نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هفتم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۲ / مقاله علمی- پژوهشی: صفحات ۵۳ تا ۶۹

اثر دور آبیاری، کود نیتروژن و روش کشت بر عملکرد و کارایی مصرف آب نیشکر

هوشنگ جعفری‌نیا[1*]، علی شعبانی[1]، سعید صفیرزاده[2] و محمد جواد امیری[1]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۱۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۳)

چکیده

با توجه به شرایط اقلیمی ایران، افزایش کم‌آبی و تأثیر آن بر کارایی مصرف آب و کودهای شیمیایی، آزمایشی به‌منظور بررسی تأثیر دور آبیاری (۶، ۹ و ۱۲ روز)، سطوح مختلف کود نیتروژن (۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) و روش کشت (روی پشته یا هیلینگ‌آپ شده و داخل جویچه) بر عملکرد و بهره‌وری آب نیشکر به‌صورت طرح فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در شرکت کشت و صنعت حکیم فارابی خوزستان انجام شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین عملکرد نیشکر (۱۰۶/۷۳ تن در هکتار) در دور آبیاری ۹ روز به‌دست آمد، در حالی‌که کمترین آن (۵۹/۱۰ تن در هکتار) در دور آبیاری ۱۲ روز مشاهده شد. همچنین، با کاربرد ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار، بیشترین عملکرد نیشکر (۹۹/۸۹ تن در هکتار) به‌دست آمد و کشت درون جوی در مقایسه با کشت روی پشته عملکرد بیشتری را داشته است. بیشترین کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد ساقه نیشکر و شکر تولیدی به‌ترتیب با ۳/۵۵ و ۰/۳۴ کیلوگرم به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی، در دور آبیاری ۹ روز به‌دست آمد. افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد ساقه نیشکر در تیمار ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در مقایسه با دو سطح کودی دیگر مشاهده شد. هرچند در کارایی مصرف آب شکر تولیدی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج پژوهش نشان داد که دورهای آبیاری ۶ و ۹ روز در اکثر صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری نسبت به یکدیگر نداشتند، بنابراین در شرایطی که سطح کشت نیشکر زیاد و مقدار آب قابل‌دسترس محدود است، افزایش فواصل آبیاری (۲ تا ۳ روز بیشتر) برای نیشکر توصیه می‌شود. کشت در داخل جویچه می‌تواند در کاهش آب مصرفی نیز نقش مؤثری داشته باشد. بنابراین، کم‌آبیاری به همراه مصرف مناسب و متعادل کود نیتروژن می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد مناسب در کشت نیشکر مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: فاصله آبیاری، شیوه کشت، تنش خشکی، شکر، کارایی مصرف کود

۱. بخش علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه فسا، فارس، ایران.
۲. بخش علوم خاک، شرکت کشت و صنعت حکیم فارابی خوزستان، خوزستان، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: hjafari5793@gmail.com

مقدمه

نیشکر از گیاهان مهم زراعی است که در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری کشت می‌شود و یکی از منابع مهم تولید انرژی محسوب می‌شود. نیشکر به‌عنوان یکی از عمده‌ترین محصولات کشاورزی در تجارت جهانی دارای اهمیت ویژه‌ای است. هدف از زراعت این گیاه استحصال شکر است ولی مشتقات دیگری مانند ملاس و الکل اتیل، فیبر و ... از آن به‌دست می‌آید. ارزیابی نیاز آبی و کودی گیاه نیشکر می‌تواند برای تنظیم و طراحی برنامه‌های آبیاری و مصرف بهینه آب و کود نیتروژن به‌ویژه برای کشت و صنعت‌های نیشکری خوزستان از اهمیت خاصی برخوردار باشد (۴). گیاه نیشکر به‌منظور دستیابی به حداکثر عملکرد به مقادیر کافی آب نیاز دارد. قابلیت دسترسی به آب یک فاکتور مهم ایجادکننده تغییرات در عملکرد و کیفیت عصاره نیشکر است (۳۶). آب نقش کلیدی در جذب عناصر غذایی و انتقال آنها از خاک به ریشه و به ساقه دارد. کم‌آبی یکی از مهمترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک تلقی می‌شود. پاسخ گیاهان به تنش خشکی می‌تواند هم در کوتاه‌مدت و هم بلندمدت بر بازده اقتصادی تولیدات کشاورزی تأثیرگذار باشد. بنابراین، برای کاهش این مخاطرات، برنامه‌ریزی صحیح در سطح مزرعه و منطقه در توزیع مناسبت آب در شرایط محدودیت آن، ضرروی است (۳۲). کمبود آب موجب کاهش زیست‌توده و عملکرد ساقه نیشکر می‌شود (۳۹). وقتی‌که کم‌آبیاری در طول یک دوره خاص از رشد گیاه اتفاق می‌افتد، پاسخ گیاه با توجه به حساسیت گیاه در آن مرحله رشد متفاوت است (۲۴). دینگر و گورانتیوار (۱۲) بیان کردند که نیشکر دارای بیشترین حساسیت به کم‌آبی در دوره رشد سریع، دارای حساسیت متوسط در دوره پنجه‌زنی و کمترین حساسیت در زمان رسیدگی است. دین و همکاران (۱۴) نشان دادند که تنش خشکی در زمان‌های ۶۰ و ۱۲۰ روز پس از کشت در گیاه نیشکر منجر به کاهش معنی‌دار نرخ فتوسنتز، سطح برگ و تولید ماده خشک می شود. ویدنفلد و انسیسو (۳۵) نشان دادند افزایش مقدار آبیاری عملکرد نیشکر را افزایش داد. گوما (۱۵) اثر فواصل آبیاری ۱۴، ۲۱، ۲۸، ۳۵ و ۴۲ روز را در عملکرد نیشکر مورد بررسی قرار داد. نتایج ایشان نشان داد که ارتفاع ساقه و درصد ساکارز با کاهش فواصل آبیاری افزایش داشت. بخت (۹) نتیجه گرفت که با کاهش فواصل آبیاری از ۲۰ روز به ۱۲ روز، طول ساقه، قطر ساقه و عملکرد ساقه نیشکر افزایش داشت. تایادا و همکاران (۳۳) با مطالعه کارایی استفاده آب در نیشکر بیان کردند که کاهش ۵۰ درصدی آب مورد نیاز گیاه منجر به ۴۱ درصد کاهش عملکرد نیشکر شد. کم‌آبیاری یک استراتژی مناسب برای تولید محصول در شرایط کمبود آب است که با کاهش محصول همراه است و هم‌اکنون در بسیاری از نقاط جهان رایج است (۲۱). کم‌آبیاری عبارت از مصرف عامدانه و عالمانه آب در کشاورزی است. در شرایط کم‌آبیاری مقدار تولید محصول در واحد سطح کم می‌شود ولی در نهایت سود و یا عملکرد حاصله به‌ازای واحد آب مصرفی افزایش می‌یابد (۱۹). کم‌آبیاری ناقص ریشه یکی از تکنیک‌های نوین آبیاری طی سال‌های گذشته است که نتایج بسیاری از مطالعات حاکی از افزایش میزان کارایی مصرف آب و همچنین عدم کاهش معنی‌دار محصول، در نتیجه اعمال این شیوه آبیاری بوده است (۲۵، ۲۹، ۳۰، ۳۸). هدف اصلی در کم‌آبیاری افزایش کارایی مصرف آب با کاهش نیاز آبیاری گیاه و حذف جزئی از آب آبیاری است که تأثیر معنی‌داری بر افزایش عملکرد ندارد. با وجود پیشرفت‌های انجام شده در کم‌آبیاری، انجام این شیوه نیاز به تجزیه و تحلیل جزئیات و شناخت عمیقی از چگونگی پاسخ گیاه به تنش آبی دارد. این شناخت، مرحله مهمی از ایجاد مقداری از کم آبیاری است که بتوان حداکثر نتیجه را به‌دست آورد (۶).

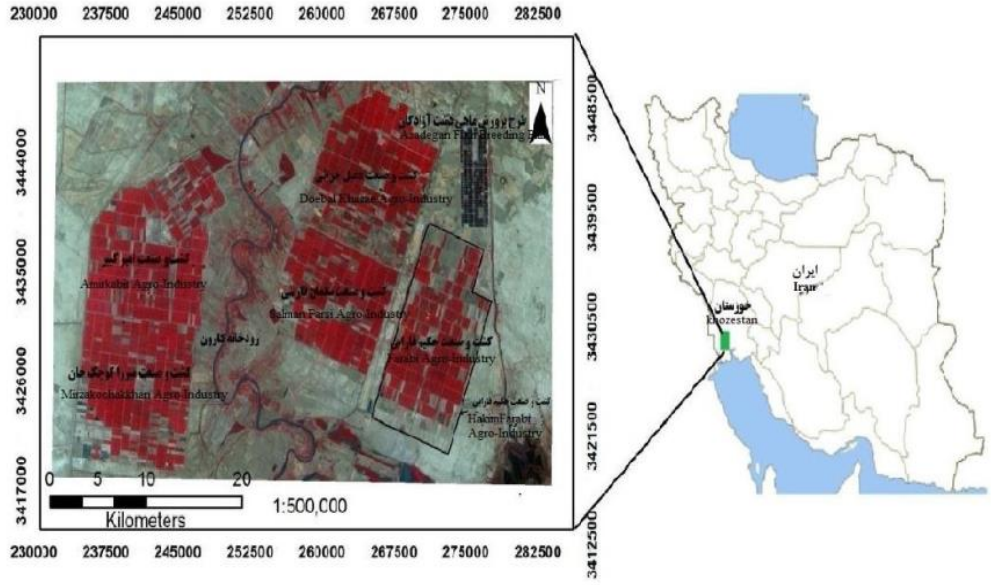
نیتروژن ضروری‌ترین عنصری است که اثرات مستقیم بر عملکرد نی و کیفیت شربت نیشکر دارد (۲۳). نیتروژن در بسیاری از فرایندهای مهم از قبیل رشد گیاه، گسترش برگ‌های سبز، پنجه‌زنی و تشکیل پروتئین‌های مؤثر در فتوسنتز دخالت دارد (۱۴). مقدار نیتروژن مورد نیاز گیاه، بسته به شرایط نیتروژن و رطوبت خاک متغیر است به‌گونه‌ای که شرایط تنش خشکی منجر به کاهش مقدار نیتروژن در گیاه می‌شود. کمبود آب و

نیتروژن به‌تنهایی و به‌صورت متقابل، تأثیر منفی در رشد و عملکرد گیاه دارند (۲۶). مدیریت کاربرد نیتروژن برای تسریع در رسیدگی نیشکر باید بر این اساس متمرکز شود که در دوره رشد سریع ساقه‌ها مقدار نیتروژن کافی باشد و با گذشت زمان کاهش یابد به‌نحوی که در دوره کوتاه‌مدت ۳-۲ ماه قبل از برداشت یعنی در دوره رسیدگی نیشکر، مقدار نیتروژن قابل دسترس گیاه به حداقل مقدار خود برسد. اندرسون (۳) گزارش داد که کود نیتروژن باعث افزایش اندازه و ضخامت ریشه‌های نیشکر می‌شود و در نتیجه باعث بهبود روند جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود. هرگونه تغییر در شکل هندسی جویچه می‌تواند عوامل آبیاری را تحت تأثیر و در نتیجه بر توزیع آب در مزرعه تأثیرگذار باشد. ملوحی و همکاران (۲۲) در پژوهشی در جنوب خوزستان دریافتند که عملیات بازسازی جویچه‌ها (Hilling up) می‌تواند راندمان کاربرد آب را ۱۷ درصد افزایش دهد. کاشت درون جوی با کاهش آب مصرفی و افزایش کارایی مصرف آب، می‌تواند در کاهش بروز تنش خشکی تأثیرگذار باشد، به بیان دیگر این روش کشت می‌تواند همانند آبیاری کامل بر رشد و توسعه گیاه کمک کند. کاشت در کف جوی مصرف آب را تا ۲۸ درصد کاهش می دهد و به نظر می‌رسد که به دلیل شستشوی املاح از اطراف ریشه، اثرات ناشی از تنش شوری کاهش می‌یابد (۸). بنابراین، با توجه به اهمیت آب در زراعت نیشکر و مشکلات کم‌آبی در سال‌های اخیر و نیز تأثیرگذاری بسیار زیاد شرایط رطوبتی بر کارایی مصرف آب و کود نیتروژن، مطالعه حاضر به‌منظور بررسی تأثیر همزمان دورآبیاری (افزایش دور آبیاری با مقدار مصرف ثابت آب بین تیمارها به‌منظور اعمال کم آبیاری)، سطوح مختلف نیتروژن و شیوه کشت (Hilling up) بر عملکرد کمّی و کیفی گیاه نیشکر انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش مورد نظر در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ در یکی از مزارع کشت و صنعت حکیم فارابی در استان خوزستان، شهرستان شادگان با مختصات طول جغرافیایی "۵۸ ۳۵ °۴۸ درجه شرقی و عرض جغرافیایی"۲۵ ′۵۳ °۳۰ درجه شمالی اجرا شد (شکل ۱). اقلیم منطقه مورد بررسی اقلیم خشک است که شامل میانگین سالانه متوسط درجه حرارت ۲۵ درجه سلسیوس، میانگین سالانه درجه حرارت حداقل ۱۶ درجه سلسیوس و میانگین سالانه درجه حرارت حداکثر ۳۳ درجه سلسیوس است. میانگین سالانه رطوبت نسبی هوا ۵۳ درصد و مجموع بارندگی و تبخیر سالانه به‌ترتیب ۱۵۰ و ۲۸۸۰ میلی‌متر است. به‌منظور بررسی خصوصیات خاک مزرعه مورد آزمایش، نمونه‌برداری تا عمق ۹۰ سانتی‌متری انجام شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مطابق روش‌های متداول آزمایشگاهی انجام شد که نتایج تجزیه خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین، نتایج تجزیه آب آبیاری نیز در جدول ۲ نشان داده شده است.

به‌منظور بررسی تأثیر تیمارهای دور آبیاری، مقدار کود نیتروژن و روش کشت بر عملکرد نیشکر، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل دور آبیاری در سه سطح (دور آبیاری ۶، ۹ و ۱۲ روز به‌ترتیب I6، I9 و I12)، کود نیتروژن در سه سطح (۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار به‌ترتیب N200، N300 و N400) و دو روش کشت روی پشته (هیلینگ‌آپ شده) و داخل جویچه (به‌ترتیب P و F) بودند. برای تنظیم حجم آب آبیاری داده شده، دبی هر دریچه هیدروفلوم در مقدار ۱/۶ الی ۱/۷ لیتر بر ثانیه تنظیم شد. این مقدار دبی دریچه‌ها با توجه به نیاز آبی نیشکر (توصیه شده توسط مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی) و خصوصیات خاک منطقه مورد آزمایش در حدود ۱۲۰۰ متر مکعب در هکتار در یک نوبت آبیاری تنظیم شد. این مقدار آب مورد نیاز بر اساس ویژگی خاک و حداکثر تخلیه مجاز بین دو نقطه رطوبتی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم و با احتساب نیاز آب‌شویی خاک‌های منطقه



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

عمق نمونه (cm)	ظرفیت زراعی جرمی (%)	وزن مخصوص ظاهری (g/cm^3)	کربن آلی خاک (%)	هدایت الکتریکی (dS/m)	pH	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	کربنات کلسیم معادل (%)	بافت خاک
۳۰-۰	۲۵	۱/۵۱	۰/۵۳	۲/۲۶	۷/۹۵	۵/۸۸	۱۳۰/۶۹	۵۰	سیلتی-کلی
۶۰-۳۰	۲۴/۵	۱/۵۴	۰/۴۸	۲/۲۸	۷/۹۷	۵/۶۶	۱۱۵/۸۷	۴۹	سیلتی-کلی
۹۰-۶۰	۲۴	۱/۵۳	۰/۴۵	۲/۲۹	۷/۸۹	۵/۷۲	۸۸/۷۷	۵۰	سیلتی-کلی

جدول ۲. ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری مزرعه تحقیقاتی

تاریخ نمونه	pH	هدایت الکتریکی (dS/m)	نیترات + نیتریت (mg/L)	سدیم (me/L)	منیزیم	کلسیم	کربنات	بی کربنات	سولفات	کلر	SAR
۹۷/۰۳/۲۸	۷/۸۱	۳/۰۸	۱/۰۵	۱۷/۳۹	۶	۹/۸	۰	۳/۲۵	۱۲/۴۲	۲۰	۶/۱۹
۹۷/۰۵/۲۲	۷/۹۶	۳/۲۲	۱/۴۷	۱۸/۸۷	۸/۹	۹/۱	۰	۴/۲	۱۲/۳۲	۱۸/۵	۶/۳

مورد مطالعه، به‌دست آمده است. بنابراین، برای رسیدن آب به انتهای فاروها (جویچه‌ها) حدود ۸/۵ الی ۹ ساعت زمان نیاز بود. با توجه به جویچه‌های انتها بسته، رواناب خروجی وجود نداشت و فقط در عمق ۱/۸ متری از سطح زمین، لوله‌های مشبک زهکشی وجود داشت که تخلیه زه‌آب را انجام می‌داد.

مقادیر مصرف آب آبیاری در تیمارهای دور آبیاری ۶، ۹ و ۱۲ روزه به‌ترتیب ۳۰۰۰۰، ۲۴۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار در تمام دوره رشد گیاه بود. در کشت نیشکر، مقدار نیتروژن مورد نیاز گیاه به‌طور کامل به‌صورت سرک استفاده می‌شود. به این منظور کود اوره بصورت محلول (کودآبیاری) در سه

مرحله شامل ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار به همه تیمارها در مرحله نخست (۱۳۹۶/۱۲/۲۸) و باقیمانده کود در هر تیمار با توجه به مقدار مصرف تیمار، در دو نوبت (۱۳۹۷/۰۲/۰۱ و ۱۳۹۷/۰۳/۱۵) به‌ترتیب ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ کیلوگرم در هکتار به گیاه داده شد. مساحت هر کرت ۰/۱۳ هکتار (۲۴۰ m × ۵/۵ m) بوده و به‌منظور کاهش انتقال آب بین کرت‌ها به اندازه ۱/۸۳ متر فاصله بین کرت‌ها درنظر گرفته شد. از زمان کشت نیشکر تا زمان استقرار گیاه، به‌دلیل مصادف‌شدن با سرمای زمستان، آبیاری تمام تیمارها به‌صورت مشابه انجام شد و تیمارهای آبیاری از زمان شروع دوره رشد فعال گیاه از اردیبهشت اعمال شد.

رطوبت غلاف برگ

اندازه‌گیری مقدار رطوبت غلاف برگ نیشکر بصورت هفتگی طبق استاندارد کنترل محصول گیاه نیشکر به‌منظور بررسی بروز یا عدم بروز تنش خشکی در گیاه نیشکر انجام شد. به این ترتیب که از قسمت‌های مختلف هر تیمار تعداد ۵ نمونه سرشاخه نیشکر جدا شده و از هر نمونه، غلاف برگ‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ جدا می‌شود و پس از وزن کردن، به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۱ ± ۸۰ درجه سلسیوس قرار داده و بعد از خشک‌شدن دوباره توزین شده و درصد رطوبت غلاف محاسبه می‌شود (۱۱).

عملکرد محصول نیشکر

از طریق ماشین‌های مخصوص برداشت نیشکر، تیمارهای مورد آزمایش به تفکیک در تاریخ ۱۳۹۸/۰۳/۲۱ برداشت شدند و توسط باسکول صنعتی توزین و وزن آنها ثبت شد. پس از تعیین عملکرد هر یک از تیمارها، کارایی مصرف آب و کود مصرف شده برای ساقه نی قابل آسیاب و شکر تولید شده به‌ترتیب به‌صورت کیلوگرم ساقه یا شکر تولید شده به ازای هر مترمکعب آب و کیلوگرم ساقه یا شکر تولید شده به ازای هر کیلوگرم کود مصرف شده محاسبه شدند.

اندازه‌گیری فاکتورهای کیفی نیشکر

به‌منظور بررسی تأثیر تیمارهای مورد مطالعه بر خصوصیات کیفی گیاه نیشکر، در پایان فصل رشد و قبل از برداشت، از نقاط مختلف هر کرت در مجموع تعداد ۱۵ عدد از ساقه‌های نیشکر نمونه‌بردای انجام شد. نمونه ساقه عاری از پوشال و خاشاک، توزین شده و با عصاره‌گیری به‌وسیله آسیاب سه غلطکی، شربت آن استخراج شد. پس از توزین، برای تعیین درصد خلوص مقدار ساکارز (purity)، درصد ساکارز (pol) و درصد ماده جامد موجود در شربت نیشکر (brix) طبق استاندارد آزمایشگاه کیفی نیشکر مورد استفاده قرار گرفت (۷). فاکتورهای مورد نظر با استفاده از معادلات ۴-۱ به‌دست آمدند:

$$p = \frac{pol \times 100}{brix} \quad (۱)$$

$$Quality\ Ratio = \frac{purity}{pol} \quad (۲)$$

$$yield = \frac{100}{QR} \quad (۳)$$

$$Refined\ Sugar = yield \times 0.83 \quad (۴)$$

که در آنها P (Purity)درصد خلوص ساکارز عصاره نیشکر، pol درصد ساکارز و brix درصد ماده جامد موجود در شربت نیشکر، QR (Quality Ratio) معادل نسبت کیفیت و yield برابر مقدار شکر تولید شده است.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

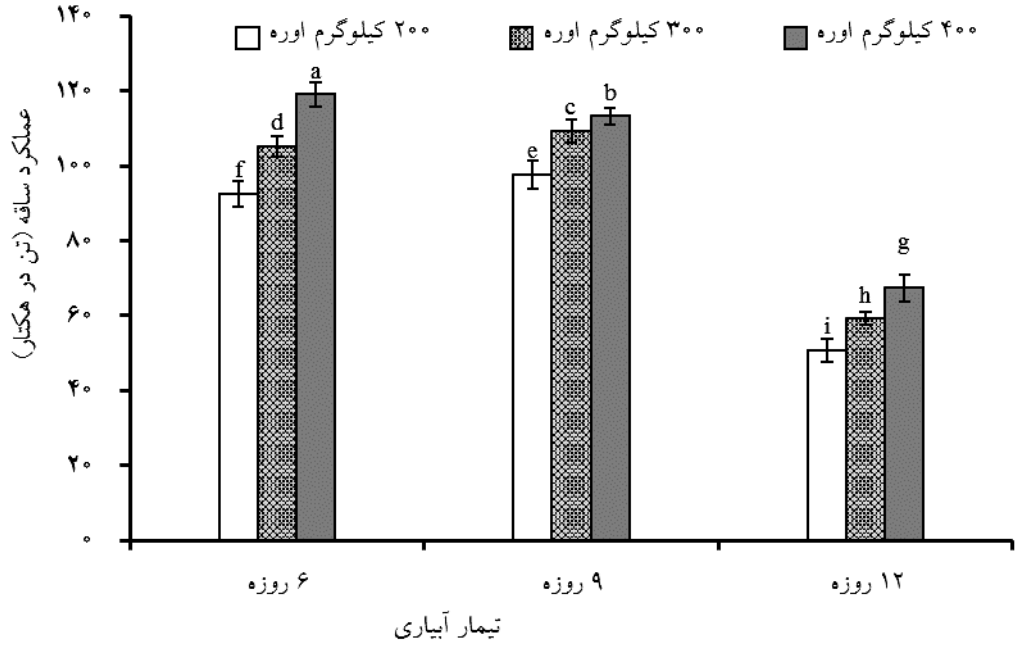
عملکرد ساقه نیشکر

نتایج نشان داد اثر دور آبیاری، کود نیتروژن و برهمکنش دور آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد ساقه نیشکر در سطح یک درصد و روش کشت در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مورد بررسی بر خصوصیات کمّی و کیفی نیشکر

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد ساقه نیشکر	عملکرد شکر	درصد قند ساقه	رطوبت غلاف
بلوک	۲	۰/۵۵۴۰	۰/۸۵۹۱	۰/۸۶۳۴	۰/۰۰۰۵
دور آبیاری (I)	۲	<.۰۰۰۱	<.۰۰۰۱	۰/۰۰۱۰	<.۰۰۰۱
خطای عامل اصلی	۴	<.۰۰۰۱	۰/۱۹۱۴	۰/۳۰۷۷	۰/۰۰۱۰
نیتروژن (N)	۲	<.۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	<.۰۰۰۱
روش کاشت (C)	۱	۰/۰۱۶۷	۰/۳۴۶۵	۰/۳۲۹۶	<.۰۰۰۱
I×N	۴	<.۰۰۰۱	۰/۰۴۴۲	۰/۰۲۶۶	<.۰۰۰۱
I×C	۲	۰/۲۸۸۲	۰/۱۶۱۱	۰/۱۱۹۱	<.۰۰۰۱
N×C	۲	۰/۵۲۹۶	۰/۰۰۶۹	۰/۰۰۰۹	<.۰۰۰۱
I×N×C	۴	۰/۳۵۴۸	۰/۶۰۵۹	۰/۲۰۵۵	<.۰۰۰۱
خطای کل	۳۰	—	—	—	<.۰۰۰۱
ضریب تغییراتp	—	۲/۳۹	۹/۱۱	۷/۸۴	۰/۰۷

مقدار کوچکتر از ۰/۰۱ (P<۰/۰۱) نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۹۹ درصد، مقدار کوچکتر از ۰/۰۵ (P<۰/۰۵) نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۹۵ درصد و مقادیر بزرگتر از ۰/۰۵ نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار است.



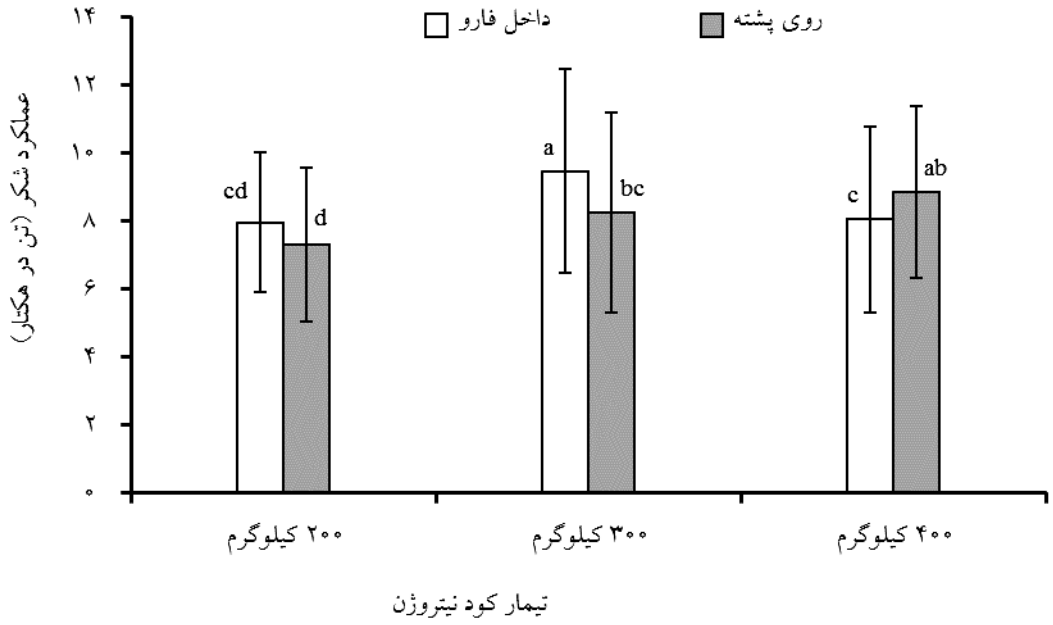
شکل ۲. برهمکنش کود اوره و دور آبیاری در عملکرد ساقه نیشکر. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد (P<۰/۰۵) است. میله‌های خطا نشان‌دهنده انحراف استاندارد است.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین عملکرد نیشکر با ۱۰۵/۶۵ و ۱۰۶/۷۳ تن در هکتار به‌ترتیب در دور آبیاری ۶ و ۹ روز به‌دست آمد، درحالی که کمترین مقدار با ۵۹/۱۰ تن در هکتار در دور آبیاری ۱۲ روز مشاهده شد. این می‌تواند به‌دلیل کم‌بودن قابلیت استفاده آب در ناحیه ریشه در طول دوره رشد گیاه باشد. علت اختلاف عملکرد بین تیمارهای آبی را می‌توان به کاهش پتانسیل فشاری و هدایت روزنه‌ای در حالت تنش آبی نسبت داد که این امر سبب کاهش عملکرد به علت انبساط کمتر سلولی می‌شود (۴). عدم تفاوت معنی‌دار بین دور آبیاری ۶ و ۹ روز نشان‌دهنده امکان کاهش مصرف آب در تولید نیشکر نسبت به شرایط فعلی آبیاری در منطقه است. دینگر و گورانتیوار (۱۲) در بررسی مدیریت کم‌آبیاری در نیشکر در مناطق نیمه‌خشک بیان کردند که ۳۰ درصد کم‌آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل، در شرایط کمبود آب می‌تواند با توجه به کاهش کمتر عملکرد به‌عنوان استراتژی مناسب آبیاری استفاده شود. بررسی تیمار نوع کشت نشان داد کشت درون جوی عملکرد نیشکر را حدود ۲ درصد نسبت به کشت روی پشته افزایش داد. برهمکنش تیمارهای دور آبیاری و کود نیتروژن نشان داد که بیشترین عملکرد نیشکر با ۱۱۹/۰۶ تن در هکتار در تیمار دور آبیاری ۶ روز و ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار به‌دست آمد، درحالی که کمترین عملکرد با ۵۰/۷۴ تن در هکتار به تیمار دور آبیاری ۱۲ روز و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار تعلق داشت (شکل ۲). وقتی میزان آب آبیاری برای نیشکر در حد مطلوبی باشد، عملکرد نیشکر و موجودی نیتروژن از طریق افزایش بازده کود به کار برده شده افزایش می‌یابد (۴).

افزایش کود اوره در دور آبیاری ۶ روز، به‌دلیل کاهش تنش‌های محیطی، باعث افزایش عملکرد شد. افزایش کود نیتروژن و دور آبیاری ۶ روزه موجب افزایش ارتفاع، سطح برگ، میزان فتوسنتز و درنهایت افزایش کارایی گیاه می‌شود. نتایج نشان داد که در همه دورهای آبیاری، افزایش کود نیتروژن، عملکرد ساقه قابل برداشت را افزایش داد. جوزی (۱۶) بیان کرد وقتی تنش خشکی اتفاق می‌افتد برگ‌ها دچار تغییر می‌گردند که این تغییر شامل تأخیر در ظهور، گسترش کندتر، تسریع پیری و کاهش تولید مواد فتوسنتزی است. تولائی نژاد و همکاران (۳۴) در پژوهش خود نشان دادند که با افزایش دوره‌های آبیاری، میزان عملکرد نیشکر کاهش می‌یابد. الگوی کشت بر روی صفات زراعی ذرت تأثیر معنی‌داری داشت، به‌طوری که کشت درون جوی نسبت به کشت روی پشته برتری داشت (۲). ساجید و مونیر (۲۸) در بررسی کم‌آبیاری بر عملکرد نیشکر مشاهده کردند که بیشترین ارتفاع گیاه و عملکرد در آبیاری کامل اتفاق افتاد و به‌ترتیب با اعمال کم‌آبیاری در ۷۵ و ۵۰ درصد مقدار آب مورد نیاز، ارتفاع نیشکر و عملکرد نیز کاهش پیدا کرد. در مطالعه دیگری بر روی ۱۶ واریته مختلف نیشکر مشاهده شد که برخی از واریته‌ها در شرایط کم‌آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، دارای تعداد بیشتری ساقه در هر متر بودند و برخی دیگر وزن ساقه بیشتری تولید کردند که نشان‌دهنده مکانیزم متفاوت واریته‌ها در پاسخ به کم‌آبیاری است (۱۰). آسیب ایجاد شده در اثر کمبود آب بر توسعه برگی و تولید محصول به شدت و دوره بارندگی در زمان کمبود آب، مرحله توسعه گیاه و واریته کشت شده بستگی دارد. راتور و همکاران (۲۷) در بررسی اثر کم‌آبیاری و کود نیتروژن در بهره‌وری آب و عملکرد بادام زمینی نتیجه گرفتند که آبیاری کامل باعث حداکثر عملکرد شد درحالی که کاربرد آب آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه سبب افزایش بهره‌وری آب شد.

عملکرد شکر

نتایج بررسی تأثیر تیمارها بر عملکرد شکر نشان داد که اثر دور آبیاری، مقدار کود نیتروژن و همچنین برهمکنش مقدار کود نیتروژن در نوع کشت گیاه نیشکر بر تولید شکر در سطح یک درصد و برهمکنش دور آبیاری کود نیتروژن در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد بیشترین مقدار تولید شکر با ۱۰/۲۳ تن در هکتار در دور آبیاری ۹ روز به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با دور آبیاری ۶ روز با ۹/۷۰ تن در هکتار نداشت، درحالی که کمترین مقدار شکر با ۴/۹۸ تن در هکتار در دور آبیاری ۱۲ روز به‌دست آمد. تأثیر مقدار کود بر



شکل ۳. برهمکنش کود اوره و روش کشت در عملکرد ساقه نیشکر. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد (P<۰/۰۵) است. میله‌های خطا نشان‌دهنده انحراف استاندارد است.

عملکرد شکر نشان داد تیمارهای مقدار کود ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار اختلاف آماری معنی‌داری نشان ندادند درحالی که کمترین عملکرد شکر با ۷/۶۲ تن در هکتار در مقدار کود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره مشاهده شد. برهمکنش دور آبیاری در مقدار کود نیتروژن نشان داد انجام آبیاری ۹ روز یک‌بار به همراه ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار، بیشترین مقدار تولید شکر با ۱۱/۲۷ تن در هکتار به‌دست آمد، درحالی که کمترین مقدار تولید شکر با ۴/۸۵ تن در هکتار در دور آبیاری ۱۲ روز و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار مشاهده شد. نتایج نشان داد در هر سه مقدار کاربرد کود اوره، بیشترین عملکرد شکر در دور آبیاری ۹ روز به‌دست آمد و کمترین آن نیز در دور آبیاری ۱۲ روز مشاهده شد. برهمکنش مقدار کود اوره در نوع کشت نشان داد کشت درون جوی و مقدار کود ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار بیشترین عملکرد (۹/۴۵ تن در هکتار) و کشت روی پشته و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار کمترین عملکرد شکر در هکتار (۷/۲۹ تن در هکتار) را داشتند (شکل ۳). همچنین، تفاوت معنی‌داری در عملکرد شکر در مقدار کود ۳۰۰ کیلوگرم در کشت درون جوی و ۴۰۰ کیلوگرم در کشت روی پشته وجود ندارد، درحالی که این تفاوت در مقدار کود ۳۰۰ کیلوگرم در کشت درون جوی و کشت روی پشته مشهود است. بهمنی (۴) در پژوهش خود نشان داد که بیشترین عملکرد شکر با مقدار ۱۲/۴۱ تن در هکتار در آبیاری کامل به‌دست آمد، هر چند با سطح ۸۰ درصد آبیاری، تفاوت معنی‌داری نداشت، با این حال با کاهش مصرف آب، عملکرد شکر کاهش یافت. به‌دلیل اینکه عملکرد شکر از حاصل ضرب درصد خلوص شکر در عملکرد نیشکر به‌دست می‌آید، تفاوت عملکرد شکر در بین تیمارهای مختلف کودی می‌تواند ناشی از تفاوت این دو پارامتر باشد. با افزایش کاربرد کود نیتروژن، درصد خلوص کاهش و منجر به کاهش عملکرد شکر می‌شود اما به علت افزایش عملکرد نیشکر در واحد سطح در نهایت باعث افزایش عملکرد شکر می‌شود. بنابراین، کاربرد مقدار مناسب کود نیتروژن می‌تواند منجر به افزایش عملکرد شکر شود. نتایج تأثیر مقادیر متفاوت کود بر عملکرد شکر نشان داد با افزایش کود بیشتر از مقدار توصیه شده، عملکرد شکر کاهش یافت. بنابراین،

مصرف بیشتر کود نیتروژن علاوه بر تحمیل هزینه زیادتر، باعث بروز مسائل زیست‌محیطی می‌شود، بنابراین، مقدار مناسب آن باید اعمال شود (۲۰).

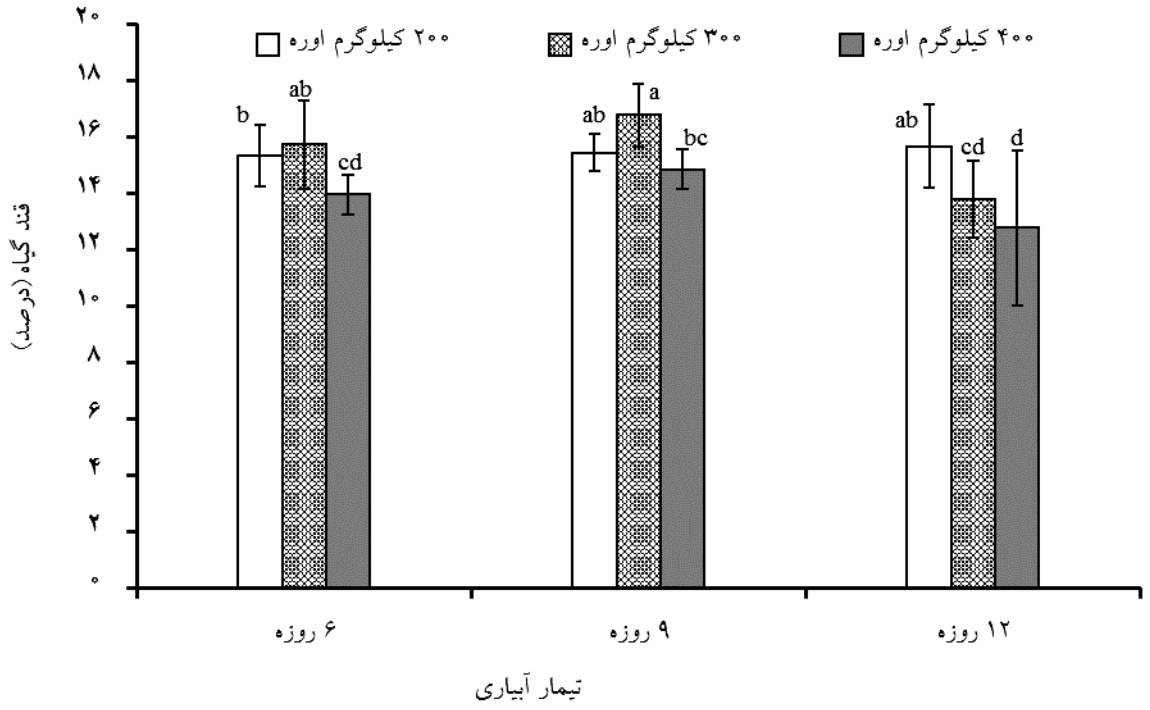
درصد قند گیاه

نتایج تأثیر تیمارها بر درصد قند نیشکر نشان داد که اثر دور آبیاری و مقدار نیتروژن و همچنین برهمکنش مقدار نیتروژن در نوع کشت نیشکر در سطح یک درصد و برهمکنش دور آبیاری در مقدار نیتروژن در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). تیمار دور آبیاری ۹ روز با ۱۵/۷۰ درصد، بیشترین درصد قند نیشکر را نشان داد درحالی که تفاوت معنی‌داری با دور آبیاری ۶ روز از لحاظ آماری مشاهده نشد و کمترین درصد قند گیاه با ۱۴/۰۸ درصد در دور آبیاری ۱۲ روز مشاهده شد. دینگر و همکاران (۱۳) نشان دادند که تیمار آبیاری ۴۰ درصد کاهش آب استفاده شده دارای مقدار قند بیشتری در مقایسه با تیمارهای بدون کاهش و ۷۰ درصد بود. تجمع ساکارز فقط با کمبود آب بیشتر از ۱۴۵ میلی‌متر تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بنابراین، کاهش مقدار آب مصرفی تا حد مشخصی به‌ویژه در مراحل پایانی دوره رشد می‌تواند تأثیر مثبتی در بهبود خصوصیات کیفی نیشکر با توجه به تأثیر در فعالیت گیاه، دارد. نتایج نشان داد با افزایش مصرف مقدار کود اوره، درصد قند گیاه کاهش یافت. برهمکنش تیمارهای دور آبیاری در مقدار کود اوره نشان داد بیشترین درصد قند گیاه با ۱۶/۷۹ درصد در دور آبیاری ۹ روز به همراه ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره به‌دست آمد، درحالی که کمترین مقدار آن با ۱۲/۷۸ درصد در دور آبیاری ۱۲ روز و ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار مشاهده شد (شکل ۴). در تیمارهای آبیاری ۶ و ۹ روز، بیشترین درصد قند گیاه با مصرف متعادل کود اوره (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. نتایج نشان داد در برهمکنش تیمارهای مقدار کود اوره در نوع کشت نیشکر، کشت درون جوی در سطح کودی ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره با به‌ترتیب ۱۶/۱۳ و ۱۶/۳۱ درصد از مقدار قند بیشتری برخوردار بودند درحالی‌که کمترین مقدار با ۱۳/۰۷ درصد در سطح کودی ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار و کشت درون جوی به‌دست آمد (شکل ۵). تفاوت معنی‌داری از نظر آماری در میزان درصد قند در کشت به روش پشته‌ای در هر سه سطح کود اوره مشاهده نشد.

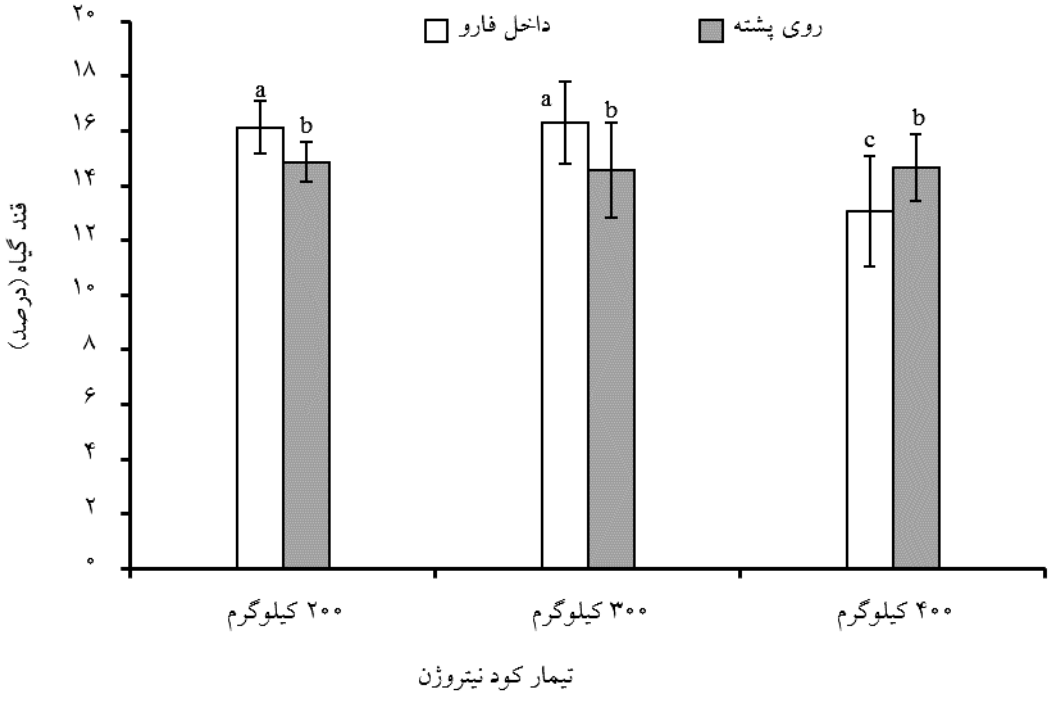
کوچک‌زاده و همکاران (۲۰) در پژوهش خود نشان دادند سطوح مختلف کود اوره، تأثیر معنی‌داری بر مقدار درصد مواد قندی ندارد، هرچند از لحاظ عددی، با افزایش مقدار مصرف کود روند مقدار قند گیاه کاهشی بود. شینی‌دشتگل و همکاران (۳۱) بیان کردند کاهش مصرف آب می‌تواند بر مقدار قند گیاه تأثیرگذار باشد، به‌طوری که نتایج نشان داد کاهش مصرف آب به میزان ۲۵ درصد، مقدار درصد مواد قندی نیشکر را افزایش داد، هرچند این افزایش نسبت به آبیاری کامل از نظر آبیاری معنی‌دار نبود. در مطالعه زارع ابیانه و همکاران (۳۷) مشاهده شد که در اثر کم‌آبیاری و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر گیاه چغندرقند، با کاهش ۱۵ درصد از مقدار آب آبیاری نتایج مشابهی از نظر مقدار عملکرد شکر سفید تولیدی در مقایسه با تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد. همچنین، مشاهده شد با افزایش مقدار کود نیتروژن مصرفی، مقدار شکر سفید تولیدی افزایش یافت.

رطوبت غلاف برگ

بررسی رطوبت غلاف نشان داد که به‌طور میانگین در شرایط دور آبیاری ۶ روز (آبیاری کامل) رطوبت غلاف ۸۳ درصد بود، درحالی‌که با کاهش آب مصرفی رطوبت غلاف کاهش یافت. نتایج نشان داد در شرایط دور آبیاری ۹ روز رطوبت غلاف ۸۱ درصد و در دور آبیاری ۱۲ روز به ۷۷ درصد کاهش یافت. روند رطوبت غلاف نیز نشان داد در طول دوره رشد، نوسانات زیادی نداشت، به‌طوری که در هر تیمار در محدوده میانگین آن نوسان داشت. بررسی جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که میانگین رطوبت غلاف در تیمارهای آزمایش متفاوت و معنی‌دار است، به‌طوری که دور آبیاری ۶ روز یکبار نسبت به دیگر سطوح آبیاری برتری داشت. با این حال رطوبت غلاف در دور آبیاری ۶ و ۹ روز نسبت به استاندارد تفاوت قابل



شکل ۴. برهمکنش کود اوره و فاصله آبیاری در مقدار قند نیشکر. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد (P<۰/۰۵) است. میله‌های خطا نشان‌دهنده انحراف استاندارد است.



شکل ۵. برهمکنش کود اوره و روش کشت در مقدار قند نیشکر. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد (P<۰/۰۵) است. میله‌های خطا نشان‌دهنده انحراف استاندارد است.

مشاهده‌ای نداشت، درحالی‌که در دور آبیاری ۱۲ روز، از استاندارد رطوبت غلاف کمتر بود. مقدار رطوبت غلاف برگ نیشکر در کنترل محصول در دوره‌ی داشت، به‌عنوان شاخصی از وضعیت آبیاری گیاه مورد بررسی قرار می‌گیرد (۱۱). افزایش دوره آبیاری گیاه نیشکر از ۶ تا ۹ روزه تأثیر زیادی در تأمین رطوبت مناسب رشد گیاه نداشت. تایاد و همکاران (۳۳) بیان کردند که رشد نیشکر به‌طور مستقیم متناسب با مقدار فراهمی آب است که به‌منظور دست‌یابی به حداکثر عملکرد نی ضروری است. بنابراین، بر اساس این شاخص و نیز عملکرد گیاه، دور آبیاری ۹ روزه می‌تواند به‌عنوان استراتژی مناسب‌تری با توجه به مصرف آب کمتر، مورد استفاده قرار بگیرد.

کارایی مصرف آب در عملکرد ساقه و شکر

نتایج تجزیه واریانس کارایی مصرف آب بر عملکرد ساقه نشان داد که اثرات اصلی دور آبیاری و مقدار کود نیتروژن و نیز تأثیر متقابل آنها بر یکدیگر در سطح یک درصد معنی‌دار بود و روش کشت در سطح ۵ درصد بر کارایی مصرف آب تأثیر داشت. تجزیه آماری نشان دهنده تأثیر معنی‌دار دور آبیاری و سطوح کود نیتروژن در سطح یک درصد و برهمکنش روش کشت در مقدار کود نیتروژن در سطح ۵ درصد بر کارایی مصرف آب بر مقدار شکر تولیدی است. بررسی کارایی مصرف آب در عملکرد ساقه نیشکر در هکتار نشان داد بیشترین کارایی مصرف آب با ۳/۵۵ کیلوگرم به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی در دور آبیاری ۹ روز به‌دست آمد، سپس با ۲/۶۶ و ۲/۴۰ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی در هکتار به‌ترتیب در تیمارهای دور آبیاری ۶ و ۱۲ روز مشاهده شد. بهمنی و اقبالیان (۵) نشان دادند که بهره‌وری آب در تیمارهای ۲۵ مصرف بیشتر آب در مقایسه با شاهد و نیز ۲۵ درصد مصرف کمتر آب به‌ترتیب ۱۹/۴ و ۱۳/۹ درصد کاهش نشان داد درحالی که مصرف ۱۵ درصد کمتر آب در مقایسه با شاهد بهره‌وری آب را ۱۵/۷ درصد افزایش داد. نتایج نشان می‌دهد که افزایش دو برابری فاصله آبیاری (آبیاری ۱۲ روزه) در شرایط رشد نیشکر در خوزستان در مقایسه با شرایط توصیه شده مناسب نیست. به‌دلیل اینکه نیشکر به مقادیر زیاد آب نیاز دارد، کمبود آب قابلیت تولید محصول را کاهش می‌دهد و عامل اصلی کاهش عملکرد است. همچنین، کارایی مصرف آب در شکر تولیدی در هکتار نیز نشان داد بیشترین مقدار کارایی مصرف آب (۰/۳۴ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی در هکتار) در دور آبیاری ۹ روز و بعد از آن در تیمارهای ۶ روز (۰/۲۴ کیلوگرم در هکتار به‌ازای مترمکعب آب مصرفی در هکتار) و ۱۲ روز (۰/۲۰ کیلوگرم در هکتار به ازای هر مترمکعب آب مصرفی در هکتار) مشاهده شد. روش کشت درون جوی با کارایی مصرف آب ساقه تولیدی ۲/۹۰ کیلوگرم به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی در هکتار نسبت به کشت روی پشته برتری داشت، با این حال تفاوتی در کارایی مصرف آب در شکر تولیدی مشاهده نشد.

برهمکنش بین تیمارهای دور آبیاری و مقدار کود اوره نشان داد بیشترین کارایی مصرف آب در ساقه تولیدی در دور آبیاری ۹ روز و مقدار کود ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار با ۳/۷۷ کیلوگرم به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی در هکتار به‌دست آمد. کمترین مقدار نیز با ۲/۰۶ کیلوگرم به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی در هکتار در دور آبیاری ۶ روز و مقدار کود برابر ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار مشاهده شد. بررسی برهمکنش روش کاشت در مقدار کود اوره نیز نشان داد بیشترین کارایی آب در شکر تولیدی با ۰/۲۹ کیلوگرم به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی در هکتار در مقدار ۳۰۰ کیلوگرم اوره و کشت درون جوی به‌دست آمد اگر چه با مقدار کود ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار و کشت روی پشته تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۴).

با توجه به عملکرد ساقه نیشکر در هکتار در تیمارهای دور آبیاری ۶ و ۹ روز که تفاوت معنی‌داری نسبت به یکدیگر نداشتند، مقدار مصرف آب کمتر (۹۶۰۰ مترمکعب در هکتار) در دور آبیاری ۹ روز باعث شد کارایی مصرف آب بیشتری داشته باشد. با این حال عملکرد کمتر در دور آبیاری ۱۲ روز، با وجود آب مصرفی کمتر، نتوانسته است کارایی مصرف آب

جدول ۴. تأثیر برهمکنش تیمارهای مختلف در کارایی مصرف آب در ساقه تولیدی و شکر تولیدی

	تیمار کود نیتروژن		
	N۲۰۰	N۳۰۰	N۴۰۰
	کارایی مصرف آب در ساقه تولیدی (کیلوگرم در مترمکعب)		
I۱	۲/۳۳ f	۲/۶۵ e	۳/۰۰ d
I۲	۳/۲۵ c	۳/۶۴ b	۳/۷۷ a
I۳	۲/۰۶ g	۲/۴۰ f	۲/۷۳ e
	کارایی مصرف آب در شکر تولیدی (کیلوگرم در مترمکعب)		
J	۰/۲۵ bc	۰/۲۹ a	۰/۲۵ bc
P	۰/۲۳ c	۰/۲۶ ab	۰/۲۸ a

به‌ترتیب I1، I2 و I3 نشان‌دهنده دور آبیاری ۶، ۹ و ۱۲ روز است. N200، N300 و N400 به‌ترتیب نشان‌دهنده سطوح کودی ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره است. P نشان‌دهنده کشت بر روی پشته و J نشان‌دهنده کشت درون جوی است. در هر ستون، حروف نامشابه اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد از طریق آزمون LSD دارند.

مناسبی داشته باشد. کشت درون جوی به‌دلیل کاهش تبخیر و همچنین حفظ بهتر رطوبت، باعث افزایش کارایی مصرف ساقه تولیدی شد. نتایج بررسی جودی و همکاران (۱۷) در بررسی شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب آبیاری زراعت نیشکر نشان داد در صورت کاهش مقدار آب مصرفی و اعمال کم‌آبیاری می‌توان کارایی مصرف آب را افزایش داد. یکی از محدودیت‌های اساسی در زراعت نیشکر در جنوب خوزستان مصرف بی‌رویه آب آبیاری در فصول گرم است که باعث بالاآمدن سطح آب زیرزمینی در مزارع می‌شود و منجر به واردشدن صدمه به گیاه می‌شود. در نتیجه، مصرف بهینهٔ آب آبیاری و اجتناب از آبیاری بی‌رویه به یکی از الزامات اساسی در زراعت این گیاه در جنوب خوزستان تبدیل شده است.

کارایی مصرف کود در عملکرد ساقه و شکر

نتایج تجزیه واریانس کارایی مصرف کود بر عملکرد ساقه تولیدی نشان داد که اثرات اصلی دور آبیاری و مقدار کود نیتروژن و برهمکنش آنها تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر کارایی مصرف کود بر ساقه قابل آسیاب دارد درحالی که تأثیر روش کشت در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. در بررسی تأثیر عوامل مؤثر بر کارایی مصرف کود بر شکر تولیدی، نتایج تجزیه آماری نشان داد که تیمارهای دور آبیاری و مقدار کود نیتروژن و برهمکنش آنها و نیز برهمکنش مقدار کود نیتروژن در روش کشت در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری داشتند.

نتایج نشان داد بیشترین کارایی مصرف کود در عملکرد ساقه تولیدی و شکر تولید شده در تیمار دور آبیاری ۹ روز به‌دست آمد به‌طوری که به‌ترتیب ۲ و ۶ درصد افزایش را در مقایسه با تیمار دور آبیاری ۶ روز نشان داد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند اما تیمار ۹ روز دارای ۸۳ و ۱۰۴ درصد افزایش معنی‌دار را نسبت به تیمار دور آبیاری ۱۲ روز داشت. بررسی کارایی مصرف کود در عملکرد ساقه نیشکر در هکتار نشان داد بیشترین کارایی مصرف کود در تیمار کودی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که در مقایسه با تیمارهای ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار به‌ترتیب ۳۲ و ۶۱ درصد افزایش نشان داد. بررسی کارایی مصرف کود در شکر تولیدی در هکتار نیز نشان داد بیشترین مقدار کارایی مصرف کود با ۳۸/۱۱ کیلوگرم شکر به‌ازای کود مصرفی در هکتار در تیمار

جدول ۵. تأثیر برهمکنش تیمارهای مختلف در کارایی مصرف کود در ساقه تولیدی و شکر تولیدی

	تیمار کود نیتروژنs		
	N۲۰۰	N۳۰۰	N۴۰۰
	کارایی مصرف کود در ساقه تولیدی (کیلوگرم در کیلوگرم کود مصرفی)		
I۱	۴۶۲/۹۳ b	۳۵۰/۹۸ d	۲۹۷/۶۵ e
I۲	۴۸۷/۸۳ a	۳۶۴/۶۳ c	۲۸۳/۰۴ f
I۳	۲۵۳/۶۸ g	۱۹۷/۱۶ h	۱۶۸/۵۰ i
	کارایی مصرف کود در شکر تولیدی (کیلوگرم در کیلوگرم کود مصرفی)		
I۱	۴۳/۷۶ a	۳۴/۲۱ c	۲۵/۱۸ d
I۲	۴۶/۳۴ a	۳۷/۵۶ b	۲۵/۳۹ d
I۳	۲۴/۲۳ d	۱۶/۶۷ e	۱۲/۷۳ f
	کارایی مصرف کود در شکر تولیدی (کیلوگرم در کیلوگرم در کود مصرفی)		
J	۳۹/۷۵ a	۳۰/۷۱ c	۲۰/۱۰ e
P	۳۶/۴۷ b	۲۸/۲۶ d	۲۲/۱۰ e

I1، I2 و I3 به‌ترتیب نشان‌دهنده دور آبیاری ۶، ۹ و ۱۲ روز است. N200، N300 و N400 به‌ترتیب نشان‌دهنده سطوح کودی ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره است. P نشان‌دهنده کشت بر روی پشته و J نشان دهنده کشت درون جوی است. در هر ستون، حروف نامشابه اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد از طریق آزمون LSD دارند.

کود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد و با افزایش مصرف کود از کارایی آن در تولید شکر کاسته شد، به‌طوری که کمترین کارایی مصرف کود با ۲۱/۱۰ کیلوگرم شکر به‌ازای کود مصرفی در هکتار به تیمار کودی ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار متعلق بود. با توجه به عدم روند رشد خطی تولید گیاه نسبت به کود مصرفی، با افزایش مقدار کود مصرف شده از کارایی آن کاسته می‌شود زیرا در مقدار کود کمتر، به‌ازای هر واحد کود مصرفی، بیومس گیاهی بیشتری تولید خواهد شد. بررسی کارایی مصرف کود در روش کشت نیشکر نشان داد بیشترین کارایی مصرف کود در ساقه تولیدی در کشت درون جوی به‌دست آمد.

برهمکنش دور آبیاری و مقدار کود اوره نشان داد بیشترین کارایی مصرف کود در ساقه و شکر تولیدی به‌ترتیب با ۴۸۷/۸۳ و ۴۶/۳۴ کیلوگرم در هکتار در دور آبیاری ۹ روز یکبار و مقدار کود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. کمترین کارایی مصرف کود در هر دو صفت مورد بررسی در دور آبیاری ۱۲ روز و مقدار کود ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره مشاهده شد. برهمکنش مقدار کود اوره در روش کشت نشان داد بیشترین کارایی مصرف کود در مقدار شکر تولیدی در مقدار کود ۲۰۰ کیلوگرم و کشت درون جوی به‌دست آمد (۳۹/۷۵ کیلوگرم به ازای هر کیلوگرم کود مصرفی در هکتار). کشت درون جوی با کاهش مصرف آب از طریق کاهش تبخیر و افزایش راندمان مصرف آب، می‌تواند باعث افزایش بهره‌وری تولید در شرایط کود مصرفی شود (جدول ۵).

عباسی و همکاران (۱) در بررسی خود بر روی ارتقای بهره‌وری آب و کارایی مصرف کود در نیشکر نشان داد که با افزایش مقدار کود از ۶۰ به ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز گیاهی،

کارایی مصرف کود کاهش یافت. کوچک‌زاده و همکاران (۲۰) نیز در پژوهش خود روی نیشکر نشان دادند با افزایش مقدار کود از ۹۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ۱۸۴ کیلوگرم در هکتار، کارایی مصرف نیتروژن از ۲۸۱/۷ به ۱۸۱/۶ در عملکرد ساقه و از ۴۳/۲ به ۳۴/۷ در عملکرد شکر در هکتار کاهش یافت. کندی و همکاران (۱۸) نیز در بررسی خود بیان کردند بیشترین راندمان مصرف نیتروژن در کمترین مقدار مصرف کود اوره به‌دست آمد. در پژوهشی دین و همکاران (۱۴) که روی گیاه نیشکر انجام دادند مشاهده کردند که با افزایش مقدار نیتروژن، مقادیر سرعت فتوسنتز و مقدار کلروفیل در برگ نیشکر افزایش یافت و رابطه مثبت قوی بین کارایی استفاده نیتروژن، فتوسنتز و تولید ماده خشک با شاخص مقاومت به خشکی وجود دارد که پیشنهاد می‌کند کارایی استفاده نیتروژن زیادتر می‌تواند به توانایی گیاه به مقاومت به شرایط کم‌آبی کمک کند.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که دور آبیاری ۹ روز و مصرف کود نیتروژن معادل ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار می‌تواند نتایج مطلوب‌تری بر عملکرد و کارایی مصرف آب و کود داشته باشد و تأثیر این عوامل نیز در کشت گیاه نیشکر درون جوی افزایش می‌یابد. بنابراین، می‌توان از روش کم‌آبیاری به‌عنوان یک راهبرد برای بهبود مدیریت مصرف آب و افزایش کارایی مصرف آب استفاده کرد. کاهش بیش از حد مقدار آب مصرفی می‌تواند با ایجاد اختلال در فرایندهای رشد گیاه، منجر به کاهش عملکرد شود. افزایش بیش از حد کود علاوه بر صرف هزینه زیادتر، می‌تواند نقش مخربی بر محیط‌زیست داشته باشد. مدیریت عوامل مؤثر بر رشد نیشکر باید یک دید کلی‌نگر باشد، به‌طوری که تمام عوامل مؤثر مدنظر قرار گیرد. در این حالت می‌توان کاهش آب مصرفی و کود اوره را جبران کرد. چرا که این عوامل در افزایش کارایی یکدیگر مؤثر هستند.

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, F. Sheini Dashtegol, A. and N. Salamati. 2015. Improving sugarcane water and fertilizer use efficiency in furrow fertigation. *Journal of Water and Soil* 29(4): 933-942 (In Farsi).
2. Afsharmanesh, G. 2012. Effect of planting pattern on grain yield and agronomic traits on corn cultivars in Jiroft, Iran. *Agronomy Journal* 102: 124-130 (In Farsi).
3. Anderson, E. L. 1987. Corn root growth and distribution as influenced by tillage fertilization. *Agronomy Journal* 79: 544-549.
4. Bahmani, A. 2011. Water stress management for optimal use of water and nitrogen fertilizer in lands under sugarcane cultivation. *Iranian Water Research Journal* 5: 160-153 (In Farsi).
5. Bahmani, O. and S. Eghbalian. 2018. Simulating the response of sugarcane production to water deficit irrigation using the Aqua Crop model. *Agricultural Research* 7: 158-166.
6. Banda, M. M., D. M. Heeren, D. L. Martin, F. Munoz-Arriola and L. G. Hayde. 2019. Economic analysis of deficit irrigation in sugarcane farming: Nchalo Estate, Chikwawa. Biological Systems Engineering. *ASABE Annual International Meeting* 1900852.
7. Bartens, A. 2017. International commission for uniform methods of sugar analysis. ISBN 978-3-87040-557-1.
8. Barzegari, M. 2006. Research report on planting corn in furrow on light, saline and sandy soils. Safi Abad Agricultural Research Center of Dezful.
9. Bekheet, M. A. 2006. Effect of irrigation and potassium fertilization on yield and quality of two sugarcane varieties. *Assiut Journal of Agricultural Sciences* 37(1): 1-19.
10. Campos, P. F. Jr, J. A. Casaroli, A. Fontoura1, P. R. Pêgo Evangelista, A. W. and L. Melo Vellame. 2014. Response of sugarcane varieties to deficit irrigation in Brazilian Savanna. *Water Resources and Irrigation Management* 3: 31-36.
11. Clements, H. F. 1950. Crop logging system in Hawaii (summary). *In:* Proceeding International Society Sugar Cane Technology Conference, Brisbane.
12. Dingre, S. K. and S. D. Gorantiwar. 2020. Soil moisture based deficit irrigation management for sugarcane (Saccharum offiinarum L.) in semiarid environment. *Agricultural Water Management* 245(6): 106549.
13. Dingre, S. K., S. D. Gorantiwar, D. D. Pawar, S. D. Dahiwalkar and C. A. Nimbalkar. 2021. Sugarcane response to different soil water replenishment-based deficit irrigation treatments during different growth stages in an Indian

semi-arid region. *Irrigation and Drainage* 70(5): 1155-1171.
14. Dinh, T. H., K. Watanabe, H. Takaragawa, M. Nakabaru and Y. Kawamitsu. 2017. Photosynthetic response and nitrogen use efficiency of sugarcane under drought stress conditions with different nitrogen application levels. *Plant Production Science* 20: 412-422.
15. Gomaa, A. M. E. G. 2000. Physiological studies on the response of sugarcane to irrigation. Ph.D. Thesis, Agronomic Department, Faculty Agricultural Al-Azhar, University, Egypt.
16. Jozi, M. 2015. Evaluation of productivity and efficiency indicators of sugar beet water consumption under full irrigation, low irrigation and fertilization regimes. Ph.D. Thesis in irrigation and drainage engineering. Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran (In Farsi).
17. Jodi, F., H. Moazed, F. Hagh Nazari and R. Beit Lefteh. 2011. Evaluation of productivity and efficiency indices of irrigation water consumption of sugarcane variety CP57-614 in Farabi agro-industry. *In:* Proceeding of The First National Conference on Strategies for Achieving Sustainable Agriculture. Payame Noor University of Khuzestan Province, Khuzestan, Iran (In Farsi).
18. Kennedy, C., A. Arceneaux, B. Hallmark, B. Legender, R. Riaud, H. Cormier, J. Flanagan, J. Garrett, A. Guidry, B. Joffrion and R. Louque. 2002. Soil fertility research in sugarcane in 2002. St. Gabriel Research Station and Louisiana Cooperative Extension Service 132-141.
19. Kherabi, J. 2000. Introduction to the topic of low irrigation definition and explanation of its types. Abstracts of the technical workshop on low irrigation training. *In:* Proceeding of National Committee for Irrigation and Drainage of Iran (In Farsi).
20. Koochekzadeh, A., G. Fathi, M. H. Gharineh, S. A. Siadat, S. Jafari and K. Alami Saeid. 2013. Effect of the rate and split application of urea fertilizer on qualitative and quantitative yields of sugarcane ratoon. *Journal of Plant Productions* 36(3): 119-129 (In Farsi).
21. Liaghat, A. M. and S. Darbandi. 2000. Low irrigation management strategy to optimize water consumption. Abstracts of the Technical Workshop on Irrigation, National Committee, Irrigation and Drainage of Iran (In Farsi).
22. Maloohi, H., M. Behzad and A. Naseri. 2006. Water use efficiencies in both hilling up and non-hilling up furrows in sugarcane fields. *In*: Proceeding of National Conference on Irrigation and Drainage Networks Management. Shahid Chamran University, Khuzestan, Iran (In Farsi).
23. Neana, S. M. M. and K.A.E.A. El Hak. 2014. Effect of irrigation regime and nitrogen fertilization levels on sugarcane yield and its components. *Alexandria Science Exchange Journal* 35: 288-294.
24. Pirtaj Hamadani, R., H. Banezhad and N. Daneshi. 2006. Estimation of the effect of low irrigation in different climatic regions of Iran on some plants grown in these regions using data from FAO and the International Atomic Energy Agency. *In:* National Conference on Irrigation and Drainage Networks Management. Shahid Chamran University of Ahvaz, Khuzestan, Iran (In Farsi).
25. Posadas, A. 2008. Partial root-zone drying: an alternative irrigation management to improve the water use efficiency of potato crops. Production system and the environmental division working.
26. Rathke, G. W., O. Christen and W. Diepenbrok. 2005. Effect of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (Brassica napus L.) grown in different crop rotations. *Field Crops Resource* 94(2): 103-113.
27. Rathore, V. S., N. S. Nathawat, S. Bhardwaj, B. Mal Yadav, M. Kumar, P. Santra, P. Kumar, M. L. Reager, N. D. Yadava and O. P. Yadav 2021. Optimization of deficit irrigation and nitrogen fertilizer management for peanut production in an arid region. *Scientific Reports* https://doi.org/10.1038/s41598-021-82968-w.
28. Sajid, M. and H. Munir. 2020. Agronomic Responses of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Ratoon to Natural and Synthetic Supplements under Water Deficit Conditions. *Journal of Agriculture and Food* 1: 71-86.
29. Shahnazari, A. Liu, F. Andersen, M. N. Jacobsen, S. E. and C. R. Jensen. 2007. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. *Field Crops Research* 100:117-124.
30. Shani-Dashtgol, A., S. Jafari, N. Abbasi and A. Malaki 2006. Effects of alternate furrow irrigation (Partial Root Zone Drying: PRD) on yield quantity and quality of sugarcane in southern farm in Ahvaz. *In:* Proceeding of National Conference on Irrigation and Drainage Networks Management. Shahid Chamran University of Ahvaz. 565-572.
31. Sheynidashtgol, A., A. Naseri, H. Kashkouli and S. Boroomandasab. 2012. Water used optimized management in Southern Ahwaz sugarcane fields. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering* 35: 21-31 (In Farsi).
32. Singels, A., A. L. Paraskevopoulos and M. L. Mashabela. 2019. Farm level decision support for sugarcane irrigation management during drought. *Agricultural Water Management* 222: 274-285.
33. Tayade, A. S., S. Vasantha, R. Arun kumar, A S. nusha, R. Kumar and G. Hemaprabha. 2020. Irrigation water use efficiency and water productivity of commercial sugarcane hybrids under water-limited conditions. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 63(1): 125-132.
34. Tolai Nezhad, M., M. Miri and G. Mohammad Porzangeneh. 2009. Investigation of water requirement of sugarcane: Case study of haft tapeh agro-industry. *In:* 10th National Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction (In Farsi).

35. Wiedenfeld, R. P. and J. Enciso. 2008. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south Texas. *Agronomy Journal* 100 (3): 665-671.
36. Yahaya, M. S., A. M. Falaki, E. B. Amans and L. D. Busari. 2010. Sugarcane yield and quality as influenced by nitrogen rates and irrigation frequency. *Nigerian Journal Research and Production* 17 (2): 1-10.
37. Zare Abyaneha, H., M. Jovzi and M. Albaji. 2017. Effect of regulated deficit irrigation, partial root drying and N-fertilizer levels on sugar beet crop (Beta vulgaris L.). *Agricultural Water Management* 194: 13-23.
38. Zegbe, J. A. and A. Serna-Pérez. 2011. Partial root-zone drying maintains fruit quality of 'Golden Delicious' apple at harvest and postharvest. *Science of Horticulture* 127: 455-459.
39. Zhao, D. and Y. Li. 2015. Climate change and sugarcane production: Potential impact and mitigation strategies. *International Journal of Agronomy* 10. doi:10.1155/2015/547386.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 27, No. 2, Summer 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Yield and Water Productivity of Sugarcane under Different Irrigation Intervals, Nitrogen Fertilizer Levels, and Planting Methods

H. Jafarinia[1*], A. Shabani[1], S. Safirzadeh[2] and M. J. Amiri[1]

(Received: July 5-2022 ; Accepted: January 3-2023)

Abstract

Due to the climatic conditions of Iran, increasing water scarcity, and the effect of drought stress on the efficiency of irrigation water consumption and chemical fertilizers application, an experiment was conducted to investigate the effect of irrigation intervals (6, 9, and 12-day intervals), different levels of nitrogen fertilizer (200, 300, and 400 kg urea per hectare) and cultivation methods (on-ridge or heeling up and in-furrow) on yield and productivity of sugarcane as a factorial design based on randomized complete block design in 3 replications at Hakim Farabi Agro-Industry Company in Khuzestan province. The results showed that the maximum (106.73 tons/ha) and minimum (59.10 tons/ha) sugarcane yields were observed in 9-day and 12-day irrigation intervals, respectively. Also, the highest sugarcane yield (99.89 tons per hectare) was obtained in the treatment of 400 kg urea per hectare and the in-furrow planting method resulted in a higher yield compared to the on-ridge planting method. The highest water productivity in sugarcane stem yield and sugar production with 3.55 and 0.34 kg per cubic meter of applied water, respectively, was obtained in a 9-day irrigation interval. A significant increase in water use efficiency in sugarcane stem yield was observed in 400 kg urea/ha compared to the other two fertilizer levels. However, there was no significant difference in water productivity of sugar yield between different fertilizer treatments. The results showed that 6 and 9-day irrigation intervals in most of the studied traits were not significantly different. Therefore, using a 9-day irrigation interval is suggested in the studied area when the sugarcane cultivation area is high and the amount of available water is limited. In-furrow planting method can also be effective in reducing water consumption. Therefore, deficit irrigation and proper nitrogen fertilizer consumption can be very effective in sugarcane cultivation.

Keywords: Irrigation interval, Cultivation method, Drought stress, Sugar, Efficiency of fertilizer use

1. Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, University of Fasa, Fars, Iran.
2. Department of Soil Science, Khuzestan Hakim Farabi Agriculture Company, Khuzestan, Iran.
*: Corresponding author, Email: hjafari5793@gmail.com