بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

رشته زراعت گرایش اکولوژیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

تأثیر بیوچار و سوپرجاذب بر رشد گیاه گلرنگ تحت تنش خشکی

نگارنده

شیرین گودرزیان

اساتید راهنما

دکتر محمد رضا عامریان

دکتر حمیدرضا اصغری

استاد مشاور

مهندس مهدی رحیمی

تیر ماه ۱۳۹۶

شماره: ۱۷۱/ک
تاریخ: ۱۳۹۶/۴/۲۵
ویرایش:

مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای:
شیرین گودرزیان به شماره دانشجویی : **۹۳۱۴۸۲۴** رشته : **زراعت** گرایش:**کشاورزی اکولوژیک**
تحت عنوان : **: تأثیر بیوچار و سوپرجاذب بر رشد گیاه گلرنگ تحت تنش خشکی**
که در تاریخ ۹۶/۴/۱۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه : عالی امتیاز: ۱۹/۷۰) ☑ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱ـ عالی (۲۰ ـ ۱۹) ۲ـ بسیار خوب (۱۸/۹۹ ـ ۱۸)
۳ـ خوب (۱۷/۹۹ ـ۱۶) ۴ـ قابل قبول (۱۵/۹۹ ـ ۱۴)
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنما اول	دکتر محدرضا عامریان	دانشیار	
۲ـ استاد راهنما دوم	دکتر حمیدرضا اصغری		
۲ـ استاد مشاور	مهندس مهدی رحیمی	مربی	عدم حضور در جلسه دفاع به دلیل موجه حضور در جلسه امتحان
۳ـ نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر حسن مکاریان	دانشیار	
۴ـ استاد ممتحن	دکتر احمد غلامی	دانشیار	
۵ ـ استاد ممتحن	دکتر مصطفی حیدری	دانشیار	

رئیس دانشکده : محمدرضا عامریان
امضاء

تقدیم به خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را...

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید

پدر و مادر دلسوز و مهربانم که با عشق و تلاش فراوان در تمامی مراحل زندگی همراه من بودند

برادران عزیزم که همراهان همیشگی و حامی من بودند

خاله مرحومم که مهربان و روحیه بخش همیشگی ام بودند

تشکر و قدردانی

تحمیدین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده ی کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه های ناب آموزگارانی بزرگ به تماشا نشیند. لذا اکنون که در سایه سار بنده نوازی هایش پایان نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم می دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاریگرشان نبود، هرگز این پایان نامه به انجام نمی رسید.

در ابتدا بسی شایسته است از زحمات و راهنمایی های اساتید محترم و گرانقدرم **جناب آقای دکتر محمدرضا عامریان** و **جناب آقای حمیدرضا اصغری** که تقبل زحمت فرموده و راهنمایی پایان نامه اینجانب را پذیرفته اند و با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند تشکر و سپاسگزاری نمایم. همچنین از زحمات استاد مشاور محترم و ارجمندم، **جناب آقای مهندس مهدی رحیمی**، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم که با ارائه نظرات علمی و عنایت بی دریغ خود در بارور نمودن این پژوهش یاری رساندند و با بزرگواری تمام نهایت همکاری را با اینجانب نمودند.

با تقدیر و درود فراوان از اساتید بزرگوار **جناب آقای دکتر احمد غلامی** و جناب آقای **دکتر مصطفی حیدری** که با لطف بی دریغشان زحمت داوری این پایان نامه را متقبل شدند. همچنین از **جناب آقای دکتر حسن کاریان** که زحمت هدایت این جلسه را بر عهده گرفتند، سپاسگزارم.

از کارشناسان محترم دانشکده کشاورزی جناب آقای مهندس شاکری و جناب آقای مهندس مطهری نژاد به خاطر کمک های بی دریغشان سپاسگزارم.

و در آخر تشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده اند؛ باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

تعهد نامه

اینجانب شیرین گودرزیان دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زراعت – کشاورزی اکولوژیک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **تأثیر بیوچار و سوپرجاذب بر رشد گیاه گلرنگ تحت تنش خشکی** تحت راهنمائی دکتر محمدرضا عامریان و حمیدرضا اصغری متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

* **متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه‌های تکثیر شده پایان‌نامه وجود داشته باشد**

بررسی تأثیر بیوچار و سوپرجاذب بر رشد گیاه گلرنگ تحت تنش خشکی

چکیده

تنش خشکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده و عوامل محدودکننده تولید محصول کشاورزی است. مشکل خشکی در دهه اخیر خصوصاً در ایران، کاربرد نهاده‌های حافظ آب را ضروری کرده است. در بین گیاهان زراعی، گلرنگ به عنوان یک گیاه مقاوم به شوری و خشکی و دارا بودن روغنی با کیفیت و خواص دارویی، از اهمیت بالایی برخوردار است. به منظور بررسی تأثیر بیوچار و سوپرجاذب بر رشد گیاه گلرنگ تحت تنش خشکی، آزمایشی مزرعه‌ای به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل و در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار، در سال زراعی ۹۵-۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود اجرا شد. تیمارهای مورد استفاده: تیمار خشکی شامل دور آبیاری در سه سطح ۷، ۱۰ و ۱۴ روز (به عنوان عامل اصلی)، تیمار بیوچار در سه سطح عدم مصرف بیوچار، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار و تیمار سوپرجاذب در دو سطح مصرف و عدم مصرف سوپرجاذب (به عنوان عوامل فرعی) بودند. نتایج نشان داد که دور آبیاری تأثیر معنی‌داری بر فسفر و سدیم بذر داشت. اثر بیوچار نیز بر صفات عملکرد بیولوژیک، تعداد طبق در بوته، رنگیزه‌های فتوسنتزی، پایداری غشاء، درصد فسفر و سدیم بذر معنی‌دار شد. کاربرد سوپرجاذب تأثیر معنی‌داری بر صفات تعداد طبق در بوته، عملکرد بیولوژیک، کلروفیل a، کلروفیل کل، پایداری غشاء و درصد پتاسیم بذر گذاشت. استفاده توأم بیوچار و سوپرجاذب توانست وزن خشک ساقه، برگ ، پوسته و عملکرد دانه را بطور معنی‌داری افزایش دهد. اثر متقابل دور آبیاری و بیوچار نیز باعث افزایش پرولین و اثر متقابل دور آبیاری و بیوچار و سوپرجاذب باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک طبق، محتوای نسبی آب برگ و درصد روغن دانه شد. درکل می‌توان نتیجه گرفت، بین دو فاکتور بیوچار و سوپرجاذب، بیوچار توانست بیشترین تأثیر را بر صفات فیزیولوژیک داشته و بهتر عمل کند و در شرایط کم‌آبی با حفظ و نگهداری بهتر رطوبت، باعث بهبود تغذیه گیاه گلرنگ شود.

کلمات کلیدی: پرولین، دانه‌های روغنی، درصد روغن، عملکرد دانه، گلرنگ

لیست مقاله‌های مستخرج از پایان نامه:

۱. **بررسی تأثیر بیوچار و سوپرجاذب بر برخی صفات زراعی و عملکرد دانه گیاه گلرنگ تحت تنش خشکی. دومین کنگره بین و المللی و چهاردهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نبات ایران. رشت. دانشگاه گیلان. ۹-۱۱ شهریور ۹۵.**

۲. **بررسی تأثیر بیوچار و سوپرجاذب بر رنگیزه‌های گیاهی گلرنگ تحت تنش خشکی. دومین کنگره بین و المللی و چهاردهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نبات ایران. رشت. دانشگاه گیلان. ۹-۱۱ شهریور ۹۵.**

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

فصل اول: مقدمه وکلیات ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲- گیاه‌شناسی گلرنگ ۴

۱-۲-۱ مورفولوژی گلرنگ ۴

۱-۲-۲ خصوصیات رشد و نمو گلرنگ ۵

۱-۲-۳ شرایط رشد گلرنگ ۷

۱-۲-۴ سازگاری‌های گلرنگ ۷

۱-۳ اهمیت گلرنگ ۸

۱-۴ موارد استفاده از اجزای گلرنگ ۹

۱-۵ ارقام گلرنگ ۱۰

۱-۶ تنش خشکی ۱۰

۱-۷ اهمیت کودهای زیستی ۱۱

۱-۸ معرفی بیوچار ۱۲

۱-۸-۱ بیوچار چیست ۱۲

۱-۸-۲ فواید بیوچار ۱۳

۱-۹ معرفی سوپرجاذب ۱۳
۱-۹-۱ سوپرجاذب چیست ۱۳
۱-۹-۲ فواید سوپرجاذب ۱۴
۱-۱۰ اهداف پژوهش ۱۵
فصل دوم: بررسی منابع ۱۷
۲-۱ اثر تنش خشکی بر برخی از جنبه‌های مورفولوژیکی گیاهان ۱۸
۲-۱-۱ عملکرد و اجزاء عملکرد ۱۸
۲-۱-۲ رشد رویشی و زایشی ۱۸
۲-۲ تأثیر تنش خشکی بر برخی از جنبه‌های فیزیولوژیکی گیاهان ۱۹
۲-۲-۱ تنظیم اسمزی ۱۹
۲-۲-۲ جذب عناصر مورد نیاز در گیاه ۲۰
۲-۲-۳ فتوسنتز ۲۰
۲-۳ تأثیر بیوچار بر خاک ۲۱
۲-۴ تأثیر بیوچار بر خصوصیات رشدی گیاهان ۲۲
۲-۵ تأثیر سوپرجاذب بر حفظ و نگهداری آب در خاک ۲۳
۲-۶ تأثیر سوپرجاذب بر کشت گیاهان ۲۳
فصل سوم: مواد و روش‌ها ۲۵

۳-۱ زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش ۲۶
۳-۲ ویژگی‌های خاک محل آزمایش ۲۶
۳-۳ مشخصات طرح آزمایشی ۲۷
۳-۴ عملیات اجرایی ۲۹
۳-۴-۱ تهیه و آماده‌سازی زمین ۲۹
۳-۴-۲ کاشت ۲۹
۳-۴-۳ داشت ۲۹
۳-۴-۴ اعمال تیمارها ۳۰
۳-۴-۴-۱ سطوح مختلف دور آبیاری ۳۰
۳-۴-۴-۲ سطوح مختلف مصرف بیوچار ۳۰
۳-۴-۴-۳ سطوح مختلف سوپرجاذب ۳۰
۳-۴-۵ برداشت ۳۱
۳-۵ نمونه‌برداری ۳۱
۳-۶ اندازه‌گیری صفات زراعی و مورفولوژیک ۳۲
۳-۶-۱ ارتفاع و قطر ساقه ۳۲
۳-۶-۲ وزن خشک ساقه، برگ، پوسته و طبق ۳۲
۳-۶-۳ عملکرد و اجزاء عملکرد ۳۲

۳-۷ اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک ۳۳
۳-۷-۱ اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید ۳۳
۳-۷-۲ پایداری غشاء پلاسمایی ۳۴
۳-۷-۳ اندازه‌گیری پرولین اندام هوایی ۳۵
۳-۷-۴ اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) ۳۵
۳-۸ اندازه‌گیری صفات کیفی ۳۶
۳-۸-۱ اندازه‌گیری پروتئین دانه ۳۶
۳-۸-۲ اندازه‌گیری روغن دانه ۳۸
۳-۸-۳ اندازه‌گیری فسفر بذر ۳۹
۳-۸-۴ اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم بذر ۴۰
۳-۹ محاسبات و تجزیه و تحلیل آماری ۴۰
فصل چهارم: نتایج و بحث ۴۱
۴-۱ صفات مورفولوژیک ۴۲
۴-۱-۱ ارتفاع بوته ۴۲
۴-۱-۲ قطر ساقه ۴۲
۴-۲ وزن خشک اندام‌های هوایی ۴۲
۴-۲-۱ وزن خشک ساقه ۴۲

۴-۲-۲ وزن خشک برگ ۴۵
۴-۲-۳ وزن خشک پوسته ۴۷
۴-۲-۴ وزن خشک طبق ۵۰
۴-۳ عملکرد و اجزای عملکرد ۵۱
۴-۳-۱ تعداد دانه در متر مربع ۵۱
۴-۳-۲ تعداد طبق در بوته ۵۲
۴-۳-۳ وزن هزار دانه ۵۵
۴-۳-۴ عملکرد دانه ۵۶
۴-۳-۵ عملکرد بیولوژیک ۵۹
۴-۴ صفات فیزیولوژیک ۶۲
۴-۴-۱ کلروفیل a ۶۲
۴-۴-۲ کلروفیل b ۶۵
۴-۴-۳ کلروفیل کل ۶۷
۴-۴-۴ کاروتنوئید ۶۹
۴-۴-۵ پایداری غشاء ۷۱
۴-۴-۶ میزان پرولین ۷۴
۴-۴-۷ میزان محتوای نسبی آب برگ (RWC) ۷۷

۴-۵ صفات کیفی ۷۸

۴-۵-۱ درصد پروتئین دانه ۷۸

۴-۵-۲ درصد روغن دانه ۷۸

۴-۵-۳ درصد فسفر بذر ۸۰

۴-۵-۴ درصد پتاسیم بذر ۸۲

۴-۵-۵ درصد سدیم بذر ۸۴

۴-۶ نتیجه‌گیری ۸۶

۴-۷ پیشنهادات ۸۷

منابع ۸۹

پیوست ۱۰۸

فهرست اشکال

شکل ۳-۱ نقشه کاشت طرح آزمایشی مورد استفاده ۲۷

شکل ۳-۲ کاشت و اولین آبیاری ۲۹

شکل ۳-۳ نمونه‌برداری نهایی (برداشت ۱۰ بوته از هر کرت) ۳۱

شکل ۳-۴ اندازه‌گیری وزن خشک ساقه، برگ و طبق ۳۲

شکل ۳-۵ بذور نمونه‌گیری نهایی گلرنگ ۳۳

شکل ۳-۶ اندازه‌گیری کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئید ۳۴

شکل ۳-۷ اندازه‌گیری پایداری غشاء پلاسمایی ۳۵

شکل ۳-۸ اندازه‌گیری محتوی آب نسبی برگ ۳۶

شکل ۳-۹ اندازه‌گیری پروتئین دانه ۳۸

شکل ۳-۱۰ اندازه‌گیری فسفر بذر ۳۹

شکل ۳-۱۱ اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم بذر ۴۰

شکل ۴-۱ مقایسه میانگین وزن خشک ساقه تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری ۴۳

شکل ۴-۲ مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف بیوچار و سوپرجاذب بر روی وزن خشک ساقه ۴۵

شکل ۴-۳ مقایسه میانگین وزن خشک برگ تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری ۴۶

شکل ۴-۴ مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف بیوچار و سوپرجاذب بر روی وزن خشک برگ ۴۷

شکل ۴-۵ مقایسه میانگین وزن خشک پوسته تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری ۴۸

شکل ۴-۶ مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف بیوچار و سوپرجاذب بر روی وزن خشک پوسته ۴۹

شکل ۴-۷ مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف دور آبیاری، بیوچار و سوپرجاذب بر روی وزن خشک طبق ۵۱

شکل ۴-۸ مقایسه میانگین تعداد دانه تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری ۵۲

شکل ۴-۹ مقایسه میانگین تعداد طبق تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری ۵۳

شکل ۴-۱۰ مقایسه میانگین تعداد طبق تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار ۵۴

شکل ۴-۱۱ مقایسه میانگین تعداد طبق تحت تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب ۵۵

شکل ۴-۱۲ مقایسه میانگین وزن هزار دانه تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری ۵۶

شکل ۴-۱۳ مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری ۵۷

شکل ۴-۱۴ مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف بیوچار و سوپرجاذب بر روی عملکرد دانه ...۵۹

شکل ۴-۱۵ مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری ۶۰

شکل ۴-۱۶ مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار ۶۱

شکل ۴-۱۷ مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب ۶۲

شکل ۴-۱۸ مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری ۶۳

شکل ۴-۱۹ مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار ۶۴

شکل ۴-۲۰ مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب ۶۵

شکل ۴-۲۱ مقایسه میانگین کلروفیل b تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری ۶۶

شکل ۴-۲۲ مقایسه میانگین کلروفیل b تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار ۶۷

شکل ۴-۲۳ مقایسه میانگین کلروفیل کل تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری ۶۸

شکل ۴-۲۴ مقایسه میانگین کلروفیل کل تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار ۶۸

شکل ۴-۲۵ مقایسه میانگین کلروفیل کل تحت تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب ۶۹

شکل ۴-۲۶ مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری ۷۰

شکل ۴-۲۷ مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار ۷۱

شکل ۴-۲۸ مقایسه میانگین پایداری غشاء تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری ۷۳

شکل ۴-۲۹ مقایسه میانگین پایداری غشاء تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار ۷۳

شکل ۴-۳۰ مقایسه میانگین پایداری غشاء تحت تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب ۷۴

شکل ۴-۳۱ مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف دور آبیاری، بیوچار بر میزان پرولین ۷۶

شکل ۴-۳۲ مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف دور آبیاری، بیوچار و سوپرجاذب بر درصد محتوای نسبی آب برگ ۷۸

شکل ۴-۳۳ مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف دور آبیاری، بیوچار و سوپرجاذب بر درصد روغن دانه ۸۰

شکل ۴-۳۴ مقایسه میانگین درصد فسفر بذر تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری ۸۰

شکل ۴-۳۵ مقایسه میانگین درصد فسفر بذر تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار ۸۲

شکل ۴-۳۶ مقایسه میانگین درصد پتاسیم بذر تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری ۸۳

شکل ۴-۳۷ مقایسه میانگین درصد پتاسیم بذر تحت تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب ۸۴

شکل ۴-۳۸ مقایسه میانگین درصد سدیم بذر تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری ۸۴

شکل ۴-۳۹ مقایسه میانگین درصد سدیم بذر تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار ۸۵

فهرست جداول

جدول ۳-۱ ویژگی‌های تجزیه خاک محل آزمایش ۲۶

جدول ۳-۲ ترکیبات تیماری مورد آزمایش ۲۸

جدول پیوست ۴-۱ نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر ارتفاع بوته و قطر ساقه ۱۰۹

جدول پیوست ۴-۲ نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر وزن خشک ساقه، پوسته و طبق.....۱۱۰

جدول پیوست ۴-۳ نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر تعداد دانه در متر مربع، وزن هزاردانه و عملکرد بیولوژیک ۱۱۱

جدول پیوست ۴-۴ نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر پرولین و سدیم ۱۱۲

جدول پیوست ۴-۵ نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر وزن خشک برگ، تعداد طبق در بوته و عملکرد دانه ۱۱۳

جدول پیوست ۴-۶ نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید ۱۱۴

جدول ۴-۷ نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر پایداری غشاء پلاسمایی و محتوای نسبی آب برگ ۱۱۵

جدول ۴-۸ نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر درصد پروتئین، روغن، فسفر، پتاسیم بذر ۱۱۶

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

با توجه به اینکه ایران در تقسیم‌بندی جهانی جزء کشورهای خشک و نیمه خشک (موقعیت مکانی: عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۳۸ درجه شمالی)، محسوب می‌شود، بررسی زمان، شدت و مدت دوره تنش کمبود آب بر واکنش‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان بسیار حائز اهمیت است. همچنین تنش بر رشد، عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن تأثیر بسزایی دارد (اختابرگ و پالا، ۲۰۰۱). یکی از مهم‌ترین تنش‌های مهم غیر زیستی، تنش خشکی می‌باشد که تغییرات قابل توجهی را در خصوصیات فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه بوجود می‌آورد و می‌تواند بیش از ۵۰ درصد کاهش محصول را به دنبال داشته باشد (زبید و همکاران، ۲۰۰۷ و زلاتیو و یوردانوو، ۲۰۰۴). افزایش روز افزون جمعیت جهان در چند دهه اخیر، محدودیت شدید منابع انرژی غذایی را به دنبال داشته است، اگر چه ذخایر غذا معمولاً با تکیه بر گندم، برنج، حبوبات و ذرت به عنوان غذاهای اصلی، مورد بحث قرار می‌گیرند، اما دانه‌های روغنی در مقام دوم منابع مهم انرژی غذایی برای انسان به شمار می‌آیند (طهماسبی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹).

روغن‌های خوراکی و کنجاله‌های مقوی پروتئینی که حاصل فرآیند روغن‌کشی هستند، بخشی از غذاهای روزانه انسان و دام را تشکیل می‌دهند، علاوه بر این، دانه‌های روغنی مصارف صنعتی، دارویی و غیره دارند (آلسی و همکاران، ۲۰۰۰). با وجود تولید سالانه ۲۷۱ هزار تن دانه روغنی در کشور، بخش عمده‌ای از روغن مصرفی از منابع خارجی تأمین می‌شود (یونسی سینکی، ۱۳۸۷). از بین دانه‌های روغنی سازگار با شرایط کشور، گلرنگ به عنوان یک گیاه مقاوم به تنش شوری و خشکی (باسیل و کافکا، ۲۰۰۲؛ ونیچ پانگ پان و همکاران، ۲۰۰۱ و اختابرگ و پالا، ۲۰۰۱) و با داشتن تیپ‌های بهاره و پاییزه، آینده نویدبخشی دارد (پاسبان اسلام، ۱۳۸۹).

خصوصیات مطلوب و خاص این گیاه نظیر سازگاری با شرایط آب و هوایی مناطق وسیعی از کشور (زینلی، ۱۳۷۸؛ امیدی تبریز و همکاران، ۱۳۷۹)، خواص طبی، صنعتی، غذایی، کیفیت بالای روغن دانه

به جهت وجود بیش از ۸۰ درصد اسیدهای چرب غیر اشباع به خصوص اسید چرب لینولئیک و اولئیک، نیاز رطوبتی کم، سازگاری وسیع به درجه حرارت‌های پایین زمستان و بالای تابستان و فصل رشد و نمو کوتاه در کشت تابستانه از جمله مواردی است که گلرنگ را به عنوان یک گیاه روغنی با ارزش مطرح ساخته است (احمدی و امیدی، ۱۳۷۳). حفظ محیط زیست و تولید محصولات کشاورزی سالم، در حال حاضر از وظایف کشاورزی است. مدیریت عناصر خاک با استفاده از کودهای زیستی از ارکان کشاورزی پایدار محسوب می شود. نحوه عمل کودهای مختلف در شرایط تنش خشکی بسیار متفاوت است (پیرسته انوشه و همکاران، ۱۳۸۹).

امروزه ترویج استفاده بیش از حد از انواع کودهای شیمیایی، مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی فراوانی را به دنبال داشته است. در این شرایط استفاده از منابع کودهای دامی و شیمیایی، هرکدام به نوعی می‌تواند بر عملکرد گیاهان اثر بگذارد (بروسارد و فرورا سناتور، ۱۹۹۷). دستیابی به کشاورزی پایدار در کنار افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و تأمین سلامت جامعه از اهداف محققین در بخش کشاورزی است. از جمله روش‌های جدید برای جلوگیری از این معضلات، کاربرد اصلاح‌کننده‌های بیولوژیکی و شیمیایی در خاک است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۳).

یکی از نیازهای ضروری برای دستیابی به کشاورزی پایدار، یافتن فناوری‌های جدید کشاورزی به منظور تولید محصولاتی با کیفیت و راندمان بالا می‌باشد، که به منابع طبیعی و حفظ خاک‌های حاصلخیز هم توجه داشته باشد. کودهای زیستی که دارای ریزسازواره‌های سودمند به جای کودهای شیمیایی هستند، به عنوان عامل‌های بهبود دهنده رشد گیاهان، جذب عناصر غذایی و کمک کننده به حفظ سلامت محیط زیست و باروری خاک راه حل شایسته‌ای برای مقابله با آلودگی‌های زیست محیطی کودهای شیمیایی شناخته شده‌اند (آدسموی و کلوپر، ۲۰۰۹). همچنین با اعمال مدیریت صحیح و به کارگیری روش‌های پیشرفته از طریق حفظ ذخیره رطوبتی خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، می‌توان بهره‌برداری از منابع محدود آب در شرایط دیم بهبود بخشید. کاربرد پلیمرهای سوپرجاذب

و بیوچار می‌تواند از راه‌کارهای مدیریتی مناسب برای حفظ ذخیره رطوبتی خاک باشد. این مواد با جذب و نگهداری آب تا چندین برابر حجم خود، قابلیت نگهداری آب را در خاک افزایش داده و در نهایت با کاهش اثرات تنش خشکی سبب بهبود رشد گیاه می‌شوند (روشن، ۱۳۸۱ و میشرا و پاتل، ۲۰۰۹).

۱-۲ گیاه شناسی گلرنگ

گلرنگ (Safflawer) یا کاشفه، از گیاهان دنیای قدیم است که در منطقه وسیعی از ژاپن تا شرق آفریقا مورد کاشت بوده است (خواجه‌پور، ۱۳۸۳). نام علمی گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) و از تیره آفتابگردان (Astraceae) است (کافکا و کرنی، ۱۹۹۸).

۱-۲-۱ مورفولوژی گلرنگ

گلرنگ گیاهی است یک‌ساله، که دارای ۱۲ جفت کروموزوم (۲n=۲۴) می‌باشد. ارتفاع بوته به ۴۰ تا بیشتر از ۱۵۰ سانتی‌متر می‌رسد. ساقه اصلی در گلرنگ استوانه‌ای و دارای چهار حاشیه باریک طولی است. قطر ساقه از پایین به بالا به تدریج کاهش می‌یابد. ساقه توپر بوده و ممکن است کرک‌دار و یا فاقد کرک باشد. رنگ ساقه براق و از سفید تا خاکستری روشن متغیر است. گلرنگ پس از به ساقه رفتن، به صورت بوته‌ای استوار با ساقه اصلی محکم، خشن و چوبی رشد می‌کند. گلرنگ دارای ریشه مستقیم، قوی و توسعه یافته با ریشه‌های زیاد است که می‌تواند تا عمق نزدیک ۳ متر در خاک‌های عمیق، نفوذپذیر، مرطوب و گرم نفوذ کند و آب و مواد غذایی را تا این عمق از خاک جذب نماید. عمق توسعه ریشه در هر مزرعه به رقم و مجموعه عوامل محیطی، به خصوص خصوصیات فیزیکی خاک بستگی دارد (خواجه‌پور، ۱۳۸۳ و کافکا و کرنی، ۱۹۹۸).

در خاک‌های نسبتاً متراکم، بخش قابل توجهی از ریشه تا عمق ۳۰ سانتی‌متری، توزیع شده است. برگ‌های گلرنگ به رنگ سبز تیره براق، قلبی شکل، بدون دمبرگ و دندانه‌دار بوده و با آرایش مارپیچی روی ساقه قرار گرفته‌اند. طول برگ‌ها ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر و عرض آن‌ها ۲ تا ۵ سانتی‌متر می‌باشد. رنگ گل ممکن است سفید، زرد کمرنگ، نارنجی و یا قرمز باشد. گل‌آذین گلرنگ به صورت یک طبق متراکم

به شکل مخروطی در انتهای ساقه اصلی و هر ساقه فرعی بوجود می‌آید. تعداد طبق در بوته تقریباً با تعداد ساقه فرعی در بوته برابر می‌باشد. از آنجایی که تعداد ساقه فرعی در بوته به فاصله بوته در روی ردیف کاشت بستگی دارد، تعداد طبق در بوته نیز تابع فاصله بوته در روی ردیف کاشت می‌باشد. ممکن است در هر بوته تا ۵۰ طبق تشکیل گردد. هر طبق ۱/۵ تا ۴ سانتی‌متر قطر داشته و توسط چند ردیف براکته احاطه شده است. براکته‌های پایینی مشابه برگ آزاد می‌باشند. اما براکته‌های بالایی به حالت جوش خورده به طبق دیده می‌شوند. براکته‌ها با کرک‌های نرم سفیدی پوشیده شده و دارای رأس مثلثی خاردار می‌باشند (زینلی، ۱۳۸۷ و امیدی و همکاران، ۱۳۹۳).

در غالب ارقام، براکته‌ها شدیداً خاردار می‌باشند. در هر طبق، بسته به اندازه، ۲۰ تا ۱۸۰ گل لوله‌ای مشاهده می‌شود. طول لوله جام گل در زمان گرده‌افشانی به ۴ سانتی‌متر می‌رسد. رنگ گلبرگ پس از خروج از طبق و با گذشت زمان به تدریج تیره‌تر می‌شود. گل‌دهی از حاشیه طبق آغاز گردیده و به سمت مرکز طبق ادامه می‌یابد. گل‌دهی یک طبق طی ۳ تا ۵ روز تکمیل می‌شود. دانه از نظر شکل شبیه یک دانه کوچک آفتاب‌گردان است. دانه به طول ۵ تا ۱۰ میلی‌متر و عرض ۳ تا ۶ میلی‌متر دیده می‌شود. وزن هزار دانه گلرنگ معمولاً از ۲۰ تا ۵۰ گرم و وزن حجمی آن از ۴۵ تا ۶۰ کیلوگرم درصد لیتر متغیر می‌باشد. وزن هزار دانه حدود ۴۰ گرم معمول است، ولی در بعضی ارقام و شرایط تا ۱۰۰ گرم نیز گزارش شده است. دانه گلرنگ دارای سطح خارجی صاف بوده و به رنگ‌های سفید، خاکستری، کرمی، زرد و یا حتی سیاه دیده می‌شود. ذخیره روغن در لپه‌ها انجام می‌شود. پوسته ۳۰ تا ۶۰ درصد وزن فندقه را تشکیل می‌دهد. پوسته معمولاً فیبر زیادی دارد (خواجه‌پور، ۱۳۸۳ و زینلی، ۱۳۸۷ و امیدی و همکاران، ۱۳۹۳)

۱-۲-۲ خصوصیات رشد و نمو گلرنگ

دوران رشد گلرنگ را، از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک، می‌توان بر اساس پیدایش اندام یا فرآیندهای خاص به مراحل زیادی تقسیم نمود. اما از نظر زراعی ممکن است مراحل نمو گلرنگ را شامل

سبز شدن، به ساقه رفتن، رویت طبق، گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک دانست. گیاه از نظر تیپ رشدی در گروه رشد محدود قرار می‌گیرد. گلرنگ همانند بسیاری از گیاهان تیره مرکبه و طبیعتاً پائیزه، ابتدا یک مرحله روزت را می‌گذراند. در دوره روزت، برگ‌ها در نزدیک سطح خاک و به حالت خوابیده دیده می‌شود. مریستم انتهایی در مرکز بوته قرار داشته و توسط برگ‌های جوان احاطه شده است. با آغاز تحریکات گلدهی، رشد سریع و طولی میانگره‌ها آغاز می‌شود و گیاه به ساقه می‌رود (زینلی، ۱۳۸۷ و امیدی و همکاران، ۱۳۹۳ و کافکا و کرنی، ۱۹۹۸).

در زمان گل‌دهی، گلبرگ‌ها، پرچم‌ها و کلاه از طبق خارج می‌شوند تا حشرات گرده‌افشان بتوانند به گرده‌افشانی کمک نمایند. طول دوره گل‌دهی در هر بوته و در مزرعه ۱۰ تا ۴۰ روز می‌باشد. در شرایط زراعی، معمولاً ۱۵ تا ۵۰ میوه در هر طبق بوجود می‌آید. میوه گلرنگ همانند میوه آفتابگردان به صورت فندقه است. با پیدایش اولین تحریکات گل‌دهی در گیاه، میانگره‌ها شروع به رشد می‌کنند و گیاه به ساقه می‌رود. زمان به ساقه رفتن را با مشاهده اولین میانگره به طول ۱ سانتی‌متر مشخص می‌سازند (خواجه‌پور، ۱۳۸۳).

زمان رسیدگی فیزیولوژیک هنگامی است که طبق زرد شده و فقط آثار سبزی روی براکته‌ها مشاهده می‌شود. یعنی زمانی که ۷۵ درصد طبق‌ها به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیده باشند. طول دوره رشد بسته به رقم و کلیه عوامل محیطی، در تاریخ کاشت پاییزه ۲۰۰ تا ۳۰۰ روز و در تاریخ کاشت بهاره ۱۰۰ تا ۱۵۰ روز می‌باشد. گلرنگ طی حدود ۲ هفته پس از رسیدگی فیزیولوژیک به مرحله رسیدگی کامل می‌رسد و آماده برداشت است. در این مرحله حداقل ۷۵ درصد طبق‌ها کاملاً قهوه‌ای شده و دانه‌ها به سهولت از طبق جدا می‌شوند (خواجه‌پور، ۱۳۸۳ و زینلی، ۱۳۸۷ و امیدی و همکاران، ۱۳۹۳).

۱-۲-۳ شرایط رشد گلرنگ

کاشت مؤثر، زمانی محسوب می‌شود که بذرهای کاشته شده شروع به جذب آب از خاک نمایند. این زمان معادل تاریخ کاشت در خاک مرطوب، وقوع اولین باران مؤثر در کاشت پاییزه دیم در خاک خشک و یا انجام اولین آبیاری در کشت آبی می‌باشد (زینلی، ۱۳۸۷ و امیدی و همکاران، ۱۳۹۳).

مرحله سبز شدن، زمانی است که لپه‌ها در ۵۰ درصد نقطه‌های کاشت سر از خاک بیرون آورده، از یکدیگر کاملاً جدا شده و به حالت افقی قرار گرفته باشند. بنابراین، دوران کاشت تا سبز شدن برابر فاصله زمانی کاشت مؤثر تا ۵۰ درصد سبز شدن می‌باشد. طول این دوره در شرایط مساعد کمتر از یک هفته و در شرایط نامساعد به حدود ۳ هفته می‌رسد. وقوع تنش رطوبتی، سردی و سله خاک سبب طولانی شدن این دوره می‌گردند. فاصله زمانی (به روز) از کاشت مؤثر تا رویت طبق را تعداد روز از کاشت تا رویت طبق نامند. طول این دوران به تاریخ کاشت، رقم، دمای هوا و رطوبت خاک بستگی داشته و از ۴۰ تا ۹۰ روز در کاشت بهاره می‌رسد. در بسیاری از مزارع، گلرنگ حدود ۴ تا ۷ هفته پس از مرحله گل‌دهی کامل آماده برداشت است. در این زمان برگ‌ها قهوه‌ای شده‌اند. هر طبق هنگامی کاملاً رسیده است که قهوه‌ای شده باشد. در این زمان رطوبت دانه حدود ۱۰ درصد می‌باشد. معمولاً تفاوت زمان رسیدن اولین تا آخرین طبق به حدود ۲ هفته می‌رسد (خواجه‌پور، ۱۳۸۳ و زینلی، ۱۳۸۷ و امیدی و همکاران، ۱۳۹۳).

۱-۲-۴ سازگاری‌های گلرنگ

گلرنگ از عرض جغرافیایی ۴۰ درجه جنوبی تا بیش از ۵۰ درجه شمالی و از ارتفاع صفر تا نزدیک به ۳۰۰۰ متر از سطح دریا (بسته به عرض جغرافیایی) کاشت می‌شود. در دشت‌های ایران، تا ارتفاع ۲۵۰۰ متر از سطح دریا قابل کشت می‌باشد. گلرنگ گیاهی طبیعتاً روز بلند است، اما بسیاری از ارقام اصلاح شده نسبت به طول روز بی‌تفاوت می‌باشند (خواجه‌پور، ۱۳۸۳ و نورانی آزاد، ۱۳۹۰).

برخورد کشت تابستانه با طول روزهای کوتاه ممکن است باعث تأخیر در گلدهی بعضی ارقام شود. به هر حال نقش دما در تعیین طول دوره نمو اکثر ارقام گلرنگ بیش از طول روز می‌باشد. حداقل دما برای رشد گلرنگ حدود ۵ سانتی‌گراد است. بهترین رشد گلرنگ در دمای شبانه‌روزی حدود ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد بدست می‌آید (ونیچ پونج پان و همکاران، ۲۰۰۱).

گیاهچه‌های گلرنگ پس از استقرار و در مرحله رشد روزت به سرما مقاوم می‌باشند (خواجه‌پور، ۱۳۸۳). در صورت فرآهم بودن رطوبت کافی در خاک، گلرنگ از درجه حرارت زیاد تابستان آسیب نخواهد دید. در بین مراحل تکامل طبق، مرحله گرده‌افشانی و پیش گرده‌افشانی به تنش حرارتی بسیار حساس است (زینلی، ۱۳۸۷ و امیدی و همکاران، ۱۳۹۳).

۱-۳ اهمیت گلرنگ

سازگاری وسیع گلرنگ به اقالیم مختلف و تحمل زیاد آن به شرایط نامساعد ایجاب می‌نماید که مطالعات به‌نژادی و به‌زراعی گسترده‌ای روی آن انجام گیرد و در جهت گسترش کشت آن تلاش زیادی به عمل آید. بر اهمیت گلرنگ به عنوان دانه روغنی، بخصوص به علت دارا بودن اسید چرب غیراشباع و ضروری لینولئیک، افزوده شده است و به تولید آن در جهان توجه خاص معطوف گردیده است.

درصد روغن دانه گلرنگ در شرایط مساعد تا ۴۵ درصد می‌رسد (زینلی، ۱۳۸۷ و امیدی و همکاران، ۱۳۹۳ و ونیچ پونج پان و همکاران، ۲۰۰۱). کشورهای هند، آمریکا و مکزیک مهمترین تولیدکنندگان گلرنگ به شمار می‌روند. از سطح زیر کشت گلرنگ در ایران اطلاع دقیقی در دسترس نیست. ظاهراً سطح زیر کشت آن طی سال‌های گذشته کمتر از ۱۰۰۰ هکتار با میانگین عملکرد دانه ۷۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده است. پتانسیل عملکرد دانه گلرنگ بیش از ۵ تن در هکتار می‌باشد. عملکردهایی بالاتر از ۲/۵ تن دانه در هکتار مطلوب به شمار می‌روند (خواجه‌پور، ۱۳۸۳).

۱-۴ موارد استفاده از اجزای مختلف گلرنگ

۱-استفاده از گل‌های خشک شده گلرنگ: از گل‌های لوله‌ای گل‌آذین این گیاه دو نوع ماده رنگی استخراج می‌شود. ماده اول زرد رنگ و محلول در آب است که به اصطلاح آن را کارتامیدین می‌گویند. این ماده به دلیل کم رنگ بودن ارزش چندانی ندارد. ماده رنگی دیگر به رنگ قرمز و محلول در قلیا است و کارتامین یا اسیدکارتامیک نامیده شده است. رنگ کارتامین قرمز تیره بوده و به صورت ذرات ریزگرد مانند و شفاف به دست می‌آید. این ماده رنگی تا اواخر قرن گذشته که رنگ‌های اینلین مصنوعی تا حد زیادی جایگزین آن شد، فرآورده اصلی گیاه زراعی گلرنگ به شمار می‌رفته است. امروزه از کارتامین بیشتر برای تهیه رنگ‌های آرایشی و رنگ اغذیه از جمله شیرینی‌ها و نیز در ساخت گل‌های مصنوعی استفاده می‌شود. گاهی اوقات گل‌های لوله‌ای گلرنگ به عنوان یک ماده تقلبی در بسته‌های محتوی زعفران مورد استفاده قرار می‌گیرد. حتی در بعضی نوشته‌ها از گلرنگ به عنوان زعفران کاذب یاد شده است.

۲-استفاده از روغن گلرنگ: دانه (فندقه) گلرنگ دارای ۲۵ تا ۴۵ درصد روغن، ۱۵ تا ۲۵ درصد پروتئین و ۳۰ تا ۶۰ درصد پوسته می‌باشد. از هر تن دانه گلرنگ به طور میانگین حدود ۳۵۰ کیلوگرم روغن به دست می‌آید. روغن گلرنگ به طور میانگین حاوی حدود ۵ تا ۱۰ درصد از انواع اسیدهای چرب اشباع شده، ۱۲ تا ۲۵ درصد اسید اولئیک، ۷۰ تا ۸۰ درصد اسید لینولئیک و مقدار ناچیزی اسید لینولنیک می‌باشد. روغن گلرنگ فاقد کلسترول است و همچنین مقدار قابل توجهی ویتامین E دارد که موجب ثبات روغن در اثر اکسیداسیون طی دوران نگاه‌داری می‌شود. اگرچه پایینی اسید سیتریک و زیادی اسید لینولئیک در روغن گلرنگ، آن را برای صنعت مارگارین بسیار مناسب ساخته، اما زیادی اسید لینولئیک روغن گلرنگ سبب ناپایداری روغن در مقابل حرارت شده و آن را برای سرخ کردن مواد در صنایع غذایی مانند چیپس‌سازی نامناسب ساخته است.

۳-استفاده از کنجاله: کنجاله گلرنگ به عنوان یک مکمل پروتئین در جیره غذایی گوسفند و گاوهای گوشتی و شیری استفاده می‌شود. به طور کلی دو نوع کنجاله گلرنگ وجود دارد، کنجاله دانه

پوست‌گیری نشده و کنجاله دانه پوست‌گیری شده. از کنجاله پوست‌گیری نشده برای تغذیه دام استفاده می‌شود. وقتی که دانه گلرنگ پوست‌گیری شده باشد، کنجاله آن محتوی ۴۰ تا ۶۰ درصد پروتئین و ۱۴ درصد فیبر خام خواهد بود که برای استفاده در جیره‌های غذایی طیور پرورشی مطلوب می‌باشد.

۴-استفاده از پوسته دانه: به جز در مقادیر کم، استفاده از پوسته دانه گلرنگ در جیره غذایی دام مطلوب نمی‌باشد.

۵-استفاده از کل دانه در تغذیه دام: دانه گلرنگ را می‌توان همراه دانه‌های خوراکی دیگر خرد کرده و به عنوان قسمتی از سهم کنستانتره جیره غذایی دام استفاده نمود.

۶-استفاده از علوفه گلرنگ: در بعضی از مناطق، مزرعه گلرنگ توسط گوسفند چرانیده می‌شود. هم بوته‌های سبزدر حال رشد و هم شاخ و برگ گیاه بعد از برداشت، گاهی اوقات به منظور تعلیف دام استفاده می‌شود (خواجه‌پور، ۱۳۸۳ و امیدی و همکاران، ۱۳۹۳).

۱-۵ ارقام گلرنگ

گلرنگ دارای رقم‌های بسیار متنوعی است که از نظر گل، ارتفاع بوته، شکل برگ، شکل ساقه، خاردار بودن، میزان روغن، ترکیب اسیدهای چرب، میزان پروتئین، مقاومت به سرما، حساسیت به بیماری‌ها و آفات، طول فصل رشد، وزن دانه و صفات دیگر با هم تفاوت دارند. در طول چند دهه اخیر ارقام زراعی گلرنگ به لحاظ صفات مختلف اصلاح‌شده و ضمن حذف صفات نامطلوب آن‌ها، صفات جدید مطلوبی به آن‌ها اضافه شده است. در اینجا به تعدادی از مهم‌ترین ارقام داخلی و خارجی اشاره می‌شود. ارقام داخلی: پدیده، گلدشت، صفه ، سینا. رقم محلی ۲۸۱۱ (اراک)، رقم محلی ۳۱۴۷ (ارومیه)، رقم محلی ۲۸۱۹ (اصفهان)، رقم محلی ۳۱۴۸ (آذربایجان شرقی) و ارقام خارجی: ژیلا، فریو، یو اس-۱۰، یوت و ان-۱۰ (زینلی، ۱۳۸۷ و امیدی و همکاران، ۱۳۹۳).

۱-۶ تنش خشکی

یکی از تنش‌های غیرزنده که بر روی گیاهان اثر میگذارد، تنش خشکی می‌باشد که خسارت سنگینی را به محصولات عمده کشاورزی وارد می‌کند (عسکر و همکاران، ۱۳۸۹). تنش خشکی نبود یا

کمبود بارندگی در مقطعی از زمان است که موجب کاهش رشد گیاه و محصول اقتصادی می‌شود (وندکریمی و همکاران، ۱۳۹۴). از دیدگاه لویت (۱۹۸۰) خشکی یک اصطلاح هواشناسی بوده و به معنای دوره‌ای است که در آن مقدار بارندگی از مقدار تبخیر و تعرق بالقوه کمتر باشد. خشکی پدیده‌ای بحرانی و اجتناب‌ناپذیر است که همه ساله در بخش‌هایی از دنیا در زمان‌های مختلف با دامنه و شدت متفاوت به تولید موفقیت‌آمیز محصول آسیب می‌رساند. بخش بزرگی از مساحت کشور ما دارای شرایط خشک و نیمه خشک است. شرایطی که مهم‌ترین عوامل محدود کننده‌ی فعالیت‌های زراعی و مؤثرترین عوامل در کاهش عملکرد در واحد سطح محسوب می‌شوند. مطالعه موضوع آب، نقش‌ها یا اثرات آن از سویی و کشف روش‌های کاهش خسارت یا عوارض و نیز شناسایی گیاهان مقاوم و مکانیسم‌های مقاومت و تحمل گیاهان در برابر این دو پدیده از سوی دیگر بسیار مهم و ضروری و برای کشور ما الزامی است (امیدی و همکاران، ۱۳۹۳ و مهدوی و همکاران، ۱۳۹۳).

یکی از عوامل مهم در کاهش بهره‌وری تولیدات کشاورزی در جهان و همچنین ایران، تنش خشکی می‌باشد (صباغ‌پور و همکاران، ۱۳۸۵). افزایش تحمل گیاهان زراعی به این تنش برای حفظ عملکرد در مناطقی که دارای فصل خشک هستند، از اهمیت زیادی برخوردار است. در نتیجه، هدف اصلی بسیاری از برنامه‌های به‌نژادی به منظور افزایش تولید در این مناطق، بهبود تحمل طولانی‌تر گیاهان زراعی به تنش خشکی می‌باشد (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۳ و سانچز و همکاران، ۱۹۹۸).

۱-۷ اهمیت کودهای زیستی

امروزه به دلیل افزایش اهمیت مسائل زیست محیطی توجه بیشتری به کودهای بیولوژیک یا زیستی برای جایگزینی کودهای شیمیایی شده است (کادر و همکاران، ۲۰۰۲). عرضه مواد آلی به خاک، به دلیل پاسخگویی به یکی از بزرگترین نیازهای گیاه، از مزایای بارز این قبیل کودهاست. علاوه بر این، تأمین عناصر غذایی به صورتی کاملاً متناسب با تغذیه طبیعی گیاهان، کمک به تنوع زیستی، تشدید

فعالیت‌های حیاتی، بهبود کیفیت و حفظ سلامت محیط زیست از مهم‌ترین مزیت‌های کودهای بیولوژیک به شمار می‌رود (رای و گاور، ۱۹۸۸).

مصرف کودهای بیولوژیک در شرایط تنش‌های محیطی باعث افزایش مقاومت گیاهان و جبران میکروارگانیسم‌های از دست رفته خاک می‌شود (شاه‌حسینی و همکاران، ۱۳۸۹). افزایش جامعه میکروبی خاک، به افزایش تنوع زیستی در ریزوسفر منجر می‌گردد که باعث افزایش اثرات متقابل بین میکروارگانیسم‌ها در ریزوسفر می‌شود. می‌توان گفت حفظ تنوع زیستی در دستیابی به بوم نظام‌های پایدار یکی از مواردی است که باید به آن توجه شایانی کرد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹). افزایش ظرفیت نگهداری آب و ساختمان گرانوله‌ای خاک، افزایش فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی و آزادسازی عناصر غذایی موجود در کلوئیدهای خاک از دلایل افزایش عملکرد در سیستم‌های تغذیه کودهای آلی می‌باشد (باسو و همکاران، ۲۰۰۸ و گرایندلر و همکاران، ۲۰۰۸).

۱-۸ معرفی بیوچار

۱-۸-۱ بیوچار چیست

بیوچار، مواد حاصل از زیست‌توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که تهیه آن‌ها توسط حرارت در حضور کم و یا عدم حضور اکسیژن می‌باشد. این ماده به علت سرعت تجزیه بسیار کند نسبت به سایر مواد آلی ظرفیت زیادی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای از قبیل دی‌اکسید کربن و متان که از ضایعات آزاد می‌شود، دارد و می‌تواند کربن را برای دوره‌های طولانی ذخیره کند (لهمن، ۲۰۰۷). بیوچار به عنوان پتانسیل بالقوه‌ای از ذغال چوب شناخته می‌شود و می‌تواند به طرز شایسته‌ای باعث بهبود خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک شود (لهمن و همکاران، ۲۰۰۶).

وجه تشابه بین زغال و بیوچار در این است که هردو عمدتاً شامل فرم‌های آروماتیک پایدار کربن آلی هستند که به دلیل کند بودن سرعت تجزیه، حتی در شرایط محیطی و بیولوژیکی مناسب، به آسانی به صورت دی‌اکسید کربن در اتمسفر آزاد نمی‌شوند، از این جهت گزینه مناسبی برای ترسیب کربن

بیومس گیاهی در خاک می‌باشد امروزه نقش بیوچار به عنوان یک جذب‌کننده، کاتالیزور و پاک کننده محیط زیست در جهان مطرح است (سوهی و همکاران، ۲۰۱۰).

۱-۸-۲ فواید بیوچار

بیوچار محصول پیرولیز کنترل شده زیست‌توده می‌باشد که قادر به اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و نیز بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک است (جلالی‌پور و همکاران، ۱۳۹۲). از دیدگاه کشاورزی یکی از مزایای بیوچار، مدیریت ضایعات کشاورزی می‌باشد. گسترش کشاورزی ارگانیک از یک سو و آلودگی‌های جوی از سوی دیگر باعث شده است تا استفاده از این نوع کود در دنیا روز به روز افزایش پیدا کند ولی متاسفانه این ماده آلی در ایران تا حدودی ناشناخته باقی مانده است (ربیعی و همکاران، ۱۳۹۲). فواید بیوچار شامل دارا بودن پتانسیل تغییر آب و هوا از راه ترسیب کربن، افزایش‌دهنده CEC خاک، یک نوع حمایتگر در برابر بیماری‌های خاک و گیاه، افزایش رشد گیاه و توسعه ریشه، افزایش قدرت نگهداشت مواد مغذی گیاه، بهبود بخشیدن به ساختار و پایداری خاک، بهبود بخشیدن به ظرفیت نگهداشت و نفوذپذیری خاک و تعدیل pH خاک می‌باشد. بیوچار به علت داشتن ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، توانایی جذب عناصر را دارد (میشرا و پاتل، ۲۰۰۹).

۱-۹ معرفی سوپرجاذب

۱-۹-۱ سوپر جاذب چیست

پلیمرهای سوپرجاذب (ابرجاذب و فراجاذب) از جنس هیدروکربن هستند. این مواد چندین برابر وزن خود آب را جذب، نگهداری و در اثر خشک شدن محیط، آب داخل پلیمر به تدریج تخلیه می شود و بدین ترتیب خاک به مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد، مرطوب می ماند (لیانگ و لیو، ۲۰۰۶).

ذرات هیدروژل سوپرجاذب تا رسیدن به حجم تعادلی خود متورم شده و به دلیل داشتن اتصالات عرضی در شبکه پلیمری خود، تورم باعث انحلال آن ها نمی شود. برخلاف مواد اسفنجی که جذب آب

در آن‌ها فیزیکی است، جذب آب در پلیمرها به صورت شیمیائی است و به همین دلیل پلیمرها حتی تحت فشار هم آب در آن‌ها را به مدت طولانی‌تری حفظ می‌کند (عابدی و کاظمی، ۱۳۸۵). پلیمرهای سوپرجاذب باعث افزایش ماندگاری آب در خاک گشته و تعداد آبیاری را تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهد (نزرلی و همکاران، ۱۳۸۹).

سوپرجاذب‌ها یا هیدروژل‌ها، پس از جذب آب و تورم ، شکل هندسی خود را حفظ کرده و در زمان نیاز گیاه، منقبض شده و آب و املاح کودی خود را در اختیار ریشه قرار می دهند (الهادی و همکاران، ۲۰۰۶). در صورت اختلاط هیدروژل‌ها با بسترهای مورد استفاده در سیستم‌های بدون خاک می‌توانند سبب بهبود بافت فیزیکی بستر، افزایش ظرفیت نگهداری آب محیط کشت (دلشاد و همکاران، ۱۳۹۰ و آختر و همکاران، ۲۰۰۴ و آل‌هاربی و همکاران، ۱۹۹۹ و مارتین و اسزور، ۲۰۰۱)، سهولت دسترسی ریشه گیاه به آب و عناصر غذایی (الهادی و همکاران، ۲۰۰۶)، کاهش تنش خشکی (آربونا و همکاران، ۲۰۰۵ و هندلسون و هنسلی، ۱۹۸۶) و افزایش میزان عملکرد گیاه به ازای هر واحد آب و کود مصرفی شوند (آنومپاما و همکاران، ۲۰۰۵ و الهادی و واناس، ۲۰۰۶ و سرورتیسن و دانلوپ، ۲۰۰۴).

۱-۹-۲ فواید سوپرجاذب

با توجه به این که بیشتر نواحی ایران در اقلیم خشک و نیمه خشک قرار گرفته است، استفاده از سوپرجاذب‌ها می‌تواند اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را کاهش دهد (توحیدی مقدم، ۱۳۸۸). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین مشکلات تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان می باشد. کاربرد برخی مواد، نظیر پلیمرهای سوپرجاذب در خاک، باعث افزایش ماندگاری آب در خاک و در نتیجه کاهش مصرف آب و آبشویی کودها می‌گردد (رستم‌پور و همکاران، ۱۳۸۹). مقدار جذب آب، در این پلیمرها بسته به فرمول‌بندی، آب، ناخالصی‌ها و مقدار نمک موجود تا ۴۰۰ برابر وزن سوپرجاذب متغیر است (مونینگ، ۲۰۰۵).

۱-۱۰ اهداف پژوهش

۱. بررسی تأثیر بیوچار در شرایط کم آبی بر بهبود تغذیه گیاه گلرنگ.

۲. بررسی تأثیر سوپرجاذب در شرایط کم آبی بر رشد و عملکرد گیاه گلرنگ.

۳. بررسی اثرات متقابل استفاده از بیوچار، سوپر جاذب و تنش خشکی در گیاه گلرنگ.

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱ اثر تنش خشکی بر برخی از جنبه‌های مورفولوژیکی گیاهان

۲-۱-۱ عملکرد و اجزای عملکرد

شرایط محیطی، به خصوص تنش خشکی، از عوامل مهم در بیان فنوتیپی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه است (غلامی‌زالی و همکاران، ۱۳۹۴). تنش خشکی باعث کاهش تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت در گیاه ماش شد (جعفردخت و همکاران، ۱۳۹۴). کمبود آب و بروز تنش خشکی در محیط رشد گلرنگ باعث کاهش اندازه گیاه، تغییر رنگ برگ‌ها، کم شدن دوام سطح برگ و کاهش عملکرد می‌شود (کافی و رستمی، ۱۳۸۶). کمبود رطوبت در خاک، سبب می‌شود گیاه رطوبت مورد نیاز خود را از لایه‌های عمیق‌تر خاک که عناصر غذایی ضروری در آن‌ها کم است، استخراج کند. درنتیجه گیاه دچار تنش عناصر غذایی می‌شود و کاهش اندازه گیاه و کاهش ذخایر فتوسنتزی موجود برای پرکردن غلاف‌ها رخ می‌دهد و در نهایت عملکرد دانه کاهش می‌یابد (بنجامین و نلسون، ۲۰۰۶). ارزیابی عملکرد دانه سه رقم گلرنگ بهاره تحت تأثیر تنش خشکی ایجاد شده در اثر قطع آبیاری در مراحل مختلف رشدی نشان داد که تنش باعث کاهش رشد گیاه و عملکرد بیولوژیک و در نتیجه کاهش عملکرد دانه شد (امیدی، ۱۳۸۸).

۲-۱-۲ رشد رویشی و زایشی

تنش خشکی باعث کاهش برخی از ویژگی‌ها در گیاه ماش از جمله ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک شد (جعفردخت و همکاران، ۱۳۹۴). وزن خشک ساقه و ریشه و وزن خشک کل در سه رقم نخود تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت (نصر اصفهانی، ۱۳۹۲). تنش خشکی در مرحله گلدهی، موجب از دست دادن آب در دانه گرده شده و درصد تلقیح را کاهش می‌دهد (فرخی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۸). محاسبه وزن خشک گیاه یکی از مطمئن‌ترین روش‌های ارزیابی میزان رشد در گیاهان است. زمانی که وزن خشک گیاه کم باشد نشان می‌دهد که گیاه توانایی کمتری برای استفاده از شرایط محیطی و یا تحمل شرایط نامساعد محیط را داشته است و در نتیجه فرآیندهای فیزیولوژیکی آن کاهش یافته است (حبیبی،

۱۳۹۰). کمبود رطوبت در مراحل رشد طبق و گلدهی در گلرنگ موجب کاهش شدید RGR و سرعت رشد محصول (CGR) شد (امیدی، ۱۳۸۸). در آبیاری معمول، گیاه از طول دوره زایشی طولانی‌تری برخوردار می‌باشد و زمان لازم برای تولید گل و غلاف بیشتر می‌شود. اما در شرایط تنش خشکی، ریزش گل افزایش و تعداد غلاف در هر بوته کاهش یافت (عیوضی و همکاران، ۱۳۹۱). کاهش تولید ماده خشک در اثر قطع آبیاری و بروز تنش خشکی توسط هاشمی دزفولی (۱۳۷۳) و کومار و سینگ (۱۹۹۴) نیز گزارش داده شده است.

۲-۲ تأثیر تنش خشکی بر برخی از جنبه‌های فیزیولوژیکی گیاهان

۲-۲-۱ تنظیم اسمزی

تنش خشکی تقریباً همه جنبه‌های رشد و بیشتر جنبه‌های فیزیولوژیکی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. وارد شدن فشار بر غشاء، یکی از اثرات شدید تنش خشکی است که فیزیولوژی گیاهی را درگیر می‌کند. این امر به ویژه به عملکرد یون‌ها، ناقل‌ها و آنزیم‌های همکار غشاء آسیب می‌رساند. کاهش پتاسیل اسمزی و پتانسیل کل آب همراه با از بین رفتن آماس، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش رشد از علائم مخصوص تنش آب است (امیدی و همکاران، ۱۳۹۳). یکی از کارهایی که گیاهان در برخورد با تنش خشکی انجام می‌دهند سنتز و تجمع ترکیبات محافظت‌کننده‌های اسمزی شامل قندها، اسیدهای آمینه، بتائین و غیره می‌باشد (سانچز و همکاران ۲۰۰۳، بهنرت و جنسن، ۱۹۹۶). گیاه با تجمع ترکیبات اسمزی از جمله پرولین در سیتوپلاسم و کربوهیدرات‌های محلول، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد (دادخواه و همکاران، ۱۳۹۴). به نظر می رسد که تجمع پرولین آزاد در گیاهان عالی، واکنشی عمومی به تنش است. البته مقادیری از چند اسید آمینه دیگر نیز تحت تنش خشکی و شوری افزایش می یابد، اما درجه این تغییرات قابل مقایسه با تجمع پرولین نیست (گزیک، ۱۹۹۶). از دیگر موادی که در شرایط تنش در گیاه تجمع می یابد، قندهای محلول است که تحت تنش آب، می‌تواند به دو روش

عمل کند: به عنوان عوامل اسمزی، و یا به عنوان حفاظت‌کننده‌های اسمزی (اینگرام و بارتلز، ۱۹۹۶ ؛ بوهنرت و همکاران، ۱۹۹۹).

تنش خشکی گیاه را در سطح سلولی، بافت و اندام تحت تأثیر قرار می‌دهد (بیک و همکاران، ۲۰۰۷). گیاهان در هنگام مواجه با تنش خشکی با ایجاد یکسری تغییرات فیزیولوژیکی به تنش‌های مختلف پاسخ می‌دهند. تجمع مواد محلول در پاسخ به خشکی (تنظیم اسمزی) راهی برای حفظ آماس است (سانچز و همکاران، ۲۰۰۳). میزان مواد محلول سازگار به خشکی مانند قندها، قندهای الکلی، آمینواسیدهای ویژه نظیر پرولین، گلایسین و بتائین در زمان تنش افزایش می‌یابد (دورینگ، ۱۹۹۲؛ وو و گارگ، ۲۰۰۳).

۲-۲-۲ جذب عناصر مورد نیاز در گیاه

افزایش خشکی در لایه‌های سطح خاک، ممکن است گیاه را مجبور کند تا رطوبت مورد نیاز خود را از لایه‌های عمیق‌تر خاک استخراج کند. این لایه‌ها دارای عناصر غذایی ضروری کمتری هستند. بدین ترتیب، گیاه با تنش عناصر غذایی روبرو می‌شود (انجم شعاع و همکاران، ۱۳۹۰). یکی از اثرات تنش خشکی برهم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است (لویس و مک فارلین، ۱۹۸۶). همچنین تنش خشکی باعث کاهش درصد پروتئین دانه، عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی و منگنز در گیاه ماش شد (جعفر دخت و همکاران، ۱۳۹۴). کمبود فسفر یکی از محدودیت‌های عمده برای رشد لگوم‌ها در بسیاری از خاک‌هاست و سطوح ناکافی فسفر در خاک تثبیت نیتروژن را محدود می‌کند (صالح راستین و همکاران، ۱۳۸۰). در بررسی اثر تنش خشکی بر تغییرات عناصر در ارقامی از یونجه، مشاهده شد که با افزایش شدت تنش از میزان جذب عناصر در اندام‌های مختلف گیاه کاسته شد (آخوندی و همکاران، ۱۳۸۵).

۲-۲-۳ فتوسنتز

میزان کلروفیل برگ نیز از جمله صفات فیزیولوژیک مهم است که تحت تنش، تغییر می یابد. درصورتی که شدت تنش آب زیاد باشد، موجب کاهش شدید فتوسنتز و مختل شدن فرآیندهای

فیزیولوژیکی، توقف رشد و سرانجام خشک شدن و مرگ گیاه می‌گردد (امیدی و همکاران، ۱۳۹۳). فتوسنتز جزو اولین فرآیندهایی است که تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد (چاوز، ۱۹۹۱). زمانی که تنش خشکی رخ دهد، آب قابل دسترس و به دنبال آن فتوسنتز کاهش یافته، درنتیجه ماده خشک گیاه نیز کاهش می‌یابد (کاوامیتسو و همکاران، ۲۰۰۰). طبق تحقیقات انجام شده کاهش مقدار فتوسنتز در شرایط تنش خشکی تحت تأثیر عوامل وابسته به روزنه و همچنین عوامل غیر وابسته به روزنه مثل محدودیت‌های متابولیک رخ می‌دهد (فلکساس و همکاران، ۲۰۰۷ و فلکساس و همکاران، ۲۰۰۴ و لالور و کورنیک، ۲۰۰۲). تنش خشکی می‌تواند باعث فرآیند اکسیداتیو شود (لالور و کورنیک، ۲۰۰۲). این فرآیند باعث تخریب سیستم فتوسنتزی، تخریب غشاء سلولی و کلروپلاستی، کاهش مقدار رنگدانه‌های کلروفیل a و b و در نتیجه کاهش فتوسنتز می‌شود (زارع مهرجردی و همکاران، ۱۳۹۱).

زارکو تجادا و همکاران (۲۰۰۰)، کلروفیل برگ را یکی از مهم‌ترین شاخص‌های نشان دهنده فشارهای محیطی وارد بر گیاه دانستند و معتقدند مقدار کلروفیل در گیاهان تحت تنش کاهش می‌یابد و باعث کاهش کل جذب نور توسط گیاه می شود. تنش خشکی، رشد رویشی و عملکرد دانه را از طریق افت سطح برگ و فتوسنتز کاهش می‌دهد که میزان این کاهش به شدت تنش و مرحله ای از نمو بستگی دارد که در آن تنش رخ می‌دهد (لطفی و همکاران، ۱۳۹۵).

۲-۳ تأثیر بیوچار بر خاک

سطح ویژه بالا و تخلخل بیوچار باعث جذب یا حفظ مواد مغذی و آب و همچنین ایجاد یک زیستگاه برای میکروارگانیسم‌های مفید در خاک می‌شود (لهمن و راندون، ۲۰۰۶). بررسی‌ها نشان داده بیوچار قادر به اصلاح خاک و بهبود رشد گیاه آفتابگردان می‌شود و می‌توان از آن برای بهبود خصوصیات خاک استفاده کرد (جلالی‌پور و همکاران، ۱۳۹۲). خاکستر بیوچار شامل مواد معدنی (کلسیم، منگنز و کربنات معدنی) و عناصر موجود در ترکیبات آلی (کربن، هیدروژن، نیتروژن و فسفر) است (لهمن و ژوزف ، ۲۰۰۹). بیوچار به عنوان جذب کننده خاک رابطه نزدیکی را با ترکیبات آلی نشان می‌دهد و نیز

نشان داده که آبشویی نیتروژن و فسفر را در خاک‌هایی با هوازدگی بالا کاهش می‌دهد (گرنت و همکاران، ۲۰۰۵). با قرار دادن بیوچار تازه در معرض اکسیژن و آب، عمل اکسیداسیون در محیط خاک رخ می‌دهد، درنتیجه میزان بار منفی خالص افزایش می‌یابد و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا می‌رود (چنگ و همکاران، ۲۰۰۸ و لهمن و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین استفاده از بیوچار باعث افزایش عناصرغذایی کم مصرف و پرمصرف (فسفر و پتاسیم) مورد نیاز برای رشد گیاه در خاک می‌شود (سوهی و همکاران، ۲۰۱۰). استفاده از بیوچار در خاک‌هایی که به علت تراکم و خشکی محدودیت رشد ریشه در آن‌ها وجود دارد، می‌تواند سبب افزایش توسعه ریشه در خاک شود (چان و همکاران، ۲۰۰۷).

۲-۴ تأثیر بیوچار بر خصوصیات رشدی گیاهان

بیوچار با تأثیر بر خواص خاک، تغییر PH و CEC ، حفظ مواد مغذی و رطوبت خاک و همچنین تأثیر روی موجودات زنده خاک، ریشه و جذب عناصر غذایی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد درنتیجه باعث بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و بیولوژیکی خاک می‌گردد (لهمن و همکاران، ۲۰۰۱). در تحقیقی اثر سه نوع بیوچار برنج، ذرت و گندم بر ترکیبات شیمیایی یونجه در یک خاک آهکی، مشاهده شد که با کاربرد بیوچار بخصوص بیوچار برنج، تجمع و جذب عناصری از جمله سدیم که از تنظیم‌کننده‌های اسمزی در گیاهان است، در اندام‌های هوایی این گیاه افزایش پیدا کرد (منصوری‌پور و همکاران، ۱۳۹۱). یکی از ویژگی‌های مهم اضافه کردن بیوچار، افزایش کارایی استفاده از فسفر و نیتروژن در گیاهان است و در نهایت عملکرد بسیاری از گیاهان را افزایش می‌دهد (بلک ول و همکاران، ۲۰۰۹). کاربرد بیوچار به طور کلی باعث بهبود رشد زیست‌توده شده و بیشترین میزان ارتفاع، وزن خشک ساقه و ریشه گیاه در سطح ۱۵ گرم بر کیلوگرم بیوچار مشاهده شد (جلالی‌پور و همکاران، ۱۳۹۲). کاربرد بیوچار سبوس برنج و بیوچار برگ سنجد باعث افزایش ۶۰ و ۳۰ درصدی وزن خشک گیاه ذرت شد، که بیوچار سبوس برنج اثر مطلوب‌تری بر وزن خشک اندام هوایی یا به عبارتی بر رشدگیاه داشت (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۵).

۲-۵ تأثیر سوپرجاذب بر حفظ و نگهداری آب در خاک

کاربرد برخی مواد، نظیر پلیمرهای سوپرجاذب در خاک، باعث افزایش ماندگاری آب در خاک و در نتیجه کاهش مصرف آب و آبشویی کودها می‌گردد (فاضلی‌رستم‌پور و همکاران، ۱۳۹۰). پلیمرهای سوپرجاذب باعث افزایش ماندگاری آب در خاک گشته و تعداد آبیاری را تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهند (نظرلی و همکاران، ۱۳۸۹). در تحقیق دیگری تأثیر مصرف پلیمرهای سوپرجاذب در افزایش آب در دسترس گیاه بررسی شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که با مصرف سوپرجاذب، ۱۰/۶۸ درصد آب بیشتر نسبت به شاهد در خاک باقی ماند (وو و همکاران، ۲۰۰۸). افزودن ماده سوپرجاذب به سه نوع بافت خاک سبک متوسط و نیمه سنگین، موجب افزایش جذب رطوبت توسط خاک، نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین استفاده از سوپرجاذب استوکوزب در خاکی با بافت نیمه سنگین عملکرد بالاتری در جذب و نگهداشت رطوبت در مقایسه با خاک‌هایی با بافت های سبک و متوسط داشته است (قدیری و همکاران، ۱۳۹۲).

۲-۶ تأثیر سوپرجاذب بر کشت گیاهان

سوپرجاذب می‌توانند اثرات تنش کم‌آبی بر گیاه را کاهش داده و منجر به افزایش عملکرد در مناطق خشک و نیمه خشک گردد. سوپرجاذب از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، در مرحله پر شدن دانه، توانسته محتوی نسبی آب گیاه و در نتیجه پتانسیل آب سلول‌ها و قدرت مخزن را افزایش داده و باعث بالا رفتن وزن دانه گردد. مصرف سوپرجاذب باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه گردید (رستم‌پور و همکاران، ۱۳۹۰). جوانه‌زنی دانه نخود با مصرف ۰/۲ درصد سوپرجاذب (هیدروژل) افزایش یافت اما بر جو و گندم تأثیری نداشت (اختر و همکاران، ۲۰۰۴). افزودن هیدروژل به بستر کشت خیار سبز به میزان ۱/۵ درصد وزنی باعث افزایش تعداد میوه در بوته گیاه خیار شد (احرار و همکاران، ۱۳۸۸). عابدی کوپایی و مسفروش (۱۳۸۸)، نشان دادند که با افزودن ۰/۴ درصد

پلیمر سوپرجاذب به یک خاک با بافت شنی در شرایط بدون تنش یا تنش ملایم (۷۵ نیاز آبی گیاه) بهترین عملکرد و کارآیی کاربرد آب، کود و کیفیت محصول خیار گلخانه‌ای را در پی داشت.

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱ زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش

این آزمایش در سال ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود، واقع در شهر بسطام (کیلومتر ۸ جاده شاهرود- آزادشهر) اجرا شد. این شهرستان در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه شمال و طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی، با ۱۳۶۶ متر ارتفاع از سطح دریا قرار دارد. بر اساس تقسیم بندی‌های اقلیمی، منطقه بسطام جزء مناطق سرد و خشک، با میانگین بارندگی سالانه ۱۶۰-۱۵۰ میلی‌متر است. حداکثر و حداقل دمای منطقه نیز به ترتیب ۹/۶- و ۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

۳-۲ ویژگی‌های خاک محل آزمایش

به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قطعه آزمایش، قبل از عملیات کاشت، از نقاطی از کل مزرعه در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری صورت گرفت. سپس نمونه‌ها با هم ادغام گردید و نمونه مرکب بدست آمده به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول (۳-۱) نشان داده شده است.

جدول ۳-۱- ویژگی‌های تجزیه خاک محل آزمایش

بافت خاک	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته (pH)	شن (٪)	رس (٪)	لای (٪)	مواد آلی (٪)	پتاسیم (ppm)	فسفر قابل دسترس (ppm)	نیتروژن (٪)
لومی رسی	۲/۱۰	۷/۶	۲۵	۲۱	۵۴	۰/۲۱	۲۳۵	۱۹	۰/۱۱

۳-۳ مشخصات طرح آزمایشی

آزمایش به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار روی گیاه گلرنگ اجرا گردید. فاکتور اصلی (A) شامل دورآبیاری در سه سطح ۷ ، ۱۰ و ۱۴ روز ، فاکتورهای فرعی (B) شامل بیوچار در سه سطح عدم مصرف (صفر)، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار و سوپرجاذب (C) در دو سطح مصرف و عدم مصرف بود. در مجموع در هر تکرار ۱۸ ترکیب تیماری وجود داشت و تعداد کل کرت‌های آزمایشی ۵۴ کرت بود (جدول ۳-۲). نقشه کشت در شکل (۳-۱) نشان داده شده است.

REP 1	a3						a1						a2					
	b1 c2	b2 c1	b3 c2	b2 c2	b3 c1	b1 c1	b1 c2	b3 c1	b2 c2	b3 c2	b2 c1	b1 c1	b1 c1	b2 c1	b1 c2	b3 c2	b3 c1	b2 c2
REP 2	a1						a2						a3					
	b3 c2	b1 c2	b3 c1	b1 c1	b2 c2	b2 c1	b3 c1	b1 c1	b1 c2	b3 c2	b2 c1	b2 c2	b3 c1	b1 c1	b2 c1	b3 c2	b1 c2	b2 c2
REP 3	a2						a3						a1					
	b2 c2	b2 c1	b3 c2	b1 c1	b3 c1	b1 c2	b3 c2	b2 c1	b1 c1	b2 c2	b1 c2	b3 c1	b2 c2	b3 c1	b1 c2	b2 c1	b3 c2	b1 c1

شکل ۳-۱- نقشه کاشت طرح آزمایشی مورد استفاده

جدول ۳-۲- ترکیبات تیماری مورد آزمایش

دور آبیاری ۷روز × فاقد بیوچار × عدم مصرف سوپرجاذب	$a_1b_1c_1$
دور آبیاری ۷روز × فاقد بیوچار × مصرف سوپرجاذب	$a_1b_1c_2$
دور آبیاری ۷روز × بیوچار ۱۰ تن در هکتار × عدم مصرف سوپرجاذب	$a_1b_2c_1$
دور آبیاری ۷روز × بیوچار ۱۰ تن در هکتار × مصرف سوپرجاذب	$a_1b_2c_2$
دور آبیاری ۷روز × بیوچار ۲۰ تن در هکتار × عدم مصرف سوپرجاذب	$a_1b_3c_1$
دور آبیاری ۷روز × بیوچار ۲۰ تن در هکتار × مصرف سوپرجاذب	$a_1b_3c_2$
دور آبیاری ۱۰روز × فاقد بیوچار × عدم مصرف سوپرجاذب	$a_2b_1c_1$
دور آبیاری ۱۰روز × فاقد بیوچار × مصرف سوپرجاذب	$a_2b_1c_2$
دور آبیاری ۱۰روز × بیوچار ۱۰ تن در هکتار × عدم مصرف سوپرجاذب	$a_2b_2c_1$
دور آبیاری ۱۰روز × بیوچار ۱۰ تن در هکتار × مصرف سوپرجاذب	$a_2b_2c_2$
دور آبیاری ۱۰روز × بیوچار ۲۰ تن در هکتار × عدم مصرف سوپرجاذب	$a_2b_3c_1$
دور آبیاری ۱۰روز × بیوچار ۲۰ تن در هکتار × مصرف سوپرجاذب	$a_2b_3c_2$
دور آبیاری ۱۴روز × فاقد بیوچار × عدم مصرف سوپرجاذب	$a_3b_1c_1$
دور آبیاری ۱۴روز × فاقد بیوچار × مصرف سوپرجاذب	$a_3b_1c_2$
دور آبیاری ۱۴روز × بیوچار ۱۰ تن در هکتار × عدم مصرف سوپرجاذب	$a_3b_2c_1$
دور آبیاری ۱۴روز × بیوچار ۱۰ تن در هکتار × مصرف سوپرجاذب	$a_3b_2c_2$
دور آبیاری ۱۴روز × بیوچار ۲۰ تن در هکتار × عدم مصرف سوپرجاذب	$a_3b_3c_1$
دور آبیاری ۱۴روز × بیوچار ۲۰ تن در هکتار × مصرف سوپرجاذب	$a_3b_3c_2$

۳-۴ عملیات اجرایی

۳-۴-۱ تهیه و آماده‌سازی زمین

آماده‌سازی زمین در اوایل اردیبهشت ماه ۱۳۹۴، در زمینی که در سال گذشته به صورت آیش بود، با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار و دیسک، صورت گرفت. طول هر کرت ۶ متر و شامل ۴ خط کشت با فواصل ۳۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها و فاصله ۲۰ سانتی‌متر بین بوته‌ها بود. فاصله بین بلوک‌ها ۱/۲ متر در نظر گرفته شد، تا رطوبت بین کرت‌ها بر هم تأثیری نداشته باشد. پس از آماده سازی کرت‌ها با توجه به نقشه اجرایی، بیوچار به روش نواری به خاک اضافه گردید.

۳-۴-۲ کاشت

در تاریخ ۱۷ اردیبهشت ماه ۱۳۹۴، با توجه به نقشه تیماری به هر کرت ۶۰۰ گرم سوپرجاذب به خطوط کشت اضافه و با خاک مخلوط شد. کاشت بذر نیز در همان تاریخ، به صورت دستی در عمق ۲ تا ۳ سانتی‌متری انجام شد. برای کاهش سله‌بندی خاک، خاک پوششی روی بذرها با ماسه بادی به نسبت یک به سه مخلوط گردید. بذر گلرنگ مورد استفاده، رقم گلدشت بود (شکل ۳-۲).

شکل ۳-۲- کاشت و اولین آبیاری

۳-۴-۳ داشت

اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت صورت گرفت و بعد از آن تا زمان اعمال تنش هر ۷ روز یک بار آبیاری انجام شد. بعد از استقرار گیاهچه‌ها، به منظور تنک کردن، تعداد بوته در هر محل به یک بوته

کاهش یافت. همچنین به منظور رشد اولیه بهتر بوته‌ها، در یک مرحله در ابتدای کار کود اوره به عنوان استارتر اضافه شد. وجین علف‌های هرز به صورت دستی، چندین بار در طول دوره رشد انجام گردید.

۳-۴-۴ اعمال تیمارها

۳-۴-۴-۱ سطوح مختلف دور آبیاری

تیمار خشکی شامل دور آبیاری، به عنوان عامل اصلی در سه سطح a_1: هر ۷ روز آبیاری (شاهد)، از ابتدای کاشت تا پایان دوره رشدی و a_2: دور آبیاری ۱۰ روز و a_3: دور آبیاری ۱۴ روز، از زمان ۵۰ درصد گلدهی تا پایان دوره رشدی گیاه اعمال گردید.

۳-۴-۴-۲ سطوح مختلف مصرف بیوچار

بیوچار در سه سطح b_1: عدم مصرف بیوچار (شاهد)، b_2: ۱۰ تن در هکتار و b_3: ۲۰ تن در هکتار، به عنوان فاکتور فرعی مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا ضایعات چوب خشک در درون کوره مخصوص تهیه بیوچار حرارت داده شد، پس از خنک شدن کوره درب آن باز و بیوچار آماده شده از کوره خارج گردید. بیوچار قبل از مخلوط شدن با خاک، به قطعات یک سانتی‌متری تبدیل شد تا سطح تماس با خاک افزایش پیدا کند. منبع بیوچار مورد استفاده از ضایعات چوب خشک درختان (سپیدار، بید و گردو) بود.

۳-۴-۴-۳ سطوح مختلف سوپرجاذب

دومین عامل فرعی، سوپرجاذب در دو سطح c_1: عدم مصرف (شاهد) و c_2: مصرف سوپرجاذب بود. با توجه به نقشه تیماری به هر کرت ۶۰۰ گرم سوپرجاذب به خطوط کشت اضافه و با خاک مخلوط شد. سوپرجاذب مصرفی در این پژوهش از نوع آکوازوب فرانسوی تهیه شده از شرکت پارس‌نهال، واقع در مشهد بود.

۳-۴-۵ برداشت

در تاریخ ۱۷ شهریور ۱۳۹۴ (۱۲۴ روز پس از کاشت)، تعداد ۱۰ بوته به طور تصادفی پس از حذف نیم متر از بالا و پایین، از دو ردیف وسطی برداشت شد و در پلاستیک‌های جداگانه قرار گرفت تا از اختلاط هر بوته با بوته دیگر جلوگیری شود. سپس نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری صفات مورد نظر به آزمایشگاه انتقال داده شدند (شکل ۳-۳).

شکل ۳-۳- نمونه‌برداری نهایی (برداشت ۱۰ بوته از هر کرت)

۳-۵ نمونه‌برداری

به منظور اندازه‌گیری میزان کلروفیل‌ها، پایداری غشا و محتوای نسبی آب برگ (RWC)، در طول دوره رشد نمونه‌برداری‌هایی صورت گرفت. همچنین نمونه برداری نهایی در پایان دوره رشد انجام گرفت. از بوته‌های برداشت شده صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن خشک (ساقه، برگ، پوسته و طبق)، وزن هزار دانه، عملکرد و اجزای عملکرد، عملکرد بیولوژیک، درصد عناصر موجود در دانه (فسفر، پتاسیم، سدیم)، درصد پروتئین و روغن دانه، اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار گرفت.

۳-۶ اندازه‌گیری صفات زراعی و مورفولوژیک

۳-۶-۱ ارتفاع و قطر ساقه

ارتفاع و قطر ساقه بوته‌های برداشت شده، به وسیله خط‌کش و کولیس (بر حسب سانتی‌متر)، اندازه‌گیری و سپس میانگین آن‌ها محاسبه گردید.

۳-۶-۲ وزن خشک ساقه، برگ، پوسته و طبق

به منظور اندازه‌گیری وزن خشک ساقه، برگ و طبق، نمونه‌های برداشت (۱۰ بوته از هر کرت) شده پس از انتقال به آزمایشگاه، به چند بخش ساقه، برگ و طبق تفکیک و به طور مجزا در پاکت‌های کاغذی قرار داده شد. سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد درون آون گذاشته تا کامل خشک شوند. سپس توسط ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند (شکل ۳-۴).

شکل ۳-۴- اندازه‌گیری وزن خشک ساقه، برگ و طبق

۳-۶-۳ عملکرد و اجزای عملکرد

برای محاسبه عملکرد و اجزای عملکرد از ۱۰ بوته برداشت شده استفاده گردید. به این صورت که پس از جداسازی طبق‌ها از ساقه، دانه‌ها از طبق‌ها خارج و با استفاده از ترازوی ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند. سپس عملکرد بر حسب کیلوگرم در هکتار، محاسبه گردید (شکل ۳-۵).

شکل ۳-۵- بذور نمونه‌گیری نهایی گلرنگ

۳-۷ اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک

۳-۷-۱ اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید

برای محاسبه غلظت کلروفیل و کاروتنوئید، از روش آرنون (۱۹۶۷) استفاده شد. در این روش به طور تصادفی از چند گیاه در هر کرت، از برگ‌های همسن، دو هفته بعد از تنش و قبل از آبیاری نمونه‌برداری صورت گرفت و بصورت جداگانه در کیسه‌های پلاستیکی قرار و نمونه‌ها در کلمن حاوی یخ به آزمایشگاه انتقال یافت. مقدار ۰/۱ گرم از بافت تر برگ همراه با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ در هاون ساییده شد. محتوای هاون به لوله فالکون انتقال و به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. پس از خروج نمونه‌ها از دستگاه و جداسازی محلول فوقانی فالکون، میزان جذب کلروفیل a، b و کاروتنوئید در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۷ و ۴۷۰ نانومتر، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. به دلیل حساسیت کلروفیل به نور و تجزیه آن در شدت‌های نور بالا، در کل مراحل اندازه‌گیری، نمونه‌ها در نور ضعیف نگهداری شدند. در نهایت مقدار آن‌ها، با استفاده از فرمول زیر برحسب میکروگرم بر گرم وزن تر، محاسبه گردید.

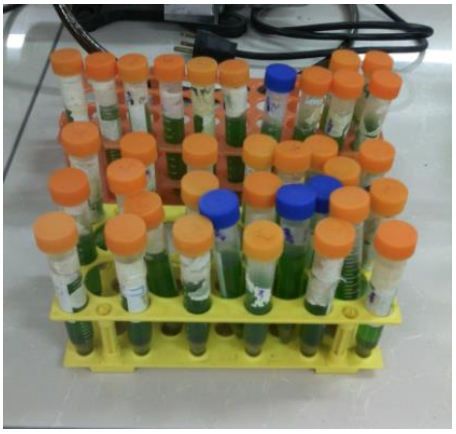
$Chl_a = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{647})\ V/100W$ رابطه (۳-۱)

$Chl_b = (19.3 \times A_{647} - 3.6 \times A_{663})\ V/100W$ رابطه (۳-۲)

$$Chl\ t = Chl\ a + Chl\ b$$ رابطه (۳-۳)

$$C_{x+c} = 100(A_{470}) - 3.27(C_a) - 104(mg\ C_b)/227$$ رابطه (۳-۴)

C_a مقدار کلروفیل a (Chl_a)، C_b مقدار کلروفیل b (Chl_b)، C_{x+c} مقدار کل کاروتنوئید، V حجم محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ، W وزن تر نمونه بر حسب گرم در تک بوته و A میزان جذب نور در طول موج‌های مربوطه می‌باشند (شکل ۳-۶).



شکل ۳-۶- اندازه‌گیری کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئید

۳-۷-۲ پایداری غشاء پلاسمایی

به منظور اندازه‌گیری پایداری غشاء پلاسمایی، در هر کرت به صورت تصادفی، دو هفته بعد از اعمال تنش و قبل از آبیاری، نمونه‌برداری صورت گرفت. نمونه‌های مربوط به هر کرت در پوشش پلاستیکی مجزا قرار گرفت و در داخل یخدان به آزمایشگاه انتقال داده شد. پس از تهیه دو سری دیسک برگی (۰/۱ گرم)، نمونه‌ها درون فالکون قرار و روی آن‌ها ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید. یک سری از لوله‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد (C_2) و سری بعدی در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد (C_1) به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفتند. پس از خنک شدن عصاره‌ها تا دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، EC نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. با استفاده از رابطه زیر میزان پایداری غشاء محاسبه گردید (سایرام و همکاران، ۱۹۹۷) (شکل ۳-۷).

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

در این فرمول C_1 و C_2 به ترتیب مقدار EC در دمای ۴۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

شکل ۳-۷- اندازه‌گیری پایداری غشاء پلاسمایی

۳-۷-۳ اندازه‌گیری پرولین اندام هوایی

به منظور اندازه‌گیری پرولین از روش بیتز و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. ۰/۲ گرم از نمونه برگ تر به همراه ۱۰ سی‌سی اسید ۵-سولفوسالسیلیک ۳ درصد در هاون کوبیده و از کاغذ صافی واتمن شماره ۲ عبور داده شدند. به ۲ سی‌سی از این محلول، ۲ سی‌سی اسیدگلایسال استیک و ۲ سی‌سی اسید نین هیدرین اضافه و به مدت یک ساعت در حمام بن‌ماری در دمای ۱۰۰ درجه قرار داده شدند. ۴ سی‌سی تولوئن به این نمونه اضافه و در نهایت میزان نور جذبی در ۵۲۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. میزان پرولین استخراج شده بر اساس میکرومول بر گرم وزن تر برگ بدست آمد.

۳-۷-۴ اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ [1] (RWC)

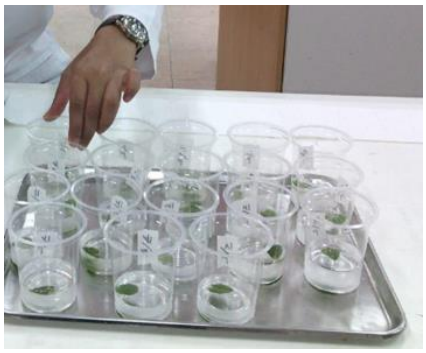
به منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، ۴۵ روز بعد از اعمال تنش و یک روز قبل از آبیاری و در ساعات اولیه صبح، از هر کرت چند بوته به طور تصادفی انتخاب و نمونه‌گیری انجام شد و بلافاصله

[1] Relative water content

در کلمن حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل گردید. بعد از توزین نمونه تازه (وزن تر)، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر در داخل یخچال و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.پس از خروج نمونه‌ها از یخچال، آب اضافی برگ توسط کاغذ صافی گرفته و مجدد توزین (وزن اشباع) شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار و دوباره وزن گردیدند (وزن خشک). میزان آب نسبی برگ با استفاده از رابطه (۳-۶)، اندازه‌گیری شد (شکل ۳-۸).

$$RWC = [(FW-DW)/ (SW-DW) \times 100]$$ رابطه (۳-۶)

در این معادله FW وزن تازه برگ (گرم)، DW وزن خشک برگ (گرم) و SW وزن اشباع برگ (گرم) می‌باشند (ریچی و نگویان، ۱۹۹۰).



شکل ۳-۸- اندازه‌گیری محتوی آب نسبی برگ

۳-۸ اندازه‌گیری صفات کیفی

۳-۸-۱ اندازه‌گیری پروتئین دانه

برای محاسبه میزان پروتئین دانه (هیندز و لو، ۱۹۸۰)، ابتدا میزان نیتروژن موجود در دانه نمونه-های مورد آزمایش، با استفاده از دستگاه کجلدال[۲] نیمه اتوماتیک مدل Vapodest 45S ساخت شرکت Gerhad کشور آلمان اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از فرمول، پروتئین دانه اندازه‌گیری شد. مرحله

[2] Kejeldahl

تیتراسیون به صورت دستی انجام گردید. برای انجام هضم نمونه‌ها، ۰/۵ گرم از نمونه خشک و پودر شده را با ۷ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ (۹۶ درصد) و ۱/۱ گرم قرص کاتالیزور (مخلوطی از ۱۰ گرم سولفات پتاسیم و ۱۰ گرم سولفات مس ۵ آبه و ۲ گرم سلنیم) در لوله‌ها مخلوط و در جایگاهشان در دستگاه هضم قرار گرفتند. درجه دستگاه ابتدا روی ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت تنظیم شد و سپس دما به مدت یک ساعت به ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد و در نهایت دما را به ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد افزایش داده شد. نمونه‌ها بعد از مدت نیم ساعت در این دما به رنگ سبز شفاف در آمدند و عمل هضم نمونه‌ها کامل شد. در سری اول که نمونه‌ها را در دستگاه هضم قرار دادیم احتیاج به نمونه شاهد نیز داشتیم که نمونه شاهد حاوی کل مواد بالا به جز نمونه گیاهی بود. برای انجام عمل تقطیر، نمونه‌ها کاملاً سرد شد. ارلن دستگاه بخش تقطیر حاوی ترکیبی از ۵۰ میلی‌لیتر اسید بوریک ۲ درصد بود که برای هر نمونه ۲۴ سی‌سی مورد استفاده قرار گرفت، با شروع کار دستگاه تقطیر، در درون لوله حاوی نمونه هضم شده با اضافه شدن اسید، رنگ سبز لجنی ظاهر شد که این صحت انجام آزمایش را نشان داد و بعد از اتمام کار دستگاه، رنگ محلول داخل ارلن سبز گردید که هر چه این رنگ تیره‌تر باشد نشان دهنده غلظت نیتروژن بیشتر در نمونه است. برای عمل تیتراسیون، چند قطره معرف متیل رد (حاوی ۶۶ میلی‌گرم متیل رد و ۹۹ میلی‌گرم بروموکروزول گرین در ۱۰۰ سی‌سی اتانول) و اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال به صورت دستی انجام گرفت، که اضافه کردن اسید سولفوریک تا زمانی که رنگ نمونه آلبالویی یا صورتی شود، ادامه داده شد. حجم اسید مصرفی یادداشت و با استفاده از فرمول زیر مقدار کل نیتروژن موجود در نمونه محاسبه گردید.

رابطه (۳-۸)

$$\% \text{ N} = \frac{1.4008 \times 0.1 \times (V_S - V_B)}{M} \times 100$$

در رابطه فوق :

N = غلظت نیتروژن برحسب درصد/ ۰/۱ = نرمالیته اسیدکلریدریک تیترکننده/ VS= مقدار اسید مصرفی برای تیتراسیون نمونه برحسب میلی‌لیتر/ VB= مقداراسید مصرفی برای تیتراسیون شاهد برحسب میلی‌لیتر/ M = وزن نمونه برحسب گرم، می‌باشد.

پس از محاسبه میزان نیتروژن، از طریق ضریب تبدیل پروتئینی در گیاه گلرنگ که ۶/۲۵ می‌باشد، درصد پروتئین به دست آمد (شکل ۳-۹).

رابطه (۳-۹) میزان پروتئین دانه = % N × فاکتور پروتئینی

شکل ۳-۹- اندازه‌گیری پروتئین دانه

۳-۸-۲ اندازه‌گیری روغن دانه

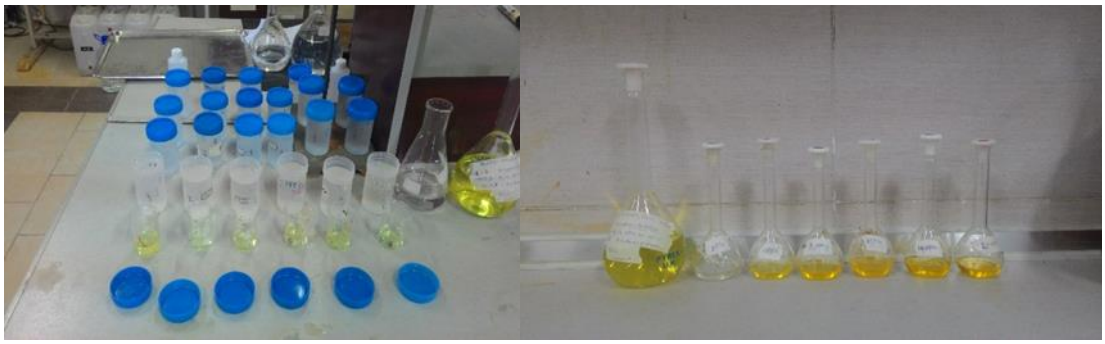
روغن موجود در بذر گلرنگ با استفاده از دستگاه سوکسله تعیین گردید. برای این منظور بذرها از قبل به مدت۷۲ ساعت در دمای ۷۸ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس پودر شدند. مقدار ۳ گرم از هر نمونه در کاغذ صافی پیچیده و داخل اکسترکتور (عصاره‌گیر) دستگاه قرار داده شد. بالون‌ها به مدت ۲ تا ۳ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد داخل آون خشک شدند، سپس به دسیکاتور منتقل و پس از هم دما شدن با محیط توزین شدند و روی صفحه گرم کننده دستگاه قرار گرفتند، داخل بالون‌ها با مقدار مشخص پترولیوم اتر به عنوان حلال آلی پر شد. اکسترکتور روی دهانه بالون قرار گرفت و سپس مبرد بر روی اکسترکتور قرار داده شد. دستگاه با کلید اصلی روشن و دما برای همه نمونه‌ها روی ۶۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. فرآیند استخراج ۸ ساعت به طول انجامید. پس از این مدت، دستگاه خاموش و حلال جمع شده در داخل اکسترکتور از طریق شیر مخصوص خارج گردید. بالون‌ها به زیر

هود منتقل شدند، تا باقی مانده اتر از بین برود. آن‌ها را به مدت ۱/۵ ساعت با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند. بالون‌ها به دسیکاتور منتقل و بعد از سرد شدن محیط توزین گردیدند. برای محاسبه درصد روغن موجود در نمونه‌ها از فرمول زیر استفاده گردید.

۱۰۰× (وزن ثانویه بالون–وزن اولیه بالون) = درصد روغن موجود در نمونه

۳-۸-۳ اندازه‌گیری فسفر بذر

به منظور اندازه‌گیری میزان فسفر، نمونه خشک شده بوسیله آون، آسیاب و ۱ گرم آن جدا و خاکستر خشک تهیه شد (۴ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد). سپس خاکستر حاصل در ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال حل شده و پس از عبور از کاغذ صافی مناسب (واتمن ۴۲) با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. غلظت فسفر در عصاره حاصل به روش آمونیوم مولیبدات وانادات تعیین شد. برای تهیه محلول فسفر ۵۰ نمونه میزان ۰/۳۱ گرم آمونیوم وانادات با ۵/۶۲ گرم آمونیوم مولیبدات مخلوط کرده سپس ۶۲/۵ سی‌سی اسید نیتریک ۶۰ درصد را اضافه و با آب مقطر به حجم ۱ لیتر رسید. سپس، ۵ سی‌سی از عصاره بدست آمده، با ۵ میلی‌لیتر از محلول آمونیوم هپتا مولیبدات وانادات ترکیب و به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسید. سپس نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت شد و عدد قرائت شده با استفاده از منحنی استاندارد فسفر به میلی‌گرم برکیلوگرم تبدیل و در نهایت مقدار فسفر بذر محاسبه شد (چاپمن و پرات، ۱۹۸۲) (شکل ۳-۱۰).



شکل ۳-۱۰- اندازه‌گیری فسفر بذر

۳-۸-۴ اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم بذر

به منظور اندازه‌گیری میزان سدیم و پتاسیم به روش چاپمن و پرات (۱۹۸۲)، نمونه‌های خشک شده گیاهی بوسیله آون، با استفاده از آسیاب پودر گردید. سپس به مقدار ۱ گرم از بافت خشک را در داخل بوته چینی ریخته و در داخل کوره در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت قرار داده شد. سپس به هرکدام از نمونه‌ها ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال اضافه گردید و پس از قرار گرفتن در حمام بن‌ماری به مدت ۲۰ دقیقه و صاف شدن توسط کاغذ صافی، به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شدند. سپس نمونه‌ها با دستگاه فلیم فتومتر (نورسنج شعله) قرائت شده و با استفاده از منحنی استاندارد به غلظت تبدیل شدند (شکل ۳-۱۱).

شکل ۳-۱۱- اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم بذر

۳-۹ محاسبات و تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار MSTATC مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح ۵ درصد انجام شد. بعد از تجزیه و تحلیل داده‌ها، صفات وزن خشک برگ، تعداد طبق در بوته، عملکرد دانه، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، پایداری غشاء پلاسمایی، محتوای نسبی آب برگ، درصد پروتئین دانه، درصد روغن دانه، درصد فسفر و پتاسیم بذر، به دلیل اینکه خطای فرعی از خطای اصلی بزرگتر شده بود، با طرح فاکتوریل تجزیه و تحلیل شد. برای رسم نمودارها و جداول از نرم افزار EXCEL استفاده گردید.

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱ صفات مورفولوژیک

۴-۱-۱ ارتفاع بوته

همانطور که در جدول تجزیه واریانس مشاهده می‌گردد (جدول پیوست ۴-۱)، هیچ یک از فاکتورها و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان ارتفاع بوته معنی‌دار نشد. این در حالی بود که قطع آبیاری در گیاه ماش سبب القای تنش بیشتر و کاهش ارتفاع بوته شد (جعفردخت و همکاران، ۱۳۹۴). نتایج مشابه نیز توسط فرخی‌نیا و همکاران (۱۳۸۸) بر روی گلرنگ بهاره گزارش داده شد. یکی از بارزترین علایم تنش خشکی، کاهش ارتفاع گیاه است که می‌توان به اختلال در فتوسنتز به واسطه تنش خشکی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای ارایه به بخش‌های در حال رشد گیاه و در نهایت دست نیافتن گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع گیاه نسبت داد (کافی و رستمی، ۱۳۸۶).

۴-۱-۲ قطر ساقه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول پیوست ۴-۱)، نشان داد که قطر ساقه تحت تأثیر هیچ یک از فاکتورهای آزمایشی قرار نگرفته است. نتایج مشابه توسط فراست و همکاران (۱۳۸۹)، بر روی گیاه گلرنگ گزارش شد. اثر آبیاری محدود بر برخی صفات مورفولوژیک و عملکرد بیولوژیکی ارقام گلرنگ بهاره نشان داد که تنش باعث کاهش قطر ساقه می‌شود (موسوی‌فر و همکاران، ۱۳۸۹).

۴-۲ وزن خشک اندام‌های هوایی

۴-۲-۱ وزن خشک ساقه

براساس جدول تجزیه واریانس وزن خشک ساقه (جدول پیوست ۴-۲)، اثر دور آبیاری و اثر بیوچار به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، اثر متقابل بیوچار × سوپرجاذب در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد.

با توجه به مقایسه میانگین اثر دور آبیاری بر وزن خشک ساقه بالاترین میزان وزن خشک ساقه، در دور آبیاری ۷ روز مشاهده شد. دو سطح دور آبیاری ۱۰ و ۱۴ روز با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۱). وزن خشک ساقه در زمان گلدهی و پر شدن دانه، به محتوای رطوبتی گیاه بستگی دارد، در نتیجه تنش خشکی در این زمان‌ها باعث کاهش وزن خشک ساقه می‌گردد (منصوری‌فر و همکاران، ۱۳۹۱). در بررسی که بر روی سه رقم نخود صورت گرفت نشان داده شد که تنش باعث کاهش وزن خشک ساقه در این ارقام گردید (نصر اصفهانی، ۱۳۹۲).

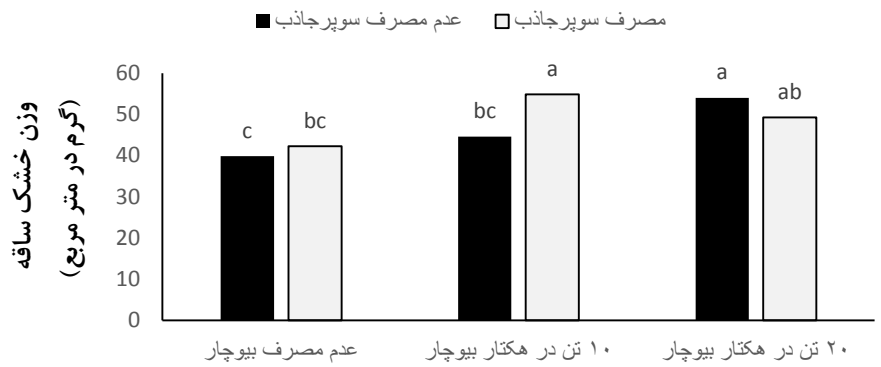
بنا بر گزارش اگلی و همکاران (۱۹۸۳)، تنش رطوبتی در طول فصل رشد باعث کاهش شدید در وزن خشک اندام هوایی سویا در مرحله پر شدن دانه شد. در مطالعه ابل (۱۹۷۶) نیز میزان وزن خشک گلرنگ با افزایش سطح تنش خشکی کاهش یافت و تأثیر تنش خشکی در مرحله زایشی بر بخش زایشی (دانه) بیشتر از بخش رویشی بود که دلالت بر اهمیت فتوسنتز جاری در گلرنگ در تعیین میزان عملکرد دارد. وزن خشک ریشه و کل ساقه به تدریج با کاهش پتانسیل آب خاک (افزایش تنش) در گیاه گلرنگ کاهش پیدا کرد (هاشمی‌دزفولی، ۱۳۷۳).

شکل ۴-۱- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری

مقایسه میانگین داده‌های وزن خشک ساقه نشان داد که، در شرایط مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار و مصرف سوپرجاذب و ۲۰ تن در هکتار در هر دو شرایط عدم مصرف و مصرف سوپرجاذب

اختلاف آماری مشاهده نشد. این در حالی بود که ترکیب تیماری ۲۰ تن در هکتار بیوچار و مصرف سوپرجاذب با تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوچار و عدم مصرف سوپرجاذب و با شرایط عدم مصرف بیوچار و مصرف سوپرجاذب در یک گروه آماری قرار گرفتند که در همین گروه آماری، تیمار ۲۰ تن در هکتار و مصرف سوپرجاذب با میانگین ۴۹/۳۰ (گرم در متر مربع) نسبت به عدم مصرف بیوچار و مصرف سوپرجاذب با میانگین ۴۲/۲۷ (گرم در متر مربع)، به میزان ۱۶/۶۳ درصد افزایش داشت. همچنین ترکیب تیماری عدم مصرف بیوچار × عدم مصرف سوپرجاذب با ترکیبات تیماری عدم مصرف بیوچار × مصرف سوپرجاذب و مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار × عدم مصرف سوپرجاذب، اختلاف آماری را نشان ندادند. (شکل ۴-۲).

نتایج تأثیر کاربرد بیوچار بر برخی خصوصیات کمی گیاه آفتابگردان که توسط جلالی‌پور و همکاران (۱۳۹۲) انجام شد نشان داد که کاربرد بیوچار به طور کلی باعث بهبود رشد زیست‌توده شده و بیشترین وزن خشک ساقه و ریشه گیاه بادام‌زمینی، در سطح ۱۵ گرم بر کیلوگرم بیوچار مشاهده شد. وزن تر و خشک ساقه و ریشه تحت تأثیر تیمار بیوچار افزایش یافت (آگگنهو و همکاران، ۲۰۱۵). وزن خشک اندام‌های هوایی در گیاه ذرت تحت تأثیر کاربرد بیوچار افزایش یافت (کرنلیسن و همکاران، ۲۰۱۳ و گاسکین و همکاران، ۲۰۱۰). تحت شرایط تنش، بیوچار (لهمن و راندون، ۲۰۰۶) و سوپرجاذب (باسو و همکاران، ۲۰۰۸ و گرایندلر و همکاران، ۲۰۰۸)، از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، کاهش شستشوی مواد غذایی، افزایش تخلخل در خاک باعث جذب یا حفظ مواد مغذی، آب و همچنین ایجاد یک زیستگاه برای میکروارگانیسم‌های مفید در خاک می‌شوند.



سطوح مختلف بیوچار و سوپرجاذب

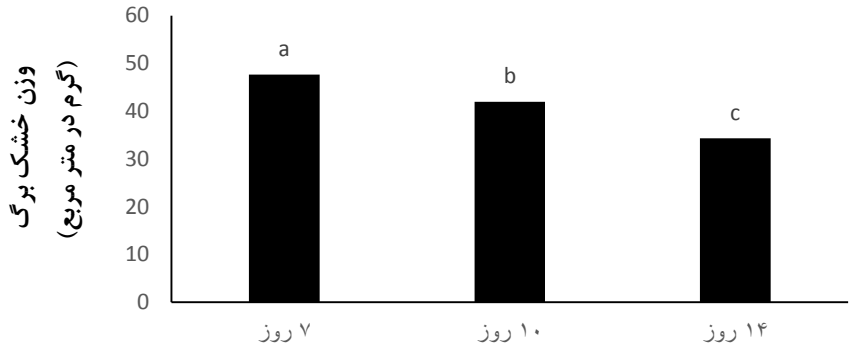
شکل ۴-۲- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف بیوچار و سوپرجاذب بر روی وزن خشک ساقه

۴-۲-۲ وزن خشک برگ

نتایج جدول تجزیه واریانس وزن خشک برگ (۴-۵)، نشان داد که اثر دور آبیاری و اثر بیوچار در سطح احتمال ۱ درصد، و اثر متقابل بیوچار × سوپرجاذب در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد که دور آبیاری ۷ روز با میانگین ۶۳/ ۴۷ (گرم در متر مربع) بالاترین وزن خشک برگ نسبت به دور آبیاری ۱۴ روز با میانگین ۳۴/۳۰ (گرم در متر مربع)، به میزان ۳۸/۸۵ درصد افزایش داشت. همچنین شرایط دور آبیاری ۱۰ روز در سطح دوم قرار دارد (شکل ۴-۳). کاهش ماده خشک با قطع آبیاری در بسیاری از آزمایش‌ها از جمله توسط ابوالهاشم و همکاران (۱۹۹۸) روی کلزا، کافی و رستمی (۱۳۸۶) روی گلرنگ، گزارش شده است.

کاهش وزن خشک گیاه در اثر تنش خشکی عمدتاً ناشی از کاهش تشعشع جذب شده توسط سایه‌انداز گیاه و یا کاهش بازده استفاده از تابش و یا ترکیبی از این دو می باشد. افزایش یا کاهش این دو عامل، تأثیر مستقیمی بر میزان رشد و عملکرد نهایی دارد. کاهش بازده استفاده از تابش عمدتاً با کاهش ظرفیت فتوسنتزی برگ همراه است و کاهش فتوسنتز برگ و همچنین کاهش انتقال مواد پرورده به بخش‌های مختلف اجزای گیاه سبب کاهش ماده خشک هر بوته می‌گردد (تس فی و

همکاران، ۲۰۰۶). تنش خشکی در مرحله رشد رویشی از طریق کاهش شاخص سطح برگ باعث کاهش تولید ماده خشک گیاه می‌شود (رستمی و همکاران، ۱۳۸۲).



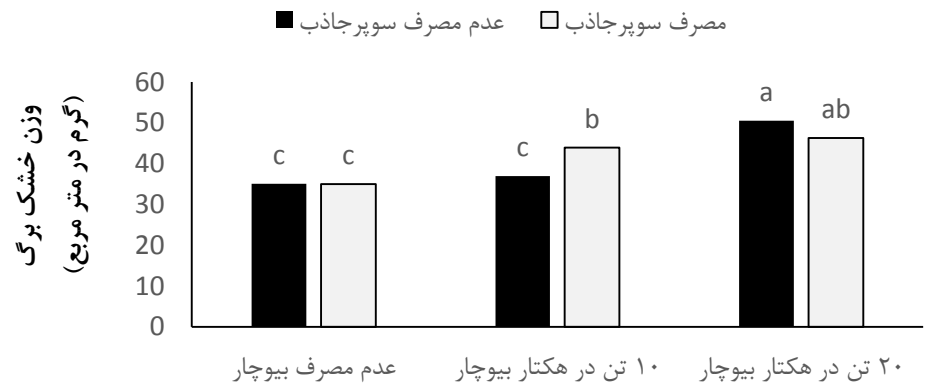
شکل ۴-۳- مقایسه میانگین وزن خشک برگ تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری

در مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف بیوچار و سوپرجاذب مشاهده شد که بین دو تیمار مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوچار، در شرایط مصرف و عدم مصرف سوپرجاذب، تیمار ۲۰ تن در هکتار بیوچار و عدم مصرف سوپرجاذب بالاترین وزن خشک ساقه را به خود اختصاص داد. همچنین مصرف۱۰ تن درهکتار بیوچار × مصرف سوپرجاذب با ترکیب تیماری ۲۰ تن در هکتار بیوچار × مصرف بیوچار در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین وزن خشک برگ در شرایط عدم مصرف بیوچار و هر دو سطح عدم و مصرف سوپرجاذب و همچنین مصرف ۱۰ تن در هکتار و عدم مصرف سوپرجاذب مشاهده شد. (شکل ۴-۴).

پلیمر سوپرجاذب موجب افزایش وزن تر و خشک ارزن علوفه‌ای گردید. کاربرد هیدروژل سوپرجاذب باعث بهبود رشد گیاهان تحت شرایط تنش، از طریق افزایش ظرفیت نگه‌داری آب در خاک، کاهش شستشوی مواد غذایی، رشد سریع و مطلوب ریشه‌ها و هوادهی بهتر خاک می‌شود (کشاورز و همکاران، ۱۳۹۲). گزارش شده است با افزایش مصرف سوپرجاذب، عملکرد علوفه تر و خشک افزایش یافت (سعید و ال نادی، ۱۳۷۷). کریمی و نادری (۱۳۸۶)، نیز گزارش کردند که با

افزایش کاربرد سوپرجاذب، عملکرد ماده خشک در گیاه ذرت افزایش می‌یابد. جانسون و وودهاوس (۱۹۹۰) اعلام کردند که با کاربرد پلیمر سوپرجاذب، وزن خشک گندم افزایش یافت. مصرف بیوچار با افزایش رشد گیاه و قرار دادن آب کافی برای گیاه باعث افزایش سطح برگ و تعداد برگ در گیاه ذرت شد که در نهایت وزن خشک برگ را افزایش داد (ماجور و همکاران، ۲۰۱۰).

بیوچار با افزایش تثبیت بیولوژیکی نیتروژن باعث رشد بهتر گیاه شبدر و بالا بردن وزن خشک اندام‌های هوایی شد (میا و همکاران، ۲۰۱۴). وزن خشک اندام‌های هوایی گندم دوروم (وکری و همکاران، ۲۰۱۱) و شبدر (کولیام و همکاران، ۲۰۱۳) با کاربرد بیوچار افزایش یافت.



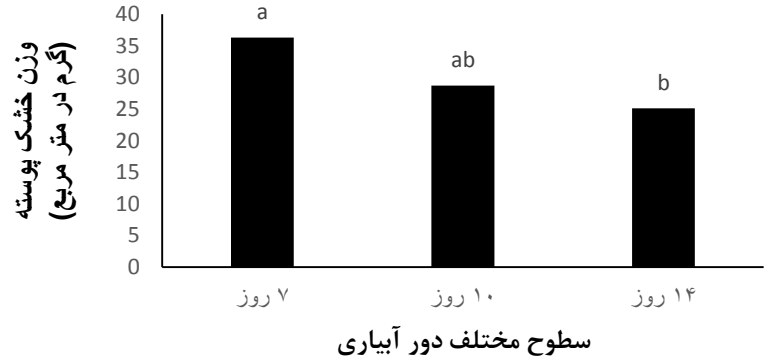
شکل ۴-۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف بیوچار و سوپرجاذب بر روی وزن خشک برگ

۴-۲-۳ وزن خشک پوسته

طبق نتایج تجزیه واریانس وزن خشک پوسته (جدول پیوست ۴-۲)، اثر دور آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد، اثر بیوچار و اثر سوپرجاذب در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل بیوچار × سوپرجاذب در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شدند. در مقایسه میانگین اثر دور آبیاری بر وزن خشک پوسته مشاهده شد که، اثر دور آبیاری در ۷ روز، نسبت به دور آبیاری ۱۴ روز در بالاترین

سطح قرار گرفت. همچنین دور آبیاری ۱۰ روز اختلاف معنی‌داری با دور آبیاری ۷ روز و ۱۴ روز نداشت (شکل ۴-۵).

کاهش تجمع ماده خشک یکی از اولین عامل‌ها در گیاه است که با قطع آبیاری دچار اُفت می‌شود. بهدانی و جامی‌الاحمدی (۱۳۸۸) با بررسی اثر تنش کم‌آبیاری بر وزن خشک اندام هوایی سه ژنوتیپ گلرنگ گزارش نمودند که با افزایش مدت زمان آبیاری از وزن خشک کل هر سه ژنوتیپ کاسته شد. تیمارهای تنش دیده بطور کلی ماده خشک کم‌تری نسبت به شاهد تولید می‌کنند (منصوری‌فر و همکاران، ۱۳۹۱). کاهش وزن خشک گیاه در اثر تنش خشکی عمدتاً ناشی از کاهش تشعشع جذب شده توسط سایه‌انداز گیاه و یا کاهش بازده استفاده از تابش و یا ترکیبی از این دو می باشد. افزایش یا کاهش این دو عامل تأثیر مستقیمی بر میزان رشد و عملکرد نهایی و کاهش ماده خشک پوسته و غلاف در هر بوته می‌گردد (تس فی و همکاران، ۲۰۰۶، کوکس و جولیوف، ۱۹۸۶).

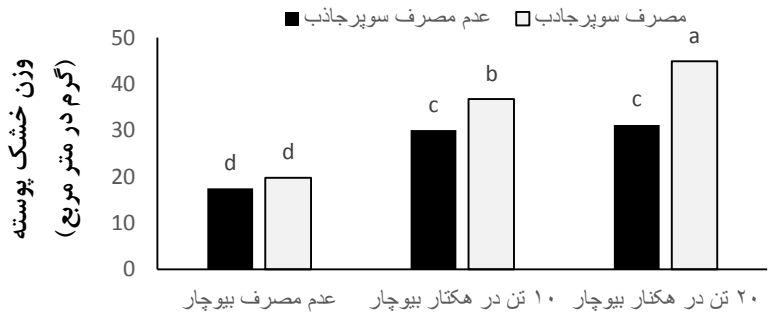


شکل ۴-۵- مقایسه میانگین وزن خشک پوسته تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در شرایط مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوچار و مصرف سوپرجاذب، بالاترین وزن خشک پوسته مشاهده شد. شرایط مصرف ۱۰ تن در هکتار و مصرف سوپرجاذب نیز در مرحله دوم قرار گرفت. ترکیبات تیماری ۲۰ تن در هکتار بیوچار × عدم مصرف سوپرجاذب و ۱۰ تن در هکتار × عدم مصرف بیوچار در یک گروه آماری قرار گرفتند. کم‌ترین وزن

خشک پوسته در شرایط عدم مصرف بیوچار، در هر دو سطح مصرف و عدم مصرف سوپرجاذب مشاهده شد. اثرات متقابل تنش × بیوچار، تنش × سوپرجاذب معنی‌دار نشد (شکل ۴-۶).

پوراسماعیلی و همکارانش (۱۳۸۴) گزارش نمودند که در لوبیا قرمز کاربرد پلیمر سوپرجاذب از طریق جذب و نگه‌داری آب بسیاری از تلفات ناشی از کم‌آبی را کاهش و باعث ارتقای صفات زراعی مختلف شد. فرجام و همکاران (۱۳۸۳) گزارش کردند که با کاربرد مقادیر ۹ و ۱۸ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب در نخود دیم، بالاترین تعداد غلاف در بوته، و متقابلاً وزن خشک غلاف بدست آمد. هیدروژل‌های سوپرجاذب پلیمرهای به شدت آبدوستی هستند که ضمن برخورداری از سرعت و ظرفیت زیاد جذب آب، موقع نیاز ریشه، به راحتی آب و مواد غذایی محلول را در اختیار ریشه گیاه قرار می‌دهند. همچنین، این پلیمرها ضمن بالا بردن ظرفیت نگه‌داری آب در خاک‌های سبک، می-توانند مشکل نفوذپذیری خاک‌های سنگین و شسته شدن کودها را نیز مرتفع سازند و باعث رشد بهتر گیاهان شود (جانسون و ودهوس، ۱۹۹۰). وزن خشک اندام‌های هوایی در گیاه ذرت تحت تأثیر مصرف بیوچار تراشه چوب کاج (گاسکین و همکاران، ۲۰۱۰) و کود گاوی و بیوچار (سوکارتنو و همکاران، ۲۰۱۱) افزایش یافت.



شکل ۴-۶- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف بیوچار و سوپرجاذب بر روی وزن خشک پوسته

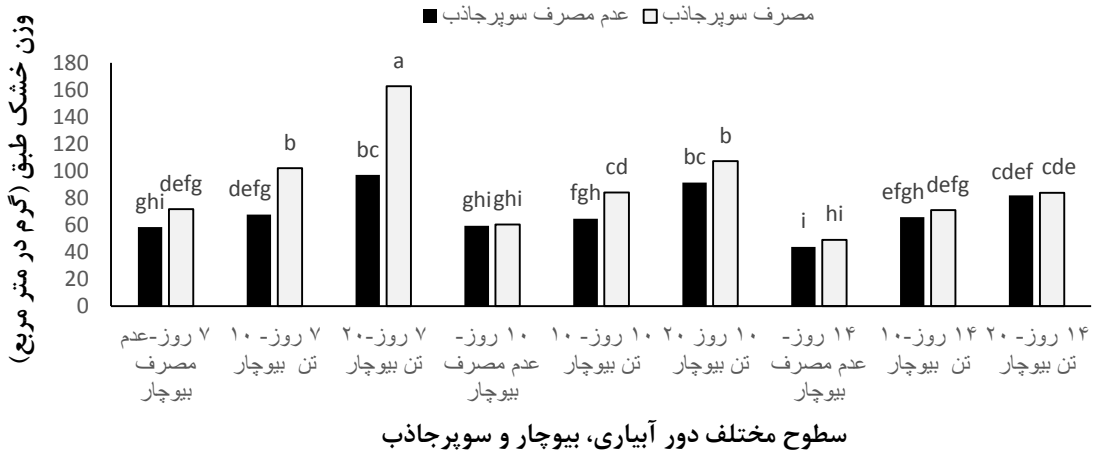
۴-۲-۴ وزن خشک طبق

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس وزن خشک طبق (جدول پیوست ۴-۲)، اثر دور آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد، اثر بیوچار و سوپرجاذب در سطح احتمال ۱ درصد، همچنین اثر متقابل دور آبیاری × بیوچار، دور آبیاری × سوپرجاذب در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل بیوچار × سوپرجاذب، اثر متقابل دور آبیاری × بیوچار × سوپرجاذب در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردیدند. مقایسات میانگین وزن خشک طبق (شکل ۴-۷)، نشان داد که ترکیب تیماری دور آبیاری ۷ روز × مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوچار × مصرف سوپرجاذب، بیشترین وزن خشک طبق را داشته است. همچنین ترکیبات تیماری دور آبیاری ۷ روز × مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار × مصرف سوپرجاذب، دور آبیاری ۱۰ روز × مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوچار × مصرف سوپرجاذب، دور آبیاری ۷ روز × مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوچار × عدم مصرف سوپرجاذب و دور آبیاری ۱۰ روز × مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوچار × عدم مصرف سوپرجاذب در یک گروه آماری قرار گرفتند. (شکل ۴-۷).

بهدانی و موسوی‌فر (۱۳۹۰)، با بررسی اثر کم‌آبیاری بر وزن خشک طبق و اندام‌های هوایی در سه ژنوتیپ گلرنگ گزارش نمودند که با افزایش مدت زمان آبیاری از وزن خشک اندام‌های هوایی هر سه ژنوتیپ کاسته شد. گیاه سویا تحت تأثیر تنش خشکی ماده خشک کم‌تری نسبت به شرایط شاهد تولید کرد (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۵). در بررسی ناپایداری غشاء سلولی گلرنگ تحت تنش آبی، مصرف زئولیت و سالیسیلیک اسید، مشاهده شد که عملکرد بیولوژیک طبق اصلی، تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت (سیبی، ۱۳۹۱). امیدی (۱۳۸۸)، طی بررسی اثر تنش آبی بر ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیکی سه رقم گلرنگ بهاره در کرج اظهار داشت که تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک طبق و در نتیجه کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک می‌شود.

توحیدی مقدم (۱۳۸۹) تأثیر پلیمر سوپرجاذب را بر روی رشد و عملکرد کلزا در شرایط تنش آبی مورد بررسی قرار داد و گزارش کرد تنش آبی، بیوماس کل را کاهش داد که در نتیجه مصرف

سوپرجاذب شرایط رشدی گیاه در تنش بهبود چشم‌گیری یافت. به نظر می‌رسد که موادی مانند سوپرجاذب و بیوچار، با افزایش ذخیره آب در خاک و قرار دادن آب و و مواد غذایی بیشتر و مناسب‌تر در اختیار گیاه می‌توانند، میزان ساخت رنگیزه‌ها را افزایش داده و انتقال مواد فتوسنتزی را در گیاه راحت‌تر کنند و موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه در شرایط تنش آبی و آبیاری مطلوب (بدون تنش) شوند.



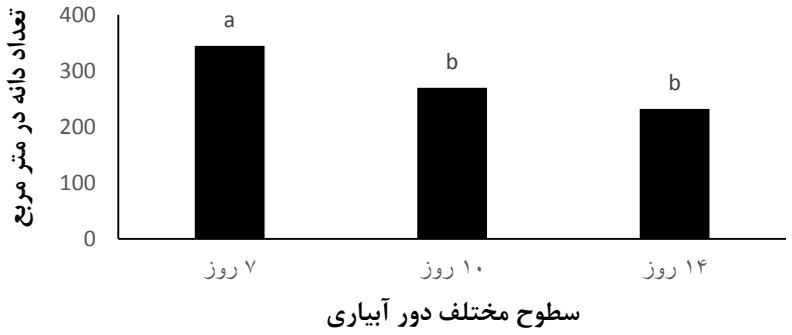
شکل ۴-۷- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف دور آبیاری، بیوچار و سوپرجاذب بر روی وزن خشک طبق

۴-۳ عملکرد و اجزای عملکرد

۴-۳-۱ تعداد دانه در متر مربع

طبق نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس تعداد دانه (جدول پیوست ۴-۳)، اثر دور آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید. با توجه به مقایسات میانگین داده‌ها، دور آبیاری ۷ روز بیشترین تأثیر را در میانگین تعداد دانه داشته است ولی دور آبیاری ۱۰ و ۱۴ روز تفاوتی باهم نداشتند و در سطح پایین‌تری قرار گرفتند (شکل ۴-۸). اثرات اصلی بیوچار و سوپرجاذب، همچنین کلیه اثرات متقابل معنی‌دار نشدند (جدول پیوست ۴-۳). کاهش تعداد دانه در طبق بر اثر تنش خشکی در

بررسی‌های ابل (۱۹۷۶) و حیدری و آساد (۱۳۷۷) گزارش شده است. آن‌ها نتیجه گرفتند که با عدم تأمین آب مورد نیاز در مراحل مختلف رشد و بروز تنش خشکی در گلرنگ تعداد دانه در متر مربع کاهش می‌یابد. به طور کلی، تعداد شاخه فرعی در بوته و تعداد طبق در بوته (اعداد دانه در بوته) در نتیجه ترکیب ساختار ژنتیکی و شرایط محیطی است که نقش برجسته‌ای در عملکرد نهایی دانه بازی می‌کند. اعمال قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی می‌تواند مانع رشد جوانه‌های جانبی شده و تعداد شاخه فرعی را کاهش دهد، در نتیجه سبب کاهش تعداد طبق در بوته و درنتیجه تعداد دانه در بوته شود (هایاشی و هانادا، ۱۹۸۵). با اعمال تنش خشکی در گیاه جو تعداد دانه در سنبله و در نتیجه عملکرد نهایی کاهش یافت (امیدی تبریزی و همکاران، ۱۳۷۹).



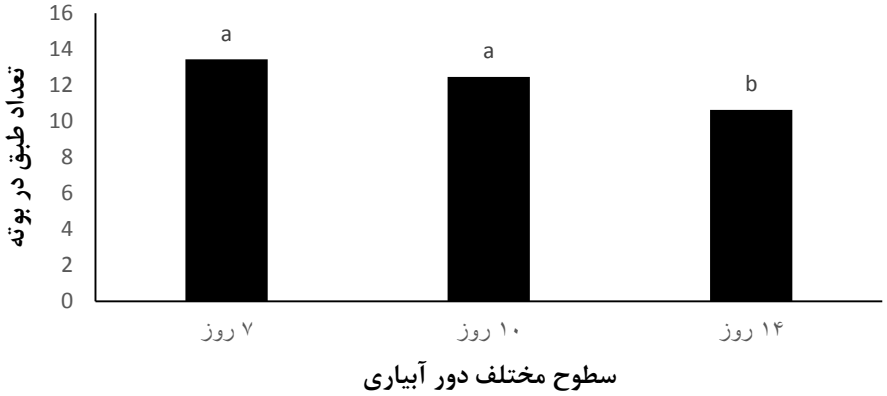
شکل ۴-۸- مقایسه میانگین تعداد دانه تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری

۴-۳-۲ تعداد طبق در بوته

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس تعداد طبق در بوته (جدول پیوست ۴-۵)، اثر دور آبیاری، اثر بیوچار و اثر سوپرجاذب هر سه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شدند. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که دور آبیاری ۷ و ۱۰ روز نسبت به دور آبیاری ۱۴ روز در سطح بالاتری قرار گرفتند (شکل ۴-۹). تعداد طبق در بوته بیشتر تحت تأثیر عوامل محیطی، تاریخ کاشت، تراکم و ژنوتیپ قرار دارد (نبوی کلات و همکاران، ۱۳۸۴). تنش در مرحله گلدهی در گلرنگ موجب کاهش معنی‌دار تعداد

طبق در بوته می‌شود (فرخی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۸). کاهش عملکرد دانه در گیاه گلرنگ ناشی از تعداد کمتر طبق در گیاه است که خود ناشی از کاهش تعداد ساقه در گیاه است (هایاش و هانادا، ۱۹۸۵). هاشمی دزفولی (۱۳۷۳) در بررسی اثر تنش خشکی بر گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱ نشان داد که مقدار سطح برگ، ارتفاع گیاه، تعداد ساقه و تعداد طبق در بوته با افزایش تنش آب کاهش می‌یابد. اعمال تنش کم‌آبی در مرحله رویشی در گیاه گلرنگ باعث کاهش در اکثر صفات مربوط با عملکرد و اجزای عملکرد بخصوص تعداد طبق‌های بارور شد (محسن‌نیا و جلیلیان، ۱۳۹۱).

محققان دیگر نیز نتایج مشابهی گزارش کرده‌اند، به طوری که در آزمایشی مشخص شد که با افزایش شدت تنش خشکی در گلرنگ، از تعداد طبق در بوته کاسته شد (حقیقت‌نیا، ۱۳۹۰). به نظر می‌رسد محدودیت رطوبتی، موجب کاهش انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه کاهش رشد اندام‌های زایشی گیاهان می‌شود. تأمین رطوبت در مراحل رشد زایشی، باعث فرآهمی مواد فتوسنتزی بیشتر می‌شود درنتیجه اندام‌های زایشی بیشتری تولید می‌گردد (مالهوترا و همکاران، ۱۹۹۷). در تحقیق امیدی و همکاران (۱۳۹۳)، تنش خشکی باعث کاهش تعداد طبق در بوته شد.



شکل ۴-۹- مقایسه میانگین تعداد طبق تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری

مقایسه میانگین داده‌های سطوح مختلف بیوچار نشان داد، که مصرف ۲۰ تن در هکتار با میانگین ۱۶/۳۶ (طبق در بوته) نسبت به شرایط عدم مصرف با میانگین ۹/۵۴ (طبق در بوته) به

میزان ۷۱/۴۸ درصد افزایش داشت (شکل ۴-۱۰). با مصرف بیوچار تعداد بلال در گیاه ذرت افزایش یافت (کرنلیسن و همکاران، ۲۰۱۳ و گاسکین و همکاران، ۲۰۱۰). احتمالاً بیوچار با جذب بهتر آب و قرار دادن آب کافی در اختیار گیاه باعث افزایش سطح برگ و تعداد ساقه در گیاه شده، در نتیجه تعداد طبق در بوته افزایش یافته. مصرف بیوچار با افزایش تعداد خوشه در گندم دوروم و افزایش ترسیب کربن باعث افزایش عملکرد در این گیاه شد (وکری و همکاران، ۲۰۱۱). تعداد غلاف در بوته در گیاه نخود با کاربرد بیوچار افزایش یافت (اورام و همکاران، ۲۰۱۴).

شکل ۴-۱۰- مقایسه میانگین تعداد طبق تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار

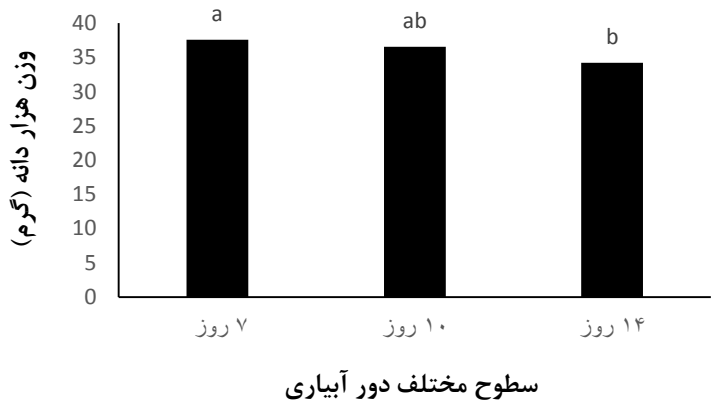
همچنین در مقایسه میانگین تعداد طبق در بوته، مشاهده شد که با مصرف سوپرجاذب با میانگین ۱۲/۹۳ (طبق در بوته) نسبت به شرایط عدم مصرف با میانگین ۱۱/۴۲ (طبق در بوته) به میزان ۱۳/۲۰ درصد افزایش حاصل شد (شکل ۴-۱۱). ضمناً اثرات متقابل معنی‌دار نشد. به نظر می‌رسد سوپرجاذب از طریق تأمین آب و به دنبال آن برخی عناصر غذایی در مراحل بحرانی گیاه، باعث کاهش سقط جنین، افزایش تعداد اندام نگهداری دانه در گیاهان (طبق، بلال و..) و در نتیجه افزایش دانه‌های بارور شده است. سوپرجاذب باعث افزایش تعداد دانه، در نتیجه افزایش تعداد بلال ذرت شد، اما تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت (فاضلی‌رستم‌پور و همکاران، ۱۳۹۰).

شکل ۴-۱۱- مقایسه میانگین تعداد طبق تحت تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب

۴-۳-۳ وزن هزار دانه

بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول پیوست ۴-۳)، اثر دور آبیاری بر وزن هزار دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که اثر دور آبیاری ۷ روز نسبت به دور آبیاری ۱۴ روز اختلاف معنی‌داری بر وزن هزار دانه داشت (شکل ۴-۱۲). اثرات بیوچار و سوپرجاذب و کلیه اثرات متقابل معنی‌دار نشدند (جدول پیوست ۴-۳). تنش موجب کاهش انتقال مواد فتوسنتزی و کوتاه شدن دوره‌ی پرشدن دانه و در نتیجه عدم فرآهمی مواد فتوسنتزی برای اختصاص به دانه‌ها می‌شود و وزن صد دانه کاهش می‌یابد (مالهوترا و همکاران، ۱۹۹۷).

تنش خشکی باعث کاهش وزن هزار دانه در گیاه ماش شد (جعفردخت و همکاران، ۱۳۹۴). در اثر تنش، سطح برگ کاهش یافته و تعداد دانه و وزن خشک دانه در گیاه به طور قابل توجهی با کمبود آب کاهش می‌یابد (هایاش و هانادا، ۱۹۸۵). به نظر می‌رسد تنش خشکی، باعث شده رطوبت به راحتی در اختیار گیاه قرار نگرفته و با مختل شدن فتوسنتز، انتقال مواد فتوسنتزی کاهش یافته و مواد فتوسنتزی در اختیار دانه‌ها قرار نگرفته، در نتیجه وزن هزار دانه کاهش یافته. کاهش وزن هزاردانه در اثر تنش خشکی در آزمایش‌های دیگران از جمله مظفری و همکاران (۱۳۷۵)، امیدی و همکاران (۱۳۹۳) و ابولهاشم و همکاران (۱۹۹۸) گزارش شده است.



شکل ۴-۱۲- مقایسه میانگین وزن هزار دانه تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری

۴-۳-۴ عملکرد دانه

بر اساس جدول تجزیه واریانس عملکرد دانه (جدول پیوست ۴-۵)، اثر دور آبیاری، اثر بیوچار در سطح احتمال ۱ درصد و اثر سوپرجاذب در سطح احتمال ۵ در صد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل بیوچار × سوپرجاذب در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که دور آبیاری ۱۴ روز با میانگین ۸۲۵/۲ (کیلوگرم در هکتار)، با دور آبیاری ۷ روز با میانگین ۱۲۵۲ (کیلوگرم در هکتار)، به میزان ۳۴/۰۹ درصد کاهش و در پایین‌ترین سطح قرار گرفت. دور آبیاری ۱۰ روز در رتبه دوم قرار گرفت (شکل ۴-۱۳). به نظر می‌رسد، کاهش معنی‌دار تعداد دانه تحت تنش کمبود آب، به دلیل کاهش سطح برگ در مرحله رشد رویشی و در نتیجه کاهش سرعت رشد محصول، تجمع ماده خشک و همچنین افزایش سقط جنین به دلیل کاهش شیره پرورده در مرحله زایشی باشد. اجزای عملکرد در مراحل رشدی خاصی از گیاه شکل می‌گیرد، در نتیجه تأثیر خشکی بر هر یک از این مراحل متفاوت است.

کاهش طول دوره پر شدن دانه‌ها و پیری زودرس برگ‌ها، در گیاه ماش باعث کاهش عملکرد دانه در نتیجه‌ی اعمال تنش خشکی شد (جعفردخت و همکاران، ۱۳۹۴). تنش خشکی از طریق کاهش فتوسنتز و در نتیجه کمبود شیره پرورده موجب کوتاه شدن ارتفاع گیاه و در نهایت کاهش

عملکرد دانه می‌شود (فرخی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۸). عابدی باباعربی و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادن که تنش خشکی در گیاه گلرنگ باعث کاهش عملکرد دانه این گیاه شد. موحدی دهنوی و همکاران (۱۳۸۳)، ابوالحسنی و سعیدی (۱۳۸۵) و نادری درباغ شاهی و همکاران (۱۳۸۳) نیز کاهش عملکرد دانه طی تنش رطوبتی در گلرنگ را گزارش کردند. در سویا نیز عملکرد دانه دچار کاهش قابل توجه ناشی از تنش خشکی گردید (کارگر و همکاران، ۱۳۸۳ ؛ دورنبوس و همکاران، ۱۹۸۹).

کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نسبت به آبیاری مطلوب را می‌توان در نتیجه کاهش فتوسنتز و ماده‌سازی در گیاه نسبت داد، چرا که کاهش فتوسنتز خالص و کاهش مواد غذایی انتقال یافته از برگ به دانه از نتیجه تنش کمبود آب است که باعث پایین آوردن عملکرد دانه می‌شود. کاهش عملکرد دانه در اثر تنش کم‌آبی با یافته‌های ابوالحسنی و سعیدی (۱۳۸۵) مطابقت دارد.

عبد میشانی (۱۳۵۲) و ابل (۱۹۷۶) و سینگ و همکاران (۱۹۹۵)، با بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد دانه گلرنگ نشان دادند که آبیاری در مراحل پایانی رشد تأثیر زیادی بر عملکرد نداشته است، با این حال آزمایش‌های انجام شده توسط اکثر محققین بیانگر آن است که قطع آبیاری در مراحل غنچه‌دهی و گلدهی باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود.

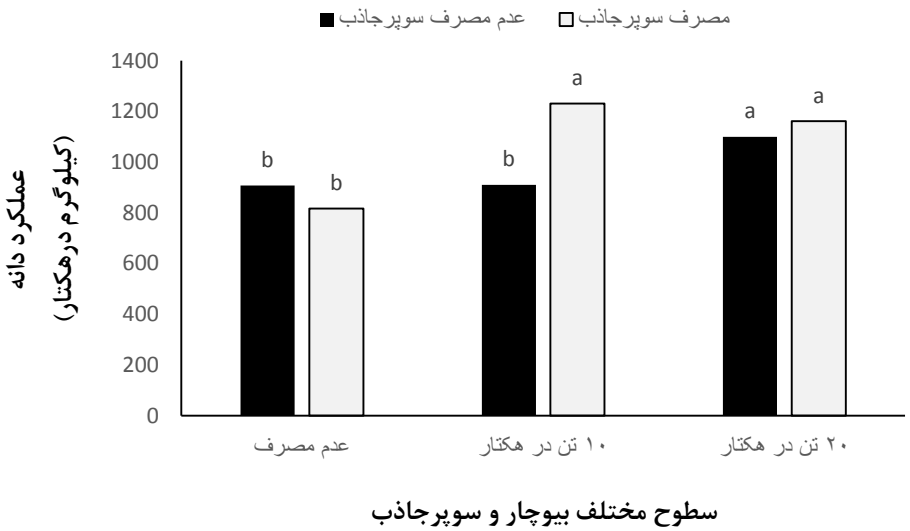
شکل ۴-۱۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری

در مقایسه میانگین ترکیبات تیماری بیوچار × سوپرجاذب، مشاهده شد که ترکیبات تیماری مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار × مصرف سوپرجاذب با مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوچار در هر دو شرایط مصرف و عدم مصرف سوپرجاذب در یک گروه آماری قرار گرفتند و بالاترین مقادیر را داشتند. سایر اثرات متقابل بر میزان عملکرد دانه معنی‌دار نشد (شکل ۴-۱۴). در گزارش رستم‌پور و همکاران (۱۳۹۰)، تحت عنوان اثر تنش آبی و سوپرجاذب بر عملکرد و کارایی مصرف آب در ذرت در منطقه بیرجند، بیان شد که مصرف سوپرجاذب نوع A200، با مصرف ۳۵، ۷۰ و ۱۰۵ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش چشم‌گیر عملکرد دانه این گیاه نسبت به شاهد شد. میزان فتوسنتز و ماده خشک به طور مستقیم تحت تأثیر کمبود آب قرار می‌گیرند و در نتیجه منجر به کاهش میزان عملکرد ذرت می‌شوند که با مصرف سوپرجاذب عملکرد بهبود می‌یابد (ماوو و همکاران، ۲۰۱۱).

به نظر می‌رسد برهمکنش سطوح خشکی و سطوح سوپرجاذب به دلیل سرمایه‌گذاری بیشتر گیاه جهت توسعه ریشه و در نتیجه جذب آب از یک طرف و همچنین توسعه ریشه در مناطق عمیق خاک باعث کاهش جذب مواد غذایی و کاهش تأثیر سوپرجاذب بر عملکرد دانه شده است. هنگامی که گیاه به وسیله خشکی تهدید می‌شود، سیستم ریشه آن عمیق‌تر می‌شود. این ریشه‌ها اگرچه آب را فرآهم می‌نمایند، ولی مواد غذایی کمی جذب می‌کنند، زیرا بیشتر مواد معدنی در دسترس، در لایه‌های فوقانی خاک تجمع یافته‌اند (فاضلی‌رستم‌پور و همکاران، ۱۳۹۰ و فاضلی‌رستم‌پور و همکاران، (۱۳۸۹). رحمانی و همکاران (۱۳۸۸) گزارش کردند که اثر سوپرجاذب بر عملکرد دانه خردل در شرایط تنش خشکی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید.

خوشبخت و همکاران (۱۳۸۸) گزارش نمودند که تأثیر سوپرجاذب در بابونه موجب معنی‌دار شدن عملکرد دانه در واحد سطح شد. عملکرد بادام‌زمینی به طور قابل توجهی تحت تأثیر مصرف بیوچار قرار گرفت (آگگنهو و همکاران، ۲۰۱۵). با افزایش تعداد بلال در گیاه ذرت در شرایط مصرف بیوچار نسبت به شرایط عدم مصرف، عملکرد این گیاه افزایش یافت (کرنلیسن و همکاران، ۲۰۱۳).

عملکرد محصول و خواص خاک‌های آهکی با مصرف بیوچار افزایش پیدا می‌کند (لیانگ و همکاران، ۲۰۱۴). شبدر قرمز تحت تأثیر کاربرد بیوچار نسبت به شرایط عدم مصرف عملکرد بالاتری را نشان داد (میا و همکاران، ۲۰۱۴). کاربرد بیوچار و کوددامی در گیاه ذرت (سوکارتنو و همکاران، ۲۰۱۱) و بیوچار در گیاه گندم (وکری و همکاران، ۲۰۱۱) باعث افزایش عملکرد شد.



شکل ۴-۱۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف بیوچار و سوپرجاذب بر روی عملکرد دانه

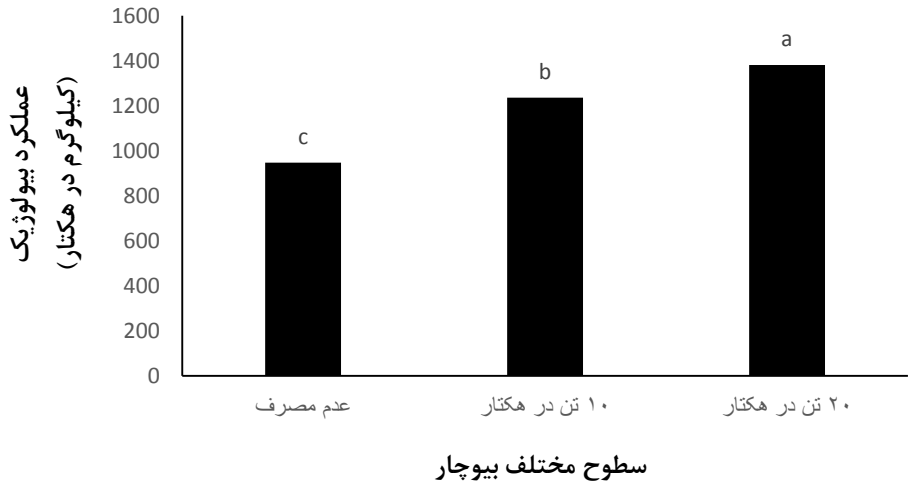
۴-۳-۵ عملکرد بیولوژیک

طبق نتایج تجزیه واریانس عملکرد بیولوژیک (جدول پیوست ۴-۳)، اثر آبیاری و سوپرجاذب در سطح احتمال ۵ درصد و اثر بیوچار در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردیدند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که دور آبیاری ۱۴ روز با میانگین ۹۷۰/۲ (کیلوگرم در هکتار) نسبت به دور آبیاری ۷ روز با میانگین ۱۴۲۶ (کیلوگرم در هکتار) به میزان ۳۱/۹۷ درصد کاهش داشته است (شکل ۴-۱۵). نتایج مشابه این تحقیق توسط جعفردخت و همکاران در سال ۱۳۹۴ بر روی گیاه ماش نیز گزارش داده شد.

عملکرد بیولوژیک شامل کل بیوماس اندام هوایی گیاه است. کاهش تجمع ماده خشک یکی از اولین عامل‌ها در گیاه است که با قطع آبیاری دچار اُفت می‌شود و هر چه قطع آبیاری در مراحل رشد سریع گیاه باشد میزان خسارت آن زیادتر خواهد شد. در سه رقم از گلرنگ اُفت شدید عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری مشاهده شد. به نظر می‌رسد، تنش از طریق کاهش معنی‌دار در تعداد شاخه تولیدی که بیشترین همبستگی مثبت را با عملکرد بیولوژیک دارد، به کاهش عملکرد نهایی منجر می‌شود. لذا استفاده از آبیاری تکمیلی جهت ممانعت از اُفت شدید عملکرد بیولوژیک ضروری به نظر می‌رسد (موسوی‌فر و همکاران، ۱۳۸۹). تنش خشکی در گیاه با کاهش آب برگ و در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها و اُفت فتوسنتز از یک سو و متأثر کردن فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای مربوطه از سوی دیگر، موجب اُفت عملکرد دانه از طریق کاهش اجزای عملکرد می‌شود (فرخی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۰). در موضعی مشابه کافی و رستمی (۱۳۸۸) گزارش کردند کمبود آب و بروز تنش خشکی در محیط رشد گلرنگ باعث کاهش اندازه گیاه و وزن خشک اندام‌ها، تغییر رنگ برگ‌ها، کم شدن دوام سطح برگ‌ها، کاهش عملکرد و شاخص برداشت می‌شود. کاهش ماده خشک تجمعی یا عملکرد بیولوژیک با قطع آبیاری در بسیاری از آزمایش‌ها از جمله توسط هایاشی و هانادا (۱۹۸۵)، هاشمی دزفولی (۱۳۷۳)، ابولهاشم و همکاران (۱۹۹۸) و مظفری و همکاران (۱۳۷۵) نیز گزارش شده است.

شکل ۴-۱۵- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری

ضمناً مقایسه میانگین‌ها نشان داد، مصرف بیوچار ۲۰ تن در هکتار بیوچار با میانگین ۱۳۸۲ نسبت به شرایط عدم مصرف با میانگین ۹۴۷/۳، به میزان ۴۵/۸۸ درصد افزایش داشت (شکل ۴-۱۶). افزایش رشد و نهایت افزایش ارتفاع گیاه ذرت و شاخص سطح برگ باعث افزایش عملکرد بیولوژیک این گیاه تحت تیمار بیوچار شد (کرنلیسن و همکاران، ۲۰۱۳ و ماجور و همکاران، ۲۰۱۰ و گاسکین و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج مشابه توسط میا و همکاران (۲۰۱۴)، بر روی گیاه شبدر قرمز گزارش شد.



شکل ۴-۱۶- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار

براساس مقایسه میانگین ها مصرف سوپرجاذب با میانگین ۱۲۴۴/۰۲ (کیلوگرم در هکتار)، نسبت به شرایط عدم مصرف سوپرجاذب با میانگین ۱۱۳۲/۹۶ (کیلوگرم در هکتار) به میزان ۹/۸۰ درصد افزایش نشان داد (شکل ۴-۱۷). ضمناً اثرات متقابل معنی‌دار نشد. عملکرد بیولوژیک گیاه نخود (۷۹۳/۶ کیلوگرم در هکتار) از اثر متقابل ۱۸ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و محلول پاشی با غلظت ۰/۴ میلی مولار اسید سالیسیلیک حاصل شد که نسبت به شاهد افزایش چشم‌گیری را نشان داد (رجبی و همکاران، ۱۳۹۲).

پلیمرهای سوپرجاذب که از نوع پلی اکریل امید بوده و به عنوان جاذب آب عمل می‌کنند، در افزایش ظرفیت نگهداری و جذب آب در خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند و این خصوصیت برای مقابله با شرایط کم‌آبی و کاهش اثرات سوء تنش خشکی، در گیاهان زراعی اهمیت بسزایی دارد. همچنین سوپرجاذب‌ها علاوه بر نگهداری آب به علت تغییر حجم مداوم (انبساط به هنگام تورم و انقباض به هنگام از دست دادن آب) میزان هوا را نیز در خاک افزایش دارد. مجموع این عوامل باعث رشد بهتر گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد و عملکرد بیولوژیک گیاهان می‌شود (سناراتنا و همکاران، ۱۹۸۸). رحمانی و همکاران (۱۳۸۸) گزارش کردند که اثر سوپرجاذب بر عملکرد بیولوژیک در سطح ۵ درصد معنی دار گردید.

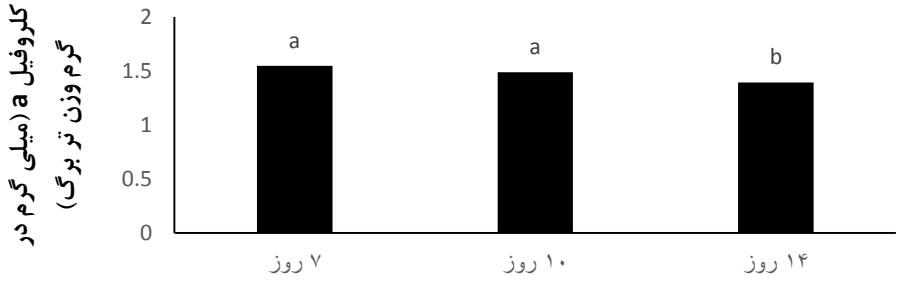
شکل ۴-۱۷- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب

۴-۴ صفات فیزیولوژیک

۴-۴-۱ کلروفیل a

بر اساس جدول تجزیه واریانس کلروفیل a (جدول پیوست ۴-۶)، اثر دور آبیاری، بیوچار و سوپرجاذب در سطح ۱ درصد معنی‌دار شدند. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کلروفیل a در دور آبیاری ۷ و ۱۰ روز نسبت به دور آبیاری ۱۴ روز در سطح بالاتری قرار گرفتند (شکل ۴-۱۸).

در تعداد زیادی از گونه‌های گیاهی، کاهش در تولید محصول تحت شرایط تنش خشکی غالباً به کاهش در ظرفیت فتوسنتزی مربوط است (بچر و همکاران، ۲۰۰۷). هرقدر گیاهی دارای سطح برگ بیشتری باشد از انرژی خورشیدی بیشتری استفاده و فتوسنتز بیشتری انجام می‌دهد. می‌توان به زبان ساده بیان کرد که افزایش فتوسنتز، رشد و عملکرد گیاه را بالا می‌برد. وجود شرایط مساعد رشدی برای یک گیاه، دوره رشد گیاه را طولانی‌تر میکند و بلعکس. با کاهش دوره رشد یک گیاه، برگ‌های آن سریع‌تر رنگیزه‌های سبز خود را از دست می‌دهد و درنتیجه میزان کلروفیل در گیاه کاهش می‌یابد (منصوری‌فر و همکاران، ۱۳۹۱). در اثر وقوع تنش خشکی، اجزای فتوسنتزی در گیاه گلرنگ دچار اختلال و یا حتی آسیب شد و بر کارایی کوانتومی فتوسیستم فتوسنتز تأثیر منفی گذاشت (هیردن و همکاران، ۲۰۰۷ و کندو و پائول، ۱۹۹۷). مطالعات فروزان (۱۳۷۶) و حاتم‌زاده (۱۳۸۷)، نشان داد که با شدت تنش خشکی روزنه‌ها بسته شد و این موضوع باعث کاهش ورود کربن دی اکسید به داخل برگ و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز می‌شود.

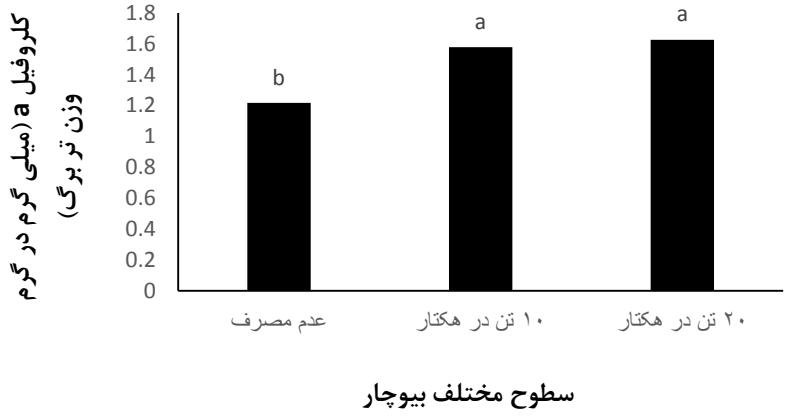


شکل ۴-۱۸- مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری

مقایسه میانگین سطوح بیوچار نشان داد، با مصرف ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار میزان کلروفیل نسبت به شرایط عدم مصرف افزایش داشت (شکل ۴-۱۹). محتوای کلروفیل a در گیاه بادام‌زمینی به طور قابل توجهی تحت تأثیر مصرف بیوچار قرار گرفت (آگگنهو و همکاران، ۲۰۱۵). با افزایش حاصلخیزی خاک گیاهان قادر به رشد بهتر و در نتیجه افزایش عملکرد هستند. این شرایط ملزم به

این است که گیاه بتواند فتوسنتز بالاتری داشته باشد که در نتیجه ورود بیشتر نور به کانوپی و افزایش شاخص سطح برگ این امکان تا حدی فرآهم می‌شود.

تحقیقات سوکارتنو و همکاران (۲۰۱۱)، نشان داد که با کاربرد بیوچار و کود دامی می‌توان حاصلخیزی در خاک‌هایی با بافت شنی را افزایش داد و درصد نگهداری آب توسط این خاک‌ها افزایش می‌یابد که متقابلاً باعث افزایش کروفیل a در برگ‌های گیاه ذرت شد. شاخص کلروفیل در گیاهان حبوبات با کاربرد بیوچار به علت افزایش قدرت رقابتی این گیاهان، افزایش یافت (اورام و همکاران، ۲۰۱۴). بیوچار باعث افزایش آنزیم نیتروژناز در گیاه شبدر شد که در نهایت باعث افزایش کلروفیل گردید (کولیام و همکاران، ۲۰۱۳).



شکل ۴-۱۹- مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار

مقایسه میانگین نشان داد با مصرف سوپرجاذب با میانگین ۱/۵۳ (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)، نسبت به شرایط عدم مصرف با میانگین ۱/۴۱ (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)، به میزان ۹/۱ درصد افزایش مقدار کلروفیل a مشاهده شد (شکل ۴-۲۰). اثرات متقابل بر میزان کلروفیل a معنی‌دار نشد. تنش خشکی از طریق کاهش شاخص کلروفیل برگ در گیاه ذرت باعث کاهش عملکرد این گیاه شد که در نتیجه اعمال تیمار سوپرجاذب دوام سطح برگ بیشتر و شاخص کلروفیل نسبت به

زمان تنش افزایش یافت. سوپرجاذب با ذخیره آب و در دسترس قرار دادن آن در زمان نیاز گیاه باعث کمک به تحمل شرایط نامساعد رطوبتی در گیاه ذرت شد (فاضلی رستم‌پور و همکاران، ۱۳۸۹).

توحیدی مقدم و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی و مقایسه ۶ ژنوتیپ کلزا تحت تنش خشکی و کاربرد هیدروژل سوپرجاذب نشان دادند که در شرایط تنش، محتوای کلروفیل و به تبع آن فتوسنتز کاهش و سبزینگی رنگ برگ در حضور پلیمر سوپرجاذب به وسیله جذب، حفظ و نگهداری آب به طور معنی‌داری افزایش یافت. به نظر می‌رسد با کاربرد سوپرجاذب، ظرفیت نگهداری آب توسط خاک افزایش یافته، در نتیجه رطوبت راحت‌تر در دسترس بوده و به تبع آن محتوی کلروفیل a و فتوسنتز افزایش یافته است. با کاربرد پلیمر سوپرجاذب تحت شرایط تنش، محتوای کلروفیل نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (کشاورز و همکاران، ۱۳۹۱).

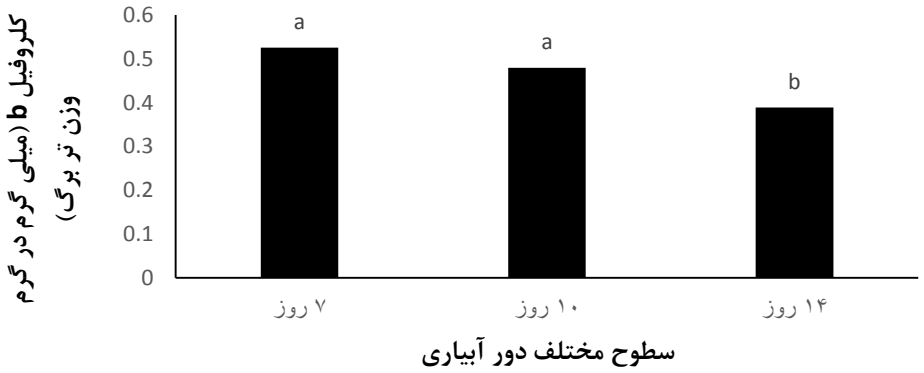
شکل ۴-۲۰- مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب

۴-۴-۲ کلروفیل b

نتایج تجزیه واریانس کلروفیل b (جدول پیوست ۴-۶)، نشان داد که اثر دور آبیاری و اثر بیوچار هر دو در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردیدند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که، میزان کلروفیل b در دور آبیاری ۷ و ۱۰ روز باهم اختلاف نداشته ولی نسبت به دور آبیاری ۱۴ روز در سطح بالاتری قرار گرفتند (شکل ۴-۲۱). قربانلی و نیاکان (۱۳۸۴) نیز بعد از سنجش میزان کلروفیل b در گیاه سویا

، از کاهش معنی‌دار این صفت در تیمارهای تحت تنش آبی نسبت به گیاه شاهد خبر دادند. در بادرنجبویه نیز کلروفیل b با تنش خشکی کاهش یافت (عباس‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶). میزان کلروفیل b در مرحله گلدهی و گرده افشانی گیاه گلرنگ تحت تنش خشکی ۴۲ درصد کاهش یافت (عابدی بابا عربی، ۱۳۹۰).

میزان فلورسانس کلروفیل می‌تواند توانایی گیاه در تحمل به تنش‌های محیطی و میزان خسارتی که تنش به گیاه وارد می‌کند را به خوبی نشان دهد. فتوسنتز تعیین‌کننده اصلی رشد و عملکرد گیاهان است و توانایی حفظ آن در شرایط تنش‌های محیطی برای حفظ ثبات عملکرد مهم است. کاهش رشد گیاهان زراعی به واسطه محدود شدن فتوسنتز صورت می‌گیرد. کاهش فتوسنتز را می‌توان به نقصان هدایت روزنه‌ای نسبت داد که تحت تنش کاهش می‌یابد (اشرف و هریس، ۲۰۰۴). چنانچه گیاهان در شرایط تنش خشکی، شوری، گرما و تشعشع زیاد قرار گیرند، مقدار آن کم‌تر خواهد شد (ژاو و همکاران، ۲۰۰۷).



شکل ۴-۲۱- مقایسه میانگین کلروفیل b تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد اثر مصرف ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار بر کلروفیل b، نسبت به عدم مصرف بیوچار در سطح بالاتری قرار گرفت (شکل ۴-۲۲). اثر جداگانه سوپرجاذب و اثرات متقابل معنی‌دار نشدند. مصرف بیوچار باعث افزایش شاخص سطح برگ، شاخص فتوسنتز گیاه ذرت و همچنین

افزایش رشد این گیاه شد (سوکارتنو و همکاران ،۲۰۱۱ و کرنلیسن و همکاران، ۲۰۱۳). به نظر می‌رسد بیوچار با حفظ و در اختیار قرار دادن رطوبت برای گیاه، باعث عملکرد بهتر هدایت روزنه‌ای، در نتیجه افزایش فتوسنتز شده است. سلیمان و همکاران (۲۰۱۲)، گزارش کردند که میزان کلروفیل a و b و کل تحت تأثیر بیوچار افزایش یافت که می‌تواند در نتیجه افزایش جوانه‌زنی و رشد اولیه نهال درختان و برتری آن‌ها از نظر زمانی و طولانی شدن دوره رشد باشد.

شکل ۴-۲۲- مقایسه میانگین کلروفیل b تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار

۴-۴-۳ کلروفیل کل

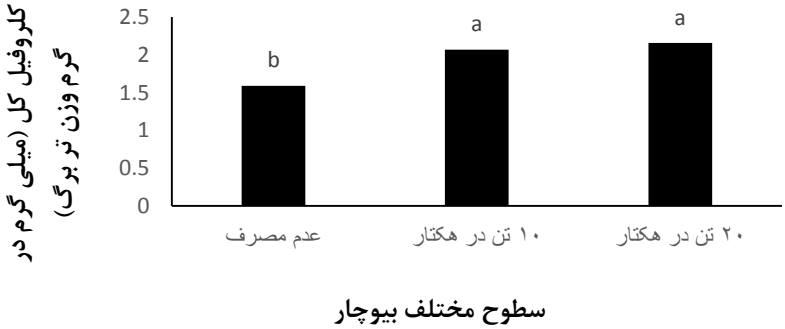
طبق نتایج جدول تجزیه واریانس کلروفیل کل (جدول پیوست ۴-۶)، نشان داد که اثرات اصلی دور آبیاری، بیوچار و سوپرجاذب، هر سه در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردیدند. مقایسه میانگین داده‌های کلروفیل کل نشان داد که، دور آبیاری ۷ روز با میانگین ۲/۰۷ (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)، نسبت به دور آبیاری ۱۴ روز با میانگین ۱/۷۷ (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)، به میزان ۱۴/۴۱ درصد افزایش داشته و در بالاترین حد بود (شکل ۴-۲۳).

در اثر تنش خشکی، فعالیت‌های فتوشیمیایی گیاه بازداشته می‌شود، محتوای کلروفیلی برگ تغییر و فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین در فرآیند فتوسنتز کاهش می‌یابد (موناخوا و چرنیادیو، ۲۰۰۲). با افزایش تنش و به دنبال آن با افزایش مقاومت روزنه‌ای ارتباط این دو بیش‌تر و معنی‌دارتر می‌شود.

افزایش مقاومت روزنه‌ای در شرایط تنش توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (فلکساس و همکاران، ۲۰۰۸ و کرنیک و مساکی، ۱۹۹۶). با افزایش شدت تنش خشکی در انتهای فصل رشد، میزان فتوسنتز و پتانسیل آبی برگ در گیاه جو (امیدی تبریزی و همکاران، ۱۳۷۹) و لوبیا و نیشکر (سامرا و همکاران، ۲۰۰۹) کاهش یافت.

شکل ۴-۲۳- مقایسه میانگین کلروفیل کل تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری

در مقایسه میانگین سطوح مختلف بیوچار، مشاهده شد که مصرف ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار باهم اختلاف نداشتند و نسبت به شرایط عدم مصرف بیوچار در سطح بالاتری قرار گرفتند (شکل ۴-۲۴). محتوای کلروفیل کل با مصرف بیوچار در گیاه ذرت (گاسکین و همکاران، ۲۰۱۰)، گیاه شبدر قرمز (میا و همکاران، ۲۰۱۴) و نهال درختان (سلیمان و همکاران، ۲۰۱۲)، افزایش یافت که در نتیجه رشد بهتر گیاه و افزایش کلروفیل a در این گیاه حاصل شد.



شکل ۴-۲۴- مقایسه میانگین کلروفیل کل تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار

مقایسه میانگین‌ها نشان داد، مصرف سوپرجاذب با ۸/۳۸ درصد افزایش نسبت به شرایط عدم مصرف سوپرجاذب قرار گرفت (شکل ۴-۲۵). پلیمرهای سوپرجاذب (ابرجاذب و فراجاذب) از جنس هیدروکربن هستند. این مواد چندین برابر وزن خود آب را جذب، نگهداری و در اثر خشک شدن محیط، آب داخل پلیمر به تدریج تخلیه می‌شود و بدین ترتیب خاک به مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد، مرطوب می‌ماند. در نتیجه باعث حفظ ثبات شاخص کلروفیلی در گیاهان و عدم افت آن می‌شوند (لینگ و لیو، ۲۰۰۶ و وو و همکاران، ۲۰۰۸ و مونیگ، ۲۰۰۵ و ویدیاستوتی و همکاران، ۲۰۰۸). مصرف سوپرجاذب باعث افزایش میزان شاخص کلروفیل و کلرفیل کل در گیاه ذرت (فاضلی رستم‌پور و همکاران، ۱۳۸۹) و گیاه کلزا (توحیدی مقدم، ۱۳۸۸) شد.

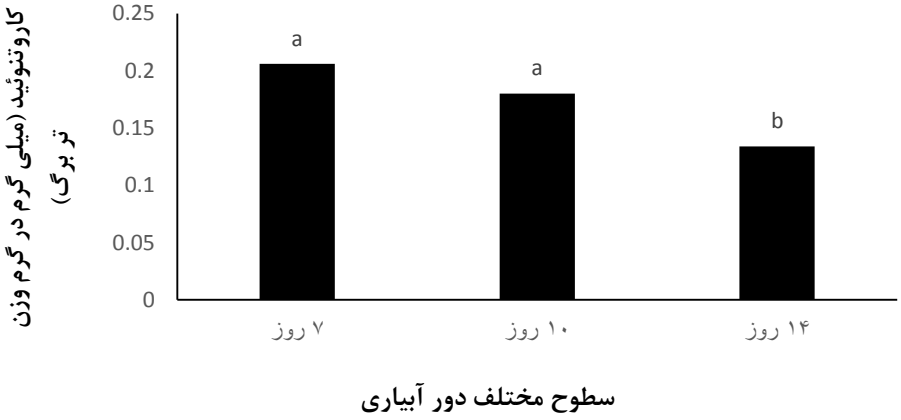
شکل ۴-۲۵- مقایسه میانگین کلروفیل کل تحت تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب

۴-۴-۴ کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس کاروتنوئید (جدول پیوست ۴-۶) نشان داد که، اثر دور آبیاری و اثر بیوچار، هر دو در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردیدند. براساس مقایسه میانگین داده‌ها دور آبیاری ۷ و ۱۰ روز باهم اختلاف نداشتند اما نسبت به دور آبیاری ۱۴ روز میزان کاروتنوئید بالایی نشان دادند (شکل ۴-۲۶). تنش خشکی باعث کاهش سطح برگ می‌شود که در نهایت باعث کاهش بازده استفاده از تابش

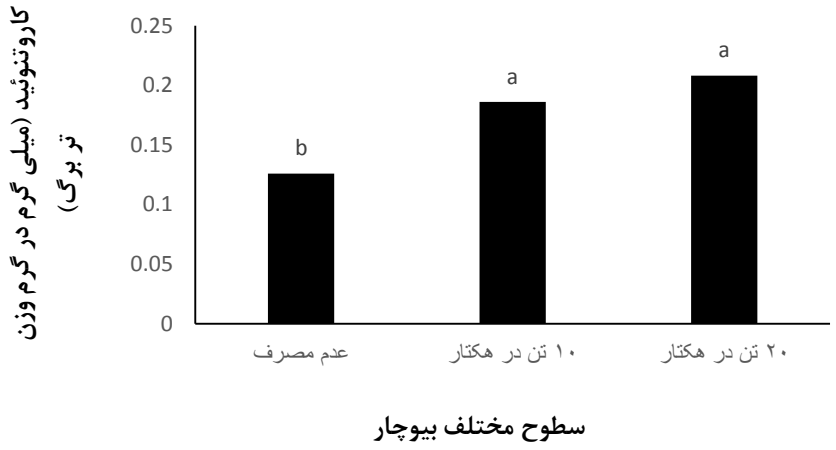
نور خورشید توسط گیاه می‌شود. در نتیجه گیاه عمدتاً با کاهش ظرفیت فتوسنتزی برگ روبه‌رو می‌شود (تس فی و همکاران، ۲۰۰۶).

در اثر تنش خشکی، فعالیت‌های فتوشیمیایی گیاه بازداشته می‌شود، محتوای کلروفیلی برگ تغییر می‌کند و فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین در فرآیند فتوسنتز کاهش می‌یابد (نصراصفهانی، ۱۳۹۱). هانگ و ایوانز (۱۹۸۵) اعلام کردند تنش خشکی به علت زردی زودرس در برگ‌ها، باعث کاهش شاخص سطح برگ در کانوپی گلرنگ گردید که در نهایت میزان کاروتنوئید برگ‌ها کاهش یافتند. میزان کلروفیل برگ نیز از جمله صفات فیزیولوژیک مهم است که تحت تنش، تغییر می‌یابد. زارکو-تجادا و همکاران (۲۰۰۰)، کلروفیل برگ را یکی از مهم‌ترین شاخص‌های نشان‌دهنده فشارهای محیطی وارد بر گیاه دانستند و معتقدند مقدار کلروفیل در گیاهان تحت تنش کاهش می‌یابد و باعث کاهش کل جذب نور توسط گیاه می‌شود. کاروتنوئیدها نقش حفاظتی در مقابل تنش اکسیداتیو القاء شده دارند و در سمیت-زدایی از کلروفیل نیز مؤثرند و باعث کاهش اثرات سمی رادیکال‌های آزاد می‌شوند (سانیتاتا و گابریا، ۱۹۹۹). محتوای کارتنوئید در گیاه لوبیا و نیشکر تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت (سامرا و همکاران، ۲۰۰۹).



شکل ۴-۲۶- مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری

براساس مقایسه میانگین داده‌ها، مصرف ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار در یک گروه آماری قرار گرفته و نسبت به شرایط عدم مصرف، میزان کاروتنوئید بالاتری نشان دادند (شکل ۴-۲۷). اثر سوپرجاذب و اثرات متقابل معنی‌دار نشد. در مطالعه‌ای که در استرالیا بر روی بادام‌زمینی تحت تأثیر اصلاح‌کننده‌های خاک (بیوچار) انجام شد، مشاهده گردید که با کاربرد بیوچار محتوای کلروفیلی و کارتنوئید برگ این گیاه افزایش یافت (آگگنهو و همکاران، ۲۰۱۵). احتمالاً بیوچار با جذب و حفظ رطوبت توانسته فشارهای محیطی وارده بر گیاه را کم کند، در نتیجه کارتنوئیدها محافظت شدند و افزایش یافتند. در مطالعه‌ای که توسط میا و همکاران در سال ۲۰۱۴ صورت گرفت، مشاهده شد که میزان کارتنوئید برگ‌های گیاه شبدر قرمز با کاربرد بیوچار افزایش یافت. نتایج مشابه توسط کولیام و همکاران (۲۰۱۳)، بر روی همین گیاه گزارش شد.



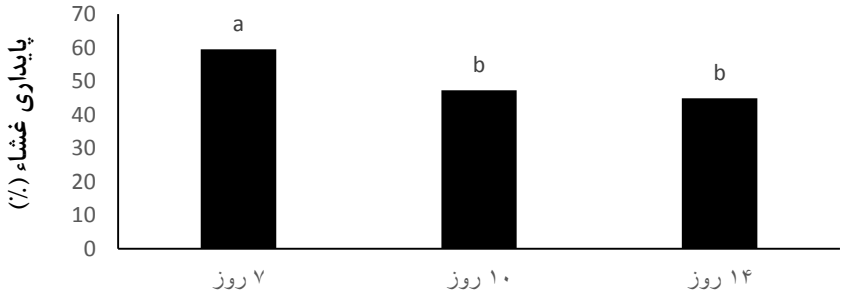
شکل ۴-۲۷- مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار

۴-۴-۵ پایداری غشاء

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس پایداری غشاء (جدول ۴-۷)، اثرات دور آبیاری و بیوچار در سطح احتمال ۱ درصد و اثر سوپرجاذب در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شدند. مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری نشان داد که، در زمان دور آبیاری ۷ روز بالاترین پایداری نسبت به دو دوره دیگر آبیاری وجود دارد (شکل ۴-۲۸). تغییرات دائمی سطح تورژسانس آب سلول‌های گیاهی در اثر نوسانات شدید

رطوبت خاک، باعث ایجاد اختلال در کار تراوایی غشای سلول‌ها خواهد شد. به طوری که اینگونه سلول‌ها قابلیت کنترلی خود را بر روی خروج الکترولیت‌های موجود در سلول از دست داده و یا اینکه سطح کنترل بسیار کاهش خواهد یافت و در نتیجه اختلال در فرآیند کنترل غشای سلولی، ما شاهد نشت و برون رفت الکترولیت سلول به فضای خارج سلولی خواهیم بود.

بر پایه آزمایش اندازه‌گیری پایداری غشای سلول، محلول محتوای بافت گیاهی که دارای هدایت الکتریکی بیشتری باشد، در واقع دلالت بر تخریب بیشتر خاصیت تراوایی غشای سلول‌های آن بافت گیاهی دارد. معمولاً با افزایش شدت تنش کمبود آب، میزان تخریب و ناپایداری غشای سلولی نیز افزایش می‌یابد (سیبی و همکاران، ۱۳۹۱). پورداد و همکاران (۱۳۸۷)، در بررسی تحمل به خشکی گلرنگ‌های بهاره در مناطق مختلف کشور اظهار داشتند که تنش خشکی باعث کاهش میزان پایداری غشای سلولی شد. در بررسی انجام شده توسط سیبی و همکاران (۱۳۹۱)، اثر سطوح مختلف تنش آبیاری بر میزان ناپایداری غشاءسلولی، معنی‌دار و پایداری را کاهش داد. در شرایط تنش آبی، یکی از اولین بخش‌های گیاهی که آسیب می بیند غشای پلاسمایی سلول‌ها است (لویت، ۱۹۸۰). در اثر تنش آبی، تراوایی غشای سلول افزایش می‌یابد و باعث می‌شود که الکترولیت‌های موجود در داخل سلول به سمت بیرون از سلول نشت کنند (سیبی و همکاران، ۱۳۹۱ و بلوم و ابرسون، ۱۹۸۰). در شرایط تنش آب، انتقال الکترون در فتوسیستم II، مختل می‌شود و در این وضعیت، الکترون اضافی خارج شده از آب، باعث تولید اکسیژن فعال و در نتیجه خسارت به غشاء سلولی به دلیل پراکسید شدن چربی‌ها، پروتئین‌ها و کاهش میزان کلروفیل گیاه می‌گردد (پاری و همکاران، ۲۰۰۲).

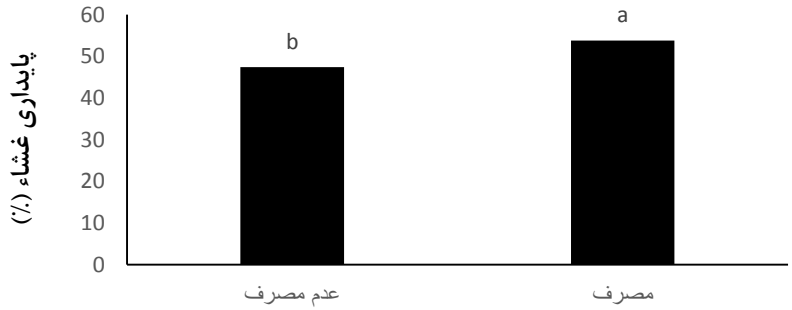


شکل ۴-۲۸- مقایسه میانگین پایداری غشاء تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری

مقایسه میانگین سطوح مختلف بیوچار نشان داد که، مصرف ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار در یک گروه آماری قرار گرفتند و بیشترین پایداری غشاء را نسبت به شرایط عدم مصرف داشته اند (شکل ۴-۲۹). پایداری گیاه ذرت در شرایط خشکی نسبت به تیمار شاهد با مصرف بیوچار در یک دوره چهار ساله نشان داد که، وجود بیوچار در خاک نواحی خشک می‌تواند از آسیب غشاء سلولی گیاه در زمان تنش بکاهد و هدایت الکتریکی را کاهش دهد (ماجور و همکاران، ۲۰۱۰). بیوچار با افزایش‌دهنده CEC خاک، رشد گیاه و توسعه ریشه، قدرت نگهداشت مواد مغذی گیاه می‌تواند گیاه را در برابر تنش‌های محیطی مقاوم کند (میشرا و پاتل، ۲۰۰۹). تحت شرایط تنش، بیوچار از طریق افزایش ظرفیت نگه‌داری آب در خاک، کاهش شستشوی مواد غذایی، افزایش تخلخل در خاک باعث جذب یا حفظ مواد مغذی و آب در خاک می‌شود (لهمن و راندون، ۲۰۰۶).

شکل ۴-۲۹- مقایسه میانگین پایداری غشاء تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که مصرف سوپرجاذب با میانگین ۵۳/۷۹ درصد نسبت به عدم مصرف سوپرجاذب با میانگین ۴۷/۴۰ درصد به میزان ۱۳/۴۸ درصد افزایش داشته است (شکل ۴-۳۰). اثرات دوگانه و اثر سه‌گانه بر میزان پایداری غشاء معنی‌دار نشد. پلیمرهای سوپر جاذب سرعت نفوذ، تراکم، فشردگی و بافت خاک و همچنین پایداری خاکدانه‌ها و در نتیجه سرعت تبخیر را بطور مؤثری تحت تأثیر قرار می دهند (عبدیل-کوپای و اسدکاظم، ۲۰۰۶). توحیدی مقدم (۱۳۸۸)، در بررسی اثرات اکوفیزیولوژیکی کاربرد سوپرجاذب در تحمل به تنش کم‌آبی ارقام بهاره کلزا در کشت زمستانه، بیان کرد که مصرف سوپرجاذب از طریق فرآهم نمودن مقادیر بیشتری از آب آبیاری برای ریشه‌ها، باعث ایجاد شرایط رشد و نمو بهتری برای گیاهان شده و از شدت تخریب غشاء سلول‌ها می‌کاهد. مسلمی و همکاران (۱۳۸۸)، گزارش دادند که با کاربرد باکتری‌های محرک رشد و پلیمر سوپرجاذب، بر مقاومت غشاء سلولی گیاه ذرت به خشکی افزوده شد.



شکل ۴-۳۰- مقایسه میانگین پایداری غشاء تحت تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب

۴-۴-۶ میزان پرولین

نتایج حاصل از تجزیه واریانس میزان پرولین (جدول ۴-۴) نشان داد که، اثر دور آبیاری، بیوچار و اثر متقابل دور آبیاری × بیوچار هر سه در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردیدند. مقایسه میانگین نشان داد، در دور آبیاری ۱۴ روز و در شرایط مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار، بالاترین میزان پرولین مشاهده شد.

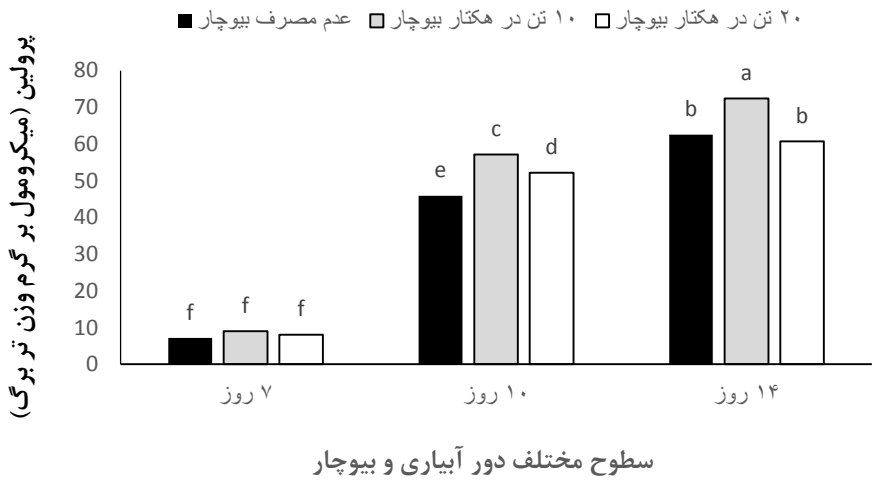
کم‌ترین میزان پرولین در دور آبیاری ۷ روز و در هر سه سطح مصرفی بیوچار قرار گرفت. همچنین در دور آبیاری ۱۴ روز، شرایط عدم مصرف و مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوچار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴-۳۱).

هیچ یک از اثرات متقابل معنی‌دار نشدند. پرولین از طریق مکانیسم‌های مختلف شامل تنظیم وضعیت اسمزی، سم‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن و ثبات آنزیم‌ها یا پروتئین‌ها، گیاهان را در مقابل تنش‌های محیطی محافظت می‌کند. در برخی از گیاهان ثابت شده است که تغییرات میزان پرولین با توانایی آن‌ها برای تحمل یا سازش به شرایط تنش مرتبط است و می‌تواند به عنوان شاخصی برای انتخاب گیاهان مقاوم به تنش استفاده شود (نیکنام و همکاران، ۱۳۸۵). تجمع پرولین به گیاه کمک می‌کند که در دوره کوتاهی بعد از رفع تنش، رشد خود را بازیابی کند و بنابراین اثر مثبت بر عملکرد خواهد داشت، ولی با این حال گزارش شده که در شرایط تنش خشکی طولانی مدت اثرات مفید آن قابل توجه نبوده و تجمع آن حتی اثر منفی بر عملکرد خواهد گذاشت زیرا منابع فتوسنتزی گیاه را به سمت فرآیندهایی غیر از پر شدن دانه منحرف می‌کند (سانچز و همکاران، ۱۹۹۸).

در مورد پرولین نیز پژوهش‌های بسیاری در گیاهان مختلف مبنی بر افزایش این اسیدآمینه در شرایط تنش خشکی وجود دارد. از جمله در گلرنگ (موحدی دهنوی و همکاران، ۱۳۸۳) و گندم (احمدی و سی وسه مرده، ۱۳۸۳) که افزایش میزان پرولین گیاهان تحت تنش خشکی مشاهده شد. چنین نتایجی همچنین در گیاهانی چون سورگوم (بلوم و ابرکون، ۱۹۷۶ ضیف‌نژاد و همکاران، ۱۳۷۶)، بادرنجبویه (عباس‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶)، زیتون (ارجی و همکاران،۱۳۸۲؛ ارجی و ارزانی، ۱۳۸۲) نیز گزارش شده است . همچنین تنش خشکی باعث تغییرات قابل توجهی بر میزان پرولین در سه رقم نخود شد (نصر اصفهانی، ۱۳۹۲). یکی از ویژگی‌های مهم اضافه کردن بیوچار، افزایش کارایی استفاده از فسفر و نیتروژن در گیاهان است که رشد اولیه را بهبود و گیاه زودتر استقرار می‌یابد. این مزیت در زمان تنش باعث می‌شود که گیاه دوره حساس به تنش را زودتر از موعد طی کند و کمتر تحت تأثیر تنش قرار

بگیرد. همچنین بیوچار سبب جلوگیری از هدر رفتن مواد مغذی، حفظ رطوبت و کمک به گیاهان تحت تنش می گردد. مجموع این عوامل باعث افزایش پایداری گیاه در زمان تنش‌های محیطی می‌شود (ماجور و همکاران، ۲۰۱۰).

در گیاه ذرت با اعمال شرایط تنش میزان پرولین افزایش یافت، اما در تیمارهایی که حاوی بیوچار بودند درصد تنش برای گیاه کاهش یافت و پرولین کم‌تری تولید شد (ماجور و همکاران، ۲۰۱۰). از دلایل تجمع پرولین می‌تواند تخریب پروتئین‌ها باشد. تخریب پروتئین‌ها و انباشت برخی آمینواسیدهای آزاد در جهت حفظ و تنظیم فشار اسمزی سلول و کاهش سنتز پروتئین در شرایط تنش خشکی مشاهده شده است (موران و همکاران، ۱۹۹۴ ؛ هیسائو، ۱۹۷۳). قربانلی و نیاکان (۱۳۸۴) بیان کردند که با تشدید میزان تنش در سویا، مقدار کل پروتئین‌های محلول، هم در بخش هوایی ساقه و برگ و هم در ریشه، کاهش یافت که این روند با افزایش غلظت پرولین همراه بود . آنان افزایش پرولین را به کاهش فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز نیز نسبت دادند، چرا که آنزیم نیترات‌ردوکتاز حساس به تغییرات وضعیت رطوبت برگ بوده و فعالیت آن با کاهش شدید پتانسیل آبی در برگ، مهار می‌شود (تجو و سانتوس دیاز، ۱۹۸۷).

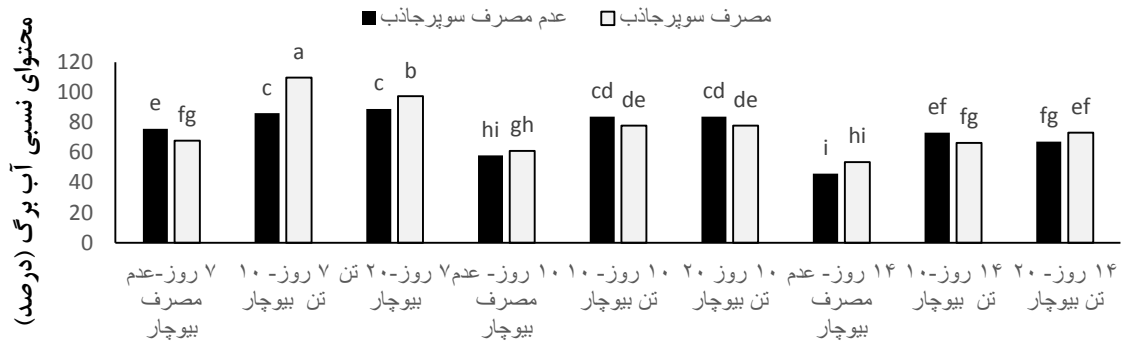


شکل ۴-۳۱- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف دور آبیاری، بیوچار بر میزان پرولین

۴-۴-۷ میزان محتوای نسبی آب برگ (RWC)

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس محتوای نسبی آب برگ (جدول پیوست ۴-۷)، مشاهده شد که اثر دورآبیاری، اثر بیوچار در سطح احتمال ۱ درصد، اثر سوپرجاذب در سطح احتمال ۵ درصد و اثرات متقابل دور آبیاری × سوپرجاذب و دور آبیاری × بیوچار × سوپرجاذب در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردیدند. مقایسات میانگین نشان داد بالاترین درصد محتوای نسبی آب برگ، در ترکیب تیماری دور آبیاری ۷ روز × مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار ×مصرف سوپرجاذب قرار دارد. رتبه دوم مربوط به ترکیب تیماری دور آبیاری ۷ روز × مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوچار × مصرف سوپرجاذب بود. در کل دور آبیاری ۱۰ و ۱۴ روز باعث کاهش درصد محتوای نسبی آب برگ در تیمارهای عدم مصرف بیوچار و عدم مصرف سوپرجاذب شد (شکل ۴-۳۲). تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ در پنج رقم گلرنگ شد (پاسبان اسلام، ۱۳۸۹).

بالا بودن میزان درصد محتوای آب نسبی در ژنوتیپ‌های متحمل به تنش می‌تواند به دلیل وجود برخی عوامل کم‌کننده تلفات آب از طریق بستن روزنه‌ها و یا جذب بیش‌تر آب از طریق گسترش ریشه باشد (کرنیک و مساکی، ۱۹۹۶). به نظر می‌رسد بیوچار و سوپرجاذب از موادی هستند که توانسته‌اند با جذب آب و ذخیره‌سازی آن، محتوای نسبی برگ را در زمان تنش در گیاهان مختلف در سطح بالایی نگه‌دارند. در بررسی تأثیر تنش خشکی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی چهار رقم گلرنگ بهاره در منطقه یاسوج مشاهده شد که تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ در ارقام حساس به خشکی شد (معراجی‌پور و همکاران، ۱۳۹۲). کاهش میزان RWC تحت شرایط تنش خشکی باعث محدود شدن رشد و برخی تغیرات فیزیولوژیکی و متابولیکی می‌گردد (جهان‌بین و همکاران، ۱۳۸۲). در پژوهش فاضلی‌رستم‌پور و همکاران (۱۳۸۹) بر روی گیاه ذرت، مشاهده شد که تنش خشکی باعث کاهش محتوی نسبی آب برگ شد ولی با مصرف سوپرجاذب دوام سطح برگ افزایش یافت.



سطوح مختلف دور آبیاری، بیوچار و سوپرجاذب

شکل ۴-۳۲- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف دور آبیاری، بیوچار و سوپرجاذب بر درصد محتوای نسبی آب برگ

۴-۵ صفات کیفی

۴-۵-۱ درصد پروتئین دانه

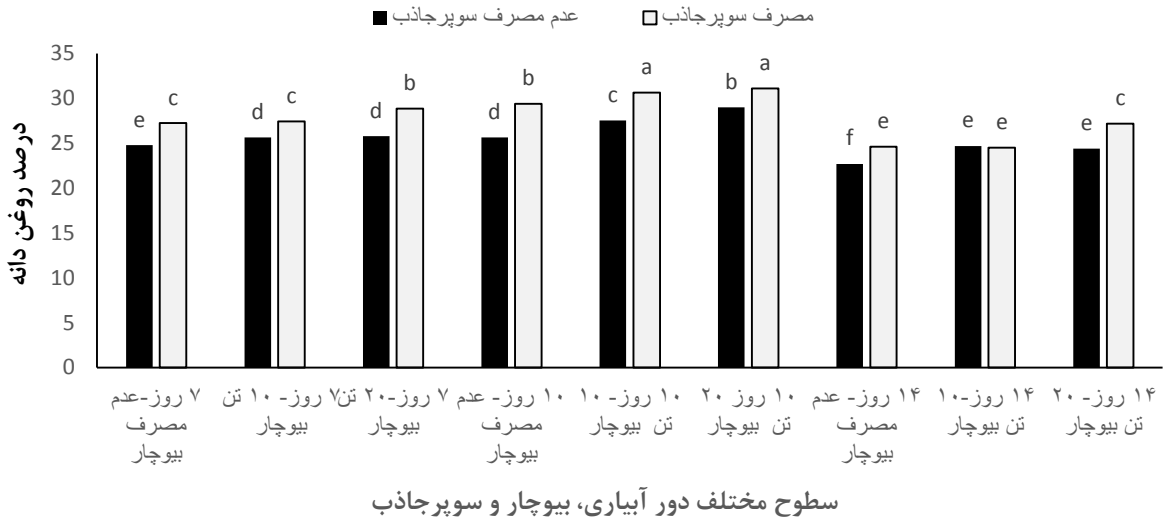
همانطور که در جدول تجزیه واریانس مشاهده می‌گردد (جدول پیوست ۴-۸)، هیچ یک از فاکتورها و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان پروتئین دانه معنی‌دار نشد. نتایج جعفردخت و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش درصد پروتئین، در نتیجه کاهش درصد عنصر نیتروژن (۲/۴۰ درصد کاهش) در گیاه ماش می‌شود که علت کاهش محتوی نیتروژن گیاه می‌تواند به‌دلیل کاهش جذب این عنصر توسط ریشه از خاک تحت شرایط تنش خشکی باشد (پای‌گزار، ۱۳۸۷). کاهش درصد نیتروژن دانه گیاهان در شرایط خشکی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (بابائیان، ۱۳۸۷و نصر اصفهانی، ۱۳۹۲).

۴-۵-۲ درصد روغن دانه

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس روغن دانه (جدول پیوست ۴-۸)، مشاهده شد که کلیه فاکتورها و اثرات متقابل آنها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردیدند. مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد که در شرایط دور آبیاری ۱۰ روز با مصرف ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار و مصرف سوپرجاذب، بالاترین درصد روغن در دانه مشاهده شد. کمترین درصد روغن در ترکیب تیماری دور آبیاری ۱۴ روز

× عدم مصرف بیوچار × عدم مصرف سوپرجاذب مشاهده شد. در دور آبیاری ۱۴ روز، عدم مصرف بیوچار × مصرف سوپرجاذب با مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار در هر دو سطح عدم مصرف و مصرف سوپرجاذب و مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوچار و عدم مصرف سوپرجاذب، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین ترکیب تیماری عدم تنش × عدم مصرف بیوچار × عدم مصرف سوپرجاذب هم در این گروه آماری قرار گرفتند. تیمارهای عدم مصرف بیوچار × مصرف سوپرجاذب و مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار × مصرف سوپرجاذب در مرحله دور آبیاری ۷ روز با ترکیب تیماری دور آبیاری ۱۰ روز × ۱۰ تن در هکتار بیوچار × عدم مصرف سوپرجاذب و با ترکیب تیماری دور آبیاری ۱۴ روز × ۲۰ تن در هکتار بیوچار × مصرف سوپرجاذب در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۳۳).

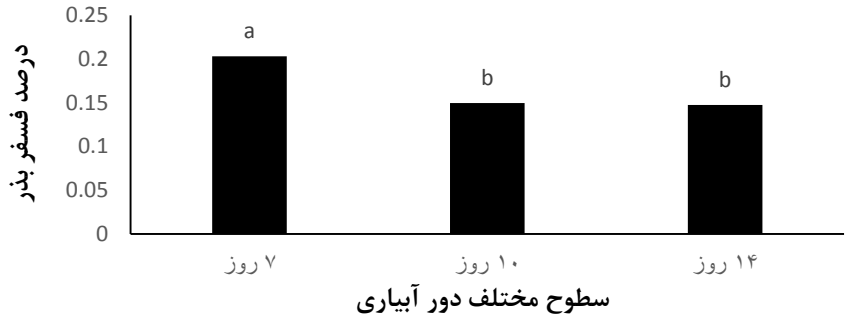
سنیگ و همکاران (۱۹۹۰) اثر رژیم‌های متفاوت آبیاری بر عملکرد و روغن گلرنگ را بررسی و گزارش دادند که با آبیاری در مراحل ساقه‌دهی و تشکیل دانه بیشترین درصد روغن به دست می‌آید. پاتل و پاتل (۱۹۹۶)، در آزمایشی که انجام دادند نتیجه گرفتند که درصد روغن تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری قرار می‌گیرد و با افزایش مقدار آبیاری درصد روغن نیز افزایش می‌یابد. در بررسی واکنش صفات گیاهی چهار ژنوتیپ گلرنگ در شرایط تنش کمبود آب مشاهده شد که هر چهار رقم در شرایط تنش خشکی کاهش درصد روغن را نشان دادند (فراست، ۱۳۸۷). درصد روغن در گیاه گلرنگ تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت (محسن‌نیا و جلیلیان، ۱۳۹۱). در بررسی اثر باکتری‌های محرک رشد و پلیمر سوپرجاذب بر مقاومت به خشکی ذرت مشاهده شد که با مصرف سوپرجاذب درصد روغن افزایش یافت (مسلمی و همکاران، ۱۳۸۸). در بررسی که بر روی گیاه آفتابگردان (کریمی، ۱۳۸۰) و کتان روغنی (کیخانی، ۱۳۸۰) صورت گرفت، درصد روغن تحت تأثیر کاربرد سوپرجاذب افزایش یافت. مصرف بیوچار باعث افزایش صفات کیفی از جمله روغن در گیاه ذرت شد (کرن الیسن و همکاران، ۲۰۱۳). در بررسی اثر پوست بادام‌زمینی و بیوچار تراشه چوب کاج بر ذرت مشاهده شد که اثر متقابل این دو باعث افزایش درصد روغن این گیاه شدند (گاسکین و همکاران، ۲۰۱۰) نتایج مشابه توسط سوکارتنو و همکاران (۲۰۱۱) تحت تأثیر کود دامی و بیوچار بر گیاه ذرت نیز گزارش شد.



شکل ۴-۳۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف دور آبیاری، بیوچار و سوپرجاذب بر درصد روغن دانه

۴-۵-۳ درصد فسفر بذر

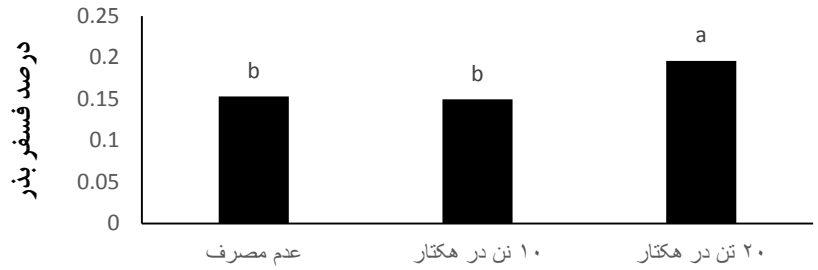
نتایج جدول تجزیه واریانس فسفر بذر (جدول پیوست ۴-۸) نشان داد که، اثر دور آبیاری و اثر بیوچار در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردیدند. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که دور آبیاری ۱۰ و ۱۴ روز نسبت به دور آبیاری ۷ روز درصد فسفر پایین‌تری را نشان دادند (شکل ۴-۳۴). کاهش شدید رشد ریشه تحت شرایط تنش خشکی مهم‌ترین دلیل کاهش جذب این عنصر در خاک توسط گیاه محسوب می‌شود (پای‌گذار، ۱۳۸۷). درصد فسفر دانه در گیاه ماش تحت تنش خشکی کاهش یافت (جعفردخت و همکاران، ۱۳۹۴).



شکل ۴-۳۴- مقایسه میانگین درصد فسفر بذر تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری

مقایسه میانگین سطوح بیوچار نشان داد، مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوچار بیشترین تأثیر را در میانگین درصد فسفر بذر داشته است، ولی عدم مصرف بیوچار و مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار تفاوتی باهم نداشتند و در سطح پایین‌تری قرار گرفتند (شکل ۴-۳۵). اثر سوپرجاذب بر فسفر بذر و اثرات دوگانه و اثر سه‌گانه معنی‌دار نشد. افزودن مواد آلی به خاک باعث افزایش عناصر غذایی و قابلیت جذب آن‌ها توسط گیاه می‌گردد و بدین ترتیب منجر به افزایش تعادل نیتروژنی و کارایی جذب فسفر می‌شود. همچنین تعادل عناصر غذایی در گیاهان بستگی به تأمین رطوبت خاک دارد، کمبود رطوبت خاک باعث عدم تعادل تغذیه‌ای می‌شود (بروسارد و فررا-سناتو، ۱۹۹۷).

در نتیجه احتمالاً با کاربرد کودهای آلی و موادی مانند بیوچار می‌توان تعادل عناصر غذایی و جذب آن‌ها توسط گیاهان را در زمان تنش خشکی حفظ کرد و درصد جذب عناصری مانند فسفر را افزایش داد. در بررسی آگگنهو و همکاران (۲۰۱۵)، مشاهده شد که استفاده از بیوچار باعث افزایش چشم‌گیر عناصر مغذی در برگ بادام‌زمینی شد. نتایج مشابه در گیاه ذرت توسط گاسکین و همکاران، (۲۰۱۰)، نیز گزارش شد. جذب بعضی عناصر مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سدیم تحت تأثیر کاربرد کود گاوی و بیوچار در خاک‌های شنی، افزایش چشم‌گیری داشت (سوکارتنو و همکاران، ۲۰۱۱). گندم دوروم با کاربرد بیوچار، توانست درصد بالاتری نسبت به شاهد عناصر را جذب کند (وکری و همکاران، ۲۰۱۱). بیوچار از طریق افزایش دسترسی به عناصر قدرت رقابت حبوبات را افزایش می‌دهد که در نهایت رشد گیاه را بهبود می‌دهد (اورام و همکاران، ۲۰۱۴).

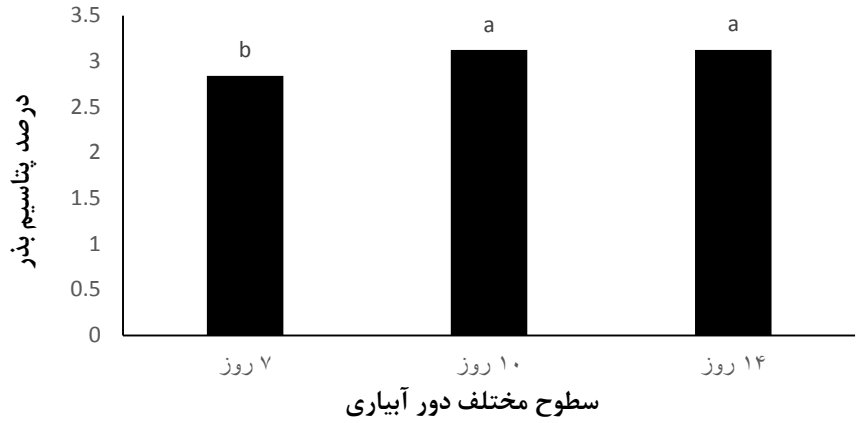


شکل ۴-۳۵- مقایسه میانگین درصد فسفر بذر تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار

۴-۵-۴ درصد پتاسیم بذر

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس پتاسیم بذر (جدول پیوست ۴-۸)، اثر دور آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد و اثر سوپرجاذب در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شدند. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که، درصد پتاسیم در دور آبیاری ۱۰ و ۱۴ روز باهم اختلاف معنی‌داری نداشتند و نسبت به دور آبیاری ۷ روز در سطح بالاتری قرار گرفتند (شکل ۴-۳۶).

پتاسیم جزو عناصر پرمصرف مورد نیاز گیاه است. که در گیاه بیش‌تر نقش کاتالیزور دارد و کمبود آن، مقاومت گیاه را در برابر آفات و بیماری‌ها کاهش می‌دهد. وجود پتاسیم در نگهداری آب بافت‌های گیاهی اهمیت خاصی دارد (ملکوتی، ۱۳۷۹) در مورد تجمع آن در هنگام تنش اسمزی، نتایج زیادی گزارش شده است (شابالا و همکاران، ۲۰۰۰؛ کیدامبی و همکاران، ۱۹۹۰). این کاتیون در تنظیم فشار اسمزی و کنترل روزنه‌ای نقش ایفا می‌کند (حمیدی و صفرنژاد، ۱۳۸۲).کاهش جذب پتاسیم توسط ریشه در نتیجه کاهش رشد ریشه باعث کاهش جذب این عنصر توسط گیاه ماش شد (جعفردخت و همکاران، ۱۳۹۴).



شکل ۴-۳۶- مقایسه میانگین درصد پتاسیم بذر تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری

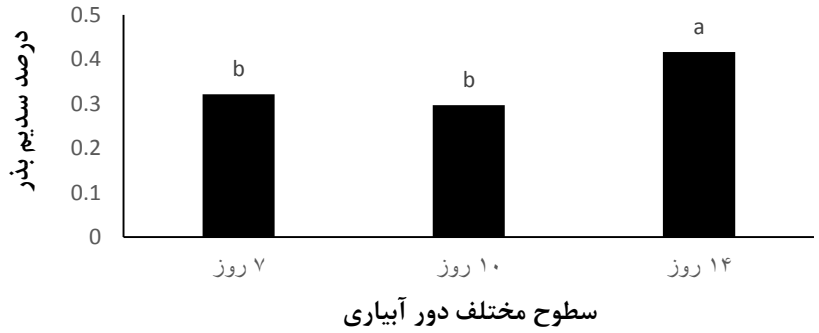
همچنین مقایسه میانگین سطوح سوپرجاذب نشان داد، مصرف سوپرجاذب باعث افزایش ۴/۱۴ درصدی درصد پتاسیم بذر نسبت به شرایط عدم مصرف سوپرجاذب شد (شکل ۴-۳۷). اثر بیوچار بر درصد پتاسیم بذر و سایر اثرات معنی‌دار نشد. سپاس‌خواه و یوسفی (۱۳۸۶) گزارش کردند که به کارگیری ترکیباتی با خصوصیت سوپرجاذب‌ها از طریق جلوگیری از هدرروی عناصر غذایی باعث جذب بیشتر عناصر و کودها شده و در نهایت موجب بهبود رشد گیاه می‌شوند.

در ارزیابی کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد و ذخیره عناصر غذایی در خیار گلخانه‌ای، مشاهده شد که با کاربرد سوپرجاذب ذخیره‌سازی عناصر افزایش یافت (عابدی کوهپایی و مسفروش، ۱۳۸۸). در بررسی چهارساله روی بیوچار و گیاه ذرت، گزارش شد که وجود بیوچار در ناحیه خشک کلمبیا باعث رشد بهتر و افزایش برخی عناطر غذایی این گیاه نسبت به شاهد شد. احتمالاً دلیل این افزایش می‌تواند همان حالت جاذب بودن بیوچار نسبت به آب و املاح باشد که به گیاه در شرایط سخت کمک می‌کند (ماجور و همکاران، ۲۰۱۰).

شکل ۴-۳۷- مقایسه میانگین درصد پتاسیم بذر تحت تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب

۴-۵-۵ درصد سدیم بذر

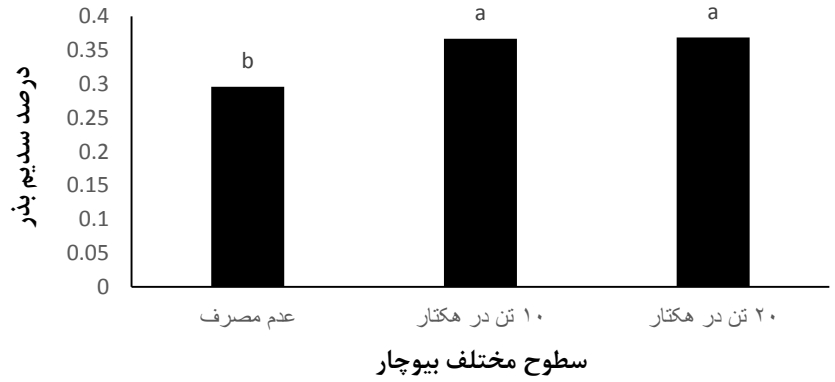
بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس سدیم بذر (جدول پیوست ۴-۴)، اثر دور آبیاری و اثر بیوچار در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردیدند. مقایسات میانگین نشان داد که دور آبیاری ۱۴ روز نسبت به دور آبیاری ۷ و ۱۰ روز، بالاترین سدیم بذر را دارد. دور آبیاری ۷ و ۱۰ روز در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۳۸). در زمان تنش خشکی، میزان سدیم در اندام‌های هوایی گیاه افزایش می‌یابد .یکی از مکانیسم‌های گیاه برای جلوگیری از سمیت ناشی از آن، خروج سدیم اضافی و یا به واکوئل فرستادن آن است که در نتیجه وجود سدیم در واکوئل، در صورت آنالیز برگ‌ها میزان سدیم در برگ‌های تنش دیده نسبت به شاهد بیشتر خواهد بود (مصلح‌آرانی و همکاران، ۱۳۹۱).



شکل ۴-۳۸- مقایسه میانگین درصد سدیم بذر تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری

مقایسه میانگین سطوح بیوچار نشان داد، مصرف ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار باهم اختلاف نداشتند و نسبت به عدم مصرف بیوچار در سطح بالاتری قرار گرفتند (شکل ۴-۳۹). اثر سوپرجاذب و اثرات دوگانه و اثر سه‌گانه معنی‌دار نشد. غلظت سدیم در اندام‌های هوایی در تیمار کاربرد بیوچار برنج (منصوری‌پور و همکاران، ۱۳۹۱) و بادام زمینی (آگگنهو و همکاران، ۲۰۱۵) نسبت به شاهد افزایش نشان داد.

سوکارتنو و همکاران (۲۰۱۱)، اعلام کردن که با کاربرد همزمان کود گاوی و بیوچار در خاک‌های شنی لومبورک درصد جذب عناصر در گیاه ذرت و حاصلخیزی خاک، افزایش قابل توجه‌ای داشته است. در کشاورزی در نواحی خشک، کاربرد موادی که جاذب رطوبت باشند و بتوانند آب را جذب و در زمان مورد نیاز به گیاه واگذار کنند، یکی از روش‌های بسیار مناسب برای جلوگیری از تنش آبی است. از این مواد می‌توان به ماده بیوچار که انواع مختلفی دارد اشاره کرد. این ماده باعث افزایش فرآهمی زیستی و جذب بیشتر نیتروژن توسط گیاهان می‌شود (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۳).



شکل ۴-۳۹- مقایسه میانگین درصد سدیم بذر تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار

۴-۶ نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش دور آبیاری از ۷ روز به ۱۰ و ۱۴ روز، صفات مورفولوژیک وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، وزن خشک پوسته، تعداد دانه در متر مربع، تعداد طبق در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک کاهش یافت. همچنین افزایش دور آبیاری باعث کاهش صفات فیزیولوژیک از جمله کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و پایداری غشاء و صفت کیفی درصد فسفر بذر شد. ولی درصد پتاسیم و سدیم بذر ، تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری افزایش یافتند. استفاده از بیوچار باعث افزایش عملکرد بیولوژیک، تعداد طبق در بوته، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، پایداری غشاء، درصد فسفر و سدیم بذر شد. کاربرد سوپرجاذب باعث افزایش تعداد طبق در بوته، عملکرد بیولوژیک، کلروفیل a، کلروفیل کل، پایداری غشاء و درصد پتاسیم بذر شد.

ضمناً در نتایج حاصل، اثر متقابل بیوچار × سوپرجاذب بر صفات وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، وزن خشک پوسته و عملکرد دانه معنی‌دار بود و باعث افزایش صفات ذکر شده گردید. همچنین اثر متقابل دور آبیاری × بیوچار بر پرولین و اثر متقابل دور آبیاری × بیوچار × سوپرجاذب بر صفات وزن خشک طبق، محتوای نسبی آب برگ و درصد روغن دانه معنی‌داری شد.

در یک نتیجه‌گیری کلی، نتایج این پژوهش نشان داد استفاده از بیوچار و سوپرجاذب تحت شرایط کم‌آبی، توانست به افزایش مقاومت گیاهان نسبت به خشکی و افزایش نگهداری آب در داخل خاک کمک کند. نتایج این بررسی نشان داد بیوچار توانست بیشترین تأثیر را بر روی صفات فیزیولوژیک داشته باشد و در شرایط کم‌آبی، با عملکرد بهتر در نگه‌داری آب و جلوگیری از شست و شوی عناصر غذایی، باعث بهبود تغذیه گیاه گلرنگ شود. همچنین سوپرجاذب توانست در شرایط کم‌آبی اثر مثبتی بر صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه گلرنگ داشته باشد.

۴-۷ پیشنهادات

۱. استفاده از بیوچار در مناطقی با آب و هوای خشک و کم آب و خاک‌هایی با آبشویی بالا، از نظر اینکه بیوچار تا چه حد می‌تواند مانع از شست و شوی عناصر غذایی شود.

۲. مقایسه اثر مقادیر مختلف سوپرجاذب بر روی گیاهانی با نیاز آبی بالا.

۳. مقایسه تأثیر توام بیوچار و سوپرجاذب، در شرایط آب و هوایی متفاوت بر روی سایر گیاهان.

۴. بررسی انواع مختلف سوپرجاذب به همراه بیوچار بر روی سایر گیاهان.

۵. مقایسه بیوچار با انواع دیگر اصلاح‌کننده‌های خاک، ازجمله کودهای آلی و بررسی اثر آن‌ها بر روی رشد گیاهان.

منابع

آخوندی، م.، صفرنژاد، ع. و لاهوتی، م. ۱۳۸۵. اثر تنش خشکی بر تجمع پرولین و تغییرات در عناصر در گونه‌های یزدی، نیک‌شهری و رنجر یونجه (*Medicago sativa L.*). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۰ (۱): ۱۶۵-۱۷۴.

ابوالحسنی، خ. و سعیدی، آ.م. ۱۳۸۵. بررسی صفات زراعی گلرنگ تحت دو رژیم آبیاری در اصفهان. دانشگاه اصفهان. مجله علمی منابع طبیعی. ۱۳(۴): ۵۴-۴۳.

احرار ، م .، دلشاد ،.م. و بابالار، و.م .۱۳۸۸ . بهبود کارایی مصرف آب و کود در کشت بدون خاک خیار گلخانه‌ای با استفاده از پیوند و پلیمر ابرجاذب. مجله علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۳ (۱): ۶۹-۷۷.

احمدی، ز.، عباس‌پور، ع و اصغری، ح. ر. ۱۳۹۳. بررسی اثر بیوچار و دو گونه قارچ مایکوریزا بر میزان فسفر قابل دسترس خاک تحت کشت ذرت. اولین همایش ملی بهداشت محیط، سلامت و محیط زیست پایدار. تهران.

احمدی، ع. و سی و سه مرده، ا. ۱۳۸۳. اثر تنش خشکی بر قندهای محلول، کلروفیل و پرولین در چهار رقم گندم سازگار با شرایط مختلف آب و هوایی در ایران. نشریه علمی کشاورزی ایران. ۳۵(۳): ۷۵۳-۷۶۳.

احمدی، م. ر. و امیدی، ا. ح. ۱۳۷۳. بررسی عملکرد دانه و تأثیر زمان برداشت بر میزان روغن ارقام بهاره و پاییزه گلرنگ. مجله علوم کشاورزی ایران. ۲۷(۴).

ارجی، آ. و ارزانی، ک. و ابراهیم زاده، م.ه. ۱۳۸۲. مطالعه کمی پرولین و قندهای محلول در پنج رقم زیتون در شرایط تنش خشکی. مجله بیوگرافی. ۱۶ (۴): ۵۹-۴۷.

ارجی، آ. و ارزانی، ک. ۱۳۸۲. بررسی پاسخ رشد و تجمع پرولین در سه رقم بومی زیتون ایرانی تحت تنش خشکی. مجله علمی منابع طبیعی طبیعت. ۱۰ (۲): ۱۰۱-۹۱.

امیدی، ا. ح. ۱۳۸۸. اثر تنش خشکی در مراحل رشدی مختلف بر عملکرد دانه و برخی ویژگی-های زراعی و فیزیولوژیکی سه رقم گلرنگ بهاره. مجله به زراعی نهال و بذر. ۲-۲۵(۱): ۱۵-۳۱.

امیدی تبریزی، ا.ه.، احمدی، م.ر.، شهسواری، م.ر. و کریمی، س. ۱۳۷۹. بررسی پایداری عملکرد دانه و روغن در برخی از ارقام گلرنگ. نهال و بذر. ۱۶: ۱۳۰-۱۴۵.

امیدی، ا.، اکبرلو، ح و صمدی فیروز آبادی، ب. ۱۳۹۳. گلرنک (خواص، انواع، ارقام، تولید و فرآوری). چاپ اول، انتشارات دانش‌نگار، ۱۲۸ صفحه.

انجم شعاع، س.، معین‌راد، ح. و ابراهیمی، ح. ۱۳۹۰. اثر سطوح متفاوت آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد چهار رقم نخود (*Cicer arietinum L.*) در شرایط آب و هوایی مشهد. نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران. ۲ (۲): ۶۹-۸۲.

بابائیان، م. ۱۳۸۷. اثر استفاده از محلول غذایی میکرو بر شاخص‌های کمی و کیفی آفتابگردان در سه مرحله خشکسالی. پایان نامه کارشناسی ارشد. وزارت کشاورزی. دانشگاه زابل. ۱۵۴.

بهدانی، م.آ. و موسوی‌فر، ب.ا. ۱۳۹۰. اثر کم‌آبیاری بر ماده خشک گیاه و انتقال مجدد در سه ژنوتیپ گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius L.*). مجله اکولوژی. ۳ (۳): ۲۷۷-۲۸۹.

بهدانی، م.ع. و جامی‌الاحمدی، م. ۱۳۸۸. عکس‌العمل ارقام گلرنگ بهاره به فواصل مختلف آبیاری در شرایط بیرجند. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۸(۲): ۳۱۵-۳۲۳.

پاسبان اسلام، ب. ۱۳۸۹. تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه و روغن ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۲(۲): ۲۷۵-۲۸۳.

پای‌گذار، ی. ۱۳۸۷. درصد مواد مغذی میکرو و ویژگی‌های کیفی ارزن در شرایط تنش خشکی. پایان نامه کارشناسی ارشد. وزارت کشاورزی. دانشگاه زابل. ۱۳۰.

پوراسماعیلی، پ.، حبیبی، د.، توسلی، ا.، مشهدی اکبر بوجار، م. و ثمربخش، س. ۱۳۸۴. بررسی استفاده از پلیمر سوپرجاذب آب بر روی صفات بیوشیمیایی ارقام مختلف لوبیا قرمز تحت تنش خشکی، یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران.

پورداد، س. س.، خ. علیزاده، ر. عزیزی‌نژاد، ع. شریعتی، م. اسکندری، م. خیاوی و ع. نباتی. ۱۳۸۷. بررسی مقاومت به خشکی گلرنگ‌های بهاره در مناطق مختلف. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲(۴۵): ۴۰۳-۴۱۵.

پیرسته انوشه، ه، امام، ی و جمالی رامین، ف. پاییز ۱۳۸۹. مقایسه اثر کودهای زیستی با کودهای شیمیایی بر رشد، عملکرد و درصد روغن آفتابگردان *(Helianthus annuss L.)* در سطوح مختلف تنش خشکی. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. جلد۲ شماره ۳. ۵۰۱- ۴۹۲.

توحیدی مقدم، ح. ر. ۱۳۸۸. بررسی اثرات اکوفیزیولوژیکی کاربرد سوپرجاذب در تحمل به تنش کم‌آبی ارقام بهاره کلزا در کشت زمستانه، پایان نامه دکترا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

جعفردخت، ر.، موسوینیک، س.م.، مهربان، ا. و بصیری، م. ۱۳۹۴. اثر تنش خشکی و محلول-پاشی عناصر کم‌مصرف بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی در گیاه ماش. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۸(۱): ۱۲۱-۱۴۱.

جلالی‌پور، س.، علیزاده آهنگر، ا.غ. و لکزیان، ا. ۱۳۹۲. تأثیر کاربرد بیوچار بر برخی خصوصیات کمی گیاه آفتابگردان *(Helianthus annuus L.)* در خاک‌های آلوده به کادمیوم. دانشگاه ازاد ساوه. دومین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی. ۱۴۲-۱۴۷.

جهان‌بین، ش.، طهماسبی روستانی، ز.، مدرس ثانوی، س.ع.م. و کریم‌زاده، ق. ۱۳۸۲. اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه، برخی از اجزای عملکرد و شاخص‌های مقاومت در ژنوتیپ‌های جو لخت. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۴: ۲۵-۳۳.

حاتم‌زاده، ح. ۱۳۸۷. تحلیل و مطالعه صفات مربوط به عملکرد دانه در گلرنگ. نهال و بذر، ۲۴: ۵۷۸-۵۶۳.

حبیبی، د. ۱۳۹۰. بررسی باکتری‌های محرک رشد، اثر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و سالیسیک اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در شرایط تنش خشکی. مجله پژوهش‌های به‌زراعی. ۳(۱): ۷۱-۸۷.

حبیبی، د.، شافعی، س.، محمودی، ع.، مشهدی اکبر بوجار، م.، اردکانی. م.، فتح اله طالقانی، د.، رفیعی، ح. و شکوری، م. ۱۳۸۵. بررسی تأثیر تنش کم‌آبی و کاربرد سلنیوم بر برخی از خصوصیات زراعی دو رقم سویا. مجله زراعت و اصلاح نباتات ایران. ۲(۱): ۶۴-۵۱.

حقیقت‌نیا، س. ۱۳۹۰. بررسی برخی صفات زراعی و عملکرد ارقام گلرنگ بهاره تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در شرایط ارومیه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه. ۱۷۴.

حمیدی، ح. و صفرنژاد، ا. ۱۳۸۲. بررسی خصوصیات مورفولوژیک و بیوشیمیایی یونجه (*Medicago sativa L.*) و بازسازی آن در برابر تنش اسمزی. پژوهشکده سازندگی. ۵۸: ۸۴-۸۹.

حیدری، ه. و اساد، م.ت. ۱۳۷۷. اثر رژیم آبیاری، کود نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد دانه رقم گلرنگ Zargan279 در ارسنجان. پنجمین کنگره علوم زراعی ایران. کرج. ۴۱- ۴۵.

خواجه‌پور، م .ر .۱۳۸۳ . گیاهان صنعتی، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان . ۵۶۴ صفحه.

خوشبخت، م.، سیادت، ع. پیرزاد، ع. فتحی، ق. و بخشنده، ع. ۱۳۸۸. تأثیر سوپرجاذب بر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب آنسیون تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات.

دادخواه، ن.، عبادی، ع.، پرمون، ق.، قلی‌پوری، ع. و جهانبخش، س. ۱۳۹۴. اثر تغذیه روی بر برخی صفات فیزیولوژیک نخود (*Cicer arietinum L.*) در تنش کم‌آبی. نشریه پژوهش‌های حبوبات در ایران. ۶(۲): ۵۹-۷۲.

دلشاد، م .، م. احرار و م. بابالار. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر اختلاط هیدروژل با بستر کشت بر رشد، عملکرد و کیفیت میوه خیار گلخانه‌ای . پیوندی و غیرپیوندی در سیستم هیدروپونیک. مجله علوم باغبانی ایران ۴۲-:(۱). ۲۹-۲۱.

ربیعی، ه.، داوری، م.ر .، مقیمی‌نژاد، س. و ارمغان، ف. ۱۳۹۲. بیوچار (ماده زیستی نیم‌سوز)، ماده اصلاح کننده خاک در کشاورزی پایدار. همایش ملی علوم و فنون کشاورزی. ۱۵: ۴۲-۳۴.

رجبی، ل.، ساجدی، ن.ع.، روشندل، م. ۱۳۹۲. واکنش عملکرد و اجزای عملکرد نخود دیم به اسید سالیسیلیک و پلیمر جاذب. مجله پژوهش‌های زراعی. ۴(۴): ۳۴۵-۳۵۵.

رحمانی، م.، حبیبی، د.، شیرانی راد، ا.ر.، دانشیان، ج.، ولدآبادی، ع.، بوجار، م.م. و خلعتبری، ا.ح. ۱۳۸۸. تأثیر پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز) و پایداری غشاء سیتوپلاسمی در گیاه دارویی خردل تحت تنش کم‌آبی)، فصلنامه علمی پژوهشی گیاه و زیست بوم.

رحیمی، آ.، عباسپور، ع.، اصغری، ح. ر.، قربانی، ه. ۱۳۹۵. پایان‌نامه ارشد: سینتیک جذب سطحی برخی عناصر آلاینده توسط دو نوع بیوچار سبوس برنج و برگ سنجد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

رستمی، م.، میرزایی، ر. و کافی، م. ۱۳۸۲. ارزیابی مقاومت به خشکی در چهار رقم گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) در مرحله جوانه‌زنی. هفتمین کنفرانس بین المللی در زمینه توسعه دیم. تهران.

روشن، ب. ۱۳۸۱. تأثیر مصرف سوپرجاذب بر افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی، دومین دوره تخصصی-آموزشی کاربد کشاورزی و صنعتی هیدروژل‌های سوپرجاذب. پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران. تهران.

زارع مهرجردی، م.، باقری، ع.، بهرامی، ا.، نباتی، ج. و معصومی، ع. ۱۳۹۱. تأثیر تنش خشکی بر خصوصیات فتوسنتزی، ترکیبات فنلی و ظرفیت مهار رادیکال‌های فعال ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum L.*) در محیط آبکشت. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۱۲(۳): ۵۹-۷۶.

زینلی، ا. ۱۳۷۸. گلرنگ (شناخت، تولید و مصرف). انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۴۴ ص.

سپاس‌خواه، ا.ر. و یوسفی، ف. ۱۳۸۶. تاثیر کاربرد زئولیت در حفظ نیترات و آمونیوم یک خاک لومی تحت شرایط اشباع. مجله حفاظت از خاک. ۴۵: ۳۶۸-۳۷۳.

سعید، ا.ا.م. و النادی، ا.ه. ۱۳۷۷. عملکرد سورگوم علوفه‌ای و راندمان مصرف آب تحت آبیاری متغیر. مجله علوم آبیاری. ۱۸: ۶۷-۷۱.

سیبی،م.، میرزاخانی، م. و گماریان، م. ۱۳۹۱. بررسی ناپایداری غشاء سلولی گلرنگ تحت تنش آبی، مصرف زئولیت و سالیسیلیک اسید. مجله زراعت و اصلاح نبات. ۸(۲): ۱۱۹-۱۳۶.

شاه‌حسینی، غ.ر.، ضفرانی، ح.ر.، سوری، م.ک. و پیراسته انوشه، ح. ۱۳۸۹. عملکرد نخود پابلند تحت تأثیر کود زیستی گوگرد، ازتوباکتر و سوپرجاذب. استفاده از کودهای بیولوژیک در باغبانی و کشاورزی پایدار. شیراز. ۳۴-۲۹.

صالح راستین، ن. ۱۳۸۰. کودهای بیولوژیک و نقش آن‌ها در راستای نیل به کشاورزی پایدار. مجموعه مقالات ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور (مجموعه مقالات). ۱-۵۴.

صباغ‌پور، س.ا.، محمودی، آ.ا.، سعید، ا.، کامل، م. و مالهوترا، ر.س. ۱۳۸۵. مطالعه بر روی میزان تحمل نخود تحت شرایط خشکسالی در مناطق خشک ایران. مجله هندوستان. ۱:۷۰-۷۳.

ضیف‌نژاد، م.، کلارک، ر.ب. و سالیوان، س.ی. ۱۳۷۶. تأثیر محلول‌پاشی آلومینیوم و تنش آبی بر رشد و میزان پرولین سورگوم. مجله گیاهان کارخانه‌ای. ۱۵۰: ۳۳۸-۲۴۴.

طهماسبی‌زاده، ح. مدنی، ح. فراهانی، ا. میرزاخانی، م. فرمهینی، ا. (۱۳۸۹). بررسی اثرات درجه حرارت، تراکم بوته و سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد روغن گلرنگ بهاره. مجله زراعت و اصلاح نباتات. جلد ۶، شماره ۲. ص (۵۴۵-۵۵۳).

عابدی بابا عربی، س.، موحدی دهنوی، م.، یدوی، ع.ر. و ادهمی، ا. ۱۳۹۰. تأثیر محلول‌پاشی روی و پتاسیم بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ در شرایط تنش خشکی. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۴(۱): ۷۵-۹۵.

عابدی کوپایی، ج. و کاظمی، ا. ۱۳۸۵. تأثیر پلیمر بر گیاه زیستی (Cuperssusarizonica) تحت رژیم کم‌آبیاری. مجله پلیمر ایران. (۹): ۷۱۵-۷۲۵.

عابدی کوپایی، ج . و م. مس فروش. ۱۳۸۸. ارزیابی کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد و ذخیره عناصر غذایی در خیار گلخانه‌ای. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۳(۲): ۱۰۰-۱۱۱.

عباس‌زاده، ب.، شریفی عاشور آبادی، آ.، لباس‌چی، م.ه.، نادری حاجی باقر کندی، م. و مقدمی، ف. ۱۳۸۶. اثر تنش خشکی بر میزان پرولین، قندهای محلول، کلروفیل و محتوای نسبی آب در گیاه بادرنجبویه. مجله پژوهشی عطر گیاهان ایران، ۲۳(۴): ۵۰۴-۵۱۳.

عبد میشانی، س. ۱۳۵۲. بررسی رژیم‌های مختلف آبیاری بر صفات گلرنگ در منطقه کرج. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تهران. کرج. ۱۸۳.

عسکر، م.، یزدان سپاس، ا.، ۱۳۸۹. ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم نان زمستانه و بینابین در شرایط آبیاری نرمال و تنش قطع آبیاری پس از مرحله گلدهی، مجله به‌نژادی نهال و بذر، ۲۶ (۳): ۳۱۳-۳۲۹.

عیوضی، ع.ر.، تقی‌خوانی، ح.، شیر علی‌زاده، ش.، رضایی، م. و موشوی انزابی، س.ح. ۱۳۹۱. ارزیابی عکس العمل ژنوتیپ‌های نخود به سطوح کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد با استفاده از شاخص‌های تحمل تنش. نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران. ۳(۱): ۸۱-۹۲.

غلامی‌زالی، ع.، احسان‌زاده، پ. و رزمجو، ج. ۱۳۹۴. تأثیر رژیم‌های آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام نخود در دو کشت پاییزه و بهاره در استان لرستان. علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۶(۱): ۱۳۵-۱۲۳.

فاضلی رستم‌پور، م.، ثقه الاسلامی، م.ج. موسوی، س.غ.ر. بهار .۱۳۸۹. بررسی تأثیر تنش خشکی و سوپرجاذب بر محتوی نسبی آب و شاخص کلروفیل برگ و رابطه‌ی آن‌ها با عملکرد دانه در ذرت. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز- سال دوم، شماره اول،. ۱۹-۳۱.

فاضلی رستم‌پور، م.، ثقه الاسلامی، م.ج. موسوی، س.غ.ر. ۱۳۹۰. اثر تنش و پلیمر (سوپرجاذب A200) بر عملکرد و کارآیی مصرف آب ذرت (*Zea mays L.*) در منطقه بیرجند. دانشگاه بیرجند. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۴(۱): ۱۱-۱۹.

فاضلی رستم پور،م.، ثقه الاسلامی، م.ج. موسوی، س.غ.ر. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر تنش خشکی و سوپرجاذب بر محتوای نسبی آب و شاخص کلروفیل برگ و رابطه‌ی آن‌ها با عملکرد دانه در ذرت. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۲(۱): ۱۹-۳۱.

فراست، م. ۱۳۸۷. واکنش صفات گیاهی چهار ژنوتیپ گلرنگ در شرایط تنش کمبود آب. یافته نوین کشاورزی. ۳(۱): ۶۷-۸۱.

فراست، م.، ساجدی، ن.ع. و میرزاخانی، م. ۱۳۸۹. تأثیر تنش خشکی بر خصوصیات زراعی و عملکرد ارقام گلرنگ. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. تهران. دانشگاه شهید بهشتی. ۲(۴): ۴۱۶۹ -۴۱۷۲.

فرجام، س.، جعفرزاده، م. و توشیح، و. ۱۳۸۳. بررسی اثرات سوپرجاذب و تراکم بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود دیم تلقیح شده با باکتری مزوایزوبیوم. دومین همایش ملی کشاورزی بوم شناختی ایران.

فرخی‌نیا، م.، رشدی، م.، پاسبان اسلام، ب. و ساسان دوست، ر. ۱۳۸۸. بررسی اثرات تنش خشکی بر عملکرد دانه و برخی صفات رویشی گلرنگ بهاره. مجله پژوهش در علوم زراعی. ۲(۵): ۱-۱۱.

فرخی‌نیا، م.، رشدی، م.، پاسبان‌اسلام، ب. و ساسان‌دوست، ر. ۱۳۹۰. بررسی برخی از ویژگی-های فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ بهاره تحت تنش کمبود آب. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۲(۳): ۵۴۵-۵۵۳.

فروزان، ک. ۱۳۷۶. گلرنگ. شرکت توسعه دانه‌های روغنی تحقیقات. انتشارات تهران، ایران. ۱۵۰.

قربانلی، م. و نیاکان، م. ۱۳۸۴. بررسی اثر تنش خشکی بر قندهای محلول، پروتئین، پرولین، ترکیبات فنل و فعالیت آنزیم ردوکتاز در گیاهان سویا رقم گرگان ۳. دانشگاه مجازی تربیت معلم. ۵: ۱، ۲. ۵۳۷-۵۵۰.

قدیری، م.، شریفان، ح.، هزارجریبی، ا.، حسام، م. و عبدالحسینی، م. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر سوپرجاذب استوکوزب در سه نوع بافت خاک سبک متوسط و نیمه‌سنگین. اولین همایش ملی چالش‌های منابع آب و کشاورزی. انجمن آبیاری و زهکشی ایران. دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان-اصفهان. ۲۰-۲۷.

کافی، م. و رستمی، م. ۱۳۸۶. بررسی عملکرد و اجزای عملکرد و درصد روغن سه رقم گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) در شرایط خشکسالی و آبیاری با آب شور. ایران. مجله پژوهش‌های زراعت و اصلاح نباتات. ۵: ۱۲۱-۱۳۱.

کافی، م. و رستمی، م. ۱۳۸۸. اثر تنش خشکی بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن ارقام گلرنگ در شرایط آبیاری با آب شور. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۵(۱): ۱۲۱-۱۳۲.

کارگر، م.، قنادها، م.ر.، بزرگی‌پور، ر.، خواجه احمد عطاری، آ.آ. و بابایی، ر. ۱۳۸۳. بررسی شاخص‌های تحمل خشکسالی در برخی از ژنوتیپ‌های سویا تحت آبیاری محدود. دانشگاه آزاد ساوه. همایش علمی زراعت. ۳۵(۱): ۱۴۲-۱۲۹.

کریمی، ا. ۱۳۸۰. بررسی اثر اصلاحی سوپرجاذب آب بر مصرف آب و رشد گیاه آفتابگردان. مجله بیابان‌زدایی ایران. ۶(۱): ۱۹-۳۱.

کریمی، ع. و نادری، م. ۱۳۸۶. عملکرد و کارایی مصرف آب در ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر پلیمر سوپرجاذب در خاک با بافت‌های مختلف. مجله پژوهش در کشاورزی. ۳: ۱۸۷ ۱۹۸.

کشاورز، ل.، فرحبخش، ح. و گلکار، پ. ۱۳۹۲. اثر هیدروژل و رژیم‌های آبیاری بر کلروفیل، نیتروژن و بعضی شاخص‌های رشد و عملکرد ارزن علوفه‌ای (*Pennisetum glaucum L.*). مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۳(۹): ۱۴۷-۱۶۰.

کیخانی، ف . ۱۳۸۰. بررسی اثر پلیمر سوپرجاذب رطوبت PR3005A بر میزان آب مصرفی و برخی خصوصیات کمی و کیفی گیاه کتان روغنی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

لطفی، ش.، عامریان، م .ر. و رحیمی، م. ۱۳۹۵. تأثیر کودهای بیولوژیک مایع بر عملکرد، اجزا عملکرد و صفات مورفولوژیک در نخود (*Cicer arietinum L.*) تحت تنش خشکی. سومین همایش یافته‌های نوین در محیط زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی. پژوهشکده انرژی‌های نو و محیط زیست. پژوهشگاه دانشگاه تهران. ۳۱۳-۳۱۷.

محسن‌نیا، ا. و جلیلیان، ج. ۱۳۹۱. اثر تنش خشکی و منابع کودی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*). نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. دانشگاه فردوسی مشهد. ۴(۳): ۲۳۵-۲۴۵.

محمدی، خ.، قلاوند، ا.، آقاعلیخوانی، م.، نوری، ف. و مدرس‌ثانوی، س.ع.م. ۱۳۸۹. تأثیر روش-های مختلف بهبود حاصل‌خیزی خاک بر رشد، عملکرد و تثبیت نیتروژن مولکولی در نخود (*Cicer arietinum L.*). نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی). ۱۰۱: ۶۷-۷۶.

مسلمی، ز.، حبیبی، د.، اصغر زاده، ا.، اردکانی م.ر.، محمدی، ع. و محمدی، م. ۱۳۸۸. بررسی اثر باکتری‌های محرک رشد و پلیمر سوپرجاذب بر مقاومت به خشکی ذرت. اولین همایش منطق‌های مدیریت منابع آب و خاک و نقش آن در کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس. ۱۴۷-۱۳۷.

مصلح آرانی، ا.، بخشی خانیکی، غ.ر. و حکیمی بافقی، ب.ع. ۱۳۹۱. بررسی توزیع سدیم، پتاسیم و پرولین در سه گونه خشکی‌زی رمس (*Hammada salicornia*)، اسکنبیل (*Calligonum polygonoides*) و سبط (*Stipagrostis pennata*) در استان یزد (شهرستان بافق). فصل‌نامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتفع و بیابان ایران. ۱۹(۴): ۵۸۱-۵۸۹.

مظفری، ک.، عرشی، ی. و زین علی، ح. ۱۳۷۵. بررسی تنش خشکی روی برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیک و عملکرد دانه آفتابگردان.مجله علوم زراعی. ۱۲(۳): ۲۴- ۳۳.

معراجی‌پور، م.، موحدی دهنوی، م.، دهداری، ا.، فرجی، ه. و معراجی‌پور، م. ۱۳۹۲. تأثیر تنش خشکی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی چهار رقم گلرنگ بهاره در منطقه یاسوج. مجله تنش های محیطی در علوم زراعی. دانشگاه بیرجند. دانشکده کشاورزی. ۵(۲): ۱۳۴-۱۲۵.

ملکوتی، م.ج. ۱۳۷۹. ضرورت تشخیص کلی روش مطلوب برنامه تولید کود مطلوب. دانشگاه تربیت مدرس. ۱۳۱.

منصوری‌پور، ی.، قاسمی، ی. و رونقی، ع.ا. ۱۳۹۱. اثر سه نوع بیوچار بر ترکیب شیمیایی یونجه در یک خاک آهکی آلوده به نفت خام. دومین کنگره علمی پژوهشی توسعه و ترویج علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست ایران. انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین. ۱-۵.

منصوری‌فر، س.، شعبان، م.، قبادی، م. و صباغ‌پور، س.ح. ۱۳۹۱. بررسی روند پر شدن دانه در ارقام نخود *(Cicer arietinum L.)* در شرایط تنش خشکی و استفاده از کود نیتروژن بعنوان استارتر. مجله پژوهش کشاورزی. ۱۰(۳): ۵۹۱-۶۰۲.

موحدی دهنوی، م. ۱۳۸۳. اثر محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف (روی و منگنز) بر عملکرد کمی و کیفی ارقام مختلف گلرنگ پاییز تحت تنش خشکی در اصفهان. پایان‌نامه دکتری در زمینه زراعت. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس. ۲۱۱.

موسوی‌فر، ب.ب.ا.، بهدانی، م.ع.، جامی الاحمدی، م. و حسینی بجد، م.س. ۱۳۸۹. اثر آبیاری محدود بر برخی صفات مورفولوژیک و عملکرد بیولوژیکی ارقام گلرنگ بهاره. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۳(۲): ۱۰۵-۱۱۴.

مهدوی، ب.، مدرس ثانوی، س. ع. م.، آقاعلیخانی، م.، شریفی، م و علوی اصل، س.ع. اثر محلول‌پاشی کیتوزان بر رشد و خصوصیات بیوشیمیایی گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) در شرایط تنش کم‌آبی. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. جلد ۱۲ ، شماره ۲ ، تابستان ۱۳۹۳ ، ص ۲۲۹-۲۳۵.

نادری درباغ شاهی،م.ر.، نور محمدی، ق.، مجیدی هروان، آ.، درویش، ف. و شیرانی راد، ا.م. ۱۳۸۳. بررسی پاسخ سه رقم گلرنگ به شدت تنش خشکی. دانشگاه بوعلی همدان. همایش علمی کشاورزی ایران. ۱۰(۴): ۱۴-۳.

نصراصفهانی، م. ۱۳۹۱. تأثیر تنش خشکی بر رشد و سیستم آنتی‌اکسیدان در سه رقم نخود. زیست شناسی گیاهی. ۵(۱۵): ۱۱۱-۱۲۴.

نصراصفهانی، م. ۱۳۹۲. تأثیر تنش خشکی بر رشد و سیستم آنتی‌اکسیدان در سه رقم نخود. زیست شناسی گیاهی. ۵(۱۵): ۱۱۵-۱۲۴.

نظرلی، ه.، زردشتی، م.ر.، درویش‌زاده، ر. و نجفی، س. ۱۳۸۹. اثر تنش آب و پلیمر بر بازده مصرف آب، عملکرد و برخی از صفات ظاهری آفتابگردان. اولین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی. ۲(۴): ۵۳-۵۸.

نبوی کلات، م.، کریمی، م.، نور محمدی، ق.، صدر آبادی، ر. و عزیزی، م.۱۳۸۴. تعیین مناسب-ترین تاریخ کاشت و تراکم گیاه در کشت پاییزه گلرنگ در منطقه جوین سبزوار. مجله علوم کشاورزی ایران. ۱۱(۴): ۱۴۵-۱۵۸.

نورانی آزاد، ح.، حاجی باقری ،م.ح.، فرشید کفیل‌زاده ، ف .، نجفیان، م. مطالعه برخی ویژگی-های فیزیولوژیکی و بیوشیمیائی یک رقم گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) به سمیت سرب. دانشگاه آزاد جهرم. فصلنامه علمی-پژوهشی گیاه و زیس بوم. سال ۷، شماره ۲۷، تابستان ۱۳۹۰. ۶۳-۷۴.

نیکنام، و.، رضوی، ن.، ابراهیم‌زاده، ح. و شریفی‌زاده، ب. ۱۳۸۵. اثر NaCl بر زیست توده، پروتئین و پرولین مطالب و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در نهال و سلول دو گونه *Trigonella Species*. مجله بیولوژی. ۵۰ (۴): ۵۹۱-۵۹۶.

وندکریمی، ع.، پوراسماعیل، م.، واعظی، ش. و ابراهیمی، آ. ۱۳۹۴. ارزیابی و مقایسه شاخص‌های تحمل خشکی در ژنوتیپ‌های نخود تیپ دسی با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۶(۲): ۱۶۹-۱۷۹.

هاشمی دزفولی، ا. ۱۳۷۳. رشد و عملکرد گلرنگ تحت تدثیر تنش خشکی. پژوهشکده زراعت و اصلاح نباتات. حصار. ۷ (۳): ۳۱۳-۳۱۹.

یونسی، ن. ۱۳۸۷. ارزیابی صفات روغن، کمی و کیفی در ارقام گلرنگ تولید شده در سال ۱۳۸۸. مجله آفتابگردان. ۲۷: ۱۱-۱۵.

Abel, G.H. 1976. Effects of irrigation regimes, planting date, nitrogen levels, and spacing on safflower cultivar. Agron. J. 68: 448-451.

Abulhashem, L, AminMajumdar, M. N. and Hossain, M. 1998. Drought stress on seed yield, yield attributes, growth, cell membrane stability and gas exchange of synthesized *Brassica napus L.* Crop Science. 180: 129-136.

Adesemoye, A.O. and Kloepper, J.W. 2009. Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. Applied Microbiology and Biotechnology. 85:1-12.

Agegnehu, G., M. Bass, A., N. Nelson, P., Muirhead, B., Wright, G. and I. Bird, M. 2015. Biochar and biochar-compost as soil amendments: Effects on peanut yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland, Australia. Agriculture, Ecosystems and Environment. 213: 72-85.

Agegnehu, G., I. Bird, M., N. Nelson, P. and M. Bass, A. 2015. The ameliorating effects of biochar and compost on soil quality and plant growth on a Ferralsol. Soil Research. 53: 1-12.

Akhtarbeg, H. and Pala, M. 2001. Prospects of safflower (*Carthamus tinctorius*) production in Dryland Areas of Iran. 5th International Safflower Conference, Montana, USA, 167-173.

Akhter, J., K. Mahmood, K.A. Malik, A. Mardan, M. Ahmad and M.M. Iqbal. 2004. Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. Plant Soil Environ. 50(10): 463-469.

Alessi, j., Power j.F., and Zimmerman, D.C. (2000). Effect of seeding date and population on water-use efficiency and safflower yield. Agronomy Journal, 73: 783-787.

Al-Harbi, A.R., A.M. Al-Omran, A.A. Shalaby and M.I. Choudhary. 1999. Efficacy of a hydrophilic polymer declines with time in greenhouse experiments. HortSci. 34(2): 223-224.

Anumpama, M.C., R. Singh Kumar, B.S. Parmar and A. Kumar. 2005. Performance of a new superabsorbent polymer on seedling and post planting growth and water use pattern of chrysanthemum grown under controlled environment. Acta Hort. 724: 43-50.

Arbona, V., D.J. Iglesias, J. Jacas, E. Primo-Millo, M. Talon and A. Gomez-Cadenas. 2005. Hydrogel substrate amendement alleviates drought effects on young citrus plants. Plant Soil 270(1): 73-82.

Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agron. J. 23: 112-121.

Ashraf, M., and Harris, P.J.C. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Sci. 166: 3-16.

Bassil, B.S., and Kaffka, S.R. 2002. Response of safflower (*Carthamus tinctorius L.*) to saline soils and irrigation. II Crop response to salinity. J. Agric Water Manag. 54: 81-92.

Bates, L. S., R. P. Walderen and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil. 39: 205-207.

Basu, M., Bhadoria, P.B.S., and Mahapatra, S.C. 2008. Growth, nitrogen fixation, yield and kernel quality of peanut in response to lime, organic and inorganic fertilizer levels. Bioresource Technol. 99: 4675-4683.

Beeck, E.H., Fettig, S., Knake, C., Hartig, K. and Bhattarai, T. 2007. Specific and Unsepecific responses of plants to cold and drought stress. J. Bio. Sci. 32: 501-510.

Benjamin, J.G. & Nielsen, D.C. 2006. Water deficit effects on root distribution of soybean, field pea and chickpea. Field Crops Research. 97: 248-253.

Blackwell P, Riethmuller G, Collins M .2009. Biochar application for soil. Chapter 12. In: Lehmann J, Joseph S (eds) Biochar for environmental management science and technology-Earthscan, London, PP 207-226.

Blum, A., and Ebercon, A. 1976. Genotypic responses in sorghum to drought stress. III. Free proline accumulation and drought resistance. Crop Sci Soc Am. 16: 428-431.

Blum, A and A. Ebercon. 1980. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. Crop Sci. 21: 43-47.

Bohnert, H.J. and Jensen, R.G. 1996. Strategies for engineering water stress tolerance in plants. Trends Biotechnol. 14: 89-97.

Bohnert, H.J., Nelson, D.E., and Jensen, R.G. 1999. Adaptations to environmental stresses. Plant Cell, 7: 1099-1111.

Brussard, L., and Ferrera-Cenato, R. 1997. Soil Ecology in Sustainable Agricultural Systems. New York: Lewis Publishers, USA.

Chan, K.Y.,Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A. and Joseph, S. 2007. Agronomic Dawnie , A. and Joseph, S. 2007. Agronomic Values of greenwaste biochar as a soil amendment , Australian Journal of Soil Research, vol 45, pp629-634.

Chapman, H.D. and Pratt, P.F. 1982. Method of plant analysis. I. method of analysis for soils, plants and water. Chapman publishers, riverside, CA.

Chaves, M. M. 1991. Effects of water deficits on carbon assimilation. J. Exp. Bot. 42: 1-16.

Cheng, C.-H., Lehman, J. and Engelhard, M. H. 2008. Natural Oxidation of black carbon in molecular from and surface change alonge a climosequence, Geochimica et cosmochimica Acta, vol 72, pp1598-1610.

Cornelissen, G., Martinsen, V., Shitumbanuma, V., Alling, V., Breedveld, G.D,. Rutherford, D.W., Sparrevik, M., Hale, S.E., Obia, A., Mulder, J. 2013. Biochar effect on maize yield and soil characteristics in five conservation farming sites in Zambia. Agronomy 3. 256–274.

Cornic, C., and Massacci, A. 1996. Leaf photosynthesis under drought stress. In Photosynthesis and Environment. Ed. Baker, N.R. Kluwer Academic Publish. Pp: 347-366.

Cox, W.J. and Julliof, G.D. 1986. Growth and yield of sunflower and soybean under water deficition. Agron. J. 78: 226-230.

Dornbos, D.L., Mullen, R.E., and Shibles, R.E. 1989. Drought stress effects during seed fill on soybean seed germination and vigor. Crop Sci. 29: 476-780.

During, H. 1992. Evidence for osmotic adjustment to drought in grapevines (*Vitis vinifera L.*). Vitis, 23: 1-10.

El-Hady, O.A. and Sh.A. Wanas. 2006. Water and fertilizer use efficiency by cucumber grown under stress on sandy soil treated with acrylamide hydrogels. Appl. Sci. Res. 2(12): 1293-1297.

Efthimiadoua, A., Bilalis, D., Karkanis, A., Froudwilliams, B., Eleftherochorinos, I. 2009. Effects of cultural system (organic and conventional) on growth, photosynthesis and yield components of sweet corn (*Zea mays L.*) under semi-arid anvironment. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. . 37 (2): 104-111.

Egli, D.B., Meckel, L., Phillips, R.E., Radeliffe, D., Legett, J.E. 1983. Moisture stress and N redistribution in soybean. Agron. J. 75: 1027-1031.

Flexas, J., A. Diaz-Espejo, J. Galmes, R. Kaldenhoff, H. Medrano and M. Ribas-Carbo. 2007. Rapid variations of mesophyll conductance in response to changes in CO2 concentration around leaves. Plant Cell Environ. 30:1284-1298.

Flexas, J., J. Bota, F. Loreto, G. Cornic and T. D. Sharkey. (2004). Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. Plant Biol. 6: 1-11.

Flexas, J., Ribas-Carbo, M., Diaz-Espejo, A., Galmes, J., and Medrano, H. 2008. Mesophyll conductance to CO2: current knowledge and future prospects. Plant. Cell. Environ. 31: 602-621.

Gaskin, J.W., Speir, R.A., Harris, K., Das, K., Lee, R.D., Morris, L.A., Fisher, D.S. 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. Agron. J. 102 (2): 623–633.

Grant, C., Bittman, S., montreal, M., Plenchette, C. and Morel, C. 2005. Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant P supply and mycorrhizal development. Can. J. Plant Sci. 85: 3-14.

Gryndler, M., Sudova, R., and Rydlova, J. 2008. Cultivation of high-biomass crops on mine spoil banks: Can microbial inoculation compensate for high doses of organic matter? Bioresource Technol. 99: 6391-6399.

Gzik, A. 1996. Accumulation of proline and pattern of α-amino acids in sugar beet plants in response to osmotic, water and salt stress. Environ and Exp Bot. 36: 1. 29-38.

Hang, I. N. and Evans, D. W. 1985. Deficit sprinkler irrigation of sunflower and sufflower. Agronomy Journal. 77:588-592.

Hayashi, H. and Hanada, K. 1985. Effects of soil water deficit on seed yield and yield components of safflower. Japanese Journal of Crop Science. 54: 346-352.

Heerden, P. D. R., Swanepoel, J. W. & Kr¨uger, G. H. J. 2007. Modulation of photosynthesis by drought in two desert scrub species exhibiting C3-mode CO2 assimilation. Environmental and Experimental Botany. 61: 124-136.

Hissao, T. 1973. Plant responses to water stress. Ann. Rev. Plant Physiol. 24: 519-570. Ingram, J., and Bartels, D. 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. Ann. Rev. Plant Physiol. and Molecu. Bio. 47: 377-403.

Hinds, A. and Lowe, L.E. 1980. Application of the Berthelot reaction to the determination of ammonium-N in soil extracts and soil digests. Commune. Soil Sci. Plant Anal. 11: 469-475.

Johnson, M. S. and J. Woodhouse. 1990. Effect of superabsorbent polymers on efficiency of water use by crop seeding. Science of Food and Agriculture Journal. 52: 431-434.

Ingram, J., and Bartels, D. 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. Ann. Rev. Plant Physiol. and Molecu. Bio. 47: 377-403.

Kaffka, R.S, and T.E. Kearney. 1998. Safflower production in California. University of California, Agriculture and natural Resource Pub. , USA.

Kader, M.K., Mmian, H., and Hoyue, M.S. 2002. Effects of azotobacter inoculants on the yield and nitrogen uptake by wheat. Journal of Biological Sciences 2: 250 – 261.

Kawamitsu Y., T. Driscoll and J. S. Boyer. (2000). Photosynthesis during desiccation in an intertidal alga and a land plant. Plant Cell Physiol. 41: 344-353.

Kidambi, S., Matches, P.A.G., and Bolger, T.P. 1990. Mineral concentration in alfalfa and sainfoinas influenced by soil moisture level. Agron. J. 82: 229-239.

Kumar, A., and Singh, D. P. 1994. Influence of water stress on photosynthesis, transpiration water use efficiency /and yield of Brassica Juncea L. Field Crop Research 37:95-101.

Kundu, P. B and N. K. Paul. 1997. Effect of water stress on chlorophyl, proline and sugar accumulation in rape (*Brassica campestris L.*). Bangladesh Journal of Botany. 26:1. 83- 85.

Lawlor, D. W. and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant Cell Environ. 25: 275-294.

Lehmann, J., (2007). Bio-Energy in the Black. Frontiers in Ecology and the Environment. 5(7): p. 381-38.

Lehmann, J., M.C. Rillig, J. Thies, C.A. Masiello, W.C. Hockaday, and D. Crowley. 2001. Biochar effects on soil biota: A review. Soil Biology and Biochemistry, 43: 1812-1836.

Lehmann, J., Gaunt, J., Rondon, M. (2006) .Biochar sequestration in terrestrial ecosystems a review. Mitigation and Adaption Strategies for Global Change 11: 403-427.

Lehman J, Rondon M .2006. Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. In: Uphoff N et al. (eds) Biological approaches to sustainable soil systems. CRC press, Boca raton, FL, pp. 517-530.

Levitt, J. 1980. Responses of plants to environment stresses. Water, Radiation, salt and other stresses. Academic Press. New York. 2. 607 PP.

Lewis, D.C., and Macfalane, J.D. 1986. Effect of foliar applied manganese on the growth of safflower (*Carthamus tinctorious* L.) and the diagnosis of manganes deficiency by plant tissue and seed analysis. Aust. J. Agri. Res., 37: 567-572.

Liang, F., Li, G.-t., Lin, Q.-m., Zhao, X.-r. 2014. Crop yield and soil properties in the first 3 years after biochar application to a calcareous soil. J. Integr. Agric. 13. 525–532.

Liang, R. and Liu, M.Z. 2006. Preparation and properties of a double- coated slow-release and water-retention urea fertilizer. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 54: 1392-1398.

Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S., Lehmann, J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. Plant Soil 333. 117–128.

Malhotra, R.S., Singh, K.B. and Saxena, M.C. 1997. Effect of irrigation on winter-sown chickpea in a Mediterranean environment. Journal of Agronomy and Crop Science. 178: 237-243.

Mao, S., Islam, M.R., Xue, X., Yang, X., Zhao, X., Hu. Y. 2011. Evaluation of a watersaving superabsorbent polymer for corn (*Zea mays L.*) production in arid regions of Northern China. African J. Agric. Res. 6(17): 4108-4115.

Martyn, W. and P. Szor. 2001. Influence of superabsorbents on the physical properties of horticultural substrates. Intl. Agrophys. 15: 87-94.

Mia, S., van, G., roenigen, J., Van, de, V., oorde, T., Oram, N., Bezemer, T., Mommer, L,. Jeffery, S. 2014. Biochar application rate affects biological nitrogen fixation in red clover conditional on potassium availability. Agric. Ecosyst. Environ. 191: 83–91.

Mishra, P and Patel, R .2009, Use of agricultural waste for the removal of nitratenitrogen from aqueous medium. Journal of Environmental Management, 90(1): p. 519-522.

Monakhova, O. F. and Chernyadev, I. I. 2002. Protective role of kartolin-4 in wheat plants exposed to soil drought. Applied Environmental Microbiology. 38: 373-380.

Monnig, S. 2005. Watter saturated super- absorbent polymers used in high strength concrete. Otto- Graf- Journal 3. 16, 193-202.

Moran, J.F., Becana, M., Ormaetxe, I.I., Frechilla, S.L., Klucasc, R.V., and Tejo, D.A. 1994. Drought induces oxidative stress in pea plants. Plant. 194: 346-352.

Oram, N.J., van, de, V., oorde, T.F., Ouwehand, G.-J., Bezemer, T.M., Mommer, L,. Jeffery, S., Groenigen, J.W.V. 2014. Soil amendment with biochar increases the competitive ability of legumes via increased potassium availability. Agric. Ecosyst. Environ 191. 92–98.

Paseban Islam, B. 2001. Safflower. East Azarbayejan Jahade Keshavarzi, 694: 1-2.

Patel, P. G., and Patel, Z .G. 1996. Effect of irrigation methods and levels on seed yield and quality of safflower. Journal of Oilseed Research. 13: 53 -55.

Parry, M.A.J., Andraloje, P.J., Khan, S., Lea, P.J. and Keys, A.J. 2002. Rubisco activity: Effects of drought stress. Annals of Botany. 89: 833- 839.

Quilliam, R.S., DeLuca, T.H., Jones, D.L. 2013. Biochar application reduces nodulation but increases nitrogenase activity in clover. Plant Soil 366. 83–92.

Rai, S.N., and Gaur, A.C. 1988. Characterization of Azotobacter spp. Effect of Azotobacter and Azospirillum as inoculant on the yield and N-uptake of wheat crop. Plant and Soil 34: 131-134.

Ritchie S. W., and Nguyen H. T. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two Weat genotypes differing in drought resistance. Crop sience, 30: 105-111.

Sairam R.K., Siiukla D.S. and Saxsena D.C. 1997. Stressed induced injury and antioxidant enzymes in relation to drought tolerance in wheat genotypes. Biol. Plant arum. 40(3): 357- 364.

Samarah. N. H., A. M. Alqudah, J. A. Amayreh., and G. M. McAndrews. 2009. The effect of late-terminal drought stress on yield components of four barley cultivars. Journal of Agronomy and Crop Science. 195:427-441.

Sanchez, F.J., De Andres, E.F., Tenorio, J.L., and Ayerbe, L. 2003. Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum L.*) subjected to water stress. Field Crop Res. 86: 81-90.

Sanchez, J., M. Manzanares, E. F. de Andres, J. L. Tenorio and L. Ayerbe. (1998). A turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. Field Crops Res. 59: 225-235.

Sanitata, L., and Gabbriella, R. 1999. Response to Cd in higher plants-Review. Envi Exp Bot. 45: 105-130.

Senaratna, T., C. Mackay, B. Mckersie, R. Fletcher. 1988. Uniconazole-induced chilling tolerance in tomato and its relationship to antioxidant content. J. Plant physiol. 133: 56-61.

Syvertsen, J.P. and J.M. Dunlop. 2004. Hydrophilic gel amendements to sandy soil can increase growth and nitrogen uptake efficiency of citrus seedling. HortSci. 39(2): 267-271.

Shabala, S., Babourina, O., and Newman, L. 2000. Ion-specific mechanisms of osmo-regulation in bean mesophyll cells. J. Exp Bot. 51: 1243-1253.

Singh, V. D., Verma, S. K. and Singh, B. L. 1990. Effect of irrigation and phosphorus on safflower (*Carthamus tinctorious*) yield in Rajasthan. Indian Journal of Agricultural Science. 40: 644-647.

Singh, V. D., Shamrma, S. K., and Verma, B. L. 1995. Response of safflower to irrigation and phosphorus. India Journal of Agronomy. 40: 459-464.

Sohi, S. P. E., Krull, Lopez-capel, E., and Bol, R. 2010. A Review of Biochar and lts use and Function in soil. Advance in Agronomy, 10: 47-82.

Solaiman, Z.M., Murphy, D.V., Abbott, L.K. 2012. Biochars influence seed germination and early growth of seedlings. Plant Soil 353. 273–287.

Sukartono, W.H.U., Kusuma, Z., Nugroho, W.H. 2011. Soil fertility status, nutrient uptake, and maize (*Zea mays L.*) yield following biochar and cattle manure application on sandy soils of Lombok, Indonesia. J. Trop. Agric. 49 (1–2): 47–52.

Tejo, P.A., and Santos-Diaz, M. 1987. Nodule and leaf nitrate reductase and nitrogen fixation in Medicago sativa L. under water stress. Plant Physiol. 69: 479-482.

Tesfay, K., Walker, S., Tsubo, M. 2006. Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in semi-arid conditions. Europ. J. Agron. 25: 60-70.

Vaccari, F., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F., Miglietta, F. 2011. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. Eur. J. Agron. 34 (4): 231–238.

Wanichpongpan, P., K. Suriyachan and S. Chandrkrachang. 2001. Effect of Chitosan on the growth of Gerbera flower plant (*Gerbera jamesonii*). P. 198-201. In: T. Uragami et al. (ed.) Chitin and Chitosan in Life Science. Yamaguchi. Japan.

Widiastuti, N., Wu, H. Ang, M. and Zhang, D.K. 2008. The potential application of natural zeolite for greywater treatment. Des alienation. 218: 271- 280.

Wu, R., and Garg, A. 2003. Engineering rice plants with trehalose producing genes improves tolerance to drought, salt and low temperature. ISB News.

Wu, L., Liu, M., Liang, R., 2008. Preparation and properties of a double-coated slow-release NPK compound fertilizer with superabsorbent and water-retention. Biores. Technol. 99, 547-554.

Zarco-Tejada, P.J., Miller, J.R., Mohammad, G.H., Noland, T.L., and Sampson, P.H. 2000. Chlorophyll fluorescence effects on vegetation apparent reflectance. Remo. Sens. Environ. 74: 596-608.

Zhao, G.Q., Ma, B.L., and Ren, C.Z. 2007. Growth, Gas Exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. J. Crop Sci. 41: 123-131.

Zheng, H., Wang, Z., Deng, X., Herbert, S., Xing, B. 2013. Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. Geoderma 206. 32–39.

Zlatev ZS and Yordanov IT (2004). Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. Bulg.J.Plant Physiol. 30: 3-18.

Zobayed SMA, Afreen F and Kozai T (2007) Phytochemical and physiological changes in the leaves of St. Johns wort plants under a water stress condition. Environmental and Experimental Botany 59:109-116.

پیوست

جدول ۴-۱- نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر ارتفاع بوته و قطر ساقه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		ارتفاع بوته	قطر ساقه
تکرار	۲	۴۴/۴۸۲	۰/۰۰۵
دور آبیاری (A)	۲	۶۳/۱۲۶	۰/۰۰۶
اشتباه اصلی	۴	۷۸/۷۶۲	۰/۰۰۴
بیوچار (B)	۲	۱۸/۷۵۵	۰/۰۰۱
AB	۴	۲۸/۶۵۴	۰/۰۰۲
سوپرجاذب (C)	۱	۱۷/۵۱۰	۰/۰۰۸
AC	۲	۶/۱۳۵	۰/۰۰۱
BC	۲	۳۵/۹۶۱	۰/۰۰۵
ABC	۴	۱۰/۲۹۳	۰/۰۰۲
اشتباه فرعی	۳۰	۲۲/۸۱۸	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات A (٪)	-	۱۷/۶۸	۸/۷۷
ضریب تغییرات BC (٪)	-	۹/۵۲	۷/۰۴

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

جدول ۴-۲- نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر وزن خشک ساقه، پوسته و طبق

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		وزن خشک ساقه	وزن خشک پوسته	وزن خشک طبق
تکرار	۲	۲۸/۲۶۹	۰/۶۵۶	۷۳۵/۴۱۷
دورآبیاری (A)	۲	۲۰۲۴/۱۱۴*	۵۸۷/۰۳۸*	۳۳۷۸/۰۶۵*
اشتباه اصلی	۴	۱۴۵/۸۵۲	۸۹/۶۲۲	۴۰۲/۷۲۷
بیوچار (B)	۲	۵۷۶/۴۱۲**	۱۸۵۲/۴۰۳**	۱۰۰۱۴/۵۳۲**
AB	۴	۸۸/۲۷۱	۱۲/۰۷۶	۴۶۹/۸۱۹**
سوپرجاذب (C)	۱	۹۴/۳۵۴	۷۷۵/۳۵۸**	۴۳۶۲/۸۴۷**
AC	۲	۱۵۴/۵۰۴	۴۸/۱۸۳	۱۳۹۰/۰۴۲**
BC	۲	۲۵۱/۸۹۷*	۱۵۰/۹۰۲*	۵۲۷/۷۸۴*
ABC	۴	۴۳/۰۰۱	۳۳/۰۸۴	۳۳۴/۴۶۶*
اشتباه فرعی	۳۰	۷۹/۳۷۹	۳۲/۲۰۴	۱۱۷/۲۳۶
ضریب تغییرات A (٪)	-	۲۵/۴۳	۳۰	۲۵/۳۸
ضریب تغییرات BC (٪)	-	۱۸/۷۶	۱۸/۸۹	۱۳/۷۰

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

جدول ۴-۳- نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر تعداد دانه در متر مربع، وزن هزاردانه و عملکرد بیولوژیک

		میانگین مربعات		
منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد دانه در متر مربع	وزن هزار دانه	عملکرد بیولوژیک
تکرار	۲	۱۰۹۵۹/۲۶۶	۹/۴۶۶	۳۳۳۴۷/۸۸۹
دورآبیاری (A)	۲	۵۸۹۲۷/۱۳۱**	۵۳/۰۲۳*	۹۴۱۱۳۶/۶۴۷*
اشتباه اصلی	۴	۲۹۹۱/۸۸۶	۷/۴۴۷	۵۹۷۲۹/۴۶۰
بیوچار (B)	۲	۱۳۱۷/۹۸۳	۴/۱۰۹	۸۸۰۳۴۱/۰۷۰**
AB	۴	۸۸۵/۹۳۱	۱/۹۸۳	۱۷۷۱۲/۸۴۸
سوپرجاذب (C)	۱	۱۶۷۷/۲۴۰	۰/۳۳۴	۱۶۶۵۰۰/۰۰۸*
AC	۲	۶۴۲۰/۷۳۴	۴/۰۲۸	۳۲۳۷۷/۳۹۷
BC	۲	۶۲۶۶/۲۶۲	۰/۳۴۳	۵۵۲۵۹/۶۹۳
ABC	۴	۳۰۳۶/۴۹۹	۳/۸۸۲	۱۲۲۷۲/۲۷۷
اشتباه فرعی	۳۰	۲۸۴۵/۰۹۳	۲/۷۸۶	۲۵۶۹۵/۰۷۶
ضریب تغییرات A (٪)	-	۱۹/۳۹	۷/۵۵	۲۰/۵۶
ضریب تغییرات BC (٪)	-	۱۸/۹۱	۴/۶۲	۱۳/۴۹

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

جدول ۴-۴- نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر پرولین و سدیم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		پرولین	سدیم
تکرار	۲	۱۶/۹۱۶	۰/۰۰۹
دور آبیاری (A)	۲	۱۶۰۵۱/۵۹۹**	۰/۰۷۱**
اشتباه اصلی	۴	۳۱/۷۰۰	۰/۰۰۴
بیوچار (B)	۲	۲۸۷/۰۳۸**	۰/۰۳۱**
AB	۴	۷۲/۰۰۷**	۰/۰۰۲
سوپرجاذب (C)	۱	۱۳/۶۲۰	۰/۰۰۳
AC	۲	۳/۱۹۱	۰/۰۰۱
BC	۲	۴/۸۰۱	۰/۰۰۶
ABC	۴	۱/۴۰۰	۰/۰۰۲
اشتباه فرعی	۳۰	۵/۴۵۲	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات A (٪)	-	۱۳/۵۱	۱۸/۶۰
ضریب تغییرات BC (٪)	-	۵/۶۱	۱۲/۵۲

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

جدول ۴-۵- نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر وزن خشک برگ، تعداد طبق در بوته و عملکرد دانه

		میانگین مربعات		
منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک برگ	تعداد طبق در بوته	عملکرد دانه
تکرار	۲	۲۵۳/۵۵۹**	۱۰/۰۷۴*	۱۳۰۰۸۰/۳۸۱
دور آبیاری (A)	۲	۸۰۵/۷۵۷**	۳۶/۶۵۹**	۸۳۶۰۱۲/۵۱۳**
بیوچار (B)	۲	۸۱۸/۵۰۹**	۲۷۷/۷۴۱**	۳۵۷۱۱۳/۰۷۴**
AB	۴	۸۲/۰۴۱	۳/۸۰۶	۲۰۵۶۴/۸۲۳
سوپرجاذب (C)	۱	۱۰/۵۳۴	۳۰/۶۷۶**	۱۲۸۴۸۶/۵۲۳*
AC	۲	۱۰/۵۹۵	۰/۰۴۵	۱۰۲۹۵/۵۱۵
BC	۲	۱۴۴/۰۵۳	۴/۴۷۹	۱۹۳۶۰۱/۳۵۸**
ABC	۴	۱۲/۵۲۹	۲/۵۶۸	۴۰۸۴۳/۲۶۰
اشتباه	۳۴	۳۷/۳۷۴	۳/۴۲۳	۳۲۳۷۳/۵۰۴
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۴/۸۰	۱۵/۱۹	۱۷/۲۹

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

جدول ۴-۶- نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
تکرار	۲	۰/۳۰۵**	۰/۰۲۳	۰/۴۴۶**	۰/۰۰۸*
دور آبیاری (A)	۲	۰/۱۱۰**	۰/۰۸۸**	۰/۳۹۳**	۰/۰۲۴**
بیوچار (B)	۲	۰/۹۰۶**	۰/۱۱۶**	۱/۶۶۵**	۰/۰۳۳**
AB	۴	۰/۰۰۵	۰/۰۱۲	۰/۰۲۸	۰/۰۰۲
سوپرجاذب (C)	۱	۰/۲۲۳**	۰/۰۱۰	۰/۳۳۰**	۰/۰۰۴
AC	۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۸	۰/۰۱۰	۰/۰۰۲
BC	۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
ABC	۴	۰/۰۱۱	۰/۰۰۵	۰/۰۲۹	۰/۰۰۰
اشتباه	۳۴	۰/۰۱۸	۰/۰۰۸	۰/۰۲۲	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات (٪)	-	۹/۰۲	۱۹/۰۱	۷/۷۱	۲۵/۲۲

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

جدول ۴-۷- نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر پایداری غشاء پلاسمایی و محتوای نسبی آب برگ

		میانگین مربعات	
منابع تغییر	درجه آزادی	پایداری غشاء پلاسمایی	محتوای نسبی آب برگ
تکرار	۲	۱۷۹/۱۷۵	۱۹/۷۶۴
دور آبیاری (A)	۲	۱۱۱۲/۶۵۴**	۲۷۹۴/۲۹۰**
بیوچار (B)	۲	۵۰۹/۷۱۹**	۲۷۹۱/۹۸۷**
AB	۴	۹۲/۸۰۸	۱۸/۲۳۷
سوپرجاذب (C)	۱	۵۵۱/۴۲۵*	۱۰۱/۷۰۹*
AC	۲	۶۲/۷۴۹	۱۳۶/۹۴۹**
BC	۲	۸۷/۶۸۱	۱۱/۵۶۶
ABC	۴	۱۳/۶۹۳	۲۴۷/۸۴۷**
اشتباه	۳۴	۸۵/۷۱۳	۲۱/۵۹۷
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۸/۳۰	۶/۲۲

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

جدول ۴-۸- نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر درصد پروتئین، روغن، فسفر، پتاسیم بذر

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		پروتئین دانه	روغن دانه	فسفر	پتاسیم
تکرار	۲	۱۴/۴۲۱	۰/۱۳۳*	۱۸۳/۸۷۲**	۰/۰۷۱
دور آبیاری (A)	۲	۱/۲۵۰	۷۹/۸۳۸**	۱۷۹/۱۵۱**	۰/۴۷۸**
بیوچار (B)	۲	۰/۶۸۵	۱۷/۸۵۳**	۱۲۰/۱۰۲**	۰/۰۲۶
AB	۴	۴/۰۷۵	۰/۷۱۹**	۴/۲۲۵	۰/۰۳۷
سوپرجاذب (C)	۱	۰/۰۹۴	۷۱/۷۶۰**	۱/۵۶۴	۰/۲۰۳*
AC	۲	۲/۹۸۹	۲/۵۳۰**	۱۲/۱۶۵	۰/۰۰۱
BC	۲	۲/۵۴۷	۱/۸۴۵**	۱۸/۵۲۴	۰/۰۴۸
ABC	۴	۱/۸۹۱	۱/۶۶۶**	۱۴/۲۵۶	۰/۰۴۴
اشتباه	۳۴	۱/۹۶۸	۰/۱۱۰	۶/۹۸۷	۰/۰۲۵
ضریب تغییرات (٪)	-	۷/۳۵	۱/۲۴	۱۵/۸۷	۵/۲۴

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

Effect of Biochar and superabsorbent on growth of safflower plant under drought stress

Drought is one of the abiotic stresses that limit plant growth and crop production. In the last decade, drought especially in Iran has made the development and use of water preservation systems a necessity. Among agricultural plants, safflower which is resistant against salty and dry conditions and also produces high quality, pharmaceutical oils. In order to evaluate influence of biochar and super absorbent on some morphological and physiological characteristics of safflower 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 level of drought were assigned as a major factor (7, 10 and 14 days irrigation periods) and bochar treatment (0.10.20 ton per hectare) as the first sub-factor and superabsorbent treatments (with and without) as the second sub-factor. Results showed that, the effect of drought stress on phosphorus and sodium in seeds was significant. Also biochar and superabsorbent treatments had significant effects on biological yield, boll count. Plant pigments, membrane stability and percentage of potassium in seeds. With increased irrigation, proline content and the percentage increase in potassium and chlorophyll content decreased. Interaction effect of biochar and superabsorbent significantly increased dry weight of stem, leaves, membranes and seed performance. Also interaction of drought and biochar significantly increased proline levels while interaction of drought and superabsorbent the dry weight of bolls, relative water content in the leaves, and oil percentage in the seeds. In conclusion, biochar and superabsorbent had the highest impact on physiological characteristics of the plant in drought conditions and caused an increase in the ability to maintain of the moisture levels which resulted in improved growth and nutrition of the safflower plant.

Key word: oil seeds, Oil percentage, proline, safflower, seed yield.

Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture

Department of agronomy

Effect of Biochar and superabsorbent on growth of safflower plant under drought stress

By:

Shirin Goodarzian

Supervisors:

Dr. Mohammad Reza Ameriyan

Dr. Hamid Reza Asghari

Advisors:

Eng: Mehdi rahimi

July 2017