Lorestan University

Applied Researches in Water Engineering
Vol. 2, No. 2, Autumn & Winter 2024, p. 249-262

ARWE

Original Research

Determination of the Optimum Depth for Subsurface Drip Irrigation of Sugarcane under Crop Residue Management

Dorsa Namdarian*[1], Saeed Boromandan Nasab[2]

1. Irrigation and Drainage Engineering department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
2. Irrigation and Drainage Engineering department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Received: 19 February 2025/ **Revised:** 03 March 2025/ **Accepted:** 16 March 2025

https://doi.org/10.22034/arwe.2025.2055440.1037

Abstract

To design a suitable subsurface drip irrigation system for sugarcane, an experiment was conducted at the Khuzestan Sugarcane Research and Training Institute. This experiment utilized a split-plot design within a completely randomized block framework with three replications. The main factor was mulch management at two levels: removal of plant residues through burning and retention of sugarcane residues on the soil surface after harvesting. The subplot factor was the installation depth of the drippers at three levels: 15 cm, 25 cm, and 35 cm. The main and interaction effects of the treatments on both the quantitative and qualitative performance of the first ratoon sugarcane were investigated. Quantitative performance parameters included stalk weight as yield and the total weight of stalks, leaves, and tops as total biomass. Qualitative parameters included POL, Brix, syrup purity, brown sugar yield, and sugar yield. According to the results, increasing the depth of dripper installation resulted in reduced yield due to moisture accumulation in a zone below the effective root depth. Additionally, the use of mulch reduced quantitative performance for biomass and Water Use Efficiency (WUE) by 14.89%, 17.8%, and 14.9%, respectively. Furthermore, the 25 cm installation depth showed better results compared to other dripper installation depths, with a yield of 132.6 ton ha-1, biomass of 231.1 ton ha-1, and a WUE of 6.4 kg m-3 under non-mulch conditions, and a yield of 111.4 ton ha-1, biomass of 193.5 ton ha-1, and a WUE of 5.36 kg m-3 under plant residue management conditions. Meanwhile, the presence of mulch led to a non-significant increase in some qualitative parameters, as brown sugar yield and Brix increased in all treatments despite the use of mulch.

Keywords: Brix, Brown Sugar, Dripper, Mulch, Sugarcane yield.

***Corresponding Author Email:** dorsanamdarian@yahoo.com

Lorestan University

دوفصلنامهٔ پژوهش‌های کاربردی مهندسی آب
دورهٔ دوم، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۳ (صفحات ۲۴۹-۲۶۲)

ARWE

مقالهٔ پژوهشی

تعیین عمق بهینه برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیشکر تحت مدیریت بقایای گیاهی

درسا نامداریان[*1]، سعید برومندنسب[2]

۱. گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.
۲. گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

دریافت: ۰۱ اسفند ماه ۱۴۰۳/ **اصلاحات:** ۱۳ اسفند ماه ۱۴۰۳/ **پذیرش:** ۲۶ اسفند ماه ۱۴۰۳

https://doi.org/10.22034/arwe.2025.2055440.1037

چکیده

برای طراحی یک سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مناسب برای نیشکر، آزمایشی در موسسه‌ی آموزش و تحقیقات نیشکر خوزستان انجام شد. این آزمایش با طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی، مدیریت مالچ در دو سطح: حذف بقایای گیاهی با سوزاندن آن‌ها، و باقی‌ماندن بقایای نیشکر در سطح خاک پس از برداشت بود. فاکتور فرعی عمق نصب قطره‌چکان در سه سطح: عمق نصب 15 cm، 25 cm و 35 cm بود. اثرات اصلی و متقابل تیمارها بر عملکرد کمی و کیفی محصول نیشکر در راتون اول مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای کمی عملکرد شامل وزن ساقه‌ها به‌عنوان عملکرد و مجموع وزن ساقه‌ها، برگ‌ها و سرنی‌ها به‌عنوان زیست توده کل در نظر گرفته شد. پارامترهای کیفی نیز شامل پل، بریکس، خلوص شربت، عملکرد شکر قهوه‌ای و عملکرد شکر بودند. براساس نتایج افزایش عمق نصب قطره‌چکان‌ها به دلیل تجمع رطوبت در ناحیه‌ای پایین‌تر از عمق موثر ریشه، منجر به کاهش عملکرد شد. علاوه‌بر این، استفاده از مالچ به‌طور متوسط عملکرد کمی را برای پارامترهای زیست توده و WUE به‌ترتیب ۱۴/۸۹، ۱۷/۸ و ۱۴/۹ درصد کاهش داد. همچنین،عمق نصب۲۵ سانتی‌متری با عملکرد ۱۳۲/۶ تن در هکتار، زیست توده ۲۳۱/۱ تن در هکتار و WUE 4/6 کیلوگرم در متر مکعب در حالت بدون مالچ و عملکرد ۱۱۱/۱۴ تن در هکتار، زیست توده ۱۹۳/۵ تن در هکتار و WUE 36/5 کیلوگرم در مترمکعب در حالت مدیریت بقایای گیاهی نتایج بهتری نسبت به سایر عمق‌های نصب قطره‌چکان از خود نشان داد. این در حالی است که وجود مالچ موجب افزایش غیرمعنی‌دار برخی پارامترهای کیفی شد. به‌طوری که با وجود مالچ، عملکرد شکر قهوه‌ای و بریکس در همه‌ی تیمارها افزایش یافت.

کلمات کلیدی: بریکس؛ شکر قهوه‌ای؛ عملکرد نیشکر؛ قطره چکان؛ مالچ.

***Corresponding Author Email:** dorsanamdarian@yahoo.com

مقدمه

کمبود آب یکی از چالش‌های جهانی است و بخش کشاورزی با مصرف ۸۵ درصد از منابع آب شیرین، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در میان فعالیت‌های انسانی محسوب می‌شود. این میزان در برخی کشورها به ۹۰ درصد می‌رسد که از آن، ۷۰ درصد صرف آبیاری می‌شود (Cao et al., 2020; 31- D'Odorico et al., 2020; Cao et al., 2021; Siyal et al., 2021; Walczak, 2021). چگونگی استفاده از منابع آب برای تامین امنیت غذایی یک چالش بزرگ برای نسل حاضر و آینده است. بنابراین افزایش بهره‌وری آب از طریق فناوری‌هایی که با کمترین مقدار آب بیشترین محصول را تولید می‌کنند برای توسعه‌ی پایدار کشاورزی ضروری است (Wang et al., 2022; Wang et al., 2019). اتخاذ استراتژی‌های مدیریت آب با هدف افزایش بهره‌وری، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با کمبود شدید منابع آبی و کاهش کیفیت آب مواجه هستند، از اهمیت و ضرورت بیشتری برخوردار است. (Ghazouani et al., 2019). یکی از چالش‌های اصلی در تولید محصول بیشتر، به حداقل رساندن تلفات آب از طریق مدیریت آبیاری است (Reyes Esteves and Slack, 2019). تلفات آب در کشاورزی در بیشتر موارد به‌دلیل استفاده از روش‌های سنتی آبیاری و تبخیر از سطح خاک اتفاق می‌افتد (Cao et al., 2021). آبیاری قطره‌ای زیرسطحی[1] به‌عنوان یک فناوری آبیاری با صرفه‌جویی در مصرف آب در سراسر جهان شناخته شده و در مناطق خشک و نیمه‌خشک محبوبیت بالایی دارد (Rohit Katuri et al., 2019; Mohammed & Abed, 2020, Appels & Karimi, 2021; Wang et al., 2022). آبیاری قطره‌ای زیرسطحی یکی از کارآمدترین روش‌های آبیاری، به ویژه در محصولات با تراکم کاشت زیاد به‌شمار می‌رود (Scarpare et al., 2016; Mahesh et al., 2016; Ghazouani et al., 2019). استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی موجب صرفه‌جویی ۴۰ تا ۵۰٪ آب نسبت به آبیاری جویچه‌ای شده و کارایی کودآبیاری را تا ۴۰٪ افزایش می‌دهد (Mahesh et al., 2016). افزایش راندمان کاربرد آب در آن تا ۹۵٪ نیز تخمین زده می‌شود و یک‌نواختی توزیع آب در خاک را در طول فصل می‌تواند تا ۹۲٪ افزایش دهد (Reyes Esteves & Slack, 2019). مهم‌ترین مزیت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) تخلیه‌ی مستقیم آب در ناحیه‌ی ریشه است (Scarpare et al., 2016; Mahesh et al., 2016) که موجب افزایش عملکرد محصول (Reyes Esteves & Slack, 2019; Chen et al., 2022)، توزیع رطوبتی مناسب (Appels & Karimi, 2021)، کاهش تجمع شوری در ناحیه‌ی ریشه‌ی گیاه (Al-Harbi et al., 2008; Mahmoudi et al., 2022)، کاهش تلفات نفوذ عمقی، تبخیر از سطح خاک (Mohammed & Abed, 2020; Wang et al., 2022; dos Santos et al., 2016)، کاهش آبشویی مواد مغذی در ناحیه‌ی ریشه (Mahesh et al., 2016; Appels & Karimi, 2021) افزایش بهره‌وری کودآبیاری (Kong et al., 2012; Mahesh et al., 2016; Zotarelli et al., 2016(a); Zotarelli et al., 2016(b); Eltarabily et al., 2019; Wang et al., 2022)، کاهش آبشویی نیترات ((Zotarelli et al., 2016(a); Zotarelli et al., 2016(b))، جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی (Kong et al., 2012; dos Santos et al., 2016)، کاهش علف‌های هرز (Mendonça et al., 2020; Wang et al., 2022) و ایجاد سیستم توزیع ریشه‌ایی بهتر (Kong et al., 2012, Reyes Esteves & Slack, 2019; Appels & Karimi, 2021) می‌شود. تکنیک‌های دیگری هم برای صرفه‌جویی بیشتر آب و افزایش کارایی مصرف آب وجود دارند. یکی از این تکنیک‌ها استفاده‌ی هم‌زمان از مالچ و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) است (Chen et al., 2022). در سال های اخیر استفاده از مالچ در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (Reddy et al., 2018). وجود مالچ باعث کاهش بیشتر تبخیر از سطح خاک و نگهداشتن رطوبت بیشتر در خاک می‌شود (Reddy et al., 2018; Wang et al., 2019; Wang et al., 2022). مالچ‌های غیرآلی با گذشت زمان تخریب و موجب بروز مشکلات زیست محیطی می‌شوند، در حالی که بقایای گیاهی زیست تخریب‌پذیر هستند و سریعتر در خاک تجزیه می‌شوند (Aragues et al, 2014). وجود بقایای گیاهی در سطح خاک، تبخیر را تا ۳۵٪ و ایجاد رواناب حاصل از بارندگی را تا ۴۳٪ کاهش داده و موجب نفوذ آن در خاک شده (Iqbal et al., 2020) و به‌طور غیرمستقیم موجب کاهش شوری و احیای خاک می‌شود (Mansoor et al., 2022). مالچ‌ها موجب مدیریت بهتر شوری خاک سطحی و نمک‌های موجود در آب آبیاری و محلول خاک می‌شوند (Zhang et al, 2008; Aragues et al, 2014). به‌عبارت دیگر مالچ با کاهش تبخیر و نگهداری بیشتر رطوبت، سبب کاهش شوری خواهد شد. این نمک‌زدایی در استفاده از بقایای گیاهی به‌عنوان مالچ، بیشتر مشاهده شده (Iqbal et al., 2020)، و اثر شوری و سدیمی بودن خاک را به حداقل می‌رسانند (Chandhry et al, 2004, Rahman et al, 2006).

1. Subsurface Drip Irrigation (SDI)

تأثیر آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) بر عملکرد محصولات مختلف، موضوعی چالش‌برانگیز است و بسته به نوع محصول، شیوه‌های مدیریت زراعی، شرایط اقلیمی و ویژگی‌های خاک، نتایج متفاوتی به همراه دارد. (Wang et al., 2022). نیشکر مهم‌ترین محصول برای تولید شکر در جهان است (Mahesh at al., 2016) و از فراوری نیشکر محصولات صنعتی فراوانی از جمله باگاس (bagasse)، ملاس (molasses) و گل پرس (press mud) به‌دست می‌آید که ارزش اقتصادی زیادی دارند (Solomon, 2011). تولید جهانی نیشکر در حال حاضر ۱۶۸۵/۵۵ میلیون تن و در مساحتی حدود ۲۳/۸ میلیون هکتار در سراسر جهان است (Mahesh at al., 2016). رشد و تولید نیشکر بسیار تحت تاثیر مقدار آب در دسترس است (Ranomahera et al., 2020). تاکنون محققان متعددی عمق‌هایی را به‌عنوان عمق بهینه‌ی نصب قطره‌چکان در SDI برای کشت نیشکر توصیه کرده‌اند. به‌طوری که (Quintana et al., 2012) عمق ۱۵، (Santos et al., 2015) و (Barbosa et al., 2017) عمق ۲۰، (Scarpare et al., 2016) عمق ۲۵ و (Filho et al., 2022) عمق ۳۰ سانتی‌متری را پیشنهاد و مورد استفاده قرار دادند. بنابراین می‌توان گفت براساس مطالعات پیشین عمق بهینه‌ی نصب قطره‌چکان برای گیاه نیشکر بین ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر است. پیش از انجام این پژوهش، در ایران از SDI برای کشت نیشکر استفاده نشده بود، در این مطالعه سه عمق نصب ۱۵، ۲۵ و ۳۵ سانتی‌متری مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. علاوه‌بر آن با توجه به اینکه در مطالعات پیشین، در رابطه با مدیریت هم‌زمان SDI و استفاده از بقایای گیاهی نیشکر تاکنون نتایجی گزارش نشده است، به بررسی بیشتر این موضوع پرداخته شد. از آنجا که قرار دادن بقایای نیشکر بدون خاک‌ورزی یا با میزان اندکی خاک‌ورزی، موجب افزایش قابل‌توجهی در صرفه‌جویی اقتصادی می‌شود، در بسیاری از کشورهای تولید کننده‌ی نیشکر مانند استرالیا بقایا بدون خاک‌ورزی در سطح خاک رها می‌شوند (Wood, 1991; Ferreira et al, 2016). بنابراین در این مطالعه نیز بقایا بدون عملیات خاک‌ورزی و به‌صورت کامل در سطح خاک رها و مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

به‌منظور بررسی تاثیر مدیریت برداشت، بقایای گیاهی و عمق نصب قطره‌چکان، این مطالعه در یک مزرعه‌ی تحقیقاتی با مساحت ۱/۲ هکتار در ایستگاه تحقیقاتی شماره یک مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر خوزستان (با مختصات جغرافیایی "۷ '۳۳ °۴۸ طول‌شرقی، "۳۵ '۵۹ °۳۰ عرض‌شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۷/۶ متر) انجام شد. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن[1]، آب و هوای منطقه خشک و میانگین دمای سالانه ۲۳/۳۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۱۹۷/۱۹ میلی‌متر است. بافت خاک لوم رسی سیلتی بود که با روش هیدرومتر تعیین شد (Smith, 2000). مقادیر ظرفیت مزرعه (FC) و نقاط پژمردگی دائمی (PWP) با استفاده از صفحه فشار اندازه‌گیری شدند. منبع آب آبیاری رودخانه کارون بود که تا مزرعه ۹/۹ کیلومتر فاصله داشت. نیشکر گیاهی چند ساله است. اولین کشت آن، با کاشت قلمه یا بذر صورت می‌گیرد. به کشت اول آن پلنت[2] گفته می‌شود. پس از برداشت بازرویی با جوانه زدن از قلمه‌ی باقی‌مانده در خاک اتفاق می‌افتد که به آن راتون[3] گفته می‌شود (Xu et al, 2021). در این آزمایش کشت اول یا پلنت (رقم CP69-1062) در ۱۰ دی ماه ۱۳۹۶ برداشت شد. پس از برداشت، مزرعه به دو قسمت تقسیم و در نیمی از آن، بقایای گیاهی حاصل از برداشت، سوزانده و در نیمی دیگر این بقایا در سطح خاک به‌عنوان مالچ باقی ماندند. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک، آب و بقایای گیاهی در جدول (۱) آورده شده است. اولین آبیاری در ۱۳ بهمن ۱۳۹۶ انجام گرفت و جوانه‌زنی در ۲۹ بهمن ماه آغاز شد. کنترل علف‌های هرز طی دو مرحله، به‌ترتیب در مرحله‌ی اول به‌صورت وجین دستی، در ۲۱تاریخ اسفند ۱۳۹۶ و در مرحله‌ی دوم در ۲۳ فروردین ۱۳۹۷ با استفاده از علف‌کش گلایفوسیت (Roundup- glyphosate herbicide ٪۴۱ ماده فعال) همراه با مویان فری‌گیت (Frigate Moyan) به‌میزان ۶ لیتر در هکتار انجام شد. آفت اصلی مشاهده شده در این مزرعه پروانه ساقه‌خوار سزامیا (Sesamia) از نوع S.cretica بود. این آفت با نصب تله‌های نوری و فرمونی در اطراف مزرعه و رهاسازی ۸ لوله حاوی زنبورهای Telenomus (از گونه Busseolae) طی دو مرحله در اردیبهشت و خرداد ماه ۱۳۹۷ به‌طور کامل کنترل شد. عملیات کراپ لاگینگ (crop logging) به‌صورت هفتگی از تاریخ ۱۵ اردیبهشت لغایت ۲۶ تیرماه ۱۳۹۷ انجام شد. با اندازه‌گیری هفتگی نیتروژن برگ در این عملیات، کوددهی در ۸ نوبت به‌میزان ۳۲ کیلوگرم در

1. Koppen climate classification
2. Plant
3. Raton

هکتار انجام شد. در مجموع ۲۵۶ کیلوگرم در هکتار کود اوره به‌عنوان منبع نیتروژن در مزرعه مصرف شد. تاریخ رویدادهای مهم مزرعه در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک، آب آبیاری و بقایای گیاهی.

Table 1. Physical and chemical characteristics of experimental soil field and irrigation water and plant residues.

خصوصیات خاک														
عمق (cm)	EC[1] (dS m^{-1})	pH	کاتیون‌ها (meq l-1) Na+	Ca2+	Mg2+	K+	آنیون‌ها(meq l-1) Cl-	CO_3^{-2}	HCO_3^-	SO_4^{-2}	SAR2	ρb3 (gr cm-3)	FC (m^3 m^{-3})	PWP (m^3 m^{-3})
0-30	5.8	7.1	41.4	13	10.3	0.19	39.1	0	2.15	20.5	12.1	1.5	27	14.66
30-60	4.9	7.1	36.2	11.2	7.95	0.20	29.1	0	1.76	20.0	11.6	1.5	27.7	15.24
60-90	5	7.2	35.8	12.8	9.44	0.15	28.8	0	1.22	26.8	10.7	1.6	27.7	15.62

خصوصیات آب آبیاری													
Class	EC (dS m^{-1})	pH	کاتیون‌ها (meq l^{-1}) Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	آنیون‌ها (meq l^{-1}) Cl^-	CO_3^{-2}	HCO_3^-	SO_4^{-2}	SAR	TDS[4] (mg l^{-1})	TH[5] (mg l^{-1})
C_4S_2	2.5	7.5	13.9	3.8	5.1	0.08	14.8	0	2.98	5.9	6.6	1793	531

خصوصیات بقایای گیاهی						
EC (dS m^{-1})	pH	C/N	N[6] (mg kg^{-1})	K[7] (mg kg^{-1})	P[8] (mg kg^{-1})	Initial moisture (%)
2.6	6.7	13.4	0.45	1.3	0.058	3.9

[1] Electrical Conductivity; [2] Sodium Adsorption Ratio; [3] Bulk Density; [4] Total Dissolved Solids; [5] Total Hardness;[6] Nitrogen; [7] Potassium; [8] Phosphorus.

جدول ۲. تاریخ رویدادهای مهم در مزرعه‌ی مورد مطالعه

Table 2. Dates of important events in field for first ratoon.

برداشت راتون	کوددهی	عملیات کراپ لاگینگ	جوانه‌زنی	اولین و آخرین آبیاری	برداشت پلنت
۱۲ بهمن ماه ۱۳۹۷	۲۵ اردیبهشت ماه ۱۳۹۷ ۸ خرداد ماه ۱۳۹۷ ۱۵ خرداد ماه ۱۳۹۷ ۲۲ خرداد ماه ۱۳۹۷ ۵ تیر ماه ۱۳۹۷ ۱۴ تیر ماه ۱۳۹۷ ۲۱ تیر ماه ۱۳۹۷ ۲۸ تیر ماه ۱۳۹۷	۲۵ اردیبهشت ماه ۱۳۹۷ ۱ خرداد ماه ۱۳۹۷ ۸ خرداد ماه ۱۳۹۷ ۱۵ خرداد ماه ۱۳۹۷ ۲۲ خرداد ماه ۱۳۹۷ ۲۹ خرداد ماه ۱۳۹۷ ۵ تیر ماه ۱۳۹۷ ۱۴ تیر ماه ۱۳۹۷ ۲۱ تیر ماه ۱۳۹۷ ۲۸ تیر ماه ۱۳۹۷ ۴ مرداد ماه ۱۳۹۷	۳۰ بهمن ماه ۱۳۹۶	۱۵ بهمن ماه ۱۳۹۶ ۱۶ آبان ماه ۱۳۹۷	۱۰ دی ماه ۱۳۹۶

طرح آزمایشی

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده[1] در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در کرت اصلی، دو سطح مدیریت بقایای گیاهی (از این پس مالچ) مورد آزمایش قرار گرفت: ۱- حذف مالچ از خاک با سوزاندن آن پس از برداشت (M1)، ۲- باقی ماندن مالچ سطح خاک پس از برداشت نیشکر (M2). کرت فرعی شامل سه عمق نصب قطره‌چکان در خاک ID1: عمق نصب ۱۵ cm، ID2: عمق نصب ۲۵ cm، ID3: عمق نصب ۳۵ cm (Grecco et al., 2019; Scarpare et al., 2016; Filho et al., 2022). آرایش سیستم آبیاری دو طرفه بود و لوله اصلی آن در مرکز مزرعه قرار داشت. این سامانه دارای ۱۸ لوله فرعی (لترال) به طول ۱۲۰ متر بود که در فاصله ۱/۸۳ متری از یکدیگر قرار داشتند. فاصله‌ی قطره‌چکان‌ها روی لوله‌های فرعی از هم ۳۰ سانتی‌متر بود. قطره‌چکان‌ها از نوع قطره‌چکان‌های خود تنظیم شونده‌ی فشار و آنتی‌سیفون، با دبی ۲/۲ لیتر در ساعت بودند که تحت فشار ۲/۵ بار کار می‌کردند. جزئیات بیشتر در مورد این طرح در شکل (۱) آورده شده است.

1. split plot

نیاز آبیاری براساس اطلاعات روزانه‌ی تشت تبخیر کلاس A در ایستگاه هواشناسی مجاور مزرعه، براساس روابط (۱) و (۲) محاسبه شد (Allen et al., 1998).

$$ET_0 = k_p \times ET_p \quad (۱)$$

$$ET_c = k_c \times ET_0 \quad (۲)$$

که در این روابط ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع ($mm\ day^{-1}$)، k_p ضریب تشت تبخیر، ET_p میزان تبخیر از سطح تشت تبخیر ($mm\ day^{-1}$)، ET_c تبخیر و تعرق واقعی گیاه نیشکر ($mm\ day^{-1}$) و k_c ضریب گیاهی نیشکر است. برای ضریب گیاهی نیشکر در این مزرعه از داده‌های لایسیمتری استفاده شد و مقادیر k_c در مراحل اولیه، میانی و پایانی به‌ترتیب ۰/۵۶، ۱/۱۱ و ۰/۶۵ بود (Sheini Dashtgol, 2015). مقدار عمق خالص و ناخالص آبیاری، نیاز آبشویی و حجم مورد نیاز آبیاری نیز با استفاده از روابط (۳)، (۴) (Keller & Karmeli, 1974) و (۵) (Ayers & Westcot, 1985) محاسبه شد:

$$d_n = (\theta_{fc} - \theta_{pwp}) \times MAD \times Z \times P_w \quad (۳)$$

$$d_g = \frac{d_n}{Eu(1-LR)} \quad (۴)$$

$$LR = \frac{EC_{iw}}{2EC_{emax}} \quad (۵)$$

که در این روابط d_n عمق خالص آبیاری (mm)، θ_{fc} رطوبت حجمی در نقطه ظرفیت زراعی ($m^3\ m^{-3}$)، θ_i رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری است ($m^3\ m^{-3}$) (اندازه گیری شده با دستگاه TDR (IDRG) مدل SMS-T1)، Z عمق موثر ریشه (m) که با روش حفر پروفیل خاک اندازه‌گیری شد (برای بازرویی اول نیشکر به طور میانگین ۰/۶۵ متر بود (Namdarian et al., 2020))، MAD[1] حداکثر ضریب تخلیه مجاز (بدون بعد و برای گیاه نیشکر با عمق ریشه‌ی بین ۰/۸ تا ۱/۸ متر این پارامتر ۶۵ درصد در نظر گرفته می‌شود (Namdarian et al., 2023))، P_w درصد مساحت خیس شده، d_g عمق ناخالص آبیاری (mm)، Eu ضریب یکنواختی پخش آب در قطره‌چکان‌ها، LR نیاز آبشویی، EC_{iw} هدایت الکتریکی آب آبیاری ($dS\ m^{-1}$) و EC_{emax} هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ($dS\ m^{-1}$). حجم مورد نیاز آبیاری نیز با استفاده از رابطه (۶) محاسبه شد (Phocaides, 2000).

$$V = d_g \times A \times 10^{-3} \quad (۶)$$

که در این رابطه V حجم آب آبیاری (m^3) و A مساحت مزرعه (m^2) است. راندمان مصرف آب (WUE) و راندمان کاربرد (Ea) نیز با روابط زیر محاسبه می‌شوند (۷) (Viets, 1962) و (۸) (Phocaides, 2000):

$$WUE = \frac{yield}{ET_c} \quad (۷)$$

$$E_a = \frac{d_n}{d_g} \quad (۸)$$

اولین و آخرین آبیاری به‌ترتیب در تاریخ ۱۳ بهمن ماه ۱۳۹۶ و ۱۹ آبان ۱۳۹۷ انجام شد. حجم آب مصرفی با کنتور دقیق حجمی (B.H-R50 class) اندازه‌گیری شد. مقدار عمق خالص و ناخالص آبیاری و میزان بارندگی در جدول (۳) به صورت ماهانه نمایش داده شده است.

1. Maximum Allowable Depletion Factor

جدول ۳. مقدار ماهانه‌ی بارندگی و عمق خالص و ناخالص آبیاری
Table 3. The monthly amount of rainfall and irrigation for the first raton.

ماه	عمق خالص آبیاری (mm)	عمق ناخالص آبیاری (mm)	بارندگی (mm)
Feb, 2018	64.19	59.27	42.2
Mar, 2018	114.81	131.08	3.2
Apr, 2018	126.61	138.45	26.2
May, 2018	190.84	226.2	18.8
Jun, 2018	247.80	314.2	0
Jul, 2018	300.28	371.7	0
Aug, 2018	261.32	315.9	0
Sep, 2018	173.46	207.4	0
Oct, 2018	136.78	138.7	26.2
Nov, 2018	44.07	50.2	0.5
SUM	1660.16	1953.1	117.1

عملکرد کمی و کیفی

برای اندازه گیری پارامترهای کمی و کیفی نیشکر در هر کرت آزمایشی، ۲۰ ساقه به طور تصادفی انتخاب و از سطح خاک بریده شد. برگها و سر نی از ساقه ها جدا و وزن تازه آنها به طور جداگانه با ترازوی دقیق اندازه گیری شد. پارامترهای کمی شامل وزن ساقه ها به عنوان عملکرد بر حسب تن در هکتار و مجموع وزن ساقه ها و برگ ها و سرنی ها به عنوان زیست توده کل بر حسب تن در هکتار در نظر گرفته شد. پارامترهای کیفی نیز شامل پل، بریکس، خلوص شربت، عملکرد شکر قهوه ای و عملکرد شکر بودند. شربت ساقه‌ها با استفاده از آسیاب کردن آن‌ها استخراج و پل (POL) به‌عنوان درصد قند موجود در شربت نیشکر، با دستگاه ساکاری‌متر اندازه‌گیری شد (SUMA Saccharimeter Automatic). بریکس (Brix) نیز به‌عنوان درصد مواد جامد محلول در شربت نیشکر تعریف می‌شود و با دستگاه رفراکتومتر (SUMA Sugar/Brix Refractometer) و استانداردهای ارائه شده در کمیسیون بین‌المللی روش‌های یکنواخت برای تجزیه و تحلیل قند ICUMSA (International Commission for Uniform Methods for Sugar Analysis) اندازه‌گیری شد (Ames et al., 2021). سایر خصوصیات کیفی شامل خلوص شربت (Purity (PTY)) عملکرد شکر قهوه‌ای (brown sugar yield (Y))، عملکرد شکر (Sugar yield (SY)) به ترتیب براساس رابطه‌های (۹) تا (۱۳) محاسبه شدند (De Whalley, 1964).

$$POL = PF \times C \quad (۹)$$

$$PTY = \frac{POL}{Brix} \quad (۱۰)$$

$$QR = \frac{PF}{POL} \quad (۱۱)$$

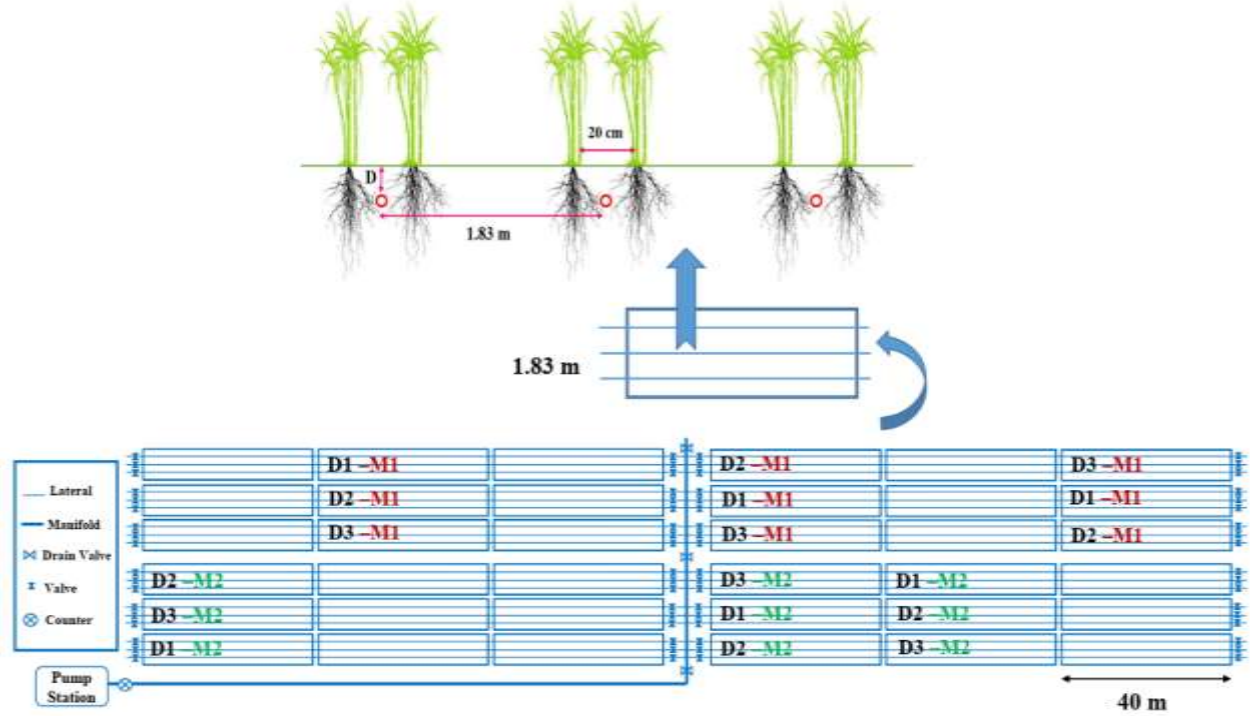
$$Y = \frac{100}{QR} \quad (۱۲)$$

$$SY = Y \times 0.83 \quad (۱۳)$$

که در آن PF درصد ساکارز خوانده شده توسط ساکاری‌متر، C ضریب تصحیح استخراج شده از جداول استاندارد (Whalley, 1964)، QR نسبت کیفیت نیشکر، Y عملکرد شکر قهوه‌ای بر حسب ($t\ ha^{-1}$) و SY عملکرد شکر بر حسب ($t\ ha^{-1}$) است.

تحلیل آماری

در نهایت داده‌های اندازه‌گیری و محاسبه شده در قالب طرح کرت‌های خرد شده بر پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از PROCGLIMMIX از نرم‌افزار SAS v9.4 (SAS Institute, 2015) از نظر آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جدول‌های تجزیه و تحلیل واریانس دو طرفه (ANOVA) استخراج و بررسی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از حداقل مربعات براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت و اختلاف تیمارها در سطح $p\leq 0.5$ معنی‌دار در نظر گرفته شد. رسم نمودارها نیزبا نرم‌افزار R v4.3.2 انجام شد.



شکل ۱. خلاصه‌ای از طرح آزمایشی و محل قرارگیری لترال‌ها و قطره‌چکان‌ها. ID1، ID2 و ID3 به سه عمق نصب قطره‌چکان به‌ترتیب ۱۵، ۲۵ و ۳۵ سانتی‌متر اشاره دارند. M1 و M2 نشان دهنده دو نوع مدیریت مالچ هستند: ۱- حذف مالچ، ۲- مالچ باقی مانده در سطح خاک.

Fig 1. A summary of the experimental design and the location of the laterals and drippers. ID1, ID2 and ID3 refer to three depths of dripper installation as 15, 25 and 35 cm respectively. M1 and M2 represent two types of mulch management: 1- mulch removal, 2- mulch left on the soil surface

نتایج و بحث

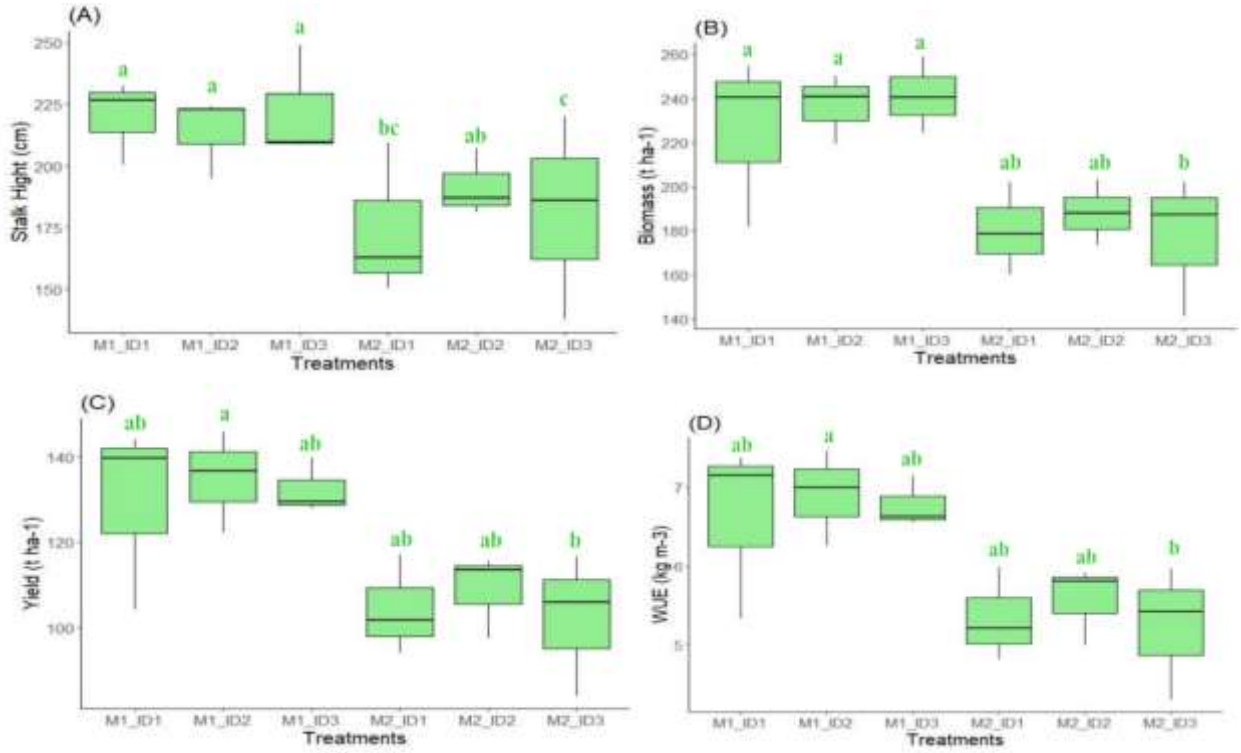
در این پژوهش بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) کاربرد مدیریت مالچ (به‌عنوان تیمار اصلی) روی پارامترهای عملکرد کمی محصول نیشکر در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد معنی‌دار بود. از سوی دیگر عمق‌های متفاوت نصب قطره‌چکان (تیمار فرعی)، و برهم‌کنش متقابل کاربرد مدیریت مالچ و عمق‌های متفاوت نصب قطره‌چکان برای پارامترهای ذکر شده معنی‌دار نبود (جدول ۴). علاوه‌بر این، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که پارامترهای عملکرد کیفی نیشکر تحت تأثیر عامل‌های اصلی و فرعی کاربرد مدیریت مالچ و عمق‌های متفاوت نصب قطره‌چکان و همچنین اثر متقابل آن‌ها قرار نگرفته است (جدول ۵).

جدول ۴. جدول تجزیه و تحلیل آماری مقادیر اندازه‌گیری شده برای ویژگی های کمی عملکرد تحت مدیریت مالچ (M) و عمق نصب قطره‌چکان (ID) در موسسه آموزشی و تحقیقاتی نیشکر، خوزستان، ایران.

Table 4. Statistical analysis of variance of the measured values for quantitative characteristics of yield under different installation depth of dripper (ID) and mulch (M) management at Sugarcane Research and Training Institute, Khuzestan, Iran.

Sources of variation	df	Mean Square			
		Stalk Hight (cm)	Biomass (ton/ha)	Yield (ton/ha)	WUE (kg/m3)
Block	2	1388.8^{ns}	471.23^{ns}	63.73^{ns}	0.147^{ns}
M (Mulch)	1	5131.9**	6277.04**	1389.5*	3.24*
D (Depth of the dropper)	2	578.8^{ns}	484.91^{ns}	216.09^{ns}	0.502^{ns}
M*ID	5	806.7^{ns}	551.87^{ns}	82.97^{ns}	0.194^{ns}
Error	8	199.2	405.77	163.57	0.383
CV		7.13	9.76	10.89	10.91

^{ns} اختلاف معنی‌دارنبود. * اختلاف در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$). ** اختلاف در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$).



شکل ۲. مقدار ارتفاع ساقه، زیست توده، عملکرد و راندمان کاربرد آب (WUE) تحت دو سطح مدیریت مالچ شامل: M1 سوزاندن بقایای گیاهی پس از برداشت و M2 نگه داشتن بقایای گیاهی در سطح مزرعه به‌عنوان مالچ، و سه عمق نصب قطره‌چکان شامل: ID1، ID2 و ID3 به‌ترتیب به‌میزان ۱۵، ۲۵ و ۳۵ سانتی‌متر. حروف مختلف در بالای جعبه‌ها به تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح $p<0.5$ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اشاره دارد.

Fig 2. The amount of stalk height, biomass, yield, and water use efficiency (WUE) under three depths of subsurface drip irrigation as: ID1: 15 cm, ID2: 25 cm, and ID3: 35 cm and two mulch management as: M1: mulch removal and M2: leaving mulch on the soil surface. Different letters at the top of the boxes refer to the significant differences between the treatments at $p<0.5$ based on Duncan's multiple range test.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که ارتفاع ساقه‌های قابل برداشت در تیمار مالچ پاشی شده به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است ($p\leq 0.1$) (شکل ۲ A). ارتفاع ساقه برای M1 و M2 به‌طور میانگین برای تیمارهای مختلف به‌ترتیب ۲۱۱/۸ و ۱۹۸/۴ سانتی‌متر بود. به نظر می‌رسد مالچ در مراحل اولیه‌ی رشد نیشکر، با کاهش نور کافی، سرعت رشد را کاهش داده است (Rabothata, 2009). اگر چه کاهش قابل توجهی در ارتفاع ساقه تحت مدیریت مالچ مشاهده شد، اما این کاهش در عملکرد، زیست توده و WUE در تیمارهای عمق نصب قطره‌چان ۱۵ و ۲۵ سانتی‌متری معنی‌دار نشد (شکل ۲ B&D). مقدار زیست توده برای عمق نصب قطره‌چکان ۲۵ سانتی‌متری بدون مدیریت مالچ ۲۳۱/۱۸ تن در هکتار بود که در همین عمق با وجود مدیریت مالچ به ۱۹۳/۵۰ تن در هکتار کاهش یافت. با این حال، کاهش معنی‌دار زیست توده تنها برای عمق نصب قطره‌چکان ۳۵ سانتی‌متری و با وجود مدیریت مالچ در مقایسه با عدم وجود مالچ مشاهده شد (شکل ۲ B). از آنجایی که تیمار مالچ باعث کاهش جوانه‌زنی گردیده است (Namdarian et al., 2023)، این کاهش جوانه‌زنی به همراه کاهش ارتفاع ساقه می‌تواند دو دلیل اساسی برای کاهش زیست توده باشد (Shih & Gascho., 1980). بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار عملکرد به‌ترتیب در عمق نصب ۱۵ سانتی‌متری بدون وجود مالچ و عمق نصب ۳۵ سانتی‌متری با وجود مالچ به‌میزان ۱۳۲/۶۰ و ۹۶/۴۹ تن در هکتار اندازه‌گیری شد (شکل ۲ C). مشابه با زیست توده، کاهش عملکرد تحت تاثیر مدیریت مالچ به‌دلیل کاهش در جوانه‌زنی، پنجه‌زنی (Namdarian et al., 2023) و ارتفاع ساقه بود که این کاهش‌ها متعاقبا باعث کاهش تعداد و کمیت ساقه‌های قابل برداشت شد (Matsuoka & Stolf, 2012; Zhou et al., 2018; Mahmoudi et al., 2022). بنابراین مقدار WUE نیز تحت تاثیر مدیریت مالچ به‌دلیل کاهش زیست توده و عملکرد کاهش یافت (شکل ۲ D). به‌طور کلی، در عمق نصب قطره‌چکان ۲۵ و ۳۵ سانتی‌متری عملکرد و WUE با کاهش عمق نصب قطره‌چکان در هر دو حالت مدیریت مالچ و عدم وجود مالچ افزایش یافت (شکل ۲ C&D). کاهش عمق

قطره‌چکان در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی باعث افزایش عملکرد نیشکر می‌شود (Barbosa et al., 2017). اگرچه افزایش عمق نصب قطره‌چکان ذخیره‌ی بیشتر آب در خاک را به دنبال داشت اما موجب افزایش آب‌شویی بیشتر املاح و مواد مغذی خاک می‌شود. از طرفی، با افزایش عمق نصب قطره‌چکان‌ها، رطوبت در ناحیه‌ی ریشه در مدت زمان طولانی‌تری بالاتر از حد FC قرار گرفت که تهویه‌ی مناسب خاک را به خطر انداخته، موجب کاهش عملکرد نیشکر شد (Namdarian et al, 2024).

در مجموع نتایج نشان داد که وجود مالچ پارامترهای کمی نیشکر را در همه‌ی تیمارها کاهش داد. این کاهش برای عمق نصب ۲۵ سانتی‌متری کمتر از بقیه‌ی تیمارها بود. باقی ماندن حجم زیادی از بقایا بدون عملیات خاک‌ورزی (قرار دادن همه‌ی بقایای پس از برداشت) روی خاک منجر به کاهش میزان نور، سرعت رشد، سرعت جوانه‌زنی و پنجه‌زنی شد که از دلایل اصلی این کاهش به‌شمار می‌روند (Morandini et al., 2005; Viator et al., 2005; Viator et al., 2006).

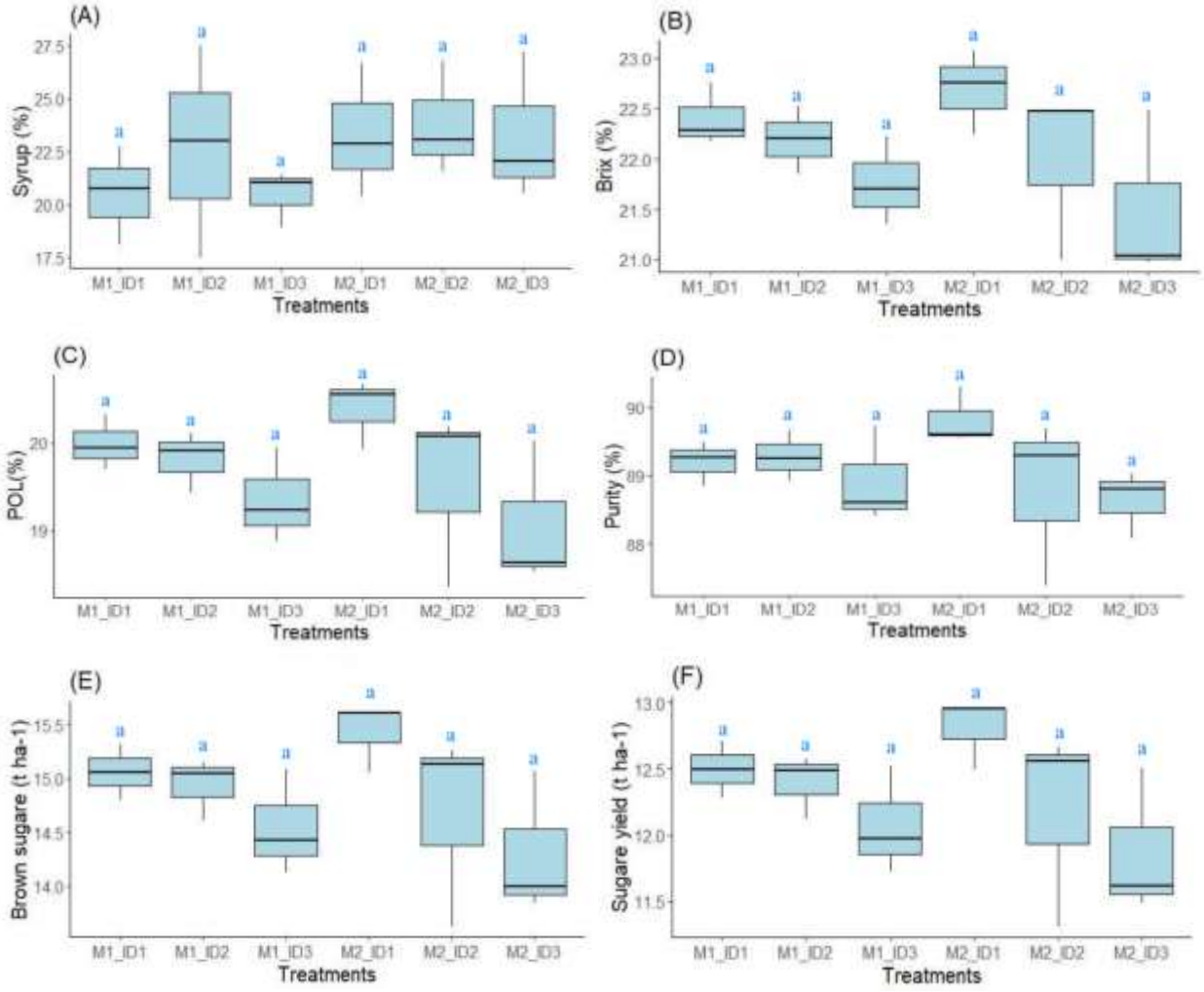
جدول ۵. جدول تجزیه و تحلیل آماری مقادیر اندازه‌گیری شده برای ویژگی‌های کمی عملکرد تحت مدیریت مالچ (M) و عمق نصب قطره‌چکان (ID) در موسسه آموزشی و تحقیقاتی نیشکر، خوزستان، ایران.

Table 5. Statistical analysis of variance of the measured values for qualitative characteristics of yield under different installation depth of dripper (ID) and mulch (M) management at Sugarcane Research and Training Institute, Khuzestan, Iran.

Sources of variation	df	Mean Square					
		Syrup (%)	Brix (%)	POL (%)	Purity (%)	Brown Sugar Yield (ton/ha)	Recovery Sugar (ton/ha)
Block	2	31.94^{ns}	0.25^{ns}	0.25^{ns}	0.15^{ns}	0.17^{ns}	0.11^{ns}
M (Mulch)	1	0.22^{ns}	0.21^{ns}	0.35^{ns}	0.68^{ns}	0.29^{ns}	0.19^{ns}
D (Depth of the dropper)	2	12.21^{ns}	0.98^{ns}	1.16^{ns}	0.73^{ns}	0.82^{ns}	0.57^{ns}
M*ID	5	8.02^{ns}	0.16^{ns}	0.18^{ns}	0.81^{ns}	0.12^{ns}	0.08^{ns}
Error	8	5.76	0.38	0.44	0.51	0.32	0.22
CV		10.96	2.79	3.38	0.81	3.82	3.80

^{ns} اختلاف معنی‌دارنبود. * اختلاف در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$). ** اختلاف در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$).

با توجه به جدول (۵) مشاهده می‌شود که برای پارامترهای عملکرد کیفی استفاده از مالچ اختلاف معنی‌داری را در تیمارهای مختلف ایجاد نکرده است. اما با دقت بیشتر به مقایسه‌ی میانگین‌ها، در عمق‌های نصب قطره‌چکان ۱۵ و ۲۵ سانتی‌متری تحت تیمار مالچ، بهبود جزئی در پارامترهای اندازه‌گیری شده نسبت به تیمار بدون مالچ مشاهده می‌شود (شکل ۳). این در حالی است که در تیمار عمق نصب قطره‌چکان ۳۵ سانتی‌متری برای هر دو حالت مدیریت مالچ و عدم وجود مالچ، که مقدار زیست توده و ارتفاع ساقه نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود (شکل ۲ A&B)، تمامی پارامترهای کیفی کمتر از عمق های نصب قطره‌چکان ۱۵ و ۲۵ سانتی‌متری اتفاق افتاده است (شکل ۲). این اتفاق به‌دلیل گسترش رشد رویشی است. در این تیمار روی ساقه‌های نیشکر در آخرین مرحله‌ی فصل رشد، به‌دلیل وجود رطوبت کافی برگ‌های سبز ایجاد شده‌اند. به این ترتیب، کربوهیدرات‌های تولید شده برای حمایت و تداوم اندام‌های رویشی جدید، به جای تولید و ذخیره‌سازی ساکاروز در اندام‌های اقتصادی نیشکر مورد استفاده‌ی گیاه قرار گرفته‌اند (Inman-Bamber et al., 2008; Pereira et al., 2017). در مجموع، با توجه به پارامترهای کمی و کیفی، به‌نظر می‌رسد عمق نصب قطره‌چکان ۲۵ سانتی‌متری ID2 عمق بهتری برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در هر دو حالت مدیریت مالچ و عدم وجود مالچ در مقایسه با سایر تیمارها باشد.



شکل ۳. مقدار درصد شربت، بریکس، POL، درصد خلوص شربت، عملکرد شکر قهوه‌ای و عملکرد شکر تحت دوسطح مدیریت مالچ شامل: M1 سوزاندن بقایای گیاهی پس از برداشت و M2 نگه داشتن بقایای گیاهی در سطح مزرعه به‌عنوان مالچ، و سه عمق نصب قطره‌چکان شامل: ID1، ID2 و ID3 به‌ترتیب به‌میزان ۱۵، ۲۵ و ۳۵ سانتی‌متر. حروف مختلف در بالای جعبه‌ها به تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح $p<0.5$ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اشاره دارد.

Fig 3. The amount of syrup, brix, POL, purity, brown sugar yield and sugar yield under three depths of subsurface drip irrigation as: ID1: 15 cm, ID2: 25 cm, and ID3: 35 cm and two mulch management as: M1: mulch removal and M2: leaving mulch on the soil surface. Different letters at the top of the boxes refer to the significant differences between the treatments at $p<0.5$ based on Duncan's multiple range test.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که با کاهش عمق نصب قطره‌چکان، عملکرد کمی و کیفی محصول نیشکر بهبود پیدا می‌کند. از طرفی کاهش عمق نصب قطره‌چکان موجب افزایش تلفات تبخیر و یا حتی ایجاد رواناب در سطح خاک می‌شود. چنان‌چه در این پژوهش در کم‌ترین عمق مورد مطالعه که ۱۵ سانتی‌متر بود، ایجاد رواناب در سطح کرت‌ها مشاهده شد. بنابراین یافتن عمقی بهینه که هم بتواند تلفات را به خوبی کاهش دهد و هم بتواند عملکرد را بهبود بخشد، مسئله‌ی قابل اهمیتی است. در بین عمق‌های مورد مطالعه ID2 (۲۵ سانتی‌متر) با توزیع مناسب رطوبت و بهبود در پارامترهای عملکرد کمی و کیفی نیشکر عمق مناسبی تشخیص داده شد. همچنین بنابر نتایج بدست آمده می‌توان گفت اگر چه وجود مالچ در سطح خاک پارامترهای کیفی عملکرد را بهبود بخشید، اما پارامترهای کمی را کاهش داد. نیاز به انجام آزمایش‌های بیشتر در این مورد با تیمارهای متفاوت مالچ، همراه با خاک‌ورزی یا کاهش حجم آن یا پوشش کمتر در سطح مزرعه ضروری و قابل توصیه به نظر می‌رسد.

منابع

Allen, R. G. (1998). Crop evapotranspiration. *FAO irrigation and drainage paper*, *56*, 60-64.

Ames, R., Camp, S., Cox, R., & Mathurin, G. (2021). The Automated Laboratory for Sugar Processing. *Journal of Sugar Beet Research*, *58*. doi: 10.5274/JSBR.58.1.5.

Appels, W. M., & Karimi, R. (2021). Analysis of soil wetting patterns in subsurface drip irrigation systems–indoor alfalfa experiments. *Agricultural Water Management*, *250*, 106832. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106832.

Aragüés Lafarga, R., Medina Pueyo, E. T., & Clavería Laborda, I. (2014). Effectiveness of inorganic and organic mulching for soil salinity and sodicity control in a grapevine orchard drip-irrigated with moderately saline waters. Spanish Journal of Agricultural Research, 12(2), 501-508. http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2014122-5466.

Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). Water quality for agriculture (Vol. 29, p. 174). Rome: Food and agriculture organization of the United Nations.

Barbosa, E. A. A., Matsura, E. E., dos Santos, L. N. S., Gonçalves, I. Z., Nazário, A. A., & Feitosa, D. R. C. (2017). Water footprint of sugarcane irrigated with treated sewage and freshwater under subsurface drip irrigation, in Southeast Brazil. *Journal of Cleaner Production*, *153*, 448-456. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.167.

Cao, X., Xiao, J., Wu, M., Zeng, W., & Huang, X. (2021). Agricultural water use efficiency and driving force assessment to improve regional productivity and effectiveness. *Water Resources Management*, *35*(8), 2519-2535. doi:10.1007/s11269-021-02845-z.

Cao, X., Zeng, W., Wu, M., Guo, X., & Wang, W. (2020). Hybrid analytical framework for regional agricultural water resource utilization and efficiency evaluation. *Agricultural Water Management*, *231*, 106027. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106027.

Chaudhry, M. R., Malik, A. A., & Sidhu, M. (2004). Mulching impact on moisture conservation, soil properties and plant growth. Pakistan Journal of Water Resources, 8(2), 1-8.

Chen, W., Jin, M., Ferré, T. P., Liu, Y., Huang, J., & Xian, Y. (2020). Soil conditions affect cotton root distribution and cotton yield under mulched drip irrigation. *Field Crops Research*, *249*, 107743. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107743.

Ferreira, D. A., Franco, H. C., Otto, R., Vitti, A. C., Fortes, C., Faroni, C. E., ... & Trivelin, P. C. (2016). Contribution of N from green harvest residues for sugarcane nutrition in B razil. *Gcb Bioenergy*, *8*(5), 859-866. doi: 10.1111/gcbb.12292.

Fischer Filho, J. A., Henrique Cavichioli, T., Barcellos Dalri, A., Prates Coelho, A., Paiva Martins, I., & Renato Zanini, J. (2022). Effect of subsurface irrigation on the productivity and technological quality of sugarcane. *Emirates Journal of Food & Agriculture (EJFA)*, *34*(11), 963-970. doi: 10.9755/ejfa.2022.v34.i11.2975.

Ghazouani, H., Rallo, G., Mguidiche, A., Latrech, B., Douh, B., Boujelben, A., & Provenzano, G. (2019). Assessing Hydrus-2D model to investigate the effects of different on-farm irrigation strategies on potato crop under subsurface drip irrigation. *Water*, *11*(3), 540. doi:10.3390/w11030540.

Grecco, K. L., de Miranda, J. H., Silveira, L. K., & van Genuchten, M. T. (2019). HYDRUS-2D simulations of water and potassium movement in drip irrigated tropical soil container cultivated with sugarcane. *Agricultural Water Management*, *221*, 334-347. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.010.

Al-Harbi, A. R., Al-Omran, A. M., & El-Adgham, F. I. (2008). Effect of drip irrigation levels and emitters depth on okra (Abelmoschus esculentus) growth. *Journal of Applied Sciences*. 8(15), 2764- 2769. doi: 10.3923/jas.2008.2764.2769.

Inman-Bamber, N. G., Bonnett, G. D., Spillman, M. F., Hewitt, M. L., & Jackson, J. (2008). Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. *Australian Journal of Agricultural Research*, *59*(1), 13-26. https://doi.org/10.1071/AR07167.

Iqbal, R., Raza, M. A. S., Valipour, M., Saleem, M. F., Zaheer, M. S., Ahmad, S., ... & Nazar, M. A. (2020). Potential agricultural and environmental benefits of mulches—a review. *Bulletin of the National Research Centre*, *44*, 1-16. https://doi.org/10.1186/s42269-020-00290-3.

Rohit Katuri, J., Trifonov, P., & Arye, G. (2019). Spatial distribution of salinity and sodicity in arid climate following long term brackish water drip irrigated olive orchard. *Water*, *11*(12), 2556. doi:10.3390/w11122556.

Keller, J., & Karmeli, D. (1974). Trickle irrigation design parameters. *ASAE*, 17(4), 678-684. doi: 10.13031/2013.36936.

Kong, Q., Li, G., Wang, Y., & Huo, H. (2012). Bell pepper response to surface and subsurface drip irrigation under different fertigation levels. *Irrigation Science*, *30*, 233-245. https://doi.org/10.1007/s00271-011-0278-0.

Mahesh, R., Asoka, R. N., & Archana, H. A. (2016, November). Performance of surface and subsurface drip fertigation on yield and water use efficiency of sugarcane. In *Proceedings of the 2nd World Irrigation Forum, Chiang Mai, Thailand* (pp. 6-8).

Mahmoudi, M., Khelil, M. N., Hechmi, S., Latrech, B., Ghrib, R., Boujlben, A., & Yacoubi, S. (2022). Effect of surface and subsurface drip irrigation with treated wastewater on soil and water productivity of Okra (Abemoschus esculentus) crop in semi-arid region of Tunisia. *Agriculture*, *12*(12), 2048. https://doi.org/10.3390/agriculture12122048.

Mansoor, Z., Tchuenbou-Magaia, F., Kowalczuk, M., Adamus, G., Manning, G., Parati, M., ... & Khan, H. (2022). Polymers use as mulch films in agriculture—a review of history, problems and current trends. *Polymers*, *14*(23), 5062. https://doi.org/10.3390/polym14235062.

Matsuoka, S., & Stolf, R. (2012). Sugarcane tillering and ratooning: key factors for a profitable cropping. Sugarcane: Production, cultivation and uses, 5(2), 137-157.

Mendonça, T. G., Silva, M. B. D., Pires, R. C. D. M., & Souza, C. F. (2020). Deficit irrigation of subsurface drip-irrigated grape tomato. *Engenharia Agrícola*, *40*, 453-461. doi: http://dx.doi.org/10.1590.

Mohammed, A. K., & Abed, B. S. (2020). Water distribution and interference of wetting front in stratified soil under a continues and an intermittent subsurface drip irrigation. *J. Green Eng*, *10*(2), 268-286.

Morandini, M., Figueroa, R., Zamora, F. P., & SCANDALWS, J. (2005). The effects of green-cane trash blanket on soil temperature, soil moisture and sugarcane growth. In *Proc. ISSCT* (Vol. 25). Sugar Cane Technol, 25, 231–236.

Namdarian, D., Boroomand-Nasab, S., Gorooei, A., Gaiser, T., Solymani, A., Naseri, A., & dos Santos Vianna, M. (2024). Determination of the optimum depth for subsurface dripping irrigation of sugarcane under crop residue management. *Agricultural Water Management*, *303*, 109026. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109026.

Namdarian, D., Broomandnasab, S., Naseri, Abdali. (2023). Investigating the Effect of Harvesting Method and Subsurface Drip Irrigation on Sugarcane Ratoon. *Applied Research in Water Engineering*, 1(2), 33-44.

Namdarian, D., Naseri, Abdali., Broomandnasab, S. & Parvizi Almani, M. (2020). Effect of Subsurface Drip and Furrow Irrigation System on Growth and Yield Indices in Sugarcane Cultivation. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(6), 1515-1527. https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2020.293762.668421.

D'Odorico, P., Chiarelli, D. D., Rosa, L., Bini, A., Zilberman, D., & Rulli, M. C. (2020). The global value of water in agriculture. *Proceedings of the national academy of sciences*, *117*(36), 21985-21993. https://doi.org/10.1073/pnas.2005835117.

Pereira, L. F., Ferreira, V. M., OLIVEIRA, N. G., Sarmento, P. L., Endres, L., & Teodoro, I. (2017). Sugars levels of four sugarcane genotypes in different stem portions during the maturation phase. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, *89*, 1231-1242. http://dx.doi.org/ 10.1590/0001-3765201720160594.

Phocaides, A. (2000). Technical handbook on pressurized irrigation techniques. *FAO, Rome*, *372*.

Quintana, K. A., Zanini, J. R., & Silva, E. D. (2012). Effects of irrigation and drip-fertigation with and without boron on yield and technological characteristics of sugar cane. *Científica*, 40(2), 103–116, http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2012 (In Portuguese, with abstract in English).

Rabothata, M. F. (2009). *Water use, growth and development of Sugarcane as affected by a trash mulching*. University of Pretoria (South Africa). In the Faculty of Natural and Agricultural Sciences, University of Pretoria. pp 126.

Rahman, M. J., Uddin, M. S., Bagum, S. A., Mondol, A. T. M. A. I., & Zaman, M. M. (2006). Effect of mulches on the growth and yield of tomato in the coastal area of Bangladesh under rainfed condition. *Int J Sustain Crop Prod*, 1, 6-10.

Ranomahera, M. R. R., Puspitasari, A. R., Putra, R. P., Gustomo, D., & Winarsih, S. (2020). Agronomic Performance and Economic Benefits of Sugarcane (Saccharum officinarum L.) Under Drip Irrigation for Sandy and Clay Soils in East Java, Indonesia. *Jurnal Tanah dan Iklim*, *44*(2), 141-153. doi: http://dx.doi.org/10.21082/jti.v44n2.2020.141-153.

Reddy, M., Ayyanagowdar, M.S., Patil, M.G., Polisgowdar, B.S., Nemichandrappa, M., & Patil, JR. (2018). Performance of water melon under mulching, subsurface and surface drip irrigation systems in semi-arid region. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 6(1), 488-496.

Reyes-Esteves, R. G., & Slack, D. C. (2019). Modeling approaches for determining appropriate depth of subsurface drip irrigation tubing in alfalfa. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *145*(10), 04019021. doi: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001409.

dos Santos, L. N., Matsura, E. E., Goncalves, I. Z., Barbosa, E. A., Nazário, A. A., Tuta, N. F., ... & de Sousa, A. C. (2016). Water storage in the soil profile under subsurface drip irrigation: Evaluating two installation depths of emitters and two water qualities. *Agricultural Water Management*, *170*, 91-98. http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.09.025.

SAS Institute., 2015. Base SAS 9, 4. Procedures Guide. Available online at: https://books.google.com/books?hl=nlandlr=andid=rChZCwAAQBAJandoi= fndandpg=PR3anddq=SAS+Institute.+Base+SAS+9.4+procedures+guide.+SAS+I nstitute,+2015.andots=ITyeRRSM1handsig= SQS3HAktsSK1XCuy CepevUPvTRo (accessed December 15, 2022).

Scarpare, F. V., Hernandes, T. A. D., Ruiz-Corrêa, S. T., Kolln, O. T., de Castro Gava, G. J., dos Santos, L. N. S., & Victoria, R. L. (2016). Sugarcane water footprint under different management practices in Brazil: Tietê/Jacaré watershed assessment. *Journal of cleaner production*, *112*, 4576-4584. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.107.

Siyal, A. W., Gerbens-Leenes, W., Aldaya, M., & Naz, R. (2021). A conceptual framework for including irrigation supply chains in the water footprint concept: gross and net blue and green water footprints in agriculture in Pakistan. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, *2021*, 1-27. doi: 10.5194/hess-2021-388.

Sheini Dashtgol, A. (2015). Principles of applied water management in sugarcane. *Kerdgar publication. Ahvaz*. 144 pp. (In Persian).

Shih, S. F., & Gascho, G. J. (1980). Relationships Among Stalk Length, Leaf Area, and Dry Biomass of Sugarcane 1. *Agronomy Journal*, *72*(2), 309-313. https://doi.org/10.2134/agronj1980.00021962007200020014x.

Smith, K. A., & Mullins, C. E. (2000). *Soil and environmental analysis*. Marcel Dekker Incorporated. Revised, and Expanded. 2nd Edition. Boca Raton, pp 637. doi: https://doi.org/10.1201/9780203908600.

Solomon, S. (2011). Sugarcane by-products based industries in India. *Sugar Tech*, *13*, 408-416. doi: https://doi.org/10.1007/s12355-011-0114-0.

Viator, R. P., Johnson, R. M., & Richard, E. J. (2005). Challenges of post-harvest residue management in the Louisiana sugarcane industry. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol*, 25, 238–245.

Viator, R. P., Johnson, R. M., Grimm, C. C., & Richard Jr, E. P. (2006). Allelopathic, autotoxic, and hormetic effects of postharvest sugarcane residue. *Agronomy journal*, *98*(6), 1526-1531.

Viets, F. G. (1962). Fertilizers and the efficient use of water. *Advances in agronomy*, *14*, 223-264.

Walczak, A. (2021). The use of world water resources in the irrigation of field cultivations. *Journal of Ecological Engineering*, *22*(4). 186– 206. doi: https://doi.org/10.12911/22998993/134078.

De Whalley, H. C. S. (Ed.). (2013). *ICUMSA methods of sugar analysis: official and tentative methods recommended by the International Commission for Uniform Methods of sugar analysis (ICUMSA)*. Elsevier publishing company, Amsterdam, London, New York. pp 420.

Wang, H., Wang, N., Quan, H., Zhang, F., Fan, J., Feng, H., ... & Xiang, Y. (2022). Yield and water productivity of crops, vegetables and fruits under subsurface drip irrigation: A global meta-analysis. *Agricultural Water Management*, *269*, 107645. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107645.

Wang, X., Fan, J., Xing, Y., Xu, G., Wang, H., Deng, J., ... & Li, Z. (2019). The effects of mulch and nitrogen fertilizer on the soil environment of crop plants. *Advances in agronomy*, *153*, 121-173. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.08.003.

Wood, A. W. (1991). Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in north Queensland. Soil and Tillage Research, 20(1), 69-85. https://doi.org/10.1016/0167-1987(91)90126-I.

Xu, F., Wang, Z., Lu, G., Zeng, R., & Que, Y. (2021). Sugarcane ratooning ability: research status, shortcomings, and prospects. *Biology*, *10*(10), 1052. https://doi.org/10.3390/biology10101052.

Zhang, Q. T., Inoue, M., Inosako, K., Irshad, M., Kondo, K., Qui, G. Y., & Wang, S. H. (2008). Ameliorative effect of mulching on water use efficiency of swiss chard salt accumulation under saline irrigation. *J Food Agric Environ*, *6*, 480-485.

Zhou, L., Feng, H., Zhao, Y., Qi, Z., Zhang, T., He, J., & Dyck, M. (2017). Drip irrigation lateral spacing and mulching affects the wetting pattern, shoot-root regulation, and yield of maize in a sand-layered soil. *Agricultural Water Management*, *184*, 114-123. http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2017.01.008.

Zotarelli, L(a)., Dukes, M. D., Scholberg, J. M. S., Muñoz-Carpena, R., & Icerman, J. (2009). Tomato nitrogen accumulation and fertilizer use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. *Agricultural Water Management*, *96*(8), 1247-1258. doi:10.1016/j.agwat.2009.03.019.

Zotarelli, L(b)., Scholberg, J. M., Dukes, M. D., Muñoz-Carpena, R., & Icerman, J. (2009). Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. *Agricultural water management*, *96*(1), 23-34. doi:10.1016/j.agwat.2008.06.007.