نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۶، بهمن – اسفند ۱۳۹۶، ص. ۱۶۵۰-۱۶۳۷

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 6, Jan.-Feb. 2018, p. 1637-1650

افزایش عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان با مصرف تلفیقی فسفر و لجن فاضلاب در شرایط آبیاری مطلوب و محدود

سولماز کاظم علیلو[1*]- نصرت اله نجفی[2]- عادل ریحانی تبار[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۳

چکیده

برای بررسی تأثیر لجن فاضلاب (SS) و سوپرفسفات تریپل (TSP) بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان روغنی (*Helianthus annuus* L.) در شرایط آبیاری مطلوب و محدود، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی طی دو سال در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوی و در شرایط مزرعه‌ای انجام شد. عامل‌های آزمایش شامل زمان آبیاری در دو سطح (آبیاری مطلوب و محدود به‌ترتیب پس از ۶۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A)، TSP در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، SS در چهار سطح (صفر، ۱۴/۲، ۲۸/۴ و ۵۶/۷ تن در هکتار) و سال در دو سطح (۱۳۹۳ و ۱۳۹۴) با سه تکرار بودند. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال به استثنای وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته و درصد پوکی بر سایر صفات معنادار بود. با وجود اینکه آبیاری محدود (تنش کم‌آبی) سبب افزایش معنادار درصد پوکی شد ولی وزن هزار دانه، وزن و تعداد دانه در بوته، قطر طبق و عملکرد دانه نسبت به شرایط آبیاری مطلوب به‌طور معناداری کاهش یافتند. بیشترین وزن هزار دانه، وزن و تعداد دانه در بوته، قطر طبق و عملکرد دانه و کمترین درصد پوکی در شرایط آبیاری مطلوب از تیمار تلفیقی ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS در هکتار و در شرایط آبیاری محدود از تیمارهای تلفیقی ۱۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS در هکتار و ۵۶/۷ تن SS به‌تنهایی به‌دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف تلفیقی TSP و SS در کاهش اثرهای منفی تنش خشکی در آفتابگردان مؤثر بود. برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی، افزایش عملکرد دانه آفتابگردان و توسعه کشاورزی پایدار، در شرایط آبیاری مطلوب، مصرف تلفیقی ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS در هکتار و در شرایط آبیاری محدود، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS در هکتار می‌تواند در شرایط مشابه توصیه شود.

واژه های کلیدی: تنش کم‌آبی، دانه‌های روغنی، کشاورزی پایدار، مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه

مقدمه

در میان محصولات کشاورزی، دانه‌های روغنی به‌دلیل کاربرد فراوان در تغذیه انسان و مصرف کنجاله آنها در تغذیه دام و طیور و مصارف متعدد صنعتی از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند و پس از غلات دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند؛ اما در حال حاضر در ایران با وجود اراضی وسیع قابل کشت، متأسفانه ۹۰ درصد روغن خوراکی مورد نیاز از محل واردات تأمین و تنها ۱۰ درصد روغن در کشور تولید می‌شود (۱۳). آفتابگردان از مهمترین گیاهان دانه روغنی است که هر چند به‌دلیل داشتن سیستم ریشه‌ای قوی نسبتاً مقاوم به خشکی است ولی به‌دلیل تولید زیست‌توده و رشد سبزینه‌ای بالا نیاز آبی زیادی دارد (۲۱). تنش کم‌آبی مهمترین تنش غیرزیستی در دنیا است که تولید محصول به‌ویژه در ایران را که دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است محدود می‌کند (۶۴). تنش کم‌آبی عملکرد دانه و اجزای عملکرد طبق آفتابگردان یعنی وزن هزار دانه، وزن و تعداد دانه در طبق، قطر طبق و درصد پوکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد چون این صفات علاوه‌بر رقم به عوامل مختلف مؤثر در رشد (شرایط اقلیمی و خاک) نیز بستگی دارند (۱۸). تنش کم‌آبی با بسته نگه داشتن روزنه‌ها و کاهش سطح برگ آفتابگردان، میزان فتوسنتز و انتقال مواد پرورده به دانه‌ها را کاهش داده در نتیجه عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد و وزن دانه پر در بوته را کاهش می‌دهد (۳۲). یگاپان و همکاران (۷۳) گزارش کردند که تنش خشکی از طریق کاهش تعداد برگ، پیری زودرس برگ‌ها، کاهش قطر طبق، سطح برگ و وزن هزار دانه سبب

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیاران گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تبریز
(*- نویسنده مسئول: Email: solmazalilo@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jsw.v31i6.61402

کاهش عملکرد دانه در آفتابگردان شد.

علاوه‌بر این، هنگامی که گیاهان با تنش خشکی مواجه می‌شوند، از تنش کمبود عناصر غذایی به‌دلیل ارتباط نزدیک بین رطوبت خاک و فراهمی عناصر غذایی رنج می‌برند. برای مثال، فسفر رشد ریشه را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد؛ بنابراین، در شرایط محدودیت در پخشیدگی فسفر، گیاه به‌دلیل کاهش رشد ریشه‌ها، قادر به جذب آب از اعماق خاک نیست. بنابراین، چنین گیاهانی نسبت به گیاهان دارای فسفر کافی و با سیستم ریشه‌ای گسترده از خشکی آسیب بیشتری می‌بینند (۲۷). برخی مطالعات نشان داده است که افزودن فسفر می‌تواند اثرهای منفی تنش خشکی بر عملکرد گیاهان را کاهش دهد (۲۳ و ۳۰). برای مثال، مطلبی‌فرد و همکاران (۵۰) گزارش کردند که تنش خشکی عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی، کارایی مصرف آب و غلظت نشاسته را کاهش داد ولی مصرف کود فسفر این ویژگی‌ها را بهبود بخشید. لذا، برای جلوگیری از کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی، استفاده از کودهای شیمیایی ضروری به‌نظر می‌رسد. مصرف کودهای شیمیایی به‌دلیل سهولت حمل و نقل، مصرف آسان و افزایش عملکرد گیاهان در کوتاه‌مدت قابل‌توجه است ولی تقاضای زیاد انرژی برای تولید کودهای شیمیایی، پتانسیل آبشویی نیترات، عدم بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک در طولانی‌مدت و توسعه کشاورزی پایدار از جمله مسایلی است که مصرف آن‌ها را محدود می‌کند. برای مثال، مصرف بیش از حد کودهای فسفری علاوه‌بر تجمع فسفر سبب افزایش هزینه‌ها، کاهش جمعیت قارچ میکوریزا، رقابت در جذب عناصر کم‌مصرف به‌ویژه روی و از همه مهمتر تجمع بیش از حد کادمیم در خاک و گیاهان می‌شود (۱۵).

مقدار و کیفیت مواد آلی خاک بر اکثر فرآیندهای مربوط به سلامت خاک مانند نگه‌داری رطوبت، نفوذپذیری، فراهمی عناصر غذایی و همچنین سلامت گیاه اثر دارد. مصرف پسماندهای آلی، کودهای دامی و کود سبز از طریق اثر بر بیماری‌زاها، بهبود تغذیه و رشد گیاه، تحمل گیاهان به انواع تنش‌ها را افزایش می‌دهد (۲۵). میزان مواد آلی موجود در لجن فاضلاب شهری معمولاً بیش از ۵۰ درصد وزن خشک آن است (۶۷). از آنجایی‌که لجن فاضلاب منبع خوبی از مواد آلی و عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف می‌باشد، در اکثر کشورها از آن به‌عنوان جانشینی برای کودهای شیمیایی، کاهش هزینه‌های تولید، افزایش مواد آلی و حاصلخیزی خاک استفاده می شود (۱۹ و ۲۰). استفاده از لجن فاضلاب در کشاورزی علاوه‌بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از دیدگاه زیست محیطی اهمیت زیادی دارد، چون که بهترین راه برای دفع نهایی زباله و مدفون کردن آن در خاک است و از این طریق به حفظ ذخایر عناصر غذایی جهان نیز کمک می‌کند (۱۶). بررسی‌ها نشان داده است که مصرف لجن فاضلاب در کشاورزی عملکرد گیاهان را افزایش می‌دهد (۶ و ۶۲). مصرف کودهای آلی با کاهش مصرف کودهای شیمیایی و جلوگیری از آلودگی محیط زیست یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای توسعه کشاورزی پایدار است. اکثر بررسی‌ها نشان داده است که کودهای شیمیایی و کودهای آلی به‌تنهایی نمی‌توانند سبب تولید پایدار شوند. لوبو و گراسی (۴۳) گزارش کردند که مصرف لجن فاضلاب در مقادیر زیاد عملکرد آفتابگردان را به‌طور معناداری افزایش داد ولی مقدار آن کمتر از عملکرد به‌دست آمده از مصرف کودهای شیمیایی بود. آنان نتیجه‌گیری کردند که لازم است در کنار لجن فاضلاب از کودهای شیمیایی نیز به‌صورت تلفیقی استفاده شود. بنابراین، بهترین روش برای افزایش حاصلخیزی خاک و تولید محصولات کشاورزی، مدیریت تلفیقی تغذیه گیاهان (IPNM)[1] است (۶۵). مصرف تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی با بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش فعالیت‌های میکروبی و بهبود چرخه عناصر غذایی در خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و مواد آلی خاک، کاهش مصرف نهاده‌ها، کاهش میزان نیترات در خاک و افزایش کارایی کودهای شیمیایی، عملکرد گیاهان را افزایش می‌دهند (۸ و ۴۸). توماس و همکاران (۷۱) گزارش کردند که مصرف تلفیقی کود شیمیایی نیتروژنی و لجن فاضلاب به‌طور معناداری سطح برگ، وزن خشک بخش هوایی و عملکرد دانه در گیاه آفتابگردان را افزایش داد. با وجود مزایای گوناگون ذکر شده، هنگام استفاده از لجن فاضلاب در کشاورزی بایستی احتیاط شود زیرا ممکن است آلوده به فلزات سنگین و عوامل بیماری‌زا باشد که علاوه‌بر آلوده کردن خاک و صدمه به گیاهان می‌تواند وارد زنجیره غذایی انسان شده و سلامتی بشر را نیز تهدید نماید (۱۱).

هدف از پژوهش حاضر بررسی امکان افزایش عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان روغنی در شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی با مصرف توأم سطوح مختلف فسفر و لجن فاضلاب و تعیین مقدار بهینه مصرف این کودها بود. نتایج این آزمایش می‌تواند به توصیه کودی مناسب برای کشاورزان در شرایط آبیاری مطلوب و تنش کمبود آب کمک کند.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در دو سال زراعی متوالی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی واقع در ۲ کیلومتری شمال شهرستان خوی انجام شد. ایستگاه در عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی قرار داشته و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۱۵۷ متر بود. میانگین بارندگی ایستگاه در پنجاه سال اخیر ۲۸۶/۳ میلی‌متر و

1- Integrated Plant Nutrition Management (IPNM)

میانگین درجه حرارت منطقه حدود ۱۲/۴ درجه سلسیوس گزارش شده است (۱۲). در هر سال، قبل از اقدام به کاشت بذر آفتابگردان، نمونه مرکب خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری مزرعه تهیه و بعد از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری برخی ویژگی‌های مهم خاک مانند بافت، درصد کربنات کلسیم معادل، درصد کربن آلی، pH و EC تعیین شد (۲۲ و ۵۹). نیتروژن کل خاک با روش کجلدال (۳۵) تعیین شد. فسفر قابل‌جذب خاک با عصاره‌گیر بیکربنات سدیم (۵۸)، پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم قابل‌جذب با استات آمونیم یک نرمال (۴۰) عصاره‌گیری شدند؛ سپس غلظت فسفر عصاره‌ها به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر، پتاسیم و سدیم به‌وسیله دستگاه فلیم‌فوتومتر و کلسیم و منیزیم با دستگاه جذب اتمی مدل Shimdzu, AA-6300 اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری غلظت کل آهن، روی، منگنز، مس، کادمیم و سرب، دو گرم خاک در ۲۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۴ مولار به مدت ۱۶ ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس عصاره‌گیری شد (۶۸) و برای تعیین آهن، روی، منگنز، مس، کادمیم و سرب قابل جذب خاک از عصاره‌گیر DTPA (۴۲) استفاده شد، سپس قرائت نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی انجام شد.

آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۲۴ تیمار و در سه تکرار در شرایط مزرعه‌ای اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل زمان آبیاری در دو سطح (آبیاری مطلوب و محدود پس از ۶۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A)، سوپرفسفات تریپل (TSP) در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، SS در چهار سطح (صفر، ۱۴/۲، ۲۸/۴ و ۵۶/۷ تن در هکتار) و سال در دو سطح (۱۳۹۳ و ۱۳۹۴) بودند. مقادیر فسفر بر اساس نتایج آزمون خاک، نتایج مطالعات مطلبی‌فرد و همکاران (۵۱)، توصیه مؤسسه تحقیقات خاک و آب (۴۴) و سطوح لجن فاضلاب بر اساس نتایج تحقیقات انجام یافته (۱، ۴ و ۵۳) تعیین شد. سایر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه نیز بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور (۴۴) هنگام کاشت و به‌صورت نواری مصرف شد. نیتروژن از منبع اوره به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه مرحله مصرف شد. یک سوم آن هنگام کاشت به‌صورت نواری و مخلوط با بقیه کودها، یک سوم هنگام هشت برگی شدن و یک سوم هم قبل از گلدهی آفتابگردان به‌صورت کوددهی جانبی یا پای بوته[۱۷]، کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت و کود روی از منبع سولفات روی به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله هشت برگی شدن آفتابگردان به‌صورت نواری و در عمق خاک مصرف شد. لجن فاضلاب مورد استفاده از تصفیه‌خانه فاضلاب شهرستان خوی تهیّه شد و پس از عبور از الک دو میلی‌متری و تعیین برخی ویژگی‌های شیمیایی مانند pH، EC و غلظت‌های کل و قابل‌جذب برخی عناصر غذایی و فلزات سنگین (۶۰)، قبل از کشت گیاه به خاک افزوده شده و به‌خوبی با خاک مخلوط شد (۴ و ۵۳). تنش کمبود آب از مرحله ۸-۶ برگی تا پایان دوره رشد گیاه اعمال شد (۲۱).

برای کشت از آفتابگردان روغنی (*Helianthus annuus* L.) هیبرید زودرس و پرمحصول فرخ که توسط مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج معرفی شده است و با تراکم ۶۶ هزار بوته در هکتار استفاده شد. در مجموع در این آزمایش در هر سال ۷۲ کرت وجود داشت. طول هر کرت ۳ متر و عرض آن ۲/۴ متر بوده و فاصله بین ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۲۵ سانتی‌متر بود. بین هر کرت با کرت بعدی دو خط نکاشت (۱/۲ متر) و بین بلوک‌ها ۱/۵ متر فاصله برای جلوگیری از انتقال آب در زمان اعمال تیمارهای آبی در نظر گرفته شد. عملیات داشت شامل تنک کردن و وجین علف‌های هرز به‌طور دستی و برای جلوگیری از آسیب پرندگان پوشاندن طبق‌ها در زمان مورد نظر انجام شد. رطوبت خاک مزرعه تا استقرار کامل گیاهان در حد ظرفیّت مزرعه‌ای نگه‌داری شد. برای تعیین نیاز آبی گیاه آفتابگردان (ET_c) در مراحل مختلف رشد و محاسبه حجم آب مورد نیاز در هر آبیاری از جدول‌های نیاز آبی گیاهان استفاده شد که توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور برای هر گیاه و منطقه منتشر شده است (۲۸). در این جدول‌ها، میزان نیاز آبی گیاه آفتابگردان (ET_c بر حسب میلی‌متر در روز) با توجه به مرحله رشد گیاه محاسبه و سپس با در نظر گرفتن راندمان ۹۰ درصد و مساحت کرت (متر مربع)، حجم آب مورد نیاز در هر تیمار با استفاده از رابطه زیر تعیین و آبیاری با استفاده از کنتور انجام شد.

[راندمان/(ET_c × مساحت کرت)] =حجم آب مورد نیاز در هر آبیاری (لیتر در هر کرت)

در پایان دوره رشد، برای تعیین عملکرد دانه و اجزای آن، تعداد شش عدد بوته (سطحی معادل ۰/۷ متر مربع) از وسط هر کرت با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای خطوط به‌عنوان اثر حاشیه‌ای برداشته شد. پس از جدا کردن دانه‌ها از طبق، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون تهویه‌دار با دمای ۷۲ درجه سلسیوس خشک شدند؛ سپس عملکرد دانه، وزن هزار دانه، وزن دانه در بوته، تعداد دانه در بوته، درصد پوکی و قطر طبق اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن هزار دانه از هر تیمار ۲۰۰ دانه که به‌طور تصادفی انتخاب شده بودند شمارش شد و وزن حاصل در عدد ۵ ضرب شد. درصد پوکی از رابطه ۱۰۰×(تعداد کل دانه‌های هر طبق /تعداد دانه‌های پوک) محاسبه گردید. برای تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار MSTATC و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. داده‌های دو سال آزمایش باهم ترکیب و تجزیه واریانس مرکب انجام شد.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

و همچنین لجن فاضلاب مورد استفاده در دو سال در جدول‌های ۱ تا ۵ آورده شده است. خاک مزرعه مورد آزمایش در دو سال دارای بافت لوم رسی، آهکی، غیرشور، فسفر قابل‌جذب کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (دارای کمبود فسفر) و کربن آلی کمتر از ۰/۶ درصد (دارای کمبود مواد آلی) بود (۳۳). حد مجاز استاندارد کادمیم، سرب، روی و مس کل در لجن فاضلاب به‌ترتیب ۱۰ ، ۹۰۰، ۲۵۰۰ و ۸۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک اعلام شده است (۱۱) که با توجه به جدول ۵ غلظت این فلزات سنگین در لجن فاضلاب مورد استفاده کمتر از این سطوح بود. مجموع بارندگی ایستگاه در دوره رشد آفتابگردان در سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به‌ترتیب ۶۰/۵ و ۸۵ میلی‌متر بود و در سال دوم علاوه‌بر این که میزان بارندگی نسبت به سال اول زیاد بود بارندگی نسبتاً خوبی در شهریور ماه (مرحله پر شدن دانه) اتفاق افتاد در حالی‌که در سال اول تقریباً بارندگی در این ماه رخ نداد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در دو سال (۱۳۹۳ و ۱۳۹٤)

Table 1- Some physical and chemical characteristics of soil in two years (2014 and 2015)

سال Year	بافت خاک	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	CCE	ماده آلی OM	SP	pH (1:1) (w:v)	EC (1:2) (w:v)
	Soil Texture	(%)						-	(dS/m)
2014	Clay loam	25	39	36	20.5	0.88	45	8.5	1.4
2015	Clay loam	25	39	36	20.1	0.86	47	8.5	1.3

CCE: کربنات کلسیم معادل، SP: درصد رطوبت اشباع جرمی

جدول ۲- N کل،P، K، Ca و Mg قابل جذب خاک در دو سال (۱۳۹۳ و ۱۳۹٤)

Table 2- Soil total N and available P, K, Ca and Mg in two years (2014 and 2015)

سال Year	نیتروژن (N)	فسفر (P)	پتاسیم(K)	سدیم (Na)	کلسیم (Ca)	منیزیم (Mg)
	(%)	(mg/kg)				
2014	0.06	4	250.3	146.2	712.6	645.7
2015	0.05	6	230.7	137.3	758.7	686.9

جدول ۳- غلظت کل و قابل جذب عناصر غذایی کم‌مصرف و برخی فلزات سنگین در خاک در دو سال (۱۳۹۳ و ۱۳۹٤)

Table 3- The concentrations of total, available micronutrients and some heavy metals of soil in two years (2014 and 2015)

سال Year	آهن (Fe)	روی (Zn)	منگنز (Mn)	مس (Cu)	کادمیم (Cd)	سرب (Pb)
	(mg/kg)					
2014-Total	14713	37.4	150.6	15.4	0.63	2.5
2015-Total	16800	33.4	141.9	15.1	0.55	2.5
2014-Available	4.6	0.2	3.6	2.3	0.03	0.06
2015-Available	4.4	0.3	3.2	2.4	0.03	0.07

جدول ٤- برخی ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب مورد استفاده در آزمایش مزرعه‌ای در دو سال (۱۳۹۳ و ۱۳۹٤)

Table 4- Some chemical characteristics of sewage sludge used in the field experiment (2014 and 2015)

سال Year	$pH_{(1:5)}$ (w:v)	$EC_{(1:5)}$(dS/m) (w:v)	کربن آلی (%) Organic Carbon	ماده آلی (%) Organic Matter	نیتروژن کل (%) Total Nitrogen	C/N
2014	6.9	2.8	31.1	60.1	2.7	11.5
2015	6.8	2.5	32.7	68.1	2.8	11.7

جدول ٥- غلظت کل عناصر در لجن فاضلاب مورد استفاده در دو سال (۱۳۹۳ و ۱۳۹٤)

Table 5- Total concentrations of elements in the used sewage sludge (2014 and 2015)

سال	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd	Pb
	(mg/g)					(mg/kg)					
2014	2.5	1.1	0.75	18.3	12.0	12902	245	750.0	57.5	4.1	141.5
2015	2.0	1.4	1.1	18	13.3	16280	310	972.5	67.5	4.2	75.8

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر اصلی سال بر وزن دانه در بوته، قطر طبق و عملکرد دانه معنادار ولی بر وزن هزار دانه، تعداد دانه در طبق و درصد پوکی غیرمعنادار بود (جدول ۶). معنادار بودن اثر سال بیانگر آن است که گیاه آفتابگردان با شرایط محیطی متفاوتی طی دو سال اجرای آزمایش مواجه بوده است. به‌طور کلی، اکثر ویژگی‌های مذکور در سال ۱۳۹۳ کمتر از سال ۱۳۹۴ بود (جدول ۷) که دلیل آن علاوه‌بر متفاوت بودن ویژگی‌های خاکی و لجن فاضلاب ممکن است بارندگی کم و بالا بودن دما در سال ۱۳۹۳ باشد، چون علاوه‌بر اینکه گیاهان زودتر وارد مرحله زایشی شدند، مرحله پر شدن دانه نیز در مرداد ماه که بارندگی آن نسبت به سال ۱۳۹۴ کم بود، انجام شد. اثر اصلی آبیاری تنها بر درصد پوکی غیرمعنادار و اثرهای اصلی سوپرفسفات تریپل و لجن فاضلاب بر تمامی ویژگی‌های مورد مطالعه معنادار بودند. اثر متقابل لجن فاضلاب×آبیاری تنها بر تعداد دانه در طبق و قطر طبق غیرمعنادار بود. اثرهای متقابل فسفر×آبیاری، لجن فاضلاب×فسفر و لجن فاضلاب×فسفر×آبیاری بر تمامی ویژگی‌های مورد مطالعه معنادار بودند (جدول ۶).

جدول ٦- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سال، آبیاری، سوپرفسفات تریپل و لجن فاضلاب بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده آفتابگردان

Table 6- Analysis of variance (mean of squares) for effects of year (Y), irrigation (I), triple superphosphate (TSP) and sewage sludge (SS) on yield characteristics of sunflower

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Df	وزن هزار دانه (1000 SW)	وزن دانه در بوته (WSH)	تعداد دانه در بوته (NSH)	درصد پوکی (PEA)	قطر طبق (HD)	عملکرد دانه (SY)
سال (Y)	1	39.5^{ns}	4857^{**}	617^{ns}	0.28^{ns}	385.2^{**}	21155399^{**}
تکرار (سال) Replication (Y)	4	3.1	5	3834	0.49	2.3	21386
آبیاری (I)	1	2619.7^{**}	2133^{**}	209458^{*}	5.3^{ns}	28.7^{*}	9290913^{**}
Y × I	1	0.3^{ns}	2^{ns}	5232^{ns}	0.23^{ns}	36.9^{*}	6844^{ns}
خطا (Error)	4	11.3	7	14165	0.92	3.3	31928
کود فسفر (TSP)	2	230.1^{**}	1593^{**}	80511^{**}	50.1^{**}	84.3^{**}	6940276^{**}
TSP × Y	2	19.4^{ns}	319^{**}	60778^{*}	0.61^{ns}	26.5^{**}	1391636^{**}
TSP × I	2	60.0^{**}	1441^{**}	200002^{**}	9.9^{**}	16.2^{**}	6274825^{**}
I × TSP × Y	2	2.6^{ns}	845^{**}	180818^{**}	1.6^{ns}	11.7^{**}	3679417^{**}
لجن فاضلاب (SS)	3	1386.1^{**}	3540^{**}	233505^{**}	188.2^{**}	69.0^{**}	15419007^{**}
SS × Y	3	1.4^{ns}	27^{ns}	49801^{*}	1.5^{ns}	19.0^{**}	117527^{ns}
SS × I	3	29.2^{*}	437^{**}	13404^{ns}	11.7^{**}	0.68^{ns}	1904224^{**}
SS × TSP	6	148.5^{**}	400^{**}	79232^{**}	14.5^{**}	11.1^{**}	1743815^{**}
SS × TSP × Y	6	9.8^{ns}	125^{**}	65720^{**}	2.4^{**}	2.4^{*}	542903^{**}
SS × TSP × I	6	27.3^{*}	78^{**}	55749^{**}	17.4^{**}	5.6^{**}	337695^{**}
SS × TSP × I × Y	9	13.1^{ns}	56^{*}	87045^{ns}	1.1^{ns}	4.2^{**}	245529^{*}
خطا (Error)	88	10.6	22.4	15692	0.6	0.89	97477
ضریب تغییرات (CV%)	-	6.3	7.2	9.4	14.7	5.2	7.2

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنادار، معنادار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

1000 seed weight: 1000 SW; weight and number of seeds per plant: WSP and NSP; the percentage of empty achenes:PEA; head diameter: HD; Seed yield: SY

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

وزن هزار دانه

با توجه به اینکه وزن هزار دانه از اجزای عملکرد دانه می‌باشد، افزایش آن میزان عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (۲). مقایسه میانگین‌های وزن هزار دانه برای اثر متقابل لجن فاضلاب×فسفر×آبیاری نشان داد که با اعمال تنش کم‌آبی وزن هزار دانه آفتابگردان به‌طور معناداری (۲۳/۳ درصد) نسبت به شرایط آبیاری مطلوب کاهش یافت (جدول ۸). به نظر می‌رسد تنش کم‌آبی با کاهش دوره پر شدن دانه و پیری زودرس سبب کاهش وزن دانه می‌شود. دوره پر شدن دانه یکی از مراحل حساس به خشکی است که علاوه‌بر کاهش فتوسنتز و انتقال مواد ذخیره‌ای و عناصر غذایی به دانه، اگر کمبودی از نظر عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف وجود داشته باشد، دانه‌های تشکیل شده کوچک مانده و وزن هزار دانه

کاهش می‌یابد (۳). کاهش وزن هزار دانه بر اثر تنش کم‌آبی توسط ناظمی و همکاران (۵۶) و دهخدا و همکاران (۲۴) در آفتابگردان نیز گزارش شده است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم TSP در هکتار، بیشترین وزن هزار دانه آفتابگردان در شرایط آبیاری مطلوب و محدود (به‌ترتیب ۵۵ و ۴۹ گرم) حاصل شد ولی بین شاهد و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم TSP در شرایط آبیاری مطلوب تفاوت معناداری وجود نداشت (جدول ۸). نتایج مشابهی توسط طباطبایی و همکاران (۷۰) گزارش شده است که مصرف ۲۰۰ کیلوگرم TSP در هکتار، وزن هزار دانه ذرت را ۱۴٪ نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین مصرف ۵۶/۷ تن لجن فاضلاب در هکتار، وزن هزار دانه آفتابگردان در شرایط آبیاری مطلوب و محدود را به‌ترتیب ۳۸ و ۶۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داد ولی بین سطوح صفر و ۱۴/۲ تن لجن فاضلاب در هکتار در شرایط آبیاری محدود تفاوت معناداری مشاهده نشد (جدول ۸). نتایج این آزمایش نشان‌دهنده اثر مثبت لجن فاضلاب بر رشد آفتابگردان بود. بررسی‌ها نشان داه است که این اثر مثبت لجن فاضلاب ناشی از افزایش جذب آب و نیتروژن در گیاه، افزایش سطح برگ و فتوسنتز می‌باشد (۴۷). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه در شرایط آبیاری مطلوب مربوط به تیمار تلفیقی ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS و ۵۶/۷ تن SS در هکتار به‌تنهایی بود که به‌ترتیب ۴۲ و ۴۰ درصد نسبت به شاهد افزایش یافتند. در شرایط آبیاری محدود بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار تلفیقی ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS و ۵۶/۷ تن SS در هکتار بود که به‌ترتیب ۶۷ و ۶۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافتند و تیمار ۱۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS در جایگاه بعدی قرار داشت (جدول ۸). نتایج مشابهی توسط شوقی کلخورانی و همکاران (۶۶) گزارش شده است که با مصرف تلفیقی ۲۴ تن کود گاوی در هکتار و ۱۲۰ کیلوگرم اوره در هکتار بیشترین عملکرد دانه آفتابگردان به‌دست آمد. افزایش عملکرد گیاهان با مصرف تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی در شرایط تنش خشکی را می‌توان به اثر مثبت عناصر غذایی در فعالیت‌های زیستی گیاه، افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و افزایش فعالیت آنزیم‌های مؤثر در رشد رویشی گیاه نسبت داد (۳۹).

وزن و تعداد دانه در بوته

با توجه به این‌که وزن دانه و تعداد دانه در طبق ارتباط نزدیکی با یکدیگر دارند لذا مهم‌ترین اجزاء عملکرد دانه آفتابگردان می‌باشند و برای افزایش عملکرد بایستی مد نظر قرار گیرند (۷۴). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل لجن فاضلاب×فسفر×آبیاری نشان داد که تنش کم‌آبی وزن و تعداد دانه در بوته را به‌طور معناداری نسبت به شرایط آبیاری مطلوب کاهش داد (جدول ۸). نتایج مشابهی توسط گوکسوی و همکاران (۲۰۰۴) گزارش شده است (۳۲). بر خلاف این نتایج، جمشیدی و همکاران (۳۴) نشان دادند که تعداد کل دانه در طبق آفتابگردان بر اثر افزایش تعداد دانه‌های پوک، نیمه پر و کوچک در شرایط تنش خشکی افزایش یافت. زیرا تعداد دانه در طبق قویاً به عوامل فیزیولوژیکی مؤثر مانند رقم، عوامل محیطی و مدیریتی وابسته می‌باشد (۷۲). وجود نتایج متفاوت در این مورد را می‌توان به اختلاف در نوع رقم، زمان اعمال تنش کم‌آبی به گیاه، شدت و مدت تنش نسبت داد (۶۱). مقایسه میانگین‌های وزن و تعداد دانه در بوته برای متقابل لجن فاضلاب×فسفر×آبیاری نشان داد که با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم TSP در هکتار، در شرایط آبیاری مطلوب وزن و تعداد دانه در بوته به‌ترتیب ۴۰ و ۳ درصد نسبت به شاهد افزایش یافتند (جدول ۸). همچنین با مصرف ۵۶/۷ تن لجن فاضلاب در هکتار وزن و تعداد دانه در بوته در شرایط آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۴۵ و ۸ درصد و در شرایط آبیاری محدود به‌ترتیب ۱۱۶ و ۳۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافتند ولی بین شاهد و مصرف ۱۴/۲ تن SS در هکتار در شرایط آبیاری مطلوب تفاوت معناداری وجود نداشت (جدول ۸). افزایش وزن و تعداد دانه در بوته آفتابگردان با مصرف لجن فاضلاب توسط لاوادا (۴۱) نیز گزارش شده است. مقایسه میانگین‌های وزن دانه در بوته برای اثر متقابل لجن فاضلاب×فسفر×آبیاری نشان داد که بیشترین وزن دانه در بوته در شرایط آبیاری مطلوب با ۵۲ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد از تیمار تلفیقی ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS به‌دست آمد که با تیمارهای ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۲۸/۴ تن SS، ۲۰۰کیلوگرم TSP+۱۴/۲ تن SS و ۵۶/۷ تن SS در هکتار به‌تنهایی تفاوت معناداری نداشتند. در شرایط آبیاری محدود بیشترین وزن دانه در بوته با ۱۱۶ درصد افزایش نسبت به تیمار بدون مصرف کود، به تیمار تلفیقی۱۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS و ۵۶/۷ تن SS به‌تنهایی مربوط بود که با تیمار تلفیقی ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۸). احمد و همکاران (۵) تأثیر مثبت مصرف لجن فاضلاب در خاک‌های کشاورزی را به افزایش مواد آلی خاک و تولید اسیدهای هومیک و کربنیک نسبت دادند. آنان گزارش کردند که مواد هومیکی علاوه‌بر کاهش pH خاک‌های آهکی، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را نیز افزایش می‌دهند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد دانه در بوته در شرایط آبیاری مطلوب با ۱۶ درصد افزایش نسبت به شاهد از تیمار تلفیقی ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۲۸/۴ تن SS و ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۱۴/۲ تن SS در هکتار به‌دست آمد و تیمارهای ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS، ۱۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS و ۵۶/۷ تن SS به‌تنهایی در جایگاه بعدی قرار داشتند. در شرایط آبیاری محدود نیز بیشترین تعداد دانه در بوته با ۳۱/۵ درصد افزایش نسبت به تیمار بدون مصرف کود به تیمار ۵۶/۷ تن SS در هکتار مربوط بود که با تیمارهای ۱۰۰ کیلوگرم TSP+۲۸/۴ تن SS، ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۱۴/۲ تن SS و ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۲۸/۴ تن SS در هکتار در

یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۸). نتایج مشابهی توسط نینگ و همکاران (۵۴) گزارش شده است که مصرف تلفیقی ۱۰ تن کود دامی در هکتار با ۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۲۲ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار، تعداد دانه‌های پر در خوشه برنج را ۳۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. بنابراین نتایج این پژوهش بیانگر آن است که مدیریت تلفیقی تغذیه در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی سبب افزایش معنادار تعداد و وزن دانه در بوته آفتابگردان شد.

درصد پوکی

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها برای اثر متقابل لجن فاضلاب×فسفر×آبیاری نشان داد که تنش کم‌آبی سبب افزایش معنادار درصد پوکی شد (جدول ۸). افزایش معنادار درصد پوکی دانه بر اثر تنش کم‌آبی توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (۲۹). لقاح ناقص بر اثر دمای بالا، خودناسازگاری و یا نبود دانه گرده از جمله عواملی هستند که به‌طورمستقیم درصد پوکی دانه را افزایش می‌دهند (۵۷)؛ ولی فراهمی آب (۷۳)، عناصر غذایی، نور خورشید، تنظیم کننده‌ها و هورمون‌های رشد اثرهای چندگانه‌ای بر رشد گیاه داشته و به‌طور غیرمستقیم رشد دانه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۶۹). بررسی‌ها نشان داده است که در آفتابگردان رشد دانه‌ها توسط منبع تولید مواد پرورده (برگ‌ها) کنترل می‌شود. بنابراین، هر عاملی که بر تولید میزان کربوهیدارت‌ها اثر بگذارد و انتقال مؤثر مواد پرورده به بخش‌های بارده را کاهش دهد مانند تنش خشکی، کمبود عناصر غذایی و غیره می‌تواند رشد دانه‌ها را کاهش دهد (۹). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب، درصد پوکی با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم TSP و ۵۶/۷ تن لجن فاضلاب در هکتار به‌ترتیب ۷ و ۳۰ درصد کاهش ولی در شرایط آبیاری محدود، با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم TSP و ۵۶/۷ تن لجن فاضلاب در هکتار به‌ترتیب ۳۰ و ۵۵ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد (جدول ۸). لجن فاضلاب از طریق افزایش غلظت نیتروژن در گیاه و فراهمی آب، فتوسنتز و رشد گیاه را افزایش می‌دهد (۴۷). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل لجن فاضلاب×فسفر×آبیاری نشان داد که کمترین درصد پوکی در شرایط آبیاری مطلوب با ۷۰ درصد کاهش نسبت به شاهد مربوط به تیمار تلفیقی۲۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS بود و تیمارهای ۱۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS، ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۱۴/۲ تن SS و ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۲۸/۴ تن SS در جایگاه بعدی قرار داشتند. کمترین درصد پوکی در شرایط آبیاری محدود با ۸۱ درصد کاهش نسبت به شاهد مربوط به تیمار تلفیقی ۱۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS بود و تیمارهای ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۲۸/۴ تن SS و ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS در جایگاه بعدی قرار داشتند. بیشترین درصد پوکی (۱۳ درصد) با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل به‌تنهایی در شرایط آبیاری محدود به‌دست آمد و پس از آن تیمار بدون مصرف کود بیشترین پوکی را با مقدار ۸ درصد در شرایط آبیاری محدود داشت (جدول ۸). نتایج مشابهی توسط اسماعیلیان و همکاران (۲۶) گزارش شده است که تیمار تلفیقی ۱۵ تن کود گاوی در هکتار+نصف کود شیمیایی توصیه شده، کمترین درصد پوکی آفتابگردان نسبت به سایر تیمارها را داشت. نتایج این پژوهش حاکی از ارزش بالای مصرف لجن فاضلاب در کشاورزی می‌باشد و لزوم مصرف تلفیقی لجن فاضلاب و سوپرفسفات تریپل را برای دستیابی به بیشترین عملکرد دانه آفتابگردان نشان می‌دهد.

قطر طبق

قطر طبق رابطه مثبت و معناداری با عملکرد دانه دارد یعنی طبق‌های بزرگ‌تر می‌توانند عملکرد دانه بیشتری تولید کنند (۳۷). مقایسه میانگین‌های قطر طبق برای اثر متقابل لجن فاضلاب×فسفر×آبیاری نشان داد که تنش کم‌آبی قطر طبق را به‌طور معناداری (۱۳ درصد) نسبت به شرایط آبیاری مطلوب کاهش داد (جدول ۸). کاهش قطر طبق و ارتفاع آفتابگردان بر اثر تنش کم‌آبی توسط محققان مختلف نیز گزارش شده است (۵۲ و ۶۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف TSP، SS و افزایش مقادیر آنها قطر طبق را به‌طور معناداری افزایش دادند به‌طوری که مصرف ۲۰۰ کیلوگرم TSP و ۵۶/۷ تن لجن فاضلاب در هکتار، قطر طبق آفتابگردان را در شرایط آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۲۱ و ۳۴ درصد و در شرایط آبیاری محدود به‌ترتیب ۴۰ و ۴۹ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۸). افزایش قطر طبق آفتابگردان بر اثر مصرف کود فسفر توسط مرادی و همکاران (۴۹) نیز گزارش شده است. بررسی‌ها نشان داده است که مصرف لجن فاضلاب از طریق افزایش فراهمی نیتروژن و سایر عناصر غذایی رشد طبق آفتابگردان را افزایش می‌دهد (۷). مقایسه میانگین‌های قطر طبق برای اثر متقابل لجن فاضلاب×فسفر×آبیاری نشان داد که بیشترین قطر طبق در شرایط آبیاری مطلوب با ۴۶ درصد افزایش نسبت به شاهد از تیمار تلفیقی ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS به‌دست آمد و تیمارهای ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۱۴/۲ تن SS، ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۲۸/۴ تن SS و ۵۶/۷ تن SS به‌تنهایی در هکتار در جایگاه بعدی قرار گرفتند. در شرایط آبیاری محدود بیشترین قطر طبق با ۴۸ درصد افزایش نسبت به شاهد از تیمارهای ۱۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS و ۵۶/۷ تن لجن فاضلاب در هکتار به‌دست آمد (جدول ۸). اسماعیلیان و همکاران (۲۶) گزارش کردند که تغذیه تلفیقی ۱۵ تن کود گاوی در هکتار+نصف کود شیمیایی توصیه شده قطر طبق آفتابگردان را ۱۵٪ نسبت به شاهد افزایش داد.

عملکرد دانه

مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه برای متقابل لجن فاضلاب×آبیاری×فسفر (جدول ۸) نشان داد که عملکرد دانه آفتابگردان در تیمار تنش کم‌آبی (با میانگین ۲۴۶۳ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معناداری کمتر از تیمار آبیاری مطلوب (با میانگین عملکرد ۳۶۸۵ کیلوگرم در هکتار) بودکه با نتایج فریرز و همکاران (۲۹)، کریم‌زاده اصل (۳۸) و غلام‌حسینی و همکاران (۳۱) مطابقت داشت. تنش کمبود آب با تأثیر بر شاخص سطح برگ سبب کاهش فتوسنتز، کاهش تعداد دانه در طبق، افزایش درصد پوکی دانه‌ها و در نهایت کاهش عملکرد دانه آفتابگردان می‌شود (۲۹). عملکرد دانه آفتابگردان همبستگی مثبتی با قطر طبق، وزن هزار دانه، تعداد دانه در طبق و ارتفاع بوته دارد (۴۵). تنش خشکی از طریق کاهش مقدار دانه گرده، غیرجذاب کردن گل‌ها برای حشرات گرده افشان و کاهش مقدار شهد گل‌ها اثر منفی بر گرده‌افشانی گل‌ها دارد و از این طریق سبب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه گیاهان می‌شود (۱۰). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم TSP عملکرد دانه ۴۰ درصد و در شرایط آبیاری محدود ۳۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت ولی بین شاهد و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم TSP در هکتار تفاوت معناداری وجود نداشت (جدول ۸). این نتایج با توجه به نقش فسفر در ذخیره و انتقال انرژی، فعالیت برخی آنزیم‌ها، فتوسنتز، تنفس سلولی، ساخت ساکاروز و نشاسته، انتقال کربوهیدارت‌ها (۴۶) همچنین افزایش قطر و طول ریشه، افزایش ریشه‌های خوشه‌ای و سطح تماس ریشه قابل توجیه است (۲۰ و ۳۶). مصرف لجن فاضلاب و افزایش سطوح آن عملکرد دانه را به‌طور معناداری افزایش داد به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب و محدود از سطح ۵۶/۷ تن لجن فاضلاب در هکتار به دست آمد که به‌ترتیب ۴۵ و ۱۱۶ درصد نسبت به شاهد افزایش یافتند (جدول ۸). افزایش عملکرد دانه آفتابگردان با مصرف ۲۸/۴ تن لجن فاضلاب در هکتار توسط ابوکرو و همکاران (۷) نیز گزارش شده است که با نتایج به دست آمده از این پژوهش مطابقت دارد. بررسی‌ها نشان داده است که افزایش عملکرد آفتابگردان با مصرف لجن فاضلاب را می‌توان ناشی از افزایش فراهمی عناصر غذایی و بهبود ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی و زیستی خاک دانست (۵۵). مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه برای اثر متقابل لجن فاضلاب×آبیاری×فسفر نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب با ۵۱ درصد افزایش نسبت به شاهد از تیمار تلفیقی ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS در هکتار به‌دست آمد و تیمارهای ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۲۸/۴ تن SS، ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۱۴/۲ تن SS و ۵۶/۷ تن SS به‌تنهایی در جایگاه بعدی قرار داشتند. در شرایط آبیاری محدود بیشترین عملکرد دانه با ۱۱۶ درصد افزایش نسبت به شاهد از تیمارهای ۵۶/۷ تن لجن فاضلاب به‌تنهایی و ۱۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS در هکتار عملکرد دانه به‌دست آمد (جدول ۸). نتایج آزمایش بابائیان و همکاران (۱۴) نشان داد که بیشترین عملکرد دانه جو از تیمار تلفیقی ۳۰ تن کود دامی در هکتار+ نصف کود شیمیایی به‌دست آمد. افزایش معنادار عملکرد دانه در نظام‌های مدیریت تلفیقی تغذیه را می‌توان به افزایش فراهمی عناصر غذایی به شکل قابل‌جذب و طولانی‌مدت برای گیاهان، بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و افزایش مواد آلی خاک، توسعه سیستم ریشه‌ای قوی و افزایش جذب آب نسبت داد چون کودهای آلی و شیمیایی به‌تنهایی برای تولید عملکرد پایدار کافی نیستند (۶۵). نتایج این پژوهش نشان داد که با مصرف تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی عملکرد دانه آفتابگردان از طریق افزایش وزن هزار دانه، وزن و تعداد دانه در بوته، قطر طبق و کاهش درصد پوکی در شرایط آبیاری مطلوب و محدود به‌طور معناداری افزایش یافت. وجود همبستگی مثبت بین عملکرد دانه با ویژگی‌های مذکور به‌وسیله سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (۱۷).

نتیجه‌گیری کلی

تنش کم‌آبی وزن هزار دانه، وزن و تعداد دانه در بوته، درصد پوکی، قطر طبق و عملکرد دانه آفتابگردان را به‌طور معناداری کاهش داد. نتایج نشان داد که افزایش عملکرد دانه آفتابگردان در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی ناشی از افزایش وزن هزار دانه، افزایش تعداد و وزن دانه‌ها در طبق، افزایش قطر طبق و کاهش درصد پوکی با مصرف تلفیقی سوپرفسفات تریپل و لجن فاضلاب بود.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های اندازه‌گیری شده آفتابگردان برای اثر اصلی سال

Table 7- Means comparision on measured characteristics of sunflower for the main effect of year

عامل Factor	سطوح Levels	وزن دانه در بوته (WSP) (g)	قطر طبق (HD) (cm)	عملکرد دانه (SY) (kg/ha)
سال (Year)	2014	59.8[b]	16.4[b]	3948.7[b]
	2015	71.4[a]	19.7[a]	4715.3[a]

درهرستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنادار در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Means followed by the same letter in a column are not significantly different at $p < 0.05$

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های اندازه‌گیری شده آفتابگردان برای اثر متقابل آبیاری × TSP × SS

Table 8- Means comparision on measured characteristics of sunflower for interaction effects of irrigation×TSP × SS

آبیاری Irrigation	TSP (kg/ha)	SS (t/ha)	وزن هزار دانه (1000 SW) (g)	وزن دانه در بوته (WSP) (g)	تعداد دانه در بوته (NSP)	پوکی (PEA) (%)	قطر طبق (HD)(cm)	عملکرد دانه (SY) (kg/ha)
	0	0	46.0^{ij}	55.8^{fg}	1330^{c-h}	7.4^{de}	15.1^{l}	3685.2^{fg}
	0	15	50.9^{gh}	57.4^{fg}	1191^{h-j}	6.1^{f-h}	16.3^{jk}	3792.0^{fg}
	0	30	60.9^{bc}	70.9^{c}	1367^{b-g}	3.7^{k-m}	17.6^{f-i}	4682.2^{c}
	0	60	65.3^{a}	80.7^{ab}	1435^{a-d}	5.2^{h-j}	20.2^{b-c}	5329.0^{ab}
	100	0	50.0^{hi}	53.6^{gh}	1126^{ij}	6.9^{ef}	17.4^{h-j}	3536.0^{gh}
مطلوب	100	15	50.0^{hi}	61.2^{ef}	1316^{d-h}	6.5^{e-g}	16.9^{i-j}	4042.3^{ef}
Optimum	100	30	54.5^{e-g}	57.3^{fg}	1289^{d-i}	4.9^{ij}	17.2^{h-j}	3782.7^{fg}
	100	60	58.7^{c-e}	70.3^{c}	1435^{a-d}	3.2^{mn}	19.1^{c-e}	4642.6^{c}
	200	0	55.1^{d-f}	77.9^{b}	1367^{b-g}	8.0^{cd}	18.2^{e-h}	5139.4^{b}
	200	15	56.0^{d-f}	83.2^{ab}	1537^{a}	3.4^{l-n}	20.8^{b}	5494.1^{ab}
	200	30	55.7^{d-f}	80.8^{ab}	1543^{a}	3.6^{k-n}	20.9^{b}	5330.6^{ab}
	200	60	64.2^{ab}	84.5^{a}	1513^{ab}	2.2^{op}	22.1^{a}	5575.8^{a}
	0	0	35.3^{l}	37.3^{i}	1136^{ij}	8.4^{bc}	13.2^{m}	2462.6^{i}
	0	15	37.3^{l}	52.0^{gh}	1238^{f-i}	5.8^{g-i}	15.4^{kl}	3435.0^{gh}
	0	30	49.2^{hi}	63.8^{de}	1313^{d-h}	4.5^{jk}	17.4^{h-j}	4211.0^{de}
	0	60	57.1^{c-f}	80.6^{ab}	1494^{a-c}	3.8^{k-m}	19.6^{c-d}	5322.0^{ab}
	100	0	41.3^{k}	49.2^{h}	1310^{d-h}	12.7^{a}	16.6^{ij}	3250.2^{h}
محدود	100	15	46.2^{ij}	55.8^{fg}	1239^{e-i}	9.3^{b}	17.5^{g-j}	3684.0^{fg}
Limited	100	30	44.7^{jk}	70.2^{c}	1392^{a-f}	3.7^{k-m}	18.5^{d-h}	4632.3^{c}
	100	60	54.0^{fg}	80.5^{ab}	1333^{c-h}	1.6^{p}	19.1^{c-e}	5310.3^{ab}
	200	0	49.2^{hi}	49.1^{h}	1070^{j}	5.9^{gh}	18.5^{d-h}	3238.1^{h}
	200	15	42.6^{jk}	68.5^{cd}	1411^{a-e}	4.4^{jl}	18.7^{d-g}	4522.2^{cd}
	200	30	49.1^{hi}	65.6^{c-e}	1387^{a-f}	2.6^{no}	17.9^{f-i}	4327.4^{c-e}
	200	60	59.0^{cd}	68.8^{cd}	1209^{g-j}	3.0^{mo}	18.7^{d-f}	4540.7^{cd}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنادار در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Means followed by the same letter in a column are not significantly different at $p < 0.05$

به‌طور کلی، برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی، افزایش عملکرد دانه آفتابگردان و توسعه کشاورزی پایدار، در شرایط آبیاری مطلوب مصرف تلفیقی ۲۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS در هکتار و در شرایط آبیاری محدود مصرف ۱۰۰ کیلوگرم TSP+۵۶/۷ تن SS در هکتار در شرایط مشابه (از لحاظ خاک، لجن فاضلاب و اقلیم) می‌تواند توصیه شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه تبریز به‌دلیل حمایت مالی در اجرای طرح پژوهشی که این مقاله حاوی قسمتی از نتایج آن است، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

1- Abbasi M., Najafi N., Aliasgharzad N., and Oustan Sh. 2013. Effects of soil water conditions, sewage sludge, poultry manure and chemical fertilizers on the growth characteristics and water use efficiency of rice plant in a calcareous soil. Journal of Soil and Water Science-University of Tabriz, 23(1): 189-208. (in Persian with English abstract)

2- Abolhassani K.H., and Saeidy G. 2003. Relationship between agronomic characteristics of safflower under with and without moisture stress. Iranian Journal of Field Crops Research, 1(2): 138-142. (in Persian with English abstract)

3- Ahmadi A., and zali A. 2004. Compare of the storage and remobilization of photosynthesis materials and their contribution to the performance of four cultivar wheat in optimum and drought stress. Journal of Agricultural Science, 35(4): 931-921.

4- Ahmadinejad F., Najafi N., Aliasgharzad N., and Oustan S. 2013. Effects of organic and nitrogen fertilizers on water use efficiency, yield and the growth characteristics of wheat (*Triticum aestivum* cv. Alvand). Journal of Soil and Water Science-University of Tabriz, 23(2): 194-177. (in Persian with English abstract)

5- Ahmed H.K., Fawy H.A., and Abdel-Hady E.S. 2010. Study of sewage sludge use in agriculture and its effect on plant and soil. Agriculture and Biology Journal of North America, 1(5): 1044-1049.
6- Ailincai C., Jitareanu G., Bucur D., and Ailincai D. 2007. Influence of sewage sludge on maize yield and quality and soil chemical characteristics. Journal of Food Agriculture and Environment, 5(1): 310–313.
7- Albuquerque H.C., Junio Z.,Geraldo R., Sampaio R.A., Fernandes L.A., Zonta E., and Barbosa C.F. 2015. Yield and nutrition of sunflower fertilized with sewage sludge. Revista Brasileira Engenharia Agrícultura Ambiental, 19(6): 553-559.
8- Alley M.M., and Vanlauwe B. 2009. The role of fertilizers in integrated plant nutrient management. International Fertilizer Industry Association.
9- Alkio M., Schubert A., Diepenbrock W., and Grimm E. 2003. Effect of source–sink ratio on seed set and filling in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Plant, Cell and Environment, 26(10): 1609–1619.
10- Alqudah A.M., Samarah N.H., and Mullen R.E. 2011. Drought stress effect on crop pollination, seed set, yield and quality. Alternative Farming Systems, Biotechnology, Drought Stress and Ecological Fertilisation. Springer the Netherlands, Pp: 193-213.
11- Anonymous. 1993. Environmental Protection Agency (EPA). Standards for the use or disposal of sewage sludge.Office of Science & Technology, Washington, D.C. Final Rules, 58(32): 9248-9415.
12- Anonymous. 2014. Meteorological organization of Iran. www.iranhydrology.net/meteo.asp
13- Anonymous. 2014. The Ministry of Agriculture, Department of Animal Production.
14- Babaeian M., Esmaeilian Y., Tavassoli A., Asgharzade A., and Sadeghi. 2011. The effects of water stress, manure and chemical fertilizer on grain yield and grain nutrient content in barley. Scientific Research and Essays, 6(17): 3697-3701.
15- Bai Bourdi A., and Malakouti M.J. 2001. The effect of different levels of phosphorus and zinc on cadmium content of two potato varieties in sarab, East Azarbayjan. Journal of soil and water sciences, 15(1): 25-38. (in Persian with English abstract)
16- Barbosa G.M.C., Tavares Filho J., Brito O.R., and Fonseca I.C.B. 2007. Residual effect of sewage sludge on off-season corn yield. Brazilian Journal of Soil Science, 31(3): 601-605.
17- Behradfar A., Hassanzadeh Gorttapeh A., Zardashty M.R., and Talat F. 2009. Evaluation correlated traits for seed and oil yield in sunflower (*Heliathus annuus* L.) through path analysis in under condition relay cropping. Research Journal of Biological Sciences, 4 (1): 82-85.
18- Beltrano J., Caldiz D.O., Barreyro R., Sanchez Vallduvi G., and Bezus R. 1994. Effects of foliar applied gibberellic acid and benzyladenine upon yield components in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Plant Growth Regulation, 15: 101-106.
19- Binder D.L., Dobermann A., Sander D.H., and Cassman K.G. 2002. Biossolids as nitrogen source for irrigated maize and rainfed sorghum.Soil Science Society of America Journal, 66: 531-543.
20- Caldeira Junior C.F., Souza R.A., Santos A. M., Sampaio R.A., and Martins E.R. 2009. Chemical characteristics of soil and growth of *Astronium fraxinifolium* (Schott) in response to fertilization with sewage sludge and calcium silicate. Revista Ceres, 56(2): 213-218.
21- Chimenti C.A., Pearson J., and Hall A.J. 2002. Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. Field Crops Research, 75: 235-246.
22- Dane J.H., and Topp G.C. 2002. Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. ASA-CSSA-SSSA Publisher, USA.
23- Da Silva E.C., Nogueira R.J.M.C., da Silva M.A., and de Albuquerque M.B. 2011. Drought stress and plant nutrition. Plant Stress, 5: 32-41.
24- Dehkhoda A., Naderidarbaghshahi M., Rezaei A., and Majdnasiri B. 2013. Effect of water deficiency stress on yield and yield component of sunflower cultivars in Isfahan. International Journal of Farming and Allied Sciences, 2: 1319-1324.
25- Dordas C. 2008. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture: a review. Agronomy for Sustainable Development, 28(1): 33–46.
26- Esmaeilian Y., Galavi M., Amiri E., and Heidari M. 2014. Effect of organic and chemical fertilizers on yield, yield components and seed quality of sunflower under drought stress conditions. Journal of Soil and Water Science, 24(3): 175-189. (in Persian with English abstract)
27- FAO. 2006. Plant Nutrition for Food Security. A Guide for Integrated Nutrient Management. FAO Fertlizer and Plant Nutrition Bulletin, No 16, Rome, 347 Pages.
28- Farshi A.A., Shariati M.R., Jaroallahi R., Ghaemi M.R., Shahabifar M., and Tavallaei M.M. 1997. An Estimate of Water Requirement of Main Field Crops and Orchards in Iran. Vol. 2. Field Crops. Agricultural Education Publications, Karaj, Iran. (in Persian).

29- Fereres E., Gimez C., and Fernandez J.M. 1986. Genetic variability in sunflower cultivars underdrought. I. yield relationships. Australian Journal of Agricultural Research, 37(6): 573-582.
30- Garg B.K., Burman U., and Kathju S. 2004. The influence of phosphorus nutrition on the physiological response of moth bean genotypes to drought. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 167(4): 503–508.
31- Gholamhoseini M., Ghalavand A., and Jamshidi E. 2008. The effect of irrigation regimes and fertilizer treatments on grain yield and elements concentration in leaf and grain of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Pajouhesh & Sazandegi, 79: 91-100. (in Persian with English abstract)
32- Goksoy A.T., Demir A.O., Turan Z.M., and Daustu N. 2004. Responses of sunflower to full and limited irrigation at different growth stages. Field Crops Research, 87: 167-178.
33- Hazelton P.A., and Murphy B.W. 2007. Interpreting soil test results: what do all the numbers mean? CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
34- Jamshidi A., Ghalavand A., Salehi A., Javad Zare M., and Jamshidi E.R. 2009. Effect of mycorrhiza arbuscular on yield and yieldcomponents of sunflower under drought stressconditions. Iranian Journal of Agricultural Science, 11(1): 150-134. (in Persian with English abstract)
35- Jones B.J. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press, USA.
36- Jungi L., Deborah A.S., Bruna B., Deborah L., and Carol P.W. 2005. Signalling of phosphorus deficiency-induced gene expression in white lupinrequires sugar and phloem transport. The Plant Journal, 41(2): 257-268.
37- Kandil AA., and Elsalwa L. 2004. Head diameter of sunflower as indicator for seed yield. Helia. 11: 21-23.
38- Karimzadeh Asl Kh., Mazaheri D., and Peighambari S.A. 2003. The effect of fourirrigation on yield and quantitative three varieties of sunflower. Iranian Journal of Agricultural Science, 34(2): 300-303.
39- Kassab O.M. 2005. Soil moisture stress and micronutrients foliar application effects on the growth and yield of mungbean plants. Journal of Agricultural Sciences, Mansoura University, 30: 247-256.
40- Knudsen D., Peterson G.A., and Pratt P.F. 1982. Lithium, sodium, and potassium. Pp. 225-246. Page A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds). Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Soil Science Society of America Journal Book Ser. 5. Madison, WI, USA.
41- Lavado R.S. 2006. Effects of sewage-sludge application on soils and sunflower yield: quality and toxic element accumulation. Journal of Plant Nutrition, 29: 975–984.
42- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal, 42: 421-428.
43- Lobo T.F., and Grassi Filho H. 2007. Level of sewage sludge for the productivity of sunflower. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 7(3): 16-25.
44- Malakouti M.J., Balali M.R., Golchin A., Majidi A., Drodi M.S., Ziaeian A.A., Lotfollahi M.A., Shahabian M., Basirat M., Manochehri S., Davoudi M.H., Khadami Z., and Shahbazi K. 2000. Optimum Fertilizer Recommendation to Crops. Technical Publication, No. 200, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. (in Persian)
45- Marinković R. 1992. Path coefficient analysis of some yield components of sunflower. Euphytica, 60(3): 201-205.
46- Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition, Academic Press, New York.
47- Mata-González R., Sosebee R.E., and Wan C. 2002. Physiological impacts of biosolids application in desert grasses. Environmental and Experimental Botany, 48(2): 139-148.
48- Mohammad S. 1999. Long-term effect of fertilizers and integrated nutrient supply in intensive cropping on soil fertility, nutrient uptake a yield of rice. The Journal of Agricultural Science, 133(04): 365-370.
49- Moradi M., Madani H., and Pilevari R. 2008. Comparison ofbiological and chemical phosphorus efficiency in oilsunflower under climatic conditions of Arak. New Findings in Agriculture, 3(2): 168-178. (in Persian)
50- Motalebifard R., Najafi N., Oustan S., Nyshabouri M.R., and Valizadeh M. 2013. The combined effects of phosphorus and zinc on evapotranspiration, leaf water potential, water use efficiency and tuber attributes of potato under water deficit conditions. Scientia Horticulturae, 162: 31–38.
51- Motallebifard R., Najafi N., Oustan S., Neyshabouri M.R., and Valizadeh M. 2014. Effects of soil moisture, phosphorus and zinc levels on the growth attributes of potato, greenhouse conditions. Iranian journal of Soil and Water Research, 45(1): 75-86. (in Persian with English abstract)
52- Mozaffari K., Arshi A., and Zeinalikhnagah V.H. 1996. Effects of drought on some traits of morpho physiology and yield components of sunflower seeds. Journal of Seed and Plant, 12(3): 24-30.
53- Najafi N., and Mardomi S. 2012. The effects of waterlogging, sewage sludge and manure on the growth characteristics of sunflower in a sandy loam soil. Journal of Water and Soil- Ferdowsi University of Mashhad, 25(6): 1264-1276. (in Persian with English abstract)
54- Naing A., Banterng P., Polthanee A., and Trelo-Ges V. 2010. The effect of different fertilizers management strategies on growth and yield of upland black glutinous rice and soil property. Asian Journal of Plant Sciences,

9(7): 414-422.
55- Nascimento A.L., Sampaio R.A., Junio G.R., Carneiro J.P., Fernandes L.A., and Rodrigues M.N. 2014. Heavy metal contents in soil and in sunflower fertilized with sewage sludge. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 18(3): 294-300.
56- Nazemie A., Khazaei H.R., Boromand Rezazadeh Z., and Hosseini A. 2008. Effects of drought stress and defoliation on sunflower (*Helianthus annus*) in controlled conditions. Desert, 12: 99-104.
57- Nur I. 1978. Sunflower and the problem of unfilled seeds under Sudan conditions. Acta Agronomica Academiae Scientiarum Hungarica, 27: 339–340.
58- Olsen S.R., and Sommers L.E. 1982. Phsphorus, Pp. 403-430, In: Page Al (ed). Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Methods, 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, USA.
59- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. ASA-CSSA-SSSA Publisher, Madison, Wisconsin, USA.
60- Peters J. 2003. Recommended methods of manure analysis. Cooperative Extension publishing, University of Wisconsin, USA.
61- Rahimizadeh M., Kashani A., Zare A., Madani H., and Soltani E. 2010. Effect of micronutrient fertilizers on sunflower growth and yield in drought stress condition. Journal of Crop Production, 3(1): 57-72. (in Persian with English abstract)
62- Ribeirinho V.S., Melo W.J., Silva D.H., Figueiredo L.A., and Melo G.M.P. 2012. Soil fertility, nutritional status, and yield of sunflower fertilized with sewage sludge. Tropical Agricultural Research, 42(2): 166-173.
63- Roshdi M., Heidari Sharifabad H., Karimi M., Noor Mohammadi G., and Darvish F. 2006. A survey on the impact of water deficiency over the yield of sunflower seed cultivar and its components. Journal of Agricultural Sciences, 12(1): 109-122. (in Persian with English abstract)
64- Sabaghpour S.H., Mahmodi A.A., Saeed A., Kamel M., and Malhotra R.S. 2006. Study on chickpea drought tolerance lines under dryland condition of Iran. Indian Journal of Crop Science, 1: 70-73.
65- Satyanarayana V., Prasad P.V., Murthy V.R.K., and Boote K.J. 2002. Influence of integrated use offarmyard manure and inorganic fertilizers on yield and yield components of irrigated lowland rice. Journal of Plant Nutrition, 25(10): 2081–2090.
66- Shoghi-Kalkhoran S., Ghalavand A., Modarres-Sanavy S.A.M., Mokhtassi-Bidgoli A., and Akbari P. 2013. Integrated fertilization systems enhance quality and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Journal of Agricultural Science and Technology, 15: 1343-1352.
67- Singh R.P., and Agrawal M. 2008. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. Waste Management, 28(2): 347-358.
68- Sposito G., Lund L.J., and Chang A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid-zone amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. Soil Science Society of America Journal, 46: 260-264.
69- Steer B.T., Hocking P.J., and Low A. 1988. Dry matter, minerals and carbohydrates in the capitulum of sunflower (*Helianthus annuus*): effects of competition between seeds, and defoliation. Field Crops Research, 18: 71–85.
70- Tabatabaii Ebrahimi S., Yarnia M., Khorshidi Benam M.B., and Farajzadeh Memari Tabrizi E. 2011. Effect of potassium fertilizer on corn yield (*jeta cv*.) under drought stress condition. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Sciences, 10(2): 257-263.
71- Thomas C.N., Bauerle W.L., Chastain J.P., Owino T.O., Moore P., and Klaine S.J. 2006. Effect of scrubber by-product stabilized dairy lagoon sludge on growth and physiological responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Chemosphere, 64(1): 152-160.
72- Vega C.R.C., Sadras V.O., Andrade F.H., and Uhart S.A. 2000. Reproductive allometry in soybean, maize and sunflower. Annals of Botany, 85(4): 461-468.
73- Yegappan T.M., Paton D.M., Gates C.T., and Müller W.J. 1982. Water stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) 3. Responses of cypsela size. Annals of Botany, 49: 69–75.
74- Zaffroni E.J., and Schneiter A.A. 1989. Water use efficiency and light interception of semi–dwarf and standard height sunflower hybrids grown in different row arrangment. Agronomy Journal, 81(5): 831-836.

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 6, Jan.-Feb. 2018, p. 1637-1650

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۶، بهمن – اسفند ۱۳۹۶، ص. ۱۶۵۰-۱۶۳۷

Increasing the Yield and Yield Components of Sunflower by Integrated Application of Phosphorus and Sewage Sludge under Optimum and Limited Irrigation Conditions

S. Kazemalilou[1*]- N. Najafi[2]- A. Reyhanitabar[3]

Received: 24-01-2017
Accepted: 04-12-2017

Introduction: Sunflower as one of the most important oil crops in the world is affected by water deficit stress. Water deficit stress is one of the most important limiting factors of crops growth and production in Iran and many regions of the world. Because of the low water productivity in Iran, the water conservation and increasing of water use efficiency through good management including integrated application of organic and chemical fertilizers and balanced nutrition of plants are necessary. One of the negative effects of water deficit stress is impaired uptake of nutrients such as phosphorus (P) by plants and a decrease in plant yield. It has been found that use of P can reduce the negative effects of drought stress on plants that means the tolerance of plants to drought stress increases with optimal nutrition of P. In Iran, due to the lack of organic matter and the high cost of chemical fertilizers, farmers tend to use organic wastes such as sewage sludge that can have an important contribution in the improvement of soil fertility and plant nutrition and lead to an increase in water use efficiency. Also, integrated and suitable nutrition of plants is a method of sustainable management of soil fertility under environmental stresses. Therefore, this study aimed to evaluate the effects of sewage sludge (SS) and triple superphosphate (TSP) on sunflower (*Helianthus annuus* L. cv. Farrokh) seed yield and its components and determining the optimal levels of their consumption under optimum and limited irrigation conditions.

Materials and Methods: This experiment was conducted as a split-plot factorial arrangement in a randomized complete block design in Agricultural Research Station of Khoy under field conditions for two years. Experimental factors were irrigation time at two levels (irrigation after 60 and 150 mm evaporation from class A evaporation pan), triple superphosphate at three levels (0, 100 and 200 kg/ha), sewage sludge at four levels (0, 14.2, 28.4 and 56.7 t/ha) and year at two levels (2014 and 2015) with three replications. The 1000 seed weight of sunflower, weight and number of seeds per plant, the percentage of empty achenes, head diameter and seed yield were measured at the end of plant growth period. Statistical analysis of the data was performed using MSTATC software and means comparison was done by Duncan's multiple range test at 5% probability level.

Results and Discussion: The combined analysis of variances showed that the effect of year was significant for weight of seeds per plant, head diameter and seed yield but it is not significant for 1000 seed weight, number of seeds per plant and percentage of empty achenes. Although water deficit stress significantly increased the percentage of empty achenes but 1000 seed weight, weight and number of seeds per plant, head diameter and seed yield significantly decreased compared to optimum irrigation conditions. The application of integrated application of 200 kg TSP and 56.7 tons SS per ha increased yield and yield components significantly compared to the control treatment. The interaction effects of TSP×SS×irrigation were significant for all studied characteristics. Under optimum irrigation condition, the highest 1000 seed weight (64 g), weight of seeds per plant (85 g), number of seeds per plant (1513), head diameter (22 cm) and seed yield (5576 kg/ha) were observed in intergrated treatment of 200 kg TSP+56.7 tons SS/ha. Under limited irrigation condition, the highest 1000 seed weight (57 g), seeds weight per plant (81 g), seeds number per plant (1494), head diameter (19.6 cm) and seed yield (5322 kg/ha) were obtained from 56.7 tons SS/ha treatment which showed no significant difference with 100 kg TSP+56.7 tons SS/ha treatment. Under optimum and limited irrigation conditions, the percentage of empty achenes were significantly decreased by integrated treatments of 200 kg TSP+56.7 tons SS/ha and 100 kg TSP+56.7 tons SS/ha (70 and 81 percent, respectively) compared to the control.

Conclusion: The results of this study indicated that integrated application of triple superphosphate and sewage sludge can mitigate negative effects of drought stress; therefore in order to reduce the use of chemical

1, 2 and 3- Ph.D. Student and Associate Professors, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Respectively
(*- Corresponding Author Email: solmazalilo@yahoo.com)

fertilizers, increasing sunflower seed yield and development of sustainable agriculture, integrated treatments of 200 kg TSP+56.7 tons SS/ha under optimum irrigation and 100 kg TSP+56.7 tons SS/ha under limited irrigation can be recommended at similar conditions (from the aspect of soil, plant, sewage sludge and climate).

Keywords: Integrated plant nutrition management, Oil seed, Sustainable agriculture, Water deficit stress