

مقاله علمی - پژوهشی

بررسی برهمکنش سطوح آبیاری و بافت خاک بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه شاهی

صابر جمالی^۱، حسین بانزاد^{۲*} و عباس صفری زاده ثانی^۳

چکیده

یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده در تولید محصولات کشاورزی، کمبود آب آبیاری است. این پژوهش به منظور بررسی برهمکنش بافت خاک و سطوح آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه شاهی در سال ۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. پژوهش حاضر، به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و بر پایه‌ی کشت گلدانی بود. تیمارها شامل سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۶۶ و ۳۳ درصد ظرفیت زراعی) و سه بافت خاک (رس سیلتی، لوم رسی و لوم شنی) بود. بر اساس نتایج کاهش حجم آب مصرفی به میزان ۳۴ درصد و ۶۷ درصد به ترتیب منجر به کاهش ۱۲ و ۱۳/۲ درصدی تعداد برگ، ۸/۱ و ۸/۵ درصدی طول برگ، ۱۱/۱ و ۲۵ درصدی عرض برگ، ۷/۴ و ۱۶/۸ درصدی وزن خشک اندام هوایی و نسبت به تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) شد. بیشترین میزان ارتفاع، وزن تر اندام هوایی و عملکرد در واحد سطح به ترتیب با مقادیر ۱۶/۹ سانتی‌متر، ۱۰ گرم و ۵۶۵/۹ گرم در مترمربع در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و بافت خاک رس سیلتی (FC-SC) مشاهده شد. بیشترین مقدار بهره‌وری مصرف آب نیز با مقدار ۱/۷۸ کیلوگرم در مترمکعب در تیمار ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و رس سیلتی (FC-SC) به دست آمد. اعمال سطوح مختلف آبیاری سبب افزایش معنی‌دار در بهره‌وری مصرف آب شده است، به طوری که اعمال آبیاری به میزان ۳۳ و ۶۶ درصد FC سبب افزایش ۲۲/۶ و ۱۰/۵ درصدی بهره‌وری مصرف آب شده است. به طور کلی، گیاه شاهی نسبت به تنش خشکی حساس است، همچنین بافت مناسب برای این گیاه رس سیلتی است.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع، تنش خشکی، رس سیلتی، وزن خشک اندام هوایی، TDR

مقدمه

یک‌سو و کاهش منابع مهم مانند آب و زمین به دلیل توسعه شهرها و مراکز صنعتی از سوی دیگر باعث گردیده تا اهمیت استفاده بهینه از منابع و امکانات موجود دوچندان شود (Deng et al., 2016). آب از نهاده‌های مهم کشاورزی است که کیفیت و کمیت آن کیفیت و کمیت محصول تولیدشده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کمبود منابع آب مشکلات بزرگی مانند فقر غذایی را به دنبال خواهد داشت. برای حل این مشکل باید از روش‌های صحیح مدیریت آب بهره برد. با اعمال مدیریت‌های آگاهانه و به‌کارگیری فناوری‌های مهندسی آبیاری، می‌توان برای حل این مشکل اقدام کرد. کم‌آبیاری، تکنیکی است که در آن، مقدار آب مصرفی کمتر از آبیاری کامل است، به طوری که کم‌ترین اثرات سوء را بر رشد و عملکرد محصولات داشته و ضمن افزایش

انسان‌ها در طول سالیان دراز با مشکلاتی مانند محدودیت منابع و امکانات جهت تولید مواجه بوده‌اند. به طوری که در شرایط فعلی نیز با وجود توسعه علم و پیشرفت تکنولوژی بازهم این محدودیت‌ها پابرجا مانده است. افزایش روزافزون جمعیت از

^۱ دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۲ دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران (*نویسنده مسئول: Banejad@um.ac.ir)

^۳ دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۷

مختلف آبیاری بر روی نعنای فلفلی پرداخته و نتایج ایشان نشان داد که اعمال تیمارهای کم آبیاری (به میزان ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد ظرفیت زراعی) منجر به کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی شد. در پژوهش دیگری که به منظور بررسی اثر تنش آبی بر شاخص‌های رشد و کارایی مصرف آب گیاه اسفناج انجام شد تیمارها شامل سه سطح آبیاری (۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) بود. نتایج نشان داد که اعمال تنش آبی منجر به کاهش معنی‌دار ارتفاع و عملکرد گیاه شده است. همچنین بالاترین میزان کارایی در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده گردید (رضایی فر و همکاران، ۱۴۰۰). در پژوهش دیگری که حسونند و همکاران (۱۳۹۹) به منظور ارزیابی کاهش مصرف آب بر خصوصیات رشدی گیاه شاهی انجام دادند تیمارها شامل سه سطح آبیاری (۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) بود. نتایج این پژوهش نشان داد که کم آبی موجب کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک بوته، تعداد برگ، ارتفاع بوته، طول و عرض برگ شده است. در پژوهشی که به منظور بررسی تأثیر کم آبیاری بر خصوصیات رشدی گیاه اسفناج انجام شد تیمارها شامل ۴ سطح آبیاری (۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) بود. نتایج این پژوهش نشان داد که اعمال تنش آبی منجر به کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک اندام هوایی در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه شد؛ قابل ذکر است که در این صفات تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای ۱۰۰ و ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده نشد (شاهدی و همکاران، ۱۳۹۹). در پژوهشی که مکاری و همکاران (۱۳۹۸) به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر روی گیاه شلغم انجام دادند تیمارها شامل ۳ سطح آبیاری (۱۰۰ درصد، ۷۵ درصد و ۵۰ درصد نیاز آبی) بود. نتایج نشان داد که اعمال تنش خشکی منجر به کاهش معنی‌دار وزن زیست‌توده تر اندام هوایی و ارتفاع گیاه شد. در مطالعه‌ای دیگر بر روی گیاه شاهی، نتایج نشان داد که اعمال تیمارهای کم آبیاری منجر به کاهش زیست‌توده‌ی خشک گیاه می‌شود (اکبری و همکاران، ۱۳۹۶). نتایج محققین بر روی گیاه ریحان نشان داد که اعمال کم آبیاری منجر به کاهش ارتفاع، وزن تر و خشک برگ شد (نادریان فر و همکاران، ۱۳۹۴). در پژوهشی که به منظور بررسی اثر بافت‌های مختلف

راندمان آب آبیاری، حداکثر بازدهی محصول را به همراه دارد. کم آبیاری راهکاری در جهت مصرف بهینه آب است که در طی آن گیاه در طول دوره رشد خود با تنش آبی مواجه می‌شود. این تکنیک که در دوره‌ای معین یا در کل دوره رشد اعمال می‌شود، گسترش سطح زیر کشت و به حداکثر رساندن و یا تثبیت تولید محصولات یک منطقه راه به دنبال دارد (Mousavi et al., 2010). اعمال کم آبیاری از طریق کاهش هزینه‌های آب آبیاری و انرژی درآمد کشاورز را نیز افزایش می‌دهد. در این روش، اگرچه ممکن است تولید کاهش پیدا کند ولی این کاهش در برابر سود ناشی از صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری، کاهش هزینه‌های استحصال، انتقال، توزیع و ذخیره آن برای سایر محصولات معنی‌دار نیست. کم آبیاری در صورتی نتیجه‌بخش خواهد بود که به صورت آگاهانه و عالمانه صورت گیرد. منظور از کم آبیاری آگاهانه این است که کشاورز باید شناخت کاملی نسبت به گیاه داشته باشد و هر یک از مراحل رشد گیاه را به‌خوبی بشناسد و بداند کدام‌یک از مراحل چهارگانه رشد گیاه نسبت به تنش آبی حساس می‌باشند و کدام‌یک مقاوم. همچنین درصد کاهش آب آبیاری نیز از پارامترهای مهم است که تعیین آن بر عهده کشاورز و یا مدیر مزرعه است؛ بنابراین زمان اعمال و میزان کم آبیاری از مهم‌ترین مواردی هستند که باید مورد توجه قرار بگیرند. در ادامه به پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه کم آبیاری و بافت‌های مختلف خاک پرداخته می‌شود. در پژوهشی که به منظور بررسی اثر کم آبیاری بر روی گیاه شلغم انجام شد تیمارها شامل ۴ سطح آبیاری (۱۰۰ درصد، ۹۰ درصد، ۸۰ درصد و ۷۰ درصد آبیاری کامل) بود. نتایج پژوهش نشان داد که اعمال تنش منجر به کاهش معنی‌دار تعداد برگ، طول برگ، عرض برگ، ارتفاع و عملکرد گیاه شلغم شد (Ali et al., 2020). در پژوهشی که خلیل و یوسف به منظور بررسی اثر کم آبیاری بر روی گیاه شاهی انجام دادند تیمارها شامل سه سطح (آبیاری در هنگام ۸۵، ۵۵ و ۲۵ درصد تخلیه آب در دسترس) بودند. نتایج نشان داد اعمال تنش آبی منجر به کاهش تعداد برگ، ارتفاع و وزن تر و خشک گیاه گردید (Khalil and Yousef, 2014). جمالی و همکاران (۱۴۰۱) در مطالعه‌ای به بررسی سطوح

قرار می‌گیرد که دارای بیشترین مقدار چربی، پتاسیم و ویتامین‌های A و B2 است (یوسفی‌زاد و همکاران، ۱۳۹۲). با توجه به اهمیت اقتصادی گیاه شاهی و تحقیقات اندکی که در زمینه اثر کم‌آبیاری و بافت‌های مختلف خاک بر گیاه شاهی انجام شده، هدف از این انجام این پژوهش بررسی اثر برهمکنش بافت خاک و سطوح آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه شاهی بود.

مواد و روش‌ها

مکان و زمان آزمایش

محل اجرای طرح

به‌منظور بررسی اثر برهمکنش بافت خاک و سطوح آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب گیاه شاهی پژوهشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۹ تیمار و ۳ تکرار در سال ۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد با موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی، ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۹۵۸ متر ارتفاع از سطح دریا انجام شد.

تیمارهای موردبررسی و مراحل کاشت و داشت

تیمارها شامل سه سطح آبیاری ۱۰۰، ۶۶ و ۳۳ درصد ظرفیت زراعی (FC) و سه نوع بافت خاک (رس سیلتی (SC)، لوم رسی (LC) و لوم شنی (LS)) بود. ترکیبات شیمیایی و فیزیکی هر یک از بافت‌های خاک موردبررسی در جدول (۱) ارائه شده است.

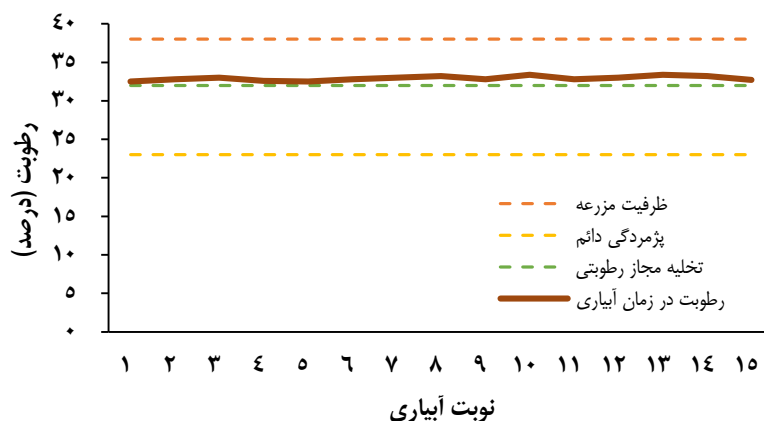
خاک بر خواص رشدی و عملکردی همیشه‌بهار انجام شد تیمارها شامل سه بافت خاک (سیلتی رسی، لوم رسی و لوم شنی) بود. نتایج نشان داد که بیشترین تعداد برگ و ارتفاع گیاه در بافت خاک لوم شنی مشاهده شد و تفاوت معنی‌داری بین بافت‌های لوم رسی و سیلتی رسی مشاهده نشد (جمالی و همکاران، ۱۴۰۰). در پژوهش دیگری که صفری‌زاده ثانی و همکاران (۱۴۰۰ الف) به‌منظور بررسی بافت‌های مختلف خاک بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه همیشه‌بهار انجام دادند تیمارها شامل سه بافت خاک (سیلتی رسی، لوم رسی و لوم شنی) بود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده بیشترین تعداد برگ در بافت لوم رسی مشاهده شد؛ قابل‌ذکر است که بین بافت‌های لوم رسی و لوم شنی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین در صفت ارتفاع، بیشترین میزان ارتفاع در بافت لوم شنی مشاهده شد. در صفت ارتفاع بین بافت‌های لوم رسی و لوم شنی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. شاهی گیاه یک‌ساله و خوراکی از تیره چلیپاییان است. قسمت‌های قابل‌استفاده آن شامل برگ، ریشه و تخم شاهی است. دوره رشد این گیاه کوتاه بوده و بین ۶ تا ۸ هفته است. سطح وسیعی از مزارع سبزی سیستان، ایران و بسیاری از کشورهای جهان از جمله هند، آمریکای شمالی و قسمتی از اروپا تحت کشت گیاهی شاه قرار دارند (Diwakar et al., 2010). ملین، شیرافزا، ادرار آور، نیروبخش، مسکن و ضد نفخ بودن از جمله خواص درمانی دانه‌های گیاه شاهی می‌باشند (فرحناکی و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین از دانه‌های این گیاه برای درمان اسهال و ناراحتی‌های پوستی ناشی از ناخالصی‌ها و سموم موجود در داخل خون و بزرگی مزمن طحال استفاده می‌شود (Gopalan et al., 2000). در ایران گیاه شاهی به‌عنوان سبزی مورد استفاده

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

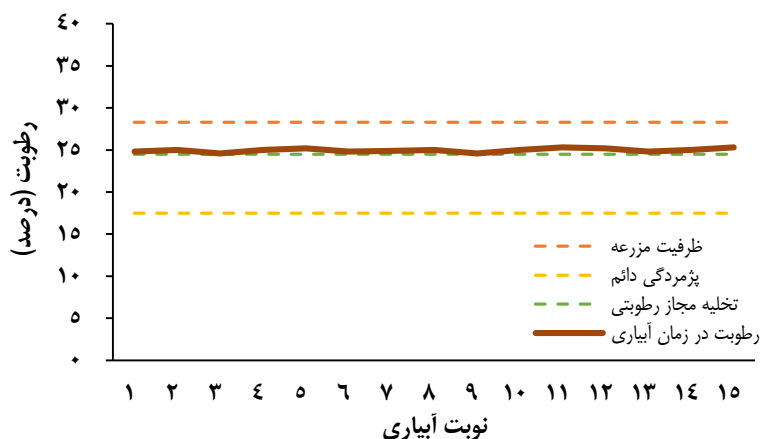
بافت خاک	شن	سیلت	رس	چگالی ظاهری	ظرفیت زراعی	هدایت الکتریکی	pH
رس سیلتی	۸	۵۰	۴۲	۱/۴۷	۳۸/۲	۱/۲۵	۷/۸۵
لوم رسی	۳۷	۳۳	۳۰	۱/۳۴	۲۸/۳	۱/۴۶	۷/۵۸
لوم شنی	۵۴	۳۰	۱۶	۱/۱	۲۴/۲	۱/۳۵	۷/۶۴

استفاده شده است، همچنین در گلخانه جهت تعیین مقدار آب آبیاری جهت رسیدن به مقدار محاسبه شده ظرفیت زراعی، سه گلدان هم وزن به مقدار یکسان از خاک پر شده (به وزن ۶/۵ کیلوگرم) و سپس اشباع گردید. پس از اشباع، گلدان‌ها به صورت روزانه توزین شده تا به یک وزن ثابت برسند و یا تغییرات وزن ناچیز باشد (وزنی برابر با ۸/۲، ۷/۶ و ۷/۴ کیلوگرم در بافت‌های رس سیلتی، لوم رسی و لوم شنی). در این صورت با استفاده از TDR رطوبت خاک اندازه‌گیری شده است. ضمناً مقدار آبیاری نیز با توزین گلدان‌ها و با هدف تأمین کمبود وزن گلدان نسبت به حالت ظرفیت مزرعه تعیین شد. مقدار تخلیه مجاز رطوبتی MAD در این پژوهش برابر با ۰/۳ در نظر گرفته شد (شکل‌های ۱ تا ۴)

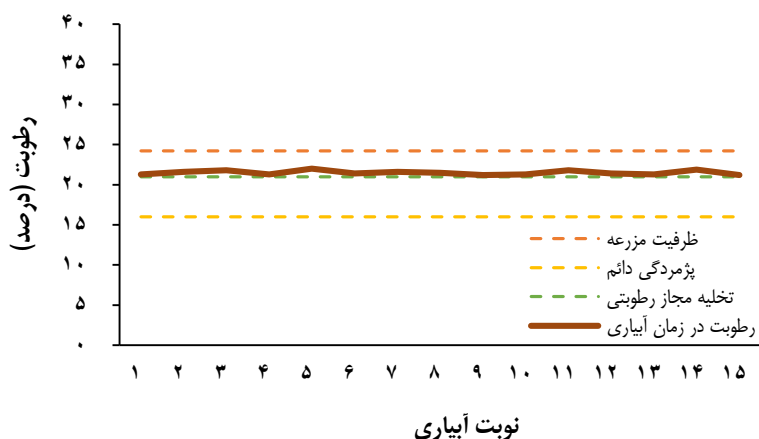
آب آبیاری مورد استفاده دارای هدایت الکتریکی ۱/۲ دسی زیمنس بر متر، pH برابر با ۸/۲ و SAR برابر با ۱/۷۳ بود. شایان ذکر است که جهت جلوگیری از اثر منفی نمک‌های تجمع یافته در منطقه توسعه ریشه در شرایط آبیاری با آب مورد استفاده در دو نوبت و هم‌زمان با آبیاری (در تاریخ‌های ۳ آذر و ۳ دی) آبشویی گلدان‌ها انجام شد. برای تعیین میزان آب آبیاری در این طرح از روش وزنی استفاده شد (Khorasaninejad et al., 2018). پس از مشخص شدن درصد وزنی رطوبت خاک‌ها در ظرفیت زراعی مزرعه، میزان رطوبت موجود در آن‌ها برای اعمال تیمارهای آبیاری مختلف مشخص شده و با قرائت روزانه دستگاه TDR۱ زمان آبیاری تعیین شد (جمالی و همکاران، ۱۳۹۸). جهت تعیین ظرفیت زراعی خاک از دستگاه صفحات فشاری



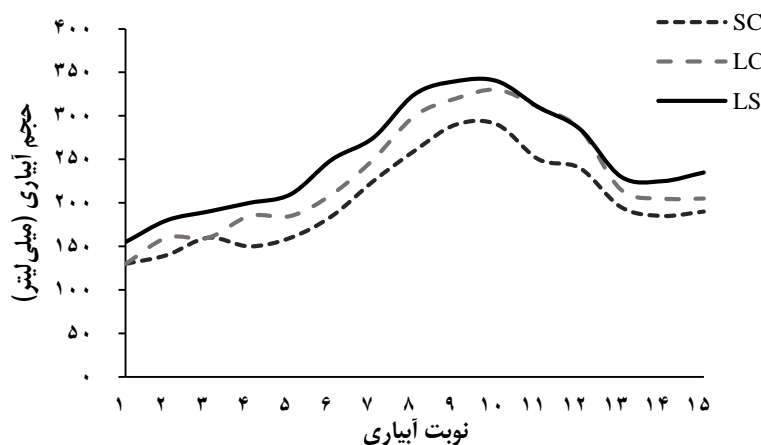
شکل ۱- رطوبت موجود در خاک در زمان آبیاری در بافت رس سیلتی



شکل ۲- رطوبت موجود در خاک در زمان آبیاری در بافت لوم رسی



شکل ۳- رطوبت موجود در خاک در زمان آبیاری در بافت لوم شنی



شکل ۴- مقدار آب آبیاری در آبیاری کامل در طول دوره رشدی گیاه

نمودار کالیبراسیون این دستگاه برای بافت‌های مختلف خاک در شکل ۵، ارائه شده است. در شکل ۵، پراکنش نقاط به این دلیل است که روزانه و در دو نوبت با دستگاه TDR و روش وزنی مقدار رطوبت، اندازه‌گیری شده و در یک دوره ۶۰ روزه این آزمایش انجام شده، ضمناً در روزهای ابتدایی که آبیاری انجام شده مطمئناً رطوبت اندازه‌گیری شده بالا بوده و در کاتالوگ دستگاه نیز ذکر شده در رطوبت‌های نزدیک به ۵۰ درصد این دستگاه کارایی مطلوبی نداشته و خطای محاسبات بالا است. ضمناً با توجه به اینکه اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای منتج به شکل ۵ شده، پراکنش داده نمی‌تواند کارایی دستگاه را زیر سؤال

لازم به ذکر است که رطوبت خاک در تیمارهای مختلف با TDR به صورت روزانه مورد پایش قرار گرفته و پس از رسیدن رطوبت موجود در خاک به رطوبت تعیین شده (منظور از رطوبت تعیین شده، میزان آب سهل‌الوصول بوده $(RAW=(FC-CEW)*MAD)$ که پس از رسیدن رطوبت اندازه‌گیری شده با TDR، آبیاری اعمال شد، برای هر یک از بافت‌های خاک مقدار رطوبت سهل‌الوصول تعیین شد. به منظور تعیین رطوبت در تیمارهای مختلف در طول روز دو بار در ساعت‌های ۸ و ۱۴، داده‌برداری انجام شده و آبیاری گیاهان نیز پس از قرائت مقدار رطوبت انجام شد. لازم به ذکر است که

گلخانه جهت مقابله با آفات استفاده شد. همچنین برای مقابله با علف‌های هرز طی دو مرحله و به‌صورت مکانیکی علف‌های هرز برداشت شد. در این پژوهش طی ۳ مرحله کود دهی با کود NPK با نسبت‌های ۲۰:۲۰:۲۰ اعمال شد. تاریخ کاشت و برداشت این گیاه به ترتیب ۱ آبان و ۲۵ دی ۱۳۹۷ بود. در این پژوهش ۲۰ بار آبیاری انجام شده که ۵ نوبت قبل از اعمال تیمارها (آب آبیاری در تمامی بافت‌های خاک و تیمارهای آبیاری یکسان بوده و در هر نوبت آبیاری ۶۰۰ میلی‌لیتر آبیاری انجام شد) و ۱۵ نوبت بعد از اعمال تیمارها بود. حجم کل آبیاری در این پژوهش برای تیمار آبیاری کامل (FC) در بافت‌های مختلف در شکل ۴ و جدول ۲، ارائه شده است. گلدان‌های مورد استفاده در این پژوهش دارای قطر ۱۵ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری بود.

جدول ۲. مقدار آب آبیاری (با لحاظ جز آنبسویی و مقدار آبیاری قبل از اعمال تیمارها) در تیمارهای مختلف

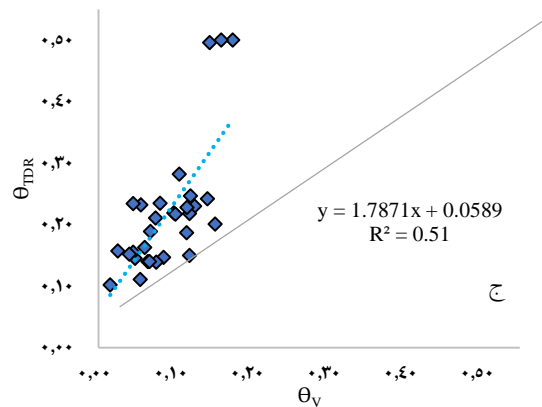
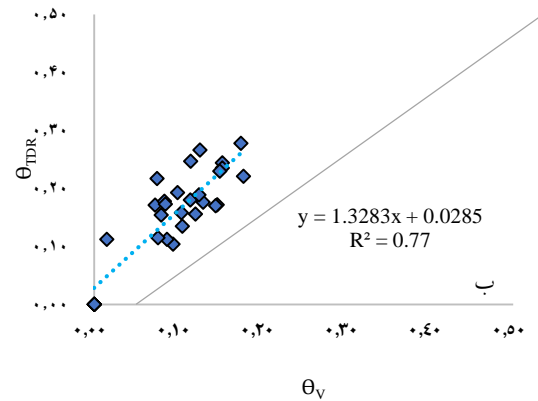
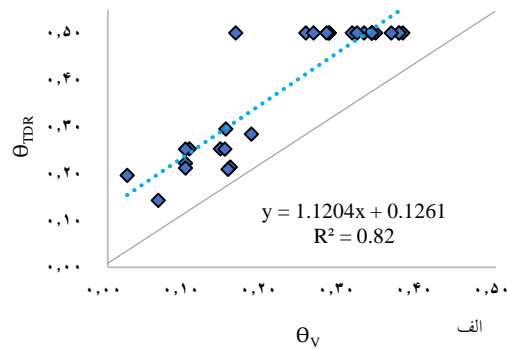
بافت	مقدار آب مورد استفاده (لیتر در گلدان)		
	۰/۳۳ FC	۰/۶۶ FC	FC
SC	۴/۸	۵/۸۱	۶/۸۵
LC	۴/۹۴	۶/۰۸	۷/۲۵
LS	۵/۰۴	۶/۲۸	۷/۵۶

مرحله برداشت و تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش صفاتی نظیر ارتفاع، تعداد برگ، طول برگ، عرض برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، عملکرد در واحد سطح و بهره‌وری آب اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع، طول و عرض برگ از خطکش استفاده شد. همچنین برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی، آن‌ها در پاکت‌های مخصوص قرار گرفته و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. برای محاسبه بهره‌وری مصرف آب از رابطه (۱) استفاده شد که در آن Y عملکرد محصول برحسب کیلوگرم و I مقدار آب مصرفی در طول دوره رشد برحسب مترمکعب است.

$$WP = \frac{Y}{I} \quad (1)$$

بررد. همچنین از آنجایی که روش وزنی نیز به‌عنوان دقیق‌ترین روش و مکمل استفاده از TDR در آزمایش به‌کاررفته است، نتایج آبیاری از دقت بالایی برخوردار است.



شکل ۵- نمودار کالیبراسیون TDR مورد استفاده در بافت (الف) رس (سیلتی، ب) لوم رسی و (ج) لوم شنی (صفری‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰ ب)

برای مقابله با آفت شته و مگس سفید سم‌پاشی با سموم دورسبان و کنفیدور به‌صورت دوره‌ای و با غلظت یک در هزار حجمی انجام شد. لازم به ذکر است که از کارت زرد نیز در

منجر به افزایش صفات مورد اندازه‌گیری شده است به طوری که استفاده از بافت رس سیلتی منجر به افزایش ۱۷/۶۴ درصدی تعداد برگ نسبت به بافت لوم رسی، ۱۶/۱ و ۱۰/۹ درصدی طول برگ نسبت به بافت لوم رسی و لوم شنی، ۱۷/۹ درصدی عرض برگ نسبت به بافت لوم رسی و ۵/۳ درصدی وزن خشک اندام هوایی گیاه شاهی نسبت به بافت لوم رسی شده است. یکی از دلایل این افزایش در بافت رس سیلتی را می‌توان افزایش نگهداشت آب نسبت به دو بافت دیگر (لوم رسی و لوم شنی) به دلیل وجود لوم و رس بیشتر در خاک دانست. به طوری که در این بافت خاک، آب مدت‌زمان بیشتری در خاک ذخیره شده و در شرایط یکسان آبیاری بافت رس سیلتی نسبت به دو بافت دیگر (لوم رسی و لوم شنی) حاوی مقدار آب بیشتری (رطوبت بالا) است که این مهم منجر به فراهمی آب مورد نیاز گیاه برای رشد و نمو می‌شود. بیشترین تعداد برگ (۶/۹۱) در تیمار FC و کمترین تعداد برگ (۶) در تیمار FC ۰/۳۳ مشاهده شد. در صفت تعداد برگ بین تیمارهای FC ۰/۶۶ و FC ۰/۳۳ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین بیشترین میزان طول برگ (۹/۸۱ سانتی‌متر) در تیمار FC و کمترین میزان طول برگ (۸/۹۸ سانتی‌متر) در تیمار FC ۰/۳۳ مشاهده شد. بین تیمارهای FC ۰/۶۶ و FC ۰/۳۳ در صفت طول برگ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در صفت عرض برگ بیشترین میزان (۳/۶ سانتی‌متر) در تیمار FC و کمترین میزان (۲/۷ سانتی‌متر) آن در تیمار FC ۰/۳۳ مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان (۹/۵ گرم) وزن خشک اندام هوایی در تیمار FC و کمترین میزان آن (۷/۹ گرم) در تیمار FC ۰/۳۳ مشاهده شد. اعمال تنش آبی منجر به کاهش تعداد برگ می‌شود که این مهم را می‌توان به اثر مستقیم آن بر تقسیم سلولی نسبت داد که ناشی از کاهش سنتز اسید نوکلئیک است که تجزیه آن را افزایش می‌دهد (Ashraf et al., 1996). اعمال تنش آبی منجر به پیری زودرس و همچنین ریزش برگ‌ها می‌شود که این مهم می‌تواند کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه را به دنبال داشته باشد (Faisal et al., 2000). یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش آماس است که منجر به کاهش رشد و نمو سلول‌ها به‌ویژه در برگ می‌شود

تجزیه و تحلیل داده‌ها (تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش LSD) با استفاده از نسخه ۹/۴ نرم‌افزار SAS و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (۳)، اثر ساده بافت خاک بر صفات تعداد برگ، طول برگ، ارتفاع، وزن تر اندام هوایی، عملکرد در واحد سطح و بهره‌وری مصرف آب در سطح احتمال یک درصد و بر صفات عرض برگ و وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. بر اساس این جدول اثر ساده میزان آبیاری بر صفات ارتفاع، عرض برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، عملکرد در واحد سطح و بهره‌وری مصرف آب در سطح احتمال یک درصد و بر صفات تعداد برگ و طول برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. همچنین طبق نتایج، اثر متقابل بافت خاک و میزان آبیاری بر صفات ارتفاع و بهره‌وری مصرف آب در سطح احتمال یک درصد و بر صفات تعداد برگ و وزن تر اندام هوایی و عملکرد در واحد سطح در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد.

بر اساس جدول مقایسه میانگین‌ها (۴) بیشترین تعداد برگ (۶/۶۷) به صورت مشترک در تیمارهای رس سیلتی و لوم رسی و کمترین تعداد برگ (۵/۶۷) در تیمار لوم شنی مشاهده شد. در صفت طول برگ بیشترین میزان (۱۰/۱ سانتی‌متر) در بافت رس سیلتی و کمترین میزان (۸/۷ سانتی‌متر) در بافت لوم رسی مشاهده شد. در این صفت بین بافت‌های لوم رسی و لوم شنی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین میزان (۳/۳۶ سانتی‌متر) عرض برگ در بافت رس سیلتی و کمترین میزان (۲/۸۵) آن در بافت لوم رسی مشاهده شد. بین بافت لوم شنی و رس سیلتی در صفت عرض برگ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در صفت وزن خشک اندام هوایی بیشترین میزان (۲/۱۷ گرم) در بافت رس سیلتی و کمترین میزان (۲/۰۶ گرم) آن در بافت لوم رسی مشاهده شد. در این صفت بین بافت‌های رس سیلتی و لوم شنی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش می‌توان گفت استفاده از بافت‌های سنگین‌تر خاک

۰/۶۶ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۶). در صفت وزن تر اندام هوایی نیز بیشترین میزان (۱۰ گرم) در تیمار FC-SC و کمترین میزان آن (۷/۶ گرم) در تیمار FC-LC ۰/۳۳ مشاهده شد. بین تیمارهای FC-LS، FC-SC ۰/۶۶ و FC-LC ۰/۶۶، FC-LS ۰/۶۶، FC-SC ۰/۳۳ و FC-LC ۰/۳۳ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۷). بیشترین میزان عملکرد در واحد سطح (۵۶۵/۹ گرم در مترمربع) در تیمار FC-SC و کمترین میزان آن (۴۳۰/۶ گرم در مترمربع) در تیمار FC-LC ۰/۳۳ مشاهده شد. همچنین بین تیمارهای FC-LS، FC-SC ۰/۶۶ و FC-LC ۰/۶۶، FC-LS ۰/۳۳، FC-LC ۰/۳۳ و FC-LS ۰/۳۳ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۸). بیشترین میزان بهره‌وری مصرف آب (۱/۷۸ کیلوگرم در مترمکعب) نیز در تیمار FC-SC ۰/۳۳ و کمترین میزان آن (۱/۱۸ کیلوگرم در مترمکعب) در تیمار FC-LC ۰/۳۳ مشاهده شد (شکل ۹).

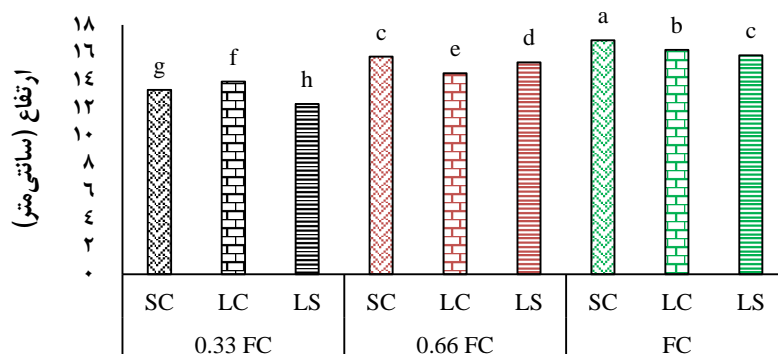
(Alishah et al., 2006). رشد و نمو گیاه به شرایط محیطی که گیاه در آن رشد می‌کند وابسته است. یکی از مهم‌ترین شرایط در دسترس بودن آب جهت رشد گیاه است. عدم تأمین آب کافی و اعمال تنش بر روی گیاه، منجر به کاهش فشار تورژسانس سلول‌ها می‌شود که با تأثیر بر تقسیم سلولی و طول سلول‌ها، رشد رویشی گیاه کاهش می‌یابد (Mortazaiejad, 2006). افزایش شدت تنش آبی منجر به افزایش آسزیک اسید در گیاه می‌شود که در نهایت کاهش رشد و نمو گیاه را به دنبال دارد (بهرام پور و همکاران، ۱۳۹۸). بر اساس نتایج مطالعات پیشین، اعمال تیمارهای کم‌آبیاری سبب کاهش در زیست‌توده‌ی گیاه و وزن تر اندام‌های هوایی شده است. نتایج این پژوهش با نتایج جمالی و همکاران (۱۴۰۱)، اکبری و همکاران (۱۳۹۶) و نادریان‌فر و همکاران (۱۳۹۴) که نشان دادند کم‌آبیاری سبب کاهش وزن تر و عملکرد گیاه شده است، مطابقت داشت. در صفت ارتفاع بیشترین میزان (۱۶/۹ سانتی‌متر) در تیمار FC-SC و کمترین میزان آن (۱۲/۳ سانتی‌متر) در تیمار FC-LC ۰/۳۳ مشاهده شد. در این صفت بین تیمارهای FC-SC و FC-LC

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه شاهی تحت تیمارهای مورد بررسی

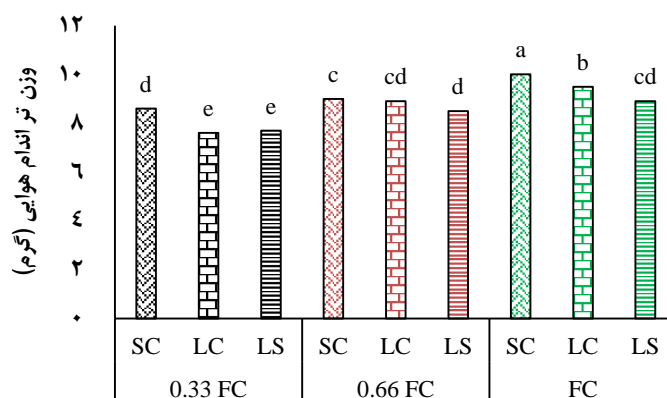
میانگین مربعات								منابع تغییرات	درجه آزادی
تعداد برگ	ارتفاع سانتی‌متر	طول برگ سانتی‌متر	عرض برگ سانتی‌متر	وزن تر اندام هوایی گرم	وزن خشک اندام هوایی گرم	عملکرد در واحد سطح گرم در مترمربع	بهره‌وری مصرف آب کیلوگرم در مترمکعب		
** ۴	** ۲/۰۸	** ۶/۱	* ۰/۹۳	** ۲/۱	* ۰/۰۳	** ۶۶۱۹/۸	** ۰/۱۹	۲	بافت خاک
* ۳/۰۸	** ۳۰/۳	* ۲/۶	** ۲/۶	** ۷	** ۰/۹۳	** ۲۲۴۵۰/۶	** ۰/۲۷	۲	میزان آبیاری
ns ۱/۳۳	** ۱/۶۶	ns ۰/۶۱	ns ۰/۱۲	* ۰/۲۶	ns ۰/۰۱	* ۸۲۰/۸	* ۰/۰۰۸	۲	بافت خاک * میزان آبیاری
۰/۶۹	۰/۰۶	۰/۵۴	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۰۱	۲۳۳/۱	۰/۰۰۲	۲۷	خطا
۱۳/۱	۱/۶	۷/۹	۱۲/۵	۳/۱	۴/۲	۳/۱	۳/۵		ضریب تغییرات

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده کم آبیاری و بافت خاک

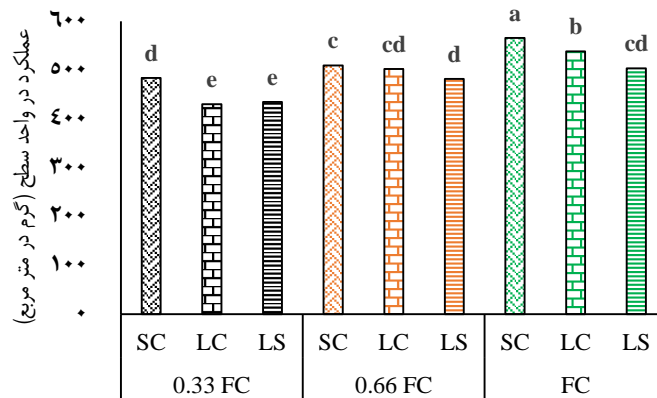
ترکیبات تیماری	تعداد برگ	طول برگ	عرض برگ	وزن خشک اندام هوایی
	-	سانتی متر	سانتی متر	گرم
رس سیلتی	۶/۶۷a	۱۰/۱a	۳/۳۶a	۲/۱۷a
لوم رسی	۶/۶۷a	۸/۷b	۲/۸۵b	۲/۰۶b
لوم شنی	۵/۶۷b	۹/۱b	۳/۳a	۲/۱۴a
LSD (۰/۰۵)	۰/۷	۰/۶	۰/۳	۰/۰۷
۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی	۶/۹۱a	۹/۸۱a	۳/۶a	۹/۵a
۶۶ درصد ظرفیت زراعی	۶/۰۸b	۹/۰۲b	۳/۲b	۸/۸b
۳۳ درصد ظرفیت زراعی	۶b	۸/۹۸b	۲/۷c	۷/۹c
LSD (۰/۰۵)	۰/۷	۰/۶	۰/۳	۰/۲



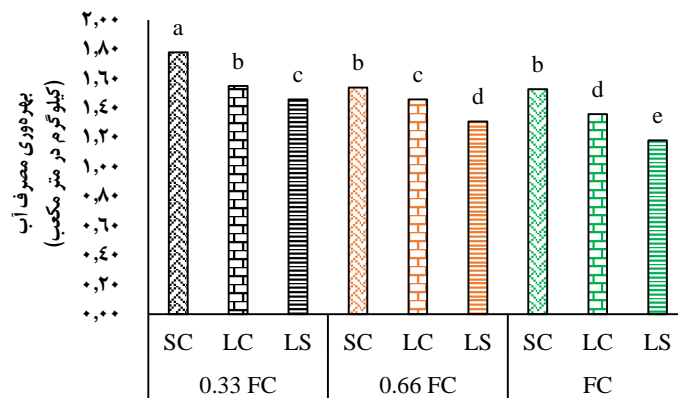
شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و بافت خاک در صفت ارتفاع گیاه شاهی



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و بافت خاک در صفت وزن تر اندام هوایی گیاه شاهی



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و بافت خاک در صفت عملکرد در واحد سطح گیاه شاهی



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و بافت خاک در صفت بهره‌وری مصرف آب گیاه شاهی

و وزن خشک اندام هوایی را به خود اختصاص داد. همچنین بیشترین میزان ارتفاع، وزن تر اندام هوایی و عملکرد در واحد سطح به ترتیب با مقادیر ۱۶/۹ سانتی‌متر، ۱۰ گرم و ۵۶۵/۹ گرم در مترمربع در تیمار اثر متقابل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و بافت خاک رس سیلتی مشاهده شد. بالاترین بهره‌وری نیز با مقدار ۱/۷۸ کیلوگرم در مترمکعب در تیمار اثر متقابل ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و رس سیلتی به دست آمد، همچنین کمترین مقدار آن نیز در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و بافت لوم شنی (FC-LS) با مقدار ۱/۱۸ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده شد. بر اساس نتایج فوق می‌توان گفت گیاه شاهی نسبت به تنش خشکی حساس بود و اعمال تنش منجر به کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه خواهد شد. همچنین بهترین بافت برای رشد

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌توان به این نتیجه رسید که اعمال تنش آبی منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد گیاه شاهی شده است. نتایج نشان‌دهنده روند نزولی صفات اندازه‌گیری شده است به‌طوری‌که اعمال تنش به میزان ۳۴ درصد و ۶۷ درصد به ترتیب منجر به کاهش ۱۲ و ۱۳/۲ درصدی تعداد برگ، ۸/۱ و ۸/۵ درصدی طول برگ، ۱۱/۱ و ۲۵ درصدی عرض برگ و ۷/۴ و ۱۶/۸ درصدی وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) شده است. بر اساس این نتایج بافت خاک مناسب جهت رشد بهتر گیاه شاهی بافت رس سیلتی است به‌طوری‌که بالاترین میزان از تعداد برگ، طول برگ، عرض برگ

L. sativum)، در شرایط گلخانه‌ای تحت تیمار سالیسیلیک اسید. دهمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار. ۶ صفحه. تیرماه. تهران.

رضائی فر، ح.، یزدان پناه، ن.، گل‌کار حمزیه یزد، ح. ر.، طاوسی، م. و محمودآبادی، م. ۱۴۰۰. اثرات سطوح مختلف آب، شوری و کود نیتروژن بر شاخص‌های رشد و کارایی مصرف آب اسفناج. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۵ (۳): ۶۹۰-۷۰۰.

شاهدی، ب.، بانژاد، ح.، گلدانی، م. و قلی زاده، م. ۱۳۹۹. بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر خصوصیات رشدی و بذر اسفناج (*Spinacia oleracea*) تحت شرایط کم‌آبیاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۴ (۵): ۱۵۳۸-۱۵۴۹.

صفری‌زاده ثانی، ع.، جمالی، ص. و بانژاد، ح. ۱۴۰۰. الف. بررسی اثر آبیاری با آب مغناطیسی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه همیشه‌بهار در بافت‌های مختلف کشت. پژوهش آب ایران. ۱۵ (۱): ۷۵-۸۵.

صفری‌زاده ثانی، ع.، جمالی، ص. و بانژاد، ح. ۱۴۰۰. ب. تأثیر آب مغناطیسی بر صحت اندازه‌گیری میزان رطوبت به‌وسیله‌ی دستگاه TDR در بافت‌های مختلف خاک. دانش آب و خاک. ۳۱ (۳): ۶۱-۷۲.

فرحناکی، ع.، عسکری، ح. و بختیاری، م. ۱۳۹۰. بررسی برخی خواص رئولوژیکی هیدروکلوئید دانه گیاه شاهی (*Lepidium sativum* L.). مهندسی بیوسیستم ایران. ۴۲ (۱): ۱۱۳-۱۲۰.

مکاری، م.، دهقان، ه. و عابدین پور، م. ۱۳۹۸. تأثیر هم‌زمان تنش شوری و خشکی بر ویژگی‌های مورفولوژیک و عملکرد شلغم. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۳ (۳): ۴۳۱-۴۴۳.

نادریان‌فر، م.، انصاری، ح.، عزیزی، م. و ضیائی، ع.ن. ۱۳۹۴. اثر کم‌آبیاری و کود در دو بافت خاک بر عملکرد و اجزای عملکرد ریحان. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹ (۳): ۳۶۶-۳۵۳.

یوسفی‌زاد، ل.، موسوی، م. ا. و بیگی، س. ۱۳۹۲. مروری بر خواص دارویی و ارزش تغذیه‌ای شاهی (*Lepidium*

بهتر گیاه شاهی بافت رس سیلتی است که منجر به افزایش عملکرد و اجزای آن نسبت به دو بافت دیگر (لوم رسی و لوم شنی) شده است. با عنایت به این موضوع که عملکرد این گیاه در شرایط تنش آبی به میزان ۳۳ درصد، کاهش زیادی نداشته و همچنین با توجه به کمبود آبی که در برخی مناطق وجود دارد، استفاده از تیمار کم‌آبیاری با قبول کاهش عملکرد در شرایط بهره‌گیری از خاک سیلتی رسی، در شرایط گلخانه‌ای پیشنهاد می‌شود.

منابع

اکبری، ز.، فاضلی رستم‌پور، م.، ضیابراهیمی، ل. و نارویی‌راد، م. ۱۳۹۶. مطالعه‌ی برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک شاهی در سطوح آبیاری و آسکوربیک اسید. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۱ (۲): ۲۸۲-۲۶۹.

بهرام‌پور، م.، دهستانی اردکانی، م.، شیرمردی، م. و غلام نژاد، ج. ۱۳۹۸. تأثیر بسترهای کشت مختلف و نانوکود پتاسیم بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک همیشه‌بهار زیر تنش خشکی. مجله علوم و فنون باغبانی ایران. ۲۰ (۱): ۶۵-۷۸.

جمالی، ص.، بانژاد، ح.، صفری‌زاده ثانی، ع. و عطاران، س. ۱۴۰۰. بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری بر خواص رشدی و عملکردی همیشه‌بهار در بافت‌های مختلف خاک. محیط‌زیست و مهندسی آب. ۱ (۷): ۱۱۹-۱۳۱.

جمالی، ص.، بانژاد، ح.، صفری‌زاده ثانی، ع. و هادی، ب. ۱۴۰۱. بررسی اثر سطوح آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه دارویی نعنا فلفلی تحت تنش شوری. علوم آب و خاک. ۲۶ (۱): ۱۴۶-۱۳۱.

جمالی، ص.، گلدانی، م. و زین‌الدین س. م. ۱۳۹۸. بررسی اثر تنش آبی دوره‌ای بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه کینوا (رقم NSRQC). آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳ (۶): ۱۶۹۷-۱۶۸۷.

حسنوند، ا.، زاهدی، ب. و مومیوند، ح. ۱۳۹۹. ارزیابی کاهش مصرف آب بر خصوصیات رشدی گیاه شاهی (*Lepidium*

- regimes. *Khartoum Journal of Agricultural Sciences*. 1(1): 137-151.
- Gopalan, C., Rama Sastri, B.V. and Balasubramanian, S.C. 2000. Nutritive value of Indian foods Hyderabad, India: National Institute of Nutrition, Indian Council of Medical Research.
- Khalil, S.E., and Yousef, R.M. 2014. Interaction effects of different soil moisture levels, arbuscular mycorrhizal fungi and three phosphate levels on: I-Growth, Yield and Photosynthetic Activity of Garden Cress (*Lepidium sativum* L.) plant. *International Journal of Advanced Research*. 2(6): 723-737.
- Khorasaninejad, S., Alizadeh Ahmadabadi, A. and Hemmati, K. 2018. The effect of humic acid on leaf morphophysiological and phytochemical properties of *Echinacea purpurea* L. under water deficit stress. *Scientia Horticulturae*. 239: 314-323.
- Mortazaeinejad, F. 2006. Study of some parameters of yield and proline in rice plants under NaCl salinity stress. *Agroecology Journal*. 2 (3): 93-98.
- Mousavi, S. F., Soltani-Gerdefaramarzi, S. and Mostafazadeh-Fard, B. 2010. Effects of partial rootzone drying on yield, yield components, and irrigation water use efficiency of canola (*Brassica napus* L.). *Paddy and Water Environment*. 8(2): 157-163.
- (*sativum*) و نعناع (*Mentha sativa*). بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران. ۵ صفحه. آبان ماه. شیراز.
- Ali, A., Salman, A., Khan, G.D., Khan, A.A., Hassan, S.S., Goheer, M.A., and Ahmed, S. 2020. Growth and yield response of turnip to different deficit irrigation levels and sowing dates under the agro-ecological conditions of Khyber Pakhtunkhwa. *Pakistan Journal of Agricultural Research*. 33(3): 480.
- Alishah, H.M., Heidari, R., Hassani, A. and Dizaji, A. 2006. Effect of water stress on some morphological and biochemical characteristics of purple basil. *J.Biol. Sci*. 6(4): 763-767.
- Ashraf, M.Y., Mazhar, H.L.N. and Khan, A.H. 1996. Effect of water stress on growth and yield of tomato. *Acta Hort*. 516: 41-45.
- Deng, G., Li, L. and Song, Y. 2016. Provincial water use efficiency measurement and factor analysis in China: Based on SBM-DEA model. *Ecological Indicators*. 69: 12-18.
- Diwakar, B.T., Dutta, P.K., Lokesh, B.R. and Naidu, K.A. 2010. Physicochemical properties of garden cress (*Lepidium sativum* L.) seed Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 87: 539-48.
- Faisal, E.A., Yagoub, S.O. and Elsheikh, E.A.E. 2000. Effects of mycorrhizal inoculation and phosphorus application on the nodulation, mycorrhizal infection and yield components of faba bean grown under two different watering

Investigating the Interaction Effect of Irrigation Levels and Different Soil Textures on Yield, Yield Components, and Water Productivity of Garden Cress (*Lepidium Sativum* L.)

S. Jamali¹ H. Banejad^{*2} and A. Safarizadeh-Sani³

Abstract

Irrigation water scarcity is one of the major limiting factors in agricultural production. This study was conducted to investigate the interaction effect of soil textures and irrigation levels on yield, yield components, and water productivity of Garden cress (*Lepidium sativum* L.) in the experimental research greenhouse at Ferdowsi University of Mashhad, during 2018. In this study we used a factorial experiment based on the completely randomized design with 3 replications. Treatments consisted of 3 levels of irrigation (0.33 FC, 0.66 FC, and FC) and 3 soil textures (silty clay, clay loam, and sandy loam). The result showed that decrease of the water irrigation consumption by 34 and 67% resulted in reduction of leaf numbers by 12 and 13.2%, leaf length (8.1 and 8.5%), leaf width (11.1 and 25%), and shoot dry weights (7.4 and 16.8%). The results showed that the highest of plant height, shoot fresh weights, and yield of garden cress by 16.9 cm, 10 g, and 565.9 g.m⁻² were observed in FC+silty clay treatments. The highest of water productivity was observed in 0.33 FC+ silty clay (by 1.78 Kg.m⁻³). Applying different levels of irrigation has caused a significant increase in water productivity, so that applying irrigation to the amount of 33 and 66% FC has increased this parameter by 22.6 and 10.5%. Also, garden cress is a sensitive plant under drought stress conditions and the best texture for this plant is silty clay texture.

Keywords: Drought stress, Height, Shoot dry weight, Silty clay, TDR

¹ PhD Candidate, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

² Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran (*Corresponding Author: banejad@um.ac.ir).

³ PhD Candidate, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 14 Jun 2022

Accepted: 18 Aug 2022

