

Effect of Subsurface Drip and Furrow Irrigation System on Growth and Yield Indices in Sugarcane Cultivation

DORSA NAMDARIAN¹, ABDALI NASERI^{1*}, SAEID BOROOMAND NASAB¹, MASOUD PARVIZI ALMANI²

1. Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2. Khuzestan Sugarcane Research and Training Institute, Ahvaz, Iran.

(Received: May. 14, 2019- Revised: March. 2, 2020- Accepted: Feb. 19, 2020)

ABSTRACT

This study aimed to investigate the effect of subsurface drip irrigation on leaf area index, root distribution, quality and yield of sugarcane for the first ratoon. Two fields including one field with subsurface drip irrigation and other field with closed-end furrow irrigation were studied as control. Three measurement stations were selected in each field. The results were statistically analyzed. Number of plants, number of green leaves, leaf length and width over one meter were counted and measured six times at 91, 99, 105, 112, 119 and 128 days after harvesting of plant, respectively. Leaf number and leaf length and leaf width were not significantly different in both irrigations. Number, length and width of leaves in furrow irrigation averaged 7.6, 100 and 3.2 cm and in subsurface drip irrigation averaged 7.2, 101 and 2.9 cm. The number of plants and LAI were significantly different at 99 and 95% level. The number of plants and LAI were in subsurface drip irrigation 2.06 and 1.77 times higher than furrow irrigation, respectively. The LAI value was affected by the number of plants. The value of all qualitative parameters in subsurface drip irrigation was higher than furrow irrigation, but none of them had significant differences in two types of irrigation. Weight of 20 stalks, brix, POL, purity (PTY), yield (Y) and sugar yield (SY) in subsurface drip irrigation 9.7%, 1.3%, 2%, 0.08%, 2.8% and 45.4% were more than furrow irrigation respectively. Weight, length, area and volume in subsurface drip irrigation were 32.9%, 42.4%, 42.4% and 42.5% more than furrow irrigation, respectively. Diameter of root in subsurface drip irrigation was 1.9 times less than furrow irrigation. Therefore, roots in subsurface drip irrigation were finer and deeper than the furrow irrigation. Also, in subsurface drip irrigation the roots were 20% deeper than furrow irrigation. The efficiency of subsurface drip irrigation and furrow irrigation was 88.2% and 62.3%, respectively. Water use efficiency in subsurface drip and furrow irrigation was 9.43 and 8.01 kg/mm.ha, respectively.

Keywords: Brix, POL, Purity, Shoot/ Root Ratio.

اثر روش‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای روی شاخص‌های رشد و عملکرد نیشکر

درسا نامداریان^۱، عبدعلی ناصری^{۱*}، سعید برومندنسب^۱، مسعود پرویزی آلمانی^۲

۱. گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲. موسسه تحقیقات و توسعه نیشکر خوزستان، اهواز، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۲۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۲/۱۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۱/۳۰)

چکیده

در این مطالعه اثر مدیریت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای روی شاخص سطح برگ (LAI)، توزیع ریشه، کیفیت و عملکرد گیاه نیشکر، برای بازرویی اول مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور دو مزرعه یکی با مدیریت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و دیگری با مدیریت آبیاری جویچه‌ای انتخاب شده به‌عنوان شاهد مطالعه شدند. در هر مزرعه سه ایستگاه اندازه‌گیری پارامترهای رشد انتخاب شد و نتایج به‌دست آمده تجزیه و تحلیل آماری شدند. تعداد ساقه‌ها، تعداد برگ‌های سبز، طول و عرض برگ در طول یک متر، در شش نوبت به‌ترتیب ۹۱، ۹۹، ۱۰۵، ۱۱۲، ۱۱۹ و ۱۲۸ روز پس از برداشت پلنت شمارش و اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد تعداد و طول و عرض برگ در هر دو روش آبیاری اختلاف معنی‌داری با هم نداشت. تعداد، طول و عرض برگ‌ها در آبیاری جویچه‌ای به‌صورت میانگین و به‌ترتیب ۷/۶، ۱۰۰ و ۳/۲ و در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ۷/۲، ۱۰۱ و ۲/۹ سانتی‌متر بودند. تعداد ساقه‌ها و LAI در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد اختلاف معنی‌داری با آبیاری جویچه‌ای داشت. تعداد ساقه‌ها و مقدار LAI در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ۲/۰۶ و ۱/۷۷ برابر بیش‌تر از آبیاری جویچه‌ای بود. LAI تحت تأثیر تعداد ساقه‌ها قرار گرفته است. مقدار تمام پارامترهای کیفی در دو نوع آبیاری با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. وزن ۲۰ ساقه، بریکس، پل، درصد خلوص شربت، عملکرد شکر زرد و عملکرد شکر سفید در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌ترتیب ۹/۷، ۱/۳، ۲، ۰/۰۸، ۲/۸ و ۴۵/۴ درصد بیش‌تر از آبیاری جویچه‌ای اندازه‌گیری شد. وزن، طول، سطح و حجم ریشه در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌ترتیب ۳۲/۹، ۴۲/۴، ۴۲/۴ و ۴۲/۵ درصد بیش‌تر از آبیاری جویچه‌ای تعیین شدند. قطر ریشه در آبیاری جویچه‌ای ۱/۹ برابر بیش‌تر از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بود. بنابراین ریشه‌ها در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ظریف، افشان و عمیق‌تر از آبیاری جویچه‌ای بودند. همچنین ریشه‌ها در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ۲۰ درصد عمیق‌تر از آبیاری جویچه‌ای مشاهده شدند. راندمان آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای در مزارع مورد مطالعه به‌ترتیب ۸۸/۲ و ۶۲/۳ درصد محاسبه شد. بهره‌وری مصرف آب در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای به‌ترتیب ۹/۴۳ و ۸/۰۱ کیلوگرم بر میلی‌متر بر هکتار اندازه‌گیری شد.

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

مقدمه

ابتدایی آن بالاست اما مقدار قابل توجهی از آب با کاهش میزان تبخیر، رواناب و نفوذ عمقی ذخیره می‌شود (Barbosa et al., 2017; Almeida Silva et al., 2017). علاوه بر این، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی دارای مزایای دیگری از جمله کوددهی بهینه است که افزایش محصول را در پی خواهد داشت (Bush et al., 2017; Almeida Silva et al., 2016). متغیرهای رشد گیاهی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر روش آبیاری قرار می‌گیرند (Amer, 2011). از طرفی برای مقایسه‌ی رشد و عملکرد بین ژنوتیپ‌های مختلف و اقتصادی نیشکر این متغیرها اندازه‌گیری می‌شوند (Sandhu et al., 2012). داشتن اطلاعات کافی در مورد متغیرهای رشد گیاه نیشکر برای توسعه‌ی مدل‌های پیش‌بینی عملکرد

نیشکر یک گیاه مهم چندساله است که در مناطق گرمسیری بسیاری از کشورها کشت می‌شود. در سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای به کشت نیشکر صورت گرفته است که این موضوع نه‌تنها به خاطر افزایش سریع جمعیت برای مصرف محصولات حاوی شکر، بلکه به‌خاطر افزایش تقاضا برای مصرف سوخت‌های زیستی است (Lin et al., 2009). مانند سایر محصولات کشاورزی روش‌های مدیریتی از قبیل سیستم آبیاری روی میزان محصول نیشکر تأثیر معنی‌داری می‌گذارد (Sajjad et al., 2016; Almeida Silva et al., 2017). سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی یکی از موثرترین سیستم‌های آبیاری موجود برای کشت نیشکر است. گرچه هزینه

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. بنابراین با توجه به اهمیت اندازه‌گیری و آگاهی از روند تغییرات شاخص‌های عنوان شده این پژوهش انجام شد تا شاخص‌های رشد گیاه نیشکر اندازه‌گیری شود و اثر روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی روی این شاخص‌ها بررسی شود. با توجه به این نکته که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی کشت نیشکر برای اولین بار 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 دو مزرعه با عنوان SDI^۲ و شاهد CI^۴ به‌ترتیب با مساحت ۰/۸ و ۱/۵ هکتار، زیر کشت نیشکر رقم CP69-1062، طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و در قالب بازروبی اول^۵ انجام گرفت. برداشت پلنت^۶ در آذر ماه ۱۳۹۶ انجام و جوانه‌زنی از اواخر بهمن ماه اتفاق افتاد. بنابراین اولین آبیاری در همین ماه قبل از جوانه‌زنی صورت گرفت. مزرعه‌ی SDI تحت مدیریت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و مزرعه‌ی CI با روش آبیاری جویچه‌ای انتهابسته که روش مرسوم منطقه است آبیاری شد. طول هر دو مزرعه ۲۴۰ متر و فاصله‌ی لترال‌ها در مزرعه‌ی SDI و جویچه‌ها در مزرعه‌ی CI، ۱/۸۳ متر است. مزرعه‌ی CI شامل جویچه‌های انتهابسته است که به‌وسیله‌ی هیدروفلوم‌هایی با دریچه‌های ۱/۵ لیتری آبیاری می‌شود. مزرعه‌ی SDI نیز شامل ۱۸ لترال است. آرایش مزرعه‌ی SDI به‌صورت دو طرفه است و 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 فاصله‌ی ۳۰ سانتی‌متری از هم و عمق ۲۵ سانتی‌متری قرار گرفتند. مزارع مورد مطالعه، در ایستگاه تحقیقاتی شماره یک مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر خوزستان واقع در کیلومتر ۳۰ جاده اهواز-آبادان با مختصات جغرافیایی ۳۳° ۴۸' طول شرقی، ۵۹° ۳۰' عرض شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۷/۶ متر بودند. در شکل (۱) تصویر هوایی موقعیت مکانی مزارع مورد مطالعه نشان داده شده است.

محصول بسیار با اهمیت است. متغیرهای رشد گیاه شامل پارامترهایی نظیر زیست‌توده^۱، شاخص سطح برگ^۲ (LAI)، تعداد ساقه در متر و عملکرد هستند. تجزیه و تحلیل رشد محصول براساس اندازه‌گیری‌های متوالی LAI امکان‌پذیر است (Simões *et al.*, 2005). ریشه نیز اندام مهمی برای گیاه در جذب آب و مواد غذایی است. مقدار ریشه و فعالیت آن نقش مهمی در جذب آب و مواد غذایی در شرایط خشکی دارد (Lv *et al.*, 2019). همچنین فاصله بین اتفاقاتی که واقعاً در خاک می‌افتد با تصوراتی که ما از آن داریم بسیار متفاوت است. علت این امر اطلاعات کمی است که از سیستم ریشه و فعالیت آن داریم. این اطلاعات محدود ممکن است باعث اعمال مدیریت غلط کشاورزی مربوط به مسائل خاک و محصول و انتخاب ارقام شود (Smith *et al.*, 2005). مطالعات کمی در مورد روند تغییرات LAI در مراحل مختلف رشد نیشکر وجود دارد (Sandhu *et al.*, 2012). همچنین اطلاعات کمی در مورد چگونگی رشد ریشه‌ی نیشکر به‌ویژه در کشاورزی مدرن وجود دارد (Smith *et al.*, 2005, Laclau and Laclau, 2009, Otto *et al.*, 2011, Jangpromma *et al.*, 2012) (Zhang *et al.*, 2005, Lin *et al.*, 2009). (Simões *et al.*, 2005) (Lin *et al.*, 2009) و (Zhang *et al.*, 2016) با استفاده از تصاویر دیجیتالی تغییرات LAI را مدل‌سازی کردند. (Sandhu *et al.*, 2012) ارتباط بین تغییرات LAI، سرعت رشد و عملکرد نیشکر برای چند ژنوتیپ مختلف را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که رابطه بین عملکرد و LAI در دوره‌ی نهایی رشد همبستگی خوبی از خود نشان می‌دهد. (Da Silva *et al.*, 2017) رابطه بین LAI و زیست‌توده نیشکر را در چهار رقم مقایسه و بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که رقم RB92579 با LAI بزرگ‌تر از ۴/۴۶ بیشترین مقدار عملکرد را در بین ارقام مورد مطالعه داشت. (Otto *et al.*, 2011) 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. (Laclau and Laclau, 2009) 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 افتاد. (Jangpromma *et al.*, 2012) رابطه بین خصوصیات ریشه و کارایی مصرف آب را در ۱۰ رقم مختلف نیشکر بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد تغییرات قطر، طول، سطح و حجم ریشه در رقم‌های مختلف با هم اختلاف معنی‌داری

اقلیم منطقه براساس تقسیم‌بندی دومارتن^۱ گرم و خشک محسوب می‌شود. بافت خاک مزارع با آزمایش هیدرومتری، سیلتی‌کلی‌لوم تعیین شد. با استفاده از دستگاه صفحه‌های فشاری، نقاط ظرفیت‌زراعی و پژمردگی دائم به‌طور میانگین و به‌ترتیب ۳۷/۷ و ۱۹/۴ درصد حجمی اندازه‌گیری شدند. منبع تأمین آب آبیاری، از رودخانه کارون بود. حد آستانه شوری برای گیاه نیشکر ۱/۷ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر است (Shokouhfar and Hajisharafi, 2009). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع و آب آبیاری در جدول‌های (۱) و (۲) ارائه شده است.



شکل ۱- تصویر هوایی موقعیت مکانی مزارع مورد مطالعه

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع مورد مطالعه

SAR	آنیون‌ها (meq/l)				کاتیون‌ها (meq/l)				ρ_b gr ($\frac{g}{cm^3}$)	pH	EC (dS/m)	عمق خاک (cm)
	SO_4^{-2}	HCO_3^{-}	CO_3^{-2}	Cl^{-}	K^{+}	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^{+}				
۱۲/۱	۲۰/۵	۲/۱۵	۰	۳۹/۱	۰/۱۹	۱۰/۳	۱۳/۰	۴۱/۴	۱/۵	۷/۱	۵/۸	۳۰-۰
۱۱/۶	۲۰/۰	۱/۷۶	۰	۲۹/۱	۰/۲۰	۷/۹۵	۱۱/۲	۳۶/۲	۱/۵	۷/۱	۴/۹	۶۰-۳۰
۱۰/۷	۲۶/۸	۱/۲۲	۰	۲۸/۸	۰/۱۵	۹/۴۴	۱۲/۸	۳۵/۸	۱/۶	۷/۲	۵/۰	۹۰-۶۰

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

EC (dS/m)	pH	TDS (mg/l)	TH (mg/l)	کاتیون‌ها (meq/l)				آنیون‌ها (meq/l)			SAR	طبقه‌بندی $C_4 S_2$	
				Na^{+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Cl^{-}	CO_3^{-2}	HCO_3^{-}			SO_4^{-2}
۲/۵	۷/۵	۱۷۹۳	۵۳۱	۱۳/۹	۳/۸	۵/۱	۰/۰۸	۱۴/۸	۰	۲/۹۸	۵/۹	۶/۶	

نیاز آبیاری برای مزرعه‌ی SDI با استفاده از روابط (۳) تا (۵) محاسبه گردید (Alizadeh, 2010):

(رابطه ۳)

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

(رابطه ۴)

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

(رابطه ۵)

$$LR = \frac{EC_{iw}}{2EC_{emax}}$$

که در این روابط d_n عمق خالص آبیاری (mm)، θ_{fc} 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) است. مقدار عمق خالص و ناخالص آبیاری و نیاز آبتی برای مزرعه‌ی CI نیز با استفاده از روابط (۶) تا (۸) محاسبه شدند.

نیاز آبیاری برای هر دو مزرعه به‌صورت یکسان و براساس اطلاعات روزانه‌ی تشت تبخیر کلاس A در ایستگاه سینوپتیک مجاور مزارع، بر اساس روابط (۱) و (۲) محاسبه شد (Alizadeh, 2010).

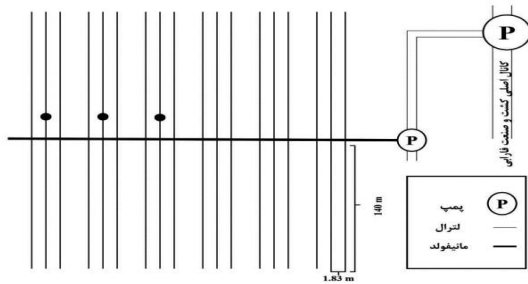
(رابطه ۱)

$$ET_0 = k_p \times ET_p$$

(رابطه ۲)

$$ET_c = k_c \times ET_0$$

که در این روابط ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع (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 است. برای ضریب گیاهی نیشکر در این مزارع از داده‌های لایسیمتری اندازه‌گیری شده در دوره‌های کاشت قبلی استفاده شد. برای محاسبه‌ی ET_0 روزانه از ضریب تشت تبخیر آلن و پروت^۲ استفاده شد. این ضریب برای منطقه‌ی اهواز داری بیش‌ترین دقت است (Shokri et al., 2015). مقدار k_c با استفاده از لایسیمتر در مجاورت مزرعه مورد مطالعه محاسبه شد. مقدار عمق خالص و ناخالص آبیاری، نیاز آبتی و حجم مورد



شکل ۲- شماتیک موقعیت نقاط اندازه‌گیری متغیرهای رشد در مزرعه SDI

در این مطالعه روش اندازه‌گیری LAI به صورت غیرمستقیم بود. برای از بین بردن اثرات جانبی روی نتیجه‌ی پژوهش از هر کرت جویچه‌ی وسط را در نظر گرفته و به اندازه‌ی دو متر میخ‌کوبی شدند. اندازه‌گیری‌ها به صورت هفتگی و در بین ساعات ۹ تا ۱۱ صبح صورت گرفت. تعداد ساقه‌های رشد کرده شمارش و متوسط تعداد برگ‌های هر ساقه اندازه‌گیری شدند. 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 به نحوی اندازه‌گیری شد که پهنای وسط برگ به عنوان عرض برگ در نظر گرفته شده باشد. برای اطمینان حاصل کردن از صحت داده‌ها و کاهش خطا، اندازه‌گیری‌ها دو یا سه بار تکرار شدند. براساس توصیه‌ی محققین (Hermann and Camara, 1999; Da Silva et al., 2017) برای محاسبه‌ی سطح برگ نیشکر ضریب تصحیح ۰/۷ در نظر گرفته می‌شود. مساحت سطح برگ و LAI با استفاده از روابط (۷) و (۸) محاسبه شدند.

$$LA = 0.7 \times LL \times LW \times N \times S \quad (\text{رابطه ۷})$$

(رابطه ۸)

$$LAI = \frac{LA}{A}$$

که در آن‌ها: 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^۱ یا اوایل دوره‌ی پایانی رشد^۲ هستند (Gutierrez and Miceli, 2004; Sandhu et al., 2012; Da Silva et al., 2017). بنابراین اندازه‌گیری‌ها در دوره‌ی میانی رشد، در بازه‌ی ۹۰ تا ۱۲۸ روز بعد از برداشت پلنت انجام شدند. پس از قطع آبیاری و تکمیل روند رسیدگی نیشکر، برداشت صورت گرفت. در هر نقطه‌ی اندازه‌گیری

(رابطه ۶)

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

(رابطه ۷)

$$d_g = \frac{Q \times T_{co} \times 100}{W \times L}$$

(رابطه ۸)

$$LR = \frac{EC_{iw}}{5EC_{emax} - EC_{iw}}$$

که در رابطه‌ی (۷)، Q دبی ورودی به جویچه (m^3/s)، T_{co} زمان قطع جریان (s)، W فاصله جویچه‌ها (m)، L طول جویچه (m) است. حجم مورد نیاز آبیاری برای هر دو مزرعه با استفاده از رابطه‌ی (۹) محاسبه شد (Alizadeh, 2010).

(رابطه ۹)

$$V = d_g \times A \times 1000$$

که در این رابطه V حجم آب آبیاری (m^3) و A مساحت مزرعه (m^2) است. مساحت مزرعه در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی براساس فاصله قطره‌چکان‌ها و فاصله خیس‌شدگی بین دو لترال در نظر گرفته می‌شود. بهره‌وری مصرف آب و راندمان کاربرد نیز با استفاده از روابط زیر محاسبه شد:

(رابطه ۱۰)

$$WUE = \frac{\text{yield}}{ET_c}$$

(رابطه ۱۱)

$$E_a = \frac{d_n}{d_g}$$

که در این روابط WUE بهره‌وری مصرف آب ($kg/mm.ha$)، yield عملکرد محصول (kg/ha)، E_a راندمان کاربرد است. اولین و آخرین آبیاری برای هر دو مزرعه به ترتیب در تاریخ ۵ بهمن ماه ۱۳۹۶ و ۱۹ آبان ماه ۱۳۹۷ صورت گرفت. حجم آب مصرفی برای هر دو مزرعه به صورت جداگانه با کنتورهای حجمی نوع توربینی (class B.H-R50) اندازه‌گیری و ثبت شدند. در هر مزرعه سه جویچه در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه در آبیاری جویچه‌ای در طول جویچه‌ها مقدار نفوذ آب متغیر است و در نتیجه شاخص‌های گیاهی نیز وابسته به رطوبت خاک بوده و متغیر خواهند بود. لذا در هر جویچه، در سه نقطه‌ی ابتدایی، میانی و انتهایی اندازه‌گیری‌ها انجام و میانگین این سه نقطه برای هر جویچه در نظر گرفته شد. به این ترتیب مقایسه‌ی LAI با استفاده از طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با دو تیمار (نوع آبیاری) و شش تکرار (نوبت‌های اندازه‌گیری) صورت گرفت. در هر نوبت میانگین طول، عرض، مساحت و LAI در سه جویچه برای هر مزرعه اندازه‌گیری شد. شماتیک موقعیت نقاط اندازه‌گیری در مزرعه‌ی SDI در شکل (۲)، مشاهده می‌شود.

حفاری ترانشه‌ای آغاز شد. عرض ترانشه یک متر و عمق آن ۲۰ الی ۳۰ سانتی‌متر پائین‌تر 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 تصویری انجام شدند. پس از خارج شدن کامل ریشه از خاک پارامترهایی که برای توصیف کمی رشد ریشه و گسترش آن به‌کار می‌روند شامل وزن، سطح، حجم، قطر و طول ریشه اندازه‌گیری شد. سطح ریشه با روش اتکینسون^{۱۰} و با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه شد (Alizadeh, 2010):

$$A=2[V \times \pi \times L]^{0.5}$$

که در آن A سطح ریشه‌ها برحسب cm^2 ، V حجم ریشه برحسب cm^3 و L طول ریشه‌ها برحسب cm است. طول ریشه‌ها با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه شد (Alizadeh, 2010):

$$L=0.89W$$

که در آن W وزن ریشه‌ها برحسب mg است. حجم ریشه‌ها مستقیماً از روی جابه‌جا 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 یک‌صدم میلی‌متر بود اندازه‌گیری شد. در نهایت، برای برازش داده‌ها، از نرم‌افزار EXCEL و جهت تجزیه و تحلیل آماری، از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

مقدار نیاز آبی گیاه نیشکر در کل دوره داشت با استفاده از تشت تبخیر کلاس A، $1852/2$ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. مقدار آب مورد استفاده در پایان دوره برای مزرعه SDI، $1953/1$ میلی‌متر و برای مزرعه CI، $2433/3$ میلی‌متر بود. لازم به ذکر است که در این دوره در مجموع 117 میلی‌متر بارندگی اتفاق افتاد. راندمان کاربرد برای مزرعه CI، $62/3\%$ است که عمده‌ی تلفات آب در این نوع آبیاری با توجه به انتها بسته بودن جویچه‌ها نفوذ عمقی تشخیص داده شد. این نتیجه با نتایج (Abbasi and Sheini, 2016) هم‌خوانی دارد. آن‌ها با ارزیابی مدیریت آبیاری جویچه‌ای مزارع کشت و صنعت نیشکر خوزستان گزارش کردند که عمده تلفات اتفاق افتاده در این مزارع علی‌رغم بالا بودن یکنواختی توزیع بر اثر تلفات نفوذ عمقی بوده است. راندمان

یک فاصله ۱۰ متری انتخاب شد. تعداد ۲۰ ساقه به‌صورت تصادفی انتخاب و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شدند. با انتقال ساقه‌ها به آزمایشگاه فاکتورهای کیفی اندازه‌گیری و محاسبه شدند. به درصد قند موجود در عصاره نیشکر، پل^۱ می‌گویند و با دستگاه ساکاری متر^۲ اندازه‌گیری می‌شود. به درصد مواد جامد محلول در عصاره نیشکر، بریکس^۳ می‌گویند و با دستگاه رفراکتومتر^۴ اندازه‌گیری می‌شود. سایر خصوصیات کیفی شامل درجه خلوص شربت^۵، نسبت کیفیت^۶، درصد شکر زرد^۷، شکر سفید تصفیه شده^۸ و عملکرد شکر سفید^۹ به‌ترتیب از روابط (۹) تا (۱۳)، محاسبه شدند (ICUMSA, 2009).

$$POL = \text{Pool Factor} \times SR \quad (\text{رابطه ۹})$$

$$QR = \frac{PF}{POL} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

$$Yield = \frac{100}{QR} \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

$$RS = Yield \times 0.83 \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

$$SY = Y \times RS \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

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. همچنین SY عملکرد نهایی شکر سفید تصفیه شده (ton/ha) و Y عملکرد نهایی نیشکر (ton/ha) هستند.

به‌منظور مقایسه آماری خصوصیات کیفی محصول از طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تیمار (نوع آبیاری) و سه تکرار (نقاط اندازه‌گیری) استفاده شد. برای مقایسه‌ی رشد ریشه نیز یک بوته از هر تیمار انتخاب و با روش حفاری اسکلت ریشه به‌صورت کامل مورد مطالعه قرار گرفت. به‌علت دشواری انجام این روش در هر تیمار تنها یک تکرار انجام می‌شود. چون در هر تیمار تنها یک تکرار وجود دارد برای مقایسه آن‌ها نمی‌توان از طرح آماری استفاده کرد و نتایج به‌صورت توصیفی مورد مقایسه قرار گرفت. مطالعه‌ی ریشه ده روز قبل از برداشت محصول انجام شد. سعی شد بوته‌ی مورد مطالعه نمونه‌ی معرف محصول باشد. پس از انتخاب، کلیه‌ی مشخصات ظاهری گیاه یادداشت و سپس قسمت هوایی بریده شد تا در مطالعه اخلاقی ایجاد نکند. از پیرامون و فاصله‌ی از گیاه که انشعاب ریشه‌ها بدان نمی‌رسید

8. Recovery Sugar (R.S)
9. Sugar yield (SY)
10. Atkinson

1. POL
2. Saccharimete
3. Brix
4. Refractometer
5. Purity (PTY)
6. Quality Ratio (Q.R)
7. Yield (Y)

می‌توان مصرف آب را بین ۱۳/۶ تا ۶۲/۹٪ کاهش داد. بهره‌وری مصرف آب برای SDI و CI به ترتیب ۹/۴۳ و ۸/۰۱ کیلوگرم بر میلی‌متر بر هکتار اندازه‌گیری 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 ثبت شدند. برای هر مزرعه مقدار میانگین این پارامترها محاسبه و از نظر آماری با هم مقایسه شدند. مقادیر عرض و تعداد برگ در آبیاری جویچه‌ای به صورت میانگین و به ترتیب ۸/۶ و ۶/۲ درصد بیشتر از آبیاری قطره‌ای بود. این مقدار برای طول برگ در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ۰/۵ درصد بیش‌تر از آبیاری جویچه‌ای است. نتایج آنالیز آماری متغیرهای رشد برای گیاه نیشکر در بازروی اول در جدول (۳) ارائه شده است.

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

میانگین مربعات				تعداد ساقه‌ها	درجه آزادی	منابع تغییرات
LAI	عرض برگ	طول برگ	تعداد برگ‌ها			
۵/۹۱۳*	۰/۱۴۹ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۳۱۳ ^{ns}	۴۲۱۰/۶۸۲**	۲	مدیریت آبیاری
۱/۷۶۷	۰/۲۵۲	۰/۰۰۴	۲/۷۱۱	۱۳۶/۱۰۲	۱۲	خطا
-	-	-	-	-	۱۴	کل

** اختلاف در سطح یک درصد معنی‌دار است. * اختلاف در سطح پنج درصد معنی‌دار است. ^{ns} اختلاف معنی‌دار نشده است.

از آبیاری جویچه‌ای است. تعداد ساقه‌ها در آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای زیرسطحی به صورت میانگین و به ترتیب ۵۵/۵ و ۱۱۴/۴ در مساحت طول میخ‌کوبی شده از جویچه و فاصله‌ی دو فارو، اندازه‌گیری شد. در نهایت LAI نیز در سطح احتمال پنج درصد در دو نوع آبیاری دارای اختلاف معنی‌داری بود. این شاخص در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به صورت میانگین ۱/۷۷ برابر آبیاری جویچه‌ای است. این نتیجه با نتایج (Malash et al., 2005)، (Amer et al., 2011) و (Senyigit et al., 2013) هم‌خوانی دارد. (Senyigit et al., 2013)، LAI را در درخت سیب با مدیریت‌های مختلف آبیاری سطحی، بارانی، قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی اندازه‌گیری کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که LAI در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیشتر از آبیاری سطحی است. (Amer, 2011)، LAI را برای گیاه کدو در دو روش آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای اندازه‌گیری کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که LAI در آبیاری قطره‌ای با اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بیشتر از آبیاری جویچه‌ای است. (Malash et al., 2005) نیز همین نتیجه را برای گیاه گوجه‌فرنگی گزارش کردند. مقدار LAI در آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای زیرسطحی

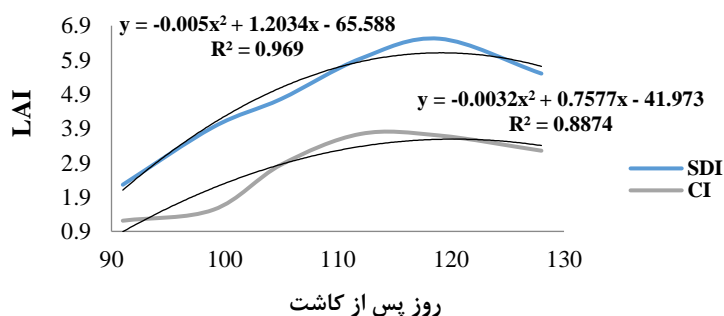
کاربرد برای مزرعه‌ی SDI، ۸۸/۲٪ است که با توجه به آن می‌توان گفت با استفاده از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی راندمان کاربرد آب ۲۴/۹٪ افزایش یافته که مقدار قابل توجهی است. این نتیجه با نتایج (Mahesh et al., 2016) و (Bhingardeve et al., 2017) هم‌خوانی دارد. (Mahesh et al., 2016) با انجام مطالعاتی روی تاثیر مدیریت آبیاری و کودآبیاری روی عملکرد نیشکر در کشور هندوستان گزارش کردند که با استفاده از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌توان راندمان آبیاری را نسبت به آبیاری سطحی تا ۲۲/۷٪ افزایش داد. (Bhingardeve et al., 2017) نیز طی پژوهشی، در دانشگاه ماهاتما^۱ در هندوستان رژیم‌های مختلف کم‌آبیاری را با استفاد از آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی روی عملکرد نیشکر مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که با استفاده از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به آبیاری سطحی

همان‌طور که از نتایج ارائه شده در جدول (۳) مشاهده می‌شود، تعداد برگ‌ها، طول و عرض برگ در هر دو آبیاری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. و مقادیر آن‌ها در هر دو مزرعه به هم نزدیک است. تعداد برگ‌ها و طول برگ، در آبیاری جویچه‌ای به صورت میانگین و به ترتیب ۷/۶ و ۱۰۰/۵ سانتی‌متر است. این نتیجه با نتایج (Da Silva et al., 2017) مطابقت دارد. آن‌ها با مطالعه‌ی چهار رقم نیشکر در آبیاری جویچه‌ای تعداد برگ را به صورت میانگین ۷/۹۵ به دست آوردند. (Machado et al., 2009) نیز برای دو رقم نیشکر در آبیاری جویچه‌ای به صورت میانگین تعداد برگ را ۷ گزارش کردند. تعداد برگ‌ها و طول برگ، در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به صورت میانگین و به ترتیب ۷/۲ و ۱۰۱/۱ سانتی‌متر بود. عرض برگ نیز در آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای زیرسطحی به صورت میانگین و به ترتیب ۳/۲ و ۲/۹۷ سانتی‌متر بود. این نتیجه نیز با نتایج (Da Silva et al., 2017) مطابقت دارد. آن‌ها میانگین عرض برگ را در آبیاری جویچه‌ای ۳/۶۳ گزارش کردند. تعداد ساقه‌ها در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری با آبیاری جویچه‌ای داشت. مقدار آن به صورت میانگین ۲/۰۶ برابر بزرگتر

میزان این شاخص تا ۴/۳ افزایش یافت. نتایج (Amer, 2011) نیز روی LAI کدو نشان می‌دهد که در دسترس قرار گرفتن بهتر آب باعث افزایش مقدار LAI می‌شود. در شکل (۳) منحنی تغییرات LAI در هر دو نوع آبیاری نسبت به زمان مشاهده می‌شود.

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. مقدار LAI در ابتدای دوره‌ی رشد به ترتیب در آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای زیرسطحی ۱/۲ و ۲/۳ است. با افزایش رشد گیاه LAI افزایش می‌یابد تا به مقدار بیشینه خود برسد. بیشینه LAI به ترتیب در آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای زیرسطحی ۳/۷ و ۶/۵ مشاهده شد. در دوره‌ی بلوغ که LAI رو به کاهش می‌گذارد در نهایت برای آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب تا میزان ۳/۳ و ۵/۵ کاهش می‌یابد. این تغییرات به صورت یک منحنی توانی است. این نتیجه با نتایج (Simões et al., 2005) مطابقت دارد. آن‌ها گزارش کردند که منحنی تغییرات LAI یک منحنی توانی است. در نهایت پس از برداشت و انتقال ساقه‌ها به آزمایشگاه پارامترهای کیفی اندازه‌گیری و مقادیر به دست آمده از نظر آماری بررسی شدند. نتایج به دست آمده در جدول (۴) ارائه شده است.

به صورت میانگین و به ترتیب ۲/۷ و ۴/۸ بود. این نتیجه با نتایج (Da Silva, 2007)، (Simões et al., 2005) و (Sandhu et al., 2012) هم‌خوانی دارد. این محققان LAI را برای نیشکر در آبیاری جویچه‌ای اندازه‌گیری کردند. (Da Silva, 2007) برای رقم RB867515 مقدار ۲/۳، (Simões et al., 2005) برای رقم SP801842 مقدار ۲/۰۶ و (Sandhu et al., 2012) نیز مقدار ۲/۳ را برای LAI نیشکر گزارش کردند. بیش‌تر شدن LAI در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را می‌توان به بالاتر بودن تعداد ساقه‌ها در آن مرتبط دانست. این نتیجه با نتایج (Simões et al., 2005) 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 بزرگ‌تر شدن LAI را در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به آبیاری جویچه‌ای، به توزیع مناسب‌تر رطوبت و مواد مغذی در کود آبیاری نسبت داد. این نتیجه با نتایج (Gilbert et al., 2008)، (Amer, 2011) و (Almeida Silva et al., 2017) هم‌خوانی دارد. نتایج آن‌ها نشان داد که آبیاری و کوددهی مناسب باعث افزایش LAI می‌شود. (Gilbert et al., 2008) LAI را در آبیاری جویچه‌ای برای نیشکر، در شرایط معمول ۲/۳ به دست آوردند که با کوددهی مناسب



شکل ۳- تغییرات LAI برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای با گذشت زمان

جدول ۴- نتایج آنالیز آماری پارامترهای کیفی برای گیاه نیشکر در بازرویی اول

میانگین مربعات								
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن ۲۰ ساقه (kg)	بریکس (درصد)	پل (درصد)	درصد خلوص (درصد)	نسبت کیفیت شربت	عملکرد شکر زرد (ton/ha)	عملکرد شکر سفید (ton/ha)
مدیریت آبیاری	۱	۸/۲۱ ^{ns}	۰/۰۸۶ ^{ns}	۰/۲۲ ^{ns}	۰/۹۱۳ ^{ns}	۰/۰۴۹ ^{ns}	۰/۱۴۷ ^{ns}	۴/۱۵ ^{ns}
خطا	۴	۱/۳۹	۰/۱۷۷	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۰۳۸	۰/۱۱۹	۴۲/۲
کل	۵	-	-	-	-	-	-	-

^{ns} اختلاف معنی‌دار نشده است.

مقایسه نیشکر تولید شده در آبیاری سطحی و قطره‌ای در موسسه شکرگنج^۱ پاکستان به این نتیجه رسیدند که در هر دو محصول پارامترهای کیفی با هم اختلاف معنی‌داری ندارند. وزن ۲۰ ساقه،

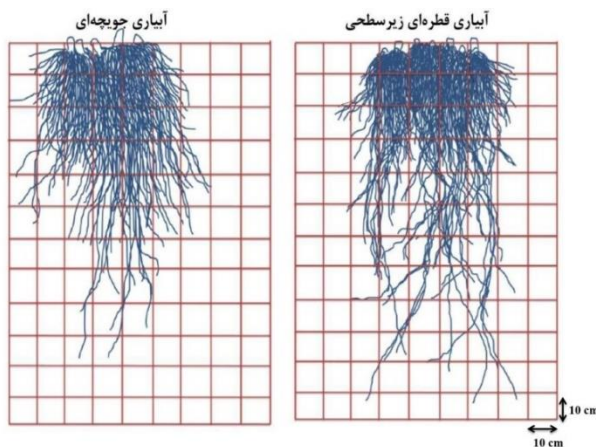
همان‌طور که از جدول (۴) مشاهده می‌شود. تغییرات هیچ یک از پارامترهای کیفی با هم اختلاف معنی‌داری ندارند. این نتیجه با نتایج (Hussain et al., 2010) هم‌خوانی دارد. آن‌ها با

نتایج (Goncalves *et al.* 2017) هم‌خوانی دارد. آن‌ها نیشکر تولید شده از دو مزرعه با آبیاری قطره‌ای را با مزارع تحت آبیاری سطحی در دانشگاه کمپیناس^۱ برزیل مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که پارامترهای کیفی به‌صورت میانگین برای آبیاری قطره‌ای بالاتر از مقادیر به‌دست آمده برای آبیاری سطحی است. با بررسی و مطالعه‌ی ریشه در هر دو آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای زیرسطحی نتایج به‌دست آمده در جدول (۵) ارائه شده‌اند.

جدول ۵- شاخص‌های اندازه‌گیری شده ریشه در آبیاری‌های قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای

نوع آبیاری	وزن ریشه (gr)	طول ریشه (cm)	سطح ریشه (cm ²)	حجم ریشه (cc)	قطر ریشه (mm)	نسبت شاخه به ریشه (gr/gr)	عمق ریشه (cm)
قطره‌ای زیرسطحی	۷۹/۵	۷۰۷/۵۵	۷۹۳/۳	۷۰/۸	۱/۰۵	۵/۷۳	۱۲۰
جویچه‌ای	۵۹/۸۳	۴۹۶/۸۹	۵۵۷/۰۷	۴۹/۷	۲/۰۴	۷/۹	۱۰۰

در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی قابل توجه است. این نتیجه با نتایج (Smith *et al.*, 2005) هم‌خوانی دارد. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که نسبت ساقه به ریشه در ابتدای رشد کمتر و در ادامه افزایش می‌یابد و نسبت ساقه به ریشه برای جبران محدودیت‌هایی که در خاک یا اندام هوایی اتفاق می‌افتد تغییر می‌کند. در شکل (۴) تصویر نیم‌رخ ریشه در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای که با استفاده از عکس‌برداری ریشه به‌دست آمد، نشان داده شده است.



شکل ۴- نیم‌رخ ریشه به‌ترتیب از راست به چپ، برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای.

در این تصویر مربع‌ها در این شبکه با ابعاد ۱۰ در ۱۰ سانتی‌متر هستند. همان‌طور که از مقایسه ریشه‌ها مشاهده می‌شود، در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ریشه‌ها افشان‌تر و با انشعاب بیشتری هستند. رشد ریشه‌ها از نظر طولی نیز در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیشتر از آبیاری جویچه‌ای است. این نتایج با نتایج به‌دست آمده از جدول (۵) کاملاً هم‌خوانی دارد. با توجه به

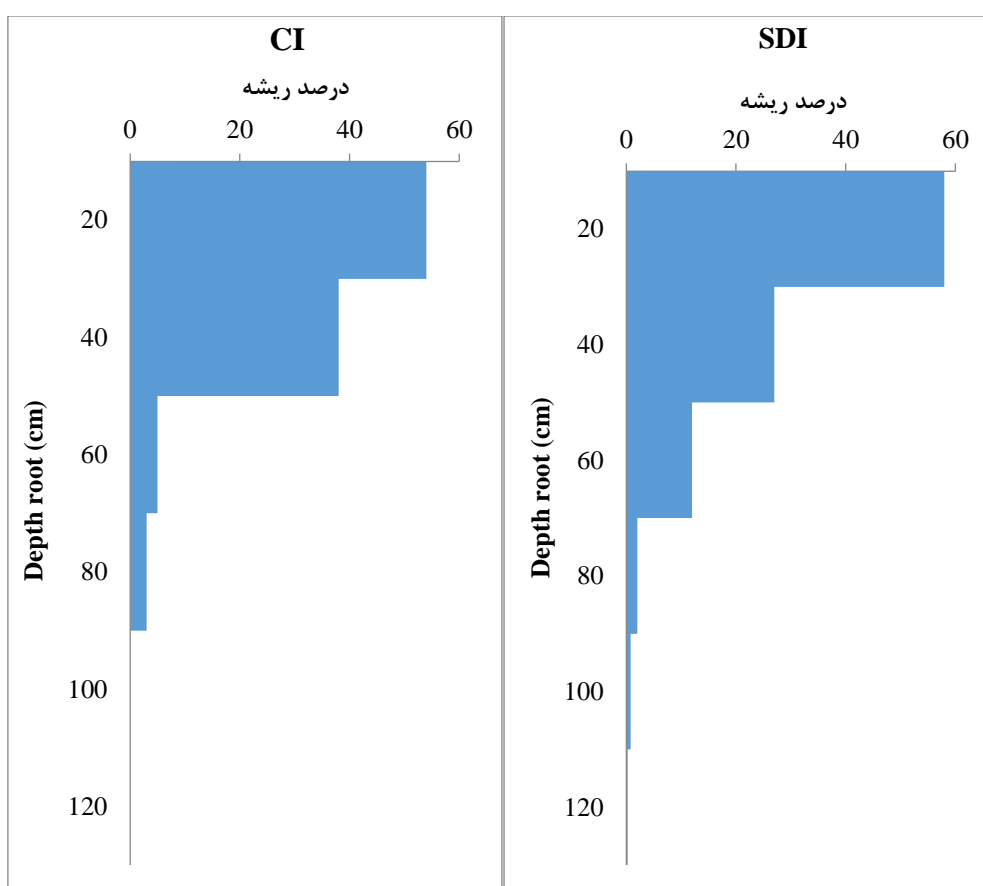
بریکس، پل، درصد خلوص شربت، نسبت کیفیت شربت، عملکرد شکر زرد و عملکرد شکر سفید در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌ترتیب ۱۵/۸ kg، ۲۲/۲ درصد، ۱۹/۸ درصد، ۸۹/۱ درصد، ۶/۷، ۱۴/۹ ton/ha و ۲۱/۳ ton/ha و در آبیاری جویچه‌ای به‌ترتیب ۱۴/۴ ton/ha، ۲۱/۹ درصد، ۱۹/۴ درصد، ۸۸/۳ درصد، ۶/۹، ۱۴/۵ ton/ha و ۱۸/۹ ton/ha بودند. به‌طور کلی مقدار تمام پارامترهای کیفی در آبیاری قطره‌ای بالاتر از آبیاری جویچه‌ای بودند. این نتیجه با

با توجه به اطلاعات به‌دست آمده مشاهده می‌شود که وزن، طول، سطح و حجم ریشه در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیشتر از آبیاری جویچه‌ای است. با توجه به این مطلب می‌توان متوجه شد که در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ریشه‌ی گیاه برای جذب بهتر آب و مواد غذایی که به‌صورت جزئی و مداوم در اختیار گیاه قرار گرفته گسترش و انشعابات بیشتری داشته و حجم بیشتری از خاک را برای جستجوی آب در بر گرفته است. میزان افزایش وزن، طول، سطح و حجم ریشه در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌صورت میانگین، نسبت به آبیاری جویچه‌ای به‌ترتیب ۳۲/۹، ۴۲/۴، ۴۲/۴ و ۴۲/۵ درصد بوده است. قطر ریشه در آبیاری جویچه‌ای ۱/۹ برابر بیش‌تر از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی است. در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به دلیل این که بر خلاف آبیاری سطحی 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 (Jangpromma *et al.* 2012) 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 (Otto *et al.*, 2011) هم‌خوانی دارد. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که ریشه‌های لایه‌های عمیق ضخیم‌تر از لایه‌های بالایی هستند. دلیل دیگر رشد بیشتر ریشه در آبیاری قطره‌ای تهویه بهتر خاک در این نوع آبیاری است. زیرا در آبیاری جویچه‌ای هنگام آبیاری، خاک غرق آب می‌شود. نسبت شاخه به ریشه در آبیاری جویچه‌ای ۲۴/۷ درصد بیشتر از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی است. این میزان با توجه به بزرگتر بودن حجم ریشه

افتاد، در صورتی که در آبیاری قطره‌ای تا فاصله‌ی ۱۵۰ سانتی‌متری از بوته نیز مشاهده شد. در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی که آب به‌صورت جزئی و مداوم در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، گیاه برای مقاوم‌تر ساختن خود عکس‌العمل عمیق‌تر شدن ریشه‌ها به‌صورت افقی و عمودی را از خود نشان می‌دهد. این نتیجه با نتایج (Smith et al., 2005) 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. در شکل (۵) درصد رشد ریشه نسبت به عمق نشان داده شده است.

شکل با افزایش فاصله از محور مرکزی گیاه و با افزایش عمق، تراکم ریشه کاهش می‌یابد. این نتیجه با نتایج (Otto et al. 2011) هم‌خوانی دارد. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که تراکم ریشه در عمق‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری به‌ترتیب ۳۳، ۱۹ و ۱ درصد است و کاهش یافته است. علت این امر عمدتاً افزایش مقاومت مکانیکی در برابر نفوذ ریشه، فشردگی خاک و تاثیر کاهش نفوذپذیری گازها در خاک است.

توزیع ریشه‌ها در آبیاری قطره‌ای و جویچه‌ای به‌صورت میانگین و به‌ترتیب تا عمق ۱۲۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر بودند. توزیع افقی ریشه در آبیاری جویچه‌ای تا شعاع ۶۰ سانتی‌متری اتفاق



شکل ۵- درصد توزیع ریشه نسبت به عمق در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای

همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود در هر دو آبیاری بیش‌ترین توزیع ریشه در لایه سطحی خاک که توزیع رطوبت، تخلخل و تهویه خاک مناسب‌تر است اتفاق افتاده است. این نتیجه با نتایج (Laclau and Laclau, 2009) هم‌خوانی دارد. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که بیش‌ترین تراکم ریشه برای نیشکر در عمق کمتر از ۶۰ سانتی‌متری اتفاق می‌افتد. نتایج (Smith et al., 2005) نیز نشان می‌دهد که اگر چه در شرایط خاص ریشه نیشکر قابلیت رشد تا عمق ۶ متری را هم دارد، اما فعالیت ریشه در عمق کمتر از ۲ متر اتفاق می‌افتد و حداکثر عمق فعالیت

ریشه‌های نیشکر به‌طور معمول به عمق ۱/۵ تا ۲ متر محدود می‌شود. در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیش‌ترین توزیع ریشه که شامل ۵۸ درصد از کل ریشه است در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک 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 به‌صورت مستقیم در دسترس ریشه قرار می‌گیرد. همچنین تا عمق ۴۰ سانتی‌متری ۸۵ درصد از کل ریشه قرار گرفته است. این نتیجه با

علف‌کش در آب آبیاری برای کشت چمن گرفتگی قطره‌چکان‌ها بر اثر نفوذ ریشه در قطره‌چکان‌های پلاک‌دار تنها ۴ درصد بوده است. این در حالی است که در قطره‌چکان‌های استوانه‌ای این رقم تا ۳۶ درصد افزایش یافته است. در آبیاری جویچه‌ای حجم عظیمی از ریشه، معادل ۹۲ درصد از ریشه در لایه‌های سطحی خاک، تا عمق ۴۰ سانتی‌متری که هنگام آبیاری مرطوب می‌شود، تجمع پیدا کرده است. تنها ۸ درصد از ریشه تا لایه‌های پایین‌تر برای جستجوی آب انشعاب پیدا کرده است. این نتیجه با نتایج (Otto *et al.*, 2011) 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.

نتیجه‌گیری

راندمان آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مورد مطالعه ۸۸/۲ درصد اندازه‌گیری شد و می‌توان با استفاده از این مدیریت آبیاری، ۲۴/۹٪ مصرف آب را نسبت به آبیاری سطحی کاهش داد. LAI برای محصول نیشکر در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ۱/۷۷ برابر آن در آبیاری جویچه‌ای محاسبه شد. نمودار تغییرات LAI یک منحنی توانی است. علت افزایش LAI در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بالاتر بودن تعداد ساقه‌ها و توزیع مناسب‌تر رطوبت و مواد غذایی در این نوع آبیاری بوده است. ویژگی‌های کیفی محصول در دو نوع روش آبیاری، اختلاف معنی‌داری باهم نداشت. حجم ریشه در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ۱/۴ برابر آبیاری جویچه‌ای تعیین شد. در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ریشه‌ها ۲۰ درصد عمیق‌تر از آبیاری جویچه‌ای بودند. ۵۸ درصد از ریشه در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در اطراف لوله‌ی قطره‌چکان‌دار توزیع یافته است. با توجه به این که حجم بسیاری از ریشه در اطراف لوله‌های قطره‌چکان‌دار انشعاب یافته است، احتمال گرفتگی قطره‌چکان‌ها توسط ریشه افزایش می‌یابد بنابراین توصیه می‌شود در صورت استفاده از این سامانه آبیاری، گرفتگی قطره‌چکان‌ها به صورت متناوب بررسی شود 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 آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به دلیل تهویه بهتر خاک و توزیع مناسب‌تر کود و رطوبت در این نوع آبیاری بوده است. به‌طور 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 سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در این منطقه استفاده شود.

نتایج (Lv *et al.*, 2019) و (Ohashi *et al.*, 2015) هم‌خوانی دارد. نتایج (Lv *et al.*, 2019) برای مطالعه‌ی ریشه‌ی گندم بهاره نشان می‌دهد که وزن ریشه در مجاورت لوله‌های قطره‌چکان‌دار بیشتر است. (Ohashi *et al.*, 2015) 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. با توجه به این که حجم بالایی از ریشه در مدیریت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در اطراف لوله‌ی قطره‌چکان‌دار توزیع یافته، گرفتگی قطره‌چکان‌ها به صورت منظم در طی شش مرحله از فصل رشد، بررسی شدند. 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 (Suarez- Rey, 2002) و (Suarez- Rey *et al.*, 2006) هم‌خوانی دارد. (Suarez- Rey, 2002) با مطالعه دو ساله روی گرفتگی 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 به‌صورت معنی‌داری بهبود می‌بخشد. (Suarez- Rey *et al.*, 2006) نیز گزارش کردند که اسید سولفوریک و اسید فسفریک بدون این که تاثیر معنی‌داری روی وزن خشک و زیست‌توده‌ی ریشه و اندام هوایی گیاه چمن بگذارد، می‌تواند به‌خوبی 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 (Mohammadian *et al.*, 2016) 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. علاوه بر این گرفته نشدن قطره‌چکان‌ها بر اثر نفوذ ریشه در این مزرعه را می‌توان با نوع قطره‌چکان استفاده شده مرتبط دانست. قطره‌چکان مورد استفاده در این مزرعه از نوع پلاک‌دار بود و گرفتگی قطره‌چکان توسط ریشه در این نوع کمتر از انواع دیگر قطره‌چکان‌ها است. این نتیجه نیز با نتایج (Mohammadian *et al.*, 2016) مطابقت دارد. مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که در شرایط عدم استفاده از

REFERENCES

- Abbasi, F. and Sheini Dashtgol, A. (2016). Evaluation and improvement of furrow irrigation management in Khuzestan sugarcane cultivated lands. *Journal of Soil and Water Science*. 2(4): 109-121.
- Alizadeh, A. (2010). *Designing Pressure Irrigation Systems*, Volume II. 4th Edition. Mashhad Ferdowsi University. 367 p
- Alizadeh, A. (2010). *Water-soil-plant relationship*. Mashhad Ferdowsi University. 360.
- Almeida Silva, M.D., 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.
- Amer, K.H., (2011). Effect of irrigation method and quantity on squash yield and quality. *Agricultural Water Management* (98), 1197-1206.
- 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.
- Bhingardeve S.D., Pawar, D.D., Dinger, S.K. and Hasure R.R. (2017). Water productivity in Sugarcane under subsurface drip irrigation. *International Journal of Agriculture Sciences*, 9(29), pp.-4377-4381.
- 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.
- 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.
- 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.
- Goncalves, I.Z., Barbosa, E.A.A., Santos, L.N.S. Nazário, A.A. Feitosa, D.R.C., Tuta, N.F. and Matsura E.E., (2017). Water relations and productivity of sugarcane irrigated with domestic wastewater by subsurface drip. *Agricultural Water Management*, (185), 105-115.
- 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.
- Hermann, E.R. and Câmara, G.M.S., (1999). Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. *Stab.* (17), 32-34.
- Hussain, K., Majeed, A., Nawaz, K., Afghan, S., Ali, K., Lin, F., Zafar, Z. and Raza, G., (2010). Comparative study of subsurface drip irrigation and flood irrigation systems for quality and yield of sugarcane. *African Journal of Agricultural Research* 5(22), 3026-3034.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Mahesh, R., Raja, N.A. and Archana, H.A. (2016). Performance of surface and subsurface drip fertigation on yield and water use efficiency of sugarcane. *2nd World Irrigation Forum*, Chiang Mai, Thailand.
- Malash, N., Flowers, T.J. and Ragab, R., (2005). Effect of irrigation systems and water management practices using saline and non-saline water on tomato production. *Agric. Water Manage.* (78), 25-38.
- Mohammadian, M., Ghaysari, M., Fazel, F. and Ememadi, N.A. (2016). Comparison of clogging of several in-line emitter due to root infiltration under subsurface drip irrigation. *Iranian Soil and Water Research*. 74 (3), 529-537.
- 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.
- 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 and Tillage Research* (117), 201-210.
- Sajjad, A., Bhutto, A.R., Imran, A. and Makhdam, A.H., (2016). Impact of better management practices on farmland biodiversity associated with sugarcane crop. *J. Environ. Agric. Sci.* (7), 48-54.
- 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.
- Senyigit, U., Dagdelen, N., Aşkin, M.A., Kadayifci, A. and Ucar, Y., (2013). Variation of leaf area index and leaf water potential of young DWARF Apple trees under different irrigation methods. *Polska academia NAUK, Oddział w Krakowie*, (1), 85-98.
- Shokouhfar, A. R. and Hajisharafi, GH. H. (2009). Effect of salt stress on yield and growth parameter of sugarcane, *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 5(1): 19-30. (In Farsi).
- Shokri, S., Hooshmand, A.R. and Ghorbani, M. (2015). The estimation evaporation pan coefficient for calculating reference evapotranspiration in Ahvaz. *Science Irrigation Engineering Journal*. 40(1). (In Farsi).
- 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.
- 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.
- Suarez-Rey EM. (2002). *subsurface drip irrigation of bermudagrass turf in Arizona: benefits and limitations*. PhD dissertation, the University of Arizona.
- 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.
- 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.