تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد سیزدهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۹
۱۶۹-۱۵۵
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.1823.1426

مقاله پژوهشی

تأثیر کاربرد بیوچار، پرایمینگ و محلول‌پاشی با آب و سالیسیلیک اسید بر عملکرد و صفات فیزیولوژیکی گلرنگ در شرایط دیم

عبداله ساجدی[۱]، نورعلی ساجدی[۲*]
۱. گروه شناسایی و مبارزه با علف‌های هرز، باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۸/۱۲

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر مصرف بیوچار و پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی با آب و سالیسیلیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد روغن گلرنگ در شرایط دیم، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک اجرا شد. عوامل مورد آزمایش شامل بیوچار حاصل از چوب، شاخه و برگ درختان جنگلی در سه سطح عدم مصرف، ۵ و ۱۰ تن در هکتار، پرایمینگ بذر در سه سطح بدون پرایمینگ، پرایمینگ بذر با آب مقطر و پرایمینگ بذر با ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی در دو سطح محلول‌پاشی با آب و یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بودند. نتایج نشان داد که مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار و پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید میزان آب حفظ‌شده برگ را نسبت به شاهد به میزان ۲۴/۹ درصد افزایش داد. کاربرد ۵ تن در هکتار بیوچار میزان نشت یونی سلول را نسبت به شاهد به میزان ۱۵ درصد کاهش و عملکرد روغن را نسبت به شاهد ۲۰ درصد افزایش داد. مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد محتوای کلروفیل a را ۴۳/۴ درصد افزایش داد. بیشترین محتوای کارتنوئیدها از کاربرد ۵ تن در هکتار بیوچار توأم با محلول-پاشی با آب حاصل شد. با مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار وزن خشک گل نسبت به شاهد ۲۷ درصد افزایش نشان داد. نتایج نشان داد با مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار توأم با پرایمینگ و محلول‌پاشی با آب یا پرایمینگ توأم با محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید صفات فیزیولوژیکی و عملکرد روغن بهبود یافت.

واژه‌های کلیدی: **حفظ آب برگ قطع شده، رنگدانه‌های گیاهی، کود آلی، نشت یونی، هورموپرایمینگ**

مقدمه

گلرنگ گیاهی از خانواده آستراسه و منشأ آن خاورمیانه و بخش‌هایی از آفریقا است، اما مناطق اصلی تولید آن مدیترانه است (Shinwari et al., 2014). بذرهای گلرنگ از مقدار روغن زیاد و ارزش غذایی خوبی برخوردار است (Omid et al., 2012). میزان روغن گلرنگ بین ۳۵ تا ۵۰ درصد است (Camas et al., 2007). گلرنگ از قدیمی‌ترین دانه‌های روغنی است که به علت داشتن ریشه‌های متراکم و عمیق، به شوری و خشکی متحمل است (Das et al., 2017).

پرایمینگ بذر با آب و محلول‌های نمکی در گیاهان مختلف سبب افزایش درصد جوانه‌زنی و شاخص جوانه‌زنی در شرایط تنش می‌شود (Ansari et al., 2012). در روش پرایمینگ مزرعه‌ای بذرها برای مدت مشخصی در آب یا یک محلول قرار داده می‌شوند و قبل از کاشت بذرها به‌صورت سطحی خشک می‌شوند (Harris et al., 2008). سالیسیلیک اسید یک تنظیم‌کننده رشد درونی طبیعی است، این هورمون گیاهی به ترکیبات فنلی تعلق دارد (Hayat et al., 2010). سالیسیلیک اسید و مشتقات آن ازجمله

* نگارنده پاسخگو: نورعلی ساجدی. پست الکترونیک: N-Sajedi@iau-arak.ac.ir

ترکیباتی هستند که به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد گیاهی در برخی از گیاهان عمل نموده و این ترکیبات در شرایط تنش اسمزی و شوری می‌توانند گیاه را محافظت نمایند (Wang et al., 2006). گزارش شده است که پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید می‌تواند گیاهان را در برابر تنش‌های غیر-زیستی حفاظت نماید (Popova et al., 2009). سالیسیلیک اسید در گیاهانی که در شرایط تنش محیطی قرار می‌گیرند، نقش حفاظتی دارد (Dawood et al., 2012). گزارش شده است که کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید می‌تواند اثر مخرب عوامل تنش‌زای مختلف را تعدیل نماید و به علت اثر حفاظتی می‌تواند باعث افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه شود (Szalai et al., 2013). گزارش شده است که سالیسیلیک اسید باعث افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزیستی ازجمله خشکی شده است (Azooz and Youssef, 2010). بیشتر مطالعات انجام‌شده در خصوص نقش سالیسیلیک اسید در گیاهان مربوط به اثر این ترکیب در بهبود یا تخفیف اثر ناشی از تنش-ها است (Singh et al., 2003). کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید باعث بهبود عملکرد محصولات زراعی می‌شود (Arfan et al., 2007). گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت‌های ۰/۰۰۱ تا ۱۰ میکرومول محتوای کلروفیل کل و کارتنوئیدها در برگ‌های لپه‌ای گیاه آفتابگردان را افزایش داد اما کاربرد ۱ میلی مولار سالیسیلیک اسید محتوای کلروفیل کل و کارتنوئیدها را کاهش داد (Cag et al., 2009). گزارش شده است که محلول‌پاشی با ۱ میلی-مولار سالیسیلیک اسید در مرحله پرشده دانه عملکرد گیاه ذرت را نسبت به شاهد ۲۴ درصد افزایش داد (Taheri Oshtrinani and Fathi, 2016).

بیوچار عبارت است از هر ماده جامد که از کربونیزاسیون هر نوع زیست‌توده‌ای شامل علف‌های هرز، بقایای محصولات زراعی و سایر مواد زائد با منشأ گیاهی حاصل می‌شود (Gebremedhin et al., 2015). به‌دلیل خصوصیات فیزیکی بیوچار، تغییراتی در توزیع منافذ خاک ایجاد می‌شود و این تغییرات می‌تواند نفوذپذیری، زمان نگهداری و مسیر جریان محلول خاک را تغییر دهد (Major et al., 2009). همچنین گزارش شده است که اگر بیوچار حاوی مقادیر کافی از مواد هیومیکی باشد، ظرفیت نگهداری آب خاک افزایش می‌یابد (Piccolo et al., 1996). اگر ظرفیت نگهداری آب خاک افزایش یابد بنابراین انتظار می‌رود که عناصر متحرک مفید موجود در محلول خاک حفظ شوند (Christopher et al., 2010). بیوچار توانایی افزایش ظرفیت نگهداری آب و به‌ویژه در خاک‌های فقیر از عناصر غذایی مناطق گرمسیری را دارد (Bakewell-Stone, 2011). گزارش شده است که بیوچار عناصر غذایی و آب خاک را حفظ می‌کند و درنتیجه از این طریق عملکرد گندم را افزایش می‌دهد (Gebremedhin et al., 2015). استفاده از بیوچار محتوای فسفر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم قابل‌دسترس را نسبت به عدم مصرف بیوچار افزایش می‌دهد (Sukartono et al., 2011). گزارش شده است که کاربرد بیوچار در گیاه گلرنگ در شرایط کم‌آبی بر صفات وزن صد دانه، ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه و برگ، وزن خشک غوزه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، پروتئین و روغن دانه، محتوای نسبی آب برگ و پایداری غشاء برگ تأثیر معنی‌داری نشان داد (Bradaran najjar, 2016). در یک آزمایش گلخانه‌ای، با کاربرد بیوچار عملکرد تربچه به میزان ۹۶ درصد افزایش یافت، این افزایش عملکرد عمدتاً به دلیل توانایی بیوچار در افزایش نیتروژن قابل‌دسترس گیاه گزارش شده است (Chan et al., 2007). مطالعات زیادی که بر روی اثر بیوچار روی گیاهان زراعی انجام شده است به حفظ رطوبت با کاربرد بیوچار به‌عنوان یک عامل کلیدی در نتایج خود اشاره نموده‌اند (Singh et al., 2003). هدف از انجام این آزمایش بررسی واکنش صفات فیزیولوژیکی و عملکرد روغن گلرنگ به کاربرد بیوچار و پرایمینگ بذر با آب و سالیسیلیک اسید توأم با محلول‌پاشی در شرایط دیم بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک با طول جغرافیایی ۴۰ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۷۳۰ متر از سطح دریا اجرا شد. خصوصیات اقلیمی منطقه کشت در جدول ۱ ارائه شده است.

عوامل مورد آزمایش شامل بیوچار در سه سطح عدم مصرف، ۵ و ۱۰ تن در هکتار، پرایمینگ بذر در سه سطح بدون پرایمینگ، پرایمینگ بذر با آب مقطر و ۰/۵ میلی‌مولار سالیسلیک اسید و محلول‌پاشی در دو سطح محلول‌پاشی با آب و محلول‌پاشی با یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بودند. قبل از کاشت از خاک مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری

نمونه‌برداری شد و به آزمایشگاه خاک و آب اراک پژوهش ارسال گردید. نتایج ویژگی-های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۲ ارائه شده است.

در این آزمایش از گلرنگ رقم محلی اصفهان استفاده شد. بذرهای گواهی‌شده سال ۱۳۹۵ از شرکت کشت دانه‌های روغنی با ۹۸ درصد خلوص و حداقل قوه نامیه ۷۵ درصد تهیه شد. عملیات کاشت به‌صورت دستی در تاریخ ۱۳۹۵/۱۲/۲۳ در عمق ۴-۳ سانتی‌متری انجام شد. هر کرت شامل هشت ردیف کاشت به طول ۵ متر و عملیات کاشت در داخل شیارها انجام شد. فاصله بین ردیف‌ها ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بذور روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. میزان بذر مصرفی در هکتار بر اساس ۱۰ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. زمین مورد آزمایش در سال قبل آیش بود و لذا هیچ نوع کودی در این آزمایش استفاده نشد. قبل از کشت، تیمارهای بیوچار در داخل شیار در عمق ۱۵ سانتی‌متری در زیر بذر قرار داده شد و با خاک مخلوط گردید. بیوچار از کارخانه کربن اکتیو بشل واقع در منطقه سوادکوه استان مازندران تهیه شد. بیوچار مورداستفاده از مواد اولیه سلولزی طبیعی شامل چوب، شاخه و برگ درختان جنگلی بود که تحت فرایند اکتیواسیون و پیرولیز به‌صورت فعال‌شده با ابعاد ۲۰ تا ۵۰ نانومتر تهیه‌شده بود، قدرت جذب آب ۴ تا ۴/۵ برابر و مدت ماندگاری آن در خاک ۸ تا ۱۰ سال است. برای پرایمینگ، بذرها به مدت ۱۲ ساعت در محلول‌های ذکرشده پرایمینگ شدند، سپس در سایه در دمای اتاق پهن و خشک شدند و اقدام به کشت گردید (Iqbal and Ashraf, 2007). محلول‌پاشی با آب بر اساس ۴۰۰ لیتر در هکتار و اسید سالیسلیک با غلظت ۱ میلی‌مولار در دو مرحله رویشی در تاریخ ۱۳۹۶/۳/۲ و شروع غوزه‌دهی در تاریخ ۹۶/۳/۲۲ در ساعت ۱۷ انجام شد.

جدول ۱. آمار هواشناسی شهرستان اراک در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵

Table 1. Metrological data in Arak city in cropping year 2016-2017

Months	ماه‌های سال	تبخیر ماهیانه Monthly evaporation (mm)	رطوبت نسبی Relative humidity (%)	میانگین درجه حرارت Mean of temperature (ºC)	بارندگی Precipitation (mm)
March	اسفند ۹۵	0.0	53.45	6.20	35.5
April	فروردین ۹۶	136.7	55.15	8.65	40.8
May	اردیبهشت ۹۶	193.6	48.70	18.45	58.9
Juan	خرداد ۹۶	345.3	27.45	24.00	0.0
July	تیر ۹۶	354.2	26.30	27.15	0.2
August	مرداد ۹۶	346.2	24.80	27.20	0.0
September	شهریور ۹۶	277.7	29.40	24.05	0.0

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2. Physical and chemical soil properties of the experimental site

عمق خاک Soil depth	قابلیت هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH	نیتروژن کل N	فسفر قابل‌جذب Absorption available P	روی قابل‌جذب Absorption available Zn	آهن قابل‌جذب Absorption available Fe	منگنز قابل‌جذب Absorption available Mn	کربن آلی OC	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay
(cm)	(dS/m)		(%)	----------(mg kg^{-1})----------				----------(%)----------			
0-30	0.87	7.7	0.12	8	2.7	6.5	15.1	1.2	49	28	23

برای محاسبه حفظ آب برگ قطع‌شده از برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته در مرحله گل‌دهی نمونه‌برداری شد و به آزمایشگاه منتقل گردید. برای ثبت وزن تر، برگ‌های قطع‌شده فوراً وزن شدند. سپس برگ‌ها به مدت ۶ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا پژمرده شوند. برای محاسبه حفظ آب برگ قطع‌شده از رابطه زیر استفاده شد (Lonbani et al., 2011).

$$\text{حفظ آب برگ} = \text{وزن تر} - \text{وزن پژمرده} / \text{وزن تر} \times ۱۰۰ \quad [۱]$$

برای محاسبه محتوای آب نسبی برگ از برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته در مرحله گل‌دهی نمونه‌برداری شد و به آزمایشگاه با دمای ۲۵ درجه سلسیوس منتقل شد و از پهنک‌برگ‌ها تعداد ۱۵ دیسک به قطر تقریبی ۳ سانتی‌متر از برگ‌ها تهیه شد. برای اندازه‌گیری وزن تر ۱۰ دیسک وزن شد، دیسک‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شدند، جهت اندازه‌گیری وزن اشباع، دیسک‌ها توزین گردیدند. درنهایت دیسک‌ها به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون ۷۵ درجه سلسیوس قرار داده شد تا خشک شوند، درصد محتوای آب نسبی برگ از رابطه ۲ محاسبه شد (Dhopte and Manuel, 2002).

محتوای نسبی آب برگ (درصد) = *۱۰۰ × وزن خشک – وزن اشباع / وزن خشک - وزن‌تر* [۲]

برای اندازه‌گیری نشت یونی در مرحله گل‌دهی از برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته اقدام به تهیه دیسک‌هایی به قطر تقریبی ۳ سانتی‌متر از محل پهنک‌برگ گردید. سپس دیسک‌ها به داخل لوله‌های آزمایشی حاوی ۱۰ سی‌سی محلول مانیتول با پتانسیل ۲- بار منتقل شدند و بعد از ۲۴ ساعت قابلیت هدایت الکتریکی محلول هر لوله‌آزمایش به‌وسیله دستگاه هدایت سنج الکتریکی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرائت شد (Martinez et al., 2004). عدد قرائت‌شده از دستگاه هدایت سنج برحسب دسی زیمنس بر متر به‌عنوان میزان نشت یونی نمونه در نظر گرفته شد. با استفاده از فرمول وانت هوف مقدار پتانسیل اسمزی محلول موردنظر تهیه شد.

$$\Psi s(MPa) = - MIRT \quad [۳]$$

که در آن M: مولاریته محلول، I: ضریب یونیزاسیون (برای مانیتول برابر ۱ می‌باشد)، R: ثابت عمومی گازها برابر با ۰/۰۰۸۳۱۴۳(مگاپاسکال بر مول کلوین)، T: دما برحسب کلوین هستند که در این صورت پتانسیل اسمزی برحسب مگاپاسکال محاسبه می‌شود (Martinez et al., 2004).

برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی، در مرحله گل‌دهی یک گرم بافت تازه برگ از هر تیمار وزن و به قطعات نیم سانتی‌متری خرد شد و در ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی خوب سائیده شد. محتوای هاون به‌وسیله کاغذ صافی صاف شد. سپس خمیر شل حاصله را برداشته و به مدت ۵ دقیقه در داخل سانتریفوژ با ۲۶۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت. ۳ میلی‌لیتر از محلول را در کووت ریخته و جذب نور کلروفیل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج‌های ۴۸۰، ۵۱۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت شد. سپس مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئیدها از روابط زیر محاسبه شدند. غلظت رنگیزه‌ها با استفاده از فرمول برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر بافت گیاهی محاسبه شد (Arnon et al., 1949; Davies, 1976).

$$Chlorophyll\ a = (12.7\times D_{663} - 2.69\times D_{645})\ V/100 \times W \quad [۴]$$

$$Chlorophyll\ b = (22.9\times D_{645} - 4.68\times D_{663})\ V/100\times W \quad [۵]$$

$$Carotenoids = (7.6\times D480 - 1.49\times D_{510})\ V/100\times W \quad [۶]$$

در روابط فوق، $D_{۶۶۳}$: میزان جذب نور در طول‌موج ۶۶۳ نانومتر، $D_{۶۴۵}$: میزان جذب نور در طول‌موج ۶۴۵ نانومتر، $D_{۴۸۰}$: میزان جذب نور در طول‌موج ۴۸۰ نانومتر، D۵۱۰: میزان جذب نور در طول‌موج ۵۱۰ نانومتر، V: حجم استون مورداستفاده و W: وزن تر نمونه مورداستفاده می‌باشد.

برداشت نهایی به‌منظور محاسبه عملکرد و اجزای عملکرد دانه در تاریخ ۹۶/۵/۶ در مرحله رسیدگی کامل انجام شد. عملکرد روغن از حاصل‌ضرب درصد روغن در عملکرد دانه محاسبه شد. به‌منظور اندازه‌گیری روغن دانه، ۱۰ گرم از دانه‌های گلرنگ در حلال پترولیوم اتر حل و با دستگاه سوکسله به مدت ۴ ساعت عصاره‌گیری شد. در داخل بالن عمل تغلیظ عصاره انجام شد و بالن حاوی عصاره وزن شد. سپس با دستگاه دوار تقطیر در خلأ صورت گرفت و بالن حاوی روغن وزن شد. تفاوت بین وزن بالن‌های حاوی روغن بیانگر روغن استخراج شده بود که به‌صورت درصد بیان شد (Omidi et al., 2010). اعداد خام حاصل از نمونه‌برداری‌ها در طول دوره رشد و در زمان رسیدگی کامل با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه قرار گرفتند. سپس میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. به‌منظور سهولت در تفسیر نتایج، برای مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمارها در صفات معنی‌دار شده از روش برش‌دهی میانگین‌ها استفاده شد. در این روش، در هر سطح بیوچار، تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن به‌صورت جداگانه مورد مقایسه قرار گرفتند و گروه‌بندی شدند.

نتایج و بحث

میزان حفظ آب برگ قطع‌شده و محتوای نسبی آب برگ

اثر پرایمینگ بذر، اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه تیمارها بر میزان حفظ آب برگ قطع‌شده در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). اثر متقابل سه‌گانه پرایمینگ، بیوچار و محلول‌پاشی نشان داد که در شرایط عدم مصرف بیوچار بیشترین مقدار حفظ آب برگ قطع‌شده از پیش‌تیمار بذر با سالیسیلیک اسید توأم با محلول‌پاشی با آب حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد مقدار حفظ آب برگ قطع‌شده به میزان ۱۵/۶ درصد افزایش یافت. در شرایط مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار بیشترین مقدار حفظ آب برگ قطع‌شده از پیش‌تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد مقدار حفظ آب برگ قطع‌شده به میزان ۳۵/۲ درصد افزایش یافت. همچنین در شرایط مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار بیشترین مقدار حفظ آب برگ قطع‌شده از پیش تیمار بذر با سالیسیلیک اسید توأم با محلول‌پاشی با آب حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد مقدار حفظ آب برگ قطع‌شده به میزان ۱۴/۱ درصد افزایش یافت (جدول ۴).

نتایج نشان داد که اثر متقابل پرایمینگ توأم با محلول‌پاشی بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که بیشترین محتوای نسبی آب برگ از پرایمینگ توأم با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید حاصل شد که با تیمارهای بدون پرایمینگ و محلول‌پاشی با آب، پرایمینگ با آب و محلول‌پاشی با آب و تیمار پرایمینگ با سالیسیلیک اسید توأم با محلول‌پاشی با آب اختلاف معنی‌دار نشان نداد. با توجه به نتایج، پرایمینگ توأم با محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید، محتوای نسبی آب برگ را نسبت به تیمار بدون پرایمینگ و محلول‌پاشی با آب به میزان ۸ درصد افزایش داد (جدول ۵). گزارش شده است که فرایند‌های فیزیولوژیکی گیاه مانند تعرق از طریق کمبود شدید آب تحت تأثیر قرار می‌گیرد و کاربرد بیوچار در شرایط کمبود آب می‌تواند تعرق را به تأخیر اندازد (Sadras et al., 1996). به نظر می‌رسد با شروع تنش خشکی تا مدتی گیاه تعرق و هدایت روزنه‌ای را بالا نگه می‌دارد ولی با ادامه دوره خشکی

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در گلرنگ تحت تاثیر کاربرد بیوچار، پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی

Table 3. Analysis of variance of measured traits in safflower under application of biochar, seed priming and foliar application

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	حفظ آب برگ قطع شده Excise leaf water retention	محتوای آب نسبی برگ Relative water content	میزان نشت یونی Electrolyte leakage	محتوای کلروفیل a Chl a content	محتوای کلروفیل b Chl b content
Replicate	**تکرار**	2	2.83^{ns}	13.57^{ns}	21620^{ns}	0.0039^{ns}	0.0113^{ns}
Biochar (B)	**بیوچار**	2	5.127^{ns}	14.06^{ns}	516578^{**}	0.0056^{ns}	0.0060^{ns}
Ea	**اشتباه کرت اصلی**	4	1.75	6.42	14428	0.0395	0.0063
Priming (P)	**پرایمینگ**	2	25.57^{**}	16.95^{ns}	3678^{ns}	0.2543^{*}	0.0211^{ns}
B × P	**بیوچار × پرایمینگ**	4	62.90^{**}	5.66^{ns}	77268^{ns}	0.3199^{**}	0.0510^{**}
Eb	**اشتباه کرت فرعی**	12	1.44	14.94	99594	0.0390	0.0069
Spray (S)	**محلول‌پاشی**	1	10.41^{ns}	3.50^{ns}	12165^{ns}	0.0054^{ns}	0.0016^{ns}
B × S	**بیوچار × محلول‌پاشی**	2	94.30^{**}	2.09^{ns}	99515^{ns}	0.1546^{*}	0.0692^{**}
P × S	**پرایمینگ×محلول‌پاشی**	3	53.76^{**}	127.75^{**}	100748^{ns}	0.1724^{**}	0.0029
B × P × S	**بیوچار × پرایمینگ× محلول‌پاشی**	3	38.38^{**}	2.15^{ns}	50977^{ns}	0.1949^{**}	0.0325^{**}
Ec	**اشتباه کرت فرعی فرعی**	18	4.25	18.93	93823	0.0332	0.0026
CV%	**ضریب تغییرات**	-	*6.92*	*6.96*	*20.65*	*22.58*	*13.77*

جدول ۳. ادامه **Table 3. Continued**

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	وزن خشک گل Flower dry weight	شاخص برداشت غوزه Harvest index of head	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد روغن Oil yield
Replicate	**تکرار**	2	5.19*	1.31ns	68852.04 ns	2698.98ns
Biochar (B)	**بیوچار**	2	67.90**	132.60**	733768.97**	54653.81**
Ea	**اشتباه کرت اصلی**	4	0.38	15.92	25220.49	2693.100
Priming (P)	**پرایمینگ**	2	6.76ns	18.16ns	2409.71ns	914.59ns
B × P	**بیوچار × پرایمینگ**	4	8.14ns	136.80**	241024.70**	16201.04**
Eb	**اشتباه کرت فرعی**	12	7.13	10.69	25702.92	1577.65
Spray (S)	**محلول‌پاشی**	1	0.19ns	48.09ns	6968.77 ns	4016.57ns
B × S	**بیوچار × محلول‌پاشی**	2	0.67ns	55.07*	393310.87**	22695.67**
P × S	**پرایمینگ×محلول‌پاشی**	3	23.71*	130.21**	852210.71**	45131.46**
B × P × S	**بیوچار × پرایمینگ× محلول‌پاشی**	3	35.37 **	1.81ns	100740.71ns	6255.12ns
Ec	**اشتباه کرت فرعی فرعی**	18	6.73	12.11	37165.94	2276.91
CV%	**ضریب تغییرات**	-	*16.61*	*9.58*	*16.76*	*16.79*

ns، * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

. *, ** Significant at 0.05and 0.01 level of probability, respectively

اقدام به کاهش بازشدگی روزنه‌ها و درنهایت بستن آن‌ها می‌نماید. گزارش شده است که کاربرد بیوچار حاصل از گیاه اکالیپتوس میانگین سرعت تعرق در برنج دیم را کاهش داد، آن‌ها گزارش نمودند که بیوچار ظرفیت نگهداری آب در خاک شنی را افزایش می‌دهد؛ بنابراین واکنش نقطه پژمردگی گیاه تغییر می‌کند (Pereira et al., 2012). تحقیقات اخیر بیانگر این است که افزایش عملکرد محصول ناشی از کاربرد بیوچار مربوط به افزایش آب قابل‌دسترس گیاه می‌باشد (Novak et al., 2012). بر اساس نتایج جدول ضرایب همبستگی، بین حفظ آب برگ قطع‌شده با هیچ‌یک از صفات همبستگی معنی‌دار وجود نداشت. از طرفی محتوای نسبی آب برگ با شاخص برداشت غوزه، وزن خشک گل، عملکرد دانه و عملکرد روغن در سطح احتمال ۵ درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۶)؛ بنابراین نتایج بیانگر این است که با کاربرد بیوچار و پرایمینگ بذر توأم با محلول‌پاشی از طریق بهبود وضعیت آب گیاه مخازن زایشی بیشتری در گیاه تشکیل و با پر شدن مخازن، عملکرد دانه و به دنبال آن عملکرد روغن افزایش می‌یابد.

میزان نشت یونی

اثر کاربرد بیوچار بر میزان نشت یونی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که کمترین میزان نشت یونی از مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار حاصل شد. کاربرد ۵ تن در هکتار بیوچار میزان نشت یونی را نسبت به شاهد (عدم مصرف بیوچار) به میزان ۱۵ درصد کاهش داد (شکل ۱). در شرایط خشکی تنش اکسیداتیو رخ می‌دهد که منجر به تولید رادیکال‌های آزاد می‌شود. رادیکال‌های آزاد تولیدشده باعث تخریب غشاهای سلولی می‌گردد اما بیوچار می‌تواند آب را در منافذ خاک نگه دارد و آن را به‌کندی آزاد کند و از این طریق می‌تواند اثر تنش خشکی در گیاهان را تعدیل نماید (Ali et al., 2017). چون کاربرد بیوچار در گیاهان باعث کاهش اثر تنش اکسیداتیو می‌شود (Abbas et al., 2018)؛ بنابراین بیوچار باعث بهبود آب قابل‌دسترس در خاک می‌شود و از وقوع تنش کمبود آب در خاک جلوگیری می‌کند (Hafeez et al., 2017).

گزارش شده است که پرایمینگ بذر گیاه کلزا با سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی باعث افزایش میزان پرولین، غلظت کلروفیل و پایداری غشاء سلولی شد (Miar

Sadeghi et al., 2010). به نظر می‌رسد با کاربرد سالیسیلیک اسید زمینه افزایش ترکیبات آنزیمی و غیر آنزیمی آنتی‌اکسیدان در گیاه فراهم‌شده و از طریق خنثی-سازی و یا مهار فعالیت رادیکال‌های آزاد باعث حفظ سلامت غشاهای سلولی می‌گردند.

بر اساس نتایج جدول ضرایب همبستگی بین میزان نشت یونی با عملکرد روغن، عملکرد دانه، شاخص برداشت غوزه در سطح احتمال ۱ درصد همبستگی منفی و معنی‌دار وجود داشت (جدول ۶). این نتایج نشان می‌دهد که احتمالاً با کاربرد بیوچار از طریق بهبود وضعیت آب در اطراف ریشه و تعدیل اثر تنش خشکی در اندام‌های هوایی، از طریق کاهش فعالیت رادیکال‌های آزاد که از عوامل تخریب‌کننده غشاهای سلولی می‌باشند، باعث کاهش آسیب یا حفظ سلامت غشاهای سلولی می‌شوند و درنتیجه از طریق تداوم در فتوسنتز گیاه، زمینه تشکیل مخازن زایشی بیشتر و بهبود عملکرد دانه و روغن فراهم می‌شود.

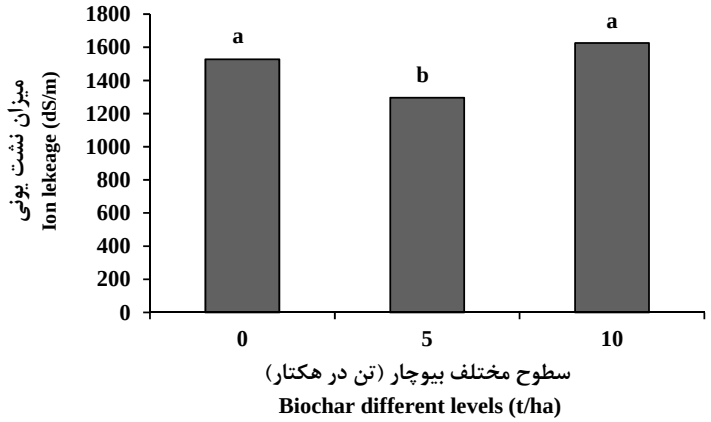
جدول ۴. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دوگانه صفات اندازه‌گیری شده گلرنگ تحت تأثیر کاربرد بیوچار، پرایمینگ بذر و محلول-پاشی

Table 4. Mean comparisons of two-way interaction factors the measured traits in safflower under application of biochar, seed priming and foliar application

تیمارهای آزمایشی Experimental treatment	محتوای آب نسبی برگ Relative water content	شاخص برداشت غوزه Harvest index of head	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد روغن Oil yield
	----------(%)----------		----------(kg/ha)----------	
Biochar × Priming بیوچار × پرایمینگ				
B1P1	59.64^{a}	37.61a	1231.85^{b}	300.29^{bc}
B1P2	61.46^{a}	34.84bc	1174.78^{b}	300.83 ^{bc}
B1P3	63.33^{a}	30.99cd	943.00^{c}	223.22^{d}
B2P1	61.80^{a}	35.79b	1250.51^{b}	307.84^{bc}
B2P2	63.71^{a}	41.78a	1507.88^{a}	383.40^{a}
B2P3	63.48^{a}	40.74a	1339.51^{ab}	338.85^{ab}
B3P1	63.04^{a}	34.02abc	926.40^{c}	227.39^{d}
B3P2	62.53^{a}	30.39d	788.50^{c}	192.25^{d}
B3P3	63.49^{a}	40.70a	1183.81^{b}	283.44^{d}
Biochar × Spray بیوچار × محلول‌پاشی				
B1S1	61.93^{a}	34.29c	1278.00^{ab}	321.94^{a}
B1S2	61.02^{a}	34.67bc	955.08 ^{dc}	227.6^{b}
B2S1	62.86^{a}	39.74a	1372.66^{a}	344.88^{a}
B2S2	63.14^{a}	39.13a	359.28^{a}	341.84^{a}
B3S1	63.47^{a}	32.10c	832.17^{d}	211.57^{b}
B3S2	62.57^{a}	37.98ab	1100.31^{bc}	257.15^{b}
Priming × Spray پرایمینگ × محلول‌پاشی				
P1S1	60.74^{bc}	35.34 ^{bcd}	1112.69^{bc}	276.30^{bc}
P1S2	62.25^{abc}	36.27 ^{bc}	1159.82^{ab}	280.71^{bc}
P2S1	64.50^{ab}	37.54 ^{b}	1321.85^{a}	338.33^{a}
P2S2	58.70^{c}	31.93^{d}	827.47^{d}	199.78^{d}
P3S1	61.16^{abc}	33.13 ^{cd}	954.22^{dc}	242.83^{dc}
P3S2	65.70^{a}	41.82^{a}	1356.66^{a}	320.84^{ab}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند؛B1 : عدم مصرف بیوچار؛ B2: مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار؛ B3: مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار؛ P1: بدون پرایمینگ؛ P2: پرایمینگ با آب مقطر؛ P3: پرایمینگ با سالیسیلیک اسید؛ S1: محلول‌پاشی با آب معمولی؛ S2: محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید.

Means followed by the same letters in each column, are non- significantly different (P = 0.05) according to Duncan's multiple range test. B1: Without biochar, B2: Application of 5 t/ha biochar, B3: Application of 10 t/ha biochar; P1: Without priming, P2: Seed priming with distillate water, P3: Seed priming with salicilyc acid; S1: Spray with water, S2: Spray with salicilyc acid.



شکل ۱. اثر سطوح مختلف بیوچار بر میزان نشت یونی

Fig 1. Effect of biochar different levels on ion lekeage

محتوای کلروفیل a و b

اثر ساده پرایمینگ بذر و اثر متقابل بیوچار در محلول‌پاشی بر محتوای کلروفیل a در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل کاربرد بیوچار با پرایمینگ بذر و تیمار پرایمینگ بذر همراه با محلول‌پاشی و اثر متقابل سه‌گانه تیمارها بر محتوای کلروفیل a در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمارها نشان داد در شرایط عدم مصرف بیوچار، بیشترین محتوای کلروفیل a از پیش‌تیمار بذر با آب توأم با محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید و همچنین پیش تیمار بذر توأم با محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد محتوای کلروفیل a را به ترتیب ۳۲/۶ و ۲۰/۲ درصد افزایش داد. بعلاوه با مصرف ۵ و ۱۰ تن در هکتار بیوچار توأم با محلول‌پاشی با آب یا سالیسیلیک اسید و بدون پرایمینگ محتوای کلروفیل a نسبت به تیمار عدم مصرف بیوچار و بدون پرایمینگ توأم با محلول‌پاشی با آب یا سالیسیلیک اسید افزایش معنی‌دار نشان داد (جدول ۴).

نتایج نشان داد که اثر متقابل بیوچار و پرایمینگ، اثر متقابل بیوچار و محلول‌پاشی و اثر متقابل سه‌گانه تیمارها بر محتوای کلروفیل b در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد در شرایط عدم مصرف بیوچار، با محلول‌پاشی آب یا سالیسیلیک اسید تفاوتی در محتوای کلروفیل b مشاهده نشد اما پرایمینگ بذر با آب یا سالیسیلیک اسید توأم با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید نسبت به محلول‌پاشی با آب، محتوای کلروفیل b به‌طور معنی‌دار افزایش نشان داد. در شرایط مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار، بیشترین محتوای کلروفیل b از تیمار پرایمینگ با سالیسیلیک اسید توأم با محلول‌پاشی با آب حاصل شد که نسبت به تیمار عدم پرایمینگ و محلول‌پاشی با آب محتوای کلروفیل b به میزان ۲۲/۷ درصد افزایش یافت. در شرایط مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار، پرایمینگ بذر با آب یا سالیسیلیک اسید تأثیری بر محتوای کلروفیل b نشان ندادند (جدول ۴). به نظر می‌رسد بیوچار با جلوگیری از آبشویی نیتروژن زمینه حفظ آن را در محیط اطراف ریشه فراهم می‌نماید و آن را به سهولت در دسترس گیاه قرار می‌دهد (Chan et al., 2007)؛ و ازآنجایی‌که نیتروژن در ساختار مولکول کلروفیل شرکت می‌کند لذا باعث افزایش محتوای کلروفیل می‌گردد. کاربرد بیوچار حاصل از ترکیب پوسته برنج و دانه کتان تجمع نیتروژن را به‌طور معنی‌دار در گیاه و درنتیجه شاخص سبزینگی در گندم را افزایش داد (Akhtar et al., 2015). گزارش شده است که با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید محتوای کلروفیل‌ها و کاروتنوئید به‌طور معنی‌دار افزایش یافت، علت این موضوع را افزایش سرعت فتوسنتز بیان نمودند و آن‌ها چنین نتیجه گرفتند که حفظ غلظت کلروفیل در شرایط تنش‌زا، به ثبات فتوسنتز کمک می‌نماید و خسارت ناشی از تنش در گیاه کاهش می‌یابد (El-tayeb, 2005). محققان علت افزایش سرعت فتوسنتز ناشی از محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید را به افزایش فعالیت آنزیم‌های تثبیت‌کننده دی‌اکسید کربن در سطح کلروپلاست نسبت می‌دهند (Khan et al., 2003). به‌طورکلی علت محافظت گیاهان در شرایط تنش‌زا توسط سالیسیلیک اسید این است که در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاه پیام‌هایی منتقل می‌شود که این پیام‌ها منجر به بیان ژن‌هایی می‌شوند

که این ژن‌ها مسئول محافظت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی می‌باشند (Dat et al., 1998). گزارش شده است که در ذرت، پرایمینگ بذر با ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید منجر به افزایش معنی‌دار صفات وزن خشک اندام هوایی، طول ساقه، تعداد برگ‌ها، سطح برگ و محتوای کلروفیل شد (Farahbakhsh and Shamsaddin Saiid, 2011).

محتوای کارتنوئیدها

نتایج نشان داد که اثر متقابل بیوچار در پرایمینگ و پرایمینگ در محلول‌پاشی بر محتوای کارتنوئیدها در سطح احتمال ۵ درصد و اثر متقابل بیوچار در محلول‌پاشی و اثر متقابل سه‌گانه تیمارها بر محتوای کارتنوئیدها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمارها نشان داد که در شرایط عدم مصرف بیوچار، پرایمینگ بذر با آب توأم با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد (بدون پرایمینگ و محلول‌پاشی با آب) محتوای کارتنوئیدها را به میزان ۳۷/۷ درصد افزایش داد. با مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار و پیش‌تیمار بذر با سالیسیلیک اسید توأم با محلول‌پاشی با آب، محتوای کارتنوئیدها نسبت به تیمار مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار و بدون پیش‌تیمار توأم با محلول‌پاشی با آب به میزان ۳۸/۷ درصد افزایش یافت. در شرایط مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار، بیشترین محتوای کارتنوئیدها از محلول‌پاشی با سالیسیلیک و بدون پیش‌تیمار بذر حاصل شد (جدول ۴). گزارش شده است که در گیاهان تیمار شده با ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید میزان کلروفیل بیشتری تجمع یافت (Maibangsa et al., 2001). افزایش شاخص‌های رشد و رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در اثر مصرف سالیسیلیک اسید ممکن است ناشی از القای واکنش‌های آنتی‌اکسیدانی باشد که سلول‌ها را از خسارت ناشی از تنش اکسیداتیو محافظت می‌نماید (Hayat et al., 2009; Horvath et al., 2007). نتایج نشان داد که بین محتوای کارتنوئیدها با کلروفیل a در سطح احتمال ۵ درصد و با محتوای کلروفیل b در سطح احتمال ۱ درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت (جدول ۶). با توجه به نتایج ضرایب همبستگی، به نظر می‌رسد که کارتنوئیدها به‌عنوان یک ترکیب آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش‌زا افزایش می‌یابند تا از تخریب و آسیب‌دیدگی کلروفیل‌ها جلوگیری کنند و از این طریق باعث حفظ و پایداری گیاه در شرایط نامساعد محیطی می‌گردد (Mohammadkhani and Heidari, 2007).

وزن خشک گل

اثر بیوچار و اثر متقابل سه‌گانه تیمارها بر وزن خشک گل در سطح احتمال ۱ درصد و اثر پیش تیمار بذر و محلول‌پاشی بر وزن خشک گل در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد در شرایط عدم مصرف بیوچار، پرایمینگ بذر با آب یا سالیسیلیک اسید توأم با محلول‌پاشی با آب یا سالیسیلیک اسید تأثیری بر وزن خشک گل نشان نداد. با مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار و پیش‌تیمار بذر با آب یا سالیسیلیک اسید توأم با محلول‌پاشی آن‌ها میزان وزن خشک گل افزایش یافت. در شرایط مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار، بیشترین میزان وزن خشک گل از پرایمینگ توأم با محلول‌پاشی با آب حاصل شد که نسبت به تیمار مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار توأم با محلول‌پاشی با آب و بدون پیش تیمار بذر، میزان وزن خشک گل به میزان ۱۰/۴ درصد افزایش یافت (جدول ۴). به نظر می‌رسد با مصرف بیوچار و ایجاد شرایط مناسب در محیط ریشه، جذب آب و انتقال آن به اندام‌های زایشی تا حدودی بهتر صورت می‌گیرد و با محلول‌پاشی آب یا سالیسیلیک اسید اثر تنش کمبود آب تعدیل می‌گردد و از این طریق به افزایش وزن خشک گل کمک می‌شود. گزارش شده است که بیشترین وزن خشک در ماش با کاربرد ۲۵ تن در هکتار بیوچار حاصل شد ولی با افزایش ۵۰ و ۷۵ تن در هکتار عملکرد زیستی کاهش یافت (Rab et al., 2016). آن‌ها دلیل این کاهش را تغییر در نسبت کربن به اکسیژن و کاهش نیتریفیکاسیون باکتریایی عنوان نمودند. گزارش شده است که بیوچار نسبت کربن به نیتروژن و جمعیت میکروبی خاک را تغییر می‌دهد و افزایش در نسبت کربن به نیتروژن باعث گلدهی زودتر می‌شود (Galinato et al., 2011). نتایج جدول ضرایب همبستگی نشان داد که بین وزن خشک گل با شاخص برداشت غوزه، عملکرد دانه و عملکرد روغن در سطح احتمال ۵ درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت (جدول ۶). این نتایج نشان می‌دهد که کاربرد توأم بیوچار، پرایمینگ بذر توأم با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید یا آب می‌تواند در دوره زایشی که گیاه با تنش کمبود آب بیشتری روبرو می‌شود، زمینه کاهش اثر تنش را فراهم کند و بهبود شاخص‌های مربوط به عملکرد دانه و عملکرد روغن را به دنبال داشته باشد.

شاخص برداشت غوزه

نتایج نشان داد که اثر ساده بیوچار، اثر متقابل بیوچار و پرایمینگ بذر و همچنین پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی در سطح احتمال ۱ درصد و تیمار بیوچار و محلول‌پاشی در سطح احتمال ۵ درصد بر شاخص برداشت غوزه معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج اثر متقابل دوگانه تیمارها نشان داد که بیشترین شاخص برداشت غوزه از مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار توأم با محلول‌پاشی آب یا سالیسیلیک اسید و همچنین مصرف ۱۰ تن در هکتار توأم با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید حاصل شد که شاخص برداشت غوزه را نسبت به شاهد ۱۵/۸، ۱۴/۱ و ۱۰/۷ درصد افزایش داد.

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سه‌گانه صفات اندازه‌گیری شده گلرنگ تحت تأثیر کاربرد بیوچار، پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی

Table 5. Mean comparisons of three-way interaction factors the measured traits in safflower under application of biochar, seed priming and foliar application

تیمارهای آزمایشی Experimental treatment	حفظ آب برگ قطع‌شده Excise leaf water retention	محتوای کلروفیل a Chl a content	محتوای کلروفیل b Chl b content	محتوای کارتنوئید Carotenoid content	وزن خشک گل Flower dry weight	عملکرد روغن Oil yield
	(%)		(mg/g fw)		(kg/ha)	
B1P1S1	29.14^{bc}	0.89^{b}	0.298^{b}	0.429^{b}	14.32^{ab}	322.92^{b}
B1P1S2	27.41^{cd}	0.56^{c}	0.309^{b}	0.340^{c}	15.11^{a}	277.65^{bc}
B1P2S1	33.68^{a}	0.92^{b}	0.306^{b}	0.356^{c}	11.30^{c}	373.98^{a}
B1P2S2	30.00^{b}	1.18^{a}	0.502^{a}	0.578^{a}	12.95^{abc}	227.77^{d}
B1P3S1	30.69^{b}	0.31^{d}	0.296^{c}	0.302^{c}	14.62^{ab}	268.93^{cd}
B1P3S2	26.32^{d}	1.07^{ab}	0.475^{a}	0.482^{b}	12.07^{bc}	177.51^{e}
B2P1S1	27.32^{c}	1.17^{a}	0.391^{b}	0.449^{c}	13.76^{c}	282.15^{d}
B2P1S2	29.10^{c}	0.95^{b}	0.411^{b}	0.412^{cd}	17.82^{ab}	333.53^{c}
B2P2S1	23.62^{d}	0.51^{d}	0.410^{b}	0.519^{b}	19.38^{ab}	491.25^{a}
B2P2S2	31.78^{b}	0.72^{c}	0.307^{c}	0.374^{d}	15.32^{bc}	275.54^{d}
B2P3S1	33.70^{b}	0.82^{bc}	0.480^{a}	0.623^{a}	17.14^{ab}	261.24^{d}
B2P3S2	36.95^{a}	0.66^{cd}	0.303^{c}	0.350^{d}	18.82^{a}	416.46^{b}
B3P1S1	30.05^{bc}	1.07^{a}	0.494^{b}	0.428^{b}	16.76^{b}	223.83^{b}
B3P1S2	32.08^{b}	1.01^{a}	0.571^{a}	0.553^{a}	16.93^{b}	230.94^{b}
B3P2S1	34.95^{a}	0.69^{b}	0.288^{d}	0.304^{c}	18.50^{a}	212.53^{bc}
B3P2S2	20.57^{d}	0.44^{c}	0.254^{d}	0.266^{c}	12.11^{ef}	171.97^{c}
B3P3S1	29.36^{c}	0.77^{b}	0.415^{bc}	0.453^{b}	14.16^{c}	198.34^{bc}
B3P3S2	30.02^{c}	0.73^{b}	0.288^{d}	0.266^{c}	19.88^{c}	368.55^{a}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون (در هر سطح بیوچار)، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letters in each column (in each biochar level), are non- significantly different (P = 0.05) according to Duncan's multiple range test

نتایج اثر متقابل پرایمینگ و محلول‌پاشی نشان داد که با پرایمینگ سالیسیلیک اسید توأم با محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید شاخص برداشت غوزه نسبت به شاهد ۱۸/۳ درصد افزایش یافت (جدول ۵). چون در شرایط دیم در مرحله زایشی گیاه با محدودیت رطوبت مواجه می‌شود لذا به نظر می‌رسد که با کاربرد بیوچار از طریق حفظ آب قابل‌دسترس برای گیاه زمینه انتقال مواد حاصل از فتوسنتز و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به مخازن فراهم می‌شود، بنابراین ضمن تشکیل واحدهای زایشی بیشتری در گیاه، زمینه پر شدن هر واحد زایشی نیز فراهم می‌شود و لذا از این طریق می‌تواند شاخص برداشت غوزه افزایش یابد. گزارش شده است که بیشترین شاخص برداشت ماش (۱۶/۲ درصد) از کاربرد ۷۵ تن در هکتار بیوچار حاصل شد و از طرفی کاربرد ۱۰۰ تن در هکتار بیوچار شاخص برداشت را به ۱۳/۲ درصد کاهش داد (Rab et al., 2016). نتایج آزمایش ما با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. به نظر می‌رسد با افزایش مقدار بیوچار در محیط اطراف ریشه، رقابت جذب آب بین بیوچار و ریشه افزایش می‌یابد و از این طریق زمینه تنش کمبود آب برای گیاه فراهم می‌شود و باعث کاهش عملکرد می‌گردد. گزارش شده است که کاربرد بیوچار شاخص برداشت در کاهو و کلم

را افزایش داد (Sarah et al., 2013). بر اساس نتایج جدول ضرایب همبستگی بین شاخص برداشت غوزه با عملکرد دانه و عملکرد روغن در سطح احتمال ۱ درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری و با میزان نشت یونی در سطح احتمال ۱ درصد همبستگی منفی و معنی‌دار وجود داشت (جدول ۶).

عملکرد دانه

عملکرد دانه به‌طور معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر کاربرد بیوچار و اثر متقابل دوگانه تیمارها قرار گرفت (جدول ۳). نتایج اثر متقابل دوگانه تیمارها نشان داد که با کاربرد ۵ تن در هکتار بیوچار و پرایمینگ با آب مقطر یا سالیسیلیک اسید عملکرد دانه به ترتیب ۲۲/۴ و ۸/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد (جدول ۵). همچنین با کاربرد ۵ تن در هکتار بیوچار و محلول‌پاشی با آب مقطر یا سالیسیلیک اسید عملکرد دانه نسبت به شاهد افزایش نشان داد ولی با افزایش مقدار بیوچار به ۱۰ تن در هکتار و محلول-پاشی با آب یا سالیسیلیک اسید عملکرد دانه کاهش یافت. با توجه به نتایج علت کاهش عملکرد دانه با کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار، افزایش نشت یونی و کاهش شاخص برداشت غوزه بود. نتایج مقایسه میانگین پرایمینگ و محلول‌پاشی نشان داد که با پرایمینگ با آب توأم با محلول‌پاشی و همچنین پرایمینگ با سالیسیلیک اسید توأم با محلول‌پاشی، عملکرد دانه نسبت به شاهد به ترتیب ۱۸/۷ و ۲۱/۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). علت افزایش عملکرد محصول با کاربرد بیوچار این است که بیوچار باعث کاهش فراریت آمونیاک و بهبود کارایی مصرف نیتروژن می‌شود لذا از این طریق عملکرد محصول علوفه و بیوماس را افزایش می‌دهد (Oya and Iu, 2002). گزارش شده است در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین مقادیر شاخص‌های رشد و عملکرد دانه در گلرنگ از بذور پیش‌تیمار شده با ۲۸۰۰ میکرومول سالیسیلیک اسید حاصل شد ولی در شرایط تنش پس از گلدهی، گیاهانی که بذور آن‌ها با ۱۴۰۰ میکرومول پیش تیمار شده بودند از عملکرد بهتری برخوردار بودند (Baljain and Shekari, 2012). گزارش شده است سالیسیلیک اسید از طریق افزایش محتوای آبسیزیک اسید و پرولین می-تواند به توسعه واکنش‌های ضد تنشی کمک کند (Bandurska and Stroinski, 2005). محققان دلیل افزایش ۲۷ درصدی عملکرد دانه گلرنگ در شرایط مزرعه را به‌واسطه محلول‌پاشی با ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید را ناشی از انتقال مواد فتوسنتزی به مخزن می‌دانند، همچنین علت افزایش رشد در گیاه با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید را به افزایش فتوسنتز خالص و کربوکسیلاسیون، افزایش فعالیت آنزیم‌های نیترات ردوکتاز و کربنیک آنهیدراز و جلوگیری از اکسیداسیون اکسین ربط می‌دهند (Fariduddin et al., 2003). بر اساس نتایج جدول ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه با وزن خشک گل در سطح احتمال ۵ درصد و با شاخص برداشت غوزه و عملکرد روغن همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت اما با میزان نشت یونی در سطح احتمال ۱ درصد همبستگی منفی و معنی‌دار وجود داشت (جدول ۶). با توجه به نتایج به نظر می‌رسد با کاربرد بیوچار و پرایمینگ توأم با محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید در کشت دیم در شرایط کمبود آب، تولید رادیکال‌های آزاد در سلول کاهش می‌یابد و درنتیجه امکان کاهش نشت یونی در سلول فراهم می‌شود و از طریق بهبود شرایط برای فتوسنتز گیاه، مخازن زایشی بیشتری تشکیل و با انتقال مواد فتوسنتزی به مخازن تشکیل‌شده زمینه افزایش عملکرد دانه فراهم می‌شود.

عملکرد روغن

نتایج نشان داد که اثر ساده بیوچار و اثر متقابل بیوچار در پرایمینگ، بیوچار در محلول‌پاشی و پرایمینگ در محلول-پاشی بر عملکرد روغن در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج اثر متقابل بیوچار در پرایمینگ نشان داد که بیشترین عملکرد روغن به ترتیب از تیمارهای مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار توأم با پرایمینگ با آب یا سالیسیلیک اسید حاصل شد. همچنین نتایج اثر متقابل بیوچار در محلول-پاشی نشان داد که بیشترین عملکرد روغن از تیمار مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار توأم با محلول‌پاشی آب یا سالیسیلیک اسید حاصل شد. نتایج اثر متقابل پرایمینگ در محلول‌پاشی نشان داد که بیشترین عملکرد روغن از تیمار پرایمینگ با آب و محلول‌پاشی با آب و همچنین تیمار پرایمینگ با سالیسیلیک همراه محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید حاصل شد (جدول ۵). با توجه به نتایج علت افزایش عملکرد روغن با کاربرد بیوچار و پرایمینگ با آب یا سالیسیلیک اسید توأم با محلول‌پاشی، افزایش وزن خشک گل، شاخص برداشت غوزه و عملکرد دانه می‌باشد. پوشش‌دهی بذرهای سویا با ماده جامد بیوچار باعث بهبود خصوصیات رشدی، ویژگی‌های ریشه و ترکیب شیمیایی (نیتروژن و کربن) اندام هوایی گیاهان سویا شد (Glodowska et al., 2017). گزارش شده است که

کاربرد بیوچار همراه کود با نیتروژن احتمالاً باعث بهبود تأثیر بیوچار بر رشد و عملکرد محصول می‌شود. علت این موضوع این است که بیوچار به‌عنوان یک ماده اولیه حامل نیتروژن عمل می‌کند و از آبشویی نیتروژن جلوگیری کرده و آن را در دسترس گیاه قرار می‌دهد. گزارش شده است که با کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار عملکرد گیاه کاهش یافت اما زمانی که بیوچار همراه با نیتروژن استفاده شد، عملکرد افزایش یافت (Chan et al., 2007). محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش وزن هزار دانه و عملکرد دانه گلرنگ رقم فرامان شد اما وزن خشک بوته، تعداد دانه در کاپیتول و درصد روغن تحت تأثیر معنی‌دار محلول-پاشی سالیسیلیک اسید قرار نگرفت (Farjam et al., 2014). گزارش شده است که در گیاهان پرایمینگ شده با سالیسیلیک اسید از طریق افزایش سطح برگ باعث افزایش عملکرد دانه، درصد روغن، شاخص برداشت دانه و روغن شد (Baljain and Shekari, 2012). بر اساس نتایج جدول ضرایب همبستگی بین عملکرد روغن با وزن خشک گل در سطح احتمال ۵ درصد و با شاخص برداشت غوزه و عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت ولی با میزان نشت یونی همبستگی منفی و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول ۶).

جدول ۶. ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده گلرنگ

Table 6. Correlation coefficient between the measured traits of safflower

	Traits صفات	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	محتوای آب نسبی برگ RWC	1									
2	حفظ آب برگ قطع شده Excise leaf water retention	0.21^{ns}									
3	میزان نشت یونی Electrolyte Ion	-0.38^{ns}	-0.29^{ns}								
4	محتوای کلروفیل a Chl a content	-0.18^{ns}	0.16^{ns}	-0.04^{ns}							
5	محتوای کلروفیل b Chl b content	-0.03^{ns}	0.02^{ns}	0.12^{ns}	0.69*						
6	محتوای کارتنوئیدها Carotenoid content	-0.18^{ns}	0.04^{ns}	-0.04^{ns}	0.55*	0.86**					
7	وزن خشک گل Flower dry weight	0.58*	0.31^{ns}	-0.24^{ns}	-0.22^{ns}	0.04^{ns}	-0.04^{ns}				
8	شاخص برداشت غوزه Harvest index of head	0.45*	0.04^{ns}	-0.63**	-0.07^{ns}	-0.04^{ns}	0.04^{ns}	0.52*			
9	عملکرد دانه Grain yield	0.58*	0.08^{ns}	-0.68**	-0.29^{ns}	-0.22^{ns}	-0.06^{ns}	0.52*	0.83**		
10	عملکرد روغن Oil yield	0.56*	0.14^{ns}	-0.71**	-0.22^{ns}	-0.24^{ns}	-0.06^{ns}	0.49*	0.80**	0.98**	1

ns، * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

. *, ** Significant at 0.05and 0.01 level of probability, respectively

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد ۵ تن در هکتار بیوچار میزان نشت یونی را کاهش و محتوای کارتنوئیدها، وزن خشک گل، شاخص برداشت غوزه، عملکرد دانه و عملکرد روغن را به‌طور معنی‌دار افزایش داد. پرایمینگ با سالیسیلیک اسید توأم با محلول‌پاشی و کاربرد بیوچار از طریق بهبود محتوای آب اندام‌های هوایی و کاهش نشت یونی، اثر تنش کمبود آب در شرایط دیم را تعدیل نمود؛ بنابراین پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید توأم با مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار و محلول‌پاشی با آب یا سالیسیلیک اسید طی دو مرحله رشد رویشی و شروع غوزه‌دهی می‌تواند باعث بهبود برخی از صفات فیزیولوژیکی و عملکرد روغن گلرنگ در شرایط دیم شود.

قدردانی

از حوزه معاونت پژوهش دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک که امکان انجام این تحقیق را فراهم نمودند و همچنین از تمامی همکارانی که در اجرای هر چه بهتر این تحقیق ما را یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

Abbas, T., Rizwan, M., Ali, S., Adrees, M., Mahmood, A., Aia-ur-Rehman, M., Ibrahim, M., Arshad, M., Qayyum, M.F., 2018. Biochar application increased the growth and yield and reduced cadmium in drought stressed wheat grown in an aged contaminated soil. Ecotoxicology and Environmental Safety. 140, 37–47.

Ali, S., Rizwan, M., Qayyum, M.F., Ok, Y.S., Ibrahim, M., Riaz, M., Arif, M.S., Hafeez, F., Al-Wabel, M.I., Shahzad, A.N., 2017. Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: a critical review. Environmental Science and Pollution Research. 24, 12700–12712.

Akhtar, S.S., Andersen, M.N., Liu, F. 2015. Residual effects of biochar on improving growth, physiology and yield of wheat under salt stress.Agricultural Water Manage. 158, 61-68.

Ansari, O., Choghazardi, H.R., Sharif Zadeh, F., Nazarli, H., 2012. Seed reserve utilization and seedling growth of treated seeds of mountain rye (Secale *montanum*) as affected by drought stress. Cercetari Agronomice in Moldova. 2(150), 43-48.

Arfan, M., Athar, H.R., Ashraf, M., 2007. Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress? Journal of Plant Physiology. 164, 685-694.

Arnon, D.T., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts poly phenoloxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology. 24, 1-15.

Azooz, M.M., Youssef, M.M., 2010. Evaluation of heat shock and salicylic acid treatments as inducers of drought stress tolerance in Hassawi wheat. American Journal of Plant Pgisiology.5, 56-70

Bakewell-Stone, P., 2011. Introduction to Biochar in Tropical Agriculture, Pro Natura International, Paris, France. 51p.

Baljain, R., Shekari, F., 2012. Effects of priming by salicylic acid on yield and growth indices of safflower (*Carthamus tinctorus* L.) plants under end season drought stress. Sustainable Agriculture and Production Science. 22 (1), 87-107. [In Persian with English summary].

Bandurska, H., Stroinski, A., 2005. The effect of salicylic acid on barley response to water deficit. Acta Physiologiae Plantarum. 27, 379-386.

Bradaran Najjar, A., 2016. Effects of Biochar and salicylic acid on growth characteristic of safflower (*Carthamus tinctorus* L.) under water deficit stress. Thesis of M.Sc. Shahrood University of Technology. 107p. [In Persian].

Cag, S., Cevahir-Oz, G., Sarsag, M., Goren-Saglam, N., 2009. Effect of salicylic acid on pigment, protein content and peroxidase activity in excised sunflower cotyledons. Pakestan Journal of Botany. 41, 2297–2303.

Camas, N., Cirak, C., Esendal, E., 2007. Seed yield, oil content and fatty acids composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown in Northern Turkey conditions. Journal of Agriculture Faculty of Ondokuz Mayis University. 22, 98-104 .

Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S., 2007. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. Australian Journal of Soil Research. 45, 629-634 .

Christopher, J., Atkinson – Jean, D., Fitzgerald Neil A., 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. Plant and Soil. 337, 1–18.

Das, R.Ch., Somanagouda, G., Singh. B., 2017. Effect of integrated nutrient management (INM) practices on growth, yield and oil yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 6(4), 511-516.

Dat, J.F., Foyer, C.H., Scott, I.M., 1998. Changes in salicylic acid and antioxidants during induced thermotolerance in mustard seedlings. Plant Physiology. 118, 1455- 1461.

Davies, B.H., 1976. Caroteniods, In: Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments. (Ed.): T.W. Goodwin. (2nd Edition), Academic Press, London, 2, 38-165.

Dawood, M.G., Sadak, M.S., Hozayen, M., 2012. Physiological role of salicylic acid in improving performance, yield and some biochemical aspects of sunflower plant growth under newly reclaimed sandy soil. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 6(4), 82-89.

Dhopte, A.M., Manuel, L.M. 2002. Principals and Techniques for Plant Scientists. Lst End.Updeshpurohit for Agrobios (India). Odupur. p 373.

El-Tayeb, M.A., 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation. 45, 215-224.

Farahbakhsh, H., Shamsaddin Saiid, M., 2011. Effect of seed priming with NaCl on maize germination under different saline conditions. African Journal of Agricultural Research. 6(28), 6095-6099.

Farjam, S., Rokhzadi, A., Mohamadi, H., Ghalaeh shakhani, S., 2014. Effect of cut irrigation and foliar application of Salicylic acid on growth, Yield and components yield three safflower spring cultivars. Crop Physiology Journal. 6 (23), 99-111. [In Persian with English Summary].

Fariduddin, Q., Hayat, S., Ahmad, A. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylationefficiency, nitrate reducutase activity, and seed yield in *Brassica juncea*. Photosynthetica. 41(2), 281-284.

Galinato, S.P., Yoder, J.K., Granatstein, D., 2011. The economic value of biochar in crop production and carbon sequestration. Energy Policy. 39(10), 6344–6350 .

Gebremedhin, G.H., Haileselassie, 1.B., Berhe, D., and Belay, T., 2015. Effect of biochar on yield and yield components of wheat and post-harvest soil properties in Tigray, Ethiopia. Journal of Fertilizers and Pesticides. 6(2), 1-4.

Głodowska, M., Schwinghamer, T., Husk, B., Smith, D., 2017. Biochar based inoculants improve soybean growth and nodulation. Agricultural Sciences. 8, 1048-1064.

Hafeez, Y., Iqbal, S., Jabeer, K., Shahzad, S., Jahan, S., Rasul, F., 2017). Effect of biochar application on seed germination and seedling growth of *Glycine max* L. Merr. Under drought stress. Pakistan Journal of Botany. 49(SI), 7-13 .

Harris, D., Rashid, A., Miraj, G., 2008. On-farm seed priming with zinc in chickpea and wheat in Pakistan. Plant and Soil. 306, 3-10.

Hayat, S., Masood, A., Yusef, M., Fariduddin, Q., Ahmad, A., 2009. Growth of Indian Zea maize in response to salicylic acid under high-temperature stress. Brazilian Journal of Plant Physiology. 21(3), 187- 195.

Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., Ahmad, A., 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. Environmental and Experimental Botany. 68, 14-25.

Horvath, E., Szalai, G., Janda, T., 2007. Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. Plant Growth Regulation. 26, 290-300.

Iqbal, M., Ashraf, M., 2007. Seed treatment with auxins modulates growth and ion partitioning in salt-stressed wheat plants. Journal of Integrative Plant Biology. 49, 1003-1015.

Khan, W., Prithiviraj, B., Smith, D.L., 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. Journal of Plant Physiology. 160,485–492.

Lonbani, M., Arzani, A., 2011. Morpho-physiological traits associated with terminal drought-stress tolerance in triticale and wheat. Agronomy Research. 9, 315–329.

Maibangsa, S., Thangaraj, M., Roy, S., 2001. Alleviation of low irradiance stress in rice (*Oryza sativa* L.) by growth regulators. Annals of Plant Physiology. 13 (2), 133-142.

Major, J., Steiner, C., Downie, A., Lehmann, J., 2009. Biochar effects on nutrient leaching. Chapter 15. In: Lehmann, J., Joseph, S. (eds.), Biochar for Environmental Management Science and Technology. Earthscan, London. pp 271–287.

Miar Sadeghi, S., Shekari, F., Fotovet, R., Zangani, E., 2010. The effect of priming by salicylic acid on vigor and seedling growth of canola (*Brassica napus*) under water deficit

condition. Journal of Plant Biology. 2(6), 55-70. [In Persian with English Summary].

Martinez, J.P., Lutts, S., Schank, A., Bajji, M., Kinet, J.M., 2004. Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Meditrranean shrub *Atriplex halimus* L. Journal of Plant Physiology. 161, 1041-1051.

Mohammadkhani, N., Heidari, R., 2007. Effects of water stress on respiration, photosynthetic pigments and water content in tow Maize cultivar. Pakistan Journal Biological Science. 10, 4022-4028.

Novak, J.M., Busscher, W.J., Watts, D.W., Amonette, J.E., Ippolito, J.A., Lima, I.M., Gaskin, J., Das, K.C, Steiner, C., Ahmedna, M., Rehrah, D., Schomberg, H., 2012. Biochars impact on soil-moisture storage in an ultisol and two aridisols. Soil Science. 177, 310–320.

Omidi, A.H., Khazaei, H., Monneux, P., Stoddard, F., 2012. Effect of Cultivar and water regime on yield and yield components in safflower (*Carthamus tinctorius* L.).Turkish Journal of Field Crops. 17(1), 10-15.

Omidi, H., Tahmasebi, Z., Naghdi Badi, H.A., Torabi, H., Miransari. M., 2010. Fatty acid composition of canola (Brassica napus L.), as affected by agronomical, genotypic and environmental parameters. Comptes Rendus Biologies, 333(3), 248-254.

Oya, A., Lu, W.G., 2002. Deodorization performance of charcoal particles loaded with orthophosphoric acid against ammonia and trimethylamine. Carbon. 40(9), 1391-399.

Pereira, R.G., Heinemann, A.B., Madari, B.E., de MeloCarvalho, M.T., Kliemann, H.J., Pereira dos Santos Huberto Jose, A., 2012. Transpiration response of upland rice to water deficit changed by different levels of eucalyptus biochar. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 47(5), 716-721.

Piccolo, A., Pietramellara, G., Mbagwu, J.S.C., 1996. Effects of coal derived humic substances on water retention and structural stability of Mediterranean soils. Soil Use Management. 12,209- 213.

Popova, L.P., Maslenkova, L.T., Yordanova, R.Y., Ivanova, A.P., Krantev, A.P., Szalai, G., Janda, T., 2009. Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings. Plant Physioliochem. 47, 224–231.

Rab, A., Khan, M.R., Haq, S.U., Zahid, S., Asim, M., Afridi, M.Z., Arif, M., Munsif, F., 2016. Impact of biochar on mungbean yield and yield components. Pure Applied Biology. 5(3), 632-640.

Sadras, V.O., Milroy, S.P., 1996. Soil water thresholds for the responses of leaf expansion and gas exchange: a review. Field Crops Research. 47, 253-266.

Sarah, C., Shackley, S., Sohi, S., Haefele, S., 2013. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). Agronomy. 3, 404-418 .

Singh, B., Usha, K., 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Regulation. 39, 137-141.

Shinwari, Z.K., Rehman, H., Rabbani, M.A., 2014. Morphological traits based genetic diversity in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Pakistan Journal of Botany. 46(4), 1389-1395.

Sukartono, W., Utomo, H., Kusuma, Z., Nugroho, W.H., 2011. Soil fertility status, nutrient uptake, and maize (*Zea mays* L.) yield following biochar application on sandy soils of Lombok, Indonesia. Journal of Tropical Agriculture. 49, 47-52.

Szalai, G., Krantev, A., Yordanova, R., Popova, L.P., Janda, T., 2013. Influence of salicylic acid on phytochelatin synthesis in *Zea mays* during Cd stress. Turkish Journal of Botany. 37, 708–714.

Taheri Oshtrinani, F., Fathi, A., 2016. The impacts of mycorrhiza and phsphorus along with the use of salicylic acid on maize seed yield. Journal of Crop Ecophysiology. 10(3), 657-668. [In Persian with English Summary].

Wang, L.J., Li, S.H., 2006. Salicylic acid induced heat or cold tolerance in relation to Ca2+ homeostasis and antioxidant system in young grape plants. Plant Science. 170, 685-694.