



پژوهش آب در کشاورزی

Wra.areeo.ac.ir

ISSN: 2228-7140

ب / جلد ۳۵ / شماره ۳ / سال ۱۴۰۰

صفحه

عنوان

مقایسه روش قطره‌ای نواری با آبیاری سطحی و پایش شوری خاک در کشت گندم و ذرت آبیاری شده با آب لب شور.....۲۱۷
علی مختاران، پیمان ورجاوند، حسین دهقانی‌سازنج، شکراله آبه‌سالان، آذرخش عزیزی و علیرضا جعفرنژادی

برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی برنج رقم‌های کوهسار و هاشمی در سامانه‌های مختلف کشت.....۲۳۵
نوراله جلالی‌کوتنایی، علی شاهنظری، میرخالق ضیاءتبار احمدی، مجتبی خوش‌روش و مجتبی رضایی

اثر کم آبیاری در آبیاری قطره‌ای بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت سینگل کراس ۷۰۴.....۲۴۷
محمد عامریان، سید ابراهیم هاشمی گرم‌دره و عذرا کرمی

بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید پرتقال در شهرستان قائم‌شهر.....۲۵۹
حسین ابراهیم‌نژاد، علی کرامت‌زاده، فرشید اشراقی و اعظم رضایی

برآورد ضرایب گیاهی مراحل مختلف رشد و مقدار نیاز آبی گیاه دارویی سیاهدانه در منطقه خشک بیرجند.....۲۷۷
الیاس استادی، عباس خاشعی‌سیوکی و امیر سالاری

اثر سطوح مختلف شوری آب بر ویژگی‌های جوانه‌زنی دو رقم کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd).....۲۸۷
محسن سیل‌سپور

کاربرد روش سطح پاسخ در بهینه‌یابی نسبت اختلاط خاک با خاک‌اره در تیمارهای رطوبتی مختلف خاک در کشت خیار گلخانه‌ای.....۳۰۳

یاسر حسینی

نشریه علمی
پژوهش آب در کشاورزی
صاحب امتیاز: مؤسسه تحقیقات خاک و آب

جلد ۳۵ شماره (۳)
۱۴۰۰

مدیر مسئول: دکتر هادی اسدی رحمانی
سر دبیر: دکتر حمید سیادت
رئیس مؤسسه تحقیقات خاک و آب
استاد پژوهش مؤسسه تحقیقات خاک و آب

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

دانشیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات خاک و آب	دکتر نیاز علی ابراهیمی پاک
مدرس دانشگاه	دکتر محمد بای بوردی
استاد واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی تهران	دکتر ابراهیم پذیرا
دانشیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی	دکتر نادر حیدری
دانشیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات خاک و آب	دکتر ناصر دواتگر
استاد واحد علوم تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی خوزستان	دکتر حیدرعلی کشکولی
استاد دانشگاه تهران	دکتر عبدالمجید لیاقت
دانشیار دانشگاه تربیت مدرس	دکتر سید مجید میر لطیفی
استاد مدعو دانشگاه سمنان	دکتر سید فرهاد موسوی
استاد سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی	دکتر محمد حسین مهدیان

چهار شماره
دکتر حمید سیادت
مهندس فاطمه آقاجانی

تعداد انتشار در سال:
ویراستار انگلیسی:
صفحه آرایی:

پایگاه الکترونیکی نشریه پژوهش آب در کشاورزی: <http://www.wra.areo.ir>
پایگاه الکترونیکی مؤسسه تحقیقات خاک و آب: www.swri.ir
آدرس الکترونیکی مجله: journalwater@yahoo.com
این نشریه در پایگاه‌های علمی زیر نمایه می‌شود:
پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی: www.sid.ir
پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC): www.isc.gov.ir
پایگاه سیویلیکا: [https://civilica.com](http://civilica.com)
پایگاه با نك اطلاعات نشریات کشور (Magiran): [https://www.magiran.com](http://www.magiran.com)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

- مقایسه روش قطره‌ای نواری با آبیاری سطحی و پایش شوری خاک در کشت گندم و ذرت آبیاری شده با آب لب شور.....۲۱۷
علی مختاران، پیمان ورجاوند، حسین دهقانی‌سانج، شکراله آبسالان، آذرخش عزیزی و علیرضا جعفرنژادی
- برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی برنج رقم‌های کوهسار و هاشمی در سامانه‌های مختلف کشت.....۲۳۵
نوراله جلالی‌کوتنایی، علی شاهنظری، میرخالق ضیاءتبار احمدی، مجتبی خوش‌روش و مجتبی رضایی
- اثر کم آبیاری در آبیاری قطره‌ای بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت سینگل کراس ۷۰۴.....۲۴۷
محمد عامریان، سید ابراهیم هاشمی گرم‌دره و عذرا کرمی
- بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید پرتقال در شهرستان قائم‌شهر.....۲۵۹
حسین ابراهیم‌نژاد، علی کرامت‌زاده، فرشید اشراقی و اعظم رضایی
- برآورد ضرایب گیاهی مراحل مختلف رشد و مقدار نیاز آبی گیاه دارویی سیاهدانه در منطقه خشک بیرجند۲۷۷
الیاس استادی، عباس خاشعی‌سیوکی و امیر سالاری
- اثر سطوح مختلف شوری آب بر ویژگی‌های جوانه‌زنی دو رقم کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd).....۲۸۷
محسن سیل‌پور
- کاربرد روش سطح پاسخ در بهینه‌یابی نسبت اختلاط خاک با خاک‌اره در تیمارهای رطوبتی مختلف خاک در کشت خیار
گلخانه‌ای.....۳۰۳
یاسر حسینی

راهنمای تهیه مقاله برای انتشار در مجله علمی-پژوهشی پژوهش آب در کشاورزی

مجله علمی-پژوهشی "پژوهش آب در کشاورزی" به منظور افزایش آگاهی محققان و پژوهشگران آبیاری و علوم خاک و آب، ایجاد زمینه ارتقای سطح دانش و پژوهش، شناخت و معرفی اندیشه‌ها، نوآوری‌ها و خلاقیت‌های علمی-پژوهشی در سطح ملی و بین‌المللی، ایجاد ارتباط بین مراکز آموزشی، علمی-پژوهشی و انتقال و تبادل نتایج یافته‌های مربوط به بهره‌برداری پایدار از منابع آب و خاک در کشاورزی را منتشر می‌نماید.

الف) اصول کلی

- ۱- این مجله صرفاً مقالات پژوهشی منتج از پژوهش‌های نویسنده و یا نویسندگان در زمینه علوم آب و خاک در کشاورزی را منتشر می‌نماید.
- ۲- مقاله باید به زبان فارسی روان و پیراسته از غلط‌های نگارشی و نوشتاری باشد. از آوردن واژه‌های بیگانه که معادل شناخته شده فارسی دارند جداً خودداری گردد.
- ۳- مسئولیت صحت و سقم مطالب، نظرات و عقاید مندرج در مقالات به عهده نویسندگان مقاله می‌باشد. حقوق معنوی مقالات برای نویسندگان محفوظ می‌باشد.
- ۴- مقاله نباید در هیچ یک از نشریات کشور به چاپ رسیده یا همزمان برای مجلات دیگر ارسال شده باشد این مسئله باید با تأیید و تعهد کتبی نویسنده مسئول باشد.

ب) نحوه تهیه و ارسال مقاله

نحوه نگارش مقاله

- ۱- مقاله حداکثر در ۱۵ صفحه A4 با فاصله خطوط ۱/۵ و حاشیه‌های ۳ سانتی‌متر از هر طرف و به صورت تک ستونی در نرم افزار Word 2007 تایپ شود.
- ۲- نوع قلم فارسی و انگلیسی و اندازه آنها مطابق جدول (۱) استفاده شود.
- ۳- پیش از نقطه (.) و کاما (،) گذاشتن فاصله لازم نیست، لیکن پس از آنها، یک فاصله لازم است.
- ۴- اصول نگارش زبان فارسی به طور کامل رعایت شده و از به کار بردن اصطلاحات انگلیسی که معادل فارسی آنها در فرهنگستان زبان فارسی تعریف شده‌اند، حتی الامکان پرهیز گردد.

جدول ۱- نوع قلم و اندازه		
موقعیت استفاده	نام قلم	اندازه قلم
عنوان مقاله	Nazanin پر رنگ	14
متن مقاله	Nazanin	12
عناوین بخش های مقاله	Nazanin پر رنگ	12
نام مؤلفان	Nazanin پر رنگ	12
کلمه چکیده و کلمات کلیدی	Nazanin پر رنگ	12
عناوین جداول و اشکال	Nazanin پر رنگ	11
متن جداول و شکل ها و منابع	Nazanin	11
متن انگلیسی	Times New Roman	یک واحد کمتر از اندازه فارسی در هر موقعیت

نویسنده(گان) موظف هستند حداکثر ۱۵ روز پس از دریافت نظرات داوران اصلاحات لازم و یا پاسخ را ارسال نمایند. ضمناً ارسال چکیده لاتین مقاله به همراه مقاله الزامی است. ارسال نامه درخواست چاپ مقاله در مجله پژوهش آب در کشاورزی به همراه فرم تعهد نامه الزامی است. کلیه مقالات پس از دریافت اعلام وصول گردیده و جهت ارزیابی برای داوران مجله ارسال خواهد شد و پس از اتخاذ رأی داوران و تأیید هیئت تحریریه، مقاله در نوبت چاپ قرار خواهد گرفت

شناسنامه مقاله

مقالات باید شامل عنوان، چکیده فارسی و انگلیسی (حداکثر تا ۳۰۰ کلمه)، واژه‌های کلیدی (Keywords)، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج، بحث و نتیجه‌گیری، تشکر و قدردانی (در صورت نیاز) و فهرست منابع باشد.

برگ شناسه

عنوان مقاله، نام، نام خانوادگی، موقعیت شغلی نگارنده(گان)، نام دانشگاه یا مؤسسه پژوهشی که نگارنده(گان) در آن اشتغال دارند، نشانی کامل نگارنده(گان) و نام و مشخصات نگارنده مسئول مکاتبات (به هر دو زبان فارسی و انگلیسی)، در یک صفحه جداگانه تایپ شود.

* نگارنده مسئول باید فرم تعهدنامه را که به امضای کلیه نگارندگان رسیده به همراه مقاله ارسال کند.

عنوان مقاله

عنوان مقاله باید روان، گویا، مختصر و مفید بوده و در برگیرنده محتوای تحقیق انجام شده باشد. عنوان مقاله نباید بیش از ۲۰ کلمه باشد. در زیر عنوان نام و نام خانوادگی نویسندگان، مرتبه علمی و یا تحصیلات و وابستگی سازمانی، تاریخ، آدرس کامل پستی، شماره تلفن همراه و پست الکترونیک نویسندگان مقاله درج گردد.

دقت شود کلمه‌های تشکیل دهنده عنوان مقاله با کلمه‌های کلیدی مقاله متفاوت باشد.

چکیده: چکیده بایستی شامل حداکثر ۳۰۰ کلمه بوده و بیانگر زمینه و هدف، تحقیق روش بررسی، یافته‌ها، نتیجه‌گیری و ترجیحاً در یک پاراگراف باشد. چکیده انگلیسی باید ترجمه کامل چکیده فارسی باشد

واژه‌های کلیدی:

واژه‌های کلیدی بایستی ۳-۶ کلمه باشد. واژه‌های کلیدی چکیده انگلیسی نیز بایستی ترجمه دقیق واژه‌های چکیده فارسی باشد.

در انتخاب واژه‌های کلیدی از تکرار واژه‌هایی که در عنوان مقاله آمده است خودداری فرمایید

مقدمه

مقدمه باید دربرگیرنده اهمیت پژوهش انجام شده باشد و به بیان مسئله با مروری بر مطالعات و مشاهدات مرتبط با تحقیق که در گذشته انجام شده بپردازد و به منابع معتبری که در انتهای مقاله ذکر شده، استناد کند. در ادامه مطالب، وجه تمایز پژوهش حاضر نسبت به مطالعات قبلی و لزوم و وجوب آن و در انتهای مقدمه هدف اصلی پژوهش نگاشته شود. مقالاتی که موضوع آن تکراری بوده و در گذشته به کرات در داخل و خارج از ایران در مورد آن مطالعاتی انجام شده، در صورتی که وجه تمایز قانع کننده‌ای نداشته باشد چاپ نخواهد شد.

مواد و روشها

در این قسمت باید شرح مواد و روشهای مورد استفاده در تحقیق، جامعه آماری، روشهای نمونه گیری، اندازه گیریهای آزمایشی و نحوه تجزیه و تحلیل آماری آورده شود. در صورتی که از روشهای متداول یا قبلاً منتشر شده استفاده شده باشد، از شرح جزئیات خودداری و فقط به ارائه اصول و ذکر مأخذ اکتفا شود.

نتایج

در این بخش، نتایج بدست آمده از تحقیق به صورت نوشتار همراه شکل و جدول و بدون بحث بیان گردد. از بکار بردن عنوان هایی مانند نمودار، عکس و نقشه خودداری و کلیه آنها با عنوان " شکل " درج شوند. نتایج ارائه شده در جداول یا شکلها نباید به صورت دیگری مانند منحنی و یا متن نوشتاری در مقاله تکرار گردد. هر جدول از شماره، عنوان، سرستون ها و متن جدول تشکیل می شود. یک جدول باید با خطی افقی از شماره و عنوان جدول متمایز شود. همچنین سر جدول با یک خط افقی از متن جدول جدا و در زیر متن جدول نیز یک خط افقی رسم شود. عنوان جدول در بالای آن جدول درج و پس از کلمه جدول و شماره آن، خط تیره و سپس عنوان ذکر شود. در متن جدول تا جایی که ممکن است نباید از خطوط افقی و عمودی استفاده کرد. هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط به کمیت آن ستون باشد. اگر همه ارقام جدول دارای یک واحد مشترک باشند، آن واحد در عنوان اصلی جدول ذکر شود. توضیحات اضافی عنوان و متن جدول به صورت زیرنویس ارائه شوند.

در نمودارها از نشانه های Δ $\square$ $\bullet$ $\blacktriangle$ به صورت توپر و توخالی استفاده شود. برای درج عنوان هر شکل، پس از کلمه شکل و شماره آن، نقطه و سپس عنوان ذکر شود. فایل Excel مربوط به نمودارها ارسال شود. اختصارات موجود در شکلها و جداول باید در زیرنویس توضیح داده شوند. تمام اعداد متن و توضیحات جداول و شکلها باید به زبان فارسی ارائه گردد. از ارسال نمودارهای رنگی جداً اجتناب نموده و از رنگهای سفید، سیاه و هاشورهای کاملاً متفاوت استفاده شود. اندازه فونت توضیحات محورهای نمودارها و اعداد به اندازه کافی بزرگ باشد تا در صورت کوچک کردن نیز خوانا باشد. جداول و نمودارها حتی المقدور در متن مقاله جاسازی شوند.

بحث

یافته های جدید و مهم باید با یافته های موجود در منابع مقایسه شود و دلایل قبول و رد آنها مورد بحث قرار گیرد، از تکرار یافته ها خودداری شود. مروری بر مقالات گذشته در این بخش گنجانده شود، محدودیت های مطالعه باید مورد توجه قرار گیرد. راهکارهای جدید و فرضیه های جدید پیشنهاد گردد، یافته های جدید و یافته های پیش بینی شده مقایسه شود. در پایان باید موارد کاربردهای عملی و تئوری نتایج حاصل از تحقیق و نتیجه کلی پژوهش بیان گردد.

تشکر و قدردانی

در این بخش نویسندگان (گان) می توانند از اشخاص، سازمانها و افراد ذیربطی که در اجرای تحقیق همکاری داشته اند، تشکر و قدر دانی نمایند. این قسمت باید کوتاه و در حدود ۵۰ کلمه باشد.

فهرست منابع

شیوه ارجاع در تمام متن مقاله بایستی به صورتی باشد که منبع مورد ارجاع در پایان جمله در داخل پرانتز به فارسی برای منابع انگلیسی و فارسی ارائه شود. برای منابع دارای دو نویسنده، نام هر دو نویسنده و منابعی که بیش از دو نویسنده دارند، نخست نام نفر اول و سپس " همکاران " و تاریخ بیان شود. مثال:

..... نتایج مشابهی توسط برخی پژوهشگران نیز گزارش شده است (کریمی و احمدی ، ۱۳۸۹)

..... نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است (آلوی و همکاران، ۲۰۱۰)

فهرست منابع مورد استفاده در پایان متن به صورت پیوسته و به ترتیب منابع فارسی و انگلیسی ارائه شوند. منابع مورد استفاده به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی نگارنده، (یا اولین نگارنده برای منابعی که بیش

از یک نگارنده دارند) زیر هم آورده شوند. چنانچه از یک نگارنده چندین منبع ذکر شود، ترتیب درج آن‌ها بر حسب سال انتشار، از جدید به قدیم است. اگر از نگارنده‌ای چندین منبع همسال وجود داشته باشد، با گذاشتن حروف a, b و c پس از سال انتشار منابع از یکدیگر متمایز شوند. چنانچه مقالات منفرد و مشترک از یک نگارنده ارائه شود، نخست مقالات منفرد و سپس مقاله‌های مشترک به ترتیب حروف الفبای نام نگارندگان بعدی مرتب شوند.

برای یک مقاله به ترتیب نام خانوادگی نگارنده، حرف اول اسم کوچک نگارنده، تاریخ انتشار، عنوان مقاله عنوان کامل مجله، شماره جلد، و اولین و آخرین صفحه مقاله ارائه شود. برای یک کتاب به ترتیب نام خانوادگی و سپس حرف اول نام کوچک نگارنده، تاریخ انتشار، عنوان کامل کتاب، شماره جلد، نام ناشر، محل انتشار و تعداد کل صفحات ارائه شود. در مورد مقاله یا کتاب‌هایی که بیش از یک نویسنده دارند به ترتیب نام خانوادگی و حرف اول نام اولین نویسنده و سپس اول نام نویسندگان بعدی و پس از آن نام خانوادگی آن‌ها ذکر شود. در مورد مرجعی که نویسنده آن مشخص نیست به جای نام نگارنده از "Anonymous" برای منابع انگلیسی و (بی نام) برای منابع فارسی استفاده شود.

چنانچه منبع ترجمه شده باشد، در فهرست منابع باید نخست نام نویسنده(گان) کتاب اصلی، عنوان مشخصات آن (به زبان انگلیسی) و سپس نام مترجم (مترجمان) ذکر شود.

مثال‌های برای تنظیم منابع

مقاله از مجله

Brennan, E.W., and W.L. Lindsay. 1998. Reduction and oxidation effect on the solubility and transformation of iron oxides. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:930–937.

مقاله از کارگاه آموزشی یا علمی

Hanbury, A. 2002. The taming of the hue, saturation and brightness colour Space, 7th Computer Vision Winter Workshop, February 2002, Bad Aussee, Austria.

مطلب از کتاب

Lindsay, W.L. 1979. *Chemical equilibrium in soils*. John Wiley & Sons, New York.

مطلب نقل شده یک نویسنده در یک مجموعه مقالات

Logsdon, S.D., and D.A. Laird. 2003. Ranges of bound water properties associated with a smectite clay. p. 101–108. In *Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substance*. Proc. of Conf., Rotorua, New Zealand. 23–26 Mar. 2003. Industrial Research, Auckland, New Zealand.

ذکر مطلب از نویسنده‌ای در یک کتاب که نام ویراستاران روی جلد آن است

Olsen, S.R., and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. p. 403–427. In A.L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. No. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

ذکر مطلب از اینترنت

Soil Survey Staff. 2004. NRCS soils [Online]. Available at <http://soils.usda.gov> [verified 23 Mar. 2005]. USDA-NRCS, Washington, DC.

منابع مورد استفاده در متن بدین صورت نگاشته شوند:

بای بوردی و همکاران (۱۳۸۲) گزارش کردند...

اسمیت (۲۰۰۲) گزارش کرد ...

اسمیت و جونز (۲۰۰۲) گزارش کردند...

اسمیت و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند...

- در صورت عدم رعایت دقیق مطالب فوق‌الذکر، مقاله پذیرفته نمی‌شود و پیش از بررسی به اطلاع نویسنده مسئول می‌رسد. بدیهی است چنانچه مقاله ارسالی با شرایط ذکر شده تهیه و عودت داده شود مجدداً از زمان برگشت که تاریخ واقعی مقاله منظور می‌شود مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

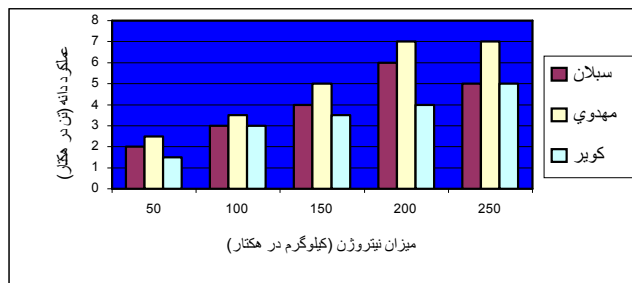
جدول نامناسب

بافت	<i>Mge xch</i>	<i>Kavail</i> .	<i>Pava il</i>	OC (%)	TNV (%)	EC (dS. m- 1)	pH	عمق (cm)
	(Mg.kg-1)							
لومی رسی	۳۰۰	۲۹۰	۳/۶	۰/۶۲	۲۸	۷/۶	۸/۲	۰-۳۰
لومی رسی	۳۰۵	۲۹۵	۰/۶	۰/۵۰	۳۰	۷/۲	۸/۲	۳۰-۶۰
لومی شنی	۲۸۶	۳۳۲	۰/۵	۰/۲۱	۳۳	۹/۵	۸/۷	۶۰-۹۰

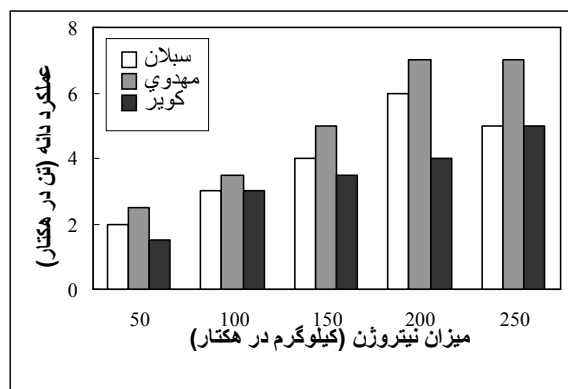
جدول مناسب

بافت	Mgex	Kav	Pav	OC (%)	TNV (%)	EC (dS.m ⁻¹)	pH	عمق (cm)
	(mg.kg ⁻¹)							
لومی رسی	۳۰۰	۲۹۰	۳/۶	۰/۶۲	۲۸	۷/۶	۸/۳	۰-۳۰
لومی رسی	۳۰۵	۲۹۵	/۶۰	۰/۵۰	۳۰	۷/۲	۸/۲	۳۰-۶۰
لومی شنی	۲۸۶	۲۳۲	/۵۰	۰/۲۱	۳۳	۹/۵	۷/۸	۶۰-۹۰

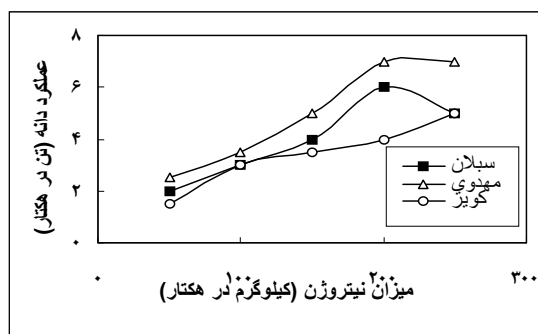
نامناسب



مناسب



مناسب



دکتر هرمز اسدی.....	۳ دآوری
دکتر رضا اسدی.....	۱ دآوری
دکتر جواد باغانی.....	۱ دآوری
دکتر آرش تافته.....	۱ دآوری
دکتر کبری ثقفی.....	۳ دآوری
دکتر محمدعلی حاج عباسی.....	۱ دآوری
دکتر یعقوب حسینی.....	۱ دآوری
دکتر نادر حیدری.....	۱ دآوری
دکتر محمد خرمیان.....	۴ دآوری
دکتر ناصر دواتگر.....	۳ دآوری
مهندس رقیه رضوی.....	۱ دآوری
دکتر اژدر عنابی میلانی.....	۲ دآوری
مهندس سعید غالبی.....	۳ دآوری
دکتر محمد فیضی.....	۱ دآوری
دکتر مهدی قاجار سپانلو.....	۱ دآوری
دکتر محی الدین گوشه.....	۱ دآوری
دکتر فاطمه مسکینی.....	۴ دآوری
دکتر منصور معیری.....	۱ دآوری
دکتر یوسف هاشمی نژاد.....	۲ دآوری

فرم تعهد نامه

نشریه پژوهش‌های آب در کشاورزی

اینجانب نویسنده مسئول مقاله زیر:

- سال‌های اجراء آزمایش ذکر شود

موارد زیر را به آگاهی می‌رسانم:

۱. کلیه تهیه کنندگان مقاله از ارسال آن به دفتر مجله شما آگاهند
۲. مقاله قبلاً در هیچ مجله داخلی و خارجی منتشر نشده است
۳. مقاله تا زمان پایان بررسی در آن مجله به مجله دیگری ارسال نخواهد شد.
۴. هیچگونه تغییری در تعداد نویسندگان یا ترتیب ذکر اسامی انجام نخواهد شد.

نام نام خانوادگی نویسنده اول: امضاء نویسنده اول مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده دوم: امضاء نویسنده دوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده سوم: امضاء نویسنده سوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده چهارم: امضاء نویسنده چهارم مقاله

مقایسه روش قطره‌ای نواری با آبیاری سطحی و پایش شوری خاک در کشت گندم و

ذرت آبیاری شده با آب لب شور

علی مختاران^۱، پیمان ورجاوند، حسین دهقانی‌سانج، شکراله آبسالان، آذرخش عزیزی و

علیرضا جعفرنژادی

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. alimokhtaran@gmail.com

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. pvarjavand@yahoo.com

دانشیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

dehghanisanij@yahoo.com

مری پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. sh_absalan@yahoo.com

مری پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. a.azizy@yahoo.com

دانشیار پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. arjafarnejady@gmail.com

دریافت: دی ۱۳۹۹ و پذیرش: شهریور ۱۴۰۰

چکیده

این تحقیق به منظور مقایسه و پایش دو سامانه آبیاری قطره‌ای و سطحی برای کشت‌های ذرت و گندم در سه فصل کاشت از تابستان ۱۳۹۵ تا بهار ۱۳۹۷ در یکی از ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی خوزستان واقع در اهواز طراحی و اجرا شد. منبع آب آبیاری رودخانه کارون با شوری سه دسی‌زیمنس بر متر در مقطع اهواز بود. این پژوهش به صورت طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. تیمارها و مبنای بلوک‌بندی در کشت ذرت، رژیم آبیاری دو و چهار روزه و در کشت گندم، فواصل ۴۰، ۶۰ و ۷۵ سانتی‌متری بین نوارهای قطره‌ای بود. نتایج نشان داد که حجم آب کاربردی در سامانه قطره‌ای برای کشت‌های ذرت و گندم به ترتیب ۲۴٪ و ۳۲٪ نسبت به سامانه سطحی کمتر بود. همچنین بهره‌وری آب در سامانه قطره‌ای برای کشت ذرت در عملکرد علوفه‌ای و دانه‌ای به ترتیب ۱۶٪ و ۲۱٪ و برای کشت گندم به میزان ۳۵٪ نسبت به سامانه آبیاری سطحی بیشتر بود. در کشت گندم میزان بهره‌وری آب برای فواصل مختلف نوارهای قطره‌ای از همدیگر نیز اختلاف معنی‌داری نداشت بنابراین می‌توان در خاک‌هایی با بافت سنگین، از نوارهای آبیاری قطره‌ای با فواصل ۷۵ سانتی‌متری برای کشت گندم بهره‌برداری کرد. در تحلیل پایش خاک، سامانه قطره‌ای موجب کاهش کیفیت خاک شد. به نحوی که خاک غیرشور - غیرسدیمی ($EC_e=3.09\text{dS/m}$, $ESP=6.18\%$) ابتدای تحقیق، بعد از سه فصل کاشت با این سامانه، شور شد ($EC_e=7.63\text{dS/m}$, $ESP=12.63\%$). اما، با وجود انباشت نمک‌ها در پیرامون خاک خیس شده زیر قطره‌چکان‌ها، رشد و عملکرد گیاهان در سامانه قطره‌ای نسبت به سامانه آبیاری سطحی بهتر بود و دلیل آن بالا نگه‌داشتن پتانسیل آب خاک در محیط اطراف ریشه و در زیر قطره‌چکان‌ها بود که تجمع نمک را کاهش داده و رشد بهتر گیاه را با وجود آب شور محقق ساخت. نتایج این پژوهش نشان داد که در صورت استفاده از سامانه قطره‌ای برای اقلیم مشابه مناطق مرکزی و جنوبی خوزستان، زهکشی اراضی و عملیات آبشویی در انتهای فصل کشت برای حفاظت خاک ضرورت دارد.

واژه‌های کلیدی: سامانه نوین آبیاری، بهره‌وری آب، رژیم آبیاری

^۱-آدرس نویسنده مسئول: اهواز، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

مقدمه

خشک‌سالی و کم‌آبی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و با توجه به روند روزافزون نیاز بخش‌های مختلف به آب، مشکل خشک‌سالی در سال‌های آینده حادث‌تر نیز خواهد شد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵؛ ناصری و همکاران، ۱۳۹۶). در این شرایط توجه به ارتقا بهره‌وری آب کشاورزی یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. لذا استفاده مناسب از منابع محدود آب و سامانه‌های نوین آبیاری امری ضروری است (قدمی فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۹۶). استان خوزستان در جنوب غربی ایران واقع است. بخشی از اراضی این استان در مرکز، جنوب و جنوب غرب آن دارای منابع آب لب‌شور تا شور و بافت خاک سنگین با آب زیرزمینی شور و کم‌عمق بوده که با اجرای سامانه زهکشی زیرزمینی و احیاء اراضی، مناسب برای عملیات کشاورزی شده‌اند (مختاران و همکاران، ۱۳۹۲). عدم آبیاری (آیش اراضی) و یا آبیاری نادرست ممکن است باعث شور و یا شور-سیدی شدن این اراضی گردد. تاکنون سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار در اراضی با بافت خاک سبک تا متوسط اجرا شده است که راندمان و بازده مناسبی داشته، اما استفاده از این سامانه‌ها به‌خصوص آبیاری قطره‌ای در خاک‌های با بافت سنگین و مستعد به شوری و سدیمی کمتر مورد توجه بوده است (مختاران و همکاران، ۱۳۹۸). در این خصوص استفاده از منابع آب‌های شور نه تنها به‌عنوان یک انتخاب، بلکه یک الزام پیش روی کشاورزان قرار گرفته است. در مطالعات مختلفی نشان داده شده است که از آب شور می‌توان به‌طور موفقیت‌آمیزی در آبیاری گیاهان استفاده کرد (وان و همکاران، ۲۰۱۰؛ سینگ و پاندا، ۲۰۱۲؛ فنگ و همکاران، ۲۰۱۷). البته اثرات منفی استفاده از آب شور مانند تجمع نمک در لایه سطحی خاک به‌صورت خطی به مقدار و کیفیت آب آبیاری ارتباط دارد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۵؛ رامشوران و همکاران، ۲۰۱۶؛ دیاز و همکاران، ۲۰۱۸). در این میان، سامانه آبیاری قطره‌ای در مقایسه با سایر روش‌های آبیاری سطحی و بارانی علاوه بر بهره‌وری بیشتر آب (علی و تالوکدر، ۲۰۰۸) نسبت به آبیاری سطحی،

مزیت‌های دیگری را نیز در شرایط شور دارد. در آبیاری قطره‌ای الگوی خیس شدگی خاک اطراف قطره‌چکان پس از آبیاری نشان می‌دهد که مقدار رطوبت خاک در نزدیک قطره‌چکان بیشترین و در پیرامون سطح خیس شده حداقل است. درحالی‌که شوری خاک زیر قطره‌چکان جایی که تراکم ریشه بیشتر است، معمولاً کم تا متوسط است و بافاصله گرفتن از قطره‌چکان افزایش می‌یابد و در نزدیکی سطح خاک میزان نمک تحت تأثیر تبخیر بیشتر از عمق است (هانسون، ۲۰۱۲ و دهقانی سانچ و همکاران، ۲۰۰۶). آبیاری قطره‌ای به دلیل دبی ورودی کم و تناوب زیاد، قادر است پتانسیل ماتریک خاک در منطقه ریشه گیاه را بالا نگه‌داشته و از کاهش پتانسیل اسمزی خاک در اثر خشک شدن تدریجی خاک در شرایط شور جلوگیری نماید (مانس، ۲۰۰۲). زیلانگ و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی دینامیک و توزیع شوری خاک تحت سامانه آبیاری قطره‌ای برای کشت گیاه پنبه برای یک دوره ۹ ساله در منطقه خشک شمال غرب چین نشان دادند که میزان شوری خاکی که قبل از شروع کشت نسبتاً زیاد بود در چهار سال اول به‌شدت کاهش یافت سپس روند تغییرات شوری نوسان پیدا کرد به‌طوری‌که در اواخر دوره تحقیق، افزایش چشم‌گیری داشت. خاک منطقه در لایه‌های سطحی دارای بافتی درشت و از لایه ۳۰ سانتی‌متری به پایین، ریزبافت بود. وان و همکاران (۲۰۱۲) در یک مطالعه چهارساله، امکان‌سنجی رویش ذرت برای زمین بسیار شور (متوسط شوری عصاره اشباع خاک تا عمق ۱۲۰ سانتی‌متری به میزان ۲۸ دسی زیمنس بر متر) در شمال غربی چین با استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش نشان داد که سامانه آبیاری قطره‌ای شرایط خاک مطلوبی برای رشد ذرت فراهم کرده و ناحیه‌ای با رطوبت زیاد و شوری کم در زمانی که پتانسیل ماتریک خاک بیشتر از ۲۵- کیلو پاسکال بود، به‌وجود آورده است و پس از سال‌ها کشت و آیشویی به‌وسیله آبیاری قطره‌ای، خاک بسیار شور به‌تدریج به خاک نسبتاً شور تبدیل شد. در پژوهش‌های دیگری نیز به نتایج مشابهی در این زمینه اشاره شده است

(کانگ و همکاران، ۲۰۱۰؛ لی و همکاران، ۲۰۱۵). خوش‌سیمای و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی به‌منظور بررسی تأثیر شوری آب آبیاری بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک تحت کشت سه رقم ذرت برای سه سطح شوری آب آبیاری (۳، ۵ و ۷ دسی زیمنس بر متر) در شرایط استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای نواری، نشان دادند که میزان شوری و سدیم خاک رابطه مستقیم با شوری آب آبیاری و طول دوره رشد ارقام ذرت داشته و رابطه عکس با عمق خاک دارد. در تیمارهای آبیاری با آب شور (دو سطح سه و پنج دسی زیمنس بر متر)، جبهه رطوبتی کمتری به سمت خارج از خط آبیاری حرکت کرده و اغلب تجمع نمک در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از خط آبیاری و سطح خاک به دلیل مصرف گیاه و تبخیر و تعرق مشاهده شد. اکتم (۲۰۰۶) در آزمایشی دوساله بر روی گیاه ذرت به بررسی اثر سطوح مختلف آب آبیاری (۸۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق از تحت تبخیر کلاس A) و فاصله‌های آبیاری (۶، ۴، ۲ و ۸ روز یک‌بار) با استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای پرداختند. بیشترین عملکرد دانه در سال اول و دوم به ترتیب ۱۴/۰۷ و ۱۳/۳۰ تن در هکتار از تیمار دور آبیاری چهار روزه و کمترین عملکرد دانه در سال اول و دوم به ترتیب ۱۰/۲۷ و ۹/۵۳ تن در هکتار از تیمار دور آبیاری هشت روزه به‌دست آمد. بهترین نتیجه قابل توصیه این تحقیق برای مناطق نیمه‌خشک مشابه ترکیه، تیمار آبیاری با میزان ۹۰ درصد تبخیر و تعرق و دور آبیاری چهار روزه به‌دلیل تهویه و هوادهی بهتر در منطقه ریشه بود. نتایج مطالعه‌ای که بر روی سامانه آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) در زراعت گندم در هند انجام شد، نشان داد که اگرچه در سامانه آبیاری قطره‌ای عملکرد گندم حدود ۱۰/۸٪ کاهش پیدا کرد، اما استفاده از این سامانه باعث افزایش بهره‌وری آب به‌میزان ۲۴/۲۴ درصد نسبت به سامانه آبیاری سطحی در کرت‌های نواری شد (چوهان و همکاران، ۲۰۱۵). در تحقیقی در کشور پاکستان نیز اظهار شد که استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای در زراعت گندم نسبت به روش آبیاری جویچه‌ای، سبب کاهش مصرف آب به‌میزان ۱۶/۵۶٪،

افزایش عملکرد دانه به‌میزان ۱۱/۵۶٪ و افزایش کارایی مصرف آب به‌میزان ۳۳/۳۶٪ شد (سلیم و همکاران، ۲۰۱۰). در آزمایشی به‌منظور بررسی اثر سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و آبیاری سطحی (کرتی) بر روی رشد و عملکرد گندم زمستانه در شمال چین، نتایج نشان داد که حجم آب آبیاری در هر دو سامانه به‌طور معنی‌داری بر روی ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ و عملکرد گندم تأثیرگذار بود. همچنین در شرایط کم آبیاری، سامانه قطره‌ای بهره‌وری آب بالاتری داشت (وانگ و همکاران، ۲۰۱۳). در چین آزمایشی با هدف تعیین اثر فاصله نوارهای آبیاری قطره‌ای و مقدار آب آبیاری بر روی عملکرد گندم و کارایی مصرف آب در خاکی با بافت لوم شنی انجام شد. تیمارهای این آزمایش شامل فاصله نوارهای آبیاری (۶۰، ۳۰ و ۹۰ سانتی‌متر) و مقدار آب آبیاری (۷۵۰۰، ۶۰۰۰، ۴۵۰۰، ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار) بودند. نتایج نشان داد که با افزایش فاصله نوارهای آبیاری، رشد گیاه و عملکرد دانه کاهش یافت. همچنین صرف‌نظر از مقدار آب آبیاری، در تیمار فاصله نوارهای ۳۰ سانتی‌متری، عملکرد دانه نیز مقدار بالاتری (۸۱۳۰ کیلوگرم در هکتار) نسبت به دو تیمار دیگر (۶۰ و ۹۰ سانتی‌متر به ترتیب ۷۴۵۰ و ۵۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) داشت (چن و همکاران، ۲۰۱۵). در آزمایشی دیگر در ایران منطقه فریمان به‌منظور تعیین فاصله بهینه نوارها در سامانه آبیاری قطره‌ای نواری، فواصل مختلف شامل (۶۰، ۷۵، ۹۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از نوار آبیاری قطره‌ای با فواصل ۷۵ سانتی‌متر منجر به‌حصول بالاترین کارایی مصرف آب به‌میزان ۱/۶۵ کیلوگرم گندم به ازای هر مترمکعب آب مصرفی شد (رحیمیان، ۱۳۹۱). در تحقیق حاضر سامانه آبیاری قطره‌ای نواری برای کشت‌های زراعی استراتژیک ذرت و گندم که از نظر مواد غذایی و تولید علوفه بسیار باارزش می‌باشند در اقلیم مرکز، جنوب غرب و جنوب خوزستان مورد ارزیابی قرار گرفت. محدودیت منابع آب به‌خصوص در فصل تابستان، کاهش کیفی آب رودخانه‌های کارون و کرخه، تبخیر بالا، بافت خاک سنگین همراه با آب شور زیرزمینی در عمق ۱/۵ متری

و مساحتی بالغ بر سیصد هزار هکتار اراضی شبکه آبیاری و زهکشی در این اقلیم، انجام این تحقیق برای پایش عملکرد گیاه و واکنش خاک با هدف افزایش بهره‌وری آب را بسیار پراهمیت می‌سازد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش از تابستان ۱۳۹۵ تا بهار ۱۳۹۷ در یکی از مزارع پژوهشی ایستگاه تحقیقات اهواز، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا شد. مزارع ایستگاه از نظر اقلیمی، کیفیت آب و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نماینده اراضی مرکزی و جنوبی استان است (جدول ۱). این منطقه از استان خوزستان از نظر اقلیمی جزو مناطق نیمه‌خشک تا خشک کشور به شمار

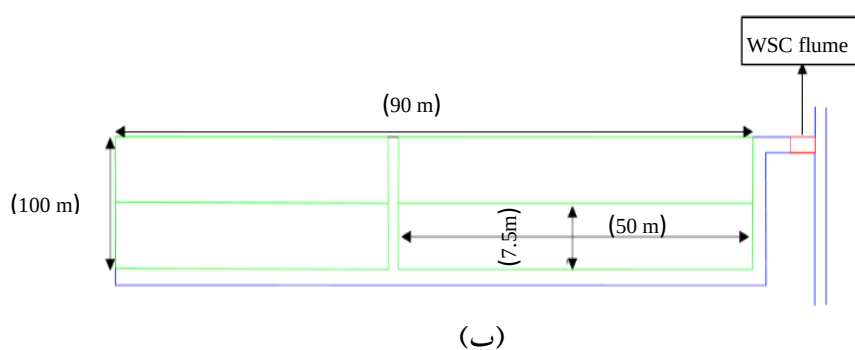
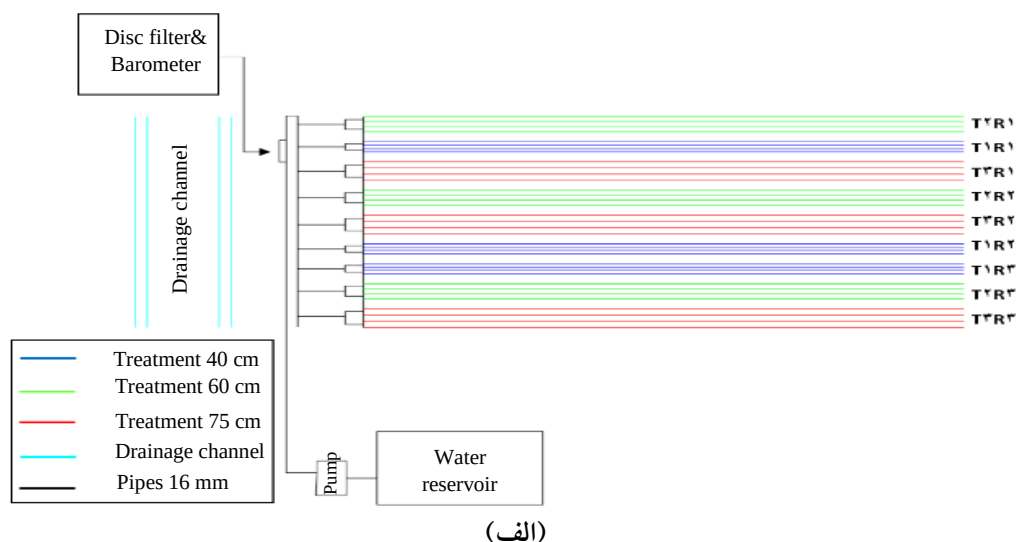
می‌آید. میانگین بارش سالانه در این منطقه از ۱۵۰ میلی‌متر تجاوز نمی‌کند. متوسط سالانه دمای هوا، ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۴۹ درصد و متوسط سرعت باد سالیانه در ارتفاع دو متری تا ۲۵ کیلومتر بر ساعت است. تبخیر و تعرق سالیانه برحسب روش پنمن - مانیتش - فائو، ۲۵۰۰-۲۴۰۰ میلی‌متر است. قسمتی از مزرعه آزمایشی مذکور در مساحتی حدود ۵۰۰۰ مترمربع به سامانه آبیاری قطره‌ای مجهز شد. به‌منظور مقایسه نتایج حاصل از تحقیق حاضر با روش کشت و آبیاری مرسوم در منطقه، بخشی از زمین به وسعت ۱۴۰۰ مترمربع به روش آبیاری سطحی در نظر گرفته شد (شکل ۱). مجهز بودن مزرعه به سامانه زهکشی زیرزمینی با کارگذاری لاترال‌های زهکشی در عمق دو متری، موقعیت مناسبی برای انجام تحقیق فراهم آورده بود (شکل ۲).

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

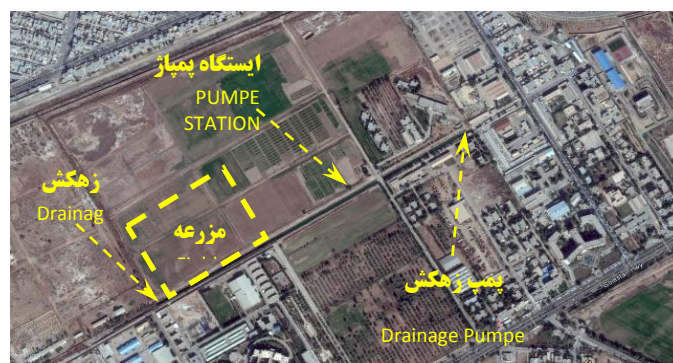
عمق Depth (cm)	بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	جرم مخصوص ظاهری pb (gr/cm ³)	رطوبت ظرفیت زراعی FC (%)	رطوبت نقطه پژمردگی PWP (%)
۰-۲۵	رسی سیلتی	۲/۵	۱/۳۵	۲۴/۵	۱۱/۸
۲۵-۵۰	رسی سیلتی	۲/۴۳	۱/۴۴	۲۴/۲	۱۱/۸
۵۰-۷۵	رسی سیلتی	۳/۳۸	۱/۵۴	۲۴	۱۱/۸
۷۵-۱۰۰	رسی سیلتی	۴/۵۱	۱/۷۸	۲۳/۸	۱۱/۸

این تحقیق در دو فصل زراعی برای کشت ذرت (تابستان ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) و یک فصل زراعی برای کشت گندم (پاییز ۱۳۹۶ تا بهار ۱۳۹۷) انجام شد. کشت تابستانه ذرت در خوزستان از ۲۰ تیرماه تا نیمه مردادماه شروع می‌شود و از اوایل آبان ماه تا حداکثر ۲۰ آبان برداشت می‌شود. در خصوص گندم، عملیات کاشت در بازه ۱۵ آبان ماه تا ۱۵ آذرماه اتفاق می‌افتد و از اوایل اردیبهشت تا نیمه اردیبهشت‌ماه برداشت می‌گردد. در سامانه قطره‌ای نواری، این پژوهش به‌صورت طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. برای کشت ذرت که از هیبرید سینگل کراس ۷۰۳ استفاده شد، عامل اصلی رژیم آبیاری دو و چهار روزه بود. دور آبیاری ذرت در سامانه قطره‌ای براساس مبانی طراحی، چهار روزه است اما دور آبیاری دو روزه با

توجه به شوری آب آبیاری، تبخیر بالای منطقه و مستعد بودن خاک به سدیمی شدن، انتخاب شد تا بتوان مقایسه مناسبی داشته باشیم. در سامانه قطره‌ای تهیه زمین به‌صورت جوی و پشته تهیه شد. بذر ذرت با فواصل خطوط کاشت ۷۵ سانتی‌متری بین ردیف‌ها و فاصله ۲۰ سانتی‌متری در هر ردیف و در محل داغاب نزدیک به کف شیار کشت شد. بر این اساس نوارهای آبیاری قطره‌ای با فواصل ۷۵ سانتی‌متری از هم روی خطوط کشت در کف جویچه پهن شدند. انجام آبیاری در مراحل اولیه در تمام سطح مزرعه، یکسان انجام شد. پس از هفت روز از زمان کاشت و پنج بار عملیات آبیاری با جوانه زدن گیاه و اطمینان از استقرار و تثبیت آن (دو برگ شدن گیاه)، تیمار دور آبیاری اعمال گردید.



شکل ۱- شمای اجرا شده سامانه‌های آبیاری قطره‌ای نواری (الف) و آبیاری سطحی (ب) در مزرعه



شکل ۲- ایستگاه تحقیقاتی اهواز و موقعیت مزرعه پژوهشی

شرایط شور را پایش کرد. در هر تکرار، چهار نوار قطره‌ای (تیپ) و خط کشت به‌عنوان واحد آزمایشی در نظر گرفته شد؛ بنابراین برای کشت گندم نه واحد و برای کشت ذرت شش واحد اجرا گردید. نوارهای قطره‌ای اجرا شده دارای روزنه‌هایی با دبی دو لیتر بر ساعت و با فواصل ۲۰ سانتی‌متری از همدیگر بر روی نوار می‌باشند. در سامانه آبیاری سطحی (تیمار شاهد)، روش کرت نواری برای گندم

در کشت گندم که از رقم رادیا استفاده شد، عامل اصلی در سامانه قطره‌ای نواری، فاصله‌های ۴۰، ۶۰ و ۷۵ سانتی‌متر از همدیگر بین نوارهای قطره‌ای بودند. فاصله نوارهای ۷۵ سانتی‌متری براساس اصول طراحی سامانه قطره‌ای برای گیاهان ردیفی است لذا با کاهش این فاصله به ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر برای گیاهان متراکم مانند گندم، کلزا و یا برنج می‌توان عملکرد گیاه و روند املاح خاک در

و روش‌های جوی و پشته (فارو) و کرت نواری برای هیبرید ذرت مورد استفاده قرار گرفت. کرت نواری به طول ۹۰ متر و عرض ۱۵ متر، طراحی و اجرا شد. نوار شیب‌دار در جهت عرض نوار، مسطح و در جهت طولی، شیبی حدود ۰/۰۰۲ متر بر متر داشت. برای جلوگیری از پخش و فرار جانبی آب در کرت نواری، مرزها به وسیله خاک پشته محدود شد. برای حذف رواناب در هر دو روش سطحی، انتهای کرت نواری و انتهای شیارها بسته بود و همچنین برای جلوگیری از تلفات، بلافاصله بعد از رسیدن جبهه آب به انتهای نوار و یا جویچه، ورودی آب به نصف تقلیل یافت. دور آبیاری برای سامانه سطحی براساس کمبود رطوبت خاک انجام شد. بر این اساس تعداد آبیاری برای کشت گندم شش بار و برای کشت ذرت ۱۰ بار بود. منبع

تأمین آب پروژه حاضر یک ایستگاه پمپاژ در ساحل شرقی رودخانه کارون با مختصات $31^{\circ} 18' 6''$ عرض شمالی و $48^{\circ} 39' 46''$ طول شرقی بود که با استفاده از یک کانال سیمانی به طول ۲/۸ کیلومتر به محل ایستگاه پمپاژ مزرعه انتقال می‌یافت. به منظور پایش مقدار نمک موجود در آب در روش آبیاری سطحی، در هر نوبت آبیاری، شوری اندازه‌گیری شد و در روش آبیاری قطره‌ای نواری، اندازه‌گیری شوری آب به صورت هفتگی در دستور کار قرار گرفت. مقادیر متوسط نتایج آنالیز کیفی آب آبیاری در جدول (۲) آورده شده است. برحسب طبقه‌بندی فائو، آب آبیاری برای سه دوره کشت، لب شور بود. همچنین با توجه به نسبت جذب سدیم و مقدار شوری، می‌توان گفت که آب آبیاری تأثیری بر روی نفوذپذیری خاک نداشت.

جدول ۲- مقادیر متوسط کیفیت آب آبیاری در طول دوره تحقیق

نوع کشت	EC ds/m	pH	Ca	Mg	Na	Cl	Hco3	T.D.S mg/lit	SAR	تأثیر بر روی نفوذپذیری خاک
ذرت-سال اول	۲/۹	۷/۴۴	۵/۱۹	۵/۱۵	۱۵/۷۸	۱۳/۸۶	۰/۸۷	۱۵۰۶	۶/۹۵	بدون تأثیر
ذرت-سال دوم	۳/۱	۷/۹۲	۴/۴۲	۴/۳۹	۱۶/۰۶	۱۷/۲۳	۱/۰۶	۱۶۶۸	۷/۶۹	بدون تأثیر
گندم	۳/۲	۸/۱۸	۵/۰۹	۵/۰۵	۱۸/۸	۱۹/۴۶	۱/۱۶	۱۹۴۰	۸/۳۷	بدون تأثیر

در این تحقیق نمونه‌برداری از خاک مزرعه در پنج نوبت (قبل از کشت تا بعد از برداشت محصول) با هدف تعیین برخی خصوصیات شیمیایی برای پایش املاح (EC, pH, SAR, Na⁺, Cl⁻, ESP) خاک در چهار لایه ۰-۲۵، ۲۵-۵۰، ۵۰-۷۵ و ۷۵-۱۰۰ سانتی‌متری از سطح خاک انجام شد. نمونه‌برداری در سامانه آبیاری قطره‌ای بین دو ردیف نوار قطره‌ای انجام شد این در حالی است که در قطعه تحت پوشش سامانه آبیاری سطحی، نمونه‌برداری در سه نقطه به صورت مرکب (ابتدا، وسط و انتهای نوار) به همین تعداد در هر چهار لایه خاک صورت گرفت. همچنین عملکرد دانه، ماده خشک هوایی برای ذرت و عملکرد، زیست‌توده (بیوماس)، شاخص برداشت و وزن هزار دانه برای گندم اندازه‌گیری و محاسبه شدند. برای آنالیز واریانس و مقایسه میانگین از روش حداقل تفاوت معنی‌دار استفاده شد. یکی از شاخص‌های مهم اندازه‌گیری و قابل قیاس در

این تحقیق، بهره‌وری آب بود. در ابتدای تحقیق، نیاز آبی مورد نیاز گیاهان (ذرت و گندم) با توجه به هوا و اقلیم مرکز و جنوب خوزستان (بازه سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۵)، بافت خاک مزرعه (رس‌سیلتی تا رس) و کیفیت آب رودخانه کارون (متوسط شوری سه دسی‌زیمنس بر متر) برآورد شد. محاسبات نیاز آبی با توجه به روش پنمن-مانتیت-فائو و در نظر گرفتن ضرایب گیاهی و میزان آبیاری ۱۶٪ و ۲۵٪ برای سامانه آبیاری سطحی و مقدار ۱۱٪ و ۲۰٪ برای سامانه آبیاری قطره‌ای نواری به ترتیب برای کشت گندم و ذرت انجام شد. راندمان کاربرد طراحی برای آبیاری قطره‌ای، ۹۰٪ و برای آبیاری سطحی ۶۵٪ در نظر گرفته شد. بعد از شروع تحقیق، حجم آب مصرفی در هر دور آبیاری برای سامانه آبیاری قطره‌ای نواری توسط کنتور حجمی نصب‌شده در ابتدای قطعه زراعی و برای

سامانه آبیاری سطحی از فلولم WSC تیپ چهار که در ابتدای کرت ورودی به مزرعه کالیبره شده بود، برآورد شد.

نتایج و بحث

نیاز آبی و حجم آب کاربردی

نیاز آبی گیاهان در مقایسه با اندازه‌گیری مزرعه‌ای در جدول (۳) آورده شده است. نتایج ارائه‌شده در جدول (۳) حاکی از آن است که حجم آب مورد نیاز در طول دوره رشد گیاه گندم در سامانه قطره‌ای ۵۴۴۵ مترمکعب در هکتار و برای سامانه سطحی ۷۹۵۰ مترمکعب در هکتار بود. این نتایج ضمن کاهش ۳۲ درصدی در سامانه قطره‌ای نسبت به آبیاری سطحی، نشان می‌دهد که حجم آب مصرفی برای کشت گندم در هر دو سامانه با مبانی طراحی و نیاز آبی تقریباً همخوان بود. در طول دوره آبیاری به‌خصوص در سامانه سطحی با نمونه‌گیری مرکب خاک قبل از آبیاری تا عمق ۵۰ سانتی‌متری و تعیین کمبود رطوبت خاک و اعمال ضریب MAD (از ۰/۷ در اوایل فصل رشد تا ۰/۵۵ در اواخر فصل رشد) و تطبیق آن با نیاز آبی محاسبه‌شده، مدیریت آبیاری مزرعه انجام شد. بارش به‌میزان ۵۹ و ۲۴ میلی‌متر به‌ترتیب در اسفندماه و

فروردین‌ماه سال ۱۳۹۷، نیاز آبی گیاه گندم را تا حدی تأمین کرد. بر طبق جدول (۳) درکشت ذرت، آب‌داده شده به مزرعه کمتر از نیاز آبی محاسبه‌شده در طول فصل کشت بود. دلیل این امر آن است که روابط ریاضی محاسبات نیاز آبی برای شرایطی صادق هستند که رطوبت خاک منطقه ریشه همیشه در حالت بهینه بوده و هیچ‌گونه تنش محیطی مانند شوری، خشکی، بیماری و... به گیاه وارد نشود. حال آن‌که در شرایط واقعی کشت، انواع تنش‌های نامبرده شده با کیفیت‌ها و مقادیر مختلف وجود داشته و در نتیجه منطقی است که آب مورد نیاز واقعی گیاه که با مدیریت آبیاری براساس رطوبت خاک به مزرعه داده شده کمتر از نیاز آبی محاسبه‌شده در شرایط بهینه حاصل شود.

بررسی عملکرد ذرت در سامانه آبیاری قطره‌ای

در بررسی عملکرد ذرت در سامانه آبیاری تیپ، آنالیز واریانس و مقایسه میانگین به روش حداقل تفاوت معنی‌دار انجام شد. جداول (۴) و (۵) به ترتیب خلاصه نتایج آنالیز واریانس مرکب و مقایسه میانگین صفات برحسب سال و سطوح تیمار دور آبیاری بره‌بیرید سینگل‌کراس ۷۰۳ را بیان می‌کند.

جدول ۳- عمق آب کاربردی و نیاز آبی فصل کشت با در نظر گرفتن خاک‌آب اولیه

نوع کشت	سامانه آبیاری	تاریخ کاشت	تاریخ برداشت	جز آبشویی (%)	عمق آب کاربردی (mm)	نیاز آبی بر طبق مبانی طراحی (mm)
آبیاری سطحی	سطحی-شیاری	۹۵/۵/۱۵	۹۵/۸/۳۰	۲۵	۹۷۸	۱۰۴۴
	سطحی-نواری	۹۵/۵/۱۵	۹۵/۸/۳۰	۲۵	۹۰۰	۱۰۴۴
	قطره‌ای-نواری	۹۵/۵/۱۵	۹۵/۸/۳۰	۲۰	۷۰۱	۸۱۰
آبیاری سطحی	سطحی-شیاری	۹۶/۵/۱۵	۹۶/۸/۲۵	۲۵	۹۵۰	۱۰۴۴
	سطحی-نواری	۹۶/۵/۱۵	۹۶/۸/۲۵	۲۵	۹۴۰	۱۰۴۴
	قطره‌ای-نواری	۹۶/۵/۱۵	۹۶/۸/۲۵	۲۰	۷۸۹	۸۱۰
آبیاری سطحی	سطحی-نواری	۹۶/۰۹/۱۵	۹۷/۰۲/۱۶	۱۶	۷۹۵	۷۷۷
	قطره‌ای-نواری	۹۶/۰۹/۱۵	۹۷/۰۲/۱۶	۱۱	۵۴۴	۵۸۳

جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس مرکب کشت ذرت در سامانه آبیاری قطره‌ای

منابع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		عملکرد دانه	ماده خشک اندام‌های هوایی
سال	۱	۰/۱۳۴ ^{n.s}	۰/۹۹۲ ^{n.s}
خطا	۴	۰/۹۶۶	۶/۰۳۵
دور آبیاری	۱	۳/۵۷۵*	۲/۷۷۴ ^{n.s}
سال × دور آبیاری	۱	۰/۰۱۸ ^{n.s}	۰/۹۹ ^{n.s}
خطا	۴	۰/۱۹۹	۲/۴۱۲
ضریب تغییرات (%)		۱۰/۰۲	۱۴/۲۱

n.s: عدم تفاوت معنی‌دار * تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی بر حسب سال، دور آبیاری و اثر متقابل در کشت ذرت میانگین صفات در سطح احتمال پنج درصد* (تن در هکتار)

تیمار	میانگین صفات در سطح احتمال پنج درصد* (تن در هکتار)	
	عملکرد دانه	ماده خشک اندام‌های هوایی
سال		
اول	۸/۸۱	۱۳/۳۱
دوم	۸/۶	۱۲/۷۴
دور آبیاری		
دو روزه	۸/۱۶ b	۱۲/۵۴
چهار روزه	۹/۲۵ a	۱۳/۵۱
سال اول × دور ۲ روزه	۸/۳۱	۱۲/۹۲
سال اول × دور ۴ روزه	۹/۳۲	۱۳/۷۰
سال دوم × دور ۲ روزه	۸/۰۲	۱۲/۱۷
سال دوم × دور ۴ روزه	۹/۱۹	۱۳/۳۱

*: در هر ستون تفاوت بین میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند معنی‌دار نیست

شرایط آبیاری هر چهار روز یکبار، گیاه توانسته است به سبب تهویه بهتر در منطقه ریشه، استفاده مناسب‌تر از عناصر غذایی و کارایی بیشتر مصرف آب خاک، عملکرد دانه و ماده خشک هوایی بیشتری نسبت به دور آبیاری هر دو روز یکبار داشته باشد. این نتیجه با تحقیق اکتم (۲۰۰۶) منطبق است.

بررسی عملکرد گندم در سامانه آبیاری قطره‌ای

در بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گندم، تجزیه واریانس در سامانه آبیاری قطره‌ای نواری و مقایسه میانگین تأثیر فواصل نوارها بر عملکرد و اجزای آن با مقایسه تیمار شاهد (آبیاری سطحی) در جدول‌های (۶) و (۷) آورده شده است.

تجزیه مرکب مشخص نمود که تنها اثر دور آبیاری در سطح پنج درصد بر عملکرد دانه تفاوت آماری را پدید آورد و اثر تیمار سال و برهم‌کنش سال در دور آبیاری معنی‌دار نشد. همچنین هیچ یک از عوامل و اثر متقابل آن‌ها بر ماده خشک اندام‌های هوایی معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج به دست آمده از اثر متقابل سال و دور آبیاری نشان داد که در سال اول، عملکرد دانه برای رژیم آبیاری دو و چهار روزه به ترتیب ۸/۳۱ و ۹/۳۲ تن در هکتار بود این در حالی است که این مقدار در سال دوم به ترتیب ۸/۰۲ و ۹/۱۹ تن در هکتار رسید (جدول ۵). این افزایش نسبی در دور آبیاری چهار روزه نسبت به دور دو روزه برای سال اول ۱۲٪ و برای سال دوم ۱۴٪ بود. شاید بتوان چنین گفت که با توجه به بافت سنگین خاک و یکسان بودن حجم آب کاربردی در هر دو تیمار رژیم آبیاری، برای

جدول ۶- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد کشت گندم در سامانه قطره‌ای

منابع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی	عملکرد دانه	بیوماس	شاخص برداشت	وزن هزار دانه
تکرار (R)	۲	۲۸۶۸۰۸ ^{n.s}	۸۶۳۵۷۵ ^{n.s}	۱/۶۵۸ ^{n.s}	۱۰/۶۰ ^{n.s}
آبیاری (I)	۳	۸۲۵۱۹ ^{n.s}	۴۰۵۵۶۶ ^{n.s}	۰/۸۵۶ ^{n.s}	۲/۲۹۴ ^{n.s}
خطای (a)	۶	۳۳۷۵۵۲	۱۳۱۸۱۷۵	۷/۰۲۷	۶/۶۷۱
ضریب تغییرات (%)		۱۳/۱۹	۱۱/۷۷	۵/۸۶	۶/۰۳

n.s: عدم تفاوت معنی‌دار * : تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد ** : تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد

جدول ۷- مقایسه میانگین تأثیر فاصله نوارهای قطره‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

تیمار	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)	بیوماس (کیلوگرم بر هکتار)	شاخص برداشت	وزن هزار دانه (گرم)
(I ₁)	۴۴۰۰ ^a	۹۸۳۰ ^a	۴۵/۱۱ ^a	۴۳/۳۳ ^a
(I ₂)	۴۲۴۳ ^a	۹۵۷۳ ^a	۴۴/۵۸ ^a	۴۲/۶۳ ^a
(I ₃)	۴۳۴۰ ^a	۹۳۸۳ ^a	۴۵/۸۷ ^a	۴۳/۷۲ ^a
(I ₄)	۴۶۳۳ ^a	۱۰۲۳۳ ^a	۴۵/۳۵ ^a	۴۱/۷۳ ^a

*: در هر ستون تفاوت بین میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند معنی‌دار نیست. I₁: آبیاری قطره‌ای با فاصله نوار ۴۰ سانتی‌متری، I₂: آبیاری قطره‌ای با فاصله نوار ۶۰ سانتی‌متری و I₃: آبیاری قطره‌ای با فاصله نوار ۷۵ سانتی‌متری و I₄: آبیاری سطحی (شاهد)

بهره‌وری آب

مجموع نتایج عملکردی و میزان بهره‌وری آب در سه فصل کشت برای دو سامانه آبیاری سطحی و قطره‌ای نواری در جدول (۸) آورده شده است. از تقسیم میزان عملکرد (دانه و زیست‌توده و یا ماده خشک هوایی) بر میزان آب کاربردی (جدول ۳)، بهره‌وری آب برحسب کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد.

بر طبق جدول (۸) میزان بهره‌وری آب ذرت در سال دوم کشت نسبت به سال اول برای هر دو سامانه آبیاری، روندی کاهشی داشت. این روند کاهشی برای سامانه قطره‌ای نواری نسبت به سامانه سطحی محسوس‌تر بود. به‌طوری‌که میزان کاهش در رژیم آبیاری دو روزه ۱۸٪ و برای رژیم آبیاری چهار روزه ۱۴٪ بود. از دلایل اصلی کاهش محسوس بهره‌وری آب در سامانه آبیاری قطره‌ای نواری در سال دوم نسبت به سال اول، افزایش عمق آب کاربردی (جدول ۳) در سال دوم با هدف جلوگیری از کاهش عملکرد به علت افزایش شوری خاک بود.

بر این اساس میزان عملکرد دانه، زیست‌توده (بیوماس)، شاخص برداشت و وزن هزار دانه در هر دو سامانه آبیاری سطحی و قطره‌ای نواری برای تمامی تیمارهای مختلف در هیچ سطحی اختلاف معنی‌دار نداشتند. قره‌داغی و همکاران (۱۳۹۸) که در یک خاک لومی تحقیق کردند، نشان دادند که فاصله قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متری در همه سطوح فواصل لاترال (۴۵،۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر) برای کشت گندم بالاترین عملکرد را از خود نشان داد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. در تحقیق حاضر به دلیل بافت خاک رسی و غالب بودن حرکت جریان افقی باوجود افزایش فاصله نوارهای قطره‌ای از همدیگر، میزان عملکرد و اجزا عملکرد هر چند کاهش محسوسی داشت اما اختلاف معنی‌داری نداشتند. این درحالی است که در خاک‌های با بافت سبک تا متوسط در تیمارهای با فاصله لاترال بیشتر به دلیل عدم همپوشانی جبهه رطوبتی در فواصل بین دولاترال و کمبود رطوبت، عملکرد کاهش می‌یابد (قره‌داغی و همکاران، ۱۳۹۸). چن و همکاران، (۲۰۱۵).

جدول ۸- نتایج عملکردی و بهره‌وری آب

روش آبیاری	رژیم/فاصله نوار (روز/سانتی‌متر)	عملکرد (تن در هکتار)	بهره‌وری (کیلوگرم بر مترمکعب)	
		علوفه خشک/زیست‌توده	دانه	دانه
کشت اول ذرت (برحسب دور آبیاری)				
سطحی-شیاری	۲	۱۲/۹۳	۸/۳۱	۱/۱۸
	۴	۱۳/۷	۹/۳۲	۱/۳۲
سطحی-کرتی	---	۱۲/۵۲	۷/۸۱	۰/۸
سطحی-کرتی	---	۱۵/۲۰	۹/۷۳	۱/۰۸
کشت دوم ذرت (برحسب دور آبیاری)				
سطحی-شیاری	۲	۱۲/۱۷	۸/۰۲	۱/۰۱
	۴	۱۳/۳۱	۹/۱۹	۱/۱۶
سطحی-کرتی	---	۱۱/۳۵	۷/۷۲	۰/۸۱
سطحی-کرتی	---	۱۴/۸۷	۹/۲۴	۰/۹۸
کشت گندم (برحسب فاصله نوار)				
سطحی-نواری	۴۰	۹/۸۳	۴/۴۰	۰/۸
	۶۰	۹/۵۷	۴/۲۴	۰/۷۸
	۷۵	۹/۳۸	۴/۳۴	۰/۸
	---	۱۰/۳۶	۴/۶۷	۰/۵۹

با این حال به علت حجم آب آبیاری کمتر و عملکرد مناسب سامانه قطره‌ای، میزان بهره‌وری آب در عملکرد علوفه‌ای و دانه‌ای به ترتیب بعد از دو سال کاشت ۱۶٪ و ۲۱٪ نسبت به سامانه سطحی بیشتر بود که نشان‌دهنده شرایط مناسب این روش آبیاری است. نتایج این پژوهش با تحقیقات (نصرالهی و همکاران، ۱۳۹۴) که نشان دادند میزان کاهش عملکرد در سامانه قطره‌ای با افزایش شوری در مقایسه با آبیاری سطحی به مراتب کمتر است، همخوان هست. این مسئله ناشی از کارایی آبیاری قطره‌ای با آب شور و لب شور است و به نظر می‌رسد با مدیریت دقیق‌تر در سامانه آبیاری قطره‌ای بتوان کاهش محصول را به حداقل رساند (نصرالهی و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین بر طبق جدول (۸) مقایسه دو روش در سامانه آبیاری سطحی نشان می‌دهد که عملکرد و بهره‌وری در روش آبیاری کرت نواری به ترتیب ۲۵٪ و ۲۷٪ بیشتر از آبیاری جوی و پشته

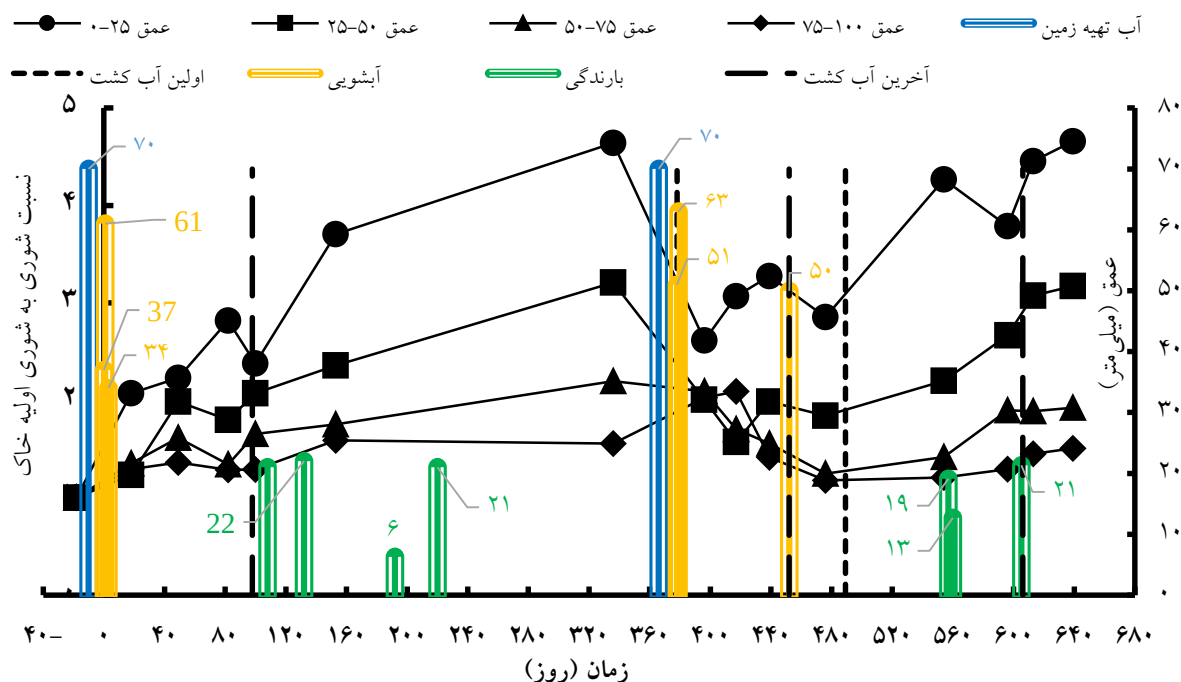
است. کاهش عملکرد و به دنبال آن کاهش بهره‌وری آب در روش آبیاری جوی و پشته نسبت به روش کرت نواری و حتی سامانه آبیاری قطره‌ای نواری به دلیل کشت بذر در داغاب و هجوم شوری به سمت بدنه و پشته‌ها بود. این درحالی است که در روش کرت نواری، بذرها در کف کاشته شدند و تجمع نمک به خارج از جبهه رطوبتی اتفاق افتاد. همچنین در سامانه قطره‌ای نواری به دلیل دور کوتاه آبیاری و مرطوب بودن دائم در منطقه کاشت بذر، تجمع نمک در حاشیه خارجی پیاز رطوبتی روزنه‌های آبدۀ تشکیل می‌گردید. (لیو و همکاران، ۲۰۱۳؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۱) نشان دادند که سامانه آبیاری قطره‌ای، خاک اطراف ریشه گیاه را مرطوب و ردیف‌های بین کشت را به طور تقریبی خشک نگه می‌دارد؛ بنابراین سامانه آبیاری قطره‌ای یکی از مناسب‌ترین تکنیک‌های آبیاری بوده که برای خاک‌های شور و سدیمی مورد استفاده قرار گرفته است. سایرام و

تیاگی (۲۰۰۴) تنش رطوبتی ناشی از تجمع نمک، سمیت یون سدیم و عدم توازن به وجود آمده در اثر برهم کنش نمک و عناصر غذایی موجود در خاک را از دلایل اصلی کاهش عملکرد محصولات به واسطه شوری می دانند. در نهایت برای کشت ذرت بر طبق جدول (۸) در مقایسه میزان بهره‌وری آب برای رژیم‌های آبیاری دو و چهار روزه در سامانه قطره‌ای، با توجه به حجم آب آبیاری ثابت، رژیم چهار روزه نسبت به رژیم دو روزه افزایش ۱۲ درصدی داشت؛ اما برای کشت گندم بر طبق همین جدول، بهره‌وری آب در سامانه آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) نسبت به سامانه آبیاری سطحی افزایش ۳۵ درصدی داشت. همچنین میزان بهره‌وری آب برای فواصل مختلف نوارهای قطره‌ای از همدیگر (۶۰،۴۰ و ۷۵ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌داری نداشتند و می‌توان نتیجه گرفت که در خاک‌های با بافت سنگین، گندم و گیاهان متراکم را می‌توان با فاصله نوار قطره‌ای ۷۵ سانتی‌متری که مناسب برای گیاهان ردیفی است، اجرا و بهره‌برداری کرد. در مقایسه میزان بهره‌وری آب در کشت ذرت و گندم برای سامانه قطره‌ای بر طبق جدول (۸)، بهره‌وری آب در عملکرد دانه‌ای ذرت افزایشی ۵۵ درصدی نسبت به گندم داشت. این افزایش محسوس به دلیل ردیفی بودن کشت ذرت و تجمع نمک در پیرامون سطح خیس شده که خارج از محیط ریشه و حد واسط ردیف‌های کشت بوده، است. این درحالی است که گیاهانی با کشت متراکم مانند گندم از این مزیت سامانه قطره‌ای برخوردار نخواهند بود. این مهم کارایی بودن سامانه قطره‌ای برای گیاهان ردیفی را افزایش می‌دهد. در این تحقیق به دلیل یکسان بودن مقدار آب آبیاری برای کلیه تیمارها، به نظر می‌رسد عامل تأثیرگذار بر میزان بهره‌وری آب مقادیر عملکرد دانه، زیست‌توده و یا ماده خشک هوایی است. این مسئله با نتایج تحقیق قره‌داغی و همکاران

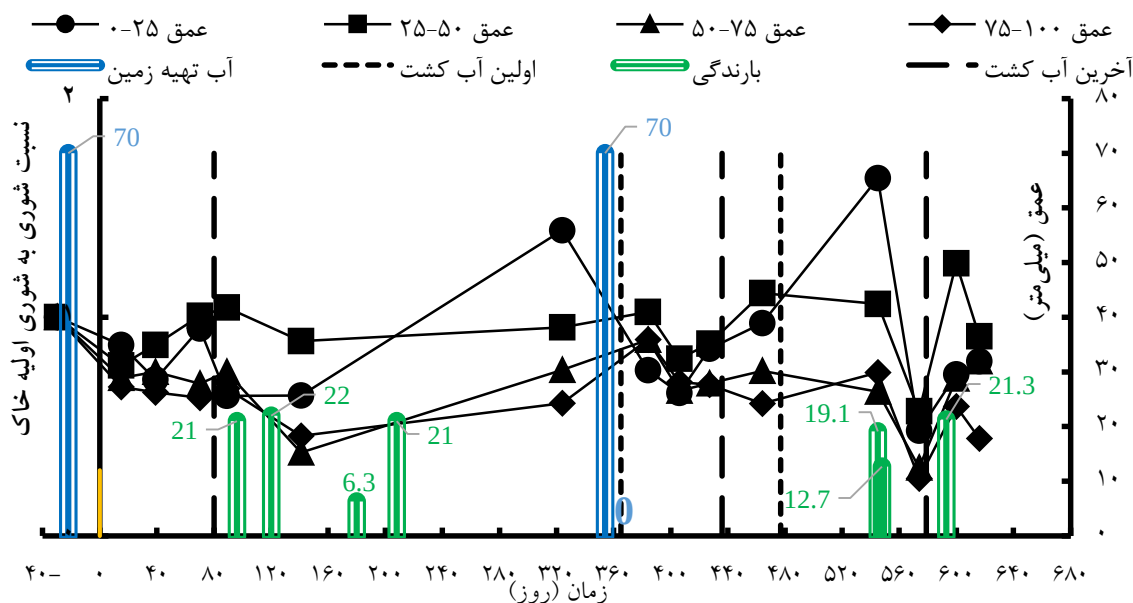
(۱۳۹۸) همخوانی داشت. همچنین افشار و همکاران (۱۳۹۱) و قره‌داغی و همکاران (۱۳۹۸) برای کشت گندم در یک بافت خاک متوسط، بالاترین کارایی مصرف آب را در کمترین فاصله نوار آبیاری و با فاصله قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر تشخیص دادند.

تحلیل تغییرات املاح خاک

به منظور تحلیل تغییرات شوری خاک، زمان اولین آب در سال اول کشت به عنوان مبدأ مختصات زمان (محور افقی در شکل‌ها) در نظر گرفته شد و اولین نمونه قبل از کشت با علامت منفی و باقیمانده نمونه‌ها با علامت مثبت با واحد روز نشان داده شدند. در روش آبیاری قطره‌ای، زمان اولین آب کشت اول ذرت روز صفر، زمان آخرین آب آن، روز ۹۸، زمان اولین آب کشت دوم ذرت روز ۳۷۸، زمان آخرین آب آن ۴۵۲، زمان اولین آب کشت گندم روز ۴۸۹ و زمان آخرین آب آن روز ۶۰۶ است. این مقادیر برای آبیاری سطحی به ترتیب صفر، ۸۰، ۳۶۵، ۴۳۶، ۴۷۷ و ۶۱۶ است. همچنین مهم‌ترین وقایعی که می‌تواند بر روی رفتار شوری خاک تأثیرگذار باشد شامل زمان‌های آبیاری، بارندگی، آبشویی و آب تهیه زمین است که به تفکیک آورده شده است. با توجه به این‌که در رژیم آبیاری چهار روزه برای کشت ذرت عملکرد بهتری حاصل شد و همچنین عملکرد گندم در فواصل مختلف کارگذاری نوارهای قطره‌ای اختلاف معنی‌داری نداشت لذا پایش تغییرات شوری در طول دوره تحقیق برحسب فاصله ۷۵ سانتی‌متر و رژیم آبیاری چهار روزه در این مقاله انجام شد. شکل‌های (۳ و ۴) تغییرات مقدار نسبت شوری عصاره اشباع خاک (EC_e) در طول دوره تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۳- تغییرات شوری عصاره اشباع خاک در سامانه آبیاری قطره‌ای نواری



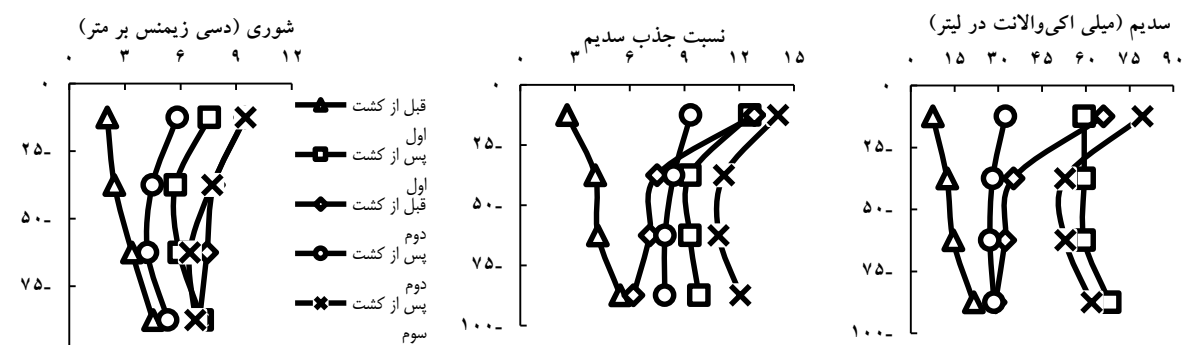
شکل ۴- تغییرات شوری عصاره اشباع خاک در سامانه آبیاری سطحی

کاهش مشاهده شد. در سامانه قطره‌ای، افزایش شوری خاک در میانه فصل کشت، بیشترین مقدار را نشان داد و دلیل آن انطباق این دوره با زمان توسعه رویشی ذرت و حداکثر نیاز آبی محصول بود. این دوره حد فاصله زمانی ۲۰ تا ۶۰ روز پس از کاشت است. در انتهای فصل اول تحقیق با توجه به کاهش نیاز آبی گیاه و افزایش نسبت آب

با توجه به اشکال (۳ و ۴) می‌توان بیان نمود که در ابتدای فصل کشت (تابستان ۱۳۹۵ و گیاه ذرت) با شروع عملیات آبیاری، مقدار شوری خاک بین دو لاترال فرعی (پیرامون سطح خیس شده اطراف روزنه‌های آبد) در سامانه قطره‌ای به دلیل تجمع املاح شروع به افزایش نمود این در حالی است که در روش آبیاری سطحی، روند

کاربردی به کمبود رطوبتی خاک، شوری خاک برای سامانه قطره‌ای رو به کاهش نهاد زیرا در این زمان بخش بیشتری از آب صرف آبیویی شد. همچنین در اولین فصل کاشت، نیمرخ عمقی شوری خاک برای سامانه قطره‌ای مطابق با انتظار در جهت حرکت به سمت عمق، روند کاهشی نشان داد؛ اما در سامانه سطحی، انجام آبیاری در طول کشت سال اول در ابتدا شوری را کاهش داد ولی با ادامه روند رشد گیاه، میزان شوری ضمن کاهش در لایه سطحی، برای لایه‌های میانی به‌خصوص ۵۰-۲۵ سانتی‌متری خاک رو به افزایش نهاد که این امر نشان از تجمع املاح در این لایه داشت. در فاصله زمانی دو فصل کاشت ذرت، مقدار شوری خاک به‌ویژه در لایه سطحی برای دو سامانه آبیاری قطره‌ای و سطحی به‌ترتیب افزایشی ۲۰۰ و ۴۵ درصدی نشان داد. این مهم به‌دلیل آیش مزرعه، تبخیر بالا و بارش بسیار کم بود. این شرایط، بستر را برای حرکت جبهه رطوبتی از لایه‌های زیرین خاک به سمت سطح فراهم نموده و موجب افزایش شوری در ابتدای سال دوم کشت نسبت به انتهای سال اول شد. البته با شروع عملیات آبیاری مقدار شوری در سطح خاک تا بیش از ۱۰۰ درصد برای سامانه قطره‌ای کاهش یافت. با توجه به شکل‌های (۳ و ۴) تغییرات شوری عصاره اشباع خاک قبل از شروع تحقیق تا پایان فصل سوم کشت (گندم) برای سامانه قطره‌ای نواری به‌طور میانگین تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری سطح خاک ۲/۷۵ برابر افزایش یافت. بیشتر افزایش در لایه سطحی خاک (۲۵-۰ سانتی‌متری) با ۴/۵ برابر افزایش نسبت به قبل از شروع تحقیق بود. این مهم ضمن تبخیر از سطح خاک به‌دلیل تجمع نمک خارج از محیط پیاز رطوبتی روزه‌های آبداه بود. بر همین اساس

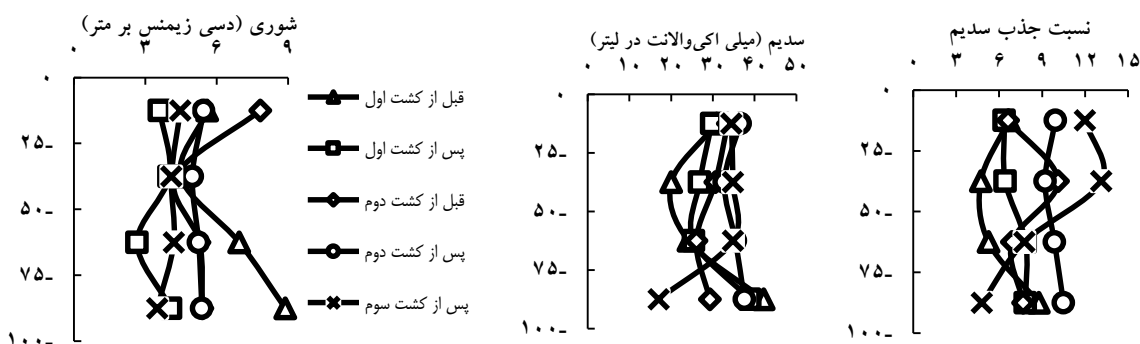
است که توصیه می‌شود در زمان بارندگی با داشتن روش قطره‌ای از سامانه استفاده گردد که از تجمع نمک ناشی از باران در ناحیه ریشه جلوگیری شود. این در حالی است که در سامانه سطحی تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری زمین به‌طور متوسط ۲۵ درصد کاهش سطح شوری نسبت به قبل از شروع تحقیق اتفاق افتاد. وان و همکاران (۲۰۱۰)، وانگ و همکاران (۲۰۱۵) و خوش‌سیمای و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی تغییرات شوری خاک برای سامانه قطره‌ای، بیشترین افزایش شوری را در لایه سطحی خاک بیان کردند. در خصوص تحلیل حرکت املاح در خاک، از تأثیر وجود ریشه در نیمرخ خاک نمی‌توان غافل بود. با رشد گیاه و توسعه ریشه در خاک، بخش اعظمی از حجم خلل و فرج خاک با ریشه جایگزین شده و در نتیجه چگالی ظاهری خاک مزرعه نسبت به قبل از کشت متفاوت خواهد شد لذا در واقعیت سهم آبیویی از آب آبیاری بیشتر از مقدار پیش‌بینی شده است. از سوی دیگر در مرز بین ساختمان خاک و بدنه ریشه، پتانسیل برای شکل‌گیری جریان ترجیحی بوجود خواهد آمد که خود بر روی شستشوی نمک از اطراف ریشه تأثیر مثبت خواهد داشت. لذا منطقی به‌نظر می‌رسد که در انتهای هر فصل کشت، با وجود نیاز آبی بیشتر گیاه و توسعه بیشتر ریشه، آبیویی مؤثرتر و شوری کاهش یابد. شکل (۵) تغییرات عمقی شوری، سدیم و نسبت جذب سدیم در خاک برای سامانه آبیاری قطره‌ای نواری را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۵) می‌توان بیان نمود که پس از اتمام هر دوره کاشت، مقدار این پارامترها افزایش چشم‌گیری نشان داد ولی با شروع فصل جدید به‌طور موقت روندی کاهشی داشت.



شکل ۵- تغییرات عمقی شوری، سدیم و نسبت جذب سدیم-سامانه قطره‌ای-محور عمودی، عمق در نیمرخ خاک (سانتی‌متر)

در اعماق ۶۰-۹۰ سانتی‌متری بوده است. دیاز و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی بیان کردند که سطح سدیم تبادلی در مقایسه با خاک اولیه در شوری‌های آب آبیاری بالاتر از ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر افزایش می‌یابد. طاهری و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی الگوی توزیع شوری و سدیم خاک تحت آبیاری قطره‌ای باغات زیتون بیان کردند که تجمع شوری و سدیم در لایه سطحی خاک بیشتر است. در شکل (۶) این تغییرات برای سامانه سطحی نشان داده شده است. با توجه به شکل (۶) مشخص است تغییرات املاح در این روش آبیاری بسیار کمتر از سامانه قطره‌ای بوده به نحوی که مقدار شوری خاک پس از اتمام تحقیق کاهش یافته ولی مقدار سدیم و نسبت جذب سدیم روندافزایشی داشته است. نحوه تغییر نیمرخ عمقی املاح نشان از تفاوت در ماهیت حرکت جبهه رطوبت در روش آبیاری سطحی داشت که بیانگر جابجایی نمک به لایه‌های پایینی و نهایت توزیع یکنواخت‌تر نمک در نیمرخ عمقی بود.

به‌طورکلی با انجام سه نوبت کشت در دو سال متوالی و با رعایت یک فصل آیش بین دو کشت تابستانه، مقدار پارامترهای شیمیایی خاک نسبت به ابتدای تحقیق افزایش محسوسی را نشان داد. از سوی دیگر با نگاهی دقیق‌تر به روند تغییرات، مشاهده می‌شود که تقریباً در تمامی موارد با گذر از عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک، رفتار تغییرات شوری، سدیم و نسبت جذب سدیم تغییر نموده که دلیل آن تأثیر سطح آب زیرزمینی با توجه به کاربرد آب آبیاری با عمق کم ولی به‌صورت منظم بوده است. خوش‌سیمای و همکاران (۱۳۹۸) در ارزیابی سامانه قطره‌ای با کیفیت آب‌های متفاوت نشان دادند که شوری خاک با عمق کاهش می‌یابد و بیشترین شوری خاک مربوط به لایه ۰-۲۰ سانتی‌متری بود که نسبت به لایه ۲۰-۴۰ سانتی‌متری ۲۸٪ بیشتر بود. مچک‌پشینی و همکاران (۲۰۱۷) و وانگ و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقات جداگانه‌ای به این مهم اشاره کرده بودند. چاو‌هان و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که شوری خاک با عمق کاهش یافته و حداقل شوری



شکل ۶- تغییرات عمقی شوری، سدیم و نسبت جذب سدیم-سامانه سطحی-محور عمودی، عمق در نیمرخ خاک (سانتی‌متر)

بررسی تغییرات طبقه‌بندی خاک در طول زمان

در بررسی تغییرات طبقه‌بندی خاک از پارامتر درصد سدیم قابل تبادل (ESP) استفاده شد که با نسبت جذب سدیم (SAR) ارتباط دارد. روند تغییرات کیفی خاک در ابتدا و انتهای سه فصل کاشت برای مزرعه مورد مطالعه در جدول (۹) آورده شده است. بر طبق این جدول روش قطره‌ای، موجب کاهش کیفیت خاک مزرعه در طول سه فصل کشت شد. به نحوی که خاک غیرشور-غیرسدیمی ($E_{ce}=3.09\text{dS/m}$, $ESP=6.18\%$) ابتدای تحقیق به طور کامل شور شد و به وضعیت سدیمی شدن نزدیک گردید ($E_{ce}=7.63\text{dS/m}$, $ESP=12.63\%$). لازم به یادآوری است که پایش خاک در پیرامون سطح خیس شده قطره‌چکان‌ها و حدفاصل نواری قطره‌ای انجام شد. در آبیاری قطره‌ای، الگوی خیس شدگی خاک اطراف قطره‌چکان پس از آبیاری نشان می‌دهد که مقدار رطوبت خاک در نزدیک قطره‌چکان بیشترین و در پیرامون سطح

خیس شده کمترین است. این درحالی است که شوری خاک زیر قطره‌چکان جایی که تراکم ریشه بیشتر است معمولاً کم تا متوسط است، لیکن بافاصله از قطره‌چکان افزایش می‌یابد (هانسون، ۲۰۱۲ و دهقانی سانچ و همکاران، ۲۰۰۶). بر همین اساس در سامانه قطره‌ای با وجود شور شدن خاک در پیرامون سطح خیس شده اطراف قطره‌چکان‌ها، اما به دلیل آبتیابی مناسب ناشی از دور آبیاری کوتاه و بالانگه‌داشتن پتانسیل آب و خاک در زیر قطره‌چکان، باعث می‌شود ریشه گیاه راحت‌تر برداشت آب را انجام داده و شرایط برای عملکرد بهینه گیاه فراهم شود. همان‌طور که در جدول (۹) مشاهده می‌شود آبیاری سطحی موجب بهبود کیفیت خاک در سطح مزرعه شد به نحوی که خاک شور ($E_{ce}=6.5\text{dS/m}$, $ESP=9.45\%$) ابتدای سال اول کشت ذرت را به خاک غیرشور-غیرسدیمی در انتهای فصل سوم کشت (گندم) تبدیل نمود ($E_{ce}=4\text{dS/m}$, $ESP=9.13\%$).

جدول ۹- روند تغییرات شوری خاک تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری در سامانه آبیاری قطره‌ای و سطحی

روش آبیاری	پارامتر	قبل از کشت	پس از کشت	قبل از کشت	پس از کشت	قبل از کشت	پس از کشت
قطره‌ای-نواری	E_{ce} (dS/m)	۳/۰۹	۶/۶	۷/۹۳	۴/۹۶	۷/۶۳	پس از کشت سوم-گندم
	ESP (%)	۶/۱۸	۱۳/۷۵	۸/۸۸	۸/۷۶	۱۲/۶۳	
سطحی	نوع خاک	غیرشور-غیرسدیمی	شور-غیرسدیمی	شور-غیرسدیمی	شور-غیرسدیمی	شور-غیرسدیمی	شور-غیرسدیمی
	E_{ce} (dS/m)	۶/۵	۳/۵۸	۵/۷	۵/۲۷	۴	
	ESP (%)	۹/۴۵	۱۰/۳۳	۷/۸۱	۱۰/۳	۹/۱۳	
	نوع خاک	شور-غیرسدیمی	غیرشور-غیرسدیمی	شور-غیرسدیمی	شور-غیرسدیمی	غیرشور-غیرسدیمی	غیرشور-غیرسدیمی

نتیجه‌گیری

در این تحقیق سامانه قطره‌ای نواری برای کشت‌های زراعی ذرت و گندم در یکی از مزارع پژوهشی ایستگاه تحقیقات اهواز، به عنوان نماینده‌ای از اقلیم مرکز، جنوب غرب و جنوب خوزستان، طراحی، اجرا و پایش شد. نتایج این تحقیق نشان داد که حجم آب کاربردی در سامانه قطره‌ای برای کشت‌های ذرت و گندم به ترتیب به میزان ۲۴٪ و ۳۲٪ نسبت به سامانه سطحی کمتر بود. به علت حجم آب آبیاری کمتر و عملکرد مناسب در سامانه قطره‌ای، میزان بهره‌وری آب در کشت ذرت برای عملکرد علوفه‌ای و دانه‌ای به ترتیب ۱۶٪ و ۲۱٪ و در کشت گندم

به میزان ۳۵٪ نسبت به سامانه آبیاری سطحی بیشتر بود که نشان‌دهنده شرایط مناسب این روش آبیاری است. همچنین برای کشت گندم در فواصل مختلف نواری قطره‌ای از هم‌دیگر (۶۰، ۴۰ و ۷۵ سانتی‌متر)، میزان بهره‌وری آب اختلاف معنی‌داری نداشت و می‌توان در خاک‌های با بافت سنگین، گیاهان متراکم را بافاصله ۷۵ سانتی‌متری که مناسب برای گیاهان ردیفی است، اجرا کرد. در تحلیل پایش خاک، سامانه قطره‌ای موجب کاهش کیفیت خاک شد. به نحوی که خاک غیرشور-غیرسدیمی ابتدای تحقیق، بعد از سه فصل کاشت، شور گردید و به وضعیت سدیمی شدن نزدیک شد. بیشترین افزایش در لایه سطحی خاک (۲۵-۰ سانتی‌متری)

بود. این درحالی است که سامانه آبیاری سطحی موجب بهبود کیفیت خاک شد به‌طوری‌که خاک شور در ابتدای اولین فصل کشت به خاک غیرشور غیرسديمی در انتهای فصل کشت سوم تبدیل شد. با وجود شور شدن خاک در پیرامون سطح خیس شده اطراف قطره‌چکان‌ها که خارج از محدوده ریشه گیاه بود، رشد و عملکرد گیاهان در سامانه آبیاری قطره‌ای بالاتر بود و این مهم به دلیل بالا نگه داشتن پتانسیل آب خاک در محیط اطراف ریشه بود که تجمع نمک را کاهش داده و رشد بهتر گیاه را با وجود آب شور

محقق ساخت. در مناطق مرکزی و جنوبی خوزستان با وجود بافت خاک سنگین و آب شور زیرزمینی کم عمق در صورت استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای به منظور حفظ تعادل املاح در خاک، زهکشی اراضی و آبیویی در پایان فصل زراعی و یا هم‌زمان با شروع کشت در سطح مزرعه انجام شود. هرچند که منطقی به نظر می‌رسد در انتهای هر فصل کشت، با وجود نیاز آبی بیشتر گیاه و توسعه بیشتر ریشه، آبیویی موثرتر بوده و کیفیت خاک بهبود یابد.

فهرست منابع

۱. افشار، ه. ۱۳۹۱. اثر فاصله لاترال و فاصله روزنه در آبیاری قطره‌ای بر روی عملکرد گندم. گزارش نهائی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی. سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی.
۲. خوش سیمای چنار، م. و نوری، ح. ۱۳۹۸. اثر آبیاری قطره ای (نوار تیپ) با آب شور بر برخی ویژگیهای شیمیایی خاک. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۳(۴): ۵۸۱-۵۶۵.
۳. رحیمیان، م. ح. ۱۳۹۱. تعیین فاصله اپتیم نوارها در آبیاری قطره‌ای گندم. اولین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه. خرداد ماه ۱۳۹۱. کرج. ایران. ۷-۲.
۴. قدمی فیروزآبادی، ع.، چایچی، م. و سیدان، س. م. ۱۳۹۶. اثر سامانه‌های آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب سه ژنوتیپ گندم و ارزیابی اقتصادی آنها در همدان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۱(۲): ۱۴۹-۱۳۹.
۵. قره داغی، م. م.، طباطبایی، م.، معرف پور، ع. و حسین پناهی، ف. ۱۳۹۸. تاثیر فاصله لترال‌ها و قطره چکانها بر عملکرد و کارایی مصرف آب گندم در سامانه آبیاری قطره‌ای نواری. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۳(۴): ۶۶۰-۶۴۵.
۶. طاهری، م.، طاهری، م.، عباسی، م.، مصطفوی، ک. و واحدی، س. ۱۳۹۵. بررسی الگوی توزیع شوری و سدیم خاک تحت آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در باغات زیتون فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۷(۲۶): ۱۴۱-۱۲۷.
۷. عباسی، ف.، سهرابی، ف. و عباسی، ن. ۱۳۹۵. ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. مجله تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، جلد ۱۷ شماره ۶۷، صفحه‌های ۱۲۸-۱۱۳.
۸. مختاران، ع.، ناصری، ع. ع. و کشکولی، ح. ع. ۱۳۹۲. تعیین ضخامت فصل مشترک آب شور- شیرین در اراضی تحت آبیاری و آب زیرزمینی شور و کم عمق. دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران: دانشگاه تهران. ۸-۷ آبان.
۹. مختاران، ع.، آبسالان، ش. و ورجاوند، پ. ۱۳۹۸. بررسی میدانی تاثیر سامانه آبیاری بارانی بر روی شوری خاک در کشت‌های ذرت و گندم مناطق مرکزی خوزستان. اولین کنگره بین المللی و چهارمین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران. ارومیه: دانشگاه ارومیه. ۲۳-۲۲ آبان.

۱۰. ناصری، ا.، عباسی، ف. و اکبری، م. ۱۳۹۶. برآورد آب مصرفی در بخش کشاورزی به روش بیلان آب. مجله تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، جلد ۱۸ شماره ۶۸، صفحه‌های ۱۷-۳۲.
۱۱. نصرالهی، ع. ح.، هوشمند، ع. و برومند نسب. س. ۱۳۹۴. بررسی واکنش ذرت به شوری تحت شرایط آبیاری قطره ای و مدیریت آبیاری. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۳۸(۴): ۲۵-۳۲.
12. Ali, M.H. and Talukder, M.S.U. 2008. Increasing water productivity in crop production-A synthesis, *Agricultural Water Management*, 95, 1201-1213.
13. Chauhan, C. P. S., Singh, R. B., & Gupta, S. K. 2008. Supplemental irrigation of wheat with saline water. *Agricultural Water Management*, 95(3), 253-258.
14. Chen, R., Cheng, W., Cui, J., Liao, J., Fan, H., Zheng, Z., and Ma, F. 2015. Lateral spacing in drip-irrigated wheat: The effects on soil moisture, yield, and water use efficiency. *Field Crops Research*, (179): 52-62.
15. Chouhan, S.S., Awasthi, M.K., and Nema, R. K. 2015. Studies on water productivity and yields responses of wheat based on drip irrigation systems in clay loam soil. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(7): 650.
16. Dehghanisanij, H., Agassi, M., Anyoji, H., Yamamoto, T., Inoue, M., & Eneji, A. E. 2006. Improvement of saline water use under a drip irrigation system. *Agricultural water management*, 85(3), 233-242.
17. Díaz, F. J., Grattan, S. R., Reyes, J. A., de la Roza-Delgado, B., Benes, S. E., Jiménez, C., Tejedor, M. 2018. Using saline soil and marginal quality water to produce alfalfa in arid climates. *Agricultural Water Management*, 199, 11-21.
18. Fang, Q., Zhang, X.Y., Shao, L.W., Chen, S.Y., Sun, H.Y. 2017. Assessing the performance of different irrigation systems on winter wheat under limited water supply. *Agricultural water management*, 196: 133-143.
19. Hanson, B. 2012. Drip irrigation and salinity. *Agriculture salinity assessment and management manual and reports on engineering practice 70* (2edn). American Society of Civil Engineers, Reston (VI), 539-560.
20. Kang, Y., Chen, M., & Wan, S. 2010. Effects of drip irrigation with saline water on waxy maize (*Zea mays* L. var. *ceratina* Kulesh) in North China Plain. *Agricultural Water Management*, 97(9), 1303-1309.
21. Li, X., Kang, Y., Wan, S., Chen, X., & Xu, J. 2015. Effect of drip-irrigation with saline water on Chinese rose (*Rosa chinensis*) during reclamation of very heavy coastal saline soil in a field trial. *Scientia Horticulturae*, 186, 163-171.
22. Liu, M.X., Yang, J.S., Li, X.M., Liu, G.M., Yu, M., Wang, J., 2013. Distribution and dynamics of soil water and salt under different drip irrigation regimes in northwest China. *Irrig. Sci.* 31, 675-688.
23. Machekposhti, M. F., Shahnazari, A., Ahmadi, M. Z., Aghajani, G., & Ritzema, H. 2017. Effect of irrigation with seawater on soil salinity and yield of oleic sunflower. *Agricultural Water Management*, 188, 69-78.
24. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, cell & environment*, 25(2), 239-250.
25. Oktem, A. 2006. Effect of different irrigation intervals to drip irrigated Dent Corn (*Zea mays* L. *indentata*) water-yield relationship. *Pakistan Journal of Biological Science*, 9 (8):1476-1481.
26. Rameshwaran, P., Tepe, A., Yazar, A., & Ragab, R. 2016. Effects of drip-irrigation regimes with saline water on pepper productivity and soil salinity under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae*, 199, 114-123.
27. Sairam, R. K., & Tyagi, A. 2004. Physiological and molecular biology of salinity stress tolerance in deficient and cultivated genotypes of chickpea. *Plant Growth Regul.* 57(10).
28. Saleem, M., Waqas, A., and Ahmad, R. N. 2010. Comparison of three wheat varieties with different irrigation systems for water productivity. *International Journal of Agriculture and Applied Sciences (Pakistan)*.

29. Singh, A., & Panda, S. N. 2012. Effect of saline irrigation water on mustard (*Brassica juncea*) crop yield and soil salinity in a semi-arid area of north India. *Experimental Agriculture*, 48(1), 99–110.
30. Wan, S., Kang, Y., Wang, D., & Liu, S. P. 2010. Effect of saline water on cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield and water use under drip irrigation in North China. *Agricultural Water Management*, 98(1), 105-113.
31. Wan, S., Jiao, Y., Kang, Y., Hu, W., Jiang, S., Tan, J., & Liu, W. 2012. Drip irrigation of waxy corn (*Zea mays* L. var. *ceratina* Kulesh) for production in highly saline conditions. *Agricultural Water Management*, 104, 210-220.
32. Wang, R.S., Kang, Y.H., Wan, S.Q., Hu, W., Liu, S.P., Liu, S.H., 2011. Salt distribution and the growth of cotton under different drip irrigation regimes in a saline area. *Agric. Water Manage.* 100, 58–69.
33. Wang, J., Gong, S., Xu, D., Yu, Y., and Zhao, Y. 2013. Impact of drip and level-basin irrigation on growth and yield of winter wheat in the North China Plain. *Irrigation Science*, 31(5): 1025-1037.
34. Wang, X., Yang, J., Liu, G., Yao, R., & Yu, S. 2015. Impact of irrigation volume and water salinity on winter wheat productivity and soil salinity distribution. *Agricultural Water Management*, 149, 44-54.
35. Zilang, G., Zhifeng, J., Zhiqiang, Z., & Qiying, Y. 2019. Dynamics and distribution of soil salinity under long term mulched drip irrigation in an arid area of northwestern china. *Water* 2019,11,1225.

برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی برنج رقم‌های کوهسار و هاشمی در سامانه‌های مختلف کشت

نوراله جلالی کوتنایی، علی شاهنظری^۱، میرخالق ضیاءتبار احمدی، مجتبی خوش‌روش و

مجتبی رضایی

دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

Njalali2000@yahoo.com

استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

Aliponh@yahoo.com

استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

mzahmadi@yahoo.com

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

khoshhravesh_m24@yahoo.com

عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات ترویج و آموزش کشاورزی، رشت، ایران.

mrezaei@yahoo.com

دریافت: آبان ۱۳۹۹ و پذیرش: شهریور ۱۴۰۰

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات مدیریت آبیاری بر روی مقدار آب مورد نیاز مزرعه برنج و ضریب گیاهی در کشت اول دو رقم هاشمی و کوهسار در شرایط مزرعه در شهرستان محمودآباد در استان مازندران بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ و ۱۳۹۶-۹۷ انجام شد. مقدار آب مورد نیاز مزرعه (از نشاءکاری تا برداشت) و ضریب گیاهی این دو رقم در دو سامانه کشت سنتی غرقابی و مدیریت کشت فشرده برنج مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در کشت نخست، مقدار میانگین دوساله آب مورد نیاز مزرعه برای رقم‌های کوهسار و هاشمی در سامانه‌ی مدیریت کشت فشرده‌ی برنج به ترتیب ۵۳۴ و ۵۵۶ و برای سامانه‌ی سنتی غرقابی ۶۲۳ و ۶۳۲ میلی‌متر بود. مقدار آب مورد نیاز مزرعه در کشت سنتی غرقابی نیز به میزان ۱۳/۱٪ در سامانه‌ی مدیریت کشت فشرده‌ی برنج کاهش یافت. مقادیر ضریب گیاهی بر پایه‌ی تبخیر- تعرق مرجع از روش تشتک تبخیر برای فازهای سه‌گانه‌ی رویشی، زایشی و رسیدن، برای سامانه‌ی سنتی غرقاب در کشت اول برای رقم کوهسار به ترتیب از راست به چپ برابر با (۱/۱۴- ۱/۱۲۹- ۰/۹۲) و هاشمی (۱/۱۸- ۱/۳۲- ۰/۹۲) به‌دست آمد. طبق نتایج به‌دست آمده می‌توان دریافت که به‌کارگیری سامانه‌ی کشت فشرده‌ی برنج باعث صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در مصرف آب شالیزار می‌شود. لذا با توجه به کمبود آب در کشور، می‌توان از این روش به عنوان یکی از راهکارهای سازگاری با کم‌آبی در مناطق برنج‌خیز بهره برد.

واژه‌های کلیدی: شالیزار، تبخیر تعرق مرجع، روش تشتک تبخیر، کشت فشرده برنج، کشت سنتی غرقاب

۱. آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری.

مقدمه

برنج یکی از انواع غلاتی است که غذای بیش از دو سوم جمعیت جهان را تشکیل می‌دهد. سطح اراضی شالیزاری در جهان در سال ۲۰۱۹ بالغ بر ۱۶۲ میلیون هکتار و مقدار تولید شلتوک نیز ۷۵۵ میلیون تن گزارش شد (فائو، ۲۰۱۹). بر اساس آمارنامه‌ی سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت شلتوک کشور بالغ بر ۸۹۲ هزار هکتار با تولید ۴/۴۲۲ میلیون تن و میانگین عملکرد ۴۹۵۷ کیلوگرم در هکتار بود. مازندران نیز با سطح شالیزاری معادل ۲۷۲ هزار هکتار و تولید ۱/۴۲۸ میلیون تن شلتوک دارای رتبه‌ی نخست کشوری بوده و میانگین عملکرد این استان برابر با ۵۲۵۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹). از سوی دیگر، تازه‌ترین به‌روزرسانی گزارش اطلس ریسک‌های آبی حکایت از آن دارد که با اثرگذاری تغییرات آب و هوایی، ۱۷ کشور جهان که تقریباً یک‌چهارم از جمعیت جهان را شامل می‌شود. با بحران‌های آبی بسیار شدید مواجه بوده و کشور ایران در رده‌ی چهارم آن قرار دارد (هافستی و همکاران، ۲۰۱۹). با توجه به رشد جمعیت کشور، تأمین غذا برای آینده نیازمند استحصال آب بیشتر است، حال این‌که با توجه به وضعیت اقلیمی، چنین آبی تحت هیچ شرایطی در دسترس نخواهد بود و از این رو بایستی گزینه‌های نوین کشت جایگزین کشاورزی سنتی شده و در مصرف آب صرفه‌جویی شود. تنها راه پاسخ به تقاضای روزافزون غذا و تولید بیشتر، مصرف کمتر آب و افزایش راندمان خواهد بود (باقری و همکاران، ۱۳۹۳).

سیستم مدیریت فشرده کشت برنج روشی است که با اعمال یک سری تغییرات مدیریتی باعث به‌وجود آمدن محیطی مناسب برای رشد گیاه می‌شود. این روش به‌لایل افزایش عملکرد در مقابل کاهش نهاده، بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌است. مهم‌ترین هدف این سیستم افزایش بهره‌وری در فاریاب‌های برنج، از طریق بهبود مدیریت گیاه، خاک، آب و عناصر غذایی با رویکرد افزایش بهره‌وری

زمین، نیروی انسانی و سرمایه در تولید برنج است (تقوی قاسمخیلی و پیردشتی، ۱۳۹۵).

مطالعات زیادی در خصوص تعیین نیاز آبی و ضریب برنج در ایران برای ارقام مختلف انجام شده‌است. فرشی و همکاران (۱۳۷۶)، مقادیر نیاز آبی خالص برنج برای ایستگاه بابلسر را از دهه‌ی دوم فروردین تا دهه‌ی سوم مرداد ماه به صورت دهروزه گزارش کردند که بیشترین مقدار آن با ۹۸ میلی‌متر، مربوط به دهه‌ی سوم اردیبهشت و کمترین مقدار آن با ۲۸/۶ میلی‌متر مربوط به دهه‌ی سوم مرداد بوده و در مجموع این مقدار برابر با ۸۸۷/۲ میلی‌متر بوده‌است.

در مطالعات انجام شده برای تبخیر-تعرق برنج برای رقم فجر ۵۲۶ میلی‌متر (اسدی و نصیری، ۱۳۸۸)، برای رقم طارم ۴۶۸ و ۴۷۷ میلی‌متر (باباپور گل‌افشانی و همکاران، ۱۳۹۱)، برای ارقام هاشمی و خزر به ترتیب ۴۲۹ و ۴۵۶ میلی‌متر (مدبری و همکاران، ۱۳۹۳)، رقم طارم توسط لایسیمتر در شهرستان محمودآباد برابر ۴۹۹ میلی‌متر (جلالی کوتنایی و همکاران، ۱۳۸۷)، نیاز آبی خالص برای رقم‌های خزر ۵۲۶، بهار ۴۹۰ و هاشمی ۴۵۹ میلی‌متر در رشت (پیرمادیان و همکاران، ۱۳۹۲)، رقم‌های بینام و خزر در لایسیمتر در سال اول تحقیق به ترتیب ۵۲۷ و ۵۴۰ میلی‌متر، در سال دوم به ترتیب ۵۱۹ و ۵۳۶ میلی‌متر و در سال سوم به ترتیب ۴۷۴ و ۵۲۰ میلی‌متر در رشت (پوریزدان‌خواه و همکاران، ۱۳۹۳)، نیاز آبی رقم‌های هاشمی و شیروودی به ترتیب ۳۵۱ و ۳۹۷ میلی‌متر (غلامی سفیدکوهی و همکاران، ۱۳۹۹) گزارش شد.

در سامانه‌ی مدیریت کشت فشرده برنج در اندونزی، مقدار آب موردنیاز برابر ۴۳۰ میلی‌متر و در غرقاب کامل ۷۸۴ میلی‌متر (هیدایه و همکاران، ۲۰۰۸)، نیاز آبی در چین ۶۶۷ میلی‌متر (کائو شن و همکاران، ۲۰۱۸)، تبخیر-تعرق برنج در چین ۸۱۶ میلی‌متر (یو و همکاران، ۲۰۱۷)، نیاز آبی در کشت اول و دوم در تایوان به ترتیب ۹۶۲ و ۱۱۱۴ میلی‌متر (کو و همکاران، ۲۰۰۶) گزارش شد.

و جهان صورت گرفته، اما مطالعه‌ای برای رقم کوهسار در دو سامانه کشت سنتی غرقاب و مدیریت کشت فشرده‌ی برنج مشاهده نشده است. از این رو با توجه به معرفی رقم کوهسار به عنوان یک رقم زودرس و مقاوم به سرما توسط مؤسسه‌ی تحقیقات برنج کشور و رقم مرسوم هاشمی در شمال کشور، در این پژوهش اقدام به کشت این دو محصول و برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی آن‌ها در کشت نخست شده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت اجرای طرح

این تحقیق در مرکز ترویج و توسعه‌ی تکنولوژی هراز (کاپیک)، واقع در شهرستان محمودآباد با عرض جغرافیائی ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه‌ی شمالی و طول جغرافیائی ۵۲ درجه و ۱۹ دقیقه‌ی شرقی و ارتفاع پنج متر از سطح دریا انجام شد. جدول ۱ برخی از میانگین‌های سالانه پارامترهای اقلیمی ایستگاه هواشناسی کاپیک در طول فصل رشد و جدول ۲ و ۳، ویژگی‌های خاک و آب محل آزمایش را نشان می‌دهد. خاک کرت در محل آزمایش دارای کلاس بافت لوم‌رسی بوده و از نظر شوری برای کشت و کار برنج مناسب است. همچنین با توجه به نتایج آزمایش‌ها منابع آب، از نظر استاندارد کیفیت آب مشکلی برای مزارع شالیزاری وجود ندارد.

سامانه‌های کشت و تیمارهای آزمایشی

این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در سه تکرار با سه فاکتور سامانه-ی کشت در دو سطح سنتی غرقابی و مدیریت کشت فشرده برنج، با دو رقم کوهسار و هاشمی در دو سطح کشت اول و دوم در سال‌های زراعی ۱۳۹۵-۹۶ و ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد.

الف. سامانه‌ی مدیریت کشت فشرده برنج (SRI)

این سامانه دارای شش اصل متفاوت بوده که شامل کاشت نشاهای سالم و جوان ۱۰ تا ۱۲ روزه در

میانگین ضریب گیاهی ارقام از مطالعات مختلف نشان- دهنده‌ی تفاوت آن‌ها در مناطق و ارقام است و مطالعات زیادی در این خصوص انجام شد. این ضریب برای رقم خزر ۱/۱۰ و بینام ۱/۰۹ در رشت (پوریزدان‌خواه و همکاران، ۱۳۹۳)، برای فازهای رویشی، زایشی و رسیدن برای رقم طارم در محمودآباد به ترتیب ۱/۰۵، ۱/۲۶ و ۱/۰۷ (جلالی کوتنایی و همکاران، ۱۳۸۷)، برای ارقام هاشمی، خزر و بهار با توجه به رقم بین ۰/۷۶ تا ۱/۰۹ برای مرحله‌ی ابتدایی، ۱/۱۵ تا ۱/۴۸ برای مرحله‌ی میانی و ۰/۹۱ تا ۱/۲۱ برای مرحله‌ی انتهایی در رشت (پیرمادیان و همکاران، ۱۳۹۲)، برای رقم هاشمی در فازهای رویشی، زایشی و رسیدن برای کشت اول به ترتیب ۰/۹۸، ۱/۴۰ و ۱/۰۳ و برای کشت دوم ۰/۹۵، ۱/۳۰ و ۱/۰۱ در ساری (بابایی و همکاران، ۱۳۹۸) گزارش شد. غلامی سفیدکوهی و همکاران (۱۳۹۹) نیز بر پایه روش‌های محاسباتی تبخیر- تعرق مرجع طی دوره‌های ابتدایی، میانی و انتهایی رشد به ترتیب بین ۰/۸ تا ۱/۲، ۰/۹ تا ۱/۴۱، ۰/۶۹ تا ۰/۹۹ برای رقم هاشمی و ۰/۷۳ تا ۱/۱۲، ۰/۷۶ تا ۱/۲، ۰/۷۳ تا ۱/۱۵ برای رقم شیرودی به دست آوردند.

والا و امان (۲۰۱۳) در تحقیق خود در مصر، مقدار ضریب گیاهی برنج را برای ماه‌های آوریل، مه، ژوئن به ترتیب ۱/۱۲، ۱/۲۷، ۱/۵۴ و برای ماه‌های ژوئیه، اوت، سپتامبر و اکتبر برابر با ۱/۶۵، ۱/۵۷، ۱/۳۹ و ۱/۱۵ اعلام کردند. همچنین مقدار ضریب گیاهی برنج در نشریه‌ی فائو شماره ۵۶، در شرایط بیشترین ارتفاع گیاه و با مدیریت خوب در شرایط نیمه مرطوب برای مرحله‌ی ابتدایی ۱/۰۵، میانی ۱/۲۰ و انتهایی ۰/۹ (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) اعلام شد. ضریب گیاهی برای مراحل سه‌گانه‌ی رشد برنج در پاکستان به ترتیب برابر با ۰/۹۶، ۱/۲۰ و ۱/۱۷ (شاه و همکاران، ۱۹۸۶) و برای مراحل چهارگانه‌ی رشد در هندوستان نیز به ترتیب برابر با ۱/۱۵، ۱/۲۳، ۱/۱۴ و ۱/۰۲ (تیاگی و همکاران، ۲۰۰۰) گزارش شد.

هرچند مرور منابع نشان می‌دهد که مطالعات زیادی در خصوص نیاز آبی و ضریب گیاهی برنج در ایران

مرحله ی دو تا سه برگی، نشاکاری یک بوته در کپه با عمق کم، فواصل زیادتر بین بوته ها (۲۵ سانتی متر)، وجین و هوادهی خاک با استفاده از روتاری، مدیریت آبیاری متناوب و دوری از غرقابی دائم و استفاده از کمپوست و کودهای آلی است. در این سامانه از زمان نشاکاری تا حدود دو هفته ی بعد از آن، مزرعه با عمق مناسب (پنج سانتی متر) در حالت غرقاب نگه داشته می شود و از دو هفته بعد از نشاکاری تا دو هفته پیش از زمان برداشت محصول، اقدام به آبیاری متناوب نموده و سپس همانند روش سنتی، آبیاری تا زمان برداشت قطع می شود. در این سامانه، آبیاری با عمق کم در حدود سه سانتی متر صورت گرفته و پس از رسیدن رطوبت خاک در حدود ۷۵ تا ۸۰ درصد اشباع آبیاری بعدی انجام شد، به نحوی که خاک مزرعه در طول دوره نه در حالت غرقاب کامل و نه کاملاً خشک بوده و دارای رطوبت کافی بوده است. خلاصه ی عملیات اجرایی سامانه ی مدیریت کشت فشرده برنج به شرح زیر انجام شد:

برای جوانه دار نمودن بذر ها و پرورش نشا، پس از ضد عفونی بذر ها، بذریابی در جعبه هایی به ابعاد ۳۰×۳

۶۰×۶۰ سانتی متر صورت گرفت؛ تا در مرحله ی دو تا سه برگی (۱۰ تا ۱۵ روز بعد از بذریابی) برای نشاکاری استفاده شوند. بعد از گل آب نمودن مزرعه و تسطیح نهایی، اقدام به زهکشی مزرعه و تخلیه ی آب ایستاده نموده و سپس مقدار سه تن در هکتار کود مرغی پلت شده با خاک مخلوط شد. سه روز پیش از نشاکاری در مزرعه، از سموم علف کش به صورت قطره پاشی در ارتفاع مناسب آب استفاده شده و سپس عملیات نشاکاری با فاصله ۲۵×۲۵ سانتی متر و به صورت تک بوته انجام شد. وجین اول و دوم برای مبارزه با علف های هرز به فاصله ۲۰ و ۳۵ روز بعد از نشاکاری صورت گرفت و همچنین برای مقابله با کرم ساقه خوار و مقابله با بلاست از سموم آفت کش در اوایل خوشه دهی استفاده شد. در این آزمایش، عملیات داشت منطبق بر دستورالعمل کشت این سامانه به طور یکنواخت برای تمامی کرت ها انجام شد. خلاصه ی تفاوت های دو روش در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۱- برخی از میانگین های سالانه پارامترهای هواشناسی ایستگاه هواشناسی کاپیک در طول فصل رشد

پارامترهای هواشناسی	میانگین دمای روزانه (°C)		میانگین رطوبت نسبی (%)		تبخیر از تشتک (mm)	بارش (mm)
	کمترین	بیشترین	کمترین	بیشترین		
سال نخست زراعی	۱۸/۱	۲۸/۵	۶۵/۷	۹۳/۵	۷۲۳	۴۰۸
سال دوم زراعی	۱۸/۳	۲۸/۹	۶۳/۶	۹۱/۶	۸۰۳	۳۹۵

جدول ۲- برخی از ویژگی های خاک محل آزمایش

هدایت الکتریکی (ds.m ⁻¹)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک
۰/۵۸	۲۲	۵۰	۲۸	لومی رسی

جدول ۳- برخی از ویژگی های آب زیرزمینی محل آزمایش

EC	PH	N-NO ₃ ⁻	قلیائیت	سختی کل	CL ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺ +Ca ²⁺
ds/m		mg/l						me/l		
۰/۶۵	۷/۹۸	۷/۳۳	۲۵۰	۶۷۵	۱	۰	۵	۱۰/۵	۳	۱۳/۵

جدول ۴- خلاصه‌ای از مهم‌ترین تفاوت‌های دو روش کشت سنتی و مدیریت کشت فشرده‌ی برنج

سامانه‌ی کشت	کود مصرفی	بذر مصرفی برای هر هکتار (کیلوگرم)	سطح خزانه (مترمربع)	سن نشاء (روز)	تعداد نشاء (در کپه)	فاصله‌ی کاشت (سانتی‌متر)	روش آبیاری
سنتی	شیمیایی	۵۰-۴۰	۲۵۰	۴۰-۳۰	۸-۵	(۲۰ × ۲۵) ≈	غرقاب دائم
مدیریت کشت فشرده‌ی برنج	مرغی پلت شده	۷-۶	۷۰	۱۲-۱۰	۱	۲۵×۲۵	SRI

ب. سامانه‌ی کشت سنتی غرقابی برنج

در روش سنتی غرقابی، آبیاری به صورت غرقاب دائم و با ارتفاع آب نسبتاً زیاد تا زیاد (۵ تا ۱۰ سانتی‌متر) انجام و آبیاری دوباره پیش از کاهش ارتفاع آب تا حدود سه تا پنج سانتی‌متری صورت گرفت. تعداد نشاهای بکار رفته در زمان نشاکاری نیز بین پنج تا هشت نشاء در کپه و بلندی آن‌ها بین ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر بود. در این سامانه، پیش از نشاکاری مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۷۵ کیلوگرم در هکتار اوره به عنوان کود پایه با خاک مخلوط شد. عملیات نشاکاری به صورت معمول کشاورزان انجام و ۱۰ روز پس از نشاکاری ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره وارد زمین شد. وجین اول و دوم به فواصل ۲۰ و ۳۵ روز بعد از نشاکاری صورت گرفته و ۳۵ روز بعد از نشاء نیز مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم و ۱۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره مصرف شد. کنترل کرم ساقه-خوار و مبارزه با بیماری بلاست نیز بر طبق دستورالعمل مؤسسه‌ی تحقیقات برنج کشور اجرا شد. آبیاری به شیوه‌ای انجام شد که حدود دو هفته پیش از برداشت محصول، سطح کرت عاری از آب ایستاده باشد.

روش انجام پژوهش

برای اجرای این پژوهش، بعد از گل‌آب و هموارسازی زمین شالیزاری، عملیات پیاده کردن نقشه‌ی طرح صورت گرفت. برای اعمال مدیریت مستقل آبیاری برای هر کرت و جلوگیری از نشت جانبی، مرزبندی با ارتفاع حدود ۳۰ سانتی‌متر انجام و پلاستیک‌کشی روی آن‌ها و تا عمق حدود ۳۰ سانتی‌متر در زیر آن‌ها انجام شد.

کودپاشی هر کرت بر اساس دستورالعمل هر سامانه و آنالیز خاک انجام و عملیات ماله‌کشی با توجه به کوچک‌بودن هر کرت به صورت دستی صورت گرفت. نشاکاری کرت‌ها متناسب با تعداد بوته در کپه و فواصل کاشت هر سامانه‌ی کشت انجام شد. سپس تجهیزات اندازه‌گیری میزان ارتفاع آب و فرونشست عمقی و تعداد چهار لایسمتر ژاپنی در داخل کرت‌ها نصب شد. برای تعیین فرونشست عمقی، لوله-ی پلیکا با قطر ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر که حدود ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر در داخل زمین فرو رفته در داخل کرت-های آزمایشی نصب و روی آن برای جلوگیری از تبخیر یا ورود آب پوشانیده و میزان فرونشست در دوره‌های زمانی ثبت شد. نصب لوله پلیکای سوراخ‌دار در کرت‌های آبیاری متناوب برای مشخص شدن عمق آب زیر سطح کرت و مشخص کردن زمان آبیاری به طوری که عمق سطح ایستابی آب در زیر سطح خاک مشخص باشد انجام شد. مقدار آب آبیاری و مقدار مصرف آب در کرت با اندازه‌گیری ارتفاع آب روی میخ فلزی انجام شد. میزان آب مصرفی کرت‌ها نیز با تعیین ارتفاع آب ورودی و کاهش یافته، تعیین شد بدین طریق که با نصب میخ چوبی به ارتفاع حدود ۵۰ سانتی‌متر که در قسمت مرکزی آن یک میخ فلزی که تا بخشی در داخل آن فرو رفته و بعد از فرورفتن میخ چوبی در داخل زمین، سطح میخ فلزی با سطح زمین مماس گردد برای اندازه‌گیری عمق آب در داخل کرت‌ها با خط‌کشی که ابتدای آن روی میخ فلزی قرار گرفته در دوره‌های مختلف انجام شد. با اندازه‌گیری فرونشست عمقی با استفاده از لوله-های پلیکای نصب‌شده در هر کرت آزمایشی و کسر نمودن آن از ارتفاع آب کاهش یافته‌ی هر کرت مقدار تبخیر-تعرق محاسبه شد. مقدار بارندگی مؤثر نیز بر طبق روش ژاپنی

تبخیر- تعرق گیاه

برای تعیین تبخیر-تعرق از روش غیرمستقیم یا روش‌های محاسباتی استفاده شد.

$$ET = K_c \times ET_o \quad (1)$$

که در آن:

ET تبخیر-تعرق گیاه موردنظر (mm/day)، K_c ضریب گیاهی (بدون بعد) و ET_o تبخیر-تعرق گیاه مرجع (mm/day) است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). دو ویژگی تبخیر-تعرق گیاه و فرونشست عمقی از عوامل اصلی تعیین آب مورد نیاز در اراضی شالیزاری است (تویودا، ۱۹۸۱).

ضریب گیاهی

ضریب گیاهی برای هر گیاه از حاصل تقسیم تبخیر-تعرق استاندارد گیاه (ET_c) موردنظر به تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_o) به دست آمد:

$$K_c = ET_c / ET_o \quad (2)$$

در پژوهش حاضر، ابتدا آب مصرفی در کرت که دربرگیرنده‌ی دو عامل تبخیر-تعرق واقعی گیاه در مزرعه و فرونشست عمقی بود تعیین شد. مقدار تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از لایسیمتر نوع ژاپنی و مقدار فرونشست عمقی توسط لوله‌های نصب‌شده در کرت‌ها اندازه‌گیری شد. میزان حجم آب داده شده به کرت برای کنترل داده‌ها نیز ثبت گردید. مقدار تبخیر-تعرق مرجع نیز با روش تشتک تبخیر کلاس A موجود در ایستگاه هواشناسی مرکز و اعمال ضریب ۰/۸۵ محاسبه شد. مقدار ضریب تشتک با استفاده از آزمون مقایسه‌ای بین تشتک و مزرعه به‌طور عملی تعیین شد. اکبری نوده‌ی (۱۳۸۹) نیز در مطالعه‌ای، مقدار ضریب تشتک را برای ایستگاه سینوپتیک ساری و بر اساس روش فائو ۲۴ برای ماه‌های اردیبهشت تا مرداد برابر ۰/۸۵ به دست آورد.

با تقسیم تبخیر-تعرق گیاه در مزرعه بر تبخیر-تعرق مرجع، مقدار ضریب گیاهی ارقام هاشمی و کوهسار محاسبه شد.

مرتبط با شالیزار انجام شد. بدین صورت که مقدار باران زیر پنج میلی‌متر حذف شده و باران‌های بین ۵ تا ۸۰ میلی‌متر در ضریب ۰/۸۰ ضرب شده و برای بالاتر از ۸۰ میلی‌متر نیز برابر ۶۴ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود (جلالی کوتنایی، ۱۳۹۴). پس از رسیدگی فیزیولوژیکی برای محاسبه‌ی عملکرد بعد از حذف اثر حاشیه‌ای، بوته‌های سطحی معادل چهار مترمربع از مرکز هر کرت برداشت و بعد از خرم‌ن‌کوبی بر اساس رطوبت ۱۴ درصد عملکرد محاسبه شد. از هر کرت سه کپه که نماینده واقعی کپه‌ها بود انتخاب گردید (سه کپه که تعداد پنجه آن‌ها برابر با میانگین تعداد پنجه هر کرت بود) و پس از اندازه‌گیری ارتفاع بوته و طول خوشه‌ها، دانه‌ها با دست از خوشه‌ها جدا شدند و با استفاده از آب نمک، دانه‌های پر و پوک از هم جدا شده و در هوای آزاد خشکانده شدند. در ادامه سه نمونه پنج گرمی از دانه‌های پر و سه نمونه یک گرمی از دانه‌های پوک انتخاب و تعداد دانه‌ها شمارش شدند. بدین طریق تعداد دانه‌های پر و پوک محاسبه گردید. با مشخص کردن تعداد دانه‌های پر و پوک در خوشه، درصد باروری، تعداد کل دانه در هر خوشه محاسبه گردید. وزن هزار دانه نیز از سه نمونه پنج گرمی تعیین شد. شمارش تعداد دانه در خوشه در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه شمارشگر بذر صورت گرفت. ارتفاع بوته (قد گیاه شامل مجموع خوشه و ساقه)، طول خوشه (فاصله بین گره خوشه تا نوک خوشه بدون احتساب ریشک)، تعداد دانه پر (شمارش تعداد دانه سالم و پر بعد از سبک سنگین کردن بذور)، تعداد دانه پوک (شمارش تعداد دانه پوک بعد از برداشت)، وزن هزار دانه (وزن هزار دانه سالم با رطوبت ۱۴٪ به‌وسیله ترازوی دیجیتالی حساس)، درصد رسیدگی (تقسیم تعداد دانه پر به کل تعداد دانه ضرب در صد)، در نمونه‌ها اندازه‌گیری و یا محاسبه شد. داده‌ها با استفاده از نسخه‌ی ۹/۱ نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل و میانگین تیمارها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری یک و پنج درصد با یکدیگر مقایسه شدند.

مراحل رشد و نمو برنج

یا خوشه در غلاف، ظهور خوشه یا خوشه‌دهی و گل‌دهی و دوره‌ی رسیدن دربرگیرنده‌ی مراحل شیر، خمیری دانه و مرحله‌ی رسیدن دانه) است. فازهای مختلف رشد و نمو رقم‌های هاشمی و کوهسار را به صورت روز بعد از نشاءکاری در جدول ۵ نشان داده شد.

در گیاه برنج، دوره‌ی رویشی دربرگیرنده‌ی مراحل جوانه‌زدن، گیاهچه‌ای، پنجه‌زنی و طول شدن ساقه؛ دوره‌ی زایشی دربرگیرنده‌ی تشکیل خوشه‌ی اولیه، آبستنی

جدول ۵- فازهای مختلف رشد در کشت نخست برای رقم کوهسار و هاشمی

رقم محصول	سال کشت	تاریخ نشاءکاری	تاریخ برداشت	روز پس از نشاءکاری (DAT)		
				رویشی	زایشی	رسیدن
کوهسار	سال اول	۹۶/۰۳/۱۷	۹۶/۰۶/۰۷	۳۱-۱	۵۸-۳۲	۸۴-۵۹
	سال دوم	۹۷/۰۲/۲۸	۹۷/۰۵/۱۷	۳۰-۱	۶۵-۳۱	۸۳-۶۶
هاشمی	سال اول	۹۶/۰۳/۱۷	۹۶/۰۶/۱۱	۳۱-۱	۵۸-۳۲	۸۸-۵۹
	سال دوم	۹۷/۰۲/۲۸	۹۷/۰۵/۲۴	۳۰-۱	۶۵-۳۱	۸۹-۶۶

نتایج و بحث

الف. نیاز آبی مزرعه و تبخیر-تعرق گیاه

همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، مقدار تبخیر-تعرق گیاه و نیاز آبی مزرعه (مقدار میانگین سال اول و دوم) برای رقم کوهسار در سامانه‌ی مدیریت کشت فشرده برنج به ترتیب (۴۰۳-۵۳۴) و در سنتی غرقابی به ترتیب (۴۶۸-۶۲۳) میلی‌متر به دست آمد. برای رقم هاشمی نیز مقدار تبخیر-تعرق گیاه و نیاز آبی مزرعه به ترتیب (۴۱۳-۵۵۶) و (۴۹۰-۶۳۲) میلی‌متر بود. مقدار نیاز آبی در سامانه‌ی سنتی غرقابی به میزان ۱۳/۱ درصد نسبت به سامانه‌ی کشت فشرده‌ی برنج کاهش یافت. مقادیر مختلف تبخیر-تعرق مرجع، فرونشست عمقی و بارندگی مؤثر در

سال اول و دوم اجرای پژوهش در جدول ۶ نشان داده شد. مقایسه‌ی تبخیر-تعرق گیاه و نیاز آبی با مطالعات صورت گرفته نشان‌دهنده تطابق نتایج پژوهش حاضر با بسیاری از پژوهش‌های صورت گرفته از جمله باباپور گل‌افشانی و همکاران (۱۳۹۱)، مدبری و همکاران (۱۳۹۳)، اسدی و نصیری (۱۳۸۸)، جلالی کوتنایی و همکاران (۱۳۸۷)، پیرمادیان و همکاران (۱۳۹۲)، پوریزدان خواه و همکاران (۱۳۹۳)، غلامی سفیدکوهی و همکاران (۱۳۹۹)، فوکودا و تتسویی (۱۹۷۹)، یو و همکاران (۲۰۱۷)، هیدایه و همکاران (۲۰۰۸) دارد. مقدار نیاز آبی مزرعه و تبخیر-تعرق واقعی در جدول ۷ نشان داده شدند.

جدول ۶- مقادیر تبخیر-تعرق مرجع، فرونشست عمقی و بارندگی مؤثر در سال‌های اجرای طرح به میلی‌متر

فصل کشت	سال اجرا	ET0 نشتک	فرونشست عمقی	بارندگی مؤثر
کشت اول	سال نخست	۴۱۶	۱۳۳	۲۴
	سال دوم	۴۲۲	۱۷۱	۲۸

همان‌طوری که در جدول ۷ نشان داده شده، مقدار میانگین تبخیر-تعرق واقعی گیاه برنج رقم کوهسار در سامانه‌های سنتی غرقابی و مدیریت کشت فشرده برنج به ترتیب به مقدار ۴۶۸ و ۴۰۳ میلی‌متر به دست آمد و نشان داد که مقدار تبخیر-تعرق در سامانه مدیریت کشت فشرده برنج نسبت به سنتی غرقابی به مقدار ۱۳/۹٪ کاهش یافت. در رقم هاشمی نیز مقدار تبخیر-تعرق در سامانه سنتی

غرقابی و مدیریت کشت فشرده برنج به ترتیب ۴۹۰ و ۴۱۳ میلی‌متر بود که نشان‌دهنده کاهش ۱۵/۷٪ تبخیر-تعرق در سامانه مدیریت کشت فشرده برنج نسبت به سنتی غرقابی است.

مقدار میانگین مجموع آب مصرفی مزرعه در سامانه‌های سنتی غرقابی و مدیریت کشت فشرده برنج برای رقم کوهسار به ترتیب ۶۲۳ و ۵۳۴ میلی‌متر و برای رقم

هاشمی نیز به مقدار ۶۳۲ و ۵۵۶ میلی‌متر به دست آمد و باعث صرفه‌جویی در مصرف آب به مقدار ۱۴/۳٪ برای رقم نشان داد که به‌کارگیری سامانه مدیریت کشت فشرده برنج کوهسار و ۱۲٪ برای رقم هاشمی شد.

جدول ۷- مقایسه آب مورد نیاز مزرعه و تبخیر- تعرق واقعی ارقام مختلف در شرایط مختلف آبیاری

کوهسار			هاشمی		
سال	مدیریت کشت فشرده	سنتی غرقابی	مدیریت کشت فشرده	سنتی غرقابی	سال
برنج (SRI)			برنج (SRI)		
سال نخست	۳۹۳	۴۷۰	۳۸۲	۴۷۴	سال نخست
تبخیر - تعرق واقعی (mm)	۴۱۳	۴۶۵	۴۴۵	۵۰۶	سال دوم
میانگین	۴۰۳	۴۶۸	۴۱۳	۴۹۰	میانگین
آب مورد نیاز مزرعه (تبخیر-تعرق + فرونشست) (mm)	۵۱۹	۶۰۵	۵۲۰	۶۰۱	سال نخست
	۵۴۹	۶۴۰	۵۹۲	۶۶۳	سال دوم
	۵۳۴	۶۲۳	۵۵۶	۶۳۲	میانگین

ب. ضریب گیاهی (Kc)

مقدار ضرایب گیاهی ارقام کوهسار و هاشمی در کشت نخست با در نظر گرفتن تبخیر- تعرق مرجع از تشتک تبخیر و برای دو سامانه کشت سنتی غرقابی و مدیریت کشت فشرده (SRI) در جداول ۸ و ۹ آورده شده است. مقدار ضریب گیاهی کشت نخست برای رقم کوهسار در سامانه‌های مدیریت کشت فشرده برنج و سنتی غرقابی در فازهای رویشی، زایشی، رسیدن از راست به چپ به ترتیب به میزان (۰/۸۲-۱/۰۸-۰/۹۸) و (۰/۸۲-۱/۰۸-۰/۹۸) به دست آمد. نشریه فائو ۵۶ مقدار ضریب گیاهی را برای برنج در سه مرحله رشد اولیه، میانی و رسیدن به ترتیب (۰/۹۵-۱/۰۵-۱/۲۰-۰/۹۵) گزارش نموده است. ضرایب گیاهی به‌دست‌آمده در سامانه مدیریت کشت فشرده برنج در مراحل رویشی، زایشی و رسیدن به ترتیب به مقدار (۰/۶۶-۱۰-۸/۸)٪ کمتر از ضرایب گیاهی ارائه‌شده فائو ۵۶

است. ضرایب گیاهی به‌دست‌آمده در سامانه سنتی غرقابی نیز در مراحل رشد به ترتیب به مقدار (۰/۶-۸/۶-۲)٪ بیشتر از ضرایب ارائه‌شده فائو ۵۶ بود.

برای رقم هاشمی نیز این ضرایب در سامانه‌های مدیریت کشت فشرده برنج و سنتی غرقابی در فازهای رویشی، زایشی، رسیدن از راست به چپ به ترتیب به میزان (۰/۸۳-۱/۰۴-۱/۰۱) و (۰/۹۲-۱/۳۲-۱/۱۸) به دست آمد. ضرایب گیاهی به‌دست‌آمده در سامانه مدیریت کشت فشرده برنج در مراحل رویشی، زایشی و رسیدن به ترتیب به مقدار (۰/۷۷-۱۳/۳-۳/۸)٪ کمتر از ضرایب گیاهی ارائه‌شده فائو ۵۶ است. ضرایب گیاهی به‌دست‌آمده در سامانه سنتی غرقابی نیز در مراحل رشد به ترتیب به مقدار (۰/۳-۲/۳-۱۰-۱۲)٪ بیشتر از ضرایب ارائه‌شده فائو ۵۶ بود. مقدار ضرایب گیاهی در سه مرحله رشد رویشی، زایشی و رسیدن برای رقم کوهسار و هاشمی در جداول ۸ و ۹ نشان داده شدند.

جدول ۸- مقدار ضرایب گیاهی در سه مرحله رشد رویشی، زایشی و رسیدن برای رقم کوهسار

سنتی (غرقابی)			مدیریت فشرده (SRI)		
KC ₁	KC ₂	KC ₃	KC ₁	KC ₂	KC ₃
۰/۹۳	۱/۳۰	۱/۱۴	۰/۸۳	۱/۱	۰/۹
۰/۹۱	۱/۲۹	۱/۱۴	۰/۸۱	۱/۰۶	۱/۰۶
۰/۹۲	۱/۲۹	۱/۱۴	۰/۸۲	۱/۰۸	۰/۹۸

ضریب گیاهی بر پایه تشتک تبخیر

جدول ۹- مقدار ضرایب گیاهی در سه مرحله رشد رویشی، زایشی و رسیدن برای رقم هاشمی

مدیریت فشرده (SRI)			سنتی (غرقابی)			ضریب گیاهی بر پایه تشتک تبخیر
KC ₁	KC ₂	KC ₃	KC ₁	KC ₂	KC ₃	
۰/۹۳	۰/۹۹	۰/۸۳	۱/۱۶	۱/۳۴	۰/۹	
۱/۱	۱/۰۹	۰/۸۴	۱/۲۰	۱/۳۱	۰/۹۴	
۱/۰۱	۱/۰۴	۰/۸۳	۱/۱۸	۱/۳۲	۰/۹۲	سال اول سال دوم میانگین

رقم‌های کوهسار و هاشمی، در سامانه روش فشرده (SRI) به ترتیب (۴۰۳-۴۱۳) و در سنتی غرقابی به ترتیب (۴۶۸-۴۹۰) میلی‌متر حاصل شد. مقادیر صرفه‌جویی سامانه مدیریت فشرده در مقایسه با سنتی غرقابی قابل توجه بوده و لذا به عنوان یک روش مؤثر در کشت برنج از لحاظ آبیاری قابل توصیه است. در قسمت ضریب گیاهی نتایج پژوهش نشان داد که کاربرد روش تشتک تبخیر با توجه به سادگی و دقت آن دارای اولویت بوده و قابل توصیه است. ضرایب گیاهی بر پایه‌ی تشتک تبخیر در این پژوهش برای کشت نخست دارای تطابق نسبی با اعداد فائو بود. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار آب مورد نیاز، تبخیر-تعرق گیاه و ضریب گیاهی در فاز زایشی یعنی حدود ۳۰ تا ۶۰ روز پس از نشاء واقع است. همچنین به‌کارگیری مدیریت کشت فشرده‌ی برنج باعث صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در مصرف آب شالیزار می‌شود که با توجه به کمبود آب در کشور، این روش می‌تواند یکی از راهکارهای سازگاری با خشکسالی مدنظر مسئولان و کشاورزان مناطق برنج‌خیز قرار گیرد.

اعداد به‌دست‌آمده برای ضریب گیاهی کشت اول بر پایه‌ی تشتک تبخیر نیز با پژوهش انجام‌شده توسط تیاگی و همکاران (۲۰۰۰) که به ترتیب (۱/۱۴-۱/۲۳-۱/۱۵) نسبتاً تطابق دارد. اعداد ضریب گیاهی بر پایه‌ی تشتک تبخیر در پژوهش حاضر برای کشت اول با اعداد فائو که برای مراحل سه‌گانه به ترتیب (۱/۰۵-۱/۲۰-۱) گزارش شده دارای تطابق نسبی با آن است. مقادیر ضرایب گیاهی که بر پایه‌ی پنمن-مانتیت فائو ۵۶ در روش مدیریت کشت فشرده‌ی برنج و سامانه سنتی غرقابی به دست آمد در تمامی فازهای رشد در سطح احتمال ۱٪ بین دو سامانه اختلاف معنی‌داری وجود داشت که نتایج نشان داده نشد. همچنین ضریب گیاهی بر پایه‌ی تشتک تبخیر برای مدیریت کشت فشرده‌ی برنج و برای سامانه سنتی غرقابی، در تمامی فازهای رشد، دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بودند که نتایج نشان داده نشد.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، مقدار تبخیر-تعرق گیاه در کشت نخست (مقدار میانگین سال اول و دوم) برای

فهرست منابع

۱. احمدی، ک. عبادزاده، ح. ر. حاتمی، ف. عبدشاه، ه. و ا. کاظمیان. ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی جلد اول- محصولات زراعی.
۲. اسدی، ر. و م. نصیری. ۱۳۸۸. بررسی تعیین آب مصرفی برنج لاین ۷۳۲۸ با روش لایسیمتری و کرت‌های کنترل‌شده و مقایسه آن با مدل های تجربی. شماره طرح (پروژه): ۰۲۸-۷۹-۱۸-۱۲۰. کد: ۳۲۲۸۵. معاونت موسسه برنج آمل
۳. اکبری نوده‌ی، د. ۱۳۸۹. برآورد ضریب تشت تبخیر به منظور محاسبه تبخیر-تعرق (مطالعه موردی ایستگاه سینوپتیک ساری). مجله پژوهش در علوم زراعی. سال دوم. شماره ۷

۴. باباپورگل افشانی، م.، شاهنظری، ع.، ضیاءتباراحمدی، م.خ.، آقاجانی، ق. ۱۳۹۱. مقایسه پارامترهای بیلان آبی در اراضی شالیزاری سنتی و تسطیح شده شهرستان قائم شهر. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). دوره (۲). شماره (۴). ص: ۱۰۱۷-۱۰۱۰.
۵. باقری، م. نیک نامی، م. و ح. شعبانعلی فمی. ۱۳۹۳. راهکارها و گزینه های نوین بهره برداری از منابع آب کشاورزی جهت مقابله با خشکسالی. دومین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه. کرج.
۶. بابایی، م. مشعل، م. شاهنظری، ع. و ب. آزادگان. ۱۳۹۸. مقایسه نیاز آبی و ضریب گیاهی کشت های اول و دوم برنج رقم طارم هاشمی (منطقه ی خزرآباد). فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. سال (۹). شماره (۳۵). ص: ۱۵۹.
۷. پیرمردیان، ن. ذکری، ف. رضایی، م. و و. عبد الهی. ۱۳۹۲. استخراج ضرایب گیاهی سه رقم برنج بر پایه ی روش برآورد تبخیر-تغرق در منطقه رشت، مجله ی تحقیقات غلات. سال (۳)، شماره ی (۲). ص: ۹۵-۱۰۶.
۸. پوریزدان خواه، ه. رضوی پور، ت. خالدیان، م. و م. رضایی. ۱۳۹۳. تعیین ضریب گیاهی برنج، رقم بینام و خزر با استفاده از لایسیمتر و کرت های کنترل شده در منطقه رشت. نشریه بوم شناسی کشاورزی. جلد (۶). شماره (۲). ص: ۲۳۸-۲۴۹.
۹. تقوی قاسم خلیلی، ف. و ه. ا. پیردشتی. ۱۳۹۵. ارزیابی پذیرش سیستم مدیریت فشرده کشت برنج (SRI) و اثرات آن بر عملکرد برنج. هفدهمین همایش ملی برنج کشور. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری-پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری طبرستان
۱۰. جلالی کوتنایی، ن. ۱۳۹۴. تجهیز، نوسازی و یکپارچه سازی اراضی شالیزاری. موسسه آموزش عالی علمی کاربردی جهاد کشاورزی. کتاب. شابک ۳-۳۰-۶۵۷۰-۶۰۰-۹۷۸
۱۱. جلالی کوتنایی، ن. ناصری، ع. و ج. سلحشور. ۱۳۸۷. برآورد ضریب گیاهی (KC) برنج (مطالعه موردی رقم طارم) توسط لایسیمتر و N-Type در شهرستان محمودآباد. دومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز.
۱۲. غلامی سفیدکوهی، م. ع. باقری خلیلی، ز. و ا. قلعه نوی. ۱۳۹۹. بررسی تبخیر-تغرق واقعی و ضرایب گیاهی برنج ارقام هاشمی و شیروودی در شهرستان ساری. نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد (۳۴). شماره (۴).
۱۳. فرشی، ع. ا. شریعتی، م. ر. و ج. ر. اللهی، ر. قائمی، م. ر. شهابی فر، م. و م. م. تولایی. ۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده ی زراعی و باغی کشور. جلد (۱). گیاهان زراعی.
۱۴. مدبری، ه. میر لطیفی، س. م. و م. ع. غلامی. ۱۳۹۳. تعیین تبخیر-تغرق و ضریب گیاهی ارقام هاشمی و خزر برنج در دشت مرداب (گیلان). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. علوم آب و خاک. سال (۱۸). شماره (۶۷).
15. Allen, R. G. Pereira, L. S. Raes, D. and M. Smith. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao. Rome. 300(9). D05109.
16. Xinchun, C. Mengyang, W. Rui, S. La, Z. Dan, C. Guangcheng, S. and T. Shuhai. (2018). Water footprint assessment for crop production based on field measurements: a case study of irrigated paddy rice in East China. Science of the Total Environment. 610. 84-93.
17. FAO. The Food and Agriculture organization (2019). <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>

18. Hidayah, S. Agustina, D.A. and M.D. Joubert. (2008). Intermittent irrigation in system of rice intensification potential as an adaptation and mitigation option of negative impacts of rice cultivation in irrigated paddy field. Indonesia.
19. Hofste, R.W. Reig, P. and T. Schleifer. (2019). 17 Countries, Home to One-Quarter of the World's Population, Face Extremely High Water Stress.
20. Kuo, S.F. Ho, S.S. and C.W. Liu. (2006). Estimation irrigation water requirements with derived crop coefficients for upland and paddy crops in ChiaNan Irrigation Association, Taiwan. Agricultural water management. 82(3). 433-451.
21. Shah, M. Bhatti, M. and J. JENSEN.(1986). "Crop coefficient over a rice field in the central plain of Thailand". Field Crops Research. 13: 251-256. ISSN: 0378-4290.
22. Toyoda, H. (1981). Irrigation, Irrigation and drainage course, Tsukuba international agricultural training center. Japan international cooperation agency. JICA.
23. Tyagi, N. Sharma, D. and S. LUTHRA. (2000). "Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter", Agricultural water management. 45(1): 41-54. ISSN: 0378-3774.
24. Yu, W. Li, Z. QingYu, J. and W.Y. Yu .(2017). Water use efficiency of a rice paddy field in liaohe delta, northeast china. agricultural water management. 187. 222-231.
25. Walaa, Y. Nashar, eman, E. and A.Hussien. (2013). Estimating the potential evapo-transpiration and Crop coefficient from climatic data in Middle Delta of Egypt. Alexandria Engineering Journal. 52. 35-42

اثر کم آبیاری در آبیاری قطره‌ای بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت سینگل کراس ۷۰۴

محمد عامریان، سید ابراهیم هاشمی گرم‌دره^۱ و عذرا کرمی

فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران.

mohammad.amerian94@gmail.com

استادیار گروه مهندسی آب، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران.

sehashemi@ut.ac.ir

فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران.

arezuk252@gmail.com

دریافت: آذر ۱۳۹۹ و پذیرش: شهریور ۱۴۰۰

چکیده

کمبود منابع آب به ویژه در بخش کشاورزی یکی از معضلات متداول در توسعه پایدار محسوب می‌شود. به این منظور تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر کم آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب در گیاه ذرت سینگل کراس ۷۰۴، در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران واقع در شهرستان پاکدشت اجرا شد. آزمایش به صورت بلوک کامل تصادفی با سه سطح (D_1) ۱۰۰٪، (D_2) ۷۵٪ و (D_3) ۵۵٪ نیاز آبی گیاه ذرت در سه تکرار انجام شد. بیشترین عملکرد زیست توده در بین سطوح مختلف آبیاری در تیمار ۱۰۰٪ مشاهده شد و با اعمال کم آبیاری ۷۵٪ و ۵۵٪، عملکرد محصول ۲۵٪ و ۵۰٪ کاهش نشان داد. همچنین، بیشترین عملکرد دانه برابر ۱۴۸۰۵ کیلوگرم در هکتار در تیمار ۱۰۰٪ آبیاری و کمترین آن با مقدار ۱۰۲۲۷ کیلوگرم در هکتار در تیمار ۵۵٪ نیاز آبی بود. بیشترین کارایی مصرف آب زیست توده برای تیمار ۷۵٪ آبیاری قطره‌ای و برابر با ۳/۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی به دست آمد. بنابراین می‌توان گفت که سامانه آبیاری قطره‌ای با ۷۵٪ نیاز آبی، سامانه بهینه است و استفاده از آن توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: عملکرد دانه، عملکرد زیست توده ذرت، نیاز آبی گیاه

^۱- آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت.

مقدمه

دسترسی به آب کافی یکی از نیازهای اولیه گیاه برای رشد و تولید محصول می‌باشد. در اغلب مناطق خشک و نیمه خشک دنیا از جمله اراضی وسیعی از ایران (بیش ۸۰ درصد) مسئله بحران آب به عنوان یکی از اصلی‌ترین معضلات در مسیر ایجاد کشاورزی پایدار مطرح است (مالکی و بیدآبادی، ۲۰۱۶). با توجه به پراکنش نامتعادل منابع آب، میزان تقاضای آب در مناطقی که بیش از چهل درصد جمعیت زمین را دارا می‌باشند، از میزان منابع آب موجود در این مناطق پیشی گرفته است. همچنین داده‌ها و اطلاعات گزارش شده در سال‌های اخیر، از شرایط بحران آب در بسیاری از کشورهای این مناطق حکایت می‌کند (قدیر و همکاران، ۲۰۰۷). موارد متعدد مصرف ذرت در تغذیه انسان، دام، طیور و استخراج حدود ۱۵۰۰ فراورده متفاوت و کاربرد آن‌ها در صنایع مختلف موجب شده که تولید ذرت نقش مهمی را در کشاورزی جهان داشته باشد و تولید آن در بسیاری از کشورها بعد از گندم و برنج در رتبه سوم قرار گیرد (الوحد و علی، ۲۰۰۷). کم آبیاری از جمله روش‌های افزایش بهره‌وری آب با دیدگاه افزایش تولید به ازای واحد مصرف آب می‌باشد. برتری این روش در کشتزارهای پهناور و در سال‌هایی که به دلیل کاهش بارندگی، منابع آب محدود می‌گردند، بیشتر است معمولاً در مناطقی که با کمبود آب مواجهند، از کم آبیاری، به عنوان روشی جهت افزایش کارایی مصرف آب، استفاده می‌شود (هوول و همکاران، ۲۰۰۴). استفاده از روش کم آبیاری مدیریت کارا و آگاهانه است که فقط با هدف بهبود راندمان آبیاری صورت نمی‌پذیرد، بلکه به دنبال کاهش مصارف غیرمفید و افزایش سهم مصارف مفید است (توکلی، ۱۳۹۲). در چند دهه گذشته امکان استفاده از روش‌های آبیاری قطره‌ای در محصولات مختلف زراعی بررسی و مشخص شده که آبیاری قطره‌ای قادر به کاهش آب مصرفی و افزایش کارایی آب در محصولات مختلف است (بروسون و همکاران، ۲۰۰۶). نوردخت و تبریزی (۱۳۹۷) مطالعه‌ای باهدف بررسی تأثیر

سطوح آبیاری (آبیاری پس از ۷۰، ۱۱۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) انجام دادند، بر اساس نتایج در تیمار آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر در رقم ۷۰۴ بیشترین عملکرد دانه به دست آمد. همچنین هر دو تیمار آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب باعث کاهش ۱۹ و ۵۰/۶ درصدی عملکرد دانه در واحد سطح شد. بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد برخی هیبریدهای ذرت در شرایط نرمال و تنش خشکی در مرحله رشد رویشی و تنش خشکی در مرحله رشد زایشی نشان داد که اثر تنش آبی بر همه صفات اندازه گیری شده در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین عملکرد دانه و برخی اجزای عملکرد دانه همانند وزن صد دانه، تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف در بلال بیشترین کاهش را در اثر تنش آبی داشتند (رضایی زاد و همکاران، ۱۳۹۷). قبادی و همکاران (۱۳۹۴) بیان کردند که با افزایش تنش آبی به مقدار ۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی، تعداد دانه در هر بلال کاهش می‌یابد و تنش رطوبتی موجب کاهش معنی‌دار وزن صد دانه گردید، همچنین بیشترین کمترین وزن صد دانه به ترتیب مربوط به سطوح آبیاری مطلوب و تنش شدید رطوبتی بود. شیری و چوکان (۱۳۹۶) در ارزیابی تحمل هیبریدهای مختلف ذرت به تنش خشکی گزارش کردند هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی عملکرد بالایی نسبت به میانگین داشت و حساسیت کمی به خشکی داشت. صدرالدینی و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی تنش آب بر روی گیاه ذرت مشاهده کردند بهره‌وری آب برای وزن کل و وزن دانه‌های بلال، تیمار ۷۵٪ نیاز آبی نسبت به سایر تیمارهای برتر بود و با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت. در تیمار آبیاری به میزان ۷۵٪ نیاز آبی، بهره‌وری آب بر اساس وزن کل بلال‌ها ۰/۸ کیلوگرم در مترمکعب و بر اساس وزن دانه بلال‌ها ۰/۶۲ کیلوگرم در مترمکعب بود و به ترتیب ۱۷٪ و ۱۳٪ نسبت

به آبیاری کامل افزایش داشت. نتایج نشان داد بیشترین بهره‌وری آب زمانی روی می‌دهد که آبیاری به میزان ۷۱٪ تا ۷۲٪ نیازآبی انجام شود و لذا برای افزایش بهره‌وری آب بهتر است حدود ۳۰٪ از نیازآبی محاسبه شده را کاهش داد. عامریان و همکاران (۱۳۹۷) در اعمال کم آبیاری بر روی ذرت گزارش کردند در عملکرد دانه و زیست توده در بین دو تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد و ۷۵ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است و همچنین بیشترین کارآیی مصرف آب متعلق به تیمار آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی می‌باشد. خیرآبادی و همکاران (۱۳۹۶) در مقایسه‌ای بین روش‌های آبیاری جوی و پشته‌ای و قطره‌ای بر روی گیاه ذرت بیان کردند روش‌های کم آبیاری به خصوص آبیاری نواری در صرفه‌جویی مصرف آب به عنوان یک راهکار اساسی در همه مناطق خشک و نیمه‌خشک است که با صرفه‌جویی در مصارف آب و فقط با کاهش پنج تا ده درصدی در عملکرد جزء بهترین شیوه‌های آبیاری و از نظر کاربرد برای کشاورزی عملیاتی است. با توجه به اهمیت کشت ذرت خصوصا در منطقه پاکدشت و همچنین با در نظر گرفتن کمبود منابع آبی، این تحقیق با هدف بررسی استفاده بهینه از منابع آب با اعمال روش‌های مختلف آبیاری و اعمال همزمان کم آبیاری که کمتر مورد توجه محققان علی‌الخصوص در این منطقه قرار گرفته، در محل پردیس ابوریحان-دانشگاه تهران در تابستان سال ۱۳۹۶ انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف کم آبیاری قطره‌ای بر عملکرد و اجزاء عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه ذرت در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، واقع در شهرستان پاکدشت در جنوب شرقی تهران (طول جغرافیایی ۵۱ درجه ۴۰ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۰۲۷ متر) انجام شد. میانگین سالانه دمای هوای منطقه در حدود ۱۹ درجه سانتیگراد می‌باشد. متوسط بارندگی در این

منطقه ۱۶۵ میلی‌متر و بر اساس طبقه‌بندی دومارتن دارای اقلیمی خشک است. کشت ذرت یکی از کشت‌های رایج در منطقه پاکدشت و ورامین در شرق استان تهران می‌باشد و دارای اهمیت به سزای از لحاظ تامین علوفه دام و برآورد امنیت غذایی است. این پژوهش بر روی ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴، در قالب بلوک تصادفی با سه تیمار و در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آبیاری شامل سه سطح ۱۰۰ (D₁)، ۷۵ (D₂) و ۵۵ (D₃) درصد نیاز آبی اعمال گردید. عملیات تهیه زمین در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۷ انجام گردید، ابعاد هر کرت نه متر مربع، شامل سه ردیف کاشت به طول سه متر با فواصل بین ردیف‌های کاشت و روی ردیف به ترتیب ۷۵ و ۲۰ سانتی‌متر بود. همچنین برای مطالعه بهتر و دقیق‌تر اقدام به احداث کرت‌هایی شد که به روش سطحی آبیاری در آن‌ها صورت می‌گرفت، طول و عرض آن‌ها سه متر در نظر گرفته شد که مانند روش آبیاری قطره‌ای در سه سطح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۵ درصد نیاز آبی آبیاری شدند. کوددهی بر اساس تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک (جدول ۱) تعیین گردید و کود نیتروژن مورد نیاز به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله ۷-۸ برگی و همزمان با گل‌دهی به صورت سرک به خاک اضافه گردید. به مدت یک ماه پس از کاشت، تمامی کرت‌ها با دور آبیاری ثابت چهار روز (مرسوم در منطقه) و بدون اعمال تیمارهای تنش، آبیاری شدند و بعد از آن اعمال تیمارها آغاز گردید. مقدار نیاز آبی با توجه به داده‌های ایستگاه هواشناسی موجود در مزرعه و با استفاده از رابطه پنمن-مانتیت اصلاح شده توسط فائو و اعمال ضریب گیاهی محاسبه گردید. ضریب گیاهی با توجه به منحنی تغییرات ضریب گیاهی ذرت دانه‌ای در طول فصل رشد برای دوره‌های آبیاری، با استفاده از دستورالعمل نشریه شماره ۵۶ فائو تعیین شد (آلن و همکاران، ۱۹۸۸). حجم آب به صورت نیاز خالص آبیاری در نظر گرفته شد و پس از محاسبه هر تیمار، مقدار آب با استفاده از کتور حجمی اندازه‌گیری و در هر کرت به صورت سطحی و یکنواخت توزیع گردید. برای تامین آب از چاه

$$WUE_i = \frac{D_i}{W} \quad (1)$$

در این رابطه D_i مقدار ماده خشک تولیدی هر یک از اجزای گیاه (کیلوگرم در هکتار)، W مقدار آب تحویلی به قطعات در واحد سطح (مترمکعب در هکتار) و WUE_i کا بی مصرف آب در هر یک از اجزای گیاه (کیلوگرم در مترمکعب) می‌باشد. برای محاسبات آماری از نرم افزار (Ver. 9.0) SAS و برای ترسیم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

موجود در مزرعه دانشگاه استفاده گردید و مشخصات آب مورد استفاده در جدول ۲ آمده است. نمونه برداری از تیمارها در پایان دوره رشد و پس از رسیدگی فیزیولوژیکی انجام گرفت. نمونه‌های گیاهی به تفکیک اجزاء مختلف به مدت ۷۲ ساعت در آون تهویه‌دار و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ کیلوگرم انجام شد و پارامترهای زیست توه، عملکرد دانه، اجزای عملکرد (قطر بلال، ارتفاع بلال، وزن هزار دانه) و ارتفاع بوته اندازه‌گیری گردید، همچنین کارایی مصرف آب با استفاده از رابطه (۱) بدست آمد (دهقانی سنجدی، ۲۰۱۴):

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

عمق خاک	PH	هدایت الکتریکی (ds m^{-1})	مواد آلی (درصد)	کلسیم و منیزیم (meq l^{-1})	کربنات (meq l^{-1})	بی کربنات (meq l^{-1})	ازت کل (درصد)	بافت خاک
۰-۲۰	۶/۵	۱/۴	۰/۰۷	۵۰	۱۴	۰/۶	۰/۱۱	سیلتی لوم
۲۰-۴۰	۶/۵	۱	۰/۱۹	۵۸	۰	۲/۶	۰/۱۴	سیلتی لوم
۴۰-۶۰	۶/۵	۱/۳	۰/۲۸	۳۱/۶	۰	۱/۸	۰/۱۲	لوم

جدول ۲- مشخصات شیمیایی آب چاه مورد استفاده در طول آزمایش

معیار اندازه‌گیری شده	آب چاه	حد استاندارد استفاده در کشاورزی ^۱
EC (ds/m)	۰/۶۸	۲/۹۷
PH	۷/۶	۶-۸/۵
نیتروژن نیتراتی (mg/l)	۱۲	۵۰
نیتروژن نیتریتی (mg/l)	۰/۲۲	-
بی کربنات (meq/l)	۲/۸	-
کلسیم و منیزیم (meq/l)	۲/۶	۱۰۰
پتاسیم (meq/l)	۰/۳۵	-
سدیم (meq/l)	۴۰/۵۱	-
سرب (mg/l)	۱۱/۱	۱
آهن (mg/l)	۰/۳	۳
کادمیوم (mg/l)	۰	۰/۰۵
نیکل (mg/l)	۰/۴	۲

برگرفته از سازمان محیط زیست ایران (۱۳۷۳)

نتایج و بحث

نتایج آن به تفکیک تجزیه و تحلیل و ارائه شده است. مقدار آب مصرفی در طول دوره اعمال تیمارها در جدول ۳ وارد شده است. در کل زمان اعمال تیمارها در روش آبیاری قطره‌ای ۴۵ بار آبیاری انجام گرفت و در روش آبیاری سطحی ۲۲ بار آبیاری انجام گرفت.

مطالعه صورت گرفته تاثیر روش آبیاری و سطوح مختلف آبیاری را بر کارایی مصرف آب، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت سینگل کراس ۷۰۴ مورد بررسی قرار داد که

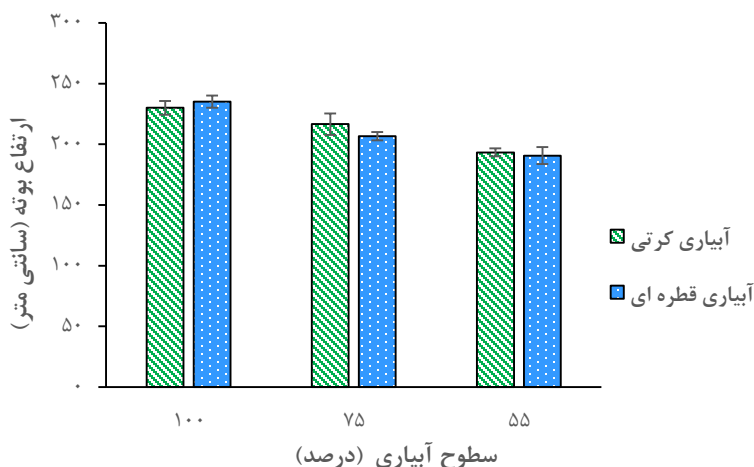
جدول ۳- میزان آب مصرفی در طول دوره اعمال تیمار

تیمارها	حجم آب مصرفی ($m^3.ha^{-1}$)	میزان صرفه‌جویی آب ($m^3.ha^{-1}$)	درصد صرفه‌جویی آب
D ₁	۶۳۷۵	-	-
D ₂	۵۳۹۹	۹۷۶	۲۵
D ₃	۴۶۱۷	۱۷۵۸	۴۵

بررسی اثر سطوح مختلف کم آبیاری بر ارتفاع گیاه ذرت

مطابق تجزیه واریانس مقادیر اندازه‌گیری شده در مرحله نهایی برداشت (انتهای فصل رشد) که در جدول (۴) آمده است. نتایج تجزیه واریانس ارتفاع نشان می‌دهد اثر سطوح کم آبیاری بر ارتفاع نهایی گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. بررسی مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان می‌دهد بین سطوح مختلف کم آبیاری اختلاف معنی‌داری وجود داشت به طوری که تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی دارای بیشترین ارتفاع است. با توجه به شکل (۱) نیز واضح

است روش‌های آبیاری کرتی و قطره‌ای اختلاف معنی‌دار وجود نداشت اما در سطوح مختلف آبیاری این اختلاف معنی‌دار است، همانطور که مشخص است بیشتر ارتفاع در آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین در ۵۵ درصد نیاز آبی است. کاکیر (۲۰۰۴) در پژوهش خود بیان کرد، تنش آبی در مرحله رشد رویشی، ارتفاع بوته و سطح برگ را کاهش می‌دهد. همچنین نتایج تحقیق انجام شده با تحقیقات ربانی و همکاران (۱۳۹۰) که بیان می‌کند کم آبیاری بر ارتفاع گیاه تأثیر معنی‌داری دارد و موجب کاهش آن می‌گردد مطابقت دارد.



شکل ۱- مقایسه میانگین‌های ارتفاع در سطوح کم آبیاری

جدول ۴- خلاصه نتایج تجزیه واریانس صفات عملکردی و کارایی مصرف آب در گیاه ذرت

میانگین مربعات (MS)							
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع گیاه (cm)	قطر بلال (cm)	طول بلال (cm)	وزن هزاردانه (gr)	عملکرد دانه (kg ha ⁻¹)	زیست توده (kg ha ⁻¹)
کم‌آبیاری (D)	۲	۲۴۶۱ / ۰۵**	۰ / ۲۲ ^{NS}	۱۱ / ۳۰*	۲۲۶۴ / ۵ ^{NS}	۳۳۴۵۷۵۱۴ / ۵*	۸۲۴۸۴۴۹۵ / ۵**
خطا کل	۲	۱۰۶ / ۸۸	۰ / ۰۴۵	۰ / ۸۰	۶۶۸ / ۴۰	۳۹۸۲۹۷۶ / ۰	۲۰۲۷۵۹۲ / ۲۳

^{NS}: فاقد اختلاف معنی‌دار، * : اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد، **: اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد

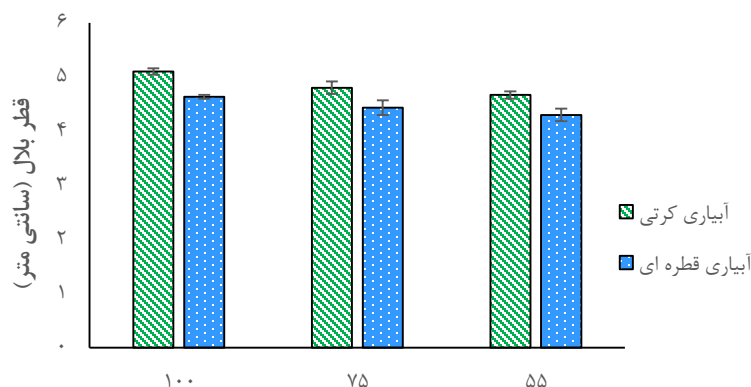
جدول ۵- مقایسه میانگین صفات عملکردی و کارایی مصرف آب در گیاه ذرت

کم‌آبیاری	ارتفاع گیاه (cm)	قطر بلال (cm)	طول بلال (cm)	عملکرد دانه (kg ha ⁻¹)	وزن هزاردانه (gr)	زیست توده (kg ha ⁻¹)	کارایی مصرف آب (kg m ⁻³)
۱۰۰٪ نیاز آبی (D ₁)	۲۳۲ / ۵۰۰a	۴ / ۸۶a	۲۰ / ۴۵a	۱۴۸۰۵a	۲۵۴ / ۹۸a	۲۱۷۴۳ / ۴a	۳ / ۴۱a
۷۵٪ نیاز آبی (D ₂)	۲۱۱ / ۶۶۷b	۴ / ۶۱ab	۲۰ / ۳۳a	۱۱۵۱۲b	۲۵۶ / ۶۲a	۱۷۴۳۰ / ۵b	۳ / ۵۵a
۵۵٪ نیاز آبی (D ₃)	۱۹۲ / ۰۰c	۴ / ۴۸b	۱۸ / ۰۱b	۱۰۲۲۷b	۲۲۲ / ۱۸a	۱۴۳۶۲ / ۸c	۲ / ۹۶a

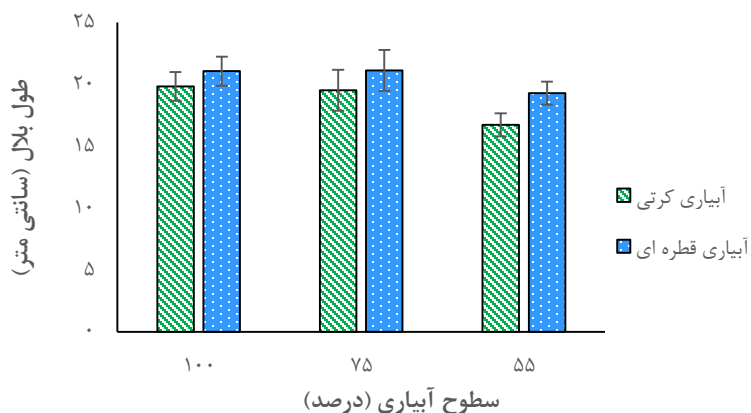
بررسی اثر سطوح مختلف کم آبیاری بر قطر و طول بلال

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد کم آبیاری اثر معنی‌دار بر قطر بلال نداشت اما اثر آن بر طول بلال معنی‌دار بود. با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۵) بیشترین میزان قطر و طول بلال مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب با مقدار ۴/۸۶ سانتی‌متر و ۲۰/۴۵ سانتی‌متر می‌باشد که نسبت به تیمار ۵۵ درصد نیاز آبی به ترتیب میزان ۸/۴۸ درصد و ۱۱/۹۳ درصد افزایش قطر و طول بلال را داشته است همچنین تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با تیمار ۵۵ درصد نیاز آبی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد می‌باشد اما این اختلاف در

بین تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی معنی‌دار نمی‌باشد، به طوری که می‌توان گفت با اعمال کم آبیاری در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی و کاهش مصرف آب در محصول بلال از نظر طول و قطر افت معنی‌داری نداشت. مطابق شکل (۲) بیشتر قطر بلال مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی در آبیاری کرتی می‌باشد که دارای اختلاف با بقیه تیمارها می‌باشد، اما در شکل (۳) طول بلال اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی در آبیاری کرتی و قطره‌ای مشاهده نمی‌شود. فاطمی و همکاران (۱۳۸۰) بیان داشتند در تیمارهای با نیاز آبی ۵۰ درصد حجم آب مورد نیاز گیاه، کاهش تعداد دانه و ریزتر شدن دانه‌ها باعث کاهش قطر و طول بلال گردید که تحقیقات حاضر با آن مطابقت داشت.



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های قطر بلال در سطوح کم آبیاری



شکل ۳- مقایسه میانگین‌های طول بلال در سطوح کم آبیاری

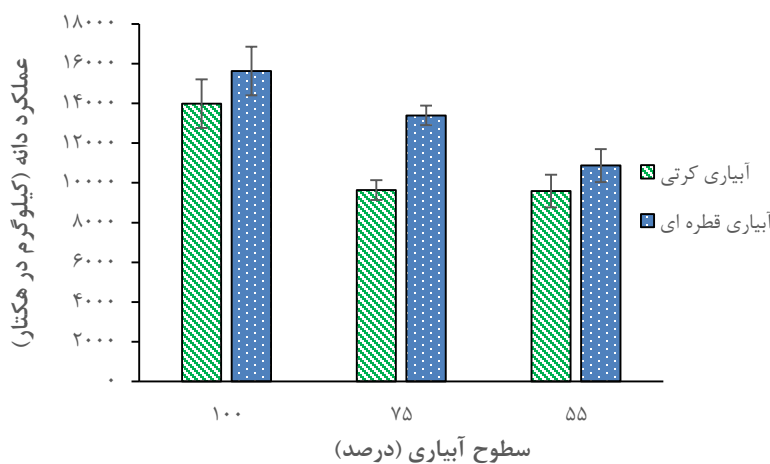
بررسی اثر سطوح مختلف کم آبیاری بر خصوصیات

عملکردی گیاه ذرت

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد کم آبیاری تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد بر عملکرد دانه نداشته است. بررسی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بین سطوح مختلف آبیاری نیز مشاهده شد بین تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با تیمارهای ۷۵ و ۵۵ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌دار وجود داشت و تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی دارای عملکرد بهتری نسبت به سایر تیمارها می‌باشد (جدول ۵). در شکل (۴) عملکرد دانه در تیمارهای روش آبیاری و سطوح

کم آبیاری نشان داده شده است که بیشترین عملکرد دانه مربوط به آبیاری قطره‌ای با تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی به مقدار ۱۴۸۰۵ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. مقایسه عملکرد دانه بین روش آبیاری کرتی و قطره‌ای نشان داد، تیمار آبیاری قطره‌ای با ۷۵٪ نیاز آبی به مقدار ۱۱۵۱۲ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با تیمار آبیاری کرتی با نیاز ۷۵٪ نیاز آبی به مقدار ۹۶۳۴/۸ کیلوگرم در هکتار به میزان ۲۸ درصد افزایش عملکرد داشته است. در تحقیقی ذرت دانه‌ای در تیمار ۱۰۰٪ آبیاری کامل با عملکرد ۱۱۲۱۷ کیلوگرم در هکتار، دارای بهترین عملکرد بود که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد (شهسواری گوغری، ۱۳۹۲).

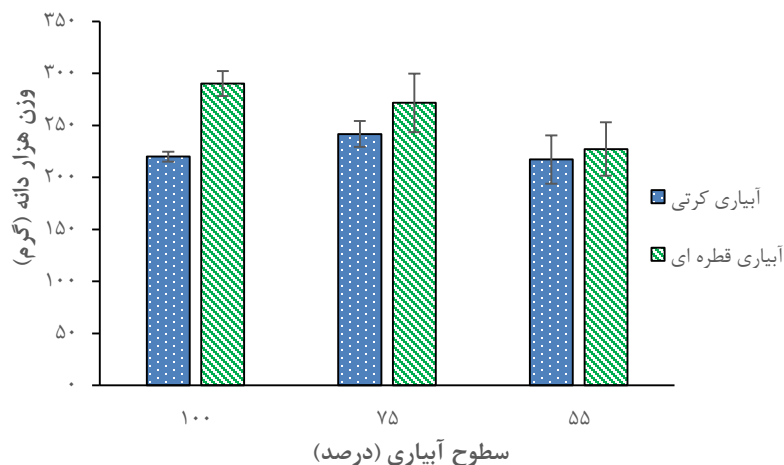


شکل ۴- مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه در سطوح کم آبیاری

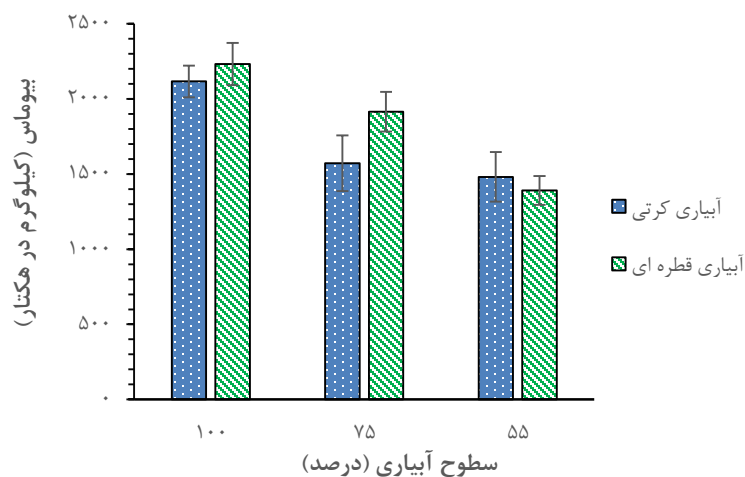
وزن هزار دانه

وزن هزار دانه نشانه کوچک یا بزرگ بودن دانه‌ها و نمود کیفیت بلال می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که در سطوح آبیاری از لحاظ این صفت اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). به منظور بررسی اثرات کم آبیاری بر مقدار وزن هزار دانه مقایسه میانگین‌ها بین تیمارهای کم آبیاری انجام شد که نشان داد بین سطوح

مختلف آبیاری اختلاف معنی‌دار وجود نداشته است (جدول ۵). با توجه به شکل (۵) اعمال تیمارهای آبیاری قطره‌ای در مقایسه با تیمارهای آبیاری کرتی باعث افزایش وزن هزار دانه شد البته این اختلاف معنی‌دار نمی‌باشد. لی و همکاران (۲۰۰۴). کاهش وزن هزار دانه در شرایط کمبود آب به دلیل اختلال در پر شدن دانه، کمبود ماده خشک یا کمبود انتقال مواد به دانه است؛ که منطبق با نتیجه بدست آمده در این مطالعه نمی‌باشد.



شکل ۵- مقایسه میانگین‌های وزن هزار دانه در سطوح کم آبیاری



شکل ۶- مقایسه میانگین‌های زیست توده در سطوح کم آبیاری

زیست توده

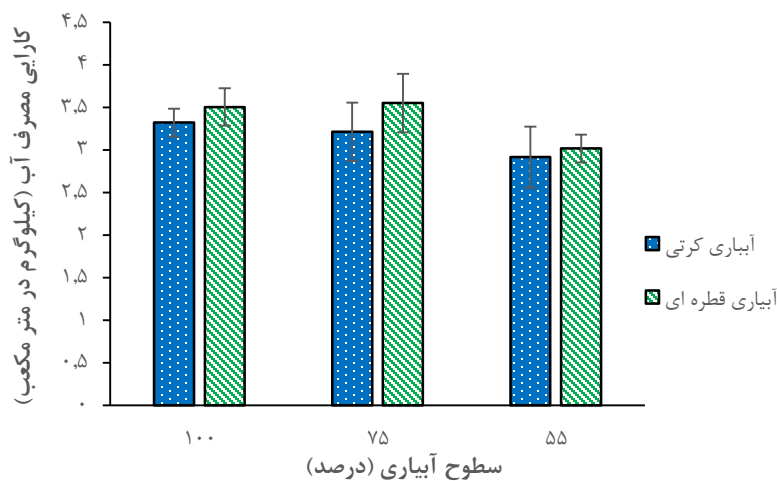
بر اساس تجزیه واریانس (جدول ۴) اثر سطوح آبیاری بر وزن خشک زیست توده (به کلیه قسمت‌های گیاه که بر روی خاک قرار دارند گفته می‌شود، شامل ساقه، برگ، تاسل، بلال و...) در سطح یک درصد معنی‌دار بود. جدول (۵) مقایسه میانگین‌ها نشان داد در سطوح مختلف آبیاری بین هر سه سطح اختلاف معنی‌دار وجود داشت و با افزایش کم آبیاری مقدار زیست توده کاهش می‌یابد و بیشتری مقدار آن

در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین آن در تیمار ۵۵ درصد مشاهده می‌شود. تأثیر روش آبیاری و سطوح کم آبیاری بر میزان وزن خشک زیست توده در شکل (۶) آمده است که نشان می‌دهد بین تیمار آبیاری کرتی و آبیاری قطره‌ای بیشترین وزن خشک بوته مربوط به تیمار آبیاری قطره‌ای با ۱۰۰ درصد نیاز آبی به مقدار ۲۲۳۲۵/۱ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که در مقایسه با تیمار آبیاری قطره‌ای با ۵۵ درصد نیاز آبی ۱۳۹۱۱/۷۹ کیلوگرم در هکتار ۳۳/۶ درصد افزایش داشته

است. از دیگر مواردی که با توجه به شکل (۶) مشهود است با کاهش میزان آب میزان ماده خشک نیز کاهش یافته است. کریمی و همکاران (۱۳۸۵) چنین اظهار داشتند که در شرایط کمبود آب یا کم‌آبیاری بسته به رقم از طریق کاهش رشد موجب کاهش اجزای عملکرد ذرت و در نهایت کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی شد.

بررسی اثر سطوح مختلف کم‌آبیاری بر کارایی مصرف آب در گیاه ذرت

در اینجا برای محاسبه کارایی مصرف آب از عملکرد ماده خشک استفاده شد. با توجه به جدول تجزیه



شکل ۷- مقایسه میانگین‌های کارایی مصرف آب در سطوح کم‌آبیاری

پاکدشت است. در بین تیمارهای کم‌آبیاری نیز مشاهد شد در عملکرد دانه و زیست توده بیشترین مقدار در برآورد ۱۰۰ درصد نیاز آبی است. همچنین کارایی مصرف آب بین سطح ۵۵، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌دار نداشت، بنابراین می‌توان توصیه به استفاده از سطوح مختلف کم‌آبیاری تا سطح ۵۵ درصد نیاز آبی کرد که با کاهش محسوس حجم آبیاری، کارایی مصرف آب آن اختلاف معنی با تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی ندارد.

نتیجه‌گیری

با توجه به ارزش و محدودیت آب در بخش کشاورزی و خشکسالی‌های متناوب، صرفه‌جویی در مصرف و استفاده بهینه از آب موجود، امری لازم و ضروری است لذا هدف این تحقیق یافتن مناسب‌ترین تیمارهای آبیاری بین سه سطح آبیاری است. بررسی شاخص‌های مختلف از جمله طول بلال، قطر بلال، عملکرد دانه گویای برتری سامانه آبیاری قطره‌ای بر آبیاری کرتی در کشت ذرت دانه‌ای در منطقه

فهرست منابع

۱. توکلی، ع. ۱۳۹۲. کم آبیاری و مدیریت آبیاری تکمیلی گندم آبی و دیم در شهرستان سلسله. پژوهش آب در کشاورزی، ۲۷(۴): ۵۸۹-۶۰۰.
۲. خیرآبادی، ع.، نجفی مود، م. ح.، شهیدی، ع.، خاشعی سیوکی، ع. ۱۳۹۶. تأثیر روش و سطوح آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد رقم جدید ذرت (SC.B3) سینگل کراس برکت. مدیریت آب و آبیاری. ۷(۲): ۱۸۳-۱۹۶.
۳. ربانی، ج. و امام ی، ۱۳۹۰. پاسخ عملکرد دانه هیبریدهای ذرت به تنش خشکی در مراحل مختلف رشد. مجله تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی، ۲: ۶۵-۷۸.
۴. رضایی زاد، ع.، تیموری ب، مهراس ع م، ۱۳۹۷. واکنش برخی هیبریدهای ذرت به تنش آبی. تنش های محیطی در علوم زراعی، ۱۱ (۲): ۳۰۱-۳۱۲.
۵. شهنساری گوغری م، ۱۳۹۲. ارزیابی سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت دانه ای دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان. پایان نامه کارشناسی ارشد. صفحه ۲۰.
۶. شیر، م، ر و چوکان، ر. ۱۳۹۶. ارزیابی تحمل به خشکی هیبریدهای ذرت دانه ای. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی. ۲۱(۹): ۸۹-۹۹.
۷. صدرالدینی، ع.، ا.، پرندین، م.، ا.، ناظمی، ا. ح، ۱۳۹۸. اثرات کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد و تعیین بهره وری آب ذرت دانه ای در ایستگاه اسلام آباد غرب. پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)، ۳۳(۲): ۱۸۹-۲۰۴.
۸. عامریان م.، هاشمی گرمدره، س.، ا.، قربانی جاوید، م. ۱۳۹۸. تأثیر کم آبیاری و آبیاری با پساب بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت و کارایی مصرف آب در منطقه پاکدشت. نشریه آبیاری و زهکشی. ۱۳(۳): ۸۲۱-۸۳۱.
۹. فاطمی، ر.، کهراریان، ب.، قنبری، ا و ولی زاده، م، ۱۳۸۰. بررسی اثرات رژیم های مختلف آبیاری و نیاز آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه ای هیبرید سینگل کراس ۷۰۴. مجله علمی- پژوهشی علوم کشاورزی. ۱۲(۱): ۱۳۳-۱۴۰.
۱۰. قبادی، ر.، شیرخانی، ع.، و جلیلیان، ع. ۱۳۹۴. بررسی اثرات تنش خشکی و کود نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف آب و نیتروژن گیاه ذرت (SC ۷۰۴). زراعت. جلد ۱۰۹. صفحات ۷۹-۸۷.
۱۱. کریمی، م و یوسف گمرکچی، ا، ۱۳۸۶. بررسی عملکرد و کارایی مصرف آب آبیاری ذرت دانه ای در کشت یک و دو ردیفه در آبیاری قطره ای و سطحی. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۲(۱): ۲۱-۳۱.
۱۲. کریمی، ا.، همایی، م.، معزاردلان، م.، لیاقت، ع و رئیسی، ف، ۱۳۸۵. اثر کود آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب در ذرت به روش آبیاری. قطره ای-خطی. علوم کشاورزی. ۱۲(۳): ۵۶۱-۵۷۵.
۱۳. مکوندی زاده، ز و مرعشی، س، ک، ۱۳۹۸. تاثیرالگوهای مختلف آبیاری جوی و پشته ای بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم ذرت (Zea mays L). اکوفیزیولوژی گیاهی ۱۱(۳۹): ۱۲-۲۰.
۱۴. نوردخت، م و تبریزی، ا، ف، م، ۱۳۹۷. تأثیر کم آبی و میکوریزا بر عملکرد دانه، خصوصیات زایشی و فیزیولوژیکی ارقام ذرت. تنش های محیطی در علوم زراعی. ۱۱(۲): ۲۲۷-۲۳۹.

15. Howell T.A, S R. Evett, J.A, Tolk and A.D, Schneider. 2004. Evapotranspiration of full and deficit irrigated, and dryland cotton on the Northern Texas High Plains. J. Irrigation. Drain. Eng. ASCE. 130: 277-285.
16. 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), D05109.
17. Bronson K F, Onken A B, Keeling J W, Booker J D and Torbert H.A. (2006) Nitrogen response in cotton as affected by tillage system and irrigation level. Soil Science Society American Journal. 65: 1153-1163.
18. Cakir R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research. 89: 1-16.
19. Dehghanisanij H, Zounemat-Kermani M and Asadi R.2014. Application of Municipal Wastewater in Irrigation of Corn under Furrow and Drip Irrigation Systems. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 8(3), 423-429.
20. El-Wahed, M H Abd and Ali E A. 2013. Effect of irrigation systems, amounts of irrigation water and mulching on corn yield, water use efficiency and net profit. Agricultural water management, 120, 64-71.
21. Kirda C. 2002. Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. Deficit irrigation practice. Water Rep. 22. FAO, Rome, .3-10.
22. Li A, Hou Y and Trent A.2004. Effect of elevated CO₂ and drought stress on individual grain filling rates and durations of main stem in spring wheat. Agri. and Forest Meteo. 106:289-301.
23. Maleki, A., A. A. Bidabadi, I. Khoramabad and I. Khorramabad .2016. "The effect of different levels of municipal effluent irrigation on maize water use efficiency and yield." Journal of Irrigation Science and Engineering 39(2): 139-148.
24. Najafinejad H, and Maddahian H. 2003. Effects of irrigation regimes and planting density on grain yield and some agronomic traits of corn. Journal of seed and plant, 19(2), 13-16.
25. Oktem A, Siesek M and Oktem G. 2003. Deficit irrigation effects on sweet corn (*Zea mays* sooch arata sturt) with drip irrigation system in a semi-arid region. I. water-yield relationship. Agricultural Water Management. 61.1:63-74.
26. Qadir, M., B. R. Sharma, A. Bruggeman, R. Choukr-Allah and F. Karajeh. 2007. "Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries." Agricultural water management 87(1): 2-22.
27. Shiri M, R and Chukan R.2017. Stability tolerance evaluation of maize hybrids. Crop Breeding 9(21): 89-99.

بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید پرتقال در شهرستان قائم‌شهر

حسین ابراهیم‌نژاد، علی کرامت‌زاده^۱، فرشید اشراقی و اعظم رضایی

دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

hosein.ebr1396@gmail.com

استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

alikeramatzadeh@gu.ac.ir

استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

f_eshraghi@yahoo.com

استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

azam.rezaee12@gmail.com

دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۰ و پذیرش: آذر ۱۴۰۰

چکیده

یکی از مهم‌ترین مسائل بخش کشاورزی پایین بودن بهره‌وری نهاده‌ها به‌ویژه آب است. در این مطالعه علاوه بر تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب، عوامل مؤثر بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید پرتقال در شهرستان قائم‌شهر استان مازندران نیز بررسی شد. در راستای اهداف تحقیق، از شاخص‌های عملکرد به ازای مترمکعب آب آبیاری (CPD)، درآمد ناخالص به ازای مترمکعب آب آبیاری (BPD) و درآمد خالص (سود) به ازای مترمکعب آب آبیاری (NBPD) استفاده شد. همچنین برای بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب از تحلیل‌های رگرسیونی بهره گرفته شد، اطلاعات لازم در این پژوهش نیز از طریق تکمیل ۱۶۲ پرسشنامه از باغداران شهرستان قائم‌شهر در استان مازندران در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ گردآوری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار Eviews7 انجام پذیرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که برای پرتقال شهرستان قائم‌شهر، شاخص CPD معادل ۶/۹ کیلوگرم بر مترمکعب، شاخص BPD معادل ۴۷۵۰۰ ریال بر مترمکعب و شاخص NBPD در سه نرخ بهره ۱۰، ۱۲ و ۱۵ درصد به‌ترتیب معادل ۲۹۰۰۰، ۲۸۰۰۰ و ۲۶۶۰۰ ریال بر مترمکعب است. دبی چاه، روزهای استفاده از چاه، مدت‌زمان صرف شده برای آبیاری، تعداد دفعات آبیاری، سن درختان، فاصله درختان، سن باروری درختان، هزینه سم و هزینه کود از عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب می‌باشند. در بین متغیرهای مذکور متغیر مدت زمان صرف شده برای آبیاری از طریق تأثیر بر میزان آب آبیاری، بیشترین تأثیر را بر بهره‌وری فیزیکی آب داشته است. با توجه به تأثیر منفی متغیرهای دبی چاه، تعداد دفعات آبیاری و مدت زمان صرف شده برای آبیاری بر بهره‌وری اقتصادی آب، پیشنهاد می‌گردد آبیاری متناسب با نیاز درختان و با روشی صورت گیرد که حجم آب کمتری مصرف شود.

واژه‌های کلیدی: عملکرد به ازای حجم آب، هزینه تولید، درآمد ناخالص، درآمد خالص، تحلیل رگرسیونی

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

مقدمه

یکی از بارزترین محدودیت‌های موجود در تولید محصولات کشاورزی، تأمین آب است (ارسلان بد، ۱۳۹۳). اهمیت این نهاده در کشور به دلایل محدودیت منابع آب از یک سو و پایین بودن میزان راندمان آبیاری و از بین رفتن بخش زیادی از منابع آب از طرف دیگر دوچندان است. نهاده آب بر روی تولید محصولات کشاورزی، درآمد خالص و ناخالص کشاورزان و بازدهی بخش کشاورزی مؤثر است (جوان و فال سلیمان، ۱۳۸۷). بهبود بهره‌وری آب کشاورزی یکی از مهم‌ترین موضوعاتی است که در سال‌های اخیر مورد توجه جدی مجامع علمی مرتبط با آبیاری و کشاورزی قرار گرفته است. افزایش بهره‌وری آب می‌تواند راهکار مهمی برای بهبود معیشت تولیدکنندگان محصولات کشاورزی باشد (کریمی و جلینی، ۱۳۹۶).

اختلاف زیاد در بهره‌وری آب محصولات مختلف در سطح کشور (گندم، ۰/۵۴، جو، ۰/۹۱ و سیب-زمینی ۱/۶۲، کیلوگرم بر مترمکعب (بیات و بابازاده، ۲۰۱۴)، کلزا ۰/۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب (کریمی و جلینی، ۱۳۹۶)، گوجه‌فرنگی ۲/۸ کیلوگرم بر مترمکعب) (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۷) و همچنین در مقایسه با سایر کشورها (سورگم در آمریکا معادل ۵/۴۹ کیلوگرم بر مترمکعب (محمودزاده و اواد، ۲۰۱۸)، ذرت در هلند بین ۱/۱ الی ۲/۷ کیلوگرم بر مترمکعب (ذووارت و باستینسن، ۲۰۰۴) میانگین غلات (گندم، ذرت و برنج) در چین ۱/۱۶۴ کیلوگرم بر مترمکعب (کاو و همکاران، ۲۰۱۵) نشان‌دهنده وجود پتانسیل استفاده بهینه از منابع آب و افزایش بهره‌وری آب در بخش کشاورزی است.

هدف کلی در مدیریت تقاضای آب و بهره‌برداری آن در کشاورزی، افزایش بهره‌وری آب است. موضوع ارتقا بهره‌وری آب در تولید مواد غذایی از مسائل اساسی در کشورهای مختلف جهان و به‌ویژه کشورهای کم‌آب نظیر ایران است. ارتقاء بهره‌وری آب می‌تواند از دو طریق مستقیم (از طریق افزایش عملکرد محصول، کاهش مصرف

آب یا تلفیقی از هر دو) و غیرمستقیم (کاهش ضایعات، افزایش مکانیزاسیون و ...) انجام شود (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶). اندازه‌گیری و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب در بخش کشاورزی ایران به دلیل محدودیت کمی و کیفی این نهاده ارزشمند از جایگاه خاصی برخوردار است (زمانی و همکاران، ۱۳۹۳)؛ بنابراین محاسبه بهره‌وری آب و ارزیابی عوامل مؤثر بر آن می‌تواند راهکارهای مناسبی را برای مدیران واحدهای تولیدی و برنامه‌ریزان کلان اقتصادی ارائه نماید (عبادی و همکاران، ۱۳۹۴).

استان مازندران تا سال ۱۳۹۵ با سطح زیر کشت ۱۱۰ هزار هکتار مرکبات در حدود ۳۹ درصد از کل سطح زیر کشت مرکبات کشور را تشکیل می‌دهد. میزان تولید کل مرکبات استان مازندران نیز با ۱/۸ میلیون تن در حدود ۴۱ درصد کل تولید مرکبات کشور را شامل می‌شود. شهرستان قائم‌شهر نیز با ۱۵ هزار هکتار در حدود ۱۲ درصد از کل سطح زیر کشت مرکبات استان مازندران را به خود اختصاص داده است. میزان تولید مرکبات در این شهر ۲۲۰ هزار تن است که حدود ۱۳ درصد از کل تولید مرکبات استان مازندران است. پرتقال تامسون حدود ۹۵ درصد از کل سطح زیر کشت مرکبات این شهرستان را شامل می‌شود (سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران، ۱۳۹۷).

در ارتباط با بهره‌وری آب در ایران و سایر کشورها مطالعات متعددی انجام شده است. در داخل کشور زید علی و همکاران (۱۳۸۱)، روستا (۱۳۸۹)، محمدپور هنگروانی و ارسلان بد (۱۳۹۵)، کریمی و جلینی (۱۳۹۶)، عزیزاده دیزج و ابراهیمیان (۱۳۹۶) و بهرامی و همکاران (۱۳۹۷) تنها به بررسی بهره‌وری آب در تولیدات محصولات زراعی پرداخته‌اند و عوامل مؤثر بر بهره‌وری را مورد مطالعه قرار نداده‌اند. اکرمی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از مدل رگرسیونی نشان دادند که عواملی نظیر سن کشت، دفعات آبیاری، میزان کود نیترات و ماشین‌آلات کشاورزی بر بهره‌وری آب در تولید نیشکر در استان خوزستان تأثیر معنی‌داری دارند. سلیمی و امیری (۱۳۹۳) به بررسی بهره‌وری اقتصادی آب و کود نیتروژن در تولید

چای با روش آبیاری بارانی در استان گیلان پرداخته‌اند. رجایی و کتابیان (۱۳۹۲) با استفاده از روش تخمین تابع تولید به بررسی بهره‌وری عوامل تولید در کاشت محصول زیتون شهرستان طارم پرداخته‌اند. علی حوری (۱۳۹۶) با بررسی بهره‌وری آب در تولید نخیلات کشور بیان می‌کند میزان بهره‌وری آب در تولید نخیلات کشور پایین و در حدود ۰/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب است. عباسی و همکاران (۱۳۹۹) با اندازه‌گیری میدانی آب کاربردی تاکستان‌های استان‌های مختلف کشور تحت سامانه‌های مختلف آبیاری (سطحی و قطره‌ای)، میانگین بهره‌وری فیزیکی آب ۲/۶۳ کیلوگرم انگور به ازای هر مترمکعب محاسبه نمودند. ملارضا قصاب و همکاران (۱۳۹۹) ضمن محاسبه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید محصولات زراعی (گندم، ذرت، کاهو، پیاز، هویج، فلفل، بادمجان، کلم) و باغی (پرتقال، لیموشیرین، لیموترش، نارنگی، نارنج، گریپ‌فروت) شهرستان دزفول به بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب پرداخته‌اند. در این مطالعه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی محصول پرتقال به ترتیب معادل ۱/۸۲ کیلوگرم و ۳۰ هزار ریال بر مترمکعب محاسبه گردید. نتایج تحلیل رگرسیون نیز نشان داد که متغیرهای نوع محصول، سن، سابقه و تحسیلات کشاورز، سطح زیر کشت، داشتن شغل غیر کشاورزی، نوع منبع آب و روش آبیاری بر بهره‌وری فیزیکی و متغیرهای سن و سابقه کشاورز، شغل غیر کشاورزی، بافت خاک و نوع منبع آب بر بهره‌وری اقتصادی آب مؤثرند. نوآوری مطالعه حاضر نسبت به مطالعات مشابه انجام‌شده در داخل کشور، علاوه بر منطقه مورد مطالعه در نحوه محاسبه هزینه و درآمد یکنواخت سالیانه بر اساس روابط اقتصاد مهندسی و برآورد فرم‌های تابعی مختلف و انتخاب فرم برتر جهت بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری است.

در خارج از کشور بلومی و ماتوسی (۲۰۰۶) به بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب آبیاری محصول خرما در کشور تانزانیا پرداخته و بیان می‌کنند میانگین بهره‌وری آب آبیاری معادل ۰/۱۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب است و

مهم‌ترین عامل مؤثر بر بهره‌وری آب آبیاری نیز میزان شوری آب است. گراسیا و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی بهره‌وری آب و واکنش درختان مرکبات ۱۱ ساله به کم-آبیاری در اسپانیا پرداخته و بیان می‌کنند با صرفه‌جویی آب تا ۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار، عملکرد بین ۱۰ تا ۱۲ درصد کاهش ولی بهره‌وری آب ۲۴ درصد افزایش می‌یابد. اوباسی و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی عواملی نظیر سن، تحسیلات، اندازه مزرعه، اندازه خانوار و میزان کود مصرفی بر بهره‌وری آب در نیجریه پرداخته و بیان می‌کنند سن بر بهره‌وری آب اثر منفی دارد. غراب و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی بهره‌وری آب هلو و زیتون در جنوب تونس پرداخته و بیان می‌کنند بهره‌وری آب در تولید هلو در سنین مختلف درختان بین ۱/۹ الی ۴/۱ کیلوگرم بر مترمکعب است. سان و همکاران (۲۰۱۷) بهره‌وری آب محصولات کشاورزی چین را در سطح مزرعه و منطقه به ترتیب معادل ۰/۸۵ و ۰/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه کرده و بیان می‌کنند بهره‌وری آب بالاترین حساسیت را به رطوبت نسبی و سرعت باد در بین متغیرهای اقلیمی و به راندمان آبیاری در بین متغیرهای کشاورزی دارد. ساتوس (۲۰۱۸) به بررسی بهره‌وری آب در تولید محصول زیتون در جنوب کشور پرتغال در سه سیستم آبیاری کامل، آبیاری ۷۰ درصد و آبیاری ۵۰ درصد پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد بهره‌وری فیزیکی آب در تولید محصول زیتون در شرایط آبیاری کامل معادل ۱/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب است ولی در شرایط آبیاری ۷۰ و ۵۰ درصد به ترتیب ۲/۲۲ و ۱/۶۴ کیلوگرم بر مترمکعب است که آبیاری ۷۰ درصد بالاترین بهره‌وری فیزیکی آب را داشته است.

نتایج بررسی مطالعات انجام‌شده مرتبط با بهره‌وری آب محصولات کشاورزی نشان می‌دهد بهره‌وری فیزیکی و به‌ویژه اقتصادی آب در تولید محصولات مختلف به منطقه مورد مطالعه و سال انجام تحقیق بستگی دارد. اکثر مطالعات (ذووارت و باستینسن؛ کاو و همکاران، ۲۰۱۵؛ محمودزاده و اوآد، ۲۰۱۸ و شیرمحمدی و همکاران، ۲۰۲۱) تنها به بررسی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات

شاخص عملکرد به ازای واحد حجم آب آبیاری (CPD)^۱ شاخص CPD یا محصول تولیدی به ازای واحد آب یکی از شاخص‌های مطرح در خصوص سنجش مقدار بهره‌وری آب در بخش کشاورزی است. این شاخص در واقع نسبت میزان محصول تولیدشده، به حجم آب آبیاری است (رابطه ۱)، لذا هرچه این شاخص بیشتر باشد معرف بهره‌وری بالا و مصرف مناسب‌تر آب است (بیات و بابازاده، ۲۰۱۴).

$$CPD = \frac{Q}{W} = \frac{\text{مقدار محصول تولیدی}}{\text{مقدار آب آبیاری}} \quad (1)$$

در رابطه (۱) Q میزان محصول تولیدی بر حسب کیلوگرم در هکتار است، W میزان آب آبیاری بر حسب مترمکعب در هکتار است (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲). در این مطالعه جهت محاسبه آب آبیاری (W) از رابطه (۲) استفاده گردید:

$$W = N.T.R.3600/1000 \quad (2)$$

در این رابطه:

N تعداد دفعات آبیاری، T زمان صرف شده برای آبیاری هر هکتار (ساعت) و R دبی منبع آبیاری (مترمکعب بر ثانیه) است. شاخص CPD را برای یک یا چند محصول و حتی کل تولیدات بخش کشاورزی می‌توان بکار گرفت اما باید دقت کرد که هر اندازه تنوع محصولات بیشتر گردد میزان خطا در CPD نیز بیشتر خواهد شد که این موضوع به الگوی کشت، نوع واریته‌ها و عوامل دیگر بستگی دارد (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲).

اگر شاخص CPD برای یک رقم بخصوص از محصولی مورد استفاده قرار بگیرد دقت مناسبی خواهد داشت لیکن اگر تعداد محصولات زیاد باشد و یا این که CPD برای دو منطقه با الگوی کشت ناهمسان مورد استفاده و مقایسه قرار گیرد دقت کمی خواهد داشت؛ بنابراین اگر قرار باشد شاخص CPD محصولی در دو منطقه باهم مقایسه گردد این مقایسه هنگامی مناسب است که غیر از آب آبیاری سایر عوامل تولید نیز برابر باشند (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲).

زراعی یک ساله پرداخته‌اند. به دلیل پیچیده بودن محاسبات تعیین سود اقتصادی سالیانه محصولات چندساله و باغی، مطالعات کمتری در زمینه بهره‌وری اقتصادی آب محصولات چندساله و باغی انجام شده است. همچنین مطالعات معدودی عوامل مؤثر بر بهره‌وری به‌ویژه بهره‌وری اقتصادی محصولات باغی را مد نظر قرار داده‌اند. همچنین تاکنون هیچ مطالعه‌ای بر روی بهره‌وری آب پرتقال استان مازندران نیز انجام نشده است. لذا با عنایت به بالا بودن اهمیت موضوع بهره‌وری آب در کشاورزی ایران و استان مازندران این سؤالات مطرح می‌گردد که میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید پرتقال در شهرستان قائم‌شهر به چه میزان است؟ و چه عواملی بر روی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید محصول پرتقال اثر معنی داری دارند؟ بر این اساس در این پژوهش ابتدا به محاسبه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید پرتقال شهرستان قائم‌شهر پرداخته و سپس عوامل مؤثر بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

روش تحقیق

به‌طورکلی جهت محاسبه بهره‌وری آب دو روش پارامتری و ناپارامتری توسط اقتصاددانان پیشنهاد می‌گردد. در روش پارامتری، ابتدا تابع تولید یا تابع سود محصول موردنظر برآورد و سپس بهره‌وری عوامل تولید نظیر آب تعیین می‌شود ولی در روش ناپارامتری با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی، روش داده‌ستانده و روش محاسبه شاخص، بهره‌وری آب محاسبه می‌گردد (رضایی و همکاران، ۱۳۸۷). در این مطالعه جهت برآورد بهره‌وری آب در محصول پرتقال از سه شاخص، عملکرد به ازای واحد حجم آب آبیاری (CPD)، درآمد ناخالص به ازای واحد حجم آب آبیاری (BPD) و درآمد خالص (سود) به ازای حجم آب آبیاری (NBPD) استفاده شده است که جزء روش‌های ناپارامتری محسوب می‌شوند.

¹ Crop per Drop

شاخص درآمد ناخالص به ازای واحد حجم آب آبیاری (BPD)^۱

این شاخص یکی از شاخص‌های محاسبه بهره‌وری اقتصادی است که به مفهوم کسب درآمد ناخالص بیشتر به ازای واحد حجم آب آبیاری است. این شاخص بر مبنای ریال بر مترمکعب یا به شکل کلی‌تر واحد پول به ازای هر واحد حجم آب محاسبه می‌گردد. در این شاخص میزان درآمد ناخالص نسبت به مقدار آب آبیاری در نظر گرفته می‌شود (بیات و بابازاده، ۲۰۱۴) (رابطه ۳):

$$BPD = \frac{\text{درآمد ناخالص}}{\text{مقدار آب آبیاری}} = \frac{TR}{W} \quad (۳)$$

بر اساس شاخص BPD سیاست مصرف آب بایستی به شکلی باشد که میزان درآمد ناخالص به دست آمده از واحد حجم آب آبیاری در سطح بالایی باشد. در این شاخص میزان درآمد ناخالص (TR) از حاصل ضرب میزان محصول تولیدی در قیمت محصول محاسبه می‌گردد. این روش نیز همانند شاخص CPD دارای مزایا و معایبی است. برآورد این شاخص تقریباً ساده بوده اما در این روش مقدار هزینه صرف شده برای تولید محصول در نظر گرفته نمی‌شود و یا به عبارت دیگر به جای درآمد خالص (سود)، درآمد ناخالص در نظر گرفته می‌شود که این مسئله یکی از نقاط ضعف این روش است. در مجموع می‌توان گفت که شاخص BPD یک شاخص ناقص برای انجام مطالعات بوده و شاخص NBPD نوع اصلاح شده آن است. مشخص است که در زمان محاسبه و تفسیر شاخص‌های اقتصادی بهره‌وری توجه به سال پایه جهت محاسبات و توجه به میزان تورم، استهلاک، تغییرات قیمت محصول و مواردی از این دست دارای اهمیت است.

شاخص درآمد خالص (سود) به ازای واحد حجم آب آبیاری (NBPD)^۲

یکی از بهترین شاخص‌ها برای محاسبه میزان بهره‌وری اقتصادی آب در بخش کشاورزی شاخص

NBPD یا درآمد خالص (سود) به ازای هر واحد آب آبیاری است. در این روش برخلاف روش قبل به جای در نظر گرفتن درآمد ناخالص در صورت کسر، میزان درآمد خالص (سود) در صورت کسر جای می‌گیرد. درآمد خالص پس از کسر هزینه‌ها از درآمد ناخالص محاسبه می‌شود. با توجه به اینکه جهت محاسبه هزینه‌ها علاوه بر هزینه‌های جاری هزینه ثابت نیز لحاظ می‌شود لذا جهت محاسبه معادل یکنواخت هزینه‌ها از نرخ‌های بهره ۱۰، ۱۲ و ۱۵ درصد استفاده گردیده است. بر این اساس شاخص NBPD در نرخ‌های بهره مختلف محاسبه می‌گردد، لذا اگر هدف بهبود بهره‌وری اقتصادی آب باشد، می‌توان گفت که این روش برای سنجش بهره‌وری آب کشاورزی، روش مناسبی است لیکن مشکل اساسی در تهیه این شاخص تعیین میزان درآمد خالص در موقعیت‌های متفاوت است (رابطه ۴):

$$NBPD = \frac{\pi}{W} = \frac{\text{درآمد خالص (سود)}}{\text{مقدار آب آبیاری}} \quad (۴)$$

در این شاخص درآمد خالص (سود) (π) از طریق کسر هزینه‌های تولید از درآمد ناخالص محاسبه می‌گردد. هزینه‌های تولید محصول پرتقال شامل هزینه‌های جاری و هزینه‌های ثابت است. هزینه‌های ثابت مانند هزینه خرید زمین، آماده‌سازی زمین، اجرای سیستم آبیاری، خرید ماشین آلات کشاورزی و احداث چاه آب و هزینه‌های جاری شامل بیل‌زنی پای درختان، هرس، جمع‌آوری سرشاخه‌ها، لایروبی نهر، آبیاری با چاه، کودهای شیمیایی، کود حیوانی، چیدن و جمع‌آوری محصول است. هزینه‌های ثابت نیز به دو گروه هزینه‌های با عمر مفید نامحدود و عمر مفید مشخص تقسیم می‌شوند که به ترتیب با استفاده از روابط اقتصاد مهندسی (۵) و (۶) در سه نرخ بهره ۱۰، ۱۲ و ۱۵ به معادل یکنواخت سالیانه تبدیل و با هزینه‌های جاری جمع می‌گردد (اسکونژاد، ۱۳۷۹).

$$A = P.i \quad (۵)$$

در این رابطه:

A هزینه یکنواخت سالیانه، P هزینه‌های ثابت با عمر

^۲ Net Benefit per Drop

^۱ Benefit per Drop

نامحدود و i نرخ بهره است.

$$A = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} * P \quad (۶)$$

در این رابطه:

A هزینه یکنواخت سالیانه، P هزینه‌های ثابت با عمر مفید مشخص، r نرخ بهره و n عمر مفید است. نرخ‌های بهره بیانگر نرخ بهره تسهیلات اعطایی بانک‌ها به بخش‌های مختلف به‌ویژه بخش کشاورزی است؛ که در این مطالعه سه نرخ بهره ۱۰، ۱۲ و ۱۵ درصد، نرخ بهره تسهیلات اعطایی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت به بخش

فرم خطی (۷)

خطی - لگاریتمی (۸)

لگاریتمی - خطی (۹)

لگاریتمی دو سویه (۱۰)

کشاورزی است.

در این مطالعه جهت بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب از مدل رگرسیون چند متغیره استفاده می‌گردد. مدل رگرسیون چند متغیره حالت تعمیم‌یافته مدل رگرسیون تک متغیره است که با در نظر گرفتن بیش از یک متغیر مستقل ایجاد می‌گردد. در این مطالعه فرم‌های مختلف تابعی نظیر خطی، خطی - لگاریتمی، لگاریتمی - خطی و لگاریتمی دو سویه استفاده شده است که فرم کلی آن‌ها به صورت روابط (۷) الی (۱۰) است:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon_i$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(X_1) + \dots + \beta_p \text{Log}(X_p) + \varepsilon_i$$

$$\text{Log}(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon_i$$

$$\text{Log}(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(X_1) + \dots + \beta_p \text{Log}(X_p) + \varepsilon_i$$

در این روابط:

Y_i متغیر وابسته، X_i متغیر مستقل، β پارامتر تخمینی، Log لگاریتم طبیعی و ε_i جز اخلال را نشان می‌دهد.

در این مطالعه متغیر وابسته بهره‌وری فیزیکی آب (شاخص CPD) و بهره‌وری اقتصادی آب شاخص‌های (BPD و NBPD) است. متغیرهای مستقل نیز شامل سطح تحصیلات (X_1)، تعداد افراد تحت تکفل (X_2)، نیروی کار خانوادگی (X_3)، سابقه کشاورزی (X_4)، داشتن شغل غیر کشاورزی (X_5)، درآمد سایر مشاغل (X_6)، عضویت در تعاونی تولید (X_7)، دبی چاه آب (X_8)، روزهای استفاده از چاه (X_9)، سن درختان (X_{10})، سن باروری درختان (X_{11})، مدت زمان صرف شده جهت آبیاری (X_{12})، تعداد دفعات آبیاری (X_{13})، نوع سوخت (X_{14})، فاصله ردیف درختان (X_{15})، فاصله درختان در ردیف (X_{16})، هزینه کود (X_{17})، هزینه سم (X_{18}) و هزینه سیستم آبیاری (X_{19}) می‌باشند.

بعد از تخمین فرم‌های مختلف تابعی، جهت انتخاب مدل برتر علاوه بر ضریب تعیین (R^2)، ضریب تعیین تعدیل‌شده و تعداد متغیرهای معنی‌دار از آزمون‌های

J و JA دیویدسون - مک کینون^۱ نیز استفاده گردید. آزمون‌های J و JA آزمون‌هایی هستند که جهت مقایسه مدل‌های نامتناخل به کار می‌رود (دوران، ۱۹۹۳).

آمار و اطلاعات به‌کاررفته در این مطالعه داده‌های مقطعی مربوط به سال ۹۸-۱۳۹۷ در منطقه مطالعاتی شهرستان قائم‌شهر استان مازندران است. جامعه آماری این مطالعه، تولیدکنندگان پرتقال در شهرستان قائم‌شهر واقع در استان مازندران می‌باشند. به علت پراکندگی دهستان‌ها و اختلاف سطح زیر کشت و شرایط آب و هوایی دهستان‌های مختلف شهرستان قائم‌شهر و همچنین داشتن نمونه از مناطق مختلف، از روش نمونه‌گیری طبقه‌ای تصادفی استفاده شد. برای تعیین حجم نمونه در روش نمونه‌گیری طبقه‌ای تصادفی، از رابطه (۱۱) استفاده گردید (ارقامی و همکاران، ۱۳۸۰):

$$n = \frac{\sum_{i=1}^L \frac{N_i^2 \sigma_i^2}{w_i}}{N^2 D + \sum_{i=1}^L N_i \sigma_i^2} \quad D = \frac{B^2}{4} \quad (۱۱)$$

که N_i حجم طبقه i ام، σ_i^2 واریانس سطح زیر کشت در طبقه i ام، B کران خطا (معادل ۱۰ درصد خطا) و W_i

^۱ Davidson-Mackinnon J and JA Test

لازم از طریق تکمیل ۱۶۲ پرسشنامه در چهار دهستان شهرستان قائم‌شهر به‌صورت تصادفی از بین تولیدکنندگان پرتقال هر دهستان در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ جمع‌آوری گردید.

کسری از تعداد مشاهدات است که به طبقه نام اختصاص داده شده است. حجم جامعه‌ی آماری مورد مطالعه برابر با ۱۷۱۰۰ بهره‌بردار است (جهاد کشاورزی شهرستان قائم‌شهر، ۱۳۹۷). بنابراین اندازه نمونه مطابق جدول (۱) برابر با ۱۶۲ بهره‌بردار محاسبه گردید که آمار و اطلاعات

جدول ۱- جامعه آماری و حجم نمونه تولیدکنندگان پرتقال شهرستان قائم‌شهر

نام دهستان	تعداد روستا	سطح باغ (هکتار)	تعداد بهره‌بردار	سهم هر طبقه	حجم نمونه
مرکز بالا تنج	۵۱	۷۴۷۴	۶۶۰۰	۰.۳۸	۶۲
کوهساران	۲۲	۳۵۸۲	۳۶۰۰	۰.۲۱	۳۴
علی‌آباد	۲۸	۳۳۲۹	۵۵۰۰	۰.۳۳	۵۲
نوکنده‌کا	۲۵	۱۱۳۳	۱۴۰۰	۰.۰۸	۱۴
جمع	۱۲۶	۱۵۵۱۸	۱۷۱۰۰	۱	۱۶۲

ماخذ: جهاد کشاورزی شهرستان قائم‌شهر، ۱۳۹۷ و مرکز آمار ایران، ۱۳۹۷

نتایج و بحث

نتایج این مطالعه شامل محاسبه هزینه و درآمد خالص و ناخالص، بهره‌وری فیزیکی آب (شاخص CPD)، بهره‌وری اقتصادی (شاخص‌های BPD و NBPD) و بررسی عوامل مؤثر بر میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصول پرتقال در شهرستان قائم‌شهر استان مازندران است.

می‌گردد میانگین عملکرد محصول پرتقال در این شهرستان معادل ۳۶/۸ تن در هکتار است. میانگین درآمد ناخالص هر هکتار محصول پرتقال نیز حدود ۲۶۵ میلیون ریال است که با محاسبه هزینه تولید در سه نرخ بهره ۱۰، ۱۲ و ۱۵ درصد میانگین درآمد خالص هر هکتار به ترتیب معادل ۱۵۵، ۱۴۹ و ۱۳۹ میلیون ریال محاسبه گردید.

نتایج بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب

نتایج بهره‌وری فیزیکی آب (شاخص CPD) و بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص‌های BPD و NBPD) در جدول (۳) ارائه گردیده است.

نتایج هزینه و درآمد خالص و ناخالص محصول پرتقال

نتایج هزینه و درآمد خالص و ناخالص محصول پرتقال شهرستان قائم‌شهر استان مازندران در جدول (۲) ارائه شده است. همان‌گونه که در این جدول ملاحظه

جدول ۲- میانگین تولید، آب آبیاری، هزینه، درآمد ناخالص و درآمد خالص هر هکتار پرتقال شهرستان قائم‌شهر

شاخص	واحد	میانگین	حداقل	حداکثر
میزان تولید (عملکرد)	کیلوگرم در هکتار	۳۶۸۵۳	۱۴۰۰۰	۵۳۳۳۳
آب آبیاری	مترمکعب	۷۱۹۸	۱۱۱۱	۵۴۰۰۰
نرخ بهره ۱۰ درصد	میلیون ریال	۱۰۹/۸	۲۶/۹	۲۸۳/۱
نرخ بهره ۱۲ درصد	میلیون ریال	۱۱۵/۹	۲۸/۳	۳۲۹/۹
نرخ بهره ۱۵ درصد	میلیون ریال	۱۲۵/۱	۳۰/۴	۴۰۰/۱
درآمد ناخالص	میلیون ریال	۲۶۴/۱	۷۳/۳	۷۰۰/۰
نرخ بهره ۱۰ درصد	میلیون ریال	۱۵۵/۱	-۶۵/۷	۴۷۵/۱
نرخ بهره ۱۲ درصد	میلیون ریال	۱۴۹/۱	-۷۴/۱	۴۶۷/۰
نرخ بهره ۱۵ درصد	میلیون ریال	۱۳۹/۸	-۱۴۴/۳	۴۵۴/۷

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۳- نتایج بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید محصول پرتقال شهرستان قائم‌شهر

نوع بهره‌وری	شاخص	واحد	میانگین	حداقل	حداکثر
بهره‌وری فیزیکی آب	CPD	(kg/m ³)	۶۹۳	۱۰۴۸	۳۶۰۷۴
بهره‌وری اقتصادی آب	BPD	(ریال/m ³)	۴۷۵۰۰	۱۱۱۱۰	۱۷۷۱۵۰
	NBPD (نرخ بهره ۱۰ درصد)	(ریال/m ³)	۲۹۰۰۰	۲۴۲۶	۱۰۴۰۶۷
بهره‌وری اقتصادی آب	NBPD (نرخ بهره ۱۲ درصد)	(ریال/m ³)	۲۸۰۰۰	۱۹۳۲	۱۰۲۰۵۸
	NBPD (نرخ بهره ۱۵ درصد)	(ریال/m ³)	۲۶۶۰۰	۶۷۷	۹۹۰۴۳

مأخذ: محاسبات تحقیق

همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی برای محصول پرتقال شهرستان قائم‌شهر معادل ۶/۹ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست‌آمده است. این به معنی آن است که به‌طور متوسط در ازای استفاده هر مترمکعب آب معادل ۶/۹ کیلوگرم محصول پرتقال در شهرستان قائم‌شهر تولید شده است. همچنین طبق نتایج به‌دست‌آمده کمترین میزان بهره‌وری فیزیکی در بین باغداران ۱/۴۸ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب و بالاترین میزان بهره‌وری فیزیکی معادل ۳۶/۷ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب بوده است. این اختلاف به دلیل اختلاف در آب آبیاری و تولید پرتقال باغداران منطقه است. برخی از باغداران به دلیل وجود بارندگی کافی آب کمتری استفاده می‌نمایند.

نتایج شاخص BPD نشان می‌دهد که میانگین بهره‌وری اقتصادی آب (درآمد ناخالص به ازای هر واحد آب مصرفی) معادل ۴۷۵۰۰ ریال به ازای هر مترمکعب است. مطابق جدول شماره (۳) نتایج شاخص NBPD برای

نتایج بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری فیزیکی آب

در این مطالعه جهت بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری فیزیکی آب از مدل‌های مختلف رگرسیونی استفاده شده است. جهت انتخاب مدل برتر رگرسیونی علاوه بر آماره R^2 ، R^2 تعدیل‌شده و تعداد ضرایب معنی‌دار از آزمون‌های J و JA نیز استفاده شده است که نتایج آن در جدول (۴) ارائه شده است.

نتایج شاخص BPD نشان می‌دهد که میانگین بهره‌وری اقتصادی آب (درآمد ناخالص به ازای هر واحد آب مصرفی) معادل ۴۷۵۰۰ ریال به ازای هر مترمکعب است. مطابق جدول شماره (۳) نتایج شاخص NBPD برای

جدول ۴- مقایسه مدل‌های مختلف بهره‌وری فیزیکی جهت انتخاب فرم برتر

بهره‌وری فیزیکی آب (CPD)	R^2	R^2 تعدیل‌شده	F	تعداد ضرایب معنی‌دار
لگاریتمی	۰/۷۹	۰/۷۸	۱۲۰/۰۲	۵
لگاریتمی - خطی	۰/۷۶	۰/۷۵	۹۹/۰۴	۵
خطی - لگاریتمی	۰/۷۸	۰/۷۲	۷۳/۰۶	۴
خطی	۰/۶۴	۰/۶۳	۴۶/۸	۴

مأخذ: محاسبات تحقیق

همان‌گونه که در جدول (۴) ملاحظه می‌گردد با توجه به آماره R^2 تعدیل‌شده و تعداد ضرایب معنی‌دار از بین چهار مدل لگاریتمی، لگاریتمی - خطی، خطی - لگاریتمی و خطی در بین مدل‌های با متغیر وابسته یکسان

مدل‌های متداخل) دو مدل لگاریتمی و خطی - لگاریتمی انتخاب می‌گردد. جهت مقایسه بین مدل‌های لگاریتمی و خطی - لگاریتمی (مدل‌های غیرمتداخل) از آزمون J استفاده گردید که نتایج آن در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۵- نتایج آزمون J جهت انتخاب شکل مناسب برای بهره‌وری فیزیکی آب (شاخص CPD)

فرضیه صفر	فرضیه جایگزین	سطح معنی‌داری آزمون J	نتیجه آزمون
پذیرش شکل خطی - لگاریتمی	پذیرش شکل لگاریتمی	۰/۰۰	رد فرضیه صفر
پذیرش شکل لگاریتمی	پذیرش شکل خطی - لگاریتمی	۰/۰۶۱	پذیرش فرضیه صفر

مأخذ: محاسبات تحقیق

مدل بهره‌وری فیزیکی (شاخص CPD) معادل ۰/۳۹ محاسبه شد که چون بالاتر از ۰/۰۵ است بنابراین مدل مشکل ناهمسانی واریانس ندارد. از عامل افزایش واریانس (VIF) نیز جهت بررسی عدم وجود هم‌خطی در این مطالعه استفاده گردید. با توجه به پایین بودن میزان VIF مشکل هم‌خطی نیز در این مدل مشاهده نشد. نتایج بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری فیزیکی آب (شاخص CPD) در جدول (۶) ارائه شده است.

همان‌گونه که در جدول (۵) ملاحظه می‌گردد سطح معنی‌داری آزمون J بالاتر از ۰/۰۵ به دست آمد که موجب می‌شود فرض H_0 مبنی بر پذیرش مدل لگاریتمی را نتوان رد کرد. بر این اساس مدل لگاریتمی به‌عنوان مدل برتر برای بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری فیزیکی آب (شاخص CPD) انتخاب شد.

برای بررسی آزمون‌های نقض فروض رگرسیون کلاسیک از آزمون وایت (White) جهت بررسی ناهمسانی واریانس استفاده شد که سطح معنی‌داری (Prob) آن برای

جدول ۶- نتایج مدل لگاریتمی بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری فیزیکی آب (شاخص CPD)

متغیر	توضیحات	ضرایب	آماره t	سطح معنی‌داری
C	عرض از مبدأ	۸/۰۳	۱۸/۳	۰/۰۰۰
X8	دبی چاه	-۰/۹۸***	-۲۱/۸	۰/۰۰۰
X9	تعداد روز استفاده از چاه در سال	-۰/۱۱*	-۱/۹۰	۰/۰۶۰
X12	زمان صرف شده جهت هر نوبت آبیاری	-۱/۰۷***	-۱۱/۴	۰/۰۰۰
X13	تعداد دفعات آبیاری	-۱/۰۰۲***	-۱۳/۵	۰/۰۰۰
X18	هزینه سم	۰/۱۲***	۳/۵	۰/۰۰۱۰

 $R^2 = 0.79$ $Adjusted R^2 = 0.78$ $F = 120.08$ $prob F = 0$ $DW = 1.52$

منبع: یافته‌های تحقیق *, **, *** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱۰٪، ۵٪ و ۱٪

مدت زمان صرف شده جهت آبیاری، بهره‌وری فیزیکی آب ۱/۰۷ درصد کاهش پیدا می‌کند، ضریب متغیر تعداد دفعات آبیاری معادل ۱/۰۰۲- است که بیان می‌دارد به ازای افزایش یک درصدی در تعداد دفعات آبیاری ۱/۰۰۲ درصد از شاخص بهره‌وری فیزیکی آب کاسته می‌شود. ضریب هزینه سم نیز معادل ۰/۱۲ است که بیان می‌کند اگر هزینه خرید سموم یک درصد افزایش یابد بهره‌وری فیزیکی آب محصول نیز ۰/۱۲ درصد افزایش می‌یابد.

میزان R^2 تعدیل شده برابر با ۰/۷۸ نیز بیانگر آن است که ۷۸ درصد از تغییرات بهره‌وری فیزیکی آب ناشی از متغیرهای معنی‌داری است که در مدل لحاظ شده است، به عبارت دیگر متغیرهای دبی چاه، مدت زمان صرف شده

همان‌گونه که در جدول (۶) ملاحظه می‌گردد از بین متغیرهای مورد بررسی برای بهره‌وری فیزیکی آب تعداد چهار متغیر (دبی چاه، مدت زمان صرف شده جهت هر نوبت آبیاری، تعداد دفعات آبیاری و هزینه سم) در سطح یک درصد معنی‌دار شدند. این مهم بیانگر آن است که این عوامل با ضریب اطمینان ۹۹ درصد بر روی بهره‌وری فیزیکی آب تأثیرگذار می‌باشند. مقدار ضریب متغیر دبی چاه معادل ۰/۹۸ است که بیان می‌کند به ازای یک درصد افزایش در دبی چاه بهره‌وری فیزیکی آب محصول به اندازه ۰/۹۸ درصد کاهش پیدا می‌کند، ضریب متغیر مدت‌زمان صرف شده جهت هر نوبت آبیاری معادل ۱/۰۷- است که نشان می‌دهد به ازای افزایش یک درصدی

جهت آبیاری، تعداد دفعات آبیاری و هزینه سم ۷۸ درصد از تغییرات بهره‌وری فیزیکی آب را توضیح می‌دهند. بیشترین و کمترین تأثیر نیز به ترتیب مربوط به متغیرهای مدت زمان صرف شده جهت آبیاری و دبی چاه است.

نتایج بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری اقتصادی آب

جهت بررسی بهره‌وری اقتصادی آب از دو شاخص BPD و NBPD استفاده شد. شاخص NBPD نیز در سه نرخ بهره ۱۰، ۱۲ و ۱۵ درصد مورد بررسی قرار

گرفت. نتایج برآورد مدل‌های مختلف جهت بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری اقتصادی در جدول (۷) ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول (۷) ملاحظه می‌گردد با توجه به آماره R^2 تعدیل شده و تعداد متغیرهای معنی‌دار از بین چهار مدل لگاریتمی، لگاریتمی-خطی، خطی-لگاریتمی و خطی در بین مدل‌های با متغیر وابسته یکسان دو مدل لگاریتمی و خطی-لگاریتمی انتخاب می‌گردد. جهت مقایسه بین این دو مدل در هر حالت از آزمون J استفاده گردید که نتایج آن در جدول (۸) ارائه شده است.

جدول ۷- مدل‌های مختلف برآوردی جهت بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری اقتصادی آب

شاخص بهره‌وری اقتصادی	مدل‌های برآوردی	R^2	R^2 تعدیل شده	F	تعداد ضرایب معنی‌دار
BPD	لگاریتمی	۰/۷۰	۰/۶۸	۴۵/۱	۷
	لگاریتمی - خطی	۰/۶۸	۰/۶۷	۴۱/۹	۸
	خطی - لگاریتمی	۰/۶۶	۰/۶۴	۳۳/۱	۸
	خطی	۰/۶۳	۰/۶۱	۳۰	۹
NBPD10 در نرخ بهره ۱۰ درصد	لگاریتمی	۰/۶۸	۰/۶۶	۳۶/۹	۹
	لگاریتمی - خطی	۰/۶۷	۰/۶۵	۳۹/۳	۸
	خطی - لگاریتمی	۰/۶۴	۰/۶۲	۳۱/۰۲	۹
	خطی	۰/۶۳	۰/۶۱	۲۹/۷	۸
NBPD12 در نرخ بهره ۱۲ درصد	لگاریتمی	۰/۶۷	۰/۶۵	۳۵/۳	۹
	لگاریتمی - خطی	۰/۶۵	۰/۶۳	۲۷/۶	۸
	خطی - لگاریتمی	۰/۶۴	۰/۶۲	۳۰/۲	۹
	خطی	۰/۶۳	۰/۶۱	۲۹/۱	۸
NBPD15 در نرخ بهره ۱۵ درصد	لگاریتمی	۰/۶۵	۰/۶۳	۳۱/۹	۹
	لگاریتمی - خطی	۰/۶۳	۰/۶۰۵	۲۳/۴	۹
	خطی - لگاریتمی	۰/۶۳	۰/۶۰۷	۲۸/۷	۹
	خطی	۰/۶۳	۰/۶۰۴	۲۵/۶	۹

مأخذ: محاسبات تحقیق

جدول ۸- نتایج آزمون J جهت انتخاب فرم برتر در بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری اقتصادی

شاخص بهره‌وری اقتصادی	فرضیه صفر	فرضیه جایگزین	سطح معنی‌داری آزمون J	نتیجه آزمون
BPD	پذیرش شکل خطی - لگاریتمی	پذیرش شکل لگاریتمی	۰/۰۰	رد فرضیه صفر
	پذیرش شکل لگاریتمی	پذیرش شکل خطی - لگاریتمی	۰/۱۸	پذیرش فرضیه صفر
NBPD10 در نرخ بهره ۱۰ درصد	پذیرش شکل خطی-لگاریتمی	پذیرش شکل لگاریتمی	۰/۰۰	رد فرضیه صفر
	پذیرش شکل لگاریتمی	پذیرش شکل خطی - لگاریتمی	۰/۰۹۹	پذیرش فرضیه صفر
NBPD12 در نرخ بهره ۱۲ درصد	پذیرش شکل خطی - لگاریتمی	پذیرش شکل لگاریتمی	۰/۰۰۱۴	رد فرضیه صفر
	پذیرش شکل لگاریتمی	پذیرش شکل خطی - لگاریتمی	۰/۱۹	پذیرش فرضیه صفر
NBPD15 در نرخ بهره ۱۵ درصد	پذیرش شکل خطی - لگاریتمی	پذیرش شکل لگاریتمی	۰/۰۰	رد فرضیه صفر
	پذیرش شکل لگاریتمی	پذیرش شکل خطی - لگاریتمی	۰/۶۱	پذیرش فرضیه صفر

مأخذ: محاسبات تحقیق

نشود. نتایج بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری اقتصادی آب در جداول (۹) و (۱۰) ارائه شده است.

نتایج بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص BPD) در جدول (۹) ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد از بین متغیرهای مورد بررسی تعداد هفت متغیر در سطح یک درصد بر بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص BPD) تأثیر معنی‌داری دارند. متغیرهای تعداد روزهای استفاده از چاه، فاصله درختان، هزینه کود مصرفی و هزینه سم مصرفی که باعث افزایش عملکرد محصول می‌گردند تأثیر مثبت و معنی‌دار بر بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص BPD) دارند. متغیرهای دبی چاه آب، مدت زمان صرف شده جهت آبیاری و تعداد دفعات آبیاری نیز به علت افزایش میزان مصرف آب تأثیر منفی و معنی‌داری بر بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص BPD) دارند. متغیر سن باروری درختان نیز به علت اینکه با افزایش سن درختان عملکرد کاهش می‌یابد تأثیر منفی بر بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص BPD) دارد.

همان‌گونه که در جدول (۸) ملاحظه می‌گردد در تمام مدل‌های فوق برای فرض H_0 مبنی بر پذیرش مدل لگاریتمی، سطح معنی‌داری آزمون J بالاتر از ۰/۰۵ به دست آمد که موجب می‌شود فرض H_0 رد نشود. بر این اساس مدل لگاریتمی به عنوان مدل برتر برای بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری اقتصادی در حالت‌های مختلف انتخاب گردید. برای بررسی آزمون‌های نقض فروض رگرسیون کلاسیک از آزمون وایت (White) جهت بررسی ناهمسانی واریانس استفاده شد که سطح معنی‌داری (Prob) آن برای مدل بهره‌وری اقتصادی شاخص BPD معادل ۰/۰۵۸، شاخص NBPD در نرخ بهره ۱۰ درصد معادل ۰/۲۹، شاخص NBPD در نرخ بهره ۱۲ درصد معادل ۰/۲۶ و شاخص NBPD در نرخ بهره ۱۵ درصد معادل ۰/۲۲ محاسبه شد. چون بالاتر از ۰/۰۵ است بنابراین هیچ‌یک از مدل‌های مورد بررسی مشکل ناهمسانی واریانس ندارد. از عامل افزایش واریانس (VIF) نیز جهت بررسی عدم وجود هم‌خطی در این مطالعه استفاده گردید. با توجه به پایین بودن میزان VIF مشکل هم‌خطی نیز در این مدل‌ها مشاهده

جدول ۹- نتایج مدل لگاریتمی بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص BPD)

متغیر	توضیحات	ضرایب	آماره t	سطح معنی‌داری
C	عرض از مبدأ	۴/۵۱	۷/۴	۰/۰۰۰
Log(X8)	دبی چاه	-۰/۸۳***	-۱۴/۰	۰/۰۰۰
Log(X9)	تعداد روزهای استفاده از چاه	۰/۳۶۶***	۴/۷	۰/۰۰۰
Log(X11)	سن باروری درخت	-۰/۱۷**	-۱/۲	۰/۲۴۰
Log(X12)	زمان صرف شده جهت آبیاری	-۰/۷۳***	-۵/۹	۰/۰۰۰
Log(X13)	تعداد دفعات آبیاری	-۰/۸۷***	-۹/۰	۰/۰۰۰
Log(X16)	فاصله درختان	۰/۶۷***	۳/۶	۰/۰۰۰
Log(X17)	هزینه کود مصرفی	۰/۲۰۳***	۳/۱	۰/۰۰۲
Log(X18)	هزینه سم مصرفی	۰/۳۳***	۴/۴	۰/۰۰۰
DW = 1.99	prob F = 0	F = 45.1	Adjusted R ² = 0.68	R ² = 0.70

مأخذ: یافته‌های تحقیق

* و *** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱۰٪، ۵٪ و ۱٪

(شاخص BPD) ۰/۳۶۶ درصد افزایش می‌یابد، ضریب متغیر مدت زمان صرف شده جهت آبیاری ۰/۷۲-، تعداد دفعات آبیاری ۰/۸۷- و فاصله درختان ۰/۶۷ است. ضریب کود و سم مصرفی نیز به ترتیب معادل ۰/۲۰۳ و ۰/۳۳ است که نشان‌دهنده افزایش ۰/۲۰۳ و ۰/۳۳ درصدی بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص BPD) در برابر افزایش یک

میزان ضریب متغیر دبی چاه معادل ۰/۸۳- است که بیان می‌کند با افزایش یک درصدی در میزان دبی چاه بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص BPD) معادل ۰/۸۳ درصد کاهش می‌یابد. ضریب متغیر تعداد روزهای استفاده از چاه ۰/۳۶۶ است که نشان می‌دهد در مقابل افزایش یک درصدی در روزهای استفاده از چاه بهره‌وری اقتصادی آب

درصدی هزینه خرید کود و سم است. میزان R^2 تعدیل شده برابر با ۰/۶۸ نیز بیانگر آن است که ۶۸ درصد تغییرات بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص BPD) ناشی از متغیرهای معنی‌داری است که در مدل لحاظ شده است، به عبارت دیگر متغیرهای دبی چاه آب، تعداد روزهای استفاده از چاه، مدت‌زمان صرف شده جهت آبیاری، تعداد دفعات آبیاری، فاصله درختان، هزینه کود و سم مصرفی ۶۸ درصد تغییرات بهره‌وری اقتصادی آب شاخص BPD را توضیح می‌دهند.

نتایج بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص NBPD) در نرخ‌های بهره ۱۰، ۱۲ و ۱۵ درصد در جدول (۱۰) ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد از بین متغیرهای مورد بررسی تعداد هشت متغیر در سطح یک و پنج درصد بر بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص NBPD) با نرخ بهره ۱۰ درصد تأثیر معنی‌داری دارند. متغیرهای تعداد روزهای استفاده از چاه، سن باروری درختان، فاصله درختان، هزینه کود مصرفی و هزینه سم مصرفی که باعث افزایش عملکرد محصول می‌گردد تأثیر مثبت و معنی‌دار بر بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص

NBPD با نرخ بهره ۱۰ درصد) دارند. متغیرهای دبی چاه آب، مدت‌زمان صرف شده جهت آبیاری و تعداد دفعات آبیاری نیز به علت افزایش میزان مصرف آب تأثیر منفی و معنی‌داری بر بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص NBPD) با نرخ بهره ۱۰ درصد) دارند. متغیر سن باروری درختان نیز به علت اینکه با افزایش سن درختان عملکرد کاهش می‌یابد لذا تأثیر منفی بر بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص NBPD) با نرخ بهره ۱۰ درصد دارد.

نتایج جدول (۱۰) همچنین نشان می‌دهد که از بین متغیرهای مورد بررسی تعداد هشت متغیر در سطح یک و پنج درصد بر بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص NBPD) با نرخ بهره ۱۲ درصد تأثیر معنی‌داری دارند.

متغیرهای تعداد روزهای استفاده از چاه، فاصله درختان، هزینه کود مصرفی و هزینه سم مصرفی تأثیر مثبت و متغیرهای دبی چاه آب، سن باروری درختان، مدت‌زمان صرف شده جهت آبیاری و تعداد دفعات آبیاری تأثیر منفی بر بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص NBPD) با نرخ بهره ۱۲ درصد دارند.

جدول ۱۰- نتایج مدل لگاریتمی بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص NBPD) در نرخ‌های بهره مختلف

نرخ بهره	متغیر	توضیحات	ضرایب	آماره t	سطح معنی‌داری
۱۰٪	C	عرض از مبدأ	۳/۹۴	۵/۹۰	۰/۰۰۰
	Log(X8)	دبی چاه	-۰/۸۳***	-۱۲/۸	۰/۰۰۰
	Log(X9)	تعداد روزهای استفاده از چاه	۰/۴۲***	۵/۰۶	۰/۰۰۰
	Log(X10)	سن درختان	۰/۱۶*	۱/۷	۰/۰۸۲
	Log(X11)	سن باروری درختان	-۰/۴۵***	-۲/۰۲	۰/۰۴۴
	Log(X12)	زمان صرف شده جهت آبیاری	-۰/۶۹***	-۵/۱۲	۰/۰۰۰
	Log(X13)	تعداد دفعات آبیاری	-۰/۸۷***	-۸/۲	۰/۰۰۰
	Log(X16)	فاصله درختان	۰/۷۹***	۳/۹	۰/۰۰۰
	Log(X17)	هزینه کود مصرفی	۰/۲۴***	۳/۴	۰/۰۰۰
	Log(X18)	هزینه سم مصرفی	۰/۲۸***	۳/۴	۰/۰۰۰
R ² = 0.68 Adjusted R ² = 0.66 F = 36.9 prob F = 0 DW = 2.2					
۲۰٪	C	عرض از مبدأ	۳/۸۰	۵/۵	۰/۰۰۰
	Log(X8)	دبی چاه	-۰/۸۳***	-۱۲/۴	۰/۰۰۰
	Log(X9)	تعداد روزهای استفاده از چاه	۰/۴۳***	۵/۰	۰/۰۰۰
	Log(X10)	سن درختان	۰/۱۸*	۱/۸	۰/۰۶۹
	Log(X11)	سن باروری درختان	-۰/۴۷**	-۲/۰	۰/۰۴۰
	Log(X12)	زمان صرف شده جهت آبیاری	-۰/۶۷***	-۴/۸	۰/۰۰۰
	Log(X13)	تعداد دفعات آبیاری	-۰/۸۷***	-۷/۹	۰/۰۰۰
	Log(X16)	فاصله درختان	۰/۸۱	۳/۹	۰/۰۰۰
	Log(X17)	هزینه کود مصرفی	۰/۲۵	۳/۵	۰/۰۰۰
	Log(X18)	هزینه سم مصرفی	۰/۲۶	۳/۲	۰/۰۰۲
R ² = 0.67 Adjusted R ² = 0.65 F = 35.3 prob F = 0 DW = 2.33					
۳۰٪	C	عرض از مبدأ	۳/۵۶	۴/۸	۰/۰۰۰
	Log(X8)	دبی چاه	-۰/۸۳***	-۱۱/۶	۰/۰۰۰
	Log(X9)	تعداد روزهای استفاده از چاه	۰/۴۵***	۴/۹	۰/۰۰۰
	Log(X10)	سن درختان	۰/۲۱**	۱/۹	۰/۰۵۰
	Log(X11)	سن باروری درخت	-۰/۵۲***	-۲/۱	۰/۰۳۶
	Log(X12)	زمان صرف شده جهت آبیاری	-۰/۶۳***	-۴/۲	۰/۰۰۰
	Log(X13)	تعداد دفعات آبیاری	-۰/۸۷***	-۷/۳	۰/۰۰۰
	Log(X16)	فاصله درختان	۰/۸۶***	۳/۸	۰/۰۰۰
	Log(X17)	هزینه کود مصرفی	۰/۲۷***	۳/۵	۰/۰۰۰
	Log(X18)	هزینه سم مصرفی	۰/۲۴***	۲/۷	۰/۰۰۷
R ² = 0.65 Adjusted R ² = 0.63 F = 31.9 prob F = 0 DW = 2.4					

***، **، * به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱۰٪، ۵٪ و ۱٪

مأخذ: یافته‌های تحقیق

منفی بر بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص NBPD) با نرخ بهره ۱۵ درصد دارند.

نتایج بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص NBPD) در نرخ‌های بهره مختلف نشان می‌دهد که با افزایش نرخ بهره متغیر سن درختان به علت کاهش هزینه یکنواخت سالیانه تأثیر مثبت و معنی‌داری بر بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص NBPD) دارد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش یک درصدی در سن درختان بهره‌وری

نتایج جدول (۱۰) همچنین نشان می‌دهد که از بین متغیرهای مورد بررسی تعداد نه متغیر در سطح یک و پنج درصد بر روی بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص NBPD) با نرخ بهره ۱۵ درصد تأثیر معنی‌داری دارند. متغیرهای تعداد روزهای استفاده از چاه، سن درختان، فاصله درختان، هزینه کود مصرفی و هزینه سم مصرفی تأثیر مثبت و متغیرهای دبی چاه آب، سن باروری درختان، مدت زمان صرف شده جهت آبیاری و تعداد دفعات آبیاری تأثیر

اقتصادی آب (شاخص NBPD) با نرخ بهره ۱۵ درصد به میزان ۰/۲۱ درصد افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه میزان بهره‌وری فیزیکی (CPD) محصول پرتقال در شهرستان قائم‌شهر به طور میانگین معادل ۶/۹ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهد بهره‌وری فیزیکی محصول پرتقال در شهرستان قائم‌شهر بیشتر از بهره‌وری فیزیکی محصول پرتقال در شهرستان دزفول (۱/۸۲ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب) بر اساس مطالعه ملارضا قصاب و همکاران (۱۳۹۹) است. بهره‌وری اقتصادی نیز با دو شاخص BPD و NBPD محاسبه شد که نتایج شاخص BPD نشان می‌دهد که تولیدکنندگان پرتقال شهرستان قائم‌شهر به طور میانگین به ازای هر مترمکعب آب معادل ۴۷۵۰۰ ریال درآمد ناخالص به دست می‌آورند. بهره‌وری اقتصادی محصول پرتقال در شهرستان قائم‌شهر نیز بیشتر از بهره‌وری اقتصادی محصول پرتقال در شهرستان دزفول (۴۵/۹ هزار ریال به ازای هر مترمکعب) بر اساس مطالعه ملارضا قصاب و همکاران (۱۳۹۹) است. نتایج شاخص NBPD نیز بیان می‌کند که در سه نرخ بهره ۱۰، ۱۲ و ۱۵ درصد به ترتیب معادل ۲۹۰۰۰، ۲۸۰۰۰ و ۲۶۶۰۰ ریال درآمد خالص نصیب تولیدکنندگان پرتقال شهرستان قائم‌شهر می‌گردد. همچنین این نتایج بیان‌گر آن است که با افزایش نرخ بهره تسهیلات اعطایی به بخش کشاورزی به علت افزایش هزینه یکنواخت سالیانه و به تبع آن افزایش هزینه کل تولید، بهره‌وری اقتصادی آب کاهش می‌یابد.

بررسی نتایج عوامل تأثیرگذار بر روی بهره‌وری فیزیکی آب نشان داد که چهار متغیر، تعداد دفعات آبیاری، مدت زمان صرف شده جهت آبیاری، تعداد روزهای استفاده از چاه و دبی چاه تأثیر منفی بر روی بهره‌وری فیزیکی آب (شاخص CPD) دارند. این بدان معنی است که بایستی از نهاده آب و استفاده از آن در آبیاری درختان پرتقال به‌طور بهینه و موردنیاز درخت استفاده شود به عبارت دیگر از

آبیاری با روش‌های سنتی پرهیز گردد و از روش‌های آبیاری نوین استفاده گردد، چون استفاده بیش از اندازه از این نهاده در روند تولید تأثیر منفی بر بهره‌وری آب دارد. این نتیجه با نتایج کرمی و همکاران (۱۳۸۸)، ملارضا قصاب و همکاران (۱۳۹۹)، محمدپور هنگروانی و ارسلان بد (۱۳۹۴) و سان و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد. اما متغیر سم مصرفی اثر مثبت بر بهره‌وری آب دارد که نشان می‌دهد هر چه بیشتر در روند تولید برای جلوگیری از آفات و بیماری‌هایی که موجب کاهش عملکرد محصول در واحد سطح می‌شوند از سموم شیمیایی مناسب استفاده گردد، موجب بهبود عملکرد در بهره‌وری فیزیکی محصول پرتقال می‌گردد.

نتایج بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص BPD) نشان داد که متغیرهای تعداد دفعات آبیاری، مدت زمان صرف شده جهت آبیاری و دبی چاه تأثیر منفی بر بهره‌وری اقتصادی آب دارد که بیان می‌دارد با افزایش این متغیرها میزان آب مصرفی افزایش یافته ولی تأثیر زیادی بر افزایش عملکرد نداشته است، لذا به علت افزایش هزینه تولید باعث کاهش بهره‌وری اقتصادی آب می‌گردد که نشان‌دهنده استفاده غیربهینه از منابع آب در تولید این محصولات است. متغیرهای هزینه کود و هزینه سموم شیمیایی نیز دارای ضرایب مثبت هستند، بدین معنی که هر اندازه بیشتر و مناسب‌تر از سموم و کودهای شیمیایی در مراحل کاشت و داشت و برداشت محصول استفاده گردد، عملکرد محصول افزایش یافته و موجب افزایش درآمد ناخالص می‌گردد که بر بهره‌وری اقتصادی تأثیر مثبت دارد. این نتیجه با نتایج اوباسی و همکاران (۲۰۱۳) و رحمان و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد. ضریب مثبت متغیر روزهای استفاده از چاه آب نیز حاکی از آن است که هرچه تعداد روزهای استفاده از چاه آب جهت آبیاری باغات بیشتر باشد طول دوره آبیاری افزایش یافته و باعث می‌شود نیاز آبی محصول در تمام دوره تولید تأمین شود، لذا باعث افزایش بهره‌وری اقتصادی آب می‌گردد.

نتایج بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری اقتصادی

آب (شاخص NBPD) در سه نرخ بهره مختلف ۱۰، ۱۲ و ۱۵ درصد نیز نشان می‌دهد که متغیرهای تعداد دفعات آبیاری، مدت زمان آبیاری و دبی چاه تأثیر منفی بر بهره‌وری اقتصادی آب دارد. استفاده بیش از اندازه از این سه متغیر علاوه بر افزایش میزان آب مصرفی سبب می‌شود هزینه استفاده از چاه آب جهت استخراج آب از منابع زیرزمینی افزایش یابد، در نتیجه هزینه کل افزایش می‌گردد که تأثیر منفی در بهره‌وری اقتصادی آب می‌گذارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که متغیر سن درختان بر بهره‌وری اقتصادی آب تأثیر مثبت دارد و با افزایش نرخ بهره میزان اثرگذاری آن بیشتر می‌شود. این مهم نشان‌دهنده آن است که هرچه سن درخت بیشتر باشد محصول بیشتری به دست می‌آید و درآمد ناخالص کشاورز افزایش می‌یابد. ضریب منفی سن باروری درختان نیز بیان می‌کند که هر چه زمان باروری درخت بیشتر به طول بیانجامد، کشاورز در زمان دیرتری به سود لازم از فروش محصولات خود می‌رسد و لذا بر بهره‌وری اقتصادی آب تأثیر منفی دارد. با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه پیشنهادهای زیر در راستای افزایش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید محصول پرتقال ارائه می‌گردد:

با توجه به نتایج حاصل شده از تحقیق و تأثیر مثبت ضرایب دو متغیر کود و سم در بهبود بهره‌وری

اقتصادی آب پیشنهاد می‌شود که باغداران به صورت بهینه از این دو نهاده در روند کاشت، داشت و برداشت محصول پرتقال استفاده کنند، زیرا استفاده بجا و اصولی از این نهاده‌ها موجب افزایش تولید و در نهایت افزایش درآمد ناخالص باغدار می‌گردد.

با توجه به تأثیر منفی دبی چاه، تعداد دفعات آبیاری و مدت زمان آبیاری بر بهره‌وری اقتصادی آب، پیشنهاد می‌گردد آبیاری درختان توسط باغداران متناسب با نیاز درخت باشد، زیرا آبیاری بیش از اندازه و نیاز درختان سبب تأثیر منفی بر عملکرد نهایی محصول و کیفیت آن می‌شود و همچنین مصرف آب را افزایش می‌دهد که باعث کاهش بهره‌وری اقتصادی آب می‌گردد.

با توجه به اینکه با افزایش نرخ بهره میزان بهره‌وری اقتصادی آب کاهش می‌یابد پیشنهاد می‌گردد تسهیلات ارزان قیمت از سوی دولت در اختیار باغداران قرار گیرد تا با نصب تجهیزات آبیاری نوین و به کارگیری آن میزان بهره‌وری اقتصادی آب افزایش یابد.

با عنایت به مهم بودن آب و کمبود این نهاده ارزشمند و نیز توجه به موضوع امنیت غذایی جهت افزایش آگاهی باغداران و مسئولان امر، تکرار مطالعات میدانی در سایر مناطق توصیه می‌گردد.

فهرست منابع

۱. احسانی، م. و خالدی، ه. ۱۳۸۲. بهره‌وری آب کشاورزی، نشریه کمیته آبیاری و زهکشی. شماره ۸۲: ۱۰۹.
۲. ارقامی، ن، سنجر، ر و بزرگ نیا، ا. (۱۳۸۰). مقدمه‌ای بر بررسی‌های نمونه‌ای. (تألیف: شیفر، مندنهاال و آوت) چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
۳. اسکوئزاد، م. م. ۱۳۷۹. اقتصاد مهندسی یا ارزیابی اقتصادی پروژه‌های صنعتی. چاپ سیزدهم. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
۴. اکرمی، ا. ح؛ حیاتی، ب؛ احسانی، م؛ عادل‌ساردویی، م. و رضایی، س. (۱۳۸۸). عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب در کشت نیشکر (مطالعه موردی: کشت و صنعت امام خمینی). دوازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۵ و ۶ اسفند ۱۳۸۸: ۱۲۳-۱۳۳.
۵. بهرامی، م.، خلیلیان، ص.، مرتضوی، س. ا. و اسعدی، م. ع. ۱۳۹۷. بررسی بهره‌وری فیزیکی مصرف آب کشاورزی در استان‌های منتخب ایران. مطالعه موردی محصول گندم. نشریه آبیاری و زهکشی ایران.

شماره ۱۵۱۸: ۶-۱۵۱۱.

۶. جوان، ج. و فال سلیمان، م. ۱۳۸۷. بحران آب و لزوم توجه به بهره‌وری آب کشاورزی در نواحی خشک. مطالعه موردی دشت بیرجند. جغرافیا و توسعه. شماره ۱۱: ۱۱۵-۱۳۸.
۷. رجایی، ی. و کتابیان، ش. ۱۳۹۲. تخمین تابع تولید و بررسی بهره‌وری عوامل تولید محصول زیتون استان زنجان. مطالعه موردی شهرستان طارم. فصلنامه اقتصاد کاربردی. سال چهارم: ۳۵-۲۵.
۸. روستا، ا. ۱۳۸۹. بررسی بهره‌وری آب کشاورزی در مناطق دچار خشکسالی مطالعه موردی شهرستان مرودشت. پنجمین همایش ملی ایده‌های نو در کشاورزی، ۲۷ و ۲۸ بهمن ۱۳۸۹: ۵-۱.
۹. زید علی، س.، خالدی، ه. و خلقی، م. ۱۳۸۱. بررسی وضعیت بهره‌وری آب در شبکه آبیاری و زهکشی مغان. یازدهمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی، ۴۳۲-۴۱۹.
۱۰. زمانی، ا.، مرتضوی، س. و بلالی، ح. ۱۳۹۳. بررسی بهره‌وری اقتصادی آب در محصولات مختلف زراعی در دشت بهار. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ب. جلد ۲۸. شماره ۱: ۶۱-۵۱.
۱۱. عبادی، ه.، سرجاز، م. و غلامی سفیدکوهی، م. ع. ۱۳۹۴. تعیین عمق‌های آستانه‌ای آب آبیاری برای تولید مرکبات در مناطق مرطوب ایران. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۹، شماره ۶: ۹۱۸-۹۲۶.
۱۲. عباسی، ف.؛ ناصری، ا.؛ رضوانی، م. و همکاران (۱۳۹۹). ارزیابی آب کاربردی و بهره‌وری آب در تاکستان‌های کشور. تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۲۱ (۸۰): ۱۴۸-۱۳۳.
۱۳. عزیزاده دیزج، ا. و ابراهیمیان، ح. ۱۳۹۶. بررسی اثر آبیاری تکمیلی و تاریخ کاشت بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب مصرفی گیاهان گندم و جو در شرایط دیم ارومیه. نشریه زراعت دیم ایران. دوره ۶. شماره ۲. اسفند ۱۳۹۶.
۱۴. علی حوری، م. (۱۳۹۶). مسائل و چالش‌های افزایش بهره‌وری آب در نخیلات کشور. نشریه علمی - ترویجی یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی، ۶ (۲): ۹۷-۱۱۰.
۱۵. کریمی، م. و جلینی، م. ۱۳۹۶. بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات مهم زراعی، مطالعه موردی: دشت مشهد (یادداشت فنی). نشریه آب و توسعه پایدار. سال چهارم. شماره ۱: ۱۳۳-۱۳۸.
۱۶. محمدپورهنگروانی، م. و ارسلان بد، م. ر. ۱۳۹۵. بررسی و برآورد بهره‌وری اقتصادی آب در کشاورزی (مطالعه‌ی موردی گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی در شهرستان ارومیه). کنفرانس بین‌المللی توسعه با محوریت کشاورزی، محیط زیست و گردشگری، ۲۵ و ۲۶ شهریور ۱۳۹۴، تبریز: ۱-۱۴.
۱۷. ملارضا قصاب، ف.؛ عبدشاهی، ع. و مرزبان، ا. (۱۳۹۹). تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب کشاورزی: مطالعه موردی شهرستان دزفول. تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۲۱ (۳): ۷۲-۴۹.
18. Bayat, M. A., and Babazadeh, H. 2014. Evaluation of Water Use Productivity Indicators in the Main Agricultural Products of Iran. Journal of Water Sciences Research. 6. 1:17-29.
19. Belloumi, M. and Matoussi, M. S. 2006. Date yield and water productivity in Nefzaoua Oases of Tunisia: a comparative analysis. New Medit, 2: 52-60.
20. Cao, X.; Wang, Y.; Wu, P. and Zhao, X. (2015). Water productivity evaluation for grain crops in irrigated regions of China, Ecological Indicators, 55: 107-117.
21. Doran, H. (1993). Testing nonnested models. American Journal of Agricultural Economics, February: 95-103.
22. García-Tejero, I.; Romero-Vicente, R.; Jiménez-Bocanegra, J.A.; Martínez-García, G.; Durán-Zuazo, V.H. and Muriel-Fernández, J.L. 2010. Response of citrus trees to deficit

- irrigation during different phenological periods in relation to yield, fruit quality, and water productivity, *Agricultural Water Management*, 97 (5): 689-699.
23. Ghrab, M., Masmoudi, M.M. and Ben Mechlia, N. (2017). Water productivity in fruit trees orchards under water scarcity. *Acta Hort.* 1150, 317-322.
Doi: 10.17660/ActaHortic.2017.1150.45
24. Mahmoodzadeh Varzi, M., and OAD, R. (2018). Sorghum-Sudangrass water Productivity under subsurface drip irrigation. Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com).
25. Obasi, P., Henri, A., Ukewuihe, I.S., and Chidiebere, N.M. (2013). Factors Affecting Agricultural Productivity among Arable Crop Farmers in Imo State, Nigeria, *American journal of experimental agriculture*. 3(2): 443-454.
26. Santos, F. L. (2018). Olive Water Use, Crop Coefficient, Yield, and Water Productivity under Two Deficit Irrigation Strategies. *Agronomy*, 8, 89.
Doi: 10.3390/agronomy8060089.
27. Shirmohammadi, Z.; Akbarkhani, A. and Afshin, A. (2021). Investigation of Economic Analysis of Water Productivity in the Most Important Crops of Torbat-e-Jam Plain. *Singapore Journal of Scientific Research*, 11: 23-30.
28. Sun, S.; Zhang, C. F.; Li, X.; Zhou, T.; Wang, Y.; Wu, P. and Cai, H. (2017). Sensitivity of crop water productivity to the variation of agricultural and climatic factors: A study of Hetao irrigation district, China, *Journal of Cleaner Production*, 142 (4): 2562-2569.
29. Zwart, S. J. and Bastiaanssen, W. G. M. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize, *Agricultural Water Management*, 69 (2): 115-133.

برآورد ضرایب گیاهی مراحل مختلف رشد و مقدار نیاز آبی گیاه دارویی سیاهدانه در

منطقه خشک بیرجند

الیاس استادی، عباس خاشعی سیوکی و امیر سالاری^۱

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل.

Ostadielyas@yahoo.com

استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند.

Abbaskhashei@birjand.ac.ir

استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان.

Salari.1361@yahoo.com

دریافت: خرداد ۱۴۰۰ و پذیرش: آذر ۱۴۰۰

چکیده

ضرورت افزایش بهره‌وری اقتصادی کشاورزی و افزایش تقاضای جهانی برای مصرف گیاهان دارویی و همچنین کم بودن نیاز آبی این گیاهان باعث تغییر الگوی کشت به نفع گیاهان دارویی شده است. با توجه به مشخص نبودن نیاز آبی گیاه دارویی سیاهدانه در منطقه خشک بیرجند، این تحقیق با هدف تعیین ضرایب گیاهی (K_c) مراحل مختلف رشد و همچنین تعیین نیاز آبی (ET_c) این گیاه در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. به منظور اجرای طرح از سه عدد میکرو لایسیمتر وزنی با قطر ۲۰ و ارتفاع ۱۶ سانتی‌متر در سه تکرار استفاده شد. تبخیر و تعرق روزانه واقعی به روش بیلان آب در میکرو لایسیمترها برآورد شد و تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از گیاه چمن ۱۲ سانتی‌متری (گیاه مرجع) محاسبه گردید. نتایج نشان داد که در مرحله ابتدایی میزان تبخیر و تعرق پایین بود، در مراحل توسعه روند افزایشی داشت، در مرحله میانی به حداکثر مقدار خود رسید و در مرحله انتهایی رشد گیاه به علت فرآیند پیری میزان تبخیر و تعرق به حداقل مقدار کاهش یافت. مقدار تبخیر و تعرق مرجع برابر با ۱۴۳۹ میلی‌متر، میانگین نیاز آبی سیاهدانه برابر با ۶۷۰ میلی‌متر و مقدار ضرایب گیاهی در مراحل مختلف اولیه، توسعه، میانی و انتهایی به ترتیب برابر با ۰/۳۹، ۰/۵۳، ۰/۵۹ و ۰/۲۸ بدست آمد. نتیجه‌گیری کلی تحقیق این است که با استفاده از مقادیر ضرایب گیاهی و نیاز آبی بدست آمده می‌توان نسبت به کشت برنامه‌ریزی شده این محصول با حداکثر بهره‌وری آب در منطقه خشک بیرجند اقدام نمود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، برنامه‌ریزی آبیاری، میکرو لایسیمتر

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان.

مقدمه

رویکرد روزافزون به استفاده از گیاهان دارویی در سطح جهانی، اهمیت کشت و تولید این گیاهان را روشن‌تر می‌سازد. گیاه دارویی سیاهدانه با نام علمی *Nigella sativa* L. گیاهی یک‌ساله به ارتفاع ۲۹-۲۰ سانتی‌متر متعلق به خانواده آلاله (*Ranunculaceae*) بومی مناطق اروپای جنوبی، آفریقای شمالی و جنوب شرقی آسیا بوده که در بسیاری از کشورهای جهان از جمله منطقه خاورمیانه کشت می‌شود. ماده مؤثره سیاهدانه خاصیت مسهلی، ضد نفخ، پایین آورنده قند خون و ضد انگلی قوی داشته و به صورت تجاری برای درمان اختلالات مختلف دستگاه‌های تنفسی، گوارشی، قلبی-عروقی، کلیه، کبد و سیستم ایمنی بکار می‌رود (کارنا، ۲۰۱۳).

سیاهدانه گیاهی روزبند است و زمان کاشت آن به‌طور معمول اسفندماه است. زمان گلدهی آن در مناطق جنوبی و گرم‌تر از دهه سوم فروردین و تا دهه اول خرداد طول می‌کشد. در مناطق سردتر و معتدل‌تر معمولاً آخر اردیبهشت گلدهی آغاز و تا دهه اول تیرماه ادامه می‌یابد، به‌طور کلی می‌توان یک دوره تقریباً سه‌ماهه رشد و نمو را برای این گیاه در مناطق معتدل در نظر گرفت که از زمان کاشت تا هنگام برداشت به طول می‌انجامد (زینلی و همکاران، ۱۳۹۸).

با افزایش تقاضاهای جهانی و رقابت بین‌بخشی آب، توجه به افزایش بهره‌وری آب در مزارع آبیاری خصوصاً در نواحی خشک و نیمه‌خشک از اولویت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. دستیابی به حداکثر مقدار بهره‌وری آب در بخش کشاورزی مستلزم دانستن نیاز آبی گیاه است. مقدار نیاز آبی واقعی گیاه بر اساس ضرایب گیاهی و میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع تعیین می‌شود (سانتوس و همکاران، ۲۰۰۹). جهت تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) و تبخیر و تعرق گیاه موردنظر (ET_c) و در ادامه ضرایب گیاهی مراحل مختلف رشد از لایسیمترها استفاده می‌گردد. استفاده از لایسیمترهای وزنی یکی از مؤثرترین روش‌ها برای مطالعات مستقیم ضریب گیاهی

است (پریساری و ناوئوس، ۲۰۰۰). علاوه بر اندازه‌گیری‌های مستقیم میزان تبخیر و تعرق مرجع توسط لایسیمترها که فرآیندی زمان‌بر و پرهزینه است، سازمان فائو جهت تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع، روش پنمن-مانیت را با استفاده از داده‌های هواشناسی پیشنهاد نموده است (آلن، ۲۰۰۰). این روش به دلیل ارائه نتایج آماری قابل استفاده در شرایط اقلیمی مختلف سراسر جهان، به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود (آلن و همکاران، ۱۹۹۸؛ بودنر و همکاران، ۲۰۰۷؛ اسمیت و همکاران، ۱۹۹۲). محققان زیادی از سراسر جهان نتایج قابل قبولی از استفاده از لایسیمترها در تعیین ضرایب گیاهی محصولات مختلف از قبیل حبوبات، برنج و آفتابگردان در هند، ذرت در اسپانیا، گندم و جو در چین و پنبه و گندم در آمریکا گزارش نموده‌اند (کو و همکاران، ۲۰۰۹؛ لیو و لو، ۲۰۱۰؛ مارتینز، ۲۰۰۸؛ پاندی و پاندی، ۲۰۱۱؛ تیاگی و همکاران، ۲۰۰۰).

تحقیقات گسترده‌ای در مورد اندازه‌گیری مقدار تبخیر و تعرق واقعی و ضرایب گیاهی گیاهان مختلف با استفاده از لایسیمتر در سطح کشور انجام شده است. قمرنیا و همکاران در منطقه کرمانشاه مقادیر ضرایب گیاهی طی مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی گیاه گشنیز را در سال ۱۳۹۱ به ترتیب برابر با ۰/۶۶، ۱/۱۹، ۱/۳۶ و ۰/۹۸ و در سال ۱۳۹۲ برای گیاه سیاهدانه این ضرایب را نیز به ترتیب برابر با ۰/۵۹، ۰/۹۱، ۱/۲۹ و ۰/۷۸ گزارش نمودند. در باجگاه شیراز مقدار ضرایب گیاهی مراحل مختلف رشد زعفران با استفاده از لایسیمترهای بیلان آبی به ترتیب ۰/۲۴، ۰/۹۴ و ۱/۰۵ و ۰/۷۳ اندازه‌گیری شد (یرمی و همکاران، ۲۰۱۲). در تحقیقی در منطقه بیرجند، مقدار ضرایب گیاهی زیره سبز به روش لایسیمتری در مراحل اولیه، توسعه، میانی و انتهایی به ترتیب برابر با ۰/۶۵، ۰/۹۲، ۱/۲۱ و ۰/۸۵ به دست آمد (ریحانی و خاشعی‌سیوکی، ۱۳۹۴). صابری و همکاران (۱۳۹۶) مقدار ضرایب گیاهی اجغون به روش لایسیمتری در منطقه بیرجند را در مراحل مختلف رشد ابتدایی، توسعه، میانی و مرحله انتهایی به ترتیب برابر با ۰/۷۸، ۱/۰۶، ۱/۱۳ و ۰/۹۶ و مجموع تبخیر و تعرق این

گیاه را ۴۹۲ میلی‌متر به دست آوردند. طی تحقیقی دیگر در منطقه فسا مقدار نیاز آبی گیاه سیاهدانه طی مراحل مختلف رشد به ترتیب برابر با ۵۳۴/۴۶، ۵۳۰/۴ و ۵۲۵/۱ میلی‌متر برآورد گردید (زارعی و همکاران، ۱۳۹۶). سعیدنیا و همکاران (۱۳۹۷) نیز با برآورد میزان تبخیر و تعرق و ضریب گیاهی در منطقه خرم‌آباد طی دوره‌های مختلف رشد، میزان ضریب گیاهی گیاه بابونه را به‌ترتیب برابر با ۰/۱۶، ۰/۵۴، ۰/۸۶ و ۰/۵۰ و گیاه زیره‌سبز را نیز به‌ترتیب برابر با ۰/۱۴، ۰/۵۲، ۰/۷۰ و ۰/۵۰ به دست آوردند. بیرامی و همکاران (۱۳۹۹) میزان ضریب گیاهی گونه پرسیکا در یزد را در شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر در ابتدا، میانه و انتهای فصل به‌ترتیب برابر با ۱/۳۷، ۱/۵۸ و ۱/۱۰ و شریفی-عاشورآبادی و همکاران (۱۳۹۹) نیز در منطقه کرج، ضرایب گیاهی آویشین را به‌ترتیب برابر با ۰/۳۳، ۰/۶۵، ۱/۲۰ و ۰/۹۹ به‌دست آوردند. مقدار ضرایب گیاهی گل نرگس در دشت بیرجند طی مراحل مختلف رشد ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به‌ترتیب برابر با ۰/۹۱، ۱/۱۳، ۱/۱۱ و ۰/۹۶ به‌دست آمده است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۹). قوام-سعیدی‌نوقابی و همکاران (۱۳۹۹) نیز در شرایط آب و هوایی بیرجند، مقدار تبخیر - تعرق پتانسیل شاهدانه را ۶۸۸/۸۹ میلی‌متر و مقدار ضرایب گیاهی مراحل مختلف

رشد آن را به‌ترتیب برابر با ۰/۲۸، ۰/۶۸، ۱/۰۱ و ۰/۵۴ به‌دست آوردند.

کاهش شدید منابع آبی در دسترس منطقه طی سالیان اخیر، اهمیت اقتصادی و دارویی کشت گیاه سیاهدانه و همچنین عدم وجود گزارشی مبنی بر مقدار نیاز آبی و ضرایب گیاهی گیاه مذکور در منطقه بیرجند باعث گردید در این تحقیق به تعیین نیاز آبی (ET_c) و ضرایب گیاهی (K_c) گیاه سیاهدانه طی مراحل مختلف رشد در این اقلیم خشک پرداخته شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در اواسط فروردین سال ۱۳۹۷ در دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند واقع در پنج کیلومتری شهرستان بیرجند-کرمان که بین ۵۷ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی قرارگرفته و با ۱۴۹۱ متر ارتفاع از سطح آزاد دریا، انجام شد. شهرستان بیرجند با توجه به ضریب خشکی دوارتن که برای این منطقه کمتر از ۱۰ است، دارای اقلیم خشک است (صابری و همکاران، ۱۳۹۶). قبل از اجرای آزمایش خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک مورد استفاده اندازه‌گیری شد که در جدول (۱) و جدول (۲) قابل مشاهده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک مزرعه و میکرولاسیسمترهای مورد مطالعه

جرم مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	نوع بافت	اشباع (SP)	ظرفیت زراعی	نقطه پژمردگی
۱/۵	۷۸	۲۰	۲	Loamy sand	۲۷	۱۷/۱۰	۱۱%

جدول ۲- مشخصات شیمیایی خاک مزرعه و میکرولاسیسمترهای مورد مطالعه

هدایت الکتریکی (ds/m)	قلیائیت (pH)	درصد کربن آلی	درصد مواد آلی
۲/۵۹	۷/۹	۰/۰۹	۰/۱۵

به‌منظور اجرای این طرح از سه عدد میکرولاسیسمتر با قطر ۲۰ و ارتفاع ۱۶ سانتی‌متر استفاده شد. برای زهکش میکرولاسیسمترها، شن ریز و درشت در کف آن‌ها تعبیه شد. بذرها در ۱۵ فروردین سال ۱۳۹۷ در

میکرولاسیسمترها کشت و مرحله اولیه رشد شروع گردید. به‌منظور اطمینان از درصد جوانه‌زنی مطلوب تعداد ۱۵ تا ۲۰ عدد بذر در هر میکرولاسیسمتر کشت گردید و بعد از سبز شدن جهت تراکم مطلوب، عملیات تنک در صورت

مرحله اولیه رشد به پایان رسید و مرحله توسعه گیاه شروع شد. مرحله توسعه گیاه در تاریخ سیزدهم خردادماه با شروع مرحله گلدهی و مرحله میانی رشد، پایان یافت. مرحله میانی رشد نیز در تاریخ سیزدهم خردادماه شروع و در تاریخ دهم تیرماه سال ۱۳۹۷ به اتمام رسید و مرحله انتهایی نیز در نهایت در تاریخ بیستم و هفتم تیرماه کامل شده و گیاه به پلاسیدگی کامل رسید (اتمام مرحله انتهایی رشد) (جدول ۳).



شکل ۱- جانمایی میکروپلاسیمترها در مزرعه

جدول ۳- تاریخ کاشت و طول هر یک از مراحل رشد گیاه سیاهدانه

سال	تاریخ کاشت	دوره اولیه رشد (روز)	دوره توسعه (روز)	دوره میانی (روز)	دوره انتهایی (روز)	کل (روز)
۱۳۹۷	۱۳۹۷/۱/۱۵	۱۳	۴۷	۳۰	۱۷	۱۰۷

دور آبیاری متغیر بود و معمولاً بین یک تا سه روز تغییر می‌کرد.

اگر تغییرات رطوبتی خاک در ابتدا و انتهای هر دور آبیاری برابر با صفر باشد، مقدار تبخیر و تعرق گیاه در هر دوره زمانی برابر است با حجم آب ورودی (مجموع آب آبیاری و آب باران) منهای حجم آب زهکشی شده از میکروپلاسیمترها (رابطه ۱):

$$ET_c = I + P - D \pm \Delta sw \quad (1)$$

ET_c : تبخیر و تعرق واقعی گیاه (میلی‌متر) در یک دوره مشخص، D : مقدار آب زهکشی شده از انتهای میکروپلاسیمتر (میلی‌متر) که به صورت حجمی اندازه‌گیری و عمق از تقسیم حجم آن بر مساحت میکروپلاسیمتر به-دست می‌آید، I : مقدار آب داده شده به گیاه در

لزوم انجام گرفت و در نهایت دو تا سه بوته در میکروپلاسیمترها نگه داشته شد. میکروپلاسیمترهای مورد آزمایش در شکل (۱) نشان داده شده است.

دوره رشد گیاه سیاهدانه به‌طور استاندارد به چهار مرحله اولیه از تاریخ جوانه‌زنی تا ۱۰ درصد رشد گیاه، مرحله توسعه از ۱۰ درصد رشد تا شروع گلدهی، مرحله میانی از آغاز گلدهی تا رسیدن محصول و مرحله پایانی از انتهای مرحله میانی تا برداشت محصول تقسیم می‌شود (قمرنیا و همکاران، ۱۳۹۲). در تاریخ پنجم اردیبهشت‌ماه

مدیریت آبیاری بر اساس بیشترین تبخیر و تعرق گیاه (ET_p) بر اساس روش فائو ۵۶ بود (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). به‌منظور تعیین ET_c طی مراحل مختلف رشدی گیاه، از میکروپلاسیمترهای وزنی در سه تکرار استفاده گردید. طی مدت زمان آزمایش، مقدار رطوبت خاک (به-صورت وزنی) قبل از هر آبیاری و ارتفاع آب زهکشی شده بعد از هر آبیاری به‌طور مرتب اندازه‌گیری گردید عمق آب کاربردی در هر آبیاری از تفاوت حد ظرفیت زراعی (به-عنوان رطوبت بهینه جهت وارد نیامدن تنش به گیاه) و رطوبت قبل از آبیاری به دست آمد. در این تحقیق سعی گردید رطوبت خاک در اکثر مواقع در محدوده FC باشد و با محاسبه دقیق عمق آب کاربردی سعی گردید به‌گونه‌ای عمل شود تا آبی از زهکش‌ها خارج نشود، در این شرایط

نتایج و بحث

مقدار نیاز آبیاری و ضریب گیاهی گیاهان مختلف طی دوره رشد متغیر است، بر همین اساس منحنی ضریب گیاهی به صورت تابعی از روزهای پس از کاشت نشان داده می شود (دورنوس و پروت، ۱۹۷۷). این منحنی بر اساس تحقیقات انجام شده قبلی، مجله فائو ۵۶ که مورد تأیید تمامی پژوهشگران و متخصصین امر است به چهار مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی تقسیم می گردد (پیرمردیان و همکاران، ۱۳۸۱). متوسط ضرایب گیاهی و تبخیر و تعرق گیاه سیاهدانه در جدول (۴) و مقدار تبخیر و تعرق اندازه گیری شده به وسیله میکرولاسیمترها و تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ضرایب گیاهی سیاهدانه طی دوره های ده روزه در جدول (۵) ارائه شده است.

برای محاسبه ضریب گیاهی ده روزه از روش میانگین گیری استفاده گردید. به نحوی که برای هر مرحله از رشد، میانگین ضریب گیاهی در آن مرحله در نظر گرفته شد. همان گونه که در شکل (۲) مشاهده می شود، مقدار K_c در مقیاس روزانه تغییرات شدیدی دارد. این تغییرات می تواند ناشی از خطای اندازه گیری عوامل بیلان و عوامل اقلیمی باشد (صابری و همکاران، ۱۳۹۶؛ کافی و کشمیری، ۱۳۹۰؛ کردوانی، ۱۳۸۱). نتایج به دست آمده از میانگین سه میکرولاسیمتر نشان داد که در مرحله ابتدایی میزان تبخیر و تعرق پایین است، سپس در مراحل توسعه و میانی روند افزایشی دارد و در مرحله انتهایی رشد گیاه به علت فرآیند پیری میزان تبخیر و تعرق نیز کاهش می یابد. کاهش تبخیر و تعرق در مرحله ابتدایی ناشی از سطح برگ کوچک، کاهش تعداد ساعات آفتابی نسبت به مراحل میانی و تشعشع ضعیف خورشید است، متوسط میزان تبخیر و تعرق در این مرحله ۲/۷۱ میلی متر در روز به دست آمد (جدول ۴).

میکرولاسیمتر (میلی متر) ، P : مقدار بارندگی در دوره بررسی (میلی متر) و $\pm \Delta SW$: تغییرات ذخیره ای رطوبت خاک است که مقدار آن از (رابطه ۲) به دست می آید (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷):

$$\Delta SW = SW_1 - SW_2 \quad (2)$$

SW_1 : مقدار رطوبت اولیه خاک قبل از آبیاری در شروع دوره بررسی (میلی متر) و SW_2 : مقدار رطوبت ثانویه خاک در انتهای دوره بررسی (میلی متر) است. مقدار آبیاری در هر دوره آبیاری بر اساس رطوبت ظرفیت زراعی تنظیم می شود و تا وزن FC آب به میکرولاسیمتر اضافه می شد.

ضریب گیاهی از تقسیم تبخیر و تعرق واقعی گیاه بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع به دست می آید و در طول دوره رشد گیاه متغیر است (رابطه ۳):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (3)$$

تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) به روش پنمن - مانتیت فائو (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} \mu(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34\mu_2)} \quad (4)$$

در این رابطه:

ET_0 : تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی متر بر روز)، G : شار گرمای خاک (مگا ژول بر متر مربع بر روز)، T : دمای هوا در ارتفاع دو متری (درجه سلسیوس)، μ_2 : سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)، e_s : فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال)، $(e_s - e_a)$: کمبود فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)، Δ : شیب منحنی فشار بخار (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس)، R_n : تابش خالص در سطح گیاه و γ : ضریب ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس) می باشند (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷).

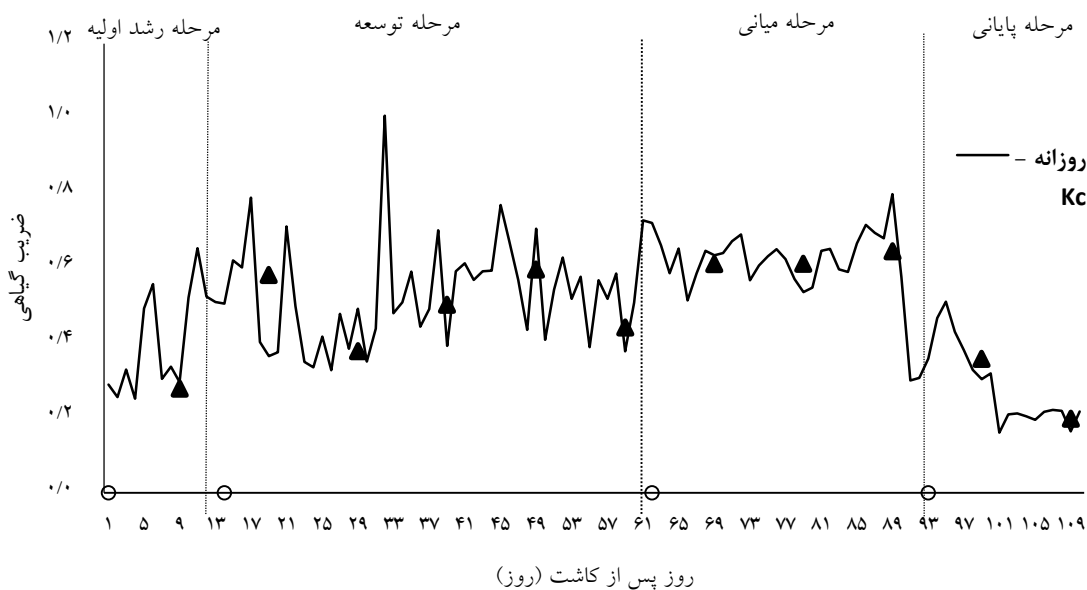
جهت محاسبه مقدار تبخیر - تعرق مرجع از داده های روزانه هواشناسی ایستگاه سینوپتیک بیرجند در سال ۱۳۹۷ طی همان دوره آبیاری استفاده گردید.

جدول ۴- متوسط ضرایب گیاهی و تبخیر و تعرق گیاه سیاهدانه در مراحل چهارگانه رشد

سال	عامل	دوره اولیه رشد	دوره توسعه	دوره میانی	دوره انتهایی
۱۳۹۷	Kc	۰/۳۹	۰/۵۳	۰/۵۹	۰/۲۸
	Etc (mm/day)	۲/۷۱	۴/۸۴	۹/۹۳	۵/۱۰
	مقدار نیاز آبی (mm)	۵۶/۹	۱۸۸/۸	۲۷۸	۸۶/۷

جدول ۵- نیاز آبی (میلی متر) و ضریب گیاهی اندازه گیری شده گیاه سیاهدانه

دهه	تبخیر و تعرق مرجع (mm)	میکرو لایسیمتر ۱		میکرو لایسیمتر ۲		میکرو لایسیمتر ۳		میانگین میکرو لایسیمترها	
		Kc	ETc (mm)	Kc	ETc (mm)	Kc	ETc (mm)	Kc	ETc (mm)
۱	۸۷/۲	۰/۲۸	۲۴/۲۳	۰/۲۷	۲۳/۹۴	۰/۲۸	۲۴/۵۷	۰/۲۸	۲۴/۲۵
۲	۶۲/۴	۰/۶۱	۳۷/۹۹	۰/۴۹	۳۰/۶۴	۰/۶۵	۴۰/۲۹	۰/۵۸	۳۶/۳۱
۳	۱۰۵/۶	۰/۴۰	۴۱/۷۵	۰/۳۶	۳۷/۶۰	۰/۳۸	۴۰/۶۲	۰/۳۸	۳۹/۹۹
۴	۹۵/۳	۰/۴۹	۴۷/۱۷	۰/۵۰	۴۷/۵۴	۰/۵۱	۴۸/۸۴	۰/۵۰	۴۷/۸۵
۵	۸۵/۵	۰/۶۲	۵۲/۶۱	۰/۶۱	۵۱/۸۴	۰/۵۷	۴۸/۵۴	۰/۵۷	۵۰/۹۹
۶	۱۴۱/۲	۰/۴۴	۶۱/۵۱	۰/۴۲	۵۸/۶۰	۰/۴۷	۶۷/۰۶	۰/۴۷	۶۲/۳۹
۷	۱۶۲/۶	۰/۶۱	۹۹/۶۵	۰/۵۹	۹۶/۱۳	۰/۶۳	۱۰۲/۰۸	۰/۶۳	۹۹/۲۹
۸	۱۵۷/۴	۰/۶۵	۱۰۲/۸۲	۰/۶۳	۹۸/۷۹	۰/۵۵	۸۷/۲۷	۰/۵۵	۹۶/۲۹
۹	۱۶۶/۰	۰/۶۵	۱۰۷/۱۶	۰/۶۸	۱۱۳/۷۰	۰/۶۱	۱۰۰/۵۸	۰/۶۱	۱۰۷/۱۵
۱۰	۱۹۳/۷	۰/۳۷	۷۲/۰۱	۰/۳۴	۶۶/۰۲	۰/۳۶	۶۹/۷۴	۰/۳۶	۶۹/۲۶
۱۱	۱۸۲/۳	۰/۲۲	۳۹/۸۴	۰/۱۸	۳۱/۹۲	۰/۲۰	۳۶/۶۲	۰/۲۰	۳۶/۱۳
کل	۱۴۳۹/۲	۰/۶۸۶/۷۴	۰/۶۵۶/۷۳	۰/۶۶۶/۲۰	۰/۶۶۹/۸۹	۰/۶۶۶/۲۰	۰/۶۶۹/۸۹	۰/۶۶۹/۸۹	۰/۶۶۹/۸۹



شکل ۲- نمودار ضریب گیاهی مربوط به میانگین سه میکرو لایسیمتر

توسعه کامل کانوپی گیاه و به دنبال آن افزایش تقاضای گیاه برای تبخیر باشد.

نتایج نشان داد که حداکثر و حداقل متوسط نیاز آبی ده روزه گیاه طی دوره آزمایش به ترتیب برابر با ۱۰۷/۱۵

طی مرحله توسعه چون گیاه در حال رشد است میزان تبخیر و تعرق نیز افزایش می یابد. بیشترین میزان تبخیر و تعرق طی مرحله میانی با متوسط مقدار ۹/۹۳ میلی - متر در روز به دست آمد (جدول ۵). علت این امر می تواند

و ۲۴/۲۵ میلی‌متر در ده روز است. بر اساس داده‌های حاصل از آزمایش تبخیر و تعرق واقعی سالانه سیاهدانه برابر با ۶۶۹/۸۹ و تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) برابر ۱۴۳۹/۲ میلی‌متر به دست آمد (جدول ۵). طول هر مرحله رشدی بسته به طول فصل رشد برای هر گیاه و اقلیم متفاوت است (۴ و ۲۸). با توجه به نوع محصول، اقلیم منطقه و طول فصل رشد، طول دوره‌های اولیه، توسعه، میانی و انتهایی گیاه سیاهدانه به ترتیب ۱۳، ۴۷، ۳۰ و ۱۷ روز اندازه‌گیری گردید.

بر اساس مطالعه زارعی و همکاران (۱۳۹۶) در منطقه فسا نتایج به دست آمده نشان دادند که طول دوره هر یک از مراحل چهارگانه رشد گیاه سیاهدانه (مرحله اولیه رشد، مرحله توسعه، مرحله میانی و مرحله پایانی) به ترتیب ۱۰، ۱۱، ۴۱ و ۲۳ روز است و ضریب گیاهی سیاهدانه در هر یک از این مراحل به ترتیب برابر با ۰/۷۵، ۱/۰۲، ۱/۲۱ و ۰/۸ بود و همچنین بر اساس نتایج کل، آب مصرفی این گونه در طول یک دوره کامل رشد معادل ۵۳۴/۴۶، ۵۳۰/۴ و ۵۲۵/۱ میلی‌متر برآورد شد که نسبت به نتایج این تحقیق مقادیر کمتری است، طولانی‌تر بودن طول دوره رشد و بیشتر بودن مقدار نیاز آبیاری گیاه سیاهدانه در منطقه بیرجند می‌تواند ناشی از تفاوت شرایط اقلیمی این دو منطقه و خشک‌تر بودن اقلیم و بالاتر بودن میانگین دمای هوای بیرجند نسبت به فسا و همچنین متفاوت بودن عوامل مدیریت آبیاری باشد و همچنین تفاوت در عوامل مدیریت آبیاری است. بیرجند دارایی آب و هوایی خشک بوده و میانگین دمای هوا آن بیشتر از فسا است و این امر در طول دوره رشد و نیاز آبی گیاه مؤثر است.

تغییرات ضریب گیاهی به دست آمده از میانگین سه میکرولاسیمتر در شکل (۲) نمایش داده شده است. بر اساس این نتایج، حداکثر میزان ضریب گیاهی (۰/۵۹) در دوره میانی و کمترین مقدار ضریب گیاهی (۰/۲۸) در دوره انتهایی رشد حاصل شد. کاهش ضریب گیاهی در مرحله ابتدایی (۰/۳۹) می‌تواند به علت افزایش سهم تبخیر نسبت به تعرق بوده که خود ناشی از رشد رویشی کم در این

مرحله است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ضریب گیاهی در این مرحله بیشتر تحت تأثیر توان تبخیرکنندگی اتمسفر است (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷). کیخامقدم و همکاران (۱۳۹۲) و یرمی و همکاران (۲۰۱۲) نیز نتایج مشابهی گزارش نمودند.

محققان با مطالعه روی محصولات دانه روغنی دریافتند که بیشترین میزان ضریب گیاهی مربوط به مراحل توسعه و میانی است (کار و همکاران، ۲۰۰۷). تراکم کشت باعث کاهش دمای خاک و از طرفی افزایش میزان تبخیر تعرق می‌گردد (هونساکر و همکاران، ۲۰۰۵). در واقع تبخیر از سطح خاک با افزایش کانوپی گیاه کاهش می‌یابد و در نتیجه بر خلاف مرحله ابتدایی و انتهایی، سهم تعرق نسبت به تبخیر بیشتر است و ضریب گیاهی با افزایش توسعه اندام‌های هوایی و به دنبال آن افزایش تعرق، افزایش می‌یابد. نقاط اندازه‌گیری شده و منحنی برازش یافته در شکل (۳) نشان داده شده است. در مرحله میانی، میزان ضرایب گیاهی پایین است. با شروع دوره رشد، بر میزان ضریب گیاهی افزوده شده تا اینکه در مرحله میانی، حداکثر مقدار ضریب گیاهی برابر با ۰/۵۹ به دست آمد، در مرحله پایانی با شروع پیری و کاهش کانوپی گیاه، از میزان ضریب گیاهی کاسته شده و ضریب گیاهی پایانی برابر با ۰/۲۸ اندازه‌گیری گردید (شکل ۳).

مقادیر برآورد شده تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) از میکرولاسیمترها و مقادیر به دست آمده از فرمول پنمن مونیتث در شکل (۴) قابل مشاهده است که ضریب R^2 آن برابر با ۰/۸۸ است و بیانگر همبستگی خوب و دقت بالای آزمایش است.

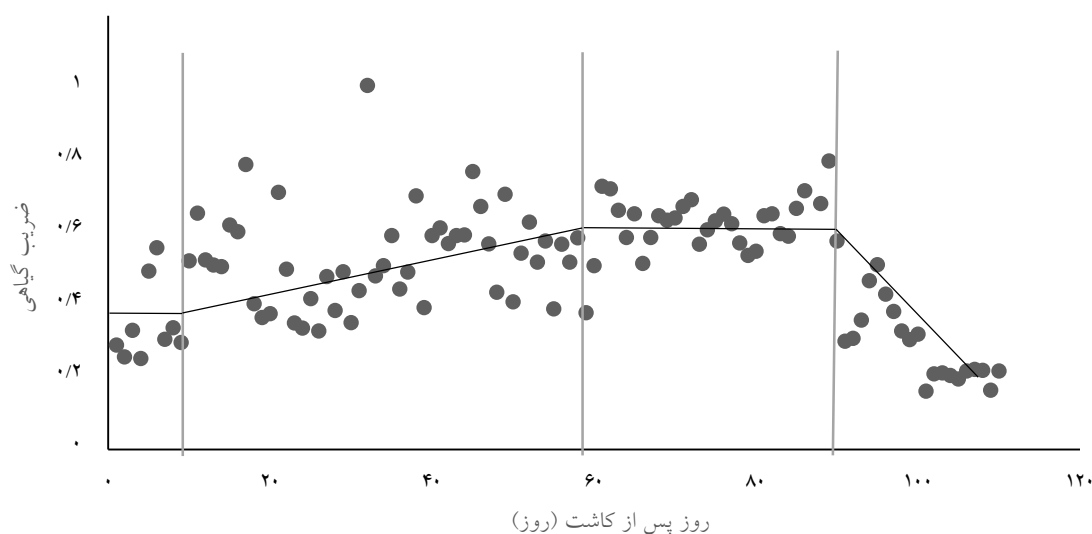
قمرنیا و همکاران (۱۳۹۲) طی تحقیقی در منطقه کرمانشاه مقادیر میانگین ضریب گیاهی سیاهدانه را در پی دو سال کشت متوالی برای دوره‌های رشد ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی به ترتیب برابر با ۰/۵۹، ۰/۹۱، ۱/۲۹ و ۰/۷۸ به دست آوردند، این محققین همچنین میانگین مقدار ET_c طی دو سال آزمایش بر روی سیاهدانه را ۷۲۴/۱۱ میلی‌متر برآورد نمودند که نسبت به مقدار گزارش شده در این

تحقیق رقم نسبتاً بالایی است و از دلایل آن می‌توان به تغییرات شرایط جوی و اقلیمی و همچنین خطاهای انسانی و اندازه‌گیری در طول آزمایش اشاره نمود.

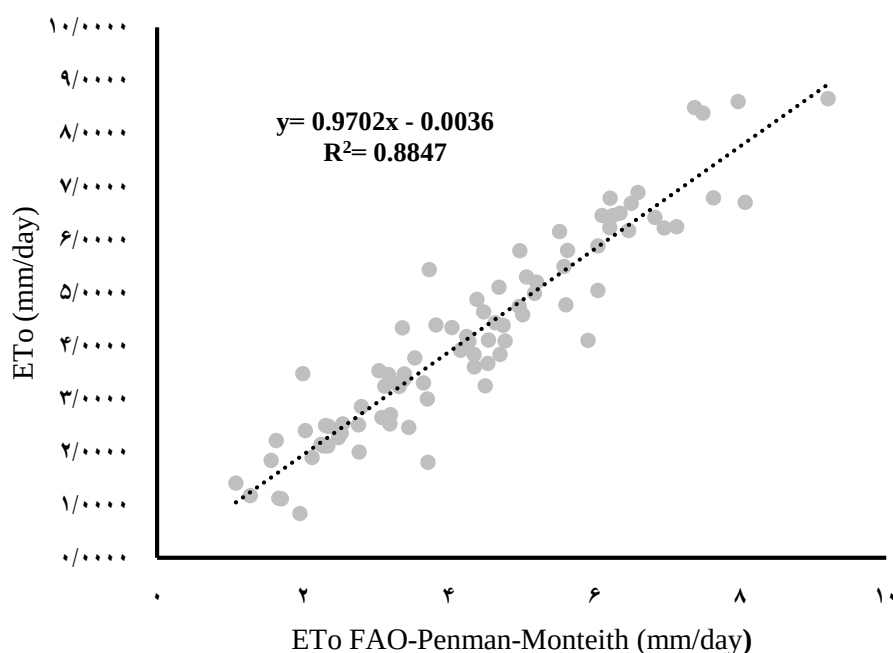
نتیجه‌گیری

برنامه‌ریزی آبیاری با هدف جلوگیری از هدر رفت آب، افزایش راندمان آبیاری و مقدار تولید محصول مستلزم تعیین نیاز واقعی آب مورد نیاز محصولات زیر

کشت است. بر اساس نتایج به دست آمده در این تحقیق، میانگین نیاز آبی سیاهدانه در سال ۱۳۹۷، برابر با ۶۶۹/۸۹ میلی‌متر و مقدار ضرایب گیاهی در مراحل اولیه، توسعه، میانی و انتهایی به‌ترتیب برابر با ۰/۳۹، ۰/۵۳، ۰/۵۹ و ۰/۲۸ به دست آمد. نتیجه‌گیری کلی این تحقیق آن است که با استفاده از مقادیر نیاز آبی واقعی به دست آمده و به‌کارگیری برنامه دقیق زمان‌بندی آبیاری می‌توان به کشت این محصول در منطقه بیرجند پرداخت.



شکل ۳- ضرایب گیاهی سیاهدانه اندازه‌گیری شده و برازش یافته در مراحل مختلف رشد



شکل ۴- مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع و مقادیر تبخیر و تعرق به دست آمده از فرمول پنمن مونتیث

فهرست منابع

۱. بیرامی، ح.، رحیمیان، م. ح. و دهقانی، ف. ۱۳۹۹. برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی دو گونه سالیکورنیا در یزد. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۴(۳): ۴۰۱-۴۱۵.
۲. پیرمردیان، ن.، کامکارحقیقی، ع. ا. و سپاسخواه، ع. ر. ۱۳۸۱. ضریب گیاهی و نیاز آبی برنج در منطقه کوشک استان فارس. مجله علوم آب و خاک. ۶(۳): ۱۵-۲۴.
۳. ریحانی، ن. و خاشعی سیوکی، ع. ۱۳۹۴. برآورد ضریب گیاهی زیره سبز در طول مراحل مختلف رشد به روش لایسیمتری در منطقه بیرجند. مجله آب و خاک. ۲۹(۵): ۱۰۴۷-۱۰۵۶.
۴. زارعی، ع.، ظهراپی، ص. و بومه، ف. ۱۳۹۶. ارزیابی مراحل مختلف رشد و تعیین ضریب گیاهی (Kc) سیاهدانه (*Nigella sativa L.*) دو ماهنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۳(۴): ۵۹۷-۶۰۷.
۵. زارعی، ع. ر.، امیری، م. ج.، ظهراپی، ص. و بومه، ف. ۱۳۹۶. تعیین ضریب گیاهی در گونه *Medicago polymorpha* با استفاده از میکرو لایسیمتر وزنی. نشریه علمی پژوهشی مرتع. ۱۰(۲): ۲۰۴-۲۱۲.
۶. سعیدنیا، م.، ترنیا، ف. ا.، حسینیان، س. ح. و نصراللهی، ع. ح. ۱۳۹۷. برآورد میزان تبخیر و تعرق و ضریب گیاهی دو گونه بابونه و زیره سبز در منطقه خرم آباد. مدیریت آب و آبیاری. ۸(۱): ۱۶۵-۱۷۵.
۷. شریفی عاشورآبادی، ا.، روحی پور، ح.، جبلی، م.، مکی زاده تفتی، م. و نادری، ب. ۱۳۹۹. تعیین ضریب گیاهی و تبخیر - تعرق آویشن دنایی در شرایط استاندارد در کرج. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۴(۳): ۳۸۹-۴۰۱.
۸. صابری، ا. و رضایی، ف. و خاشعی سیوکی، ع. ۱۳۹۶. برآورد ضریب گیاهی اجغون (*Trachyspermum ammi*) در مراحل مختلف رشد به روش لایسیمتری در منطقه بیرجند. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۱(۳).
۹. قمرنیا، ه.، جعفری زاده، م.، میری، ا. و قبادی، م. ا. ۱۳۹۲. تعیین نیاز آبی گشنیز (*Coriandrum sativum L.*) به روش لایسیمتری در منطقه ای با اقلیم نیمه خشک. مجله علوم آب و خاک. ۱۷(۶۶): ۱-۹.
۱۰. قمرنیا، ه.، میری، ا.، جعفری زاده، م.، و قبادی، م. ا. ۱۳۹۱. تعیین نیاز آبی سیاهدانه (*Nigella Sativa L.*) به روش لایسیمتری در اقلیم خشک و نیمه خشک. مجله علوم مهندسی و آبیاری. ۳۵(۴): ۷۵-۸۲.
۱۱. قوام سعیدی نوقابی، س.، شهیدی، ع. و حمامی، ح. ۱۳۹۹. برآورد نیاز آبی و ضرایب گیاهی شاهدانه در مراحل مختلف رشد در دشت بیرجند. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۴(۴): ۵۶۳-۵۷۴.
۱۲. کیخامقدم، پ.، کامکارحقیقی، ع. ا.، سپاسخواه، ع. ر. و زندپارسا، ش. ۱۳۹۲. تعیین ضریب گیاهی یگانه، دوگانه و تبخیر - تعرق گیاه زعفران تکامل یافته. مجله هواشناسی کشاورزی. ۱۱(۱): ۱-۱۳.
۱۳. گلدانی، م. و رضوانی مقدم، پ. ۱۳۸۴. اثر سطوح خشکی و تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام دیم و آبی نخود در مشهد. مجله پژوهش های زراعی ایران، ۲(۲): ۱-۱۲.
۱۴. محمدی، ا.، نجفی مود، م. ح.، خاشعی سیوکی، ع. و شهیدی، ع. ۱۳۹۹. تعیین ضرایب گیاهی گل نرگس به روش لایسیمتری در دشت بیرجند. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۴(۴): ۵۹۱-۶۰۲.
۱۵. وزیر، ژ.، سلامت، ع.، انتصاری، م.، مسچی، م.، حیدری، ن. و دهقانی سانچ، ح. ۱۳۸۷. تبخیر-تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان)، گروه کار استفاده پایدار از منابع آب برای تولید محصولات کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، نشریه شماره ۱۲۲، ۳۶۲.
۱۶. زینلی ح.، کاملیون، ا.، توکلی، م. ۱۳۹۸. آشنایی با گیاه دارویی سیاهدانه و روش تولید آن. انتشارات وزارت جهاد کشاورزی، معاونت امور باغبانی.

۱۷. کافی، م. و کشمیری، ا. ۱۳۹۰. مطالعه عملکرد و اجزای عملکرد توده بومی و رقم هندی زیره سبز (Cuminum cyminum) در شرایط خشکی و شوری. نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، (۲۵): ۳۲۷-۳۳۴.
۱۸. کردوانی، پ. ۱۳۸۱. ارزیابی و مقایسه خصوصیات ماکروسکوپی، میکروسکوپی و فیتوشیمیایی میوه‌های بادیان، رازیانه و زنیان. پایان‌نامه داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان.
19. Allen R.G. 2000. Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. *Journal of Hydrology*, 229: 27-41.
20. 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 No. 56. Rome, FAO.
21. Bodner G., Loiskandl W., and Kaulm H. 2007. Cover crop evapotranspiration under semi-arid conditions using FAO dual crop coefficient method with water stress compensation. *Agricultural Water Management*, 93: 85-98.
22. Doorenbos J., and Pruitt W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper*, No.24. FAO, Rome.
23. Hunsaker DJ. Pinter PJ. and Kimball BA. 2005. Wheat basal crop coefficients determined by normalized difference vegetation index. *Irrigation Science*, 24: 1-14.
24. Kar G., Kumar A., and Martha M. 2007. Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. *Agricultural Water Management*, 87(1): 73-82.
25. Karna S.K.L. 2013. Phytochemical screening and gas chromatography - mass spectrometry and analysis of seed extract of *Nigella sativa* Linn. *International Journal of Chemical Studies*, 1(4): 183-188.
26. Ko J., Piccinni G., Marek T., and Howell T. 2009. Determination of growth-stage-specific crop coefficients (K_c) of cotton and wheat. *Agricultural Water Management*, 96: 1691-1697.
27. Liu Y., and Luo Y.A. 2010. Consolidated evaluation of the FAO-56 dual crop coefficient approach using the lysimeter data in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 97: 31-40.
28. Martinez-Cob A. 2008. Use of thermal units to estimate corn crop coefficients under semiarid climatic conditions. *Irrigation Science*, 26: 335-345.
29. Pandey P., and Pandey V. 2011. Lysimeter based crop coefficients for estimation of crop evapotranspiration of black gram (*Vigna mungo* L.) in sub-humid region. *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*, 4: 50-58.
30. Santos F. X., Montenegro A. A. A., Silva J. R., and Souza E. R. 2009. Determinação do consumo hídrico da cenoura utilizando lisímetros de drenagem, no agreste pernambucano. *Revista Brasileira De Ciências Agrárias*, Recife, 4(3): 304-310.
31. Smith M., Allen R., Monteith J.L., Perrier A., Santospereira L., and Sageren A. 1992. Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Land and Water Development Division, Rome, Italy. 60.
32. Tyagi N. K., Sharma D.K., and Luthra S.K. 2000. Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter. *Agricultural Water Management*, 45: 41-54.
33. Yarami N., Kamgar-Haghighi A. A., Sepaskhah A. R., and Zand-Parsa Sh. 2012. Determination of the potential evapotranspiration and crop coefficient for saffron using a water-balance lysimeter. *Arch. Agron. Soil Sci*, 57(7): 727- 740.
34. Yrisarry J. B., and Naveso F. S. 2000. Use of weighing lysimeter and Bowen-Ratio Energy-Balance for reference and actual crop evapotranspiration measurements. *Acta horticulturae*, 537(537): 143- 150.

اثر سطوح مختلف شوری آب بر ویژگی‌های جوانه‌زنی دو رقم کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd)

محسن سیل‌سپور^۱

عضو هیئت علمی بخش تحقیقات کشت گلخانه‌ای، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، ورامین، ایران. mseilsep@yahoo.com

دریافت: خرداد ۱۴۰۰ و پذیرش: آذر ۱۴۰۰

چکیده

به منظور بررسی تنش شوری آب بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر کینوا، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح آماری کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران اجرا شد. عامل شوری آب در پنج سطح (آب مقطر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) و عامل رقم در دو سطح (تیتیکاکا و ردکاردینا) در نظر گرفته شد. اثر شوری آب و رقم و اثر متقابل آنها بر صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، ریشه‌چه و گیاه‌چه، شاخص بنیه و شاخص تحمل ساقه‌چه و ریشه‌چه معنی‌دار بود. تنش شوری کلیه صفات اندازه‌گیری شده را به طور معنی‌داری کاهش داد که این کاهش در رقم ردکاردینا بیشتر از رقم تیتیکاکا بود. تنش شوری آب تا سطح پنج دسی‌زیمنس بر متر تأثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی بذر رقم تیتیکاکا نداشت، در حالی که در مورد رقم ردکاردینا تفاوت درصد جوانه‌زنی بین سطوح شاهد آب مقطر و شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر معنی‌دار بود. بیشترین درصد جوانه‌زنی به میزان ۱۰۰٪ از تیمار بدون تنش شوری (تیمار شاهد) در هر دو رقم تیتیکاکا و ردکاردینا به دست آمد، در حالی که درصد جوانه‌زنی در تنش شوری آب ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر در رقم تیتیکاکا ۱/۴٪، ۴/۹٪، ۱۴/۳٪ و ۲۱٪ و در رقم ردکاردینا به ترتیب ۲/۶٪، ۶/۶٪، ۱۸/۳٪ و ۲۹/۷٪ نسبت به شاهد کاهش یافت. طول ساقه‌چه ارقام در سطح شوری ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۶/۸٪، ۱۴/۰٪، ۲۷/۶٪ و ۳۹/۶٪ برای رقم تیتیکاکا و ۷/۳٪، ۱۹/۹٪، ۴۳/۷٪ و ۵۳/۸٪ برای ردکاردینا نسبت به شاهد کاهش نشان داد که این درصد کاهش برای طول ریشه‌چه رقم تیتیکاکا، ۲/۱٪، ۱۲/۶٪، ۳۲/۶٪ و ۴۴/۲٪ و در رقم ردکاردینا ۶/۴٪، ۲۱/۲٪، ۳۸/۲٪ و ۵۷/۹٪ بود. تنش شوری آب ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر موجب شد تا وزن خشک گیاهچه رقم تیتیکاکا ۱۲/۷٪، ۲۷/۱٪، ۳۶/۸٪ و ۴۶/۶٪ و در رقم ردکاردینا ۱۱/۴٪، ۲۷/۸٪، ۴۵/۰٪ و ۵۷/۱٪ کاهش یابد. نتایج به دست آمده حاکی از حساسیت بیشتر رقم ردکاردینا به تنش شوری آب در مرحله جوانه‌زنی در مقایسه با رقم تیتیکاکا بود.

واژه‌های کلیدی: درصد جوانه‌زنی، کینوا رقم تیتیکاکا، کینوا رقم ردکاردینا، وزن خشک گیاهچه

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، ورامین.

مقدمه

تنش‌های محیطی مثل خشکی و شوری عامل محدودکننده‌ای در نمو گیاهان بوده و باعث کاهش عملکرد آن‌ها می‌شوند. افزایش جمعیت جهان، روند کاهش منابع آب شیرین و شور شدن زمین‌های زراعی، بررسی امکان به‌کارگیری و کشت گیاهان متحمل در شرایط نامناسب محیطی را ضروری ساخته است (اکبری مقدم و همکاران، ۲۰۱۱).

نتایج مطالعات نشان داده است که نزدیک به ۸۰۰ میلیون هکتار یا ۲۰ درصد اراضی قابل کشت دنیا تحت تأثیر شوری خاک می‌باشند (رنگسامی، ۲۰۱۰). از طرف دیگر، یکی از چالش‌های اساسی که در سراسر جهان وجود دارد، کاهش عملکرد گیاهان به دلیل تنش شوری حاصل از آب‌وخاک شور است (مونز و تستر، ۲۰۰۸). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که ۹۷/۵ درصد آب‌های جهان شور است و همچنین در بسیاری از نواحی، زمین‌های شور درصد زیادی از اراضی را به خود اختصاص داده‌اند. به همین دلیل، شوری آب‌وخاک امروزه یکی از مشکلات عمده کشاورزی در سطح جهان است (بارت لناردز، ۲۰۰۳)؛ بنابراین حساسیت محصولات عمده زراعی غیر-شورزیست از یک طرف و تغییرات تدریجی اقلیمی، از قبیل بروز پدیده خشکسالی، موجب شده است که پژوهش در زمینه گیاهان متحمل به تنش‌های محیطی از جمله کینوا، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار باشد (ویلسون و همکاران، ۲۰۰۴)؛ جاکوبسن و همکاران، ۲۰۰۳؛ تروگنیتز، ۲۰۰۳؛ کوپرو و ایسا، ۲۰۰۳)؛ بنابراین بررسی روش‌های جدید برای کاهش این چالش‌ها ضروری است. یکی از این روش‌ها کاشت گیاهان شورپسند (هالوفیت) است که به سطوح بالایی از شوری خاک متحمل هستند (کوپرو و همکاران، ۲۰۰۸).

تنش شوری از طریق کاهش پتانسیل آب و سمیت یون‌های خاص از قبیل سدیم و کلر و کاهش جذب یون‌های غذایی موردنیاز از قبیل کلسیم و پتاسیم بر جوانه‌زنی بذور و رشد آنان تأثیر می‌گذارد (غولام و فارز، ۲۰۱۱).

به‌طور کلی شوری باعث کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی و همچنین کاهش رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌گردد (آدولف و همکاران، ۲۰۱۱). تفاوت در تحمل به شوری نه تنها در میان جنس‌ها و گونه‌ها، بلکه حتی در داخل یک گونه نیز مشاهده می‌شود (حقانی و همکاران، ۲۰۰۸). کاهش جوانه‌زنی و رشد گیاه تحت شرایط شوری به ترکیب نمک، غلظت نمک و مرحله رشد گیاه بستگی دارد (فینچ ساواج و همکاران، ۲۰۰۴). جوانه‌زنی پدیده‌ای پیچیده مشتمل بر تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بوده که حاصل فعال‌شدن جنین گیاه است. شوری به عنوان یک تنش غیرزنده ناملايمات بسیاری را برای بذر در دوره جوانه‌زنی ایجاد می‌کند. شوری، با کاهش پتانسیل اسمزی محیط، نخست موجب کاهش جذب آب توسط بذر شده و در مرحله بعد، سمیت و تغییرات فعالیت‌های آنزیمی را به دنبال دارد (ماسای و همکاران، ۲۰۰۴).

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) یکی از گیاهان زراعی شورزیست شبه‌غلات است که از خانواده آمارانتاسه است (هاریادی و همکاران، ۲۰۱۱). این گیاه پتانسیل زیادی برای کشت و کار در نواحی شور را داراست (شابالا و همکاران، ۲۰۱۳؛ ذوفینو و همکاران، ۲۰۱۰؛ هاریادی و همکاران، ۲۰۱۱). به‌طوری که گزارش شده است گیاه کینوا می‌تواند با آب دریا، چرخه زندگی خود را کامل نماید و دانه تولید کند (کوپرو و همکاران، ۲۰۰۸). این گیاه حاوی میزان زیادی ویتامین‌های A، B₂، E و مواد معدنی مانند کلسیم، آهن، مس، منیزیم و روی است (ریپوکاراسکو و همکاران، ۲۰۰۳). به دلیل همین خواص بی‌نظیر، این گیاه از طرف سازمان فائو به عنوان یکی از گیاهانی که نقش مهمی در امنیت غذایی در قرن ۲۱ ایفا می‌کند، معرفی شده است (جاکوبسن، ۲۰۰۳). این ویژگی‌ها موجب شده است تا کینوا یک گیاه مناسب برای کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک باشد، مناطقی که کمبود آب و شوری از مشکلات عمده کشاورزی آن‌ها است (پرادو و همکاران، ۲۰۰۰).

تحمل به شوری در گیاهان در مراحل مختلف رشد متفاوت است، به گونه‌ای که در اکثر گیاهان تحمل به شوری در مرحله جوانه‌زنی کم‌تر از مرحله نشایی و رشد کامل است (لاچلی و گراتان، ۲۰۰۷). نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که آستانه تحمل به شوری کینوا رقم تیتیکاکا در محیط خاک در مراحل جوانه‌زنی، گلدهی و پر شدن دانه به ترتیب ۸، ۲۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر است (ملکی و همکاران، ۲۰۱۸). از جمله تأثیرات شوری بر گیاه هالوفیت کینوا می‌توان به روند کاهشی درصد جوانه‌زنی بذر، رشد گیاه، عملکرد دانه، کیفیت دانه، تعداد کل دانه‌های کینوا، وزن تر و خشک دانه در اثر افزایش شوری اشاره کرد (کویرو و همکاران، ۲۰۰۸). پانوسیو و همکاران (۲۰۱۴) به منظور بررسی اثر آبیاری با آب شور حاصل از اختلاط آب دریا و آب شهری بر جوانه‌زنی و عملکرد گیاه کینوا نشان دادند که افزایش شوری باعث کاهش طول ریشه، طول ساقه، مورفولوژی ریشه و وزن تر و خشک اندام هوایی گردید.

مراحل اولیه رشد گیاه از جمله جوانه‌زنی بذور، از حساس‌ترین مراحل رشد گیاه است که به مقدار زیادی تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرد. به عبارتی دیگر، مراحل جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه از جمله مراحل بحرانی برای استقرار گیاه در شرایط تنش شوری است (میسرا و همکاران، ۲۰۰۴). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که سرعت جوانه‌زنی بذور کینوا با افزایش شوری کاهش یافته است (پانوسیو و همکاران، ۲۰۱۴). طی پژوهش دیگری در خصوص تأثیر آب شور حاصل از اختلاط آب دریا با آب شهر (نسبت‌های ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درصد اختلاط و سطوح شوری ۰/۵، ۸/۰، ۱۱/۷، ۱۵/۵ دسی-زیمنس بر متر) بر جوانه‌زنی بذور کینوا رقم ساجاما نشان داد که بیشترین درصد جوانه‌زنی به میزان ۱۰۰ درصد از تیمار شاهد شوری (۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر) به دست آمد و تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی بذور گردید (جمالی و همکاران، ۱۳۹۵). طول ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت، به گونه‌ای

که بیشترین طول ساقه‌چه از تیمار شاهد و کمترین طول ساقه‌چه از تیمار شوری ۱۵/۵ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد. تنش شوری تأثیر منفی بر شاخص بنیه داشت. به گونه‌ای که کمترین شاخص بنیه از تیمار تنش شوری ۱۵/۵ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد (جمالی و همکاران، ۱۳۹۵). طی پژوهش دیگری، در خصوص واکنش سه رقم کینوا (تیتیکاکا، جیز و Q26) در شش سطح شوری (صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر) در محیط کشت پتری‌دیش نشان داده شد که خصوصیات جوانه‌زنی بذر تحت تأثیر توأم رقم و تنش شوری قرار گرفته است. حداکثر جوانه‌زنی، بهترین یکنواختی جوانه‌زنی، بیشترین بنیه بذر، بیشترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در شرایط بدون تنش (شاهد) و کمترین مقادیر در تیمار شوری ۵۰ دسی-زیمنس بر متر مشاهده شد. رقم تیتیکاکا در تیمار شاهد بیشترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را به ترتیب با میانگین ۵/۵۳ و ۵/۵۷ سانتی‌متر نشان داد. این درحالی بود که در تیمار شوری ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۰/۴ و ۰/۳ سانتی‌متر کمترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را داشت. علیرغم تأثیرپذیری معنی‌دار هر سه رقم مورد پژوهش و کاهش چشمگیر شاخص‌های جوانه‌زنی در سطوح بالای شوری، رقم تیتیکاکا نسبت به دو رقم دیگر، آستانه تحمل بالاتری داشت (انصاری اردلی و همکاران، ۱۴۰۰).

با توجه به لزوم کاربرد آب‌های شور در تولید محصولات کشاورزی و کمبود پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص تأثیر تنش شوری بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذور کینوا، این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر سطوح مختلف شوری بر جوانه‌زنی دو رقم کینوا صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر تنش شوری آب بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر گیاه کینوا، آزمایشی به صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو عامل (سطوح مختلف شوری آب و رقم) و سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در آزمایشگاه بخش تحقیقات کشت گلخانه‌ای مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران اجرا شد. عامل شوری

آب در پنج سطح آب‌مقطر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و عامل رقم شامل دو رقم تیتیکاکا و ردکاردینا بود. در کشور پژوهش‌های زیادی در خصوص سازگاری و پایداری ارقام کینوا صورت نگرفته است. با این وصف، رقم تیتیکاکا بیشترین سطح کشت در کشور را داراست و یکی از شناخته‌شده‌ترین ارقام تجاری کینوا است. بر اساس پژوهش‌های پیشین، این رقم از تحمل نسبتاً خوبی به شوری برخوردار است. همچنین ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا با میانگین ۴۲ و ۵۳ روز تا گلدهی، از ارقام زودرس کینوا

هستند که نیاز آبی کمتری نسبت به سایر ارقام دارند. همچنین عملکرد دانه این ارقام به ترتیب ۱۱۸۸ و ۱۰۵۷ کیلوگرم در هکتار است که از برتری نسبی عملکرد نسبت به سایر ارقام برخوردارند (باقری و همکاران، ۱۳۹۹). برای تهیه سطوح مختلف شوری آب آبیاری از آب شور طبیعی رودخانه‌شور واقع در جنوب ورامین با شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر استفاده شد که نتایج تجزیه شیمیایی آن در جدول یک درج شده است.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

SAR	K ⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CO ₃ ²⁻ mg/l	pH	EC dS/m
۸۶/۰	۰/۶۵	۱۶۶/۴	۱۶/۱	۲۱/۸	۵۱/۶	۱۵۰/۸	۲/۸	۰/۲۲	۷/۶۷	۲۰

سایر سطوح شوری آب از طریق رقیق‌سازی آب شور با آب مقطر به‌دست آمد. جوانه‌زنی بذور در پتری‌دیش با قطر ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. ابتدا پتری‌دیش‌ها برای جلوگیری از آلودگی، به‌وسیله پنبه آغشته به الکل ضدعفونی گردیدند، سپس در کف هر پتری‌دیش کاغذ صافی استریل قرار داده شد، در ادامه به هر پتری‌دیش ۱۰ سانتی‌متر مکعب آب شور طبق تیمارهای پژوهش اضافه شد. بذور با محلول هیپوکلریت سدیم نیم درصد به مدت چهار دقیقه ضدعفونی و سپس با آب مقطر کاملاً شستشو داده شدند. در هر پتری‌دیش، ۳۰ عدد بذر ضدعفونی شده قرار گرفت. پتری‌دیش‌ها به‌مدت هفت روز در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در داخل انکوباتور قرار داده شدند. تعداد بذور جوانه‌زده بذور با طول ریشه‌چه سه میلی‌متر به‌صورت روزانه ثبت گردید. پس از هفت روز، شاخص‌های جوانه‌زنی شامل درصد جوانه‌زنی (رابطه ۱)، سرعت جوانه‌زنی (رابطه ۲)، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن تر گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، شاخص تحمل به شوری آب ساقه‌چه (رابطه ۳)، شاخص تحمل به شوری آب ریشه‌چه (رابطه ۴) و شاخص بنیه (رابطه ۵) اندازه‌گیری شد (رحیمی و کافی، ۲۰۱۰).

$$Gp = 100 \frac{NG}{NT} \quad (۱)$$

که در این رابطه:

Gp: درصد جوانه‌زنی، NG: تعداد بذور جوانه‌زده در طول هفت روز و NT: تعداد کل بذور است.

$$Rs = \sum_{i=1}^n \frac{Si}{Di} \quad (۲)$$

که در این رابطه:

Rs: سرعت جوانه‌زنی، Si: تعداد بذور جوانه‌زده در هر روز، Di: تعداد روز تا شماره n ام است.

$$St = 100 \frac{SDWs}{SDWns} \quad (۳)$$

در این رابطه:

St: شاخص تحمل ساقه‌چه، SDWs: وزن خشک ساقه‌چه - چه در شرایط تنش شوری آب و SDWns: وزن خشک ساقه‌چه در شرایط بدون تنش شوری آب (تیمار شاهد) است.

$$Rt = 100 \frac{RDWs}{RDWns} \quad (۴)$$

در این رابطه:

Rt: شاخص تحمل ریشه‌چه، RDWs: وزن خشک ریشه‌چه در شرایط تنش شوری آب و RDWns: وزن خشک ریشه‌چه در شرایط بدون تنش شوری آب می‌باشد.

$$Vt = 100 \frac{Ls \times Gp}{100} \quad (۵)$$

که در این رابطه:

گروه بندی شدند. نمودارها با استفاده از نرم افزار اکسل رسم شدند.

Vt: شاخص بنیه (Seedling vigor index)، Ls: میانگین طول گیاهچه و Gp: درصد جوانه زنی است.

داده های به دست آمده با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱) تجزیه آماری شد. میانگین ها با استفاده از آزمون چنددامنه ای دانکن در سطح یک درصد آماری

نتایج و بحث

خلاصه جدول تجزیه واریانس صفات اندازه-

گیری شده در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- خلاصه تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده

میانگین مربعات										منابع تغییرات
شاخص	شاخص	شاخص	وزن	طول گیاه-	طول	طول	سرعت	درصد	درجه	
تحميل	تحميل	بنیه	خشک	چه	ریشه چه	ساقه چه	جوانه زنی	جوانه زنی	آزادی	
ریشه چه	ساقه چه		گیاه چه							
۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۴/۰ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۴/۷ ^{ns}	۰/۸ ^{ns}	۱/۶ ^{ns}	۱۳/۲ ^{ns}	۳/۶ ^{ns}	۲	تکرار
۰/۲۳***	۰/۲۸***	۱۰۵/۵***	۰/۰۰۳***	۶۵/۶***	۱۳/۶***	۱۹/۴***	۲۶۶/۲***	۶۸۵/۴***	۴	عامل شوری آب
۰/۰۴***	۰/۰۲***	۱۷/۵***	۰/۰۰۲***	۱۵/۳***	۲/۰***	۶/۳***	۲۳/۶***	۷۲/۰***	۱	عامل رقم
۰/۰۱***	۰/۰۰۳***	۱/۱***	۰/۰۰۱ ^{ns}	۱/۱***	۰/۱***	۰/۶***	۲/۷***	۱۷/۷***	۴	اثر متقابل رقم و شوری آب
۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۹	۰/۰۰۱	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۱	۰/۷	۱۸	اشتباه

علامت *** به معنی تفاوت آماری معنی دار در سطح یک درصد آماری است.

علامت ns به معنی عدم وجود تفاوت آماری معنی دار در سطح یک درصد آماری است.

خشک گیاهچه، تنها اثر رقم و اثر شوری آب معنی دار بود. اثر متقابل تنش شوری و رقم بر صفات اندازه گیری شده در جدول ۳ آورده شده است.

اثر تنش شوری آب، اثر رقم و اثر متقابل تنش شوری آب و رقم بر صفات درصد و سرعت جوانه زنی، طول ساقه چه، ریشه چه و گیاهچه و شاخص های بنیه، تحمل ساقه چه و تحمل ریشه چه معنی دار بود. در مورد صفت وزن

جدول ۳- اثر متقابل شوری آب (ds/m) و رقم بر صفات اندازه گیری شده

تیمار	درصد	سرعت جوانه زنی	طول ساقه چه	طول	طول	شاخص	شاخص تحمل	شاخص تحمل
جوانه زنی	(Seed/day)	(cm)	ریشه چه	گیاهچه	بنیه	ساقه چه	ریشه چه	ریشه چه
			(cm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	(%)
شوری (۰) رقم تیتیکا	۱۰۰ ^a	۲۷/۱ ^a	۹/۴ ^a	۷/۰ ^a	۱۶/۵ ^a	۱۶/۵ ^a	۱۰۰ ^a	۱۰۰ ^a
شوری (۰) رقم ردکاردینا	۱۰۰ ^a	۲۶/۷ ^a	۹/۱ ^{ab}	۶/۹ ^a	۱۶/۱ ^{ab}	۱۶/۱ ^{ab}	۱۰۰ ^a	۱۰۰ ^a
شوری (۵) رقم تیتیکا	۹۸/۵ ^{ab}	۲۶/۱ ^{ab}	۸/۷ ^{bc}	۶/۹ ^a	۱۵/۷ ^{bc}	۱۵/۴ ^b	۹۳ ^{ab}	۸۹ ^b
شوری (۵) رقم ردکاردینا	۹۷/۴ ^b	۲۵/۲ ^b	۸/۴ ^{cd}	۶/۵ ^b	۱۵/۰ ^{cd}	۱۴/۵ ^c	۸۸ ^{bc}	۸۷ ^b
شوری (۱۰) رقم تیتیکا	۹۵/۰ ^c	۲۴/۰ ^c	۸/۱ ^e	۶/۱ ^c	۱۴/۳ ^d	۱۳/۴ ^d	۸۲ ^c	۸۲ ^{bc}
شوری (۱۰) رقم ردکاردینا	۹۳/۳ ^c	۲۲/۹ ^d	۷/۳ ^e	۵/۵ ^d	۱۲/۸ ^e	۱۱/۸ ^e	۷۴ ^d	۷۵ ^{cd}
شوری (۱۵) رقم تیتیکا	۸۵/۶ ^d	۱۷/۵ ^e	۶/۸ ^e	۴/۷ ^e	۱۱/۶ ^f	۹/۹ ^f	۶۳ ^e	۶۹ ^d
شوری (۱۵) رقم ردکاردینا	۸۱/۶ ^e	۱۴/۶ ^f	۵/۱ ^g	۴/۳ ^f	۹/۴ ^g	۷/۶ ^g	۵۸ ^{ef}	۵۳ ^e
شوری (۲۰) رقم تیتیکا	۷۹/۰ ^f	۱۳/۳ ^g	۵/۷ ^f	۳/۹ ^g	۹/۶ ^g	۷/۶ ^g	۵۲ ^f	۵۸ ^e
شوری (۲۰) رقم ردکاردینا	۷۰/۳ ^g	۹/۷ ^h	۴/۳ ^h	۲/۹ ^h	۷/۲ ^h	۵/۱ ^h	۴۰ ^g	۴۳ ^f

اعدادی که حروف انگلیسی مشابه دارند، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن، تفاوت آماری معنی دار در سطح یک درصد آماری ندارند

درصد و سرعت جوانه زنی

۲). در این خصوص بیشترین درصد جوانه زنی به میزان ۱۰۰ درصد از تیمار بدون تنش شوری آب و هر دو رقم تیتیکا و ردکاردینا به دست آمد. کمترین درصد جوانه زنی

اثر شوری آب و رقم و اثر متقابل آن ها بر صفات درصد و سرعت جوانه زنی بذر کینوا معنی دار بود (جدول

بذر نیز از تیمار تنش شوری آب ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و رقم ردکاردینا به میزان ۷۰/۳ درصد به‌دست آمد (جدول ۳). درصد جوانه‌زنی بذور رقم‌های تیتیکاکا و ردکاردینا در تنش شوری آب ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به تیمار شاهد (بدون تنش شوری)، ۲۱ و ۲۹/۷ درصد کاهش جوانه‌زنی نشان دادند که موید حساسیت بیشتر رقم ردکاردینا به تنش شوری آب نسبت به رقم تیتیکاکا در مرحله جوانه‌زنی بود.

بیشترین سرعت جوانه‌زنی به میزان ۲۷/۱ و ۲۶/۷ بذر جوانه‌زده در روز از تیمار بدون تنش شوری آب و ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا به‌دست آمد. کمترین سرعت جوانه‌زنی بذر نیز از تیمار تنش شوری آب ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و رقم ردکاردینا به میزان ۹/۷ بذر بر روز به‌دست آمد (جدول ۳). در کلیه سطوح شوری آب (به‌جز سطح صفر)، سرعت جوانه‌زنی بذور رقم ردکاردینا کمتر از رقم تیتیکاکا بود. سرعت جوانه‌زنی بذور رقم‌های تیتیکاکا و ردکاردینا در تنش شوری آب ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به تیمار شاهد (بدون تنش شوری آب)، به ترتیب ۵۰/۹ و ۶۳/۶ درصد کاهش داشت که موید حساسیت بیشتر رقم ردکاردینا به تنش شوری آب بود.

جوانه‌زنی پدیده‌ای پیچیده مشتمل بر تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بوده که حاصل فعال شدن جنین گیاه است. شوری آب به عنوان یک تنش غیرزنده بسیاری ناملازمات را برای بذر در دوره جوانه‌زنی ایجاد می‌کند. شوری آب، با کاهش پتانسیل اسمزی محیط نخست موجب کاهش جذب آب توسط بذر شده و در مرحله بعد، سمیت و تغییرات فعالیت‌های آنزیمی را به دنبال دارد (مونز، ۲۰۰۵).

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با نتایج سایر پژوهشگران منطبق بود. طی یک پژوهش، اثر تنش شوری آب بر درصد جوانه‌زنی بذر کینوا رقم تیتیکاکا نشان داد که بیشترین میزان درصد جوانه‌زنی مربوط به تیمار شاهد با ۱۰۰ درصد و کمترین درصد جوانه‌زنی به میزان ۹۰ درصد مربوط به تیمار شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بود (جمالی

و شریفان، ۲۰۱۸). در پژوهش حاضر نیز بیشترین درصد جوانه‌زنی به میزان ۱۰۰ درصد از تیمار بدون تنش شوری آب و هر دو رقم تیتیکاکا و ردکاردینا به‌دست آمد. کمترین درصد جوانه‌زنی بذر نیز از تیمار تنش شوری آب ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و رقم ردکاردینا به میزان ۷۰/۳ درصد به‌دست آمد نتایج یک پژوهش در خصوص اثر تنش شوری آب بر سرعت جوانه‌زنی بذر کینوا نشان داد که بیشترین کمترین سرعت جوانه‌زنی بذر کینوا به میزان ۲۷ و ۲۲ بذر در روز مربوط به تیمار شاهد بدون محدودیت شوری آب و تیمار شوری آب ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بوده است (جمالی و شریفان، ۲۰۱۸). در پژوهش حاضر نیز بیشترین سرعت جوانه‌زنی به میزان ۲۷/۱ و ۲۶/۷ از تیمار بدون تنش شوری آب و ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا به‌دست آمد. کمترین سرعت جوانه‌زنی بذر نیز از تیمار تنش شوری آب ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و رقم ردکاردینا به میزان ۹/۷ بذر بر روز به‌دست آمد (جدول ۲). طی پژوهش دیگری نشان داده شد که درصد جوانه‌زنی با افزایش تنش شوری آب کاهش می‌یابد (هارپادی و همکاران، ۲۰۱۱). اثرات بازدارندگی کلرید سدیم بر روی جوانه‌زنی بذر می‌تواند به دلیل تأثیر مستقیم آن بر روی رشد جنین باشد، همچنین پژوهشگران دریافتند که طولیل شدن محور جنینی شدیداً به‌واسطه‌ی سطح بالای کلرید سدیم موجود در محلول آبیاری بازداشته می‌شود (جمالی و شریفان، ۲۰۱۸). شریفی و همکاران، ۱۳۸۹). از طرف دیگر، کلرید سدیم به دلیل اثر بازدارندگی در جذب آب به‌وسیله‌ی بذر، تعداد بذور جوانه‌زده را تحت تأثیر قرار می‌دهد (جمالی و شریفان، ۲۰۱۸).

نتایج مشابهی در مورد سایر گیاهان نیز به‌دست آمده است (شهید و همکاران، ۲۰۱۰). پژوهشگران دریافتند که اثر بازدارندگی کلرید سدیم بر جوانه‌زنی بذر به جذب یون‌های کلر و سدیم توسط هیپوکوتیل بستگی دارد (تورهان و آياز، ۲۰۰۴). در مطالعه انجام شده به‌منظور بررسی اثر آب خالص به عنوان شاهد و شوری با نمک‌های مختلف به صورت مجزا بر جوانه‌زنی کینوا، نتایج نشان داد که درصد و سرعت جوانه‌زنی در اثر تنش شوری آب

بین سطوح مختلف شوری آب و درصد جوانه‌زنی ارقام تیتیکا و ردکاردینا همبستگی معنی‌دار با ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۹۹ وجود داشت (شکل ۱) که معادله رگرسیونی آن از معادله درجه دو پیروی می‌کرد (روابط ۶ و ۷). همچنین بین سطوح مختلف شوری آب و سرعت جوانه‌زنی ارقام تیتیکا و ردکاردینا همبستگی معنی‌دار با ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۹۷ وجود داشت (شکل ۲) که معادله رگرسیونی آن از معادله درجه دو پیروی می‌کرد (روابط ۸ و ۹).

کاهش یافته است (پونسو و همکاران، ۲۰۱۴) که با نتایج این آزمایش هم‌خوانی داشت. مختل شدن آنزیم‌های مؤثر در متابولیسم به دلیل اتصال یون‌ها به ساختمان مولکولی آن‌ها عامل اصلی این کاهش می‌باشد (یزدانی بیوکی و همکاران، ۲۰۱۰).

در شرایط تنش، جذب آب توسط بذر دچار اختلال شده و یا جذب به‌کندی صورت می‌گیرد. در چنین حالتی فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به آرامی انجام می‌شود و در نتیجه مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی افزایش می‌یابد (دی و کار، ۱۹۹۵).

$$Y = -0.0471X^2 - 0.155X + 100.3$$

$$n = 5, P < 0.05$$

رابطه ۶ (رگرسیون شوری آب با درصد جوانه‌زنی رقم تیتیکا)

$$Y = -0.072X^2 - 0.0536X + 99.9$$

$$n = 5, P < 0.01$$

رابطه ۷ (رگرسیون شوری آب با درصد جوانه‌زنی رقم ردکاردینا)

$$Y = -0.0308X^2 - 0.111X + 27.38$$

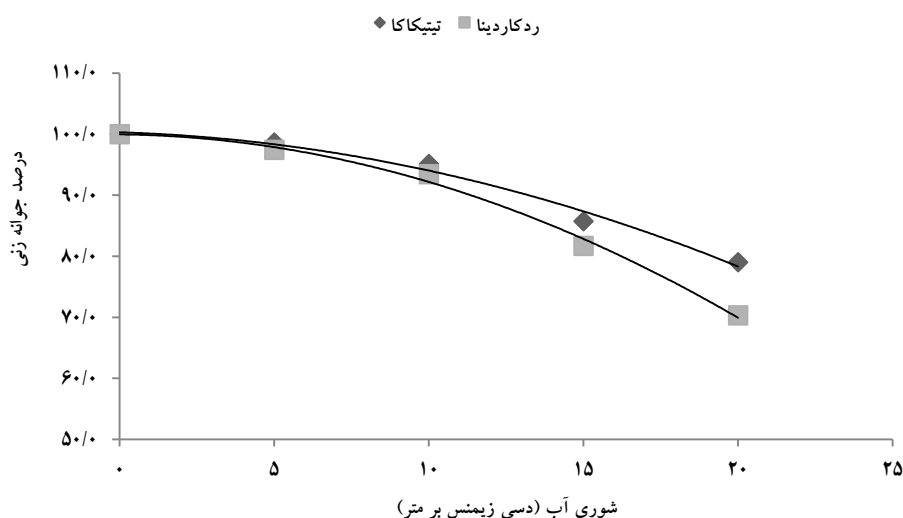
$$n = 5, P < 0.05$$

رابطه ۸ (رگرسیون شوری آب با سرعت جوانه‌زنی رقم تیتیکا)

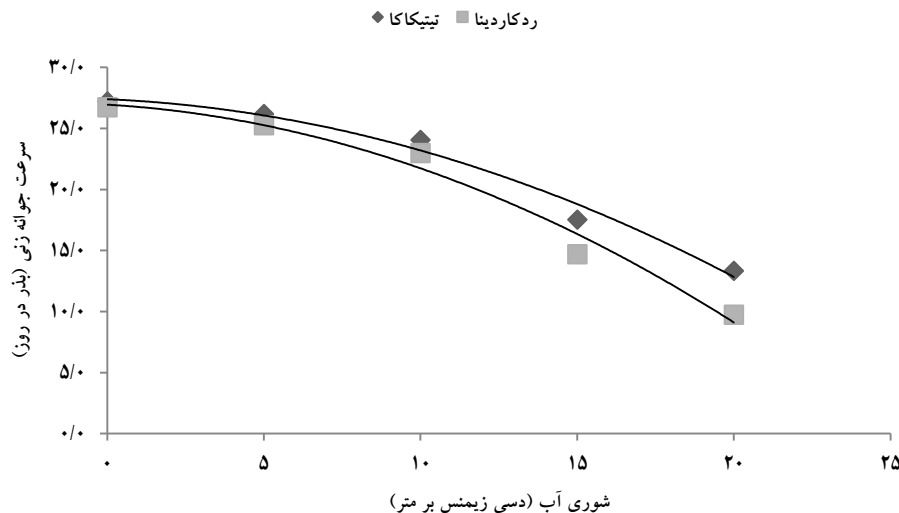
$$Y = -0.037X^2 - 0.151X + 26.94$$

$$n = 5, P < 0.05$$

رابطه ۹ (رگرسیون شوری آب با سرعت جوانه‌زنی رقم ردکاردینا)



شکل ۱- همبستگی شوری آب با درصد جوانه‌زنی ارقام تیتیکا و ردکاردینا



شکل ۲- همبستگی شوری آب با سرعت جوانه‌زنی ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا

طول ساقه‌چه و ریشه‌چه

اثر شوری آب و رقم و اثر متقابل آن‌ها بر صفات طول ساقه‌چه و ریشه‌چه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین طول ساقه‌چه ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا در سطح شوری صفر به ترتیب ۹/۴ و ۹/۱ میلی‌متر بود. شوری آب تأثیر منفی بر طول ساقه‌چه داشت، به گونه‌ای که در شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر، طول ساقه‌چه رقم‌های تیتیکاکا و ردکاردینا به ترتیب به ۵/۷ و ۴/۲ میلی‌متر رسید که نسبت به تیمار شاهد (بدون محدودیت شوری آب)، به ترتیب ۳۹/۶ و ۵۳/۸ درصد کاهش داشت. در سطوح شوری آب ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس، طول ساقه‌چه رقم ردکاردینا کمتر از طول ساقه‌چه رقم تیتیکاکا بود که موید حساسیت بیشتر این رقم به شوری بود (جدول ۳). همچنین، بیشترین طول ریشه‌چه ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا در سطح شوری آب صفر به ترتیب ۷/۰ و ۶/۹ میلی‌متر بود. شوری آب تأثیر منفی بر ریشه‌چه داشت. در شوری آب ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر، طول ریشه‌چه رقم‌های تیتیکاکا و ردکاردینا به ترتیب به ۳/۹ و ۲/۹ میلی‌متر کاهش یافت که نسبت به تیمار شاهد (بدون محدودیت شوری آب)، به ترتیب ۴۴/۲ و ۵۷/۹ درصد کاهش داشتند. نتایج نشان داد که در سطوح شوری آب ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر، طول ریشه‌چه رقم

ردکاردینا کمتر از طول ریشه‌چه رقم تیتیکاکا بود که موید حساسیت بیشتر این رقم به شوری آب بود (جدول ۳). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که طول ساقه‌چه و ریشه‌چه کینوا با تنش شوری آب کاهش می‌یابد. طی یک پژوهش، بیشترین طول ساقه‌چه از تیمار شاهد بدون محدودیت شوری آب به میزان ۷/۹۶ سانتی‌متر حاصل شد و با افزایش سطوح شوری آب کاهش یافت. همچنین بیشترین طول ریشه‌چه از تیمار بدون محدودیت شوری آب و کم‌ترین طول ریشه‌چه به میزان ۲/۹ سانتی‌متر از تیمار شوری آب ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد (جمیل و شریفان، ۲۰۱۸). نتایج پژوهش‌های سایر پژوهشگران نیز بر کاهش طول ساقه‌چه با تنش شوری دلالت دارد (کویرو و ایسا، ۲۰۰۸). در پژوهش حاضر نیز بیشترین طول ساقه‌چه ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا در سطح شوری آب صفر به ترتیب ۹/۴ و ۹/۱ میلی‌متر بود. در شوری آب ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر، طول ساقه‌چه رقم‌های تیتیکاکا و ردکاردینا به ترتیب به ۵/۷ و ۴/۲ میلی‌متر رسید که نسبت به تیمار شاهد (بدون محدودیت شوری آب)، به ترتیب ۳۹/۶ و ۵۳/۸ درصد کاهش داشت. بیشترین طول ریشه‌چه ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا در سطح شوری آب صفر به ترتیب ۷/۰ و ۶/۹ میلی‌متر بود. شوری آب تأثیر منفی بر ریشه‌چه

داشت. در شوری آب ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر، طول ریشه-چه رقم‌های تیتیکاکا و ردکاردینا به ترتیب به ۳/۹ و ۲/۹ میلی‌متر کاهش یافت. پژوهشگران دریافتند که تحت تنش شوری، عملکرد هورمون سیتوکینین در ریشه‌چه متوقف می‌شود و موجب کاهش طول ریشه می‌گردد، بنابراین طول ریشه‌چه معیار مناسبی برای اندازه‌گیری تحمل به تنش شوری در گیاهان مختلف است (نور و همکاران، ۲۰۰۴). نتایج یک پژوهش دیگر در خصوص استفاده از آب دریا با نسبت‌های حجمی ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد بر جوانه‌زنی و مرحله رشد نشایی کینوا نشان داد که شاخص‌های رشد مثل طول ریشه و ساقه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه و محتوای نسبی آب برگ با شوری کاهش معنی‌دار نشان می‌دهند (پونسو و همکاران، ۲۰۱۴).

علت کاهش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه به دلیل جلوگیری از انتقال مواد غذایی از لپه‌ها به جنین ذکر شده است. علاوه بر این با افزایش شوری محلول، جذب آب توسط بذر دچار اختلال شده، ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها کمتر شده در نتیجه رشد گیاه‌چه (اعم از ریشه‌چه

و ساقه‌چه) دچار نقصان می‌شود. پژوهش‌های نسبتاً زیادی که بر روی گیاهان زراعی مختلف انجام شده بیانگر این واقعیت است که با افزایش شوری طول ساقه‌چه و ریشه‌چه به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد کاهش می‌یابد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۱).

بین سطوح مختلف شوری آب و طول ساقه‌چه ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا همبستگی معنی‌دار با ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۷ وجود داشت (شکل ۳) که معادله رگرسیونی آن از معادله درجه دو پیروی می‌کرد. در این روابط طول ساقه‌چه به عنوان متغیر وابسته (Y) و سطوح مختلف شوری آب به عنوان متغیر مستقل (X) در نظر گرفته شد (روابط ۸ و ۹). هم‌چنین بین سطوح مختلف شوری آب و طول ریشه‌چه ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا همبستگی معنی‌دار با ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۹۹ وجود داشت (شکل ۲) که معادله رگرسیونی آن از معادله درجه دو پیروی می‌کرد. در این روابط طول ریشه‌چه به عنوان متغیر وابسته (Y) و سطوح مختلف شوری به عنوان متغیر مستقل (X) در نظر گرفته شد (روابط ۱۰ و ۱۱).

$$Y = -0.00431X^2 - 0.1009X + 9.44$$

$$n = 5, P < 0.01$$

$$Y = -0.0042X^2 - 0.178X + 9.28$$

$$n = 5, P < 0.05$$

$$Y = -0.0058X^2 - 0.053X + 7.18$$

$$n = 5, P < 0.05$$

$$Y = -0.0056X^2 - 0.093X + 7.03$$

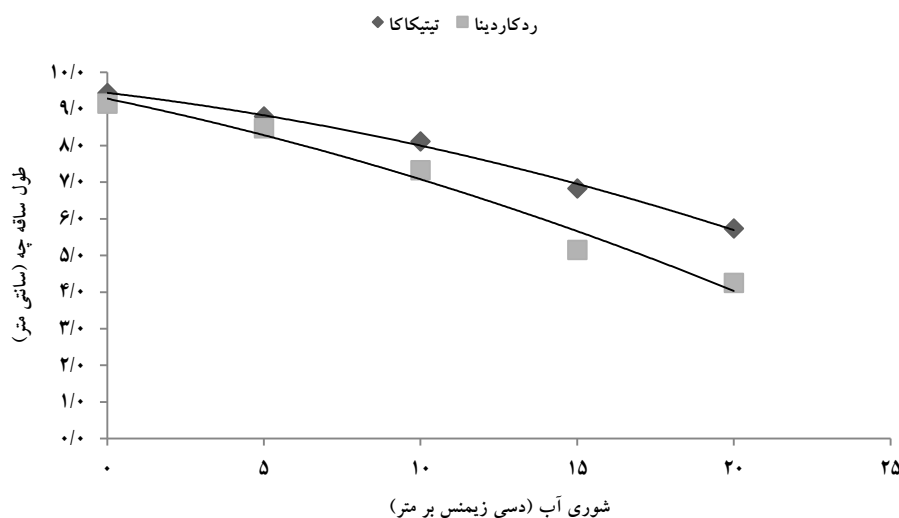
$$n = 5, P < 0.01$$

رابطه ۸ (رگرسیون شوری آب با طول ساقه‌چه رقم تیتیکاکا)

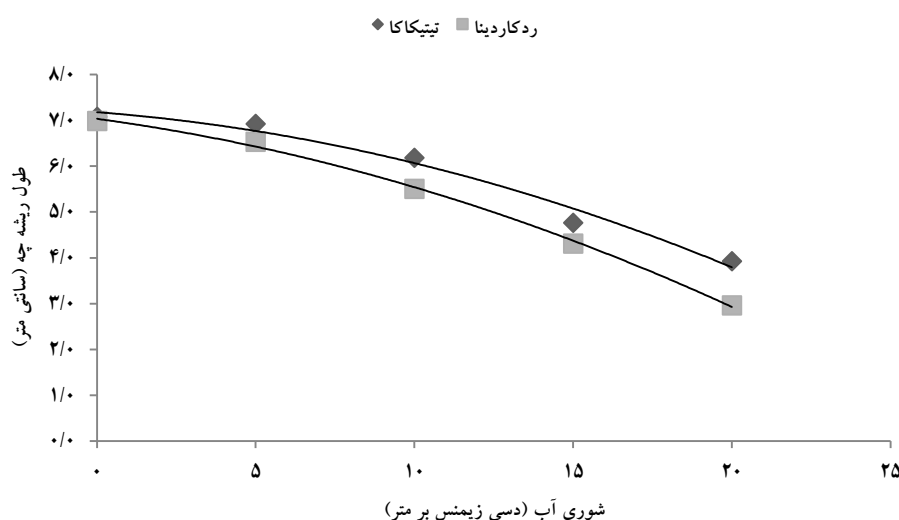
رابطه ۹ (رگرسیون شوری آب با طول ساقه‌چه رقم ردکاردینا)

رابطه ۱۰ (رگرسیون شوری آب با طول ریشه‌چه رقم تیتیکاکا)

رابطه ۱۱ (رگرسیون شوری آب با طول ریشه‌چه رقم ردکاردینا)



شکل ۳- همبستگی شوری آب با طول ساقه‌چه دو رقم کینوا



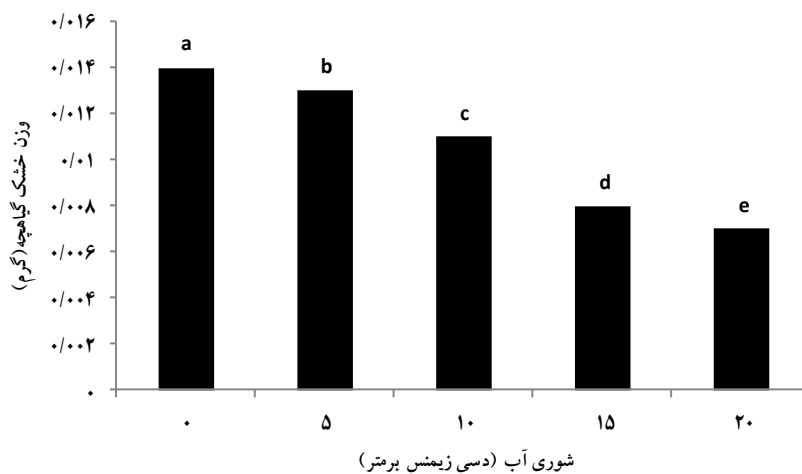
شکل ۴- همبستگی شوری آب با طول ریشه‌چه ارقام کینوا

وزن خشک گیاهچه

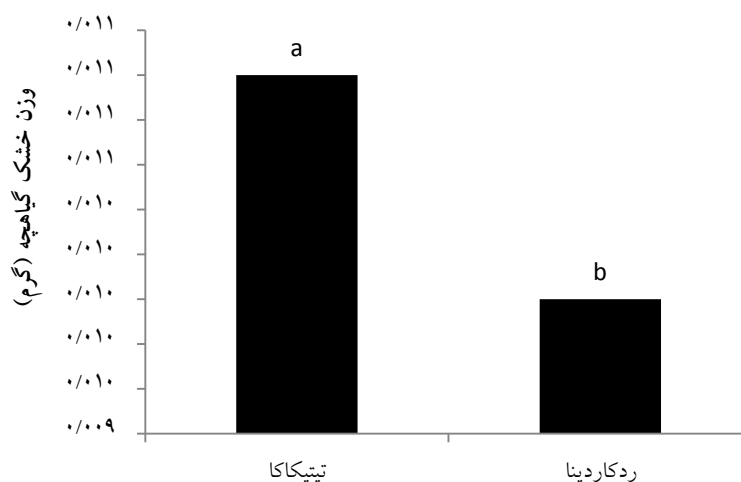
اثر شوری آب بر وزن خشک گیاهچه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که تنش شوری آب موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک گیاهچه می‌گردد. بیشترین وزن خشک گیاهچه از تیمار بدون تنش شوری آب به دست آمد. در این تیمار میانگین وزن خشک گیاهچه ۱۴ میلی گرم بود که در تنش شوری آب ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر به هفت میلی گرم رسید که موید ۵۰ درصد کاهش وزن خشک گیاهچه بود (شکل ۵). اثر رقم نیز بر وزن خشک گیاهچه معنی‌دار بود. میانگین وزن خشک گیاهچه در رقم تیتیکاکا و

ردکاردینا به ترتیب ۱۱ و ۱۰ میلی گرم بود که تفاوت آماری معنی‌دار با هم داشتند (شکل ۶). نتایج پژوهش حاضر با نتایج به دست آمده توسط سایر پژوهشگران مطابقت داشت (چاکوبسن و همکاران، ۲۰۰۳). نتایج یک پژوهش نشان داد که وزن تر و خشک گیاهچه کینوا با افزایش سطوح مختلف شوری کاهش یافت (جمیل و شریفان، ۲۰۱۸). کاهش وزن خشک گیاهچه در اثر شوری آب به دلیل کاهش رشد ریشه در نتیجه کاهش سیتوکینین (نور و همکاران، ۲۰۰۱) و کاهش جذب آب و مختل شدن فرایندهای متابولیک و تقسیم سلولی نسبت داده

می‌شود (دی و کار، ۱۹۹۵). همچنین، تفاوت در ژرم پلاس-م-های مختلف کینوا نسبت به شوری نیز توسط سایر پژوهشگران گزارش شده است (رویتز و همکاران، ۲۰۱۶؛ لانگ، ۲۰۱۶).



شکل ۵- اثر شوری بر وزن خشک گیاه چه کینوا



شکل ۶- اثر رقم بر وزن خشک گیاه چه کینوا

روابط طول ساقه چه به عنوان متغیر وابسته (Y) و سطوح مختلف شوری به عنوان متغیر مستقل (X) در نظر گرفته شد (روابط ۱۲ و ۱۳).

$$Y = 3E - 06X^2 - 0.0004X + 0.0148$$

$$n = 5, P < 0.01$$

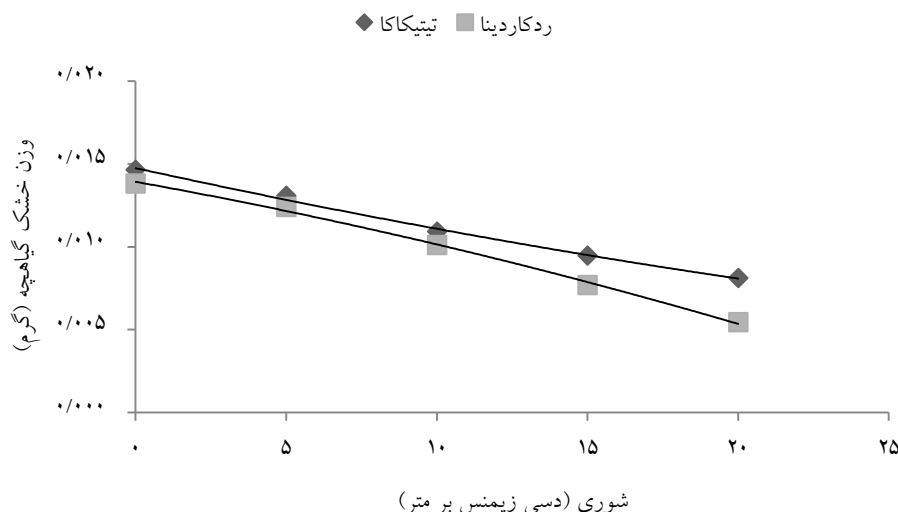
$$Y = -5E - 06X^2 - 0.0003X + 0.0139$$

$$n = 5, P < 0.01$$

بین سطوح مختلف شوری آب و وزن خشک گیاه چه ارقام تیتیکاکا و ردکاردینا همبستگی معنی دار با ضریب تبیین ۰/۹۹ وجود داشت (شکل ۷) که معادله رگرسیونی آن از معادله درجه دو پیروی می‌کرد. در این

رابطه ۱۲ (رگرسیون شوری آب با وزن خشک گیاه چه رقم تیتیکاکا)

رابطه ۱۳ (رگرسیون شوری آب با وزن خشک گیاه چه رقم ردکاردینا)



شکل ۷- همبستگی شوری آب با وزن خشک گیاه چه ارقام کینوا

شاخص بنیه

اثر شوری آب و رقم و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص بنیه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که تنش شوری آب موجب کاهش معنی‌دار شاخص بنیه می‌گردد (جدول ۳). بیشترین شاخص بنیه ارقام کینوا در سطح صفر شوری آب به دست آمد. در این سطح شوری آب شاخص بنیه ارقام تیتیکا و ردکاردینا به ترتیب ۱۶/۵ و ۱۶/۱ بود. با افزایش سطح شوری آب، شاخص بنیه کاهش نشان داد، به گونه‌ای که کمترین شاخص بنیه ارقام تیتیکا و ردکاردینا به ترتیب به مقدار ۷/۶ و ۵/۱ از سطح شوری آب ۲۰ دسی-زیمنس بر متر به دست آمد. در این سطح شوری آب، شاخص بنیه ارقام تیتیکا و ردکاردینا نسبت به تیمار شاهد (بدون تنش شوری) به ترتیب ۵۳/۹ و ۶۸/۳ درصد کاهش داشت که نشان دهنده تحمل بیشتر رقم تیتیکا در مقایسه با رقم ردکاردینا به شوری بود (جدول ۲). نتایج پژوهش حاضر با نتایج به دست آمده توسط سایر جمالی و شریفان (۲۰۱۸) مطابقت داشت. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص بنیه گیاهچه کینوا در اثر تنش شوری آب کاهش می‌یابد.

شاخص تحمل به شوری ساقه‌چه و ریشه‌چه

اثر شوری آب و رقم و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص تحمل به شوری آب ساقه‌چه معنی‌دار بود (جدول ۱).

شاخص تحمل به شوری آب ساقه‌چه در ارقام مورد مطالعه با افزایش شوری آب کاهش یافت. کمترین شاخص به شوری آب تحمل ساقه‌چه ارقام کینوا در شوری ۲۰ دسی-زیمنس به دست آمد که برای رقم‌های تیتیکا و ردکاردینا به ترتیب ۵۲ و ۴۰ درصد بود که با سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌دار داشت (جدول ۳). نتایج این شاخص نشان داد که ارقام تیتیکا و ردکاردینا در شرایط تنش شوری ۲۰ دسی-زیمنس بر متر، تنها ۵۲ و ۴۰ درصد وزن خشک ساقه‌چه را در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری آب تولید کرده‌اند. همچنین این نتیجه بر حساسیت بیشتر رقم ردکاردینا در مقایسه با رقم تیتیکا به شوری آب شوری دلالت دارد.

اثر تنش شوری آب، اثر رقم و اثر متقابل تنش شوری آب و رقم بر شاخص تحمل به شوری آب ریشه‌چه نیز معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که شاخص تحمل به شوری آب ریشه‌چه در ارقام مورد مطالعه با افزایش شوری آب کاهش می‌یابد. کمترین شاخص تحمل به شوری آب ریشه‌چه ارقام کینوا در شوری آب ۲۰ دسی-زیمنس به دست آمد که برای رقم‌های تیتیکا و ردکاردینا به ترتیب ۵۸ و ۴۳ درصد بود که با سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌دار داشت (جدول ۳). نتایج این شاخص نشان داد که ارقام تیتیکا و ردکاردینا در شرایط تنش شوری آب

تیتیکاکا تنها ۴/۹ درصد کاهش یافت؛ بنابراین چنین نتیجه-گیری می‌شود که رقم تیتیکاکا برای کشت در مناطق شور از مزیت بیشتری برخوردار است.

تشکر و قدردانی

این پژوهش بر اساس پروژه تحقیقاتی "امکان‌سنجی کشت نشایی کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) در شرایط خاک و آب شور" با شماره ۹۷۰۱۴۶-۹۵۵۱-۰۲۵-۱۰-۴۱-۱۲ اجرا شد که بدین وسیله از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (www.areeo.ir)، موسسه تحقیقات خاک و آب (www.swri.ir) و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران (www.tehran.areeo.ac.ir) تشکر می‌گردد. هم‌چنین از آقای دکتر موسی‌الرضا وفایی-تبار، عضو محترم هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران که در تحلیل نتایج رگرسیون‌ها کمک شایانی نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد."

۲۰ دسی‌زیمنس بر متر، تنها ۵۸ و ۴۳ درصد وزن خشک ریشه‌چه را در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری آب تولید کرده‌اند. هم‌چنین این نتیجه بر حساسیت بیشتر رقم ردکاردینا در مقایسه با رقم تیتیکاکا به تنش شوری آب دلالت داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنش شوری آب موجب کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن خشک گیاه چه کینوا می‌شود. کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن خشک گیاه چه با سطوح مختلف شوری آب همبستگی معنی‌دار داشت و از معادله درجه دوم پیروی می‌کرد. در خصوص صفات یاد شده رقم ردکاردینا حساسیت بیشتری در مقایسه با رقم تیتیکاکا نسبت به تنش شوری آب داشت. با در نظر گرفتن هدایت الکتریکی عصاره اشباع آب خاک معادل ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر که شوری نسبتاً بالایی است، درصد جوانه‌زنی کینوا رقم

فهرست منابع

۱. انصاری اردلی، ی.، نبی پور، م.، روشنفکر، ح. و باقری، م. ۱۴۰۰. ارزیابی ارقام کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild) در شرایط شور به کمک شاخص‌های جوانه‌زنی در محیط کنترل شده. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی، جلد ۱۴، شماره ۲، صفحات ۴۷۵-۴۸۵.
۲. باقری، م.، عنافجه، ز.، طاهریان، م.، امامی، ع.، مولائی، ع. و کشاورز، س. ۱۳۹۹. ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های منتخب کینوا در نظام‌های کشت بهاره در مناطق سرد و معتدل، مجله علوم زراعی ایران. جلد ۲۲، شماره ۴، صفحات ۳۷۶-۳۸۷.
۳. جمالی، س. و شریفان، ح. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا (*Cv. Titicaca*). نشریه پژوهش‌های حفاظت از آب و خاک. جلد ۲۵، شماره ۲، صفحات ۲۵۱-۲۶۶.
۴. رحیمی، ز. و کافی، م. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری بر ویژگی‌های جوانه‌زنی خرفه (*Portulaca oleracea* L). مجله تحقیقات محصولات زراعی ایران. جلد ۸، شماره ۴، صفحات ۶۱۵-۶۲۱.
۵. سلطانی، ع.، گالشی، س.، زینلی، ا. و لطیفی، ن. ۱۳۸۰. اثر ذخیره بذر بر جوانه‌زنی و رشد نخود تحت تأثیر شوری و اندازه بذر. علوم و تکنولوژی بذر. شماره ۲، صفحات ۵۱-۶۰.

۶. شهیدی، ر.، کامکار، ب.، لطیفی، ن. و گالشی، س. ۱۳۹۸. تاثیر سطوح و دوره‌های متفاوت اعمال تنش شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه جو بدون پوشینه (*Hordeum vulgare* L.). مجله تولید گیاهان زراعی، دوره ۳، شماره ۲، صفحات ۴۹-۶۳

7. Adolf, V. I., Jacobsen, S. E., and Shabala, S. 2013. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*. 92:43-54.
8. Akbari Moghaddam, H., Galavi, M., Ghanbari, A. and Panjehkeh, N. 2011. Salinity effects on seed germination and seedling growth of bread wheat cultivars. *Trakia Journal of Sciences*. 9: 43-50.
9. Barrett- Lennard, E. G. 2003. The interaction between waterlogging and salinity in higher plants: Causes, consequences and implications. *Plant and Soil*. 253: 35-54.
10. Finch-Savage, W.E., Dent, K.C. and Clark, L.J. 2004. Soak conditions and temperature following sowing in fluece the response of maize (*Zea mays* L.) seeds to on-farm priming (Pre-Sowing Seed Soak). *Field Crops Research*. 90: 361- 374.
11. Ghoulam, C. and Fares, K. 2001. Effect of salinity on seed germination and early seedling growth of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) *Seed Scince. and Technolog*. 29: 357-364.
12. Hag ghani, M., Saffari, M. and Magsoudi-Moud, A.A. 2008. Effect of different levels of Nacl salinity on germination and Seedling growth of safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agriculture Science*. 45: 449- 458.
13. Hariadi Y, Marandon K, Tian Y, Jacobsen S. E. and Shabala. S. 2011. Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. *Journal of Experiental Botany*. 62: 185-193.
14. Jacobsen S. E., Mujica. A and Jensen. C. R. 2003. Resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse, abiotic factors. *Journal of Experience Botany*. 54: 21-21.
15. Jacobsen, S. E., Liu, F and Jensen C. R. 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Horticulturae*, 122(2), 281-287.
16. Jacobsen, S. E., A. Mujica, and Jensen C. 2003. The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Reviews International* 19 (1-2):99-109.
17. Jacobsen, S. E., Quispe, H and Mujica, A. 2001. Quinoa: an alternative crop for saline soils in the Andes. Scientist and Farmer-Partners in Research for the 21st Century. CIP Program Report, 2000, 403-408.
18. Koyro, H. W., Lieth, H and S. Eisa S. 2008. Salt tolerance of chenopodium quinoa willd. Grains of the Andes: Influence of salinity on biomass production, yield, and composition of reserves in the seeds, water and solute relations. *Tasks for Vegetation Sciences*, 43, 133-145.
19. Koyro, H.W and S. Eisa, S. 2008. Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. *Plant and Soil*. 302: 79-90.
20. Läuchli, A., and S. Grattan. 2007. Plant growth and development under salinity stress. In *Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops*, ed. M. A. Jenks, P. M. Hasegawa and S. M. Jain, 1-32. Netherlands: Springer. EBook ISBN: 978-1-4020-5578-2.
21. Long, N. V. 2016. Effects of salinity stress on growth and yield of quinoa. *Vietnam Journal of Agricultural Sciences* 14(3):321-27.
22. Maleki, P., Bahrami, H.A., Saadat, S., Sharifi, F., Dehghany, F., 2016. Germination of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Salinity Stress. *Quinoa for Future Food and Nutrition Security in Marginal Environments*. ICBA, Dubai.
23. Massai, R., Remorin, D. and Tattini, M. 2004. Gas exchange, water relation and osmotic adjustment in two scion/rootstock combination of prunes under various salinity concentration. *Plant and Soil*. 259: 153- 162.
24. Misra, N. and Dwivedi, U.N. 2004. Genotypic difference in salinity tolerance of greengram cultivars. *Plant Sci*, No, 166. pp: 1135-1142.
25. Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist*, 167(3): 645-663.

26. Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59, 651-681.
27. Noor, E., F. M. Azhar. And, Khan, A. L. 2001. Differences in responses of *Gossypium hirsutum* L. varieties to NaCl salinity at seedling stage. *International Journal of Agriculture and Biology*. 3 (4): 345-347.
28. Panuccio M.R, Jacobsen S.E, Akhtar S.S, and Muscolo A. 2014. Effect of saline water on seed germination and early seedling growth of the halophyte quinoa. *AoB PLANTS* 6: plu047;
29. Panuccio, M. R., Jacobsen, S. E., Akhtar, S. S. and A. Muscolo. 2014. Effect of saline water on seed germination and early seedling growth of the halophyte quinoa. *AoB Plants*. 6, 212-218.
30. Prado, F. E., C. Boero, M. Gallardo, and Gonzalez. J. A. 2000. Effect of NaCl on germination, growth, and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. *Seeds. Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 41: 27-34.
31. Rengasamy, P. 2010. Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. *Functional Plant Biology*, 37: 613-620.
32. Repo-Carrasco, R., Espinoza, C and Jacobsen S. E. 2003. Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International*, 19, 179-189.
33. Ruffino, A. M. C., Rosa, M., Hilal, M., Gonzalez, J. A and Prado F. E. 2010. The role of cotyledon metabolism in the establishment of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seedlings growing under salinity. *Plant and Soil*, 326, 213-224.
34. Ruiz, K., S. Biondi, E. Martínez, F. Orsini, F. Antognoni, and S. E. Jacobsen. 2016. Quinoa—A model crop for understanding salt-tolerance mechanisms in halophytes. *Plant Biosystems—An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology* 150 (2): 357-71.
35. Shabala, S., Hariadi, Y., and Jacobsen S. E. 2013. Genotypic difference in salinity tolerance in quinoa is determined by differential control of xylem Na⁺ loading and stomatal density. *Journal of Plant Physiol.* 1; 170(10): 906-14.
36. Trognitz, B. R. 2003. Prospects of breeding quinoa for tolerance to abiotic stress. *Food Reviews International*. 19: 129-137.
37. Turhan, H., and Ayaz, C. 2004. Effect of salinity on seedling emergence and growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. *International Journal of Agricultural Biological*, 6: 149-152.
38. Wilson C., Read, J.J and Abo-Kassem. E. 2004. Effect of mixed-salt salinity on growth and ion relations of a quinoa and a wheat variety. *Journal of Plant Nutrition*. 25: 2689 – 2704

کاربرد روش سطح پاسخ در بهینه‌یابی نسبت اختلاط خاک با خاک‌اره در تیمارهای رطوبتی مختلف خاک در کشت خیار گلخانه‌ای

یاسر حسینی^۱

دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان- دانشگاه محقق اردبیلی.

y_hoseini@uma.ac.ir

دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۰ و پذیرش: آذر ۱۴۰۰

چکیده

خیار (*Cucumis sativus L*) یکی از مهم‌ترین تولیدات گلخانه‌ای در ایران و جهان محسوب می‌شود. خیار محصول فصل گرم معتدل بوده و به تغییرات رطوبت خاک بسیار حساس است. به منظور مدل‌سازی تأثیر اختلاط خاک با خاک‌اره بر عملکرد خیار گلخانه‌ای در شرایط تیمارهای رطوبتی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل نمونه بدون خاک‌اره (شاهد) و ترکیب ۵٪، ۱۰٪، ۲۰٪ و ۴۰٪ خاک‌اره بود و رژیم‌های رطوبتی در دو سطح ۴۵٪ و ۶۵٪ ظرفیت زراعی و سطح بدون تنش منظور گردید. با استفاده از روش سطح پاسخ، نتایج نشان داد که بهترین مدل عملکرد براساس متغیرهای درصد خاک‌اره و میزان رطوبت، مدل درجه دو با ضریب تبیین ۰/۸۵ است. همچنین تأثیر میزان سطوح رطوبت در دسترس بر عملکرد به صورت خطی بوده و در مقابل تأثیر عامل درصد خاک‌اره بر عملکرد به صورت تابع درجه دو است. نیز، بیش‌ترین عملکرد با فرض کمترین رطوبت در دسترس و کمترین درصد اختلاط خاک‌اره، برابر ۸۶/۶ (تن بر هکتار) با درجه مقبولیت^۲ برابر ۰/۶، در تیمار ۱۳/۷٪ خاک‌اره و ۴۳/۶٪ تخلیه رطوبتی به‌دست آمد. بیش‌ترین عملکرد با فرض کمترین رطوبت در دسترس و تغییر میزان خاک‌اره بین صفر تا ۴۰٪، برابر ۹۳/۶ (تن بر هکتار) با درجه مقبولیت ۰/۸، در تیمار ۲۷/۶٪ خاک‌اره و ۴۷٪ تخلیه رطوبتی به‌دست آمد. نتایج نشان داد که با کاهش رطوبت در دسترس و همچنین در یک رژیم رطوبتی مشخص با افزایش میزان خاک‌اره، شاخص‌های ریشه، به غیر از طول ریشه اصلی، روندی افزایشی داشت. همچنین در هر یک از تیمارهای رطوبتی، روند افزایشی عملکرد با افزایش میزان خاک‌اره مشاهده گردید. بنابراین، با توجه به تأثیر غیرخطی متغیرهای رژیم رطوبتی و میزان اختلاط خاک‌اره بر عملکرد خیار گلخانه‌ای، برای رسیدن به بهترین عملکرد، می‌بایست نسبت مناسب اختلاط آن برای هر خاک تعیین شود.

واژه‌های کلیدی: رژیم رطوبتی خاک، عملکرد خیار، خصوصیات ریخت‌شناسی ریشه

^۱- آدرس نویسنده مسئول: دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان- دانشگاه محقق اردبیلی

مقدمه

خاک یکی از منابع طبیعی تجدیدشونده بسیار مهم و اساسی برای زندگی جانداران و تولید مواد غذایی است. یکی از مهم‌ترین ترکیبات موجود در خاک‌ها، مواد آلی است که وجود مقدار کافی مواد آلی در خاک‌ها، پایداری و حاصلخیزی آن را حفظ خواهد کرد. با توجه به اینکه در سال‌های اخیر با کاهش سطوح آیش و عدم رعایت تناوب، زارعین آسان‌ترین روش برای دفع بقایای گیاهی را همانا سوزاندن بقایای گیاهی می‌دانند و از این رهگذر در بلندمدت لطمات جبران‌ناپذیری به محیط‌زیست و خاک وارد خواهد شد. بقایای باغی می‌تواند به عنوان یک منبع طبیعی برای تأمین بخشی از نیازهای خاک به مواد آلی باشد و تولید در واحد سطح را افزایش داده و سبب افزایش کیفیت محصولات باغی شود. استفاده از بقایای باغی در اصلاح خاک در ایران کمتر مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. خاک‌اره طی رشد گیاه تجزیه می‌شود. ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار آب قابل دسترس در آن کم و نسبت کربن به نیتروژن آن زیاد است؛ اما قیمت ناچیز، وزن اندک، فراوانی و در دسترس بودن آن در کشور مزیت محسوب می‌شود. بنابراین، افزودن مواد نگه‌دارنده آب و مواد غذایی به این قبیل بسترها می‌تواند در کاهش هدرروی محلول غذایی و کاهش هزینه‌های تولید مفید باشد (برزگر و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین استفاده از مدل سطح پاسخ جهت تعیین بهترین توابع پیش‌بینی عملکرد و تعیین نقاط بهینه عملکرد با توجه به محدودیت‌های موجود، کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است. در تحقیقی که توسط احمد و همکاران (۲۰۱۹) انجام شد، بستر کشت‌های مختلف از جمله توف، ترکیب توف و پرلیت، ترکیب توف و پرلیت و خاک اره و همچنین ترکیب توف و خاک اره برای تولید خیار گلخانه‌ای مورد سنجش قرار گرفت. نتایج نشان داد که ترکیب توف و خاک اره هرکدام به نسبت ۵۰ درصد حجمی، رشد بیشتری را سبب می‌شود و از نظر هزینه نیز کمترین هزینه را نسبت به سایر بسترهای کاشت دارد. علاوه

بر این ترکیب توف و پرلیت و خاک اره، کمترین عملکرد را نسبت به سایر بسترهای کاشت داشت. در تحقیقی که توسط آلعی و همکاران (۲۰۰۴) برای بررسی امکان استفاده از خاک اره به عنوان بستر کاشت گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای انجام شد، نتایج نشان داد که خاک اره در سال دوم آزمایش، عملکردی مشابه پودر سنگ دارد و در صورتی که بتوان شرایط بهینه را برای آن فراهم نمود، بستر مناسبی برای تولید محصولات گلخانه‌ای خواهد بود. سلطانی و سلطانی (۲۰۱۶)، ترکیب بهینه میزان آب کاربردی و نیتروژن را برای کشت سیب‌زمینی با استفاده از روش سطح پاسخ مورد مطالعه قرار دادند، طرح مورد استفاده در روش سطح پاسخ، روش مرکب مرکزی بود و آزمایش در دشت دهگلان استان کردستان انجام شد. در این مطالعه میزان عملکرد غده و راندمان مصرف آب به عنوان متغیر پاسخ و مقدار کود نیتروژنه و عمق آبیاری به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند، نتایج افزایش عملکرد را در نتیجه افزایش کود و میزان نیتروژن نشان داد. همچنین با افزایش مقدار آب کاربردی، راندمان مصرف آب کاهش داشت. با استفاده از روش بهینه‌سازی سطح پاسخ، مقدار نیتروژن مصرفی برابر ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار و مقدار عمق آب آبیاری برابر ۲۸۷ میلی‌متر محاسبه گردید. جهان و امیری (۲۰۱۸)، تأثیر میزان کاربرد نیتروژن، فسفر و کود گاو را بر تولید گندم با استفاده از روش سطح پاسخ مورد مطالعه قرار دادند و در روش سطح پاسخ^۳ (RSM) از طراحی مرکب مرکزی^۴ (CCD) در طول فصل رشد استفاده نمودند. مقادیر کاربردی نیتروژن به صورت ۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم اوره بر هکتار بود و سطح مورد استفاده برای کود فسفر ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد و برای کود گاو نیز مقادیر ۰، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار استفاده گردید. عملکرد دانه (Sy) و عملکرد بیولوژیکی (By) در زمان برداشت اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که افزایش میزان نیتروژن و فسفر تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود. بهینه‌سازی نیتروژن و فسفر و مقدار مصرف

کود بر اساس شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی نیز مبتنی بر هر دو عامل انجام گرفت. تحت سناریوی اقتصادی، با استفاده از ۱۴۵/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۸/۴ تن کود گاوی در هکتار، سبب تولید ۶۵۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه شد. برای سناریوی زیست‌محیطی، با استفاده از ۲۱/۲ کیلوگرم در هکتار، بدون استفاده از فسفر و استفاده از ۱۶/۳ تن در هکتار کود، ۳۱۶۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه به دست آمد. نتایج تحقیق نشان داد که روش سطح پاسخ به خوبی می‌تواند تحت عنوان سناریوهای مختلف، نقاط بهینه عملکرد را شناسایی نماید. دیورس و همکاران (۲۰۱۲) بیان نمودند که بقایای باغی در خاک می‌تواند باعث ایجاد حالت بافری در خاک شده و تنش‌های دمایی را در گیاه کاهش دهد و باعث افزایش فعالیت‌های بیولوژی و افزایش عملکرد گیاه شود. اسوندار و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیق خود تأثیر مقادیر مختلف خاک اره را بر میزان عملکرد خیار گلخانه‌ای مورد بررسی قراردادند، نتایج تحقیق ایشان نشان داد که پلات‌های حاوی پنج کیلوگرم خاک اره در مساحت 4×4 متر مربع باعث افزایش معنی‌دار عملکرد در واحد سطح می‌گردد. در تحقیقی که توسط لی و یئزوانگ (۲۰۱۵) انجام شد، تیمارهای حاوی بقایای باغی باعث افزایش محتوای کربن خاک در طی دو سال گردید و افزایش قابل ملاحظه‌ای را از نظر محتوای کربن خاک نشان داد. همچنین مطالعات چندی در رابطه با تأثیر کم آبیاری بر میزان عملکرد خیار گلخانه‌ای صورت گرفته است که اغلب مطالعات صورت گرفته کاهش عملکرد خیار گلخانه‌ای را نسبت به کم‌آبیاری و تنش‌آبی گزارش نموده‌اند.

العمران و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای، تنش رطوبتی را به میزان ۴۰، ۶۰، ۸۰ درصد تبخیر و تعرق مورد نیاز گیاه بر خیار گلخانه‌ای اعمال نمودند. نتایج نشان داد که با افزایش تنش رطوبتی، شوری خاک افزایش می‌یابد و بیش‌ترین نسبت تولید به ازای واحد آب مصرفی، در تیمار ۴۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه به‌دست می‌آید.

همچنین آمر و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که عملکرد خیار گلخانه‌ای با افزایش تنش رطوبتی به صورت خطی کاهش می‌یابد. محمودی اشکفتکی و رفیعی (۲۰۲۰) یک روش ابتکاری برای بهینه‌سازی نیاز آبی گیاه، رشد و پارامترهای عملکرد در کشاورزی با توجه به محدودیت‌های آب و کیفیت آب در دو محیط مختلف کشت انجام دادند. پارامترهای تبخیر و تعرق و رشد بادمجان در پایان فصول رشد در دو سال متوالی اندازه‌گیری شد. شرایط آبیاری مطلوب، یعنی فاصله آبیاری، شوری آب و محیط کشت (سه عامل) با توجه به پارامترهای اندازه‌گیری شده محصول (۱۲ پاسخ) تعیین شد و بهینه‌سازی با مدل‌سازی پارامترها با استفاده از روش سطح پاسخ و تعیین هدف مطلوب براساس یک طرح مرکب مرکزی انجام شد. همچنین از مطلوبیت هدف برای تعیین یک منطقه بهینه با همپوشانی پارامترها استفاده شد. دقت مدل‌های تهیه‌شده برای تخمین عملکرد محصول، تبخیر و تعرق، راندمان استفاده از آب، شوری خاک، وزن خشک اندام هوایی و قطر میوه با ضریب تبیین، ضریب تبیین تنظیم‌شده و ضریب تبیین پیش‌بینی شده، دقیق به‌دست آمد.

نتایج نشان داد که فاصله آبیاری مطلوب، شوری آب و محیط کشت به ترتیب ۴/۵ روز، ۱/۴۷ (دسی زیمنس بر متر) و محیط فضای باز بود که منجر به عملکرد مطلوب محصول (۲۴۹۰/۷ گرم در بوته)، تبخیر و تعرق (۶۰۴/۷۶ میلی‌متر)، راندمان مصرف آب (۳/۳۲ گرم در گرم) و شوری خاک (۵/۲۷ دسی زیمنس بر متر) گردید. دلوی و همکاران (۱۹۹۸)، تولید گوجه با روش‌های آبیاری میکرو را با استفاده از روش سطح پاسخ مورد مطالعه قراردادند و برای ارزیابی اثر سطوح آبیاری از روش سطح پاسخ (RSM) استفاده نمودند. بدین ترتیب اثر سطوح کوددهی و سطوح آبیاری بر عملکرد گوجه‌فرنگی بررسی گردید و بهینه‌سازی برای ارزیابی حداکثر عملکرد و حداقل مقدار آبیاری انجام شد. تفسیر خطوط میزان عملکرد نشان داد که آبیاری قطره‌ای با سطح آبیاری ۷۹ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل و کوددهی به میزان ۹۶ درصد غلظت توصیه شده منجر به

حداکثر عملکرد گوجه‌فرنگی می‌گردد؛ که در این شرایط، صرفه‌جویی آب به میزان ۲۱ درصد و افزایش عملکرد تا ۲۷ درصد به‌دست می‌آید. از آنجا که بقایای باغی می‌تواند به‌عنوان یک منبع طبیعی برای تأمین نیازهای خاک به مواد آلی باشد و علاوه بر آن می‌تواند تولید در واحد سطح را افزایش داده و سبب افزایش کیفیت محصولات باغی شود، لذا به نظر می‌رسد با توجه به تحقیقات کم انجام‌شده در این زمینه، نیاز است در شرایط آب و هوایی ایران و در شرایطی که اکثر خاک‌های ایران متأثر از کمبود مواد آلی خاک می‌باشند، تحقیقاتی صورت پذیرد تا بتوان این منبع را که در حال حاضر به عنوان ضایعات تلقی می‌شود، به عنوان بهبود دهنده خواص فیزیکی و شیمیایی خاک به باغداران و کشاورزان پیشنهاد نمود، علاوه بر این در کنار استفاده از افزودنی‌های مختلف به خاک برای دستیابی به عملکرد بهتر در شرایط تنش رطوبتی نیازمند استفاده از ابزاری است که بتواند میزان استفاده از این افزودنی‌ها را در شرایط تنش رطوبتی، بهینه نماید و توصیه کارشناسی بر اساس مقدار کاربرد این مواد ارائه نماید. یکی از روش‌های مدرن برای تعیین مقادیر پارامترهای تأثیرگذار بر متغیر وابسته استفاده از روش سطح پاسخ است و در مطالعه انجام شده، برای بررسی چگونگی تأثیر خاک‌اره و رژیم‌های رطوبتی بر عملکرد خیار گلخانه‌ای از این روش استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در شهرستان پارس‌آباد استان اردبیل انجام شده است. خاک مورد استفاده برای کشت از زمین زراعی موجود در محوطه دانشکده کشاورزی مغان انتخاب گردید که برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول (۱) نشان داده شده است. بافت خاک منطقه جزء خاک‌های ریزبافت طبقه‌بندی می‌گردد. خاک‌های ریزبافت که خاک‌های منطقه نیز جزء این نوع خاک‌ها محسوب می‌شوند، معمولاً به صورت ترکیبی از ذرات شنی، لای و رس تعریف می‌شوند که خصوصیات این بخش‌ها را به طور یکسان دارا می‌باشند. چگالی ظاهری خاک که در حدود ۱/۵۶ گرم به سانتی‌متر مکعب تعیین شده است که در محدوده متوسط از نظر چگالی ظاهری خاک قرار دارد و در محدوده خاک‌های رسی و لوم سیلتی شخم خورده است. چگالی ظاهری بالا سبب کاهش رشد ریشه گردیده و مشکلاتی را برای گیاه ایجاد می‌نماید از نظر میزان درصد آهک خاک، خاک مورد آزمایش، جزو خاک‌های آهکی طبقه‌بندی نمی‌شود زیرا درصد آهک آن کم‌تر از ۱۰ درصد است. زیادی آهک در خاک از نظر کشاورزی مضر بوده و سبب افزایش pH خاک شده و در نتیجه از جذب برخی عناصر غذایی توسط گیاه جلوگیری می‌کند. از نظر pH خاک مورد آزمایش در محدوده قلیایی کم قرار گرفته و از نظر میزان فسفر خاک نیز میزان آن با توجه به مطالعات نوابی و همکاران (۱۳۷۷)، در شرایط متوسط قرار دارد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های منطقه مورد استفاده برای آزمایش‌ها

فسفر (ppm)	ماسه (%)	رس (%)	سیلت (%)	چگالی حقیقی (g.cm ⁻³)	چگالی ظاهری (g.cm ⁻³)	هدایت الکتریکی (dS/m)	کربن آلی (%)	pH	درصد آهک TNV%	بافت
۸/۴۳	۷۰	۲۰	۱۰	۲/۲۵	۱/۵۶	۱/۱	۱/۰۵	۷/۷۶	۷/۶۴	لوم، رس، شنی

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی مغان انجام گرفت. عامل اصلی شامل رژیم‌های رطوبتی در دو سطح ۶۵ و ۴۵ درصد ظرفیت زراعی و تیمار شاهد بدون اعمال تنش بود و فاکتور فرعی شامل چهار سطح خاک‌اره، در سطوح ۴۰، ۲۰، ۱۰، ۵ درصد حجمی و تیمار شاهد بدون خاک‌اره

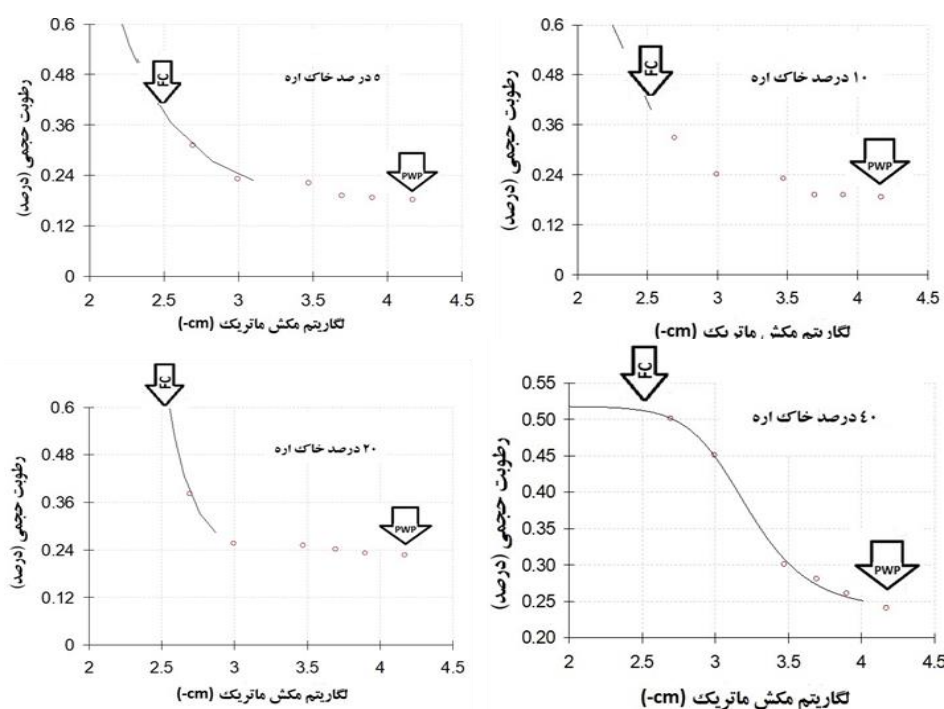
بود. خاک‌اره پس از الک کردن و جدا نمودن تراشه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. خاک‌اره مورد استفاده از فرآورده‌های چوبی درختان تبریزی به‌صورت خام (کمپوست نشده) تهیه شد. برای تعیین منحنی خصوصیات رطوبتی خاک، نمونه‌هایی از خاک مورد نظر انتخاب و با استفاده از دستگاه صفحات فشاری درصد رطوبت وزنی در

در این رابطه θ_s و θ_r به ترتیب مقادیر رطوبت اشباع و باقی مانده بر حسب $(\text{cm}^3.\text{cm}^{-3})$ ، مقدار مکش بر حسب (cm) ، α معادل عکس پتانسیل در نقطه ورود هوا بوده و m و n پارامترهای تجربی معادله است.

با استفاده از منحنی رطوبتی خاک، رطوبت معادل دو سطح رژیم‌های تخلیه رطوبتی شامل ۶۵ و ۴۵ درصد رطوبت در دسترس تعیین گردید. همچنین برای تیمارهای مختلف خاک‌اره منحنی رطوبتی مطابق شکل (۱) به دست آمد.

فشارهای ۰/۳، -۵، -۱۰ و -۱۵ بار که در برگیرنده نقاط پتانسیلی مهم خاک می‌باشند تعیین گردید. سپس پارامترهای معادله منحنی مشخصه خاک مطابق مدل وانگنوختن - معلم (۱۹۷۶) برای درصدهای مختلف خاک اره تعیین شد. مدل وانگنوختن - معلم (۱۹۷۶) مطابق رابطه زیر است. همچنین، برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع تیمارهای مختلف خاک اره، از دستگاه اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی بار افتان استفاده شد.

$$\theta_h = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \times [1 + (\alpha h)^n]^{-m} \quad (1)$$



شکل ۱- منحنی رطوبتی خاک در درصدهای مختلف خاک‌اره

۱۷، ۲۱ و ۲۸ درصد حجمی بودند. همچنین رطوبت نقطه پژمردگی خاک برای تیمار شاهد، برابر ۱۱ درصد حجمی برآورد گردید. در این آزمایش برای تعیین عملکرد و خصوصیات ریخت‌شناسی ریشه که شامل وزن تر و خشک ریشه، طول ریشه، حجم ریشه و قطر ریشه است، به این صورت عمل شد که در طول اعمال دوره آبیاری، میزان محصول هر تیمار توزین شده و ثبت گردیدند و بعد از اتمام آزمایش، ریشه هر یک از تیمارها به صورت جداگانه برای تعیین طول، حجم، قطر و وزن تر آن‌ها از خاک خارج

سپس از دستگاه رطوبت‌سنج TDR-100 جهت تعیین رطوبت روزانه و زمان آبیاری استفاده شد. رطوبت گلدان‌ها به صورت روزانه به وسیله دستگاه رطوبت‌سنج اندازه‌گیری می‌شد و این اندازه‌گیری‌ها تا زمانی که رطوبت حجمی باقی مانده در گلدان‌ها به اعداد مربوط به رژیم‌های تخلیه رطوبتی ۴۵ و ۶۵ درصد رطوبت در دسترس برسد، ادامه می‌یافت و زمانی که دستگاه اعداد مربوط به این نقاط می‌رسید، آبیاری انجام می‌گرفت. رطوبت حجمی این نقاط برای تخلیه رطوبتی ۴۵، ۶۵ و تیمار شاهد به ترتیب برابر

این ضریب، برخلاف R^2 ، به جای مجموع مربعات از میانگین مجموع مربعات استفاده می‌شود. نحوه محاسبه این دو ضریب در معادله‌های (۳) و (۴) ارائه شده است:

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{\text{residual}}}{SS_{\text{total}}} \quad (3)$$

$$R^2_{\text{adj}} = 1 - \frac{SS_{\text{residual}}/DF_{\text{residual}}}{SS_{\text{total}}/(DF_{\text{model}} + DF_{\text{residual}})} \quad (4)$$

در روابط بالا SS_{residual} بیان‌گر مجموع مربعات باقیمانده، DF معرف درجه آزادی و SS_{total} معرف مجموع مربعات کل ($SS_{\text{residual}} + SS_{\text{model}}$) است.

پس از تعیین مدل رگرسیونی مناسب، اهداف مختلف با توجه به محدودیت‌های عوامل موثر و متغیرهای مستقل تعیین گردیده و نقاط بهینه عملکردی مدل با توجه به محدودیت‌های اعمالی تعیین می‌شوند که هر یک از این نقاط، با توجه به میزان در دسترس بودن با درجات مقبولیت متفاوت نشان داده می‌شوند. درواقع میزان مقبولیت، یک تابع هدف است که از صفر تا یک متغیر است. به‌طور مثال اگر هدف بیشترین میزان عملکرد در شرایط کاهش میزان مصرف آب و کاهش درصد خاکاره باشد، پس از بهینه‌سازی، با مقایسه نتایج درصد خاکاره و میزان آب مصرفی، با کمینه مقدار آن‌ها در آزمایش، درجه مقبولیت تابع هدف مشخص می‌گردد. بهینه‌سازی عددی، نقطه‌ای را مشخص می‌کند که تابع مقبولیت را به حداکثر می‌رساند. ویژگی‌های یک هدف ممکن است با تنظیم اوزان متغیرهای مستقل یا اهمیت آن‌ها تغییر نماید. برای چندین پاسخ و عامل، همه اهداف در یک تابع مقبولیت ترکیب می‌شوند تا نقطه هدف با ارزش مقبولیت بسیار بالا به‌دست آید که در واقع در این شرایط درجه مقبولیت تابع هدف برابر یک خواهد بود.

تعیین بهره‌وری آب

برای محاسبه بهره‌وری آب از معادله پیشنهادی فائو (۳۳) استفاده شد (دورنبو و کسام، ۱۹۷۹):

$$WP = \frac{Y}{ET} \times 100 \quad (5)$$

شدند. شایان ذکر است برای به‌دست آوردن حجم ریشه مقدار ۳۰۰ سی‌سی آب در استوانه مدرج یک لیتری ریخته و به‌وسیله آن حجم ریشه‌ها محاسبه گردید. همچنین برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه، ریشه‌ها را به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در دستگاه آون قرارداده و بعد از خشک شدن توزین گردیدند.

در روش سطح پاسخ از روش داده‌های موجود^۵ استفاده شد. در این روش، داده‌های آزمایش انجام شده با در نظر گرفتن حدود پیشینه و کمینه با کد سطح‌های (۱+) و (۱-) مشخص می‌شوند و در اختیار نرم‌افزار آماری قرار می‌گیرد. پس از انتخاب طرح، معادله مدل تعیین شده و ضرایب آن پیش‌بینی می‌شوند. مدل استفاده شده در روش سطح پاسخ عموماً، معادله مدل درجه دوم کامل یا فرم کاهیده آن است. مدل درجه دوم می‌تواند به صورت زیر بیان شود.

$$Y = C_k + \sum_{i=1}^k C_{ki} X_i + \sum_{i=1}^k C_{kii} X_i^2 + \sum_{i < j \leq k} C_{kij} X_i X_j \quad (2)$$

در اینجا $\beta_0, \beta_j, \beta_{jj}, \beta_{ij}$ به ترتیب ضرایب ثابت، خطی، درجه دوم و اثر متقابل رگرسیون هستند. X_i و X_j متغیرهای مستقل کد شده هستند.

پس از آنکه ضرایب معادله محاسبه شدند، با حل معادله بالا، پاسخ پیش‌بینی می‌شود. سپس باید مطابقت مدل با داده‌های آزمایش مورد بررسی قرار گیرد. برای این کار روش‌های متعددی نظیر تحلیل باقیمانده، ریشه میانگین مربعات خطاهای پیش‌بینی شده و آزمون عدم تطابق وجود دارد. قابلیت پیش‌بینی کلی مدل توسط ضریب تبیین^۶ (R^2) بیان می‌گردد و اهمیت آماری آن به‌وسیله آزمون آماری فیشر^۷ (F-Value) مشخص می‌شود. اهمیت هر یک از ضرایب رگرسیون (مدل) نیز بر اساس آزمون T به‌دست می‌آید. البته باید توجه داشت که ضریب تبیین به تنهایی نمی‌تواند دقت مدل را توضیح دهد، زیرا این شاخص بیان‌کننده تغییرات حول میانگین پاسخ است. لذا از ضریب دیگری به نام ضریب تبیین اصلاح شده (R^2_{adj}) استفاده می‌کنند. در محاسبه

که WP: بهره‌وری آب بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب آب، Y: عملکرد بر حسب تن بر هکتار و ET: تبخیر و تعرق گیاه بر حسب میلی‌متر است.

نتایج و بحث

در شکل (۲) شماتیک ریشه در درصدهای مختلف خاک اره نشان داده شده است. پارامترهای برازش داده شده مدل وان گنوختن- معلم (۱۹۷۶)، برای درصدهای مختلف خاک اره در جدول (۲) نشان داده شده است. همچنین نتایج عملکرد و خصوصیات ریشه خیار گلخانه‌ای در جدول (۳) نشان داده شده است و در جدول (۴)، اثر توأمان سطوح رژیم‌های رطوبتی در درصدهای مختلف خاک اره روی صفات رویشی خیار گلخانه‌ای نشان داده شده است. با بررسی این جدول که مجموع اثر رژیم‌های رطوبتی و تیمارهای خاک اره را بررسی نموده است، می‌توان به این نتیجه رسید که اگرچه با افزایش درصدهای خاک اره می‌توان تا حدی تأثیر رژیم رطوبتی را بر گیاه کاهش داد. لیکن نمی‌توان به‌طور کامل مانع کاهش عملکرد محصول گردید. با در نظر گرفتن میزان خاک اره به‌عنوان عامل تأثیرگذار و تجمیع نتایج تیمارهای رطوبتی، نتایج از نظر خصوصیات ریخت‌شناسی ریشه که مؤثر در جذب آب است، تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد که بدون خاک اره است، داشته است. در تحقیقی که توسط رافائل و همکاران (۲۰۱۰) انجام شد، افزایش مقاومت نسبت به تنش رطوبتی در رابطه با تولید محصول، به افزایش پارامترهای مهم ریشه در جذب رطوبت از جمله طول، قطر و حجم ریشه پایه‌های پیوندی ارتباط داده شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت می‌نماید. همان‌طور که در جداول (۳) و (۴) مشخص است، استفاده از بستر خاک اره بر کلیه شاخص‌های عملکرد خیار تأثیر معنی‌داری داشته است که با تحقیقات هم‌تیمان و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد. وزن تر ریشه در تیمارهای مختلف خاک اره با اعمال رژیم‌های رطوبتی افزایش پیدا کرد که با سایر تحقیقات انجام‌شده در این زمینه مطابقت داشته است (قائم‌ی و همکاران، ۱۳۸۸) زیرا در شرایط تنش، گیاه ماده خشک را در ریشه ذخیره

می‌نماید تا در اندام‌های هوایی به کار گیرد. از میان تیمارهای مختلف خاک اره، تیمار ۲۰ درصد خاک اره از وزن تر ریشه بیش‌تری نسبت به سایر تیمارها برخوردار است و پس از آن به‌ترتیب تیمارهای ۱۰، ۴۰، ۵ درصد و در نهایت تیمار شاهد قرار دارد. همچنین افزایش حجم ریشه با افزایش میزان خاک اره به وضوح در تنش ۶۵ درصد مشاهده می‌گردد. در تحقیقی که توسط پاکدل و همکاران (۱۳۹۰) انجام شد نیز افزایش صفات رویشی با افزایش میزان خاکپوش مشاهده گردید. نتایج نشان داد که با افزایش رطوبت خاک، قطر ریشه اصلی در درصدهای مختلف خاک اره و تیمار شاهد به هم نزدیک شده و تأثیر تنش بر خصوصیات ریخت‌شناسی ریشه کاهش می‌یابد، لیکن با افزایش تنش به میزان ۶۵ درصد، قطر ریشه اصلی در تیمار ۴۰ درصد خاک اره، تقریباً به میزان دو برابر تیمار شاهد افزایش می‌یابد و این نشان‌دهنده افزایش توانایی گیاه برای مقابله با شرایط تنش رطوبتی و انطباق گیاه با شرایط تنش و جلوگیری از خسارت ناشی از آن با افزایش میزان خاک اره در خاک است. این موضوع در رابطه با تعداد ریشه جانبی نیز مشاهده می‌گردد، تعداد ریشه جانبی به واسطه قدرت جذب آب از قسمت‌های مختلف خاک در شرایط کم آبی، بسیار اهمیت داشته و تأثیرگذار است. تحقیقات نشان داده است که خیار با داشتن ریشه‌های قوی و عمیق در مواجهه با تنش رطوبتی، باعث توسعه بیش‌تر ریشه می‌گردند و می‌توانند آب و عناصر معدنی را با کارایی بیش‌تری جذب نمایند. تحقیقات نیز نشان داده است که در اثر تنش آبی، مقدار ریشه در واحد حجم خاک افزایش می‌یابد (آذرمی و همکاران، ۱۳۹۸). بیش‌ترین طول ریشه مربوط به تیمار شاهد بدون خاک اره بوده و پس از آن تیمار ۱۰ درصد خاک اره در رژیم رطوبتی ۶۵ درصد قرار می‌گیرد. همچنین تیمار شاهد با پنج درصد خاک اره، نیز دارای کمترین طول ریشه بود. مطالعات مختلفی، افزایش طول ریشه را بر اثر تنش خشکی و محدودیت آب گزارش نموده‌اند (آسنگ و همکاران ۱۹۹۸، اسدیان و همکاران، ۲۰۲۰) لیکن در تحقیق حاضر روند افزایش طول ریشه با کاهش رطوبت در

دسترس و یا افزایش خاک‌اره مشاهده نشد. افزایش طول ریشه در واریته‌های مختلف خیار گلخانه‌ای متفاوت است، لذا در صورت مواجهه گیاه با تنش رطوبتی، می‌توان یکی از معیارهای انتخاب را براساس قابلیت افزایش عمق ریشه و جذب آب در نظر گرفت که نیاز به آزمایش واریته‌های مختلف خیار در شرایط تنش رطوبتی دارد (آلدبی و همکاران، ۲۰۱۲). در رابطه با میزان عملکرد محصول، کاهش منطقی میزان عملکرد در تیمار شاهد بدون خاک‌اره با کاهش رطوبت در دسترس مشاهده گردید؛ به‌طوری‌که با کاهش رطوبت در دسترس از صفر درصد ظرفیت زراعی به ۶۵ درصد ظرفیت زراعی در تیمار بدون خاک‌اره، میزان عملکرد تقریباً ۶۲ درصد کاهش یافت. این درحالیست که در تیمار پنج درصد خاک‌اره، میزان کاهش عملکرد نزدیک به ۶۷ درصد بوده و در تیمارهای ۱۰، ۲۰ و ۴۰ درصد با کاهش رطوبت در دسترس، میزان کاهش عملکرد ۴۲، ۴۲ و ۵۰ درصد می‌شود. میزان کاهش عملکرد در رژیم تخلیه رطوبتی ۴۵ درصد رطوبت در دسترس، برای تیمارهای شاهد، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ درصد خاک‌اره به‌ترتیب برابر ۳۵، ۳۳، ۳۹، ۳۷ و ۲۵ درصد به‌دست آمد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد با کاهش رطوبت در دسترس از ۴۵ درصد ظرفیت زراعی به ۶۵ درصد، کاهش عملکرد بوجود می‌آید. میزان کاهش عملکرد در رژیم تخلیه رطوبتی ۶۵ درصد رطوبت در دسترس، نسبت به رژیم رطوبتی ۴۵ درصد، به‌ترتیب برای تیمارهای شاهد، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ درصد خاک‌اره، برابر ۴۳، ۵۰، ۴، ۸ و ۳۳ درصد به‌دست آمد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، با افزایش درصد خاک‌اره، کاهش عملکرد تا حدودی جبران شده و میزان شیب کاهش عملکرد کاهش می‌یابد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، در تیمارهای شاهد و پنج درصد خاک‌اره و در رژیم رطوبتی ۴۵ درصد، میزان عملکرد نسبت به رژیم

رطوبتی ۶۵ درصد تفاوت معنی‌داری داشته و کاهش عملکرد در این تیمارها نسبت به تیمارهای ۱۰، ۲۰ و ۴۰ درصد خاک‌اره بیش‌تر مشهود است. این موضوع نشان می‌دهد که تأثیر مثبت خاک‌اره در جلوگیری از کاهش عملکرد محصول در تیمارهای با رطوبت در دسترس کمتر، مؤثرتر است. علاوه بر این تأثیر متفاوت میزان خاک‌اره در سطوح رطوبتی، نشان‌گر آن است که تعیین درصد بهینه خاک‌اره برای اختلاط با خاک بسیار مهم است و این کار با استفاده از روش سطح پاسخ امکان‌پذیر است. در این پژوهش، روش سطح پاسخ مطابق طرح داده‌های موجود^۸ برای بررسی داده‌های عملکرد استفاده شد و به‌وسیله مجموع مربعات مانده پیش‌بینی مدل، دقت مدل ارزیابی گردید. بدین منظور ضرایب مدل بدون وجود نقطه اول و حضور دیگر نقاط محاسبه‌شده، سپس مدل انتخابی برای برآورد نقطه اول و محاسبه مانده آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش برای تمام نقاط انجام شد و سپس جمع مربعات مانده تمام نقاط محاسبه گردید و در نهایت مدل با مجموع مربعات مانده کمتر نسبت به سایر مدل‌ها انتخاب گردید. با مقایسه مقادیر مشاهده‌شده با مقادیر پیش‌بینی‌شده، از میان مدل‌های مختلف، مدل درجه دوم^۹ با پیشنهاد نرم‌افزار با در نظر گرفتن شاخص‌های آماری مطلوب و مختلف مدنظر نرم‌افزار از جمله داشتن ریشه میانگین مربعات خطای کمتر، ضرایب تبیین تنظیم‌شده و پیش‌بینی بالاتر و همچنین مجموع مربعات مانده پیش‌بینی مدل^{۱۰} کمتر نسبت به سایر مدل‌ها، برای پیش‌بینی عملکرد انتخاب گردید. سپس با استفاده از روش گام به گام و اعمال آن بر مدل انتخابی، مدل ساده‌تر و دارای تعداد جملات کم‌تر (درجه آزادی) با ضریب تبیین ۰/۸۵ به‌دست آمد. (جدول ۵).



شکل ۲- ریشه خیار گلخانه‌ای در تیمارهای مختلف خاک اره در کمبود رطوبت در دسترس ۶۵ درصد ظرفیت زراعی

جدول ۲- پارامترهای منحنی رطوبتی خاک در درصدهای مختلف خاک اره

تیمار خاک اره	θ_r ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$)	θ_s ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$)	α (cm^{-1})	n	m	k_s ($\text{cm}.\text{day}^{-1}$)
تیمار شاهد	۰/۱۱	۰/۵۱	۰/۰۵	۱/۴۸	۰/۳۲	۳۱/۴
پنج درصد خاک اره	۰/۱۹	۰/۷	۰/۰۲۸	۱/۳۵	۰/۲۶	۲۱/۷۸
ده درصد خاک اره	۰/۲	۰/۷۱	۰/۰۲	۱/۳	۰/۲۳	۲۱
بیست درصد خاک اره	۰/۲۳۷	۰/۷۵	۰/۰۲	۱/۳۵	۰/۲۶	۱۹
چهل درصد خاک اره	۰/۲۳	۰/۵۲	۰/۰۵۹	۱/۴۸	۰/۳۲	۳۱/۴۴

جدول ۳- میزان عملکرد و خصوصیات فیزیکی ریشه خیار گلخانه‌ای در رژیم‌های رطوبتی و درصدهای مختلف خاک اره

حجم ریشه (cm^3)	وزن خشک ریشه (gr)	تعداد ریشه جانبی (n)	وزن تر ریشه (gr)	قطر ریشه اصلی (cm)	عملکرد ($\text{T}.\text{ha}^{-1}$)	طول ریشه اصلی (cm)	رژیم رطوبتی (%)	درصد خاک اره (%)
۸	۱/۴۷	۱۳	۷/۲۴	۰/۳	۶۴	۲۶	۶۵	۴۰
۶/۵	۱/۰۷	۵	۷/۵۲	۰/۳۵	۷۶/۸	۲۵	۶۵	۲۰
۷	۰/۹۵	۱۰	۶/۴۹	۰/۴	۷۰/۴	۴۲	۶۵	۱۰
۵	۰/۸	۶	۶	۰/۴	۳۸/۴	۳۹	۶۵	۵
۴/۲۵	۰/۵۶	۱۰	۴/۲۸	۰/۵	۳۲	۲۱/۵	۶۵	۰
۴/۲۵	۰/۳۶	۷	۲/۹۱	۰/۲۵	۹۶	۳۸/۵	۴۵	۴۰
۴	۰/۵۱	۱۳	۴/۸۳	۰/۱۲	۸۳/۲	۲۷	۴۵	۲۰
۵/۲۵	۰/۶۸	۶	۳/۶۹	۰/۱۲	۷۳/۶	۳۶	۴۵	۱۰
۴/۵	۰/۵	۴	۲/۸۵	۰/۲۲	۷۶/۸	۲۵	۴۵	۵
۴/۲۵	۰/۴۱	۷	۳/۰۲	۰/۲۵	۵۷/۶	۲۶/۵	۴۵	۰
۴	۰/۴۴	۵	۳/۹	۰/۲۵	۱۲۸	۲۵/۵	۰	۴۰
۶	۱/۲۵	۱۰	۶/۹۹	۰/۳	۱۳۴	۴۰	۰	۲۰
۴/۵	۰/۳۹	۴	۳/۵	۰/۳	۱۲۲	۲۵/۵	۰	۱۰
۴/۲۵	۰/۴۱	۴	۱/۹۱	۰/۲۵	۱۱۹	۱۹	۰	۵
۴/۲۵	۰/۳۹	۸	۳/۶	۰/۲۵	۸۶	۶۸/۵	۰	۰

جدول ۴- اثر توأمان سطوح رژیم رطوبتی در درصد‌های مختلف خاک اره روی صفات رویشی خیار گلخانه‌ای

تیمار	طول ریشه اصلی (سانتی‌متر)	عملکرد میوه (تن در هکتار)	قطر ریشه اصلی (سانتی‌متر)	وزن تر ریشه (گرم)	تعداد ریشه های جانبی	وزن خشک ریشه (گرم)	حجم ریشه (سانتی متر مکعب)
۴۰ درصد خاک اره	۳۰/۳	۹۶	۲۶/۰	۴/۶	۸	۷۶/۰	۴/۵
۲۰ درصد خاک اره	۳۰/۶	۹۸	۲۵/۰	۴/۶	۹	۹۴/۰	۵/۵
۱۰ درصد خاک اره	۳۴/۵	۸۹	۲۷/۰	۵/۴	۷	۶۷/۰	۵/۵
۵ درصد خاک اره	۳۷/۶	۷۸	۲۹/۰	۶/۳	۵	۵۷/۰	۵/۴
شاهد (بدون خاک اره)	۳۸/۸	۵۸	۲۷/۰	۶/۳	۶	۴۵/۰	۵/۴

† در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک با نمونه شاهد هستند از نظر آزمون فیشر در سطح احتمال ۱٪ در یک گروه قرار می‌گیرند

جدول ۵- شاخص‌های آماری مدل‌های مختلف تابع عملکرد

شماره	مدل چند جمله‌ای	ضریب تبیین	ضریب تبیین اصلاح شده	احتمال خطا	مدل انتخابی
۱	خطی	۰/۷۶	۰/۸۳	<۰/۰۰۰۱	
۲	درجه ساده	۰/۵۵	۰/۸۱	۰/۹۹	
۳	درجه دوم	۰/۸۵	۰/۹۱	۰/۰۱	✓
۴	مربعی	-۰/۲۶	۰/۸۹	۰/۸۵	

با بهره‌گیری از نتایج طرح داده‌های موجود و تجزیه رگرسیون این داده‌ها، آنالیز واریانس مدل استخراج شده عملکرد خیار گلخانه‌ای با توجه به متغیرهای درصد خاک‌اره (A)، رژیم رطوبتی (B)، بر حسب مقادیر کد شده در جدول ۶ بیان شده است. همان‌طور که جدول نشان می‌دهد، تأثیر هر یک از فاکتورهای سطح رطوبت در دسترس و درصد خاک اره بر میزان عملکرد معنی‌دار می‌باشند و همچنین فاکتور توان دوم میزان درصد خاک اره نیز به طور معنی‌داری بر نتایج مدل تأثیرگذار است که این موضوع با نتایج تحقیقات رضا وردی نژاد و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد. از میان فاکتورهای مؤثر درصد خاک اره و رژیم رطوبتی، همان‌طور که در جدول (۶) مشخص است، تأثیر رژیم رطوبتی بر عملکرد خیار گلخانه‌ای بیش از میزان خاک‌اره است که با تحقیقات آذرمی و همکاران (۱۳۹۸) همخوانی دارد.

در جدول (۷)، شاخص‌های آماری مدل نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول مشخص است، میزان کفایت دقت مدل برابر ۲۳/۸ برآورد گردیده است که با توجه به اینکه این عدد بیش از چهار است، نشان‌دهنده دقت مناسب مدل است. علاوه بر این، با توجه به آن‌که

مقدار اختلاف ضریب تبیین پیش‌بینی شده با ضریب تبیین اصلاح شده کمتر از ۰/۲ است و مقادیر آن‌ها به یک نزدیک است، این شاخص نیز نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل است. نمودارهای مربوط به کفایت مدل نیز عملکرد خوب مدل را نشان می‌دهند. در جدول (۸)، ضرایب مدل پیشنهادی عملکرد، بر اساس فاکتورهای رطوبت در دسترس و درصد خاک‌اره نشان داده شده است. شکل (۳) تأثیر هر یک از فاکتورهای مؤثر را به صورت مجزا بر عملکرد خیار گلخانه‌ای نشان می‌دهد، همان‌طور که در شکل مشخص است، تأثیر میزان رطوبت در دسترس بر میزان عملکرد به صورت خطی بوده و در مقابل تأثیر فاکتور درصد خاک اره بر عملکرد به صورت تابع درجه دو است که نیازمند تعیین حد بهینه برای رسیدن به بهترین عملکرد است. همان‌طور که در این شکل مشخص است تأثیر مثبت خاک اره در این شرایط تا ۲۵ درصد خاک اره دیده می‌شود و پس از آن باعث تأثیر منفی در میزان عملکرد محصول می‌شود. لذا به نظر می‌رسد در بافت لوم-رس-شنی با افزایش مقادیر خاک‌اره تأثیر مثبت آن در کمینه نمودن اثرات کاهش رطوبت در دسترس کم اثرتر خواهد شد.

در شکل (۴) خطوط هم‌میزان عملکرد بر اساس فاکتورهای درصد خاک اره و سطوح رژیم رطوبتی نشان داده شده است، همان‌طور که در شکل (۴) مشخص است، تأثیر مثبت خاک اره بر میزان عملکرد خیار گلخانه‌ای با کاهش رطوبت در دسترس دیده می‌شود؛ به‌طوری‌که فاصله خطوط هم‌میزان از یکدیگر با افزایش درصد خاک اره، افزایش می‌یابد. با بررسی خطوط هم‌میزان مربوط به عملکردهای ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ تن در هکتار، مشخص می‌شود که می‌توان در یک سطح رطوبتی مشخص، با دو مقدار از درصد اختلاط خاک اره، عملکرد برابر به‌دست آورد البته باید در نظر داشت که به طور قطع میزان کمتر اختلاط خاک اره نقطه مطلوب‌تری است. مورد دیگر شیب بیش‌تر خطوط هم‌میزان و فاصله کم‌تر آن‌ها در مقادیر کم‌تر از

مخلوط خاک اره است که نشان‌گر افزایش تأثیر مثبت مخلوط خاک اره در عملکرد است. همچنین فاصله یکسان خطوط هم‌میزان در درصد اختلاط بیش از ۲۰ درصد، نشان‌گر تأثیر یکنواخت درصدهای ترکیبی در رژیم‌های رطوبتی مختلف است. در تحقیقی که محبتی و همکاران (۱۳۹۷) نیز انجام دادند تأثیر ژئولیت به عنوان نگه‌دارنده رطوبت خاک، بر عملکرد خیار گلخانه‌ای به‌صورت معنی‌دار و از درجه دوم بود که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. شکل (۵) نمودار یک به یک نتایج حاصل از مدل را نشان می‌دهد، همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، مدل به خوبی مقدار عملکرد را بر اساس فاکتورهای مؤثر پیش‌بینی نموده است و نتایج پیش‌بینی مدل در مقادیر بالاتر عملکرد به واقعیت نزدیک‌تر است.

جدول ۶- آنالیز واریانس مدل عملکرد بر اساس فاکتورهای رژیم رطوبتی و درصد خاک اره

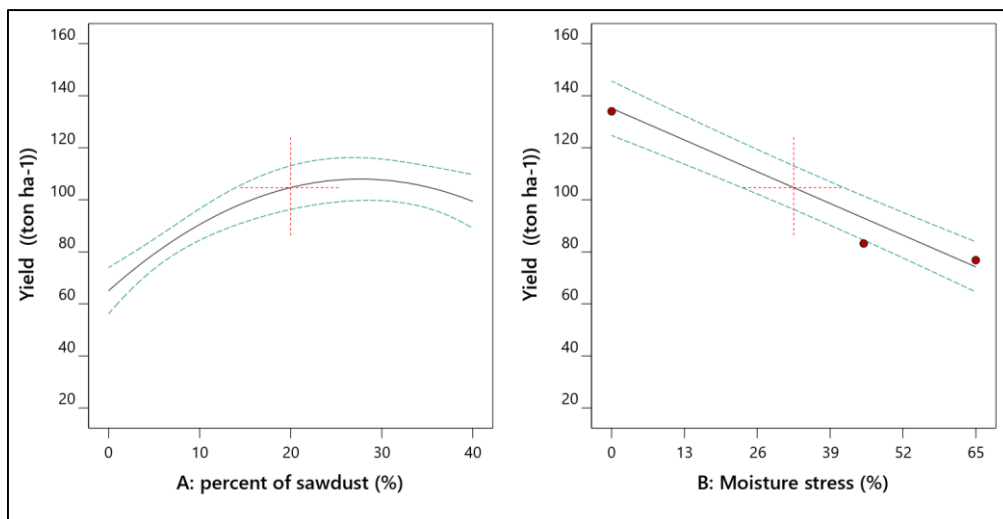
پارامتر	درجه آزادی	مجموع مربعات خطا	میانگین مربعات خطا	مقدار F	احتمال خطا
مدل**	۳	۱۲۷۹۷	۴۲۶۵	۶۴	<۰/۰۰۰۱
A	۱	۲۱۸۲	۲۱۸۲	۳۲	۰/۰۰۰۱
B	۱	۹۷۴۲	۹۷۴۲	۱۴۶	<۰/۰۰۰۱
A ²	۱	۱۱۹۲	۱۱۹۲	۱۷/۹	۰/۰۰۱۴

جدول ۷- شاخص‌های آماری مدل عملکرد بر اساس فاکتورهای سطوح رطوبت و درصد خاک اره

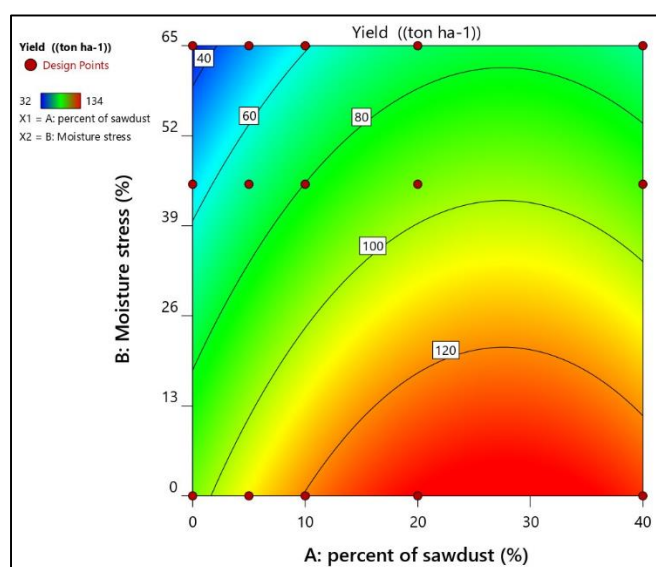
پارامتر	انحراف معیار	ضریب تعیین	ضریب تبیین اصلاح شده	ضریب تبیین پیش‌بینی شده	میانگین	کفایت دقت	ضریب تغییرات
عملکرد	۸/۱	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹	۸۳	۲۳/۸	۹/۷

جدول ۸- ضرایب مدل پیشنهادی عملکرد بر اساس فاکتورهای سطح رطوبت و درصد خاک اره

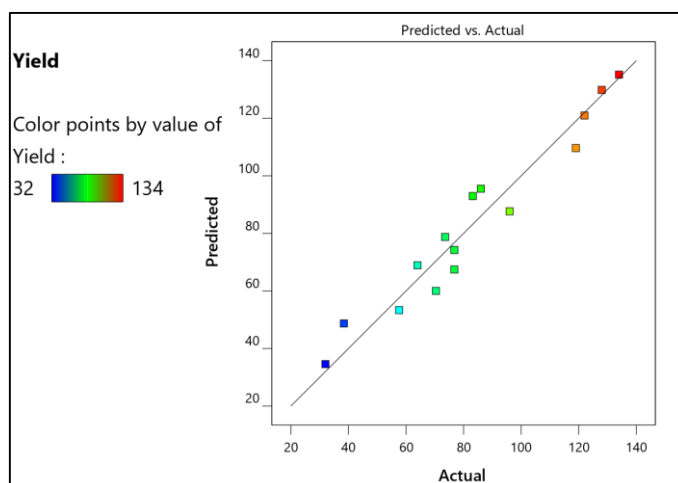
پارامتر	ضریب
عدد ثابت	۹۵/۵
A	۳/۱
B	-۰/۹۳
A ²	-۰/۰۵۶



شکل ۳- تأثیر هر یک از فاکتورهای مؤثر بر عملکرد خیار گلخانه‌ای



شکل ۴- خطوط تراز عملکرد بر اساس فاکتورهای درصد خاک‌اره و سطوح رطوبتی



شکل ۵- نمودار یک به یک نتایج پیش‌بینی‌شده توسط مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده

همان‌طور که در جدول (۹) نشان داده شده است، همچنین در جدول (۱۰) و (۱۱) نتایج تجزیه واریانس میزان آب مصرفی تیمارها بیان شده است. در تیمار ۲۰ درصد خاک اره، بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب در کم‌ترین رطوبت در دسترس به‌دست آمده است که با نتایج شاکر و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد. این موضوع در تیمارهای ۱۰، ۵ و شاهد نیز صادق است و بهره‌وری مصرف آب با کاهش رطوبت در دسترس بیش‌تر شد و حداکثر آن در تیمار ۲۰ درصد به مقدار ۳۳ کیلوگرم بر مترمکعب رسید. بیش‌ترین کارایی مصرف آب در تیمار ۲۰ درصد خاک اره نزدیک به نتایج العمران و همکاران (۲۰۱۳) بوده و در حدود ۴۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه گردید در این مطالعه، تنش رطوبتی به میزان ۴۰، ۶۰، ۸۰ درصد تبخیر و تعرق مورد نیاز گیاه بر خیار گلخانه‌ای اعمال گردید. همچنین در تحقیق رضوردی نژاد و همکاران (۲۰۱۷) بهره‌وری مصرف آب در تیمار ۸۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل ۳۱ درصد کمتر از تیمار شاهد و برابر ۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد که این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از خاک‌اره، می‌تواند در کنار کاهش مصرف آب، بهره‌وری مصرف آب را افزایش دهد، همان‌طور که در این تحقیق بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب در تیمار ۲۰ درصد خاک اره به‌دست آمد؛ که با نتایج احمد و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت می‌نماید، در تحقیق ایشان بستر کشت‌های مختلف از جمله توف، ترکیب توف و پرلیت، ترکیب توف و پرلیت و خاک‌اره و همچنین ترکیب توف و خاک اره برای تولید خیار گلخانه‌ای مورد سنجش قرار گرفت.

نتایج نشان داد که ترکیب توف و خاک اره هرکدام به نسبت ۵۰ درصد حجمی، رشد بیشتری را سبب می‌شود. لذا به نظر می‌رسد استفاده از خاک‌اره می‌تواند باعث کاهش اثرات ناشی از کم آبیاری در خیار گلخانه‌ای شود. در تحقیقی که توسط رافائل (۲۰۱۰) بر روی خانواده کدویان انجام شد، نتایج نشان داد که افزایش مقاومت خیار نسبت به تنش رطوبتی با افزایش شاخص‌های فیزیولوژیکی ریشه از جمله طول، قطر و حجم ریشه همراه است که در واقع

پاسخ گیاه به شرایط تنش رطوبتی است. لیکن با مقایسه شاخص‌های ریشه در تیمارهای مختلف خاک‌اره با تیمار شاهد در شرایط رژیم رطوبتی یکسان، اختلاف معنی‌داری دیده نمی‌شود. لذا به نظر می‌رسد در تیمارهای خاک‌اره در شرایط رژیم رطوبتی یکسان، گیاه تنش کم‌تری را تحمل کرده است.

در شکل (۶) و (۷) گروه‌بندی تیمارها بر اساس میزان آب مصرفی نسبت به درصد تخلیه رطوبتی و درصد خاک‌اره نشان داده شده است، همان‌طور که در این اشکال مشخص است میانگین مصرف آب در گروه‌های ۵ و ۱۰ درصد خاک اره با استفاده از آزمون فیشر در سطح یک درصد، در یک گروه طبقه‌بندی شده و نسبت به سایر گروه‌ها دارای میانگین مصرف آب بیش‌تری می‌باشند، به‌طوری‌که اختلاف مقادیر آب مصرفی این تیمارها با سایر تیمارها در سطح یک درصد معنی‌دار شده است. همچنین بررسی میزان آب مصرفی از نظر تیمارهای تخلیه رطوبتی، نشان داد که تیمارهای ۶۵ و ۴۵ درصد تخلیه رطوبتی، نسبت به تیمار شاهد در یک گروه طبقه‌بندی می‌شوند. وانگ و همکاران (۲۰۰۹) نیز افزایش بهره‌وری مصرف آب را با کاهش میزان آب کاربردی، درکشت خیار گلخانه‌ای گزارش نموده‌اند و نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که علاوه بر کم‌آبیاری که باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب می‌گردد، استفاده از ترکیب خاک اره به نسبت مناسب به موازات کاهش آب مصرفی، می‌تواند بهره‌وری مصرف آب را تا حدود ۱/۵ برابر تیمار شاهد افزایش دهد. این موضوع نشان می‌دهد که با استفاده از نسبت ترکیب مناسب خاک اره با خاک در تولید محصولات گلخانه‌ای علاوه بر بالا بودن تولید واحد سطح می‌توان میزان بهره‌وری مصرف آب را افزایش داده و در شرایط محدودیت منابع آبی، مصرف آب را بهینه‌سازی نمود. همچنین نتایج نشان داد که بهره‌وری مصرف آب در تیمار ۲۰ درصد خاک اره در کلیه احجام مصرفی آب، دارای بهره‌وری بیش‌تری نسبت به سایر تیمارها است.

جدول ۹- آب مصرفی و بهره‌وری مصرف آب تیمارها در دوره کشت

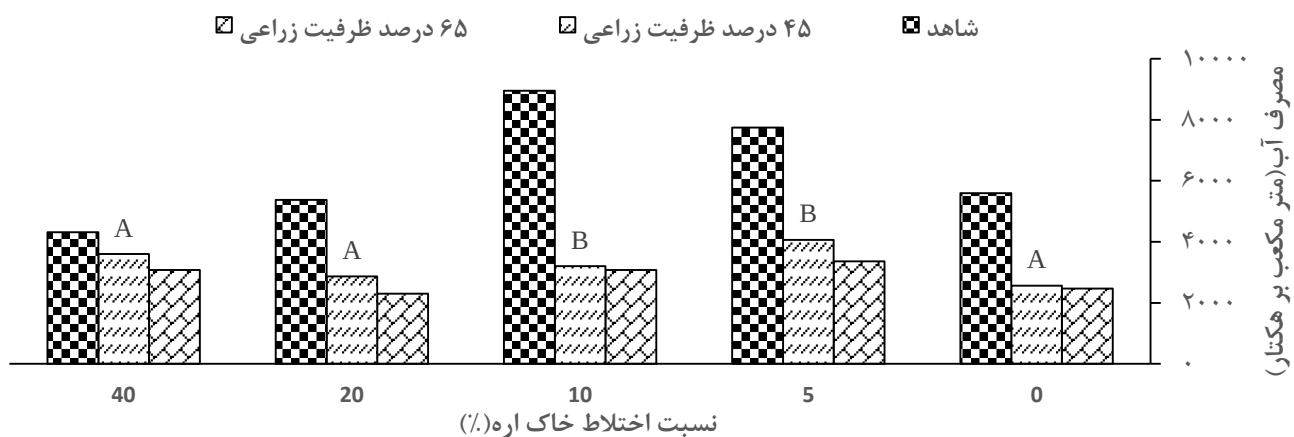
تیمار	درصد خاک اره	کاهش رطوبت به میزان ۶۵ درصد آب در دسترس	کاهش رطوبت به میزان ۴۵ درصد آب در دسترس	شاهد (بدون تنش)
میزان مصرف آب ($m^3 ha^{-1}$)	۴۰	۳۰۷۲	۳۶۰۰	۴۳۲۰
	۲۰	۲۳۰۴	۲۸۶۷	۵۳۷۶
	۱۰	۳۰۷۲	۳۲۰۰	۸۹۶۰
	۵	۳۳۶۰	۴۰۶۴	۷۷۴۴
	شاهد	۲۴۶۴	۲۵۶۰	۵۶۰۰
کارایی مصرف آب ($kg m^{-3}$)	۴۰	۲۰/۸	۲۶/۶	۲۹/۶
	۲۰	۳۳	۲۹	۲۵
	۱۰	۲۳	۲۳	۱۳/۵
	۵	۱۱/۴	۱۹	۱۵/۲
	شاهد	۱۳	۲۲/۵	۱۵/۳

جدول ۱۰- نتایج آنالیز واریانس میزان مصرف آب در رژیم‌های مختلف رطوبتی

منبع پراکنش	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F محاسبه شده	P Value
تیمار	۲	۳۷۶۷۵۴۰۲	۱۸۸۳۷۷۰۱	۱۳/۶۳	۰/۰۰۱
خطا	۱۲	۱۶۵۹۰۶۴۴	۱۳۸۲۵۵۴		
کل	۱۴	۵۴۲۶۶۰۴۶			

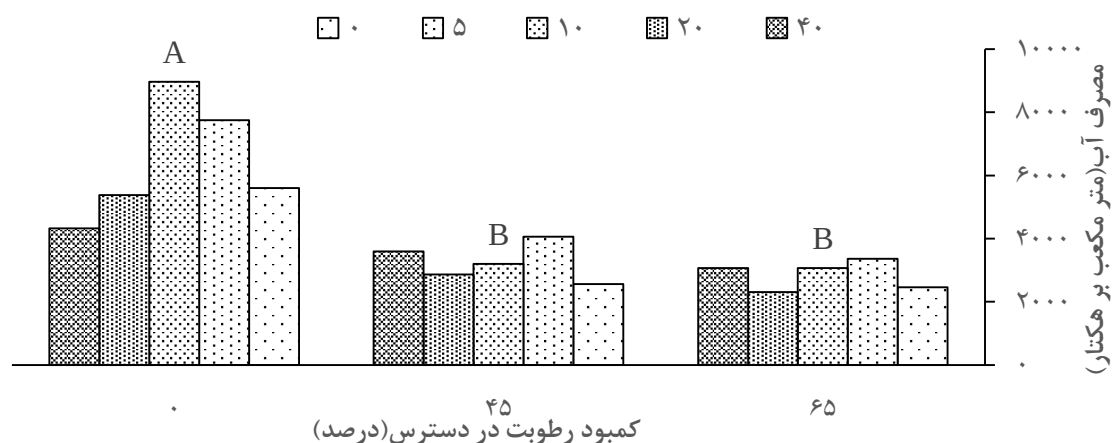
جدول ۱۱- نتایج آنالیز واریانس میزان مصرف آب در درصدهای مختلف خاک اره

منبع پراکنش	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F محاسبه شده	P Value
تیمار	۴	۱۶۱۲۵۹۳۶	۴۰۳۱۴۸۴	۱/۷۵	۰/۰۰۱۵
خطا	۱۰	۲۳۱۰۱۵۳۹	۲۳۱۰۱۵۴		
کل	۱۴	۳۹۲۲۷۴۷۵			



شکل ۶- نمودار میزان آب مصرفی در تیمارهای مختلف خاک اره

(حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری اختلاف میانگین‌ها در سطح یک درصد است)



شکل ۷- نمودار میزان آب مصرفی در رژیم‌های مختلف آبیاری

(حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری اختلاف میانگین‌ها در سطح یک درصد است)

عملکرد با این تفاوت که میزان درصد خاک اره در محدوده صفر تا ۴۰ درصد در نوسان باشد، محاسبه گردید که نتایج آن مطابق جدول (۱۳) نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول مشخص است، در این شرایط عملکرد محصول برابر ۹۳/۶ تن در هکتار در ۲۷/۶ درصد خاک اره و ۴۷ درصد تخلیه رطوبتی به‌دست‌آمده می‌آید. لذا همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد در این حالت با وجود کاهش رطوبت در دسترس، افزایش میزان درصد خاک اره، سبب افزایش میزان عملکرد به میزان هشت درصد شده است. همچنین در سناریوی دوم مقادیر شاخص‌های وزن تر ریشه، تعداد ریشه جانبی، وزن خشک ریشه و حجم ریشه افزایش داشته و شاخص طول ریشه اصلی کاهش داشته است. علاوه بر این، در هر دو سناریو، مقدار قطر ریشه اصلی یکسان به‌دست آمد این موضوع با تحقیقات کیم و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد در این تحقیق نیز با استفاده از کربن آلی مقاومت بوته خیار به تنش رطوبتی افزایش نشان داد. شکل (۹) مختصات فضایی هدف مطلوب به‌دست‌آمده تحت سناریوی دوم را نشان می‌دهد.

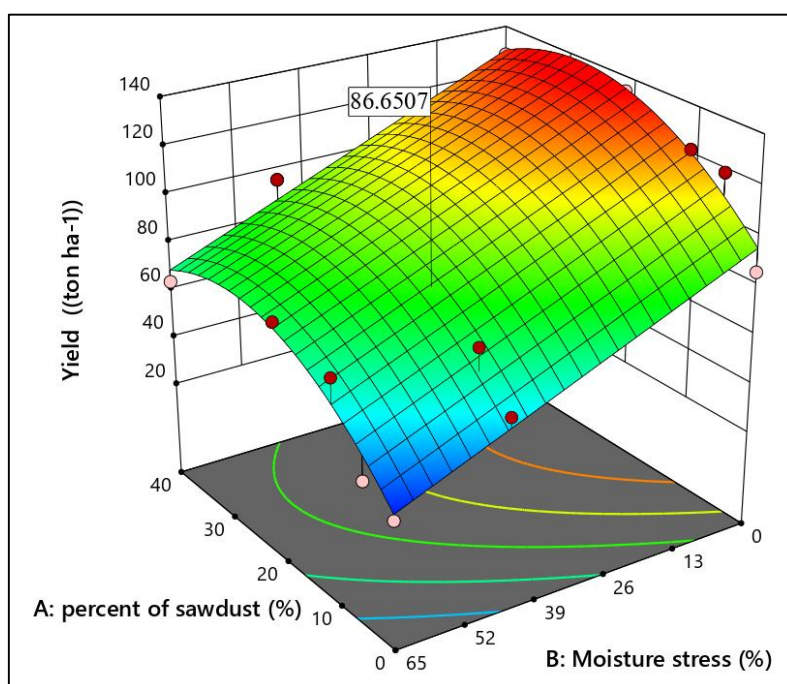
پس از یافتن مدل‌های رگرسیونی برای یافتن نقطه بهینه عملکرد خیار گلخانه‌ای در بخش بهینه‌سازی نرم‌افزار دیزاین اکسپرت^{۱۱} برای تعیین نقطه بهینه عملکرد، مقدار حداکثر عملکرد به عنوان توابع هدف به نرم‌افزار معرفی گردید. در سناریوی اول شرایط به‌گونه‌ای در نظر گرفته شد که بیش‌ترین عملکرد خیار گلخانه‌ای در شرایطی محاسبه شود که فرض کمینه نمودن مقدار درصد خاک اره و کمینه نمودن رطوبت در دسترس لحاظ شده و همچنین سایر پارامترهای مؤثر بر عملکرد از جمله قطر ریشه اصلی، طول ریشه اصلی، وزن خشک ریشه و وزن تر ریشه، تعداد ریشه‌های جانبی و حجم ریشه در محدوده مقادیر به‌دست‌آمده باشند. لذا با در نظر گرفتن فرضیات فوق یک هدف با درجه مقبولیت ۰/۶ به‌دست‌آمده آمد. این هدف عملکرد ۸۶/۶ تن در هکتار را در میزان خاک اره ۱۳/۷ درصد و میزان تخلیه رطوبت در دسترس ۴۳/۶ درصد نشان داد. سایر مشخصات نقطه هدف مطابق جدول (۱۲) بوده و نقطه مذکور در شکل (۸) که تابع سه بعدی عملکرد بر اساس شاخص‌های درصد خاک اره و رژیم رطوبتی را نشان می‌دهد، مشخص شده است. در سناریوی دوم میزان

جدول ۱۲- نقاط بهینه عملکرد محصول تحت سناریوی اول

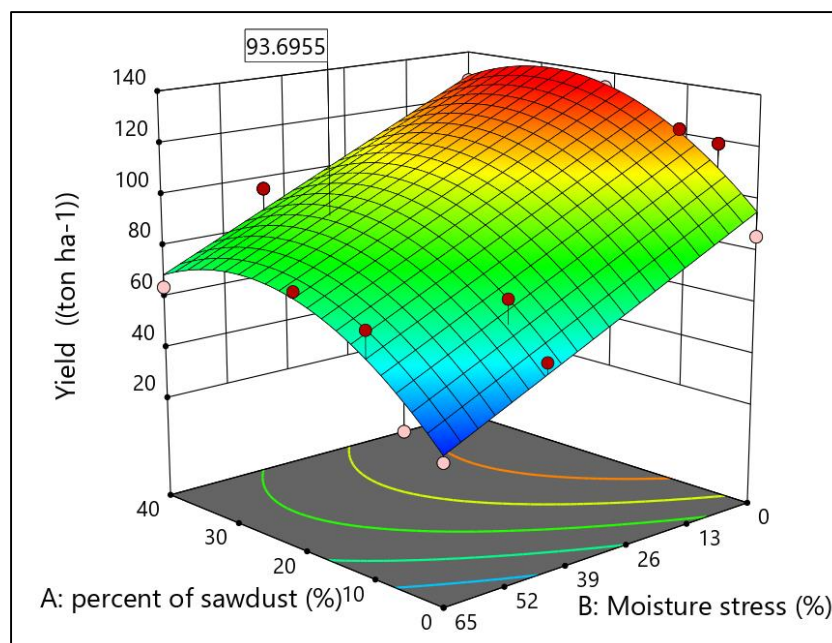
شماره	درصد خاک‌اره (%)	درصد رطوبت در دسترس (%)	عملکرد (Ton.hr ⁻¹)	قطر ریشه اصلی (cm)	وزن تر ریشه (cm ³)	تعداد ریشه جانبی (n)	وزن خشک ریشه (gr)	حجم ریشه (cm ³)	طول ریشه اصلی (cm)
۱	۱۳/۷	۴۳/۶	۸۶/۶	۰/۱۶	۴/۱۸	۷	۰/۶	۴/۷	۳۱/۹

جدول ۱۳- نقاط بهینه عملکرد محصول تحت سناریوی دوم

شماره	درصد خاک‌اره (%)	درصد رطوبت در دسترس (%)	عملکرد (Ton.hr ⁻¹)	قطر ریشه اصلی (cm)	وزن تر ریشه (cm ³)	تعداد ریشه جانبی (n)	وزن خشک ریشه (gr)	حجم ریشه (cm ³)	طول ریشه اصلی (cm)
۲	۲۷/۶	۴۷	۹۳/۶	۰/۱۶	۵	۸	۰/۷۷	۵/۴	۳۰



شکل ۸- مختصات نقطه بهینه بر سطح سه بعدی پاسخ مدل در سناریوی اول



شکل ۹- مختصات نقطه بهینه بر سطح سه بعدی پاسخ مدل در سناریوی دوم

نتیجه گیری

نتایج نشان داد با کاهش رطوبت در دسترس کلیه تیمارها با روند خطی کاهش عملکرد همراه شدند، لیکن با افزایش میزان درصد خاک اره تأثیر مثبتی بر عملکرد محصول در سطوح مختلف رطوبتی مشاهده گردید. نتایج نشان داد تأثیر رژیم رطوبتی بر عملکرد به صورت خطی و تأثیر میزان خاک اره بر عملکرد به صورت تابع درجه دو است که نیازمند بهینه سازی و تعیین نسبت دقیق خاک اره در شرایط رژیم رطوبتی است. لذا در این رابطه باید به این موضوع توجه داشت که استفاده از افزودنی هایی مثل خاک اره باید به گونه ای باشد که ابتدا نسبت مناسب آن برای هر خاک تعیین شود. در این تحقیق نسبت مناسب اختلاط تحت سناریوهای مختلف در خاک لوم-رس-شنی مورد بررسی قرار گرفت که سناریوها، براساس محدودیت خاک اره و عدم محدودیت خاک اره اعمال گردید. نتایج نشان

داد در شرایط عدم کمبود آب و میزان خاک اره، می توان با افزایش ۱۳ درصدی میزان خاک اره، عملکرد محصول را به میزان هشت درصد افزایش داد. علاوه بر این باید این نکته را در نظر داشت که استفاده از خاک اره فقط می تواند بخشی از تأثیرات منفی کاهش رطوبت در دسترس را خنثی نموده و در حالت کلی کاهش عملکرد در کلیه تیمارهای خاک اره در شرایط رژیم رطوبتی مختلف مشاهده گردید، لیکن در کلیه سطوح رطوبتی اعمالی، بالا بودن عملکرد تیمارهای خاک اره نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. همچنین تأثیر مثبت میزان خاک اره بر خصوصیات ریشه به غیر از طول ریشه اصلی، در همه تیمارها مشاهده گردید.

تشکر و قدردانی

این مقاله با حمایت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی طی قرارداد طرح شماره ۲۲۳۴۳، تهیه شده است و از ایشان تشکر و قدردانی می گردد.

فهرست منابع

۱. آذرمی ر، ترابی گیگلو م و حسینی ی، ۱۳۹۸. تأثیر پایه های کدو و تنش آبی بر خصوصیات رشد و عملکرد خیار گلخانه ای. علوم و فنون کشت های گلخانه ای، ۱۰(۱): ۴۷-۵۸.

۲. پاکدل پ، تهرانی‌فرع، نعمتی س ح، لکزیان ا و خرازی س م، ۱۳۹۰. اثر چهار نوع خاکپوش چپیس چوب، کمپوست زباله شهری، خاک‌اره و سنگریزه در سه ضخامت مختلف بر رشد درخت چنار، نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵ (۳): ۲۹۶-۳۰۳.
۳. قائمی م، بخش کلارستانی ک و نبوی کلات س، ۱۳۸۸. مقایسه چند بستر کاشت در خواص کمی خیار گلخانه‌ای رقم نگین در روش آبکشت. یافته‌های نوین کشاورزی، ۴ (۱۴): ۱۵۷-۱۶۶.
۴. محبتی ع ا، نجفی مود م ح، شهیدی ع، خاشعی سیوکی ع، ۱۳۹۷. اثر متقابل سطوح مختلف تنش خشکی و کاربرد ژئولیت بر عملکرد خیار گلخانه‌ای. مجله روابط خاک و گیاه. ۹ (۲): ۵۵-۶۶.
۵. همیان دهکردی م، محمدی قهساره ا، ۱۳۹۰. اثر نوع بستر کشت بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی در خیار گلخانه‌ای. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران. تبریز.
۶. نوابی، ف، ۱۳۷۷، تعیین نقطه بحرانی فسفر و پتاسیم برای محصول پنبه. وزارت جهاد کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب.
7. Ahmad MAF, Maher JT and Ibrahim M M, 2019. Evaluation of different soilless media on growth, quality, and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under greenhouse conditions. 13(08):1388-1401.
8. Al-Debei HS, Makhadmeh I, Abu-Al Ruz I, Al-Abdallat AM, Ayad JY and Al Amin N, 2012. Influence of different rootstocks on growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under the impact of soil-borne pathogens in Jordan. J. Food, Agric. Environ. 10 (2): 343-349.
9. Allaire S, Caron J, Menard C and Dorais M, 2004. Growing media varying in particle size and shape for greenhouse tomato. Acta Horticulture. 644, pp.307-311.
10. Alomran AM, Louki II, Aly AA and Nadeem ME, 2013. Impact of deficit irrigation on soil salinity and cucumber yield under greenhouse condition in an arid environment. Journal of Agricultural Science and Technology, 15: 1247-1259.
11. Amer KH, Sally A and Jerry LH, 2009. Effect of deficit irrigation and fertilization on cucumber, Journal of Agrobiolgy, 101:1556-1564.
12. Assadian F, Niazi A and Ramezani M, 2020. Response Surface Modeling and Optimization of Effective Parameters for Zn(II) Removal from Aqueous Solution Using *Gracilaria Corticata*. Journal of Chemical Health Risks. 10(31):213-224.
13. Asseng A, Ritchie JT and Smuchker AJM, 1998. Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat. Plant Soil. 201: 265-273.
14. Barzegar Hafshjani Z, Mobli M, Khoshgoftar manesh AH and Abedi Kupaie J. 2015. The Effect of adding pamis and bentonite to sawdust on growth traits of greenhouse capsicum. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 6 (21):77-84.
15. Cakir R., Cebib UK., Altintasc S. and Ozdemirba A. 2017. Irrigation scheduling and water use efficiency of cucumber grown as aspring-summer cycle crop in solar greenhouse. Agricultural Water Management, 180: 78-87.
16. De Vries, FT, Liiri ME, Bjørnlund L, Bowker MA, Christensen S, Setala HM and Bardgett RD, 2012. Land use alters the resistance and resilience of soil food webs to drought. Nature Climate Change, 2, pp. 276-280.
17. Doorenbos J. and Kassam A.H. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage paper; no 33.
18. Jahan M and Amiri MB, 2018. Optimizing application rate of nitrogen, phosphorus and cattle manure in wheat production: An approach to determine optimum scenario using response-surface methodology. Journal of soil science and plant nutrition, 18(1): 13-26.
19. Kim, TYL, Sang H, Ku H., Lee SY, 2019. inhancement of Drought Tolerance in CucumberPlants by Natural Carbon Materials plants. 8: 446-462.

20. Li Zh and Yingzhong Xi, 2015. Improving desertified soil properties by incorporating and mulching tree branch in Ningxia province- Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 31(10): 174-181.
21. Mahmoodi-Eshkaftaki M and Rafiee MR, 2020. Optimization of irrigation management: A multi-objective approach based on crop yield, growth, evapotranspiration, water use efficiency and soil salinity, Journal of Cleaner Production, 252:221-232.
22. Osundare OT, Badmus AA and Olatubosun OA, 2019. Effects of organic weed control methods on weed density, phenotypic traits and yield attribute of cucumber (*Cucumis Sativus*). Journal of Biology, Agriculture and Healthcare, 9(10):105-110.
23. Raphael Y, Schwarz D, Krumbein A and Colla G. 2010. Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. Scientia Horticulturae, 127:172-179.
24. Rezaverdinezhad V, Shabanian M, Besharat S and Hasani A. 2017. Determination of crop water requirement, crop coefficient and water use efficiency of greenhouse-grown cucumber and tomato (Case study: Urmia region). Journal of Science & Technology Greenhouse Culture, 8(3):27-40.
25. Soltani M and Soltani J, 2016. Determination of Optimal Combination of Applied Water and Nitrogen for Potato Yield Using Response Surface Methodology (RSM). Biosc. Biotech. Res. Comm. 9(1): 46-54
26. Van Genuchten M. Th. 1987. A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. Research Report, U. S. Salinity Lab. Riverside CA.
27. Wang Z, Liu Z, Zhang Z and Liu X, 2009. Subsurface drip irrigation scheduling for cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in solar greenhouse based on 20cm standard pan evaporation in Northeast China. Scientia Horticulture, 123 (1): 51-57.

Application of Response Surface Methodology in Optimizing Soil Mixing Ratio with Sawdust in Different Soil Moisture Treatments for Greenhouse Cucumber

Y. Hoseini¹

Associate Professor, Moghan College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

y_hoseini@uma.ac.ir

Received: April 2021, and Accepted: November 2021

Abstract

Cucumber is one of the important greenhouse vegetables in Iran and the world. Cucumber is a warm and temperate season crop and is very sensitive to soil moisture regimes conditions. In order to model the effect of mixing soil with sawdust on the yield of greenhouse cucumber under different moisture regimes, an experiment was conducted in a completely randomized block design with three replications. Treatments included sawdust-free treatment (control) and a combination of 5%, 10%, 20%, and 40% sawdust and amount of water were considered at two levels of 45% and 65% of field capacity and a stress-free level. Using response surface method, the results showed that, based on the variables of sawdust percentage and moisture level, the best yield model is the second degree model with a regression coefficient of 0.85. Also, the effect of available moisture levels on yield was linear and, in contrast, the effect of sawdust percentage on yield was a quadratic function. Also, assuming the least available moisture and the lowest percentage of sawdust mixing (i.e. 13.7% of sawdust and 43.6% of field capacity), the highest yield was 86.6 tons/ha with a degree of desirability of 0.6. Also, assuming the least available moisture and change of sawdust between zero to 40 % (27.6% of sawdust and 47% of field capacity), the highest yield was 93.6 tons/ha, with a degree of desirability of 0.8. The results showed that, in any specific moisture regime, with increase in the amount of sawdust, root indices, except the main root length, had an increasing trend with decrease in available water. Besides, in each of the moisture regimes treatments, an increasing trend of yield was observed with increase in the amount of sawdust. Considering the nonlinear effect of changes in moisture regime and sawdust mixing rate on greenhouse cucumber yield, in order to achieve the best yield, sawdust mixing ratio should be determined for each soil.

Keywords: Moisture regimes, Cucumber yield, Root morphological characteristics

¹ - Corresponding author: Moghan College of Agriculture & Natural Resources , University of Mohaghegh Ardabili ,Ardabil , Iran.

Effects of Different Water Salinity Levels on Germination Characteristics of Two Quinoa Cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd)

M. Seilsepour¹

Greenhouse Cultivation Research Department, Tehran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Varamin, Iran.

mseilsep@yahoo.com

Received: July 2021, and Accepted: November 2021

Abstract

In order to investigate effects of water salinity on germination characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), an experiment was conducted in a factorial and randomized complete blocks design with 10 treatments and three replication, in 2020. Salinity factor was considered at five levels (zero, 5, 10, 15 and 20 dS/m) and cultivars at two levels (Titicaca and Redcardina). Effects of salinity, cultivar, and their interaction were significant on germination percentage and its rate, length of shoot, root and seedling, vigor index, stem and root tolerance index. All characteristics were significantly reduced by salinity stress, with higher reduction in Redcardina than Titicaca. Salinity stress up to 5 dS/m had no significant effect on seed germination percentage of Titicaca, while in Redcardina, difference in germination percentage between distilled water (control) and salinity of 5 dS/m was significant. The highest germination percentage (100%) was obtained in treatment without salinity for both Titicaca and Redcardina. Germination percentage at salinity levels of 5, 10, 15 and 20 dS/m in Titicaca decreased by 1.4%, 4.9%, 14.3%, and 21%, and in Redcardina, by 2.6%, 6.6%, 18.3%, and 29.7% compared to the control. Stem length of cultivars at salinity levels of 5, 10, 15 and 20 dS/m compared to the control treatment were reduced by 6.8%, 14%, 27.6%, and 39.6% for Titicaca and 7.3%, 19.9%, 43.7% and 53.8% for Redcardina, respectively. This percentage reduction for root length of Titicaca was 2.1%, 12.6%, 32.6%, and 44.2% and for Redcardina was 6.4%, 21.2%, 38.2% and 57.9%. Salinity stress of 5, 10, 15 and 20 dS/m caused the dry weight of seedlings of Titicaca to decrease by 12.7%, 27.1%, 36.8% and 46.6% and in Redcardina by 11.4%, 27.8%, 45%, and 57.1%. Based on the results, Redcardina cultivar was more sensitive to salinity stress during germination than Titicaca.

Keyword: Germination percentage, Quinoa Redcardina cultivar, Quinoa Titicaca cultivar, Seedling dry weight

¹ - Corresponding author: Tehran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Varamin, I.R.Iran.

Estimation of Crop Coefficients in Different Stages of Growth and Water Requirement of *Nigella sativa* L. in Arid Region of Birjand, Iran

E. Ostadi, A. Khasheisiuki, and A. Salari ¹

PhD student of irrigation and drainage Engineering, University of Zabol.

Ostadielyas@yahoo.com

Associated Professor of water engineering Dept. University of Birjand.

Abbaskhashei@birjand.ac.ir.

Assistant Professor, Department of Sciences and Water Engineering, Minab Higher Education Center University of Hormozgan. Salari.1361@yahoo.com

Received: June 2021, and Accepted: November 2021

Abstract

The necessity of increasing economical productivity of agriculture and the increasing global demand for medicinal plants and considering the low water requirement of these plants have shifted the cropping pattern to their benefit. Water needs of *Nigella sativa* L., an important medicinal plant, was not known, therefore, we aimed to determine its water needs. (ET_c) and crop coefficients (K_c) for different phenological stages in arid conditions of Birjand, in 2018. In order to conduct the research, three weighing lysimeters (with a diameter of 20 cm and a height of 16 cm) were used in three replications. Actual daily evapotranspiration was estimated by water balance in lysimeters and reference evapotranspiration was calculated based on 12 cm grass. The results showed that, in the initial stage, the rate of evapotranspiration was low, in the developmental stage it had an increasing trend, and after stabilization in the middle stage, with the onset of aging in the maturity stage of growth, the rate of evapotranspiration decreased. Actual and reference crop evapotranspiration was obtained as 670 mm and 1439 mm, respectively. The values of crop coefficients in the initial, development, middle, and final stages were obtained as 0.39, 0.53, 0.59, and 0.28, respectively. The general conclusion of the research is that by using the values of crop coefficients and water requirement, it is possible to cultivate this crop with maximum water productivity in the arid region of Birjand.

Keywords: Evapotranspiration, Irrigation scheduling, Micro-lysimeter

¹ - Corresponding author: Department of Water Sciences and Engineering, Minab Higher Education Center University of Hormozgan.

Investigating the Factors Affecting the Physical and Economic Productivity of Water in Production of Orange in Ghaemshahr County, Iran

H. Ebarhimnezhad, A. Keramatzadeh ¹, F. Eshraghi, and A. Rezaei

M.Sc. Student, Dept. of Agricultural Economics, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. hosein.ebr1396@gmail.com

Assistant Prof., Dept. of Agricultural Economics, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. alikeramatzadeh@gau.ac.ir

Assistant Prof., Dept. of Agricultural Economics, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. f_eshraghi@yahoo.com

Assistant Prof., Dept. of Agricultural Economics, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. azam.rezaee12@gmail.com

Received: May 2021, and Accepted: November 2021

Abstract

One of the important problems in the agricultural sector of Iran is the low productivity of inputs, especially water. In this study, in addition to determining the physical and economic productivity of water, the factors affecting these productivities in the production of orange in Ghaemshahr County of Mazandaran Province were also investigated. For these purposes, three indexes of water use productivity including crop per drop (CPD), Gross benefit per drop (BPD), and net benefit per drop (NBPD) were used. Also, regression analysis was used to investigate the factors affecting water productivity. Necessary information was collected by completing 162 questionnaires from gardeners in the study area in 2018-19. Data analysis was also performed using EvIEWS7 software. The results of the analysis of water productivity indices showed that the average CPD index for orange was 6.9 kg /m³, BPD index was 47500 Rials and NBPD at three interest rates of 10%, 12%, and 15% was 29000, 28000, and 26600 Rials, respectively. Well's discharge rate, days when wells were used, time spent for irrigation, the number of irrigations, age of trees, the distance between the trees, age of trees, cost of pesticide, and cost of fertilizer were the factors affecting water productivity. Among the mentioned variables, the variable of "time spent for irrigation" had the greatest effect on the physical water productivity, through the effect on the amount of irrigation water. Due to the negative effect of well discharge rate, the number of irrigations, and time spent on irrigation on the economic productivity of water, it is recommended to irrigate the orange trees in accordance with their needs and in a way that less water is applied.

Keywords: Crop per Drop, Production Cost, Gross Income, Net Income, Regression Analysis

¹ - Corresponding author: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Effect of Deficit Drip Irrigation on Yield and Water Use Efficiency of Single Cross Corn 704

M. Amerian, S. E. Hashemi Garmdareh¹, and A. Karami

MSc Graduate, Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, College of Aburaihan, University of Tehran. mohammad.amerian94@gmail.com

Assistant Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, College of Aburaihan, University of Tehran. sehashemi@ut.ac.ir

MSc Graduate, Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, College of Aburaihan, University of Tehran. arezuk252@gmail.com

Received: December 2020, and Accepted: September 2021

Abstract

Lack of water resources, especially in the agricultural sector, is one of the common problems in sustainable development. For this purpose, the present study was conducted to investigate the effect of deficit drip irrigation method on yield, yield components, and water use efficiency of corn (single cross 704), in the crop year 2017-2018 in the research farm of College of Aburaihan, University of Tehran, in Pakdasht City. The experiment was performed as a randomized complete block with three levels of 100% (D₁), 75% (D₂) and 55% (D₃) water requirement of corn in three replications. The highest biomass yield was observed at the level of 100%, and with the application of 75% and 55% deficit irrigation, crop yield decreased by 25% and 50%, respectively. Also, the highest grain yield was 14805 kg/ha in 100% treatment and the lowest was 10227 kg/ha in 55% level. The highest biomass water use efficiency was obtained for the treatment of 75% drip irrigation and was equal to 3.55 kg/m³ of water consumption. Therefore, it can be said that a drip irrigation system with 75% water requirement is the optimal system and its use is recommended.

Keywords: Grain yield, Corn biomass, Crop water requirement

¹ - Corresponding author: Water Engineering Department, Collage of Aburaihan, University of Tehran, Pakdasht.

Estimation of Water Requirement and Crop Coefficients of Rice Cultivars Kuhsar and Hashemi in Different Cultivation Systems

**N. Jalali Koutenaei, A. Shahnazari¹, M. K. Ziatabar Ahmadi,
M. Khoshravesh, and M. Rezaei**

PhD Student, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

Njalali2000@yahoo.com

Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

Aliponh@yahoo.com

Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

mzahmadi@yahoo.com

Associate Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. **khoshravesh_m24@yahoo.com**

Research Instructor, Rice Research Institute of Iran, Rasht, Iran.

mrezaei@yahoo.com

Received: November 2020, and Accepted: September 2021

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of irrigation management on water requirement and crop coefficient of Hashemi and Kuhsar cultivars in the first crop. This experiment was carried out in Mahmoudabad District of Mazandaran Province in Iran in the form of factorial in a randomized complete block design, in two growing seasons of 2016-2018. The water requirements for the fields (from transplanting to harvest) and the crop coefficient of these two cultivars were studied in two systems of traditional flooding and system of rice intensification (SRI). The results showed that, in the first crop, the two-year average water requirements of Kohsar and Hashemi in SRI were 534 and 556 mm and for the traditional flooding system 623 and 632 mm, respectively. The water required by the farm in traditional flooding decreased by 13.1% in the SRI. Based on reference evapotranspiration using pan evaporation method for the three stages of vegetative, reproductive, and maturing, crop coefficient values for the flooding system for Kuhsar were, respectively, 1.14, 1.29, and 0.92; and for Hashemi, they were 1.18, 1.32, and 0.92. According to the obtained results, SRI causes significant savings in paddy water consumption, therefore, it is suggested that, due to water shortage in the country, this method be used as one of the adaptation strategies in rice fields.

Keywords: Paddy fields, Reference evapotranspiration, Pan Evaporation method, Traditional rice cultivation

¹ - Corresponding author: Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

Comparison of Drip Irrigation with Surface Irrigation and Monitoring Soil Salinity in Wheat and Corn Irrigated with Brackish Water

A. Mokhtaran¹, P. Varjavand, H. Dehghanisanij, S. Absalan, A. Azizi, and
A. Jafarnejadi

Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahwaz, Iran. alimokhtaran@gmail.com

Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, (AREEO), Ahwaz, Iran. pvarjavand@yahoo.com

Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), (AREEO), Karaj, Iran. dehghanisanij@yahoo.com

Instructor, Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, (AREEO), Ahwaz, Iran. sh_absalan@yahoo.com

Instructor, Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, (AREEO), Ahwaz, Iran. a.azizi@yahoo.com

Associate Professor, Soil and Water Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, (AREEO), Ahwaz, Iran. arjafarnejady@gmail.com

Received: January 2021, and Accepted: September 2021

Abstract

This study was conducted to compare and monitor drip and surface irrigation systems for corn and wheat crops in three planting seasons from summer 2016 to spring 2018 in one of the agricultural research stations in Khuzestan, located in Ahwaz. The source of irrigation water was Karun River with salinity of 3 dS/m in Ahwaz section. This study was performed using randomized complete blocks design with three replications. The basis of blocking in corn cultivation was 2 and 4 days irrigation intervals, and in wheat cultivation, the distances between drip lines were 40, 60, and 75 cm. The results showed that the volume of water used in the drip system for corn and wheat was 24% and 32% lower than the surface irrigation system, respectively. Also, water productivity in the drip system was higher than surface irrigation system by 16% and 21%, for corn forage and grain, respectively, and by 35% for wheat. Wheat water productivity for different distances of drip lines was not significantly different. Therefore, in heavy-textured soils, drip irrigation lines at 75 cm spacing can be used for wheat cultivation. In soil monitoring analysis, the drip system reduced soil quality such that, after three planting seasons, the initial non-saline-sodic soil ($EC_e = 3.09 \text{ dS / m}$, $ESP = 6.18\%$) became saline ($EC_e = 7.63 \text{ dS / m}$, $ESP = 12.63\%$). Despite accumulation of salts at the periphery of the wetted soil under the drippers, the plants had a better growth and yield in the drip system than the surface irrigation, because of the high soil water potential around the roots and under the drippers, which reduced salt effects. The results of this study showed that if a drip system is used for the climate similar to the central and southern regions of Khuzestan, land drainage and leaching operations at the end of the growing season are necessary to protect the soil.

Keywords: Modern irrigation system, Water productivity, Irrigation regime

¹-Corresponding author: Ahwaz, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center Agricultural Engineering Research Department.

Comparison of Drip Irrigation with Surface Irrigation and Monitoring Soil Salinity in Wheat and Corn Irrigated with Brackish Water.....15

A. Mokhtaran, P. Varjavand, H. Dehghanisanij, S. Absalan, A. Azizi, and A. Jafarnejadi

Estimation of Water Requirement and Crop Coefficients of Rice Cultivars Kuhsar and Hashemi in Different Cultivation Systems.....16

N. Jalali Koutenaei, A. Shahnazari, M. K. Ziatabar Ahmadi, M. Khoshravesh, and M. Rezaei

Effect of Deficit Drip Irrigation on Yield and Water Use Efficiency of Single Cross Corn 704...17

M. Amerian, S. E. Hashemi Garmdareh, and A. Karami

Investigating the Factors Affecting the Physical and Economic Productivity of Water in Production of Orange in Ghaemshahr County, Iran.....18

H. Ebarhimnezhad, A. Keramatzadeh, F. Eshraghi, and A. Rezaei

Estimation of Crop Coefficients in Different Stages of Growth and Water Requirement of *Nigella sativa* L. in Arid Region of Birjand, Iran.....19

E. Ostadi, A. Khasheisiuki, and A. Salari

Effects of Different Water Salinity Levels on Germination Characteristics of Two Quinoa Cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd).....20

M. Seilsepour

Application of Response Surface Methodology in Optimizing Soil Mixing Ratio with Sawdust in Different Soil Moisture Treatments for Greenhouse Cucumber21

Y. Hoseini

Ministry of Jihad-e-Agriculture
Agricultural Research, Education, and Extension Organization
Soil and Water Research Institute

Journal of Water Research in Agriculture

Vol. 35, No. 3
2021

***Manager-in-Charge:* Hadi Asadi Rahmani, PhD**
Director General, Soil and Water Research Institute

***Editor-in-Chief:* Hamid Siadat, PhD**
Professor (Research), Soil and Water Research Institute

Editorial Board

Mohammad Bybordi, PhD
Naser Davatgar, PhD
Niaz Ali Ebrahimi Pak, PhD
Nader Heydari, PhD
Heydar Ali Kashkuli, PhD
Abdolmajid Liaghat, PhD
Mohammad Hosein Mahdian, PhD
Seyed Majid Mirlatifi, PhD
Seyed Farhad Moosavi, PhD
Ebrahim Pazira, PhD

Senior University Lecturere
Associate Prof, Soil and Water Research Ins
Associate Prof, Soil and Water Research Ins
Associate Professor, Iranian Agricultural Engineering
Research Institute (AERI)
Prof., Azad University, Ahvaz
Prof., University of Tehran
Prof., (research) of Agricultural Rersearch Education and
Extention Organization
Prof., Tarbiat Moddarres University, Tehran
Invited Prof., Semnan University
Prof., Azad University, Tehran

English Editor
Design

Hamid Siadat, PhD
Fatemeh Aghajani

Postal Address: P. O. Box: 317793545, Karaj – IRAN
Tel / Fax: 026-36220160
Soil and Water Research Institute Website: www.swri.ir
Journal Website: <http://www.wra.areo.ir>



Journal of Water Research in Agriculture

wra.areeo.ir



Volume 35/ No 3/ 2021

ISSN: 2228-7140

Contents

Subject

Page

Comparison of Drip Irrigation with Surface Irrigation and Monitoring Soil Salinity in Wheat and Corn Irrigated with Brackish Water.....15

A. Mokhtaran, P. Varjavand, H. Dehghanisanij, S. Absalan, A. Azizi, and A. Jafarnejadi

Estimation of Water Requirement and Crop Coefficients of Rice Cultivars Kuhsar and Hashemi in Different Cultivation Systems.....16

N. Jalali Koutenaei, A. Shahnazari, M. K. Ziatabar Ahmadi, M. Khoshravesh, and M. Rezaei

Effect of Deficit Drip Irrigation on Yield and Water Use Efficiency of Single Cross Corn 704...17

M. Amerian, S. E. Hashemi Garmdareh, and A. Karami

Investigating the Factors Affecting the Physical and Economic Productivity of Water in Production of Orange in Ghaemshahr County, Iran.....18

H. Ebarhimnezhad, A. Keramatzadeh, F. Eshraghi, and A. Rezaei

Estimation of Crop Coefficients in Different Stages of Growth and Water Requirement of *Nigella sativa* L. in Arid Region of Birjand, Iran.....19

E. Ostadi, A. Khasheisiuki, and A. Salari

Effects of Different Water Salinity Levels on Germination Characteristics of Two Quinoa Cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd).....20

M. Seilsepour

Application of Response Surface Methodology in Optimizing Soil Mixing Ratio with Sawdust in Different Soil Moisture Treatments for Greenhouse Cucumber21

Y. Hoseini