

اثر مدیریت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر شاخص‌های رشد و عملکرد در بازرویی اول گیاه نیشکر

درس‌نامه‌داریان^۱ *، عبدعلی ناصری، سعید برومندنسب و مسعود پرویزی آلمانی

دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی دانشکده‌ی مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

dorsanamdarian@yahoo.com

استاد مهندسی آبیاری و زهکشی دانشکده‌ی مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

abdalinaseri@yahoo.com

استاد مهندسی آبیاری و زهکشی دانشکده‌ی مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

boroomand@scu.ac.ir

مدیر به‌نژادی موسسه‌ی تحقیقات و توسعه‌ی نیشکر خوزستان، اهواز، ایران.

mparvizi_almani@yahoo.com

چکیده

در این مطالعه اثر مدیریت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی روی شاخص سطح برگ، توزیع ریشه، کیفیت و عملکرد محصول نیشکر، برای بازرویی اول مورد بررسی قرار گرفت. به‌همین منظور در مزرعه‌ای با مدیریت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی سه ایستگاه اندازه‌گیری پارامترهای رشد انتخاب شد. مقدار کل آب مصرفی برای این مزرعه در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶، ۱۹۵۳/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. در این سال زراعی، ۱۱۷ میلی‌متر بارندگی نیز اتفاق افتاد. تعداد ساقه‌ها، تعداد برگ‌های سبز، طول و عرض برگ در طول یک متر از ردیف کاشت، در شش نوبت به‌ترتیب ۹۱، ۹۹، ۱۰۵، ۱۱۲، ۱۱۹ و ۱۲۸ روز پس از برداشت شمارش و اندازه‌گیری شد. تعداد، طول و عرض برگ‌ها به‌صورت میانگین و به‌ترتیب ۷/۲، ۱۰۱ و ۲/۹ سانتی‌متر بود. مقدار شاخص سطح برگ، تحت تاثیر تعداد ساقه‌ها قرار داشت. وزن ۲۰ ساقه ۱۵/۸ کیلوگرم، بریکس ۲۲/۲٪، پل ۱۹/۸٪، خلوص شربت ۸۹/۱٪، نسبت کیفیت شربت ۶/۷، عملکرد شکر زرد ۲۱/۳ و عملکرد شکر سفید ۱۴/۹ تن در هکتار اندازه‌گیری شد. همچنین ویژگی‌های مختلف ریشه اندازه‌گیری شد. وزن، طول، سطح، حجم و قطر ریشه به‌ترتیب ۷۹/۵ گرم، ۷۰۷/۵۵ سانتی‌متر، ۷۹۳/۳ سانتی‌متر مربع، ۷۰/۸ میلی‌لیتر و ۱/۰۵ میلی‌متر تعیین شد. نسبت شاخه به ریشه نیز ۵/۷۳ گرم بر گرم بود. علاوه‌بر آن ۲۰٪ افزایش قطر ریشه در لایه‌های عمیق‌تر خاک نسبت به لایه‌های سطحی خاک مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: بریکس، پل، درصد خلوص شربت، نسبت شاخه به ریشه

۱- آدرس نویسنده‌ی مسئول: دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده‌ی مهندسی علوم آب، گروه آبیاری و زهکشی

* - دریافت: شهریور ۱۳۹۸ و پذیرش: خرداد ۱۳۹۹

بلکه، جمع‌آوری اطلاعات نیز باید مورد اهمیت قرار گیرد (ژائو^۵ و همکاران، ۲۰۱۸). متغیرهای رشد گیاهی به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر روش آبیاری قرار می‌گیرند (عامر، ۲۰۱۱). برای مقایسه‌ی رشد و عملکرد بین ژنوتیپ‌های مختلف و اقتصادی نیشکر این متغیرها اندازه‌گیری می‌شوند (ساندهو و همکاران، ۲۰۱۲). نظارت بر رشد و تولید محصول نیشکر با استفاده از مدل‌های تجربی و داده‌های سنجش از دور امکان‌پذیر است (سلواراجو و همکاران، ۲۰۱۹). مدل‌های رشد با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی روشی بسیار پر کاربرد و محبوب است. برای استفاده از مدل‌های رشد باید پارامترهای فیزیولوژیکی اصلی را شناسایی و کنترل کرد. جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها در کشاورزی کار دشواری است. کمبود این اطلاعات باعث کاهش دقت در پیش‌بینی‌هاست (ژائو و همکاران، ۲۰۱۸). متغیرهای رشد گیاه شامل پارامترهایی نظیر زیست توده^۶، شاخص سطح برگ^۷ (LAI)، تعداد ساقه در متر و عملکرد می‌باشد (سیمونز و همکاران^۸، ۲۰۰۵). می‌توان LAI را یک متغیر مستقیم برای برآورد تغییرات رشد نیشکر در نظر گرفت (سیمونز و همکاران، ۲۰۰۵ و ژائو و همکاران، ۲۰۱۸). ریشه و میزان فعالیت آن نقش مهمی در جذب آب و مواد غذایی محصول، به‌ویژه در شرایط خشکی دارد (ال‌وی و همکاران^۹، ۲۰۱۹). وجود اطلاعات اندکی که از سیستم ریشه و فعالیت آن داریم ممکن است باعث بروز مدیریت ناکارآمد کشاورزی و انتخاب نادرست ارقام شود (اسمیت و همکاران^{۱۰}، ۲۰۰۵). مطالعات محدودی در مورد روند تغییرات LAI و ریشه برای محصول نیشکر، به‌ویژه در کشاورزی مدرن وجود دارد (ساندهو و همکاران، ۲۰۱۲، اوتو و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۱ و جانگپروما و همکاران^{۱۲}، ۲۰۱۲). سیمونز و همکاران (۲۰۰۵)، لین و همکاران (۲۰۰۹) و ژانگ و همکاران^{۱۳} (۲۰۱۶) با استفاده از تصاویر

نیشکر یکی از محصولات مهم برای تولید قند است و همچنین باعث تولید فرآورده‌های جانبی مهم شامل باگاس، ملاس و اتانول می‌باشد (سلواراجو^۱ و همکاران، ۲۰۱۹)؛ مانند سایر محصولات کشاورزی تغییر روش‌های مدیریتی آبیاری روی محصول نیشکر تاثیر معنی‌داری می‌گذارد. آبیاری قطره‌ای زیرسطحی یکی از موثرترین مدیریت‌های آبیاری موجود برای کشت نیشکر است (باربوسا و همکاران، ۲۰۱۷ و سیلوا^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). آبیاری قطره‌ای با قطره‌چکان‌های مدفون در زیر سطح خاک به واسطه‌ی کاهش رطوبت در سطح، تلفات بلقوه آب را در سامانه‌ی آبیاری کاهش می‌دهد. با استفاده از این سامانه‌ها کشاورزان می‌توانند به بازده مصرف آب بالاتر، کاهش به‌خطر افتادن کیفیت آب، امکان بیشتر در استفاده از آب‌های با کیفیت پایین‌تر و افزایش یکنواختی آب کاربردی دست یابند (المالگلو و دیامنتوپولوز^۳، ۲۰۰۹). از جمله محاسن این سیستم می‌توان به کارایی مصرف آب بالاتر، آلودگی کمتر آب‌های زیرسطحی به‌دلیل آبشویی کمتر نیترات‌ها، کاهش خطرات شوری به دلیل نگهداری زیاد رطوبت خاک و دور آبیاری کوتاه‌تر، یکنواختی بهتر پخش آب، وضعیت بهتر گیاه از نظر رشد، افزایش کمی و کیفی محصول، کنترل بهتر بیماری‌ها، مدیریت مناسب کودها و سموم، کنترل علف‌های هرز، امکان خودکار کردن کامل سیستم، کاهش خسارات ناشی از حیوانات و انعطاف‌پذیری زیاد سیستم اشاره کرد (صدادتی و همکاران، ۱۳۹۱، بدر و ابوعرب^۴، ۲۰۱۳). ضمن اینکه در این سیستم نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی رایج، توزیع رطوبت و شوری در خاک نیز بهتر با الگوی توزیع ریشه همخوانی دارد. برای افزایش کارایی تولیدات کشاورزی و کاهش هزینه‌ها در کشاورزی مدرن نه تنها مسائل مربوط به مزرعه

8 Simões
9 Lv
10 Smith
11 Otto
12 Jangpromma
13 Zhang

1 Selvaraju
2 Silva
3 Elmaloglou and Diamantopoulos
4 Badr and Abuarab
5 Zhao
6 Biomass
7 Leaf Area Index

داری داشت. برای کشت نیشکر در ایران همچنان از شیوهی آبیاری جویچه‌ای استفاده می‌شود؛ بنابراین اطلاعاتی در رابطه با تاثیر مدیریت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی روی خصوصیات و متغیرهای رشد نیشکر در دست نیست. تلاش‌ها برای مدل‌سازی محصول نیشکر نشان دهنده‌ی این واقعیت است که فرایندهای شبیه‌سازی در اغلب مدل‌ها برای محیط‌های خاص باید اصلاح شوند و هیچ مدل جهانی برای یک محصول وجود ندارد. در اراضی نیشکر مورد مطالعه، در سال‌های اخیر به سمت مدرن شدن پیش می‌رود. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌برداری‌های هوایی در این اراضی در حال مرسوم شدن است. از آنجا که داده‌های LAI نقش اصلی را برای مدل‌سازی دارند. برای مدیریت بهتر اراضی مورد مطالعه، تعیین آن بسیار مهم است و بر اساس آن می‌توان برنامه‌ریزی بهینه برای آبیاری تعیین کرد؛ بنابراین با توجه به اهمیت اندازه‌گیری و آگاهی از روند تغییرات شاخص‌های عنوان شده، پژوهشی انجام شد. با توجه به این نکته که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای اولین بار در کشت نیشکر در ایران اجرا شده است، نتایج این مطالعه می‌تواند برای برنامه‌ریزی‌ها، طراحی‌ها و مدل‌سازی‌های مختلف این محصول راهگشا و مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق، در مزرعه‌ای با مساحت ۰/۸ هکتار، زیر کشت نیشکر رقم CP69-1062، طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و در قالب بازویی اول انجام گرفت. برداشت در آذر ماه ۱۳۹۶ انجام و جوانه‌زنی از اواخر بهمن ماه آغاز شد؛ بنابراین اولین آبیاری در همین ماه قبل از جوانه‌زنی صورت گرفت. سامانه‌ی آبیاری دارای ۱۸ لترال، با آرایش دو طرفه است. لوله‌ی اصلی در وسط مزرعه قرار گرفته است، به‌صورتی که طول هر لترال ۱۲۰ متر است. قطره‌چکان‌ها با دبی ۲/۲ لیتر در ساعت تحت فشار ۲/۵ بار، در عمق ۲۵ و فاصله‌ی ۳۰ سانتی‌متری از هم قرار گرفتند.

دیجیتالی تغییرات LAI را مدل‌سازی کردند. پاندی^۱ و همکاران (۲۰۱۸) در شش ایالت هندوستان مقدار LAI و عملکرد محصول نیشکر را برای از چند مدل پیش‌بینی محصول با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اندازه‌گیری کردند. سلواراجو و همکاران (۲۰۱۹) برای شبیه‌سازی میزان عملکرد نیشکر با استفاده از تصاویر هوایی و مدل Mapcape-RICE روند تغییرات LAI را برای محصول نیشکر در طول دوره‌ی رشد برای منطقه‌ی تامیل نادوی هند اندازه‌گیری کردند. ژائو و همکاران (۲۰۱۸) در ۱۵ مزرعه‌ی تحقیقاتی واقع در برزیل در دوره‌های مختلف رشد میزان LAI را اندازه‌گیری کردند و از این اطلاعات در سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای شبیه‌سازی رشد محصول نیشکر DSSAT استفاده کردند. ساندهو و همکاران (۲۰۱۲) ارتباط بین تغییرات LAI، سرعت رشد و عملکرد نیشکر برای چند ژنوتیپ مختلف را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که رابطه بین عملکرد و LAI در دوره‌ی نهایی رشد همبستگی خوبی از خود نشان می‌دهد. داسیلوا و همکاران^۲ (۲۰۱۷) رابطه بین LAI و زیست توده نیشکر را در چهار رقم مورد مقایسه و بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که رقم RB92579 با LAI بزرگتر از ۴/۴۶ بیشترین مقدار عملکرد را در بین ارقام مورد مطالعه داشت. اوتو و همکاران (۲۰۱۱) برای رقم SP81-3250

رابطه‌ی بین توزیع و تراکم ریشه با خصوصیات فیزیکی خاک را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش تراکم خاک رشد ریشه به‌شدت کاهش می‌یابد. لاکلائو و لاکلائو (۲۰۰۹) تراکم طولی ریشه را در ۳۴، ۴۹، ۱۲۵، ۱۷۹، ۲۴۱ و ۳۲۲ روز پس از کاشت در عمق یک متری خاک بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد بیشترین تراکم طولی در عمق کمتر از ۶۰ سانتی‌متر اتفاق می‌افتد. جانگپروما و همکاران (۲۰۱۲) رابطه بین خصوصیات ریشه و کارایی مصرف آب را در ۱۰ رقم مختلف نیشکر مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد تغییرات قطر، طول، سطح و حجم ریشه در رقم‌های مختلف با هم اختلاف معنی

۳۰° عرض شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۷/۶ متر می‌باشد. در شکل (۱) تصویر هوایی موقعیت مکانی مزارع مورد مطالعه نشان داده شده است.

مزرعه‌ی مورد مطالعه، در ایستگاه تحقیقاتی شماره یک مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر خوزستان واقع در ۳۰ کیلومتر جاده اهواز-آبادان با ۳۳° ۴۸' طول شرقی، ۵۹°



شکل ۱- تصویر هوایی موقعیت مکانی مزرعه‌ی مورد مطالعه

به‌طور میانگین و به‌ترتیب ۳۷/۷ و ۱۹/۴ درصد حجمی اندازه‌گیری شدند. منبع تأمین آب آبیاری، از رودخانه کارون بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه و آب آبیاری در جدول‌های (۱) و (۲) ارائه شده است.

اقلیم منطقه براساس تقسیم‌بندی دومارتن ۱ گرم و خشک محسوب می‌شود. بافت خاک مزرعه با آزمایش هیدرومتری، سیلتی کلی لوم تعیین شد. با استفاده از دستگاه صفحه‌های فشاری، نقاط ظرفیت‌زراعی و پژمردگی دائم

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه

عمق خاک (cm)	EC (ms/cm)	pH	Pb (mg/cm ³)	کاتیون‌ها (meq/l)				آنیون‌ها (meq/l)			SAR	
				Na+	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K+	Cl-	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻		SO ₄ ²⁻
0-30	5.8	7.1	1.5	41.4	13	10.3	0.19	39.1	0	2.15	20.5	12.1
30-60	4.9	7.1	1.5	36.2	11.2	7.95	0.20	29.1	0	1.76	20.0	11.6
60-90	5	7.2	1.6	35.8	12.8	9.44	0.15	28.8	0	1.22	26.8	10.7

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده در مزرعه مورد مطالعه

EC (dS/m)	pH	TDS (mg/l)	TH (mg/l)	کاتیون‌ها (meq/l)				آنیون‌ها (meq/l)			SAR	طبقه بندی C ₄ S ₂	
				Na+	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K+	Cl-	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻			SO ₄ ²⁻
2.5	7.5	1793	531	13.9	3.8	5.1	0.08	14.8	0	2.98	5.9	6.6	C ₄ S ₂

$$d_g = \frac{d_n}{Eu(1-LR)} \quad (4)$$

$$LR = \frac{EC_{iw}}{2EC_{emax}} \quad (5)$$

$$V = d_g \times A \times 1000 \quad (6)$$

که در این روابط:

ET_0 تبخیر و تعرق پتانسیل، (mm/day)، k_p ضریب تشت تبخیر، ET_p میزان تبخیر از سطح تشت تبخیر (mm/day)، ET_c تبخیر و تعرق واقعی گیاه نیشکر (mm/day)، k_c ضریب گیاهی نیشکر، d_n عمق خالص آبیاری (mm)، θ_{fc}

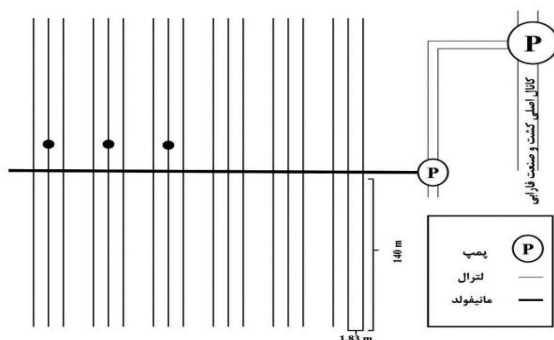
نیاز آبیاری براساس اطلاعات روزانه‌ی تشت تبخیر آمریکایی کلاس A در ایستگاه سینوپتیک مجاور مزرعه محاسبه شد. مقدار آب مورد نیاز گیاه نیشکر، عمق خالص و ناخالص آبیاری، نیاز آبتوی و حجم مورد نیاز آبیاری با استفاده از روابط (۱) تا (۶) محاسبه گردید (علیزاده، ۱۳۸۹):

$$ET_0 = k_p \times ET_p \quad (1)$$

$$ET_c = k_c \times ET_0 \quad (2)$$

$$d_n = (\theta_{fc} - \theta_p) \times MAD \times Z \times P_w \quad (3)$$

متغیرهای رشد در شکل (۱)، مشاهده می‌شود.



شکل ۱- شماتیک موقعیت نقاط اندازه‌گیری متغیرهای رشد

طول مزرعه ۲۴۰ و فاصله جویچه‌ها از هم ۱/۸۳ متر بود. LAI سطح برگ در واحد سطح از سطح خاک است و پوشش گیاهی را توصیف می‌کند. این پارامتر مربوط به تبخیر و تعرق، فتوسنتز و بهره‌وری اکو سیستم گیاهی است تا کنون با تکیه بر جهت‌گیری برگ‌ها و هندسه‌ی آن تعاریف مختلفی از آن ارائه شده است. از روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری پارامتر LAI استفاده می‌شود. این روش‌ها بر اساس نوع اندازه‌گیری و تجهیزات فنی متفاوت هستند. بر این اساس دو روش اصلی مستقیم و غیرمستقیم برای تعیین LAI وجود دارد (کومار ورما^۲ و همکاران، ۲۰۱۸). در روش‌های غیرمستقیم LAI با اندازه‌گیری‌های گیاهی یا عبور نور از گیاه و تجزیه و تحلیل آن و عکاسی دیجیتال انجام و محاسبه می‌شود. روش‌های غیرمستقیم، غیرمخرب و مقرون به صرفه هستند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۶). در روش‌های مستقیم، یا با استفاده از دستگاه Leaf area meter (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۶) یا با استفاده از متر و رابطه‌ی خاص ابعاد برگ با ضریب شکل محاسبه می‌شود (کومار ورما و همکاران، ۲۰۱۸). روش‌های مستقیم مخرب پوشش گیاهی است. این روش با برداشت پوشش گیاهی و برآورد سطح برگ در محصولات زراعی و مراتع استفاده می‌شود و استفاده از آن وقت‌گیر، گران و دشوار است و در مقیاس بزرگ نمی‌توان از آن استفاده کرد؛ اما نتایج به‌دست آمده از آن دقت بیش‌تری نسبت به روش‌های غیر مستقیم دارد (کومار ورما و همکاران، ۲۰۱۸). در این مطالعه LAI

رطوبت حجمی در نقطه ظرفیت زراعی، θ_p رطوبت حجمی خاک مزرعه قبل از آبیاری، MAD درصد مجاز تخلیه‌ی رطوبتی برای گیاه نیشکر، Z عمق موثر ریشه (m)، P_w درصد مساحت خیس شده، d_g عمق ناخالص آبیاری، Eu ضریب یکنواختی پخش آب در قطره‌چکان‌ها، LR نیاز آبتی، EC_{iw} هدایت الکتریکی آب آبیاری (dS/m)، EC_{emax} هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (dS/m)، V حجم آب آبیاری (m^3) و A مساحت مزرعه (m^2) است. لازم به ذکر است که برای ضریب گیاهی نیشکر در این مزارع از داده‌های لایسیمیتری اندازه‌گیری شده در دوره‌های کاشت قبلی استفاده شد. برای محاسبه‌ی ET_0 روزانه از ضریب تشت تبخیر آلن و پروت^۱ استفاده شد. این ضریب برای منطقه‌ی اهواز داری بیش‌ترین دقت است (شکری و همکاران ۱۳۹۴). مقدار k_c با استفاده از لایسیمتر در مجاورت مزرعه مورد مطالعه محاسبه شد. بهره‌وری مصرف آب و راندمان کاربرد آب نیز با استفاده از روابط زیر محاسبه شد:

$$WUE = \frac{y}{ET_c} \quad (7)$$

$$E_a = \frac{d_n}{d_g} \quad (8)$$

که در این روابط:

WUE بهره‌وری مصرف آب ($kg/mm.ha$)، y عملکرد محصول (kg/ha)، E_a راندمان کاربرد آب است. اولین و آخرین آبیاری به ترتیب در تاریخ ۵ بهمن ماه ۱۳۹۶ و ۱۹ آبان ماه ۱۳۹۷ صورت گرفت. حجم آب مصرفی با کنتور حجمی دقیق اندازه‌گیری و ثبت شد. به این ترتیب روند تغییرات LAI با استفاده از طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با دو تیمار (نوبت‌های اندازه‌گیری) و سه تکرار (تعداد نقاط اندازه‌گیری) صورت گرفت. در هر نوبت میانگین طول، عرض، مساحت و LAI در سه جویچه اندازه‌گیری شد. شماتیک موقعیت نقاط اندازه‌گیری

ی میانی رشد، در بازه‌ی ۹۰ تا ۱۲۸ روز بعد از برداشت پلنت^۵ انجام شد. پس از قطع آبیاری و تکمیل روند رسیدگی نیشکر، برداشت صورت گرفت. در هر نقطه‌ی اندازه‌گیری یک فاصله‌ی ۱۰ متری انتخاب شد. تعداد ۲۰ ساقه به صورت تصادفی انتخاب و وزن آن اندازه‌گیری شد. با انتقال ساقه‌ها به آزمایشگاه فاکتورهای کیفی اندازه‌گیری و محاسبه شدند. به درصد قند موجود در عصاره نیشکر، پل^۶ می‌گویند و با دستگاه ساکاری^۷ متر اندازه‌گیری می‌شود. به درصد مواد جامد محلول در عصاره نیشکر، بریکس^۸ می‌گویند و با دستگاه رفاکتومتر^۹ اندازه‌گیری می‌شود. سایر خصوصیات کیفی شامل درجه خلوص شربت^{۱۰}، نسبت کیفیت^{۱۱}، درصد شکر زرد^{۱۲}، شکر سفید تصفیه شده^{۱۳} و عملکرد شکر سفید^{۱۴} از روابط (۱۱) تا (۱۵)، محاسبه شدند (ICUMSA، ۲۰۰۹).

$$POL = \text{Pool Factor} \times SR \quad (11)$$

$$QR = \frac{PF}{POL} \quad (12)$$

$$\text{Yield} = \frac{100}{QR} \quad (13)$$

$$RS = \text{Yield} \times 0.83 \quad (14)$$

$$SY = Y \times RS \quad (15)$$

که در روابط بالا:

POL درصد ساکاروز شربت نیشکر، Pool Factor درصد ساکاروز قرائت شده، SR ضریب اصلاحی که از جداول استاندارد استخراج می‌شود، QR نسبت کیفیت شربت نیشکر، PF ضریب تصحیح درصد خلوص، Yield عملکرد شکر زرد (ton/ha)، RS درصد شکر سفید تصفیه شده است. SY عملکرد نهایی شکر سفید تصفیه شده (ton/ha) و Y عملکرد نهایی نیشکر (ton/ha) است.

برای بررسی رشد ریشه نیز یک بوته انتخاب و با روش حفاری اسکلت ریشه به صورت کامل مورد مطالعه قرار گرفت. مطالعه‌ی ریشه ده روز قبل از برداشت محصول

با استفاده از روش مرسوم در کشت و صنعت‌های نیشکری خوزستان، به صورت مستقیم اندازه‌گیری شد. برای از بین بردن اثرات جانبی روی نتیجه‌ی پژوهش از هر کرت جوچه‌ی وسط در نظر گرفته شد. قسمت میانی هر جوچه به اندازه‌ی دو متر انتخاب و میخ‌کوبی شد. اندازه‌گیری‌ها به صورت هفتگی و در بین ساعات ۹ تا ۱۱ صبح انجام گرفت. تعداد ساقه‌های رشد کرده شمارش و متوسط تعداد برگ‌های هر ساقه اندازه‌گیری شد. برای این کار تعداد برگ‌های سبز برای چند ساقه شمارش (برگ‌هایی که بیش از ۲۰ درصد از آن‌ها سبز باشد) و به صورت میانگین برای همه‌ی ساقه‌ها در نظر گرفته شد. طول و عرض برگ‌ها اندازه‌گیری شد. پهنای وسط برگ به عنوان عرض برگ در نظر گرفته شد. برای کاهش خطا، اندازه‌گیری‌ها دو یا سه بار تکرار شدند تا از صحت آن اطمینان حاصل شود. براساس توصیه‌ی محققین (هرمان و کامارا^۱، ۱۹۹۹ و داسیلوا و همکاران، ۲۰۱۷) برای محاسبه‌ی سطح برگ ضریب تصحیح ۰/۷ در نظر گرفته شد. مساحت سطح برگ و LAI با استفاده از روابط (۹) و (۱۰) محاسبه شدند.

$$LA = 0.7 \times LL \times LW \times N \times S \quad (9)$$

$$LAI = \frac{LA}{A} \quad (10)$$

که در آن:

LA مساحت سطح برگ برحسب m^2 ، ۰/۷ ضریب تصحیح، LL طول برگ برحسب m، LW عرض برگ برحسب m، N تعداد متوسط برگ برای هر ساقه و S تعداد ساقه‌ها در یک متر، LAI شاخص سطح برگ برحسب m^2/m^2 و A مساحتی که LA در آن اندازه‌گیری شده و برحسب m^2 است. بهترین زمان اندازه‌گیری LAI نیشکر اواخر دوره‌ی میانی^۲ یا اوایل دوره‌ی پایانی رشد^۳ می‌باشد (گاتیز و میجلی^۴، ۲۰۰۴، ساندهو و همکاران، ۲۰۱۲ و داسیلوا و همکاران، ۲۰۱۷)؛ بنابراین اندازه‌گیری‌ها در دوره

8 Brix
9 Refractometer
10 Purity (PTY)
11 Quality Ratio (Q.R)
12 Yield (Y)
13 Recovery Sugar (R.S)
14 Sugar yield (SY)

1 Hermann & Camara
2 Late mid-season
3 Early late-season
4 Gutierrez & Miceli
5 Plant
6 POL
7 Saccharimete

W وزن ریشه‌ها برحسب mg است. حجم ریشه‌ها مستقیماً از روی جا به جا شدن آب در ظرف مدرج پس از وارد کردن ریشه‌های شسته شده به داخل آن صورت گرفت. قطر ریشه‌ها نیز با استفاده از میکرومتر پیچی که دقت آن یک صدم میلی‌متر بود اندازه‌گیری شد. در نهایت، برای برازش داده‌ها، از نرم‌افزار EXCEL استفاده شد.

نتایج و بحث

مقدار نیاز آبی گیاه نیشکر در کل دوره داشت با استفاده از تشت تبخیر کلاس A آمریکایی ۱۸۵۲/۲ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. مقدار آب مورد استفاده در پایان دوره برای مزرعه مورد مطالعه ۱۹۵۳/۱ میلی‌متر بود. لازم به ذکر است که در این دوره در مجموع ۱۱۷ میلی‌متر بارندگی اتفاق افتاد. راندمان کاربرد آب محاسبه شده، ۸۸/۲٪ است. عملکرد محصول ۴۹۳۸۵۷/۹ کیلوگرم بر هکتار و بهره‌وری مصرف آب ۱۳۳/۳ کیلوگرم بر میلی‌متر بر هکتار محاسبه شد. در نقاط اندازه‌گیری تعداد ساقه‌ها، تعداد برگ‌های سبز، طول و عرض برگ در شش نوبت به ترتیب در ۹۱، ۹۹، ۱۰۵، ۱۱۲، ۱۱۹ و ۱۲۸ روز پس از برداشت پلنت شمارش و اندازه‌گیری شد. نتایج اندازه‌گیری‌ها در جدول (۳) ارائه شده است.

انجام شد. سعی شد بوته‌ی مورد مطالعه نمونه‌ی تیپیک محصول باشد. پس از انتخاب، کلیه‌ی مشخصات ظاهری گیاه یادداشت و سپس قسمت هوایی بریده شد تا در کار مطالعه اخلاقی ایجاد نکند. از پیرامون و فاصله‌ای از گیاه که انشعاب ریشه‌ها بدان نمی‌رسید حفاری ترانشه‌ای آغاز شد. عرض ترانشه یک متر و عمق آن ۲۰ الی ۳۰ سانتی‌متر پائین تر از عمیق‌ترین ریشه‌ها بود. پس از آن که کار حفاری ترانشه به پایان رسید با دقت و با استفاده از یک میله‌ی تیز خاک اطراف ریشه‌ها خارج شد تا ریشه‌ها ظاهر شوند. هم‌زمان رسم الگوی انشعاب ریشه‌ها چه به‌صورت گرافیکی و چه به‌صورت عکاسی انجام شد. پس از خارج شدن کامل ریشه از خاک پارامترهایی که برای توصیف کمی رشد ریشه و گسترش آن به کار می‌روند شامل وزن، سطح، حجم، قطر و طول ریشه اندازه‌گیری شد. سطح ریشه با روش اتکینسون^۱ و با استفاده از رابطه (۱۶) محاسبه شد (علیزاده، ۱۳۸۹):

$$A = 2[V \times \pi \times L]^{0.5} \quad (16)$$

که در آن:

A سطح ریشه‌ها برحسب cm^2 ، V حجم ریشه برحسب cc و L طول ریشه‌ها برحسب cm است. طول ریشه‌ها با استفاده از رابطه (۱۷) محاسبه شد (علیزاده، ۱۳۸۹):

$$L = 0.89W \quad (17)$$

که در آن:

جدول ۳- نتایج اندازه‌گیری متغیرهای رشد برای گیاه نیشکر در بازروی اول

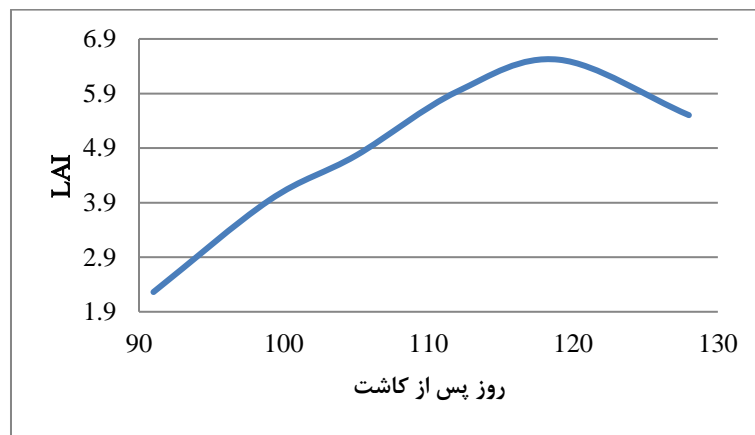
LAI	عرض برگ (cm)	طول برگ (cm)	تعداد برگ سبز	تعداد ساقه	تاریخ اندازه‌گیری (تعداد روز پس از برداشت پلنت)
۲/۲۶	۲/۶۳	۹۶/۳	۵/۳	۸۴	روز ۹۱
۳/۹۴	۲/۶۰	۹۹/۳	۶/۳	۱۲۷	روز ۹۹
۴/۷۶	۲/۸۳	۹۴/۳	۷/۳	۱۲۷/۷	روز ۱۰۵
۵/۹۴	۳/۲۳	۱۱۲/۷	۸	۱۰۷	روز ۱۱۲
۶/۵۲	۳/۰۷	۹۹/۰	۸	۱۴۰/۷	روز ۱۱۹
۵/۵۰	۳/۴۷	۱۰۴/۷	۸	۱۰۰/۳	روز ۱۲۸
۴/۸۲	۲/۹۷	۱۰۱/۱	۷/۲	۱۱۴/۴	میانگین

۲/۹۷ سانتی‌متر است. این نتیجه با نتایج داسیلوا و همکاران (۲۰۱۷) و ماچادو و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت دارد. داسیلوا

با توجه به جدول (۳) تعداد برگ‌ها، طول و عرض برگ به‌صورت میانگین و به ترتیب ۷/۲، ۱۰۱/۱ و

بزرگتر شدن LAI را در مدیریت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به آبیاری جویچه‌ای، به توزیع مناسب‌تر رطوبت و مواد مغذی در کود آبیاری نسبت داد. این نتیجه با نتایج گیلبرت و همکاران^۱ (۲۰۰۸)، عامر (۲۰۱۱) و سیلوا و همکاران (۲۰۱۷) و هو^۲ و همکاران (۲۰۱۹) هم‌خوانی دارد. نتایج آن‌ها نشان داد که آبیاری و کوددهی مناسب باعث افزایش LAI می‌شود. گیلبرت و همکاران (۲۰۰۸)، LAI را در آبیاری جویچه‌ای برای نیشکر، در شرایط معمول ۲/۳ به دست آوردند که با کوددهی مناسب میزان این شاخص تا ۴/۳ افزایش یافت. نتایج عامر (۲۰۱۱) نیز روی شاخص سطح برگ کدو نشان می‌دهد که در دسترس قرار گرفتن بهتر آب باعث افزایش مقدار LAI می‌شود. در شکل (۲) منحنی تغییرات LAI مشاهده می‌شود. همچنین هو و همکاران (۲۰۱۹) با مطالعه‌ی LAI برای استفاده در مدل‌های شبیه‌سازی محصول نیشکر گزارش کردند که مقدار LAI همبستگی قوی با میزان آب خاک در منطقه‌ی ریشه دارد. این بدین معناست که داده‌های LAI ممکن است برای تخمین عملکرد نیشکر از داده‌های مربوط به آب خاک مفیدتر باشد.

و همکاران با مطالعه‌ی چهار رقم مختلف نیشکر تعداد برگ را به صورت میانگین ۷/۹۵ به دست آوردند. ماچادو و همکاران (۲۰۰۹) نیز برای دو رقم نیشکر به صورت میانگین تعداد برگ را ۷ گزارش کردند. تعداد ساقه‌ها به صورت میانگین ۱۱۴/۴ و مقدار LAI ۴/۸ بود. این نتیجه با نتایج داسیلوا و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد. آن‌ها برای رقم RB92579 مقدار LAI را ۴/۴۶ به دست آوردند. با توجه به نتایج محققان پیشین مقدار LAI به دست آمده در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به مقدار آن در آبیاری سطحی مقدار قابل توجهی افزایش از خود نشان داده است. داسیلوا (۲۰۰۷) برای رقم RB867515 مقدار ۲/۳، سیموئز و همکاران برای رقم SP801842 مقدار ۲/۰۶ و ساندهو و همکاران (۲۰۰۵) نیز مقدار ۲/۳ را برای شاخص سطح برگ نیشکر در آبیاری سطحی گزارش کردند. بیشتر شدن LAI در مدیریت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را می‌توان با تراکم بالای ساقه‌ها در آن مرتبط دانست. این نتیجه با نتایج سیموئز و همکاران (۲۰۰۵) هم‌خوانی دارد. آن‌ها یک مدل درجه سه بین LAI و تعداد ساقه‌ها تعریف کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقدار LAI در بین پارامترهای مختلف رشد بیشترین وابستگی را به تعداد ساقه‌ها دارد. همچنین می‌توان



شکل ۲- منحنی تغییرات LAI برای آبیاری قطره‌ای زیر سطحی

منحنی توانی است. این نتیجه با نتایج سیموئز و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت دارد. آن‌ها گزارش کردند که منحنی تغییرات LAI یک منحنی توانی است. در جدول (۴) تجزیه

مشاهده می‌شود که تغییرات LAI در ابتدا به صورت سریع رشد یافته و بعد از رسیدن به بیش‌ترین حد خود، در ابتدای دوره‌ی بلوغ کاهش می‌یابد. این تغییرات به صورت یک

اندازه‌گیری، از آزمون دانکن^۱ برای مقایسه مقادیر آن استفاده شد. در جدول (۵) مقایسه‌ی میانگین‌های LAI را در طول دوره‌ی رشد نیشکر مشاهده می‌کنید.

و تحلیل آماری تغییرات LAI را در دوره‌ی رشد نیشکر طی نوبت‌های نمونه‌برداری مشاهده می‌کنید. با توجه به معنی‌دار شدن اختلاف مقدار LAI در نوبت‌های مختلف

جدول ۴- تجزیه و تحلیل آماری تغییرات LAI در نوبت‌های مختلف نمونه برداری

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات خطا	میانگین مربعات	F	Sig
نوبت نمونه برداری	۵	۳۵/۴۹۸	۷/۱	۱۸/۴۱۴	۰/۰۰**
خطا	۱۲	۴/۶۲۷	۰/۳۸۶		
کل	۱۸				

***اختلاف در سطح احتمال یک درصد معنی دار است

جدول ۵- مقایسه‌ی میانگین‌های LAI در نوبت‌های اندازه‌گیری

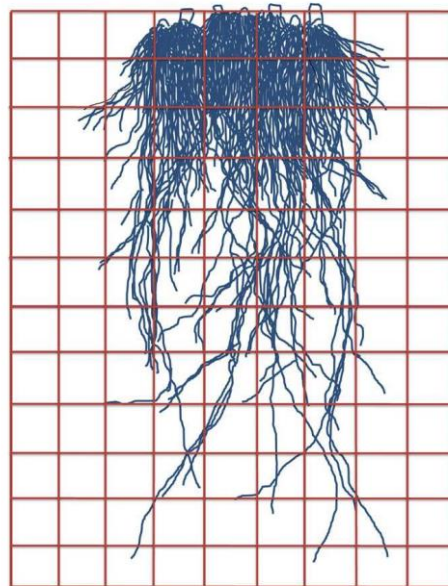
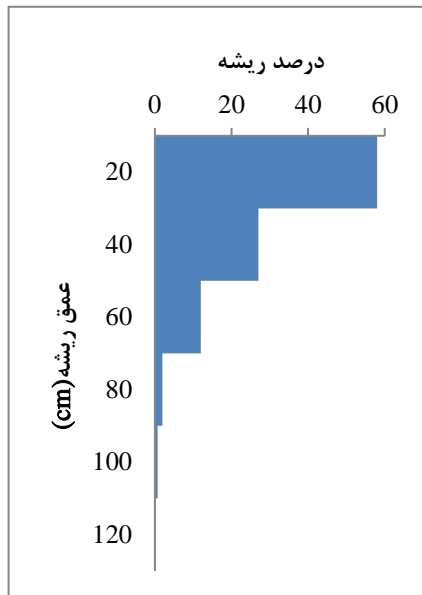
روز پس از کاشت	۹۱	۹۹	۱۰۵	۱۱۲	۱۱۹	۱۲۸
LAI	a	b	bc	cd	cd	cd

برای هر تیمار، اعدادی که دارای حروف مشترک هستند تفاوت معنی‌داری با هم ندارند

کومار (۲۰۱۹) مطابقت دارد. کومار تغییرات روند LAI را برای یک مزرعه‌ی تحقیقاتی در هندوستان طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار داد. نتایج او نشان داد که کاهش LAI در دوره‌ی بلوغ به دلیل از بین رفتن برگ‌های قدیمی و تولید ساقه‌های جدید در این دوره است که دارای برگ‌های کوچک‌تری هستند. در نهایت پس از برداشت و انتقال ساقه‌ها به آزمایشگاه پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شد. وزن ۲۰ ساقه ۱۵/۸ کیلوگرم، بریکس ۲۲/۲ درصد، پل ۱۹/۸ درصد، خلوص شربت ۸۹/۱ درصد، نسبت کیفیت شربت ۶/۷، عملکرد شکر زرد ۲۱/۳ تن در هکتار و عملکرد شکر سفید ۱۴/۹ تن در هکتار بود.

با مطالعه‌ی کامل ریشه مقدار پارامترهای وزن، طول، سطح، حجم، قطر و نسبت شاخه به ریشه به ترتیب ۷۹/۵ gr، ۷۰۷/۵۵ cm، ۷۹۳/۳ cm^۲، ۷۰/۸ cc، ۱/۰۵ mm و ۵/۷۳ gr/gr اندازه‌گیری شد. در شکل (۳) با استفاده از عکس‌برداری ریشه پروفیل رشد و درصد توزیع ریشه نسبت به عمق نشان داده شده است.

براساس نتایج به دست آمده کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار LAI، ۲/۲۶ و ۶/۵۲ است که در به ترتیب در ۹۱ و ۱۱۹ روز پس از برداشت پلنت اندازه‌گیری شده است. محاسبات آماری نشان می‌دهد که در مراحل اولیه‌ی اندازه‌گیری که با رشد سریع گیاه همراه است مقدار رشد LAI دارای اختلاف معنی‌داری است. این روند منطبق با قرار گرفتن نوبت‌های اندازه‌گیری در دوره‌ی رشد و توسعه‌ی محصول است. مشخصه‌ی مرحله‌ی توسعه، تقسیم و تمایز شدید سلولی است؛ بنابراین افزایش در اندازه و کل ماده‌ی خشک گیاه را به همراه دارد. رشد که به آرامی شروع شده در این مرحله سرعت می‌یابد تا به حداکثر مقدار خود برسد. سپس رو به کاهش می‌گذارد (سیزو و استولف^۲، ۲۰۱۲). شدت این تغییرات در نوبت‌های بعدی کاسته شده و نهایتاً در مرحله‌ی آخر نمونه‌برداری، میزان تغییرات LAI اختلاف معنی‌داری از خود نشان نمی‌دهد. این کاهش را می‌توان به از بین رفتن و زرد شدن برگ‌ها و تولید ساقه‌های جدیدتر با برگ‌های کوچک‌تر نسبت داد. این نتیجه با نتایج



شکل ۳- پروفیل رشد و درصد توزیع ریشه نسبت به عمق در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

مشاهده شد. در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی که آب به صورت جزئی و مداوم در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، گیاه برای مقاوم‌تر ساختن خود عکس‌العمل عمیق‌تر شدن ریشه‌ها به صورت افقی و عمودی را از خود نشان می‌دهد. این نتیجه با نتایج اسمیت و همکاران (۲۰۰۵) هم‌خوانی دارد. آن‌ها در نتایج خود اعلام کردند که گونه‌های مقاوم‌تر نیشکر به خشکی دارای ریشه‌های عمیق‌تر هستند؛ و گیاه برای جذب بهتر آب و مواد غذایی منشعب‌تر می‌شود.

همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود بیشترین توزیع ریشه در لایه سطحی خاک که توزیع رطوبت و تهویه خاک مناسب‌تر است اتفاق افتاده است. این نتیجه با نتایج لاکلائو و لاکلائو (۲۰۰۹) هم‌خوانی دارد. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که بیشترین تراکم ریشه برای نیشکر در عمق کمتر از ۶۰ سانتی‌متری اتفاق می‌افتد. نتایج اسمیت و همکاران (۲۰۰۵) نیز نشان می‌دهد که اگر چه در شرایط خاص ریشه نیشکر قابلیت رشد تا طول شش متری را هم دارد، اما فعالیت ریشه در عمق کمتر از دو متر اتفاق می‌افتد و حداکثر عمق فعالیت ریشه‌های نیشکر به‌طور معمول به عمق ۱/۵ تا ۲ متر محدود شده است.

بیش‌ترین توزیع ریشه که شامل ۵۸ درصد از کل ریشه است در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک اتفاق افتاده است.

در شکل (۳)، مربع‌های شبکه با ابعاد ۱۰ در ۱۰ سانتی‌متر هستند. با توجه به شکل با افزایش فاصله از محور مرکزی گیاه و با افزایش عمق تراکم ریشه کاهش می‌یابد. این نتیجه با نتایج اوتو و همکاران (۲۰۱۱) هم‌خوانی دارد. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که تراکم ریشه در عمق‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری به ترتیب ۳۳، ۱۹ و ۱ درصد است و کاهش یافته است. علت این امر عمدتاً مقاومت مکانیکی و تاثیر کاهش نفوذپذیری گازها در خاک‌های فشرده است. در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به دلیل این که آب به صورت حجمی کوچک و مداوم در اختیار بخشی از ریشه گیاه قرار گرفته است، ریشه برای جذب بهتر آب ظریف و افشان‌تر شده است. این نتیجه با نتایج جانگپروما و همکاران (۲۰۱۲) هم‌خوانی دارد. نتایج آن‌ها نشان داد با کاهش رطوبت خاک قطر ریشه هم کاهش می‌یابد. این عامل باعث می‌شود که ریشه سطح تماس بالاتری با خاک داشته باشد که به جذب بهتر آب کمک می‌کند. در لایه‌های عمیق و پایین‌تر قطر ریشه ۲۰ درصد بیشتر از لایه‌ی سطحی است. این نتیجه نیز با نتایج اوتو و همکاران (۲۰۱۱) هم‌خوانی دارد. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که ریشه‌های لایه‌های عمیق ضخیم‌تر از لایه‌های بالایی هستند. رشد ریشه تا عمق ۱۲۰ سانتی‌متری و توزیع افقی آن نیز تا فاصله‌ی ۱۵۰ سانتی‌متری از بوته

قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای کشت چمن، گزارش کرد که با استفاده از اسید سولفوریک رقیق شده و کاهش pH آب تا ۶/۵ تمام گرفتگی‌ها بر اثر نفوذ ریشه از بین رفتند. همچنین نتایج وی نشان می‌دهد که استفاده از اسید فسفریک در سال دوم نتایج را به صورت معنی‌داری بهبود می‌بخشد. سوارز ری و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش کردند که اسید سولفوریک و اسید فسفریک بدون اینکه تاثیر معنی‌داری روی وزن خشک و زیست توده ی ریشه و اندام هوایی گیاه چمن بگذارد، می‌تواند به خوبی گرفتگی قطره‌چکان‌ها را بر اثر نفوذ ریشه برطرف سازد. دلیل دیگر مشاهده نشدن گرفتگی توسط ریشه را می‌توان به تناوب بالای آبیاری به‌ویژه در دوره‌ی فصل گرما که دور آبیاری یک روزه در نظر گرفته شد بود، نسبت داد. این نتیجه نیز با نتایج محمدیان و همکاران (۱۳۹۵) هم‌خوانی دارد. آن‌ها استفاده از آبیاری با تناوب بالا را یکی از راهکارهای کنترل گرفتگی قطره‌چکان‌ها بر اثر نفوذ ریشه دانستند و گزارش کردند که برای گیاه چمن در فصل زمستان با قطع آبیاری و وارد شدن تنش کم آبی به گیاه رشد و نفوذ ریشه به داخل قطره‌چکان‌ها افزایش می‌یابد. علاوه‌بر این اتفاق نیافتادن گرفتگی قطره‌چکان‌ها بر اثر نفوذ ریشه در این مزرعه را می‌توان با نوع قطره‌چکان مورد استفاده مرتبط دانست. قطره‌چکان مورد استفاده در این مزرعه از نوع پلاک‌دار است، گرفتگی قطره‌چکان توسط ریشه در این نوع کمتر از انواع دیگر قطره‌چکان‌ها اتفاق می‌افتد. این نتیجه نیز با نتایج محمدیان و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد. مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که در شرایط عدم استفاده از علف‌کش در آب آبیاری برای کشت چمن گرفتگی قطره‌چکان‌ها بر اثر نفوذ ریشه در قطره‌چکان‌های پلاک‌دار تنها چهار درصد اتفاق افتاده است. این در حالی است که در قطره‌چکان‌های استوانه‌ای این رقم تا ۳۶ درصد افزایش یافته است.

با توجه به نصب قطره‌چکان‌ها که در عمق ۲۵ سانتی‌متری است، می‌توان توزیع حداکثری ریشه در این عمق را توجیه کرد. رشد بیشتر ریشه در این عمق را می‌توان به توزیع بهتر آب و کود توسط قطره‌چکان مرتبط دانست؛ زیرا آب و مواد غذایی به صورت مستقیم در دسترس ریشه قرار می‌گیرد. همچنین تا عمق ۴۰ سانتی‌متری ۸۵ درصد از کل ریشه قرار گرفته است. این نتیجه با نتایج ال وی و همکاران (۲۰۱۹) و اوهاشی و همکاران^۱ (۲۰۱۵) هم‌خوانی دارد. نتایج ال وی و همکاران (۲۰۱۹) برای مطالعه‌ی ریشه‌ی گندم بهاره نشان می‌دهد که وزن ریشه در مجاورت لوله‌های قطره‌چکان‌دار بیشتر است. اوهاشی و همکاران (۲۰۱۵) هم با مطالعه‌ی توزیع ریشه‌ی نیشکر در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به این نتیجه رسیدند که ۵۰ درصد توزیع ریشه تا عمق ۲۰ و بیش از ۸۰ درصد آن تا عمق ۴۰ سانتی‌متری خاک اتفاق می‌افتد. به‌طور کلی می‌توان گفت توزیع و تمرکز بیشتر ریشه به دلیل پایین‌تر بودن مقاومت خاک، در لایه‌ی سطحی خاک اتفاق افتاده است این نتیجه با نتایج اوتو و همکاران (۲۰۱۱) هم‌خوانی دارد. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که با توجه به کمتر بودن تراکم خاک در لایه‌های سطحی، ریشه‌ها در جهتی که کم‌ترین مقاومت در مسیر رشد آن‌ها وجود داشته باشد انتشار می‌یابد.

با توجه به اینکه حجم بالایی از ریشه در مدیریت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در اطراف لوله‌ی قطره‌چکان‌دار توزیع یافته است، گرفتگی قطره‌چکان‌ها به صورت منظم در طی شش مرحله در طول فصل رشد قطره‌چکان‌ها مورد بررسی قرار گرفت. گرفتگی‌ها عمدتاً از نوع کربناته و بر اثر کود آبیاری ایجاد شده بود که با استفاده از اسید سولفوریک رقیق شده به‌خوبی کنترل شدند. گرفتگی با ریشه‌ی گیاه مشاهده نشد. این مسئله می‌تواند به این دلیل باشد که استفاده از اسیدهای رقیق شده گرفتگی قطره‌چکان‌ها با ریشه را کاهش می‌دهد. این نتیجه با نتایج سوارز ری^۲ (۲۰۰۲) و سوارز ری و همکاران (۲۰۰۶) هم‌خوانی دارد. سوارز ری (۲۰۰۲) با مطالعه دو ساله روی گرفتگی

نتیجه‌گیری

طرح‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌توان فاصله‌ی جویچه‌ها را بیشتر در نظر گرفت تا از نظر اقتصادی کاهش هزینه‌ها را در پی داشته باشد. ۵۸ درصد از ریشه در در اطراف لوله‌ی قطره‌چکان‌دار توزیع یافته است. با توجه به اینکه حجم بسیاری از ریشه در اطراف لوله‌های قطره‌چکان‌دار انشعاب یافته است، احتمال گرفتگی قطره‌چکان‌ها توسط ریشه افزایش می‌یابد بنابراین توصیه می‌شود در این سامانه گرفتگی قطره‌چکان‌ها به صورت متناوب مورد بررسی قرار گیرد و در صورت لزوم تمهیداتی مانند استفاده از علف‌کش، اسید رقیق شده و یا آبیاری با تناوب بالا برای کنترل آن صورت گیرد. رشد بیشتر ریشه در مدیریت آبیاری قطره‌ای به دلیل تهویه بهتر خاک و توزیع مناسب‌تر کود و رطوبت در این نوع آبیاری است. به طور کلی مطالعات انجام شده در مورد LAI و ریشه در گیاه نیشکر محدود هستند. در ایران تاکنون تاثیر مدیریت آبیاری روی این پارامترها مطالعه نشده است؛ بنابراین، این اطلاعات می‌تواند در جهت بهبود طراحی و مطالعه‌ی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای در این منطقه مورد استفاده قرار گیرد. توصیه می‌شود در این اراضی با استفاده از این اطلاعات مدل‌های شبیه‌سازی محصول مختلف مورد بررسی و مطالعه قرار گیرند.

راندمان کاربرد آب در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مورد مطالعه ۰.۸۸/۲٪ اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه تا کنون در این اراضی از آبیاری جویچه‌ای استفاده شده، راندمان کاربرد آب با افزایش چشم‌گیری همراه بود. توصیه می‌شود که برای صرفه‌جویی و استفاده بهینه از آب، استفاده از آبیاری قطره‌ای در منطقه برای اراضی بیشتری مورد استفاده و مطالعه قرار گیرد. نمودار تغییرات LAI یک منحنی توانی است. علت افزایش LAI در مدیریت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بالاتر بودن تعداد ساقه‌ها و توزیع مناسب‌تر رطوبت و مواد غذایی در این نوع آبیاری بود. در مدیریت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ریشه‌ها از نظر رشد افقی و عمودی تا عمق ۱۲۰ و فاصله‌ی ۱۵۰ سانتی‌متری از بوته مشاهده شد. از این اطلاعات در طراحی‌های آبیاری می‌توان در تعیین فاصله‌ی مناسب جویچه‌ها استفاده کرد. فاصله‌ی جویچه‌ها در این طرح بر اساس اطلاع از توزیع افقی ریشه در آبیاری جویچه‌ای به میزان ۶۰ سانتی‌متری صورت گرفته است. با استفاده از نتایج این مطالعه که رشد افقی ریشه تا ۱۵۰ سانتی‌متری اتفاق افتاده است در

فهرست منابع

۱. شگری، س.، هوشمند، ع. و قربانی، م. ۱۳۹۴. برآورد ضریب تشتت تبخیر به منظور محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع در منطقه اهواز. مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۴۰(۱): ۱۲-۱.
۲. صدقاتی، ن.، حسینی فرد، س.ج. و محمدی محمدآبادی، ا. ۱۳۹۱. مقایسه اثرات دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر رشد و عملکرد درختان بارور پسته. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۳، مرداد- شهریور، ۵۸۵-۵۷۵.
۳. علیزاده، ا. ۱۳۸۹. طراحی سیستم‌های آبیاری تحت فشار، جلد دوم. ویرایش چهارم. دانشگاه فردوسی مشهد. ۳۶۷ صفحه.
۴. علیزاده، ا. ۱۳۸۹. رابطه‌ی آب و خاک و گیاه. دانشگاه فردوسی مشهد. ۳۶۰ صفحه.
۵. محمدیان، م.، قیصری، م.، فاضل، ف. و اعتمادی، ن. ا. ۱۳۹۵. مقایسه گرفتگی چند نوع قطره‌چکان داخل خط در اثر نفوذ ریشه تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی. تحقیقات آب و خاک ایران. ۷۴(۳): ۵۳۷-۵۲۹.
6. Amer, K.H., 2011. Effect of irrigation method and quantity on squash yield and quality. *Agricultural Water Management* (98), 1197-1206.

7. Badr, A.E. and Abuarab, M.E. 2013. Soil moisture distribution patterns under surface and subsurface drip irrigation system in sandy soil using neutron scattering technique. *Irrig Sci.* 31: 317- 332.
8. Barbosa, E.A.A., Matsura, E.E., Santos, L.N.S.D., Gonçalves, I.Z., Nazário, A.A. and Feitosa, D.R.C., 2017. Water footprint of sugarcane irrigated with treated sewage and freshwater under subsurface drip irrigation, in Southeast Brazil. *J. Cleaner Prod.* (153), 448-456.
9. Bush, A., Elamin, A.M., Ali, A.B. and Hong, L., 2016. Effect of different operating pressures on the hydraulic performance of drip irrigation system in Khartoum State conditions. *J. Environ. Agric. Sci.* (6), 64-68.
10. Da Silva, V.S.G., Oliveira, M.W.D., Oliveira, T.B.A., Mantovanelli, B.C., Da Silva, A.C., Soares, A.N.R. and Clemente, P.R.A., 2017. Leaf area of sugarcane varieties and their correlation with biomass productivity in three cycles. *African Journal of Agricultural Research*, 12(7), 459-466.
11. Elmaloglou, S.R. and Diamantopoulos, E. 2009. Simulation of soil water dynamics under subsurface drip irrigation from line source. *J. Agri. Water Manag.* 96: 1587- 1595.
12. Gilbert, R.A., Morris, D.R., Rainbolt, C.R., McCray, J.M., Perdomo, Eiland, B., Powell, G. and Montes, G., 2008. Sugarcane Response to Mill Mud, Fertilizer, and Soybean Nutrient Sources on a Sandy Soil. *Agronomy Journal*, 100(3), 845-854.
13. Gutierrez-Miceli, F.A., Morales-Torres, R., Espinosa-Castaneda, Y.D.J., Ricon-Rosales, R., Montes-Molina, J., Oliva-Llaven, M.A. and Dendooven, L., 2004. Effects of partial defoliation on sucrose accumulation, enzyme activity and agronomic parameters in sugarcane (*Saccharum spp.*). *J. Agron. Crop Sci.* (10), 256-261.
14. Hermann, E.R. and Câmara, G.M.S., 1999. Um método simples para estimar an área foliar de cana-de-açúcar. *Stab.* (17), 32-34.
15. Hu, S., Shi, L., Huang, K., Zha, Y.Y., Hu, X., Ye H. and Yang, Q. 2019. Improvement of sugarcane crop simulation by SWAP-WOFOST model via data assimilation. *Field Crops Research* 232, 49–61.
16. ICUMSA (International Commission for Uniform Methods in Sugar Analysis). (2009). *ICUMSA Methods book and ICUMSA supplement*. Edt, Whalley, H.C.S. Elsevier publishing company, Amsterdam, London, New York. 420pp.
17. Jangpromma, N., Thammasirirak, S., Jaisil, P. and Songsri, P., 2012. Effects of drought and recovery from drought stress on above ground and root growth, and water use efficiency in sugarcane (*Saccharum officinarum L.*). *Australian Journal of Crop Science (AJCS)* 6(8), 1298-1304.
18. Kumar, N. 2019. Enhancing Sugarcane plant-ratoon productivity through bud chip transplanting geometry. *Sugar Tech*, (22): 208–215.
19. Kumar Verma, A., Kumar Garg, P., Prasada, K.S.H. and, Kumar Dadhwal, V. 2018. Modeling of sugarcane yield using LISS-IV data based on ground LAI and yield observations. *Geocarto International*, Published online.
20. Laclau, P.B. and Laclau, J.P., 2009. Growth of the whole root system for a plant crop of sugarcane under rainfed and irrigated environments in Brazil. *Field Crops Research* (114), 351–360.
21. Lin, H., Pei, J.C.Z., Zhang, S. and Hu, X., 2009. Monitoring Sugarcane Growth Using ENVISAT ASAR Data. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 47(8), 2572-2580.
22. Lv, Z., Diao, M., Li, W., Cai, J., Zhou, Q., Wang, X. and Dai, T., 2019. Impacts of lateral spacing on the spatial variations in water use and grain yield of spring wheat plants within different rows in the drip irrigation system. *Agricultural Water Management* (212), 252–261.
23. Machado, R.S., Ribeiro, R.V., Marchiori, P.E.R., Machado, D.F.S.P., Machado, E.C., Landell, M.G.D.A., (2009). A Biometric and physiological responses to water deficit in sugarcane at different phenological stages. *Pesqui. Agropecu. Bras*, (44), 1575-1582.

24. Ohashi, A.Y.P., Pires, R.C.D.M., Ribeiro, R.V. and Silva, A.L.B.D.O., 2015. Root growth and distribution in sugarcane cultivars fertigated by a subsurface drip system. *Bragantia*, Campinas, 74(2), 131-138.
25. Otto, R., Silva, A.P., Franco, H.C.J., Oliveira, E.C.A. and Trivelin, P.C.O., 2011. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. *Soil & Tillage Research* (117), 201–210.
26. Pandey, S., Patel, N.R., Danodia, A. and Singh, R. 2019. Discrimination of Sugarcane crop and cane yield estimation using Landsat and IRS resource sat satellite data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences conference*, Volume XLII-3/W6, Workshop on “Earth Observations for Agricultural Monitoring”, New Delhi, India.
27. Sajjad, A., Bhutto, A.R., Imran, A. and Makhdum, A.H., 2016. Impact of better management practices on farmland biodiversity associated with sugarcane crop. *J. Environ. Agric. Sci.* (7), 48-54.
28. Sandhu, H.S., Gilbert, R.A., McCray, J.M., Perdomo, R., Eiland, B., Powell, G. and Montes, G., 2012. Relationships among Leaf Area Index, Visual Growth Rating, and Sugarcane Yield. *Journal American Society of Sugar Cane Technologists*, (32), 1-14.
29. Selvaraju, N., Rangunath, K.P., Pazhanivelan, S., Kannan, B. and Venkatesan. 2019. Mapping of sugarcane area using sentinel 1a SAR satellite data. *The Pharma Innovation Journal*; 8(6): 363-367
30. Silva, M.D.A., Rhein, A.F.D.L. and Barbosa, A.D.M., 2017. Physiology and Productivity of Sugarcane as Affected by Nitrogen Applied Via Subsurface Drip Irrigation. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences*, (11), 15-28.
31. Simões, M.D.S., Rocha; J.V. and Lamparelli, R.A.C., 2005. Growth indices and productivity in Sugarcane. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, 62(1), 23-30.
32. Sizuo, M. and Stolf. R. 2012. Sugarcane tillering and ratooning: key factors for a profitable cropping Sugarcane. *Production, Cultivation and Uses*, 5 (2): 137-157.
33. Smith, D.M., Inman-Bamber, N.G. and Thorburn, P.J., 2005. Growth and function of the sugarcane root system. *Field Crops Research*. (92), 169–183.
34. Suarez-Rey EM. 2002. Subsurface drip irrigation of bermudagrass turf in Arizona: benefits and limitations. PhD dissertation, the University of Arizona.
35. Suarez- Rey, E.M., Choi, C.Y., Mc Closkey, W.B. and Kopec, D.M. 2006. Effects of chemicals on root intrusion into subsurface drip emitters. *Irrigation and Drainage*. (55), 501- 509.
36. Zhang; D., Song; X. Mansaray; L.R., Zhou; Z., Zhang; K., Han; J., Liu; W. and Huang, J., 2016. Estimating leaf area index of sugarcane based on multi-temporal digital images. *Conference: IEEE fifth international conference on agro- geoinformatics*, at Tianjin, China.
37. Zhao, Y., Justina, D.D.D., Watanabe, J., Rocha, J.V., Graziano, P.S. and Lamparelli, R.A.C. 2018. Multivariety Sugarcane Sucrose Estimation Using a Combination of Spectral and Agrotechnology Methods. *Proc. of SPIE Vol. 10783 107830L-2*. Conference Paper