

بررسی آثار تقسیط و مقادیر مختلف کود اوره در کودآبیاری جویچه‌ای بر عملکرد و برخی صفات کمی و

کیفی نیشکر رقم CP69-1062

نادر سلامتی^{۱*}، معصومه دلبری^۲، فریبرز عباسی^۳، علی شینی دشتگل^۴، پیمان افراسیاب^۵، فاطمه کاراندیش^۶

۱. دانشجوی دکتری رشته آبیاری و زهکشی دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل و محقق ایستگاه تحقیقات کشاورزی

بهبهان

۲. دانشیار دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل

۳. استاد پژوهش مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

۴. رئیس اداره آبیاری و زهکشی مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان

۵. دانشیار دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل

۶. استادیار دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۲۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۰/۲۷)

چکیده

در کودآبیاری کارایی مصرف کود زیاد و توصیه کودی راحت‌تر از روش سنتی و مقدار کود مصرفی به مقدار واقعی برداشت عناصر غذایی نزدیک‌تر است. به منظور بررسی اثر تعداد تقسیط و سطوح مختلف کود اوره در روش کودآبیاری جویچه‌ای نیشکر بر عملکرد و برخی صفات کمی و کیفی نیشکر، آزمایشی به صورت کرت‌های یک بار خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تکرار، در قطعه‌ای ۲۵ هکتاری از مزارع کشت جدید (پلانت)، در اراضی کشت و صنعت نیشکر دهخدا، انجام شد. فاکتور اصلی تقسیط‌های کودی بود که در سه سطح (دو، سه، و چهار تقسیطی) اعمال شد. فاکتور فرعی مقدار کود مصرفی بود که در سه سطح (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد کود مورد نیاز، به ترتیب معادل ۳۵۰، ۲۸۰، و ۲۱۰ کیلوگرم کود اوره) اعمال شد. نتایج تجزیه تیمارهای آزمایشی نشان داد تیمار دوتقسیمی و ۶۰ درصد سطح کودی در همه صفات کمی و کیفی - که شامل ارتفاع، عملکرد خالص نی، کارایی مصرف آب بر اساس نیشکر و شکر تولیدی، و کارایی مصرف کود- برتر بودند ($p < 0.05$). در تیمار دوتقسیمی مقادیر کارایی مصرف آب بر اساس نیشکر و شکر تولیدی و کارایی مصرف کود به ترتیب برابر ۷/۴۷۴ کیلوگرم بر متر مکعب، ۰/۷۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب، و ۴۳۷/۷ کیلوگرم بر کیلوگرم بودند. همچنین، در تیمار ۶۰ درصد سطح کودی، مقادیر کارایی مصرف آب بر اساس نیشکر و شکر سفید و کارایی مصرف کود به ترتیب ۶/۵۳۳ کیلوگرم بر متر مکعب، ۰/۶۲۸ کیلوگرم بر متر مکعب و ۴۵۴/۹ کیلوگرم بر کیلوگرم به دست آمدند. روش ارائه‌شده برای مدیریت بهینه مصرف کود می‌تواند به کاهش میزان کود مصرفی و در نتیجه آب‌شویی کمتر نیتروژن در کشت و صنعت‌های نیشکری بینجامد و در نهایت سبب کاهش آلودگی آب‌های زیرزمینی و افزایش ضریب سلامت جامعه شود.

کلیدواژگان: آبیاری سطحی، پلنت، شکر سفید، کارایی مصرف آب و کود، کشت و صنعت دهخدا، کودآبیاری، نیتروژن.

مقدمه

برای واکنش‌های هدررفت فراهم می‌کند و از قابلیت جذب آن‌ها توسط ریشه گیاه می‌کاهد. به این دلیل در بیشتر موارد افزایش عملکرد با افزایش کود مصرفی هم‌گام نیست. کودآبیاری نقشی مهم در افزایش کارایی مصرف آب و کود دارد. در کودآبیاری امکان مصرف کم، مکرر و تقسیطی کود و کنترل آب‌شویی عناصر غذایی در طول دوره رشد وجود دارد. از طرفی، به علت توزیع یکنواخت کود، رشد گیاه یکنواخت و رسیدن محصول در سطح مزرعه هم‌زمان خواهد بود. در کودآبیاری تأثیر بعضی عوامل، همچون عدم یکنواختی پخش

آب و نیتروژن مهم‌ترین عوامل محدودکننده مؤثر بر تولید محصولات کشاورزی در نواحی خشک و نیمه‌خشک‌اند. بنابراین، افزایش کارایی مصرف آن‌ها ضروری است. روش پخش کود نقشی اساسی در افزایش مصرف آب و کود دارد. کودهای شیمیایی در کشور، اغلب به روش پخش سطحی مصرف می‌شوند. روش پخش سطحی کودهای شیمیایی زمان کافی را

کود توسط انسان یا ماشین و جابه‌جایی آن به سبب آبیاری، حذف می‌شود و یکنواختی آن تابع یکنواختی آب آبیاری است. از این رو، مانند سامانه‌های آبیاری تحت فشار، امکان دستیابی به بازده زیاد مصرف کود و نیز بهبود کارایی مصرف آب قابل پیش‌بینی است (Abbasi, 2014).

نیشکر با نام علمی *Saccharum officinarum* گیاهی چندساله از تیره غلات است که برای برداشت ساقه حاوی قند آن تولید می‌شود. ساقه تازه نیشکر ۹۰ درصد عصاره دارد که حاوی ۱۲ تا ۱۷ درصد ساکاروز است. از هر تن ساقه تازه نیشکر حدود ۸۵ تا ۱۱۰ کیلوگرم قند استخراج می‌شود (Abdollahi, 2009). نیشکر در ایران در استان خوزستان کشت می‌شود و فصل داشت و آبیاری آن به طور عمده در ماه‌های گرم سال و مصادف با دوره کم‌آبی رودخانه کارون است. دوره رشد نیشکر طولانی و نیاز آبی آن زیاد و در برابر کم‌آبی حساس است. در عین حال، ریشه آن با غرقاب شدن درازمدت سازگاری ندارد و در شرایطی که سطح آب زیرزمینی تا منطقه توسعه ریشه بالا می‌آید، به علت خفگی تدریجی ریشه، شاخ و برگ گیاه زرد می‌شود و افت عملکرد پیش می‌آید (New, 1971). Sheini, Dashtegol et al. (2009) کارایی مصرف آب را به ازای شکر تولیدی در تیمارهای آبیاری معمول، یک‌درمیان متغیر، و یک‌درمیان ثابت به ترتیب ۰/۴۱، ۰/۵۸، و ۰/۷ کیلوگرم شکر بر متر مکعب آب مصرفی و به ازای نیشکر تولیدی به ترتیب ۳/۹، ۵/۵، و ۶/۶ به دست آوردند. بیشترین کارایی مصرف آب به ازای شکر و نیشکر تولیدی مربوط به تیمار آبیاری یک‌درمیان متغیر، به ترتیب برابر ۰/۷ و ۶/۶، و کمترین آن مربوط به تیمار آبیاری معمول مزارع، به ترتیب برابر ۰/۴۱ و ۳/۹ کیلوگرم بر متر مکعب آب مصرفی، بود. بیشترین شکر سفید تولیدی نیز مربوط به تیمار آبیاری یک‌درمیان متغیر به میزان ۱۴/۵ تن در هکتار به ازای ۲۰۶۰۴ متر مکعب در هکتار آب مصرفی بود. همچنین، در کودآبیاری نیشکر، که Sheini Dashtegol et al. (2009) انجام دادند، تجزیه واریانس فاکتورهای ذرات جامد محلول در شربت نی، درصد ساکاروز شربت نی، درصد خلوص شربت نی، محصول شکر زرد، درصد شکر سفید تصفیه‌شده، محصول شکر زرد، و محصول شکر سفید تصفیه‌شده در همه تیمارها و اثر متقابل آن‌ها اختلاف معناداری به ثبت نرسید.

بیش‌آبیاری محصول نیشکر و شکر را کاهش می‌دهد؛ در حالی که مصرف آب با تنش ملایم باعث افزایش محصول می‌شود (Turner, 1990). (Abbasi et al., 2009) یکنواختی کودآبیاری را در آبیاری جوچه‌ای در یک خاک لومی ارزیابی کردند و نشان دادند این روش در توزیع کود یکنواختی بالایی

دارد و در صورت مدیریت صحیح آب‌شویی و تلفات کود به صورت نفوذ عمقی عاملی تهدیدکننده نیست. انتقال نیترات توسط جریان سطحی به طراحی و مدیریت آبیاری، میزان، و یکنواختی کاربرد کود بستگی دارد. (Thorburn et al., 2004) نشان دادند در کودآبیاری نیشکر نه افزایش مصرف نیتروژن و نه نوع تقسیم آن نمی‌تواند عملکرد محصول را افزایش دهد. آن‌ها همچنین نتیجه گرفتند با افزایش بیشتر از ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (معادل ۳۲۶ کیلوگرم کود اوره) عملکرد محصول ثابت می‌ماند. محققان دیگر نیز گزارش کردند محصول شکر با افزایش بیش از حد نیتروژن کاهش می‌یابد (Rathey and Hogarth, 2001). پژوهشگران نتیجه گرفتند با کودآبیاری می‌توان با مصرف ۲۰ تا ۵۰ درصد کود کمتر، نسبت به روش‌های رایج کوددهی، عملکرد بیشتر و کیفیت بهتری به دست آورد (Granberry et al., 2000).

Abbasi et al. (2003) و Mailhol et al. (2007) در بررسی انتقال املاح در جوچه‌های آبیاری نتیجه گرفتند عمق آب نقشی مهم در افزایش ریسک آب‌شویی نیترات دارد. Ganjeh (2006) با ارزیابی یکنواختی توزیع کود در کودآبیاری جوچه‌ای نتیجه گرفت تزریق در نیمه دوم نسبت به نیمه اول و کل آبیاری بهتر است؛ طوری که یکنواختی توزیع نیمه پایین در سه زمان تزریق (تزریق در نیمه اول، نیمه دوم، کل آبیاری) اختلافی معنادار با هم داشتند. بسیاری از مطالعات اهمیت نیتروژن را برای نیشکر نشان می‌دهند. نیتروژن در حدود ۱ درصد از کل ماده خشک گیاه را تشکیل می‌دهد. اما کمبود نیتروژن باعث کاهش سنتز کلروفیل، اسیدهای آمینه، و انرژی می‌شود. این موضوع بر رشد محصول و عملکرد گیاه اثر مستقیم می‌گذارد (Mailhol et al., 2001). Parashar et al. (1978) گزارش کردند عملکرد نیشکر زمانی بالاست که گیاه موفق به دریافت بالاترین مقدار نیتروژن شود. با این حال، Bose and Thakur (1977) نیز در هند به این نتیجه رسیدند که پتانسیل پاسخ از کودآبیاری، با توجه به تنش رطوبت، تا حد زیادی پوشانده می‌شود یا حتی بی‌تأثیر است و نیاز اول در افزایش تولید محصول نیشکر وابسته به مقدار آب است. Reddy et al. (1978) اثر متقابل معنادار بین نیتروژن و رطوبت را با اثر مثبت بر عملکرد نیشکر و اثر منفی بر عملکرد شکر گزارش کردند. این وضعیت (افزایش محصول) در میزان بالا از هر دو مقدار نیتروژن و آب گزارش شده است. محققان مختلف نشان دادند میزان رشد نیشکر، بیشتر از در دسترس بودن آب خاک، تحت تأثیر میزان مصرف کود نیتروژن است (Bose and Thakur, 1977). به طور کلی، با افزایش تنش و کم‌آبی واکنش نیشکر به کودآبیاری

اراضی کشت و صنعت نیشکر دهخدا انجام شد. کشت و صنعت دهخدا یکی از هفت واحد شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی است که در ۳۹:۴۸ طول شرقی و ۴۲:۳۱ عرض شمالی در ۲۰ کیلومتری شمال شهر اهواز قرار دارد. متوسط ارتفاع این واحد کشت و صنعت از سطح دریا ۱۸/۱ متر است. در اراضی مذکور، بافت خاک به طور عمده سنگین است و بادهای گرم و خشک در طول فصول بهار و تابستان جریان دارند. برای تأمین آب مزارع، به موازات طولی آن‌ها، لوله‌های دریچه‌دار هیدروفولوم به کار می‌رود. رقم CP69-1062 یکی از پنج وارینه تجاری متداول در اراضی نیشکر خوزستان است و در حال حاضر بیش از ۴۰ درصد اراضی زیر کشت را شامل می‌شود (IRSSCT, 2014).

این آزمایش به صورت کرت‌های یک بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. هر تیمار شامل بیست و دو جویچه (یک هکتار) و فواصل جویچه‌ها از هم ۱/۸۳ متر و طول آن‌ها ۲۵۰ متر بود. فاکتور اصلی تقسیط‌های کودی است که در سه سطح دو تقسیطی (در مراحل پنجه‌زنی و ساقه‌رفتن، تقسیط اول از اوایل اردیبهشت تا اواسط خرداد به مقدار ۶۰ درصد کود مورد نیاز و تقسیط دوم از نیمه دوم خرداد تا نیمه اول تیر به مقدار ۴۰ درصد کود مورد نیاز)، سه تقسیطی (در مراحل پنجه‌زنی و ساقه‌رفتن و قبل از مرحله رسیدگی، تقسیط اول در نیمه دوم فروردین به مقدار ۳۰ درصد کود مورد نیاز و تقسیط دوم در نیمه دوم اردیبهشت به مقدار ۴۰ درصد کود مورد نیاز و تقسیط سوم در اواخر خرداد به مقدار ۳۰ درصد کود مورد نیاز)، و چهار تقسیطی (بلافاصله بعد از هلینگ‌آپ (تبدیل جوی به پشته) و پنجه‌زنی و ساقه‌رفتن و قبل از مرحله رسیدگی، تقسیط اول در نیمه دوم اسفند به مقدار ۲۰ درصد کود مورد نیاز و تقسیط دوم در اوایل اردیبهشت به مقدار ۳۰ درصد کود مورد نیاز و تقسیط سوم در اوایل خرداد به مقدار ۳۰ درصد کود مورد نیاز و اوایل تیر به مقدار ۲۰ درصد کود مورد نیاز) اعمال شد (جدول ۱). زمان تقسیط‌ها مطابق مراحل رشد نیشکر و توصیه بخش‌های تحقیقاتی نیشکر در زمان‌های درج‌شده در جدول ۱ تعیین شد. تیمار سه تقسیطی این پژوهش با تیمار شاهد، که آن هم به صورت سه تقسیطی کوددهی شد، دو تفاوت عمده داشت. یکی اینکه در تیمار سه تقسیطی دو تقسیط با کامیون‌های حمل آب کود انجام شد؛ به این صورت که کامیون‌ها با نسبتی مساوی برای چند مزرعه توسط محلول کود با آب کالیبره شدند. سپس، به وسیله شیلنگ‌هایی، آب کود موجود در تانکر کامیون‌ها در منبع‌های یک متر مکعبی ذخیره و به یک مزرعه تزریق شدند. تفاوت دوم این بود که تزریق‌ها معمولاً از زمان شروع آبیاری تا انتهای زمان آبیاری ادامه یافت.

نیتروژن کاهش می‌یابد (Ingram and Hilton, 1986; Parashar, 1978; Reddy et al., 1978). در مطالعات انجام‌شده بر نیشکر، سطوح مختلف مقادیر کودآبیاری نیتروژن در زمان کاشت یکی از مسائل بحث‌برانگیز است. بسیاری از مطالعات نشان دادند کشت‌های پلانت^۱ واکنش کمتری به این مقادیر نشان داده است (Azeredo et al., 1986). Alizadeh et al. (2010) اعلام کردند با افزایش مقدار کود در کودآبیاری جویچه‌ای ذرت کارایی مصرف آب و کود به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. با افزایش مصرف آب تا سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی کارایی مصرف نیتروژن افزایش و از آن به بعد کاهش یافت. همچنین آن‌ها نشان دادند کودآبیاری، علاوه بر اینکه باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب و کود ذرت می‌شود، امکان مصرف تقسیطی مواد غذایی را بر اساس نیاز گیاه فراهم می‌کند. Mohseni et al. (2012) در مقایسه کودآبیاری با کوددهی سطحی در گیاه ذرت نتیجه گرفتند بیشترین عملکرد و اجزای عملکرد در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ درصد نیاز کودی اتفاق می‌افتد. Koochekzadeh et al. (2013) نشان دادند در کودآبیاری نیشکر مقدار و تقسیط نیتروژن اثری معنادار بر خصوصیات نیشکر نمی‌گذارد. نتایج همچنین نشان داد هیچ اثر معناداری در سطوح مختلف کاربرد نیتروژن بر عملکرد نیشکر وجود ندارد و به همین دلیل افزایش مقدار بیش از ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن (معادل ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره) به مزارع نیشکر توصیه نمی‌شود. Papadopoulos (1986 and 1998) اثر مصرف کودهای شیمیایی به صورت کودآبیاری را بر کارایی مصرف کود و عملکرد محصولات مختلف مانند سیب‌زمینی، ذرت، خیار، آفتابگردان، توت‌فرنگی- آزمایش کرد و نتیجه گرفت کارایی مصرف کود و عملکرد در این روش بسیار بیشتر از روش پخش سطحی است.

هدف این پژوهش بررسی امکان مدیریت بهینه مصرف کود در کودآبیاری جویچه‌ای نیشکر با اعمال تقسیط‌ها و سطوح مختلف کود مصرفی بود. بدین منظور اثر تقسیط و سطوح مختلف کود اوره در کودآبیاری جویچه‌ای نیشکر وارینه تجاری CP69-1062 در اراضی کشت و صنعت دهخدا بر کارایی مصرف آب و کود و برخی صفات کمی و کیفی نیشکر بررسی شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در قطعه‌ای ۲۵ هکتاری از مزارع کشت جدید در

۱. به گیاه یک‌ساله نیشکر پلانت (Plant) و به گیاه دو سال به بالا راتون (Ratoon) می‌گویند.

عملکرد شکر سفید بر مقدار کل آب مصرفی نیز در همه آبیاری‌ها کارایی مصرف آب شکر سفید محاسبه شد. این در حالی است که کارایی مصرف کود از تقسیم عملکرد خالص نی بر مقدار کود مصرفی برآورد شد. عملکرد خالص نی بدون پوشال و سرنی^۲ و سایر پارامترهای کمی و کیفی- از جمله ارتفاع نی^۳، تعداد ساقه در هکتار^۴، کارایی مصرف آب^۵ و کود، درصد خلوص شکر^۶ ذرات جامد معلق در عصاره^۷ نی^۸، درصد ساکاروز شربت نی^۹، عملکرد شکر سفید^{۱۰} و کارایی مصرف آب بر اساس شکر تولیدشده- در اسفند ۱۳۹۲ با برداشت تصادفی ۲۰ ساقه نی در هر تیمار (در سه تکرار) تعیین شد. سپس، با استفاده از دستگاه عصاره‌گیری مخصوص و با روش پرس، عصاره‌گیری نی، از ۲۰ نی بریده‌شده هر شاخص عصاره‌گیری شد و ذرات جامد محلول در عصاره^۷ نی و درصد ساکاروز شربت نی با استفاده از دستگاه‌های ساکاری‌متر و پلاری‌متر مدل سومما اندازه‌گیری و فاکتورهای دیگر، از جمله درصد خلوص و درصد و عملکرد شکر سفید تصفیه‌شده، از آن‌ها استخراج شد (IRSSCT, 2014).

فرق تیمار سه‌تقسیمی این پژوهش با تیمار شاهد، که آن هم سه‌تقسیمی بود و ۱۰۰ درصد سطح کودی اعمال شد، این بود که اولاً میزان آب دریافتی تیمار شاهد در طول فصل بسیار بیشتر از تیمار T₆ بود؛ در حالی که میزان آب دریافتی تیمار T₆ در طول فصل بر اساس زمان‌های رشد نیشکر و متناسب با میزان گسترش افقی و عمودی ریشه مدیریت شد، طوری که میزان نفوذ آب در آبیاری‌های اول کمتر از آبیاری‌های اواسط دوره رشد بود و این میزان آبیاری متناسب با رشد گیاه افزایش یافت و در انتهای زمان رشد، که مصادف با زمان رسیدگی نیشکر بود، میزان نفوذ آب حاصل از آبیاری کاهش یافت. ولی در تیمار شاهد هیچ‌گونه مدیریتی در زمینه میزان آب آبیاری اعمال نشد و همیشه گیاه بیش از نیازش آب دریافت می‌کرد، طوری که خوابیدگی^{۱۰} گیاه نیشکر، که در تیمار شاهد به‌وفور اتفاق افتاد، مؤید بیش‌آبیاری نیشکر بود. ثانیاً، تزریق کود در تیمار شاهد از زمان شروع آبیاری انجام شد؛ ولی این تزریق کود در تیمار T₆ مطابق مراحل رشد نیشکر مدیریت شد، طوری که در کودآبیاری اول زمان تزریق کود به یک‌سوم انتهای ختم

بنابراین، هم زمان تزریق کود شاهد با تیمار سه‌تقسیمی متفاوت بود و هم کنترل دقیقی بر غلظت کود تولیدی و حتی میزان دقیق تخصیص کود به ازای هر هکتار وجود نداشت. بدیهی است تزریق کود از زمان شروع آبیاری موجب یکنواختی غیر مناسب کود در طول جوینچه می‌شود؛ در حالی که روند تزریق کود در تیمارهای آزمایش مدیریت شد. فاکتور فرعی میزان کود مصرفی است که در سه سطح (۱۰۰ درصد، ۸۰ درصد، و ۶۰ درصد کود مورد نیاز به ترتیب معادل ۳۵۰، ۲۸۰، و ۲۱۰ کیلوگرم کود اوره) اعمال شد. میزان نیتروژن مورد نیاز در کودآبیاری نیشکر را ۱/۴ کیلوگرم ازت برای یک تن نیشکر در ۱۰۰ تن اول و برای هر یک تن اضافی ۱ کیلوگرم ازت کافی دانسته‌اند (Keating et al., 1999). در صورتی که مبنا رسیدن به مرز ۱۳۰ تن در هکتار محصول نیشکر باشد، در مجموع، ۳۶۹ کیلوگرم کود اوره با ۴۶ درصد ازت نیاز است (Abdollahi, 2009). بر همین اساس، در واحدهای توسعه نیشکر و صنایع جانبی در خوزستان معمولاً ۳۵۰ کیلوگرم کود اوره به منزله ۱۰۰ درصد نیاز کودی در زمان‌های تقسیم کود اعمال می‌شود. بنابراین، تیمارهای فاکتور اصلی شامل تیمارهای دو و سه و چهار تقسیمی و تیمارهای فاکتور اصلی شامل تیمارهای ۶۰ و ۸۰ و ۱۰۰ درصد کود مورد نیاز است. در هر نوبت آبیاری دبی ورودی و زمان‌های پیش‌روی و پس‌روی آب در فواصل ۴۰ متری در طول جوینچه و نیز در انتهای جوینچه (۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰، ۲۰۰، ۲۴۰، و ۲۵۰ متری) اندازه‌گیری شد. دبی ورودی به وسیله فلوم‌های^۱ WSC تیپ ۳ اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد در هر یک از تیمارهای آزمایشی از ابتدا و وسط و انتهای جوینچه‌های شاخص در فواصل مشخص از دو طرف جوینچه ۲۰ نی کفبر شدند. به عبارت دیگر، از هر جوینچه ۶۰ نی از ابتدا و وسط و انتهای جوینچه تهیه شد. پس از جداکردن بقایای هر نی، وزن نی و بقایای ۲۰ نی جداگانه به وسیله ترازو تعیین شد. سپس، ارتفاع نی‌ها ثبت شد. همچنین، در دو نقطه از جوینچه‌های شاخص ساقه‌شماری نی در ۱۰ متر برای همه تیمارهای آزمایشی انجام شد. با توجه به وزن خالص ۲۰ نی ابتدا و وسط و انتهای جوینچه‌های ارزیابی‌شده عملکرد خالص نی در هکتار محاسبه و ثبت شد. کارایی مصرف آب از تقسیم عملکرد خالص نی بر مقدار کل آب مصرفی در همه آبیاری‌ها محاسبه شد. سپس، از حاصل‌ضرب درصد شکر سفید در عملکرد خالص نی عملکرد شکر سفید برآورد شد. از تقسیم

۲. برگ چسبیده به نی (Trash)

3. Cane Height
4. Stalks per hectare
5. Water use efficiency
6. Purity
7. Brix
8. Pol
9. Sugar yield
10. Verse

آزمایشی- از جمله بافت خاک، pH، EC، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم محلول، و مقدار آنیون‌ها و کاتیون‌ها- مطابق روش‌ها و دستورالعمل‌های رایج و معمول اندازه‌گیری شد. مقادیر آن در جدول ۲ می‌آید. بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین شد. EC با کندانکتیویته متر و pH با دستگاه pH متر اندازه‌گیری شد. مقدار Cl^- با روش یدومتری مشخص شد. نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم محلول (SSP) به روش عصاره‌گیری و کاتیون‌ها (K^+ و Na^+) به روش فلیم فتومتری (کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون) اندازه‌گیری شد (Marshall et al., 1996).

می‌شد که در زمان کوتاه‌تری نسبت به تقسیط‌های دوم و سوم انجام شد و متناسب با رشد کمتر ریشه بود و در کودآبیاری‌های بعدی، به‌خصوص کودآبیاری سوم، زمان تزریق کود مطابق رشد نیشکر طولانی‌تر و به دوسوم انتهای زمان آبیاری ماکول شد تا زمان بیشتری جهت نفوذ عمودی و افقی بیشتر کود، که هماهنگ با رشد ریشه است، صرف شود. به عبارت ساده‌تر، هم آبیاری و هم کودآبیاری تیمار T6 در طول فصل، مدیریت شد؛ در حالی که مدیریت درست و بهینه‌ای برای این دو مورد در تیمار شاهد لحاظ نشد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

جدول ۱. درصد سطح کود، مقدار کود مصرفی، و زمان‌های تقسیط کود در تیمارهای آزمایشی

| تقسیت | سطوح کودی | تقسیت ۱ | تقسیت ۲ | تقسیت ۳ | تقسیت ۴ | جمع |
|------------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----|
| - | - | ۱۳۹۱/۱۲/۲۲ | ۱۳۹۲/۲/۲۵ | ۱۳۹۲/۳/۲۱ | ۱۳۹۲/۴/۱۶ | - |
| چهار تقسیطی | ٪۶۰ | ۲۰ | ۳۰ | ۳۰ | ۲۰ | ۱۰۰ |
| | ٪۸۰ | ۵۶ | ۸۴ | ۸۴ | ۵۶ | ۲۸۰ |
| | ٪۱۰۰ | ۷۰ | ۱۰۵ | ۱۰۵ | ۷۰ | ۳۵۰ |
| - | - | ۱۳۹۲/۱/۲۷ | ۱۳۹۲/۳/۵ | ۱۳۹۲/۴/۷ | - | - |
| سه تقسیطی | ٪۶۰ | ۳۰ | ۴۰ | ۳۰ | - | ۱۰۰ |
| | ٪۸۰ | ۸۴ | ۱۱۲ | ۸۴ | - | ۲۸۰ |
| | ٪۱۰۰ | ۱۰۵ | ۱۴۰ | ۱۰۵ | - | ۳۵۰ |
| - | - | ۱۳۹۲/۲/۲۷ | ۱۳۹۲/۴/۸ | - | - | - |
| دو تقسیطی | ٪۶۰ | ۶۰ | ۸۴ | - | - | ۱۰۰ |
| | ٪۸۰ | ۱۶۸ | ۱۱۲ | - | - | ۲۸۰ |
| | ٪۱۰۰ | ۲۱۰ | ۱۴۰ | - | - | ۳۵۰ |
| - | - | ۱۳۹۲/۲/۳ | ۱۳۹۲/۲/۳۰ | ۱۳۹۲/۴/۳ | - | - |
| شاهد (سه تقسیطی) | - | ۳۰ | ۴۰ | ۳۰ | - | ۱۰۰ |
| | - | ۱۰۵ | ۱۴۰ | ۱۰۵ | - | ۳۵۰ |

T₁ = تیمار چهار تقسیطی و ٪۶۰ سطح کودی، T₂ = تیمار چهار تقسیطی و ٪۸۰ سطح کودی، T₃ = تیمار چهار تقسیطی و ٪۱۰۰ سطح کودی

T₄ = تیمار سه تقسیطی و ٪۶۰ سطح کودی، T₅ = تیمار سه تقسیطی و ٪۸۰ سطح کودی، T₆ = تیمار سه تقسیطی و ٪۱۰۰ سطح کودی

T₇ = تیمار دو تقسیطی و ٪۶۰ سطح کودی، T₈ = تیمار دو تقسیطی و ٪۸۰ سطح کودی، T₉ = تیمار دو تقسیطی و ٪۱۰۰ سطح کودی

جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایش

| EC (dS/m) | pH | آنیون‌ها (meq/l) | | | | | | سدیم محلول SSP | نسبت جذب درصد سدیم SAR | شن (%) | سیلت (%) | رس (%) | عمق خاک (cm) | کلاس بافت |
|--------------|-----|------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------|----------------------|------------------------------|-----------|-------------|-----------|--------------|---------------|
| | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Cl ⁻ | HCO ⁻³ | | | | | | | |
| ۲,۳ | ۸,۱ | ۵,۵ | ۵,۳ | ۱۴,۶ | ۰,۱۵ | ۱۸,۱ | ۵,۳ | ۶,۳ | ۵۷,۲ | ۱۱ | ۵۱,۰ | ۳۸,۰ | ۰-۳۰ | سیلتی رسی لوم |
| ۲,۵ | ۸,۱ | ۶,۳ | ۶,۳ | ۱۷,۴ | ۰,۱۳ | ۱۶,۹ | ۴,۵ | ۶,۹ | ۵۸,۰ | ۱۰,۲ | ۵۰,۸ | ۳۹,۰ | ۳۰-۶۰ | سیلتی رسی لوم |

در حالی بود که تیمارهای چهارتقسیمی و ۶۰ و ۸۰ و ۱۰۰ درصد سطوح کودی، به ترتیب با مقادیر ۱۹۵/۸ و ۲۰۳/۷ و ۲۰۱/۲ سانتی‌متر پایین‌ترین جایگاه را به خود اختصاص دادند (جدول ۶).

عملکرد خالص نیشکر

از نظر شاخص عملکرد خالص نیشکر، اثر تعداد تقسیم و سطوح کودی در سطح ۱ درصد معنادار شد، ولی اثر متقابل آن‌ها در سطح ۵ درصد معنادار بود (جدول ۳). در فاکتور اصلی، تیمار دوتقسیمی با میزان ۱۱۲۹۰۴/۷ کیلوگرم در هکتار جایگاه برتر و رتبه نخست را به خود اختصاص داد، در حالی که تیمارهای سه و چهار تقسیمی به ترتیب با مقادیر ۱۰۱۳۲۸/۴ و ۷۲۷۶۸/۴ کیلوگرم در هکتار در مرتبه دوم و سوم قرار گرفتند (جدول ۴). در بررسی اثر سطوح کودی، تیمار ۱۰۰ درصد سطح کودی با مقدار ۹۹۳۹۳/۵ کیلوگرم در هکتار در رتبه نخست قرار گرفت. گفتنی است در بعضی از نقاط مزرعه بیماری سزامیا مشاهده شد. این بیماری به محصول نیشکر آسیب می‌زند و موجب پوک شدن نی می‌شود. بنابراین، نی‌ای که دچار این بیماری می‌شود، به‌رغم ارتفاع خوب، وزن مناسبی ندارد. دلیل ناهمخوانی عملکرد خالص نی در تیمارهای سطح کودی و ارتفاع نیشکر ممکن است از یک طرف به دلیل بیماری فوق باشد و از طرفی دیگر باید مد نظر داشت که به هر حال برداشت نیشکر به صورت نمونه‌ای و به شرح یادشده بود. بنابراین، احتمال اینکه در نمونه‌های برداشتی وضعیت توصیف‌شده محقق شده باشد کم نیست. پس، به نظر می‌رسد دلیل این ناهمگونی و ناهمخوانی عملکرد خالص نی با ارتفاع، که شاخصی برای افزایش عملکرد است، به همین دلیل باشد. تیمارهای ۶۰ و ۸۰ درصد سطح کودی رده‌های بعدی را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). در اثر متقابل دو فاکتور، برتری با تیمارهای دوتقسیمی با ۶۰ درصد سطح کودی و تیمار شاهد بود که به ترتیب با میانگین‌های ۱۲۱۰۵۷/۷ و ۱۲۴۲۲۵/۹ کیلوگرم در هکتار هر دو جایگاه برتر و رتبه نخست را به خود اختصاص دادند (جدول ۶). برخلاف تحقیقات *Thorburn et al.* (2004) و *Koochek zadeh et al.* (2013)، که اختلاف معناداری بین تیمارهای سطوح کودی و اثر متقابل آن‌ها مشاهده نشد، در این پژوهش این اختلاف در سطح ۱ درصد معنادار شد. اما از طرفی نتیجه این پژوهش با نتایج تحقیقات *Thorburn et al.* (2004) و *Koochekzadeh et al.* (2013) هم‌خوانی داشت؛ زیرا این محققان نشان دادند افزایش مقدار نیتروژن و تقسیم کود نمی‌تواند آثار مضر مصرف نیتروژن را جبران کند؛ *Thorburn et al.* (2004) گزارش دادند با افزایش

دبی ورودی یکی از عوامل کلیدی و مؤثر بر یکنواختی توزیع و تلفات عمقی کود در کودآبیاری جویچه‌ای است. بنابراین، در این تحقیق در تیمارهای کودآبیاری از بیشترین دبی غیر فرسایشی استفاده شد. بیشترین دبی غیر فرسایشی برای هر جویچه ۲/۵ تا ۳ لیتر در ثانیه است. کود اوره مورد نیاز در بشکه‌های ۲۲۰ لیتری حل و در زمان‌های مورد نظر به آب آبیاری تزریق شد. زمان‌های مورد نظر برای تزریق کود به مراحل رشد نی بستگی دارد که متناسب با ارتفاع ریشه است؛ طوری که در کودآبیاری‌های اول این زمان به ۳۰ درصد انتهای زمان هر نوبت آبیاری ختم می‌شد و در کودآبیاری بعدی این روند تغییر می‌کرد. به‌خصوص در کودآبیاری‌های انتهایی، که زمان آبیاری نیز به دلیل گسترش ریشه بیشتر می‌شود، گستره تزریق کود به ۶۰ درصد زمان انتهایی هر آبیاری ماکول شد. شیب طولی مزرعه (جویچه‌ها)، عمق خالص آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک، و عمق ناخالص با فرض یک مقدار مناسب برای بازده کاربرد (۶۰ درصد) محاسبه شد. در نهایت، تجزیه و تحلیل داده‌های اندازه‌گیری‌شده با نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها در تیمارهای آزمایشی با آزمون دانکن و این مقایسه بین تیمارهای آزمایشی با تیمار شاهد توسط آزمون LSD انجام گرفت ($p < 0.05$) و کارایی مصرف آب و کود در تیمارهای مختلف مقایسه شد.

یافته‌ها و بحث

ارتفاع نیشکر

از نظر شاخص ارتفاع، اثر تعداد تقسیم در سطح ۱ درصد معنادار و اثر سطوح کودی و اثر متقابل آن‌ها معنادار نبود (جدول ۳). در فاکتور اصلی تیمار دوتقسیمی با مقدار ۲۶۴/۸ سانتی‌متر در جایگاه نخست قرار گرفت و تیمارهای سه و چهار تقسیمی به ترتیب با مقادیر ۲۳۳/۴ و ۲۰۰/۲ سانتی‌متر جایگاه‌های بعدی را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). در فاکتور فرعی اختلاف معنادار بین تیمارهای آزمایشی یافت نشد (جدول ۵). دلیل معنادار نشدن اثر سطوح کودی ممکن است این باشد که نیاز گیاه نیشکر، که مطابق توصیه‌های قبلی *(Keating et al., 1999)* و *(Abdollahi, 2009)* ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار تعریف شده، بیش از نیاز این گیاه است و به نظر می‌رسد نیاز کودی نیشکر کمتر از ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار باشد. درباره اثر متقابل تعداد تقسیم و سطوح کودی، تیمار دوتقسیمی و ۶۰ درصدی سطح کودی با ارتفاع ۲۹۲/۰ سانتی‌متر، جایگاه برتر را به خود اختصاص داد و در رتبه نخست قرار گرفت؛ این

به خود اختصاص داد. این در حالی است که تیمارهای سه و چهار تقسیطی به ترتیب با مقادیر ۳۷۲/۹ و ۲۶۷/۹ کیلوگرم بر کیلوگرم رده‌های بعدی را از آن خود کردند (جدول ۴). در بررسی اثر سطوح کودی، تیمار ۶۰ درصد سطح کودی با میانگین ۴۵۴/۹ کیلوگرم بر کیلوگرم و قرارگرفتن در رتبه نخست برتری معناداری در سطح ۵ درصد نسبت به دیگر تیمارها داشت (جدول ۵). در اثر متقابل دو فاکتور، برتری با تیمار دوتقسیمی با ۶۰ درصد سطح کودی بود که با مقدار ۵۷۶/۵ کیلوگرم بر کیلوگرم جایگاه برتر و رتبه نخست را به خود اختصاص داد (جدول ۶). در مقایسه با تحقیقات صورت گرفته، برخلاف نتایج تحقیقات Parashar *et al.* (1978)، که بالاترین عملکرد نیشکر را با بالاترین مقدار نیتروژن مربوط اعلام کردند، در این پژوهش تیمار برتر از نظر عملکرد کمترین میزان مصرف کود را داشت (تیمار دوتقسیمی و ۶۰ درصد سطح کود مورد نیاز). برخلاف تحقیق Koochekzadeh *et al.* (2013)، که از نظر کارایی مصرف کود اختلاف معناداری بین تیمارها به ثبت نرسید، در این تحقیق اثر تقسیط و سطوح مختلف کود معنادار شد. ممکن است دلیل ناهمخوانی این دو پژوهش این باشد که Koochekzadeh *et al.* (2013) از مقادیری بیش از ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره نیز به منزله تیمارهای تحقیق استفاده کردند و بدین ترتیب بین مقادیر حدود ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و مقادیر بالاتر از ۳۵۰ کیلوگرم اختلاف معناداری مشاهده نشد؛ زیرا عملاً واکنش گیاه به مقادیر بیش از حدود متعارف عدم جذب کود و در نهایت آب‌شویی کود از منافذ خاک است. ولی مشابه تحقیق Koochekzadeh *et al.* (2013) بین اثر متقابل تعداد تقسیط و سطوح مختلف کودی اختلاف معناداری وجود نداشت.

اجزای کیفی محصول نیشکر

از نظر درصد خلوص شربت، اثر تعداد تقسیط و سطوح کود و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۵ درصد معنادار نبود (جدول ۳). در فاکتور اصلی، اختلاف معناداری بین تیمارها مشاهده نشد و تیمارهای دو، سه، و چهار تقسیطی به ترتیب مقادیر ۸۸/۰، ۸۸/۴، و ۸۸/۳ درصد را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). در فاکتور فرعی نیز تیمارهای آزمایشی اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد با هم نداشتند و تیمارهای ۶۰ و ۸۰ و ۱۰۰ درصد سطح کودی به ترتیب مقادیر ۸۸/۲، ۸۸/۵ و ۸۷/۹ درصد را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). در زمینه اثر متقابل تعداد تقسیط و سطوح کودی، تیمار سه‌تقسیمی و ۶۰ درصد سطح کود با ۸۹/۳ درصد جایگاه برتر را به خود اختصاص داد؛ این در

بیش از ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (معادل ۳۲۶ کیلوگرم کود اوره) عملکرد محصول ثابت می‌ماند. به عبارت دیگر، هر سه پژوهش نشان دادند برای رسیدن به بالاترین عملکرد در هکتار مقدار مصرف کود اوره باید بیش از ۳۲۶ کیلوگرم در هکتار باشد.

کارایی مصرف آب

از نظر شاخص کارایی مصرف آب، اثر تعداد تقسیط و اثر سطوح کودی به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد معنادار بود؛ ولی اثر متقابل آن‌ها معنادار نشد (جدول ۳). معنادار نشدن اثر متقابل تعداد تقسیط و سطوح کودی به این معنی است که اثر دو عامل تقسیط و سطوح کودی تأثیر و تداخلی در روند تغییر کارایی مصرف آب ندارند و در حقیقت هر دو فاکتور به موازات هم عمل می‌کنند. به عبارت دیگر، دو فاکتور اصلی و فرعی روند تغییرات یکسانی دارند. در فاکتور اصلی، تیمار دوتقسیمی با میزان ۷/۵ کیلوگرم بر متر مکعب جایگاه برتر و رتبه نخست را به خود اختصاص داد؛ این در حالی بود که تیمارهای سه و چهار تقسیطی به ترتیب با مقادیر ۶/۴ و ۴/۴ کیلوگرم بر متر مکعب در رده‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۴). در بررسی اثر سطوح کودی، تیمارهای ۶۰ و ۱۰۰ درصد سطح کودی به ترتیب با میانگین‌های ۶/۵ و ۶/۳ کیلوگرم بر متر مکعب جایگاه برتر و رتبه نخست را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). در اثر متقابل تعداد تقسیط و سطوح کودی برتری با تیمار دوتقسیمی با ۶۰ درصد سطح کودی بود که با مقدار ۸/۲ کیلوگرم بر متر مکعب به تنهایی رتبه اول را به خود اختصاص داد (جدول ۶). نتایج این تحقیق با نتایج پژوهش‌های Reddy *et al.* (1978) و Alizadeh *et al.* (2010) مشابه بود. زیرا، با افزایش مقدار کود، کارایی مصرف آب و کود به ترتیب افزایش و کاهش یافت. همچنین برخلاف نتایج Mohseni *et al.* (2012)، که بیشترین عملکرد و اجزای عملکرد در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ درصد نیاز کودی در ذرت اتفاق افتاد، در این پژوهش بیشترین عملکرد به ازای ۶۰ درصد سطح کود مصرفی در نیشکر حاصل شد. همچنین، مشابه پژوهش Sheini Dashtegol *et al.* (2009) به ازای کمترین حجم آب مصرفی بیشترین کارایی مصرف آب و عملکرد نیشکر و شکر تولیدی حاصل شده است.

کارایی مصرف کود

از نظر شاخص کارایی مصرف کود، اثر تعداد تقسیط و سطوح کودی در سطح ۱ درصد معنادار شد؛ ولی اثر متقابل آن‌ها معنادار نبود (جدول ۳). در فاکتور اصلی، تیمار دوتقسیمی با میزان ۴۳۳/۷ کیلوگرم بر کیلوگرم جایگاه برتر و رتبه نخست را

حالی بود که تیمارهای دوتقسیمی و ۶۰ درصد سطح کود و سه تقسیمی و ۱۰۰ درصد سطح کود به ترتیب با مقادیر ۸۷/۰ و ۸۷/۱ درصد بدترین جایگاه را به خود اختصاص دادند (جدول ۶).

از نظر شاخص ذرات جامد محلول در شربت نی، اثر تعداد تقسیط، سطوح کودی، و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۵ درصد معنادار نشد (جدول ۳). در فاکتور اصلی اختلاف معناداری بین تیمارها مشاهده نشد و تیمارهای دو و سه و چهار تقسیمی به ترتیب مقادیر ۱۵/۶ و ۱۵/۷ و ۱۵/۲ را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). در فاکتور فرعی نیز اختلاف معناداری بین تیمارها مشاهده نشد و تیمارهای ۶۰ و ۸۰ و ۱۰۰ سطح کودی به ترتیب مقادیر ۱۵/۶ و ۱۵/۷ و ۱۵/۳ را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). در اثر متقابل آن‌ها، برتری با تیمار دوتقسیمی و ۸۰ درصد سطح کودی و تیمار سه تقسیمی و ۶۰ درصد سطح کودی بود که به ترتیب با مقادیر ۱۶/۳ و ۱۶/۳ هر دو در رتبه نخست قرار گرفتند (جدول ۶).

از نظر شاخص درصد شکر سفید، اثر تعداد تقسیط، سطوح کودی، و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۵ درصد معنادار نشدند (جدول ۳). در فاکتور اصلی اختلاف معناداری بین تیمارها مشاهده نشد و تیمارهای دو، سه و چهار تقسیمی به ترتیب مقادیر ۹/۷ و ۹/۸ و ۹/۵ درصد را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). در فاکتور فرعی نیز اختلاف معناداری بین تیمارها به ثبت نرسید و تیمارهای ۶۰ و ۸۰ و ۱۰۰ سطح کودی به ترتیب مقادیر ۹/۷ و ۹/۷ و ۹/۵ درصد را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). در اثر متقابل تعداد تقسیط و سطوح کودی تیمار دوتقسیمی با ۸۰ درصد سطح کودی و تیمار سه تقسیمی با ۶۰ درصد سطح کودی هر دو با مقدار ۱۰/۲ درصد تیمار برتر بودند (جدول ۶). مشابه تحقیقات *koochekzadeh et al.* (2013) از نظر اجزای کیفی محصول نیشکر به خصوص صفات درصد خلوص شربت، ذرات جامد محلول، و درصد شکر سفید اختلاف معناداری بین تیمارها و اثر متقابل آن‌ها به ثبت نرسید. همچنین، در تحقیق *Sheini Dashtegol et al.* (2009) هر چند نوع تیمارها با تیمارهای این تحقیق همسان نبودند، باز هم از نظر اجزای کیفی محصول نیشکر- از جمله درصد خلوص شربت، ذرات جامد محلول، درصد شکر سفید- اختلاف معناداری بین تیمارها و اثر متقابل صفات مشاهده نشد.

عملکرد شکر سفید

از نظر شاخص عملکرد شکر سفید، اثر تعداد تقسیط در سطح ۱ درصد معنادار شد. ولی اثر سطوح کودی و اثر متقابل آن‌ها در

سطح ۵ درصد معنادار شد (جدول ۳). در فاکتور اصلی، تیمار دوتقسیمی با میزان ۱۰۸۸۲/۰ کیلوگرم در هکتار جایگاه برتر و رتبه نخست را به خود اختصاص داد و تیمارهای سه و چهار تقسیمی به ترتیب با مقادیر ۹۸۶۰/۴ و ۶۸۶۵/۴ کیلوگرم در هکتار رده‌های بعدی را از آن خود کردند (جدول ۴). در بررسی اثر سطوح کودی، اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد بین تیمارهای آزمایشی به ثبت نرسید و تیمارهای ۶۰ و ۸۰ و ۱۰۰ درصد سطح کودی به ترتیب مقادیر ۹۱۷۲/۲ و ۹۰۲۱/۸ و ۹۴۱۳/۹ کیلوگرم در هکتار همگی جایگاه اول را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). در اثر متقابل دو فاکتور برتری با تیمار شاهد بود که با مقدار ۱۲۰۹۴/۹ کیلوگرم در هکتار به‌تنهایی جایگاه نخست را به خود اختصاص داد (جدول ۶). برخلاف تحقیق *koochekzadeh et al.* (2013)، که در آن اثر تعداد تقسیط بر عملکرد محصول معنادار نشد، در این پژوهش اثر تعداد تقسیط در سطح ۱ درصد معنادار شد. ولی مشابه تحقیقات *Thorburn et al.* (2004) و *koochekzadeh et al.* (2013) اختلاف معناداری بین تیمارهای سطوح کودی و اثر متقابل آن‌ها مشاهده نشد. به عبارت دیگر، افزایش مقدار نیتروژن و تقسیط کود نتوانست اثر مضر مصرف نیتروژن را جبران کند (*Thorburn et al.*, 2004).

کارایی مصرف آب شکر سفید

از نظر شاخص کارایی مصرف آب شکر سفید، اثر تعداد تقسیط در سطح ۱ درصد معنادار شد؛ در حالی که اثر سطوح کودی و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۵ درصد معنادار شد (جدول ۳). در فاکتور اصلی تیمار دوتقسیمی با میزان ۰/۷۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب برتری معناداری بر دو تیمار دیگر داشت و در جایگاه اول قرار گرفت؛ این در حالی بود که تیمارهای سه و چهار تقسیمی به ترتیب با مقادیر ۰/۶۲۷ و ۰/۴۱۶ کیلوگرم در هکتار رده‌های دوم و سوم را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). در بررسی اثر سطوح کودی، تیمارهای ۶۰ و ۱۰۰ درصد سطح کودی به ترتیب با مقادیر ۰/۶۲۸ و ۰/۵۹۹ کیلوگرم بر متر مکعب صورت مشترک جایگاه برتر و رتبه نخست را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). در اثر متقابل دو فاکتور برتری با تیمار دوتقسیمی و ۶۰ درصد سطح کودی بود که با مقدار ۰/۷۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب در مرتبه اول قرار گرفت و پایین‌ترین رده به تیمار چهارتقسیمی و ۸۰ درصد سطح کودی با مقدار ۰/۳۵۳ کیلوگرم بر متر مکعب تعلق گرفت (جدول ۶). برخلاف تحقیقات *koochekzadeh et al.* (2013)، که در آن اثر تعداد تقسیط بر عملکرد محصول معنادار نشد، در این پژوهش اثر تعداد تقسیط در سطح ۱ درصد معنادار شد.

جدول ۳. مقایسه میانگین مربعات و سطح معنادار بودن برخی صفات کمی و کیفی، عملکرد، و کارایی مصرف آب نیشکر و شکر تولیدی و کود در تیمارهای آزمایشی

| منابع تغییرات | درجه آزادی | ارتفاع (سانتی متر) | عملکرد خالص نی (کیلوگرم در هکتار) | کارایی مصرف آب نیشکر (کیلوگرم بر متر مکعب) | کارایی مصرف کود (کیلوگرم بر کیلوگرم) | درصد خلوص شربت | ذرات جامد محلول در شربت | درصد شکر سفید | عملکرد شکر سفید (کیلوگرم در هکتار) | کارایی مصرف آب شکر سفید (کیلوگرم بر متر مکعب) |
|------------------|------------|-------------------------|-----------------------------------|--|--------------------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|------------------------------------|---|
| تکرار | ۲ | ۱۲,۹۰ ^{n.s.} | ۱۲۸۵۵۵۱۸,۸ ^{n.s.} | ۰,۰۶ ^{n.s.} | ۱۶,۴ ^{n.s.} | ۲,۰۳ ^{n.s.} | ۰,۴۷ ^{n.s.} | ۰,۲۸ ^{n.s.} | ۲۱۸۶۵۳,۴ ^{n.s.} | ۰,۰۱۱ ^{n.s.} |
| تعداد تقسیط | ۲ | ۹۳۸۱,۷۳ ^{**} | ۳۸۴۰۹۱۵۲۱۱,۰ ^{**} | ۲۱,۹۶ ^{**} | ۶۳۲۸۷,۳ ^{**} | ۰,۴۹ ^{n.s.} | ۰,۶۰ ^{n.s.} | ۰,۲۳ ^{n.s.} | ۳۹۲۱۹۱۰,۱۵ ^{**} | ۰,۲۰۶۸ ^{**} |
| خطا | ۴ | ۴۵۶,۹۰ | ۵۰۸۰۴۲۳۹,۰ | ۰,۲۱ | ۱۲۴۲,۸ | ۰,۹۵ | ۰,۲۶ | ۰,۱۵ | ۱۴۳۰۶۱,۰ | ۰,۰۰۰۵ |
| سطوح کودی | ۳ | ۳۷۷,۵۸ ^{n.s.} | ۱۲۰۲۸۱۵۹۵,۵ ^{**} | ۲,۹۲ [*] | ۶۵۸۱۱,۹ ^{**} | ۰,۸۱ ^{n.s.} | ۰,۲۶ ^{n.s.} | ۰,۱۵ ^{n.s.} | ۳۵۲۲۴۵,۳ ^{n.s.} | ۰,۰۲۴۸ [*] |
| تقسیمت* سطح کودی | ۶ | ۱۰۱۹,۰۵ ^{n.s.} | ۲۱۲۵۶۴۲۹۱,۰ [*] | ۲,۳۳ ^{n.s.} | ۴۲۵۱,۸ ^{n.s.} | ۲,۶۲ ^{n.s.} | ۰,۹۷ ^{n.s.} | ۰,۵۲ ^{n.s.} | ۱۰۲۵۵۵۸,۸ ^{n.s.} | ۰,۰۱۹۵ [*] |
| خطا | ۱۸ | ۱۰۷۶,۷۸ | ۱۷۱۴۶۵۰۵۵,۹ | ۰,۷۳ | ۲۹۲۸,۵ | ۱,۳۴ | ۰,۴۴ | ۰,۲۴ | ۱۱۹۵۴۳۴,۲ | ۰,۰۰۴۹ |
| ضریب تغییرات | - | ۱۴,۰۹ | ۱۳,۶۹ | ۱۴,۰۰ | ۱۵,۱۱ | ۱,۳۱ | ۴,۲۶ | ۵,۰۵ | ۱۱,۸۸ | ۱۱,۹۶ |

** اختلاف معنادار در سطح ۱ درصد * اختلاف معنادار در سطح ۵ درصد n.s. اختلاف معنادار وجود ندارد.

جدول ۴. مقایسه میانگین برخی صفات کمی و کیفی نیشکر رقم CP69-1062 و کارایی مصرف آب، کود، و شکر سفید در تیمارهای آزمایشی تقسیط کود

| تیمار | ارتفاع (سانتی متر) | عملکرد خالص نی (کیلوگرم در هکتار) | کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب) | کارایی مصرف کود (کیلوگرم بر کیلوگرم) | درصد خلوص شربت | ذرات جامد محلول در شربت | درصد شکر سفید (کیلوگرم در هکتار) | عملکرد شکر سفید (کیلوگرم در هکتار) | کارایی مصرف آب شکر سفید (کیلوگرم بر متر مکعب) |
|-------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---|
| دو تقسیطی | ۲۶۴,۸ ^a | ۱۱۲۹۰,۴ ^a | ۷,۴۷۴ ^a | ۴۳۳,۷ ^a | ۸۸,۰ ^a | ۱۵,۶ ^a | ۹,۷ ^a | ۱۰۸۸۲,۰ ^a | ۰,۷۱۰ ^a |
| سه تقسیطی | ۲۳۳,۴ ^b | ۱۰۱۳۲۸,۴ ^b | ۶,۴۴۱ ^b | ۳۷۲,۹ ^b | ۸۸,۴ ^a | ۱۵,۷ ^a | ۹,۸ ^a | ۹۸۶۰,۴ ^b | ۰,۶۲۷ ^b |
| چهار تقسیطی | ۲۰۰,۲ ^c | ۷۲۷۶۸,۴ ^c | ۴,۴۰۴ ^c | ۲۶۷,۹ ^c | ۸۸,۳ ^a | ۱۵,۲ ^a | ۹,۵ ^a | ۶۸۶۵,۴ ^c | ۰,۴۱۶ ^c |

در هر ستون میانگینها با حروف مشترک تفاوت معنادار در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند.

جدول ۵. مقایسه میانگین برخی صفات کمی و کیفی نیشکر رقم CP69-1062 و کارایی مصرف آب، کود، و شکر سفید در تیمارهای آزمایشی سطوح مختلف کود

| تیمار | ارتفاع (سانتی متر) | عملکرد خالص نی (کیلوگرم در هکتار) | کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب) | کارایی مصرف کود (کیلوگرم بر کیلوگرم) | درصد خلوص شربت | ذرات جامد محلول در شربت | درصد شکر سفید (کیلوگرم در هکتار) | عملکرد شکر سفید (کیلوگرم در هکتار) | کارایی مصرف آب شکر سفید (کیلوگرم بر متر مکعب) |
|---------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---|
| ٪۶۰ سطح کودی | ۲۳۷,۶ ^a | ۹۵۵۲۱,۶ ^{ab} | ۶,۵۳۳ ^a | ۴۵۴,۹ ^a | ۸۸,۲ ^a | ۱۵,۶ ^a | ۹,۷ ^a | ۹۱۷۲,۲ ^a | ۰,۶۲۸ ^a |
| ٪۸۰ سطح کودی | ۲۲۵,۴ ^a | ۹۲۰۸۶,۳ ^b | ۵,۴۶۰ ^{ab} | ۳۲۷,۲ ^b | ۸۸,۵ ^a | ۱۵,۷ ^a | ۹,۷ ^a | ۹۰۲۱,۸ ^a | ۰,۵۲۶ ^b |
| ٪۱۰۰ سطح کودی | ۲۳۵,۴ ^a | ۹۹۳۹۳,۵ ^a | ۶,۳۲۷ ^a | ۲۹۲,۵ ^c | ۸۷,۹ ^a | ۱۵,۳ ^a | ۹,۵ ^a | ۹۴۱۳,۹ ^a | ۰,۵۹۹ ^a |

در هر ستون میانگینها با حروف مشترک تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند.

جدول ۶. مقایسه میانگین برخی صفات کمی و کیفی نیشکر و کارایی مصرف آب، کود (مقایسه اثر متقابل تعداد تقسیط و سطوح مختلف کودی)

| اثر متقابل تیمارها | تعداد تقسیط | سطح کودی | ارتفاع (سانتی متر) | عملکرد خالص نی (کیلوگرم در هکتار) | کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب) | کارایی مصرف کود (کیلوگرم بر کیلوگرم) | درصد خلوص شربت | ذرات جامد محلول در شربت | درصد شکر سفید | عملکرد شکر سفید (کیلوگرم در هکتار) | کارایی مصرف آب شکر سفید (کیلوگرم بر متر مکعب) |
|--------------------|-------------|--------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------------------|---|
| | | | | | | | | | | | |
| دو | ٪۶۰ | ۲۹۲,۰ ^a | ۱۲۱۰۵۷,۷ ^a | ۸,۲ ^a | ۵۷۶,۵ ^a | ۸۷,۰ ^e | ۱۵,۱ ^e | ۹,۳ ^e | ۱۱۱۶۷,۰ ^b | ۰,۷۶۰ ^a | |
| | ٪۸۰ | ۲۴۷,۸ ^c | ۱۰۸۰۳۶,۴ ^c | ۷,۵ ^b | ۳۸۵,۸ ^c | ۸۸,۸ ^b | ۱۶,۳ ^a | ۱۰,۲ ^a | ۱۰۹۷۹,۹ ^{bc} | ۰,۷۳۳ ^b | |
| | ٪۱۰۰ | ۲۵۴,۶ ^c | ۱۰۹۶۱۹,۹ ^c | ۶,۶ ^c | ۳۳۸,۷ ^{de} | ۸۸,۱ ^{cd} | ۱۵,۴ ^{bcd} | ۹,۶ ^{bcd} | ۱۰۴۹۹,۱ ^d | ۰,۶۳۶ ^d | |
| سه | ٪۶۰ | ۲۲۵ ^d | ۹۶۱۹۷,۸ ^d | ۶,۸ ^c | ۴۵۸,۱ ^b | ۸۹,۳ ^a | ۱۶,۳ ^a | ۱۰,۲ ^a | ۹۸۱۲,۲ ^e | ۰,۶۹۰ ^c | |
| | ٪۸۰ | ۲۲۴,۷ ^d | ۹۳۷۶۴,۱ ^d | ۵,۱ ^{de} | ۳۳۴,۹ ^e | ۸۸,۸ ^b | ۱۵,۶ ^{bc} | ۹,۷ ^{bc} | ۹۱۱۱,۹ ^f | ۰,۴۹۲ ^e | |
| | ٪۱۰۰ | ۲۵۰,۶ ^c | ۱۱۴۰۲۳,۱ ^b | ۷,۵ ^b | ۳۲۵,۸ ^e | ۸۷,۱ ^e | ۱۵,۲ ^e | ۹,۴ ^e | ۱۰۶۵۷,۰ ^{cd} | ۰,۷۰۱ ^c | |
| چهار | ٪۶۰ | ۱۹۵,۸ ^e | ۶۹۳۰۹,۳ ^f | ۴,۶ ^f | ۳۳۰,۰ ^e | ۸۸,۳ ^{cd} | ۱۵,۲ ^{de} | ۹,۵ ^{de} | ۶۵۳۷,۳ ^h | ۰,۴۳۳ ^g | |
| | ٪۸۰ | ۲۰۳,۷ ^e | ۷۴۴۵۸,۳ ^e | ۳,۸ ^g | ۲۶۰,۸ ^f | ۸۸,۰ ^d | ۱۵,۱ ^e | ۹,۴ ^e | ۶۹۷۳,۵ ^g | ۰,۳۵۳ ^h | |
| | ٪۱۰۰ | ۲۰۱,۲ ^e | ۷۴۵۳۷,۵ ^e | ۴,۹ ^{ef} | ۲۱۳,۰ ^g | ۸۸,۵ ^{bc} | ۱۵,۳ ^{cde} | ۹,۵ ^{cd} | ۷۰۸۵,۶ ^g | ۰,۴۶۱ ^f | |
| شاهد | | ۲۷۰,۳ ^b | ۱۲۴۲۲۵,۹ ^a | ۵,۲ ^d | ۳۵۴,۹ ^d | ۸۸,۳ ^{cd} | ۱۵,۷ ^b | ۹,۷ ^b | ۱۲۰۹۴,۹ ^a | ۰,۵۱۱ ^e | |

در هر ستون میانگینها با حروف مشترک تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون LSD ندارند.

شاهد موجب کاهش هزینه‌های کارگری اجرای کودآبیاری برای واحدهای نیشکر از سه بار به دو بار می‌شود. برتر بودن تیمار دوتقسیمی و ۶۰ درصد سطح کودی از نظر کارایی مصرف آب، کود، و دوتقسیمی بودن با توجه به وسعت ۸۴۰۰۰ هکتاری واحدهای کشت و صنعت نیشکر، علاوه بر مسائل زیست‌محیطی، به معنای صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۶۲۷/۶۹ میلیون متر مکعب در سال برای هفت واحد توسعه نیشکر و کاهش مصرف کود اوره به میزان ۹۸۰۰ تن است و از طرف دیگر اعمال تیمار دوتقسیمی موجب کاهش هزینه‌های کارگری به منظور اجرای مراحل کودآبیاری در هر سال می‌شود (در شرایط بهره‌برداری کامل ۷۰۰۰۰ هکتار تحت کشت و ۱۴۰۰۰ هکتار آیش است؛ از این رو محاسبات فوق برای حداکثر ۷۰۰۰۰ هکتار منظور شد). از دیدگاه دیگر می‌توان گفت کاهش مصرف آب و استفاده بهینه از آب در مراحل مختلف رشد نیشکر موجب کاهش افتادگی و خوابیدگی نیشکر در مراحل انتهایی رشد و افزایش عملکرد تولید نیشکر می‌شود. این نتایج حاصل پژوهشی یک‌ساله است. پیشنهاد می‌شود چنین طرح‌هایی به صورت چندساله برای ارقام تجاری نیشکر از مرحله پلانت تا مراحل راتون ادامه یابد.

REFERENCES

- Abbasi, F. (2014). *Advanced Soil Physics*. Second edition. Tehran University: Institute of publishing and printing, Tehran University, 320. (In Farsi)
- Abbasi, F., Adamsen, F., Hunsaker, D., Feyen, J., Shouse, P., and van Genuchten, M. Th. (2003a). Effects of flow depth on water flow and solute transport in furrow irrigation: field data analysis. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129(4), 237-246.
- Abbasi, F., Liaghat, A., and Ganjeh, A. (2009). Evaluation of fertigation uniformity in furrow irrigation. *Journal of Soil and Water*, 39 (1), 37-26. (In Farsi)
- Abdollahi, L. (2009). A revision of sugarcane fertilizer irrigation management and integration of domestic and foreign experience and using plant models predict. *Shekan Sugar Magazine*, April 2009. Deabal Khazae Agro-Industry. (In Farsi)
- Alizadeh, H. A., Abbasi, F., and Liaghat, A. (2010). Avaluation of distribution uniformity and nitrate losses in furrow fertigation. *Journal Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 51(14), 39-49. (In Farsi)
- Azeredo, D. F., Bolsanello, J., Weber, H., and Vieira, J. R. (1986). *Nitrogenio em cana planta-doses e fracionamento*, STAB 4, 25-29.
- Bose, P. K. and Thakur, K. (1977). Critical time of irrigation and nitrogen fertilization under water deficit condition -review of work done at

دلیل احتمالی ناهم‌خوانی نتیجه پژوهش koochekzadeh *et al.* (2013) با این پژوهش قبلاً توضیح داده شد. ولی همانند تحقیقات koochekzadeh *et al.* (2013) از نظر کارایی مصرف آب شکر سفید اختلاف معناداری بین تیمارها و اثر متقابل آن‌ها مشاهده شد؛ طوری که کمترین میزان تقسیم کود بالاترین کارایی مصرف آب را به خود اختصاص داد.

نتیجه‌گیری

در تجزیه نتایج تیمارهای آزمایشی تیمار برتر در همه صفات کمی و کیفی تیمار دوتقسیمی و ۶۰ درصد سطح کودی بود؛ در حالی که در اثر متقابل دو فاکتور اصلی و فرعی این برتری در صفات ارتفاع، عملکرد خالص نی، کارایی مصرف آب، کارایی مصرف کود، و کارایی مصرف آب شکر سفید نیز مشاهده شد. از آنجا که کودآبیاری تیمار شاهد به صورت سه‌تقسیمی انجام می‌شد، برتری تیمار دوتقسیمی و ۶۰ درصد سطح کودی (تیمار T7) از نظر کارایی مصرف آب از یک طرف به معنای صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۸۹۶۷ متر مکعب به ازای هر هکتار و از طرف دیگر برتری کارایی مصرف کود به میزان صرفه‌جویی در مصرف کود به میزان ۱۴۰ کیلوگرم کود در هکتار است. گفتنی است برتر بودن تیمار دوتقسیمی از نظر تعداد تقسیم نسبت به

Sugarcane Research Institute, Pusa. Indian Sugar, 26, 809-811.

- Ganjeh, A. (2006). *Evaluation of Fertigation Uniformity in Furrow Irrigation*. master thesis irrigation and drainage. university college of agriculture & natural resources University of Tehran. (In Farsi).
- Granberry, D. M., Harrison, K. A., and Kelley, W. T. (2000). *Drip Irrigation*. Cooperative extension service university of Georgia, USA.
- Ingram, K. T. and Hilton, H. W. (1986). Nitrogen-potassium fertilization and soil moisture effects on growth and development of drip-irrigated sugarcane. *Crop Science Society of America*, 26, 1034-1039.
- Iranian Society of Sugar Cane Technologists. (2014). IRSSCT. Retrieved December 2, 2014, from, <http://www.irssct.com>
- Keating, B. A., Robertson, M. J., Muchow, R. C., and Huth, N. I. (1999). A modelling framework to intrgrate research on nitrogen management of sugarcane. *Field Crops Research*, 271, 253:61.
- Koochekzadeh, A., Fathi, G., Gharineh, M. H., Siadat, S. A., Jafari, S., and Alami-Saeid, KH. (2013). Effect of the rate and split application of urea fertilizer on qualitative and quantitative yields of sugarcane ratoon. *Scientific Journal of Agriculture*, 36 (3), 119-129. (In Farsi)

- Mailhol, J. C., Crevoisier, D., and Triki, K. (2007). Impact of water application conditions on nitrogen leaching under furrow irrigation: experimental and modeling approaches. *Agricultural Water Management*, 87, 275-284.
- Mailhol, J. C., Ruelle, P., and Nemeth, I. (2001). Impact of fertilization practices on nitrogen leaching under irrigation. *Irrigation Science*, 20, 139-147.
- Marshall, T. J., Holmes, J. W., and Rose, C. W. (1996). *Soil Physics* (3th ed.). Australia.
- Mohseni, A., Mirseyed Hoseyni, H., and Abbasi, F. (2012). Comparison of fertigation with surface broadcast fertilizer method in water, fertilizer use efficiency, yield, component yield of corn and losses of nitrogen. *Journal of Water and Soil*, 26 (5), 1181-1189. (In Farsi)
- New, L. (1971). Influence of alternate furrow irrigation and time of application on grain sorghum production. No: 2953.
- Papadopoulos, I. (1986). Nitrogen fertigation of greenhouse-grown cucumber. *Plant and Soil*, 93, 87-93.
- Papadopoulos, I. (1998). Overview on fertilizer use through pressurised irrigation system. regional workshop on guidelines for efficient fertilizer use through modern irrigation. FAO, Cairo, Egypt.
- Parashar, K. S., Saraf, C. S., and Sharma, R. P. (1978). Studies on the effect of soil-moisture regimes fertilizer levels on spring planted sugar cane grown pure and inter-cropped with Moong. *Indian Sugar*, 28, 253-261.
- Rathey, A. R. and Hogarth, D. M. (2001). The effect of different nitrogen rates on CCS accumulation over time. In proceeding international society of sugar cane technologists. Brisbane, Australia, 24, 168-170.
- Reddy, M. R., Reddy, S. C., Venkatachari, A., and Kulkarny, H. L. (1978). Studies on the effect of nitrogen and moisture regimes on yield and quality of sugarcane. Proc. 42nd Annual Convention of the Sugar Technologists's Assoc. of India, 99-121.
- Sheini Dashtegol, A., Kashkooli, H. A., Naseri, A. A., and Borumadnasab, S. (2009). Water consumption characteristics of sugarcane in southern of Ahvaz. *Journal of Soil and Water Sciences*, 49, 45-57. (In Farsi).
- Thorburn, P. J. (2004). Review of nitrogen fertilizer research in the Australian sugar industry. final report. 125
- Turner, N. C. (1990). Plant water relations and irrigation management. *Agricultural Water Management*, 17, 59-73.