مقاله پژوهشی نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۷ / شماره ۳/ ۱۴۰۲. ص۲۵۵-۲۶۸
https://doi.org/10.22092/jwra.2023.362596.995

اثر روش‌های آبیاری بر بهره‌وری آب، عملکرد و اجزای عملکرد اسفناج در شرایط اقلیمی اهواز

خشایار پیغان، رضا ولی‌پور، سعید برومندنسب، محمد الباجی* و ناصر عالم‌زاده‌انصاری

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
khashayar.peyghan@ut.ac.ir
دانشجوی دکتری، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
Rezavalipour20@gmail.com
استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
boroomand@scu.ac.ir
دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
m.albaji@scu.ac.ir
دانشیار گروه مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
ansari_n@scu.ac.ir

دریافت: تیر ۱۴۰۲ و پذیرش: آبان ۱۴۰۲

چکیده

با توجه به رشد فزاینده جمعیت و تغییر سبک زندگی روزمره، فشار بر منابع آب و خاک افزایش یافته و مدیریت پایدار این منابع اهمیتی حیاتی دارد. این پژوهش با هدف ارزیابی و مقایسه اثرات آبیاری جویچه‌ای، قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی بر بهره‌وری آب، عملکرد و اجزای عملکرد اسفناج در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک اهواز انجام شد. به این منظور، آزمایشی در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار روش آبیاری شامل آبیاری جویچه‌ای (FI)، آبیاری قطره‌ای سطحی (SDI) و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SSDI) در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز در سال ۱۳۹۹ انجام شد. بر پایه نتایج، میزان آب آبیاری استفاده‌شده در تیمار FI برابر ۱۰۶۶ مترمکعب در هکتار و در تیمارهای SDI و SSDI برابر ۷۸۷ مترمکعب در هکتار بود که کاهش ۲۶٪ را نشان می‌دهد. در تیمارهای FI، SDI و SSDI متوسط عملکرد بوته اسفناج (مجموع وزن تر برگ و ساقه) به‌ترتیب برابر ۲۳/۵۶، ۳۰/۱۷ و ۱۹/۲۸ گرم و بهره‌وری آب آبیاری برابر ۰/۳۵، ۰/۶۱ و ۰/۳۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود. در هر دو پارامتر عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری، تیمار SDI برتری معنی‌دار در سطح پنج درصد نسبت به دو تیمار دیگر داشت. اثر تیمار آبیاری بر ویژگی‌های طول ریشه، طول ساقه، طول کل، تعداد برگ، تعداد برگ پژمرده، میزان کلروفیل برگ و شاخص برداشت معنی‌دار نبود. در مجموع، با در نظر گرفتن بهره‌وری آب به‌عنوان معیار، آبیاری قطره‌ای سطحی نسبت به آبیاری جویچه‌ای برای کشت اسفناج مناسبت‌تر است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تحت فشار، آبیاری سطحی، شاخص برداشت

* – آدرس ایمیل نویسنده مسئول: m.albaji@scu.ac.ir

مقدمه

در حال حاضر، جمعیت جهان با سرعت نگران‌کننده‌ای در حال رشد بوده و همین موضوع سبب ایجاد تقاضای فزاینده برای آب شیرین برای پاسخگویی به نیاز بخش‌های مختلف شده است (میتال و همکاران، ۲۰۲۳). مصرف جهانی آب در طول یک قرن گذشته شش برابر شده و به‌طور سالانه نیز یک درصد افزایش می‌یابد (بی‌نام، ۲۰۲۰). پاسخ به تقاضای آب به دلیل مشکلاتی مانند تغییرات اقلیمی، آلودگی منابع آب و کمبود انرژی دشوار است و بحران آب در بسیاری از مناطق به یک مسئله جدی تبدیل شده است (وانگ و همکاران، ۲۰۲۲). بخش کشاورزی با اختصاص بیش از ۷۰ درصد از مصرف جهانی آب به خود، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب بوده و در بسیاری از نواحی جهان به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب یکی از عوامل اصلی محدودیت در تولید محصولات کشاورزی است (جمالی و همکاران، ۱۴۰۰؛ کاچوایا و همکاران، ۲۰۱۶؛ کامینسکی و همکاران، ۲۰۱۹).

در ایران نیز آب عامل محدودکننده اصلی در بخش کشاورزی است (خشائی و همکاران، ۱۳۹۸). منابع آب تجدیدشونده ایران حدود ۱۱۶ میلیارد مترمکعب در سال برآورد می‌شود که به‌طور میانگین حدود ۸۳ درصد از آن، معادل ۹۶ میلیارد مترمکعب، برداشت می‌شود. از این حجم برداشت آب که شامل منابع سطحی و زیرزمینی است، حدود ۹۲/۵ درصد، معادل ۸۸/۸ میلیارد مترمکعب، با میانگین راندمان ۳۰ درصد در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (بی‌نام، ۱۳۹۹). منابع آب زیرزمینی کشور بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۵ حدود ۷۴ کیلومترمکعب کاهش‌یافته که مطابق بررسی‌ها میزان این کاهش در مناطق دارای اراضی زراعی آبی وسیع، بیش‌تر بوده است (اشرف و همکاران، ۲۰۲۱). این آمار و ارقام نشان می‌دهد که مدیریت هوشمند آب در بخش کشاورزی ضروری است و در این بین سامانه‌های آبیاری و روش‌های کاربرد مزرعه‌ای برای کشت محصولات نقش مهمی در آن دارند (کامینسکی و همکاران، ۲۰۱۹).

آبیاری سطحی قدیمی‌ترین و رایج‌ترین روش آبیاری در جهان است به‌گونه‌ای که حدود ۹۵ درصد از اراضی آبی جهان با این روش آبیاری می‌شوند (یادتا و همکاران، ۲۰۲۲؛ آدامو و همکاران، ۲۰۲۲). در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، آبیاری سطحی به دلیل مزایایی همچون هزینه و انرژی کم مورد نیاز به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. از میان روش‌های مختلف آبیاری سطحی نیز آبیاری جویچه‌ای هم در اراضی بزرگ و هم کوچک بیش‌تر از سایر روش‌ها به کار گرفته می‌شود (یادتا و همکاران، ۲۰۲۲). مشکل اساسی در آبیاری سطحی زیاد بودن تلفات آب و پایین بودن راندمان است که البته علت آن نه ماهیت این سامانه‌ها بلکه عدم طراحی علمی و اجرای مناسب است (جعفری و همکاران، ۱۴۰۱). در ایران نیز آبیاری سطحی رایج‌ترین روش آبیاری است به‌نحوی‌که بخش عمده‌ای از اراضی زراعی تحت پوشش آبیاری سطحی است درحالی‌که راندمان آبیاری سطحی در کشور حدود ۴۴ درصد برآورد شده است (پهلوانی و همکاران، ۱۴۰۱).

آبیاری قطره‌ای، در مقایسه با آبیاری سطحی، رویکردی مؤثر برای صرفه‌جویی در آب آبیاری بوده که در سال‌های اخیر به شکلی فزاینده توسعه یافته است (جعفری و همکاران، ۱۴۰۰). این روش آبیاری با کاهش سطح خیس‌شده و در نتیجه تبخیر از سطح خاک، کاهش نفوذ عمقی، عدم ایجاد رواناب سطحی و امکان استفاده یکنواخت آب، سبب افزایش عملکرد محصول و راندمان مصرف آب می‌شود (کوکسال و همکاران، ۲۰۱۷؛ کریمی و همکاران، ۲۰۲۲؛ بای و همکاران، ۲۰۲۳). با توجه به مزایای متعدد، آبیاری قطره‌ای، اعم از سطحی و زیرسطحی، به‌عنوان کارآمدترین روش آبیاری انواع محصولات زراعی، باغی، سبزی‌ها و درختان میوه به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک شناخته می‌شود (ویدیا و همکاران، ۲۰۲۲؛ پاترا و همکاران، ۲۰۲۱).

با توجه به اهمیت موضوع، پژوهش‌های متعددی با هدف ارزیابی اثر روش‌های آبیاری بر ویژگی‌های مختلف

محصولات صورت گرفته است. نوروزی و زلفی‌باوریانی (۱۳۹۹) به ارزیابی اثر روش‌های مختلف قرارگیری نوارهای آبیاری قطره‌ای بر عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک بوشهر پرداختند. بدین منظور یک آزمایش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تیمار نحوه قرارگیری نوار آبیاری روی زمین شامل قرارگیری نوارهای آبیاری روی سطح زمین (T1)، داخل جوی‌های سطحی (T2)، در عمق ۱۰ سانتی‌متری (T3) و در عمق ۲۰ سانتی‌متری (T4) زمین، در سه تکرار انجام شد. بر اساس نتایج، عملکرد محصول و کارایی مصرف آب آبیاری در تیمارهای زیرسطحی نسبت به تیمار سطحی بیش‌تر بود. بالاترین مقادیر عملکرد و کارایی مصرف آب به‌ترتیب با ۴۸/۱ تن در هکتار و ۹/۴ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار T3 و پایین‌ترین مقادیر نیز با ۳۹/۱ تن در هکتار و ۷/۷ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار T1 ثبت شد. همچنین افزایش عمق کارگذاری نوار آبیاری از ۱۰ به ۲۰ سانتی‌متر سبب کاهش عملکرد و کارایی مصرف آب شد اما این کاهش معنی‌دار نبود. جلینی و همکاران (۱۳۹۳) اثر آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر کشت گوجه‌فرنگی را در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی بررسی نمودند. بر اساس نتایج، عملکرد گوجه‌فرنگی تحت آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به‌ترتیب ۴۳ و ۵۵ تن در هکتار و کارایی مصرف آب نیز ۶/۱ و ۷/۹ کیلوگرم بر مترمکعب ثبت شد که از نظر آماری برتری معنی‌دار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را نشان داد. در پژوهشی دیگر، صدرقاین (۱۳۹۱) اثر آبیاری قطره‌ای نواری سطحی و زیرسطحی بر عملکرد و کارایی مصرف آب خیار را در ورامین استان تهران بررسی نمود. مطابق نتایج، تفاوت معنی‌داری میان عملکرد و کارایی مصرف آب خیار تحت این دو روش آبیاری وجود نداشت.

محمد و ایرماک (۲۰۲۲) برای کشت ذرت در نبراسکا آمریکا از روش‌های آبیاری جویچه‌ای، قطره‌ای نواری زیرسطحی و عقربه‌ای استفاده نمودند. برای دستیابی به حداکثر عملکرد ذرت، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به کم‌ترین میزان آبیاری در طی فصل رشد نیاز داشت در حالی که آبیاری‌های عقربه‌ای و جویچه‌ای به‌ترتیب ۳۰ و ۵۵ میلی‌متر آب آبیاری بیش‌تری نسبت به آبیاری قطره‌ای نواری زیرسطحی نیاز داشتند. الغباری و دویدر (۲۰۱۸) برای اعمال کم‌آبیاری بر کشت گوجه‌فرنگی در عربستان از آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بهره بردند. در تیمار آبیاری کامل عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری گوجه‌فرنگی تحت آبیاری قطره‌ای سطحی به‌ترتیب ۹۱/۹۸ تن در هکتار و ۱۴/۸ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد اما آبیاری قطره‌ای زیرسطحی سبب افزایش این دو پارامتر به ۹۴/۱۲ تن در هکتار و ۱۵/۹ کیلوگرم بر مترمکعب شد. انسیسو و همکاران (۲۰۱۵) از آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای زیرسطحی برای کشت پیاز در دو مزرعه واقع در تگزاس آمریکا استفاده نمودند. نتایج نشان‌دهنده برتری آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به آبیاری جویچه‌ای بود. راندمان آبیاری برای آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای زیرسطحی در مزرعه اول به‌ترتیب ۵۴/۱ و ۸۸/۵ درصد و در مزرعه دوم برابر ۶۷/۱ و ۸۱/۴ درصد اعلام شد. بهره‌وری آب آبیاری نیز برای آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای زیرسطحی در مزرعه اول به‌ترتیب ۴/۲ و ۱۷/۵ کیلوگرم بر مترمکعب و در مزرعه دوم برابر ۶/۵ و ۲۵/۲ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شد.

اسفناج علاوه بر ارزش اقتصادی، ارزش غذایی بالایی داشته و یکی از مغذی‌ترین سبزی‌ها جهان است. گیاه اسفناج با برخورداری از کلسیم، فسفر، آهن، پتاسیم، امگا ۳، مس، روی و به‌طورکلی انواع مواد معدنی، ویتامین‌ها و پروتئین‌ها برای سلامتی انسان بسیار مفید است (لیو و همکاران، ۲۰۲۱؛ توماس و همکاران، ۲۰۱۹). برای کشت اسفناج، آبیاری مستمر و با دور ۳ تا ۴ روز توصیه شده است. دور آبیاری اسفناج در پژوهش‌های اوکو و همکاران (۲۰۲۳) و رمضانی‌فر و همکاران (۱۴۰۰) بین ۲ تا ۴ روز بوده است. در ایران سطح زیر کشت اسفناج ۵۱۰۹ هکتار و میانگین عملکرد آن ۱۹۵۹۶ کیلوگرم در هکتار تخمین

زده می‌شود و بنابراین تولید سالانه حدود ۱۰۰۱۱۵ تن است (بی‌نام، ۲۰۲۱).

در پژوهش‌های بررسی‌شده، اعمال روش‌های آبیاری مختلف منجر به ایجاد تفاوت معنی‌دار در عملکرد و بهره‌وری آب محصولات مختلف شده است. به‌عبارتی‌دیگر، روش آبیاری به‌عنوان ابزاری مؤثر برای مدیریت آب مزرعه عمل نموده است. با توجه به موارد مطرح‌شده و نیز ارزش اقتصادی و غذایی گیاه اسفناج، این پژوهش با هدف بررسی و مقایسه اثرات روش‌های مختلف آبیاری بر بهره‌وری آب، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه اسفناج در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک اهواز انجام شد.

مواد و روش‌ها

محل انجام پژوهش

این پژوهش در سال ۱۳۹۹، در مزرعه پژوهشی شماره یک دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز به انجام رسید. مزرعه پژوهشی در موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۸ دقیقه و ۲۵ ثانیه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۹ دقیقه و ۲۶ ثانیه طول شرقی واقع شده است. شهر اهواز با ۱۲ متر ارتفاع نسبت به سطح دریا، از نظر اقلیمی منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. مطابق آمار بلندمدت هواشناسی ایستگاه سینوپتیک اهواز، میانگین بارندگی سالیانه ۲۳۰/۳ میلی‌متر، رطوبت نسبی سالانه ۴۸/۹۳ درصد، میانگین حداکثر درجه حرارت ماهانه هوا ۳۳/۰۰، میانگین حداقل درجه حرارت ماهانه هوا ۱۷/۹۴ و میانگین درجه حرارت سالانه هوا ۲۵/۳۶ درجه سانتی‌گراد است (بی‌نام، ۱۴۰۰). عمق آب زیرزمینی در مزرعه پژوهشی بین ۲/۲ تا ۲/۸ متر است. برای مشخص شدن خصوصیات خاک مزرعه و آب آبیاری که از رودخانه کارون تأمین می‌شود، نمونه‌های لازم تهیه و آزمایش‌های مربوطه انجام شد. نمونه‌برداری خاک از پنج نقطه مزرعه صورت گرفت. همچنین کیفیت آب در طول فصل کشت ارزیابی شد. بر اساس جدول (۱)، بافت خاک در عمق ۰ تا ۲۵ سانتی‌متر، لوم رسی سیلتی و در عمق ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متر، لوم رسی است. همچنین، بر اساس جدول (۲)، میانگین هدایت الکتریکی آب آبیاری در طول فصل کشت برابر ۱/۷۰ دسی‌زیمنس بر متر بود و بنابراین محدودیتی برای رشد و عملکرد گیاه اسفناج ایجاد نمی‌کند (مظلومی و رونقی، ۱۳۹۱؛ اورس و سوارز، ۲۰۱۷).

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مزرعه

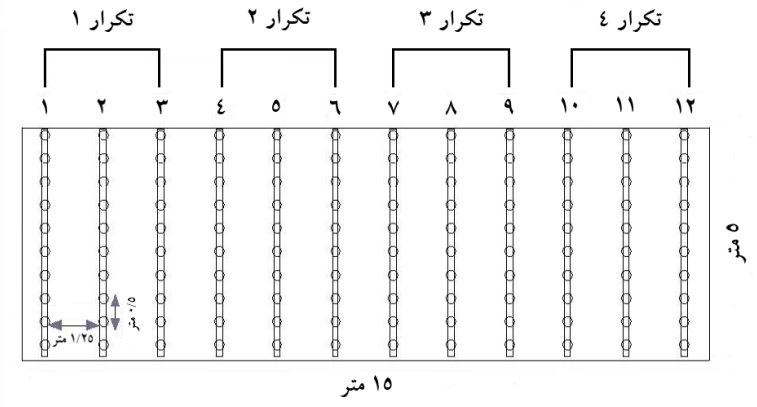
عمق	هدایت الکتریکی عصاره اشباع	رطوبت ظرفیت زراعی	رطوبت نقطه پژمردگی	جرم مخصوص ظاهری	بافت	نسبت ذرات		
						شن	سیلت	رس
سانتی‌متر	دسی‌زیمنس بر متر	درصد حجمی		گرم بر سانتی‌مترمکعب	–	درصد		
۲۵-۰	۳/۲۱	۳۰/۷۳	۱۶/۳۸	۱/۴۳	لوم رسی سیلتی	۱۸/۲	۵۴/۸	۲۷/۰
۵۰-۲۵	۴/۷۳	۳۰/۵۷	۱۵/۸۳	۱/۳۸	لوم رسی	۲۴/۱	۴۰/۳	۳۵/۶

جدول ۲- ویژگی‌های آب آبیاری مزرعه

هدایت الکتریکی	اسیدیته	نسبت جذب سدیم	کلسیم	منیزیم	سدیم	پتاسیم	کلر	سولفات	نیترات	فسفات	بی‌کربنات
دسی‌زیمنس بر متر	–	–	میلی‌اکی‌والان بر لیتر								
۱/۷۰	۷/۳۰	۳/۲۰	۷/۵۰	۵/۷۰	۸/۲۱	۰/۰۵	۱۰/۸۰	۱/۳۰	۳/۰۱	۰/۶۵	۵/۷۰

نحوه انجام پژوهش

به‌منظور ارزیابی و مقایسه اثر روش‌های مختلف آبیاری بر بهره‌وری آب، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه اسفناج، رقم Virofly (به‌عنوان رقم مرسوم در منطقه)، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار روش آبیاری شامل آبیاری جویچه‌ای (FI)، آبیاری قطره‌ای نواری سطحی (SDI) و آبیاری قطره‌ای نواری زیرسطحی (SSDI)، در چهار تکرار انجام شد. گیاه اسفناج در تاریخ نه دی ماه سال ۱۳۹۹ کشت و پس از دوره رشد ۴۱ روزه، در تاریخ ۱۹ بهمن برداشت شد. بذر اسفناج در عمق دو تا چهار سانتی‌متری خاک کاشته شد. با توجه به نیاز اسفناج به کود حیوانی برای جوانه‌زنی، پیش از شروع کشت از کود حیوانی استفاده شد. با رسیدن اسفناج به مرحله سبز شدن، کود مرکب NPK به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار به زمین اضافه شد. مساحت تحت کشت اسفناج برابر ۷۵ مترمربع و متشکل از چهار کرت، به‌عنوان چهار تکرار بود. هر کرت شامل سه ردیف کشت بود که هر ردیف به یکی از روش‌های سه‌گانه مورد مطالعه آبیاری شد. به‌منظور اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای نواری (سطحی و زیرسطحی)، از نوارهای آبیاری مدل TOP، ساخت گروه تولیدی نوار تیپ تاپ پلیمر با طول ۱۵ متر، فواصل خروجی (روزنه) ۲۰ سانتی‌متر، قطر داخلی ۱۶ میلی‌متر، ضخامت دیواره ۰/۲ میلی‌متر و دبی دو لیتر بر ساعت استفاده شد. همچنین عمق کارگذاری نوارها در سامانه زیرسطحی برابر پنج سانتی‌متر بود. طول هر ردیف کشت پنج متر، فاصله ردیف‌ها از یکدیگر ۱/۲۵ متر و فاصله بین گیاهان ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. نقشه شماتیک طرح آزمایش در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- نقشه شماتیک طرح آزمایش

برای گیاه اسفناج، حداکثر تخلیه مجاز رطوبت (MAD) معادل ۲۰ درصد از کل آب قابل استفاده (TAW) است که مقایسه آن با سایر محصولات کشاورزی حاکی از توانایی اندک اسفناج برای مقابله با کم‌آبی است (پوزش‌شیرازی و رخشنده‌رو، ۱۳۸۷). در پژوهش حاضر، دور آبیاری اسفناج تحت آبیاری جویچه‌ای پنج روز و تحت آبیاری قطره‌ای سه روز تعیین شد.

برای محاسبه عمق ناخالص آب در هر دور آبیاری جویچه‌ای طی فصل کشت، از روابط زیر استفاده شد:

$$d_n = \left(\theta_{fc} - \theta_m\right) \times \rho_b \times Zr \qquad (۱)$$

$$d_g = \frac{d_n}{E} \qquad (۲)$$

که در آن‌ها: d_n عمق خالص آبیاری (میلی‌متر)، θ_{fc} رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی (درصد)، θ_m رطوبت وزنی در عمق توسعه ریشه قبل از آبیاری (درصد)، ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب)، Zr عمق ریشه (میلی‌متر)، d_g عمق ناخالص آبیاری (میلی‌متر) و E راندمان سامانه آبیاری جویچه‌ای (اعشار) است. به‌منظور تعیین رطوبت وزنی در عمق توسعه ریشه قبل از هر دور آبیاری، نمونه‌برداری از خاک انجام و رطوبت آن اندازه‌گیری شد. بیشینه عمق توسعه ریشه اسفناج برابر ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

راندمان آبیاری جویچه‌ای نیز برابر ۶۵ درصد لحاظ شد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵).

برای تعیین عمق آب آبیاری در آبیاری قطره‌ای نیز ابتدا تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از داده‌های روزانه هواشناسی ایستگاه اهواز و روش فائو پنمن-مانتیث محاسبه شد. سپس با استفاده از روابط زیر عمق ناخالص آب آبیاری در هر دور سه روزه مشخص شد:

$$ET_C = ET_O \times K_C \quad (۳)$$

$$T_d = ET_C \times (0.1 \times \sqrt{P_d}) \quad (۴)$$

$$d_g = \frac{T_d}{E} \quad (۵)$$

که در آن‌ها: ET_C تبخیر-تعرق گیاه اسفناج (میلی‌متر)، ET_O تبخیر-تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر)، K_C ضریب گیاهی اسفناج، T_d نیاز خالص آبیاری روزانه (میلی‌متر)، P_d سطح سایه‌انداز گیاه (درصد)، d_g نیاز ناخالص آبیاری روزانه (میلی‌متر) و E راندمان سامانه آبیاری قطره‌ای (اعشار) است. راندمان سامانه آبیاری قطره‌ای نواری ۹۰ درصد در نظر گرفته شد (کوهی‌چله‌کران و همکاران، ۱۳۹۹).

برای گیاه اسفناج، ضرایب گیاهی ابتدایی ($K_{C\,ini}$) ، میانی ($K_{C\,mid}$) و پایانی ($K_{C\,end}$) به‌ترتیب برابر ۰/۷۰، ۱/۰۰ و ۰/۹۵ است. همچنین دوره رشد اسفناج در مناطق خشک شامل چهار بخش ابتدایی (۰ تا ۲۰ درصد دوره رشد)، توسعه (۲۰ تا ۵۰ درصد دوره رشد)، میانی (۵۰ تا ۹۰ درصد دوره رشد) و پایانی (۹۰ تا ۱۰۰ درصد دوره رشد) است. با تطبیق اطلاعات عنوان‌شده و طول دوره رشد اسفناج در پژوهش حاضر، مقادیر ضریب گیاهی برای تمام طول فصل کشت تعیین شد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

به‌منظور بررسی خصوصیات گیاهی در پایان فصل کشت، از هر ردیف چهار بوته اسفناج (در مجموع ۴۸ نمونه) به‌صورت کامل و سالم از خاک بیرون آورده شد و پس از انتقال به آزمایشگاه، اندازه‌گیری‌های مورد نیاز انجام شد. ابتدا وزن تر ریشه، ساقه و برگ گیاه با استفاده از ترازو دارای دقت ۰/۰۱ گرم، تعیین شد. سپس، اجزای گیاه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و در نهایت وزن خشک اجزای مختلف مشخص شد. طول ریشه و ساقه با خط‌کش اندازه‌گیری شد. تعداد کل برگ‌ها و تعداد برگ‌های پژمرده در هر بوته نیز شمرده شد. برای تعیین میزان کلروفیل برگ‌های اسفناج از دستگاه کلروفیل‌سنج SPAD-502 استفاده شد. میزان کلروفیل در سه نقطه از برگ‌های میانی اندازه‌گیری و میانگین مقادیر اندازه‌گیری‌شده محاسبه شد. شاخص برداشت برای گیاه اسفناج به‌صورت نسبت وزن تازه برگ‌های قابل برداشت به وزن کل زیست‌توده (مجموع وزن تازه ساقه و برگ) و در قالب درصد تعیین شد (پاروادا و همکاران، ۲۰۲۰). با توجه به آن‌که از یک سو هدف پژوهش حاضر ارزیابی فرایند آبیاری بوده و از سوی دیگر میزان بارندگی در طی فصل رشد محصول اندک بوده، برای محاسبه شاخص بهره‌وری آب از رابطه زیر استفاده شد:

$$WP = \frac{Y}{I} \quad (۶)$$

که در آن: WP بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y مقدار محصول تولیدشده (کیلوگرم) و I مقدار آب آبیاری (مترمکعب) است. با توجه به آن‌که محصول نهایی اسفناج برگ و ساقه آن است، مجموع وزن تر برگ و ساقه به‌عنوان مقدار محصول تولیدشده برای محاسبه بهره‌وری آب در نظر گرفته شد.

در این پژوهش برای تجزیه‌وتحلیل اثر تیمارهای روش آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه اسفناج از نرم‌افزار SAS استفاده شد. آنالیز واریانس در سطح یک درصد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

میانگین حجم آب آبیاری برای هر تیمار طی فصل کشت اسفناج در جدول (۳) ارائه شده است. در مجموع، آبیاری جویچه‌ای در هشت نوبت و آبیاری قطره‌ای (سطحی و زیرسطحی) در ۱۴ نوبت انجام شد. مطابق جدول مشاهده می‌شود که آبیاری جویچه‌ای با ۱۰۶۶/۷ مترمکعب در هکتار بیش‌ترین مصرف آب را داشته است. اعمال آبیاری قطره‌ای سبب کاهش آب مصرفی شده؛

به‌نحوی‌که تیمارهای SDI و SSDI با مصرف ۷۸۷/۵ مترمکعب در هکتار، سبب کاهش ۲۶/۱۷ درصدی آب آبیاری نسبت به آبیاری جویچه‌ای شد. علت کاهش آب آبیاری اعمال‌شده تحت آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری سطحی را می‌توان کاهش تلفات از طریق تبخیر، نفوذ عمقی و رواناب دانست.

کوهی‌چله‌کران و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند آب آبیاری استفاده شده برای ذرت ارقام KSC 704 و KSC 410، تحت آبیاری جویچه‌ای به‌ترتیب برابر ۱۲۵۸۰ و ۱۰۳۴۰ مترمکعب در هکتار و تحت آبیاری قطره‌ای نواری برابر ۷۹۰۵ و ۶۷۶۵ مترمکعب در هکتار بود که کاهشی برابر ۳۷/۱۶ و ۳۴/۵۷ درصد را نشان می‌دهد. رحیمی‌پول و همکاران (۱۴۰۰) حجم آب آبیاری استفاده‌شده برای برنج را تحت آبیاری سطحی ۸۴۳۱ مترمکعب در هکتار و تحت انواع آبیاری قطره‌ای بین ۶۰۰۹ تا ۶۶۲۲ مترمکعب در هکتار گزارش کردند. همچنین، خرمیان و ظریفی‌نیا (۱۳۹۷) برای کشت هندوانه در استان خوزستان، آب آبیاری اعمال‌شده تحت آبیاری قطره‌ای نواری نسبت به آبیاری جویچه‌ای را ۵۹ درصد کم‌تر گزارش کردند. در پژوهش شاهین‌رخسار و اسدی (۱۳۹۲) نیز آب آبیاری استفاده‌شده برای کشت سویا در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان با کاربرد سامانه آبیاری قطره‌ای نواری، ۳۳ درصد کم‌تر از آبیاری جویچه‌ای بود.

جدول ۳- حجم آب آبیاری هر تیمار در فصل کشت

تیمار	حجم آب آبیاری مترمکعب در هکتار
FI	۱۰۶۶/۷
SDI	۷۸۷/۵
SSDI	۷۸۷/۵

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های مربوط به وزن اجزای گیاه اسفناج در جدول‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است. مطابق جدول (۴)، تیمار آبیاری بر وزن تر ریشه، وزن تر کل، وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ و وزن خشک کل دارای اثر معنی‌دار در سطح پنج درصد بوده است. همچنین اثر تیمار آبیاری بر وزن تر برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بوده درحالی‌که وزن تر ساقه در اثر تیمار آبیاری تغییر معنی‌داری نداشته است.

مطابق جدول (۵)، بیش‌ترین وزن تر برگ با ۱۹/۸۸ گرم در بوته در تیمار SDI حاصل شد درحالی‌که کم‌ترین وزن تر برگ با ۱۱/۸۷ گرم در بوته مربوط به تیمار SSDI بود. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان وزن برگ خشک نیز با ۲/۹۱ و ۱/۴۶ گرم در بوته به‌ترتیب مربوط به تیمارهای SDI و FI بود. وزن تر و خشک برگ در تیمار FI به‌ترتیب ۱۵/۴۸ و ۱/۴۶ گرم در بوته بود که نسبت به تیمار SDI کاهشی ۲۲/۱۳ و ۴۹/۸۳ درصدی را نشان می‌دهد. بندیان و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی ضمن کشت اسفناج (رقم Virofly) در گلخانه دانشگاه فردوسی مشهد، وزن تر برگ را ۲۵/۹۳ گرم در بوته ثبت نمودند.

مقدار بیشینه وزن تر و خشک کل نیز به‌ترتیب با ۳۲/۱۵ و ۴/۸۸ گرم در بوته در تیمار SDI و کمینه آن با ۲۰/۷۶ و ۲/۹۹ گرم در بوته تحت تیمار SSDI به‌دست آمد. یاووز و همکاران (۲۰۲۲) با ارزیابی اثر شوری آب آبیاری بر عملکرد اسفناج گلخانه‌ای، وزن خشک کل اسفناج تحت آبیاری با هدایت الکتریکی ۱/۵۰ دسی‌زیمنس بر متر را ۴/۶۲ گرم در بوته گزارش کردند.

در مجموع، آبیاری قطره‌ای سطحی (SDI) در تمامی هشت ویژگی مربوط به وزن بالاترین مقدار را ثبت کرد درحالی‌که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SSDI) در شش مورد از این ویژگی‌ها پایین‌ترین مقدار را داشت. در برخی پژوهش‌های دیگر نیز برتری عملکرد محصول تحت آبیاری قطره‌ای سطحی نسبت به روش‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری جویچه‌ای گزارش شده است. باغانی و همکاران (۱۳۹۱) عملکرد سیب‌زمینی تحت آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی را به‌ترتیب ۲۹/۹۳ و ۲۴/۱۲ تن در هکتار گزارش نموده و این اختلاف را در سطح پنج درصد معنی‌دار توصیف نمودند. محمدخانی و همکاران (۱۳۹۹) اثر سطوح مختلف تنش آبی بر ذرت تحت آبیاری قطره‌ای نواری سطحی و زیرسطحی را بررسی و گزارش

کردند عملکرد دانه ذرت در شرایط بدون تنش در آبیاری قطره‌ای سطحی برابر ۲۲/۳۳ تن در هکتار و در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برابر ۲۲/۳۱ تن در هکتار بوده است. در پژوهش سزن و همکاران (۲۰۱۴) عملکرد فلفل قرمز تحت آبیاری قطره‌ای در سال اول و دوم آزمایش به‌ترتیب ۴۴۱۷۰ و ۴۷۷۹۰ کیلوگرم در هکتار و تحت آبیاری جویچه‌ای ۳۵۵۹۰ و ۴۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بود.

پژوهش‌های یادشده که نشان‌دهنده برتری عملکرد محصول تحت آبیاری قطره‌ای سطحی نسبت به زیرسطحی هستند، بر روی گیاهانی انجام شده‌اند که عملکرد آن‌ها حاصل رشد زایشی (گلدهی) است. در آبیاری قطره‌ای سطحی رشد زایشی و در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی رشد رویشی (رشد بخش بالایی گیاه، شامل ساقه و برگ‌ها) گیاه شاخص‌تر است (زاغیان و نوری، ۱۳۹۵). عملکرد گیاه اسفناج حاصل رشد رویشی است و محصول باید پیش از وقوع رشد زایشی برداشت شود زیرا گلدهی اسفناج منجر به کاهش بازارپسندی آن می‌شود؛ بنابراین دلیل عملکرد بالاتر اسفناج تحت آبیاری قطره‌ای سطحی با دلیل مطرح‌شده برای محصولاتی همچون سیب‌زمینی، ذرت و فلفل قرمز متفاوت است. گیاه اسفناج، علاوه بر کمبود آب، نسبت به رطوبت مداوم و بیش از اندازه نیز حساس بوده و دچار کاهش عملکرد می‌شود (پوزش‌شیرازی و رخشنده‌رو، ۱۳۸۷). در آبیاری قطره‌ای سطحی، اگرچه میزان تبخیر از سطح خاک نسبت به آبیاری سطحی کاهش می‌یابد اما همچنان مقداری تلفات به‌صورت تبخیر از سطح خاک رخ می‌دهد. با این وجود در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌دلیل عدم وجود تلفات تبخیر و نفوذ عمقی (با توجه به کارگذاری نوار در عمق کم نسبت به سطح خاک) و همچنین دریافت آب آبیاری یکسان با آبیاری قطره‌ای سطحی، رطوبت خاک نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی بیش‌تر بوده و به‌نظر می‌رسد تداوم رطوبت بالا منجر به کاهش عملکرد اسفناج شده است.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های مورد بررسی اسفناج در تیمارهای روش‌های آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		وزن تر ریشه	وزن تر ساقه	وزن تر برگ	وزن تر کل	وزن خشک ریشه	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	وزن خشک کل
تکرار	۴	۰/۲۵^{ns}	۵/۸۴^{ns}	۴/۳۱^{ns}	۱۲/۹۵^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۰/۳۱^{ns}	۱/۰۱^{ns}
تیمار آبیاری (I)	۳	۱/۸۳*	۱۰/۷۸^{ns}	۲۴۷/۷۰**	۳۴۴/۴۸*	۰/۰۸*	۰/۵۵*	۲/۳۷*	۳/۹۱*
خطای I	۱۲	۱/۴۴	۲۱/۱۲	۵۹/۲۶	۹۲/۰۳	۰/۰۴	۰/۴۴	۲/۲۷	۴/۳۵
ضریب تغییرات (٪)		۲۲/۰۰	۲۲/۹۰	۲۲/۷۲	۱۶/۰۰	۲۸/۰۰	۲۳/۶۰	۲۲/۲۷	۲۶/۴۲

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد و ns بدون اثر معنی‌دار می‌باشند

جدول ۵- نتایج میانگین ویژگی‌های مورد بررسی اسفناج در تیمارهای روش‌های آبیاری

تیمار آبیاری	وزن تر ریشه	وزن تر ساقه	وزن تر برگ	وزن تر کل	وزن خشک ریشه	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	وزن خشک کل
	گرم در بوته							
FI	۱/۱۷^{b}	۸/۰۸^{a}	۱۵/۴۸^{b}	۲۴/۷۳^{b}	۰/۲۶^{b}	۱/۲۹^{ab}	۱/۴۶^{b}	۳/۰۱^{b}
SDI	۱/۹۸^{a}	۱۰/۲۹^{a}	۱۹/۸۸^{a}	۳۲/۱۵^{a}	۰/۵۲^{a}	۱/۴۵^{a}	۲/۹۱^{a}	۴/۸۸^{a}
SSDI	۱/۴۸^{b}	۷/۴۱^{a}	۱۱/۸۷^{b}	۲۰/۷۶^{b}	۰/۲۳^{b}	۰/۹۲^{b}	۱/۸۴^{ab}	۲/۹۹^{b}

ستون‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری (آزمون دانکن در سطح پنج درصد)، تفاوت معنی‌داری ندارند

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های هشت مورد دیگر از ویژگی‌های مربوط به گیاه اسفناج در جدول‌های (۶) و (۷) ارائه شده است. بر این اساس، طول ریشه در تیمار FI به‌طور میانگین برابر ۱۰/۶۰ سانتی‌متر بود. با اعمال آبیاری قطره‌ای، طول ریشه در تیمارهای SDI و SSDI به‌ترتیب به ۱۴/۹۵ و ۱۴/۶۷ سانتی‌متر افزایش یافت اما این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. در آبیاری قطره‌ای آب به‌صورت مداوم و جزئی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و بنابراین ریشه گیاه برای جذب آب و مواد غذایی گسترش‌یافته و عمیق‌تر می‌شود (نامداریان و همکاران، ۱۳۹۹).

اثر تیمار آبیاری بر ویژگی‌های طول ساقه و طول کل نیز معنی‌دار نبوده است. بیش‌ترین طول ساقه با ۲۷/۴۹ سانتی‌متر مربوط به تیمار FI بود اما میزان بیشینه طول کل با ۳۹/۸۹ سانتی‌متر در تیمار SDI ثبت شد. مقایسه نتایج با سایر پژوهش‌ها، نشان‌دهنده رشد طولی مناسب اسفناج کشت‌شده در این پژوهش است. دهقان و همکاران (۱۴۰۰) طی پژوهشی که با هدف ارزیابی اثر کم‌آبیاری با آب‌شور بر عملکرد و صفات رویشی گیاه اسفناج (رقم Viroflay) در گلخانه‌ای واقع در کاشمر استان خراسان رضوی (اقلیم خشک) انجام شد، طول ساقه اسفناج در تیمار شاهد (آبیاری کامل با هدایت الکتریکی ۰/۷۵ دسی‌زیمنس بر متر) را ۲۰/۷۵ سانتی‌متر گزارش نمودند. همچنین، در پژوهش جمالی و همکاران (۱۳۹۸) طول کل اسفناج گلخانه‌ای برابر ۲۴/۰۰ سانتی‌متر بود. ارتفاع گیاهان به شرایط محیطی از جمله فراهم بودن آب کافی بستگی دارد. چنانچه آب به میزان مورد نیاز در دسترس گیاه قرار نگیرد، فشار تورژسانس سلول‌ها کاهش می‌یابد که این مورد با اثرگذاری بر طول سلول‌ها و تقسیم سلولی، در نهایت منجر به کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (رمضانی‌فر و همکاران، ۱۴۰۰). با توجه به ارتفاع مناسب اسفناج در این پژوهش، میزان آب آبیاری در هر سه تیمار روش آبیاری کافی بوده است.

تعداد برگ‌های اسفناج در هر بوته از ۱۱/۱ عدد در تیمار SDI تا ۱۲/۲ عدد در تیمار FI و تعداد برگ‌های پژمرده در هر بوته نیز از ۲/۶ عدد در تیمار SSDI تا ۲/۷ عدد در تیمار FI و SDI متغیر بود. اثر تیمارهای آبیاری بر تعداد برگ و تعداد برگ پژمرده گیاه اسفناج معنی‌دار نبود. اوکو و همکاران (۲۰۲۳)، دو رقم گیاه اسفناج شامل Eland و Bufflehead را در شرایط مزرعه و گلخانه تحت آبیاری دستی با آب‌پاش در شهر یولیش آلمان کشت نمودند. آن‌ها تعداد برگ‌های ارقام Eland و Bufflehead را به‌ترتیب در مزرعه هفت و هشت عدد و در گلخانه ۱۳ و ۱۸ عدد گزارش کردند. در پژوهش یاووز و همکاران (۲۰۲۲) نیز تعداد برگ‌های اسفناج گلخانه‌ای (تحت آبیاری با هدایت الکتریکی ۱/۵۰ دسی‌زیمنس بر متر)، برابر ۱۹ عدد بود. میزان کلروفیل در برگ‌های اسفناج نیز تحت تأثیر تیمارهای آبیاری دچار تغییر معنی‌داری نشد. بیش‌ترین میزان کلروفیل با ۰/۴۸۹ میلی‌گرم بر گرم مربوط به تیمار FI و کم‌ترین میزان آن با ۰/۳۲۰ میلی‌گرم مربوط به تیمار SSDI بود. رضایی‌نیک و همکاران (۱۴۰۰) نیز میزان کلروفیل اسفناج کشت‌شده در گلخانه دانشگاه اراک را ۱/۷۸۲ میلی‌گرم بر گرم محاسبه نمودند. شاخص برداشت برای تیمارهای FI، SDI و SSDI به‌ترتیب برابر ۶۵/۷۰، ۶۵/۸۹ و ۶۱/۵۷ درصد محاسبه شد که تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. پاروادا و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی که به‌منظور بررسی اثر کودهای مختلف بر رشد اسفناج صورت گرفت، شاخص برداشت اسفناج در تیمار شاهد (دریافت کود NPK) را طی سه سال تکرار پژوهش به‌ترتیب ۶۲، ۶۴ و ۶۳ درصد محاسبه نمودند. محمدخانی و همکاران (۱۳۹۹) نیز اعلام کردند شاخص برداشت ذرت در آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در شرایط بدون تنش آبی به‌ترتیب ۶۰/۴۷ و ۵۶/۶۶ درصد به‌دست آمده که اگرچه حاکی از برتری آبیاری قطره‌ای سطحی در این پارامتر است، اما این برتری از نظر آماری معنی‌دار نیست.

بهره‌وری آب در تیمار SDI با ۰/۶۱۳ کیلوگرم بر مترمکعب اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. بهره‌وری آب در تیمارهای FI و SSDI نیز به‌ترتیب برابر ۰/۳۵۳ و ۰/۳۹۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود. با وجود مصرف

آب آبیاری برابر در تیمارهای SDI و SSDI، عملکرد اسفناج در تیمار SDI بیش‌تر از SSDI بوده و بنابراین بهره‌وری آب نیز در این تیمار بالاتر محاسبه شد. یافته‌های این بخش از پژوهش با پژوهش مروانی (۱۴۰۰) تطابق دارد. او بهره‌وری آب آبیاری برای کشت گوجه‌فرنگی در آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای نواری را به‌ترتیب ۳/۸۶ و ۴/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه و این اختلاف را معنی‌دار گزارش کرد. رودبارانی و همکاران (۱۴۰۰) نیز بهره‌وری فیزیکی آب برای کشت لوبیا را تحت آبیاری قطره‌ای نواری، بارانی و جویچه‌ای به‌ترتیب ۰/۳۶، ۰/۳۵ و ۰/۲۲ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های مورد بررسی اسفناج در تیمارهای روش‌های آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		طول ریشه	طول ساقه	طول کل	تعداد برگ	تعداد برگ پژمرده	کلروفیل	شاخص برداشت	بهره‌وری آب
تکرار	۴	۲۰/۵۴^{ns}	۱۷/۰۰^{ns}	۵۳/۳۵^{ns}	۱۹/۳۷^{ns}	۰/۳۷^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۹/۲۷^{ns}	۰/۱۲^{ns}
تیمار آبیاری (I)	۳	۱۴/۴۶^{ns}	۳۲/۲۷^{ns}	۱۲/۶۰^{ns}	۱۱/۷۲^{ns}	۱/۸۴^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۲۹/۱۲^{ns}	۰/۲۳*
خطای I	۱۲	۵۵/۹۷	۸۴/۳۸	۱۲۴/۸۹	۴۷/۳۲	۲/۵۹	۰/۰۲	۳۷/۱۴	۰/۶۷
ضریب تغییرات (٪)		۱۴/۰۰	۱۴/۵۲	۱۱/۶۲	۱۶/۲۷	۱۴/۳۲	۱۱/۲۳	۲۱/۳۸	۱۹/۵۴

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد و ns بدون اثر معنی‌دار است

جدول ۷- نتایج میانگین ویژگی‌های مورد بررسی اسفناج در تیمارهای روش‌های آبیاری

تیمار آبیاری	طول ریشه	طول ساقه	طول کل	تعداد برگ	تعداد برگ پژمرده	کلروفیل	شاخص برداشت	بهره‌وری آب
	سانتی‌متر	سانتی‌متر	سانتی‌متر	-	-	میلی‌گرم بر گرم	درصد	کیلوگرم بر مترمکعب
FI	۱۰/۶۰^{a}	۲۷/۴۹^{a}	۳۸/۰۹^{a}	۱۲/۲^{a}	۲/۷^{a}	۰/۴۸۹^{a}	۶۵/۷۰^{a}	۰/۳۵۲^{b}
SDI	۱۴/۹۵^{a}	۲۴/۹۴^{a}	۳۹/۸۹^{a}	۱۱/۱^{a}	۲/۷^{a}	۰/۴۱۱^{a}	۶۵/۸۹^{a}	۰/۶۱۳^{a}
SSDI	۱۴/۶۷^{a}	۲۱/۳۷^{a}	۳۶/۰۴^{a}	۱۱/۸^{a}	۲/۶^{a}	۰/۳۲۰^{a}	۶۱/۵۷^{a}	۰/۳۹۲^{b}

ستون‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری (آزمون دانکن در سطح پنج درصد)، تفاوت معنی‌داری ندارند

نتیجه‌گیری

نظر به بحران فزاینده آب، این پژوهش با هدف ارزیابی و مقایسه اثرات آبیاری جویچه‌ای، قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر عملکرد و اجزای عملکرد اسفناج در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک اهواز انجام شد. بر اساس نتایج، آب آبیاری اعمال‌شده در آبیاری جویچه‌ای برابر ۱۰۶۶/۷ مترمکعب در هکتار و در آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی برابر ۷۸۷/۵ مترمکعب در هکتار بود. در تیمارهای FI، SDI و SSDI عملکرد گیاه (مجموع وزن تر برگ و ساقه) به‌ترتیب برابر ۲۳/۵۶، ۳۰/۱۷ و ۱۹/۲۸ گرم در بوته و بهره‌وری آب آبیاری برابر ۰/۳۵۳، ۰/۶۱۳ و ۰/۳۹۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود؛ بنابراین، آبیاری قطره‌ای سطحی دارای برتری معنی‌دار نسبت به دو روش آبیاری دیگر بود و بالاترین مقادیر عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری اسفناج در این روش حاصل شد. در پژوهش حاضر، دور آبیاری و میزان آب آبیاری اعمال‌شده برای دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی یکسان بود درحالی‌که تلفات تبخیر و نفوذ عمقی در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی کم‌تر است؛ بنابراین، با توجه به حساسیت اسفناج نسبت به رطوبت مداوم و بیش از اندازه،

به‌نظر می‌رسد تداوم رطوبت بالا منجر به کاهش عملکرد اسفناج در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی شده است. عملکرد محصول در آبیاری جویچه‌ای بیش‌تر از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بود اما بهره‌وری آب در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بالاتر بود، اگرچه این دو تیمار تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. اثر تیمار آبیاری بر ویژگی‌های طول ریشه، طول ساقه، طول کل، تعداد برگ، تعداد برگ پژمرده، میزان کلروفیل برگ و شاخص برداشت معنی‌دار نبود. از نظر مدیریتی، چنانچه بهره‌وری آب هدف باشد، آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری جویچه‌ای برای کشت اسفناج مناسب‌تر است. در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، کارگذاری نوارها در زیر خاک با تحمیل هزینه حفاری موجب افزایش هزینه تولید محصول می‌شود. همچنین، این روش آبیاری معضلاتی مانند جمع‌آوری نوارها در پایان فصل به همراه داشته و باقی‌مانده نوارها نیز مشکلاتی را برای ادوات زراعی در کشت‌های بعد ایجاد خواهد کرد. با در نظر گرفتن مشکلات اجرایی آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از یک طرف و برتری عملکرد اسفناج تحت آبیاری قطره‌ای سطحی نسبت به زیرسطحی از طرفی دیگر، استفاده از روش آبیاری قطره‌ای سطحی برای کشت اسفناج توصیه می‌شود.

تشکر وقدردانی

این مقاله از رساله دوره دکترای تخصصی در دانشکده مهندسی آب و محیطزیست دانشگاه شهید چمران اهواز استخراج شده است. بدین وسیله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (GN: SCU. WI98.280) تشکر و قدردانی می‌گردد.

فهرست منابع

۱. باغانی، ج.، علیزاده، ا.، و فریدحسینی ع. ۱۳۹۱. اثر آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر عملکرد کمی و کیفی در زراعت سیب‌زمینی. مجله آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۶، شماره ۳، صفحه‌های ۲۳۸ تا ۲۴۴.

۲. بی‌نام. ۱۳۹۹. توصیه‌های ساده برای مصرف آب. وزارت نیرو. گزارش دفتر مدیریت مصرف و ارتقای بهره‌وری آب و آبفا. تهران. صفحه‌های ۴ تا ۵.

۳. بی‌نام. ۱۴۰۰. آمارنامه هواشناسی. سازمان هواشناسی کشور. تهران. ایران.

۴. پوزش‌شیرازی، م.، و رخشنده‌رو، م.، ۱۳۸۷. بررسی اثرات رژیم آبیاری، تراکم بوته و روش کشت بر عملکرد گیاه اسفناج (Spinacia Oleracea L.) (مطالعه موردی: استان بوشهر). نشریه آب‌وخاک، شماره ۲۲، جلد ۲، صفحه‌های ۱۸۷ تا ۱۹۸.

۵. پهلوانی، ع.، ابراهیمیان، ح.، و عباسی، ف.، ۱۴۰۱. تأثیر محل کارگذاری مالچ پلاستیکی در آبیاری جویچه‌ای بر بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای. مجله پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۳۶، شماره ۱، صفحه‌های ۹۳ تا ۱۰۴.

۶. جعفری، م س.، نوری، ح.، ابراهیمیان، ح.، لیاقت، ع م.، و سوهانی، ی.، ۱۴۰۰. بررسی تأثیر توأمان مقادیر مختلف آب آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد و بهره‌وری ذرت در آبیاری قطره‌ای. مجله مدیریت آب و آبیاری، جلد ۱۱، شماره ۴، صفحه‌های ۶۶۹ تا ۶۸۲.

۷. جعفری، م م.، اوجاقلو، ح.، و ابراهیمیان، ح.، ۱۴۰۱. ارزیابی عملکرد روش‌های برآورد ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف در آبیاری جویچه‌ای با جریان موجی. فصلنامه دانش آب‌وخاک، جلد ۳۲، شماره ۴، صفحه‌های ۱۷ تا ۳۲.

۸. جلینی، م.، سبحانی، ع.، و کریمی، م.، ۱۳۹۳. مزیت کاربرد آبیاری قطره‌ای (نواری) زیرسطحی در کشت گوجه‌فرنگی تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری. نشریه مدیریت آب در کشاورزی، جلد ۱، شماره ۱، صفحه‌های ۱۳ تا ۲۰.

۹. جمالی، ص.، انصاری، ح.، و صالح‌نیا، ن.، ۱۴۰۰. تحلیل بهره‌وری اقتصادی آب و کود نیتروژن در آبیاری جویچه‌ای یک در میان برای کشت کینوا. نشریه مدیریت آب در کشاورزی، جلد ۸، شماره ۲، صفحه‌های ۱ تا ۱۴.

۱۰. جمالی، ص.، سجادی، ف.، و هزارجریبی، ا.، ۱۳۹۸. امکان‌سنجی استفاده از آب دریای خزر جهت آبیاری گیاه اسفناج (Spinacia oleracea L.). مجله مدیریت آب و آبیاری، جلد ۹، شماره ۲، صفحه‌های ۲۶۳ تا ۲۷۵.

۱۱. خرمیان، م.، و ظریفی‌نیا، ن.، ۱۳۹۷. اثر مقادیر آبیاری قطره‌ای تیپ و آبیاری سطحی برنامه‌ریزی‌شده بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب دو رقم هندوانه در خوزستان. فصلنامه علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۴۱، شماره ۱، صفحه‌های ۷۳ تا ۸۴.

۱۲. خشائی، ف.، بهمنش، ج.، رضاوردی‌نژاد، و.، و آزاد، ن.، ۱۳۹۸. تأثیر مقدار آبیاری و تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی. مجله پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۳۳، شماره ۴، صفحه‌های ۶۰۱ تا ۶۱۲.

۱۳. دهقان، ه.، مکاری، م.، محمدی، م.، و رمضانی‌مقدم، ج.، ۱۴۰۰. اثر کم‌آبیاری با آب شور بر عملکرد و صفات رویشی گیاه اسفناج (Spinacia Oleraceae L.) در یک اقلیم خشک. مجله مهندسی آبیاری و آب ایران، شماره ۱۲، جلد ۴۶، صفحه‌های ۹۲ تا ۱۱۰.

۱۴. رحیمی‌پول، م.، اکبری‌نودهی، د.، اسدی، ر.، باقری، ع.، و شیردل‌شهمیری، ف.، ۱۴۰۰. تأثیر آبیاری قطره‌ای و غرقابی بر عملکرد و بهره‌وری آب در دو روش کشت برنج در مازندران. مجله پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۳۵، شماره ۴، صفحه‌های ۳۹۱ تا ۴۰۴.

۱۵. رضایی‌نیک، م.، عباسی‌فر، م ر.، و ولی‌زاده‌کاجی، ب.، ۱۴۰۰. بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاه اسفناج با کاربرد سلنیوم و نانو ذرات سبز سلنیوم. مجله تغذیه گیاهان باغی، شماره ۴، جلد ۲، صفحه‌های ۱۲۹ تا ۱۴۴.

۱۶. رمضانی‌فر، ح.، یزدان‌پناه، ن.، گل‌کار حمزیی‌یزد، ح ر.، طاوسی، م.، و محمودآبادی، م.، ۱۴۰۰. اثرات سطوح مختلف آب، شوری و کود نیتروژن بر شاخص‌های رشد و کارآیی مصرف آب اسفناج. مجله آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱۵، جلد ۳، صفحه‌های ۶۹۰ تا ۷۰۰.

۱۷. رودبارانی، ج.، مظفری، ج.، و محسنی‌موحد، س ا.، ۱۴۰۰. مقایسه عملکرد لوبیا در سامانه‌های آبیاری شیاری، تیپ و رین فلت. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، جلد ۲۸، شماره ۲، صفحه‌های ۱۹۵ تا ۲۱۰.

۱۸. زاغیان، گ.، و نوری، م.، ۱۳۹۵. مقایسه تأثیر روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی و آبیاری شیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای. مجموعه مقالات دومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۴-۲ شهریور ماه، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

۱۹. شاهین‌رخسار، پ.، و اسدی، م ا.، ۱۳۹۲. ارزیابی دو سیستم آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) و شیاری تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی. مجله پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۲۷، شماره ۱، صفحه‌های ۸۹ تا ۱۰۰.

۲۰. صدرقاین، س ح.، ۱۳۹۱. اثر سه روش آبیاری میکرو بر عملکرد و کارایی مصرف آب در زراعت خیار. نشریه آب‌وخاک، جلد ۲۶، شماره ۲، صفحه‌های ۵۱۵ تا ۵۲۲.

۲۱. عباسی، ف.، سهراب، ف.، و عباسی، ن.، ۱۳۹۵. ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. نشریه تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، جلد ۱۷، شماره ۶۷، صفحه‌های ۱۱۳ تا ۱۲۸.

۲۲. کوهی‌چله‌کران، ن.، دهقانی‌سانیج، ح.، نقوی، ه.، و کنعانی، ا.، ۱۳۹۹. بررسی تغییرات عملکرد و بهره‌وری آب در ارقام مختلف ذرت دانه‌ای (KSC 704 و KSC 410) تحت مدیریت آبیاری با روش‌های آبیاری قطره‌ای نواری و شیاری. مجله آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱۴، شماره ۵، صفحه‌های ۱۶۳۹ تا ۱۶۴۹.

۲۳. محمدخانی، ا.، پورغلام‌آمیجی، م.، سهرابی، ت.، و لیاقت، ع م.، ۱۳۹۹. اثر سطوح مختلف تنش آبی در دو سامانه آبیاری قطره‌ای نواری سطحی و زیرسطحی بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت. مجله مدیریت آب و آبیاری، جلد ۱۰، شماره ۲، صفحه‌های ۲۴۷ تا ۲۶۴.

۲۴. مروانی، م.، ۱۴۰۰. مقایسه روش آبیاری شیاری، قطره‌ای نواری(تیپ) و آبیاری قطره‌ای با بطری بر عملکرد اجزای گیاه گوجه‌فرنگی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲۵. مظلومی، ف.، و رونقی، ع م.، ۱۳۹۱. اثر شوری و فسفر بر رشد و ترکیب شیمیایی دو رقم اسفناج. نشریه روابط خاک و گیاه، جلد ۳، شماره ۹، صفحه‌های ۸۵ تا ۹۶.

۲۶. نامداریان، د.، ناصری، ع ع.، برومندنسب، س.، و پرویزی‌آلمانی، م.، ۱۳۹۹. اثر روش‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای روی شاخص‌های رشد و عملکرد نیشکر. مجله تحقیقات آب‌وخاک ایران، جلد ۵۱، شماره ۶، صفحه‌های ۱۵۱۵ تا ۱۵۲۷.

۲۷. نوروزی، م.، و زلفی‌باوریانی، م.، ۱۳۹۹. اثر روش‌های آبیاری قطره‌ای نواری سطحی و زیرسطحی بر عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی و توزیع نمک در پروفیل خاک. مجله پژوهش آب ایران، جلد ۱۴، شماره ۳۹، صفحه‌های ۷۷ تا ۸۶.

28. Adamu, T., Ayana, M., and Aregay, G., 2022. Optimization of furrow irrigation decision variables: the case of wonji shoa sugar estate. Ethiopia. Discover Water, 2(1):10.
29. Al-Ghobari, H. M., and Dewidar, A. Z., 2018. Integrating deficit irrigation into surface and subsurface drip irrigation as a strategy to save water in arid regions. Agricultural Water Management, 209: 55-61.
30. Allen, R. G., Pereira L. S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9): p.D05109.
31. Anonymous. 2020. United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization. United Nations World Water Development Report 2020: water and climate change.
32. Anonymous. 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Statistics. www.fao.org.
33. Ashraf, S., Nazemi, A., and AghaKouchak, A,. 2021. Anthropogenic drought dominates groundwater depletion in Iran. Scientific Reports, 11(1): 1-10.
34. Bai, M., Tao, Q., Zhang, Z., Lang, S., Li, J., Chen, D., Wang Y. and Hu X., 2023. Effect of drip irrigation on seed yield, seed quality and water use efficiency of Hedysarum fruticosum in the arid region of Northwest China. Agricultural Water Management, 278:108137.
35. Bandian, L., Sae, H., and Abedy, B., 2016. Effect of bentonite on growth indices and physiological traits of spinach (Spinacia oleracea L) under drought stress. Journal of Productivity and Development, 2(4): 1-6.
36. Enciso, J., Jifon, J., Anciso, J., and Ribera, L., 2015. Productivity of onions using subsurface drip irrigation versus furrow irrigation systems with an internet-based irrigation scheduling program. International Journal of Agronomy, 2015:1-6.

37. Kachwaya, D S., Chandel, J S., Vikas, G., and Khachi, B., 2016. Effect of drip and furrow irrigation on yield and physiological performance of strawberry (Fragaria× ananassa Duch.) cv. Chandler. Indian Journal of Plant Physiology, 21(3): 341-344.
38. Kamienski, C., Soininen, J P., Taumberger, M., Dantas, R., Toscano, A., Salmon Cinotti, T., Filev Maia, R., and Torre Neto, A., 2019. Smart water management platform: IoT-based precision irrigation for agriculture. Sensors, 19(2): 276.
39. Karimi, B., Karimi, N., Shiri, J., and Sanikhani, H., 2022. Modeling moisture redistribution of drip irrigation systems by soil and system parameters: regression-based approaches. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 36(1): 157-172.
40. Koksal, E S., Tasan, M., Artik, C., and Gowda, P., 2017. Evaluation of financial efficiency of drip-irrigation of red pepper based on evapotranspiration calculated using an iterative soil water-budget approach. Scientia Horticulturae, 226: 398-405.
41. Liu, Z., She, H., Xu, Z., Zhang, H., Li, G., Zhang, S., and Qian, W., 2021. Quantitative trait loci (QTL) analysis of leaf related traits in spinach (Spinacia oleracea L.). BMC Plant Biology, 21(1): 1-14.
42. Mittal, A., Brajpuriya, R., and Gupta, R., 2023. solar steam generation using hybrid nanomaterials to address global environmental water pollution and shortage crisis. Materials Today Sustainability, 21: 100319.
43. Mohammed, AT., and Irmak, S., 2022. Maize response to irrigation and nitrogen under center pivot, subsurface drip and furrow irrigation: Water productivity, basal evapotranspiration and yield response factors. Agricultural Water Management. 271: 107795.
44. Ors, S., and Suarez, D L., 2017. Spinach biomass yields and physiological response to interactive salinity and water stress. Agricultural Water Management, 190: 31-41.
45. Parwada, C., Chigiya, V., Ngezimana, W., and Chipomho, J., 2020. Growth and performance of baby spinach (Spinacia oleracea L.) grown under different organic fertilizers. International Journal of Agronomy, 2020:1-6.
46. Patra, K., Parihar, C M., Nayak, H S., Rana, B., Singh, V K., Jat, S L., Panwar, S., Parihar, M D., Singh, L K., Sidhu, H S., and Gerard, B., 2021. Water budgeting in conservation agriculture-based sub-surface drip irrigation in tropical maize using HYDRUS-2D in South Asia. Scientific Reports, 11(1): 1-17.
47. Sezen, S M., Yazar, A., Daşgan, Y., Yucel, S., Akyıldız, A., Tekin, S., and Akhoundnejad, Y., 2014. Evaluation of crop water stress index (CWSI) for red pepper with drip and furrow irrigation under varying irrigation regimes. Agricultural Water Management, 143: 59-70.
48. Thomas, R M., Verma, A K., Prakash, C., Krishna, H., Prakash, S., and Kumar, A., 2019. Utilization of Inland saline underground water for bio-integration of Nile tilapia (Oreochromis niloticus) and spinach (Spinacia oleracea). Agricultural Water Management, 222:154-160.
49. Ukwu, U., Agbo, J., Muller, O., Schrey, S., Nedbal, L., Niu, Y., Meier-Grull, M., and Uguru, M., 2023. Effect of organic photovoltaic and red-foil transmittance on yield, growth, and photosynthesis of two spinach genotypes under field and greenhouse conditions. Photosynthesis Research, 1-16.
50. Vidya, K N., Nagarajan, K., Kannan, B., Ramanathan, S. P., and, Duraisamy, M R., 2022. Modelling of wetting patterns for surface drip irrigation in dense clay soil. Journal of Applied and Natural Science, 14(2): 437-442.
51. Wang, X., Chen, Y., Fang, G., Li Z., and Liu, Y., 2022. The growing water crisis in Central Asia and the driving forces behind it. Journal of Cleaner Production, 378: 134574.
52. Yadeta, B., Ayana, M., Yitayew, M., and Hordofa, T., 2022. Performance evaluation of furrow irrigation water management practice under Wonji Shoa Sugar Estate condition, in Central Ethiopia. Journal of Engineering and Applied Science, 69(1): 1-23.
53. Yavuz, D., Kılıç, E., Seymen, M., Dal, Y., Kayak, N., Kal, Ü., and Yavuz, N., 2022. The effect of irrigation water salinity on the morph-physiological and biochemical properties of spinach under deficit irrigation conditions. Scientia Horticulturae, 304: 111272.

Effects of Different Irrigation Methods on Water Productivity, Yield, and Its Components in Spinach under Climatic Conditions of Ahvaz

Kh. Peyghan, R. Valipour, S. Boromandnasab, M. Albaji*, and N. Alemzadeh Ansari

Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. **khashayar.peyghan@ut.ac.ir**

Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. **Rezavalipour20@gmail.com**

Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. **boroomand@scu.ac.ir**

Associate Prof., Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. **m.albaji@scu.ac.ir**

Associate Prof., Department of Horticultural Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. **ansari_n@scu.ac.ir**

Received: June 2023 and Accepted: October 2023

Abstract

Due to the increasing growth of population and changes in lifestyle, the pressure on water and soil resources has increased, thus, proper management of these resources has vital importance. This research was conducted with the aim of evaluating and comparing the effects of furrow, surface, and subsurface drip irrigation on water productivity, yield, and yield components of spinach in arid and semi-arid climatic conditions of Ahvaz. For this purpose, an experiment in the form of randomized complete blocks with three treatments of irrigation methods including furrow irrigation (FI), surface drip irrigation (SDI) and subsurface drip irrigation (SSDI) was done in three replications in the research farm of the Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, in 2021. According to the results, the amount of irrigation water used in the FI treatment was 1066 m^3/ha and in the SDI and SSDI it was 787 m^3/ha, which showed a decrease of 26.17%. In FI, SDI, and SSDI, the average yield of spinach plant (total fresh weight of leaves and stems) was equal to 23.56, 30.17 and 19.28 g and irrigation water productivity was 0.353, 0.613 and 0.392 kg/m^3, respectively. In both yield and irrigation water productivity, the SDI treatment had a significant advantage at 5% level compared to the other two treatments. The effects of irrigation treatment on the characteristics of root length, stem length, total length, number of leaves, number of fresh leaves, leaf chlorophyll content and harvest index were not significant. Generally, considering water productivity as criterion, surface drip irrigation is more suitable than furrow irrigation for spinach cultivation.

Keywords: Pressurized irrigation, Surface irrigation, Harvest index

* -Corresponding author's email: m.albaji@scu.ac.ir