

بررسی کارایی مصرف آب آفتابگردان در روش های آبیاری سطحی و فنیله ای

ژاله زارعی^۱، حسن حیدری^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی دانشگاه رازی.

۲. عضو هیئت علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی دانشگاه رازی، کرمانشاه.

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۰۳

چکیده

خشکی مهم ترین عامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک است. به دلیل کاهش بارندگی، گرم شدن سطح کره زمین و هدر رفتن مقدار قابل توجهی از آب های سطحی در اثر تبخیر، این پژوهش به منظور تعیین میزان مصرف آب در سامانه آبیاری فنیله ای در مقایسه با سامانه آبیاری متداول (آبیاری سطحی) و طراحی و عملیاتی کردن سامانه آبیاری فنیله ای در مزرعه انجام شد. این آزمایش در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی دانشگاه رازی در سال ۱۳۹۴ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل، آبیاری معمولی به عنوان تیمار شاهد و آبیاری فنیله ای بود. نتایج نشان داد که آبیاری فنیله ای نسبت به آبیاری سطحی محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، ارتفاع بوته و ساقه اصلی بیشتری را دارا بود. از نظر وزن مخصوص برگ تفاوتی بین سامانه های آبیاری وجود نداشت. همچنین آبیاری فنیله ای نسبت به آبیاری سطحی از نظر مصرف آب کاراتر و ماده خشک بیشتری تولید کرد. علت احتمالاً این است که سله خاک و خیس شدن سطح خاک در آبیاری فنیله ای کمتر است. دسترسی دائمی به آب و عدم شرایط غرقابی هم می تواند رشد گیاه را بهبود ببخشد و کارایی مصرف آب و تولید ماده خشک را افزایش دهد.

واژه های کلیدی: آبیاری زیرسطحی، بهره وری آب، زیست توده، محتوای رطوبت نسبی برگ.

مقدمه

نیاز به دانستن نیاز آبی درخت و اجرای مناسب آبیاری با توجه به میزان دقیق آب تحویلی و میزان توزیع آن دارد (Goldhamer, 2005).

سامانه آبیاری فنیله ای موینگی یک سامانه زیرسطحی است که شامل وسیله ای برای انتقال آب توسط موینگی از یک مخزن به گیاه در حال رشد است. سامانه های زیرسطحی در مقایسه با سامانه آبیاری معمولی از نظر صرفه-جویی کارگر، وقت و هزینه های آب، کارآمدتر می باشند (Son et al, 2006). نتایج نشان داده که آبیاری فنیله ای را می توان در شرایط شدید خشک سالی، دسترسی به آب کم و حتی در مناطقی با آب گسترده و مراکزی که تولید کشاورزی در آن غیرممکن است اعمال کرد. همچنین نوعی

کشور ایران با متوسط بارش سالانه ۲۵۰ میلی متر که حدود یک سوم متوسط جهان است، در یکی از خشک ترین مناطق جهان قرار دارد. بخش کشاورزی ایران با مصرف بیش از ۹۰ درصد، بزرگ ترین مصرف کننده آب است و در مقایسه با متوسط جهان که حدود ۷۰ درصد است رقم قابل ملاحظه ای را نشان می دهد (Masomi et al., 2015). کمبود آب از یک طرف و عدم کاربرد صحیح منابع آب موجود از جهت دیگر و همچنین وجود ضعف هایی در مدیریت منابع آبی کشور، امکان گسترش توسعه کشت در اراضی مستعد را عملاً مشکل نموده است (Karimi et al., 2009). به طور کلی هدف از آبیاری، تأمین مقدار مناسب آب برای گیاه در زمان مناسب است. تصمیمات مناسب برای آبیاری

است. این افزایش با توجه به کاهش قابل توجه تبخیر سطحی در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و همچنین تزریق رطوبت در محل عمق توسعه ریشه بوده است. به دلیل کاهش بارندگی و گرم شدن سطح کره زمین و هدر رفتن مقدار قابل توجهی از آب‌های سطحی در اثر تبخیر، این پژوهش به منظور تعیین میزان مصرف آب در سامانه آبیاری فتيله‌ای در مقایسه با سامانه آبیاری متداول (آبیاری سطحی) و طراحی و عملیاتی کردن سامانه آبیاری فتيله‌ای در مزرعه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر آبیاری فتيله‌ای بر کارایی مصرف آب در آفتابگردان، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی دانشگاه رازی در سال ۱۳۹۴ اجرا شد (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا). پژوهش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با ۲ تیمار در سه تکرار اجرا شد که تیمارهای آزمایشی شامل، آبیاری معمولی به عنوان تیمار شاهد و آبیاری فتيله‌ای بود. گیاهان با تراکم ۷ بوته در مترمربع کشت شدند (Khajehpour, 2009). فاصله خطوط کشت ۳۰ سانتی‌متر بود که در هر کرت سه خط کشت انتخاب شد. جهت سبز شدن یکنواخت هر ۲ روز یکبار آبیاری انجام گرفت.

از زمان کاشت بذر، به مدت ۳۰ روز آبیاری در تمام تیمارها یکسان بود. مصرف آب آبیاری از زمان کاشت تا برداشت (۹۴/۶/۳ تا ۹۴/۸/۳) ۸۲۵ مترمکعب در هکتار در روش آبیاری سطحی و ۶۳۷ مترمکعب در هکتار بود. نیاز آبی آفتابگردان در کل دوره رشد به طور متوسط ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار در منابع علمی گزارش شده است (Farokhi, et al., 2016). در روش آبیاری جویچه‌ای، تعیین زمان آبیاری بر اساس خصوصیات ظاهری گیاه بود به این ترتیب که هر روز گیاهان در ابتدای صبح از نظر پژمردگی موقت بررسی شدند و قبل از اینکه علائم پژمردگی مشاهده شود گیاهان آبیاری شدند. در هر دو تیمار آبیاری سطحی و فتيله‌ای مقدار آب مصرفی از نظر حجمی اندازه‌گیری شد. بعد از سبز شدن، فتيله‌ها در داخل زمین قرار گرفتند و هر هفته مخزن‌ها از آب پر می‌شدند.

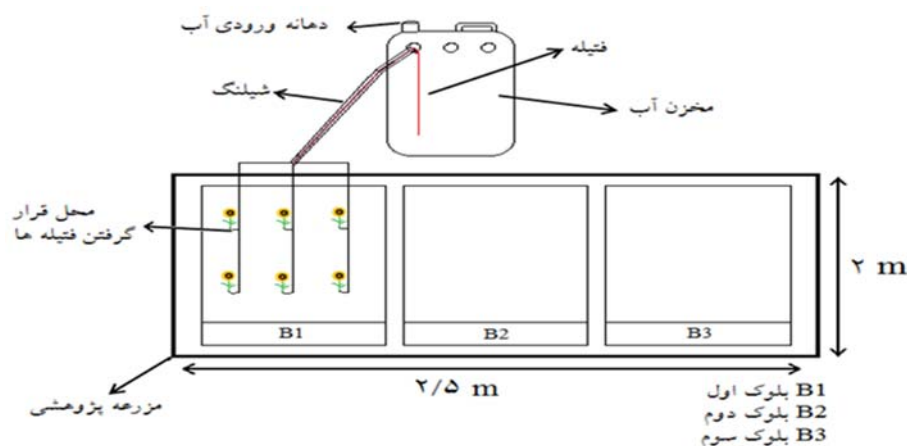
سیستم آبیاری است که می‌توان از آن به طور موقت در یک منطقه استفاده کرد و پس از آن بدون هیچ عوارضی به جای دیگر منتقل کرد (WIO, 2016). همچنین آبیاری فتيله‌ای یک روش با کارایی بالایی از نظر مصرف آب است (Son et al., 2006). استفاده از نیروهای موئینگی در آبیاری فتيله‌ای باعث رفع نیاز به تجهیزات آبیاری (مانند پمپ، تایمر و سنسور) شده است. این روش ساده همچنین کارآمد و اقتصادی است. در این سیستم آبیاری، عرضه پایدار آب توسط عمل موئینگی از سمت زیر لایه بدون حمله ریشه به فتيله انجام می‌شود. علاوه بر این در تعیین غلظت مواد غذایی مناسب برای استفاده از کود موجب بهبود کشت گوجه‌فرنگی با استفاده از این سیستم شد (Masuda and Fukumoto, 2008).

در یک مطالعه تأثیر مواد مختلفی مانند پنبه بافته، پنبه غیر بافته، پارچه ۱۰۰ درصد پلی‌استر، فتيله وارداتی و پارچه گردگیری جهت استفاده به عنوان فتيله و چهار محیط کشت (خاک + شن + کود دامی)، (خاک + کوکوبیت + شن + کود دامی)، (خاک + کوکوبیت + کود دامی + پومایس) و (کود دامی + پومایس + کوکوبیت) جهت استفاده در سامانه آبیاری فتيله‌ای مقایسه شدند. نتایج نشان داد که پلی‌استر الگوی جذب آب بهتر و ارتفاع موئینگی بالاتری داشت لذا بهترین نوع فتيله برای آبیاری فتيله‌ای است. محیط کاشت (خاک + شن + کود دامی) و (خاک + کوکوبیت + کود دامی + پومایس) بهترین محیط کاشت بودند (Wesoga et al., 2014). بهاتراری و همکاران (Bhattarai et al., 2003) واکنش پنبه به آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و شیاری را در خاک رسی بررسی نمودند. نتایج نشان داد که با افزایش مصرف آب، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌ها و شاخص سطح برگ افزایش یافت و این افزایش در آبیاری زیرسطحی بیشتر از شیاری بود. تحقیقات انجام شده روی گیاه لوبیا تحت شرایط آبیاری جویچه‌ای و زیرسطحی نشان داده است که کاربرد روش آبیاری زیرسطحی سبب کاهش ۵۵٪ آب مصرفی در قیاس با روش آبیاری جویچه‌ای شده است (Sepaskhah et al., 1976). نجفی (Najafi, 2007) اثر آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را در افزایش راندمان مصرف آب در آبیاری برخی محصولات کشاورزی بررسی کرد. وی نتیجه گرفت که برای سیب‌زمینی (ارقام مافونا و نویتا)، گوجه‌فرنگی و بادمجان روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۱۵ سانتی‌متر منجر به افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب (WUE) شده

داخل فیتیله‌ها در اثر انتقال رطوبت فیتیله‌ها به خاک جلوگیری می‌کند و رطوبت را به نقاط مدنظر در زیر سطح خاک با کمک فیتیله هدایت می‌کند. شیلنگ از یک طرف به مخزن ذخیره آب و از طرف دیگر به زیر سطح خاک مزرعه در کنار ریشه و گیاه قرار گرفت (شکل ۱). به منظور تعیین صفات، تعداد شش بوته از هر کرت آزمایشی قبل از ورود آفتابگردان به مرحله زایشی به‌طور تصادفی انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفتند و میانگین آن‌ها برای هر صفت محاسبه شد. صفاتی مانند ارتفاع بوته و ارتفاع ساقه اصلی توسط خطکش برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری قطر ساقه از کولیس با دقت میلی‌متر استفاده شد. هم‌چنین وزن برگ، وزن تر ساقه، وزن تر گیاهچه، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و زیست‌توده با استفاده از ترازوی دقیق الکترونیکی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری سطح برگ، ۳ بوته از هر تکرار به‌طور تصادفی انتخاب و با استفاده از نرم‌افزار دیجی‌مازیر^۱ سطح برگ محاسبه گردید (MedCalc Software., 2016):

برای اجرای آبیاری فیتیله‌ای نوعی سامانه آبیاری به‌صورت پیش‌فرض طراحی شد که از اجزای مختلفی مانند مخزن، شیلنگ و فیتیله تشکیل شده است. اولین و مهم‌ترین جزء دستگاه شامل فیتیله بوده که از جنس نخ پنبه‌ای انتخاب شد تا آب را به راحتی جذب کرده و آن را در اختیار ریشه و گیاه قرار دهد. به دلیل محدودیت انتقال آب طول فیتیله‌ها به‌صورت محدود در نظر گرفته شد. دومین جزء دستگاه مخزن آب بود که از یک استوانه ۱۵ لیتری برای ذخیره آب مصرفی حدوداً هفت شبانه‌روز در مزرعه انتخاب شد که شامل یک دهانه ورودی آب، درپوش دهانه برای جلوگیری از تبخیر آب و ورود عوامل خارجی، یک عدد دسته برای جابجایی راحت مخزن و دهانه ورودی فیتیله در قسمت آبیاری بود. سومین قسمت دستگاه طراحی شده شیلنگ بود که به‌عنوان یک محافظ بوده تا فیتیله‌ها درون آن قرار بگیرند و برای هدایت فیتیله‌ها از مخزن به زیر سطح خاک مزرعه و به طرف ریشه و برای محافظت از فیتیله و رطوبت فیتیله در برابر نور آفتاب و باد می‌باشد. شیلنگ هم‌چنین در زیر سطح خاک از قطع حرکت موئینگی در



شکل ۱. نمایشی از سامانه آبیاری فیتیله‌ای.

Fig. 1. A view of the wick irrigation system.

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه.

Table 1. Some farm soil physical and chemical properties.

گنجایش زراعی Field Capacity (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (ds/m)	اسیدیته خاک Soil acidity	بافت texture	عمق خاک Soil depth (cm)
48.9	1.3	1.6	7.2	لومی رسی سیلتی	0-20

^۱. نسخه ۴،۱،۱،۰، شرکت سازنده مدکال سافتور

که در آن Bi و W_{ap} به ترتیب عبارت‌اند از بیوماس تولیدشده برحسب گرم و میزان آب مصرفی برحسب مترمکعب.

داده‌های حاصل از یادداشت‌برداری‌ها و نمونه‌گیری‌های صفات موردنظر، به کمک نرم‌افزار SAS نسخه ۹.۲ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و میانگین داده‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۵ مقایسه شدند. شکل‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌داری نبود (جدول ۲). محتوای نسبی آب برگ (RWC) بهترین معیار اندازه‌گیری وضعیت آب گیاه است (Blum, 1999). افزایش رطوبت در خاک و در نتیجه جذب مناسب‌تر آب خاک توسط گیاه محتوای نسبی آب برگ را افزایش خواهد داد (Eskandari, et al., 2011). حامد و همکاران (Hamed et al., 2015) نیز نتیجه گرفتند که در شرایط کم‌آبی محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت. در این پژوهش هرچند مصرف آب آبیاری در روش آبیاری فتیله‌ای کمتر از آبیاری سطحی بود اما محتوای نسبی رطوبت آن نسبت به روش سطحی کاهش نیافت که احتمالاً به علت توزیع مناسب زمانی یعنی دسترسی همیشگی و مداوم به آب در روش آبیاری فتیله‌ای است.

به‌منظور تعیین محتوای رطوبت نسبی، برگ یکی از بوته‌ها را از قسمت پهنک بریده و بلافاصله در یک کیسه پلاستیکی قرار داده و در جای خنک قرار داده شدند و پس‌از آن به آزمایشگاه، وزن تازه قسمتی از برگ اندازه‌گیری شد. برگ‌ها به مدت ۱۶ تا ۱۸ ساعت در آب مقطر قرار داده شد و پس‌از آن وزن اشباع آن‌ها اندازه‌گیری گردید. سپس برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون ۷۰ درجه گذاشته و وزن خشک آن‌ها نیز به دست آمد، نهایتاً بر اساس معادله ۱ محتوای رطوبت نسبی محاسبه گردید (Turner and Kramer, 1980).

$$RWC = \frac{\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن تازه برگ}}{\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن اشباع برگ}} \times 100 \quad [1]$$

وزن مخصوص برگ یا SLW بر اساس معادله ۲ محاسبه گردید:

$$SLW = \frac{LDW}{LA} \quad [2]$$

در این فرمول، SLW وزن مخصوص برگ، LDW وزن خشک برگ و LA سطح برگ است.

کارایی مصرف آب (WUE) با استفاده از معادله ۳ محاسبه گردید (Farre et al., 2006):

$$WUE = \frac{Bi}{W_{ap}} \quad [3]$$

جدول ۲. تجزیه واریانس برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک آفتابگردان تحت آبیاری فتیله‌ای.

Table 2. Analysis of variance for some morphological and physiological traits in sunflower under wick irrigation.

منبع تغییرات	درجه آزادی	محتوای نسبی آب برگ	ارتفاع بوته	ارتفاع ساقه اصلی	قطر ساقه	سطح برگ	وزن مخصوص برگ	کارایی مصرف آب
SOV	DF	Relative water content	Plant height	Main stem height	Stem diameter	Leaf area	Specific leaf weight	Water use efficiency
Block	2	0.0015 ^{ns}	118.5 ^{ns}	34.90 ^{ns}	6.98 ^{ns}	776.4 ^{ns}	0.00014000 ^{ns}	7395.36 ^{ns}
Treatment	1	0.0020 ^{ns}	197.22*	178.76*	2.69 ^{ns}	5166.2 ^{ns}	0.00000024 ^{ns}	79665.41*
Error	2	0.0062	7.11	7.57	0.94	359.7	0.00002448	2243.53
ضریب تغییرات		14.46	11.25	13.67	17.01	18.07	25.10	15.24
CV (%)								

ns و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

ns and *: Non-significant and significant at the 5% level of probability, respectively.

جدول ۳. تجزیه واریانس برخی صفات آفتابگردان تحت آبیاری فیتله‌ای.

Table 3. Analysis of variance for some traits in sunflower under wick irrigation.

منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر برگ	وزن تر ساقه	وزن تر کل	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک کل	نسبت برگ به ساقه
	DF	Leaf fresh weight	Stem fresh weight	Total fresh weight	Leaf dry weight	Stem dry weight	Total dry weight	Leaf to stem ratio
Block	2	31.09*	24.18 ^{ns}	110.12 ^{ns}	1.89*	2.62*	8.97*	0.37 ^{ns}
Treatment	1	47.60*	143.37*	356.20*	2.47*	6.04*	16.23*	0.04*
Error	2	1.52	2.27	7.32	0.09	0.13	0.26	3.61
ضریب تغییرات CV (%)		13.95	14.10	13.86	14.47	17.18	12.22	24.59

ns و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

ns and *: Non-significant and significant at the 5% level of probability, respectively.

قطر ساقه

با وجود کاهش مصرف آب در روش آبیاری فیتله‌ای اما کاهش در سطح برگ گیاهان در روش آبیاری فیتله‌ای نسبت به روش سطحی دیده نشد.

تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از نظر قطر ساقه وجود نداشت (جدول ۲). با وجود مصرف کمتر آب در روش آبیاری فیتله‌ای نسبت به آبیاری سطحی، اما این روش آبیاری توانست گیاهانی با قطر ساقه برابر روش آبیاری سطحی تولید کند. احتمالاً کاهش تبخیر سطحی و مصرف به‌اندازه نیاز گیاه دلایل این عدم تفاوت در قطر ساقه باشد. بومگارنر و همکاران (Bumgarner et al., 2008) بیان کردند که قطر ساقه نهال بلوط در آبیاری زیرسطحی بیشتر از آبیاری سطحی بود. دسترسی دائمی به آب در روش آبیاری فیتله‌ای نیز می‌تواند از دیگر دلایل برای قطر ساقه مشابه در دو روش آبیاری سطحی و فیتله‌ای باشد.

وزن مخصوص برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر روش آبیاری بر وزن مخصوص برگ معنی‌دار نبود (جدول ۲). موناوا و ریدوچ (Munanava and Riddoch., 2001) گزارش کرده‌اند که وزن مخصوص برگ در شرایط استرس کاهش می‌یابد. لذا می‌توان گفت در روش آبیاری فیتله‌ای در این مطالعه با وجود مصرف کمتر آب احتمالاً برگ‌ها دچار تنش رطوبتی نشده‌اند که وزن مخصوص برگ کاهش یابد.

سطح برگ

ارتفاع بوته و ساقه اصلی

تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر روش آبیاری بر ارتفاع بوته و ساقه اصلی از نظر آماری در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین نشان داد که آبیاری فیتله‌ای در مقایسه با آبیاری سطحی موجب افزایش ارتفاع بوته و ساقه اصلی آفتابگردان گردیده است (شکل ۲). تغییرات ارتفاع گیاه، معمولاً بارزترین تغییر ناشی از شرایط رشد در اغلب گیاهان زراعی می‌باشد. ارتفاع گیاه تحت تأثیر رطوبت موجود در محیط قرار می‌گیرد (Kochaki et al., 1998). از طرفی آبیاری قطره‌ای شرایط فیزیکی خاک را به‌صورت مطلوب برای رشد گیاهان با حفظ آب خاک، در اطراف

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار آبیاری بر سطح برگ غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط کمبود آب احتمالاً کاهش فشار تورژسانس سبب کاهش رشد برگ‌ها در گیاه در حال رشد می‌شود. همچنین افزایش محسوس غلظت مواد محلول در بافت‌هایی که تحت تنش آب هستند. موجب کاهش پتانسیل آب برگ‌ها شده و این امر نیز ممکن است بر خصوصیات دیواره سلولی تأثیر گذاشته و سبب کاهش سطح برگ گردد (Abbasi Seyahjani et al., 2013). رفیعی و همکاران (Rafeie et al., 2004) نتیجه گرفتند که تنش خشکی موجب کاهش سطح برگ می‌گردد.

2005). رابطه بین ماده خشک تولیدی و آب مصرفی یک تابع خطی است (Saeed and Elanadi, 1997). نتایج این پژوهش با نتایج حیدری (Heydari, 2011) مطابقت می‌کند. یکی از دلایل کارایی بالاتر مصرف آب در روش آبیاری فتیله‌ای عدم خیس شدن سطح خاک و عدم ایجاد سله می‌باشد که بخش زیادی از تلفات رطوبتی را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر بهبود رشد گیاه با دسترسی همیشگی به آب، عدم ایجاد شرایط غرقابی در خاک به علت حرکت موئینگی آب نیز از دیگر دلایل احتمالی بهبود کارایی مصرف آب در روش آبیاری فتیله‌ای است.

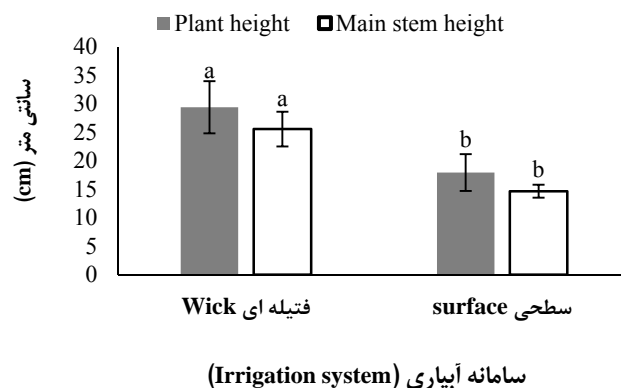
وزن تر برگ، ساقه و کل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری بر وزن تر برگ، ساقه و کل گیاه معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به شکل ۴ مشاهده گردید که آبیاری فتیله‌ای نسبت به آبیاری سطحی وزن تر بیشتری را تولید کرده است.

محیط‌های گیاهی حفظ می‌کند که احتمالاً افزایش بهتر پارامترهای رشدی به دلیل کوتاه‌تر شدن فواصل آبیاری می‌باشد (Bagali et al., 2012). نتایج تحقیق حاضر با نتایج بهاتارای و همکاران (Bhattarai et al., 2003) مطابقت می‌کند.

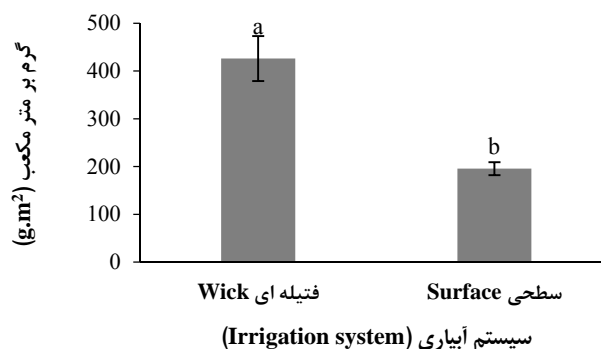
کارایی مصرف آب

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار آبیاری بر کارایی مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به نتایج شکل ۳، آبیاری فتیله‌ای نسبت به آبیاری سطحی باعث افزایش ۴۶ درصد کارایی مصرف آب در گیاه آفتابگردان شده است. کارایی مصرف آب یکی از مهم‌ترین عوامل در تعیین استفاده از آب جهت تولید محصولات کشاورزی، می‌باشد. کاهش تبخیر از سطح خاک، عدم وجود رواناب سطحی و کنترل نفوذ عمقی آب باعث افزایش کارایی مصرف آب در آبیاری قطره‌ای نسبت به روش شیری می‌گردد (Akhavan et al.,)



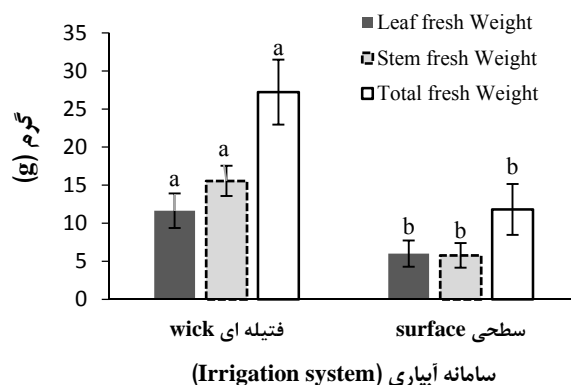
شکل ۲. مقایسه میانگین اثر آبیاری فتیله‌ای و سطحی بر ارتفاع بوته و ساقه اصلی.

Fig. 2. Mean comparison of wick and surface irrigation effect on plant height and main stem height.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر آبیاری فتیله‌ای و سطحی بر کارایی مصرف آب.

Fig. 3. Mean comparison of wick and surface irrigation effect on water use efficiency.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر آبیاری فتیله‌ای و سطحی بر وزن تر برگ، ساقه و کل.

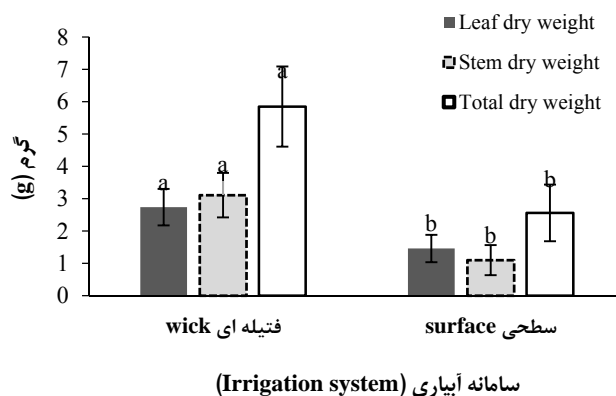
Fig. 4. Mean comparison of wick and surface irrigation on stem fresh weight, leaf and total weight.

در مورد افزایش عملکرد دانه ذرت با روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به روش شیاری مطابقت می‌کند.

وزن خشک برگ، ساقه و زیست‌توده

تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر وزن خشک برگ، ساقه و زیست‌توده معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به شکل ۵ مشاهده گردید که آبیاری فتیله‌ای در مقایسه با آبیاری سطحی وزن خشک بیشتری را تولید کرده است. در روش کوزه‌ای نسبت به روش جویچه‌ای، به دلیل کافی بودن رطوبت اطراف کوزه‌ها در روزهای متوالی برخلاف روش جویچه‌ای و مصرف بسیار کمتر آب برای تولید یک واحد وزن محصول نسبت به آبیاری جویچه‌ای موجب افزایش عملکرد شده است (Maleki-nejad, 2003).

از مهم‌ترین عواملی که می‌تواند ساختار و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد مقدار آب قابل‌دسترس گیاه است (Mousavi et al., 2015). در آبیاری سطحی به دلیل اینکه به‌صورت دوره‌ای آب در اختیار گیاه قرار می‌گیرد ممکن است در فاصله هر بار آبیاری، گیاه با تنش کم‌آبی مواجه گردد که در شرایط تنش کم‌آبی، اندام‌های هوایی گیاه، سریع‌تر و بیشتر از سایر اندام‌های گیاهی دچار کاهش رشد می‌شود (Sawain et al., 2002)؛ بنابراین آبیاری فتیله‌ای با مرطوب نگه‌داشتن مداوم محیط ریشه باعث افزایش صفات رشدی آفتابگردان گردیده است که این نتایج با نتایج هامفریز و همکاران (Humphreys et al., 2005)



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر آبیاری فتیله‌ای و سطحی بر وزن خشک برگ، ساقه و کل.

Fig. 5. Mean comparison of wick and surface irrigation on stem, leaf and total dry weight.

سطحی یکسان بود. لذا تفاوت عملکرد ماده خشک دو سامانه آبیاری به علت سرمایه‌گذاری بیشتر ماده خشک گیاه در ساقه‌ها است. تفاوت بیشتر وزن خشک ساقه نسبت به وزن خشک برگ در دو سامانه آبیاری نیز این مطلب را تأیید می‌کند. در اثر کمبود آب حجم سلول، تقسیم سلولی، دیواره سازی سلول، اندازه کلی گیاه و وزن خشک گیاه کاهش می‌یابد (Earl and Davis, 2003).

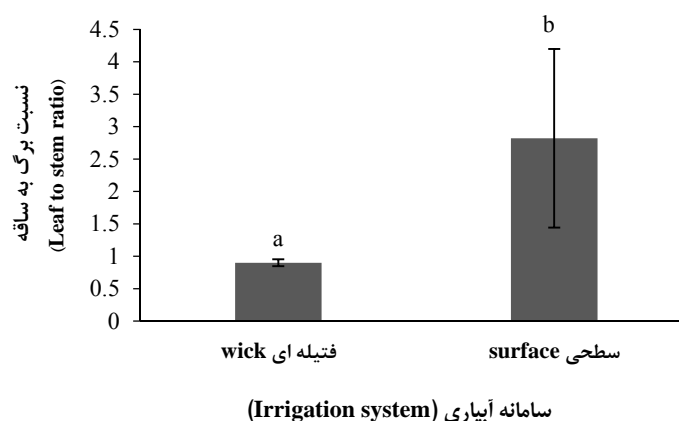
نتیجه‌گیری

آبیاری فتيله‌ای نسبت به آبیاری سطحی در بیشتر صفات برتری داشت و باعث افزایش ۴۶ درصدی کارایی مصرف آب و ۴۳ درصدی وزن خشک و تر آفتابگردان گردید. هرچند که به نظر می‌رسد که هزینه احداث و راه‌اندازی آبیاری فتيله‌ای نسبت به آبیاری سطحی بیشتر باشد اما بهره‌وری بالاتر مصرف آب به ازای هر واحد آب در آبیاری فتيله‌ای در مقایسه با روش سطحی می‌تواند توجیهی برای استفاده از این روش آبیاری باشد. علاوه بر این، به دلیل کمبود آب‌های سطحی و بارندگی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به نظر می‌رسد آبیاری فتيله‌ای یکی از بهترین سامانه‌های آبیاری در این مناطق است.

همچنین روش‌هایی از آبیاری که تبخیر از سطح خاک را محدود می‌کنند، منجر به نوسانات دمایی اندکی در خاک می‌شوند که این مسئله می‌تواند باعث رشد سریع‌تر ریشه، گسترش بهتر آن و عملکرد بالاتر محصول گردد (Rokhsar, 2006). احتمالاً آبیاری فتيله‌ای از طریق افزایش تهویه خاک، کاهش سله و علف‌های هرز موجب بهبود رشد و نمو گیاه و در نتیجه افزایش وزن خشک شده است.

نسبت برگ به ساقه

تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری بر نسبت برگ به ساقه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر سامانه‌های آبیاری نشان داد که آبیاری سطحی باعث افزایش نسبت وزن برگ به ساقه در مقایسه با آبیاری فتيله‌ای شد (شکل ۶). نسبت بالای برگ به ساقه حاکی از سرمایه‌گذاری بیشتر گیاه در برگ‌ها است (Sarmadnia, Kochaki and 2008)؛ به عبارت دیگر آبیاری سطحی با توسعه بیشتر برگ‌ها سطح تعرق را افزایش می‌دهد در حالی که آبیاری فتيله‌ای با کاهش سطح تعرق در مصرف آب صرفه‌جویی می‌کند و کاهش شاخص نسبت برگ به ساقه در آبیاری فتيله‌ای یکی از دلایل بالاتر بودن کارایی مصرف آب در این سامانه آبیاری است. با توجه به اینکه سطح برگ و ضخامت برگ (وزن مخصوص برگ) در روش آبیاری فتيله‌ای و



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر آبیاری فتيله‌ای و سطحی بر نسبت برگ به ساقه.

Fig. 6. Mean comparison of wick and surface irrigation on leaf to stem ratio.

منابع

- Abbasi Seyahjani, A., Farhvas, F., Kazemi Arbat, H.A., Khorshidi benam, M.B., 2013. Effect of drought stress on grain yield and some morphological and physiological characteristics of sunflower. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 5(2), 193 – 196. [In Persian with English Summary].
- Akhavan, S., Mostfszadeh-Fard, B., Mousavi, S.F., GhadamiFiroz-Abadi, A. Bahrami, B., 2005. Effect of irrigation amount and method on yield, yield components and quality of potato. *Agricultural Research*. 5(2), 27 – 40. [In Persian with English Summary].
- Bagali, A.N., Patil, H.B., Guled, M.B., and Patil, R.V., 2012. Effect of scheduling of drip irrigation on growth, yield and water use efficiency of onion (*Allium cepa L.*). *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*. 25 (1), 116 – 119.
- Bhattarai, S., McHugh, J., Lotz G., Midmore, D., 2003. Physiological responses of cotton to subsurface drip irrigation on heavy clay Soil. *Proceedings of the 11th Australian Agronomy Conference*, 2-6 February 2003, Geelong, Victoria.
- Blum, A., 1999. Towards standard assay of drought resistance in crop plants. In J.M. Ribaut and D. Poland (Eds). *M. A strategic planning workshop*, 21-25 June 1999. CIMMYT Press, El Batan, Mexico.
- Bumgarner, M.L., Salifu, K.F., Jacobs, D.F., 2008. Subirrigation of *Quercus rubra* seedlings: nursery stock quality, media chemistry, and earlyfield performance. *Horticulture Science*. 43, 2179–2185.
- Earl, H.J., Davis, R.F., 2003. Effect of drought stress on leaf and canopy whole radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*. 95, 688 – 696.
- Eskandari, A., Khazaie, H.R., Nezami, A., Kafi, M., 2011. Study the effects of irrigation regimes on yield and some qualitative characteristics of three cultivars of potato (*Solanum tuberosum L.*). *Journal of Water and Soil*. 25(2), 240 – 247. [In Persian with English Summary].
- Farokhi, E., Nabipoor, A.R., Daneshian J., 2016. *Manual of sunflower production in different areas of Iran*. Seed and Plant Improvement Institutue Press. From. www.ganrrc.org.ir/web/wp-content/.../10/fdani-Sunflower.pdf
- Farre, I., Faci, J.M., 2006. Comparative response of maize (*Zea mays L.*) and sorghum (*Sorghum bicolor L. Moench*) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*. 83, 135-143.
- Goldhamer, D. A., 2005. *Tree Water Requirements and Regulated Deficit Irrigation*. Pistachio Production Manual. 4th Ed. Ferguson L. University of California, Davis.
- Hamed, A., Akbari, Gh. A., Khosh kholgh sima, N.A., Shirani Rad, A.H., Jabbari, H., Tabatabaee, S.E., 2015. Evaluating the agronomic traits and some physiological traits in rape seed cultivars under drought conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 7(2), 155 – 177. [In Persian with English Summary].
- Heydari, N., 2011. Determination and evaluation of water use efficiency of some major crops under farmers' management in Iran. *Journal of Water and Irrigation Management*. 1(2), 43 – 57. [In Persian with English Summary].
- Humphreys, L., Fawcett, B., O'Neill, Ch., Muirhead, W., 2005. Maize under sprinkler, drip and furrow irrigation. *IREC Farmer's Newsletter*. 170, 35-38.
- Karimi, A., Navshadi, M., Ahmadzadeh, M., 2009. Effects of super absorbent polymer (Igita) application on soil water, plant growth and irrigation interval. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 12(46), 403 – 414. [In Persian with English Summary].
- Khajehpour, M.R., 2009. *Industrial Plants*. Jihade-Daneshgahi of Isfahan Press. 580p. [In Persian].
- Kochaki, A., Rashed Mohasel, M.H., Nasiri Mahalati, M. SadrAbadi, R., 1998. *Physiological Basic of Crop Growth and Development*. Astane Ghodse-Razavi Press. 404 p. [In Persian].
- Kochaki, A., Sarmadnia, Gh. H., 2008. *Physiology of Crop Plants*. Jihade-Daneshgahi of Mashhad Press. 400 p. [In Persian].
- Maleki-nejad, H., 2003. Water use efficiency and crop yield under pot and furrow irrigation

- systems. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*. 10(1), 27 – 37. [In Persian with English Summary].
- Masomi, T., Rahimikhoob, A., Ghorbanijavid, M., Nazarifar, M.H., 2015. The effect of intermittent deficit irrigation on yield, yield components and water productivity of maize Se-704. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 4(8), 810 – 816. [In Persian with English Summary].
- Masuda, M., Fukumoto, S., 2008. Potential for tomato cultivation using capillary wick-watering method. *Scientific Reports of the Faculty of Agriculture. Okayama University*. 97, 49–54.
- MedCalc Software., 2016. Digimizer image analysis software. <https://www.digimizer.com/>.
- Mousavi, M., Myrlatifi, S.M., Tabatabai, S.H., 2015. Effect of installation depth and distance of subsurface irrigation pipes on grass growth under municipal wastewater use. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences*. 19(71), 129–138. [In Persian with English Summary].
- Munamava, M., Riddoch, I., 2001. Responses of three sorghum [*Sorghum bicolor* (L.), Moench] varieties to soil moisture stress at different developmental stages. *Journal South African Journal of Plant and Soil*. 18, 75-79.
- Najafi, P., 1385. Effect of using sub-surface drip irrigation to increasing WUE in irrigation of some crops. *Pajouhesh and Sazandegi*. 73, 156–162. [In Persian with English Summary].
- Rafeie, M., Karimi, M., Noormohammadi, Gh., Nadian, H.A., 2004. The effects of drought, phosphorus and zinc rates on the vertical distribution of leaf area, canopy light interception and its relationship with grain yield in maize (*Zea mays L.*). *Iranian Journal of Crop Sciences*. 5(1), 1 – 11. [In Persian with English Summary].
- Rokhsar, Sh., 2006. Improving water use efficiency by underground drip irrigation. National Conference on Irrigation and Drainage Network Management, Shahid Chamran University, College of Water Sciences. [In Persian].
- Saeed, L.A.M., Elnadi, A.H., 1997. Irrigation effects on the growth, yield and water use efficiency of alfalfa. *Irrigation Science*. 17, 63-68.
- Sawain, M., Omaima, U.A., EL-Behary, AbdHadid, A.F., 2002. Effect of irrigation level and N source on green bean productivity. *Egyptian Journal of Applied Sciences*. 47(10), 326 – 347.
- Sepaskhah, A.R., Sichani, S.A., Bahrani, B., 1976. Subsurface and Furrow irrigation evaluation for bean production. *Transactions of the ASAE*. 19, 1089 – 1097.
- Shamili, M., 2005. A sight on irrigation systems in Karun culture and industry. *Mechanized Surface Irrigation Workshop. Seed and plant improvement institute. Karaj*. 4 Dec, 2005. [In Persian].
- Son, J.E., Oh, M.M., Lu, Y.J., Kim, K.S., Giacomelli, G.A., 2006. Nutrient-flow wick culture system for potted plant production: System characteristics and plant growth. *Scientia Horticulturae*. 107, 392 – 398.
- Turner, N.C., Kramer, P.J. 1980. *Adaptation of Plant to Water and High Temperature Stress*. Wiley Interscience, New York.
- Wesonga, J.M., Wainaina, C., Ombwara, F.K., Masinde, P.W., Home, P.G., 2014. Wick Material and Media for Capillary Wick Based Irrigation System in Kenya. *International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (Online)*. 2319-7064.
- [WIO] Wick Irrigation Outline – Draft 2, 2016. From. www.facebook.com/#!/pages/Irrigation-subsurface/186965427995490.