

اثر محلول پاشی سولفات روی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد دانه نخود در سطوح مختلف آبیاری

نادر دادخواه، علی عبادی، قاسم پرمون*، عبدالقیوم قلی پوری و سودابه جهانبخش

گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

به منظور مطالعه اثر محلول پاشی سولفات روی بر تغییرات رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد دانه نخود در شرایط تنش رطوبتی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت فاکتوریل در سه تکرار در مزرعه تحقیقات دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۰ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری (آبیاری در زمان کاشت، آبیاری در زمان کاشت + قبل از گلدهی و آبیاری در زمان کاشت + قبل از گلدهی + غلاف‌دهی) و سه سطح محلول پاشی سولفات روی (صفر، ۳ و ۶ کیلوگرم سولفات روی در هکتار) در دو نوبت در مرحله ۴ و ۵ برگگی بود. بر اساس نتایج، تنش رطوبتی موجب کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی و در نهایت کاهش عملکرد دانه گردید. استفاده از سولفات روی به ویژه ۶ کیلوگرم در هکتار برای کاهش اثرات تنش رطوبتی موثر بود، به طوری که موجب افزایش میزان کلروفیل a، کلروفیل کل، میزان کارتنوئیدها و شاخص سبزینگی شد. تنش رطوبتی موجب کاهش معنی‌دار فلورسانس لحظه‌ای (Fv)، فلورسانس حداکثر (Fm) و عملکرد کوانتومی (Fv/Fm) و مصرف سولفات روی افزایش معنی‌دار فلورسانس لحظه‌ای و فلورسانس حداکثر را سبب شد، درحالی که بر عملکرد کوانتومی تأثیر معنی‌داری نداشت. سبزینگی گیاه بیشتر تحت تأثیر میزان کلروفیل a بود و رابطه آن با سبزینگی گیاه از نوع درجه دوم بود. در بین رنگیزه‌های فتوسنتزی، میزان کارتنوئیدها بالاترین سهم را در طی تنش رطوبتی در پیش‌بینی عملکرد دانه به خود اختصاص داد. همچنین مصرف سولفات روی باعث کاهش سهم کلروفیل‌ها و افزایش سهم کارتنوئیدها در پیش‌بینی عملکرد دانه شد. به طور کلی سولفات روی با کاهش اثرات تنش و افزایش عوامل موثر در تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی موجب بهبود عملکرد در شرایط تنش رطوبتی شد.

کلمات کلیدی: کلروفیل a، فلورسانس حداکثر، عملکرد دانه، تنش رطوبتی، فتوسنتز

مقدمه

هورمونی و افزایش تولید انواع اکسیژن واکنش گر می شود (Shimshi et al., 1992; Sairam and Srivastava, 2001; Heuer, 1994). تنش رطوبتی همچنین سبب آسیب به رنگیزه‌ها و پلاستیدها، کاهش کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها و کاهش ضخامت تیلاکوئیدها در اغلب گیاهان می‌گردد، که همه‌ی این آثار مخرب خشکی باعث کاهش عملکرد محصول خواهند شد (Follows and Boyer, 1996).

کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش رطوبتی می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدود کننده غیر روزنه‌ای فتوسنتز به حساب آید (Behra et al., 2002). حفظ غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک می‌کند (Khadem et al., 2010). در طی تنش رطوبتی، کلروفیل‌ها در کلروپلاست تجزیه و ساختارهای تیلاکوئید ناپدید گشته و باعث تولید اکسیژن فعال همراه با کاهش و تجزیه کلروفیل می‌شود (Sairam et al., 1998). در مراحل اولیه تنش‌های محیطی میزان سنتز کارتنوئیدها (به عنوان گیرنده‌های نوری مکمل) در برگ به علت نقش آنها در حفاظت از ساختار کلروفیل‌ها در برابر اثرات تخریبی انواع اکسیژن فعال افزایش یافته اما با گذشت زمان و در تطابق گیاه با تنش میزان آنها کاهش پیدا می‌کند (Young, 1991).

در اثر کمبود آب، اندام‌های رویشی از جمله تعداد شاخساره در حبوبات کاهش یافته و در نهایت سبب کاهش بیوماس کل می‌شود (Oweis et al., 2004). تنش رطوبتی، رشد رویشی و عملکرد را از طریق کاهش سطح برگ و فتوسنتز جامعه گیاهی نیز

نخود (*Cicer arietinum* L) یکی از گیاهان خانواده بقولات است که سرشار از پروتئین و نشاسته بوده و در جیره‌ی غذایی از اهمیت زیادی برخوردار است. مقدار پروتئین نخود در مقایسه با سایر بقولات از ارزش بیولوژیک بالایی (۵۲ تا ۷۸ درصد) برخوردار می‌باشد و از پروتئین سایر بقولات مرغوب‌تر است (سام دلیری و همکاران، ۱۳۸۹). در مناطق دیم و به‌ویژه در نیمه غربی ایران، نخود به دلیل قرار گرفتن در تناوب با گندم و جو دیم، نقش بسیار مهمی در حفظ و بقای کشاورزی این مناطق ایفا می‌کند.

یکی از اصول مهم مدیریت کشاورزی در مناطق دیم، حفظ رطوبت و استفاده مطلوب از آن می‌باشد، ولی تنش رطوبتی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی در دیمزارها است که تولید محصولات کشاورزی را با محدودیت‌هایی رو به رو می‌سازد. تنش آبی توسعه سلولی و رشد گیاه را به علت فشار پائین تورگر (Turgor) متوقف می‌کند (Sunka et al., 2003). همچنین، کاهش جذب آب از راه ریشه‌ها، با کاهش تورژسانس سلول همراه بوده و موجبات کاهش تقسیم سلولی و مهار رشد سلولی را فراهم می‌کند (Yordanov and Tsonev, 2003). کاهش میزان آب در محیط جذب، باعث اختلال در انتقال مواد غذایی لازم برای رشد و عدم تولید ماده خشک جدید شده و کاهش رشد را به دنبال دارد. کاهش آب در بافت‌های گیاهی سبب لوله‌ای شدن و پیچ خوردن برگ‌ها، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز، افزایش تنفس، تخریب پروتئین‌ها، تخریب آنزیم‌ها، تولید مواد سمی، اختلالات

میزان فتوسنتز خالص شود. این عنصر نیز در بیوسنتز کلروفیل‌ها، تریپتوفان که پیش ماده بیوسنتز اکسیس می‌باشد نقش دارد (Welch, 1995). عنصر روی و گروه اکسین‌ها به عنوان تحریک کننده رشد ریشه در گیاهان مطرح می‌باشند و هنگامی که گیاه در شرایط تنش خشکی قرار می‌گیرد می‌توانند با حفظ تعادل رطوبتی موجب بهبود عملکرد دانه گردد (Gadallah, 2000). همچنین روی کوفاکتور آنزیم‌های دی‌هیدروژنازاکسیداز و پراکسیداز بوده و نقش مهمی را در تنظیم متابولیسم نیتروژن، سنتز کلروفیل، تقسیم سلولی و فتوسنتز در گیاهان بازی می‌کند (Rout and Das, 2003). فعالیت آنزیم کربنیک آنهیدراز، به سرعت در اثر کمبود روی کاهش می‌یابد. کربنیک آنهیدراز، در سیتوپلاسم و کلروپلاست تجمع می‌یابد و واکنش تبدیل CO_2 به بیکربنات و بالعکس را کاتالیز می‌کند که به فراهم شدن CO_2 برای فتوسنتز کمک می‌نماید. عنصر روی، یکی از اجزای ضروری آنزیم RNA پلی مرز است و در هر مولکول این آنزیم دو اتم روی وجود دارد. روی از طریق اتصال به گروه سولفیدریل ($-SH$) باعث استحکام آنزیم‌ها، پروتئین‌ها و ساختمان چربی غشای سلول می‌شود. عنصر روی از طریق محافظت از گروه سولفیدریل باعث سنتز کلروفیل می‌گردد. پورفوبیلینوژن پیش ماده کلروفیل می‌باشد که برای تشکیل این ماده عناصر روی و منیزیم مورد نیاز است (بهتاش و همکاران، ۱۳۸۹). کمبود روی در گیاهان گسترش جهانی دارد و برآورد شده است که حدود ۳۰ درصد از اراضی تحت کشت جهان با کمبود روی مواجه هستند (لطف الهی و همکاران، ۱۳۹۲). در کشاورزی متمرکز کمبود روی رایج و گسترده

کاهش می‌دهد. میزان این کاهش به شدت تنش و مرحله‌ای از نمو که تنش رخ می‌دهد بستگی دارد (سرمدنی و کوچکی، ۱۳۷۸). محسن‌زاده و همکاران (۲۰۰۶) و قربانلی و نیاکان (۲۰۰۵) نیز در مطالعه خود کاهش پایداری و دوام رنگیزه‌ها و میزان کلروفیل a و b در طی تنش رطوبتی در نخود و سویا را گزارش نمودند. فلورسانس کلروفیل روشی سریع و غیر تخریبی برای تخمین کارایی فتوسنتزی گیاهان است (Baker and Rosenqvist, 2004). فلورسانس کلروفیل برای بررسی عملکرد فتوسنتز ذرت تحت تنش خشکی مورد مطالعه قرار گرفته است (Eshghizade and Ehsanzadeh, 2009). با توجه به اینکه توازن بین فرآیندهای سوخت و ساز و تولید انرژی تحت تأثیر تنش‌های گرما و رطوبتی قرار می‌گیرد، با استفاده از این تکنیک می‌توان عدم توازن بین این دو فرآیند را مشخص نمود.

روی از عناصر کم مصرف که برای رشد طبیعی، فعالیت‌های متابولیکی و باروری گیاهان ضروری است (Hasegawa et al., 2008). روی نقش بسیار مهمی در سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها، اعمال متابولیکی سلول، ایجاد یک سیستم دفاعی سلولی در مقابل رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر فرآیندهای مرتبط با سازگاری گیاهان به تنش‌ها دارد و از این طریق موجب کاهش تأثیرات تنش خشکی در گیاه می‌شود (Marschner, 1995). همچنین عنصر روی نقش مهمی در تنظیم میزان باز بودن روزنه‌ها دارد به این دلیل که این عنصر در نگهداری عنصر پتاسیم در سلول‌های محافظ روزنه نقش دارد. کاهش فعالیت آنزیم کربنیک آنهیدراز نیز به دلیل کمبود روی می‌تواند منجر به کاهش

همچنین با توجه به نقش روی در کاهش تاثیرات تنش و همچنین نقش این عنصر در فتوسنتز و تولید گیاه، این مطالعه به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی سولفات روی بر افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد نخود در شرایط محدودیت آبیاری و افزایش کارایی جذب روی از طریق محلول پاشی و همچنین تعیین نقش رنگدانه‌ها در تعیین عملکرد دانه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

ژنوتیپ مورد مطالعه در این تحقیق (توده محلی بیونج) از ایستگاه تحقیقات کشاورزی کرمانشاه تهیه شد و قبل از کاشت با سم کاپتان به نسبت ۳ در هزار ضد عفونی گردیدند. توده محلی بیونج به عنوان ژنوتیپ بهاره، فرم ایستاده و مقاوم به خشکی به شمار می‌آید و در مزارع دیم در مقایسه با ارقام دیگر از عملکرد بالاتری برخوردار است (کریمی و فرنی، ۱۳۸۸). این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در فصل زراعی ۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی واقع در ۱۰ کیلومتری شرق اردبیل با مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و دارای میانگین بارندگی سالانه ۴۰۰ میلی‌متر اجرا شد. مشخصات خاک زراعی در جدول ۱ آمده است.

تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری (آبیاری در زمان کاشت (شدیدترین سطح تنش)؛ آبیاری در زمان کاشت و قبل از گلدهی (تنش ملایم)؛ آبیاری در زمان کاشت، قبل از گلدهی و غلاف دهی (بدون تنش) و سه سطح محلول پاشی

است. این پدیده به علت برداشت شدید روی قابل استفاده از منطقه نفوذ ریشه در خاک به وجود می‌آید، از طرفی در خاک‌های آهکی و قلیایی، کمبود روی به علت pH بالای خاک است (Graham and McDonald, 2000) به علت جذب کند عنصر روی و سایر عناصر مشابه توسط ریشه، بهتر است این عناصر از طریق اندام‌های هوایی در اختیار گیاه قرار داده شوند از سوی دیگر تغذیه مناسب گیاهی در بالا بردن سطح تحمل گیاهان در مقابل انواع تنش‌ها نقش بسزایی دارد (ملکوتی و طباطبایی، ۱۳۷۶). به طوری که ورزینی کته‌شوری و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند که محلول پاشی غلظت‌های ۳ و ۶ در هزار عنصر روی اثر مثبتی بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود زراعی داشت. در مطالعه‌ای تولی و گول‌مزگلو (۲۰۰۴) در مورد لویا نشان دادند، محلول پاشی روی و منگنز باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود. در مطالعه‌ی شیخ‌بگلو و همکاران (۱۳۸۸) اثر محلول پاشی عنصر روی بر ذرت تحت شرایط تنش آبی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آن‌ها بیش‌ترین عملکرد دانه، وزن هزار دانه و پروتئین دانه در ۵۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده و کمترین مقادیر آنها در تیمار تنش کم آبیاری بر اساس ۷۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده مشاهده شد. بالاترین وزن هزار دانه، درصد پروتئین و روغن دانه در محلول پاشی سولفات روی و بیش‌ترین عملکرد دانه در مقادیر محلول پاشی با کلات روی بدست آمد. موحدی دهنوی (۱۳۸۳) نیز در مطالعه‌ای بر روی گلرنگ گزارش کردند محلول پاشی روی و منگنز موجب افزایش مقدار کلروفیل شد. با توجه آثار تنش رطوبتی بر عملکرد و تولید گیاهان و

رطوبت نمونه‌ها در ۱، ۲ و ۳ نوبت آبیاری خاک به ترتیب در محدوده ۳۵، ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی بود. در طول دوره رشد کنترل علف‌های هرز چندین بار به طریق دستی انجام گرفت. به منظور مبارزه با آفت هلیوتیس، گیاهان در دو نوبت یکی در مرحله گلدهی و دیگری در مرحله پر شدن نیام‌ها با سم مالاتیون به غلظت دو در هزار سمپاشی شدند.

صفات اندازه‌گیری شده ۱۰ روز بعد از اعمال آخرین تیماره تنش (مصادف با غلاف‌دهی) اندازه‌گیری شد. صفات شامل میزان رنگیزه‌های فتوستنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، نسبت کلروفیل a به b، و کارتنوئیدها)، فلورسانس رنگیزه‌ها فلورسانس اولیه (Fo)، فلورسانس لحظه‌ای (Ft)، فلورسانس بیشینه (Fm) و عملکرد کوانتومی (Fv/Fm) و عملکرد دانه بود.

سولفات روی (صفر، ۳، ۶ کیلوگرم در هکتار) در دو نوبت در مرحله ۴ برگ مرکب اصلی (۱۴ زادوکس) و ۵ برگ مرکب اصلی (۱۵ زادوکس) که نصف مقدار سولفات روی در مرحله اول و نصف باقی مانده در مرحله دوم مورد استفاده قرار گرفت. زمین اجرای آزمایش در پاییز ۱۳۸۹ با انجام شخم عمیق برگردانده شد و در بهار سال ۱۳۹۰ عملیات تکمیلی تهیه زمین شامل شخم سطحی، دیسک‌زنی و همچنین کوددهی بود. بذور در تراکم ۴۰ دانه در مترمربع کشت شدند. در هر کرت آزمایشی که مساحت آن ۸ مترمربع بود، ۵ ردیف بافاصله بین ردیف ۴۰ سانتیمتر و به طول ۴ متر کشت گردید. آبیاری به صورت غرقابی و با توجه به تیمار آبیاری مورد نظر صورت گرفت. جهت تعیین شدت تنش از خاک مزرعه از هر سه سطح آبیاری از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری خاک نمونه‌برداری صورت گرفت و بر اساس میزان

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک مورد استفاده در آزمایش در عمق ۶۰-۳۰ سانتی متری

بافت خاک	در صد اشباع خاک	درصد ذرات خاک			میزان عناصر قابل جذب (%)			کربن آلی (%)	pH	هدایت الکتریکی (ds/m ⁻¹)
		رس	سیلت	شن	کلسیم	فسفر	نیروژن			
لومی رسی	۵۵	۳۷	۲۳	۴۰	۱/۳	۰/۱۴	۰/۱۵	۲/۹	۷/۶	۰/۴۱

و سپس جذب نوری محلول رویی در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۶/۸ و ۶۶۳/۲ نانومتر توسط اسپکتروفوتومتر قرائت شد. مقدار کلروفیل و کارتنوئیدها طبق معادله‌های زیر محاسبه شد.

$$\text{Chl}_a = 12.25 A_{663.2} - 2.798 A_{646.8}$$

$$\text{Chl}_b = 21.50 A_{646.8} - 5.10 A_{663.2}$$

$$\text{Chl}_{\text{Total}} = C_a + C_b$$

$$\text{Carotenoid}_x = (1000 a_{470} - 1.82 C_a - 85.02 C_b) / 198$$

محاسبه غلظت کلروفیل و کارتنوئیدهای (کاروتن و گزانتوفیل) برگ در ۱۰ روز بعد از اعمال آخرین تیمار آبیاری در مرحله پایان غلاف‌دهی با استفاده از روش لیچتیندالیر و ولبرن (۱۹۸۳) انجام شد. در این روش ۰/۱ گرم از بافت برگ را با استن ۸۰ درصد به تدریج له کرده تا کلروفیل وارد محلول استن شود و در نهایت حجم محلول با استن ۸۰ درصد به حجم ۲/۵ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰ دور سانتریفوژ شد

میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. برای محاسبه مقدار انحراف استاندارد (SE) از نرم افزار SPSS و برای رسم نمودارها از Excel استفاده شد. جهت تعیین نوع معادلات رگرسیونی نیز از نرم افزار Minitab استفاده گردید.

نتایج و بحث

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس‌ها نشان داد تنش رطوبتی در سطح یک درصد بر میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، افزایش تنش رطوبتی در اثر کاهش دفعات آبیاری موجب کاهش میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کل کلروفیل شد. بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل از سه بار آبیاری و کمترین میزان آن از یک بار آبیاری به دست آمد (شکل ۱، a). تأثیر محلول‌پاشی بر محتوای کلروفیل a و کلروفیل کل معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، افزایش مصرف سولفات روی موجب افزایش میزان کلروفیل a و کل می‌شود، به طوری که مصرف ۶ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بیشترین میزان کلروفیل را نشان دادند (شکل ۱، b). اغلب کاهش غلظت کلروفیل در اثر فعالیت کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی می‌باشد (Bates et al., 1973). همچنین در مطالعه‌ای بر روی گلرنگ، محلول‌پاشی روی و منگنز موجب افزایش کلروفیل شد که این نتایج را می‌توان با نقش این عناصر در متابولیسم نیتروژن و سنتز کلروفیل مرتبط دانست (موحدی دهنوی، ۱۳۸۳).

میزان شاخص سبزینگی نیز در مرحله پایان غلاف‌دهی با دستگاه کلروفیل‌متر مدل SPAD-502 ساخت مینولتای ژاپن اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل از انتهای‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته در مرحله پایان غلاف‌دهی با استفاده از دستگاه فلورومتر (Optic Chlorophyll Fluorometer مدل Science- OS-30 USA) انجام گرفت. در این روش در شرایط گلخانه‌ای با استفاده از گیره‌های مخصوص برگ گیاهان به مدت ۲۰ دقیقه با تاریکی سازگار شده و سپس میزان فلورسانس تیمارها در شدت نور ۱۰۰۰ میکرو مول (فوتون) بر مترمربع در ثانیه مورد ارزیابی قرار گرفت. F_m (میزان فلورسانس حداکثر، بعد از تابیدن یک پالس نور اشباع بر روی گیاه سازگار شده به تاریکی)، F_0 (میزان فلورسانس بعد از آن که روی گیاه سازگار شده به تاریکی یک پرتو تعدیل شده و ضعیف تابیده شد)، F_v (شدت فلورسانس پایه یا لحظه‌ای). F_v/F_m میزان عملکرد کوانتومی فتوسیستم II مطابق فرمول ذیل محاسبه شد (Arnon, 1949).

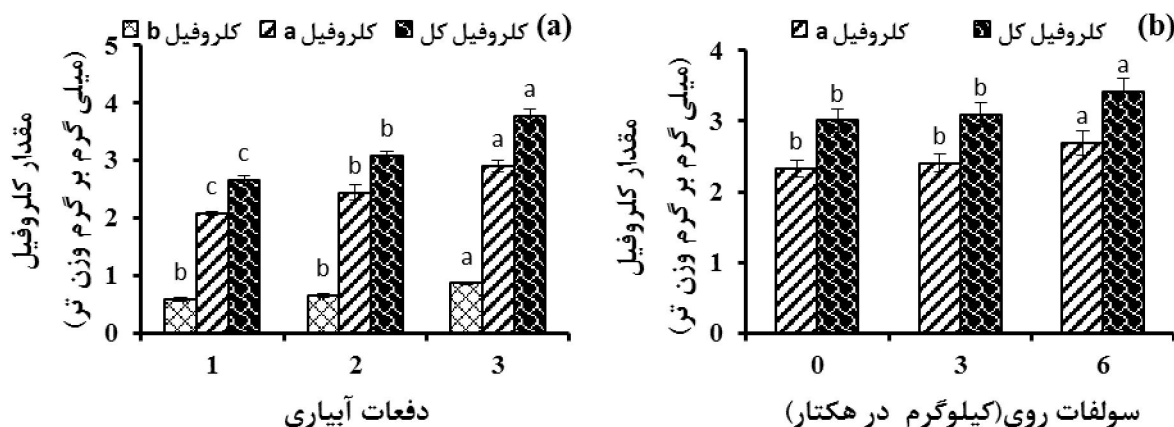
$$F_v / F_m = (F_m - F_0) / F_m$$

برای اندازه‌گیری عملکرد در هر کرت، پس از حذف دو ردیف کناری و نیم‌متر از طرفین دو خط میانی کلیه کرت‌ها، به عنوان حاشیه، بوته‌های موجود در ردیف‌های میانی کرت در طول دو خط سه متری به صورت دستی از سطح خاک برداشت و به آزمایشگاه انتقال یافت. پس از خشک کردن در هوای آزاد، دانه‌ها از کاه جدا گردید و عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش رطوبتی و محلول پاشی سولفات روی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، فلورسانس رنگیزه‌ها و عملکرد دانه نخود.

میانگین مربعات												
منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	نسبت a به b	کارتنوئیدها	شاخص سبزی‌نگی	Fo	Fv	Fm	Fv/Fm	عملکرد دانه
تکرار	۲	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۴۴/۱ ^{ns}	۳۶۴/۴۸ ^{ns}	۱۱۰۴/۷ ^{ns}	۳۶۹/۵۹ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۷۹۷۶/۵ ^{ns}
تنش رطوبتی (W)	۲	۱/۵ ^{**}	۰/۱۹۵ ^{**}	۲/۸۱۸ ^{**}	۰/۳۷ ^{ns}	۲/۵۱ ^{**}	۹۳۴/۴ ^{**}	۱/۵۹ ^{ns}	۲۴۰۳۵/۷ ^{**}	۲۳۶۷۲/۴۸ ^{**}	۰/۰۰۷ [*]	۶۲۳۶۹/۱ ^{**}
سولفات روی (Z)	۲	۰/۳۳ [*]	۰/۰۰۶ ^{ns}	۰/۴۲۵ ^{**}	۰/۲۷ ^{ns}	۰/۲۸ [*]	۷۱/۱ [*]	۵۱/۸۱ ^{ns}	۱۰۷۹۶/۰۳ [*]	۹۳۷۴/۹۵ [*]	۰/۰۰۴ ^{ns}	۷۳۹۹۲/۹ [*]
W×Z	۴	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۳۷ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}	۱۵/۴ ^{ns}	۲۱/۰۳ ^{ns}	۴۴۵۸/۴۲ ^{ns}	۴۶۷۴/۲۰ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۴۳۹۶۹/۵ ^{ns}
خطا	۱۶	۰/۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۵۲	۰/۴۷	۰/۱۱	۱۶/۸	۲۷۷۵/۷	۲۵۶۶	۲۵۶۶	۰/۰۰۲	۱۶۲۹۳/۶
ضریب تغییرات (%)	-	۱۱/۳	۱۲/۴	۷/۲	۱۹/۰	۷/۰	۱۲/۸	۱۰/۵	۱۴/۸	۱۰/۵	۶/۲	۹/۹

ns، ** و * به ترتیب غیره معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد.



شکل ۱- تأثیر دفعات آبیاری (a) و محلول پاشی سولفات روی (b) بر میزان کلروفیل a، b و کل نخود

یک بار آبیاری) بدست آمد. این تیمار موجب ۲۰٪ کاهش میزان کارتنوئیدها شد (شکل ۲، a). محلول پاشی سولفات روی بر میزان کارتنوئیدها در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. محلول پاشی موجب افزایش میزان کارتنوئیدها شد، به طوری که بیشترین میزان کارتنوئیدها (۴/۹۲ میلی گرم در گرم بافت تر برگ) از مصرف ۶ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (شکل ۲، b).

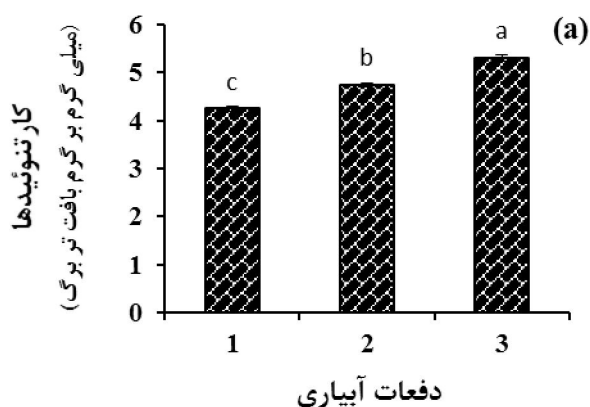
برای خنثی کردن اثر سمی گونه‌های فعال اکسیژن ایجاد شده در تنش آبی، به یک سیستم آنتی‌اکسیدان با کارایی بالا نیاز است. مشخص شده است که کاروتنوئیدها می‌توانند سیستم دریافت کننده نور دستگاه فتوسنتزی را از گزند مولکول‌های اکسیژن رادیکال حفاظت نمایند. کاروتنوئیدها می‌توانند مستقیماً اکسیژن یکتایی را خاموش و غیرفعال کنند و یا به وسیله اکسیژن یکتایی اکسید شوند. بنابراین به طور غیرمستقیم تولید گونه‌های اکسیژن را کاهش می‌دهند. همچنین کاروتنوئیدها از طریق مکانیسمی که چرخه زانتوفیل نامیده می‌شود،

همچنین روی می‌تواند بر غلظت عناصر غذایی درگیر در تشکیل کلروفیل یا عناصری که قسمتی از مولکول کلروفیل هستند، مانند آهن و منیزیم مؤثر باشد (Kaya and Higgs, 2002). چنین به نظر می‌رسد، زمانی که گیاه در مراحل رشد رویشی و یا زایشی خود در معرض تنش رطوبتی قرار گیرد، محلول پاشی عناصری از قبیل روی و پتاسیم می‌تواند موجب افزایش کلروفیل شود و به عبارت دیگر از کاهش شدید کلروفیل جلوگیری کند. این نقش سبب جلوگیری از کاهش فتوسنتز و کاهش سبزینگی و در نتیجه رشد گیاه می‌شود و به این طریق به گیاه در حفظ ثبات عملکرد کمک می‌کند (موحدی دهنوی، ۱۳۸۳).

میزان کارتنوئیدها تحت تأثیر تنش رطوبتی قرار گرفت (جدول ۲). تنش رطوبتی موجب کاهش میزان کارتنوئیدها شد، به طوری که بیشترین میزان کارتنوئیدها (۵/۲ میلی گرم در گرم بافت تر برگ) از تیمار ۳ بار آبیاری مشاهده شد، در حالی که کمترین میزان کارتنوئیدها از شدیدترین سطح تنش رطوبتی

مقابل فتواکسیداسیون می‌شوند (Koyro, 2006).

باعث مصرف اکسیژن و حفاظت از کلروفیل در



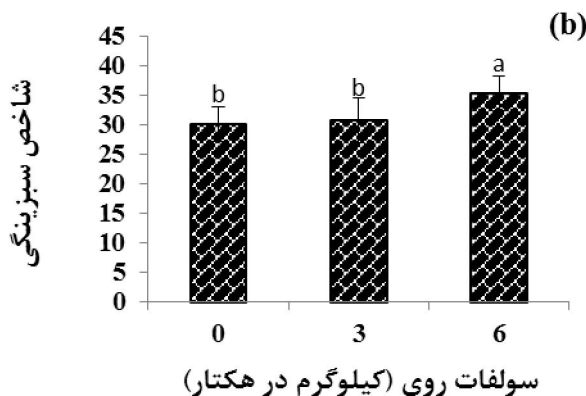
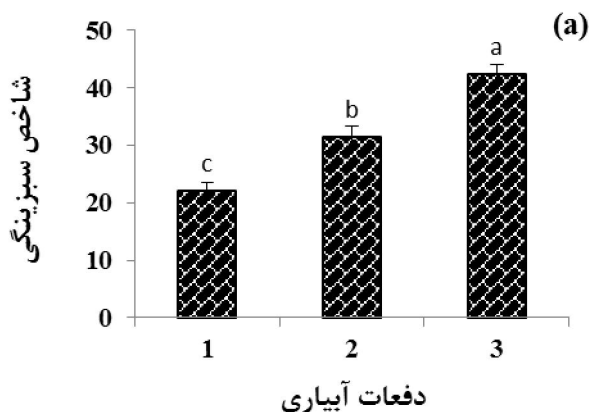
شکل ۲- تأثیر دفعات آبیاری (a) و محلول‌پاشی سولفات روی (b) بر میزان کارتنوئیدها در نخود

جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، تنش رطوبتی موجب کاهش میزان سبزی‌نگی گیاه شد، به طوری که بیشترین میزان سبزی‌نگی (۴۶/۴۲) از سه بار آبیاری و کمترین میزان این شاخص (۲۲/۱۱) از یک بار آبیاری بدست آمد (شکل ۳، a). همچنین مصرف سولفات روی موجب افزایش شاخص سبزی‌نگی شد. مصرف ۶ کیلوگرم سولفات روی در هکتار بیشترین تأثیر مثبت را بر شاخص سبزی‌نگی نشان داد (شکل ۳، b).

گروپا و بناویدس (۲۰۰۸) گزارش کرده‌اند که در مراحل اولیه تنش‌های محیطی میزان سنتز کارتنوئیدها در برگ به علت نقش آنها در حفاظت از ساختار کلروفیل‌ها در برابر اثرات تخریبی انواع اکسیژن فعال افزایش یافته، اما با گذشت زمان و در تطابق گیاه با تنش میزان آنها کاهش پیدا می‌کند.

شاخص سبزی‌نگی

نتایج نشان داد که تعداد تنش رطوبتی و محلول‌پاشی سولفات روی بر میزان سبزی‌نگی گیاه تأثیر داشتند (به ترتیب در سطح یک و پنج درصد،



شکل ۳- تأثیر دفعات آبیاری (a) و محلول‌پاشی سولفات روی (b) بر میزان شاخص سبزی‌نگی نخود.

وضعیت، الکترون اضافی ناشی از فتولیز آب، باعث تولید اکسیژن فعال و خسارت به غشاء سلولی از طریق پراکسید شدن چربی‌ها، پروتئین‌ها و کاهش محتوای کلروفیل گیاه می‌گردد. اغلب کاهش غلظت کلروفیل در اثر فعالیت کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی می‌باشد، که موجب کاهش میزان سبزی‌نگی نیز می‌گردد (Bates et al., 1973). از آنجایی که کلروفیل a موثرترین رنگیزه در فتوسنتز می‌باشد و بقیه رنگیزه‌ها به عنوان رنگیزه‌های کمکی عمل می‌کنند، این رنگیزه بالاترین سهم را در میزان سبزی‌نگی به خود اختصاص داد و کاهش سبزی‌نگی در اثر تنش رطوبتی بیشتر مربوط به کاهش میزان کلروفیل a می‌باشد.

فلورسانس رنگیزه‌ها

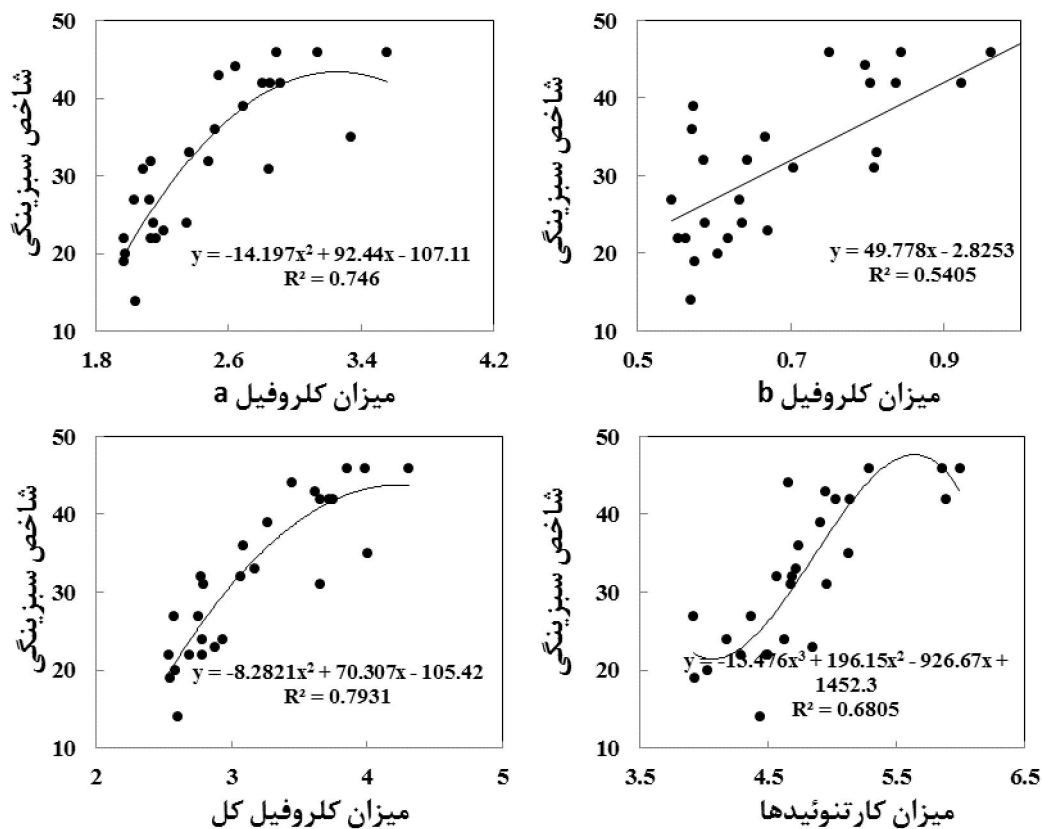
تنش رطوبتی و محلول پاشی با سولفات روی بر میزان فلورسانس اولیه (F0) معنی‌دار نبود، ولی بر فلورسانس لحظه‌ای (Fv) و فلورسانس حداکثر (Fm) به ترتیب در سطح یک و پنج درصد اثر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). تنش موجب کاهش فلورسانس لحظه‌ای و فلورسانس حداکثر شد و استفاده از سولفات روی نیز موجب کاهش تأثیر تنش و افزایش مقدار آنها گردید. بیشترین و کمترین میزان فلورسانس لحظه‌ای و فلورسانس حداکثر در طی تنش به ترتیب از سه و یک بار آبیاری و نیز در محلول پاشی به ترتیب از عدم مصرف و مصرف ۶ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بدست آمد (شکل ۵). همچنین شدت‌های مختلف تنش آبی بر عملکرد کوانتومی (Fv/Fm) تأثیر متفاوتی داشت (جدول ۲). بیشترین میزان عملکرد کوانتومی (۰/۷۵۷) از سه بار

پژوهش دیگری نیز به کاهش میزان سبزی‌نگی در شرایط تنش رطوبتی در ژنوتیپ‌های گندم اشاره کرده‌اند (Paknejad et al., 2007). داوان و سینگ (۱۹۸۳) گزارش کردند که سرعت فتوسنتز و فعالیت آنزیم روپیسکو در گیاه نخود همبستگی مثبتی با عملکرد دارد و بنابراین پایداری کلروفیل به عنوان یک معیار تحمل به تنش رطوبتی پیشنهاد شده است. طبق نظر لیندکوئیست و همکاران (۲۰۰۵) گیاهانی که شاخص کلروفیل بالاتری دارند دوام بیشتری داشته و مدت زمان استفاده از تشعشع و فتوسنتز در آنها افزایش می‌یابد. بنابراین کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی و کارایی تولید می‌تواند به دلیل تأثیر سوء تنش بر میزان سبزی‌نگی گیاه نیز باشد.

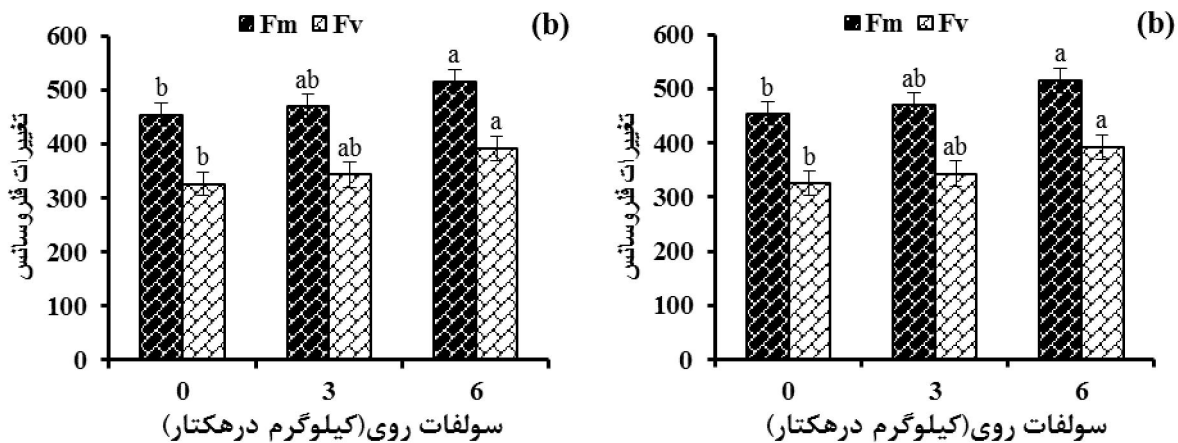
در شرایط تنش فاکتورهای لازم جهت سنتز کلروفیل کاهش و تخریب ساختمان آن افزایش می‌یابد. نتایج معادلات رگرسیونی نشان داد، میزان کلروفیل کل ($R^2 = 0/793$) و میزان کلروفیل a ($R^2 = 0/746$) بالاترین همبستگی را در میزان شاخص سبزی‌نگی به خود اختصاص دادند. تغییرات شاخص سبزی‌نگی در طی میزان کلروفیل a و کل به صورت معادله درجه دوم بوده و افزایش در میزان آنها تا حدی موجب افزایش شاخص سبزی‌نگی می‌شود ولی بعد از آن کاهش شاخص سبزی‌نگی را موجب می‌شود. همچنین بین میزان کلروفیل b و کارتنوئیدها نیز با شاخص سبزی‌نگی همبستگی بالایی وجود دارد (شکل ۴).

به نظر می‌رسد در شرایط تنش آبی گیاه در طی روز با بسته نگاه داشتن روزنه‌ها، سعی در حفظ محتوی آب نسبی خود دارد، در این زمان انتقال الکترون در فتوسیستم II مختل شده و در این

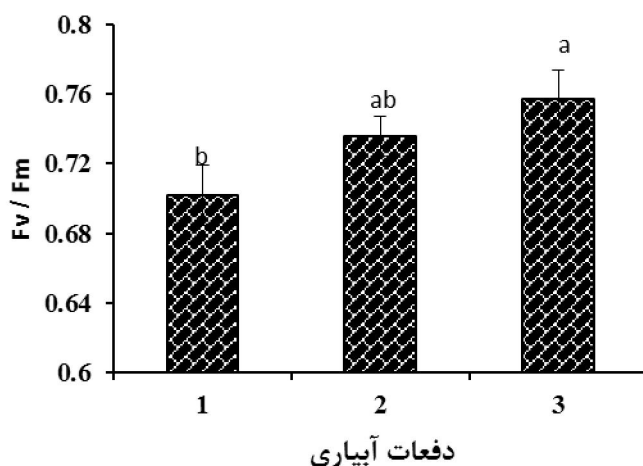
آبیاری و کمترین میزان آن (۰/۷۰۱) از یک بار آبیاری حاصل شد (شکل ۶).



شکل ۴- تغییرات رگرسیونی رنگ‌های فتوسنتزی و شاخص سبزی‌نگی نخود



شکل ۵- تأثیر دفعات آبیاری (a) و محلول‌پاشی سولفات روی (b) بر فلوروسانس Fm و Fv نخود



شکل ۶- تأثیر دفعات آبیاری بر میزان عملکرد کوانتومی نخود

کاهش واکنش‌های فتوشیمیایی در شرایط تنش شده است (Wilson and Greaves, 1993). تنش رطوبتی با تأثیر سوئی که بر آسیمیلایون کربن می‌گذارد، ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون را کاهش داده، در نتیجه سیستم به سرعت به فلورسانس حداکثر (F_m) می‌رسد که نتیجه آن کاهش فلورسانس متغیر (F_v) خواهد بود. از طرفی، با افزایش شدت نور، سیستم فتوسنتزی با یک روش تنظیمی برای کاهش انرژی القا شده تحریکی، انرژی مازاد را به صورت فرآیند غیر تشعشعی از دست می‌دهد. با این ساز و کار تنظیمی، ضمن حفاظت از مراکز واکنش، موجب می‌گردد تا حداقل صدمه به این مراکز وارد شود (Bhardway and Singhal, 1981). با افزایش شدت تنش نسبت F_v/F_m (کارایی کوانتومی فتوسیستم II) کاهش یافت که نشانه کاهش میزان حفاظت نوری و تقلیل کارایی فتوسنتزی می‌شود. مقدار F_v/F_m نشان دهنده ظرفیت انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I است که با عملکرد کوانتومی فتوسنتز خالص همبستگی بالایی دارد (Paknejad et al., 2007).

دگرگونی ساختار و تغییر در رنگیزه‌های فتوسیستم II موجب تغییر در فلورسانس اولیه (F_0) در طی تنش‌های محیطی می‌شود. تنش رطوبتی به تنهایی نمی‌تواند تغییرات معنی‌داری در F_0 ایجاد کند، معمولاً تنش گرمایی به تنهایی و یا در ترکیب با تنش خشکی است که موجب انهدام و یا تخریب مرکز واکنشی فتوسیستم II می‌شود (هاواکس و همکاران، ۱۹۹۸). به نظر می‌رسد، دمای پایین محل انجام آزمایش در زمان اندازه‌گیری فلورسانس نقشی در معنی‌دار نشدن فلورسانس اولیه (F_0) داشته می‌باشد. در آزمایشات پاکنژاد و همکاران (۲۰۰۷) نیز فلورسانس اولیه تحت تأثیر تنش قرار نگرفت. ویلسون و همکاران (۱۹۹۳) بیان کرده‌اند که بین فلورسانس اولیه (F_0) و فلورسانس رنگدانه‌های آنتن مرکزی از فتوسیستم I ارتباط وجود دارد، با توجه به اینکه فلورسانس اولیه (F_0) معنی‌دار نشد، احتمال دارد که رنگدانه‌های آنتن مرکزی در سطوح تنش از کارایی تقریباً یکسانی برخوردار باشند. کاهش در فلورسانس حداکثر (F_m) در شرایط تنش رطوبتی نشان‌دهنده اکسیداسیون کمتر Q_A است که موجب

کلروفیل a در طی فلورسانس لحظه‌ای به صورت خطی بود و هر افزایشی در میزان فلورسانس لحظه‌ای میزان کلروفیل a را افزایش داد. این در حالی است که تغییرات میزان کلروفیل b و کارتنوئیدها از معادله درجه سوم تبعیت کرد. همچنین تغییرات فلورسانس حداکثر با میزان کلروفیل کل از معادله درجه سوم تبعیت نمود (جدول ۴).

نتایج نشان داد، در شرایط محدودیت آبی، اختلاف بین Fo و Fm؛ یعنی Fv کاهش پیدا می‌کند. همچنین با توجه به معادلات رگرسیونی، فلورسانس لحظه‌ای بالاترین سهم را در پیش‌بینی میزان کلروفیل a، کلروفیل b و میزان کارتنوئیدها داشت. این در حالی است که فلورسانس حداکثر بالاترین سهم را در پیش‌بینی میزان کلروفیل کل نشان داد. تغییرات

جدول ۳- مدل های رگرسیونی پیش‌بینی رنگیزه‌های فتوسنتزی به وسیله عوامل فلورسانس رنگیزه‌ها.

رنگیزه‌های فتوسنتزی	عوامل فلورسانس	همبستگی R square	ضرایب رگرسیونی معادله				مدل Model
			b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	
کلروفیل a	F _v	۰/۴۵۳	۱/۱۱۵	۰/۰۰۳۸۴	.... ns	.... ns	Y = b ₀ +b ₁ X
	F _m	۰/۳۹۸	۴۱/۶۶	-۰/۲۵۱	۵۲×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۰۰	Y = b ₀ +b ₁ X+b ₂ X ² +b ₃ X ³
	F _v /F _m	۰/۲۵۵	-۰/۷۸۶	۴/۴۵۶	.... ns	.... ns	Y = b ₀ +b ₁ X
کلروفیل b	F _v	۰/۴۴۶	۵/۸۹۸	-۰/۰۴۶۳	۱۳×۱۰ ^{-۵}	-۰/۰۰۰	Y = b ₀ +b ₁ X+b ₂ X ² +b ₃ X ³
	F _m	۰/۴۳۲	۱۶/۳۱	-۰/۱۰۰۳	۲۱×۱۰ ^{-۵}	-۰/۰۰۰	Y = b ₀ +b ₁ X+b ₂ X ² +b ₃ X ³
	F _v /F _m	۰/۲۶۵	-۰/۳۷۲	۱/۴۶۶	.... ns	.... ns	Y = b ₀ +b ₁ X
کلروفیل کل	F _v	۰/۵۳۹	۲۱/۹۵	-۰/۱۶۷	۴۶×۱۰ ^{-۵}	-۰/۰۰۰	Y = b ₀ +b ₁ X+b ₂ X ² +b ₃ X ³
	F _m	۰/۵۴۲	۵۷/۹۶	-۰/۳۵۱	۷۳×۱۰ ^{-۵}	-۰/۰۰۰	Y = b ₀ +b ₁ X+b ₂ X ² +b ₃ X ³
	F _v /F _m	۰/۳۰۶	-۱/۱۵۹	۵/۹۲۲	.... ns	.... ns	Y = b ₀ +b ₁ X
کارتنوئیدها	F _v	۰/۴۴۷	۲/۹۶۷	۰/۰۰۵۰۷	.... ns	.... ns	Y = b ₀ +b ₁ X
	F _m	۰/۴۴۵	۲/۲۶۱	۰/۰۰۵۲۱	.... ns	.... ns	Y = b ₀ +b ₁ X
	F _v /F _m	۰/۳۲۰	۰/۲۷۴	۶/۱۳۷	.... ns	.... ns	Y = b ₀ +b ₁ X

صفتی مانند نسبت کلروفیل a به b و فلورسانس اولیه (Fo) که تحت تأثیر تنش رطوبتی و محلول‌پاشی قرار نگرفتند وارد معادلات نشدند.

(Yordanov, 2005). به نظر می‌رسد، نایکسانی عملکرد دانه بین سطوح مختلف تنش رطوبتی ممکن است ناشی از تفاوت عملکرد کوانتومی باشد. تنش با ایجاد اختلال در مسیر انتقال الکترون و تخریب بافت‌های مرتبط با فتوسنتز، گیاه را از استفاده مطلوب از سوبسترا و انرژی باز می‌دارد و موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Paknejad et al., 2007). استفاده از روی با کاهش تاثیرات مخرب تنش

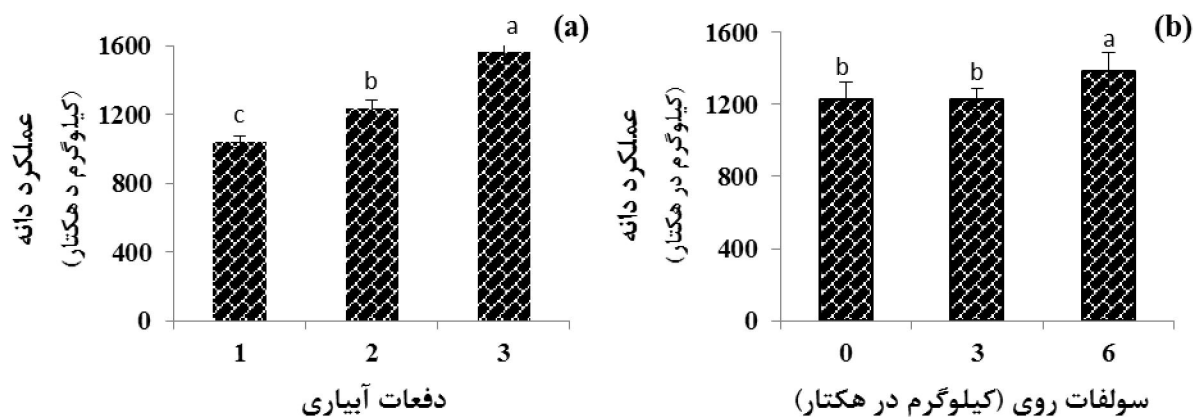
اصولاً مقدار فلورسانس کلروفیل در زمانی که Q_A در حالت احیا باشد، مقدار فلورسانس متغیر (F_v) کاهش و هنگامی که Q_A در حالت اکسید باشد مقدار فلورسانس متغیر (F_v) افزایش خواهد یافت. تنش رطوبتی در جریان انتقال الکترون به فتوسیستم I، در واکنش مربوط به تجزیه آب در فتوسیستم II اختلال ایجاد کرده و از این طریق عملکرد کوانتومی فتوسیستم II را کاهش می‌دهد (Zelato and

کاهش عملکرد نخود، حاصل مجموعه واکنش‌های گیاه در مقابله با تنش بود. میزان کلروفیل به دلیل کاهش سنتز و افزایش تخریب آن از طریق افزایش گونه‌های اکسیژن آزاد کاهش می‌یابد. کلروفیل گیرنده انرژی نوری و مرکز واکنش‌های فتوشیمیایی است و هنگامی که میزان آن کاهش می‌یابد، اولین مرحله تولید با مشکل مواجه می‌شود که نتیجه آن کاهش عملکرد خواهد بود. در این مطالعه نیز مشاهده شد که در طی تنش میزان کلروفیل‌ها کاهش پیدا کرد (شکل ۱).

موجب افزایش میزان کلروفیل‌ها و همچنین بهبود انتقال الکترون شده و از این طریق باعث افزایش عملکرد کوانتومی نخود شد.

عملکرد

عملکرد دانه در سطح یک درصد تحت تأثیر تنش رطوبتی قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد تنش رطوبتی موجب کاهش عملکرد شد، به طوری که بیشترین میزان عملکرد (۱۵۶۱ کیلوگرم در هکتار) از آبیاری تا مرحله غلاف‌دهی (سه بار آبیاری) و کمترین میزان آن (۱۰۴۰ کیلوگرم در هکتار) از یک‌بار آبیاری به دست آمد (شکل ۷، a).



شکل ۷- تأثیر دفعات آبیاری (a) و محلول‌پاشی سولفات روی (b) بر عملکرد دانه نخود

در نتیجه افت شدید عملکرد دانه را سبب می‌گردد (اردکانی و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج پیش‌بینی عملکرد دانه در ارتباط با رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان داد که با افزایش شدت تنش آبی سهم رنگیزه‌ها در پیش‌بینی عملکرد بیشتر می‌شود. همچنین مشاهده شد، بین تغییرات عملکرد دانه و تغییرات رنگیزه‌های فتوسنتزی یک رابطه خطی وجود دارد و در این میان با کارتنوئیدها بالاترین ضریب همبستگی را دارد

دلایل متعدد دیگری نیز در کاهش عملکرد ارایه شده است. به نظر می‌رسد در شرایط خشکی، گیاه از طریق تسریع در مراحل فنولوژیک، قبل از وقوع تنش و مواجهه با خشکی، چرخه زندگی خود را تکمیل کرده و به نوعی از خشکی فرار می‌کند، که این رفتار به کاهش عملکرد در نخود می‌انجامد (Turner et al., 2001). تنش بخصوص در مرحله زایشی، منجر به کاهش ظرفیت مخزن در گیاه شده و

شیخ‌بگلو و همکاران (۱۳۸۸) نیز کاهش تأثیرات تنش توسط روی را گزارش نموده‌اند. سولفات روی به‌عنوان کوفاکتور برای آنزیم‌های کاهش دهنده گونه‌های فعال اکسیژن عمل کرده و از این طریق موجب افزایش پایداری غشا، انباشت متابولیت‌هایی مانند پرولین و قندهای محلول، افزایش غلظت کلروفیل، افزایش فعالیت فسفوانیول پیروات کربوکسیلاز و ریبوز بی فسفات کربوکسیلاز می‌گردد (Ravi et al., 2008) که بر میزان فتوسنتز و عملکرد می‌تواند تأثیر داشته باشد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج مشاهده شد که تنش رطوبتی موجب کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و فلورسانس کلروفیل، شاخص سبزیگی و در نهایت کاهش عملکرد دانه گردید. همچنین محلول پاشی ۶ کیلوگرم در هکتار سولفات روی موجب کاهش اثرات تنش رطوبتی در گیاه شد و منجر به افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و فلورسانس رنگیزه‌ها و افزایش عملکرد گردید. با توجه به پژوهش‌های انجام شده می‌توان استنباط نمود که روی از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌ها و پروتئین‌های آسیب دیده در تنش می‌تواند موجب افزایش فتوسنتز و تولید در گیاه شده و در نهایت به عملکرد بهتر بیانجامد. همچنین نتایج نشان داد در طی تنش خشکی میزان کارتنوئیدها بالاترین سهم را در پیش‌بینی عملکرد به خود اختصاص داد و استفاده از سولفات روی نیز موجب افزایش سهم کارتنوئیدها در پیش‌بینی عملکرد شد. همچنین سبزیگی (شاخص قدرت فتوسنتزی) بیشتر مربوط به میزان کلروفیل a است. در بین عوامل فلورسانس نیز فلورسانس لحظه‌ای بالاترین سهم را در

(جدول ۴). بنابراین کاهش میزان رنگدانه‌ها در طی تنش، موجب کاهش فتوسنتز، کاهش میزان مواد پرورده و در نهایت کاهش عملکرد دانه را موجب می‌شود.

محلول‌پاشی سولفات روی نیز بر افزایش عملکرد دانه موثر بود (جدول ۲). استفاده از ۶ کیلوگرم در هکتار سولفات روی موجب افزایش عملکرد دانه از ۱۲۲۴ به ۱۳۸۴ کیلوگرم در هکتار شد (شکل ۷، b). در آزمایشات بنک (۲۰۰۴) نیز در سویا محلول‌پاشی روی موجب افزایش عملکرد گردید. در مطالعه‌ای تولی و گول‌مزگلو (۲۰۰۴) در مورد لوبیا نشان دادند، محلول پاشی روی و منگنز باعث افزایش عملکرد دانه و موجب کاهش سهم میزان کلروفیل‌ها و افزایش سهم کارتنوئیدها در پیش‌بینی عملکرد دانه می‌شود. به طوری که با عدم مصرف سولفات روی میزان کلروفیل b ($R^2 = 0/882$) دارای بالاترین سهم در پیش‌بینی عملکرد دانه می‌باشد، این در حالی است که در طی مصرف ۶ کیلوگرم سولفات روی در هکتار میزان کارتنوئیدها بالاترین سهم را در پیش‌بینی عملکرد به خود اختصاص داد. همچنین در طی تیمارهای مختلف محلول پاشی، تغییرات میزان رنگیزه‌ها با عملکرد از رابطه خطی تبعیت می‌کند، که این نشان دهنده اهمیت رنگیزه‌های فتوسنتزی بر عملکرد می‌باشد (جدول ۴). هر چند در این مطالعه اثر متقابل مصرف سولفات روی و تنش رطوبتی معنی‌دار نشده است ولی در واقع عنصر روی با کاهش تأثیرات تنش (کاهش میزان کلروفیل، کاهش فتوسنتز، کاهش تولید مواد فراورده و در نهایت کاهش عملکرد) می‌تواند عملکرد را بهبود دهد که در مطالعات

پیش‌بینی میزان کلروفیل a به خود اختصاص داد که ناشی از اهمیت این رنگیزه در واکنش‌های نوری فتوسنتز می‌باشد.

جدول ۴- مدل‌های رگرسیونی پیش‌بینی عملکرد دانه به وسیله رنگیزه‌های فتوسنتزی در تیمار مختلف

مدل Model	ضرایب رگرسیونی معادله				همبستگی R square	رنگیزه‌های فتوسنتزی	دفعات آبیاری
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃			
Y = b ₀ + b ₁ X	۱۳۴۱	-۱۴۴/۷	ns	ns	۰/۰۳۰	کلروفیل a	بار آبیاری
Y = b ₀ + b ₁ X	-۴۲/۳	۱۸۵۳	ns	ns	۰/۳۴۳	کلروفیل b	
Y = b ₀ + b ₁ X	۱۰۵۳	-۴/۸	ns	ns	۰/۰۰	کلروفیل کل	
Y = b ₀ + b ₁ X	۲۰۸۷	-۲۴۶/۳	ns	ns	۰/۳۶۷	کارتنوئیدها	
Y = b ₀ + b ₁ X	۹۰۷/۷	۱۳۵/۳	ns	ns	۰/۱۲۴	کلروفیل a	بار آبیاری
Y = b ₀ + b ₁ X	۱۲۲۶	۱۸/۰	ns	ns	۰/۰۰۰	کلروفیل b	
Y = b ₀ + b ₁ X	۸۰۷/۵	۱۳۹/۳	ns	ns	۰/۱۲۹	کلروفیل کل	
Y = b ₀ + b ₁ X	-۶۹۱	۴۰۶/۵	ns	ns	۰/۲۶۴	کارتنوئیدها	
Y = b ₀ + b ₁ X	۱۳۴۰	۷۶/۵	ns	ns	۰/۰۱۳	کلروفیل a	بار آبیاری
Y = b ₀ + b ₁ X	۱۵۱۲	۵۷/۹	ns	ns	۰/۰۰۱	کلروفیل b	
Y = b ₀ + b ₁ X	۱۱۲۶	۱۱۵/۵	ns	ns	۰/۰۲۱	کلروفیل کل	
Y = b ₀ + b ₁ X	۹۴۱/۶	۱۱۷/۰	ns	ns	۰/۰۷۸	کارتنوئیدها	
Y = b ₀ + b ₁ X	-۳۹۶/۹	۶۹۶/۶	ns	ns	۰/۶۴۷	کلروفیل a	کیلوگرم سولفات- روی
Y = b ₀ + b ₁ X	-۱۵۰/۷	۲۰۲۷	ns	ns	۰/۸۸۲	کلروفیل b	
Y = b ₀ + b ₁ X	-۴۳۹/۸	۵۵۳/۶	ns	ns	۰/۷۷۶	کلروفیل کل	
Y = b ₀ + b ₁ X	-۱۱۱۴	۵۱۲/۱	ns	ns	۰/۳۳۷	کارتنوئیدها	
Y = b ₀ + b ₁ X	۴۹۵/۱	۳۰۵/۴	ns	ns	۰/۴۷۵	کلروفیل a	کیلوگرم سولفات- روی
Y = b ₀ + b ₁ X	۶۸۴/۸	۷۸۹/۶	ns	ns	۰/۴۳۸	کلروفیل b	
Y = b ₀ + b ₁ X	۵۰۳/۲	۲۳۴/۷	ns	ns	۰/۴۹۸	کلروفیل کل	
Y = b ₀ + b ₁ X	-۶۱/۵	۲۶۸/۵	ns	ns	۰/۷۱۴	کارتنوئیدها	
Y = b ₀ + b ₁ X	۴۶۸/۸	۳۴۰/۴	ns	ns	۰/۳۵۷	کلروفیل a	کیلوگرم سولفات- روی
Y = b ₀ + b ₁ X	۵۲۲/۶	۱۱۸۰	ns	ns	۰/۳۸۹	کلروفیل b	
Y = b ₀ + b ₁ X	۹۰/۰	۳۷۸/۵	ns	ns	۰/۵۲۰	کلروفیل کل	
Y = b ₀ + b ₁ X	-۳۲۹/۱	۳۴۸/۸	ns	ns	۰/۶۲۳	کارتنوئیدها	

صفاتی مانند نسبت کلروفیل a به b که تحت تأثیر تنش رطوبتی و محلول‌پاشی قرار نگرفتند وارد معادلات نشدند.

منابع

- سام دلیری، مرتضی، سید شریفی، رئوف و اسماعیل پور، بهرور. ۱۳۸۹. زراعت حبوبات. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، چ ۱، ص ۲۳۲-۲۲۴.
- سرمدنیا، غلام حسین و کوچکی، علیرضا. ۱۳۸۷. جنبه‌های فیزولوژیک زراعت دیم. ترجمه. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- شیخ بگلو، نوشین، حسن زاده، عبدالله، باغستانی، محمد علی و زند، بهنام. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر محلول پاشی عنصر روی بر عملکرد کمی و کیفی ذرت دانه‌ای تحت شرایط تنش آب مقاله ۵، دوره ۲، شماره ۲، صفحه ۵۹-۷۴.
- کریمی، بهروز و فرنی، امین. ۱۳۸۸. بررسی صفات زراعی، عملکرد و اجزای عملکرد ارقام نخود دیم با آبیاری تکمیلی. مجله دانش کشاورزی. دوره ۵، شماره ۱۷: ۹۰-۸۳.
- لطف الهی، محمد، طاهر نظامی، محمد، ستاری، محمد رضا و محمدی، عبدالله. ۱۳۹۲. عملکرد گندم تحت تاثیر بذور غنی شده از روی. مجله زراعت و اصلاح نباتات. جلد ۹. شماره ۳. صفحه ۸۸-۸۱.
- اردکانی، محمدرضا، عباس زاده، بهلول، عصاره، محمدحسن، پاک‌نژاد، فرزاد، کاشانی، علی و لایق حقیقی، معصومه. ۱۳۹۱. بررسی صفات مورفولوژیک، درصد اسانس و برخی از عناصر معدنی موجود در گیاه چند منظوره کافوری (*Camphorosma monspiliaca L.*) دوره ۲۸، شماره ۲، صفحه ۲۶۷-۲۷۹.
- ملکوتی، محمد جعفر و طباطبایی، سید جلال. ۱۳۷۶. تغذیه گیاهان از طریق محلول پاشی. نشریه آموزش کشاورزی. کرج. ۸.
- موحدی دهنوی، علی. ۱۳۸۳. تأثیر محلول پاشی عناصر کم مصرف (روی و منگنز) بر عملکرد کمی و کیفی ارقام مختلف گلرنگ پاییزه تحت تنش خشکی در اصفهان. پایان نامه دکتری. دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ص ۲۱۱.
- وزیری کته‌شوری، سارا، دانشور، ماشاله، سهرابی، اکبر و نظریان فیروزآبادی، فرهاد. ۱۳۹۲. تأثیر مقادیر مختلف فسفر و محلول پاشی آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود زراعی (*Cicer arietinum L.*). مجله به زراعی کشاورزی. دوره ۲۸، شماره ۲، صفحه ۳۰-۱۷.
- بهتاش، فرهاد، طباطبایی، سید. جواد، ملکوتی، محمد جعفر، سرور الدین، حمید. و اوستان، شادی. ۱۳۸۹. اثر روی و کادمیم بر رشد، مقدار کلروفیل، فتوسنتز و غلظت کادمیم در چغندر لبویی. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) جلد ۲۴ شماره ۱
- Arnon DI. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24:1-15.
- Baker NR, Rosenqvist E. 2004. Application of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. Journal of Experimental Botany 55: 1607-1621.

- Banks LW. 2004. Effect of timing of foliar zinc fertilizer on yield component of soybeans. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 22: 116. 226-231
- Bates IS, Waldern RP, Teare ID. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39:205-207
- Behra RK, Mishra PC, Choudhury NK. 2002. High irradiance and water stress induce alterations in pigment composition and chloroplast activities of primary wheat leaves. *Journal Plant Physiology* 159: 967-973.
- Belkhdja R, Morales F, Abadia A, Medrano H, Abadia J. 1999. Effects of salinity on chlorophyll fluorescence and photosynthesis of barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under a triple-line-source sprinkler system in the field. *Photosynthetica* 36 (3): 375-387.
- Bhardway R, Singhal G. 1981. Effect of water stress on photochemical activity of chloroplasts during greening etiolated barleyseedlings. *Plant Cell Physiology* 22 (2): 155-162.
- Dhawan RS, Singh R. 1983. Relative photosynthetic rate of leaves and pods of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars differing in seed weight. *Indian Journal of Plant Physiology* 26: 246-284
- Eshghizade HR, Ehsanzadeh P. 2009. Maize hybrids performance under differing irrigation regimes: chlorophyll fluorescence, growth and grain yield. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. (In press).
- Follows RJ, Boyer JS. 1996. Structure and activity of chloroplasts of sunflower leaves having various water potentials. *Planta* 132: 229-239
- Gadallah MA. 2000. Effect of indole-3-acetic acid and zinc on the growth, osmotic potential and soluble carbon and nitrogen components of soybean plants growing under water deficit. *Journal of Arid Environment* 44: 451-467.
- Ghorbanli M, Niakan M. 2005. Study the effect of drought stress on soluble sugars, protein, proline, phenol compounds and reductase enzyme activity in soybean plants cv. Gorgan 3. *Tarbiat Moallem University Sci Magazin*. 5: 1, 2. 537-550.
- Graham A, Mcdonald GK. 2000. Effects of zinc on photosynthesis and yield of wheat under heat stress. *Australian Agronomy Conference* pp. 27-33.
- Hasegawa RH, Fonseca H, Fancelli AL, Da Silva VN, Schammas EA, Reis TA, Correa B. 2008. Influence of macro and micro nutrient fertilization on fungal contamination and fumonisin production in corn grains. *Food Control*. 19: 36-43.
- Havaux M, Emez M, Lannoye R. 1998. Selection de varietes de ble dur (*Triticum durum* Desf.) et de ble tender (*Triticum aestivum* L.) adapted a la secheresse par I mesure de I extinction of fluorescence de la chlorophylle in viva. *Agronomie* 8(3), 193-199.
- Heuer B. 1994. Osmoregulatory role of proline in water-and salt -stressed plants. pp. 363- 481.
- Jabari F, Ahmadi A, Poustini K, ALizadeh H. 2006. Relationship between some antioxidant enzymes activities and cell memberane and chlorophyll stability in drought tolerant and succetible wheat cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 2(37): 307-316.
- Kaya C, Higgs D. 2002. Response of tomato (*Lycopersicom esculentum* L.) cultivars to foliar application of zinc when grown in sand culture at low zinc. *Scientia Horticulturae*. 93: 53-64.
- Khadem SA, Galavi M, Ramrodi M, Mousavi SR, Rousta MJ, Rezvani-moghadam P. 2010. Effect of animal manure and superabsorbent polymer on corn leaf relative water content, cell

- membrane stability and leaf chlorophyll content under dry condition. *Australian Journal of crop Science* 4 (8):642-647.
- Koyro HW. 2006. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). *Environmental and Experimental Botany* 56: 136-149
- Lichtenthaler HK, Wellburn AR. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions* 11:591-592.
- Lindquist JL, Arkebauer JT, Walters TD, Cassman GK, Dobermann A. 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agronomy Journal* 97: 72-78
- Marschner H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2, Academic Press, London, U.K., Pp. 889.
- Mohsenzade S, Malboobi MA, Razavi K, Farrahi Aschtiani S. 2006. Physiological and molecular responses of *Aeluropus lagopoides* (poaceas) to water deficit. *Environmental and Experimental Botany* 56:374-322.
- Murray DR. 1989. *Biology of fool irradiation*. Research studies press, UK. Esmith, D. S. 1991. Growth responses of corn (*zea mays* L.) to interminating of soil water dificits. *Fild Crops Abstracts* Pp: 237.
- Oweis T, Hachum A, Pala M. 2004. Lentil production under supplemental irrigation in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management* 68:251-265.
- Paknejad F, Majidi heravan E, Noor mohammadi Q, Siyadat A. Vazan, S. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology* 5(4): 162-169.
- Prasad AS. 1984. Discovery and importance of zinc in human nutrition. *Federation proceedings* 43: 2829-2834.
- Ravi S, Channal HT, Hebsur NS, Patil BN, Dharmatti PR. 2008. Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L). *Karnataka Journal of Agricultural Science* 32: 382-385.
- Rout G, Das RP. 2003. Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc. *Agronomie* 23: 3-11
- Sairam RK, Srivastava GC. 2001. Water stress tolerance of wheat *Triticumaestivum*L. Variation in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activiy in tolerant and susceptible genotype. *Journal Agronomy Crop Science* 186: 63-70.
- Sairam RK, Deshmukh PS, Saxna DC. 1998. Role of antioxidant systemes in wheat genotype tolerance to water stress. *Biologia Plantrum* 41(3): 387-394.
- Salam MA, Ahmed S, Shahjahan M, Islam, M. S., Hossain, M. F. 2006. Response of chickpea varieties to different levels of irrigation in High Barind Tract. *International Journal of Agricultural Sustainability* 2: 32-39.
- Shimshi D, Mayoral ML, Atsmond D, 1992. Response to water stress in wheat and related wild species. *Crop Science* 22: 123-128.
- Sunka R, Bartel D, Kirch HH. 2003. Over expression of a stress inducible dehydrogenas gene from *Arabidopsis thaliana* in transgenic plants improves stress tolerance. *The Plant Journal of Agricutuare Science* 32 (1): 73-86.

- Tolay I, Gulmezoglu N. 2004. Effect of Manganese and Zinc Foliar Application on Common Bean. *Plant Soil Environment* 42: 314 -322.
- Turner NC, Wright GC, Siddique KHM. 2001. Adaptation of grain legumes (Pulses) to water limited environments. *Advances in Agronomy* 71: 193-231.
- Welch RM. 1995. Micronutrient Nutrition of Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 14: 49-82.
- Wilson JM, Greaves JA. 1993. Development of fluorescence based screening programs for temperature and water stress in crop plant. In: *Adaptation of food crop to temperature and water stress*. Pp.389-398, AVRDC, Shanhua, Taiwan.
- Yordanov I, Tsonev T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. *Blug J Plant Physiol Special issue*: 189- 206.
- Young AJ. 1991. The photoprotective role of carotenoids in higher plants. *Plant Physiology* 83: 702-708.
- Zelato M, Yordanov 2005. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in Bean plants. Department of physiology and biochemistry, Agricultural, University plovdiv 4000 Plovdiv, Bulgari.

Effect of spraying zinc on photosynthetic pigments and grain yield of chickpea under level different irrigation

N. Dadkhah, A. Ebadi, G. Parmoon*, E. Ghlipoori, S. Jahanbakhsh

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Abstract

In order to study the effect of foliar zinc spraying on photosynthetic pigments and yield of chickpea under water stress conditions, a factorial experiment carried out based on Randomized Completely Block Design (RCBD) with three replications in University of Mohaghegh Ardabili agricultural research station in 2012. The treatments consisted of three levels of irrigation (irrigated at planting, planting + before flowering, planting + before flowering + pod initiation) and three zinc spraying rates (zero, 3 and 6 kg ZnSO₄ ha⁻¹) in two plant growth stages. Results showed that water limitation reduced photosynthetic pigments and grain yield. Applications of 6 kg ZnSO₄ ha⁻¹ effectively reduced adverse effects of drought stress through increasing content of chlorophyll a, total chlorophyll, carotenoids and SPAD index. Chlorophyll fluorescence affected by water stress and Zn. Water stress reduced the instantaneous fluorescence (Fv), maximum fluorescence (Fm) and the quantum yield (Fv/Fm), whereas Zn enhanced instantaneous fluorescence and maximum fluorescence. Zinc application had no significantly effect on the quantum yield. Results also showed, chlorophyll a content had the greatest impact on SPAD index and it had a quadratic correlation with SPAD index. Among the measured photosynthetic pigments, carotenoids content had the highest contribution to the stress in the yield prediction. Also zinc reduced the effect of chlorophyll and increase carotenoid content in yield prediction. Generally zinc spraying improved crop yield by alleviating drought stress and enhancing factors that are effective on the photosynthetic pigments production under the water stress.

Keywords: Chlorophyll a, Maximum fluorescence, Grain yield, Water stress, Photosynthesis