



بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و عملکرد سویا (*Glycine max L.*) از طریق جایگذاری بخشی از نیتروژن با فسفر تحت شرایط تنش رطوبتی

فراست صادقی^۱، و محمدعلی ابوطالبیان^{۲*}

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۲/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲

چکیده

به منظور مطالعه شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و عملکرد سویا تحت تأثیر جایگذاری قسمتی از نیتروژن همراه با فسفر در شرایط تنش رطوبتی، آزمایشی در سال ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینای همدان به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول تنش رطوبتی شامل سه سطح آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A بود که در کرت‌های اصلی قرار داده شد و در کرت‌های فرعی نیز دو عامل نیتروژن (در دو سطح جایگذاری بخشی از نیتروژن با فسفر و مصرف پخشی) و فسفر (در دو سطح جایگذاری و عدم مصرف) به صورت فاکتوریل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که جایگذاری همزمان نیتروژن و فسفر در تمامی سطوح آبیاری اثر معنی‌داری بر روند تغییرات شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت جذب خالص داشت و سبب افزایش آنها شد. تنش رطوبتی منجر به کاهش سرعت رشد محصول گردید. طبق نتایج مورد بررسی، سرعت رشد محصول، در بازه زمانی ۳۵ تا ۴۵ روز پس از کاشت، روند افزایشی خود را در پیش گرفته و ۶۵ روز پس از کاشت به حداکثر میزان خود رسید. بعد از این مرحله سرعت رشد محصول کاهش یافت و در بازه زمانی ۹۵ تا ۱۰۰ روز پس از کاشت به سمت صفر میل نمود. بیشترین تجمع ماده خشک و سرعت رشد محصول از تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر و جایگذاری نیتروژن با فسفر به دست آمد. بر طبق نتایج، جایگذاری نیتروژن با فسفر، اثر منفی تنش رطوبتی را بر شاخص‌های رشد سویا کاهش داد. جایگذاری نیتروژن با فسفر عملکرد دانه را نسبت به مصرف پخشی نیتروژن با فسفر ۱۱/۴ درصد افزایش داد و به ۳۸۵۵/۸ کیلوگرم در هکتار رسانید. در این پژوهش جایگذاری نیتروژن با فسفر در آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر مانع از کاهش معنی‌دار عملکرد روغن نسبت به آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر گردید.

واژگان کلیدی: سرعت رشد، سرعت فتوسنتز خالص، شاخص سطح برگ، عملکرد روغن، ماده خشک.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

مقدمه

بیش از ۹۰ درصد نیاز داخلی کشور به روغن از طریق واردات تأمین می‌شود و قیمت جهانی آن، هر ساله رو به افزایش است (Anonymous, 2017). بنابراین، افزایش تولید گیاهان روغنی و حرکت به سمت خودکفایی در تولید روغن، امری ضروری است. در این راستا گیاه سویا (*Glycine max* L.) با دارا بودن مقادیر بالای روغن و پروتئین، قابلیت بالای هضم روغن آن و وجود اسیدهای چرب غیر اشباع، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Mohammadi et al., 2012). یکی از مهم‌ترین مسایل در بهبود رشد و افزایش عملکرد گیاهان روغنی، تغذیه مناسب و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌باشد. برای بررسی شرایط تغذیه‌ای گیاهان در طول فصل زراعی، می‌توان از تجزیه و تحلیل کمی رشد آنها استفاده نمود. این روش برای توجیه و تفسیر عکس‌العمل‌های گیاه نسبت به شرایط محیطی که گیاه در طول دوره رشد خود با آن مواجه می‌گردد، توصیه می‌شود. با این روش، شناخت بهتری از چگونگی انتقال مواد ساخته شده فتوسنتزی به اندام‌های مختلف و انباشت آنها از طریق اندازه‌گیری ماده خشک تولید شده در طول دوره رشد گیاه به دست می‌آید و با تفسیر آن می‌توان نسبت به بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه اقدام نمود (Rahnema, 2008).

با توجه به این‌که بیش از ۸۲ درصد زمین‌های زراعی ایران در مناطق خشک و نیمه خشک واقع شده است، لذا کمبود رطوبت در این نواحی مهم‌ترین عامل کاهنده عملکرد گیاهان زراعی محسوب می‌شود (Mobini Dehkordi, 2003). تنش رطوبت در هر یک از مراحل مختلف رشد گیاهان موجب کاهش جذب آب و عناصر

غذایی، کاهش نقل و انتقال عناصر در داخل گیاه و نهایتاً کاهش عملکرد دانه یا محصول نهایی می‌شود (Sanchez et al., 2004). تنش خشکی، علاوه بر اثرات منفی بر رشد و عملکرد محصول، بر فرآهمی عناصر غذایی در خاک نیز مؤثر است. به‌ویژه عنصر غذایی فسفر که انتشار آن در خاک، وابستگی زیادی به رطوبت خاک دارد (Turk and Tawaha, 2002). در این بین، شیوه صحیح استفاده از عناصر غذایی می‌تواند در بهبود جذب عناصر غذایی گیاهان تحت تنش رطوبت کمک نماید (Wu et al., 2008). در شرایط کمبود رطوبت خاک، کاهش دسترسی به عناصر غذایی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودیت رشد گیاه به‌شمار می‌آید (Nayyar and Gupta, 2006). در یک تحقیق گزارش شد که کمبود شدید آب در گیاه سویا منجر به کاهش رشد و سطح برگ شده و از این طریق، سرعت رشد نیز کاهش یافت (Pandey et al., 2000). از طرفی در سال‌های اخیر افزایش روزافزون قیمت کودهای شیمیایی در جهان، آلودگی آب‌های زیرزمینی و تخریب ساختمان خاک در اثر مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، ضرورت بازنگری در نحوه مصرف این دسته از نهاده‌های شیمیایی را ایجاد کرده است؛ به‌طوری‌که امروزه استفاده از روش‌های صحیح کوددهی، به‌عنوان راهکاری مؤثر در کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی مطرح شده است (Malakouti, 2014). در روش‌های مرسوم، کودهای پایه نیتروژن و فسفر را در سطح مزرعه پخش و با عمل دیسک‌زنی با خاک مخلوط می‌کنند. با توجه به آهکی و قلیایی بودن اغلب خاک‌های ایران، این روش کارآیی مصرف کودها را به شدت کاهش می‌دهد. بنابراین، یکی از روش‌های کاهش هدرروی کودها این است که آنها را

را افزایش داد (Malmir, 2016). در بررسی شیوه مصرف کود فسفات تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی، گزارش شده است که برهمکنش شیوه مصرف کود×تنش خشکی، اثر معنی‌داری بر سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص ذرت داشت و بیشترین شاخص سطح برگ ذرت از جایگذاری فسفر و آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر حاصل شد. البته در تحقیق مذکور گزارش شده است که در تمام سطوح آبیاری، جایگذاری فسفر نسبت به پخش سطحی، کارایی بهتری بر بهبود شاخص‌های رشد این گیاه داشت (Fakhimipaydar, 2015). همچنین، در یک تحقیق اثر شیوه مصرف کودهای NPK در گیاه ذرت نشان داد که جایگذاری آنها در زمان کاشت و جایگذاری آنها در زیر بذرها، تأثیر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ داشته و این شاخص را افزایش داده است (Maqbool et al., 2016). جایگذاری کودها باعث توسعه سریع‌تر سطح برگ و به تبع آن افزایش جذب آب، عناصر غذایی، نور قابل دسترس و گسترش سریع سطح فتوسنتزی گیاه می‌شود (Ahmad et al., 2002).

در پژوهش حاضر واکنش برخی شاخص‌های فیزیولوژیک رشد سویا به جایگذاری قسمتی از نیتروژن با فسفر در شرایط تنش رطوبت مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار و تابستان سال ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینای همدان (عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۶۹۰ متر از سطح دریا) به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام

به صورت جایگذاری مصرف کرد (Malakouti, 2014). تحقیقات نشان داده است که با کاهش سطح تماس ذرات کودها با خاک، تثبیت آن درون خاک کاهش یافته و کارایی آن افزایش می‌یابد که این امر به‌ویژه در مصرف کودهای فسفره اهمیت بالایی داشته و رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Arai and Sparks, 2007). در بررسی شیوه مصرف کود فسفر، گزارش شد جایگذاری کود نسبت به روش متداول (پخش سطحی) تأثیر بهتری بر جذب عناصر و رشد گیاه کلزا داشت (Wang et al., 2007). از آنجا که فسفر عنصری مهم و پر مصرف در گیاهان است و تحرک آن به‌ویژه در خاک‌های آهکی بسیار کم است، کاهش اسیدیته خاک می‌تواند سبب افزایش جذب آن گردد (Malakouti, 2014). در این راستا در تحقیقات متعدد به توانایی کودهای نیتروژنی در کاهش اسیدیته خاک در محدوده مصرف آنها در خاک، اشاره شده است (Jing et al., 2010). در یک تحقیق گزارش شد که جایگذاری کودهای نیتروژنی (آمونیم) با آزادسازی H^+ منجر به اسیدی شدن ریزوسفر شده و از این طریق باعث افزایش جذب فسفر و عناصر غذایی شده است (Ma et al., 2014). روش جایگذاری کودهای نیتروژنی از جنبه دیگری نیز حایز اهمیت است؛ زیرا گیاه سویا جهت برقراری رابطه همزیستی با باکتری‌های ریزوبیوم در ابتدای فصل رشد به نیتروژن استارتر نیاز دارد و هرچقدر در مراحل اولیه رشد، دسترس گیاه به نیتروژن آغازگر بیشتر باشد نتیجه بهتری خواهد داشت (Walley et al., 2005). در بررسی اثر کود استارتر نیتروژن بر عملکرد سویا گزارش شد که مصرف کود استارتر نیتروژن تحت کاربرد ریزوبیوم، نسبت به مصرف منفرد کود ریزوبیوم، رشد و عملکرد سویا

۳ سانتی‌متری زیر بذر به کار رفت و مابقی به صورت پخشی استفاده شد و در دیگر کرت‌ها تمام ۵۰ کیلوگرم نیتروژن به صورت پخشی در زمان کاشت مصرف شد. مقدار کود نیتروژنی مورد نیاز طبق توصیه آزمایشگاه خاک‌شناسی و بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) تعیین گردید و مقداری که در حالت جایگذاری مصرف شد (۲۰ کیلوگرم در هکتار) بر اساس غلظت آمونیوم قابل تحمل ریشه‌چه گیاهچه‌های گیاهان دانه‌ای تعیین شد (Fageria, 2016). کود فسفات نیز مطابق توصیه آزمایشگاه خاک‌شناسی و نتایج آزمون خاک (جدول ۱) به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل تامین و در کرت‌هایی که مصرف فسفات وجود داشت به صورت جایگذاری در سه سانتی‌متری زیر بذر به کار رفت. بذر مورد کاشت سویا رقم M9 بود. این رقم تیپ رشد نامحدود دارد و نسبتاً زودرس محسوب می‌شود. در این تحقیق از مایه تلقیح حاوی باکتری *Bradyrhizobium japonicum* استفاده و قبل از کاشت با بذرها تلقیح شد. این کود زیستی از مرکز تحقیقات دانه‌های روغنی همدان تهیه گردید، که به شکل مایع بود و در هر میلی‌لیتر آن $10^{11} \times 8/5$ سلول زنده و فعال باکتری وجود داشت. جهت ارزیابی شاخص‌های رشد، ۳۵ روز پس از کاشت به فاصله هر ۱۵ روز یکبار، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب و نمونه‌برداری انجام شد. وزن خشک نمونه‌ها بعد از قرار گرفتن در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت اندازه‌گیری و شاخص سطح برگ نیز از تقسیم سطح برگ‌ها به سطح سایه‌انداز محاسبه شد. در تحقیق حاضر سطح برگ با استفاده از کاغذ شطرنجی تعیین گردید. به منظور تجزیه و تحلیل رشد گیاه از روابط زیر استفاده شد:

شد. فاکتور اول تنش رطوبتی شامل سه سطح آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A بود که در کرت‌های اصلی اعمال شد. در کرت‌های فرعی نیز دو عامل نیتروژن (در دو سطح جایگذاری پخشی از نیتروژن با فسفر و مصرف پخش) و کود فسفر (در دو سطح جایگذاری و عدم مصرف) به صورت فاکتوریل قرار گرفتند. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد که نتایج آن در جدول ۱ ذکر شده است.

هر واحد آزمایشی شامل شش خط کاشت به فاصله‌ی ۵۰ سانتی‌متر و طول پنج متر و تراکم کشت ۴۰ بوته در متر مربع بود. کشت بذرها در دهم خرداد ۱۳۹۶ انجام شد. اعمال تیمارهای مربوط به تنش رطوبتی از مرحله ۴ تا ۶ برگی آغاز شد. برای محاسبه مقدار آب لازم در هر بار آبیاری در تمام تیمارهای تنش رطوبتی از رابطه ۱ استفاده شد و با کنتور حجمی اعمال شد (Mazaheri and Majnon Hoseini, 2001).

$$d = F_c - P_0 / 100 \times A_s \times D \quad \text{رابطه ۱:}$$

در این رابطه d = ارتفاع آب آبیاری، F_c = درصد رطوبت وزنی خاک در مرحله ظرفیت زراعی (۲۸/۵ درصد)، P_0 = درصد رطوبت وزنی خاک در زمان آبیاری، A_s = وزن مخصوص ظاهری خاک (۱/۴۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و D = عمق توسعه یا گسترش ریشه (۴۰ سانتی‌متر) بودند. با ضرب کردن ارتفاع (d) در ۱۰۰، حجم آب مورد نیاز بر حسب مترمکعب در هکتار مشخص شد.

کود نیتروژن به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره استفاده و در کرت‌هایی که تیمار جایگذاری بود، ۲۰ کیلوگرم آن به صورت نواری در

احتمال پنج درصد صورت گرفت. رسم شکل‌ها نیز به کمک نرم‌افزار Excel انجام گردید.

نتایج و بحث

روند تغییرات شاخص سطح برگ

بررسی روند تغییرات شاخص سطح برگ سویا نشان داد که در ابتدای رشد، شاخص سطح برگ با روندی آهسته افزایش یافت اما بعد از گذشت ۸۰ روز پس از کاشت در سطوح آبیاری پس از ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A و بعد از گذشت ۷۵ روز پس از کاشت در سطح آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، گیاه بعد از طی نمودن فاز سریع رشد، سطح برگ خود را به حداکثر رسانده است (شکل ۱). به بیان دیگر، در سطح آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، پیک شاخص سطح برگ، زودتر اتفاق افتاده است که به نظر می‌رسد علت آن کوتاه شدن دوره رشد در تنش آبی شدید باشد (Anjum et al., 2011). در تمامی سطوح آبیاری، مصرف همزمان کود نیتروژن و فسفر نسبت به کاربرد منفرد آنها، تاثیر بیشتری بر افزایش شاخص سطح برگ داشت (شکل ۱). در تحقیق حاضر شاخص سطح برگ در شرایط آبیاری کامل بعد از حداکثر مقدار آن، با شدت بیشتری افت کرد (شکل ۱). به نظر می‌رسد در این حالت به علت ایجاد پوشش گیاهی بسته‌تر نسبت به حالت وجود تنش رطوبت، نور کمتری به قسمت‌های پایینی جامعه گیاهی نفوذ کرده و موجب تسریع در پیری برگ‌ها شده است (Earl and Davis, 2003). کاهش جذب آب، کاهش رشد و فعالیت ریشه، کاسته شدن از کارآیی فتوسنتز در اثر کاهش تبادلات روزنه‌ای (Khan et al., 2017) و کاهش میزان فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی (Molla et al., 2001)، از دلایل اصلی کاهش شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ $LAI = \text{EXP} (a'+b'T+c'T^2$

ماده خشک کل $TDM = \text{EXP} (a+bT+cT^2$

سرعت رشد محصول $CGR = NAR \times LAI$

سرعت رشد نسبی $RGR = b+2cT$

سرعت جذب خالص

$NAR = (b+2cT) \times \text{EXP} [(a-a')+(b-b')T+(c-c')T^2]$

که در این معادله‌ها a, b, c, a', b' و

ضرایب معادله‌های رگرسیونی مربوطه و T زمان بر حسب روز می‌باشد. ضرایب رگرسیونی بر اساس رابطه لگاریتم طبیعی داده‌های وزن خشک و شاخص سطح برگ با روزهای نمونه‌گیری پس از کاشت و مربع آنها به دست آمد. همچنین داده‌های مربوط به پیک منحنی‌های شاخص سطح برگ، وزن خشک کل و سرعت رشد محصول مورد آنالیز و تجزیه واریانس قرار گرفتند. برای آنالیز واریانس سرعت رشد نسبی و سرعت جذب خالص که پیک ندارند، از داده‌های مربوط به روز شصت و پنجم پس از کاشت که مصادف با پیک سرعت رشد محصول بود، استفاده شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه، برداشت از سطح سه متر مربع از هر کرت در ۲۰ مهر انجام شد. برداشت بوته‌ها زمانی صورت گرفت که رنگ آنها کاملاً زرد شده و پس از قطع کامل آبیاری، رطوبت دانه‌ها به‌طور میانگین به حدود ۱۵ درصد رسیده بودند. برای اندازه‌گیری درصد روغن، از هر واحد آزمایشی تعداد ۱۰۰ دانه نمونه‌برداری شد و پس از انتقال به آزمایشگاه، درصد روغن آنها توسط سوکسله اندازه‌گیری شد. عملکرد روغن نیز از حاصل ضرب عملکرد دانه در درصد روغن به دست آمد. تجزیه و تحلیل داده‌ها بعد از اطمینان از نرمال بودن باقیمانده داده‌ها، براساس مدل آماری طرح، با نرم‌افزار SAS Ver. 9.1 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح

گیاهان با تنظیم ترشح هورمون اکسین در ریشه، رشد ریشه را به سمت تجمع کود (محل مصرف کود در روش نواری) هدایت می‌کنند، بنابراین جایگذاری عناصر غذایی کارآیی جذب آنها را افزایش می‌دهد (Giehl *et al.*, 2012). بررسی اثر شیوه مصرف کودها در گیاه ذرت نشان داد که مصرف نواری کودهای NPK در زمان کاشت و جایگذاری آنها در زیر بذرها، افزایش معنی‌داری بر شاخص سطح برگ داشته است (Maqbool *et al.*, 2016).

روند تولید ماده خشک کل

بر اساس نتایج به‌دست آمده، تجمع ماده خشک در گیاه، ۵۰ روز پس از کاشت روند سریع خود را آغاز نموده و در بازه زمانی ۹۰ تا ۱۰۰ روز پس از کاشت، ماده خشک گیاه در بیشترین مقدار خود بود. البته نتایج حاکی است که پیک ماده خشک کل در سطوح آبیاری پس از ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر، ۹۵ روز پس از کاشت و در سطح آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، ۹۰ روز پس از کاشت اتفاق افتاد (شکل ۳). می‌توان اظهار داشت که گیاهان، اغلب در شرایط تنش، سعی دارند تا سیکل زندگی خود را سریع‌تر تکمیل نموده و با کوتاه‌تر شدن دوره رشد، از تنش خشکی اجتناب کنند (Rahnama, 2008). در سطوح مختلف آبیاری، میزان تجمع ماده خشک گیاه در تیمار مصرف نواری نیتروژن با فسفر نسبت به عدم مصرف آنها، با سرعت بیشتری صورت گرفته است. همچنین، در سطوح آبیاری پس از ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر (تنش ملایم و شدید) مصرف همزمان نیتروژن و فسفر نقش مهمی در تقلیل اثر منفی تنش خشکی داشته و به روند تجمع ماده خشک در گیاه، شتاب بخشیده است (شکل ۳). در یک تحقیق ۱۸ ساله که در

در شرایط تنش خشکی می‌باشد. در این زمینه گزارش شده است که کمبود رطوبت از طریق کاهش تولید و افزایش پیری برگ‌ها، شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد (Cakir, 2004).

بیشینه شاخص سطح برگ

بررسی بیشینه شاخص سطح برگ سویا نشان داد که این صفت تحت تأثیر اثرات اصلی، برهمکنش دوگانه تنش رطوبتی×نیتروژن، نیتروژن×فسفر در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش سه‌گانه تنش رطوبتی×نیتروژن×فسفر در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین مقدار این صفت از مصرف نواری نیتروژن، فسفر و آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر حاصل شد و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار عدم مصرف نواری نیتروژن، عدم مصرف فسفر و آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر بود (شکل ۲). در تمامی سطوح آبیاری، مصرف نواری نیتروژن و فسفر به‌صورت همزمان، نسبت به مصرف منفرد آنها، تأثیر معنی‌داری بر افزایش بیشینه شاخص سطح برگ داشت؛ این موضوع به‌ویژه وقتی بیشتر حایز اهمیت است که در هر سه سطح تیمار رطوبتی جایگذاری نیتروژن به همراه فسفات به‌صورت معنی‌داری شاخص سطح برگ بیشینه را نسبت به مصرف فسفات به تنهایی افزایش داده است و در شرایط تنش شدید رطوبت (آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) توانست شاخص سطح برگ بیشینه را به اندازه سطح تنش متوسط رطوبت (آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر) در حالت عدم جایگذاری نیتروژن یا عدم مصرف فسفات حفظ نماید (شکل ۲). بنابراین، به نظر می‌رسد مدیریت صحیح مصرف عناصر غذایی می‌تواند تا حدود قابل توجهی اثر نامطلوب تنش رطوبتی را بر شاخص سطح برگ کاهش دهد.

ماده خشک نیز در تیمار آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و عدم جایگذاری نیتروژن و عدم مصرف فسفر تولید گردید. مصرف همزمان نیتروژن و فسفر به صورت نواری، بیشینه‌ی ماده خشک سویا را افزایش داد. با توجه به شکل ۴ جایگذاری نیتروژن به تنهایی در شرایط عدم تنش رطوبت، ماده خشک بیشینه را در حد مصرف هر دو کود (نیتروژن و فسفر) حفظ نموده است. به نظر می‌رسد علت در بهبود جذب فسفر موجود در خاک بوده باشد که وجود کود نیتروژنه در محدوده ریزوسفر سبب افزایش حلالیت فسفر و سایر عناصر غذایی و گردیده است (Fageria, 2016). همچنین، بهبود تجمع ماده خشک در سطح تنش رطوبتی متوسط (آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر) با جایگذاری همزمان هر دو کود نیتروژنه و فسفره مشهود بود (شکل ۴)، زیرا مقدار ماده خشک بیشینه هم اندازه با سطح عدم تنش رطوبت (آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر) در حالات جایگذاری هر کدام از کودها به تنهایی بود. موضوع دیگر این‌که در دو سطح تنش رطوبتی، آبیاری پس از ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، مصرف همزمان نیتروژن و فسفر، نسبت به کاربرد تکی آنها، افزایش معنی‌داری بر بیشینه ماده خشک تولیدی داشت (شکل ۴). این نتایج حاکی از نقش مؤثر عناصر فسفر و نیتروژن در کاهش شدت تنش رطوبت است. گزارش شده است که مصرف کودهای نیتروژنی با افزایش رشد رویشی و مصرف کودهای فسفاته با گسترش سیستم ریشه‌ای، تجمع ماده خشک در اندام‌هوایی گیاه را بهبود بخشید و منجر به افزایش وزن خشک کل را گردید (Yasari and Patwardhan, 2007). نتایج یک پژوهش بیانگر اثر معنی‌دار شیوه مصرف کود فسفات بر بیشینه ماده خشک تولیدی ذرت در

دانشگاه فلوریدا روی گیاه ذرت انجام شده است، گزارش شد که مصرف نواری کودها از جمله فسفر در زیر بذر، در طول فصل رشد باعث افزایش تولید وزن خشک در اندام هوایی گیاه شد؛ علاوه بر این گزارش شد که مصرف نواری کود فسفر اثر قابل توجهی بر جذب این عنصر غذایی داشته است (Costa et al., 2009). نکته قابل توجه این‌که، در سطح آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر، روند تولید ماده خشک کل گیاه در تیمار مصرف نواری نیتروژن نسبت به مصرف نواری فسفر، با سرعت بیشتری صورت گرفته است اما رفته‌رفته با افزایش شدت تنش، مصرف نواری فسفر نسبت به مصرف نواری نیتروژن پیشی گرفته، به طوری که در سطح آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، مصرف نواری فسفر نسبت به مصرف نواری نیتروژن تأثیر بیشتری در افزایش ماده خشک کل داشته است. به نظر می‌رسد دلیل این امر اهمیت فسفر در گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه به‌ویژه در شرایط تنش خشکی باشد. در واقع مصرف فسفر منجر به رشد مناسب سیستم ریشه‌ای گیاه می‌شود و لذا گیاه در شرایط تنش خشکی توانسته آب و مواد غذایی را بهتر جذب نماید (Khan et al., 2007).

بیشینه ماده خشک کل

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲)، بیشینه ماده خشک کل تحت تأثیر اثرات اصلی فاکتورهای مورد بررسی، برهمکنش‌های دوگانه تنش × نیتروژن، تنش × فسفر در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش سه‌گانه تنش × نیتروژن × فسفر در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها بیانگر این است که تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر و مصرف نواری نیتروژن با فسفر، بیشترین ماده خشک را در واحد سطح تولید نمود. کمترین

نشان داد که تأمین بهتر عناصر غذایی نیتروژن و فسفر با جایگذاری کودها به صورت نواری می‌تواند از دلایل افزایش سرعت رشد محصول در سطوح مختلف آبیاری باشد که با نتایج محمود و همکاران (Mahmood *et al.*, 2009) مطابقت داشت.

بیشینه سرعت رشد محصول

تجزیه واریانس بیشینه سرعت رشد محصول نشان داد که این صفت در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثرات اصلی فاکتورها، برهمکنش‌های دوگانه تنش×نیتروژن، تنش×فسفر و برهمکنش سه‌گانه تنش×نیتروژن×فسفر قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های بیشینه سرعت رشد محصول بیانگر اثر هم‌افزایی مصرف نواری نیتروژن با فسفر بود (شکل ۶). نتایج گویای این مطلب بود که بیشینه سرعت رشد محصول در تیمار مصرف نواری نیتروژن و مصرف نواری فسفر نسبت به عدم مصرف کود بیشتر و نسبت به مصرف همزمان آنها کمتر بود. همچنین، نتایج نشان داد که در آبیاری پس از ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر، مصرف نواری نیتروژن تفاوت معنی‌داری با مصرف نواری فسفر نداشت اما در آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، مصرف نواری فسفر نسبت به مصرف نواری نیتروژن اثر مثبت بیشتر و معنی‌داری بر افزایش بیشینه سرعت رشد محصول داشت (شکل ۶). مقایسه تیمارها نشان داد که به‌طور کلی، تنش رطوبتی منجر به کاهش سرعت رشد محصول شده و مصرف نواری کودها به‌ویژه مصرف همزمان آنها، توانسته تا حدودی اثرات منفی تنش خشکی را خنثی نماید. در بررسی برهمکنش اثر آبیاری و روش مصرف کودهای نیتروژن و فسفر، گزارش شد که تحت شرایط کم آبیاری (۵۰ درصد نیاز گیاه) مصرف نواری کودها نسبت به روش متداول (پخش

شرایط تنش رطوبتی بود؛ که علت افزایش، دسترسی بیشتر ریشه به فسفر و کاهش میزان تثبیت آن در خاک بیان شده است (Fakhimipaydar, 2015).

روند تغییرات سرعت رشد محصول

طبق نتایج مورد بررسی، سرعت رشد محصول، در بازه زمانی ۳۵ تا ۴۵ روز پس از کاشت، روند افزایشی خود را در پیش گرفته و ۶۵ روز پس از کاشت به حداکثر میزان خود می‌رسد. بعد از این مرحله، سرعت رشد محصول کاهش یافت و در بازه زمانی ۹۵ تا ۱۰۰ روز پس از کاشت به سمت صفر میل نمود (شکل ۵). زیرا گیاه در این مرحله از رشد به جای تولید مواد جدید، بیشتر به انتقال مواد می‌پردازد و در مرحله رسیدگی دانه‌ها، برگ‌ها زرد شده و ریزش می‌کنند که سبب از بین رفتن فتوسنتز و منفی شدن سرعت رشد محصول می‌گردند (Daneshian, 2000). اعمال تنش متوسط (آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر) و شدید (آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) باعث شد تا سرعت رشد محصول با شتاب کمتری به نقطه بیشینه‌ی خود برسد. از دلایل کاهش سرعت رشد گیاه در شرایط تنش، اختلال در فعالیت روزنه‌ها (Khan *et al.*, 2007)، فعالیت کمتر آنزیم روبیسکو، تولید گونه‌های فعال اکسیژن در اثر میزان پایین تنظیم فعالیت فتوسیستم II و ایجاد اختلال در جذب عناصر به‌علت کاهش فعالیت‌های آنزیمی مرتبط با جذب عناصر اشاره کرد (Liu *et al.*, 2007). در تحقیق دیگری، اثر تنش خشکی بر شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول معنی‌دار گزارش و اظهار گردید که تنش خشکی باعث افت شدید سطح برگ و کاهش سرعت رشد محصول گردید (Fakhimipaydar, 2015). نتایج پژوهش حاضر

سه‌گانه تنش \times نیتروژن \times فسفر تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر سرعت رشد نسبی سویا داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین سرعت رشد نسبی سویا تحت تأثیر برهمکنش سه‌گانه فاکتورهای مورد بررسی بیانگر این نکته بود که مصرف همزمان نیتروژن و فسفر به‌صورت نواری در آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر و عدم مصرف این کودها در آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، به‌ترتیب بیشترین و کمترین سرعت رشد نسبی سویا را در پی داشته است (شکل ۸). نتایج به‌دست آمده مشابه سایر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد مثل شاخص سطح برگ و ماده خشک کل بود (شکل‌های ۲ و ۴). محققین گزارش کردند که سرعت رشد نسبی گیاه ذرت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شیوه مصرف کود فسفر و سطوح مختلف تنش خشکی قرار می‌گیرد و با افزایش شدت تنش، از مقدار این صفت کاسته می‌شود. همچنین، مصرف نواری فسفر نسبت به پخش آن در سطح خاک نیز با بهبود شرایط جذب، سرعت رشد نسبی گیاه ذرت را افزایش داد (Fakhimipaydar, 2015).

روند تغییرات سرعت جذب خالص

نتایج به‌دست آمده در مورد روند تغییرات سرعت جذب خالص نشان داد که در اوایل فصل رشد، این شاخص در بیشترین مقدار خود بود و ۵۵ روز پس از کاشت، روند نزولی آن با سرعت بیشتری طی شد و در بازه زمانی ۹۵ تا ۱۰۰ روز پس از کاشت، مقدار آن به صفر میل کرده است. پس از آن نیز مقادیر سرعت رشد خالص، منفی شد (شکل ۹)؛ به این معنی که فتوسنتز خالص گیاه از مقدار تنفس و هزینه نگهداری گیاه کمتر بوده است (Rahnama, 2008).

سطحی) تأثیر بهتری بر جذب عناصر و رشد گیاه کلزا داشت (Wang et al., 2007). همچنین، نتایج یک تحقیق نشان داد که بین میزان جذب فسفر در ریشه و محتوی نیتروژن اندام هوایی رابطه مستقیمی وجود دارد. بنابراین، در روش نواری، جذب نیتروژن و فسفر بهبود یافته (Jin et al., 2006) و منجر به افزایش سرعت رشد محصول شده است.

روند تغییرات سرعت رشد نسبی

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مقدار این شاخص در طول فصل رشد همواره سیر نزولی داشت و به‌طور تقریبی ۹۵ روز پس از کاشت، سرعت رشد نسبی گیاه به سمت صفر میل نمود (شکل ۷) و پس از آن مقدار منفی شد. به نظر می‌رسد که در تنش خشکی شدید، گیاهان برای کسب آب و عناصر غذایی در دوره زمانی بیشتری از فصل رشد رقابت داشته‌اند و در نتیجه میزان فتوسنتز خالص و در نهایت سرعت رشد نسبی کاهش بیشتری نسبت به آبیاری مطلوب داشته است. از طرفی، سیر نزولی سرعت رشد نسبی در سطوح مختلف آبیاری در تیمار مصرف همزمان نیتروژن و فسفر، شیب بیشتری داشت که به نظر می‌رسد دلیل آن این است که در این تیمارها، گیاه سطح برگ بیشتری در هر بوته تولید نموده و با افزایش سایه‌اندازی، برگ‌های پایینی در سایه قرار گرفته و روند نزولی سرعت رشد نسبی با شیب بیشتری، سپری شده است (Rahnama, 2008).

سرعت رشد نسبی در زمان بیشینه

سرعت رشد محصول

جدول تجزیه واریانس صفات مورد بررسی نشان داد که اثر اصلی فاکتورها، برهمکنش‌های دوگانه تنش \times نیتروژن، تنش \times فسفر و برهمکنش

(Mascagni and Bubba Bell, 2007). همچنین، نتایج تحقیق دیگر، بیانگر اثر معنی‌دار مصرف فسفر بر سرعت رشد خالص در گیاه سویا بود. در این تحقیق گزارش شده است که سرعت جذب خالص، سرعت رشد نسبی و سرعت رشد محصول در سویا، واکنش مثبت و معنی‌داری به مصرف فسفر نشان داد (Mahmood et al., 2009).

عملکرد دانه

افزایش عملکرد محصول نتیجه بهبود در شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد است (Rahnama, 2008). مطابق نتایج تجزیه واریانس، اثرات اصلی تنش رطوبتی و جایگذاری نیتروژن و فسفر در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه سویا معنی‌دار شد. همچنین برهمکنش تنش رطوبتی با جایگذاری نیتروژن و برهمکنش تنش رطوبتی با مصرف فسفر در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش جایگذاری نیتروژن با مصرف فسفر در سطح احتمال پنج درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه تحت تأثیر برهمکنش تنش رطوبت و نیتروژن نشان داد در تمامی سطوح تنش رطوبتی، جایگذاری نیتروژن، عملکرد دانه سویا را افزایش داد. به طوری که، در سطوح آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، جایگذاری نیتروژن نسبت به مصرف پخشی آن عملکرد دانه را به ترتیب ۲۸، ۱۳/۸ و ۲۰ درصد زیاد کرد (شکل ۱۱). از آنجا که گیاهان خانواده بقولات از جمله سویا، توانایی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن را دارا هستند، به نظر می‌رسد با جایگذاری نیتروژن، همزیستی ریشه سویا با باکتری‌های برادی‌ریزوبیوم به خوبی شکل گرفته است (Jin et al., 2006). در مطالعات دیگری مصرف نیتروژن به‌عنوان کود آغازگر در ابتدای فصل ضروری گزارش شده است (Zimmer

سرعت جذب خالص هنگام پیشینه

سرعت رشد محصول

سرعت جذب خالص در روز شصت و پنجم پس از کاشت، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر اصلی فاکتورها، برهمکنش‌های دوگانه تنش × نیتروژن، تنش × فسفر و برهمکنش سه‌گانه تنش × نیتروژن × فسفر قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین سرعت رشد خالص از تیمار مصرف همزمان نیتروژن و فسفر به‌صورت نواری و آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر حاصل شد که با مصرف نواری نیتروژن در همین سطح آبیاری، تفاوت معنی‌داری نداشت. در سطوح آبیاری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، مصرف نواری نیتروژن و مصرف نواری فسفر در یک گروه آماری قرار داشتند اما نسبت به عدم مصرف کود، تفاوت معنی‌داری داشتند (شکل ۱۰).

مصرف کودهای فسفوره به‌ویژه به‌روشنواری و در همراهی با مصرف نیتروژن می‌تواند نقش مهمی در کاهش اثرات منفی تنش‌های محیطی ایفا کند که نتایج این تحقیق نیز گویای همین امر بود. عنصر نیتروژن نقش کلیدی در فرآیند فتوسنتز و رشد گیاه دارد. طبیعی است که فرآهمی این عنصر غذایی از طریق مصرف نواری، تحت شرایط تنش‌های خشکی، می‌تواند به بهبود رشد گیاه کمک نموده و از کاهش سرعت جذب خالص در گیاه تا حدودی جلوگیری کند. به‌طور کلی، با افزایش شدت تنش خشکی، سرعت جذب خالص گیاه کاهش یافت. کاهش شاخص فتوسنتز خالص تحت تأثیر تنش خشکی در گندم نیز گزارش شده است (Wang et al., 2015). در یک آزمایش مزرعه‌ای مصرف نواری کود نسبت به روش متداول کوددهی، اثر معنی‌داری بر رشد ذرت داشته و عملکرد دانه گیاه را افزایش داد.

این طریق نیز باعث افزایش جذب فسفر و عناصر ریزمغذی روی و آهن می‌شوند (Ma et al., 2014).

درصد و عملکرد روغن

طبق نتایج جدول ۲ درصد و عملکرد روغن سویا تحت تاثیر اثرات اصلی در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش سه گانه تنش رطوبتی، جایگذاری نیتروژن و فسفر در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین درصد روغن از تیمار آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و مصرف نواری نیتروژن و فسفر (۲۴/۶۶ درصد) به‌دست آمد که با تیمار آبیاری ۹۰ میلی‌متر و جایگذاری نیتروژن و فسفر تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۱۴). در تمامی سطوح آبیاری مصرف همزمان و یا منفرد نیتروژن جایگذاری شده و فسفر نسبت به عدم مصرف آنها (تیمار شاهد) تأثیر معنی‌داری بر افزایش درصد روغن داشتند. در سطوح آبیاری پس از ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، جایگذاری نیتروژن و فسفر به‌صورت همزمان نسبت به مصرف فسفر به‌تنهایی، درصد روغن دانه‌ها را به‌ترتیب ۱۴/۸ و ۲۲/۵ درصد افزایش داد. تنش خشکی با کاهش وزن دانه سبب می‌شود که حجم بیشتری از دانه به روغن یا پروتئین اختصاص یابد (Jin et al., 2006). کمترین درصد روغن (۱۷/۲۴ درصد) نیز از تیمار آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر و عدم مصرف نواری نیتروژن و فسفر به‌دست آمد.

نتایج مقایسه میانگین‌های عملکرد روغن با درصد روغن متفاوت بود؛ بیشترین عملکرد روغن (۹۹۶/۶ کیلوگرم در هکتار) از تیمار آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر و مصرف همزمان نیتروژن نواری و فسفر حاصل شد (شکل ۱۵). با در نظر گرفتن این که عملکرد روغن حاصل‌ضرب عملکرد دانه در

(et al., 2016). مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه سویا تحت تأثیر برهمکنش تنش رطوبتی و فسفر نیز نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد دانه سویا از تیمار آبیاری ۶۰ میلی‌متر و مصرف نواری فسفر به‌دست آمد (شکل ۱۲). عنصر غذایی فسفر، نقش مهمی در نقل و انتقالات انرژی و فرآیندهای متابولیسمی گیاه دارد. همچنین، این عنصر به بهبود رشد ریشه‌ها کمک می‌کند (Tariq et al., 2011). با توجه به شکل ۱۲، مصرف نواری فسفر در سطوح آبیاری ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر به‌ترتیب سبب افزایش ۹، ۲۳ و ۱۶/۸ درصدی عملکرد شد که با نتایج مربوط به شاخص‌های فیزیولوژیکی مطابقت دارد. بنابراین، به‌نظر می‌رسد تیمار جایگذاری، کاهش جذب این عنصر را در شرایط کمبود رطوبت تا حد قابل توجهی جبران می‌کند (Malakouti, 2014). بر همین اساس، در یک آزمایش گلخانه‌ای گزارش شده است که مصرف کود فسفات به‌میزان ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، تحمل دو رقم سویای مورد بررسی به تنش خشکی را بهبود بخشید و عملکرد دانه آنها را افزایش داد (Jin et al., 2006).

مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه سویا تحت تأثیر برهمکنش نیتروژن و فسفر نیز نشان داد که جایگذاری همزمان این عناصر غذایی تأثیر مثبتی در افزایش عملکرد دانه داشت و نسبت به مصرف نیتروژن به‌تنهایی ۱۰/۵ درصد و فسفر به‌تنهایی ۱۱/۴ درصد عملکرد دانه را افزایش داد (شکل ۱۳). در واقع کاربرد نواری کودهای فسفات و نیتروژنی با تحریک رشد ریشه و بهبود میزان همزیستی ریشه سویا با باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن، جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهد. از طرف دیگر، کودهای نیتروژنی با آزادسازی H^+ منجر به اسیدی شدن ناحیه ریزوسفر شده و از

متعادل آن می‌تواند تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه و به تبع آن عملکرد روغن داشته باشد، به‌ویژه در مورد لگوم‌ها که می‌تواند به‌عنوان آغازگر سبب شکل‌گیری همزیستی مطلوب باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن با ریشه گیاه باشد. گزارش شده است که عنصر فسفر نقش مهمی در تولید و افزایش روغن در رقم‌های مختلف سویا دارد (Win *et al.*, 2010).

نتیجه‌گیری کلی

یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که جایگذاری نیتروژن با فسفر در شرایط تنش شدید رطوبت (آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) توانست شاخص سطح برگ را در حد تنش متوسط (آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر) حفظ کند و در شرایط تنش متوسط از کاهش معنی‌دار تجمع ماده خشک، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت جذب خالص نسبت به شرایط عدم تنش (آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر) ممانعت نماید و در نهایت منجر به ثبات عملکرد دانه و مانع کاهش معنی‌دار عملکرد روغن در شرایط تنش متوسط رطوبت گردید.

درصد روغن آن می‌باشد، می‌توان اظهار داشت که علت اصلی بالا بودن عملکرد روغن در ترکیب تیماری یاد شده، بالا بودن عملکرد دانه آن می‌باشد. کمترین عملکرد روغن (۴۰۴/۸ کیلوگرم در هکتار) نیز مربوط به تیمار آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و مصرف پخش نیتروژن و عدم کاربرد فسفر بود (شکل ۱۵) که نشان‌دهنده این است که عدم شرایط مناسب تغذیه‌ای نه‌تنها درصد روغن دانه‌ها را کاهش داده است؛ بلکه با کاهش عملکرد دانه، عملکرد روغن نیز کاهش یافته است. در پژوهش حاضر عملکرد روغن در حالت جایگذاری نیتروژن با فسفر نسبت به مصرف فسفر به‌تنهایی فقط در سطح آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر افزایش معنی‌داری نشان داد، البته آنچه مسلم است این‌که جایگذاری و کاربرد همزمان دو کود نیتروژنی و فسفره سبب شد که عملکرد روغن در هر دو سطح تنش رطوبتی (آبیاری پس از ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) در حد عملکرد روغن در تیمار عدم تنش رطوبت (آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر) در حالت مصرف هر کدام از کودها، حفظ شود (شکل ۱۵). نیتروژن نقش مهمی در فرآیندهای گیاهی داشته و مصرف

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

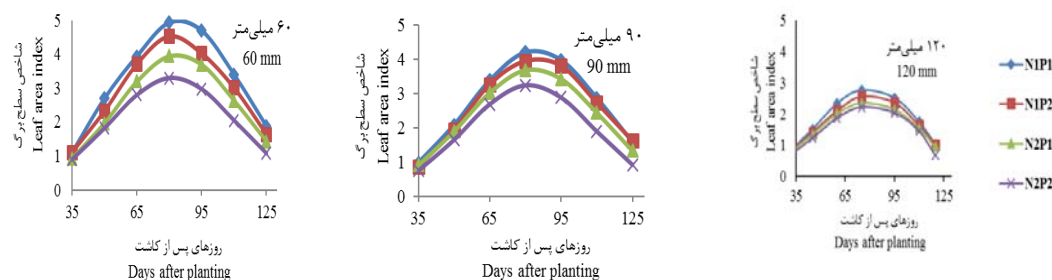
Table 1- Soil characteristics

کربن آلی Organic carbon (%)	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity (dS/m)	پ اچ pH	نیتروژن کل Total Nitrogen (%)	پتاسیم Potassium (mg/kg)	فسفر Phosphorus (mg/kg)	بافت خاک Soil texture	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)
0.72	0.409	7.9	0.01	160	6.1	Sandy loam	60	25	14

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های رشد سویا تحت تأثیر مصرف نوری نیتروژن با فسفر تحت تنش خشکی
Table 2 - The results of analysis of variance of soybean growth indices affected by nitrogen placement with phosphorus under drought stress

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات Mean squares							
		بیشینه شاخص Maximum leaf area index	بیشینه وزن خشک کل Maximum total dry weight	بیشینه سرعت رشد محصول Maximum crop growth rate	نسبی سرعت رشد Relative growth rate	سرعت جذب خالص Net assimilation rate	عملکرد دانه Grain yield	درصد روغن Oil percent	عملکرد روغن Oil yield
بلوک Block	2	1.38 **	21861.93 *	76.75 **	0.00395**	20.18 **	7097.30 ns	5.28 ns	354.34**
تنش Stress (S)	2	4.37 **	99383.84 **	89.53 **	0.00432**	19.79 **	37863.69**	2.79 ns	1064.2**
خطای اصلی Main error	4	0.04	1695.96	1.18	0.000003	0.04	1788.26	1.87	21.34
نیتروژن Nitrogen (N)	1	4.61 **	71986.49 **	71.98 **	0.00005**	27.27 **	36207.84**	35.44 **	3330.3 **
فسفر Phosphorus (P)	1	4.26 **	61205.7**	76.97 **	0.00007**	47.20 **	33224.78**	71.44 **	4552.4**
S × N	2	0.45 **	11200.14 **	8.89 **	0.00002**	2.30 **	2364.85 **	0.67 ns	123.6**
S × P	2	0.01 ns	2738.39 ns	2.45 **	0.000024*	1.50 **	5133.72 **	4.85 ns	366.34 **
N × P	1	0.09 *	791.84 ns	0.28 ns	0.000004ns	0.62 **	1592.57*	2.26 ns	214.19**
S × N × P	2	0.11 *	4850.52 *	6.35 **	0.00003**	11.12 **	558.22 ns	6.89 *	49.21 *
خطای فرعی Second error	18	0.01	949.02	0.26	0.000004	0.05	385.01	1.93	9.59
ضریب تغییرات C.V. (%)		3.89	6.59	4.08	4.91	5.90	5.84	7.25	4.15

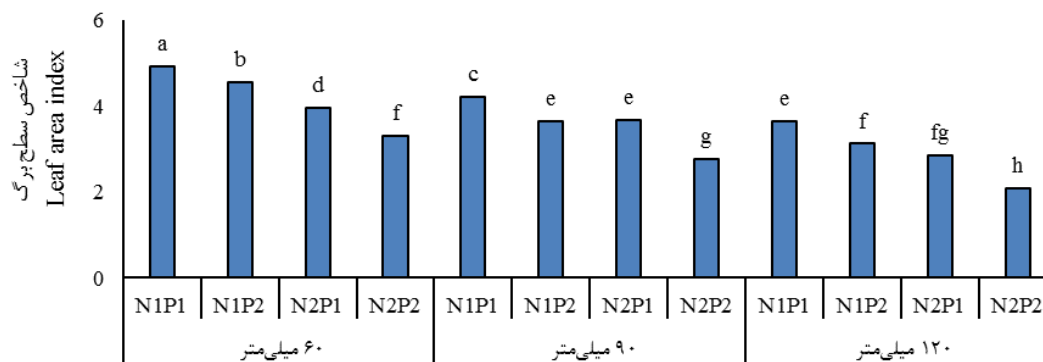
ns, * و **: به ترتیب نشان دهنده‌ی عدم معنی‌دار بودن و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱٪ است.
ns, * and **: Non significant and significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ سویا تحت تأثیر مصرف نواری نیتروژن با فسفر در سطوح مختلف تنش رطوبت (N1: جایگذاری

نیتروژن، N2: مصرف پخش نیتروژن و P1: جایگذاری فسفر، P2: عدم مصرف فسفر)

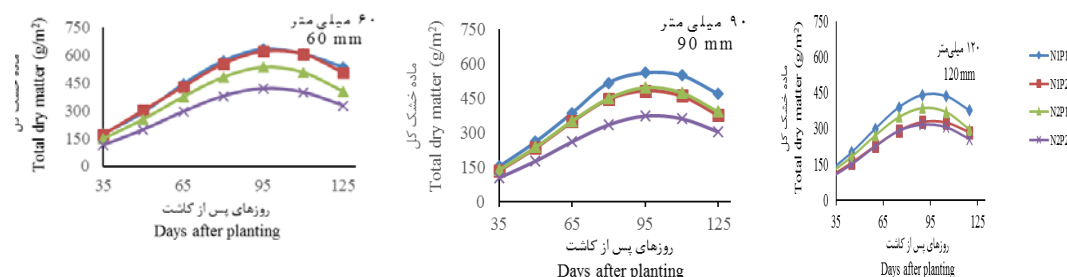
Figure 1- The trend of changes in soybean leaf area index was affected by nitrogen-phosphorus application at different levels of moisture stress (N1: nitrogen placement, N2: no nitrogen placement and P1: phosphorus placement, P2: no use of phosphorus)



شکل ۲- بیشینه شاخص سطح برگ سویا تحت تاثیر برهمکنش تنش رطوبتی، نیتروژن و فسفر

(N1: جایگذاری نیتروژن، N2: مصرف پخش نیتروژن و P1: جایگذاری فسفر، P2: عدم مصرف فسفر)

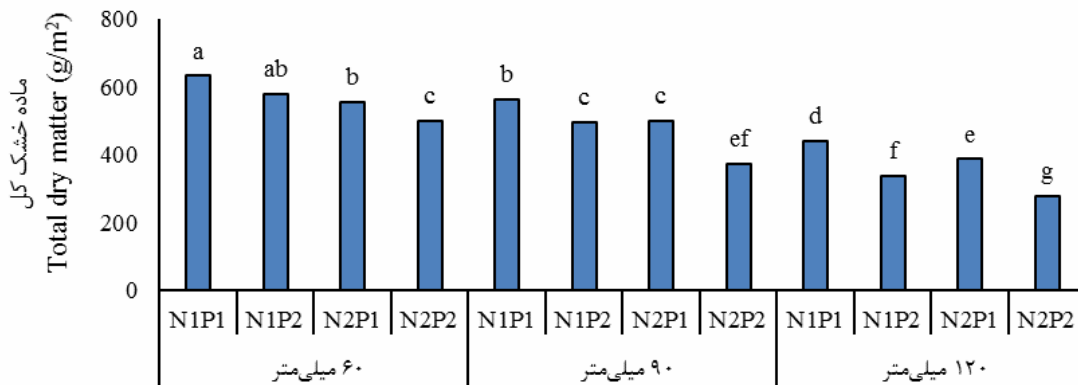
Figure 2 - Maximum leaf area index of soybean was affected by interaction of moisture stress, nitrogen and phosphorus (N1: nitrogen placement, N2: no nitrogen placement and P1: phosphorus placement, P2: no phosphorus application)



شکل ۳- روند تجمع ماده خشک کل سویا تحت تأثیر مصرف نواری نیتروژن با فسفر در سطوح مختلف تنش رطوبت (N1:

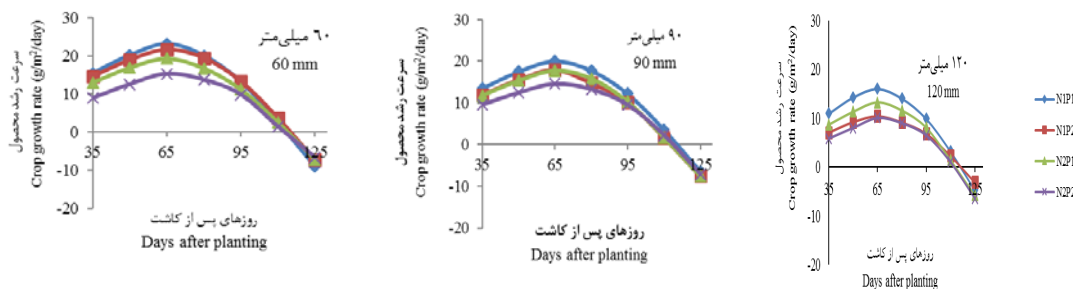
جایگذاری نیتروژن، N2: مصرف پخش نیتروژن و P1: جایگذاری فسفر، P2: عدم مصرف فسفر)

Figure 3- The trend of changes in soybean total dry matter was affected by nitrogen-phosphorus application at different levels of moisture stress (N1: nitrogen placement, N2: no nitrogen placement and P1: phosphorus placement, P2: no use of phosphorus)



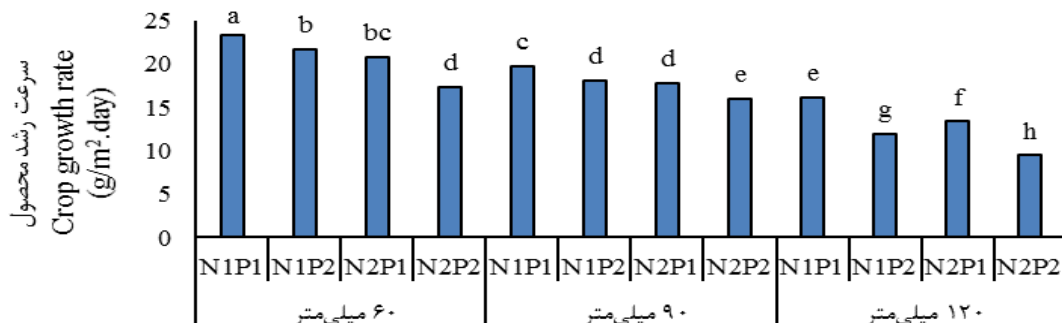
شکل ۴- بیشینه ماده خشک کل سویا تحت تاثیر برهمکنش تنش رطوبتی، نیتروژن و فسفر (S1, S2 و S3 به ترتیب آبیاری بعد از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، N1: جایگذاری نیتروژن، N2: مصرف پخش نیتروژن و P1: جایگذاری فسفر، P2: عدم مصرف فسفر)

Figure 4- Maximum of total dry matter of soybean was affected by interaction of moisture stress, nitrogen and phosphorus (S1, S2 and S3 irrigation after 60, 90 and 120 mm evaporation respectively, N1: nitrogen placement, N2: no nitrogen placement and P1: phosphorus placement, P2: no phosphorus application)



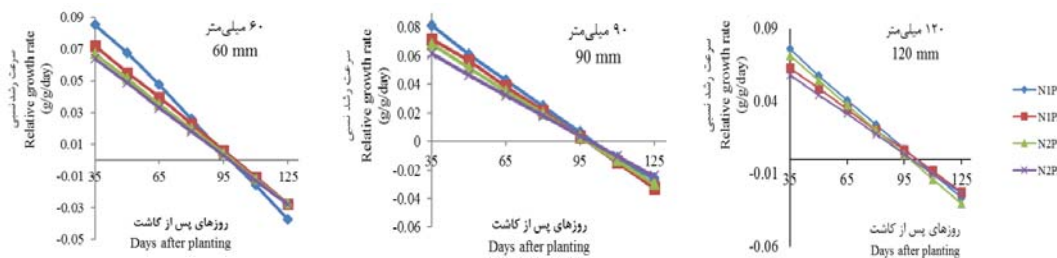
شکل ۵- روند تغییرات سرعت رشد سویا تحت تاثیر مصرف نواری نیتروژن با فسفر در سطوح مختلف تنش رطوبت (N1: جایگذاری نیتروژن، N2: مصرف پخش نیتروژن و P1: جایگذاری فسفر، P2: عدم مصرف فسفر)

Figure 5- The trend of changes in soybean crop growth rate was affected by nitrogen-phosphorus application at different levels of moisture stress (N1: nitrogen placement, N2: no nitrogen placement and P1: phosphorus placement, P2: no use of phosphorus)



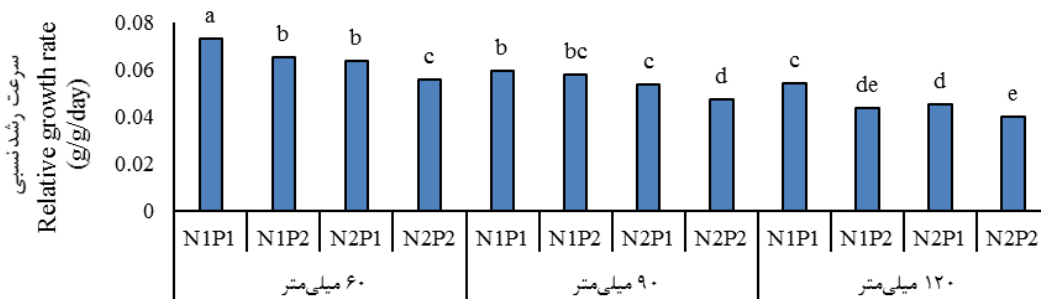
شکل ۶- بیشینه سرعت رشد محصول سویا تحت تاثیر برهمکنش تنش رطوبتی، نیتروژن و فسفر (N1: جایگذاری نیتروژن، N2: مصرف پخش نیتروژن و P1: جایگذاری فسفر، P2: عدم مصرف فسفر)

Figure 6- Maximum of crop growth rate of soybean was affected by interaction of moisture stress, nitrogen and phosphorus (N1: nitrogen placement, N2: no nitrogen placement and P1: phosphorus placement, P2: no phosphorus application)



شکل ۷- روند تغییرات سرعت رشد نسبی سویا تحت تأثیر مصرف نواری نیتروژن با فسفر در سطوح مختلف تنش رطوبت (N1: جایگذاری نیتروژن، N2: مصرف پخش نیتروژن و P1: جایگذاری فسفر، P2: عدم مصرف فسفر)

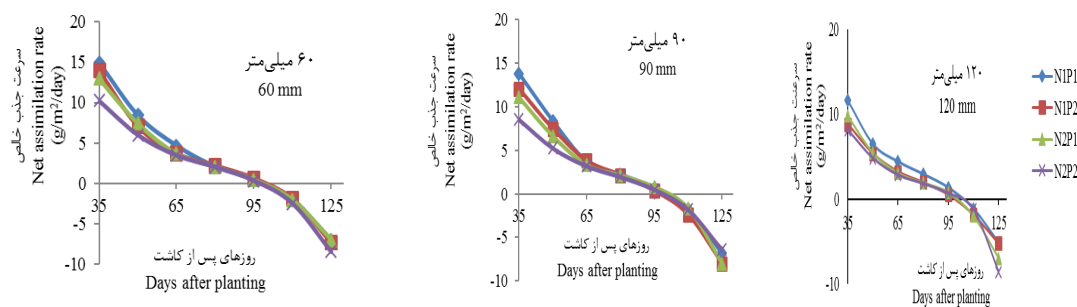
Figure 7- The trend of changes in soybean relative growth rate was affected by nitrogen-phosphorus application at different levels of moisture stress (N1: nitrogen placement, N2: no nitrogen placement and P1: phosphorus placement, P2: no use of phosphorus)



شکل ۸- سرعت رشد نسبی سویا (هنگام بیشینه بودن سرعت رشد محصول) تحت تأثیر برهمکنش تنش رطوبتی، نیتروژن و فسفر

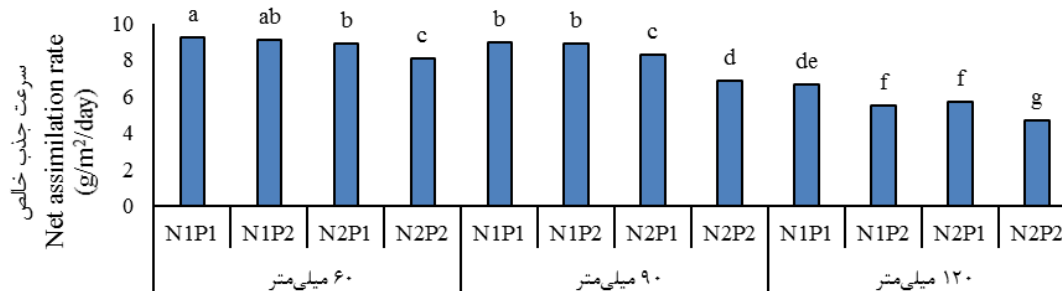
(N1: جایگذاری نیتروژن، N2: مصرف پخش نیتروژن و P1: جایگذاری فسفر، P2: عدم مصرف فسفر)

Figure 8- Soybean relative growth rate (at time of maximum crop growth rate) was affected by the interaction of moisture stress, nitrogen and phosphorus (N1: nitrogen placement, N2: no nitrogen placement and P1: phosphorus placement, P2: no use of phosphorus)



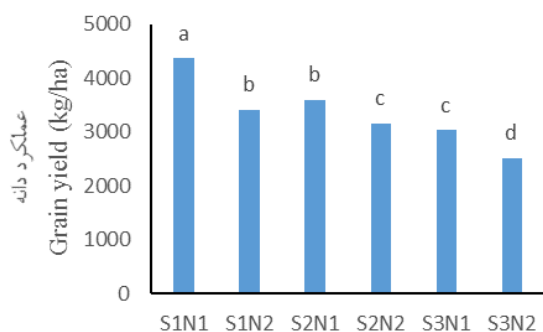
شکل ۹- روند تغییرات سرعت جذب خالص سویا تحت تأثیر مصرف نواری نیتروژن با فسفر در سطوح مختلف تنش رطوبت (N1: جایگذاری نیتروژن، N2: مصرف پخش نیتروژن و P1: جایگذاری فسفر، P2: عدم مصرف فسفر)

Figure 9- The trend of changes in soybean net assimilation rate was affected by nitrogen-phosphorus application at different levels of moisture stress (N1: nitrogen placement, N2: no nitrogen placement and P1: phosphorus placement, P2: no use of phosphorus)



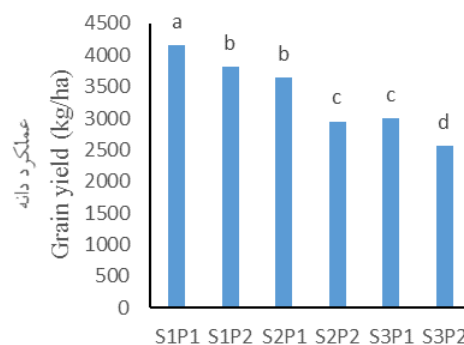
شکل ۱۰- سرعت جذب خالص سویا (هنگام بیشینه سرعت رشد محصول) تحت تاثیر برهمکنش تنش رطوبتی، نیتروژن و فسفر (N1: جایگذاری نیتروژن، N2: مصرف پخش نیتروژن و P1: جایگذاری فسفر، P2: عدم مصرف فسفر)

Figure 10- Soybean net assimilation rate (at time of maximum crop growth rate) was affected by the interaction of moisture stress, nitrogen and phosphorus (N1: nitrogen placement, N2: no nitrogen placement and P1: phosphorus placement, P2: no use of phosphorus)



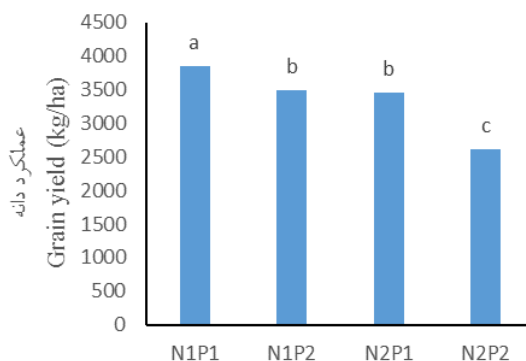
شکل ۱۱- عملکرد دانه تحت تاثیر تنش رطوبتی و نیتروژن (S1: ۶۰ میلی متر تبخیر، S2: ۹۰ میلی متر تبخیر، S3: ۱۲۰ میلی متر تبخیر و N1: جایگذاری نیتروژن، N2: مصرف پخش نیتروژن)

Figure 11- Grain yield was affected by the interaction of moisture stress and nitrogen (S1: 60 mm, S2: 90 mm, S3: 120 mm and N1: nitrogen placement, N2: no nitrogen placement)



شکل ۱۲- عملکرد دانه تحت تاثیر تنش رطوبتی و فسفر (S1: ۶۰ میلی متر تبخیر، S2: ۹۰ میلی متر تبخیر، S3: ۱۲۰ میلی متر تبخیر و P1: جایگذاری فسفر، P2: عدم مصرف فسفر)

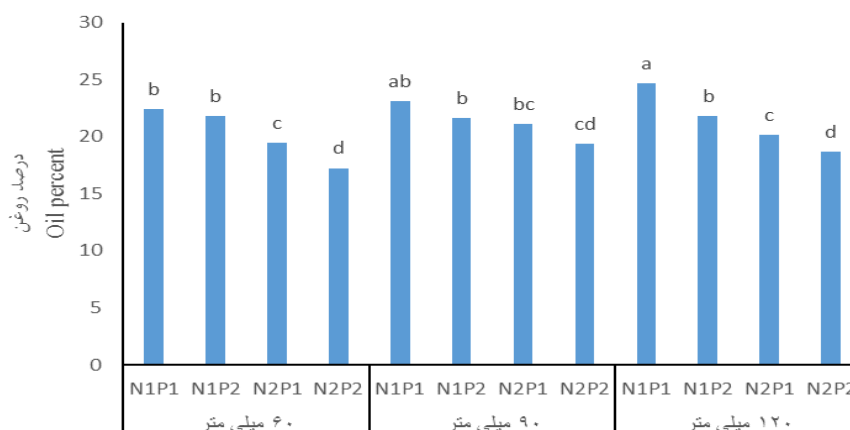
Figure 12- Grain yield was affected by the interaction of moisture stress and nitrogen (S1: 60 mm, S2: 90 mm, S3: 120 mm and P1: phosphorus placement, P2: no use of phosphorus)



شکل ۱۳- عملکرد دانه تحت تاثیر نیتروژن و فسفر

(N1: جایگذاری نیتروژن، N2: مصرف پخش نیتروژن و P1: جایگذاری فسفر، P2: عدم مصرف فسفر)

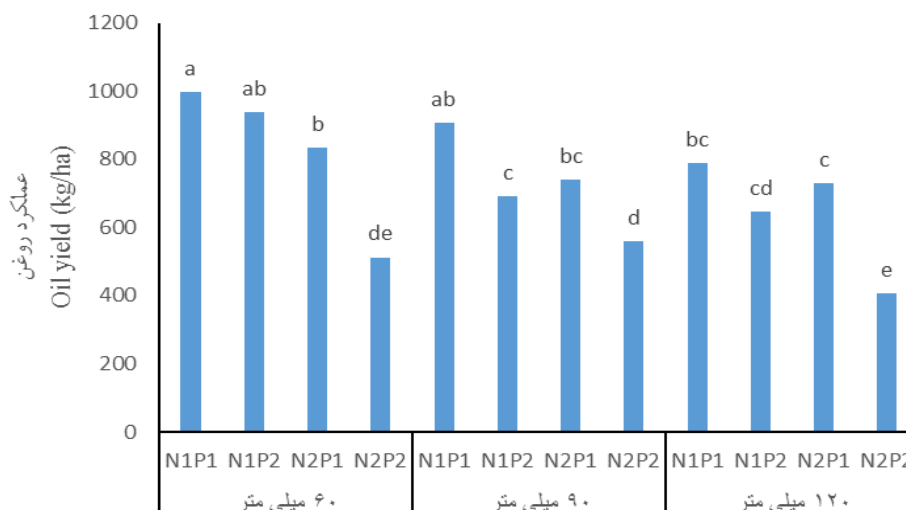
Figure 13- Grain yield was affected by the interaction of moisture stress and nitrogen (N1: nitrogen placement, N2: no nitrogen placement and P1: phosphorus placement, P2: no use of phosphorus)



شکل ۱۴- درصد روغن سویا تحت تاثیر برهمکنش تنش رطوبتی، نیتروژن و فسفر

(N1: جایگذاری نیتروژن، N2: مصرف پخش نیتروژن و P1: جایگذاری فسفر، P2: عدم مصرف فسفر)

Figure 14- Soybean oil percent was affected by the interaction of moisture stress, nitrogen and phosphorus (N1: nitrogen placement, N2: no nitrogen placement and P1: phosphorus placement, P2: no use of phosphorus)



شکل ۱۵- عملکرد روغن سویا تحت تاثیر برهمکنش تنش رطوبتی، نیتروژن و فسفر

(N1: جایگذاری نیتروژن، N2: مصرف پخش نیتروژن و P1: جایگذاری فسفر، P2: عدم مصرف فسفر)

Figure 15- Soybean oil yield was affected by the interaction of moisture stress, nitrogen and phosphorus (N1: nitrogen placement, N2: no nitrogen placement and P1: phosphorus placement, P2: no use of phosphorus)

References

منابع مورد استفاده

- Ahmad, R., A. Mahmood, M. Ikraam, and B. Hassan. 2002. Influence of different irrigation methods and band placement of nitrogen on maize productivity. *International Journal of Agriculture and Biology*. 4: 540-543.
- Anjum, S.A., X.Y. Xie, L.C. Wang, M.F. Saleem, C. Man, and W. Lei. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*. 6(9): 2026-2032.
- Anonymous. 2017. Industrial Crops statistics. Vezarat Jahad Keshavarzi Economic Planning Office, 340p. (In Persian)
- Arai, Y., and D.L. Sparks. 2007. Phosphate reaction dynamics in soils and soil minerals: A multiscale approach. *Advanced Agronomy*. 94: 135-179.
- Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*. 89: 1-16.
- Costa, S.E.V.G.D., E.D.D. Souza, I. Anghinoni, J.P.C. Flores, E.G. Cao, and M.J. Holzschuh. 2009. Phosphorus and root distribution and corn growth as related to long-term tillage systems and fertilizer placement. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 33(5): 1237-1247.
- Daneshian, J. 2000. Ecophysiological study of effects of water stress in soybean. Ph.D. Thesis in Agronomy. Islamic Azad University of Tehran, 232p. (In Persian)
- Earl, H.J., and R.F. Davis. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*. 95(3): 688-696.
- Fageria, N.K. 2016. The use of nutrients in crop plants. CRC press, Third edition, 448 p.
- Fakhimipaydar, N. 2015. Response of yield and yield components of corn to phosphate and zinc sulfate fertilizers application methods under water stress. M.Sc. Thesis in Agronomy. Bu-Ali Sina University, 133 p. (In Persian)
- Giehl, R.F., J.E.Lima, and N. von Wiren. 2012. Localized iron supply triggers lateral root elongation in *Arabidopsis* by altering the AUX1-mediated auxin distribution. *Plant Cell*. 24(1): 33-49.
- Jin, J., G. Wang, X. Liu, X. Pan, S. J. Herbert, and C. Tang. 2006. Interaction between phosphorus nutrition and drought on grain yield, and assimilation of phosphorus and nitrogen in two soybean cultivars differing in protein concentration in grains. *Journal of Plant Nutrition*. 29(8): 1433-1449.
- Jing, J., Y. Rui, F. Zhang, Z. Rengel, and J. Shen. 2010. Localized application of phosphorus and ammonium improves growth of maize seedlings by stimulating root proliferation and rhizosphere acidification. *Field Crops Research*. 119(2-3): 355-364.
- Khan, M.S., A. Zaidi, and P.A. Wani. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 27(1): 29-43.

- Khan, M.S.A., J.A. Chowdhury, M.A. Razzaque, M.Z. Ali, S.K. Paul, and M.A. Aziz. 2017. Dry matter production and seed yield of soybean as affected by post-flowering salinity and water stress. *Bangladesh Agronomy Journal*. 19(2): 21-27.
- Liu, A., C. Plenchette, and C. Hamel. 2007. Soil nutrient and water providers: how arbuscular mycorrhizal mycelia support plant performance in a resource limited world. pp. 37–66. In: Hamel, C. and C. Plenchette, (Eds.) *Mycorrhizae in Crop Production*. Haworth Food and Agricultural Products Press, Binghamton, NY. USA.
- Ma, Q., X. Wang, H. Li, H. Li, L. Cheng, F. Zhang, and J. Shen. 2014. Localized application of NH_4^+ -N plus P enhances zinc and iron accumulation in maize via modifying root traits and rhizosphere processes. *Field Crops Research*. 164: 107-116.
- Mahmood, J., Y.A. Abayomi, and M.O. Aduloju. 2009. Comparative growth and grain yield responses of soybean genotypes to phosphorous fertilizer application. *African Journal of Biotechnology*. 8(6): 345-404.
- Malakouti, M.J. 2014. Recommended fertilizer for agricultural products in Iran. Mobaleghan Press, 318p. (In Persian)
- Malmir, M. 2016. The effects of mycorrhiza and bradyrhizobium on the growth and yield of soybean (*Glycine max* L.) under different levels of nitrogen starter fertilizer. M.Sc. Thesis in Agronomy. Bu-Ali Sina University, 134 p. (In Persian)
- Maqbool, M.M., A. Tanveer, A. Ali, M.N. Abbas, M. Imran, M. Ahmad, and A.A. Abid. 2016. Growth and yield response of maize (*Zea mays*) to inter and intra-row weed competition under different fertilizer application methods. *Planta Daninha.*, 34(1): 47-56.
- Mascagni, H.J., and J. Bubba Bell. 2007. Influence of nitrogen fertilizer placement on yield performance of corn grown on single and twin rows on an alluvial clay soil. *Asian Journal of Plant Sciences*. 6(1): 77-82.
- Mazaheri, D., and N. Majnon Hoseini. 2001. Fundamental of agronomy. Tehran University Press, 320p. (In Persian)
- Mobini Dehkordi, A.A. 2003. Water supply and water management, appropriate solutions for crisis and water challenges in Future. *Journal of Agricultural Engineering*. 2: 54-60. (In Persian)
- Mohammadi, K., Y. Sohrabi, G. Heidari, S. Khalesro, and M. Majidi. 2012. Effective factors on biological nitrogen fixation. *African Journal of Agricultural Research*. 7(12): 1782-1788.
- Molla, A.H., Z.H. Shamsuddin, M.S. Halimi, M. Morziah, and A.B. Putech. 2001. Potential for enhancement of root growth and nodulation of soybean co-inoculated with *Azospirillum* and *Bradyrhizobium* in laboratory systems. *Soil Biology and Biochemistry*. 33: 457-463.
- Nayyar, H., and D. Gupta. 2006. Differential sensitivity of C_3 and C_4 plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany*. 58: 106-113.

- Pandey, R.K.L., W.A.T. Hen-era, and J.W. Pendleton. 2000. Drought response of grain legumes under irrigation gradient. I. Yield and yield components. *Agronomy Journal*. 76: 549-553.
- Rahnama, A. 2008. Plant physiology. Pouran Pazhohesh Press, second edition, 364 p. (In Persian)
- Sanchez, F.J., E.F. De Ander, J.L. Tenorio, and L. Ayerbe. 2004. Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress. *Field Crops Research*. 86: 81-90.
- Tariq, M., G. Rozina, M. Fazal, J. Fazal, H. Zahid, N. Nadia, Kh. Hamayoon, and Kh. Hayatullah. 2011. Effect of different phosphorus levels on the yield and yield components of maize. *Sarhad Journal Agriculture*. 27: 165-170.
- Turk, M.A., and A.R.M. Tawaha. 2002. Impact of seeding rate, seeding date, rate and method of phosphorus application in faba bean (*Vicia faba* L. minor) in the absence of moisture stress. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*. 6(3): 171-178.
- Walley, F.L., S.K. Boahen, G. Hnatowich, and C. Stevenson. 2005. Nitrogen and phosphorus fertility management for desi and kabuli chickpea. *Canadian Journal of Plant Science*. 85: 73-79.
- Wang, L., H. de Kroon, and A.J. Smits. 2007. Combined effects of partial root drying and patchy fertilizer placement on nutrient acquisition and growth of oilseed rape. *Plant and Soil*. 295(1-2): 207-216.
- Wang, X., M. Vignjevic, F. Liu, S. Jacobsen, D. Jiang, and B. Wollenweber. 2015. Drought priming at vegetative growth stages improves tolerance to drought and heat stresses occurring during grain filling in spring wheat. *Plant Growth Regulation*. 75(3): 677-687.
- Win, M., S. Nakasathien, and E. Sarobol. 2010. Effects of phosphorus on seed oil and protein contents and phosphorus use efficiency in some soybean varieties. *Kasetsart Journal, Natural Sciences*. 44: 1-9.
- Wu, F.Z., W.K. Bao, F.L. Li, and N. Wu. 2008. Effects of water stress and nitrogen supply on leaf gas exchange and fluorescence parameters of *Sophora davidii* seedlings. *Photosynthetica*. 46(1): 40-48.
- Yasari, E., and A.M. Patwardhan. 2007. Effects of (*Azotobacter* and *Azospirillum*) inoculants and chemical fertilizers on growth and productivity of canola (*Brassica napus* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*. 6(1): 77-82.
- Zimmer, S., M. Messmer, Th. Haasec, H.P. Piepho, A. Mindermann, H. Schulz, A. Habekub, F. Ordon, K.P. Wilbois, and J. Heb. 2016. Effects of soybean variety and *Bradyrhizobium* strains on yield, protein content and biological nitrogen fixation under cool growing conditions in Germany. *European Journal of Agronomy*. 72: 38-46.

Improvement of Physiological Growth Indices and Yield of Soybean (*Glycine max* L.) by Replacing some of Nitrogen with Phosphorus under Moisture Stress

Farasat Sadeghi¹, and Mohammad Ali Aboutalebian^{2*}

Received: January 2019, Revised: 5 May 2019, Accepted: 15 May 2017

Abstract

To study some growth indices of soybean under moisture stress by replacing nitrogen with phosphorus, a field experiment was conducted at the Research Station of Bu-Ali Sina University during the 2017-2018 growing season. The experiment was carried out in a split-factorial arrangement of treatments based on randomized complete block design with three replications. The main plots consisted of three levels of irrigations (irrigating after 60, 90 and 120 mm evaporation from class A evaporation pan). Two levels of nitrogen replacement with phosphorus and without replacement and two levels of phosphorus replacement and without phosphorus replacement assigned to subplots. The results showed that simultaneous replacing of nitrogen and phosphorus in all irrigation levels increased physiological growth indices of leaf area index, dry matter accumulation, crop growth rate, relative growth rate and net assimilation rate. Moisture stress reduced growth rate of the crop significantly. Results also showed that crop growth rate increased 35 to 45 days after planting and reached to its maximum level after 65 days after planting date. After this period, the crop growth rate of soybean decreased and reached to zero about 95-100 days after planting. The highest dry matter accumulation and crop growth rate were obtained from irrigation after 60 mm evaporation and nitrogen-phosphorus simultaneous placement application. According to the results, simultaneous replacing nitrogen and phosphorus, reduced the negative effect of moisture stress on soybean growth indices. Nitrogen replacement with phosphorus increased grain yield by 11.4% as compared to non-replacement of nitrogen with phosphorus and yielded 3855.88 kg.ha⁻¹. In this research, nitrogen replacement with phosphorus under irrigation after 90 mm evaporation prevented significant oil yield loss as compared to irrigation after 60 mm evaporation.

Key words: Crop Growth Rate, Dry Matter, Leaf Area Index, Net Assimilation Rate, Oil Yield.

1- MS.c. Student of Agronomy, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran.

2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran.

*Corresponding Author: aboutalebian@yahoo.com