نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۶، آذر - دی ۱۴۰۱، ص. ۱۰۴۳-۱۰۲۶

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.5, Vol. 16, Dec.-Jan. 2022, p. 1026-1043

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی تبخیر-تعرق، عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک گلرنگ پاییزه تحت تنش‌های خشکی و شوری

سعید فاضلی شورکی[۱]، نجمه یرمی[۲*]، سمیه سلطانی گردفرامرزی[۳] و علی سلطانی مهرجردی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۵

چکیده

تنش‌های خشکی و شوری از مهمترین چالش‌های موجود در بخش کشاورزی بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند. گلرنگ از جمله گیاهان روغنی است که کشت آن می‌تواند بخشی از نیاز کشور به روغن‌های گیاهی را تأمین کند. در این پژوهش به منظور بررسی اثر برهمکنش شوری و خشکی بر گیاه گلرنگ (رقم گلدشت) آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در گلخانه ایستگاه تحقیقات پسته شهرستان اردکان واقع در استان یزد در سال ۱۳۹۸ انجام گرفت. تیمارهای آبیاری شامل دورهای ۵ (I1)، ۱۰ (I2) و ۱۵ (I3) روز و سطوح شوری آب آبیاری شامل ۰/۷ (S1)، ۴ (S2)، ۷ (S3) و ۱۰ (S4) دسی‌زیمنس‌برمتر بودند. در پایان دوره رشد، صفاتی مانند عملکرد دانه، وزن هزاردانه، وزن خشک شاخساره، شاخص برداشت، بهره‌وری مصرف آب، سطح برگ، تبخیر- تعرق، نشت یونی و شاخص کلروفیل گلرنگ اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که اثرات اصلی سطوح مختلف شوری آب آبیاری و دورهای آبیاری بر تمام صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل شوری و دور آبیاری بر روی تمامی صفات بجز سطح برگ و نشت یونی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. با افزایش شوری آب آبیاری و طولانی شدن دور آبیاری تمامی صفات بجز نشت یونی کاهش پیدا کردند. در بیشترین سطح شوری (S4) نسبت به تیمار شاهد (S1)، متوسط میزان تبخیر-تعرق در دوره اعمال تنش و عملکرد دانه به ترتیب ۳۲ و ۸۴/۷ درصد کاهش یافت. دور آبیاری ۱۵ روز نیز نسبت به ۵ روز باعث کاهش ۳۸ و ۸۶/۴ درصدی به‌ترتیب در تبخیر-تعرق در دوره اعمال تنش و عملکرد دانه شد. ضریب آب سهل‌الوصول برای عملکرد دانه گلرنگ ۰/۴۵ بدست آمد. حد آستانه شوری محلول خاک برای کاهش عملکرد دانه گلرنگ ۳/۴ دسی‌زیمنس بر متر و شیب کاهش عملکرد دانه به ازای افزایش یک واحد شوری ۵/۸ درصد بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: آستانه شوری، برهمکنش، دور آبیاری، صفات مورفولوژیک، گلرنگ

مقدمه

آب و خاک از منابع مهم هر کشوری محسوب می‌شوند لذا بهره-برداری اصولی از این دو منبع از نظر علمی و کاربردی و استفاده بهینه از آن‌ها قدم مؤثری در جهت توسعه کشاورزی و ارتقای اقتصاد کشور در زمینه‌های مختلف کشاورزی، بیولوژیکی، دامپروری و ... محسوب می‌شود (شکوهی فر و همکاران، ۱۳۹۵). کمبود آب در اراضی فاریاب واقع شده در نواحی خشک و نیمه‌خشک، مهم‌ترین عامل محدود کننده توسعه کشاورزی است. با توجه به محدودیت شدید منابع آب، برای تأمین نیاز روزافزون مواد غذایی در دنیا چاره‌ای به جز استفاده از آب‌های با کیفیت پایین یا آب‌های نامتعارف وجود ندارد. برای دستیابی به این امر لازم است شیوه استفاده و بهره‌برداری از این آب-ها اصلاح شود و گیاهانی که قادر به تولید توسط آب‌های با کیفیت پایین هستند شناسایی شوند و یا با انجام عملیات به‌نژادی و به‌زراعی شرایط برای تولید بیشتر آماده گردد. به همین جهت کشاورزی در اکثر مناطق خشک وارد دوران نوینی شده است که دیگر در آن توسعه در زمینه منابع جدید آب مد نظر نیست (باغانی و همکاران، ۱۳۹۴). کشور ایران از نظر اقلیمی خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. لذا با در نظر گرفتن شرایط منابع آب و خاک کشور، عملکرد محصولات

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
۲- نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
۴- کارشناس ارشد، ایستگاه تحقیقات پسته شهرستان اردکان، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: nyarami@ardakan.ac.ir)
DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.5.12.7

باغی و زراعی در اکثر مناطق کشور تحت تأثیر همزمان تنش‌های شوری و خشکی قرار دارند. در نتیجه بررسی و مطالعه تحمل گیاهان نسبت به تنش‌های همزمان شوری و خشکی جهت بهینه‌سازی برنامه‌ریزی آبیاری، انتخاب محصولات مناسب در الگوی کشت، پیش‌بینی روند عملکرد در دراز مدت و همچنین اثرات زیست‌محیطی آن می‌بایست مورد توجه قرارگیرد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۴).

روند افزایش جمعیت در طی سال‌های اخیر و به تبع آن افزایش مصرف سرانه روغن خوراکی که یکی از محصولات غذایی پر مصرف کشور است، موجب افزایش واردات روغن با صرف هزینه‌های زیاد شده است. لذا افزایش تولید و کیفیت محصولات روغنی در داخل کشور برای کاهش وابستگی به کشورهای دیگر حائز اهمیت است (آقایی و همکاران، ۱۳۹۰). امروزه دانه‌های روغنی مثل گلرنگ از فرآورده‌های استراتژیک کشاورزی دنیا محسوب می‌شوند (امیدی و جاویدفر، ۱۳۸۹). گلرنگ (*Carthamus thinctorius* L.) گیاهی از خانواده کاسنی (Asteraceae) است که از گیاهان بومی و با ارزش ایران است. وجود انواع تیپ‌های وحشی که در سراسر کشور پراکنده‌اند نشان از سازگاری بالای این گیاه روغنی به آب و هوای کشور دارد (امیری و همکاران، ۱۳۹۴). روغن دانه گلرنگ، غنی از لینولئیک اسید (اسید چرب غیراشباع) است که به کاهش کلسترول خون کمک می‌کند و به همین دلیل، در بسیاری ازکشورها به عنوان یک گیاه دارویی استفاده می‌شود (Liu et al., 2016). این گیاه امروزه برای استفاده از شاخه، برگ، گل و دانه (استحصال روغن و غذای پرندگان) کشت می‌شود. خواص و ویژگی‌های بیولوژیکی گلرنگ از آن یک محصول چند منظوره مفید ساخته است. گلرنگ دارای ارقام خاردار و بدون خار می‌باشد که اگرچه صفت خاردار بودن بر بی‌خاری غالب است (امیدی و جاویدفر، ۱۳۸۹) اما کشت و کار ارقام بدون خار برای کشاورزان راحت‌تر است. کشت گلرنگ در مناطق گرم بهتر است در پاییز و براساس زمان شروع بارندگی‌های پاییزه و شیوع بیماری‌های قارچی از جمله فیتوفترا، سفیدک سطحی در منطقه و حمله آفاتی مانند مگس گلرنگ و عدم همزمانی دوره گلدهی با درجه حرارت‌های بالا تنظیم شود (جباری و همکاران، ۱۳۹۸). بر اساس پژوهش‌های انجام شده مطلوب‌ترین تاریخ کاشت ارقام گلرنگ پاییزه در مناطق گرم، نیمه دوم آذر ماه است و رقم گلدشت مناسب کشت پاییزه در این مناطق است (جباری و همکاران، ۱۳۹۸). تحمل بالای گلرنگ در برابر تنش‌های محیطی مانند خشکی، شوری و دما، داشتن تیپ‌های بهاره و پاییزه سازگار با شرایط آب و هوایی مناطق مختلف کشور، سازگاری با بافت‌های مختلف خاک، نیاز غذایی کم و کشت آسان این گیاه آینده نویدبخشی را برای توسعه کشت این دانه روغنی رقم می‌زند (پاسبان اسلام، ۱۳۹۵و جباری و همکاران، ۱۳۹۸). پژوهش‌های مربوط به گلرنگ به منظور دستیابی به ارقام پر محصول، پر روغن، بی‌خار و مقاوم به تنش‌های شوری، خشکی و سرما در حال گسترش است.

باسیل و کافکا در گزارشی بیان کردند که در شوری ۷/۲ دسی-زیمنس بر متر شاخص سطح برگ و ارتفاع بوته گلرنگ کاهش پیدا کرد ولی عملکرد دانه و روغن آن بطور معنی‌داری تحت تأثیر تنش شوری قرار نگرفت (Bassil and Kaffka, 2002). ییلاقی و همکاران با بررسی ۶۴ ژنوتیپ گلرنگ تحت تنش شوری بیان کردند تنش شوری باعث افزایش قابل توجه اسید اولئیک و کاهش قابل توجه در اسیدهای لینولئیک شد (Yeilaghi et al., 2012). پژوهش دیگری بر روی سه ژنوتیپ گلرنگ شامل محلی اصفهان، PI, IL111 در مراحل مختلف رشد تحت تنش شوری صورت گرفت. نتایج نشان داد که در صورتی‌که آبیاری با آب غیرشور در حد فاصل بین زمان تکمه‌دهی تا گل‌دهی کامل انجام گیرد، گلرنگ می‌تواند عملکرد مطلوبی داشته باشد و رقم محلی اصفهان به شرایط آبیاری با آب شور سازگاری بیشتری نشان داد (جامی‌الاحمدی و همکاران، ۱۳۸۸). فیضی و همکاران در پژوهشی حد آستانه شوری گلرنگ رقم اصفهان را ۶/۴ دسی‌زیمنس بر متر و شیب کاهش عملکرد به ازای افزایش شوری را ۱۱/۸ درصد تعیین کردند و استراتژی آبشویی خاک را به عنوان راهکاری برای افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ بیان داشتند (Feizi et al., 2010). فرهنگی آبریز و قاسمی گلزانی (۲۰۲۱) بیان داشتند که کاربرد بیوچار بر پایه نانوکامپوزیت‌های اکسید فلزی با افزایش جذب مواد مغذی توسط گیاه و نگهداری محتوای آب در بافت‌های گیاهی در حد مطلوب می‌تواند باعث بهبود رشد ریشه و شاخساره گلرنگ در شرایط خاک شور شود (Farhangi-Abriz and Ghassemi-Golezani, 2021).

اشرفی و رزم‌جو اثر سه رژیم مختلف آبیاری را بر درصد روغن ارقام گلرنگ مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تنش خشکی مقدار روغن و ترکیبات آن را کاهش می‌دهد و علت آن را کاهش محتویات اسیدهای چرب اشباع در اثر تنش خشکی بیان کردند (Ashrafi and Razmjoo, 2010). مجیدی و همکاران گزارش کردند که گونه وحشی گلرنگ (*Carthamus oxyacanthus* L) نسبت به گونه اهلی (*Carthamus tinctorius* L) تحمل به تنش خشکی بیشتری دارد و می‌تواند منبع مناسبی برای انتقال ژن‌های مقاومت به خشکی به گلرنگ اهلی باشد (Majidi et al., 2011). نوروزی و کاظمینی (۱۳۹۱) گزارش کردند که با کاهش میزان آبیاری گلرنگ از ۷۵ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، عملکرد دانه بطور معنی‌داری (۶۳ درصد) کاهش یافت. فراهم کردن آب مورد نیاز گیاه در مراحل گل‌دهی و پرشدن دانه برای رسیدن به عملکرد مطلوب لازم است (فرخی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۰). پاسبان اسلام (۱۳۹۹) در آزمایشی بر روی شش ژنوتیپ گلرنگ متحمل به شوری تحت تنش خشکی نشان داد که هدایت روزنه‌ای و مقدار نسبی آب برگ (RWC[1])

1- Relative Water Content

توانایی انعکاس اثرات تنش کمبود آب آخر فصل در گیاه گلرنگ را دارد و می‌توان از آن‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی استفاده کرد. همچنین ارقام گل مهر، مکزیک ۱۴، مکزیک ۲۴۸ و مکزیک ۲۹۵ برای کاشت در اراضی شور حاشیه دریاچه ارومیه و مناطقی با اقلیم مشابه توصیه شد. بررسی تأثیر متقابل خشکی و شوری بر روی گلرنگ در آزمایشگاه و گلخانه در مرحله ۴-۶ برگی نشان داد که تحت تأثیر تنش ملایم، آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز (GPX) و در اثر تنش‌های شدید آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX)، افزایش بیشتری پیدا کردند که نشان از فعالیت بیشتر سیستم دفاعی گیاه در شرایط تنش‌های اعمال شده است و محافظت یا تحمل گیاه را در شرایط تنش اکسیداتیو ناشی از خشکی و شوری در پی دارد (سیروس مهر و همکاران، ۱۳۹۳). پژوهش شاهرخ‌نیا و سپاس‌خواه نشان داد که با اعمال کم‌آبیاری با روش جویچه‌ای یک در میان متغیر، صرفه‌جویی آب آبیاری به مقدار ۳۰/۲ درصد در مقایسه با روش آبیاری جویچه‌ای معمولی بود، در حالیکه فقط ۱۳ درصد کاهش محصول در گلرنگ مشاهده گردید (Shahrokhnia and Sepaskhah, 2016).

اگر چه در مطالعات زیادی مشخص شده که گیاه گلرنگ یک گیاه نسبتاً مقاوم در برابر تنش‌های محیطی به خصوص تنش خشکی و شوری است و در تحقیقات زیادی اثر تنش خشکی و تنش شوری بطور مجزا بر گلرنگ بررسی شده است، اما با این حال اطلاعات اندکی در مورد اثرات برهمکنش این دو تنش محیطی بر گلرنگ در کشور وجود دارد. از سوی دیگر با توجه به راحتی کشت ارقام بدون خار گلرنگ برای کشاورزان و توصیه به کشت ارقام پاییزه در مناطق گرم، لذا این پژوهش با هدف بررسی اثرات کم‌آبیاری، آبیاری با آب شور و اثر متقابل این دو تنش بر صفات مورفولوژیکی و برخی صفات فیزیولوژیکی گلرنگ رقم گلدشت (پاییزه و بدون خار) به‌عنوان یک گیاه دارویی و صنعتی در شهرستان اردکان انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر برهمکنش تنش‌های شوری و خشکی بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک گیاه گلرنگ رقم گلدشت (پاییزه و بدون خار)، این پژوهش در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در گلخانه ایستگاه تحقیقات پسته شهرستان اردکان (طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۰۴۰ متر از سطح دریا) واقع در استان یزد با متوسط بارش کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر در سال اجرا گردید.

این پژوهش با اعمال دو تیمار سطوح مختلف تنش خشکی و سطوح مختلف شوری آب آبیاری به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای خشکی بدلیل امکان اعمال آبشویی با تغییر دور آبیاری در نظر گرفته شدند بطوریکه دورهای آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روز (به ترتیب I1، I2 و I3) سطوح آبیاری بودند. سطوح شوری آب آبیاری شامل ۰/۷، ۴، ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر (به‌ترتیب S1، S2، S3 و S4) بودند. آب لوله‌کشی شهری به عنوان تیمار شاهد یعنی اولین سطح شوری و آب سایر سطوح شوری از منابع طبیعی آب قنات و آب چاه موجود در ایستگاه تحقیقاتی (یا ادغام آن‌ها) که دارای شوری‌های متفاوتی بودند، تأمین شد. شوری آب‌های مورد استفاده در طول دوره اعمال تیمارها چندین بار مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی آب-های مورد استفاده با شوری‌های مختلف در جدول (۱) ارائه شده است. بر اساس جدول (۱) و طبق طبقه‌بندی آب‌ها بر اساس روش آزمایشگاه شوری خاک آمریکا (Ayers and Westcot, 1985) مشخص است که اولین سطح شوری آب (شاهد) از لحاظ شوری در طبقه شوری متوسط و با زیان ناشی از سدیم کم قرار داشت. سایر آب‌های مورد استفاده دارای شوری خیلی زیاد بودند و از لحاظ زیان-های سدیم نیز در محدوده سدیمی زیاد تا خیلی زیاد قرار داشتند.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی آب آبیاری با شوری‌های مختلف

تیمار	EC dS/m	pH	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SAR*	کلاس کیفی آب
			meq/L							
S1	۰/۷	۷/۸	۶/۹	۹/۲	۶/۰	۰	۲/۴	۴/۸	۲/۵	C_2-S_1
S2	۴	۷/۶	۳۲/۵	۱۰/۴	۸/۴	۰	۵/۲	۲۶/۵	۱۰/۶	C_4-S_3
S3	۷	۷/۵	۶۸/۳	۱۱/۶	۱۰/۰	۰	۶/۳	۴۹/۶	۲۰/۸	C_4-S_4
S4	۱۰	۷/۳	۹۵/۶	۱۵/۲	۱۷/۶	۰	۷/۵	۷۷/۷	۲۳/۶	C_4-S_4

* نسبت جذبی سدیم (Sodium Adsorption Ratio)

برای کاشت از گلدان‌هایی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و قطر ۲۵ سانتی‌متر استفاده شد که برای سهولت در زهکشی، در کف گلدان‌ها یک توری پارچه‌ای قرار گرفت و فیلتر شنی به ضخامت ۱ سانتی‌متر ریخته شد. گلدان‌ها با وزن مساوی (۹ کیلوگرم) از خاک هوا خشک پر شدند. با نمونه‌برداری از خاک مورد استفاده برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مهم خاک در آزمایشگاه تعیین گردید که بصورت

جدول (۲) می‌باشد. حدود رطوبتی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم با استفاده از دستگاه سلول فشاری و به ترتیب با قرار دادن نمونه خاک تحت فشارهای ۰/۳ و ۱۵ بار تعیین گردید. بر اساس بافت و چگالی ظاهری خاک و با استفاده از نرم‌افزار RETC V6 (Van Genuchten et al., 1991) پارامترهای مربوط به منحنی مشخصه رطوبتی خاک نیز تعیین گردید (رابطه ۱).

$$h = \frac{1}{0.011}\left[\left(\frac{0.401-0.042}{\theta-0.042}\right)^{1/0.262}-1\right]^{1/1.35} \quad (۱)$$

در رابطه فوق θ: رطوبت حجمی خاک ($cm^3\ cm^{-3}$) و h: پتانسیل ماتریک متناظر با رطوبت خاک (cm) است.

جدول ۲- برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

بافت خاک	لوم شنی
شن (%)	۸۰
سیلت (%)	۳/۷۵
رس (%)	۱۶/۲۵
رطوبت حجمی ظرفیت زراعی ($cm^3\ cm^{-3}$)	۰/۲۷
رطوبت حجمی نقطه پژمردگی دائم ($cm^3\ cm^{-3}$)	۰/۱۰
چگالی ظاهری ($gr\ cm^{-3}$)	۱/۵۰
ماده آلی (%)	۰/۶۹
هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ($dS\ m^{-1}$)	۳/۴۵
اسیدیته	۷/۷

در اواسط آذر ماه ۱۳۹۸ تعداد ده عدد بذر ضدعفونی شده‌ی گلرنگ رقم گلدشت، در گلدان‌ها کاشته شد. از زمان کشت با سرکشی مرتب به گلدان‌ها در صورت نیاز با آب لوله‌کشی آبیاری شدند بطوری که سعی شد رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی نگه‌داشته شود. ۷۵ روز بعد از کاشت که بوته‌ها به وضعیت استقرار مناسبی رسیدند (مرحله طویل شدن ساقه)، با نگهداشتن تعداد ۵ بوته سالم و شاداب تیمارهای شوری و دور آبیاری تا پایان دوره رشد اعمال گردید. کود نیتروژن (با خلوص ۰/۴۶ درصد) در مرحله ابتدایی رشد بر مبنای ۵۰ کیلوگرم در هکتار برای هر گلدان با توجه به مساحت گلدان‌ها محاسبه گردید و به کار برده شد.

قبل از هر آبیاری گلدان‌ها وزن می‌شدند و تفاضل وزن آن‌ها با وزن در حالت ظرفیت زراعی محاسبه می‌گردید. سپس به میزان رسیدن گلدان‌ها تا حد ظرفیت زراعی و ۳۰ درصد آب بیشتر برای آبشویی آبیاری انجام می‌گرفت. معادله‌ای که بر اساس آن حجم آب آبیاری محاسبه می‌شد به صورت زیر بود (رابطه ۲):

$$IV = \frac{(W_{FC}-W_i)}{1-LF} \quad (۲)$$

که در آن: IV: حجم آب آبیاری لازم (cm^3)، W_{FC}: وزن گلدان در حالت ظرفیت زراعی (gr)، W_i: وزن گلدان قبل از آبیاری (gr) و LF: درصد یا جزء آبشویی است. بر اساس مقادیر توزین شده، تبخیر-تعرق گیاه در هر دور آبیاری از تفاضل مقدار آب داده شده و مقدار آبشویی در آن دور آبیاری برای هر تیمار بدست آمد (رابطه ۳). ET_a فصل رشد از جمع مقادیر ET اندازه‌گیری شده در هر دور آبیاری در طی فصل رشد برای هر تیمار تعیین گردید. علاوه بر تبخیر-تعرق کل دوره رشد، میزان تبخیر-تعرق هر تیمار در دوره اعمال تنش‌ها نیز محاسبه گردید و نسبت تبخیر-تعرق در دوره اعمال تنش‌ها به تبخیر-تعرق کل دوره رشد نیز محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

$$ET_a = I - D_p \quad (۳)$$

که در آن، I: عمق آب آبیاری (cm) و D_p: مقدار نفوذ عمقی (cm) که همان زهاب خروجی از انتهای گلدان بود. قبل از هر آبیاری بر اساس وزن گلدان در هر تیمار، رطوبت خاک محاسبه شد و در طول دوره رشد متوسط کمترین رطوبتی که هر تیمار با آن مواجه بود، تعیین گردید. بر اساس مقادیر رطوبت مذکور و عملکرد نسبی دانه، به تعیین حد تخلیه مجاز مدیریتی (MAD[1]) یا ضریب آب سهل‌الوصول گلرنگ و میزان تنشی که گیاه در هر دور آبیاری با آن مواجه بود، پرداخته شد (Allen et al., 1998; Doorenbos and Pruitt, 1977). به‌منظور پایش شوری متوسط محلول خاک که گیاه در دوره رشد با آن مواجه بود، از زهاب خروجی از کف گلدان‌ها هر سه هفته یک‌بار نمونه‌برداری گردید و شوری زهاب‌ها با EC متر (مدل inolab-cond 720) اندازه‌گیری شد و به این ترتیب متوسط شوری محلول خاک برای هر تیمار در طی فصل رشد مشخص گردید.

صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی اندازه‌گیری‌شده

در اواخر مرحله گلدهی، سطح برگ و شاخص کلروفیل (SPAD) برای همه تیمارها اندازه گرفته شد. تعداد پنج برگ از یک بوته در هر

1- Management Allowed Depletion

تیمار انتخاب و با استفاده از دستگاه اندازه گیری SPAD مدل (SPAD 502 Minolta) اندازه‌گیری انجام شد و سپس میانگین قرائت‌ها به عنوان شاخص SPAD برای هر تیمار گزارش شد. برای تعیین سطح برگ بدلیل اینکه جدا کردن برگ‌ها از بوته امکان نداشت، بوسیله خط‌کش طول و عرض همه‌ی برگ‌های بوته‌ها در هر یک از تیمارها اندازه‌گیری شد. با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter، مدل WinArea_UT_11 ساخت ایران)، طول، عرض و مساحت تعدادی از برگ‌های گلرنگ با اندازه‌های مختلف که متعلق به تیمارهای آزمایشی نبودند، اندازه‌گیری شد و رابطه بین سطح برگ و حاصل‌ضرب طول و عرض بدست آمد (رابطه ۴). سپس با استفاده از معادله بدست آمده و در دسترس بودن طول و عرض برگ‌ها، سطح برگ کل برای همه تیمارها محاسبه گردید.

$$LA = 0.7363(W \times L) \quad (۴)$$

در این رابطه: LA: مساحت برگ (cm^2) W: عرض برگ (cm) و L: طول برگ (cm) است.

نشت یونی در همه تیمارها در اواخر دوره رشد قبل از زرد شدن برگ‌ها بر اساس روش استاندارد لوتس و همکاران اندازه‌گیری گردید (Lutts et al., 1995). پس از برداشت در آخر فصل رشد (اواسط خرداد ۱۳۹۹)، تمام بوته‌های برداشت شده از هر تیمار در آون در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ تا ۷۲ ساعت خشک شدند و وزن خشک شاخساره اندازه‌گیری شد. علاوه بر وزن خشک اندام‌های هوایی، وزن هزار دانه و عملکرد دانه بر گلدان نیز اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت (HI[1]) و بهره‌وری مصرف آب (WP[2]) در هر تیمار به ترتیب با استفاده از رابطه‌های (۵) و (۶) محاسبه گردید.

$$HI = \frac{GY}{DM} \times 100 \quad (۵)$$

GY: عملکرد دانه (gr/pot) و DM: ماده خشک شاخساره (gr/pot) است.

$$WP = \frac{GY}{TIV} \times 100 \quad (۶)$$

WP: بهره‌وری مصرف آب (Kg/m^3)، GY: عملکرد دانه (Kg) و TIV: کل حجم آب آبیاری بکار برده شده (m^3) است.

تجزیه و تحلیل آماری صفات اندازه‌گیری شده و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد توسط نرم‌افزار SPSS 22 انجام شد. محاسبات لازم و رسم نمودارها با نرم-افزار Excel 2016 صورت گرفت.

نتایج و بحث

اثر تنش شوری، دور آبیاری و برهمکنش آن‌ها بر تبخیر-تعرق، عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ

نتایج مربوط به تجزیه واریانس اثر دور و شوری آب آبیاری و برهمکنش آن‌ها بر صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش در جدول (۳) ارائه شده است. بر اساس این جدول اثر اصلی دور آبیاری و شوری آب آبیاری بر همه‌ی صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود و اثر برهمکنش دور آبیاری و شوری تنها بر سطح برگ و نشت یونی معنی‌دار نبوده است.

سطح برگ

نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که اثر سطوح شوری و کم آبیاری بر سطح برگ در دوره گلدهی در سطح یک درصد معنی‌دار بود اما اثر متقابل این دو تنش معنی‌دار نبود. در جدول (۴) مقایسه میانگین‌ها در اثر تیمارهای شوری و دور آبیاری برای سطح برگ نشان داده شده است. با افزایش دور آبیاری از ۵ به ۱۵ روز و شوری آب آبیاری از ۰/۷ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر سطح برگ به ترتیب ۳۰/۳ و ۳۴/۵ درصد کاهش پیدا کرد. حداکثر مقدار سطح برگ برای تیمار I_1S_1 و حداقل میزان آن متعلق به تیمار I_3S_4 بوده است و اثر شوری در کاهش سطح برگ بیشتر از خشکی بود. اختلاف سطح برگ در شرایط وجود تنش خشکی یعنی دورهای ۱۰ و ۱۵ روز در هیچ یک از سطوح شوری معنی‌دار نبوده است درحالیکه در دور آبیاری ۵ روز اختلاف معنی‌داری با سایر دورهای آبیاری در تمام سطوح شوری مشاهده شد و در این دور آبیاری اختلاف سطح برگ در تیمار شاهد شوری با سایر سطوح شوری نیز معنی‌دار بود. یومار و سیدیکو بیان کردند که کاهش سطح برگ و تعداد برگ‌های گیاه در شرایط تنش می‌تواند به علت کاهش محتوای آب نسبی برگ باشد (Umar and Siddiqui, 2018). امینی و همکاران بیان داشتند که شاخص سطح برگ گلرنگ به شدت تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد (Amini et al., 2013). در شرایط تنش خشکی کاهش شدت فتوسنتز گیاه موجب کوچکتر شدن برگ‌ها و از سوی دیگر زوال برگ‌ها در شرایط تنش خشکی باعث کاهش سطح برگ می‌گردد که با نتایج پژوهش حاضر سازگاری دارد. کم شدن سرعت رشد برگ در اثر شوری غالباً به سبب اثر اسمزی است و با زیاد شدن شوری، سلول‌های برگ آب خود را از دست می‌دهند و سرعت تقسیم و طویل شدن آن‌ها کاهش پیدا می‌کند که این عوامل کوچکتر شدن اندازه‌ی نهایی برگ‌ها و کم شدن سطح آن‌ها را در پی دارد (Demiral, 2005). گرجی و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که سطح برگ گیاه گلرنگ در تیمار ۱۰۰ میلی مولارکلرید سدیم نسبت به شرایط غیر شور حدود ۵۹ درصد کاهش پیداکرد. نتایج پژوهش حاضر با تحقیقات ذکر شده همخوانی دارد.

وزن خشک شاخساره

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس (جدول ۳) بیان می‌کند که

1- Harvest Index
2- Water Productivity

شوری و دور آبیاری و اثر متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر وزن خشک شاخساره معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها برای وزن خشک شاخساره در جدول (۴) ارائه شده است. بیشترین وزن خشک شاخساره مربوط به تیمار I_1S_1 و کمترین مقدار آن برای تیمار I_3S_4 بود. با افزایش شوری آب آبیاری از ۰/۷ به ۱۰ دسی‌زیمنس برمتر، میانگین وزن خشک شاخساره ۴۸/۱ درصد کاهش پیدا نمود و افزایش دور آبیاری از ۵ به ۱۵ روز نیز باعث کاهش ۴۵/۳ درصدی میانگین وزن خشک شاخساره گردید. در دور آبیاری ۵ روز (شرایط بدون تنش خشکی) با افزایش شوری آب آبیاری، وزن خشک شاخساره بطور معنی‌داری کاهش یافت.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده گلرنگ در آزمایش توأمان تنش شوری و خشکی

منابع تغییرات	میانگین مربعات (M.S)				ضریب تغییرات(٪)
	دور آبیاری	شوری	دور آبیاری × شوری	خطا	
درجه آزادی	۲	۳	۶	۲۲	
تبخیر-تعرق کل دوره رشد	۳۲۲۲۱/۸۷**	۱۳۲۲۷/۳۷**	۳۶۷۹/۱۹**	۹۱/۰۶	۱/۸۱
تبخیر-تعرق در دوره اعمال تنش‌ها	۳۲۲۲۷/۹**	۱۳۲۲۹/۷۱**	۳۶۷۹/۶۹**	۹۱/۲۷	۳/۷۳
درصد تبخیر-تعرق در دوره اعمال تنش‌ها به تبخیر-تعرق کل دوره رشد	۳۵۹/۸۱**	۱۳۹/۹۹**	۲۴/۵۹**	۱/۲۶	۱/۹۲
سطح برگ (مرحله گلدهی)	۷۵۰۶/۲۲**	۴۰۷۵/۰۴**	۳۵۹/۷۷$^{n.s}$	۲۷۲/۳۳	۱۳/۸۳
وزن خشک شاخساره	۳۰۶/۹۳**	۱۸۲/۱۷**	۳۱/۰۶**	۱/۱۹	۶/۱۳
عملکرد دانه	۱۹/۰۲**	۷/۳۱**	۲/۸۷**	۰/۰۲۱	۹/۹۳
وزن هزار دانه	۱۶۱/۳۷**	۲۴۶/۶۴**	۱۱/۱۳**	۰/۵۳۴	۵/۷۷
شاخص برداشت	۲۱۵/۲۰**	۸۱/۱۹**	۲۳/۱۳**	۰/۲۴	۷/۲۵
بهره‌وری مصرف آب	۰/۰۱۱ **	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰۰۱۵	۹/۵۲
درصد نشت یونی	۱۳۳۷/۵۸**	۴۹۱/۵۱**	۶۷/۱۳$^{n.s}$	۶۱/۰۹	۷/۵۶
شاخص SPAD	۹۵۹/۸**	۲۵۱/۴۵**	۹۴/۸۱**	۲۴/۵	۸/۴۴

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد، n.s غیر معنی‌دار.

جدول ٤- تأثیر برهمکنش دور آبیاری و شوری آب آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ

دور آبیاری day	شوری آب آبیاری dS/m	سطح برگ cm^2/pot	وزن خشک شاخساره gr/pot	عملکرد دانه gr/pot	وزن هزار دانه gr	شاخص برداشت ٪	بهره‌وری مصرف آب Kg/m^3
(I1) ۵	(S1) ۰/۷	۱۹۴/۰ a*	۲۹/۸۰ a	۵/۰۱ a	۲۵/۳ a	۱۶/۸ a	۰/۱۱۹ a
	(S2) ۴	۱۳۹/۲ b	۲۴/۳۰ b	۳/۸۷ b	۲۲/۰ b	۱۶/۰ b	۰/۱۰۳ b
	(S3) ۷	۱۳۶/۱ b	۲۲/۰۶ c	۱/۶۴ c	۱۴/۰ d	۷/۵ cd	۰/۰۵۰ c
	(S4) ۱۰	۱۱۷/۵ bcd	۱۱/۹۶ ef	۰/۶۳ ef	۹/۰ g	۵/۳ e	۰/۰۲۱ f
(I2) ۱۰	(S1) ۰/۷	۱۲۱/۹ bc	۲۲/۳۰ c	۱/۴۹ c	۱۷/۷ c	۶/۷ d	۰/۰۴۶ c
	(S2) ۴	۱۰۲/۶ cde	۱۵/۲۶ d	۱/۲۳ d	۱۴/۷ d	۸/۱ c	۰/۰۴۰ d
	(S3) ۷	۹۶/۷ cde	۱۲/۶۰ e	۰/۸۵ e	۱۱/۱ f	۶/۷ d	۰/۰۲۹ e
	(S4) ۱۰	۸۸/۶ de	۱۲/۳۶ ef	۰/۲۵ g	۸/۱ g	۲/۰ hi	۰/۰۰۹ gh
(I3) ۱۵	(S1) ۰/۷	۱۲۴/۹ bc	۱۵/۰۶ d	۰/۵۸ f	۱۴/۸ d	۳/۹ f	۰/۰۲۰ f
	(S2) ۴	۱۰۹/۲ bcde	۱۱/۸۰ ef	۰/۴۳ fg	۱۲/۶ e	۳/۷ fg	۰/۰۱۶ fg
	(S3) ۷	۱۰۰/۵ cde	۱۰/۸۳ ef	۰/۳۱ g	۸/۰ g	۲/۹ gh	۰/۰۱۲ gh
	(S4) ۱۰	۸۲/۷ e	۱۰/۵۰ f	۰/۱۸ g	۵/۹ h	۱/۸ i	۰/۰۰۷ h

* میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

در سطوح تنش خشکی (دورهای ۱۰ و ۱۵ روز) اغلب این کاهش‌ها در اثر افزایش شوری آب معنی‌دار نبود. نوروزی و کاظمینی (۱۳۹۱) بیان کردند که با کاهش رطوبت خاک از ۱۰۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، عملکرد بیولوژیک گلرنگ به میزان ۵۴ درصد کاهش یافت. پوررضا (۱۳۹۶) گزارش کرد تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گلرنگ، کاهش وزن خشک شاخساره را در پی داشته و ژنوتیپ‌ها در

شرایط نرمال رطوبتی دارای وزن خشک بیشتری می‌باشند که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. کم شدن تولید ماده خشک ناشی از تنش شوری به خاطر هزینه انرژی متابولیک مربوط به سازگاری به شرایط تنش، کاهش شدت فتوسنتز در واحد سطح برگ و آسیب به بافت‌ها است (میرمحمدی و قره‌یاضی، ۱۳۸۱). فیضی و همکاران کاهش ۴۴ و ۷۱ درصدی در وزن ماده خشک گلرنگ را به ترتیب تحت شوری‌های آب آبیاری ۸/۸ و ۱۱/۲ نسبت به شاهد گزارش کردند (Feizi et al., 2010). جاود و همکاران نیز کاهش معنی‌دار ماده خشک ارقام مختلف گلرنگ را تحت شرایط شور نسبت به شاهد مشاهده کردند (Javed et al., 2014).

وزن هزار دانه

شوری و دور آبیاری و اثر متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس مقایسه میانگین‌های وزن هزار دانه در تیمارهای مختلف (جدول ۴)، تیمار I_1S_1 نسبت به تیمارهای دیگر دارای میانگین وزن هزار دانه بیشتری بود و کمترین مقدار مربوط به تیمار I_3S_4 بود. با افزایش شوری آب آبیاری از ۰/۷ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و طولانی شدن دور آبیاری از ۵ به ۱۵ روز، میزان وزن هزار دانه به ترتیب ۶۰/۲ و ۴۱/۲ درصد کاهش پیدا نمود. در هر دور آبیاری با افزایش شوری آب آبیاری میزان وزن هزاردانه بطور معنی‌داری کاهش یافته است. در هر سطح شوری نیز با افزایش تنش خشکی وزن هزار دانه کاهش معنی‌داری را نشان داده است. با افزایش شوری آب آبیاری، جذب آب و به دنبال آن جذب عناصر ضروری گیاه کاهش می‌یابد و این مساله کاهش تعداد دانه در طبق و تعداد طبق در بوته را در پی داشته و در نتیجه وزن هزار دانه کاهش پیدا می‌کند. استنبالوغلو و همکاران بیان کردند که تنش خشکی در مرحله گلدهی و پرشدن دانه در گلرنگ بیشترین اثر را در کاهش وزن هزار دانه دارد و سبب تولید کمترین عملکرد می‌شود (Istanbulluoglu et al., 2009). نوروزی و کاظمینی (۱۳۹۱) کاهش ۳۶ درصدی وزن هزار دانه گلرنگ را با کاهش رطوبت خاک از ۱۰۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی گزارش کردند. زمانپورسیچانی (۱۳۸۳) گزارش کرد که افزایش شوری سبب شده وزن هزار دانه گلرنگ در اصفهان سیر نزولی پیدا کند. فیضی و همکاران کاهش ۵۲ درصدی در وزن هزاردانه گلرنگ رقم اصفهان را در شرایط شوری ۱۱/۲ آب آبیاری نسبت به شاهد گزارش نمودند (Feizi et al., 2010). نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج پژوهش‌های مذکور مطابقت دارد.

عملکرد دانه

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان می‌دهد که شوری و دور آبیاری و اثر متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه در دورها و شوری‌های مختلف آب آبیاری در جدول (۴) آورده شده است. بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه به ترتیب مربوط به تیمارهای I_1S_1 و I_3S_4 بود. در بیشترین سطح شوری نسبت به تیمار شاهد، متوسط عملکرد دانه ۸۴/۷ درصد کاهش یافت. طولانی شدن دور آبیاری تا ۱۵ روز نیز نسبت به دور آبیاری ۵ روز باعث کاهش ۸۶/۴ درصدی در عملکرد دانه شد. غالباً تنش خشکی رشد و توسعه گیاه را با کاهش روبرو می‌سازد و به طور آشکاری از تولید گل و پرشدن دانه، جلوگیری می‌کند، لذا دانه‌ها کمتر و کوچکتر می‌گردند. در واقع تنش خشکی باعث کاهش شاخص برگ به دلیل زردی و پیری زودرس برگها می‌شود به دنبال آن تجمع ماده خشک کاهش یافته و در آخر عملکرد دانه کاهش می‌یابد. در دور آبیاری ۵ و ۱۰ روز با افزایش شوری آب آبیاری عملکرد دانه نیز بطور معنی‌داری کاهش یافته است. درحالیکه در دور آبیاری ۱۵ روز به دلیل تنش شدید خشکی عملکرد دانه آنقدر کاهش داشته که حتی افزایش سطوح شوری اثر معنی‌داری در کاهش بیشتر دانه نداشته است.

ایروینگ و همکاران برای گلرنگ تحت تنش شوری، کاهش وزن دانه در طبق و به دنبال آن کاهش وزن دانه در بوته و جاود و همکاران تا حدود ۵۰ درصد کاهش در عملکرد دانه در ارقام مختلف گلرنگ را تحت شرایط شور نسبت به شاهد مشاهده کردند (Irving et al., 1988; Javed et al., 2014). کایا و همکاران در گزارشی بیان کردند که شوری آب و خاک در گیاه گلرنگ باعث کاهش میزان رشد رویشی و زایشی می‌گردد که به سبب آن کاهش میزان رشد، عملکرد و اجزای عملکرد دانه اتفاق می‌افتد (Kaya et al., 2003). فیضی و همکاران در پژوهشی بر روی گلرنگ در اصفهان تحت شرایط شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کاهش ۶۰ درصدی وزن دانه در طبق و کاهش طبق در بوته و در نتیجه کاهش وزن دانه در بوته را بیان کردند (Feizi et al., 2010) که با نتایج آزمایش حاضر سازگاری دارد. کاهش معنی‌دار در عملکرد دانه و اجزای عملکرد گلرنگ تحت شرایط تنش شوری و خشکی با نتایج حاصل از پژوهش‌های جانسن و همکاران، سینگ و همکاران و شاهرخ نیا و سپاسخواه همخوانی دارد (Johnson et al., 2012; Shahrokhnia and Sepaskhah, 2017; Singh et al, 2016).

شاخص برداشت

نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که شوری، کم آبیاری و اثر متقابل این دو تنش بر شاخص برداشت در سطح یک درصد معنی‌دار بود. با افزایش دور آبیاری از ۵ به ۱۵ روز و افزایش شوری از ۰/۷ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، میانگین شاخص برداشت به ترتیب ۷۳/۱ و ۶۷

درصد کاهش یافت. بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴) در هر یک از سطوح شوری با اعمال کم‌آبیاری، شاخص برداشت بطور معنی‌داری کاهش یافته است. در دور آبیاری ۵ روز با افزایش سطح شوری کاهش معنی‌داری در شاخص برداشت مشاهده شد. در دور آبیاری ۱۰ روز با افزایش شوری از شاهد (S1) به دومین سطح شوری (S2) شاخص برداشت افزایش یافت که دلیل آن می‌تواند این باشد که گیاه در شرایط مواجهه با تنش ملایم شوری و خشکی با انتقال مواد فتوسنتزی، کاهش عملکرد دانه خود را جبران کرده است، یعنی کاهش تولید دانه در تیمار I2S2 نسبت به تیمار I2S1 کمتر از کاهش تولید ماده خشک بوده و همین مسأله باعث افزایش شاخص برداشت شده است. درحالیکه در این دور آبیاری با شدیدتر شدن تنش شوری تا سطح S3 و S4 روند کاهشی در شاخص برداشت مشاهده گردید. در دور آبیاری ۱۵ روز به دلیل تنش شدید خشکی مقادیر شاخص برداشت نسبت به دورهای آبیاری قبلی کاهش زیادی داشت و همچنین کاهش ملایمی در شاخص برداشت با افزایش شوری آب آبیاری مشاهده شد. از آنجا که یکی از اجزای شاخص برداشت عملکرد دانه می‌باشد بنابراین تغییرات شاخص برداشت به میزان زیادی به عملکرد دانه بستگی دارد. هر عاملی که بر روی عملکرد دانه بیشتر از وزن خشک شاخساره اثر بگذارد باعث تغییر شاخص برداشت می‌شود. در این پژوهش نیز کاهش شدید عملکرد دانه در اثر شوری و خشکی باعث کاهش شاخص برداشت گردید. پاسبان اسلام و همکاران گزارش کردند که تنش خشکی در گلرنگ بر شاخص برداشت اثر کاهشی معنی‌داری داشته است (Pasban Eslam et al., 2010). طریقی (۱۳۸۹) در پژوهشی بیان کرد که تیمار شاهد و تیمار تنش خشکی قبل از تکمه دهی در گلرنگ بیشترین و کمترین شاخص برداشت را داشته‌اند. زمانپورسیچانی (۱۳۸۳) گزارش کرد که در مقایسه میانگین‌ها حداکثر شاخص برداشت (۳۰ درصد) برای کمترین سطح شوری کاربردی و حداقل شاخص برداشت (۲۶ درصد) برای حداکثر شوری کاربردی بوده است. نتایج حاضر با پژوهش‌های فوق سازگاری دارد.

بهره‌وری مصرف آب

با توجه به نتایج جدول (۳) دور آبیاری، شوری و اثر متقابل آنها بر بهره‌وری مصرف آب برای تولید دانه گلرنگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود. حداکثر بهره‌وری آب در تیمار I1S1 و حداقل آن در تیمار I3S4 مشاهده شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴) با افزایش شوری آب آبیاری از ۰/۷ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و افزایش دور آبیاری از ۵ به ۱۵ روز بهره‌وری مصرف آب به ترتیب ۸۰ و ۸۱ درصد کاهش پیدا کرد. در دورهای آبیاری ۵ و ۱۰ روز با افزایش شوری آب آبیاری میزان بهره‌وری مصرف آب بطور معنی‌داری کاهش نشان داد. در دور آبیاری ۱۵ روز اختلاف بهره‌وری مصرف آب در دو سطح شوری ۰/۷ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر معنی‌دار نبود اما در سطوح شورتر کاهش این پارامتر از نظر آماری معنی‌دار بود. صادق منصوری و همکاران (۱۳۹۸) کاهش میزان بهره‌وری مصرف آب گیاه کوشیا را در اثر افزایش شوری آب آبیاری گزارش کردند که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. همچنین در پژوهش مذکور مشخص شد که بهره‌وری آب کوشیا در شرایط کم‌آبیاری بیشتر از آبیاری کامل بود. میدانشاهی و همکاران (۱۳۹۲) نیز افزایش بهره‌وری مصرف آب گلرنگ را با اعمال کم‌آبیاری بیان نمودند در حالیکه در پژوهش حاضر با اعمال کم‌آبیاری، بهره‌وری مصرف آب کاهش یافت. از مهمترین دلایل اختلاف نتایج این پژوهش با سایر پژوهش‌ها می‌توان به اختلاف شرایط محیطی رشد و رقم گیاه اشاره نمود. علاوه بر آن چون در این پژوهش تنش‌های شوری و خشکی بطور همزمان اعمال شدند و تنش‌ها در کل دوره رشد فعال گیاه بخصوص مرحله گلدهی و پر کردن دانه‌ها وجود داشته است، لذا افزایش بهره‌وری مصرف آب با کم‌آبیاری مشاهده نشده است. بنابراین از رقم گلرنگ گلدشت تحت شرایط تنش‌های توأم شوری و خشکی نمی‌توان انتظار عملکرد بالایی برای تولید دانه داشت.

اثر تنش شوری، دور آبیاری و برهمکنش آن‌ها بر تبخیر-تعرق

بر اساس جدول (۳) مشاهده می‌گردد که اثر شوری آب آبیاری، دور آبیاری و اثر متقابل آن‌ها بر تبخیر- تعرق کل دوره رشدگیاه، تبخیر-تعرق در دوره اعمال تنش و نسبت تبخیر-تعرق در دوره تنش به کل دوره رشد در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. مقایسه میانگین‌های صفات مذکور نیز در جدول (۵) آمده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد بر اساس این جدول، حداکثر تبخیر- تعرق متعلق به تیمار I_1S_1 و حداقل آن برای تیمار I_3S_4 بود. با افزایش شوری از ۰/۷ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، تبخیر-تعرق ۱۷/۴ درصد کاهش پیدا کرد و با افزایش دور آبیاری از ۵ روز به ۱۵ روز میانگین تبخیر-تعرق ۲۰/۷ درصد کاهش یافت. با توجه به جدول (۵) مشخص است که در اولین دور آبیاری که تقریباً شرایط بدون تنش خشکی بوده است، کاهش میزان تبخیر-تعرق در بالاترین سطح شوری (10 dS/m) نسبت به سطح قبلی (7 dS/m) معنی‌دار بوده است، اما در دورهای آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز که گیاه با تنش خشکی هم مواجه بوده این کاهش معنی‌دار نبوده است. البته میزان تبخیر-تعرق هر تیمار در دوره اعمال تنش‌ها نیز محاسبه شد و مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج مقایسه میانگین‌ها شبیه تبخیر-تعرق کل بدست آمد. درحالیکه با افزایش شوری از ۰/۷ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر تبخیر-تعرق در دوره اعمال تیمارها ۳۲ درصد کاهش پیدا کرد و با افزیش دور آبیاری از ۵ به ۱۵ روز میانگین این بخش از تبخیر-تعرق ۳۸

درصد کاهش یافت. این نتایج نشان می‌دهد که درصد کاهش تبخیر-تعرق در اثر تنش‌های شوری و خشکی خیلی بیشتر از میزان تبخیر-تعرق تیمارها در کل فصل رشد بوده است. نسبت تبخیر-تعرق در دوره اعمال تنش‌ها به تبخیر-تعرق کل دوره رشد نیز بر حسب درصد برای هر تیمار محاسبه گردید که نتایج مربوط به مقایسه میانگین این نسبت در جدول (۵) ارائه شده است. در اولین دور آبیاری (بدون تنش خشکی) با افزایش شوری آب آبیاری روند کاهشی این نسبت معنی‌دار بوده است در حالیکه در شرایط مواجهه گیاه با تنش خشکی (دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز) این نسبت در شوری‌های بالا (۷ و ۱۰ دسی-زیمنس بر متر) معنی‌دار نبوده است. در دور آبیاری ۵ روز میزان کاهش این نسبت در بیشترین سطح شوری نسبت به شاهد ۲۶ درصد بوده است در حالیکه مقدار متناظر آن در دور آبیاری ۱۵ روز (شرایط تنش شدید خشکی) حدود ۱۲ درصد بوده است. این نتایج نشان می-دهد که کاهش تبخیر-تعرق گیاه بیشتر تحت تأثیر شرایط رطوبتی خاک است و اگر وضعیت رطوبتی خاک مناسب باشد با افزایش شوری آب آبیاری بدلیل افزایش فشار اسمزی جذب آب و در نتیجه تبخیر-تعرق گیاه کاهش می‌یابد در حالیکه در شرایط خاک خشک بدلیل کمبود آب در خاک و عدم توانایی گیاه در جذب آب، افزایش فشار اسمزی تأثیر زیادی در کاهش جذب آب و میزان تبخیر-تعرق گیاه ندارد.

کاهش تبخیر- تعرق تحت تنش خشکی بخاطر کمبود آب و کاهش آن در شرایط شوری به دلیل کاهش جذب آب در اثر کاهش پتانسیل اسمزی محیط ریشه است. با کاهش پتانسیل خاک یا محلولی که گیاه در آن رشد می‌کند، اختلاف پتانسیل که نیروی محرکه جذب است کاهش می‌یابد، در نتیجه مقدار جذب آب تقلیل می‌یابد از سوی دیگر در شرایط تنش ظرفیت رشد ریشه‌ها کاهش یافته و در نتیجه جذب آب کمتر می‌شود. اسندال و همکاران تبخیر-تعرق گلرنگ را در تیمار بدون تنش خشکی و دیم به ترتیب ۷۲۸ و ۳۶۴ تعیین کردند (Esendal et al., 2008). کاهش معنی‌دار تبخیر-تعرق در شرایط تنش شوری، خشکی و اثر متقابل دو تنش بر روی گیاهان مختلف (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Sapaskhah and Yarami, 2009) نیز قبلاً گزارش شده است که با نتایج تحقیق حاضر سازگاری دارد.

شاخص کلروفیل (SPAD)

نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که شوری، کم آبیاری و اثر متقابل این دو تنش بر شاخص SPAD برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود. با توجه به جدول (۵) در دور آبیاری ۵ روز با افزایش شوری از ۰/۷ به ۴ دسی‌زیمنس بر متر شاخص SPAD بطور معنی‌داری افزایش یافت اما بعد از آن با افزایش بیشتر شوری مقدار این شاخص روند کاهشی داشت. لذا حداکثر میزان شاخص SPAD در تیمار I_1S_2 مشاهده شد و حداقل آن برای تیمار I_3S_4 بود. در دورهای آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز که گیاه با تنش خشکی مواجه بود با افزایش سطوح شوری آب آبیاری میزان شاخص SPAD کاهش داشت، البته در اغلب تیمارها این روند کاهشی معنی‌دار نبود. اما در دور آبیاری ۵ روز که گیاه با تنش خشکی مواجه نبود تنش شوری ملایم باعث افزایش شاخص SPAD در برگ شد بطوریکه در سطح شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد افزایش ۲۲ درصدی در این شاخص مشاهده شد ولی با شدیدتر شدن شوری میزان این شاخص هم بطور معنی-داری کاهش یافت. نتایج مشابهی در گیاه کنجد توسط ثابت تیموری و همکاران (۱۳۸۸) نیز گزارش شده است. تنش شوری تا حدی که شدید نباشد باعث افزایش میزان کلروفیل برگ به دلیل مکانسیم‌های تحمل به تنش از قبیل کاهش سطح برگ و افزایش ضخامت برگ می‌شود که نتیجهٔ آن افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ است (Rajcan et al., 1999). لیکن با افزایش بیش از اندازهٔ شوری و اثرات سوء آن بر ساختار کلروفیل و در نتیجه تخریب کلروپلاست‌ها، میزان کلروفیل برگ کاهش می‌یابد (Gramer, 2002).

با افزایش دور آبیاری از ۵ روز به ۱۰ و ۱۵ روز میزان این شاخص به ترتیب ۲۴ و ۳۲/۵ درصد کاهش پیدا کرد. با افزایش شوری از تیمار شاهد به بیشترین سطح شوری یعنی ۱۰ دسی‌زیمنس برمتر میزان شاخص SPAD بطور متوسط ۲۵/۴ درصد کاهش پیدا نمود اما اختلاف این شاخص در سه تیمار اول شوری معنی‌دار نبود. امینی و همکاران گزارش کردند که تحت تنش خشکی در گیاه گلرنگ محتوای کلروفیل a، b و a+b کاهش یافت (Amini et al., 2013). نتایج پژوهش سیروس مهر و همکاران (۱۳۹۳) نیز نشان داد که افزایش شوری و خشکی در مراحل جوانه‌زنی و رشد اولیه گلرنگ رقم گلدشت کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی و محتوای کلروفیل a و b را در پی دارد. کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت تأثیر تنش کمبود آب و شوری امکان دارد به سبب کاهش ساخت کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، تخریب نوری کمپلکس پروتئینی رنگدانه‌های a و b که محافظت کننده دستگاه فتوسنتزی می‌باشند و آسیب اکسیداتیو به لیپیدهای کلروپلاست، رنگدانه‌ها و پروتئین‌ها یا افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز اتفاق بیفتد (Egert and Tevini, 2002). ناصری مقدم و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند که اثر ساده تنش‌های شوری و خشکی و اثر متقابل آن‌ها بر مقدار کلروفیل کل در گل نرگس شهلا در سطح ۱ درصد معنی‌دار و کاهشی شد.

جدول ۵- تأثیر برهمکنش دور آبیاری و شوری آب آبیاری بر تبخیر-تعرق، نشت یونی و شاخص SPAD گلرنگ

دور آبیاری (day)	شوری آب آبیاری (dS/m)	تبخیر-تعرق کل دوره رشد (ETt) mm	تبخیر-تعرق در دوره تنش (ET_{sd}) mm	ET_{sd}/ET_t %	نشت یونی	شاخص SPAD
(I1) ۵	(S1) ۰/۷	۵۹۴/۳ a	۳۷۰/۱ a	۶۲/۳ a	۶۴/۸ c	۵۳/۵ b
	(S2) ۴	۵۲۸/۰ b	۳۰۳/۷ b	۵۷/۵ b	۶۶/۸ c	۶۵/۴ a
	(S3) ۷	۴۵۹/۸ c	۲۳۵/۵ c	۵۱/۲ c	۶۷/۹ c	۵۴/۴ b
	(S4) ۱۰	۴۱۴/۸ de	۱۹۰/۶ de	۴۵/۹ de	۸۶/۵ a	۳۸/۷ cd
(I2) ۱۰	(S1) ۰/۷	۴۶۱/۶ c	۲۳۷/۴ c	۵۱/۴ c	۷۱/۲ bc	۴۶/۱ bc
	(S2) ۴	۴۴۶/۲ c	۲۲۱/۹ c	۴۹/۷ c	۸۲/۵ ab	۴۰/۰ cd
	(S3) ۷	۴۲۴/۸ d	۲۰۰/۵ d	۴۷/۲ d	۸۷/۲ a	۴۰/۶ cd
	(S4) ۱۰	۴۲۵/۰ d	۲۰۰/۷ d	۴۷/۲ d	۸۹/۷ a	۳۴/۴ d
(I3) ۱۵	(S1) ۰/۷	۴۱۹/۳ de	۱۹۵/۰ de	۴۶/۵ d	۸۳/۲ ab	۳۷/۰ cd
	(S2) ۴	۴۰۳/۴ e	۱۷۹/۱ e	۴۴/۴ e	۹۵/۲ a	۳۷/۵ cd
	(S3) ۷	۳۸۳/۵ f	۱۵۹/۲ f	۴۱/۵ f	۹۵/۰ a	۳۵/۰ d
	(S4) ۱۰	۳۷۸/۰ f	۱۵۳/۷ f	۴۰/۷ f	۹۷/۱ a	۳۳/۵ d

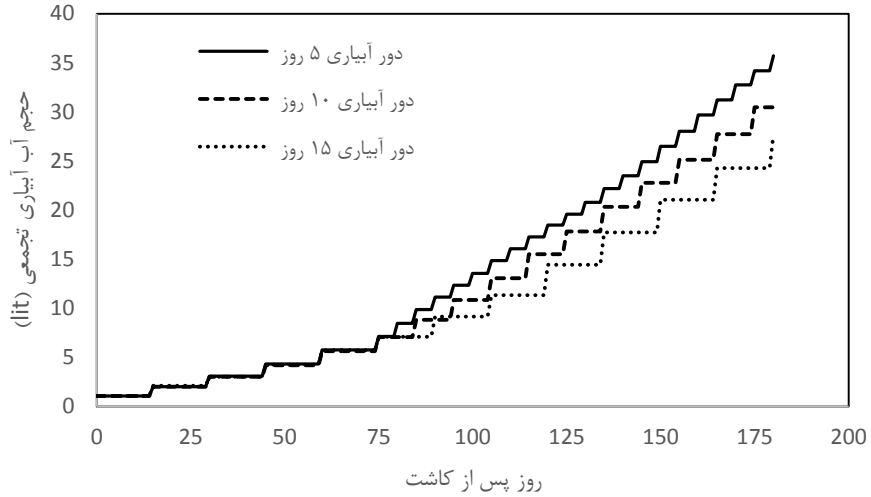
* میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

نشت یونی

بر اساس جدول (۳) اثر شوری و دور آبیاری بر نشت یونی برگ گلرنگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود، اما اثربرهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین نشت یونی در گلرنگ در دورها و شوری‌های مختلف آب آبیاری در جدول (۵) ارائه شده است. با طولانی شدن دور آبیاری نشت یونی بطور معنی‌داری افزایش داشت و با افزایش شوری آب آبیاری نیز این پارامتر فیزیولوژیکی بطور معنی-داری افزایش یافت. با طولانی شدن دور آبیاری از ۵ روز به ۱۵ روز و افزایش شوری آب آبیاری از ۰/۷ به ۱۰ دسی‌زیمنس برمتر، نشت یونی به ترتیب به میزان ۲۹/۵ و ۲۴/۸ درصد افزایش یافت. لذا کم آبیاری نسبت به تنش شوری تأثیر بیشتری بر روی تغییرات درصد نشت یونی داشته است. تیمارهای I_1S_1 و I_3S_4 به ترتیب دارای کمترین و بیشترین درصد نشت یونی بودند. یکی از آسیب‌های جدی تنش خشکی مرتبط به آسیب‌رسانی به غشاء و رهاسازی یون‌ها از سلول به فضای بین سلولی می‌باشد. این پدیده نتیجه تجمع رادیکالهای آزاد اکسیژن می‌باشد که باعث پراکسیداسیون چربی‌ها، نفوذپذیری غشای سلولی و آسیب‌رسانی به سلول می‌گردد و در نتیجه نشت یونی افزایش می‌یابد (Sairam et al., 2002). ساجدی و همکاران افزایش نشت یونی گلرنگ در اثر تنش خشکی و جمشیدی و همکاران (۱۳۹۸) افزایش نشت یونی گیاه دارویی چیا را با افزایش تنش رطوبتی خاک گزارش کردند (Sajedi et al., 2012). محلوجی و همکاران افزایش نشت یونی جو را در اثر تنش شوری و طاهری و همکاران (۱۳۹۵) افزایش نشت یونی در دو رقم ریحان را با افزایش غلظت شوری گزارش نمودند (Mahlooji et al., 2018). نتایج حاصل از این پژوهش در مورد گیاه گلرنگ با نتایج پژوهش‌های مذکور همخوانی دارد.

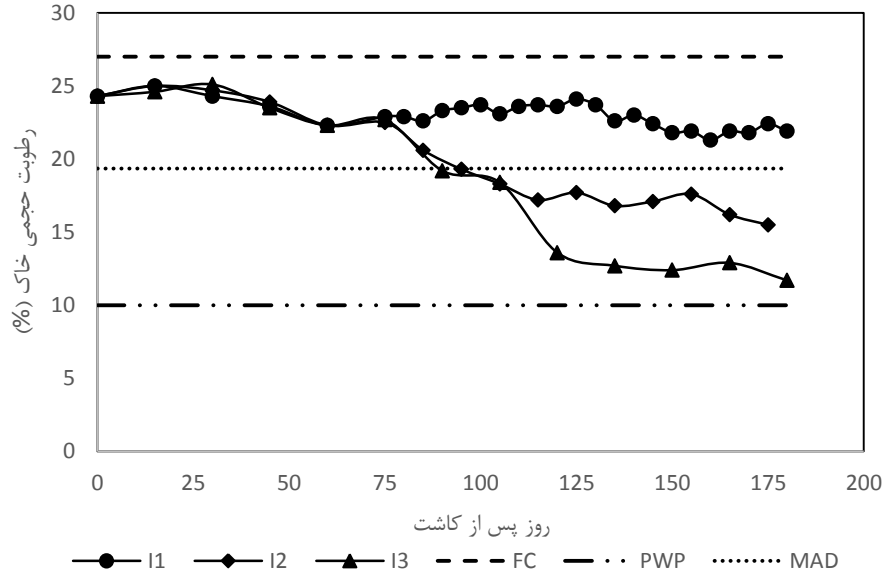
اثر دور آبیاری

متوسط حجم آب آبیاری تجمعی بکار برده شده برای دورهای مختلف آبیاری در شکل (۱) رسم شده است. بر اساس این شکل تا ۷۵ روز پس از کاشت که بوته‌ها به وضعیت استقرار مناسبی برای اعمال تنش‌ها رسیدند حجم آب آبیاری برای همه تقریباً یکسان بود و پس از آن آبیاری با دورهای مختلف و شوری‌های متفاوت انجام شد. تعداد کل وقایع آبیاری در دورهای ۵، ۱۰ و ۱۵ روز به ترتیب ۲۶، ۱۵ و ۱۲ بار بود. متوسط کل حجم آبیاری در دورهای ۵، ۱۰ و ۱۵ روز نیز به ترتیب ۳۵/۷، ۳۰/۵ و ۲۷/۷ لیتر بود. کاهش میزان آب آبیاری بکار برده شده در تیمار ۱۰ و ۱۵ روز نسبت به تیمار ۵ روز به ترتیب ۱۵ و ۲۲ درصد محاسبه شد.



شکل ۱- متوسط حجم آب آبیاری تجمعی در دورهای مختلف آبیاری

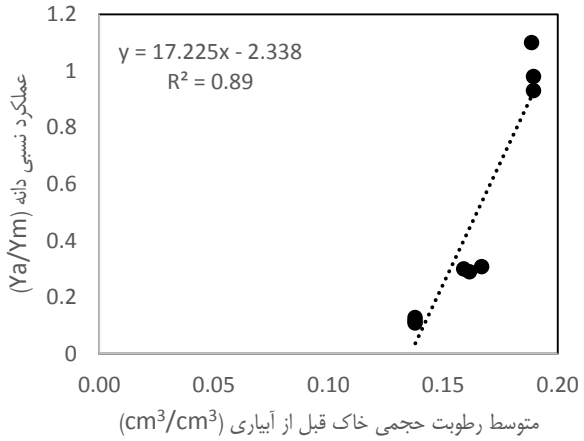
نمودار متوسط تغییرات رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری در دورهای مختلف آبیاری به همراه حدود رطوبتی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم در شکل (۲) آورده شده است. میزان متوسط رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری و پتانسیل ماتریک متناظر با آن برای دورهای مختلف آبیاری در جدول (۶) آمده است. متوسط رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری در دورهای ۵، ۱۰ و ۱۵ روز به ترتیب ۲۲/۸، ۱۷/۶ و ۱۴/۴ درصد بود که با در نظر گرفتن حدود رطوبتی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم، دورهای آبیاری مذکور به ترتیب منجر به تخلیه آب قابل دسترس خاک به میزان ۲۴، ۵۶ و ۷۴ درصد شده بودند.



شکل ۲- متوسط تغییرات رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری در دورهای مختلف آبیاری (I1= دور آبیاری ۵ روز، I2= دور ۱۰ روز، I3= دور ۱۵ روز، FC= حد رطوبتی ظرفیت زراعی، PWP= حد رطوبتی نقطه پژمردگی دائم و MAD= تخلیه مجاز مدیریتی)

رابطه بین عملکرد نسبی دانه گلرنگ با متوسط رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری در شرایط بدون تنش شوری (تیمارهای گروه S1) در شکل (۳) نشان داده شده است. بر اساس رابطه رگرسیون که به‌صورت خطی می‌باشد، رطوبت آستانه کاهش عملکرد نسبی دانه حدود

۱۹/۴ درصد حجمی و پتانسیل ماتریک متناظر با آن ۱/۰۷- بار تعیین شد. با توجه به این حد رطوبتی و حد آب قابل دسترس، میزان ضریب سهل‌الوصول یا تخلیه مجاز مدیریتی (MAD) برای تولید دانه در گلرنگ ۴۵ درصد محاسبه گردید. بر اساس نشریه FAO 56 ضریب سهل‌الوصول برای گلرنگ به میزان ۶۰ درصد برای شرایطی با تبخیر-تعرق معادل ۵ میلی‌متر بر روز گزارش شده است. در همین نشریه اشاره شده که در مناطقی با اقلیم گرم و خشک که شدت تبخیر-تعرق گیاه بالا است این ضریب بین ۱۰ تا ۲۵ درصد کمتر می‌باشد (Allen et al., 1998). نوروزی و کاظمینی (۱۳۹۱) بیان کردند که کاهش میزان آب آبیاری تا ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، کاهش معنی‌داری در عملکرد دانه و درصد روغن گلرنگ نسبت به آبیاری کامل ایجاد نکرده است. نتیجه حاصل از این پژوهش با گزارش نشریه FAO 56 همخوانی دارد.



شکل ۳- رابطه بین عملکرد نسبی دانه گلرنگ و متوسط رطوبت خاک قبل از آبیاری در طی فصل رشد در تیمارهای گروه S1

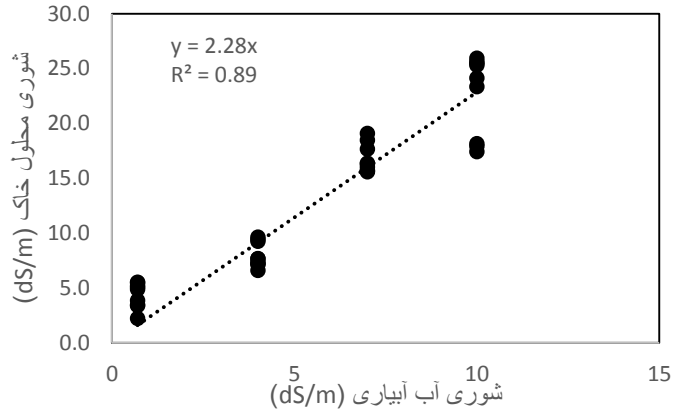
بر اساس جدول (۶) میزان تخلیه رطوبت قابل استفاده در خاک برای دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز به ترتیب ۵۶ و ۷۴ درصد بوده است. با توجه به تخلیه مجاز مدیریتی که ۴۵ درصد تعیین شد، در این دورهای آبیاری گیاه با تنش رطوبتی مواجه بوده است در حالیکه در دور آبیاری ۵ روز درصد تخلیه رطوبتی ۲۴ درصد بوده که نشان می‌دهد در این دور آبیاری گیاه با تنش خشکی مواجه نبوده است. علاوه بر این بر اساس شکل (۲) مشخص است که در کل فصل رشد در دور آبیاری ۵ روز نمودار تغییرات رطوبت حجمی خاک بالاتر از خط حد مجاز تخلیه رطوبتی قرار داشته در حالیکه در دورهای آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز نمودار تغییرات رطوبت حجمی خاک از ۱۰۰ روز پس از کاشت تا انتهای دوره رشد پایین‌تر از حد مجاز تخلیه مدیریتی قرار داشته که نشان می‌دهد در این دورهای آبیاری گیاه با تنش خشکی مواجه بوده است.

اثر آبشویی بر شوری خاک

رابطه بین شوری آب زهکشی و آبیاری در شکل (۴) نشان داده شده است. این رابطه خطی و شیب خط ۲/۲۸ بوده است. این به آن معنی است که شوری محلول خاک در همه تیمارهای رطوبتی بطور متوسط حدود ۲/۳ برابر شوری آب آبیاری بوده است. به عبارت دیگر اعمال ۳۰ درصد آبشویی در تیمارهای مختلف رطوبتی تقریباً اثر مشابهی بر شوری محلول خاک یا همان آب زهکشی داشته است.

جدول ٦ - متوسط رطوبت خاک قبل از آبیاری، میزان تخلیه آب قابل دسترس خاک و متوسط پتانسیل ماتریک در دورهای آبیاری مختلف

دور آبیاری (day)	متوسط رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری (%)	متوسط پتانسیل ماتریک خاک (bar)	میزان تخلیه آب قابل دسترس خاک (%)
۵	۲۲/۸	-۰/۵۹	۲۴
۱۰	۱۷/۶	-۱/۵۴	۵۶
۱۵	۱۴/۴	-۳/۳۴	۷۴

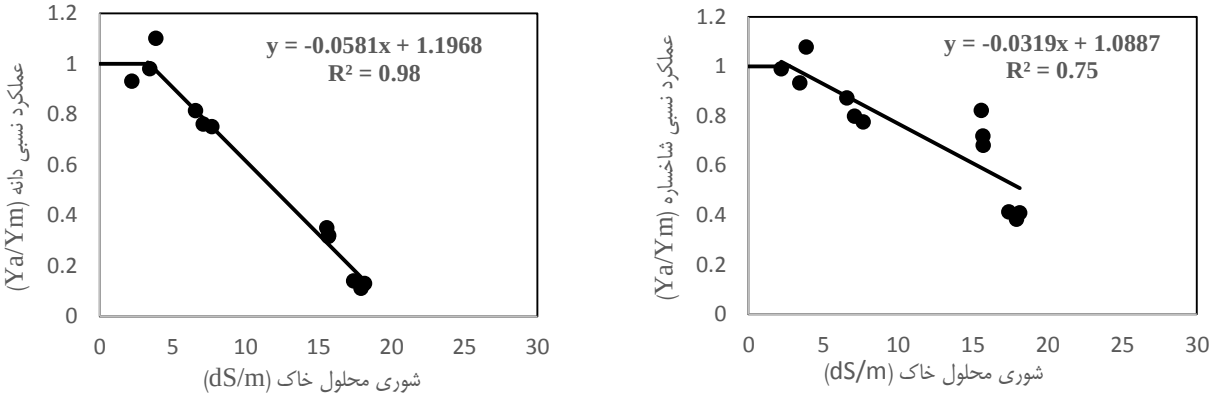


شکل ٤- رابطه بین تغییرات شوری آب زهکشی (محلول خاک) و شوری آب آبیاری

رابطه عملکرد نسبی شاخساره و ریشه با متوسط شوری محلول خاک

رابطه بین عملکرد نسبی شاخساره و دانه گلرنگ با متوسط شوری محلول خاک در طول فصل رشد در تیمارهای با دور آبیاری ۵ روز (I1) که بدون تنش خشکی بودند، رسم گردید که در شکل (۵) ارائه شده است. از بین داده‌های مرتبط به تیمارگروه S1 که عملکرد نسبی آنها یک بود، خط افقی و از بین بقیه تیمارهای شوری رگرسیون خطی برازش داده شد. با توجه به معادلات خط رگرسیون، حد آستانه شوری محلول خاک برای کاهش وزن خشک شاخساره و دانه به ترتیب برابر ۲/۸ و ۳/۴ دسی‌زیمنس بر متر بدست آمد. بر اساس این حدود آستانه تولید ماده خشک (شاخساره) گلرنگ در شوری کمتری شروع به کاهش می‌کند در حالیکه کاهش تولید دانه در شوری بالاتری اتفاق می‌افتد و این نشان می‌دهد که گیاه در شرایط مواجهه با تنش شوری سعی می‌کند تمرکز خود را برای تولید دانه صرف کند. آستانه شوری ۱۰ درصد کاهش و شوری توقف عملکرد دانه به ترتیب ۵/۱ و ۲۰/۶ دسی‌زیمنس بر متر محاسبه شد. شیب کاهش عملکرد نسبی به ازای افزایش یک واحد شوری محلول خاک برای شاخساره و دانه گلرنگ نیز به ترتیب ۳/۲ و ۵/۸ درصد تعیین شد.

فرانکویس و برنستین مقادیر کاهش عملکرد گلرنگ در شوری-های عصاره اشباع خاک ۷، ۱۱ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر را به ترتیب ۱۰، ۲۵ و ۵۰ درصد گزارش کردند که بر اساس نتایج آن‌ها حد آستانه شوری گلرنگ کمتر از ۷ دسی‌زیمنس بر متر بود (Francois and Bernstein, 1964). آیرز و وستکات حدود ۵۰ درصد کاهش عملکرد در گلرنگ را تحت شوری عصاره اشباع خاک در حد ۹/۹ دسی‌زیمنس بر متر گزارش نمودند (Ayers and Westcot, 1985). باسیل و کافکا نیز حد آستانه شوری ۷/۲ دسی‌زیمنس بر متر را برای گلرنگ تخمین زدند (Bassil and Kaffka, 2002). فیضی و همکاران کاهش ۱۰، ۲۵ و ۵۰ درصدی عملکرد دانه گلرنگ را تحت شرایط شوری عصاره اشباع خاک ۷/۲، ۱۰/۶ و ۱۲/۸ دسی‌زیمنس بر متر گزارش کردند و حد آستانه شوری برای کاهش عملکرد دانه در گلرنگ رقم اصفهان را ۶/۴ دسی‌زیمنس بر متر و شیب خط کاهش عملکرد به ازای افزایش هر واحد شوری را ۱۱/۸ درصد بدست آوردند (Feizi et al., 2010). ناصری و همکاران (۱۳۹۶) بر اساس نتایج حاصل از پژوهشی بر روی ژنوتیپ‌های محلی گلرنگ در منطقه آذربایجان بیان کردند که با افزایش شوری آب آبیاری از ۱/۸ به ۵/۸ دسی‌زیمنس بر متر، عملکرد دانه حدود ۴۴ درصد کاهش یافت. بطورکلی پژوهش‌های انجام شده بر گلرنگ حاکی از آن است که مقاومت ارقام مختلف گلرنگ به خشکی و شوری متفاوت است که شاید مهمترین دلیل آن سیستم ریشه‌ای متفاوت در ارقام مختلف باشد و از سوی دیگر برخی واریته‌های ژنتیکی این گیاه مقاوم به شوری هستند، علاوه بر این تأثیر برهمکنش سایر فاکتورها مانند شرایط آب و هوایی، اقلیم منطقه و مدیریت متفاوت آبیاری دلایل اصلی اختلاف در مقادیر حد آستانه شوری در پژوهش‌های مختلف هستند.



(a) (b)

شکل ۵- تغییرات عملکرد نسبی شاخساره (a) و دانه گلرنگ (b) نسبت به متوسط شوری محلول خاک در طی فصل رشد در تیمارهای بدون تنش خشکی (دور آبیاری ۵ روز)

نتیجه گیری

نتایج مربوط به تجزیه واریانس اثر شوری آب آبیاری، دور آبیاری و برهمکنش آن‌ها بر عملکرد، صفات مورفولوژیک و برخی صفات فیزیولوژیک گلرنگ نشان داد که اثرات اصلی سطوح مختلف شوری آب آبیاری و دورهای آبیاری بر تمام صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل شوری و دور آبیاری بر روی تمامی صفات بجز سطح برگ و نشت یونی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. با افزایش شوری آب آبیاری از ۰/۷ به ۱۰ دسی‌زیمنس برمتر، میانگین وزن خشک شاخساره و عملکرد دانه به ترتیب ۴۸/۱ و ۸۴/۷ درصد کاهش پیدا نمود و افزایش دور آبیاری از ۵ به ۱۵ روز نیز باعث کاهش ۴۵/۳ و ۸۶/۴ درصدی میانگین وزن خشک شاخساره و عملکرد دانه گردید. این نتایج نشان می‌دهد که تولید دانه در گلرنگ بیشتر از تولید ماده خشک شاخساره تحت تأثیر تنش‌های شوری و خشکی قرار می‌گیرد. با افزایش شوری از ۰/۷ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر تبخیر-تعرق کل و تبخیر-تعرق در دوره اعمال تیمارها به ترتیب ۱۷/۴ و ۳۲ درصد کاهش پیدا کرد و با افزیش دور آبیاری از ۵ به ۱۵ روز مقادیر مذکور به ترتیب ۲۰/۷ و ۳۸ کاهش یافت. بهره‌وری مصرف آب نیز با افزایش شوری آب آبیاری از ۰/۷ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و افزایش دور آبیاری از ۵ به ۱۵ روز به ترتیب ۸۰ و ۸۱ درصد کاهش پیدا کرد. بطور کلی، در شرایط مواجهه گلرنگ با تنش‌های شوری و خشکی به علت کاهش پتانسیل آب خاک و در نتیجه کاهش توانایی گیاه در جذب آب، پارامترهای مربوط به رشد و عملکرد گلرنگ کاهش یافت. در مورد پارامترهای فیزیولوژیکی گلرنگ، با افزایش دور آبیاری از ۵ به ۱۵ روز و افزایش شوری از تیمار شاهد به بیشترین سطح شوری شاخص SPAD به ترتیب ۳۲/۵ و ۲۵/۴ درصد کاهش پیدا کرد. در حالیکه با طولانی شدن دور آبیاری از ۵ به ۱۵ روز و افزایش شوری آب آبیاری از ۰/۷ به ۱۰ دسی‌زیمنس برمتر، نشت یونی به ترتیب به میزان ۲۹/۵ و ۲۴/۸ درصد افزایش یافت. با توجه به نتایج مذکور تنش خشکی نسبت به تنش شوری تأثیر بیشتری بر روی تغییرات شاخص کلروفیل و نشت یونی داشته است.

حد تخلیه مجاز مدیریتی رطوبت خاک برای تولید دانه در گلرنگ ۴۵ درصد تعیین شد. حد آستانه شوری محلول خاک برای کاهش وزن خشک شاخساره و دانه به ترتیب برابر ۲/۸ و ۳/۴ دسی‌زیمنس بر متر بدست آمد که نشان می‌دهد که گیاه در شرایط مواجهه با تنش شوری سعی می‌کند تمرکز خود را برای تولید دانه صرف کند. شیب کاهش عملکرد نسبی به ازای افزایش یک واحد شوری محلول خاک برای شاخساره و دانه گلرنگ نیز به ترتیب ۳/۲ و ۵/۸ درصد تعیین شد. نتایج بدست آمده از این پژوهش برای میزان تحمل گیاه به خشکی و شوری از جنبه مدیریت آب آبیاری حائز اهمیت است. اگرچه نتایج حاصل از آزمایش گلدانی بطور کامل قابل تعمیم به شرایط مزرعه نمی‌باشد ولی انتخاب صحیح سطوح تنش‌های شوری و خشکی برای آزمایش مزرعه‌ای بر اساس نتایج حاصله به خوبی قابل انجام است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری ایستگاه تحقیقات پسته شهرستان اردکان به‌خاطر در اختیار قرار دادن گلخانه برای اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

امیدی، ا. ح. و جاویدفر، ف. ۱۳۸۹. گیاه روغنی گلرنگ. نشر آموزش کشاورزی. ۱۲۹ ص.

امیری، ا.، سیروس مهر، ع. ر. و اسماعیل زاده بهابادی، ص. ۱۳۹۴. اثر محلول‌پاشی اسید سالسیلیک و کیتوزان بر عملکرد گیاه گلرنگ در شرایط تنش خشکی. مجله پژوهشهای گیاهی. ۲۸(۴): ۷۱۲-۷۲۵.

آقایی، پ.، صادقی پور، ا. و دلخوش، ب. ۱۳۹۰. واکنش ارقام پاییزه گلرنگ به تنش خشکی در منطقه شهر ری. فصلنامه علمی- پژوهشی گیاه و زیست بوم. ۲۶: ۱۳-۱.

باغانی، ج.، علیزاده، ا.، انصاری، ح. و عزیزی، م. ۱۳۹۴. اثر کیفیت آب و مدیریت کاربرد آب شور در سیستم آبیاری قطره‌ای بر عملکرد و کارآیی مصرف آب در خربزه دیررس. نشریه آب و خاک. ۲۹(۳): ۵۶۰-۵۶۸.

پاسبان اسلام، ب. ۱۳۹۵. رهیافت‌های کشت گلرنگ در اراضی کم بازده و لبشور حاشیه دریاچه ارومیه. سازمان جهاد کشاورزی آذربایجان شرقی. نشریه فنی شماره ۱۴۸. ۳۱ صفحه.

پاسبان اسلام، ب. ۱۳۹۹. برخی بازتاب‌های اکوفیزیولوژیک و زراعی چند رقم گلرنگ متحمل به شوری تحت تنش کمبود آب. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۳۰(۲): ۱۵۵-۱۴۵.

پوررضا، ع. ۱۳۹۶. ارزیابی تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گلرنگ در مرحله گلدهی (*Carthamus tinctorius* L). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، ۱۰۶ص.

ثابت تیموری، م.، خزاعی، ح.ر.، نصیری محلاتی، م. و نظامی، ا. ۱۳۸۸. تأثیر سطوح مختلف شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد تک بوته، خصوصیات مورفولوژیک و میزان کلروفیل برگ گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.). مجله تنشهای محیطی در علوم کشاورزی. ۲(۲): ۱۱۹-۱۳۰.

جامی الاحمدی، م.، بهدانی، م. ع. و رحیمی، ع. ۱۳۸۸. واکنش عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم گلرنگ بهاره به تنش شوری در مراحل مختلف رشد. مجله تولید گیاهان زراعی. ۲(۴): ۱۳۴-۱۱۳.

جباری،ح و همکاران. ۱۳۹۸. دستورالعمل فنی کشت گلرنگ (آبی و دیم). وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. ۴۳ صفحه.

جمشیدی، ا. م.، احمدی، ع.، کریمی، م. و متشرع زاده، ب. ۱۳۹۸. بررسی برخی پاسخهای رشدی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی چیا (*Salvia hispanica* L) به رژیم‌های مختلف رطوبتی. نشریه علوم گیاهان زراعی ایران. ۵۰(۴): ۱۱۰-۹۹.

حسینی، ی.، بابازاده، ح. و خاکپورعربلو، ب. ۱۳۹۴. ارزیابی توابع کاهش جذب آب گیاه فلفل در شرایط تنش همزمان خشکی و شوری. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹(۴): ۵۲۳-۵۰۹.

زمانپورسیچانی، م. ۱۳۸۳. بررسی تنش شوری بر برخی خصوصیات گلرنگ درکشت تابستانه در منطقه رودشت اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ۷۸ ص.

سیروس مهر، ع. ر.، باردل، ج. و محمدی، س. ۱۳۹۳. تغییرات خصوصیات جوانه‌زنی، رنگدانه‌های فتوسنتزی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گلرنگ تحت تأثیر تنشهای خشکی و شوری. نشریه علمی‌پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۳۲(۴): ۵۳۴-۵۱۷.

شکوهی فر، م.، برومند نسب، س.، سلطانی محمدی، ا. و هوشمند، ع. ۱۳۹۵. بررسی اثر شوری آب آبیاری و سوپر جاذب بر بعضی خصوصیات هیدرولیکی و فیزیکی خاک لوم شنی. علوم و مهندسی آبیاری. ۳۹(۲): ۱۱۳-۱۰۱.

صادق منصوری، ر.، گلابی، م.، برومند نسب، س. و صالحی، م. ۱۳۹۸. تعیین ضریب تنش شوری و حساسیت آبی با رویکرد مطالعه بهره‌وری مصرف آب کوشیا (*Kochia Scoparia* L.) در شرایط آب و هوایی اهواز. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۵): ۱۲۰۴-۱۲۲۱.

طاهری، س.، برزگر، ط.، ربیعی، و. و ربی انگورانی، ح. ۱۳۹۵. پاسخ- های فیزیولوژیک دو رقم ریحان به محلول پاشی سالیسیلیک اسید تحت تنش شوری. مجله به زراعی کشاورزی (مجله کشاورزی). ۱۸(۱): ۲۷۴-۲۵۹.

طریقی، س. ۱۳۸۹. تاثیر تنش خشکی و تراکم بوته بر برخی خصوصیات کمی و کیفی گلرنگ (*Carthamus tinctorius*). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، ۹۹ص.

فرخی نیا، م.، رشدی، م.، پاسبان اسلام، ب. و ساسان دوست، ر. ۱۳۹۰. بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ بهاره تحت تنش کمبود آب. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۲(۳): ۵۵۳-۵۴۵.

گرجی، م.، زاهدی، م. و عشقی زاده، ح. ر. ۱۳۹۳. ارزیابی ارتباط بین تحمل به شوری ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ در دو مرحله جوانه- زنی و رشد رویشی. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و

باغی. ۱۴: ۱۵۸-۱۴۷.

محمدی، م.، لیاقت، ع. ا. م. و مولوی، ح. ۱۳۹۰. اثر توأم تنش شوری و خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گوجه‌فرنگی در شرایط مزرعه‌ای. مجله علوم و مهندسی آبیاری (مجله‌ی علمی کشاورزی). ۳۴(۱): ۲۳-۱۵.

میر محمدی میبدی، س. ع. م. و قره یاضی، ب. ۱۳۸۱. جنبه‌های فیزیولوژیک و نژادی تنش شوری گیاهان. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲۸۸ص.

میدانشاهی، م.، موسوی، س.ف. و مصطفی زاده فرد، ب. ۱۳۹۲. تأثیر کم آبیاری به روش PRD به همراه تنظیم کننده رشد بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب گلرنگ. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۸: ۳۷-۵۰.

ناصری مقدم، ع.، بیات، ح.، امینی فرد، م. ح. و مرادی نژاد، ف. ۱۳۹۹. اثر تنش‌های خشکی و شوری بر کیفیت گل، تغییرات زیست شیمیایی و غلظت یونها در گل نرگس شهلا (Narcissus tazzeta cv.Shahla). نشریه پژوهشهای تولید گیاهی. ۲۷(۱): ۲۲۱-۲۰۷.

ناصری، ا.، مسعودی، ط.، خورشیدی، م.ب. و عبدی قاضی جهانی، ا. ۱۳۹۶. تأثیر کیفیت آب آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد چهار ژنوتیپ گلرنگ. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۱(۳): ۳۰۱-۳۱۳.

نوروزی، م. و کاظمینی، س.ع. ۱۳۹۱. اثر کم‌آبیاری و تراکم بوته بر رشد و عملکرد دانه گلرنگ. پژوهشهای زراعی ایران. ۱۰(۴): ۷۸۱-۷۸۸.

Allen, R.G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelinas for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome. 300 pp.

Amini, H., Arzani, A. and Bahrami, F. 2013. Seed yield and some physiological traits of safflower as affected by water deficit stress. International Journal of Plant Production. 7:597–614.

Ashrafi, E. and Razmjoo, K. 2010. Effect of irrigation regimes on oil content and composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. Journal of the American Oil Chemists' Society. 87(5): 499-506.

Ayers, R.S. and Westcot, D.W. 1985. Water Quality for Agriculture. FAO 29 Rev.

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

Demiral, M. A. 2005. Comparative response of two olive (*Olea europaea* L.) cultivars to salinity. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 29(4): 267-274.

Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. 1977. Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24, Rome. 144 pp.

Egert, M. and Tevini, M. 2002. Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (Allium schoenoprasum). Environmental and Experimental Botany. 48(1): 43-49.

Esendal, A., Istanbulluoglu, B., Arslan, B. and Paşa, C. 2008. Effect of water stress on growth components of winter safflower (*Carthamus tinctorius* L.). In 7th International safflower conference. pp. 1-3.

Farhangi-Abriz, S. and Ghassemi-Golezani, K. 2021. Changes in soil properties and salt tolerance of safflower in response to biochar-based metal oxide nanocomposites of magnesium and manganese. Ecotoxicology and Environmental Safety. 211: 1-11.

Feizi, M., Hajabbasi, M.A. and Mostafazadeh Fard, B. 2010. Saline irrigation water management strategies for better yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in an arid region. Australian Journal of Crop Science. 4(6):408-414.

Francois, L.E. and Bernstein, L. 1964. Salt tolerance of Safflower. Agronomy Journal. 54: 38-40.

Gramer, G.R. 2002. Response of abscisic acid mutant of Arabidopsis to salinity. Functional plant biology. 29(5): 561-567.

Irving, D. W., Shannon, M. C., Breda, V. A. and Mackey, B. E. 1988. Salinity effects on yield and oil quality of high-linoleate and high-oleate cultivars of safflower. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 36(1): 37-42.

Istanbulluoglu, A., Gocmen, E., Gezer, E., Pasa, C. and Konukcu, F. 2009. Effects of water stress at different development stages on yield and water productivity of winter and summer safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Agricultural Water Management. 96(10): 1429-1434.

Javed, S., Bukhari, S.A., Ashraf, M.Y., Mahmood, S. and Iftikhar, T. 2014. Effect of salinity on growth, biochemical parameters and fatty acid composition in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Pakistan Journal of Botany. 46(4): 1153-1158.

Johnson, R., Petrie S., Franchini, M.C. and Evans, M. 2012. Yield and yield components of winter-type safflower. Crop Science. 52: 2358-2364.

Kaya, M. D., Ipek, A.and ÖZTÜRK, A. 2003. Effects of different soil salinity levels on germination and seedling growth of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 27(4): 221-227.

cultivars. Physiology Molecular Biology of Plants. 18(4): 323-329.

Sepaskhah, A.R. and Yarami, N. 2009. Interaction effects of irrigation regime and salinity on flower yield and growth of saffron. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 84 (2): 216–222.

Shahrokhnia, M.H. and Sepaskhah, A.R. 2016. Effects of irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization on yield, water and nitrogen efficiencies of safflower. Agricultural Water Management. 172: 18-30.

Shahrokhnia, M.H. and Sepaskhah, A.R. 2017. Physiologic and agronomic traits in safflower under various irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization. Industrial Crops Products. 95: 126-139.

Singh, S., Angadi, S.V., Grover, K., Begna, S. and Auld, D. 2016. Drought response and yield formation of spring safflower under different water regimes in the semiarid Southern High Plains. Agricultural Water Management. 163: 354-362.

Umar, M. and Siddiqui, Z.S. 2018. Physiological performance of sunflower genotypes under combined salt and drought stress environment. Acta Botanica Croatica. 77 (1): 36-44.

Van Genuchten, M. Th., Leij, F. J. and Yates, S. R. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic function of unsaturated soils. EPA/ 600/ 291/065. USEPA, Ada. Oklahoma, American.

Yeilaghi, H., Arzani, A., Ghaderian, M., Fotovat, R., Feizi, M. and Pourdad, S.S. 2012. Effect of salinity on seed oil content and fatty acid composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. Food Chemistry. 130(3): 618-625.

Liu, L., Guan, L.L. and Yang, Y.X., 2016. A review of fatty acids and genetic characterization of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seed oil. World Journal of Traditional Chinese Medicine. 2(2): 48-52.

Lutts, S., Kinet, J. M. and Bouharmont, J. 1995. Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. Journal of Experimental Botany. 46(12): 1843-1852.

Mahlooji, M., Seyed Sharifi, R., Razmjoo, J., Sabzalian, M.R. and Sedghi, M. 2018. Effect of salt stress on photosynthesis and physiological parameters of three contrasting barley genotypes. Photosynthetica. 56: 549-556.

Majidi, M.M., Tavakoli, V., Mirlohi, A. and Sabzalian, M. R. 2011. Wild safflower species ('Carthamus oxyacanthus'Bieb.): A possible source of drought tolerance for arid environments. Australian Journal of Crop Science. 5(8): 1055-1063.

Pasban Eslam, B., Monirifar, H. and Ghassemi, M. T. 2010. Evaluation of late season drought effects on seed and oil yields in spring safflower genotypes. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 34(5):373-380.

Rajcan, I., Dwyer, L.D. and Tollenaar, M. 1999. Note on relationship between leaf soluble carbohydrate and chlorophyll concentration in maize during leaf senescence. Field Crops Research. 63: 13-17.

Sairam, R. K., Rao, K. V. and Srivastava, G. C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Science. 163(5): 1037-1046.

Sajedi, N.A., Ferasat, M., Mirzakhani, M. and Mashhadi Akbar Boojar, M. 2012. Impact of water deficit stress on biochemical characteristics of safflower

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.5, Vol. 16, Dec.-Jan. 2022, p. 1026-1043

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۶، آذر - دی ۱۴۰۱، ص. ۱۰۴۳-۱۰۲۶

Investigation of Evapotranspiration, Yield, Yield Components and Some Physiological Traits of Winter Safflower under Drought and Salinity Stresses

S. Fazeli-Shoroki[1], N. Yarami[2]*, S. Soltani-Gerdefaramarzi[3] and A. Soltani Mehrjardi[4]

Recived: Jul.04, 2021 Accepted: Aug.27, 2022

Abstract

Drought and salinity stresses are among the main challenges in the agricultural sector, especially in arid and semi-arid regions. Safflower is one of the oilseed and industrial plant that its cultivation can provide part of the country's need for oilseed crops. In this study, in order to investigate the interaction effect of salinity and drought stresses on safflower (cv Goldasht), a factorial experiment was conducted in 2020 as a completely randomized design with three replications in the greenhouse of Pistachio Research Station of Ardakan city located in Yazd province. The irrigation treatments were applied as 5 (I1), 10 (I2) and 15 (I3) days of irrigation interval and salinity levels of irrigation water were included 0.7 (S1), 4 (S2), 7 (S3) and 10 (S4) dS/m. At the end of the growth period, safflower traits such as grain yield, 1000-seed weight, shoot dry weight, harvest index, water productivity, leaf area, evapotranspiration, electrolyte leakage and SPAD index were measured. Results showed that the main effect of the salinity levels of the irrigation water and irrigation intervals were significant on all traits. Also, the interaction effects of salinity and irrigation interval were significant on all traits except leaf area and electrolyte leakage at one percent level. By increasing irrigation water salinity and lengthening of irrigation interval, all traits decreased except electrolyte leakage percentage. In the highest salinity level (S4) compared to the control treatment (S1), the average of evapotranspiration during the stress period and grain yield decreased by 32 and 84.7 percent, respectively. Increasing irrigation interval up to 15 days reduced evapotranspiration during the stress period and grain yield by 38 and 86.4 percent compared to 5 days irrigation interval, respectively. The coefficient of readily available water for safflower grain yield was obtained 0.45. The salinity threshold of the soil solution for reducing safflower grain yield was obtained about 3.4 dS/m and the slope for decreasing grain yield was 5.8% per unit increase in salinity.

Keywords: Interaction, Irrigation interval, Morphological traits, Safflower, Salinity threshold

1- M.Sc. Graduated of Irrigation and Drainage, Ardakan University, Ardakan, Iran
2- Assistant Professor, Water Science and Engineering Department, College of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran
3- Associate Professor, Water Science and Engineering Department, College of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran
4- M.Sc. Graduated, Ardakan Pistachio Research Station. Agricultural Research, Education & Extension Organization, Yazd, Iran
(*- Corresponding Author Email: nyarami@ardakan.ac.ir)