

مطالعه تأثیر محلول پاشی تنظیم کننده های رشد گیاهی بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ذرت دانه ای تحت رژیم های مختلف آبیاری

مینا نجفی ساعتلو^۱، مهدی تاجبخش شیشوان^۲ و مهدی قیاسی^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۹

چکیده

به منظور بررسی پاسخ های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ذرت دانه ای تحت رژیم های مختلف آبیاری و محلول پاشی تنظیم کننده های رشد گیاهی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه اجرا شد. رژیم های آبیاری شامل: D₀: بدون تنش (آبیاری در ظرفیت زراعی)، D₁: تنش ملایم (آبیاری در ۷۵٪ ظرفیت زراعی) و D₂: تنش شدید (آبیاری در ۵۰٪ ظرفیت زراعی) و محلول پاشی در پنج سطح شامل محلول هومیوپاتی اوره (C30 ۱۰ درصد)، عصاره جلبک دریایی، سالیسیلیک اسید ۴۰۰ میلی گرم در لیتر، سولفات روی ۳ گرم در لیتر و عدم مصرف محلول پاشی به عنوان شاهد بود. نتایج نشان داد که محتوای قندهای محلول و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز) با افزایش شدت تنش خشکی، افزایش معنی داری یافت و محلول پاشی تنظیم کننده های رشدی نیز منجر به افزایش بیشتر این صفات گردید. رنگیزه های فتوسنتزی با افزایش تنش خشکی کاهش معنی داری نسبت به شرایط بدون تنش نشان دادند، با این وجود محلول پاشی باعث افزایش معنی داری در محتوای رنگیزه های فتوسنتزی نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین، پارامترهای نشان گر تنش اکسیداتیو مانند غلظت پرولین و محتوای مالون دی آلدئید با وجود افزایش در شرایط تنش خشکی، به واسطه محلول پاشی تنظیم کننده های رشد کاهش معنی داری نسبت به تیمار شاهد تحت تنش شدید و ملایم نشان دادند. با توجه به نتایج به دست آمده محلول پاشی تنظیم کننده های رشد گیاهی می تواند با حذف گونه های اکسیژن فعال و مضر که با کاهش محسوس محتوای مالون دی آلدئید در این گیاهان نشان داده شد، تحمل گیاهان به تنش خشکی را بهبود بخشد. محلول پاشی عصاره جلبک دریایی به ترتیب منجر به افزایش ۲۱، ۴۳ و ۳۰ درصدی در وزن هزار دانه (۲۶۴/۲ گرم در مترمربع)، عملکرد دانه (۱۱۹۹۷ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۳۲۴۵۸ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با شاهد شد. نتایج نشان داد محلول پاشی تنظیم کننده های رشدی با بهبود فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی و کاهش تنش اکسیداتیو توانست تأثیر منفی تنش خشکی بر محصول ذرت را کاهش دهد و منجر به افزایش در نهایت بهبود صفات رشدی و عملکرد گردید.

واژگان کلیدی: آنزیم های آنتی اکسیدانی، تغذیه برگی، سالیسیلیک اسید، سولفات روی، عصاره جلبک

دریایی، ماده هومیوپاتی.

۱- دانشجوی سابق دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران.

۲- استاد بازنشسته، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه ارومیه، ایران.

۳- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران.

مقدمه

ذرت یکی از مهم ترین غلات به شمار می رود، این محصول از نظر سطح زیر کشت پس از گندم و برنج قرار دارد (Ahmad *et al.*, 2020; Adewale *et al.*, 2018). تنش خشکی یکی از مهم ترین تنش های موجود در اراضی کشاورزی به شمار می رود. این تنش به واسطه تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی که بسته به شدت آن بر گیاهان و محصولات اعمال می کند، منجر به کاهش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی می شود (Talaat *et al.*, 2015; Ahammed *et al.*, 2020). یکی از تبعات بسیار مهم تنش ها و از جمله تنش خشکی، تولید گونه های فعال اکسیژن (ROS: Reactive Oxygen Species) می باشد که منجر به تنش اکسیداتیو در گیاهان می شود (Hussain *et al.*, 2020).

تغذیه مناسب تحت شرایط تنش و تیمارها و مدیریت های زراعی که می تواند سیستم های محافظتی از گیاه را در برابر تنش اکسیداتیو تشدید نماید، کمک قابل توجهی به تعدیل آثار تنش ها و همچنین تنش های اکسیداتیو می نماید (Ahammed *et al.*, 2020). یکی از روش های بهینه تامین مواد غذایی بویژه تحت شرایط وجود تنش های محیطی، محلول پاشی است. در محلول پاشی بخش اعظم مواد پاشیده شده بر سطح گیاهان به طور مستقیم توسط برگ جذب شده و در کوتاه ترین زمان ممکن وارد مسیرهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مربوطه می شود (Simoes *et al.*, 2017). براین اساس، محلول پاشی تنظیم کننده های رشد گیاهی بویژه تحت شرایط تنش می تواند منجر به حفظ کارایی واکنش های فیزیولوژیکی در گیاهان شده و از این طریق آثار تنش را تعدیل نماید (Sabir and Sari, 2019).

علاوه براین، محلول پاشی گیاهان، روشی موثر در تکمیل فرآیندهای تغذیه ای گیاهان می باشد. این روش بویژه در رابطه با تامین عناصر ریزمغذی و همچنین برخی از تنظیم کننده های رشد، کارایی بسیار بالایی دارد (Sabir and Sari, 2019). نتیجه تحقیقات متعدد بر روی محلول پاشی مواد تغذیه ای و مواد تنظیم کننده رشد در محصولات مختلف بویژه در شرایط تنش نشان داده است که این روش می تواند منجر به بهبود عملکرد کمی و کیفی به دست آمده گردد. برای مثال، محلول پاشی ترکیبات آلی منجر به بهبود عملکرد زیره سیاه (Ghiyasi *et al.*, 2017)، بادرشو (Okhchelar *et al.*, 2018)، ذرت (El-Hawary *et al.*, 2019; Shemi *et al.*, 2021) و گندم (Shemi *et al.*, 2021) تحت شرایط تنش خشکی شده است.

عناصر ریزمغذی تأثیر قابل توجهی بر بهبود عملکرد در تحقیقات مختلف داشته است. یکی از این ترکیبات عنصر روی می باشد. روی برای رشد و عملکرد طبیعی گیاهان بویژه در فرآیند سنتز پروتئین ها، کربوهیدرات ها، متابولیسم اسیدهای نوکلئوتیک و به عنوان کوفاکتور در کارکرد طیف وسیعی از آنزیم ها نقش دارد (Zafar *et al.*, 2014; Batista *et al.*, 2020; Ma *et al.*, 2017). مقادیر بالای روی در گیاه، بویژه در مراحل فعال رشد رویشی و زایشی عاملی مهم برای تعدیل خسارات مربوط به تنش اکسیداتیو و تقویت مکانیزم های آنتی اکسیدانی در گیاهان به شمار می رود (Yadavi *et al.*, 2014). محلول پاشی با ترکیبات مختلف روی در گیاه گندم (Esfandiari *et al.*, 2016)، ذرت (Afshari *et al.*, 2020) و آفتابگردان (Almeida *et al.*, 2020) منجر به بهبود عملکرد کمی و کیفی بویژه تحت شرایط تنش خشکی شده است.

جلبک دریایی بر روی گیاه لوبیا سفید (Beigzadeh et al., 2020) و سوبا (Rosa et al., 2021) نشان داده است که محلول پاشی انواع جلبک‌های دریایی منجر به بهبود رشد و افزایش معنی‌دار عملکرد بویژه تحت شرایط تنش خشکی شده است.

طی سال‌های اخیر، استفاده از دانش هومیوپاتی در کشاورزی، پیشرفت زیادی داشته است. استفاده از ترکیبات هومیوپاتی در کشاورزی تحت عنوان آگروهومیوپاتی شناخته می‌شود. در این روش با تکنیک‌های خاص از مواد فوق رقیق شده برای اعمال تیمار استفاده می‌شود (Tajbakhsh and Ghiyasi, 2017). نتایج تحقیقات مختلف بر روی زیره، سیاه‌دانه (Ghiyasi et al., 2017) و سایر گیاهان نشان داده که تیمار گیاهان به طرق مختلف از جمله محلول پاشی می‌تواند منجر به تغییرات مثبت در این گیاهان گردد. گرچه طی سال‌های متوالی مخالفان روش هومیوپاتی کارکرد آن را در حد داروهای زیر سوال قرار می‌دادند، اما تحقیقات جدید نشان داده است که این ترکیبات بر روی گیاهان، تاثیرات عینی فیزیولوژیک و مورفولوژیک دارند (Verdi et al., 2016; Pereira et al., 2019). لذا امروزه بسیاری از محققان به دنبال یافتن راهکارهای جدید در تغذیه، مبارزه با آفات و امراض و سایر زمینه‌های کشاورزی با استفاده از این ترکیبات می‌باشند. نتایج برخی از ترکیبات نشان داده است که وجود برخی نانوذرات در ترکیبات هومیوپاتی می‌تواند اثرات آنها را بر روی گیاهان و سایر ارگانیزم‌های زنده توجیه نماید (Hosseini et al., 2020; Pereira et al., 2020). آنچه مسلم است برای پی‌بردن به نتایج این ترکیبات باید

سالیسیلیک اسید از ترکیبات فنلی است که در بسیاری از واکنش‌های گیاهان، نقش یک تنظیم‌کننده را ایفا می‌کند. تاثیر این ماده در فرایندهای مهمی مثل فتوسنتز، نقل و انتقال یون‌ها، در واکنش‌های فیزیولوژیکی و همچنین فرآیند جذب آب به اثبات رسیده است (Klessig et al., 2018). این ترکیب به‌عنوان سیگنال مولکولی با فعال‌سازی برخی مکانیسم‌های دفاعی منجر به تعدیل آثار برخی از تنش‌ها از جمله تنش خشکی می‌شود (Klessig et al., 2018; Maruri-López et al., 2019). نتایج محلول پاشی با سالیسیلیک اسید در محصولات مختلف از جمله ذرت (Farouk et al., 2018)، گندم (Azmat et al., 2020) و برنج (Sohag et al., 2020) منجر به بهبود عملکرد کمی و کیفی در این گیاهان شده است.

در سال‌های اخیر استفاده از عصاره جلبک‌های دریایی به‌عنوان یک عامل موثر در بهبود تغذیه و رشد و نمو گیاهان، مورد توجه واقع شده است. در این رابطه استفاده از عصاره انواع جلبک‌های دریایی بویژه به‌صورت محلول پاشی به شدت مورد توجه قرار گرفته و استفاده از آن، نتایج مثبت متعددی در گیاهان مختلف داشته است (Goni et al., 2018). جلبک‌های دریایی ترکیبات بسیار متنوعی از جمله ترکیبات فنلی، آلژینیک اسید، مانیتول، لامینارین، بتائین‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها، غلظت‌های مختلف مواد معدنی و سایر کربوهیدرات‌ها را دارا می‌باشند که بسیاری از این مواد در کنار عناصر ریزمغذی متعدد و برخی از ترکیبات، بویژه ترکیبات نیتروژنه‌ای که در ترکیب آنها وجود دارد، می‌تواند به بهبود شرایط رشد و نمو گیاهان کمکی جدی نماید (Shukla et al., 2018). محلول پاشی عصاره

تحقیقات متعددی در این زمینه در سال های آتی انجام گیرد.

هدف از این تحقیق بررسی تاثیر تیمارهای مختلف محلول پاشی تنظیم کننده های رشدی بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی ذرت دانه ای تحت رژیم های مختلف آبیاری بود.

مواد و روش ها

این آزمایش طی دو سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، با ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا، با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۲ ثانیه، و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵ ثانیه، انجام شد. براساس گزارش های هواشناسی، ارومیه دارای اقلیم معتدل سرد و مرطوب با زمستان های سرد و مرطوب و تابستان های گرم و خشک است. قبل از انجام آزمایش به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، یک نمونه ترکیبی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری مزرعه گرفته شد و مورد تجزیه قرار گرفت. نتایج بررسی مشخصات خاک مزرعه در جدول ۲ نشان داده شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. رژیم های آبیاری شامل: D₀: بدون تنش (آبیاری در ظرفیت زراعی)، D₁: تنش ملایم (آبیاری در ۷۵٪ ظرفیت زراعی) و D₂: تنش شدید (آبیاری در ۵۰٪ ظرفیت زراعی) و محلول پاشی در پنج سطح شامل محلول هومیوپاتی اوره (C30) ۱۰ درصد، عصاره جلبک دریایی (ترکیبات در جدول ۱)، سالیسیلیک اسید ۴۰۰ میلی گرم در لیتر (Amin et al., 2013)، سولفات روی ۳ گرم در لیتر (Karimi et al., 2016) و عدم مصرف محلول پاشی به عنوان شاهد بود. برای تولید محلول هومیوپاتی اوره C30، ابتدا یک محلول فوق اشباع

از کود اوره خالص تهیه شد. غلظت این محلول ۳۵۰ گرم اوره در یک لیتر آب مقطر بود. پس از انجبال اوره، مقدار یک سی سی از این محلول با استفاده از پیپت برداشته شده و در داخل نیم لیتر آب مقطر ریخته شد. بلافاصله بطری حاوی محلول اوره تحت ضربات عمودی و افقی به تعداد ۱۰۰ مرتبه (براساس قوانین و دستورالعمل های دانش هومیوپاتی) فرار گرفت. این کار طی ۳۰ مرحله متوالی انجام گرفت. پس از این مراحل، محلول در ظرف شیشه ای غیرقابل نفوذ به نور قرار گرفت و جهت اعمال تیمارهای آزمایشی مورد استفاده قرار گرفت.

عملیات آماده سازی زمین شامل شخم سطحی، دیسک و کوددهی مزرعه آزمایشی هم زمان با عملیات تهیه زمین با استفاده از ۲۰ کیلوگرم کود کامل NPK (۲۰-۲۰-۲۰) انجام گرفت و کرت هایی در ابعاد ۴×۳ متر ایجاد شد. فاصله بین ردیف ها ۷۵ سانتی متر و فاصله بوته ها روی ردیف ۲۵ سانتی متر در نظر گرفته شد. و همچنین ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژنه اوره در دو مرحله (هم زمان با آبیاری در زمان کاشت و در مرحله ۸-۶ برگی) اضافه شد.

محلول پاشی در ساعات اولیه صبح توسط سم پاش دستی، در سه مرحله طی فصل رشد و در مراحل فنولوژیکی ۱۰-۸ برگی، ظهور تاسل و شروع پرشدن دانه ها انجام شد (Sharghi and Khalilvand Behrouzfar, 2019).

به منظور تعیین زمان اعمال تنش، ابتدا ظرفیت مزرعه ای خاک به دست آمد، سپس آبیاری تیمار شاهد براساس ظرفیت مزرعه ای و تیمارهای تنش ملایم و شدید به ترتیب بعد از رسیدن رطوبت خاک به ۷۵٪ و ۵۰٪ ظرفیت مزرعه اعمال گردید. آبیاری تا زمان اعمال تنش برحسب نیاز

کانوپی و بسته به شرایط آب و هوایی منطقه، و از مرحله ۸-۱۰ برگگی با توجه به رژیم‌های تعیین‌شده انجام گرفت (Sharghi and Khalilvand Behrouzvar, 2019). برای اندازه‌گیری رطوبت خاک از دستگاه انعکاس‌سنجی امواج (Time Domain Reflectometry) استفاده گردید. با استفاده از دستگاه TDR زمان آبیاری بر اساس زمان رسیدن به هریک از تیمارهای خشکی صورت گرفت. میزان آب ورودی به هر کرت نیز با استفاده از کنتور محاسبه و عمق آب استفاده‌شده در هر تیمار رطوبتی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (Daneshmand et al., 2008)؛ که در آن V_m : میزان آب با واحد مترمکعب، F_c : درصد رطوبت وزنی در مرحله ظرفیت زراعی، θ : متوسط رطوبت وزنی خاک در عمق ریشه برحسب درصد، B_d : وزن مخصوص ظاهری خاک (g / m^3)، D : عمق ریشه.

$$\text{رابطه ۱: } V_m = [D \times (F_c - \theta) \times B_d] \times 100$$

در مرحله ظهور گل‌آذین نر با انتخاب تصادفی سه بوته از هر کرت و سپس از برگ پرچم‌ها، بوته‌ها نمونه کافی برای تعیین کلروفیل a ، کلروفیل b ، کاروتنوئید، محتوای پروتئین، قندهای محلول و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیدازها و سطح مالون‌دی‌آلدئید تهیه شد. نمونه‌های گیاهان در داخل فویل آلومینیومی قرار گرفته و در نیتروژن مایع منجمد شد و تا زمان انجام آنالیزهای بیوشیمیایی در دمای $-80^\circ C$ درجه سلسیوس نگهداری شدند. ارتفاع گیاه ذرت در پایان رشد و هم‌زمان با رسیدگی از کف خاک تا انتهای آخرین گل‌آذین با خطکش برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین عملکرد

و اجزای عملکرد، با حذف ردیف‌های کناری و ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه، گیاهان دو مترمربع از هر کرت جدا و سپس به آزمایشگاه منتقل گردید. جهت محاسبه عملکرد بیولوژیک، تعداد ۱۰ بوته ذرت به‌طور تصادفی از دو مترمربع میانی هر کرت انتخاب شد. سپس برگ‌ها، ساقه‌ها، تاسل‌ها و بلال‌ها جدا شده و پس از خشک‌شدن، تعیین وزن شد و مجموع وزن آن‌ها به عنوان عملکرد بیولوژیک ثبت و برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. برای تعیین عملکرد دانه نیز با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ایی، تمامی دانه‌های به‌دست‌آمده از بلال-های جمع‌آوری‌شده، پس از بوجاری به کمک ترازوی دیجیتالی با دقت 0.01 گرم وزن شده و سپس عملکرد هر کرت آزمایشی محاسبه گردید. از میان دانه‌های جداشده از بلال‌های برداشت‌شده، تعداد ۳ تکرار ۱۰۰۰ بذری به‌طور تصادفی انتخاب و میانگین وزن حاصله به‌عنوان وزن هزاردانه آن کرت ثبت گردید. شاخص برداشت نیز از نسبت عملکرد دانه (اقتصادی) بر عملکرد بیولوژیک در واحد سطح به‌صورت درصد به‌دست آمد. تعداد ۱۰ بلال از بلال‌های برداشت‌شده به‌طور تصادفی انتخاب گردید و میانگین تعداد ردیف در آنها با شمارش ردیف‌های هر یک به‌دست آمد. همچنین، در بلال‌های مذکور تعداد دانه در ۲۰ ردیف به‌طور تصادفی شمارش گردید و میانگین آنها به‌عنوان تعداد دانه در ردیف بلال ثبت گردید.

در سنجش میزان پروتئین از روش (Bates et al., 1973) و قندهای محلول از روش (Desingh and Kanagaraj., 2007) استفاده شد. پس از آماده‌سازی عصاره آنزیمی، سنجش سوپراکسید دیسموتاز براساس تغییر شیمیایی نیتروبلو ترازولیوم و طبق روش (Masayasu and

(Hiroshi, 1979)، اندازه گیری فعالیت کاتالاز براساس میزان تجزیه آب اکسیژنه، طبق روش (Aebi, 1984) و سنجش پراکسیدازها طبق روش (Van Assche et al., 1988) انجام گرفت. برای تعیین محتوای مالون دی آلدئید (MDA) از روش (Ohkawa et al., 1979)، استفاده شد. تعیین مقدار کاروتنوئید کل در نمونه های آزمایشی براساس روش (Razmjoo, 1997) و میزان کلروفیل برگ های ذرت براساس روش (Zhang, 1990) انجام گرفت.

جهت ارزیابی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی آزمون بارتلت انجام گرفت و نتایج کای اسکور نشان دهنده یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی در دو سال بود. داده ها با استفاده از نرم افزار SAS آنالیز و مقایسه میانگین داده ها از طریق آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه مرکب داده های آزمایش (جدول ۳ و ۴) نشان داد که اثر اصلی سال و اثر متقابل سال × رژیم آبیاری، سال × محلول پاشی و سال × رژیم آبیاری × محلول پاشی بر عملکرد و خصوصیات رشدی، محتوای رنگیزه های فتوسنتزی، سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیدازها، مالون دی آلدئید، پرولین، قندهای محلول، معنی دار نبود، اما اثر اصلی رژیم آبیاری و تیمارهای محلول پاشی و همچنین اثر متقابل رژیم آبیاری × محلول پاشی بر روی صفات مورد مطالعه معنی دار بود (جدول ۳ و ۴).

خصوصیات رشدی و عملکرد

تنش خشکی به طور قابل توجهی خصوصیات رشدی و عملکرد ذرت را کاهش داد. این کاهش در گیاهان تحت تنش ملایم و شدید به ترتیب

برای ارتفاع بوته (۸٪ و ۲۳٪)، وزن خشک برگ ها (۷٪ و ۲۰٪)، وزن خشک بوته ها (۲۲٪ و ۳۹٪)، تعداد ردیف دانه در بلال (۸٪ و ۲۰٪)، تعداد دانه در ردیف (۱۴٪ و ۴۲٪)، عملکرد بیولوژیک (۱۹٪ و ۳۶٪)، عملکرد دانه (۱۴٪ و ۴۴٪)، شاخص برداشت (۵٪ و ۱۷٪) و وزن هزاردانه (۷٪ و ۱۷٪) مشاهده شد. در مقابل، محلول پاشی تنظیم کننده های رشدی منجر به بهبود این صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش و بدون تنش گردید. محلول پاشی عصاره جلبک دریایی به ترتیب منجر به افزایش ۳۴٪ در تعداد دانه در ردیف، ۲۷٪ در تعداد ردیف در بلال، ۲۱٪ در وزن هزاردانه، ۴۳٪ در عملکرد دانه، ۳۰٪ در عملکرد بیولوژیک و ۱۲٪ در شاخص برداشت شد (شکل ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹). تنش خشکی به شدت مانع رشد و بهره وری ذرت می شود (Ma et al., 2017). نتایج یک مطالعه نشان داد که تنش خشکی منجر به کاهش معنی دار رشد و پارامترهای عملکرد ذرت شد، در حالی که محلول پاشی سالیسیلیک اسید، ارتفاع بوته، وزن تر و خشک برگ ها، تعداد دانه و عملکرد را در شرایط تنش خشکی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد (Ghazi, 2017). بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد گیاهان تحت تنش خشکی با محلول پاشی تنظیم کننده های رشدی گیاه توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Kareem et al., 2017; Fardus et al., 2017; Farouk et al., 2018).

کاهش در رشد و عملکرد گیاهان تحت تنش خشکی ممکن است ناشی از مسدود شدن بافت های آوندی و عدم انتقال آب، مواد معدنی و آسمیلات ها از برگ ها به دانه ها (Taiz and Zeiger, 2006) و یا کاهش کارایی فتوسنتز گیاه به دلیل بسته شدن روزنه ها در شرایط خشکی، مهار

مقایسه با شاهد به ترتیب در حدود ۳۲٪، ۲۲٪ و ۷٪ کاهش در مقدار پرولین نشان دادند. تأثیر تیمار هومیوپاتی‌آور و شاهد بر محتوای پرولین از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۱۰). نتایج مشابهی در مطالعه شفیق و همکاران (Shafiq *et al.*, 2019) مبنی بر افزایش محتوای پرولین در گیاه ذرت تحت تنش خشکی گزارش شد. زمانی که گیاهان در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند با سنتز و تجمع اسمولیت‌های محلول و سازگار مانند پرولین، گلیسین بتائین و قندهای محلول، آماز سلولی را حفظ می‌کنند (Akram *et al.*, 2018). پرولین به عنوان آمینو اسیدی با وزن مولکولی کم، در تنظیم اسمزی و کاهش پسابیدگی بافت، محافظت از ساختار طبیعی پروتئین‌های مختلف، آنزیم‌ها و غشاهای سلولی در گیاهان تحت تنش خشکی نقش مهمی داشته و مقاومت گیاه به خشکی را افزایش می‌دهد (Yang *et al.*, 2015; Per *et al.*, 2017). همچنین، پرولین با جمع‌آوری و خنثی‌سازی انواع اکسیژن فعال و فعال کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از گیاهان در برابر آسیب‌های تنش اکسیداتیو ناشی از افزایش ROS محافظت می‌کند (Nandini and Sharma, 2018). در گیاهان عالی، پیش‌ماده سنتز پرولین گلوتامیک اسید است و عمدتاً با فعالیت دو آنزیم پرولین اسید ۵ کربوکسیلاز سینتاز (P5CS) و پرولین اسید ۵ کربوکسیلاز ردوکتاز (P5CR) سنتز می‌شود (Hayat *et al.*, 2012).

در تحقیق حاضر، افزایش شدت تنش خشکی نیز به طور معنی‌داری باعث افزایش تجمع پرولین شد ولی در شرایط محلول‌پاشی محتوای پرولین کاهش یافت که می‌توان به مقاومت گیاهان نسبت داد. در آزمایشی که بر روی گیاه ذرت انجام گرفت، تنش خشکی باعث افزایش

ریبولوز ۱، ۵ بیس فسفات کربوکسیلاز / اکسیژناز (Rubisco)، و اختلال در سنتز ATP مورد نیاز برای رشد گیاه باشد (Lawlor and Cornic, 2002). علاوه بر این، تنش خشکی با کاهش وضعیت آب برگ‌ها، جذب آب و ترکیبات نیتروژنی و یا کاهش فعالیت کینازهای وابسته به سایکلین، تقسیم سلولی و افزایش طول سلول‌ها را کاهش می‌دهد که در نهایت منجر به کاهش رشد گیاه می‌شود (Hussain *et al.*, 2008; Farouk and Abdul Qados, 2013). تأثیر خشکی بر کاهش عملکرد و خصوصیات رشدی گیاهان در سایر مطالعات نیز گزارش شده است (Farouk *et al.*, 2016; Karimi *et al.*, 2013).

تأثیر القاء‌کننده‌ی سالیسیلیک اسید ممکن است ناشی از تأثیر بر فرایندهای فیزیولوژیکی مانند افزایش آسیمیلایون کربن، افزایش بیوسنتز متابولیت‌ها و حفظ آب بافت‌ها باشد (Habibi, 2012). همچنین، اثر مثبت محلول‌پاشی سولفات روی بر رشد، ارتفاع و عملکرد گیاهان می‌تواند به دلیل نقش عنصر روی در سنتز هورمون اکسین، فرایندهای متابولیسم نیتروژن و فعالیت آنزیم‌ها باشد (Brennan, 1991). همسو با نتایج این مطالعه، افزایش معنی‌داری در تعداد ردیف دانه در بلال و عملکرد دانه ذرت تحت محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی گزارش شده است (Layek *et al.*, 2016).

پرولین: افزایش تنش خشکی سبب افزایش

معنی‌دار محتوای پرولین در برگ‌های ذرت شد (شکل ۱۰). با این وجود، تیمارهای محلول‌پاشی میزان پرولین را در شرایط تنش و بدون تنش در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داد. در میان تیمارهای محلول‌پاشی، محلول عصاره جلبک دریایی، سالیسیلیک اسید و سولفات روی در

محتوای پرولین شد و در مقابل، محلول پاشی گیاه با سالیسیلیک اسید و آسکوربیک اسید مقدار پرولین را کاهش داد (Loutfy et al., 2020). همچنین، کریمی و همکاران (Karimi et al., 2016) نتایج مشابهی در گیاه سویا مبنی بر افزایش محتوای پرولین تحت تأثیر کمبود آب و کاهش در مقدار آن در غلظت های مختلف محلول پاشی روی گزارش کردند. نتایج تحقیق حاضر به خوبی نشان می دهد محلول پاشی عصاره جلبک دریایی، سالیسیلیک اسید و سولفات روی در شرایط تنش خشکی بسیاری از سیگنال های مربوط به تنش در گیاه را فعال نکرده و در نتیجه میزان پرولین در گیاه متعاقب استفاده از این تیمارها افزایش نیافته است. این امر دلیلی بر تعدیل معنی دار آثار تنش خشکی در اثر محلول پاشی با تیمارهای مورد استفاده است. محققین اعلام داشتند کاهش سطح پرولین در گیاهان در پاسخ به محلول پاشی تنظیم کننده های رشد گیاه ممکن است با عوامل ویژه ای مانند فعالیت آنزیم پرولین اکسیداز در ارتباط باشد (Devi et al., 2012) که پرولین را به صورت کاتالیزوری به گلوتامیک اسید تغییر داده و به بیوسنتز سایر پروتئین ها کمک بیشتری می کند (Niakan et al., 2012). همچنین، به دلیل این که پیش ماده سنتز کلروفیل و پرولین گلوتامیک اسید است، محلول پاشی گیاه تحت تنش خشکی، ضمن افزایش سنتز کلروفیل می تواند منجر به کاهش محتوای پرولین گردد (Mohammadi et al., 2016).

قندهای محلول: سطح قندهای محلول در

تنش ملایم و شدید به ترتیب ۱۰٪ و ۳۵٪ نسبت به شرایط بدون تنش افزایش یافت (شکل ۱۱). همچنین، محلول پاشی تیمارهای آزمایشی منجر به افزایش معنی دار قندهای محلول در گیاهان

تحت تنش خشکی و بدون تنش شد (جدول ۴)، به طوری که مقدار این صفت در محلول پاشی عصاره جلبک دریایی، سالیسیلیک اسید، سولفات روی و هومیوپاتی اوره به ترتیب ۳۶٪، ۲۶٪، ۱۱٪ و ۵٫۸٪ نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد (شکل ۱۱). افزایش در محتوای قندهای محلول تحت تنش خشکی و افزایش مضاعف با محلول پاشی تیمارهای مختلف در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (Goni et al., 2018; Farouk et al., 2016; Karimi et al., 2018).

قندهای محلول در گیاهان تحت تنش های غیرزنده، در از بین بردن ROS، حفظ تعادل اسمزی و تثبیت غشاء نقش مهمی دارند (Sharma et al., 2020). قندهای محلول می توانند در گیاهان نقش آنتی اکسیدانی داشته باشند (Lang-Mladek et al., 2010). در کنار آنتی اکسیدان های آنزیمی، قندهای محلول (مانند ساکارز، گلوکز و فروکتوز) نقش دوگانه ای نسبت به ROS دارند. قندهای محلول ضمن این که می توانند در مسیرهای متابولیکی تولیدکننده ROS نقش داشته باشند، همچنین از طریق مسیرهای تولید NADPH، مانند مسیر اکسیداتیو پنتوزفسفات، به طور غیرمستقیم در کاهش ROS مشارکت دارند (Couée et al., 2006). گروه هیدروکسیل قندهای محلول جایگزین آب غشاها و پروتئین ها می شود تا واکنش های آبدوستی طی پسابیدگی حفظ گردد. قندها با پروتئین ها و غشاها پیوندهای هیدروژنی تشکیل می دهند تا از تغییر شکل آنها جلوگیری شود. بعلاوه، قندهای محلول در تشکیل شیشه بیولوژیکی در سیتوپلاسم برای حفاظت از اندامک های سلولی تحت تنش خشکی نقش دارند (Leopold et al., 1994). در شرایط کمبود آب، حتی اگر جذب CO₂ کاهش یابد

گیاهان به شرایط تنش خشکی است که توسط سایر پژوهشگران نیز در محصولات مختلف مانند سویا (Razmi et al., 2017) کلزا (Akram et al., 2018) و ارزن انگشتی (Mukami et al., 2019) گزارش شده است. همچنین، نتایج یک مطالعه نشان داد که محلول پاشی سالیسیلیک اسید باعث افزایش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در ژنوتیپ-های سویا تحت تنش خشکی شد (Razmi et al., 2017). گزارش برخی از مطالعات حاکی از تأثیر مثبت محرک‌های زیستی مانند عصاره جلبک دریایی بر افزایش محتوای کلروفیل گیاهان تحت تنش خشکی است (Saeger et al., 2019; Bulgari et al., 2019).

رنگیزه‌های کلروفیلی در شرایط کمبود آب نقش مهمی در جمع‌آوری انرژی و جذب نور ایفا می‌کنند (Akram et al., 2018). کاروتنوئیدها نیز در خنثی کردن گونه‌های اکسیژن فعال، ثبات ترکیبات فتوسنتزی، مشارکت در کنترل تولید گونه‌های فعال اکسیژن و جمع‌آوری آن‌ها نقش مضاعفی دارند که می‌تواند از ساختار کلروپلاست محافظت کند (Kayro, 2006). در بسیاری از گونه‌های گیاهی، تنش خشکی از طریق تخریب ساختار کلروپلاست و بی‌ثباتی کلروفیل، کاهش بیوسنتز کلروفیل و تولید بیش از حد ROS منجر به کاهش در محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود (Mohamed and Latif, 2017; Sheteiwy et al., 2018). محلول پاشی گیاهان ذرت در این آزمایش باعث افزایش کل رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها) در مقایسه با تیمار شاهد شد. این نتایج با گزارش سایر پژوهشگران در مطالعه تأثیر محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و اسید فولیک بر روی سویا (Rosa et al., 2021)، و محلول پاشی

محتوای قندهای محلول معمولاً افزایش می‌یابد (Sharma et al., 2019). به طور کلی، گیاهان تحت تنش خشکی تمایل دارند تا سطح قندهای محلول را در برگ حفظ کنند، اگرچه سرعت جذب و آسمیلایسیون کربن تاحدی کاهش می‌یابد. حفظ محتوای قند محلول ممکن است با هزینه تجزیه و کاهش شدید نشاسته همراه باشد (Chaves, 1991). افزایش محتوای قندهای محلول ناشی از تجزیه و شکسته شدن برخی کربوهیدرات‌ها ممکن است به افزایش تحمل خشکی و حفظ فعالیت متابولیک گیاهان تحت تنش کمک کند (Xiao et al., 2008).

میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی:

کاهش معنی‌داری در مقادیر کلروفیل (a+b) و کاروتنوئیدها در برگ‌های ذرت تحت تنش خشکی مشاهده شد (شکل ۱۲ و ۱۳). در مقابل، با کاربرد تیمارهای محلول پاشی مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی بهبود و افزایش یافت. این افزایش در مقایسه با تیمار شاهد شامل ۲۵٪، ۱۶٪، ۸٪ و ۴٪ در مجموع کلروفیل (a+b) و در محتوای کاروتنوئیدها ۲۷٪، ۲۵٪، ۱۵٪ و ۷٪ به ترتیب از طریق محلول پاشی عصاره جلبک دریایی، سالیسیلیک اسید، سولفات روی و هومیوپاتی‌آور به دست آمد. در مقایسه میانگین تیمارها محلول پاشی با عصاره جلبک دریایی تحت شرایط معمول آبیاری بالاترین محتوای کلروفیل (a+b) و کاروتنوئید را به خود اختصاص داد و کم‌ترین مقدار این صفات مورد مطالعه در تیمار شاهد تحت تنش خشکی شدید مشاهده شد. همچنین، در شرایط تنش ملایم و شدید تأثیر تیمار عصاره جلبک دریایی و سالیسیلیک اسید بر میزان افزایش این صفات از لحاظ آماری یکسان بود (شکل ۱۲ و ۱۳). کاهش در رنگیزه‌های فتوسنتزی پاسخ رایج

سالیسیلیک اسید، روی و بتائین ها در ذرت (Shemi et al., 2021) همسو می باشد.

فعالیت آنتی اکسیدان های آنزیمی:

با افزایش شدت تنش خشکی فعالیت آنزیم های سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و پراکسیدازها (POX) افزایش یافت، اما در مورد آنزیم POX این افزایش در میان تنش ملایم و شدید اختلاف معنی داری نشان نداد. همچنین، محلول پاشی گیاهان ذرت باعث افزایش بیشتر و معنی دار SOD، CAT و POD نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۳). افزایش فعالیت آنزیم های SOD (۵۴٪، ۵۱٪، ۱۵٪ و ۳٪) و CAT (۴۲٪، ۳۳٪، ۱۳٪ و ۲٪) در مقایسه با شاهد به ترتیب توسط محلول سالیسیلیک اسید، عصاره جلبک دریایی، سولفات روی و هومیوپاتی اوره و افزایش در آنزیم POD (۱۳۶٪، ۱۰۶٪، ۴۱٪ و ۱۳٪) در مقایسه با شاهد به ترتیب در محلول پاشی، عصاره جلبک دریایی، سالیسیلیک اسید، سولفات روی و هومیوپاتی اوره به دست آمد (شکل ۱۴، ۱۵ و ۱۶). در تحقیق مشابهی، بالاترین فعالیت آنزیم های SOD، CAT و POD در شرایط تنش خشکی گزارش گردید (Shafiq et al., 2019). در آزمایش دیگری، فعالیت آنزیم های POD و CAT در گیاه جو تحت تنش خشکی و بدون تنش با کاربرد محرک های رشدی مختلف افزایش یافت (Hafez and Seleiman, 2017).

تولید گونه های اکسیژن فعال (ROS) در اثر عدم تعادل بین تولید H^+ ، NADPH در واکنش های نوری فتوسنتز و مصرف آن در چرخه کالوین در شرایط تنش رطوبتی افزایش می یابد (Basu et al., 2016). برای مقابله با ROS، گیاهان مجهز به سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی هستند که به کاهش آسیب اکسیداتیو کمک می کند و به واسطه

زدودن گونه های اکسیژن فعال از طریق آنزیم هایی مانند SOD و POD تحمل گیاه به خشکی را بهبود می بخشد (Akladios and Mohamed, 2018). در میان آنزیم های آنتی اکسیدانی، SOD، CAT و POD از مکانیسم های مهم در تحمل گیاه به تنش اکسیداتیو هستند (Liu et al., 2015). آنزیم SOD در کاتالیزوری تجزیه دو مولکول سوپراکسید به پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و اکسیژن (O_2) نقش مهمی دارد (Ashraf, 2009). سپس پراکسید هیدروژن تولید شده توسط آنزیم های کاتالاز و انواع پراکسیدازها پاکسازی می شود. کاتالاز H_2O_2 را به آب و اکسیژن مولکولی تبدیل می کند. در حالی که پراکسیدازها با اکسیداسیون سوبستراهای مشترک مانند ترکیبات فنلی و یا آنتی اکسیدان ها، H_2O_2 را تجزیه می کند (Meloni et al., 2003). نقش سالیسیلیک اسید در از بین بردن H_2O_2 در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Li et al., 2014). تأثیر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر افزایش تحمل گیاه ذرت به خشکی حاکی از افزایش فعالیت آنزیم های SOD، CAT و POD است (Farouk et al., 2018). محلول پاشی گیاه لوبیا با عصاره جلبک دریایی (ANE: *Ascophyllum nodosum extract*) تحت تنش خشکی با افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی از جمله SOD و CAT منجر به کاهش ROS گردید (Elansary et al., 2016). نتایج مشابهی نیز در ارقام کلزا (Akram et al., 2018) و تربچه (Shafiq et al., 2015) در افزایش فعالیت های آنزیمی گیاهان تحت تنش خشکی مشاهده شد.

میزان مالون دی آلدئید (MDA):

بر اساس نتایج به دست آمده، افزایش معنی داری در محتوای MDA گیاهان تحت تنش

بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در ذرت در شرایط مختلف رطوبت خاک می‌تواند به شکلی مؤثر، گونه‌های اکسیژن فعال و مضر را حذف کند که با کاهش محسوس محتوای MDA در این گیاهان نشان داده شده است (شکل ۱۷). مطالعات قبلی، افزایش آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی را درحالی‌که محتوای MDA، H_2O_2 و O_2^- در گیاهان مختلف با کاربرد تیمارهای محلول‌پاشی کاهش یافته است، گزارش کرده‌اند (Sofy, 2015; Chen *et al.*, 2016; Akter *et al.*, 2018; Moharmmmnejad *et al.*, 2019).

در این تحقیق نیز افزایش شدت تنش خشکی با افزایش مقدار MDA همراه بود در صورتی‌که با کاربرد تیمارهای محلول‌پاشی کاهش در محتوای MDA در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده شد. مطابق با یافته‌های این مطالعه، افزایش در محتوای MDA در شرایط تنش کمبود رطوبتی و کاهش در محتوای آن به دلیل محلول-پاشی سالیسیلیک اسید را گزارش شده است (Razmi *et al.*, 2017).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد رژیم‌های مختلف آبیاری باعث ایجاد تغییرات در ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان ذرت شد، به‌طوری‌که تحت تنش ملایم و شدید خشکی محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی کاهش و مقدار اسمولیت‌های محلول مانند پرولین و قندهای محلول افزایش یافت. همچنین، بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و مقدار مالون‌دی‌آلدئید افزوده شد. با این وجود، محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی (هومیوپاتی‌اوره، عصاره جلبک‌دریایی، سالیسیلیک اسید، سولفات‌روی و شاهد) از طریق افزایش رنگیزه‌های

خشکی مشاهده شد (شکل ۱۷). در مقابل، محتوای مالون‌دی‌آلدئید به‌عنوان شاخص آسیب اکسیداتیو و پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی، کاهش معنی‌داری را در تیمارهای محلول‌پاشی شده نشان داد، به‌طوری‌که در مقایسه با گیاهان شاهد، محلول‌پاشی با عصاره جلبک‌دریایی، سالیسیلیک‌اسید، سولفات‌روی و هومیوپاتی‌اوره به ترتیب منجر به کاهش تقریباً ۳۷٪، ۳۰٪، ۲۰٪ و ۸٪ در محتوای MDA شد و در میان تیمارهای محلول‌پاشی کم‌ترین مقدار MDA مربوط به تیمار عصاره جلبک‌دریایی بود. مشابه با نتایج این تحقیق، سایر محققین نیز افزایش محتوای MDA تحت تنش خشکی را گزارش کردند (Sadeghipour, 2018; Mukami *et al.*, 2019). باین‌وجود، نتایج مطالعه شمی و همکاران (Shemi *et al.*, 2021) حاکی از آن است که محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید، روی و بتائین‌ها بر روی گیاه ذرت تحت تنش خشکی منجر به کاهش محتوای MDA گردید. ما و همکاران (Ma *et al.*, 2017) دریافتند که سطح بیان‌نسبی ژن‌های مسئول سنتز آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و گلوتاتیون ردوکتاز در برگ‌پرچم گندم‌های تحت تنش خشکی ملایم و شدید همراه با محلول‌پاشی روی (Zn) به‌طور چشم‌گیری افزایش یافت درحالی‌که محتوای MDA کاهش فراوانی نشان داد.

گونه‌های اکسیژن فعال به دلیل واکنش با اجزای مختلف سلول و پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی دارای اثرات مضر و مخرب در گیاهان هستند (Wang *et al.*, 2016). پراکسیداسیون لیپیدی منجر به آسیب در غشای پلاسمایی، نشت محتویات سلولی و در نهایت مرگ سلول می‌شود (Demidchik, 2015). محلول‌پاشی گیاهان با

بدون تنش در تیمار عصاره جلبک دریایی به دست آمد. به نظر می رسد که محلول پاشی تنظیم کننده های رشدی به دلیل بهبود خصوصیات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی منجر به افزایش تحمل گیاهان و عملکرد در شرایط تنش خشکی گردید.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه ارومیه بابت تامین هزینه های این پژوهش و از اساتید محترم که در اجرای این پژوهش مرا یاری نمودند، تقدیر و تشکر می گردد.

فتوسنتزی، محتوای قندهای محلول و بهبود فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی در ذرت در شرایط مختلف رطوبت خاک به شکلی مؤثر با حذف گونه های اکسیژن فعال و مضر که با کاهش محسوس محتوای MDA در این گیاهان نشان داده شده است، تحمل گیاهان به تنش خشکی را بهبود بخشید. در میان تیمارهای آزمایشی نیز محلول عصاره جلبک دریایی در مقایسه با سالیسیلیک اسید، سولفات روی و هومیوپاتی اوره در بهبود صفات فیزیولوژیکی تأثیر بیشتری داشت و کمترین مقدار مالون دی آلدئید در شرایط تنش و

جدول ۱- محتوای عصاره جلبک دریایی

Table 1- Seaweed extract chemical content

Nutrients عناصر معدنی	Content مقدار ترکیبات
Nitrogen	0.18%
Phosphorus	0.46%
Potassium	1.82%
Calcium	0.18%
Magnesium	0.03%
Sodium	0.18%
Iron	246.0 ppm
Zinc	12.87 ppm
Copper	15.62 ppm
Manganese	14.12 ppm
Growth hormones:	Cytokinin, Auxin, Gibberelin Trace

جدول ۲- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در سال های ۱۳۹۸-۱۳۹۷

Table 2- Soil physical and chemical characteristics of the experimental location

هدایت الکتریکی Ec (ds.m ⁻¹)	اسیدیته کل pH	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	کربن آلی O.C (%)	نیتروژن کل N (%)	فسفر P ₂ O ₅ (ppm)	پتاسیم K ₂ O (ppm)	بافت خاک Soil texture
0.9	7.6	35	39	26	0.51	0.043	8.9	115.6	لوم رسی
0.9	7.7	33	38	29	0.53	0.043	8.9	118	لوم رسی

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب تأثیر تیمارهای محلول پاشی بر خصوصیات رشدی و عملکرد ذرت تحت رژیم‌های آبیاری مختلف

Table 3- Combined variance analysis for the effect of foliar application on yield and yield components of maize under different irrigation systems

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک برگ Leaf weight	وزن خشک بوته Plant weight	تعداد ردیف دانه در بلال Grain in ear	تعداد دانه در ردیف Grain No. in row
Year سال	1	24.544 ^{ns}	44.18 ^{ns}	5.68 ^{ns}	0.203 ^{ns}	5.017 ^{ns}
R(Y) تکرار در سال	4	50.94	21.37	167.42	0.906	1.908
Factor A خشکی	2	25150.71 ^{**}	5508.8 ^{**}	126864.7 ^{**}	69.47 ^{**}	2187.41 ^{**}
Y×A سال×خشکی	2	77.37 ^{ns}	3.77 ^{ns}	120.3 ^{ns}	0.166 ^{ns}	0.107 ^{ns}
Factor B محلول	4	1480.94 ^{**}	2006.4 ^{**}	15817.9 ^{**}	37.97 ^{**}	314.09 ^{**}
Y×B سال×محلول	4	42.21 ^{ns}	19.05 ^{ns}	150.5 ^{ns}	0.129 ^{ns}	1.321 ^{ns}
A×B محلول×خشکی	8	118.46 ^{ns}	106.7 ^{**}	301.9 ^{ns}	3.06 ^{**}	15.203 ^{ns}
Y×A×B سال×محلول×خشکی	8	35.54 ^{ns}	14.60 ^{ns}	136.3 ^{ns}	0.230 ^{ns}	6.498 ^{ns}
Error خطا	56	43.20	20.14	104.65	0.43	3.96
C.V.(%) ضریب تغییرات		2.94	3.86	3.94	4.81	6.18

^{ns}، * و ^{**} به ترتیب بیانگر معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ و غیرمعنی‌دار می‌باشند.

^{ns}، ^{**} and ^{*} are indicative of significance at the probability levels of 5% and 1% respectively and non-significant.

ادامه جدول ۳-

Table 3- Continued

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biologic yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن هزاردانه 1000 grain weight
Year سال	1	381811.60 ^{ns}	20430 ^{ns}	4.89 ^{ns}	214.6 ^{ns}
R(Y) تکرار در سال	4	592022.8	5216244	12.005	16.87
Factor A خشکی	2	260644339.95 ^{**}	1307855552 ^{**}	318.211 ^{**}	14646.2 ^{**}
Y×A سال×خشکی	2	3553.42 ^{ns}	243227 ^{ns}	0.33 ^{ns}	1.74 ^{ns}
Factor B محلول	4	48321617.7 ^{**}	197015647 ^{**}	57.99 ^{**}	6201.17 ^{**}
Y×B سال×محلول	4	14939.4 ^{ns}	112024 ^{ns}	0.76 ^{ns}	31.40 ^{ns}
A×B محلول×خشکی	8	1700472.4 [*]	17897315 ^{**}	64.49 ^{**}	170.83 ^{**}
Y×A×B سال×محلول×خشکی	8	329184.1 ^{ns}	105252 ^{ns}	4.14 ^{ns}	20.17 ^{ns}
Error خطا	56	217526.1	4244334	6.606	16.50
C.V.(%) ضریب تغییرات		4.46	6.93	7.36	1.69

^{ns}، * و ^{**} به ترتیب بیانگر معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ و غیرمعنی‌دار می‌باشند.

^{ns}، ^{**} and ^{*} are indicative of significance at the probability levels of 5% and 1% respectively and non-significant.

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب تأثیر تیمارهای محلول پاشی بر خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ذرت تحت رژیم های آبیاری مختلف

Table 4- Combined variance analysis for the effect of foliar application on physiological and biochemical characteristic of maize under different irrigation systetems

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	پرولین Proline	قندهای محلول Soluble Sugar	کلروفیل (a+b) Chl (a+b)	کاروتنوئیدها Carteneoids
Year سال	1	0.019 ^{ns}	0.75 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.046 ^{ns}
R(Y) تکرار در سال	4	0.150	2.81	0.075	0.016
Factor A خشکی	2	514.35**	318.78**	20.99**	11.93**
Y×A سال×خشکی	2	0.11 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.014 ^{ns}	0.02 ^{ns}
Factor B محلول	4	52.62**	131.97**	10.05**	12.70**
Y×B سال×محلول	4	0.019 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.025 ^{ns}	0.04 ^{ns}
A×B محلول×خشکی	8	5.74**	3.45**	0.34**	0.15 ^{ns}
Y×A×B سال×محلول×خشکی	8	0.16 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.05 ^{ns}
Error خطا	56	0.25	0.35	0.04	0.036
C.V.(%) ضریب تغییرات		4.85	2.83	2.43	2.31

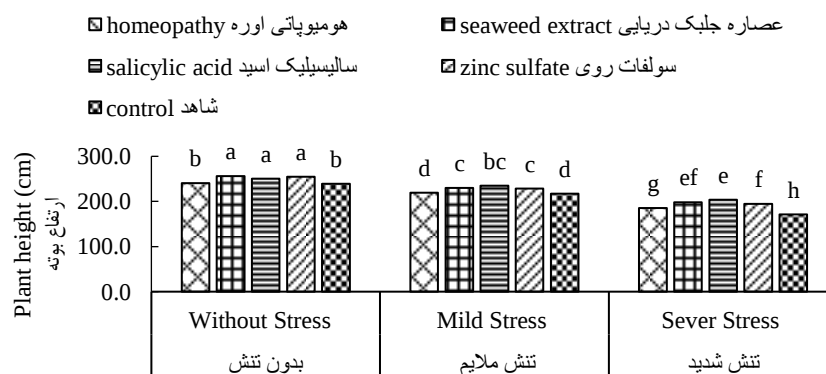
^{ns}: عدم تفاوت معنی دار، * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
^{ns}: non-significant, * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

ادامه جدول ۴-

Table 4 - Continued

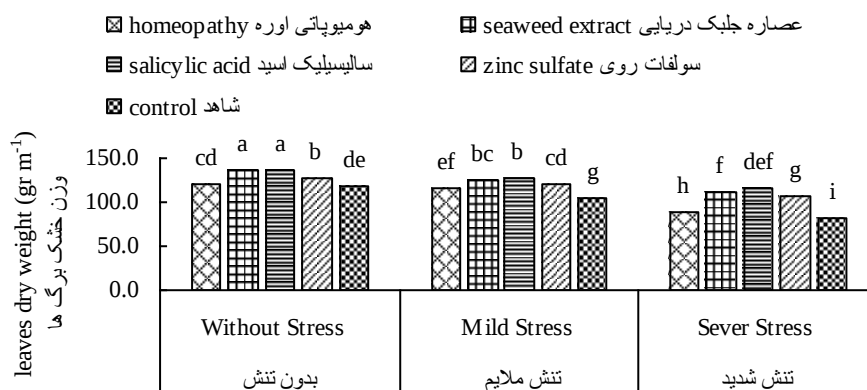
منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	سوپراکسید دیسموتاز SOD	کاتالاز CAT	پراکسیدازها POX	مالون دی آلدئید MDA
Year سال	1	0.019 ^{ns}	0.059 ^{ns}	0.000017 ^{ns}	0.03 ^{ns}
R(Y) تکرار در سال	4	0.014	0.007	0.009	0.456
Factor A خشکی	2	12.24**	12.38**	13.18*	21876**
Y×A سال×خشکی	2	0.0027 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.188**	0.096 ^{ns}
Factor B محلول	4	4.16**	4.48**	7.61**	46.68**
Y×B سال×محلول	4	0.036 ^{ns}	0.027 ^{ns}	0.017 ^{ns}	0.090 ^{ns}
A×B محلول×خشکی	8	0.43**	0.23**	0.87 ^{ns}	5.34**
Y×A×B سال×محلول×خشکی	8	0.027 ^{ns}	0.013 ^{ns}	0.525**	0.024 ^{ns}
Error خطا	56	0.017	0.015	0.014	0.151
C.V.(%) ضریب تغییرات		5.76	4.01	6.73	4.60

^{ns}, * و **: به ترتیب بیانگر معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ و غیرمعنی دار می باشند.
 *, ** and ^{ns}: are indicative of significance at the probability levels of 5% and 1% respectively and non-significant.



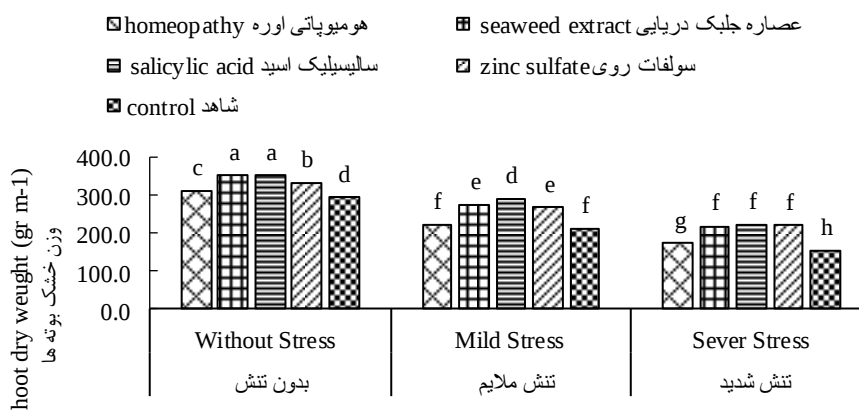
شکل ۱- تأثیر تیمارهای محلول پاشی بر ارتفاع بوته ذرت تحت رژیم های آبیاری مختلف

Figure 1- Effect of foliar treatments on maize plant height under different irrigation regimes



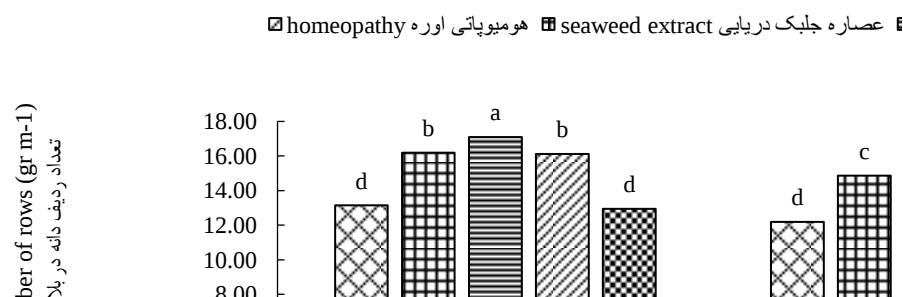
شکل ۲- تأثیر تیمارهای محلول پاشی بر وزن خشک برگ‌های ذرت تحت رژیم‌های آبیاری مختلف

Figure 2- Effect of foliar treatments on dry leaves weight under different irrigation regimes



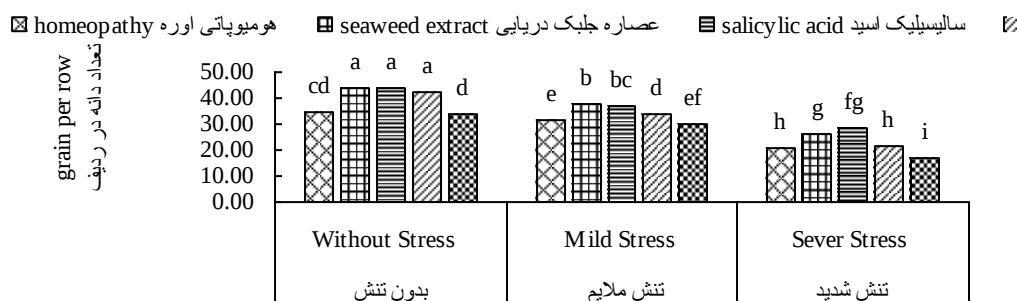
شکل ۳- تأثیر تیمارهای محلول پاشی بر وزن خشک بوته‌های ذرت تحت رژیم‌های آبیاری مختلف

Figure 3- Effect of foliar treatments on dry stems weight under different irrigation regimes

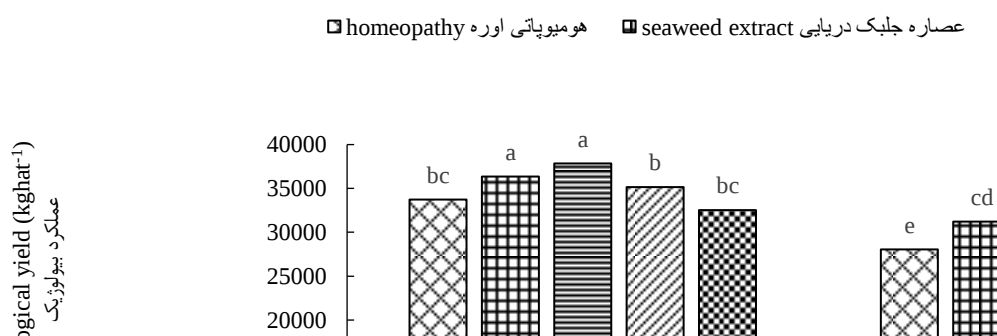


شکل ۴- تأثیر تیمارهای محلول پاشی بر تعداد ردیف دانه در بلال ذرت تحت رژیم‌های آبیاری مختلف

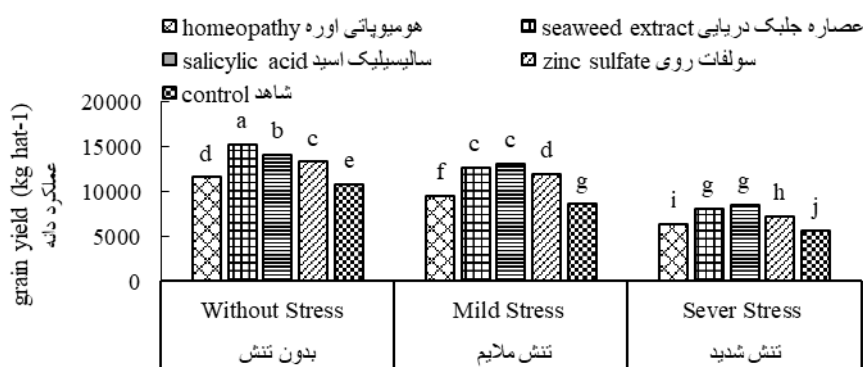
Figure 4- Effect of foliar treatments on grain rows per cob under different irrigation regimes



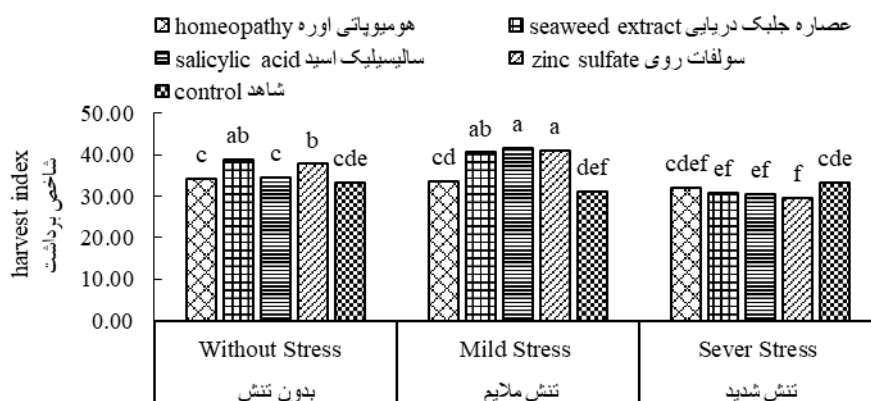
شکل ۵- تأثیر تیمارهای محلول پاشی بر تعداد دانه در ردیف بلال ذرت تحت رژیم های آبیاری مختلف
Figure 5- Effect of foliar treatments on grain per row of cob under different irrigation regimes



شکل ۶- تأثیر تیمارهای محلول پاشی بر عملکرد بیولوژیک ذرت تحت رژیم های آبیاری مختلف
Figure 6- Effect of foliar treatments on maize biological yield under different irrigation regimes

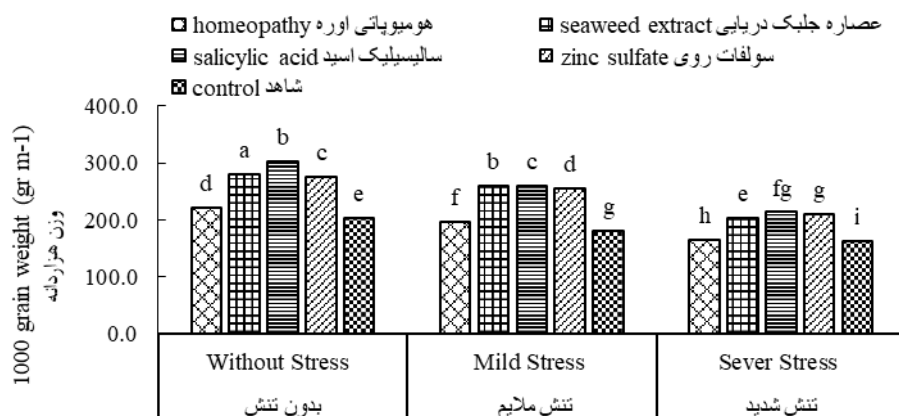


شکل ۷- تأثیر تیمارهای محلول پاشی بر عملکرد دانه ذرت تحت رژیم های آبیاری مختلف
Figure 7- Effect of foliar treatments on grain yield under different irrigation regimes



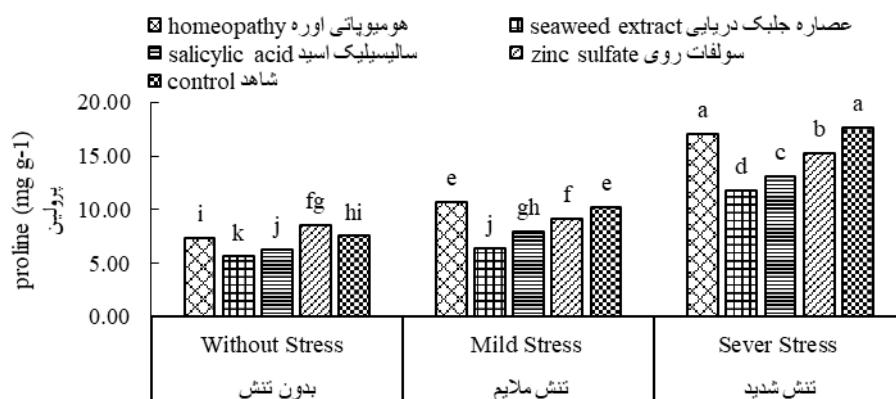
شکل ۸- تأثیر تیمارهای محلول پاشی بر شاخص برداشت ذرت تحت رژیم‌های آبیاری مختلف

Figure 8- Effect of foliar treatments on maize harvest index under different irrigation regimes



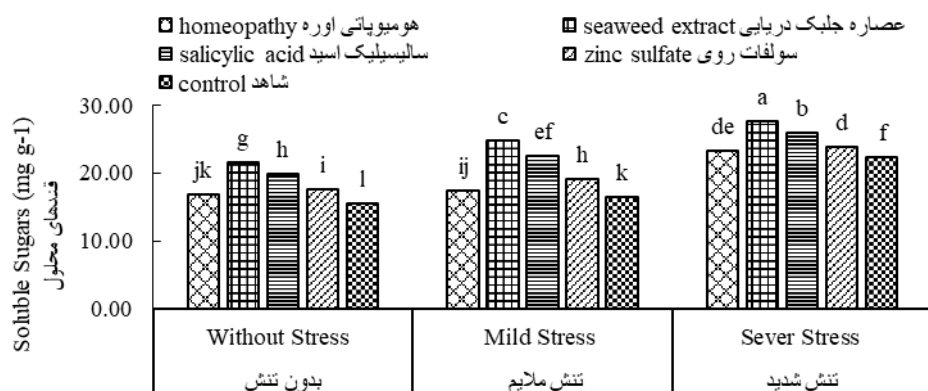
شکل ۹- تأثیر تیمارهای محلول پاشی بر وزن هزار دانه ذرت تحت رژیم‌های آبیاری مختلف

Figure 9- Effect of foliar treatments on 1000 seed weight under different irrigation regimes

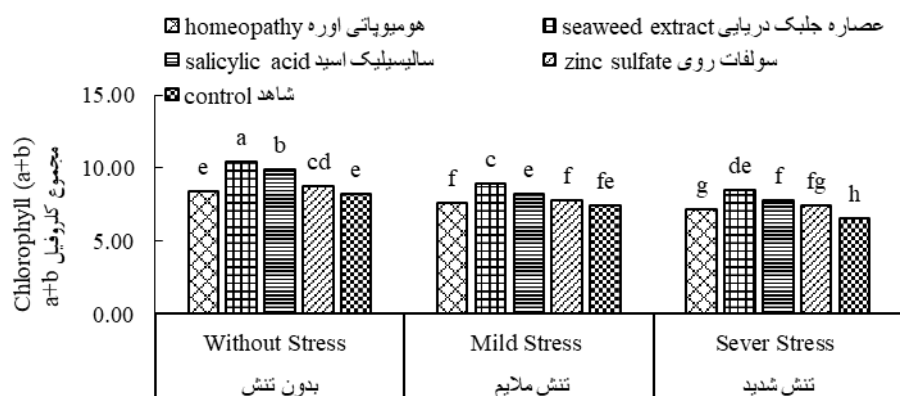


شکل ۱۰- تأثیر تیمارهای محلول پاشی بر محتوای پرولین برگ‌های ذرت تحت رژیم‌های آبیاری مختلف

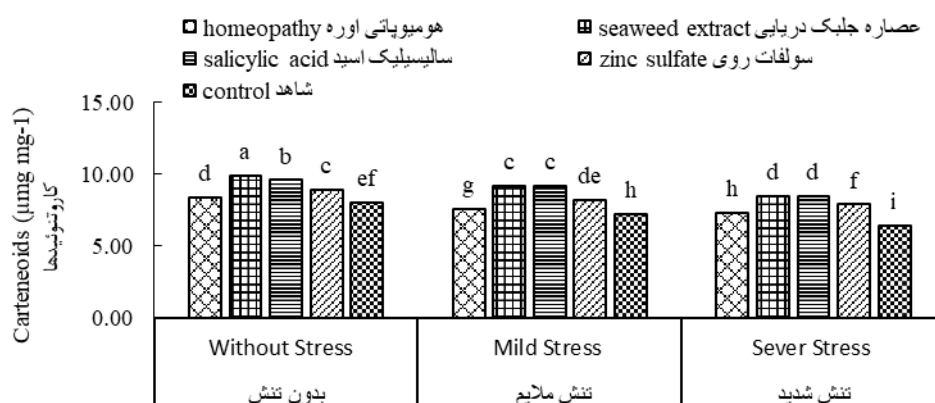
Figure 10- Effect of foliar treatments on proline content under different irrigation regimes



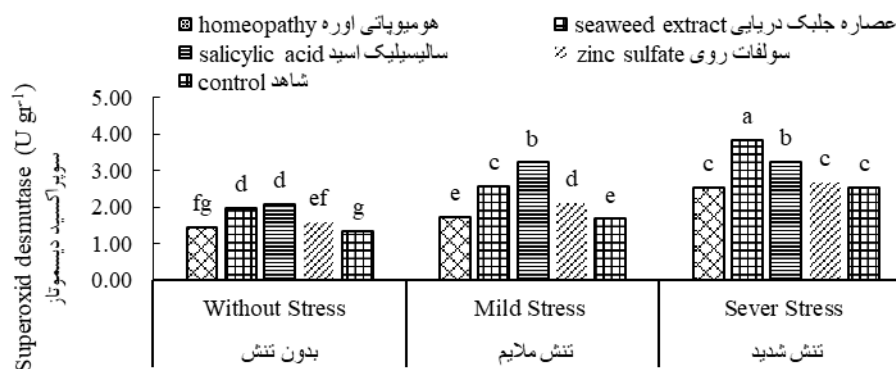
شکل ۱۱- تأثیر تیمارهای محلول پاشی بر محتوای قندهای محلول برگ های ذرت تحت رژیم های آبیاری مختلف
Figure 11- Effect of foliar treatment on total soluble sugar content under different irrigation regimes



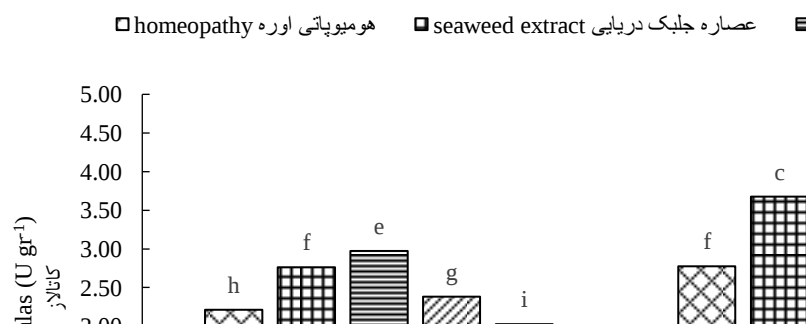
شکل ۱۲- تأثیر تیمارهای محلول پاشی بر مجموع کلروفیل برگ های ذرت تحت رژیم های آبیاری مختلف
Figure 12- Effect of foliar treatment on chlorophyll (a+b) content under different irrigation regimes



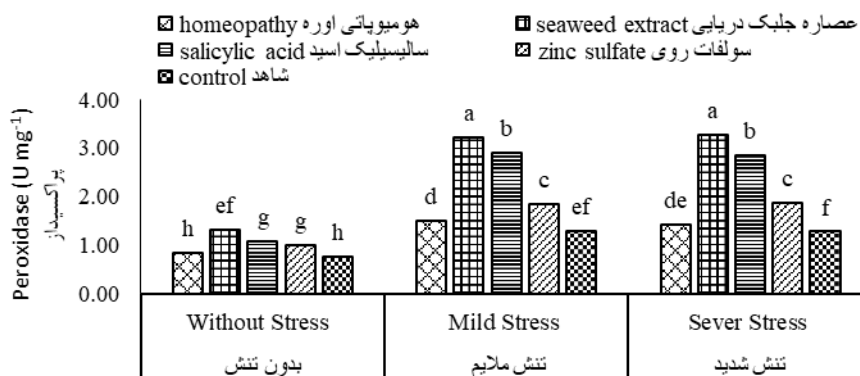
شکل ۱۳- تأثیر تیمارهای محلول پاشی بر میزان کاروتنوئیدهای برگ های ذرت تحت رژیم های آبیاری مختلف
Figure 13- Effect of foliar treatments on carotenoids content under different irrigation regimes



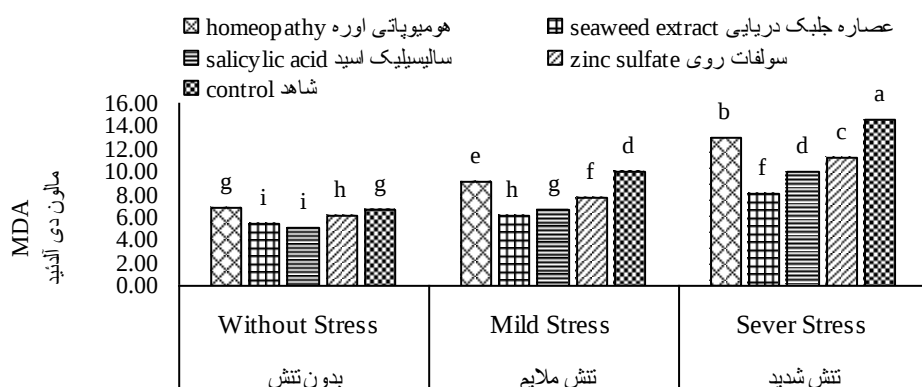
شکل ۱۴- تأثیر تیمارهای محلول پاشی بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز برگ‌های ذرت تحت رژیم‌های آبیاری مختلف
Figure 14- Effect of foliar treatments on the activity of superoxide dismutase under different irrigation regimes



شکل ۱۵- تأثیر تیمارهای محلول پاشی بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز برگ‌های ذرت تحت رژیم‌های آبیاری مختلف
Figure 15- Effect of foliar treatment on the activity of catalase under different irrigation regimes



شکل ۱۶- تأثیر تیمارهای محلول پاشی بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیدازها برگ‌های ذرت تحت رژیم‌های آبیاری مختلف
Figure 16- Effect of foliar treatments on the activity of peroxidase under different irrigation regimes



شکل ۱۷- تأثیر تیمارهای محلول پاشی بر محتوای مالون دی آلدئید برگ های ذرت تحت رژیم های آبیاری مختلف
Figure 17- Effect of foliar treatments on malonaldehyde (MDA) content under different irrigation regimes

References

منابع مورد استفاده

- Adewale, S.A., R.O. Akinwale, M.A.B. Fakorede, and B. Badu-Apraku. 2018. Genetic analysis of drought-adaptive traits at seedling stage in early-maturing maize inbred lines and field performance under stress conditions. *Euphytica*. 214(8): 1-18.
- Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. Methods in enzymology. *Academic Press*. 105: 121-126.
- Afshari, M., A. Naderi, M. Mojadam, L.A.C.K. Shahram, and M. Alavifazel. 2020. Zinc and iron-mediated alleviation water deficiency of maize by modulating antioxidant metabolism. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 48(2): 989-1004.
- Ahammed, G.J., X. Li, Q. Mao, H. Wan, G. Zhou, and Y. Cheng. 2020. The SIWRKY81 transcription factor inhibits stomatal closure by attenuating nitric oxide accumulation in the guard cells of tomato under drought. *Physiologia Plantarum*. 172(2): 885-895.
- Ahmad, I., B. Ahmad, K. Boote, and G. Hoogenboom. 2020. Adaptation strategies for maize production under climate change for semi-arid environments. *European Journal of Agronomy*. 115: 126040.
- Akladios, S.A., and H.I. Mohamed. 2018. Ameliorative effects of calcium nitrate and humic acid on the growth, yield component and biochemical attribute of pepper (*Capsicum annuum*) plants grown under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 236: 244-250.
- Akram, N.A., M. Iqbal, A. Muhammad, M. Ashraf, F. Al-Qurainy, and S. Shafiq. 2018. Aminolevulinic acid and nitric oxide regulate oxidative defense and secondary metabolisms in canola (*Brassica napus* L.) under drought stress. *Protoplasma Journal*. 255(1): 163-174.

- Akter, S., M.G. Rasul, M. Zakaria, M.M. Sarker, I.S. Nila, S. Dutta, M.M. Haque, and M.M. Rohman. 2018. Effect of polyamine on pigmentation, reactive oxidative species and antioxidant under drought in maize (*Zea mays* L.). *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*. 6(7): 799-811.
- Almeida, G.M., Silva, A.A.D., Batista, P.F., Moura, L.M.D.F., Vital, R.G. and Costa, A.C., 2020. Hydrogen sulfide, potassium phosphite and zinc sulfate as alleviators of drought stress in sunflower plants. *Ciência e Agrotecnologia*, 44, <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044006320>.
- Amin, A.A., A.A. El-Kader, M.A. Shalaby, F.A. Gharib, E.S.M. Rashad, and J.A.T. Da-Silva. 2013. Physiological effects of salicylic acid and thiourea on growth and productivity of maize plants in sandy soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 44(7): 1141-1155.
- Ashraf, M. 2009. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advances*. 27(1): 84-93.
- Azmat, A., Yasmin, H., Hassan, M.N., Nosheen, A., Naz, R., Sajjad, M., Ilyas, N. and Akhtar, M.N., 2020. Co-application of bio-fertilizer and salicylic acid improves growth, photosynthetic pigments and stress tolerance in wheat under drought stress. *PeerJ*, 8. DOI 10.7717/peerj.9960
- Basu, S., V. Ramegowda, A. Kumar, and A. Pereira. 2016. Plant adaptation to drought stress. *F1000 Research*, 5.
- Bates, L.S., R.P. Waldren, and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. 39(1): 205-207.
- Batista, P.F., C. Muller, A. Merchant, D. Fuentes, R.D.O. Silva-Filho, F.B. Da-silva, and A.C. Costa. 2020. Biochemical and physiological impacts of zinc sulphate, potassium phosphite and hydrogen sulphide in mitigating stress conditions in soybean. *Physiologia Plantarum*. 168(2): 456-472.
- Beigzadeh, S., A. Maleki, M. Mirzaee, A. Rangin, and A. Khorgami. 2020. Effects of salicylic acid and seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extracts application on some physiological traits of white bean (*Phaseolus lanatus* L.) under drought stress conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*. 14(1 (53)): 21-44. (In Persian)
- Brennan, R.F. 1991. Effectiveness of zinc sulfate and zinc chelate as foliar sprays in alleviating zinc deficiency of wheat grown on zinc-deficient soils in Western Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 31: 8314.
- Bulgari, R., G. Franzoni, and A. Ferrante. 2019. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy Journal*. 9(6): 306.
- Capra, R.S., A.S. Gratão, G.B. Freitas, and M.N. Leite. 2014. Preparados homeopáticos e ambiente de cultivo na produção e rendimento de quercetina em carqueja [*Baccharis trimera* (Less) DC.]. *Revista Brasileira De Plantas Mediciniais*. 16(3): 566-573.
- Carpenter-Boggs, L., A.C. Kennedy, and J.P. Reganold. 2000. Organic and biodynamic management effects on soil biology. *Soil Science Society of America Journal*. 64(5): 1651-1659.
- Chaves, M.M. 1991. Effects of water deficits on carbon assimilation. *Journal of Experimental Botany*. 42: 1-16.

- Chen, Y.E., J.M. Cui, G.X. Li, M. Yuan, Z.W. Zhang, S. Yuan, and H.Y. Zhang. 2016. Effect of salicylic acid on the antioxidant system and photosystem II in wheat seedlings. *Biologia Plantarum*. 60(1): 139-147.
- Couée, I., C. Sulmon, G. Gouesbet, and A. El-Amrani. 2006. Involvement of soluble sugars in reactive oxygen species balance and responses to oxidative stress in plants. *Journal of Experimental Botany*. 57(3): 449-459.
- Daneshmand, A., A. Shirani-Rad, G.H. Noormohamadi, G.H. Zarei, and J. Daneshian. 2008. Study oil seed and protein of two rapeseed (*Brassica napus* L.) and relation of them with oil yield and protein yield. *Dynamic Agriculture*. 5(3 (Agronomy)): 295-314. (In Persian).
- De Souza Simões, L., D.A. Madalena, A.C. Pinheiro, A. Teixeira, A.A. Vicente, and Ó.L. Ramos. 2017. Micro-and nano bio-based delivery systems for food applications: In vitro behavior. *Advances in Colloid and Interface Science*. 243: 23-45.
- Demidchik, V. 2015. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology. *Environmental and Experimental Botany*. 109: 212-228.
- Desingh, R., and G. Kanagaraj. 2007. Influence of salinity stress on photosynthesis and antioxidative systems in two cotton varieties. *General and Applied Plant Physiology*. 33(3-4): 221-234.
- Devi, R.G., Pandiyarajan, V. and Gurusaravanan, P., 2012. Alleviating effect of IAA on salt stressed *Phaseolus mungo* (L.) with reference to growth and biochemical characteristics. *Recent Research in Science and Technology*, 4(3).22-24
- Elansary, H.O., J. Norrie, H.M. Ali, M.Z. Salem, E.A. Mahmoud, and K. Yessoufou. 2016. Enhancement of *Calibrachoa* growth, secondary metabolites and bioactivity using seaweed extracts. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 16(1): 1-11.
- Elgamaal, A.A., and H.F. Maswada. 2013. Response of three yellow maize hybrids to exogenous salicylic acid under two irrigation intervals. *Asian Journal of Crop Science*. 5(3): 264-274.
- El-Hawary, M.M. and Nashed, M.E., 2019. Effect of foliar application by some antioxidants on growth and productivity of maize under saline soil conditions. *Journal of Plant Production*, 10(2), pp.93-99.
- Elmaz, Ö., H. Cerit, M. Özçelik, and S. Ulaş. 2004. Impact of organic agriculture on the environment. *Fresenius Environmental Bulletin*. 13(11A): 1072-1078.
- Esfandiari, E., M. Abdoli, S.B. Mousavi, and B. Sadeghzadeh. 2016. Impact of foliar zinc application on agronomic traits and grain quality parameters of wheat grown in zinc deficient soil. *Indian Journal of Plant Physiology*. 21(3): 263-270.
- Fardus, J., M.A. Matin, M. Hasanuzzaman, M.S. Hossain, S.D. Nath, M.A. Hossain, M.M. Rohman, and M. Hassanuzzman. 2017. Exogenous salicylic acid-mediated physiological responses and improvement in yield by modulating antioxidant defense system of wheat under salinity. *Notulae Scientia Biologicae*. 9(2): 219-232.
- Farouk, S., and A.M.S.A. Qados. 2013. Osmotic adjustment and yield of cowpea in response to drought stress and chitosan. *Indian Journal of Applied Research*. 3(10): 1-6.

- Farouk, S., S.A. Arafa, and R.M. Nassar. 2018. Improving drought tolerance in corn (*Zea mays* L.) by foliar application with salicylic acid. *International Journal of Environmental*. 7(3): 104-123.
- Ghazi, D. 2017. Impact of drought stress on maize (*Zea mays*) plant in presence or absence of salicylic acid spraying. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 8(6): 223-229.
- Ghiyasi, M., R. Amirnia, and M. Fazelimanesh. 2017. Improving yeild and quality of black cumin (*Nigella sativa* L.): Organic fertiliser extract foliar application approach. *Oxidation Communications*. 40(3): 1254-1264.
- Goñi, O., P. Quille, and S. O'Connell. 2018. Ascophyllum nodosum extract biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 126: 63-73.
- Habibi, G. 2012. Exogenous salicylic acid alleviates oxidative damage of barley plants under drought stress. *Acta Biologica Szegediensis*. 56(1): 57-63.
- Hafez, E.M. and M.F. Seleiman. 2017. Response of barley quality traits, yield and antioxidant enzymes to water-stress and chemical inducers. *International Journal of Plant Production*. 11(4): 477-490.
- Hayat, S., Q. Hayat, M.N. Alyemeni, A.S. Wani, J. Pichtel, and A. Ahmad. 2012. Role of proline under changing environments: a review. *Plant Signaling and Behavior*. 7(11): 1456-1466.
- Heydari-Soreshjani, S., M. Shayannejad, M. Naderi, and B. Haghighati. 2015. Effect of different levels of irrigation on qualitative and quantitative properties of corn (Cultivar NS) and determination of the optimum depth of irrigation in water shortage conditions. *JWSS*. 19(73): 125-138. (In Persian).
- Hosseinian, S., C. Maute, F. Rahimi, C. Maute, M. Hamed, and F. Mirzajani. 2020. The influence of ultra-high diluted compounds on the growth and the metabolites of *Oriza sativa* L. *International Journal of High Dilution Research*. 19(1-2): 39-55.
- Hussain, H.A., S. Men, S. Hussain, Q. Zhang, U. Ashraf, S.A.I. AnjumAli, and L. Wang. 2020. Maize tolerance against drought and chilling stresses varied with root morphology and antioxidative defense system. *Plants*. 9(6): 720.
- Hussain, M., M.A. Malik, M. Farooq, M.Y. Ashraf, and M.A. Cheema. 2008. Improving drought tolerance by exogenous application of glycinebetaine and salicylic acid in sunflower. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 194(3): 193-199.
- Jithesh, M.N., P.S. Shukla, P. Kant, J. Joshi, A.T. Critchley, and B. Prithiviraj. 2019. Physiological and transcriptomics analyses reveal that *Ascophyllum nodosum* extracts induce salinity tolerance in Arabidopsis by regulating the expression of stress responsive genes. *Journal of Plant Growth Regulation*. 38(2): 463-478.
- Kareem, F., H. Rihan, and M. Fuller. 2017. The effect of exogenous applications of salicylic acid and molybdenum on the tolerance of drought in wheat. *Agriculture Research Technology* (Open Access). 9(4): 555768.
- Karimi, R., H. Hadi, and M. Tajbakhsh. 2016. Forage yield of sorghum under water deficit and foliar application of zinc sulphate and salicylic acid. *Journal of Agricultural Science*. 26(2): 169-187. (In Persian)

- Karimi, S., S.A.M.M. Sanavy, S. Ghanehpour, and H. Keshavarz. 2016. Effect of foliar zinc application on yield, physiological traits and seed vigor of two soybean cultivars under water deficit. *Notulae Scientia Biologicae*. 8(2): 181-191.
- Klessig, D.F., H.W. Choi, and D.M.A. Dempsey. 2018. Systemic acquired resistance and salicylic acid: past, present, and future. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 31(9): 871-888.
- Koyro, H.W. 2006. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). *Environmental and Experimental Botany*. 56(2): 136-146.
- Lang-Mladek, C., O. Popova, K. Kiok, M. Berlinger, B. Rakic, W. Aufsatz, C. Jonak, M.T. Hauser, and C. Luschig. 2010. Transgenerational inheritance and resetting of stress-induced loss of epigenetic gene silencing in Arabidopsis. *Molecular Plant*. 3(3): 594-602.
- Lawlor, D.W., and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*. 25(2): 275-294.
- Layek, J., A. Das, G.I. Ramkrushna, A. Ghosh, A.S. Panwar, R. Krishnappa, and S.V. Ngachan. 2016. Effect of seaweed sap on germination, growth and productivity of maize (*Zea mays*) in North Eastern Himalayas. *Indian Journal of Agronomy*. 61(3): 354-359.
- Leopold, A.C., W.Q. Sun, and I. Bernal-Lugo. 1994. The glassy state in seeds: analysis and function. *Seed Science Research*. 4(3): 267-274.
- Li, T., Y. Hu, X. Du, H. Tang, C. Shen, and J. Wu. 2014. Salicylic acid alleviates the adverse effects of salt stress in *Torreya grandis* cv. Merrillii seedlings by activating photosynthesis and enhancing antioxidant systems. *PLOS one*. 9(10): e109492.
- Liu, K., S.B. Zhou, X.Y. Wu, F. Liu, and G.X. Li. 2015. Effects of irradiance on the photosynthetic traits, antioxidative enzymes, and growth of *Cryptotaenia japonica*. *Biologia Plantarum*. 59(3): 521-528.
- Lotter, D.W. 2003. Organic agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*. 21(4): 59-128.
- Loutfy, N., M. Azooz, and M.F. Abou-Alhamd, 2020. Exogenously-applied salicylic acid and ascorbic acid modulate some physiological traits and antioxidative defense system in *Zea mays* L. seedlings under drought stress. *Egyptian Journal of Botany*. 60(1): 313-324.
- Loutfy, N., M.A. El-Tayeb, A.M. Hassanen, M.F. Moustafa, Y. Sakuma, and M. Inouhe. 2012. Changes in the water status and osmotic solute contents in response to drought and salicylic acid treatments in four different cultivars of wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Plant Research*. 125(1): 173-184.
- Ma, D., D. Sun, C. Wang, H. Ding, H. Qin, J. Hou, X. Huang, Y. Xie, and T. Guo. 2017. Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. *Frontiers in Plant Science*. 8: 860.
- Maruri-López, I., N.Y. Aviles-Baltazar, A. Buchala, and M. Serrano. 2019. Intra and extracellular journey of the phytohormone salicylic acid. *Frontiers in Plant Science*. 10: 423.

- Masayasu, M., and Y. Hiroshi. 1979. A simplified assay method of superoxide dismutase activity for clinical use. *Clinica Chimica Acta*. 92(3): 337-342.
- Meloni, D.A., M.A. Oliva, C.A. Martinez, and J. Cambraia. 2003. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*. 49(1): 69-76.
- Mohamed, H.I., and H.H. Latif. 2017. Improvement of drought tolerance of soybean plants by using methyl jasmonate. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 23(3): 545-556.
- Mohammadi, M., K. Ghassemi-Golezani, S. Zehtab-Salmasi, and S. Nasrollahzade. 2016. Assessment of some physiological traits in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under water stress. *International Journal of Life Sciences*. 10(1): 58-64.
- Mohammadkhani, N., and R. Heidari. 2008. Drought-induced accumulation of soluble sugars and proline in two maize varieties. *World Applied Science Journal*. 3(3): 448-453.
- Moharramnejad, S., O. Sofalian, M. Valizadeh, A. Asghari, M.R. Shiri, and M. Ashraf. 2019. Response of maize to field drought stress: oxidative defense system, osmolytes' accumulation and photosynthetic pigments. *Pakistan Journal of Botany*. 51(3): 799-807.
- Mukami, A., A. Ngetich, C. Mweu, R.O. Oduor, M. Muthangya, and W.M. Mbinda. 2019. Differential characterization of physiological and biochemical responses during drought stress in finger millet varieties. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 25(4): 837-846.
- Nandini, Y., and S. Samir. 2016. Reactive oxygen species, oxidative stress and ROS scavenging system in plants. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 8(5): 595-604.
- Niakan, M., A. Habibi, and M. Ghorbanli. 2012. Study of pix regulator effect on physiological responses in cotton plant. *Annals of Biological Research*. 3(11): 5229-5235.
- Ohkawa, H., N. Ohishi, and K. Yagi. 1979. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Analytical Biochemistry*. 95(2): 351-358.
- Okhchelar, R.A., R. Amirnia, M. Tajbakhsh, and M. Ghiyasi. 2018. The effect of foliar spraying of organic fertilizers extracts on morphological traits and quantitative and qualitative yields of six moldavian balm (*Dracocephalum Moldavica* L.) ecotypes. *Applied Field Crops Research* (Pajouhesh and Sazandegi). 31(2 (119)): 73-91. (In Persian).
- Ortas, I., N. Sari, Ç. Akpınar, and H. Yetisir. 2011. Screening mycorrhiza species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae*. 128(2): 92-98.
- Per, T.S, N.A. Khan. P.S. Reddy, A. Masood, M. Hasanuzzaman, M.I.R. Khan, and N.A. Anjum. 2017. Approaches in modulating proline metabolism in plants for salt and drought stress tolerance: Phytohormones, mineral nutrients and transgenics. *Plant Physiology and Biochemistry*. 115: 126-140.
- Pereira, M.M.A., Martins, A.D., Morais, L.C., Dória, J., Cavalcanti, V.P., Rodrigues, F.A., Pasqual, M. and Luz, J.M.Q., 2019. The Potential of Agro-

- homeopathy Applied to Medicinal Plants-A Review. *Journal of Agricultural Science*, 11(4), pp.500-506.
- Petrache, A.M., Falup, V., Micle, S., Pop, V.C., Scheau, C., Cosovanu, M., Morar, T. and Luca, E., 2020. Organic treatments for the control of *Mycosphaerella fragariae* infection in the ecological crop system of *Fragaria vesca*. *AGRICULTURA*. 113:1-2. <https://doi.org/10.15835/agrisp.v113i1-2.13812>.
 - Razmi, N., A. Ebadi, J. Daneshian, and S. Jahanbakhsh. 2017. Salicylic acid induced changes on antioxidant capacity, pigments and grain yield of soybean genotypes in water deficit condition. *Journal of Plant Interactions*. 12(1): 457-464.
 - Razmjoo, S. 1997. Manual analysis of fruit and vegetable products. 9th. ed. Tata Mc Graw Hill, New Delhi. :49.
 - Sabir, A., and G. Sari. 2019. Zinc pulverization alleviates the adverse effect of water deficit on plant growth, yield and nutrient acquisition in grapevines (*Vitis vinifera* L.). *Scientia Horticulturae*. 244: 61-67.
 - Sadeghipour, O. 2018. Drought tolerance of cowpea enhanced by exogenous application of methyl jasmonate. *International Journal of Modern Agriculture*. 7(4): 51-57.
 - Saeger, J., S. Van-Praet, D. Vereecke, J. Park, S. Jacques, T. Han, and S. Depuydt. 2019. Toward the molecular understanding of the action mechanism of *Ascophyllum nodosum* extracts on plants. *Journal of Applied Phycology*. 1-25.
 - Santos, F.M., L.E. Monfort, D.M. Castro, J.E. Pinto, M. Leonardi, and L. Pistelli. 2011. Characterization of essential oil and effects on growth of *Verbena gratissima* plants treated with homeopathic phosphorus. *Natural Product Communications*. 6(10): 1934578X1100601023.
 - Shafiq, S., N.A. Akram, and M. Ashraf. 2015. Does exogenously-applied trehalose alter oxidative defense system in the edible part of radish (*Raphanus sativus* L.) under water-deficit conditions? *Scientia Horticulturae*, 185: 68-75.
 - Shafiq, S., N.A. Akram, and M. Ashraf. 2019. Assessment of physio-biochemical indicators for drought tolerance in different cultivars of maize (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of Botany*. 51(4): 1241-1247.
 - Shafiq, S., N.A. Akram, M. Ashraf, and A. Arshad. 2014. Synergistic effects of drought and ascorbic acid on growth, mineral nutrients and oxidative defense system in canola (*Brassica napus* L.) plants. *Acta Physiologiae Plantarum*. 36(6): 1539-1553.
 - Shah-Rossi, D., P. Heusser, and S. Baumgartner. 2009. Homeopathic treatment of *Arabidopsis thaliana* plants infected with *Pseudomonas syringae*. *The Scientific World Journal*. 9: 320-330.
 - Sharghi, F., and E. Khalilvand-Behrouzfar. 2019. Effect of nano-TiO₂ and salicylic acid foliar application on some biochemical traits of corn 704 single cross under water regimes. *Journal of Crop Ecophysiology*. 13(3) 51: 413-430. (In Persian)
 - Sharma, A., B. Shahzad, V. Kumar, S.K. Kohli, G.P.S. Sidhu, A.S. Bali, N. Handa, D. Kapoor, R. Bhardwaj, and B. Zheng. 2019. Phytohormones regulate accumulation of osmolytes under abiotic stress. *Biomolecules*. 9(7): 285.
 - Sharma, A., G.P.S. Sidhu, F. Araniti, A.S. Bali, B. Shahzad, D.K. Tripathi, M. Brestic, M. Skalicky, and M. Landi. 2020. The role of salicylic acid in plants exposed to heavy metals. *Molecules*. 25(3): 540.

- Shemi, R., R. Wang, E.S.M. Gheith, H.A. Hussain, S. Hussain, M. Irfan, L. Cholidah, K. Zhang, S. Zhang, and L. Wang. 2021. Effects of salicylic acid, zinc and glycine betaine on morpho-physiological growth and yield of maize under drought stress. *Scientific Reports*. 11(1): 1-14.
- Sheteiwy, M.S., D. Gong, Y. Gao, R. Pan, J. Hu, and Y. Guan. 2018. Priming with methyl jasmonate alleviates polyethylene glycol-induced osmotic stress in rice seeds by regulating the seed metabolic profile. *Environmental and Experimental Botany*. 153: 236-248.
- Shukla, P.S., K. Shotton, E. Norman, W. Neily, A.T. Critchley, and B. Prithiviraj. 2018. Seaweed extract improves drought tolerance of soybean by regulating stress-response genes. *AoB Plants*. 10(1): plx051.
- Simões, L., D.A. Madalena, A.C. Pinheiro, J.A. Teixeira, A.A. Vicente, and O.L., Ramos, 2017. Micro-and nano bio-based delivery systems for food applications: In vitro behavior. *Advances in Colloid and Interface Science*, 243, pp.23-45.
- Sofy, M.R. 2015. Application of salicylic acid and zinc improves wheat yield through physiological processes under different levels of irrigation intervals. *International Journal of Plant Research*. 5: 136-156.
- Sohag, A.A.M., M.D.Tahjib-Ul-Arif, M. Brestic, S. Afrin, M.A. Sakil, M.T. Hossain, M.A. Hossain and M.A. Hossain, 2020. Exogenous salicylic acid and hydrogen peroxide attenuate drought stress in rice. *Plant Soil Environ*, 66(1), pp.7-13.
- Taiz, L., and E. Zeiger. 2006. *Plant physiology* 4th Ed, Sinauer Associates Inc. Publishers, Massachusetts.
- Tajbakhsh, M., and M. Ghiyasi. 2017. *Organic agriculture*. Publication of Urmia University. (In Persian)
- Talaat, N.B., B.T. Shawky, and A.S. Ibrahim. 2015. Alleviation of drought-induced oxidative stress in maize (*Zea mays* L.) plants by dual application of 24-epibrassinolide and spermine. *Environmental and Experimental Botany*. 113: 47-58.
- Van-Assche, F., C. Cardinaels, and H. Clijsters. 1988. Induction of enzyme capacity in plants as a result of heavy metal toxicity: Dose-response relations in *Phaseolus vulgaris* L., treated with zinc and cadmium. *Environmental Pollution Journal*. 52(2): 103-115.
- Verdi, R., O.E.L. Harthmann., R.J. Debarba., A. Giesel, and C. Parizotto. 2016. Desempenho de *Ocimum basilicum* L. sob efeitos de preparados homeopáticos. *Cadernos de Agroecologia*. 11(2).
- Wang, Y., L. Li, S. Tang, J. Liu, H. Zhang, H. Zhi, G. Jia, and X. Diao. 2016. Combined small RNA and degradome sequencing to identify miRNAs and their targets in response to drought in foxtail millet. *BMC Genetics*. 17(1): 1-16.
- Xiao, X., X. Xu, and F. Yang. 2008. Adaptive responses to progressive drought stress in two *Populus cathayana* populations. *Silva Fennica*. 42(5): 705-719.
- Yadavi, A., R.S. Aboueshaghi, M.M. Dehnavi, and H. Balouchi. 2014. Effect of micronutrients foliar application on grain qualitative characteristics and some physiological traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*. 4(4): 124-131.

- Yang, S.L, K. Chen, S.S. Wang, and M. Gong. 2015. Osmoregulation as a key factor in drought hardening-induced drought tolerance in *Jatropha curcas*. *Biologia Plantarum*. 59(3): 529-536.
- Zafar, S., M. Nasri, H.R.T. Moghadam, and H. Zahedi. 2014. Effect of zinc and sulfur foliar applications on physiological characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under water deficit stress. *International Journal of Bioscience*. 5(12): 87-96.
- Zhang, Z.L. 1990. Experimental Guidebook to Plant Physiology. Higher Education Press, Beijing.

Research Article

DOI:

Study the Effect of Foliar Application of Plant Growth Regulators Physiological and Biochemical Properties of Maize under Different Irrigation Regimes

Mina Najafi Saatlu¹, Mehdi Tajbakhsh Shishavan², and Mahdi Ghiyasi^{3*}

Received: January 2023, Revised: 19 August 2023, Accepted: 10 September 2023

Abstract

This research was carried out to evaluate the physiological and biochemical responses of maize under different irrigation regimes and foliar application of plant growth regulators (PGRs). The present study was carried in Research Farm of Urmia University throughout two growing seasons. The experiment was carried out in a Factorial randomized complete block design with three replications. Three levels of irrigation regimes were: without stress (100% of field capacity), mild stress (75% field capacity) and severe stress (50% field capacity) and foliar application were included: (Urea homeopathy, seaweed extract, salicylic acid, zinc sulfate and no foliar spraying as control). Results showed that the content of soluble sugars and the activity of antioxidant enzymes (catalase, peroxidase and superoxide dismutase) increased significantly with increasing stress intensity and foliar application of plant growth regulators led to a further increase in these traits. Photosynthetic pigments showed a significant decrease compared to non-stress conditions with increasing drought stress. However, foliar application of PGRs caused a significant increase in the content of photosynthetic pigments. Furthermore, due to foliar application of PGRs, oxidative damage indicating parameters such as proline concentration and MDA content showed a significant decrease compared to the control treatment under severe and mild stress. Foliar application of seaweed extract led to 21, 43 and 30% increase in 1000 seed weight (264.2 g.m^{-2}), seed yield (11997 kg.ha^{-1}) and biological yield (32458 kg.ha^{-1}), respectively compared to the control treatment. According to the obtained results, foliar application of plant growth regulators can improve maize tolerance to drought stress throughout eliminating harmful and reactive oxygen species, which has been shown by a significant reduction in MDA content in these plants.

Key words: Antioxidant enzymes, Foliar application, Salicylic acid, Seaweed extract, Urea homeopathy, Zinc sulfate.

¹Former Ph.D. Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia.

²- Professor Emeritus, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia

³- Associate Prof., Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia

*Corresponding Authors: m.ghiyasi@urmia.ac.ir