Archive of SID
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی
دوره۳۳- شماره ۲- پیاپند ۱۲۷ تابستان ۱۳۹۹

اثرات تنش خشکی و ریزگرد بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک در گیاه سورگوم دانه ای (*Sorghum bicolar* L.)

Effect of drought Stresses and aerosols on yield and some physiological traits of grain sorghum (*Sorghum bicolar* L.)

لیلی صادقی[۱]، مسعود رفیعی*[۲]، جهانفر دانشیان[۳]

۱. دانشجوی مقطع دکتری زراعت، گروه کشاورزی، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم آباد، ایران. ،
۲. بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران. (نگارنده مسئول)
۳. مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۰۲ - شناسانهٔ برنمود رقمی: 10.22092/aj.2020.126186.1403

چکیده

صادقی، ل.، رفیعی، م.، دانشیان، ج.، . اثرات تنش خشکی و ریزگرد بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک در گیاه سورگوم دانه ای (*Sorghum bicolar* L.)
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۳ - شماره ۲- پیاپند ۱۲۷ تابستان ۱۳۹۹ صفحه: ۰۰-۰۰

خشکسالی های اخیر علاوه بر ایجاد تنش خشکی موجب بروز پدیده ریزگرد بویژه در غرب کشور شده است. تأثیر تنش خشکی و ریزگرد بر خصوصیات فیزیولوژیک گیاه سورگوم دانه ای (*Sorghum bicolar* L.) در آزمایشی بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی به صورت کرت های خرد شده با ٤ تکرار در کشت تابستانه طی دو سال مورد بررسی قرار گرفت. تنش خشکی از طریق آبیاری پس از ٦٠ (آبیاری مطلوب)، ۹۰ و ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس الف به عنوان عامل اصلی و پاشش ریزگرد در سه سطح عدم کاربرد (شاهد) و کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در متر مکعب هوا به صورت شبیه سازی در کرت های فرعی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تنش خشکی شدید موجب کاهش معنی دار میزان کلروفیل های a و b و محتوی نسبی آب برگ پرچم (از ۸۱ به ۷۱ درصد) و عملکرد دانه (از ۸۷٤۱ به ٦۷٤۳ کیلوگرم در هکتار) نسبت به تیمار شاهد شد، ولی قندهای محلول (از ٤/۳ به ۷/۹ میلی گرم بر گرم ماده تر)، محتوی پرولین (از ۰/۲۵ به ۰/٦٦ میلی گرم بر گرم ماده تر) و درجه حرارت برگ افزایش معنی داری داشت. اگرچه اثر ریزگرد بر هیچ یک از صفات معنی دار نشد، لیکن با افزایش غلظت ریزگرد بطور خطی از محتوی نسبی آب برگ پرچم کاسته و بر درجه حرارت برگ افزوده شد.

واژه های کلیدی: عملکرد، اجزای عملکرد، صفات بیوشیمیایی، محتوی نسبی آب.

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: rafieemasoud@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه:

تنش های غیرزنده، به ویژه کمبود آب مشکلات بزرگی هستند که تولید گیاهان زراعی در اراضی زراعی دنیا را تا ۵۰٪ کاهش می دهند (Mahajan Tuteja, 2005) و بحران آن در کشور جدی است. تنش خشکی را می توان به صورت فقدان آب کافی مورد نیاز برای رشد طبیعی و تکمیل چرخه زندگی گیاه تعریف نمود (Moosavi *et al.*, 2011; Jabereldar *et al.*, 2017).

یکی از مشکلات اصلی در استان لرستان همانند دیگر مناطق، کاهش سطح آب های زیر زمینی و حتی خشک شدن بسیاری از چاه ها در اثر مصرف زیاد آب برای زراعت هائی همچون ذرت است. سورگوم دانه ای نسبت به ذرت در شرایط کمبود آب از برتری عملکرد و اقتصادی برخوردار است، زیرا تحمل بهتری به خشکی دارد (Stone & Schlegel, 2006). لذا به عنوان جایگزین ذرت معرفی شده است (Rafiee, 2014). سطح زیر کشت سورگوم در ایران ۴۳ هزار هکتار و در استان لرستان ۶۳۲ هکتار است (Anonymous, 2015) که به دلیل محدودیت آب برای زراعت ذرت رو به افزایش است.

سورگوم با توجه به خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک منحصر به فردی که دارد به عنوان شاخص گیاهان زراعی مقاوم به خشکی معرفی شده است و نسبت به سایر گیاهان زراعی مقاوم تر بوده و نیاز آبی کمتری دارد (Ehdaie *et al.*, 2006). نتایج یک پژوهش ۵۲ ساله روی سورگوم نشان داد که تنش خشکی مهمترین عاملی محدودکننده عملکرد سورگوم در حدود ۳۰ سال از ۵۲ سال مطالعه بود. این اظهارات نشان دهنده پیچیدگی خشکی از نظر شدت، زمان، طول مدت، و ارتباطش با دیگر عوامل مانند یخبندان و حرارت (درجه حرارت های شدید) است (Assefa *et al.*, 2010). در بررسی اثر تنش خشکی و درجه حرارت بالا بر ۴۹ هیبرید سورگوم دانه ای معلوم شد که عملکرد دانه، وزن ۱۰۰۰ دانه، شاخص برداشت، روز تا گلدهی و ارتفاع تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت. عملکرد دانه بیشترین کاهش نسبی را یافت و برخی ژنوتیپ ها از کاهش عملکرد کمتری برخوردار بودند (Menezes *et al.*, 2015).

خلاصه داده های ۳۰ ساله کنزاس آمریکا نشان داد که هر یک میلیمتر آب بالاتر ۱۰۰ میلی متر موجب افزایش ۱۶/۶ کیلوگرم دانه گردید، اما رابطه میان عملکرد دانه و آب پیچیده است، زیرا عملکرد به کمبود آب در مراحل مشخصی از رشد حساسیت بیشتری دارد (Stone & Schlegel, 2006).

سورگوم می تواند دوره های کوتاه کمبود شدید آب را تحمل کند. هر چند، تنش شدید و بلند مدت بر رشد و عملکرد نهائی سورگوم مؤثر است (Assefa *et al.*, 2010). تنش خشکی در مرحله رشد زایشی و در سه مرحله پیدایش و تشکیل گل، گرده افشانی و لقاح و پرشدن دانه ها اثر متفاوتی را بر اجزاء عملکرد موجب می شود. تحقیق انجام شده روی ارزن و سورگوم نشان داد که تنش در مرحله رشد زایشی تا ۵۰ درصد عملکرد دانه را کاهش داد، اما بروز تنش در مرحله رشد رویشی در ارزن ۲۵ درصد و

www.SID.ir

Archive of SID

در سورگوم ۳۰ درصد عملکرد را پایین آورد (Amjad Ali *et al.*, 2009).

حساسیت سورگوم به تنش خشکی در طول مراحل رشد زایشی نسبت به مرحله رشد رویشی بیشتر است. عملکرد سورگوم تابعی از تعداد خوشه های برداشت شده، تعداد دانه در خوشه، و وزن تک دانه است. هر یک از این اجزا می توانند تحت تأثیر دوام و شدت تنش در طول مراحل رشد زایشی قرار گیرند. تنش خشکی طی مرحله شکم خوش تا حدود ۱۰ روز پس از گرده افشانی شدیداً بر عملکرد تأثیر می گذارد (Assefa *et al.*, 2010). در یک بررسی معلوم شد که آبیاری در مرحله گل دهی بر باروری گلچه ها و افزایش تعداد دانه ها تأثیر دارد، در حالی که در مرحله دانه بندی، آبیاری بر افزایش اندوخته غذایی و پر شدن دانه ها و در نتیجه افزایش وزن آنها تأثیر می گذارد (Mazaherilaghab *et al.*, 2001).

نتایج پژوهش ما نشان داد که اثر رژیم آبیاری بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت و بسیاری از خصوصیات مورفوفیزیولوژیک ذرت معنی‌دار بود. آبیاری پس از ۱۰۰ میلیمتر تبخیر عملکرد دانه و بیولوژیکی را به ترتیب ۷/۴٪ و ۲۵/۳٪ کاهش داد ولی بدلیل کاهش در میزان آب مصرفی، راندمان مصرف آب هم برای دانه و هم زیست توده به ترتیب ۱۱/۸٪ و ۱۲/۶٪ بطور معنی‌داری در ۵٪ افزایش یافت. در شرایط آبیاری پس از ۱۲۰ میلیمتر تبخیر راندمان مصرف آب دانه تغییر معنی‌داری پیدا نکرد (Rafiee & Kalhor, 2015).

تنش کمبود آب روی فرایندهای رشد و نمو مؤثر است که بصورت تغییرات بیوشیمیائی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی بروز می کند (Parida & Das, 2005; Wang *et al.*, 2001). اما مکانیسم های دفاعی متعددی در گیاهان وجود دارد که موجب تحمل به تنش کمبود آب می شوند؛ همچون تنظیم اسمزی، هومئوستازی یون، و سیستم های آنتی اکسیدانی و هورمونی (Mahajan & Tuteja, 2005) که به بقا و رشد گیاهان تحت شرایط محیطی شدید پیش از مرحله رشد زایشی شان کمک می کنند. این مکانیسم های دفاعی در گیاهان حساس ضعیف ترند و سبب کاهش رشد و عملکرد می شود (Cha-um & Kirdmanee, 2009).

بروز تنش خشکی بر سبز شدن، رشد و تولید گیاهان زراعی تأثیر منفی دارد (Belayet *et al.*, 2010). اثر کمبود آب بر فتوسنتز به دلیل محدود شدن فرآیندهای بیوشیمیایی و فتوشیمیایی و همچنین کاهش هدایت روزنه‌ای در اثر بسته شدن روزنه ها و در نتیجه افزایش مقاومت روزنه‌ای گیاه به هنگام تنش می‌باشد (Cornic & Briantais, 1991). تنش خشکی موجب ایجاد رادیکال های فعال اکسیژن در اثر تنش اکسیداتیو می شود که این رادیکال ها بر میزان رنگیزه های فتوسنتزی اثر گذاشته و همچنین موجب پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی می شوند (Amini & Haddad, 2013) و در نتیجه بر نشت الکترولیت اثر سوء می گذارند. محتوی نسبی آب نیز با میزان آب خاک تغییر می کند (Harmut & Babani, 2000). پیش از این نیز کاهش در رنگیزه های فتوسنتزی a، b و کل

www.SID.ir

Archive of SID

محتوی نسبی آب برگ، شاخص سطح برگ، نشت الکترولیت و عملکرد سورگوم ناشی از تنش خشکی را گزارش شده است (Karimi *et al.*, 2016).

با کاهش رطوبت خاک، مقدار پرولین برگ ها افزایش می یابد و نقش کلیدی در تنظیم اسمزی بازی می نماید (Ghorbanli & Niakan, 2006; Cha-um & Kirdmanee, 2009). تنظیم اسمزی یک فرآیند فیزیولوژیکی است که در طی آن گیاه با انباشت یک سری مواد اسمزی مانند پرولین و قندهای محلول در سلول ها، پتانسیل اسمزی بافت های تحت تنش را کاهش می دهد تا فشار تورژسانس سلول ها در حد مطلوب باقی بماند (Bahramichegeni *et al.*, 2013). افزایش محتوای قند ممکن است ناشی از کاهش نیاز به مواد فتوسنتزی به دلیل کاهش رشد باشد (Ehdaie *et al.*, 2006).

ریزگردها از آلاینده‌های مهم بوده و نقش به سزایی در سلامت انسان و رشد گیاه دارد. این پدیده طبیعی که طی سال های اخیر شدت یافته، عمدتاً در کشور عراق و در مناطق غربی ایران حادث می شود و موجب خسارت می گردد (Marsafari *et al.*, 2011). ارتفاع ریزگرد در شهرستان خرم آباد تا ۱۰۰۰ کیلومتر معادل ۱۰۰ میلی گرم بر مترمکعب هوا گزارش شده است و بخش عمده ذرات تشکیل دهنده ریزگردهای منطقه ذرات رس است (Anonymous, 2016). کدورت هوا ناشی از ریزگردها موجب کاهش مستقیم و غیرمستقیم تشعشع فعال فتوسنتزی می شود (Meywerk & Ramanathan, 2002). با کاهش تشعشع فعال فتوسنتزی مستقیم و متناسب با آن تشدید تشعشع فعال فتوسنتزی غیر مستقیم، تشعشع فعال فتوسنتزی (مستقیم و غیرمستقیم) خالص کل برای فتوسنتز کم شده و در نتیجه تولیدات کشاورزی کاهش می یابند (Chameides, 1999). کدورت هوا همچنین باعث عدم پاسخ مناسب گیاه به نهاده های مصرفی و کاهش کارائی آب و کود می شود. یکی از گیاهانی که به دلیل دارا بودن سطح زیر کشت زیاد در کانون آلودگی ریزگردها در کشور بیشترین تأثیر را از ریزگردها می پذیرد، نیشکر می باشد. قرار گرفتن بیش از ۱۷ درصد دوره رشد فعال نیشکر در خوزستان (۲۱/۴۲ روز طی ماه های اردیبهشت الی شهریور) در شرایط نوری بسیار کم می تواند به تنهائی مسبب کاهش ۱۶/۴۱ درصدی عملکرد محصول بدلیل نقصان فتوسنتز گردد (Shomaili, 2012). وجود گرد و خاک خود تأثیرات ثانویه ای نیز به دنبال دارد که باعث تشدید نقصان رشد می شود. میان کربن آلی ثانویه در مناطق با کشاورزی متراکم و ریزگردها ارتباط وجود دارد، زیرا ریزگردها حاوی مقادیر قابل توجهی از مواد کربنه هستند (Li *et al.*, 2013). کاهش تبادل روزنه ای و افزایش دمای درونی برگ ها و کاهش گذر نور به سمت برگ ها، حل شدن جزئی املاح نشت کرده بر روی برگ و ایجاد برگ سوزی موضعی به ویژه در محل روزنه های برگ، افزایش هجوم کنه تارتن نیشکر (کنه زرد) بدلیل نشت گرد و خاک بر روی تارهای تنیده شده بوسیله آفت بر روی سطح برگ و مستور شدن محل اختفا و زاد و ولد آن و کاهش اثر بخشی سموم علف کش مورد استفاده در مزارع نیشکر

www.SID.ir

Archive of SID

به لحاظ پوشیده شدن سطح برگ علف های هرز با گرد و خاک همگی در زمره تأثیرات ثانویه می باشند (Shomaili, 2012). در بررسی اثر ریزگرد (شستشو و عدم شستشوی برگ) بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک ارقام گندم نشان داده شده است که تیمار عدم شستشوی برگ به دلیل خسارت ریزگرد موجب تأثیر معنی دار و منفی بر خصوصیات فیزیولوژیک و رشدی و در نهایت عملکرد دانه گندم دارد (Shahbazi *et al*., 2016).

در این خصوص بررسی دامنه تحمل به خشکی آن به منظور حداکثر صرفه جوئی در آب مصرف آب آبیاری ضروری است و از آنجاکه علاوه بر کمبود آب، پدیده ریزگرد نیز همزمان با دوره رشد سورگوم دانه ای در منطقه حادث می شود، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر توأم تنش خشکی و ریزگرد بر خصوصیات فیزیولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه در گیاه سورگوم دانه ای انجام شد.

مواد و روش ها

این آزمایش به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در تابستان سال های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در شهرستان خرم آباد با ۳۳ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی و ۱۱۷۱ متر ارتفاع از سطح دریا انجام شد . مشخصات هواشناسی بلند مدت و دو سال اجرای محل آزمایش بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی خرم آباد به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه گردیده است. طبق طبقه بندی اقلیمی دومارتن منطقه خرم آباد دارای اقلیم نیمه گرمسیری با تابستان گرم و خشک می باشد.

در این آزمایش عامل اصلی تنش خشکی شامل آبیاری پس از ۶۰ (I60، آبیاری مطلوب)، ۹۰ (I90) و ۱۲۰ (I120) میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس الف و عامل فرعی ریزگرد شامل سه سطح شاهد (A0، بدون کاربرد ریزگرد) و کاربرد ۵۰ (A50) و ۱۰۰ (A100) میلی گرم در متر مکعب ریزگرد در هوا از منبع رس (شبیه سازی) بود، زیرا حداکثر غلظت ریزگرد در شهرستان خرم آباد تا ۱۰۰ میلی گرم بر مترمکعب هوا گزارش شده است که عمدتاً شامل ذرات رس است (Anonymous, 2016). قطعه زمین مورد آزمایش سال قبل آیش بود.

جدول ۱- آمار هواشناسی بلند مدت خرم آباد (۹۰-۱۳۴۰)

Table 1. Long-term climatological statistics of Khorramabad (1956-2011)

ماه- سال Month- Year	دمای حداقل Min.Temp (°C)	دمای حداکثر Max.Temp (°C)	دمای متوسط Mean.Temp (°C)	دمای حداقل مطلق Abs.Min. Temp (°C)	دمای حداکثر مطلق Abs.Max.Temp (°C)	بارندگی Precipitation (mm)
تیر 22 Jun- 22 Jul	21.2	39.7	30	11	47.4	0.3
مرداد 23 Jul- 22 Aug	20.4	39.5	29.6	11	46.5	0.4
شهریور 23 Aug- 22 Sep	15.9	35.5	24.8	5	43.2	1.7
مهر 23 Sep- 22 Oct	12	28.8	19.5	3	44	17.8

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- آمار هواشناسی سال‌های اجرای آزمایش (۱۳۹۵ و ۱۳۹۶)

Table 2. Climatological statistics during the experimental years of 2015 and 2016.

ماه- سال Month- Year	دمای حداقل Min.Temp (˚C)	دمای حداکثر Max.Temp (˚C)	دمای متوسط Mean.Temp (˚C)	دمای حداقل مطلق Abs.Min. Temp (˚C)	دمای حداکثر مطلق Abs.Max. Temp (˚C)	بارندگی Precipitation (mm)
تیر ماه ۱۳۹۵ 22 Jun- 22 Jul, 2015	19.0	40.0	29.5	14.3	43.4	0.0
مرداد ماه ۱۳۹۵ 23 Jul- 22 Aug, 2015	20.2	40.2	30.2	16.5	43.4	0.0
شهریور ماه ۱۳۹۵ 23 Aug- 22 Sep, 2015	15.7	37.0	26.3	39.6	40.8	0.0
مهر ماه ۱۳۹۵ 23 Sep- 22 Oct, 2015	9.7	29.9	19.8	7.2	33.4	0.0
تیر ماه ۱۳۹۶ 22 Jun- 22 Jul, 2016	20.1	40.7	30.4	13.1	44.0	0.0
مرداد ماه ۱۳۹۶ 23 Jul- 22 Aug, 2016	21.8	41.5	31.6	17.7	44.2	0.0
شهریور ماه ۱۳۹۶ 23 Aug- 22 Sep, 2016	18.5	39.2	28.8	14.7	42.7	0.0
مهر ماه ۱۳۹۶ 23 Sep- 22 Oct, 2016	11.0	29.9	20.4	4.6	35.7	0.0

عملیات آماده سازی زمین در بهار هر سال صورت گرفت. بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۳) مقدار ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره به همراه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات آمونیوم و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم بصورت یکنواخت پاشیده شد و بوسیله دیسک سبک مخلوط گردید. آنگاه خطوط کاشت به فاصله ۵۰ سانتیمتر از یکدیگر با استفاده از دستگاه فارو ایجاد گردید. هر کرت مشتمل بر چهار خط کاشت به طول پنج متر بود. فاصله بین کرت‌های اصلی دو متر، کرت‌های فرعی یک متر و بین تکرارها سه متر در نظر گرفته شد. کلیه عملیات زراعی مطابق معمول منطقه و بر اساس توصیه‌های تحقیقاتی انجام پذیرفت.

عملیات کاشت بذر گیاه زراعی سورگوم دانه ای رقم سپیده به صورت دستی و در وسط شیار ایجاد شده روی هر پشته و به عمق حدود ۵ سانیتمتر در هفته اول تیر ماه انجام شد. در مرحله ۳ تا ۵ برگ حقیقی عملیات تنک کردن انجام شد، به این صورت که در هر ۱۰ سانتی متر یک بوته سالم و قوی نگهداری و بقیه حذف شدند و بدین ترتیب تراکم ۲۰ بوته در متر مربع بدست آمد. پس از عمل تنک، بقیه کود نیتروژنه به میزان ۵۰ کیلوگرم کود اوره بصورت سرک بین ردیف های کاشت پاشیده شد و زمین آبیاری گردید. عمل وجین علف های هرز به صورت دستی و توسط کارگر بسته به نیاز صورت گرفت.

اعمال تیمارهای تنش خشکی بعد از استقرار کامل بوته ها در مرحله ۴ برگ حقیقی آغاز شد. درصد رطوبت خاک در فواصل زمانی بین دو آبیاری اندازه گیری و زمان آبیاری با توجه به سطوح مختلف تیمار تنش خشکی تعیین شد. میزان آب آبیاری با استفاده از درصد رطوبت در ظرفیت مزرعه (۲۷ درصد) و زمان آبیاری با توجه به حداکثر عمق نفوذ ریشه در خاک

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک مزرعه (عمق ۳۰-۰ سانتی متر)

Table 3. Physicochemical properties of farm soil (dept 0-30 cm)

خصوصیات Traits	۱۳۹۵ 2015	۱۳۹۶ 2016
فسفر P2O5 (ppm)	9.2	11.3
پتاسیم K2O (ppm)	285	315
هدایت الکتریکی EC (ds/m)	0.13	0.28
نیتروژن N (%)	0.38	0.39
اسیدیته pH	7.4	7.3
کربن آلی OC (%)	0.95	0.97
آهن Fe (ppm)	11.3	10.2
منگنز Mn (ppm)	7.1	7.3
روی Zn (ppm)	0.30	0.28
مس Cu (ppm)	0.92	0.65
بافت خاک Soil texure	Loam	Loam

محاسبه گردید. میزان آب داده شده به هر کرت بر اساس توزیع آب با راندمان ۹۰ درصد با استفاده از پمپ آب کنترل شد.

پخش ریزگرد روی گیاهان زراعی به صورت شبیه سازی طی ۶ مرحله به صورت هفتگی از اواخر تیرماه پس از استقرار گیاه و همزمان با اعمال تیمار تنش خشکی انجام شد. از آنجا که افزایش سطح آلاینده‌ها در هوای خرم آباد هر سال از اردیبهشت تا آبان ماه می‌باشد، لذا میزان ریزگرد بر اساس اوج آلودگی تا ارتفاع ۱۰۰۰ متر و آلودگی متوسط یعنی به ترتیب ۱۰۰ و ۵۰ میلی گرم بر مترمکعب در نظر گرفته شد. ریزگرد از منبع خاک رس که بنابر اظهارات سازمان محیط زیست لرستان عمده ترین ذره تشکیل دهنده ریزگردها در منطقه است، انتخاب و اعمال گردید. اعمال تیمار ریزگرد با استفاده دستگاه گوگردپاش دستی و بصورت هدایت شده انجام شد. بدین منظور قبل از پخش ریزگرد، اطراف هر کرت فرعی با استفاده از ورق های سبک یونولیت محصور می شد تا از نشت ریزگرد به کرت های مجاور ممانعت به عمل آید.

نمونه‌هائی از برگ های جوان گیاه در مرحله گل دهی از دو بوته از ردیف های میانی هر کرت با رعایت حاشیه جهت انجام آنالیزهای بیوشیمیائی تنها در سال اول اجرای آزمایش جمع آوری و به آزمایشگاه منتقل گردید و رنگیزه های فتوسنتزی و ترکیبات اسمزی روی آنها اندازه گیری گردید. سنجش میزان کلروفیل به روش آرنون (Arnon, 1949)، قندهای محلول به روش کوشرت (Kochert, 1978) و پرولین به روش بیتس و همکاران (Bates *et al.,* 1973) صورت گرفت. در هر سال در مرحله گلدهی محتوی نسبی آب برگ پرچم (Efeoglu *et al.,* 2009) و درجه حرارت برگ گیاهی توسط دما سنج تفنگی مدل Gun 2-ds ساخت کشور سوئیس روی برگ پرچم پنج بوته از هر کرت اندازه گیری شد. در زمان برداشت ۱۰ بوته از هر کرت با رعایت حاشیه انتخاب و اجزای عملکرد دانه شامل تعداد دانه در پانیکول و وزن هزار دانه اندازه گیری گردید. همچنین عملکرد دانه دو ردیف وسط هر کرت آزمایشی با رعایت نیم متر حاشیه از طرفین از مساحت معادل ۴ مترمربع اندازه گیری و بر اساس ۱۴ درصد رطوبت محاسبه شد.

تجزیه واریانس داده ها و مقایسه میانگین ها به روش آزمون LSD با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.1 و رسم شکل ها با استفاده از نرم

www.SID.ir

Archive of SID

افزار Excel 2007 صورت گرفت.

نتایج و بحث

رنگیزه های فتوسنتزی

نتایج سال اول اجرای آزمایش نشان داد که کلروفیل های a و b تنها تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند (جدول ۴) و با افزایش شدت تنش خشکی بطور خطی کاهش معنی داری (به ترتیب R2= 0.98** و R2= 0.99**) نشان دادند و به ترتیب از ۰/۰۱۷ و ۰/۰۱۲ در تیمار شاهد به ۰/۰۰۶۸ و ۰/۰۰۶۵ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ در تیمار I120 رسید (شکل ۱). تنش آبی باعث تولید اکسیژن فعال همراه با کاهش و تجزیه کلروفیل می شود (Wang *et al.*, 2001). کاهش در رنگیزه های فتوسنتزی در اثر تنش خشکی در ذرت (Alfi & Azizi, 2015)، جو (Amini & Haddad, 2013) و سورگوم (Moseki & Dintwe, 2011) نیز گزارش شده است.

ریزگرد و اثر متقابل تنش خشکی در ریزگرد تأثیر معنی داری بر میزان کلروفیل ها نداشت (جدول ۴). این نتایج با اظهارات برخی محققین (Chameides *et al.*, 1999; Shomaili, 2012) مبنی بر خسارت ریزگرد بر بافت های سبز و در نتیجه کاهش رشد و تولید گیاه مطابقت نداشت، زیرا ریزگرد چندان قادر به نشستن بر روی برگ های سورگوم به دلیل عمودی بودن و وجود لایه مومی روی آنها (Kazemi Arbat, 2005) در این آزمایش نبود. بنابراین، شبیه سازی پدیده ریزگرد تنها از منبع خاک رس به عنوان مهمترین جزء تشکیل دهنده ریزگرد در منطقه، موجب آسیب به سیستم فتوسنتزی گیاه سورگوم نگردید.

ترکیبات اسمزی

بر اساس نتایج سال اول اجرای آزمایش، قندهای محلول و غلظت پرولین برگ تحت

جدول ۴- تجزیه واریانس رنگیزه‌های فتوسنتزی، قند و پرولین

Table 4. Analysis of variance for photosynthetic pigments, sugar and proline

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)			
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	قند Sugar	پرولین Proline
تکرار Replication (R)	3	0.000042*	0.000003ns	1.2*	0.0021**
تنش خشکی Drought stress (S)	2	0.00047**	0.00062**	2.5**	0.0033**
خطای الف Ea	6	0.0000011	0.00000019	0.13	0.00015
ریزگرد Aerosols (A)	2	0.00043ns	0.00000021ns	0.16ns	0.00012ns
تنش خشکی * ریزگرد S*A	4	0.00045ns	0.00000085ns	0.21ns	0.00021ns
خطای ب Eb	12	0.000001	0.0000002	0.12	0.00012
ضریب تغییرات CV (%)		8.85	4.71	5.55	2.42

ns، * و ** به ترتیب غیر معنیدار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

ns, * and ** non significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

تأثیر ریزگرد قرار نگرفت، اما به طور معنی داری تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۴). میزان قندها بطور خطی و معنی داری (R2= 0.98**) از ۴/۳ در شرایط مطلوب رطوبتی به ۷/۹ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ در تیمار I120 افزایش نشان داد (شکل ۱). غلظت پرولین نیز بطور خطی و معنی داری (R2= 0.99**) از ۰/۲۵ در شرایط مطلوب رطوبتی به ۰/۶۶ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ در تیمار I120 افزایش نشان داد (شکل ۱). اثر متقابل ریزگرد و تنش خشکی بر غلظت قندهای محلول معنی دار نبود (جدول ۴).

گیاهان در هنگام مواجهه با تنش خشکی با ایجاد یکسری تغییرات فیزیولوژیکی به تنش های مختلف پاسخ می دهند. تجمع مواد محلول در پاسخ به خشکی (تنظیم اسمزی) راهی برای حفظ آماس در گیاهان مختلف است (Sanchez *et al.*, 2003). قندهای محلول تحت تنش آب به عنوان حفاظت کننده اسمزی (Martin *et al.*, 1993; Chaves *et al.*, 2002)، باعث پایداری پروتئین ها و غشاها در گیاهان می شوند (Sanchez *et al.*, 1998). تجمع قند و پرولین به عنوان یک مکانیسم دفاعی جهت تنظیم اسمزی در گیاهان ذرت (Rafiee, 2012)، ماش (Naresh *et al.*, 2013)، جو (Amini & Haddad, 2013) و سورگوم (Karimi *et al.*, 2016) گزارش شده است.

محتوی نسبی آب برگ پرچم

تأثیر سال و تنش خشکی بر محتوی نسبی آب برگ پرچم به ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی داری بود. هیچ یک از اثرات ساده و متقابل دیگر بر این صفت معنی دار نشد (جدول ۵). مقایسهٔ میانگین دو ساله نشان داد که بیشترین محتوی نسبی آب برگ پرچم از شرایط نرمال آبیاری با میانگین ۸۱/۳ درصد حاصل شد و در تیمار I120 به ۷۱/۲ درصد کاهش یافت. میانگین محتوی نسبی آب در سال اول ۷۵/۵ درصد و در سال دوم ۷۷/۴ درصد بود که تفاوت معنی داری در سطح پنج درصد داشتند (جدول ۶).

آمار هواشناسی (جداول ۱ و ۲) نشان می دهد که میانگین دماهای حداقل، حداکثر و متوسط به ویژه در ماه های مرداد و شهریور که مقارن مراحل گل دهی سورگوم بود، در سال دوم بیشتر از سال اول و میانگین بلند مدت بود.

محتوی نسبی آب برگ پرچم به دلیل کاهش جذب آب در شرایط تنش خشکی کاهش می یابد (Khalilzadeh *et al.*, 2016). در آزمایشی مشخص شد که در تیمار تنش خشکی ملایم و شدید خشکی، محتوای نسبی آب برگ، هدایت الکتریکی غشای سلول و دمای کانوپی سورگوم بالاتر از تیمار آبیاری معمولی قرار داشتند (Lak *et al.*, 2007; Giovanni *et al.*, 2009). گزارش شده است که با افزایش تنش خشکی، مقدار آب نسبی گیاه کاهش پیدا می کند و ارقام مقاوم به خشکی از مقدار آب نسبی بیشتری برخوردار بودند (Siddique *et al.*, 2007). در یک آزمایش گلدانی به منظور تعیین پاسخ دو رقم سورگوم علوفه ای جدید JS-2002 و Chakwal و یک رقم قدیمی JS-263 به سه سطح رطوبت خاک (۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه)، اختلاف بین JS-263 و JS-2002 از نظر پتانسیل آب برگ ۱/۸۴- در

www.SID.ir

Archive of SID

مقابل ۱/۵۵- مگاپاسکال و از نظر محتوای نسبی آب ۷۱ در مقابل ۷۸ درصد به ترتیب در دو رقم مربوطه بود (Amal *et al.*, 2010). گزارش شده است که ریزگردها با کاهش جذب نور توسط برگ ها، باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ و محتوای کلروفیل برگ می شوند (Chaturvedi *et al.*, 2013).

درجه حرارت سایه انداز سورگوم دانه ای

درجه حرارت سایه انداز بطور معنی داری در سطح یک درصد تأثیر تنش خشکی قرار گرفت. دیگر اثرات ساده و متقابل بر این صفت معنی دار نشد (جدول ۵). مقایسهٔ میانگین دو ساله نشان داد که کمترین درجه حرارت سایه انداز از شرایط نرمال آبیاری با میانگین ۲۱/۶ درجه سانتی گراد حاصل شد و در تیمار I120 به ۲۳/۶ درجه سانتی گراد افزایش یافت. تنش خشکی با کاهش محتوی نسبی آب در گیاه موجب افزایش درجه حرارت سایه انداز می گردد (Khalilzadeh *et al.*, 2016). افزایش دمای برگ ناشی از تنش به بسته شدن روزنه ها نسبت داده شده است (Zandalinas *et al.*, 2018).

تعداد دانه در خوشه سورگوم دانه ای

تأثیر سال و تنش خشکی بر تعداد دانه در خوشه به ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی داری بود. هیچ یک از دیگر اثرات ساده و متقابل بر این صفت معنی دار نشد (جدول ۵). مقایسه میانگین دو ساله نشان داد که تعداد دانه در خوشه با افزایش شدت تنش خشکی کاهش معنی داری یافت. بیشترین تعداد دانه در خوشه در شرایط نرمال آبیاری با متوسط ۱۹۰۳/۲ دانه و کمترین تعداد دانه در خوشه از در تیمار I120 با متوسط ۱۰۴۹/۷ دانه بدست آمد (جدول ۶). کاهش در تعداد دانه در خوشه ناشی از اعمال تنش خشکی در سورگوم نیز پیش از این گزارش شده است (Jabereldar, 2017). میانگین تعداد دانه در خوشه در سال اول ۱۳۸۸/۷ دانه و در سال دوم ۱۵۱۰/۴ دانه بود که تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد داشتند (جدول ۶).

تفاوت در تعداد دانه ناشی از تنش با اظهارات دیگر محققان مطابقت دارد که ابراز داشتند کاهش در عملکرد دانه و تشکیل دانه در غلات دانه ریز تحت تنش خشکی، عمدتاً ناشی سقط جنین یا ناباروری دانه گرده است (Boyer & Westgate, 2004; Jabereldar, 2017). گزارش شده است که تنش خشکی بعد از گرده افشانی در سورگوم دانه ای سبب افزایش اندازه دانه ناشی از کاهش تعداد دانه در خوشه شده است. تنش خشکی قبل و در زمان گل دهی در ژنوتیپ های حساس منجر به تأخیر در گلدهی، عقیم شدن گلچه ها، کاهش اندازه پانیکول، تعداد دانه در پانیکول و کاهش ارتفاع می شود (Narshima Rao & Shivraj, 1998). در تنش خشکی پس از گل دهی، مرگ زودرس ساقه و برگ ها و نیز کاهش وزن دانه ها در ژنوتیپ های حساس رخ می دهد (Amjad Ali *et al.*, 2009).

وزن هزاردانه سورگوم دانه ای

وزن هزار دانه به عنوان یکی از اجزای مهم عملکرد دانه تابع محیط و ژنتیک می باشد. وزن دانه جزئی از عملکرد است که بیانگر رابطه میان

www.SID.ir

Archive of SID

منبع و مخزن مواد فتوسنتزی در طول مرحله پر شدن دانه است. در این آزمایش، وزن هزار دانه بطور معنی داری در سطح پنج درصد تأثیر تنش خشکی قرار گرفت. دیگر اثرات ساده و متقابل بر این صفت معنی دار نشد (جدول ۵).

مقایسه میانگین دو ساله نشان داد که وزن هزار دانه با افزایش شدت تنش خشکی کاهش معنی داری یافت. بیشترین وزن هزار دانه در شرایط نرمال آبیاری با متوسط ۲۷/۰ گرم و کمترین وزن هزار دانه از تیمار I120 با متوسط ۲۱/۹ گرم بدست آمد (جدول ۶). کاهش در وزن هزار دانه ناشی از اعمال تنش خشکی در سورگوم نیز پیش از این گزارش شده است (Jabereldar, 2017).

مصرف آب بیشتر در تیمار بدون تنش منجر به تولید دانه های بزرگ تر و افزایش وزن هزار دانه نسبت به تنش شدید شد، زیرا وجود آب کافی به خصوص در مرحله دانه بندی مانع از بروز رقابت زیاد بر سر جذب مواد فتوسنتزی بین دانه ها و اندام رویشی شد. کاهش در اندازه دانه در شرایط تنش نسبت به نرمال همچنین توسط دیگر محققین گزارش شده است (El Naim *et al.*, 2009; Amjad Ali *et al.*, 2009). کمبود آب تعداد هسته های آندوسپرم را کاهش داده و در نهایت تجمع نشاسته و وزن خشک آندوسپرم در مرحلهٔ رسیدگی را کاهش می دهد (Amjad Ali *et al.*, 2009; Narshima Rao & Shivraj, 1998)، اما در این راستا در تحقیق گزارش شده است که وزن هزار دانه در بین سایر صفات مرتبط با عملکرد در قبال تنش خشکی ثبات بیشتری دارد (Mozafari *et al.*, 1996). آبیاری در مرحله گل دهی بر باروری گلچه ها و افزایش تعداد دانه ها تأثیر دارد، در حالی که در مرحله دانه بندی، آبیاری بر افزایش اندوخته غذایی و پر شدن دانه ها و در نتیجه افزایش وزن آن ها تأثیر می گذارد (Mazaherilaghab *et al.*, 2001). تنش خشکی بعد از گرده افشانی در سورگوم دانه ای سبب کاهش طول دوره پر شدن دانه شد و افزایش اندازه دانه ناشی از کاهش تعداد دانه است (Narshima Rao & Shivraj, 1998).

عملکرد دانه سورگوم دانه ای

عملکرد دانه سورگوم که برایند اجزای عملکرد می باشد. در این آزمایش تأثیر سال و تنش خشکی بر تعداد دانه در خوشه در سطح یک درصد معنی داری بود. هیچ یک از دیگر اثرات ساده و متقابل بر این صفت معنی دار نشد (جدول ۵). مقایسه میانگین دو ساله نشان داد که عملکرد دانه با افزایش شدت تنش خشکی کاهش معنی داری یافت. بیشترین عملکرد دانه در شرایط نرمال آبیاری با متوسط ۸۷۴۱/۱ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه از تیمار I120 با متوسط ۶۷۴۲/۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (جدول ۶). همچنین کاهش در عملکرد دانه ناشی از اعمال تنش خشکی در سورگوم را گزارش شده است (Jabereldar, 2017). افزایش تنش خشکی سبب کاهش تعداد دانه در خوشه گردید و با کاهش تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه افزایش یافت، لیکن افزایش وزن هزار دانه نتوانست جبران کاهش تعداد دانه در خوشه را نماید و در نتیجه عملکرد دانه کاهش معنی داری یافت.

میانگین عملکرد دانه در سال اول ۷۳۱۴/۵

www.SID.ir

Archive of SID

کیلوگرم در هکتار و در سال دوم ۸۱۴۲/۲ کیلوگرم در هکتار بود که تفاوت معنی داری داشتند (جدول ۶). علت آن را می توان به اثر منفی تنش کمبود آب بر تعداد دانه بر پانیکول و محتوی نسبی آب برگ نسبت داد (Jabereldar, 2017). آمار هواشناسی (جدول ۲) نشان می دهد که میانگین دماهای حداقل، حداکثر و متوسط به ویژه در ماه های مرداد و شهریور که مقارن مراحل گل دهی و پرشدن دانه سورگوم بود، در سال دوم بیشتر از سال اول و میانگین بلند مدت بود. به نظر می رسد انطباق بهتر درجه حرارت های کاردینال با مراحل نموی سورگوم، شرایط مناسب تری در سال دوم فراهم نمود و با افزایش محتوی نسبی آب برگ پرچم، و در نتیجه افزایش تعداد دانه در خوشه موجب افزایش عملکرد دانه گردید.

تسریع در گل دهی و کوتاه شدن دوره رشد به عنوان یکی از دلایل کاهش عملکرد گیاهی است. زمان بروز تنش خشکی نیز در نوع و میزان خسارت وارده اثر زیادی دارد. تحقیق انجام شده روی ارزن و سورگوم نشان داد که تنش در مرحله رشد زایشی تا ۵۰ درصد عملکرد دانه را کاهش داد اما بروز تنش در مرحله رشد رویشی در ارزن ۲۵ درصد و در سورگوم ۳۰ درصد عملکرد را پایین آورد (Amjad Ali *et al.*, 2009). کاهش عملکرد دانه سورگوم تحت

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب محتوی رطوبت نسبی، درجه حرارت برگ، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در سالهای ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶

Table 5. Compound analysis of variance for relative water content, temperature and grain yield in 2015 and 2016

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)				
		محتوی رطوبت نسبی	درجه حرارت برگ	تعداد دانه در خوشه	وزن هزار دانه	عملکرد دانه
		Relative water content	Leaf temperature	Grain no. per panicle	Thousand grain weight	Grain yield
سال Year (Y)	1	18.12*	10.31^{ns}	1864.3**	16.8	53214657**
تکرار در سال Rep.(Y)	6	11.06	8.52	136.87	9.19	2453245
تنش خشکی Drought stress (S)	2	99.7**	17.21**	126212.1**	195.6**	19235814**
خطای الف Ea	6	8.21	2.12	15245.3	15.1	1195631
ریزگرد Aerosol (A)	2	11.06^{ns}	8.54^{ns}	10625.3^{ns}	10.2^{ns}	7548869^{ns}
تنش * ریزگرد S × A	4	10.96^{ns}	5.23^{ns}	17542.6^{ns}	13.6^{ns}	1353489^{ns}
سال * تنش Y × S	2	10.32^{ns}	6.54^{ns}	10234.5^{ns}	17.9^{ns}	8868597^{ns}
سال * ریزگرد Y × A	2	9.64^{ns}	2.22^{ns}	20122.9^{ns}	11.3^{ns}	3023654^{ns}
سال * تنش * ریزگرد Y × S × A	4	5.12^{ns}	4.31^{ns}	8215.4^{ns}	12.1^{ns}	7624586^{ns}
خطای ب Eb	42	7.96	2.68	32530.62	8.15	1325334
C.V. (%)		7.22	3.69	12.44	11.69	12.44

ns، * و ** به ترتیب غیر معنیدار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

ns, * and ** non significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶- مقایسه میانگین دو ساله (۹۶-۱۳۹۵) صفات مورفوفیزیولوژیک سورگوم دانهای در سطوح مختلف تنش خشکی و ریزگرد و سال

Table 6. Two-year mean comparison (2015-16) of morpho-physiological traits of grain sorghum at different levels of drought stress, aerosol and year

تیمارها Treatments		محتوی رطوبت نسبی Relative water content	درجه حرارت برگ Leaf temperature	تعداد دانه در خوشه Grain no. per panicle	وزن هزار دانه Thousand grain weight	عملکرد دانه Grain yield
		%	g		˚C	Kg/ha
تنش خشکی Drought stress	I60	81.33[a]	26.97[a]	1903[a]	21.12[a]	8741[a]
	I90	76.89[b]	24.47[ab]	1396[b]	22.61[ab]	7701[b]
	I120	71.18[c]	21.85[b]	1050[c]	23.95[b]	6743[c]
ریزگرد Aerosol	A0	76.69[a]	24.40[a]	1468[a]	22.73[a]	7767[a]
	A50	76.44[a]	24.19[a]	1442[a]	22.68[a]	7706[a]
	A100	76.27[a]	24.70[a]	1439[a]	22.28[a]	7712[a]
سال Year	1395	75.51[b]	24.32[a]	1389[b]	22.94[a]	7315[b]
	1396	77.42[a]	24.55[a]	1510[a]	22.18[a]	8142[a]

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (دانکن ۵٪). I60 ، I90 و I120 تنش خشکی به ترتیب شامل آبیاری پس از ۶۰ (آبیاری مطلوب)، ۹۰ و ۱۲۰ میلیمتر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس الف.

I60, I90 and I120 represent drought stress where irrigation was done after 60 (normal), 90 and 120 mm evaporation from pan class A, respectively.

تنش خشکی توسط سایر محققین گزارش شده است (Jabereldar *et al*., 2017; Ahmed, 2012; Mazaherilaghab *et al.*, 2001).

روند تغییرات عملکرد دانه، محتوی نسبی آب برگ پرچم و درجه حرارت سایه انداز

روند تغییرات عملکرد دانه سورگوم دانه ای با افزایش شدت تنش خشکی از یک رابطه خطی معنی دار (0.999 =R2**) و منفی پیروی نمود (شکل ۲). روند تغییرات محتوی نسبی آب برگ پرچم نیز شبیه عملکرد دانه بود و با افزایش شدت تنش خشکی از یک رابطه خطی معنی دار (0.991 =R2**) و منفی پیروی نمود (شکل ۲). بر خلاف عملکرد دانه و محتوی نسبی آب برگ پرچم، روند تغییرات درجه حرارت برگ نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی از یک رابطه خطی معنی دار (0.991 =R2**) ولی مثبت تبعیت نمود (شکل ۳).

این نتایج نشان می دهد که کاهش محتوی آب گیاه ناشی از تنش خشکی از یک سو موجب افزایش درجه حرارت برگ و از سوی دیگر موجب کاهش عملکرد دانه می گردد. نتایج تحقیقات مختلف نیز حاکی از افزایش درجه حرارت سایه انداز (Menezes, 2015) و کاهش محتوی نسبی آب (Amjad Ali *et al.*, 2009) و عملکرد دانه (Karimi *et al.*, 2016; Assefa &Staggenborg, 2010; El Naim *et al.*, 2012) در گیاه سورگوم دانه ای در اثر تنش خشکی است، که با یافته های حاصل از این پژوهش مطابقت دارد.

اگرچه اثر ریزگرد بر محتوی نسبی آب و درجه حرارت برگ پرچم معنی دار نبود (جدول ۵)، اما روند تغییرات این دو صفت در سطوح مختلف ریزگرد نشان داد که با افزایش غلظت ریزگرد بطور خطی از محتوی نسبی آب برگ پرچم کاسته (0.992 =R2**) و بر درجه حرارت برگ پرچم افزوده (0.992 =R2**) شد (شکل ۴). این نتایج نشان می دهد که وجود مقدار کم ریزگرد روی برگ ها احتمالاً با تأثیر منفی بر تعرق گیاه از جذب آب کاسته و موجب کاهش محتوی نسبی آب و در نتیجه افزایش درجه حرارت برگ پرچم گردیده است، لیکن این تأثیر آن قدر زیاد نبوده که روی عملکرد

www.SID.ir

Archive of SID

دانه معنی دار باشد.

در بررسی اثر ریزگرد (شستشو و عدم شستشوی برگ) بر گندم مشاهده شد که تیمار عدم شستشوی برگ به دلیل خسارت ریزگرد موجب تأثیر معنی دار و منفی بر خصوصیات فیزیولوژیک و رشدی و در نهایت عملکرد دانه ارقام گندم گردید (Shahbazi *et al.*, 2016).

همبستگی صفات

همبستگی میان صفات مورفوفیزیولوژیک سورگوم دانه ای نشان داد که میان صفات محتوی رطوبت نسبی، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه همبستگی بسیار معنی دار و مثبت مشاهده شد، در حالی که میان درجه حرارت برگ با سایر صفات همبستگی بسیار معنی دار ولی منفی مشاهده گردید (جدول ۷). این نتایج می دهد که افزایش عملکرد ناشی از برآیند مناسب اجزای عملکرد است که خود تابع محتوی رطوبت نسبی است و چون با کاهش محتوی رطوبت نسبی، دمای برگ افزایش می یابد لذا همبستگی درجه حرارت برگ با سایر صفات منفی است.

در آزمایشی با مقایسه نتایج شرایط تنش و بدون تنش در سورگوم مشاهده شد که وزن هزار دانه همبستگی منفی و معنی داری با عملکرد دانه داشت. وزن دانه وابسته به انتقال مواد فتوسنتزی به دانه است و کاهش تعداد دانه در خوشه در شرایط تنش خشکی، به دلیل کاهش مخزن موجب انباشت مواد بیشتری در دانه می گردد (Hammer & Broad, 2003). کاهش در ظرفیت فتوسنتزی ناشی از تنش، عامل اصلی کاهش عملکرد به دلیل محدود نمودن مخزن یعنی خوشه گزارش شده است (Kumudini *et al.*, 2002).

جدول ۷- همبستگی برخی صفات مورفوفیزیولوژیک سورگوم دانهای

Table 7. Correlation between morpho-physiological traits of grain sorghum

صفات Traits	محتوی رطوبت نسبی Relative Water Content	درجه حرارت برگ Leaf temperature	تعداد دانه در خوشه Grain no. per panicle	وزن هزار دانه Thousand grain weight	عملکرد دانه Grain yield
محتوی رطوبت نسبی Relative Water Content	1				
درجه حرارت برگ Leaf temperature	-0.848**	1			
تعداد دانه در خوشه Grain no. per panicle	0.956**	-0.876**	1		
وزن هزار دانه Thousand grain weight	0.933**	-0.791**	0.952**	1	
عملکرد دانه Grain yield	0.945**	-0.93**	0.949**	0.894**	1

ns، * و ** به ترتیب غیر معنیدار و معنیدار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

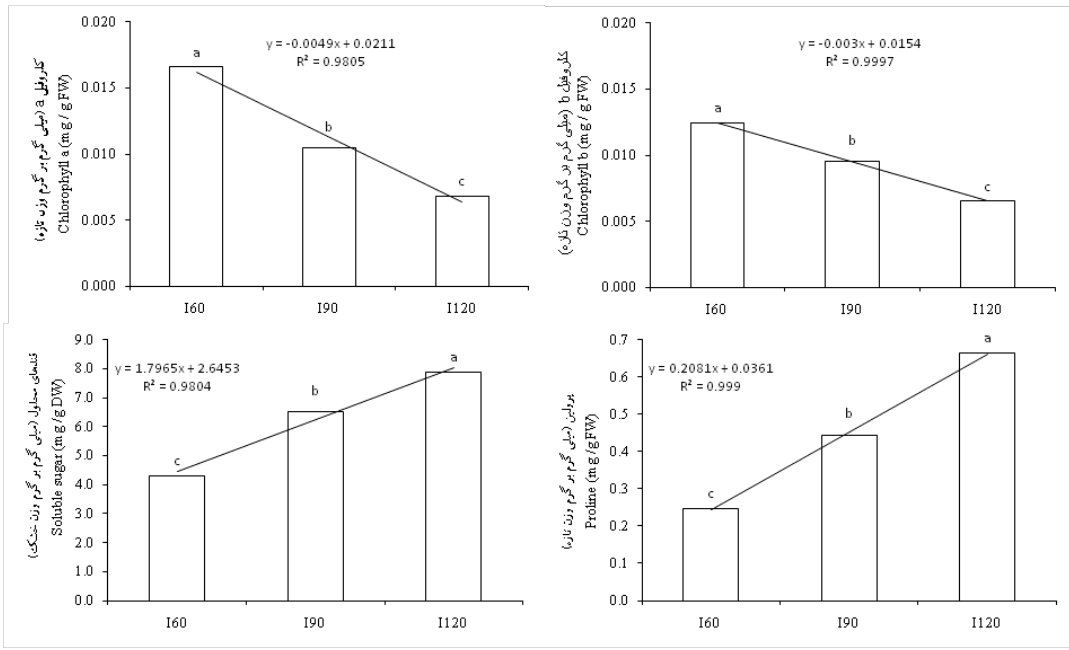
ns, * and ** non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

نتیجه گیری

در مجموع با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش مشخص شد که میزان کلروفیل های a و b و محتوی نسبی آب برگ پرچم و در نتیجه عملکرد دانه با افزایش شدت تنش خشکی بطور خطی کاهش معنی داری یافتند،

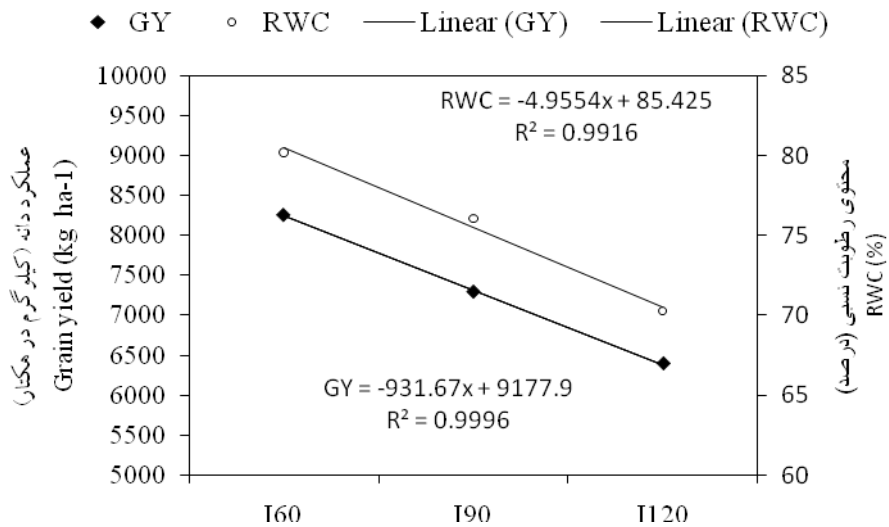
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- اثر تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک در برگ سورگوم دانهای. I60، I90 و I120 تنش خشکی به ترتیب شامل آبیاری پس از ۶۰ (آبیاری مطلوب)، ۹۰ و ۱۲۰ میلیمتر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس الف.

Fig 1. Effect of drought stress on physiological traits in grain sorghum leaves. I60, I90 and I120 represent drought stress where irrigation was done after 60 (normal), 90 and 120 mm evaporation from pan class A, respectively.



شکل ۲- روند تغییرات عملکرد دانه و محتوی آب نسبی سایهانداز سورگوم دانهای در سطوح مختلف تنش خشکی. I60، I90 و I120 تنش خشکی به ترتیب شامل آبیاری پس از ۶۰ (آبیاری مطلوب)، ۹۰ و ۱۲۰ میلیمتر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس الف

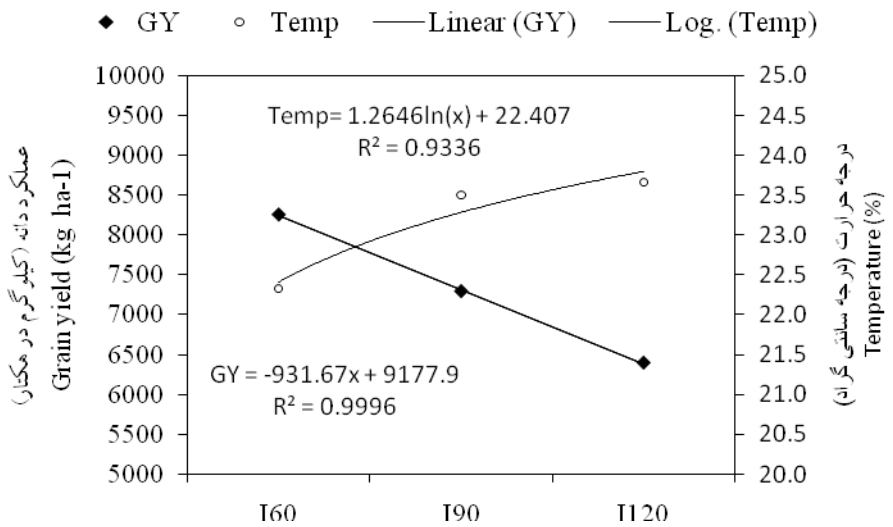
Fig 2. The trend of change for grain yield (GY) and relative water content (RWC) under different levels of drought stress. I60, I90 and I120 represent drought stress where irrigation was done after 60 (normal), 90 and 120 mm evaporation from pan class A, respectively.

اما ترکیبات اسمزی (قندهای محلول و محتوی پرولین برگ) و درجه حرارت برگ افزایش معنی داری نشان داد. افزایش تنش خشکی سبب کاهش تعداد دانه در خوشه گردید و با کاهش تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه افزایش یافت، لیکن افزایش وزن هزار دانه نتوانست جبران کاهش تعداد دانه در خوشه را نماید و در نتیجه عملکرد دانه کاهش معنی داری یافت.

www.SID.ir

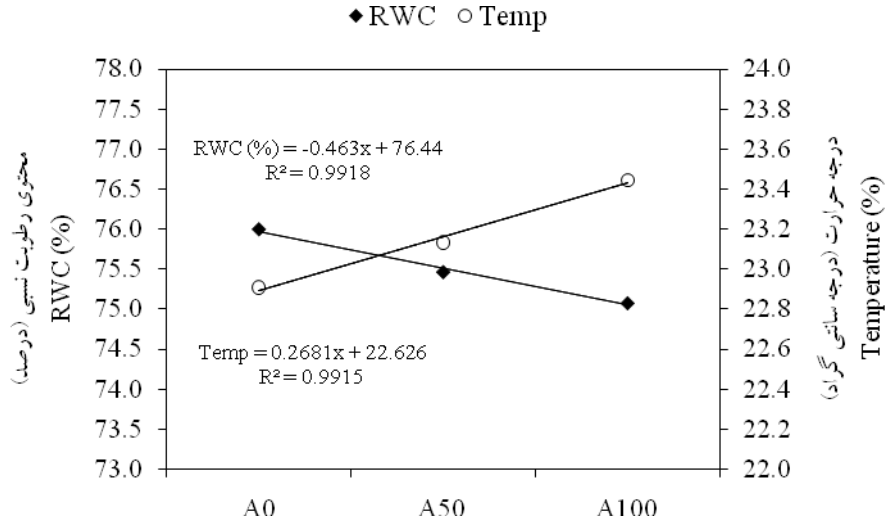
Archive of SID

افزایش غلظت ترکیبات اسمزی در شرایط تنش خشکی نشان دهنده واکنش گیاه سورگوم دانه ای در تعدیل تنش خشکی است. نکته قابل توجه دیگر در این آزمایش آن است که نشست کم ریزگرد روی برگ ها به دلیل عمودی و مومی بودن برگ های سورگوم آسیب جدی به سیستم فتوسنتزی گیاه و در نهایت تولید دانه وارد ننمود که خود نشان دهنده مزیت این گیاه و گیاهان با ساختار مورفولوژیک مشابه برای کشت در شرایط آلودگی ریزگرد است.



شکل ۳- روند تغییرات عملکرد دانه و درجه حرارت سایهانداز سورگوم دانهای در سطوح مختلف تنش خشکی. I60، I90 و I120 تنش خشکی به ترتیب شامل آبیاری پس از ۶۰ (آبیاری مطلوب)، ۹۰ و ۱۲۰ میلیمتر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس الف

Fig 3. The trend of change for grain yield (GY) and temperature (Temp) under different levels of drought stress. I60, I90 and I120 represent drought stress where irrigation was done after 60 (normal), 90 and 120 mm evaporation from pan class A, respectively.



شکل ۴- روند تغییرات محتوی آب نسبی و درجه حرارت سایهانداز سورگوم دانهای در سطوح مختلف ریزگرد.A0، A50 و A100 به ترتیب عدم کاربرد ریزگرد و کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ میلیگرم در متر مکعب ریزگرد.

Fig 4. The trend of change for relative water content (RWC) and temperature (Temp) under different levels of aerosol. A0, A50 and A100 represent no aerosol treatment, 50 and 100 mg m-3 aerosol application level, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

References:

Alfi, S.H., and Azizi, F. 2015. Effect of drought stress and using zeolite on some quantitative and quaitative traits of three maize varieties. *Research Journal of Recent Sciences*, 4(2): 1-7.

Ahmed, A. A. 2012. Effectiveness of screening and hardening methods for drought resistance in sorghum genotypes (Sorghum bicolor (L.) Moench) evaluated under arid conditions. *Ph.D. thesis. Faculty of Agriculture, University of Gezira.*

Alikhani, M. A., Etemadi, F., and Ajirlo, A. F. 2012. Physiology basis of yield difference in grain sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) in a semi-arid environment. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science,* 7(7): 488-496.

Amal, GA., Bekheta, M.A., Orabi, S.A. 2010. Influence of arginine on growth and productivity of two sorghum cultivars grown under water shortage. *International Journal of Academic Research,* 2:72-80.

Amini, Z., and Haddad, R. 2013. Role of photosynthetic pigments and antioxidant enzymes against oxidative stress. *Journal of cellular and molecular researches (Iranian journal of biology)*. 26(3): 251-265.

Amjad Ali, M., Abbas, A., Niaz, S., Zulkiffal, M., and Ali, S. 2009. Morphophysiological criteria for drought tolerance in sorghum (Sorghum bicolor) at seedling and post-anthesis Ssages. *International Journal of Agricultural Biotechnology,* 11: 674-680.

Anonymous. 2015. FAO Data Based [online]. Available at: *http://faostat.fao.org.*

Anonymous. 2016. Available at: *http://www.lorestandoe.ir/news.html.*

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in Beta vulgaris. *Plant Phisiology*, 24: 1-15.

Assefa, Y., and Staggenborg, S.A. 2010. Grain sorghum yield with hybrid advancement and change in agronomic practices from 1957 through 2008. *Agronomy Journal,* 102, 703-706.

Assefa, Y., Staggenborg, S.A., and Prasad, V.P.V. 2010. Grain sorghum water requirement and responses to drought stress: A review. *Online. Crop*

www.SID.ir

Archive of SID

Management. doi:10.1094/CM-2010-1109-01-RV.

Bahramichegeni, Z., Amiri, H., and LariYazdi, H. 2013. Effect of drought stress on some physiological parameters of basil. *Agricultural Science and Technology,* 419-430 (In Persian with English Summary).

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

Belayet, H.M., Rahman, W., Rahman, M.N., Noorul Anwar, A.H.M., and Hossen, A.K.M.M. 2010. Effects of water stress on yield attributes and yield of different mungbean genotypes. *African Journal of Biochemistry Research,* 5:19-24.

Boyer, J., and Westgate, M. 2004. Grain yields with limited water. *Journal of Exp. Botany,* 55:2385–2394.

Chameides, W.L. 1999. Case study of the effects of atmospheric aerosols and regional haze on agriculture: An opportunity to enhance crop yields in China through emission controls? Proceeding of the national Academy of Science of the United State of America, 96, 13, 326-13, 633.

Chaturvedi, V., Hejazi, M.I., Edmonds, J.A., Clarke, L.E., Kyle, G.P., Davies, E., Wise, M.A., and Calvin, K.V. 2013. Climate policy implications for agricultural water demand. *Pacific Northwest National Laboratory Technical Report PNNL- 22356. U.S. Department of Energy, Richland, WA, USA.*

Cha-um, S., and Kirdmanee, CH. 2009. Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. *Agricultural Sciences in China*, 8(1): 51-58.

Chaves, M.M., Pereira, J.S., Maroco, J., Rodrigues, M.L., Ricardo, C.P.P., Osorio, M.L., Carvalho, I., Faria, T. and Pinheiro, C. 2002. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Journal of Annals Botany*, 89: 907-916.

Cornic, G., and Briantais, J.M. 1991. Partitioning of photosynthetic electron flow between CO2 and O2 reduction in a C3 leaf (*Phasiolus vulgaris* L.) at different CO2 concentration and during water sue. *Planta*, 183: 178-184.

www.SID.ir

Archive of SID

Ehdaie, B., Alloush, G.A., Madore, M.A., and Waines, J.G. 2006. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: I. postanthesis changes in internode dry matter. *Journal of Crop Science*, 46: 735- 746.

El Naim A.M., Baldu, M.A.M., and Zaied, M.M.B. 2012. Effect of tillage depth and pattern on growth and yield of grain sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) under rain-fed. *Journal of Novel Applied Sciences,* 1(3): 68-73.

Efeoglu, B., Ekmekci, Y., and Cichek N. 2009. Physiolocal responces of three maize cultivars to drought stress and recovery. *South African Journal of Botany*. 75:34–42

Fateminejhad, P., Lary-Yazdy, H. and Rafee, M. 2017. Effect of aerosols and drought stresses on some physiological traits of mungbean (Vigna radiata L.). *Applied Research in Field Crops*, 30(2): 19-30.

Ghorbanli, M., and Niakan, M. 2006. The effect of drought stress on soluble sugar, total protein, proline, phenolic compound, chlorophyll content and rate reductase activity in soybean (*Glycine max* L.cv.Gorgan3). *Materials and Energy*, 18(56): 537-550 (In Persian with English Summary).

Giovanni, P., Jonghan, K., Marek, T., and Howell, T. 2009. Determination of growth-stagespecific crop coefficients (KC) of maize and sorghum. *Agricultural Water Management,* 96, 1698–1704.

Harmut, K. L., and Babani, F. 2000. Detection of photosynthetic activity and water stress by imaging the red chlorophyll fluorescence. *Plant Physiology and Biochemistry*, 38: 889-895.

Jabereldar, A.A., El Naim, A.M., Abdalla, A.A., and Dagash, Y.M. 2017. Effect of Water Stress on Yield and Water Use Efficiency of Sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) in Semi-Arid Environment. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 7(1): 1-6.

Karimi, R., Hadi, H., and Tajbakhsh Shishavan, M. 2016. Exploring the possibility of reducing deficit water stress damage on yield of forage sorghum by foliar application of salicylic acid and zinc sulphate. *Agricultural crop management (Journal of Agriculture)*, 18(2): 507-520 (In Persian with English Summary).

Kazemi Arbat, H. 2005. Morphology and anatomy of cereal crops. 2nd volume.

www.SID.ir

Archive of SID

Tabriz University Press. 588p.

Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R., and Jalilian, J. 2016. Antioxidant status and physiological responses of wheat (Triticum aestivum L.) to cycocel application and bio fertilizers under water limitation condition. *Journal of plant interactions*, 11(2) 130–137.

Kochert, G. 1978. Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. In: Helebust, Journal of Agricultural Craig, J.S.(ed): Hand book of Physiological Method, 56-97, Cambridge University Press, Cambridge. Kumudini, S., Hume, D. J. and Chu, G. 2002. Genetic improvement in short-season soybeans: II. Nitrogen accumulation, remobilization, and partitioning. *Crop Science*, 42: 141-145.

Lak, S., Naderi, A., Siadat, S.A., Aynehband, A., and Noormohammadi, GH., 2007. Effects of water deficiency stress on yield and nitrogen efficiency of grain corn hybrid KSC 704 at different nitrogen rates and plant population. *Iranian Journal of Agricultural Science of Natural Resources,* 14(2), 63- 76. [In Persian with English Summary].Li, Q., Wang-Li, L., Jayanty, R.K.M., and Shah, S.B. 2013. Organic and elemental carbon in atmospheric fine particulate matter in an animal agriculture intensive area in north Carolina: Estimation of secondary organic carbon concentrations. *Open Journal of Air Pollution*, 2: 7-18.

Mahajan, S., and Tuteja, N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives in Biochemistry and Biophysics,* 444, 139-158.

Marsafari, M., Asoudar, M.A., and Kordi, S. 2011. Aerosol resources and adjust their harm effects. Second national conference on critical management. Tehran. Iran. doi: http://www.civilica.com/Paper-NCEVSLL02-NCEVSLL02_388 (In Persian).

Martin, M.F., Miceli, J., Morgan, A., Scalet, M., and Zerbi, G. 1993. Synthesis of osmotically active substrates in winter wheat leaves as related to drought resistance of different genotypes. *Journal of Agricultural Crop Science,* 171: 176-184.

Mazaherilaghab, H., Nori, F., Zare- Abyane, H., and Vafaei, H. 2001. Effect of final irrigation on important traits of three varieties of sunflower in dry land

www.SID.ir

Archive of SID

farming. *Iranian Journal of Agricultural Research,* 1: 41-44 (in Persian).

Menezes, C.B., Saldanha, D.C., Santos, C.V., Andrade, L.C., Mingote Júlio, M.P., Portugal, A.F. and Tardin, F.D. 2015. Evaluation of grain yield in sorghum hybrids under water stress. *Genetics and Molecular Research*, 14(4): 12675-12683.

Meywerk, J., and Ramanathan, V. 2002. Influence of anthropogenic aerosols on the total and spectral irradiance on the sea surface during INDOEX, *Journal of Geophysics Research Atmospheres*, 107, D19, 8018, doi: 10.1029/2000JD000022,2002.17-1to17-14,1999.

Moosavi, S.G., Seghatoleslami, M.J., Javadi, H. and Ansari-nia, E. 2011. Effect of irrigation intervals and planting patterns on yield and qualitative traits of forage Sorghum. *Advances in Environmental Biology,* 5(10): 3363-3368.

Moseki, B., and Dintwe, K. 2011. Effect of water stress on photosynthetic characteristics of two sorghum cultivars. *Australian Journal Biotechnology*, 5(Special Issue 1): 89-91.

Mozafari, K., Arshi, Y., and Zynali – Khanegha, H. 1996. Effect of drought stress on some morphological traits and yield componenets of sunflower. *Seed and Plant,* 12(4): 24-32 (in Persian).

Naresh, R.K., Purushottam, S.P., Dwivedi, A., and Kumar, V. 2013. Effects of water stress on physiological processes and yield attributes of different mungbean (L.) varieties. African *Journal of Biochemistry Researc,* 7(5): 55-62.

Narshima Rao, C.L., and Shivraj, A. 1998. Effect of water stress on grain growth of glossy and non glossy varieties of grain sorghum. *Indian Journal of Agricultural Science,* 58: 770-773.

Parida, A.K., and Das, A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety,* 60: 324-349.

Rafiee, M. 2012. Effect of every other furrow irrigation and planting density on physiological traits in corn. *World Applied Science Journal*, 17(2): 189-193.

Rafiee, M. 2014. Corn: proceeding. 1st Ed. Sarva Press. 244 p. Iran (In Persian).

Rafiee, M., Kalhor, M. 2015. Economic water use efficiency of corn (Zea mays L.) Hybrids as Affected by Irrigation Regimes: A Case Study in West Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science,* 1-9. DOI: 10.1080/03650340.2015.1105360

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

www.SID.ir

Archive of SID

Sanchez, F.J., Manzanares, M., De Andres, E.F., Tenorio, J.L., and Ayerbe, L. 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and prolin Baccumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crop Research,* 59: 225-235.

Sarvari, S. M., and Beheshti, S. A. 2012. Relationship between grain yield and plant characteristics in grain sorghum genotypes in the normal and drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 14(2):183-201. (In Persian)

Shahbazi, T., Saiedi, M., Nosratti, I., and Jalali Honarmand, S. 2016. Evaluation the Effect of airborne dust on physiological characteristics and yield of different wheat varieties (*Triticum* sp.). *Journal of Plant Process and Function*, 5(15): 195-203.

Shomaili, M. 2012. Aerosols, Resources and their effects on crops. A case study: sugarcane farms in south Khoozestan province. Second national conference on critical management. Tehran. Iran. doi: http://www.civilica.com/Paper-NCEVSLL02-NCEVSLL02_388 (In Persian).

Siddique, M.R.B., Hamid A., and Islam, M.S. 2007. Drought stress effects on water relations of wheat. *Botanical Bulltan of Academic Science,* 41:35-39.

Stone, L. R., and Schlegel, A.J. 2006. Yield-water supply relationship of grain sorghum and winter wheat. *Agronomy Journal,* 98:1359-1366.

Wang, W., Vinocur, B., Shoseyov, O., and Altman, A. 2001. Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. *Acta Horticulturae*, 560:285-292.

Zandalinas, S.I., Mittler, R., Balfagón, D., Arbona, V., and Gómez-Cadenas, A. 2018. Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. *Physiology of Plant*, 162, 2–12. doi: 10.1111/ppl.12540

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of drought Stresses and aerosols on yield and some physiological traits of grain sorghum (*Sorghum bicolar* L.)

Leili Sadeghi[1], Masoud Rafiee[2*], Jahanfar Daneshian[3].

1. Ph.D student of Agronomy, Department of Agriculture, Khorramabad branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran. .
2. Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran. (Corresponding author)
3. Seed and Plant Improvement Institude, AREEO, Karaj, Iran.

Received: May 2019 Accepted: April 2020 - DOI: 10.22092/aj.2020.126186.1403

Extended Abstract

Sadeghi, L., Rafiee, M., Daneshian, J., Effect of drought Stresses and aerosols on yield and some physiological traits of grain sorghum (*Sorghum bicolar* L.)
Applied Research in Field Crops Vol 33, No. 2, 2020 5-7: 24-45(in Persian)

Introduction:

Abiotic stresses, in particular, water shortage pose immense challenges to crop production and can decrease crop yields by 50% worldwide (Mahajan Tuteja, 2005). Water deficit has negative impacts on growth, development and production of legumes, which may result in decreased chlorophyll a and b and increased proline content of leaf (Karimi et al., 2016). Aerosols are principal air pollutants that can greatly impact human health and plant development. This natural phenomenon, which mainly occurs in Iraq and Iran`s western regions, has exacerbated in recent years and caused a lot of damage (Marsafari, 2011). The objective of this study was to evaluate the effects of aerosol particles and drought stress on grain sorghum photosynthetic pigments, soluble sugars, proline, relative water content of flag leaf, leaf temperature and grain yield.

Materials and Methods:

The research was conducted to investigate the effect of drought and aerosol stresses on morpho-physiological traits of grain sorghum (Sorghum bicolar L.)

Email address of the corresponding author: rafieemasoud@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

at Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center in 2015. A split plot design based on RCBD was used with four replications. The main plots were allocated to four different irrigation regimes: watering after 60, 90 and 120 mm evaporation from pan class A. The subplots were assigned to three levels of aerosols derived from clay soil source (control treatment, 50 and 100 mg m^{-3} aerosol particles) . Chlorophyll a, chlorophyll b, soluble sugars, proline content, relative water content and leaf temperature were measured at flowering period and yield components and grain yield were measured at harvest time.

Results and Discussion:

The results of the first year of the experiment showed that chlorophylls a and b were only affected by drought stress where they were linearly significantly decreased from 0.017 and 0.012 mg/g FW, respectively, in control treatment, to 0.0068 and 0.0065 mg/g FW in I120 treatment with increasing drought stress. Water stress triggered the production of active oxygen along with the reduction and decomposition of chlorophyll (Karimi et al., 2016).

Soluble sugars and proline leaf concentration were not affected by aerosols, but were significantly affected by drought stress. Sugar content linearly and significantly increased from 4.3 mg/g under normal moisture conditions to 7.9 mg/g fresh leaf weight in I120 treatment. Proline concentrations were linearly and significantly increased from 0.25 mg/g under normal moisture conditions to 0.66 mg /g leaf fresh weight in I120 treatment.

The results of two-year compound variance analysis indicated that grain number per panicle decreased but thousand grain weight increased due to drought stress. The change in grain yield was attributed to significant linear negative correlations with increasing drought stress. The highest average grain yield (8257 kg/ha) was obtained from the normal irrigation, which decreased to 6393 kg/ha under drought stress. The highest average relative content of flag leaf water was obtained from the normal irrigation, which was 2.80% and was reduced to 70.3% under drought stress.

www.SID.ir

Archive of SID

Conclusion:

In general, it was found that the amount of chlorophylls a and b and the relative water content of flag leaf and, as a result, grain yield were significantly decreased with increasing drought stress, but osmotic compounds (sugars solution and proline content of leaf) and leaf temperature increased significantly. Increasing drought stress decreased the number of grains per panicle and increased 1000-grain weight, but the increase in 1000-grain weight could not compensate for the decrease in the number of grains per panicle and consequently led to the decreased grain yield. Low concentration of aerosols on the sorghum leaves due to being vertical and waxy caused no serious damage to the plant's photosynthetic system and as a consequence to grain production.

Key words: Biochemical traits, relative water content, yield, yield components.

References:

Karimi, R., Hadi, H., and Tajbakhsh Shishavan, M. 2016. Exploring the possibility of reducing deficit water stress damage on yield of forage sorghum by foliar application of salicylic acid and zinc sulphate. Agricultural crop management (Journal of Agriculture), 18(2): 507-520 (In Persian with English Summary).

Mahajan, S., and Tuteja, N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. Archives in Biochemistry and Biophysics, 444, 139-158.

Marsafari, M., Asoudar, M.A. and Kordi, S. 2011. Aerosol resources and adjust their harm effects. Second national conference on critical management. Tehran. Iran. doi: http://www.civilica.com/Paper-NCEVSLL02-NCEVSLL02_388 (In Persian).

www.SID.ir