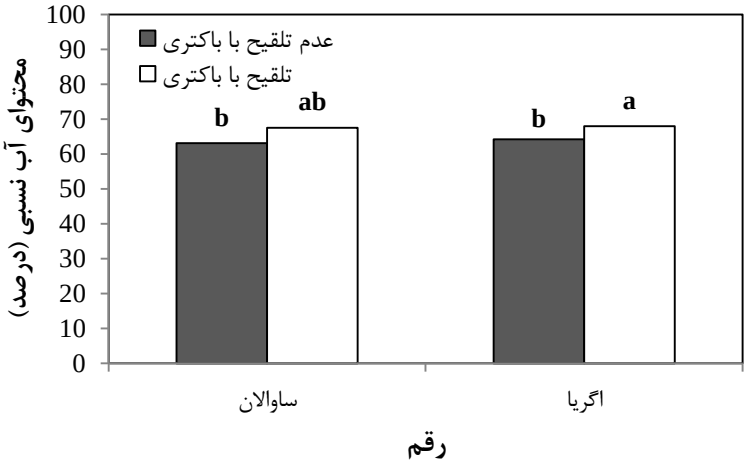


شکل ۴-۴۰- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس قبل از آبیاری

کاهش محتوای آب نسبی و بسته شدن روزنه‌ها اولین تاثیر تنش خشکی بوده که از طریق اختلال در سیستم ساخت مواد فتوسنتزی موجب کاهش میزان عملکرد می‌شود (پاک نژاد و همکاران، ۲۰۰۷). تحت شرایط تنش خشکی، گیاه روزنه‌های خود را می‌بندد، در نتیجه میزان دی اکسید کربن درون سلولی کاهش می‌یابد که این منجر به کاهش فشار آماس در اثر کاهش فتوسنتز و ساخت و ساز در برگ می‌شود (وازن و همکاران، ۲۰۰۲). کاهش محتوای آب نسبی برگ در اثر افزایش شدت تنش خشکی احتمالاً با سنتز کلروفیل مرتبط است، چرا که تحقیقات نشان می‌دهد که جهت ساخت کلروفیل در برگ محتوای

آب نسبی برگ باید بالا باشد (ساوهنی و سینگ، ۲۰۰۲). کاهش محتوای آب نسبی برگ در مطالعات ارجی و ارزانی (۲۰۰۳)، مدرانو و همکاران (۲۰۰۲)، خسروی‌فر و همکاران (۲۰۰۸)، باجی و همکاران (۲۰۰۱) گزارش شده است.

محتوای آب نسبی رقم ساوالان و اگریا در شرایط عدم تلقیح به ترتیب ۵۹/۰۰ و ۶۱/۷۸ درصد بود. در این حالت رقم اگریا از محتوای آب بالاتری نسبت به ساوالان برخوردار است. در رقم ساوالان تلقیح یافته با باکتری محتوای آب نسبی ۷/۱۰ درصد افزایش یافت (شکل ۴- ۴۱). باکتری سودوموناس بر رقم اگریا تاثیر چندانی نداشت.



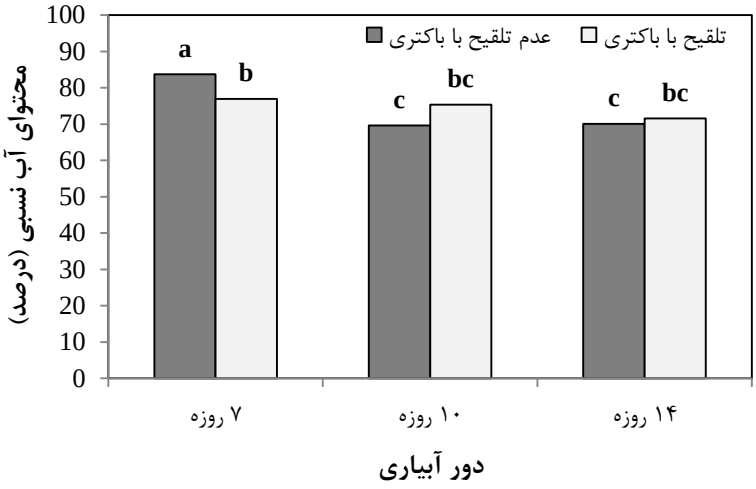
شکل ۴-۴۱- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ تحت تاثیر ترکیب تیماری باکتری سودوموناس و رقم قبل از آبیاری

تفاوت میان ارقام از نظر محتوای آب نسبی ناشی از مکانیسم‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک متفاوت نظیر تغییر اندازه برگ، زاویه برگ، وجود و یا عدم وجود موم بوده که در بین ارقام حساس و متحمل وجود دارد (کلارک و اسمیت، ۱۹۸۴).

۴-۲-۷-۲- محتوای آب نسبی برگ بعد از آبیاری

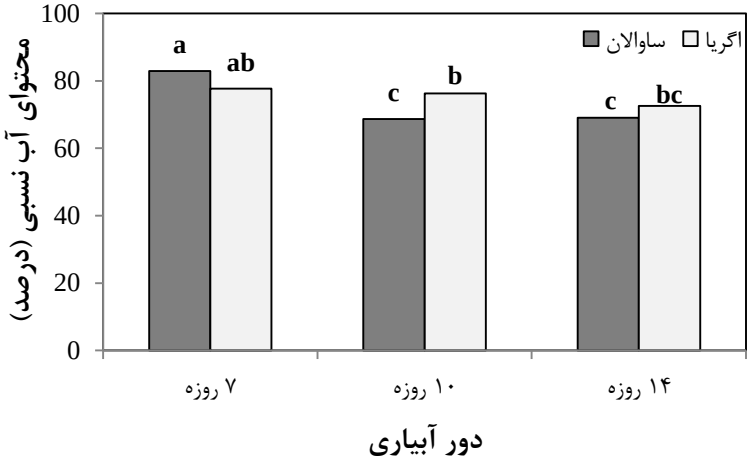
اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس و اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و رقم در سطح احتمال ۵ درصد بر محتوای آب نسبی برگ معنی‌دار بود (جدول پیوست۴-۱۳).

همان طور که در شکل (۴-۴۲) مشاهده می‌شود، بیشترین محتوای آب نسبی برگ در تیمار دور آبیاری ۷ روزه و عدم تلقیح با باکتری (۸۳/۷۵ درصد) و کمترین مقدار آن در تیمار دور آبیاری ۱۴ روزه و عدم تلقیح با باکتری (۷۰/۰۸ درصد) حاصل شد. دور آبیاری ۱۰ و ۱۴ روزه نسبت به هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. می‌توان گفت که ممکن است در شرایط آبیاری نرمال (۷ روزه)، تلقیح با باکتری سودوموناس تاثیر زیادی بر محتوای آب نسبی نداشته ولی با اعمال تنش کم‌آبیاری و مواجه شدن گیاه با کم‌آبی و کاهش محتوای آب نسبی، باکتری می‌تواند اثر موثری داشته و موجب بهبود محتوای آب نسبی گیاه گردد.



شکل۴-۴۲- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ تحت تاثیر اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس بعد از آبیاری

محتوای آب نسبی رقم ساوالان و اگریا در دور آبیاری ۷ روزه به ترتیب ۹۶/ ۸۲ و ۷۷/۷۶ درصد بود (شکل ۴-۴۳) که از نظر آماری اختلافی با هم نداشتند. در شرایط اعمال تنش رقم اگریا نسبت به ساوالان کمتر تحت تاثیر تنش قرار گرفته و محتوای آب بالاتری دارد. گلن و همکاران (۱۹۹۶) با مطالعه گیاه گندم بیان کردند که هر چه گیاه بتواند در شرایط تنش آب بیشتری در بافت‌های خود ذخیره کند، قدرت پروتوپلاسم در تحمل صدمات ناشی از خشکی بیشتر خواهد بود.

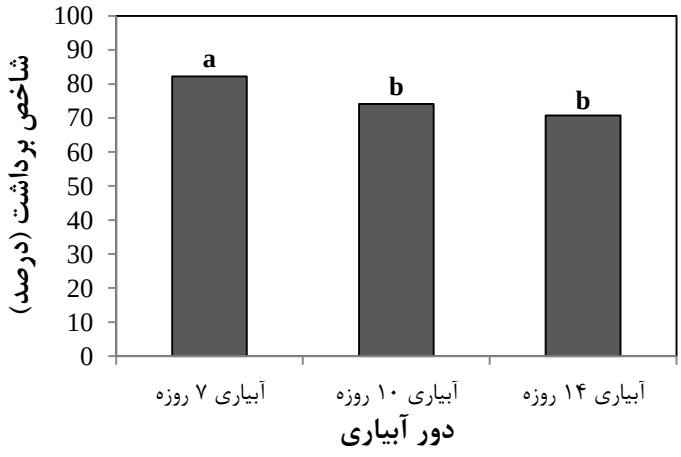


شکل۴-۴۳- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ تحت تاثیر ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و رقم بعد از آبیاری

دلیل بالا بودن محتوای آب نسبی برگ ممکن است به علت وجود ساز و کارهای کاهش دهنده تلفات آب از طریق روزنه‌ها (بسته تر شدن روزنه‌ها) و یا به دلیل جذب بیشتر آب از طریق توسعه ریشه‌ها باشد (مونز و همکاران، ۱۹۹۹). طبق نتایج کایزر (۱۹۸۹) هنگامی که میزان آب گیاه از میزان استاندارد پایین‌تر آید، کاهش غیرقابل بازگشتی در ظرفیت فتوسنتزی بوجود می‌آید که ناشی از صدمه وارده به غشای کلروپلاست بوده و نهایتاً منجر به مرگ گیاه می‌شود.

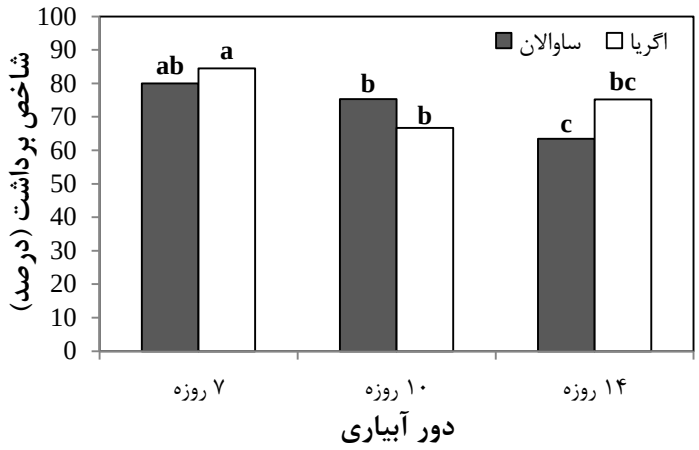
۴-۳- شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس شاخص برداشت در آخرین نمونه‌برداری در جدول پیوست (۴-۸) نشان می‌دهد که تنش کم‌آبیاری و اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و رقم در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان شاخص برداشت معنی‌دار شد. بیشترین و کمترین شاخص برداشت در دور آبیاری ۷ و ۱۴ روزه به میزان ۸۲/۲۴ و ۶۹/۳۱ درصد حاصل گردید (شکل ۴-۴۴). با افزایش دور آبیاری شاخص برداشت کاهش یافت. کاهش شاخص برداشت را می‌توان ناشی از کمبود رطوبت خاک، کاهش فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی، کاهش تخصیص مواد به بخش‌های مختلف گیاه و در نتیجه نرسیدن گیاه به پتانسیل ژنتیکی خود دانست.



شکل۴-۴۴- مقایسه میانگین شاخص برداشت تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری

شاخص برداشت رقم ساوالان در آبیاری ۷ روزه، ۸۰/۰۳ درصد بود که با افزایش دور آبیاری (۱۰ و ۱۴ روزه) به ترتیب به میزان ۵/۸۴ و ۲۰/۷۵ درصد کاهش داشت (شکل ۴-۴۴). شاخص برداشت رقم اگریا در آبیاری ۷ روزه ، ۸۴/۴۶ درصد بود که نسبت به رقم ساوالان ۹/۲۰ درصد بالاتر بود. در دور آبیاری ۱۰ روزه اختلاف معنی‌داری بین ارقام اگریا و ساوالان وجود نداشت. در شرایط آبیاری ۱۴ روزه شاخص برداشت رقم ساوالان به میزان ۱۱/۴۳ درصد نسبت به رقم اگریا کاهش یافت (شکل ۴-۴۵).

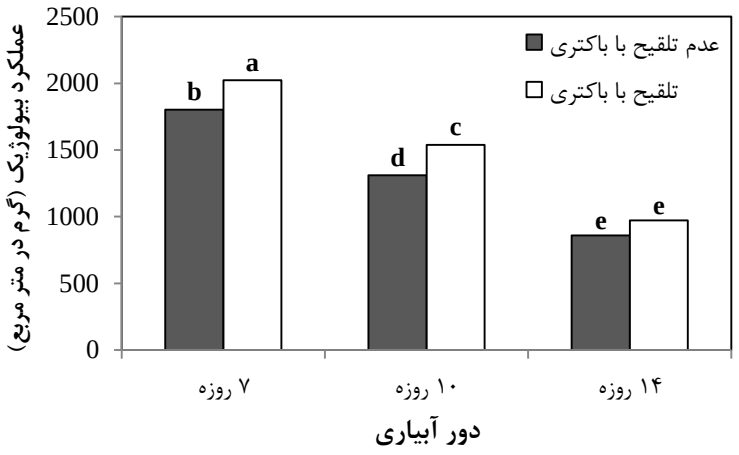


شکل۴-۴۵- مقایسه میانگین شاخص برداشت تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری و رقم

تنش خشکی کاهش پتانسیل آب در گیاه را موجب شده و همچنین با بسته شدن روزنه‌ها میزان دی اکسید کربن داخل برگ کاهش یافته و به دنبال آن فتوسنتز کاهش می‌یابد، در نتیجه کاهش تجمع مواد و به دنبال آن کاهش شاخص برداشت را به دنبال دارد. تنش خشکی شاخص برداشت گیاه را کاهش می‌دهد (اهدائی و واینس، ۱۹۹۶). دلیل کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش خشکی عمدتا به حساسیت بیشتر رشد زایشی در مقایسه با رشد رویشی نسبت داده شده است.

۴-۴- عملکرد بیولوژیک

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول پیوست ۴-۸). با افزایش دور آبیاری عملکرد بیولوژیک کاهش یافت. ضمناً تلقیح با باکتری سودوموناس سبب بهبود عملکرد بیولوژیک گردید (شکل ۴-۴۶).



شکل۴-۴۶- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری و باکتری سودوموناس

بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک (۱۹۱۲/۶۶ گرم در مترمربع) در دور آبیاری ۷ روزه همراه با تلقیح با باکتری مشاهده شد که نسبت به عدم تلقیح عملکرد بیولوژیک را به میزان ۱۲/۲۶ درصد افزایش داد. عملکرد بیولوژیک در دور آبیاری ۱۰ و ۱۴ روزه در شرایط عدم تلقیح به ترتیب ۱۳۰۹/۳۵ و ۸۶۰/۵۸ (گرم در متر مربع) بود و تلقیح با باکتری این مقادیر را به میزان ۱۷/۵۳ و ۱۲/۸۸ درصد افزایش داد.

کمبود آب، یکی از تنش‌های غیرزنده حائز اهمیت است که در رشد و عملکرد گیاهان زراعی تأثیر نامطلوبی برجای می‌گذارد. یکی از اثرات نامطلوب تنش، کاهش یا توقف سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌باشد. به دنبال آن، برداشت نوری کاهش یافته و تولید توان احیای منبع انرژی برای واکنش‌های فتوسنتزی را کاهش می‌دهد. این تغییر در مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی به طور دقیقی در عملکرد بیوماس گیاه تجمع می‌یابد. باکتری به طور مستقیم و یا غیر مستقیم از طریق تولید موادی چون ACC دی آمیناز، اکسین و مواد محرک رشد دیگر سبب افزایش رشد و تولید گیاه شده اند (آجیت و همکاران، ۲۰۰۶).

تنش خشکی در مرحله رویشی سبب کاهش ارتفاع گیاه و شاخص سطح برگ شده و از طریق کاهش فتوسنتز و رشد سلول‌ها موجب کاهش وزن خشک برگ و اندام هوایی گیاه می‌گردد و همچنین انتقال مواد بین اندام‌های مختلف گیاه دچار اختلال شده که کاهش تجمع ماده خشک را نشان می‌دهد (بویر، ۱۹۶۸؛ دک، ۱۹۸۶).

۴-۵- عملکرد

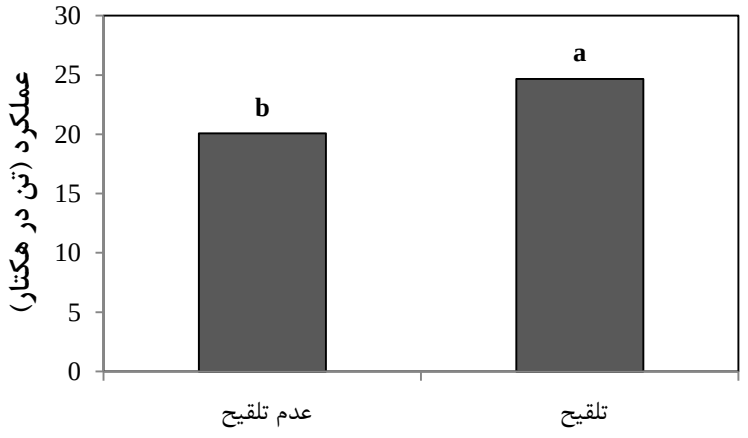
تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و ترکیب تیماری تنش کم‌آبیاری و رقم بر میزان عملکرد معنی‌دار بود (جدول پیوست ۴-۸). تلقیح با باکتری سودوموناس سبب افزایش ۲۳/۸۶ درصدی عملکرد نسبت به عدم تلقیح شد (شکل ۴-۴۷).

می‌توان این گونه استنباط کرد که باکتری سودوموناس فلورسنس به عنوان حل کننده فسفات و محرک رشد عمل نموده و از طریق افزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی سبب بهبود شرایط برای گیاه در شرایط تنش شده و بهبود عملکرد را به دنبال دارد.

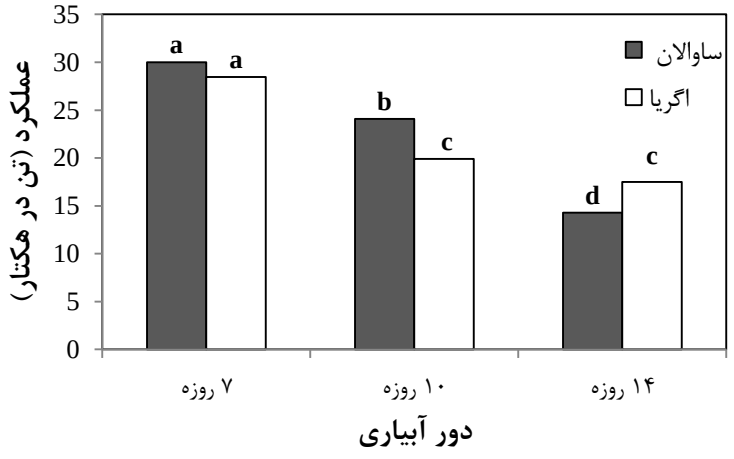
عملکرد رقم ساوالان و اگریا در دور آبیاری ۷ روز به ترتیب ۲۹/۹۸ و ۲۸/۴۵ تن در هکتار بود که البته از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۴-۴۸).

در دور آبیاری ۱۰ روزه عملکرد رقم اگریا نسبت به ساوالان ۱۷/۳۵ درصد کاهش داشت. اما در دور آبیاری ۱۴ روزه عملکرد رقم اگریا نسبت به ساوالان بالاتر بود (۲۲/۷۰ درصد). می‌توان این‌گونه تفسیر نمود که رقم اگریا به دلیل محتوای آب نسبی بالاتر و همچنین غلظت بالاتر کلروفیل در شرایط تنش شدید نسبت به رقم ساوالان متحمل‌تر است و در شرایط تنش ملایم (آبیاری ۱۰ روزه) و شرایط معمول (دور آبیاری ۷ روزه) رقم ساوالان به دلیل تعداد غده تولیدی بیشتر عملکرد بالاتری دارد. هر چه دور آبیاری افزایش یابد، دمای خاک افزایش یافته و در نتیجه شرایط برای رشد و نمو غده‌ها نامناسب می‌شود

(کارافیلیدیس و همکاران،۱۹۹۶) هر چه فواصل آبیاری افزایش یابد، اتلاف رطوبت از دسترس گیاه در طول دوره رشد بیشتر شده و در اواخر دوره رشد نیز فرصت کمتری جهت انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های مختلف به سمت بخش اقتصادی گیاه فراهم می‌گردد و در نتیجه موجب کاهش عملکرد می‌گردد.



شکل۴-۴۷- مقایسه میانگین عملکرد تحت تاثیر تلقیح با باکتری سودوموناس



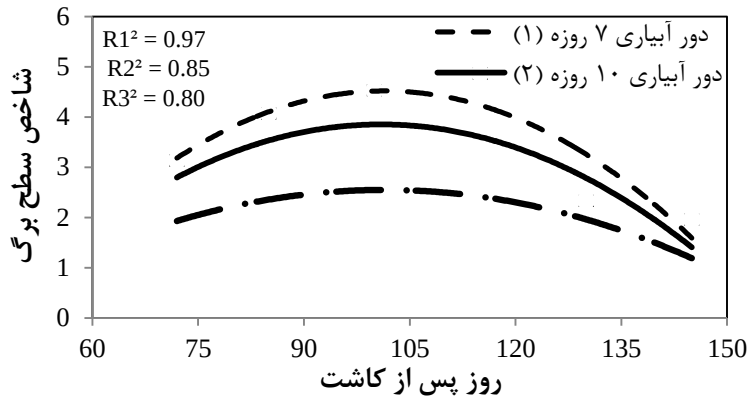
شکل۴-۴۸- مقایسه میانگین عملکرد تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری و رقم

لاهلو و همکاران (۲۰۰۳) با بررسی تاثیر خشکی در ۴ رقم سیب‌زمینی گزارش نمودند که با افزایش خشکی تجمع ماده خشک کاهش می‌یابد. تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع بوته، تغییر رنگ برگ‌ها، کم شدن دوام سطح برگ‌ها (رستمی و همکاران،۲۰۰۳)، کاهش ماده خشک تولید شده، فتوسنتز جاری گیاه، ذخیره مواد غذایی در ساقه و اندام‌های رویشی شده و در نهایت موجب کاهش عملکرد می‌شود (کومار،۲۰۰۰). همچنین تنش خشکی با تاثیر بر روزنه‌ها، آنزیم‌های چرخه کالوین و تنفس می‌تواند میزان عملکرد نهایی را به میزان زیادی کاهش دهد (امام و نیک‌نژاد، ۲۰۰۴). کمبود آب یکی از معمول‌ترین انواع تنش در زراعت سیب‌زمینی به شمار می‌رود و از عوامل مهم کاهش عملکرد و کیفیت غده محسوب می‌گردد. از آنجائی‌که سیب‌زمینی به کمبود آب بسیار حساس می‌باشد (حسن پناه، ۲۰۰۹). فراهم نمودن آب کافی فاکتور مهمی در افزایش کمیت و کیفیت سیب‌زمینی به شمار می‌رود. افزایش میانگین وزن تر غده با افزایش آب آبیاری توسط یوان و همکاران (۲۰۰۳) نیز گزارش شده است.

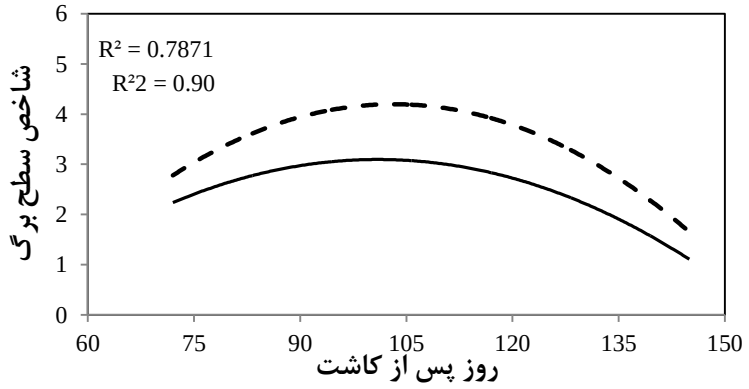
۴-۶- شاخص های رشد گیاه

۴-۶-۱- شاخص سطح برگ

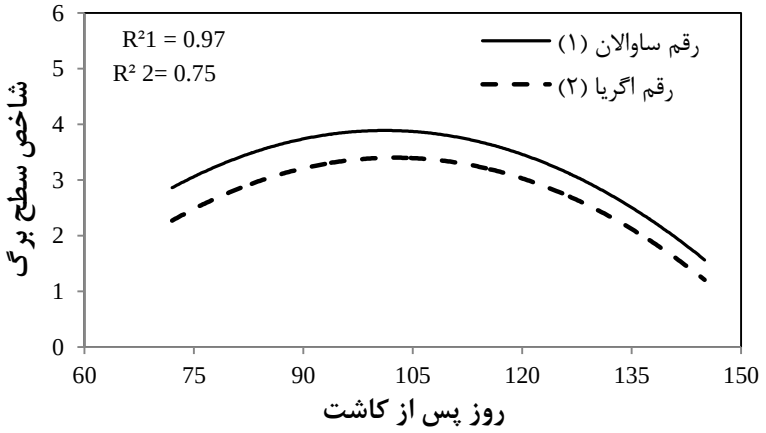
بررسی روند تغییرات شاخص سطح برگ در نمونه‌برداری آخر تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم در شکلهای (۴-۴۹) تا (۴-۵۱) نشان می‌دهد که در طول دوره رشد گیاه، میزان سطح برگ افزایش یافته و در ۱۱۵ روز پس از کشت به حداکثر میزان خود می‌رسد که مصادف با گلدهی کامل بود. پس از این مرحله، شاخص سطح برگ کاهش یافت. با توجه به شکل (۴-۴۹) با افزایش فواصل آبیاری شاخص سطح برگ کاهش می یابد. تنش خشکی ممکن است از طریق تسریع پیری، ریزش برگ و کاهش سطح برگ (کریم زاده اصل و همکاران، ۲۰۰۴) روی کاهش سطح برگ اثرگذار باشد.



شکل ۴-۴۹- روند تغییرات شاخص سطح برگ تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری



شکل ۴-۵۰- روند تغییرات شاخص سطح برگ تحت تاثیر باکتری سودوموناس



شکل۴-۵۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ تحت تاثیر رقم

روند تغییرات شاخص سطح برگ تحت تاثیر باکتری سودوموناس (شکل۴-۵۰) نشان می‌دهد که تلقیح گیاه با باکتری سودوموناس سبب افزایش شاخص سطح برگ می‌گردد. که می‌توان این‌گونه استنباط کرد که تلقیح با باکتری سودوموناس از طریق تولید ایندول استیک اسید موجب افزایش سطح برگ و نهایتاً افزایش شاخص سطح برگ می‌شود (موردوخوا و همکاران، ۲۰۰۰؛ استون و همکاران، ۲۰۰۱ و اسپایپن و همکاران، ۲۰۰۹).

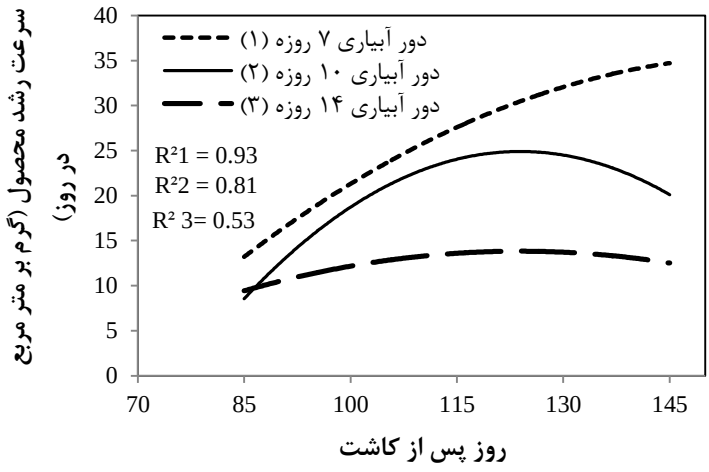
مقایسه روند تغییرات شاخص سطح برگ تحت تاثیر رقم (شکل۴-۵۱) نشان می‌دهد که رقم ساوالان نسبت به اگریا از سطح برگ بالاتری برخوردار است. کاهش سطح برگ در شرایط تنش خشکی در تحقیقات پاندی و همکاران (۲۰۰۰)، کیکر (۲۰۰۴)، ولف و همکاران (۱۹۸۸)، ابایومی (۲۰۰۲) و محمدیان (۲۰۰۱) نیز گزارش شده است. کاپولنیک و همکاران (۱۹۸۲) اظهار داشتند که تلقیح بذرهای ذرت با باکتری آزوسپیریلیوم موجب افزایش تعداد برگ می‌شود که به دنبال آن افزایش سطح برگ را به همراه دارد. گزارش حمیدی و همکاران (۱۳۸۵) نیز مصداق این موضوع می‌باشد.

۴-۶-۲- سرعت رشد محصول

در ابتدای فصل رشد سرعت رشد محصول به علت کمی سطح برگ و کاهش دریافت تشعشع و در نتیجه کاهش فتوسنتز پایین است. به تدریج با افزایش سطح برگ و فتوسنتز میزان رشد محصول افزایش یافته تا به حد نهایی خود می‌رسد. پس از آن پیری و ریزش برگها سبب کاهش میزان سرعت رشد محصول می‌شود.

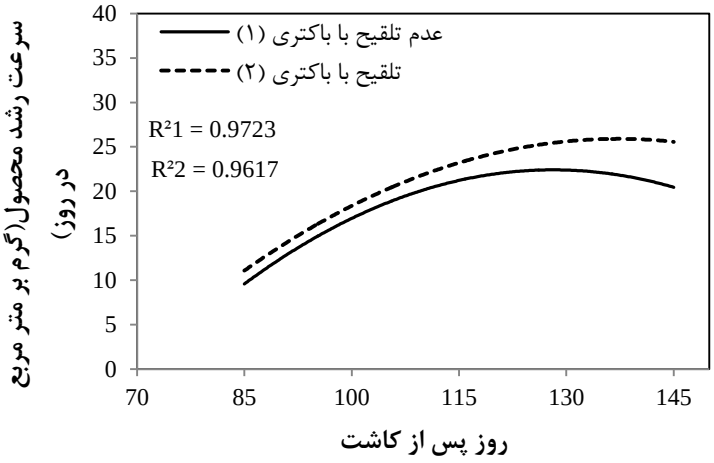
در این تحقیق سرعت رشد محصول در نتیجه ی افزایش دورآبیاری کاهش یافت (شکل۴-۵۲). سرعت رشد محصول در تیمار دور آبیاری ۷ روزه تا حدود ۱۳۰ روز پس از کاشت افزایش یافت و به ۳۵/۵۱ گرم

در مترمربع در روز رسید و پس از آن کاهش یافت. در تیمار دور آبیاری ۱۴ روزه کاهش سرعت رشد محصول شدیدتر بود.



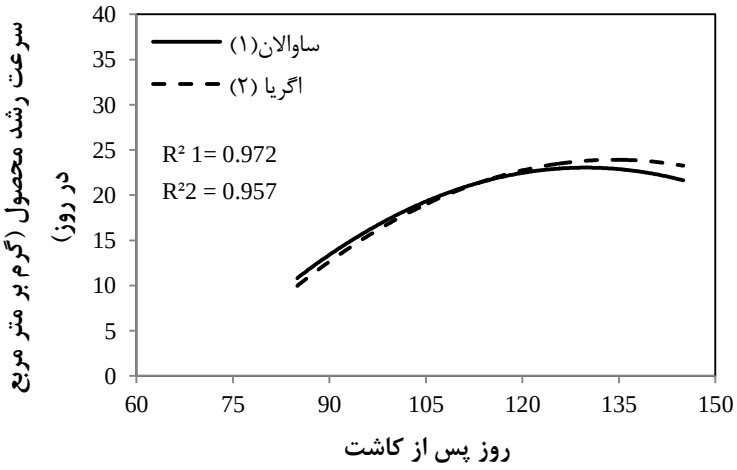
شکل ۴-۵۲- روند تغییرات سرعت رشد محصول تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری

روند تغییرات سرعت رشد محصول تحت تاثیر تیمارهای مختلف تا ۱۱۰ روز پس از کاشت با روند تغییرات شاخص سطح برگ هماهنگ است، بنابراین شاخص سطح برگ تا اواسط دوره رشد در تعیین سرعت رشد محصول نقش مهمی داشته است. روند تغییرات سرعت رشد محصول تحت تاثیر باکتری سودوموناس (شکل۴-۵۳) نشان داد که در هر دو تیمار سرعت رشد محصول تا ۱۱۵ روز پس از کاشت افزایش و پس از آن کاهش یافته است. تلقیح با باکتری سودوموناس سبب افزایش سرعت رشد محصول گردید. بررسی روند تغییرات سرعت رشد محصول تحت تاثیر رقم در شکل (۴-۵۴) نشان می‌دهد که در این رابطه رقم ساوالان و اگریا از روند تقریبا مشابهی برخوردار بودند. گزارش‌های گلدانی و رضوانی (۲۰۰۷) حاکی از آن است که در شرایط تنش خشکی و با کاهش پتانسیل آبی گیاه، سرعت رشد گیاه به دلیل افزایش شدت تنفس و کاهش فتوسنتز، کاهش می‌یابد.



شکل۴-۵۳- روند تغییرات سرعت رشد محصول تحت تاثیر باکتری سودوموناس

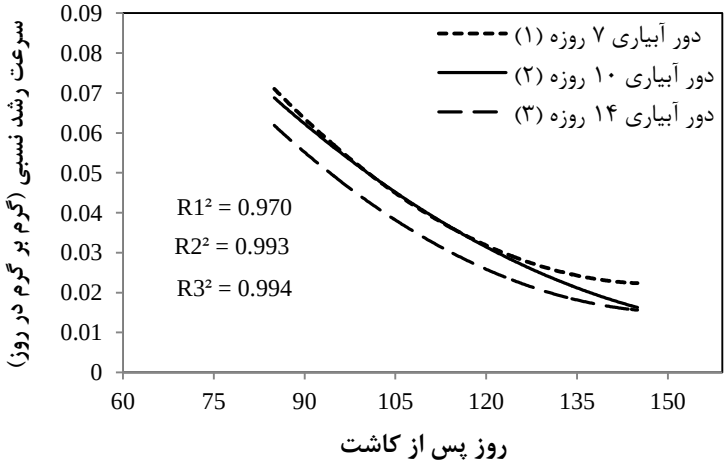
رشدی (۱۳۸۴) با اعمال تنش خشکی در افتابگردان گزارش کرد که سرعت رشد محصول با اعمال تنش کاهش می‌یابد که ممکن است به دلیل کاهش سطح برگ، اختلال در فتوسنتز و کاهش تولید ماده خشک باشد. در این تحقیق مشخص شد که باکتری سودوموناس از طریق تاثیر بر شاخص‌های رشدی نظیر شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول، می‌تواند رشد گیاه را بهبود بخشد.



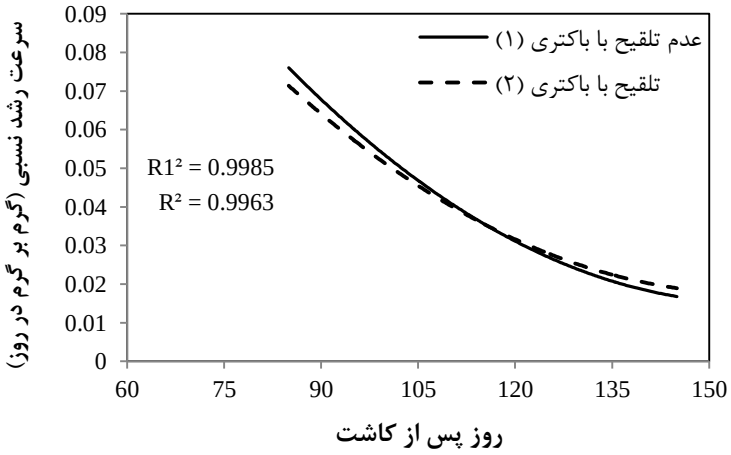
شکل۴-۵۴- روند تغییرات سرعت رشد محصول تحت تاثیر رقم

۴-۶-۳- سرعت رشد نسبی

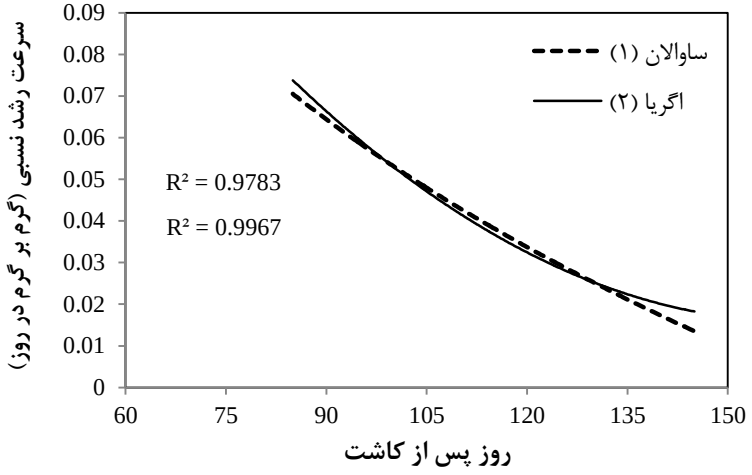
روند تغییرات سرعت رشد نسبی تحت تاثیر تیمار دور آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم در شکل های (۴-۵۵) تا (۴-۵۷) نشان داد که این شاخص در ابتدای مراحل رشد، حداکثر بود و با گذشت زمان و افزایش سن گیاه کاهش یافت.



شکل۴-۵۵- روند تغییرات سرعت رشد نسبی تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری



شکل۴-۵۶- روند تغییرات سرعت رشد نسبی تحت تاثیر باکترس سودوموناس فلورسنس



شکل۴-۵۷- روند تغییرات سرعت رشد نسبی تحت تاثیر رقم

سرعت رشد نسبی در دور آبیاری ۷ و ۱۰ روزه از روند تقریبا یکسانی برخوردار بوده و با افزایش دور آبیاری کاهش یافت. بررسی روند تغییرات سرعت رشد نسبی تحت تاثیر باکتری سودوموناس نشان داد که تلقیح و عدم تلقیح باکتری روند مشابهی داشت. روند تغییرات سرعت رشد نسبی تحت تاثیر رقم نشان داد که هر دو رقم ساوالان و اگریا هر دو در ابتدای دوره رشد افزایش و با رسیدن به انتهای دوره کاهش یافته است.

سرعت رشد نسبی با گذشت زمان به دلیل ایجاد رقابت بین گیاهان برای دریافت آب و مواد غذایی و دریافت نور، در سایه قرار گرفتن برگ‌های پایینی و کاهش توانایی فتوسنتزی آن‌ها، کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد با کامل شدن پوشش کانوپی و سایه اندازی روی بوته‌ها، رقابت بین بوته‌ها ایجاد شده و این امر موجب کاهش اضافه وزن جدید به وزن قبلی گیاه شده، مقدار وزنی که افزایش می‌یابد نسبت به وزن قبلی درصد کمتری را تشکیل دهد (ماهرخ و خواجه پور، ۱۳۸۹).

کاهش سرعت رشد نسبی در اثر تنش رطوبتی در چغندرقند (ابایومی، ۲۰۰۲) و ذرت (استون و همکاران، ۲۰۰۱) گزارش شده است.

۴-۷- نتیجه گیری نهایی

در شرایط تنش کم‌آبیاری:

با افزایش فواصل آبیاری، شاخص برداشت، درصد پروتئین غده، محتوای کلروفیل و محتوای آب نسبی (قبل از آبیاری) کاهش یافتند.

با افزایش دور آبیاری، در مراحل آغاز غده‌بندی و اواسط پرشدن غده‌ها، تجمع ماده خشک در رقم ساوالان نسبت به اگریا بیشتر تحت تاثیر قرار گرفته و کاهش بیشتری را نشان داد.

رقم اگریا به دلیل محتوای آب نسبی بالاتر و همچنین غلظت بالاتر کلروفیل در شرایط تنش شدید (آبیاری ۱۴ روزه) نسبت به رقم ساوالان عملکرد بیشتری داشت.

تلقیح غده‌های سیب‌زمینی با باکتری سودوموناس فلورسنس موجب :

افزایش ۶۴/۲۶ درصدی قطر غده رقم اگریا نسبت به شرایط عدم تلقیح گردید.

افزایش ۲۳/۸۶ درصدی عملکرد را نسبت به عدم تلقیح را به همراه داشت.

موجب کاهش ۱۲/۷۸ درصدی خسارت گردید در دور آبیاری ۱۴ روزه بیشترین خسارت به غشای پلاسمایی وارد شد.

درصد فسفر گیاه در نتیجه تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسنس به میزان ۱۲/۱۲ درصد افزایش نشان داد.

۴-۸- پیشنهادها

۱. تاثیر باکتری سودوموناس فلورسنس بر روی ارقام بیشتری مورد بررسی قرار گیرد.

۲. تکرار این آزمایش در شرایط مشابه و نیز در مناطق مختلف و با فواصل آبیاری مختلف می تواند مفید واقع شود.

۳. استفاده از سویه های مختلف باکتری سودوموناس بر روی سیب‌زمینی به منظور انتخاب بهترین سویه برا این منطقه.

۴. بررسی سطوح مختلف کودی همراه با باکتری جهت یافتن نتایج بهتر در شرایط مختلف تنش.

پیوست‌ها

جدول پیوست ۴-۱- میانگین مربعات وزن خشک کل تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس فلورسنس و رقم در نمونه برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	۷۲	۸۵	۱۰۰	۱۱۵	۱۳۰	۱۴۵ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۸۸۴/۲۸	۱۷۳۵۲/۱۶	۳۲۴۲۰/۵۳	۱۵۶۱۵۲/۱۴	۹۳۹۲۶/۸۱	۲۷۹۶۱/۶۸
تنش کم‌آبیاری	۲	۸۳۸۵/۱۰**	۴۷۴۱۰/۷۵*	۱۷۱۴۳۵/۷۳**	۴۵۳۳۹۵/۲۵*	۱۵۶۴۶۷۱/۳۵**	۲۹۸۰۲۲۴/۵۵**
خطای اول	۴	۱۵۹/۵۴	۳۴۱۸/۲۳	۶۷۵۷/۳۵	۵۷۹۶۳/۲۶	۴۴۱۸۲/۹۳	۹۹۱۸/۲۱
باکتری سودوموناس	۱	۱۲۰۸/۹۵**	۶۸۹۸/۴۰	۱۲۰۶۰/۴۳	۷۸۸۲۵/۲۴*	۹۴۰۷۶/۱۳**	۳۱۵۴۰۵/۷۹**
رقم	۱	۱۹۶۳/۶۸**	۹۶۶/۳۸	۱۱۵۸۸/۵۲	۲۲۷۳۱/۰۹	۰/۵۰	۲۵۶/۷۴
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس	۲	۲۷۳/۲۴	۱۲۱۲/۸۹	۱۱۳۰۶/۱۸	۸۲۰۴/۲۷	۶۱۹۵۰/۴۲*	۱۳۱۵۹/۱۷
تنش کم‌آبیاری × رقم	۲	۸۰۲/۷۹**	۸۶۰۳/۱۳	۲۸۴۷/۶۶	۵۹۹۳۹/۷۰*	۷۹۰۳۹/۸۷**	۶۱۷۱۸/۸۸
باکتری سودوموناس × رقم	۱	۱۰۶/۶۴	۳۵/۲۴	۱۷۵۷/۵۶	۱۱۱۷/۴۵	۱۰۸۴۶/۱۸	۶۴۴۳۶/۴۳
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس × رقم	۲	۱۶۴/۱۲	۱۲۶۷/۳۴	۳۵۸۵/۵۱	۸۷۰۱/۶۶	۴۶۶۹۹/۰۳	۱۳۰۰/۳۱
خطای دوم	۱۸	۹۱/۰۵	۳۱۳۷/۵۲	۴۵۰۵/۱۲	۱۶۱۴۵/۵۵	۱۱۰۸۷/۱۵	۳۱۹۷۴/۰۶
ضریب تغییرات (درصد)		۱۱/۶۵	۲۴/۱۲	۱۴/۴۶	۱۶/۳۸	۹/۵۲	۱۲/۶۱

*و** : به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول پیوست۴-۲- میانگین مربعات وزن خشک غده تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم در نمونه برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	۷۲	۸۵	۱۰۰	۱۱۵	۱۳۰	۱۴۵ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۲/۳۲	۳۴/۹۴	۳۱۰/۴۱	۷۹۷۵۱/۱۰	۱۹۲۸۹/۲۱	۳۶۴۶۸/۲۶
تنش کم‌آبیاری	۲	۲۷/۷۶**	۵۹۳/۸۲**	۵۶۹۹۴/۷۴**	۲۳۰۵۰۹/۹۹*	۱۰۱۰۱۹۶/۵۷*	۲۷۶۰۱۴۰/۶۶**
خطای اول	۴	۰/۹۰	۲۰/۶۹	۵۲۹/۲۵	۲۴۳۲۳/۴۰	۷۳۵۵۰/۸۳	۲۸۱۷۰/۳۰
باکتری سودوموناس	۱	۱۱/۶۹**	۸/۴۸	۲۷۲۹/۱۹*	۳۰۸۰۹/۶۱	۱۲۹۶۴۶/۸۰*	۴۱۰۸۵۱/۰۸**
رقم	۱	۳/۴۱	۱۹/۹۲	۵۰۴۵/۹۷*	۱۴۴۵۲/۸۴	۱۸۵۲/۲۱	۷۵۴۸۹/۳۹
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس	۲	۰/۶۳	۲۸/۴۵	۱۲۷/۱۹	۴۰۶/۴۷	۱۳۸۲۵۶/۸۱*	۶۹۵۷/۷۵
تنش کم‌آبیاری × رقم	۲	۰/۰۰۱	۴۹/۴۳	۱۴۱۲/۹۳	۱۸۹۹۵/۹۹	۱۰۰۵۳/۴۳	۱۳۰۶۷۸/۵۶
باکتری سودوموناس × رقم	۱	۰/۷۶	۱۴۸/۲۷	۲۷/۹۳	۴۹۷/۴۳	۵۸۴۳/۳۲	۲۵۴۶۵۱/۴۳*
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس × رقم	۲	۲/۳۵	۹۶/۱۱	۱۹۸/۲۰	۶۹۵۷/۳۰	۱۰۴۷۹/۷۴	۶۹۴۵/۵۲
خطای دوم	۱۸	۰/۸۴	۳۰/۷۰	۴۱۶/۹۲	۱۲۷۸۱/۰۲	۲۳۰۲۶/۷۷	۳۷۵۵۹/۹۷
ضریب تغییرات (درصد)		۲۷/۲۱	۲۴/۴۵	۱۴/۷۵	۳۸/۳۰	۲۱/۲۹	۱۷/۴۰

*و** : به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول پیوست ۴-۳- میانگین مربعات وزن خشک برگ تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم در نمونه برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	۷۲	۸۵	۱۰۰	۱۱۵	۱۳۰	۱۴۵ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۷۱/۲۳	۲۴۸۳/۶۸	۸۳۵۴/۲۰	۷۳/۹۲	۵۳۷۸/۱۰	۲۰۲۵/۹۴
تنش کم‌آبیاری	۲	۱۴۴۶/۳۸**	۱۵۰۸۴/۹۵	۴۲۴۸۵/۲۶*	۹۴۲۴۰/۳۳**	۴۹۲۵۲/۳۱*	۲۱۴۶۵/۴۹*
خطای اول	۴	۶۲/۶۴	۴۴۵۰/۱۱	۳۴۱۵/۰۶	۷۶۶/۱۱	۳۲۲۰/۱۳	۱۸۵۲/۵۲
باکتری سودوموناس	۱	۲۶۳/۱۴**	۱۸۹۷/۱۸	۱۸۷۵/۳۲	۲۵۸۰/۳۰	۶۷۳۸/۲۲*	۶۶۴/۵۲
رقم	۱	۳۵۵/۳۸**	۹۵۵/۲۲	۳۳۷۰/۳۸	۵۸۱۷/۱۱*	۶۰۱/۸۸	۱۱۱۹/۰۱
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس	۲	۱۱/۳۴	۱۰۴۷/۲۱	۲۰۲۴/۶۴	۴۰۹۹/۰۷*	۱۴۵۵/۴۵	۹۱۰/۹۰
تنش کم‌آبیاری × رقم	۲	۴۴/۸۴	۵۱۵۵/۴۶*	۷۶۶/۱۲	۱۴۳۴/۹۴	۱۴۴۲/۹۲	۳۱۵۷/۹۷
باکتری سودوموناس × رقم	۱	۵۱/۸۱	۹۰۵/۰۰۶	۱۰/۷۹	۵۴۰۳/۲۳*	۲۰۳۳/۴۰	۴۴/۶۰
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس × رقم	۲	۴/۸۴	۳۶۷/۴۰	۷/۴۲	۳۵۳/۳۵	۳۷۵۶/۴۵	۲۹۷۳/۵۹
خطای دوم	۱۸	۲۱/۲۹	۱۴۳۰/۴۲	۱۹۵۰/۱۵	۹۶۶/۴۰	۱۲۱۶/۳۸	۱۸۵۵/۶۷
ضریب تغییرات (درصد)		۱۱/۷۸	۳۰/۱۶	۲۳/۱۲	۱۱/۷۷	۱۷/۸۹	۳۰/۱۱

*و** : به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول پیوست ۴-۴- مقایسه میانگین وزن خشک برگ (گرم در متر مربع) تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم

	تیمار	۷۲
تنش کم‌آبیاری	دور آبیاری ۷ روزه	۴۸/۷۴a
	دور آبیاری ۱۰ روزه	۴۱/۵۷a
	دور آبیاری ۱۴ روزه	۲۷/۱۹b
باکتری سودوموناس	عدم تلقیح	۳۶/۴۶b
	تلقیح	۴۱/۸۵a
رقم	ساوالان	۴۲/۳۱a
	اگریا	۳۶/۰۲b

جدول پیوست ۴-۵- میانگین مربعات وزن خشک ساقه تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم در نمونه برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	۷۲	۸۵	۱۰۰	۱۱۵	۱۳۰	۱۴۵ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۳۹۵/۵۰	۳۶۲۷/۱۵	۶۴۳۱/۰۶	۲۲۲۰۵/۲۷	۱۲۷۷۸/۵۷	۷۰۳۸/۲۷
تنش کم‌آبیاری	۲	۲۴۳۹/۵۷**	۳۱۷۵/۷۴**	۶۴۶۱/۲۳	۱۴۷۷۸/۷۰**	۷۵۵۳/۳۵	۵۰۱۱/۳۲۰
خطای اول	۴	۷۶/۱۲	۳۸/۶۳	۱۱۶۸/۷۴	۱۵۲۸/۵۴	۲۱۹۴/۲۵	۱۸۸۰/۰۵
باکتری سودوموناس	۱	۷۱/۶۵	۱۲۸۵/۲۲	۳۵/۰۴	۴۴۴/۸۵	۹۵۷/۶۲	۸۳۷۲/۸۶
رقم	۱	۲۸۹/۲۸*	۸۸۶/۴۵	۱۰۲۹/۳۴	۴۳۸/۴۱	۱۷۷۳/۱۱	۱۲۹/۷۳
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس	۲	۱۱۲/۴۸	۴۴۳/۴۵	۳۹۷/۹۹	۳۳۱۲/۱۱*	۲۲۱۲/۲۸	۱۴۹۳/۷۸
تنش کم‌آبیاری × رقم	۲	۳۸۹/۹۸**	۱۶۱۶/۵۳	۸۶۲/۹۴	۱۸۸۳/۰۶	۸۱۵/۸۱	۱۳۱۴/۲۱
باکتری سودوموناس × رقم	۱	۱۹/۴۳	۴۸۸/۲۶	۱۸۴۳/۲۷	۳۲۲/۹۸	۳۰۲/۴۷	۶۲۷۲/۶۴
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس × رقم	۲	۸/۳۴	۱۹۴۹/۹۴	۱۸/۲۵	۸۹/۰۶	۷۷/۸۹	۱۰۷۷/۱۳
خطای دوم	۱۸	۴۵/۳۵	۶۵۴/۵۰	۴۸۸/۶۲	۸۲۴/۳۵	۱۰۱۳/۰۷	۲۸۹۵/۱۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱۶/۶۵	۳۰/۳۷	۱۸/۲۲	۱۶/۱۷	۱۹/۲۸	۳۷/۴۰

*و** : به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول پیوست ۴-۶- میانگین مربعات ارتفاع بوته تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم در نمونه برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	۷۲	۸۵	۱۰۰	۱۱۵	۱۳۰	۱۴۵ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۷۷/۲۰	۳۵۱/۴۶	۲۴۸/۶۱	۱۶۵/۵۰	۱۲۲/۷۲	۱۱۶/۳۹
تنش کم‌آبیاری	۲	۱۳۲۵/۴۱	۲۳۱۲/۵۵	۲۰۴۰/۳۹	۲۰۵۶/۴۳	۲۳۷۴/۵۱*	۲۴۳۱/۲۳*
خطای اول	۴	۲۷۸/۵۱	۴۱۶/۷۳	۴۲۰/۳۹	۳۱۶/۴۴	۲۵۳/۶۶	۲۶۰/۷۲
باکتری سودوموناس	۱	۱۵۳۱/۹۳**	۱۳۳۲/۰۰**	۱۲۷۷/۴۶**	۱۳۴۰/۶۵**	۱۴۹۱/۱۱**	۱۴۷۸/۲۷
رقم	۱	۲۳۰۳/۳۶**	۲۹۵۳/۹۲**	۲۹۰۸/۲۶**	۲۷۵۲/۹۲**	۲۶۱۴/۷۸**	۲۵۹۷/۷۷
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس	۲	۶۷/۸۱	۹۸/۵۷	۱۳۲/۰۹	۱۰۱/۸۲	۷۱/۳۸	۷۹/۰۲
تنش کم‌آبیاری × رقم	۲	۸۶/۸۳	۲۱۵/۴۹*	۲۲۰/۹۵*	۱۹۲/۱۵*	۱۴۴/۶۰	۱۳۶/۹۶
باکتری سودوموناس × رقم	۱	۱۷۳/۰۹	۸۴/۲۷	۶۵/۴۷	۴۳/۹۷	۲۴/۶۵	۳۳/۶۲
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس × رقم	۲	۲۷/۵۵	۹۹/۸۴	۱۰۶/۳۵	۱۲۷/۰۳	۱۷۳/۲۱	۱۵۸/۹۰
خطای دوم	۱۸	۵۹/۹۶	۵۲/۶۹	۵۱/۳۶	۵۳/۲۹	۵۹/۲۸	۶۰/۲۷
ضریب تغییرات (درصد)		۸/۲۲	۷/۱۳	۶/۷۶	۶/۶۶	۶/۹۲	۶/۹۷

*و** : به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول پیوست ۴-۷- میانگین مربعات تعداد غده در مترمربع تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم در نمونه برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	۷۲	۸۵	۱۰۰	۱۱۵	۱۳۰	۱۴۵ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۷۰۸/۵۰	۱۸۲/۵۸	۴۱/۴۷	۱۲۱/۲۱	۱۵۲/۹۸	۱۶۱/۹۳
تنش کم‌آبیاری	۲	۲۳۲۵/۵۳*	۳۶۶۴/۷۴*	۵۴۷۸/۲۶**	۹۲۴۱/۱۹**	۹۴۷۸/۱۹**	۸۷۹۰/۸۹**
خطای اول	۴	۵۹/۷۸	۱۴۱/۲۷	۵۹/۳۵	۲۸۹/۹۳	۲۱۸/۰۰۸	۱۶۳/۱۳
باکتری سودوموناس	۱	۱۷۳۳/۱۹**	۴۷۴۹/۹۶**	۱۱۸۵/۶۵**	۲۰۵۲/۰۹**	۴۸۹/۲۲**	۴۰۵/۶۱**
رقم	۱	۳۰/۶۳	۷۰۷/۹۱**	۱۷۴۵/۵۶**	۲۳۹۱/۲۱**	۳۱۲۳/۱۳**	۲۶۷۴/۶۱**
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس	۲	۷/۵۲	۲۰۲/۹۰**	۳۴/۶۹	۶۷/۱۶	۳۶/۱۶	۱۸/۱۳
تنش کم‌آبیاری × رقم	۲	۲۲۰/۰۲*	۴۴/۸۱	۱۱/۵۹	۲۱۳/۹۹*	۱۳۵/۵۳*	۱۲۱/۹۳*
باکتری سودوموناس × رقم	۱	۱۳۲/۲۱	۷/۳۴	۳۶/۰۰	۱۲/۷۹	۶۷/۷۶	۳۰/۳۶
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس × رقم	۲	۱۲/۵۱	۶۱/۱۸	۱۵/۰۳	۴۹/۳۱	۱۹/۴۳	۱۹/۰۱
خطای دوم	۱۸	۴۹/۴۰	۱۸/۲۶	۳۹/۰۷	۳۷/۴۷	۲۴/۷۶	۲۸/۹۲
ضریب تغییرات (درصد)		۲۷/۶۸	۱۷/۶۸	۱۵/۶۲	۱۴/۹۴	۴/۰۶	۴/۳۳

*و** : به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول پیوست ۴-۸- میانگین مربعات قطر غده، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و عملکرد نهایی تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس فلورسنس و رقم

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد غده‌های		شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک	عملکرد نهایی
		(۲۵-۳۵) میلی‌متری	(۳۵-۵۵) میلی‌متری			
تکرار	۲	۵۲۸/۵۹	۴۶۱/۵۹	۳۸/۵۷	۲۷۹۶۱/۶۸	۲۰/۳۹
تنش کم‌آبیاری	۲	۱۵۴/۴۳	۱۲۶۲/۸۴ **	۵۹۲/۱۲*	۲۹۸۰۲۲۴/۵۵**	۵۳۴/۰۱**
خطای اول	۴	۲۶۶/۹۷	۶۹/۶۸	۵۴/۶۱	۹۹۱۸/۲۱	۳۶/۶
باکتری سودوموناس	۱	۱۱۰۸/۰۰۲	۳۳۸/۱۹	۱۵۹/۷۶	۳۱۵۴۰۵/۷۹**	۱۸۹/۷۰**
رقم	۱	۵۲۴/۲۵	۴۰۶/۰۲	۵۷/۴۵	۲۵۶/۷۴	۶/۱۳
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس	۲	۸۳/۶۹	۲۹/۲۵	۵۲/۶۷	۱۳۱۵۹/۱۷*	۲/۴۵
تنش کم‌آبیاری × رقم	۲	۴۰۹/۲۶	۱۰۱۲/۸۱*	۳۲۰/۸۱*	۶۱۷۱۸/۸۸	۴۲/۳۵**
باکتری سودوموناس × رقم	۱	۵۰/۵۹	۹/۴۴	۱۷۷/۴۲	۱۴۴۳۶/۴۳	۰/۳۸
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس × رقم	۲	۳۵۵/۰۴	۱۵۸/۹۳	۱۰۷/۵۰	۱۳۰۰/۳۱	۱۱/۷۹
خطای دوم	۱۸	۳۳۴/۹۸	۲۷۷/۵۲	۵۶/۱۳	۳۱۹۷۴/۰۶	۵/۲۰
ضریب تغییرات (درصد)		۳۳/۱۹	۳۷/۴۷	۱۰/۰۹	۱۲/۶۱	۱۰/۲۰

*و** : به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول پیوست ۴-۹- مقایسه میانگین مربعات قطر غده، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و عملکرد نهایی تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس فلورسنس و رقم

	تیمار	شاخص برداشت (درصد)	عملکرد بیولوژیک (گرم در مترمربع)	عملکرد نهایی (تن در هکتار)
تنش کم‌آبیاری	دور آبیاری ۷ روزه	۸۲/۲۴	۱۹۱۲/۶۶	۲۹/۲۱
	دور آبیاری ۱۰ روزه	۷۱/۰۳	۱۴۲۴/۱۶	۲۲/۰۰
	دور آبیاری ۱۴ روزه	۶۹/۳۱	۹۱۶/۰۲	۱۵/۸۹
	LSD 5%	۸/۳۷	۱۱۲/۸۸	۲/۸۶
باکتری سودوموناس	عدم تلقیح	۷۶/۳۰	۱۳۲۴/۰۱	۲۰/۰۷
	تلقیح	۷۲/۰۹	۱۵۱۱/۲۲	۲۴/۶۶
	LSD 5%	۵/۰۲۴	۱۲۵/۲۲	۱/۵۹
رقم	ساوالان	۷۲/۹۳	۱۰۶۷/۷۱	۲۲/۷۸
	اگریا	۷۵/۴۶	۱۱۵۹/۳۰	۲۱/۹۵
	LSD 5%	۵/۲۴	۱۳۵/۷۲	۱/۵۹

جدول پیوست ۴-۱۰- میانگین مربعات فسفر خاک، فسفر گیاه و پتاسیم برگ تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم

منابع تغییر	درجه آزادی	فسفر خاک	فسفر گیاه	پتاسیم برگ	پروتئین غده
تکرار	۲	۷/۹۰	۰/۰۰۱۱	۰/۰۲	۱/۷۲
تنش کم‌آبیاری	۲	۱۵/۸۳	۰/۰۰۳۳*	۰/۳۵*	۱۵۷/۵۴**
خطای اول	۴	۲/۷۹	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۴	۱/۱۳
باکتری سودوموناس	۱	۰/۲۶	۰/۰۵۱۸**	۰/۱۹	۱/۵۰
رقم	۱	۰/۰۸	۰/۰۱۸۸*	۰/۰۶	۱۰/۴۱**
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس	۲	۱۶/۱۶**	۰/۰۰۱۴	۰/۱۱	۱۲/۳۰**
تنش کم‌آبیاری × رقم	۲	۰/۴۳	۰/۰۰۳۱	۰/۰۱	۰/۳۵
باکتری سودوموناس × رقم	۱	۴/۴۲	۰/۰۰۴۹	۰/۰۵	۳/۱۴
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس × رقم	۲	۱/۳۰	۰/۰۰۰۶۹	۰/۰۲	۲/۲۲
خطای دوم	۱۸	۱/۵۰	۰/۱۱۳	۰/۰۵	۰/۹۱
ضریب تغییرات (درصد)		۱۲/۳۹	۴/۴۳	۱۱/۹۳	۸/۴۹

*و** : به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۱۱- مقایسه میانگین پروتئین غده (درصد) تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری و رقم

	تیمار	پروتئین غده (درصد)
تنش کم‌آبیاری	دور آبیاری ۷ روزه	۱۴/۲۵a
	دور آبیاری ۱۰ روزه	۱۲/۳۲b
	دور آبیاری ۱۴ روزه	۷/۲۳c
رقم	ساوالان	۱۱/۸۰a
	اگریا	۱۰/۷۳b

جدول پیوست ۴-۱۲- میانگین مربعات رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس فلورسنس و رقم

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیلa	کلروفیلb	کلروفیل کل
تکرار	۲	۵/۲۸	۰/۸۳	۱۲/۵۲
تنش کم‌آبیاری	۲	۲۲/۴۸	۳۷/۲۵*	۲۱۶/۹۳**
خطای اول	۴	۴/۶۵	۳/۶۳	۵/۲۱
باکتری سودوموناس	۱	۱۹/۱۳*	۵/۴۸	۳۲/۵۳
رقم	۱	۵/۸۹	۵۵/۲۵**	۹۳/۸۱*
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس	۲	۳/۳۴	۴/۴۹	۹/۴۱
تنش کم‌آبیاری × رقم	۲	۰/۶۳	۴/۶۹	۴۱/۳۹
باکتری سودوموناس × رقم	۱	۲/۰۷	۰/۳۰	۳۰/۹۵
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس × رقم	۲	۴/۲۳	۲۳/۳۴	۲۲/۳۶
خطای دوم	۱۸	۲/۸۸	۵/۳۵	۱۲/۳۱
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۴۰	۱۶/۵۲	۱۱/۶۱

*و** : به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول پیوست ۴-۱۳- میانگین مربعات پرولین، پایداری و خسارت غشای پلاسمایی و محتوای آب نسبی گیاه تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس و رقم

منابع تغییر	درجه آزادی	پرولین	پایداری غشای پلاسمایی	خسارت غشای پلاسمایی	محتوای آب نسبی	
					قبل از آبیاری	بعد از آبیاری
تکرار	۲	۰/۱۳	۱۳۲/۰۰۵	۶۰/۵۸	۵۰/۲۲	۴/۱۶
تنش کم‌آبیاری	۲	۱۹۱/۶۷**	۱۰۹۹/۲۸	۱۲۴۲/۳۰**	۳۱۳/۶۳**	۳۱۱/۰۳
خطای اول	۴	۶/۱۶	۲۱۱/۲۴	۵۳/۴۶	۱۱/۲۸	۴۸/۲۱
باکتری سودوموناس	۱	۷/۷۹*	۱۴۶/۹۷	۸۹۷/۶۰**	۲۳/۰۱	۰/۱۳
رقم	۱	۰/۰۵	۰/۲۰	۱۷۱/۴۳*	۰/۳۰	۳۴/۵۴
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس	۲	۸/۷۲*	۴۸۱/۸۶*	۵۱/۲۲	۶۸/۱۳*	۱۲۱/۱۵*
تنش کم‌آبیاری × رقم	۲	۰/۸۳	۹/۶۸	۶۲/۵۶	۱۲/۶۰	۱۲۸/۱۸*
باکتری سودوموناس × رقم	۱	۱/۰۸	۴۶/۱۰	۱۴/۲۳	۶۰/۳۲*	۱۰۲/۵۷
تنش کم‌آبیاری × باکتری سودوموناس × رقم	۲	۰/۹۲	۲۶/۴۲	۳۲/۰۴	۴۸/۵۴	۲۲/۰۰
خطای دوم	۱۸	۱/۶۸	۹۷/۹۱	۲۴/۴۳	۱۳/۵۶	۲۹/۲۵
ضریب تغییرات (درصد)		۱۳/۲۶	۱۹/۴۷	۶/۷۶	۶/۰۱	۷/۲۵

*و** : به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۱۴- مقایسه میانگین پرولین تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری، باکتری سودوموناس

	تیمار	پرولین (میکرومول بر گرم وزن خشک گیاه)
تنش کم‌آبیاری	دور آبیاری ۷ روزه	۵/۵۸c
	دور آبیاری ۱۰ روزه	۱۰/۲۱b
	دور آبیاری ۱۴ روزه	۱۳/۵۴a
باکتری سودوموناس	عدم تلقیح	۹/۳۱b
	تلقیح	۱۰/۲۴a

منابع

آسیایی، م. ۱۳۸۵. شاخص‌های خشکسالی. انتشارات سخن گستر. ص،۱۷۴.

احمدزاده، ا. ۱۳۷۶. تعیین بهترین شاخص مقاومت به خشکی در لاین‌های برگزیده ذرت. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

احمدی، ع. و بیکر، د. آ. ۱۳۷۹. عوامل روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای محدود کننده فتوسنتز در گندم و در شرایط خشکی. مجله علوم کشورزی ایران. ۴۱(۴): ۸۲۵-۸۱۳.

افتخاری، س.ا، اردکانی، م.ر.، رجالی، م.، پاک نژاد، ف. و حسن آبادی، ط. ۱۳۸۹. اثر کاربرد باکتری حل کننده فسفات *Pseudomonas fluorescence* بر روی عملکرد و اجزای عملکرد جو تحت سطوح مختلف کود فسفر. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. پژوهشکده علوم محیطی. دانشگاه شهید بهشتی تهران. دوم تا چهارم مرداد. ۱۵۴۵-۱۵۴۲.

برادران فیروزآبادی، م. ۱۳۸۱. بررسی رابطه صفات مرفولوژیک و فیزیولوژیکی ارقام چغندرقند با تنش خشکی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تبریز.

جوادی، م .۱۳۸۷ . ارزیابی تحمل به خشکی در کلون های حاصل از بذر حقیقی سیب زمینی .پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل .۱۲۰ صفحه.

حاجبی، عبدالحمید.، حیدری شریف آباد، حسین. ۱۳۸۴ بررسی تاثیر خشکی بر روی رشد و گره زایی سه گونه شبدر. مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی.۶۶: ۲۱-۱۳ .

حق پرست، ر.، ۱۳۷۶. انتخاب برای تحمل به خشکی در ارقام گندم نان. پایان نامه کارشناسی ارشد اصلاح نباتات. دانشکده کشاورزی تبریز.

حمیدی، ا.، ا .قلاوند، م . دهقان شعار، م.ج .ملکوتی، ا .اصغرزاده، و ر .چوکان .۱۳۸۵ . اثرات کاربرد باکتری های محرک رشد گیاه بر عملکرد ذرت علوفه ای . پژوهش و سازندگی. ۷۰: ۲۲-.۱۶.

خواجه پور، م. ر. ۱۳۸۳. گیاهان صنعتی. انتشارات جهاد دانشگاهی اصفهان. ص ۵۷۱.

خزاعی، ح. ر. و م. کافی. ۱۳۸۲.اثرات نش خشکی بر رشدریشه و تخصیص ماده خشک بین ریشه و اندام‌های هوایی در گندم زمستانه. پژوهش‌های زراعی ایران. ۱: ۴۱-۵۰.

خزاعی، ح. ۱۳۸۱. اثر تنش خشکی بر عملکرد و خصوصیات فیزیژلوژیک ارقام مقاوم و حساس گندم و معرفی مناسب‌ترین شاخص‌های مقاومت به خشکی. پایان نامه دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

خورشیدی بنام، م.ب.، رحیمزاده خویی، ف.، میرهادی، م. ج. و نور محمدی، ق.، ۱۳۸۱. بررسی اثرات تنش خشکی در مراحل رشد ارقام مختلف سیب‌زمینی. مجله علوم زراعی ایران. جلد چهارم. شماره ۱. ۱۱ صفحه.

رحیمیان مشهدی، ح.، ع. باقری، ا. پاریاب. ۱۳۷۰. اثر پتانسیل‌های مختلف حاصل از پلی اتیلن گلایکول کلرور سدیم توام با درجه حرارت بر جوانه‌زنی در توده‌های گندم دیم. مجله علوم و صنایع کشاورزی. ۴۵:۵-۳۶.

رستگار، م. ع. ۱۳۸۵. زراعت گیاهان صنعتی. انتشارات برهمند. ص ۴۶۹.

رشدی، م. ۱۳۸۴. بررسی اثرات تنش کم آبی بر جنبه‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام روغنی افتابگردان. پایان نامه دکتری زراعت. واحد علوم تحقیقات تهران.

رنجی، ذ. و م، پرویزی آلمانی. ۱۳۷۵. انتخاب رگه‌های نتایج چغندرقند متحمل به شوری در مقایسه پتانسیل تولید و ضریب حساسیت در شرایط خاک‌های شور و معمولی تنش، مجله علمی تحقیقاتی موسسه تحقیقات چغندر، ۱۲(۱ و ۲): ۲۸ – ۱۹.

سلطانی، ا. ۱۳۸۶. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ص ۲۴۶.

ضابط، م.، ع. حسین‌زاده، ع. احمدی. و ف. خیالپرسیت. ۱۳۸۲. مطالعه اثرات تنش خشکی بر صفات مختلف و تعیین بهترین شاخص مقاومت به خشکی در ماش. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۴(۴):۸۸۹-۸۹۹.

علی‌پور، ز. ت.؛ خسروی، ه.؛ اسدی‌رحمانی، ه. و ملکوتی، م.ج. ۱۳۸۳. نقش باکتری‌های محرک رشد (PGPR) در رشد گیاه. مجموعه مقالات روش‌های نوین تغذیه گندم. صفحه ۱۱۷.

علیزاده، ا. ۱۳۸۲. رابطه آب و خاک و گیاه . انتشارات دانشگاه امام رضا(ع). ص ۴۷۲.

غازان شاهی، ج. ۱۳۸۵. آنالیز خاک و گیاه .انتشارات آییژ تهران. ص ۲۷۲.

کافی، م. و م. رستمی. ۱۳۸۶. اثر تنش خشکی در رحله رشد زایشی بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد سه رم گلرنگ در شرایط آبیاری با آب شور. پژوهش‌های زراعی ایران. ۵(۱):۱۲۱-۱۳۰.

کافی، م.، ع. دامغانی. ۱۳۸۱. مکانیسم‌های مقاومت به تنش‌های محیطی (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ص ۴۶۷.

کافی، م. و ع. مهدوی دامغانی . ۱۳۷۹. مکانیسم های مقاومت گیاهان به تنش های محیطی(ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ص ۴۶۷.

کافی، م.، ا. برزوئی، م. صالحی.، ع. کمندی.، ع. معصومی.، و ج. نباتی. ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ص ۵۰۲.

کافی، م.، ا. نظامی، ح. حسینی. و ع. معصومی. ۱۳۸۴. اثرات فیزیولوژیک تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلیکول روز جوانه زنی ژنوتیپ‌های عدس. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۳: ۸۰-۶۹.

کوچکی، ع. ۱۳۷۰. اکولوژی گیاهان زراعی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

کوچکی, ع.، حسینی، م. و نصیری محلاتی، م.، ۱۳۷۴. رابطه اب و خاک و گیاه در گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ص ۵۶۰.

کوچکی، ع. و سرمدنیا، غ. ح. ۱۳۸۲. فیزیولوژی گیاهان زراعی (ترجمه) (چاپ دهم). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ص ۴۰۰.

ماهرخ، ع.، و خواجه پور، م. ر.، ۱۳۸۹. تاثیر رژیم رطوبتی بر شاخص‌های رشد و عملکرد کمی و کیفی چغندر قند. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۲ (۲): ۲۴۶-۲۳۵.

مجیدی هروان، ا.، ۱۳۷۳. مکانیسم فیزیولوژیکی مقاومت به تنگناهای محیطی. چکیده مقالات سومین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات. دانشگاه تبریز.

محمدی، ع .۱۳۸۰ . ارزیابی منابع مقاومت به خشکی در تعدادی از ارقام سیب زمینی در منطقه اردبیل .پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل . صفحه۱۳۷ .

مسعودی، ف .م .ر .زردشتی، ب .عبدالهی مندولکانی، م .ح .رسولی صدقیانی و ح .نظرلی .۱۳۸۹ . اثر دورهای آبیاری بر عملکرد و صفات گیاهی سیب زمینی. مجله علوم زراعی ایران.۱۲ (۳): ۲۷۸-۲۶۵.

مظاهری تیرانی، م. و منوچهری کلانتری، خ.، ۱۳۸۶. بررسی اثرات سالسیلیک اسید بر پارامترهای رشد و بیوشیمیایی گیاه کلزا تحت تنش خشکی. مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم پایه). ۲۸ (۲): ۶۶-۵۵.

معصومی، ع.، م. کافی. و ح. ر. خزاعی. ۱۳۸۷. اثرات فیزیولوژیک تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلایکول بر جوانه زنی نخود. پژوهش‌های زراعی ایران. ۶(۲):۴۵۳-۴۶۲.

مودب شبستری، م. و مجتهدی، م. ۱۳۶۹. فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات مرکز نشر دانشگاهی تهران.

میرجلیلی، ع. ۱۳۸۴. گیاهان در محیط‌های تنش‌زا. انتشارات نوربخش. ص ۲۴۰.

هاشم زاده، ح. ع،دهباشی.ا، رزمجو .۱۳۸۰. بررسی تغییرات میزان کلروفیل های b وa و کارتنوئید در مراحل مختلف رشد کلزای تراریخت شده با آنتی سنسی ژن آلوتامین سنتتاز . چکیده مقالات هفتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران . صفحه ۵۰۷.

Abayomi, Y. A. 2002. Sugar beet leaf growth and yield response to soil water deficit. Science Journal, 10(1): 51-66.

Abd-Alla, M. H. 1994. Use of organic phosphorus by *Rhizobium leguminosarum biovar. viceae* phosphatases**.** Biology and Fertility of Soils;18:216–8.

Abdul_Jaleel, C., P. Manivinnan, B. Sankar, A. Kishorekumar, R. .Gopi, R. Somasundaram, and R. Panneerselvam. 2007. *Pseudomonas fluorescens*biomass yield and ajmalicine production in catharanthusrosens under warer deficit stress .Colloids and Surfaces B:Biointerfaces. 60 :7-11.

Abreu, M. E., and Munne´ -Bosch, S. 2008. Salicylic acid may be involved in the regulation of drought-induced leaf senescence in perennials: a case study in field-grown Salvia officinalis L. plants. Environmental and Experimental Botany 64: 105–112.

Afzal, A., and Asghari, B. 2008. Rhizobium and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) International Journal Agriculture Biology 10: 85-88.

Ahdin, M. Z., Arsh. A., Iqbal, M. 2005. Ameliorative effects of $CaCl_2$ on growth, ionic relations, and prolin content of senna under salinity stress. Plant Nutrition, 28:101-125.

Ahmadi, A., and Ceiocemardeh, A. 2004. Effect of drought stress on soluble carbohydrate, chlorophyll and Proline in four adopted wheat cultivars with various climate of Iran. Iranian Journal of Agricultural Science., 35: 753-763.

Ajit, N. S., Verma, R. and Shanmugan, V. 2006. Extracellular chitinase of *fluorescent* pseudomonas antifungal to *Fusariumoxysporum*f.sp.*dianti*causing carnation Wilt. Current Microbiology, 52: 310-316.

Akhavan, S., S. F. Moosavi., P. Mostafazadeh, and A. Gadami. 2007. Study of drip and furrow irrigation with regard to yield and WUE in potato cultivation. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 11 (41): 15-26. (In Persian with English abstract).

Akhoundi, M., Safarnejad, A., Lahooti, M., 2006. Effect of drought stresse on prolin concentration and element contant change in Yazdi, Nikshahri and Renjer Alfalfas. Agriculture and Natural resources. 1: 165-174.

Alexander, M.1977.Introduction to Soil Microbiology. New York: Wiley and Sons,.

Ali, Sk. Z., Sandhya, V., Grover, M., Kishore, N., Rao L. V., Venkateswarlu, B. **2009** Pseudomonas sp. strain AKM-P6 enhances tolerance of sorghum seedlings to elevated temperatures. Biology and Fertility of Soils, 46:45–55.

Amooaghaei, R., Mostajeran, A., 2007. Symbiosis (Associative systems of plant and bacteria).Volume 3. Esfahan University Publishing Company. p: 237.

Anjum, F., M. Yaseen, E. Rasul, A. Wahid and S. Anjum, 2003. Water stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). I. Effect on morphological characters. Pakistan Journal of Agricultural Science., 40: 43–44.

Arji, I., Arzani, K., 2003. Study of growing response and proline accumulation in three landrace cultivar of Olive to drought stress. Journal of OlumKeshavarzi and ManabeTabiee, 10(2): 91-100.

Ashraf, A., and Mehmood, S. 1990. Response of four Brassica species to drought stress. Environ. and Exp. Botany. 30(1): 93-100.

Arshad, M., Sharoona, B., Mahmood, T. 2008. Inoculation with Pseudomonas spp. containing ACC deaminase partially eliminate the effects of drought stress on growth, yield and ripening of pea (*Pisum sativum* L.). Pedosphere 18:611–620.

Ashraf. M., T. Mahmood, F. Azam and R. M. Qureshi., 2004. Comparative effects of appling leguminous and nonleguminous green manures and inorganic N on biomass

yield and nitrogen uptake in flooded rice (*Oryza sativa L.*) . Biological Fertilizer Soils. 40: 147-152.

Ashraf, M. and Foolad. M. R. **2007**. Roles of glycine betaine and proline in improving plant a biotic stress resistance. Environ. and Exp. Botany, 59: 206-216.

Babenko Y. S., Tyrygina, G., Grigoryev, E. F., Dolgikh, L. M., Borisova, T. I. 1984. Biological activity and physiologobiochemical properties of bacteria dissolving phosphates. Microbiologiya, 53:533–9.

Bajji, M., S. Lutts, and J.M. Kinet. 2000. Physiological changes after exposure to and recovery from polyethylene glycol-induced water deficit in callus cultures issued from durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars differing in drought resistance. Journal of Plant Physiology. 156: 75-83.

Bajji, M., Lutts, S. and Kinet, J.M., 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. Plant Sciences, 160:669-681.

Bandurska, H. and Stroinski, A. 2003. ABA and proline accumulation in leaves and roots of wild (*Hordeum spontaneum*) and cultivated (*Hordeum vulgare* Maresi) barley genotypes under deficit water conditions. Acta Physiologiae Plantarum, 25: 55-61.

Bano, A., Fatima, M. 2009. Salt tolerance in *Zea mays* (L.) following inoculation with Rhizobium and Pseudomonas. Biology and Fertility of Soils, 45:405–413.

Bates, L. S., R. P. Waldran, and I. D. Tear. 1973. Rapid determination of free proline for water studies. Plant and Soil Sciences. 39: 205-208.

Beever, R., E., Burns, D. J. W. 1980. Phosphorus uptake, storage and utilization by fungi. Advances in Botanical Research 8:127–219.

Bewley, J. D. and K. M. Larsen. 1982. Differences in the responses to water stress of growing and non-growing regions of maize mesocotyls: protein synthesis on total, free, and membrane-bound polyribosome fractions. Journal of Experimental Botany, 33:406- 415.

Bhatt, R. M. and N. K. Srinivasa Rao, 2005. Influence of pod load response of okra to water stress. Indian Journal of Plant Physiology., 10: 54– 59.

Blanco, Bernard, T. 1994.Osmoadaptation in rhizobia: ectoineinduced salt toleranceJournal of Bacteriology, 176:5210–5217.

Blum, B., and Ebercon, A. 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. Journal of Crop Science ., 21: 43-47.

Bohenret, H. J., Nelson, D. E., Jensen, R. G.2004. Adaptations to environmental stresses. Plant Cell, 7:1098-1111.

Boyer, J. S. 1968. Relation ship of water potential to growth of leaves. Plant Physiology. 143: 1056-1062.

Boyer, J. S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf potentials. Plant Physiology. 46: 233-235.

Brar, G. S, Kar, S., Singh, N. T. 1990. Photosynthetic response of wheat to soil water deficits in the tropics. Journal of Agronomy and Crop Science., 164: 343-348.

Bremner, P. M., and Taha, M. A. 1996. Studies in potato agronomy.1.The effect of variety, seed size, and spacing on growth, development, and yield. Journal of Agricultural Science Cambridge, 66:241-252.

Brito, G., A. Costa, H. M. A. C, Fonseca, and C. V. Santos. 2003. Response of *Oleaeuropaea*ssp. *Maderensis*in vitro shoots exposed to osmotic stress Journal of Horticultural Science, 97: 411-417.

Burns, R. G., Extracellular, enzyme-substrate interactions in soil. In: Slater J. H., Whittenbury, R., Wimpenny, J. W. T., editors. 1983 Microbes in their Natural Environment. Cambridge: Cambridge University Press,. pp. 249–98.

Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different developmental stages on vegeative and reproductive growth of corn. Field Crops Research, 89: 1-16.

Cakmakci, R., Donmez, F., Aydın, A., Sahin, F. 2006. Growth promotion of plants by plant growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions Soil. Biology and Biochemistry, 38: 1482–1487.

Castrillo, M., Calcagno, A. M. 1989. Effects of water stress and rewatering on ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase activity, chlorophyll and protein contents in two cultivars of tomato. Journal of Horticultural Science, 64 (2):717-724.

Castrillo, M., I. Trujillo. 1994. Ribulose-1,5-bisphosphate carboxilase activity and chlorophyll and protein contents in two cultivars of french bean plants under water stress and rewatering. Photosynthetica, 30: 175–181.

Chabot, R., Antoun, H., Cescas, M. P. 1993. Stimulation de la croissance du mais et de la laitue romaine par desmicroorganismes dissolvant le phosphore inorganique. Can J Microbiol;39:941–947.

Chang, W. S., van de Mortel, M., Nielsen, L., de Guzman, G. N., Li X, Halverson LJ 2007. Alginate production by *Pseudomonas putida* creates a hydrated microenvironment and contributes to biofilm architecture and stress tolerance under water-limiting conditions. Journal of Bacteriology, 189:8290–8299.

Clarke, J. M., Townley-Smith T. F. 1984. Screening and selection techniques for improving drought resistance. In: Vose PB and Blixt SG (Eds.), Crop Breeding: A Contemporary Basis. Oxford, UK. pp.137-162.

Costa, G., Morel, L., 1994. Water relation gas exchange and amino acid content in cd-treated lettuce. Plant Physioilogy and Biochemistry 32: 561-570.

Datta, M., Banish, S., Dupta, R. K. 1982. Studies on the efficacy of a phytohormone producing phosphate solubilizing *Bacillus firmus* in augmenting paddy yield in acid soils of Nagaland. Plant Soil;69:365–73.

Dek, H. H., 1986. Effect of water use efficiency of irrigated corn. Agronomy Journal.78: 1035- 1040.

Demagante, A.L., P.M. Harris, and P. Vander Zaag. 1995. A promising method for screening drought tolerance in potato using apical cutting. American Potato Journal. 72:577-588.

Dingkuhn, M., D. Skde, K. Dorffling, C. Javellana & S. Datta. 2005. Varietal differences in leaf water potential. Leaf net CO2 assimilation, conductivity andwate use efficiency in upland rice. Australian Journal of Agricultural Research. 40:1183-1192.

Djibril, S., O.K. Mohamed, D. Diaga, D. Diégane, B.F. Abaye, S. Maurice and B. Alain, 2005. Growth and development of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seedlings under drought and salinity stresses. African Journal Biotechnol, 4: 968–972.

Doan Dam, N. 1993. Root growth and drought resistance in potato. College Lagunal Philippines. 11: 24-95.

Draikewicz, M. 1994. Chlorophylase occurrence functions , mechanism of action, effect of extra and internal factors. Phtosyth, 30: 321-337.

Egamberdieva, D., Kucharova, Z. 2009 Selection for root colonizing bacteria stimulating wheat growth in saline soils. Biology and Fertility of Soils, 10.1007/s00374-009-0366-y

Ehdaie, B., and J. G. Waines. 1996. Dwarfing genes, water use efficiency and agronomic performance of spring wheat. Canadian Journal of Plant Science, 76:707-711.

Eldredge, E. P., C. C. Shock and T.D. Stieber. 1992. Plot sprinklers for irrigation research. Agronomy Journal, 84: 1081-1084.

El-Tayeb, M. A. 2005 .Response of barley Gains to the interactive effect of salinity and salicylic acid .Plant Growth Regulation. 45: 215-225.

Emam, Y., Niknejad, M., 2004. Introduction to the physiology of crop yield.Shiraz University press.571 pp.

Errabii, T., Gandonou, C. B., Essalmani, H., Abrini, J., Idaomar, M., Skali- Senhaji, N. 2006. Growth, Proline and ion accumulation in Sugarcane callus cultures under drought-induced osmotic stress and its subsequent relief, African Journal of Biotechnology. 5(6): 1488-1493.

Esitken, A., Pirlak, L. Turan M and Sahin , F. 2006. Effects of floral and foliar application of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrition of sweet cherry. Scientia Horticulturae, 110: 324-327.

Fanaei, H. R, M. Galavi, M. Kafi, A. Ghanbari Bonjar. 2009. Amelioration of water stress by potassium fertilizer in two oilseed species. International Journal of Plant Production 3 (2):241-284.

FAO. FAOSTAT. Agriculture. Rome, 2009. Available in http://faostat.fao.org/ faostat/collections. Subset = agriculture. Accessed at: April 2009.

Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S.M.A. Basra, 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development., 29: 185–212.

Fathian, S. 2008. Physiological limitations to safflower photosynthesis under two different moisture regimes. M. Sc. dissertation, Isfahan University of Technology, Iran. (In Farsi).

Fischer, R. A., Rees, D., Sayre, K. D., Lu, Z. M., Condon ,A. G., Saavedra, A. L. 1998. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. Crop Science. 38:1467–1475.

Flexas, J., J. Bota, F. Loreto, G. Cornic and T. D. Sharkey. 2004. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C_3 plants. Plant Biology . 6: 269-279.

Foyer, C.H. ,Leadis, M., and Kunert, K.J. 1994. Photo oxidative stress in plants. Plant Physiology. 92:696-717.

Geels, F. P., Schippers B. 1983. Reduction of yield deprestion in high frequency potato cropping soil after seed tuber treatments with antagonistic *Pseudomonas fluorescent* spp. Phytopathol. 108: 207-214.

Glenn, E., Pfister, R., Brown, J. J., Thompson, T. L., Oleary, J. 1996. Na+ and K+ accumulation and salt tolerance of Atriplexcanescens (Chenopodiaceae) genotypes. American Journal of Botany. 83: 997-1005

Glick, B. R. 2007. Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase. Critical Reviews in Plant Sciences, 26:227–242.

Glick, B.R., Penrose ,D., Li, J. 1998. A model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growth-promoting bacteria. Journal of Theoretical Biology. 190: 63–68

Gharib, F. A., Moussa L. A., Massoud, O. N., 2008. Effect of compost and Bio-fertilizers on growth, yield and essential oil of sweet marjoram (*Majoranahortensis*) plant. International Journal of Agriculture & Biology, 10: 381-387.

Goldani, M., and Rezvani, P. 2007. The effects of different irrigation regimes and planting dates on phenology and growth indices of three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars in mashhad. Journal of Agriculture and Natural Resources. 14: 229-242. (In Persian with English Summary).

Goldstein, A. H. 1986 Bacterial solubilization of mineral phosphates: historical perspective and future prospects. American Journal of Alternative Agriculture;1:51–57.

Goldstein, A. H. 1994. Involvement of the quinoprotein glucose dehydrogenase in the solubilization of exogenous phosphates by gram-negative bacteria. In: Torriani-Gorini A, Yagil E, Silver, S, editors. Phosphate in Microorganisms: Cellular and Molecular Biology. Washington, DC: American Society for Microbiology Press,. pp. 197–203.

Gusegnova, I. M., Suleymanov, S. y., Aliyev, J. A. 2006. Protein composition and native state of pigments of thylakoid membrane of Wheat genotypes differently tolerant to water stress. Biochemistry, 71:223-228.

Gügi, B., Orange, N., Hellio, F., Burini, J. F., Guillou, C., Leriche, F., Guespin-Michel, J. F. 1991. Effect of growth temperature on several exported enzyme activities in the psychrotropic bacterium *Pseudomonas fluorescens.* Journal of Bacteriology;173:3814–20.

Handa, S., and R. A. Bressan. 1983. Solutes contributing to osmotic adjustment in cultured plant cells adapted to water stress. Plant Physiology, 73:834-843.

Hanson, A. D., and **Hitz, W. D. 1982**. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. Annual Review of Plant Physiology, 33: 163-203

Hassan, A. A., Sarkar, A. A., Ali, M. H. and Karim, N. N., 2002. Effect of deficit irrigation at different growth stage on the yield of potato. Pakistan Journal of Biological Sciences, 5(2):128-134.

Hassani, A. S., OmidBeigi, R. 2001. Effects of water stress on some morphological characteristics, physiological and metabolic plant basil. Thesis Master Gardening. College of Agriculture.TarbiatModares University.

Hassanpanah, D. 2009. Effects of water deficit and potassium humate on tuber yield and yield component of potato cultivars in Ardabil region, Iran. Research Journal of Environmental Sciences, 3(3): 351-356.

Hauny, B. 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidantion in the adaptation two season grasses to localized drought stress. Enviromental and Experimental Botany, 45:105-114.

Haverkort, A. J., M. Waart, and K. A. Bodlaender. 1990. The effect of early drought stress on number of tubers and stolons of potato in controlled and field conditions. Potato Research, 33(1): 89-94.

Heakal, L. & K. Modaish.1990. Combined effects of leaching fraction, salinity and potassium content of waters on growth and water use efficiency of wheat and barely. Plant and Soil.125: 177- 184.

Heidari, A., M. D. Rezvani and A. Hemmat. 2004. The effects of subsoiling and irrigation regimes on potato yield. Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources. Vol,11 (3): 35-43. (In Persian with English abstract).

Hieng, B., Ugrinovi, K., Utar-Vozli, J., and Kidri, M. 2004. Different classes of proteases are involved in the response to drought of Phaseolus vulgarise L. cultivars differenting in sensitivity. Journal of Plant Physiology, 161: 519-530.

Hiscox, J. D. and Israelstam, G. F. 1979 A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Canadian Journal of Botany, 57: 1332–1334.

Horneck, D. A. 2005. P and K in potatoes. Western Nutrient Management Conference. Salt Lake City, UT. 6: 108-113.

Http://www.iran-eng.com/showthread.php/326035

Illmer, P., Schinne, F. 1992. Solubilization of inorganic phosphates by microorganisms isolated from forest soil. Soil Biology and Biochemistry; 24:389–95.

Itoh, R. and A. Kamura. 1991. Acclimation of soybean plants to water stress. Analysis of regulation of tissue potassium concentration in leaves and stem. Japanese Journal of Crop Science, 59(4): 824-829.

Jaleel, C.A., R. Gopi, B. Sankar, M. Gomathinayagam and R. Panneerselvam. 2008a. Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. Comp. Rend. Biol, 331: 42–47.

Jaleel, C.A., P. Manivannan, B. Sankar, A. Kishorekumar, R. Gopi, R. Somasundaram, and R. Panneerselvam. 2007b. Water deficit stress mitigation by calcium chloride in *Catharanthus roseus*; effects on oxidative stress, proline metabolism and indole alkaloid accumulation. Colloids and Surfaces. B: Biointerfaces, 60: 110–116.

Jaleel, C.A., P. Manivannan, A. Kishorekumar, B. Sankar, R. Gopi, R. Somasundaram and R. Panneerselvam. 2007c. Alterations in osmoregulation,

antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water deficit. Colloids and Surfaces. B: Biointerfaces, 59: 150–157.

Jaleel, C.A., P. Manivannan, B. Sankar, A. Kishorekumar, R. Gopi, R. Somasundaram and R. Panneerselvam. 2007d. Induction of drought stress tolerance by ketoconazole in *Catharanthus roseus* is mediated by enhanced antioxidant potentials and secondary metabolite accumulation. Colloids and Surfaces. B: Biointerfaces, 60: 201–206.

Jefferies, R. A. and D. K. MacKerron. 1993. Response of potato genotypes to drought. II. Leaf area index growth and yield. Annals of Applied Biology, 122: 105-122.

Jiang, Y. and B. Hung. 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism lipid peroxidaion. Crop Science, 41:436-442.

Jin, J., Ningwei, Sh., Jinhe, B. and Junping, G. 2006. Regulation of ascorbate peroxides at the transcript level is involved in tolerance to post harvest water deficit stress in the cut Rose (Rose hybrida L.) CV.Samantha. Journal of Agricultural Science and Technology, 7:90-103.

Johari-Pireivatlou, M., N. Qasimov, and H. Maralian.2010. Effect of soil water stress on yield and proline content of four wheat lines. African Journal of Biotechnology Vol. 9 (1), pp. 036-040.

Jones, C.A., J. S. Jacobsen, **and J. M. Wraith. 2005**. Response of malt barley to phosphorus fertilization under drought conditions. Journal of Plant Nutritio, 28:1605-1617.

Kage, H., M. Kochler and H. Stützel. 2004. Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress condi-tions: measurement and simulation. European Journal of Agronomy, 20: 379–394.

Kaiser, W. M. 1989. Effect of water deficit on photosynthesis capacity. Plant Physiolgy, 71: 142- 149.

Kameli, A. and D. M. Lösel. 1995. Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. Journal of Plant Physiology. 145: 363–366.

Kang, Y., F.X. Wang, H.J. Liu and B.Z. Yuan. 2004. Potato evapotranspiration and yield under different drip irrigation regimes. Irrigation Science, 23: 133-143.

Kapulnik, Y., S. Sarig, A. Nur, Y. Okon, and Y. Henis. 1982. The effect of *Azospirillum* inoculation on growth and yield of corn. Israel Journal of Botany, 31:247-255.

Kapulink, Y., Kige, J., Okon, GY., Nur, I. and Henis, Y. 1991. Effect of *Azospitillum* inoculation on same growth parameters and nitrogen content of wheat, sorghum and panicum. Plant Soil, 61:65-70.

Karafyllidis, D. I., N. Stavrapoulos and D. Georgakis. 1996. The effect of water stress on the yielding capacity of potato crops and subsequent performance of seed tubers. Potato Research, 39: 153-163.

KarimzadeAsl, K., Mazaheri, D., Peyghambari, S. A. 2004. Effect of four irrigation regime on growth, physiological indexes and yield of three sunflower cultivars. Desert Magazine, 9(2): 255-266.

Khanna, C. R., S. M. Vasudev, M. Maheswari, A. Srivastava and D. Bahukhandi. 1995. K+ osmoregulation and drought tolerance: an overview. Indian National Science Academy, 61: 51–56.

Kuznetsov, Vi.V. and Shevyakova, N.L. 1999. Prolin under stress: Biological role metabolism and regulation. Russian Journal of Plant Physiology, 46(2):274-287.

Khajehpour, M. 2005. Industrial crop production. Isfahan technology University, Jehad daneshgahi press. 580p.

Khalid, A., M. Arshad and Z. A. Zahir. 2006. Phytohormones:Microbial production and applications, pp. 207-220. In N.Uphoff (ed.), Biological Approaches to Sustainable Soil Systems. Taylor & Francis/CRC Press, Boca Raton, Florida,USA.

Khosravifar, S., Yarnia, M., Khorshidi, M.B., HossainzadehMogbeli, A.H. 2008. Effect of potassium drought tolerance in potato cv. Agria. Journal of Food, Agriculture and Environment, 6 (3&4): 236-241.

Kirnak, H., Kaya, C., TAS, I., Higgs, D. 2001. The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in egg plants. Plant Physiology, 27:34-46.

Kiziloglu, F. M., Sahin U., Tune T. and Diler S. 2006. The effect of deficit irrigation on potato evepotranspiration and tuber yield under cool season and semiarid climatic conditions. Journal of Agronomy, 5(2): 284-288.

Kloepper, J. W., Lifshitz, K., Schroth, M. N. 1988 . *Pseudomonas* inoculants to benefit plant production. ISI Atlas of Science**:** Animal and Plant Sciences, pp. 60–4.

Kloepper, J. W., Lifshitz, K., Zablotowicz, R. M. 1989. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. Trends in Biotechnology,7:39–43.

Kloepper, J. W. and Schroth, M. N. 1978. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. In: Angers (Ed.), Proceeding iv international conference on plant pathogenic bacteria. Vol. 2. Gibert-Clarrey, Tours, France, Plant Physiology, 879–882.

Kridman, P. E. 1968, Photosynthesis in vine leaves as a function of light intensity, temperature and leaf age. Vitis, **7**: 213-220.

Kulshreshtha, S., Mishra, D. P. and Gupta, R. K. 1987. Changes in contents of chlorophyll, proteins and lipids in whole chloroplast and chloroplast membrane fractions at different leaf water potentials in drought resistant and sensitive genotypes of wheat. Photosyntetica, 21(1): 65-70.

Kumar, H. 2000. Development potential of safflower in comparision to sunflower.Sesame and Safflower Newsletter. Institute of sustainable agriculture. Spain, No. 15: 86-89.

Lahlou, O., S. Attar, J. and F. Lendent. 2003. The effect of drought and cultivar on growth parameters, yield and yield components of potato. Agronomie, 23: 257-268.

Larcher, W. ٢٠٠١. Physiological plant ecology. Springer. Germany. 505 pages.

Larsen, J., Cornejo, P. & Míguel Barea, J. 2009. Interactions between the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and the plant growth promoting rhizobacteria *Paenibacillus polymyxa* and *P. macerans* in the mycorrhizosphere of Cucumis sativus. Soil Biology and Biochemistry, 41: 286-292.

Larsson, E.H., Bornman, J.F., and Asp., H. 1998. Influence of UV-B radiation and CO2+ on chlorophyll fluorescence, growth and nutrient content in *Brassica* napus. Journal of Experimental Botany, 149(323): 1031-1039.

Lawler, D.W., Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, cell and Environment, 25:275 – 294.

Leport, L., Turner, N.C., French, R.J., Barr, M.D., Duda, R., Davies, S.L., Tennant, D., and Siddique, K.H.M. 1999. Physiological responses of chickpea genotypes to terminal drought in a Mediterraneantype environment. European Journal of Agronomy, 11: 279-291.

Levitt, J. 1980. Response of Plants to Environmental Stresses, Vol .2, Water, Radiation, Salt and Other Stresses, Academic Press, New York, 650p.

Liang, Y., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W., and Ding, R. 2003. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid per oxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgar* L.). J. Plant Physiology, 99: 872-878.

Lifshitz, R., Kloepper, J.W., Kozlowski, M., Simonson, C., Carlson, J., Tipping, E.M., Zalesca, I. 1987.Growth promotion of canola (rapeseed) seedlings by a strain of *Psedomonas putida* under gnotobiotic conditions. Canadian Journal of Microbiology;33:390–395.

Liptay, A., P. Sikkema, & W. Fonteno. 1998. Transplant growth control through water deficit stress. Hort Technology, 8:540-543.

Liu, T.S., Lee, L.Y., Tai, C.Y., Hung, C.H., Chang, Y.S., Wolfram, J.H., Rogers, R., Goldstein, A.vH. 1992 .Cloning of an *Erwinia herbicola* gene necessary for gluconic acid production and enhanced mineral phosphate solubilization in *Escherichia coli HB101*: Nucleotide sequence and probable involvement in biosynthesis of the coenzyme pyrroloquinoline quinone. Journal of Bacteriology;174:5814–9.

Macarrone, M., Veldink, G.A., Agro, A.F., and Vliegenthart, J.F. 1995. Modulation of soybean lipoxygenase expression and membrane oxidation by water deficit. FEBS Letters, 371(3): 223-226.

Manivannan, P., C.A. Jaleel, B. Sankar, A. Kishorekumar, R. Somasundaram, G.M. Alagu Lakshmanan and R. Panneerselvam, 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. Colloids Surf. B: Biointerfaces, 59: 141–149.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic press. Secondary education .USA.320 P.

Martýnez J. M., S. Luttsa, A. Schanckb, M. Bajjia and J. M. Kineta. 2004. Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Mediterranean shrub (*Atriplex halimus* L.) Journal Plant Physiology, 161: 1041–1051.

Marulanda A, Barea JM and Azcon R, 2009. Stimulation of Plant Growth and Drought Tolerance by Native Microorganisms (AM Fungi and Bacteria) from Dry Environments: Mechanisms Related to Bacterial Effectiveness. Plant Growth Regulation, 28:115–124.

Mass, E.V. and G.J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance – Current assessment. Journal of Irrigation and Drainage ., ASCE 103 (IR2): 115-134.

Medrano, **H**., **Escalona**, **J**. **M**., **Gulias**, **J**., **Flexas**, **J**., **2002**. Regulation of photosynthesis of C3 plant in response to progressive drought: Stomatal conductance as reference parametr. Annals of Botany, 889: 895-905.

Mihalovic, N., Lazarevic, M.,Dzeletoric, Z.,Vuckoric, M., Durde, Vic. M. 1997. Chlorophyllas activity in Wheat leaves during drought and its dependence on the nitrogen ion from applied. Plant Science,129:141- 146.

Mishra, A.K. and V.P. Singh, **2010**. *A review of drought concepts.* Journal of Hydrology, **391**(1-2): p. 202-216.

Mittal, V., Sigh, O., Nayyar, H., Kaur, G., Tewari, R., 2007. Stimulatory effect of phosphate-solubilizng fungal starins (aspergillusawarvori and pencillumcitrinum)on the yield of chickpea (ciceraricinuml. Cv. Gpfz). Soil biology and biochemistry, 40: 718-727.

Mkhabela, M. S and Warman, P. R. 2005. The influence of municipal soild waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops growth in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. Agriculture, Ecosystems and Environment, 106: 57-67.

Moaveni, P. 2011. Effect of water deficit stress on some physiological traits of wheat(*triticum aestivum*). Agricultural Science Research Journal Vol 1(1) pp. 64-68.

Mohammadi, A and F. Faeznia. 2001. Effect of water stress on growth and yield of two potato cultivars. Research Report of Semnan Agricultural Research Center. (In Persian).

Mohamadian, R. 2001. *Determinate of effective physiological indices on drought resistant on sugar beet*. Ph. D. of thesis agronomy. Tabriz University. (In Farsi).

Mohsenzadeh, S., Malboobi, M. A., Razavi, K. & Farrahi-Aschtiani, S. 2006. Physiological and molecular responses of *Aeluropus lagopoides* (Poaceae) to water deficit. Environmental and Experimental Botany, 56: 314-322.

Moradshahi, A., Salehi, E., Kholdebarin, B., 2004. Some physiological responses of canola (*Brassica napus*L.) To water deficit stress under laboratory conditions. Iranian Journal of Science & Tech, Transaction A, Vol. 28, No. A1

Mordukhova, E. A., Sokolov, S. L., Kochetkov, Kochetko, V. V., Kosheleva, I. A., Zelenkova, N. F. & Boronin, A. M. 2000. Involvement of naphthalene dioxygenase in indole-3-acetic acid biosynthesis by *Pseudomonas putida*. FEMS Microbiology Letters, 190 (2): 279-285.

Munns, R., G. R. Cramer and M. C. Ball. 1999. Interactions between rising CO2, soil salinity and plant growth In: Luo, Y. and Mooney, H. A. (Eds.) Carbon dioxide and environmental stress. Academic Press, New York, pp: 139-167.

Naiman, A. D., Alejandra Latrónico, I. E. & de Salamone, G. 2009. Inoculation of wheat with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*: Impact on the production and culturable rhizosphere microflora. European Journal of Soil Biology, 45: 44-51.

Nautiyal, P.C., Rachaputi, N.R., and Joshi, Y.C. 2002. Moisture-deficit-induced changes in leafwatercontent, leaf carbon exchange rate and biomass production in groundnut cultivars differing in specific leaf area. Field Crop Research, 74: 67-79.

Nilsen, E.T. and D. M. Orcutt. 1996. The Physiology of Plants Under Stress: Abiotic Factors. John Wiley and Sons, New York. pp.۳۲۲-۳۶۱.

Ober, E.S., and Sharp, R.E. 2003. Electrophysiological responses of maize roots to low water potentials: relationship to growth and ABA accumulation. Journal of Experimental Botany, 54(383): 813- 824.

Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S., and Dean C.A. 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Department of Agricultur Circular, No. 939:19

Omidbeigi, R., Tabatabaei, F. M., and Akbari, T. 2001. Effect of N-fertilizer and irrigation on the productivity (growth, seed yield and active substances) of linseed. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 32: 53-64.

OztUrk A, Caglar O and Sahin F, 2003. Yield response of wheat and barley to inoculation of plant growth promoting rhizobacteria various levels of nitrogen fertilization. Journal Plant Nutrition Soil Science, 166:262-266.

Pagter, M., Bragato, C., Brix, H. 2005. Tolerance and physiological responses of phragmites australis to water deficit. Aquatic Botany, 81:285-299

Paknejad, F., Majidi heravan, E., Noor mohammadi, Q., Siyadat, A. & Vazan, S. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. American Journal of Biochemistry and Biotechnology, 5(4): 162-169.

Palled, Y. B., Chandrashekharaiah, A. M., Radder, G. D. 1985. Response of bengal gram to moisture stress. Indian Journal of Agronomy, 30: 104-106.

Pandy, R. K., Maranvill, J. W. & Chetima, M. M. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. Agricultural Water Management, 46: 15-27.

PasbanEslam, B. and M. TaherGhasemi. 2006. Evaluation of yield and yield components in spring safflower (*Carthamustinctorius*L.)**.**Iranian journal of agriculture sciences. Vol.37-1, No. 2:357-362.

Pastori, G.M., Trippi, V.S. 1993. Cross resistance between water and oxidative stress in Wheat leaves. Agricultural science, 20:289-294.

Petropoulos, S.A., Dimitra Daferera, M.G. Polissiou and H.C. Passam, 2008. The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. Horticultural Science, 115: 393–397.

Ramezanian, A. 2005. *Role of reproducer ACC deaminaz enzyme rhizobiom bacteria on moderation the adverse effect of ethylene stress in wheat*. M. Sc. thesis in soil science, University of Tehran.

Rashid, M., Khalil, S., Ayub, N., Alam, S. and Latif, F., 2004. Organic acids productions solubilization by phosphate solubilizing microorganisms (PSM) under in vitro conditions. Pakistan Journal of Biological Sciences,7: 187-196.

Ribaudo, C. M., Krumpholz, E. M., F. D. Cassan, F. D., Bottini, R., Cantore, M. L. and Cura, J. A., 2006. *Azospirillum sp.* promotes root hair development in tomato plants through a mechanism that Involves ethylene. Journal of Plant Growth Regulation, 25: 175-185.

Rizza, F., Cristina, C., Antonio, M.S. and Lugi, C. 1994. Studies for assessing the influence of hardening on cold tolerance of barley genotypes. Euphytica, 75: 131-138.

Roberson E, Firestone M. 1992 Relationship between desiccation and exopolysaccharide production in soil Pseudomonas sp. Applied and Environmental Microbiology, 58:1284–1291.

Rodríguez, H., Fraga, R., González, T., Bashan, Y. 2006. Genetics of phosphate solubilization and its potencial applications for improving plant growth-promoting bacteria. Plant Soil, 287: 15–21.

Rodríguez, H., and Reynaldo, F. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnology Advances. 17: 319–339.

Rostami, M., Mirzaei, R., Kafi, M., 2003. Assessment of drought resistance in four safflower (*Carthamus tinctorius*L.) cultivars at the germination stage. 7th International Conference on Development of Dryland. 14-17. September 2003. Tehran. Iran.

Sairam, R.K., Deshmukh, P.S., Saxna, D.C. 1998. Role of antioxidant systems in Wheat genotype tolerance to water stress. Biologia Plantrum, 41(3):387-394.

Sairam,R. K. and D. C. Saxena .2000. Oxidative stress and antioxidant in wheat genotypes : possible mechanism of water stress tolerance . Journal of Agronomy and Crop Science, 184: 55-61.

Sairam, R.K. and Srivastava, G.C. 2001. Water stress tolerance of wheat *Triticum astivum* L.: Variation in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotype. Journal of Agronomy and Crop Science. 186: 63-70.

Saleem, M., Arshad, M., Hussain, S, Bhatti, A. S. 2007. Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing AC deaminase in stress agriculture. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 34:635–648.

Samman, S., Chow, J.W.Y., Foster, M.J., Ahmad, Z.I., Phuyal, J.L., and Petocz, P. 2008. Fatty acid composition of edible oils derived from certified organic and conventional agricultural methods. Food Chemistry, 109: 670-674.

Sandhya V, Ali SZ, Grover M, Kishore N, Venkateswarlu B. 2009a. *Pseudomonas sp*. strain P45 protects sunflowers seedlings from drought stress through improved soil structure. Journal of Oilseeds Research, 26:600–601

Sandhya V, Ali SkZ, Grover M, Reddy G, Venkateswarlu B. 2009b. Alleviation of drought stress effects in sunflower seedlings by exopolysaccharides producing *Pseudomonas putida* strain P45. Biology and Fertility of Soils, 46:17–26.

Sarapatka B, Kraskova M. 1997. Interactions between phosphatase activity and soil characteristics from some locations in the Czech Republic. Rostlinna-Vyroba-UZPI;43:415–9.

Saravanakumar D, Samiyappan R. 2007. Effects of 1-aminocyclopropane- 1-carboxylic acid (ACC) deaminase *from Pseudomonas fluorescence* against saline stress under in vitro and field conditions in groundnut (Arachis hypogeal) plants. Journal of Applied Microbiology, 102:1283–1292.

Sawhney, V., Singh, D. P. 2002. Effects of chemical desiccation at the post anthesis stage on some physiological and biochemical changes in the flag leaf of contrasting wheat genotypes. Field Crops Research, 1-6.

Saxena AK, Lata Shende R, Pandey AK. 2005. Culturing of plant growth promoting rhizobacteria. In: Gopi KP, Varma A (eds) Basic research applications of mycorrhizae. I K International Pvt Ltd, New Delhi, pp 453–474.

Scott, N. S., **Munns, R.**, **Barlow, E. W. R** . **1979**. Polyribosome content in young and aged wheat leaves subjected to drought. Journal of Experimental botany.Bot, 30: 905-911.

Selvakumar G, Kundu S, Joshi P, Nazim S, Gupta AD, Mishra PK, Gupta HS. 2007. Characterization of a cold tolerant plant growth promoting bacterium *Pantoea dispersa*

1A isolated from a sub-alpine soil in the North Western Indian Himalayas. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 24:955–960.

Shaharoona, B., Arshad, M., Zahir, Z. A., Khalid, A. 2006. Performance of *Pseudomonas spp.* containing ACCdeaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. Soil Biology and Biochemistry, 38: 2971–2975.

Shao H.B., L.Y. Chu, M.A. Shao, C. Abdul Jaleel and M. Hong-Mei, 2008. Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses. Comp. Rend. Biol, 331: 433–441.

Sharp, R.E. and M.E. LeNoble, 2002. ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. Journal of Experimental Botany, 53: 33–7.

Shimshi, D. and M. Susnoschi. 1985. Growth and yield studies of potato development in a semi-arid region. 2. Effect of water stress and amounts of nitrogen top dressing on growth of several cultivars. Potato Research, (28)2: 161-167.

Shinozaki, k. and k. Yamaguchi Shinozaki.1997. Gene Expression and Signal Transduction in Water-Stress Response. Plant Physiol. 11 (5): 327-334.

Shock, C. C. 2004. Efficient irrigation scheduling. Malheur Experiment Station, Oregon State University, Oregon, USA.

Singh, D., Chand, S., Anvar, M and Patra, D. 2003. Effect of organic and inorganic amendment on growth and nutrient accumulation by isabgol (*plantago ovata*) in sodic soil under greenhouse conditions. Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences, 25: 414-

Singh, J. and **A. Petal.1996**. Water statues, gaseos exchange, proline accumulation and yield of wheat in response to water stress. Annual of biology Ludhiana, 12:77-81.

Skrary FA, Cameron DC. 1998.Purification and characterization of a *Bacillus licheniformis* phosphatase specific for D-alpha-glycerphosphate. Archives of Biochemistry and Biophysics;349:27–35.

Smallwood, M. F., , C. M., Calvert and D. J., Bowles. 1999. Plant responses to environmental stress. BIOS Scientific Publishers. UK. 288 pages.

Smirnoff, N., 1993. The role active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation, New Phytologist125: 27-28

Smirnoff, N., Cumbes, Q. J. 1989. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes. Phytochemistry 28:1057–1060.

Spaepen, S., Vanderleyden, J. & Okon, Y. 2009. Plant Growth-Promoting Actions of Rhizobacteria, Review Article. Advances in Botanical Research, 51, 283-320.

Specht, J.E., K. Chase, M. Macrander, G.L. Graef, J. Chung, J.P. Markwell, M. Germann, J.H. Orf and K.G. Lark, 2001. Soybean response to water. A QTL analysis of drought tolerance. Crop Science., 41: 493–509.

Stajner D, Kevresan S, Gasic O, Mimica-Dukic N, Zongli H .1997. Nitrogen and *Azotobacter chroococcum* enhance oxidative stress tolerance in sugar beet. Biologia Plantarum, 39(3):441–445.

Stone, P. J., Wilson, D. R., Jamieson, P. D. & Gillespie, R. N. 2001. Water deficit effects on sweet corn. II. Canopy development. Australian Journal of Agricultural Research, 52: 115–126.

Subba Rao NS. 1982. Advances in agricultural microbiology. In: Subba Rao NS, editor. Studies in the Agricultura and Food Sciences. London: Butterworth Scientific,. pp. 295–303.

Suslov T.V. 1982. Role of root-colonizing bacteria in plant growth. In: Mount MS, Lacy GH, editors. Phytopathogenic Prokariotes. London: Academic Press,. pp. 187–223.

Suslow., T. V. M .N. Schroth, .1982 Rhizobacteria of sugar beets: effects of seedapplication and root colonization on yield, Phytopathology 72 :199–206

Tahir, M.H.N., M. Imran and M.K. Hussain, 2002. Evaluationof sunflower (*Helianthus annuus* L.) inbred lines for drought tolerance. International Journal of Agriculture and Biology, 3: 398–400.

Tahir, M.H.N. and S.S. Mehid, 2001. Evaluation of open pollinated sunflower (*Helianthus annuus* L.) populations under water stress and normal conditions. International Journal of Agriculture and Biology, 3: 236–238.

Taiz, L. & Zeiger. 2006. Plant Physiology. Forth Edition. Sinauer Associates, Inc., Publishers Sunderland, Massachusetts.pp 738.

Tarumingkeng, R.C., and Coto, Z. 2003. Effects of drought stress on growth and yield of soybean.@2003 Kisman, Science Philosopy PPs 702, Term paper, Graduate School, Borgor Agricultural University (Institut Ppertanian Bogor), December 2003.

Tavakoli, H., Karimi, M., Mosavi, S. F., 1989. Effect of irrigation regimes on vegetative and reproductive components of corn. Iranian Journal of Agricultural Science.

Tatar O, Gevrek MN .2008. Influence of water stress on proline accumulation, lipid peroxidation and water content of wheat, Asian Journal of Plant Sciences, 7(4): 409-412.

Thimmegouda S., and N. Devakumar. 1993. Analysis of moisture stress on growth and tuber yield of potato. (*Solanum tuberosum* L.). Indian Agriculturist. 37: 145-150.

Turkan , I. , M. Bor , F. Ozdemir and H. Koca. 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought - tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. Plant Science, 168:223-231.

Turner, N.C., G.C. Wright and K.H.M. Siddique. 2001. Adaptation of grain legumes (Pulses) to water limited environments. Advance. Agronomy. 71: 193-231.

Turner.C, and M. Myones. 1980.Turgor maintenance by osmotic adjustment. A review and evaluation. In adaptation of plant to water and high temperature stress. N.C, Turner and P.J.Kramer (eds) Wiley, Newyork: 87-103.

Van Oosten JJ, Wilkins D, Besford RT. 1995. Acclimation of tomato plants after transfer to different carbon dioxide concentrations. Impact on the relationships between the biochemistry and gas exchange during leaf development. New Phvtologist 130:357-67.

Vazan, S., Ranji, Z., Tehrani, M., Ghalavand, A. & Saaneyi, M. 2002. Drought stress effects of on ABA accumulation and stomatal conductivity of sugar beet. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 3:176-180. (In Frasi).

Vendruscolo A. C. G, Schuster I, Pileggi M, Scapim CA, Molinari HBC, Marur CJ, Vieira LGC. 2007. Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat. Journal of Plant Physiology, 164(10): 1367-1376.

Venkateswarlu B, Shanker AK. 2009. Climate change and agriculture: adaptation and mitigation strategies. Indian Agronomy Journal, 54:226–230.

Venkateswarlu B, Desai S, Prasad YG. 2008. Agriculturally important microorganisms for stressed ecosystems: Challenges in technology development and application''. In: Khachatourians GG, Arora DK, Rajendran TP, Srivastava AK (eds) Agriculturally important Microorganisms, vol 1. Academic World, Bhopal, pp 225–246.

Wagar,A.,B.Shahroona,Z. A. Zahir andM.Arshad.2004. Inoculation with Acc deaminase containing rhizobacteria for improvming growth and yield of wheat. Pak. J.Agri, 41: 119-124.

Wahing .I,W.Van,V.J.G.Houba, J.J.Van der lee.1989. soil and plant analysis,a series of syllabi.part 7,plant analysis procedure.wageningen agriculture university.

Warren wilson, J.,1981, Analysis of growth photosyntheses and light interception for single plants and stands. Annals of Botany,48:507-512.

Webber, M., J. Barnett, B. Finlayson and M. Wang, 2006. Pricing China's Irrigation Water. Working Paper, School of Anthropology, Geography and Environmental Studies, The University of Melbourne, Victoria, Australia.

Wolf, D. W., Henderson, D. W., Hsiao, T. C. & Alvino, A. 1988. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. II. Photosynthesis decline and longevity of individual. Agronomy Journal, 80: 865-870.

Wu, S. C., Cao, Z.H., Li, Z.G., and Cheung, K.C. 2005. Effect of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. Geoderma, 125: 155-166.

Xu, J. G., Johnson RL. 1995. Root growth, microbial activity and phosphatase activity in oil-contaminated, remediated and uncontaminated soils planted to barley and field pea. Plant Soil;173:3–10.

Yang, J., Kloepper JW, Ryu CM .2009. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. Trends in Plant Science, 14:1–4.

Yazdani, M., Bahmanyar, M.A., Pirdashti, H., Esmaili, M.A, 2009. Effect of phosphate solubilization microorganisms and plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of corn. International Journal of Biological and Life Sciences, 1: 2.

Yuan, B. Z., Nishiyama, S. and Kang, Y. 2003. Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip- irrigated potato. Agricultural water Management, 63: 153-167.

Zahir, Z. A., Munir, A, Asghar H. N., Arshad, M., Shaharoona, B .2008. Effectiveness of rhizobacteria containing ACC-deaminase for growth promotion of peas (Pisum sativum) under drought conditions. Journal of Microbiology and Biotechnology, (in press).

Zaidi, A., and Mohammad, S, 2005. Co-inoculation Effects of Phosphate Solubilizing Microorganismsand *Glomus fasciculatum* on Green Gram-Bradyrhizobium Symbiosis. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 30: 223-230.

Abstract

Drought is one of the most important factors which limiting crop growth and production in arid and semiarid regions of the world. In sustainable agriculture using of biological fertilizers such as soil bacteria is one of the novel solutions for reduces environmental damage caused by environmental stress. In order to evaluate influence of *Pseudomonas fluorescens* on some morphological and physiological characteristics of potato under water deficit stress, an experiment was conducted as split-plot factorial based on randomized complete block design with three replicates in the farm of Shahrood University of Technology. Three deficit irrigation were assigned as a major factor (7, 10 and 14 days irrigation periods) and *Pseudomonas* bacteria (inoculated and non inoculated) as the first sub-factor and two varieties (Savalan and Agria) as the second sub-factor. Before planting, potato tubers were inoculated with *Pseudomonas fluorescens* bacteria (concentration of inoculants 10^8 cells per g of bacteria) and after planting plants were irrigated uniformly in all treatments. After 58 days deficit stress were applied to deficit treatments. The results showed that deficit stress were able to decrease bulb diameter, harvest index, biological and economic yeild, tuber protein, chlorophyll content and relative water content, while traits such as plant and soil phosphorus, leaf potassium percentage and proline content were increased. In inoculated treatments biological yield was improved and in compare to control, yield has increased 22.86% when inoculated with *Pseudomonas* while percentage of membrane damage was decreased.The inoculation with bacteria had beneficial effects on the membrane damage, morphological and physiological characteristics of plants under water deficit conditions.

Key word: Potato, *Pseudomonas fluorescens,* water deficit stress, Savalan and Agria

Shahrood University Of Technology

Faculty Of Agronomy Science

Thesis M.Sc

Effects of *Pseudomonas* sp. on yield and some physiological characteristics of two potato varieties Savallan & Agria under water deficit stress

M. Ghazizade

Supervisors

Dr. M. R. amerian

Dr. H. R. Asghari

Advisors

M. M. Rahimi

Dr. H. Asadi Rahmani

January 2012