



پژوهش آب در کشاورزی

Wra.areeo.ac.ir

ISSN: 2228-7140

ب / جلد ۳۶ / شماره ۳ / سال ۱۴۰۱

صفحه

عنوان

- ارزیابی فناوری سنجش از دور در برآورد تبخیر- تعرق گیاه یونجه با استفاده از داده‌های تبخیر- تعرق برآورد شده توسط لایسیمتر در استان‌های البرز و چهارمحال و بختیاری..... ۲۵۳
حسین جعفری و علی مرشدی
- ارزیابی اثرات کم آبیاری بر عملکرد، اجزاء عملکرد، محتوای پروتئین و بهره‌وری آب چهار رقم ذرت دانه‌ای در گرگان..... ۲۶۹
منصور اسمعیلی، محمدرضا داداشی، محمدتقی فیض‌بخش، کامی کابوسی و فاطمه شیخ
- بررسی امکان استفاده گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis.L*) از آب زیرزمینی کم‌عمق با کیفیت‌های مختلف..... ۲۸۷
هوشنگ قمرنیا، سجاد امیری و مهتاب نکوکیش
- تأثیر سامانه آبیاری فیلای بر بهره‌وری آب و برخی صفات رشد گیاه گوجه‌فرنگی در کشت گلخانه‌ای..... ۲۹۹
مهدی رضایی خرمنانی، مهدی اکبری و مهدی کوچک‌زاده
- بررسی ابعاد زهکش روباز در اراضی تجهیز، نوسازی و یکپارچه‌سازی شده شالیزاری..... ۳۱۳
طاهره غلامی اسطخکی کوهی، مریم نوابیان و مهدی اسمعیلی‌ورکی
- راهکارهای بهینه‌کاوای فرآیند صدور مجوز سامانه‌های نوین آبیاری..... ۳۲۹
ندا علیزاده، حمیدرضا وجدانی و علیرضا نیکویی
- بررسی اثر متقابل کم آبیاری و آب مغناطیسی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب گیاه همیشه بهار..... ۳۴۳
صابر جمالی، حسین انصاری و عباس صفری‌زاده ثانی

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

جلد ۳۶ شماره (۳)
۱۴۰۱

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 سیولیکا: <https://civilica.com>
پایگاه با نك اطلاعات نشریات کشور (Magiran): <https://www.magiran.com>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

- ارزیابی فناوری سنجش از دور در برآورد تبخیر- تعرق گیاه یونجه با استفاده از داده‌های تبخیر- تعرق برآورد شده توسط
 لایسیمتر در استان‌های البرز و چهارمحال و بختیاری..... ۲۵۳
 حسین جعفری و علی مرشدی
- ارزیابی اثرات کم‌آبیاری بر عملکرد، اجزاء عملکرد، محتوای پروتئین و بهره‌وری آب چهار رقم ذرت دانه‌ای در گرگان..... ۲۶۹
 منصور اسمعیلی، محمدرضا داداشی، محمدتقی فیض‌بخش، کامی کابوسی و فاطمه شیخ
- بررسی امکان استفاده گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis.L*) از آب زیرزمینی کم‌عمق با کیفیت‌های مختلف..... ۲۸۷
 هوشنگ قمرنیا، سجاد امیری و مهتاب نکوکیش
- تأثیر سامانه آبیاری فنیله‌ای بر بهره‌وری آب و برخی صفات رشد گیاه گوجه‌فرنگی در کشت گلخانه‌ای..... ۲۹۹
 مهدی رضایی خرمناقی، مهدی اکبری و مهدی کوچک‌زاده
- بررسی ابعاد زهکش روباز در اراضی تجهیز، نوسازی و یکپارچه‌سازی شده شالیزاری..... ۳۱۳
 طاهره غلامی اسطخانی کوهی، مریم نوابیان و مهدی اسمعیلی‌ورکی
- راهکارهای بهینه‌کاوای فرآیند صدور مجوز سامانه‌های نوین آبیاری..... ۳۲۹
 ندا علیزاده، حمیدرضا وجدانی و علیرضا نیکویی
- بررسی اثر متقابل کم‌آبیاری و آب مغناطیسی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب گیاه همیشه بهار..... ۳۴۳
 صابر جمالی، حسین انصاری و عباس صفری‌زاده ثانی

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

مجله علمی 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 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 کاربردن 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	B Lotus پررنگ	14
متن مقاله	B Lotus	12
عناوین بخش های مقاله	B Lotus پررنگ	12
نام مؤلفان	B Lotus پررنگ	12
کلمه چکیده و کلمات کلیدی	B Lotus پررنگ	12
عناوین جداول و اشکال	B Lotus پررنگ	11
متن جداول و شکل ها و منابع	B Lotus	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 پارگراف باشد. چکیده انگلیسی باید ترجمه کامل چکیده فارسی باشد

واژه‌های کلیدی

واژه های 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 نمونه‌گیری، اندازه‌گیریهای 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 عنوان‌هایی 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، سرستون‌ها و متن جدول تشکیل می‌شود. 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 نشانه‌های 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

یافته‌های جدید و مهم باید با یافته‌های موجود در منابع مقایسه شود و دلایل قبول و رد آنها مورد بحث قرار گیرد، از تکرار یافته‌ها خودداری شود. مروری بر مقالات گذشته در این بخش گنجانده شود، محدودیت‌های مطالعه باید مورد توجه قرار گیرد. راهکارهای جدید و فرضیه‌های جدید پیشنهاد گردد، یافته‌های جدید و یافته‌های پیش‌بینی 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 نویسنده (گان) می‌توانند از اشخاص، سازمانها و افراد ذیربطی که در اجرای تحقیق همکاری داشته‌اند، 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 b، a 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 نویسنده ای 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 فوق الذکر، مقاله پذیرفته نمی شود و پیش از بررسی به اطلاع نویسنده مسئول می رسد. بدیهی است چنانچه مقاله ارسالی با شرایط ذکر شده تهیه و عودت داده شود مجدداً از زمان برگشت که تاریخ واقعی مقاله منظور می شود مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

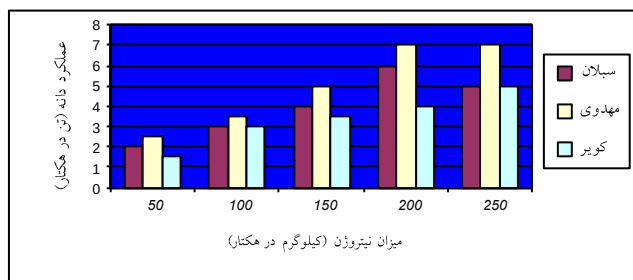
جدول نامناسب

بافت	Mgex ch	Kavail.	Pavai l	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	۷/۸	۶۰-۹۰

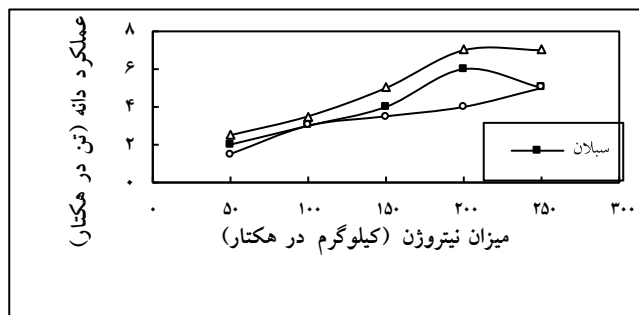
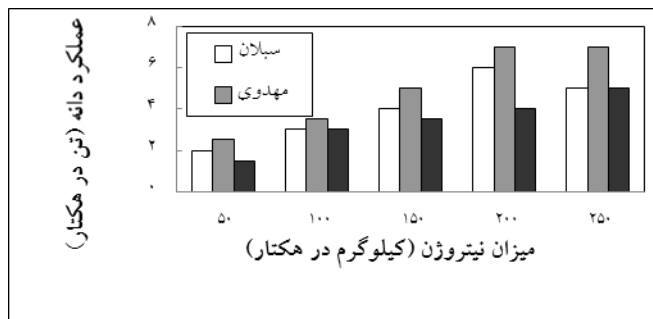
جدول مناسب

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

شکل نامناسب



شکل مناسب



دکتر محمدرضا امداد.....	۱ دآوری
دکتر حسین بانزاد.....	۱ دآوری
دکتر آرش تافته.....	۱ دآوری
دکتر آناهیتا جباری.....	۳ دآوری
دکتر نادر حیدری.....	۱ دآوری
دکتر مجتبی خوشروش.....	۲ دآوری
دکتر حسین دهقانی سانیچ.....	۲ دآوری
دکتر محمدحسین رحیمیان.....	۱ دآوری
دکتر علی قدمی فیروزآبادی.....	۱ دآوری
مهندس فاطمه کیخایی.....	۳ دآوری
مهندس رضا محمدی کیا.....	۱ دآوری
دکتر فاطمه مسکینی.....	۴ دآوری
دکتر منصور معیری.....	۱ دآوری
دکتر فرهاد میرزایی.....	۱ دآوری
دکتر میلاد نوری.....	۵ دآوری
دکتر محمدرضا یزدانی.....	۱ دآوری
مهندس هوشنگ یزدانی.....	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

ارزیابی فناوری سنجش از دور در برآورد تبخیر- تعرق گیاه یونجه با استفاده از داده‌های تبخیر- تعرق برآورد شده توسط لایسیمتر در استان‌های البرز و چهارمحال و بختیاری

حسین جعفری^۱ و علی مرشدی

استادیار پژوهشی موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

jafari52_h@yahoo.com

استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد،

ایران. alimorshedi2000@gmail.com

دریافت: مهر ۱۴۰۰ و پذیرش: شهریور ۱۴۰۱

چکیده

به دلیل برخی مشکلات در استفاده از لایسیمتر برای برآورد تبخیر- تعرق، مانند هزینه‌های فراوان، زمان‌بر بودن و تعمیم داده‌ها به سطح وسیعی از مزرعه، فناوری سنجش از دور برای این منظور در کانون توجه قرار گرفته است. این مطالعه با هدف برآورد تبخیر- تعرق گیاه یونجه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مقایسه و صحت‌سنجی آن‌ها با داده‌های برآورد شده از لایسیمتر، در طول سه سال زراعی (۱۳۹۹-۱۳۹۶)، در دو استان البرز و چهارمحال و بختیاری اجرا شد. در این پروژه مقدار تبخیر- تعرق یونجه در طول دوره رشد به دو روش: استفاده از ماهواره لندست ۸ در قالب الگوریتم سبال و استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار برآورد و نتایج مقایسه شد. چون تصاویر ماهواره‌ای تبخیر- تعرق گیاهان را در شرایط واقعی و لایسیمترها تبخیر- تعرق را در شرایط استاندارد ارائه می‌دهند، برای جلوگیری از ورود خطا، در این پروژه، تبخیر- تعرق پیکسل‌های سرد که دارای شرایط استاندارد هستند استفاده شد. میانگین مقدار نیاز خالص آب آبیاری یونجه در دو استان البرز و چهارمحال و بختیاری توسط لایسیمتر زهکش‌دار به ترتیب ۱۳۸۳ و ۱۰۸۷ میلی‌متر به دست آمد. تبخیر- تعرق به‌دست آمده از ماهواره و لایسیمتر در هر دو استان نشان از همبستگی نسبتاً مناسب بین تبخیر- تعرق حاصل از لایسیمتر و ماهواره داشت. در استان البرز و استان چهارمحال و بختیاری ضریب تبیین (R^2) به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۷۶ حاصل شد. افزون بر این، پراکندگی داده‌های این دو روش نسبت به میانگین کم بود و مقدار تبخیر- تعرق برآورد شده توسط لایسیمتر بیشتر از مقدار تبخیر- تعرق برآورد شده توسط ماهواره بود. در مجموع با توجه به مزایای فراوانی که ماهواره در برآورد تبخیر- تعرق دارد، از جمله ساده و ارزان بودن و دربر گرفتن سطح وسیعی از مزرعه، توصیه می‌شود از این فناوری برای برآورد آب مصرفی گیاهان زراعی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: نیاز آبی یونجه، آب مصرفی گیاه، لایسیمتر زهکش‌دار، الگوریتم سبال

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: موسسه تحقیقات خاک و آب، بخش آبیاری و فیزیک خاک، کرج.

مقدمه

سطح برداشت یونجه در کل کشور در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ حدود ۶۲۳ هزار هکتار برآورد شده که سهم اراضی آبی ۹۰/۹ درصد و سهم اراضی دیم ۹/۱ درصد است. همچنین میزان تولید یونجه کشور حدود ۶/۲ میلیون تن برآورد شده که سهم اراضی آبی ۹۷/۶ درصد و سهم اراضی دیم ۲/۴ درصد است. از نظر عملکرد کشوری، ۱۰۶۵۷ کیلوگرم عملکرد یونجه آبی و ۲۶۲۱ کیلوگرم عملکرد یونجه دیم در هکتار است. سطح زیر کشت یونجه (آبی و دیم) در استان‌های البرز و چهارمحال و بختیاری به ترتیب برابر با ۲۷۵۴ و ۱۳۷۹۰ هکتار است (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۹).

برآورد تبخیر- تعرق به کمک فناوری سنجش از دور، برتری‌های متعددی بر اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای تبخیر- تعرق دارد، از جمله: الف- این فناوری در زمان اندکی به پوشش مکانی گسترده و پیوسته تبخیر- تعرق دست می‌یابد؛ ب- این فناوری برای تهیه اطلاعات مکانی (فضایی) نیاز به هزینه اندکی دارد؛ پ- استفاده از این فناوری به خصوص در مناطقی که نصب و استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی و یا سایر ابزارها مشکل یا غیرممکن است، امکان‌پذیر است (باستیانسن و همکاران، ۱۹۹۸).

مختاری (۲۰۰۵) برای ارزیابی عملکرد زیست- توده و تبخیر- تعرق، الگوریتم سبال را برای دو محصول چغندرقد و ذرت در دشت برخوار استان اصفهان به کار برد. نتایج این مطالعه نشان داد که تبخیر- تعرق محاسبه‌شده با استفاده از الگوریتم سبال برای چغندرقد حدود ۲۰ درصد پایین‌تر و برای ذرت ۱۵ درصد بالاتر از روش فائو ۵۶ بود.

غلامی سفیدکوهی و همکاران (۱۳۸۹) کاربرد سری زمانی ۱۶ روزه شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) تصاویر سنجنده برای محاسبه مقادیر تبخیر- تعرق واقعی گندم در طول دوره رشد در یک سطح وسیع (حوضه گرگانرود) را با استفاده از

اطلاعات ماهواره‌ای و زمینی بررسی کردند. نتایج آماری حاصل از روش بکار رفته در این تحقیق نسبت به روش فائو ۵۶ نشان داد که استفاده از این روش دارای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) ۱۸ میلی‌متر، میانگین خطای مطلق (MAE) ۱۶ میلی‌متر، میانگین خطا (ME) ۱/۱- میلی‌متر و شاخص خطا (E) ۱/۱۹ درصد در کل فصل رشد گندم بود.

سهیلی‌فر و همکاران (۱۳۹۲) از داده‌های مودیس در الگوریتم سبال برای برآورد تبخیر- تعرق (ET_a) در کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک‌خان استان خوزستان استفاده کردند. از مقایسه ET_a برآورد شده از سبال با ET₀ اندازه‌گیری شده از روش پنمن-مانیت-فائو ۵۶ ضریب همبستگی برابر با ۰/۷۷ و RMSE برابر با ۰/۶۶ میلی‌متر بر روز به دست آمد.

جوانشیر و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی عملکرد الگوریتم سبال کوهستانی در برآورد تبخیر- تعرق واقعی در شهرستان‌های شرق دریاچه ارومیه نتیجه گرفتند که مقدار تبخیر- تعرق واقعی محاسبه شده از الگوریتم سبال برای گیاه مرجع در مرحله ابتدایی رشد، مرحله توسعه، مرحله میانی و پایانی رشد به ترتیب حداکثر ۱۸/۶۶، ۲۳/۹۹، ۱۴/۹۶ و ۱۶/۳ میلی‌متر در روز است. نتایج حاصل نشان داد که الگوریتم سبال قادر است پاسخ‌های معتبری را با صحت و دقت کافی در زمان نسبتاً کوتاهی ارائه نماید و به‌عنوان روشی کارآمد و سودمند در سازمان‌دهی منابع آب و بهینه‌سازی مصرف در تأمین نیاز آبی گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد (جوانشیر و همکاران ۱۴۰۰).

ملک‌پور و همکاران (۱۳۹۵) مقادیر تبخیر- تعرق و ماده خشک تولیدی در دشت قزوین با استفاده از الگوریتم سبال و برای ۵ تصویر گرفته‌شده از ماهواره لندست ۵ محاسبه کردند. نتایج اجرای الگوریتم سبال با داده‌های لایسمتر زهکش‌دار موجود در منطقه ارزیابی شد که مقدار ضریب تبیین ۰/۹۹۴۸ و میانگین تفاضل مطلق آن‌ها ۰/۴۴۶ میلی‌متر بر روز به دست آمد. این نتیجه نشان از دقت

مناسب روش سنجش از دور در تخمین تبخیر- تعرق در سطح دشت دارد (ملک‌پور و همکاران، ۱۳۹۵).

زمان‌ثانی و همکاران (۱۳۹۶) در ارزیابی برآورد تبخیر- تعرق گیاه گندم با استفاده از الگوریتم سبال در شهرستان حاجی‌آباد و مقایسه نتایج حاصل از آن با داده‌های لایسیمتر، نشان داد که میانگین تفاضل مطلق بین نتایج یاد شده ۰/۷ میلی‌متر در روز و ضریب همبستگی برابر ۰/۸۳ است. بررسی آماری نتایج با آزمون تی نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین نتایج حاصل از الگوریتم سبال و لایسیمتر وجود ندارد (زمان‌ثانی و همکاران، ۱۳۹۶).

راموس و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از الگوریتم سبال، تبخیر- تعرق منطقه فلومن دشت ابرو در شمال شرقی اسپانیا را بررسی و با مقادیر لایسیمتری مقایسه نمودند. نتایج به دست آمده نشان که داد الگوریتم سبال قادر به برآورد دقیق تبخیر- تعرق روزانه برای گندم، ذرت و چمن بوده است.

نوری و فرامرزی (۱۳۹۶) در بررسی تبخیر- تعرق کاربری‌های مختلف اراضی مناطق کوهستانی با استفاده از الگوریتم سبال و ترکیب تصاویر ماهواره‌ای مودیس و لندست ۸ نشان دادند که در برآورد تبخیر- تعرق روزانه، به طور میانگین ۰/۴۳ درصد اختلاف میان روش سبال و روش پنمن-مانتیت فائو ۵۶ وجود دارد و نتیجه گرفتند که می‌توان تبخیر- تعرق ساعتی و روزانه را برای منطقه در دست مطالعه با دقتی مناسب برآورد کرد.

کریمی و همکاران (۱۳۹۱) در برآورد تبخیر- تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از الگوریتم سبال در دشت ماهیدشت کرمانشاه، نشان دادند که حداکثر درصد خطا بین تبخیر- تعرق محاسبه شده برای محصول ذرت با الگوریتم سبال و مقادیر اندازه‌گیری شده در لایسیمتر کمتر از ده درصد بود.

جورج و همکاران (۲۰۱۳) میزان تبخیر- تعرق واقعی به دست آمده از الگوریتم سبال را در ایالت تگزاس امریکا مورد ارزیابی قرار دادند. میزان میانگین ریشه مربعات

خطای به دست آمده از الگوریتم سبال حاصل از این تحقیق برابر ۰/۱۵ میلی‌متر در روز بود.

مطالعه‌ای توسط روات و همکاران (۲۰۱۷) برای ارزیابی برآورد واقعی تبخیر- تعرق گندم در منطقه هاریانا کشور هند با استفاده از روش‌های الگوریتم سبال، لایسیمتر و روش فائو ۵۶ انجام شد. نتایج همبستگی خوبی بین سبال با داده‌های لایسیمتری ($r=0.85$) و ریشه میانگین مربعات خطای کمی با روش فائو ۵۶ ($RMSE=0.56$) نشان داد. بانسوله و همکاران (۱۳۹۵) در ارزیابی برآورد تبخیر- تعرق واقعی ذرت در مراحل مختلف رشد با استفاده از الگوریتم سبس و تصاویر لندست، آزمایشی در ماهیدشت کرمانشاه اجرا کردند. در این آزمایش، پس از یکسان نمودن شرایط رشد در لایسیمتر و مزرعه، مقدار آب مصرفی، تبخیر- تعرق واقعی ذرت، همزمان با استفاده از یک لایسیمتر زهکش‌دار که در آن ذرت کشت شده بود اندازه‌گیری و با نتایج الگوریتم سبال مقایسه شد. حداکثر اختلاف بین تبخیر- تعرق برآورد شده با الگوریتم سبال در مزرعه ذرت و مقادیر اندازه‌گیری شده درون لایسیمتر ۰/۳۴ میلی‌متر در روز تعیین گردید که معادل ۴/۵۶ درصد تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده در همان روز بود.

بالا و همکاران (۲۰۱۵) برای ارزیابی و اعتبار سنجی تبخیر- تعرق با استفاده از الگوریتم سبال و داده‌های لایسیمتری، آزمایشی بر اساس داده‌های لندست ۷ (رزولوشن ۳۰ متر) در زمین‌های کشاورزی مؤسسه تحقیقات کشاورزی هند اجرا نمودند. تبخیر- تعرق حاصل از دو روش لایسیمتر و فناوری سنجش از دور، با استفاده از چهار آزمون آماری (ضریب همبستگی (r^2)، ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ریشه میانگین مربع نرمال شده خطا ($NRMSE$))، مقایسه شدند. آماره‌های به‌دست‌آمده در این آزمایش ($NRMSE=0.21$, $MAE=0.19$, $RMSE=0.51$, $r^2=0.91$) حاکی از همبستگی بالا بین مقادیر ET اندازه‌گیری و مشاهده‌شده بود. در نهایت توصیه نمودند که فناوری سنجش از دور برای زمین‌های کشاورزی که در آن

داده‌های زمینی (داده‌های لایسیمیتری برای تخمین ET روزانه) در دسترس نیستند مفید بوده است.

صانع و همکاران (۱۳۹۹) در ارزیابی الگوریتم سبال برای برآورد تبخیر- تعرق واقعی یونجه در منطقه وردیج استان تهران با استفاده از ماهواره لندست ۸ دریافتند که روش هارگریوز سامانی $MAE = 0.47$ و $RMSE = 0.62$ دارد و در رتبه بعدی روش فائو پنمن مانیت (1) $MAE = 1$ و $RMSE = 1.26$ قرار می‌گیرد. در ادامه تبخیر-تعرق به‌دست‌آمده از الگوریتم سبال با مقدار متناظر به‌دست‌آمده از لایسیمتر پورتابل وزنی مقایسه شد و نتایج به‌دست‌آمده مطابقت خوبی را نشان داد، به‌طوری‌که مقدار تفاضل مطلق 0.81 (mm/day) به دست آمد و نتیجه گرفتند که روش سنجش از دور برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی در منطقه مورد مطالعه مناسب است.

مرشدی و همکاران (۱۳۹۵) در صحت سنجی برآورد تبخیر - تعرق از الگوریتم سبال و مدل هارگریوز- سامانی با استفاده از داده‌های لایسیمتر نشان دادند که مقادیر شاخص‌های MBE و MAE ، RMSE الگوریتم سبال نسبت به اندازه‌گیری‌های لایسیمیتری به ترتیب برابر با 1.728 ، 1.275 و -0.272 میلی‌متر بر روز و برای مدل هارگریوز سامانی مقادیر MBE و MAE ، RMSE به ترتیب برابر با 0.813 ، 0.477 و 0.206 میلی‌متر بر روز بود. مطابق این مطالعات، فناوری سنجش از دور می‌تواند جایگزین مناسبی برای برآورد تبخیر - تعرق گیاهان به شمار برود. بر این اساس این پژوهش با هدف ارزیابی و امکان‌سنجی به‌کارگیری از این فناوری در برآورد تبخیر- تعرق گیاه یونجه در دو منطقه از کشور با اقلیم مختلف انجام شد تا در صورت دارا بودن صحت لازم نسبت به روش لایسیمتری، از آن برای برآورد تبخیر- تعرق گیاهان زراعی استفاده نمود.

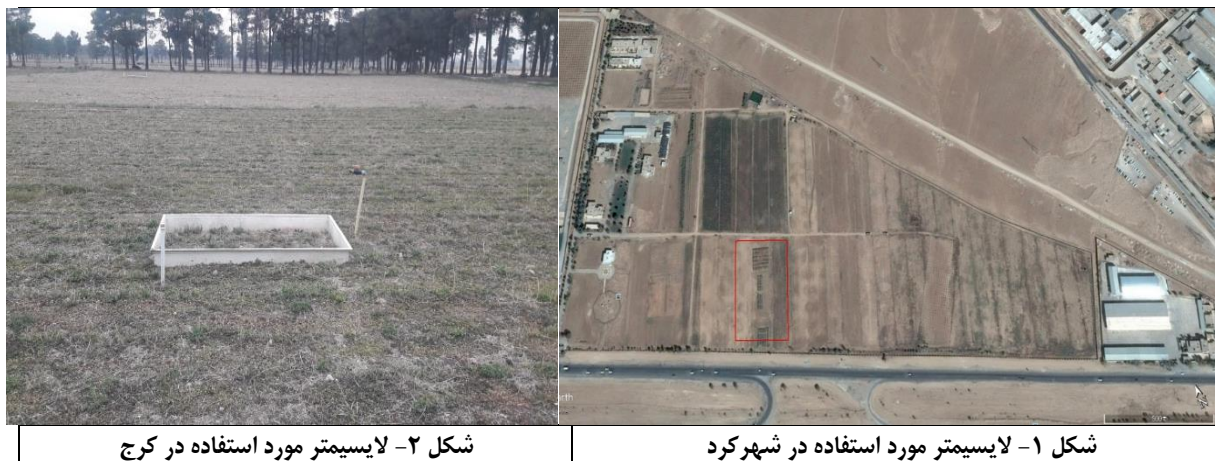
مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی استفاده از فناوری ماهواره در برآورد تبخیر- تعرق گیاه یونجه، آزمایشی در دو استان البرز و چهارمحال و بختیاری در سه سال زراعی از سال ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ اجرا شد. در این آزمایش مطابق دستورالعمل موجود، تبخیر- تعرق یونجه به دو روش؛ الف: استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار (گام اول) و ب: به‌کارگیری ماهواره لندست ۸ و استفاده از الگوریتم سبال، (گام دوم) و در نهایت تبخیر- تعرق حاصل از این دو روش، توسط معیارهای آماری متداول با هم مقایسه شدند (گام سوم).

در استان البرز آزمایش در مزرعه موسسه تحقیقات خاک و آب واقع در جنوب کرج با مشخصات جغرافیایی 50° درجه و $57'$ دقیقه و 21° ثانیه طولی و 35° درجه و $45'$ دقیقه و 30° ثانیه عرضی، با اقلیم نیمه‌خشک، زمستان نسبتاً سرد و تابستان نسبتاً معتدل اجرا شد. میانگین بارندگی سالیانه در آن حدود $247/4$ میلی‌متر و میانگین سالیانه دما و رطوبت نسبی هوا به ترتیب $14/4$ درجه سلسیوس و 53 درصد و ارتفاع مزرعه از سطح دریا 1289 متر بود. در استان چهارمحال و بختیاری، آزمایش در شهرکرد و در مزرعه تحقیقاتی چهارتخته بین طول‌های 50° درجه و $38'$ دقیقه تا 51° درجه و $10'$ دقیقه شمالی و عرض‌های 32° درجه و $07'$ دقیقه تا 33° درجه و $35'$ دقیقه شرقی، با اقلیم نیمه مرطوب معتدل سرد اجرا شد.

گام اول: برآورد تبخیر- تعرق گیاه یونجه با استفاده از لایسیمتر

مهم‌ترین کاربرد لایسیمتر، برآورد نیاز آبی (ETc) و ضرایب گیاهی (Kc) گیاهان زراعی و باغی در شرایط استاندارد (بدون محدودیت زراعی و تنش آبی) است. در استان چهارمحال و بختیاری از لایسیمتری با شعاع دو متر و عمق دو متر در مرکز زمینی به ابعاد 120×50 متر (6000 متر مربع) و در استان البرز از لایسیمتر به ابعاد $2 \times 2 \times 2$ متر در مرکز زمینی به ابعاد 30×30 متر استفاده شد (شکل‌های ۱ و ۲).



شکل ۲- لایسیمتر مورد استفاده در کرج

شکل ۱- لایسیمتر مورد استفاده در شهرکرد

مدرج جمع‌آوری و اندازه‌گیری گردید. مقدار بارش توسط ایستگاه هواشناسی کشاورزی واقع در محل اجرای طرح در هر دو منطقه، ثبت و در رابطه (۱) استفاده شد.

پس از حل معادله بیلان رطوبتی (رابطه ۱)، تبخیر- تعرق (خروجی رابطه شماره ۱) و نیاز آبی (خروجی رابطه ۱ منهای باران مؤثر) گیاه یونجه به‌صورت روزانه برآورد شد و تبخیر- تعرق برآورد شده به این طریق در روزهای عبور ماهواره، برای مقایسه با تبخیر- تعرق برآورد شده توسط ماهواره مورد استفاده قرار گرفت. برای برآورد باران مؤثر از رابطه ۲ استفاده شد:

$$Pe = 0.8 Pt - 2.4 \quad (2)$$

آماربرداری از نیمه دوم اسفند ۱۳۹۶ تا اول مهر ۱۳۹۸ به مدت سه سال زراعی ادامه داشت.

گام دوم: برآورد تبخیر- تعرق گیاه یونجه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

تصاویر مورد استفاده در هر دو استان، از ماهواره لندست ۸ بود. علت انتخاب تصاویر ماهواره‌ای مورد اشاره قدرت تفکیک مکانی متوسط این تصاویر و در دسترس بودن آن بود. پس از دریافت تصاویر و پردازش آن توسط نرم‌افزارهای ERDAS، ENVI و Arcmap با استفاده از الگوریتم سبال تبخیر- تعرق یونجه برآورد گردید.

اساس کار این روش در برآورد تبخیر- تعرق یونجه بر خلاف روش لایسیمتری که در آن موازنه رطوبتی برقرار می‌شد، حل معادله بیلان انرژی است. معادله توازن

لایسیمترهای طراحی شده بسته به چگونگی اندازه‌گیری تبخیر- تعرق به دو دسته تقسیم می‌شوند: لایسیمترهای وزنی که دقیق‌ترین نوع لایسیمترها هستند، تبخیر- تعرق را بر اساس تغییرات وزن اندازه‌گیری می‌کنند و لایسیمترهای زهکش‌دار که ساده‌تر بوده و اساس کار آن‌ها برآورد نیاز آبی گیاهان بر اساس بیلان آبی در حجمی محدود به حجم لایسیمتر که گیاه مدنظر در آن کاشته شده است. آب‌های ورودی به این حجم از خاک شامل P: میزان بارندگی (میلی‌متر)، I: میزان آب آبیاری (میلی‌متر) و آب‌های خروجی شامل: D: میزان آب زهکش (میلی‌متر)، Etc: میزان تبخیر - تعرق گیاه (میلی‌متر) است. اگر میزان ورودی برابر خروجی در نظر باشد و تغییرات رطوبت خاک (ΔS) پیش و بعد از آبیاری هم در نظر گرفته شود مقدار تبخیر- تعرق در هر آبیاری از رابطه‌ی زیر برآورد می‌شود (آلن و همکاران، ۱۹۹۸):

$$ETc = I + P - D \pm \Delta S \quad (1)$$

آبیاری یونجه کشت‌شده درون لایسیمتر، توسط ظروف مدرج ۲۰ لیتری انجام شد و در هر دو منطقه زمان آبیاری (دور آبیاری) به‌گونه‌ای تنظیم شد که رطوبت خاک درون لایسیمتر در محدوده ظرفیت زراعی قرار گیرد و به‌منظور اطمینان از آبیاری کامل و نفوذ آب تا پایین منطقه توسعه ریشه در درون لایسیمتر، مقدار آب آبیاری تا اندازه‌ای که حداقل ۱۰ درصد از مقدار آن از طریق زهکش نصب‌شده در کف لایسیمتر خارج شود ادامه پیدا نمود. آب زهکشی شده از درون لایسیمتر پس از هر آبیاری توسط ظروف

انرژی (معادله ۳) و محاسبه مقدار شار لحظه‌ای گرمای نهان تبخیر به عنوان باقی مانده این معادله برای هر پیکسل انجام شد:

$$\lambda ET_{inst} = R_n - G - H \quad (3)$$

در این معادله λET_{inst} شار گرمای نهان تبخیر (W/m^2)، R_n میزان تابش خالص خورشیدی (W/m^2)، G شار گرمای خاک (W/m^2) و H شار گرمای محسوس (W/m^2) است. سپس با استفاده از الگوریتم سبال که متشکل از مجموعه‌ای از روابط برای حل هر یک از پارامترهای معادله ۳ است محاسبه گردید آلن و همکاران (۲۰۰۵).

پس از حل معادله بیلان انرژی مقدار لحظه‌ای تبخیر- ترق که برابر با عمق تبخیر است به صورت زیر محاسبه شد:

$$ET_{inst} = 3600 \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (4)$$

که ET_{inst} تبخیر- ترق لحظه‌ای (میلی متر بر ساعت)، ۳۶۰۰ تبدیل زمانی از ثانیه به ساعت و λ گرمای نهان تبخیر یا گرمای جذب شده برای تبخیر یک کیلوگرم آب است. کسر یا جزء تبخیر- ترق مرجع ($ET_r F$) به صورت نسبت تبخیر- ترق لحظه‌ای (ET_{inst}) برای هر پیکسل به تبخیر- ترق مرجع محاسبه شده از داده‌های هواشناسی تعریف می‌شود:

$$ET_r F = \frac{ET_{inst}}{ET_r} \quad (5)$$

ET_r تبخیر- ترق مرجع در زمان عبور ماهواره از نرم افزار REF-ET بر حسب میلی متر بر ساعت به دست آمد. $ET_r F$ همان ضریب گیاهی KC است که در محاسبه تبخیر- ترق واقعی استفاده شد.

تبخیر- ترق لحظه‌ای برآورد شده در این الگوریتم کاربردی نیست، بنابراین مقادیر تبخیر- ترق روزانه (ET_{24}) که مفیدتر و کاربردی‌تر از تبخیر- ترق لحظه‌ای است بر حسب میلی متر بر روز از رابطه زیر محاسبه شد:

$$ET_{24} = ET_r F \times ET_{r-24} \quad (6)$$

ET_{r-24} مجموع تبخیر- ترق ۲۴ ساعته گیاه مرجع در روز عبور ماهواره است. چون خروجی نهایی الگوریتم

سبال، تبخیر- ترق ۲۴ ساعته یونجه بود (رابطه ۶) تبخیر- ترق یونجه در لایسیمتر در روز عبور ماهواره به صورت روزانه محاسبه شد تا در مقایسه آن‌ها با داده‌ای ۲۴ ساعته ماهواره، از ورود خطا جلوگیری شود.

برای اجرای الگوریتم سبال نیازمند آمارهای هواشناسی سرعت باد و دمای هوا در لحظه گذر ماهواره است که این آمار از ایستگاه هواشناسی کشاورزی مستقر در هر یک از ایستگاه‌های تحقیقاتی منطقه اجرای پروژه دریافت شد.

مطابق تعاریف و استانداردهای تعیین شده، تبخیر- ترق به دست آمده از روش لایسیمتری برای هر گیاه زراعی در شرایط بدون تنش، در شرایط استاندارد تعریف می‌شود (نشریه فائو ۵۶)، از طرف دیگر در استفاده از ماهواره و در تعریف پیکسل سرد، همین شرایط برای گیاه در نظر گرفته می‌شود (پیکسل سرد پیکسلی است که گیاه در آن هیچ نوع تنشی نداشته باشد) از این رو برای مقایسه این دو روش و ارزیابی ماهواره در برآورد تبخیر- ترق گیاه یونجه، چندین مزرعه یونجه در منطقه مورد مطالعه انتخاب و در هر بار عبور ماهواره، پیکسل سرد استخراج و تبخیر- ترق آن پیکسل با تبخیر- ترق حاصل از لایسیمتر مقایسه و ارزیابی شدند.

گام سوم: صحت سنجی برآورد الگوریتم سبال

به منظور مقایسه تبخیر- ترق روزانه گیاه یونجه حاصل از پیکسل سرد توسط ماهواره و تبخیر- ترق روزانه این گیاه که توسط رابطه بیلان آبی در لایسیمتر محاسبه شد از شاخص‌های آماری صحت سنجی شامل میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین اریب (MBE) ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده (فاقد بعد) (NRMSE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده گردید (روابط ۷ تا ۱۰):

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{n} \quad (7)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{n} \quad (8)$$

۱۴۸۰ میلی‌متر و میانگین سه‌ساله تبخیر- تعرق و نیاز آبیاری به ترتیب ۱۵۴۱ و ۱۳۸۳/۵ میلی‌متر نیاز برآورد شد. در طول سه سال اجرای آزمایش در شرایط بدون ابر ۳۳ عدد تصویر دریافت شد که ۱۰ فقره مربوط به سال ۱۳۹۷، ۱۱ فقره مربوط به سال ۱۳۹۸ و ۱۲ فقره مربوط به سال زراعی ۱۳۹۹ بودند؛ به عبارت دیگر تبخیر- تعرق برآورد شده یونجه توسط ماهواره (ET_{CS}) در سال ۱۳۹۷، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در یک شرایط مشابه با لایسیمتر (ET_{CL}) به ترتیب در ۱۰، ۱۱ و ۱۲ روز دقیقاً متناظر با روزهایی که توسط لایسیمتر اندازه‌گیری شده بود، برآورد و مورد مقایسه قرار گرفتند (جداول ۲ تا ۴). نمودار این مقادیر در شکل (۳) با عرض از مبدأ نشان داده شده است.

شاخص‌های آماری صحت‌سنجی حاصل از مقایسه این دو روش برآورد تبخیر- تعرق یونجه، در جدول ۵ نشان داده شد. ضریب تبیین (R^2) رابطه بین تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده با لایسیمتر و برآورد شده توسط الگوریتم سبال، ۰/۵۳ به دست آمد و نشان داد که همبستگی نسبتاً مناسبی بین این دو روش برای دستیابی به تبخیر- تعرق وجود دارد و الگوریتم سبال در شرایط مدیریتی مشابه در لایسیمتر و مزرعه مورد استفاده از نظر تاریخ کاشت، مدیریت تغذیه و آبیاری، مبارزه با آفات و بیماری‌ها و تاریخ برداشت، از همبستگی قابل قبولی برخوردار است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (9)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}}{\bar{O}} \quad (10)$$

در روابط زیر P_i و O_i به ترتیب مقدار ET اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر و مقدار برآورد شده توسط ماهواره و $\bar{O}$ میانگین حسابی داده‌های اندازه‌گیری شده و n تعداد داده‌ها است. افزون بر آن روابط مقدار برآورد شده و اندازه‌گیری شده در نمودار ۱:۱ تحلیل شدند.

نتایج و بحث

استان البرز (کرج)

در طول سه سال اجرای آزمایش، پس از اندازه‌گیری مقدار آب ورودی و خروجی در لایسیمتر، با استفاده از رابطه (۱) تبخیر- تعرق روزانه و براساس آن میانگین ۱۰ روزه تبخیر- تعرق گیاه یونجه محاسبه و مقادیر آن به تفکیک سال اجرای پروژه در جدول ۱ ارائه شد. مقدار تبخیر- تعرق و نیاز خالص آبیاری گیاه یونجه در استان البرز در طول مراحل رشد با استفاده از لایسیمتر، در مزرعه ایستگاه تحقیقاتی موسسه تحقیقات خاک و آب در سال زراعی ۱۳۹۷، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ به ترتیب ۱۵۹۹/۲، ۱۵۴۴ و

جدول ۱- میزان تبخیر- تعرق و نیاز خالص آبیاری اندازه‌گیری شده گیاه یونجه در طول مراحل رشد با استفاده از لایسیمتر در سه سال

		۱۳۹۷		۱۳۹۸		۱۳۹۹	
ماه	دهه	ETc (mm)	نیاز آبیاری (mm)	ETc (mm)	نیاز آبیاری (mm)	ETc (mm)	نیاز آبیاری (mm)
اسفند	۲	۱۵	۸/۷	۱۷	۱۰	۱۷	۶/۶
	۳	۲۱	۱۷/۱	۲۳	۷/۳	۲۱	۲۰
فروردین	۱	۲۵	۲۵	۲۵	۰	۲۵	۸/۵
	۲	۳۵	۲۷/۹	۲۸	۵/۶	۲۸	۰
	۳	۴۹	۲۱	۴۴	۳۲/۴	۴۴	۲/۷
اردیبهشت	۱	۶۵/۵	۵۳/۵	۵۵/۵	۵۵/۳	۵۰/۵	۳۴/۶
	۲	۸۱	۶۴/۸	۶۷	۶۳/۸	۶۷	۵۱/۳
	۳	۸۲/۵	۷۳/۴	۸۷/۵	۸۱/۳	۷۷/۵	۷۷/۱
خرداد	۱	۸۹	۵۷	۸۴	۸۳/۲	۸۴	۶۴/۲
	۲	۹۰	۸۴/۸	۸۶	۸۶	۸۶	۸۶
	۳	۹۲	۸۹/۴	۹۲/۵	۹۲/۵	۸۷/۵	۸۷/۵
تیر	۱	۹۳	۹۳	۹۳/۵	۹۳/۵	۸۸/۵	۸۸/۵
	۲	۹۴	۹۴	۹۳	۹۳	۹۲/۵	۹۲/۵
	۳	۹۵	۹۵	۹۹	۹۹	۹۴	۹۳/۹
مرداد	۱	۹۵	۹۵	۹۱	۹۱	۹۵/۵	۹۵/۳
	۲	۹۴	۹۴	۹۲	۹۲	۹۷/۵	۹۷/۵
	۳	۹۰/۵	۹۰/۵	۹۱	۹۱	۹۱	۹۱
شهریور	۱	۹۰/۵	۹۰/۵	۸۹	۸۹	۹۹	۹۹
	۲	۸۷/۵	۸۷/۵	۷۶	۷۶	۷۶	۷۶
	۳	۷۸	۷۸	۶۶	۶۶	۶۶	۶۶
مهر	۱	۶۲/۵	۶۲/۵	۵۰/۵	۵۰/۵	۵۷/۵	۵۷/۵
	۲	۳۶/۲	۲۳/۶	۴۲	۴۲	۳۵	۳۵/۳
	۳	۳۸	۳۴/۴	۳۱/۶	۳۱/۶		
آبان	۱			۱۹/۹	۰		
جمع		۱۵۹۹/۲	۱۴۶۰/۸	۱۵۴۴	۱۳۶۲/۹	۱۴۸۰	۱۳۲۶/۹

جدول ۲- مقادیر تبخیر- تعرق (میلی‌متر) برآورد شده از طریق بهره‌گیری از لایسیمتر و الگوریتم سبال در سال ۱۳۹۷

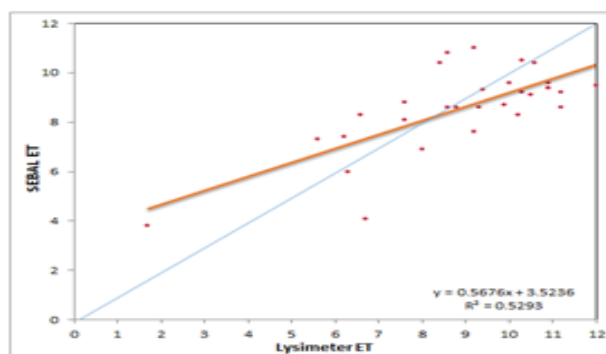
تاریخ	۹۷/۲/۱۰	۲/۱۶	۳/۴	۳/۱۱	۳/۲۷	۴/۱۲	۵/۱۳	۵/۲۹	۶/۳۱	۱۲/۱۶
ET _{Cs}	۷/۶	۱۱	۹/۴	۹/۶	۹/۵	۹/۲	۹/۶	۸/۳	۶/۹	۳/۸
ET _{CL}	۹/۲	۹/۲	۱۰/۹	۱۰/۹	۱۲	۱۱/۲	۱۰/۶	۱۰/۲	۸	۱/۷

جدول ۳- مقادیر تبخیر- تعرق (میلی‌متر) برآورد شده از طریق بهره‌گیری از لایسیمتر و الگوریتم سبال در سال ۱۳۹۸

تاریخ	۹۸/۲/۶	۲/۱۳	۲/۲۲	۲/۲۹	۹۸/۳/۱۴	۳/۳۰	۴/۱۵	۵/۱	۶/۱	۶/۱۷	۷/۲
ET _{Cs}	۷/۷	۴/۱	۸/۷	۸/۶	۸/۶	۸/۶	۸/۶	۹/۱	۸/۷	۸/۱	۷/۴
ET _{CL}	۷/۶	۶/۷	۹/۸	۸/۸	۸/۶	۹/۳	۱۰/۳	۱۰/۵	۹/۹	۷/۶	۶/۲

جدول ۴- مقادیر تبخیر- تعرق (میلی‌متر) برآورد شده از طریق بهره‌گیری از لایسیمتر و الگوریتم سبال در ۱۳۹۹

تاریخ	۱/۱۵	۱/۳۱	۲/۹	۳/۱	۳/۱۶	۴/۱	۴/۱۸	۵/۳	۵/۱۹	۶/۴	۶/۱۹	۷/۵
ET _{Cs}	۷/۳	۸/۳	۸/۸	۱۰/۴	۱۰/۸	۹/۳	۹/۲	۱۰/۴	۸/۶	۹/۴	۹/۶	۶
ET _{CL}	۵/۶	۶/۶	۷/۶	۸/۴	۸/۶	۹/۴	۱۰/۳	۱۰/۶	۱۱/۲	۱۰/۹	۱۰	۶/۳



شکل ۳- منحنی رابطه بین تبخیر- تعرق (میلی‌متر) برآورد شده توسط الگوریتم سبال و اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر از شروع سال زراعی ۹۶ تا پایان سال زراعی ۹۹ در استان البرز

جدول ۵- شاخص‌های آماری صحت‌سنجی تبخیر- تعرق برآورد شده توسط الگوریتم سبال و اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر از شروع سال زراعی ۹۶ تا پایان سال زراعی ۹۹ در شهرستان کرج

پارامتر آماری	مقدار
R^2	۰/۵۳
MAE	۱/۲۴
MBE	-۰/۳۵
RMSE	۱/۴۶
NRMSE	۰/۱۷

مدیریت آبیاری بهره‌بردار بود ممکن است یکنواختی آبیاری مشابه لایسیمتر نباشد، به‌ویژه پیکسلی که تبخیر- تعرق آن برای مقایسه با تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر بکار برده می‌شود. از این رو رشد گیاه یونجه در این مزارع کمتر از رشد آن در لایسیمتر است. رشد بهتر از لحاظ ارتفاع و سطح برگ سبب افزایش تبخیر- تعرق می‌شود.

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) بین داده-های تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر و برآورد شده توسط الگوریتم سبال برای ۳۳ زوج داده، ۱/۴۶ میلی‌متر در روز بود که اگر به‌صورت بدون بعد و نسبت به میانگین تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر محاسبه شود، برابر ۱۷ درصد خواهد شد. با عنایت به زیر ۱۰ درصد بودن شاخص NRMSE نشان‌دهنده دقیق بودن، ۲۰-۳۰ درصد مناسب بودن، ۳۰-۴۰ درصد دارای دقت متوسط و بیش از ۳۰ درصد نشانه ضعیف بودن مدل است (خرسند و همکاران، ۱۳۹۳) از این رو مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده نشان از مناسب بودن استفاده از

علامت منفی شاخص MBE و مقدار آن نشان داد که در مجموع مقدار تبخیر- تعرق برآورد شده توسط لایسیمتر بیشتر از مقدار برآورد شده توسط ماهواره بوده است. مقدار شاخص MAE یا میانگین قدر مطلق اختلاف تبخیر- تعرق بین دو روش اندازه‌گیری، بیانگر تفاوت قابل قبول نتایج این دو روش برآورد تبخیر- تعرق یونجه در شهرستان کرج بود. دلیل بالا بودن مقدار تبخیر- تعرق در لایسیمتر، رشد بهتر گیاه یونجه در داخل لایسیمتر نسبت به مزرعه است. در هر آبیاری به دلیل زهکش شدن آب آبیاری از قسمت تحتانی لایسیمتر، تهویه هوای درون خاک آن نسبت به مزرعه بهتر انجام می‌شود و این باعث بهبود شرایط رشد گیاه یونجه در لایسیمتر می‌شود، از طرف دیگر رطوبت خاک درون لایسیمتر همواره در شرایط رطوبت ظرفیت زراعی است اما این شرایط برای مزارع یونجه استفاده شده در ماهواره به دلیل نبود زهکش مناسب ممکن است وجود نداشته باشد و گیاه یونجه در مزرعه نسبت به لایسیمتر در شرایط رطوبتی متفاوتی قرار گیرد از طرفی چون مزارع مورد استفاده در فناوری سنجش از دور، تحت

الگوریتم سبال در برآورد تبخیر- تعرق گیاه یونجه و فاصله کم بین تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده در این دو روش است.

استان چهارمحال و بختیاری (شهرکرد)

مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر- تعرق گیاه یونجه در استان چهارمحال و بختیاری از سال زراعی ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹

به‌وسیله لایسیمتر در جدول ۶ نشان داده شد. مقدار تبخیر- تعرق و نیاز خالص آبیاری گیاه یونجه در استان چهارمحال و بختیاری در طول مراحل رشد با استفاده از لایسیمتر، در مزرعه ایستگاه تحقیقاتی چهار تخته مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری در سال زراعی ۱۳۹۷، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ به ترتیب ۱۰۶۶/۲، ۱۱۴۱/۴ و ۱۲۲۰/۶ میلی‌متر برآورد شد.

جدول ۶- میزان تبخیر- تعرق و نیاز خالص آبیاری اندازه‌گیری شده گیاه یونجه در طول مراحل رشد با استفاده از لایسیمتر در سه سال

		۱۳۹۷		۱۳۹۸		۱۳۹۹	
ماه	دهه	ETc (mm)	نیاز آبیاری (mm)	ETc (mm)	نیاز آبیاری (mm)	ETc (mm)	نیاز آبیاری (mm)
فروردین	۱	۷/۱	۷/۱	۱۶/۲	۱۶/۲	۲	۲
	۲	۲۲/۸	۲۰/۹	۲۴/۶	۲۴/۶	۱۳/۶	۱۳/۶
	۳	۲۵/۵	۱۷/۹	۳۷/۴	۳۲/۹	۲۸/۶	۲۴/۱
اردیبهشت	۱	۳۹/۶	۳۰/۹	۳۸/۷	۳۸/۷	۴۰/۶	۴۰/۶
	۲	۴۷/۳	۳۸/۹	۴۸/۷	۴۸/۷	۴۱/۴	۴۱/۴
	۳	۵۲/۲	۵۰/۸	۷۲/۶	۷۲/۶	۶۴/۴	۶۴/۴
خرداد	۱	۵۳/۶	۵۳/۶	۵۸/۷	۵۸/۷	۶۲/۵	۶۲/۵
	۲	۵۰/۵	۵۰/۵	۶۷/۳	۶۷/۳	۷۴/۳	۷۴/۳
	۳	۶۰	۶۰	۷۴/۸	۷۴/۸	۸۸/۶	۸۸/۶
تیر	۱	۶۵/۱	۶۵/۱	۷۴/۴	۷۴/۴	۷۰/۴	۷۰/۴
	۲	۷۷/۷	۷۷/۷	۶۹/۹	۶۹/۹	۸۰/۸	۸۰/۸
	۳	۶۲/۵	۶۲/۵	۷۸/۵	۷۸/۵	۸۳/۶	۸۳/۶
مرداد	۱	۸۰/۱	۸۰/۱	۷۱	۷۱	۷۴/۵	۷۴/۵
	۲	۷۴/۹	۷۴/۹	۶۸/۴	۶۸/۴	۷۱/۸	۷۱/۸
	۳	۷۲/۸	۷۲/۸	۷۴/۸	۷۴/۸	۸۶/۴	۸۶/۴
شهریور	۱	۶۱/۷	۶۱/۷	۶۳/۵	۶۳/۵	۶۹	۶۹
	۲	۶۳/۲	۶۳/۲	۵۳/۵	۵۳/۵	۶۰	۶۰
	۳	۵۰/۳	۵۰/۳	۵۴/۹	۵۴/۹	۶۳/۸	۶۳/۸
مهر	۱	۴۱	۴۱	۳۵/۵	۳۵/۵	۵۵	۵۵
	۲	۳۴/۶	۳۴/۶	۳۱	۳۱	۵۱/۸	۵۱/۸
	۳	۲۴	۲۴	۲۷	۲۷	۳۷/۶	۳۷/۶
جمع کل		۱۰۶۶/۲	۱۰۳۸/۲	۱۱۴۱/۴	۱۰۷۱/۹	۱۲۲۰/۶	۱۱۵۱/۱

میانگین مقدار تبخیر- تعرق (ETc) و نیاز خالص آبیاری گیاه یونجه در چهارمحال و بختیاری در طول سه سال اجرای آزمایش به ترتیب ۱۱۴۳ و ۱۰۸۷ میلی‌متر بدست آمد.

در طول سه سال اجرای آزمایش در شرایط بدون ابر ۳۹ عدد تصویر دریافت شد که ۱۷ فقره مربوط به سال

۱۳۹۷، ۱۲ فقره مربوط به سال ۱۳۹۸ و ۱۰ فقره مربوط به سال زراعی ۱۳۹۹ بودند؛ به عبارت دیگر تعداد روزهای تبخیر- تعرق برآورد شده یونجه توسط ماهواره (ETCs) در سال ۱۳۹۷، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ به ترتیب ۱۷، ۱۲ و ۱۰ روز بود که معادل آن در همین روزها از طریق لایسیمتر (ETCL) برآورد و مقایسه شدند (جدول ۷ تا ۹).

برای برآورد تبخیر- تعرق با ماهواره را داشت برای این منظور استفاده شد؛ بنابراین خطای احتمالی ناشی از اثر تفاوت در مدیریت آبیاری لایسیمتر و مزرعه مورد استفاده در ماهواره در این منطقه از اجرای پروژه وجود نداشت. میانگین تبخیر- تعرق برآورد شده توسط الگوریتم سبال و اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر در این منطقه به ترتیب ۶/۳ و ۶/۵ میلی‌متر بدست آمد. شاخص‌های آماری صحت- سنجی و در مقایسه دو روش تعیین تبخیر- تعرق، برای این استان در جدول ۱۰ نشان داده شدند.

مقادیر تبخیر- تعرق روزانه اندازه‌گیری و برآورد شده توسط لایسیمتر و ماهواره در روز عبور ماهواره در استان چهارمحال و بختیاری به شرح جدول ۴، ۵ و ۶ به ترتیب برای سال‌های ۱۳۹۷، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ و نمودار این مقادیر در شکل (۴) با عرض از مبدأ نشان داده شده است. بر خلاف استان البرز، در این استان لایسیمتر در مرکز مزرعه یونجه‌ای قرار داشت که برای برآورد تبخیر- تعرق توسط ماهواره استفاده شد (شکل ۱)؛ به عبارت دیگر مزرعه استفاده‌شده در روش ماهواره نقش کشت حاشیه‌ای اطراف لایسیمتر را داشت اما چون وسعت آن کفایت لازم

جدول ۷- مقادیر تبخیر- تعرق (میلی‌متر) برآورد شده از طریق بهره‌گیری از لایسیمتر و الگوریتم سبال سال ۱۳۹۷ در استان چهارمحال و بختیاری

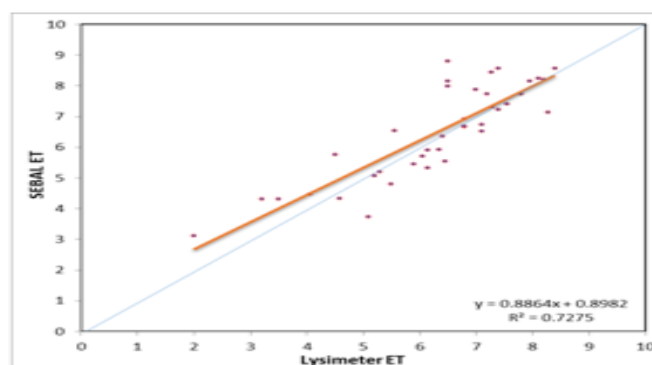
تاریخ	۳/۴	۳/۲۰	۳/۲۸	۴/۵	۴/۱۳	۴/۲۱	۴/۲۹	۵/۶	۵/۱۴	۵/۲۲	۵/۳۰	۶/۷	۶/۱۵	۶/۲۳	۶/۳۱
ET _{CS}	۵/۳	۴/۶	۷/۴	۶/۲	۸	۶/۲	۶/۴	۸/۳	۷/۶	۷/۳	۷/۳	۶/۱	۶/۵	۵/۶	۴/۵
ET _{CL}	۵/۲	۴/۳	۷/۲	۵/۹	۸/۲	۵/۳	۵/۹	۷/۱	۷/۴	۸/۴	۷/۳	۵/۷	۵/۵	۶/۵	۵/۸

جدول ۸- مقادیر تبخیر- تعرق (میلی‌متر) برآورد شده از طریق بهره‌گیری از لایسیمتر و الگوریتم سبال سال ۱۳۹۸ در استان چهارمحال و بختیاری

تاریخ	۷/۸	۹۷/۷/۱۶	۲/۲۲	۳/۷	۳/۱۵	۳/۲۳	۳/۳۱	۴/۸	۴/۱۶	۴/۲۴	۵/۲۵	۶/۱۰	۶/۲۶	۷/۱۱
ET _{CS}	۴/۱	۳/۵	۶/۵	۶/۵	۶/۸	۶/۴	۷/۲	۸/۴	۶/۸	۷/۱	۶/۸	۵/۹	۵/۲	۳/۲
ET _{CL}	۴/۵	۴/۳	۸	۸/۲	۶/۷	۶/۴	۷/۷	۸/۶	۶/۷	۶/۷	۶/۹	۵/۵	۵/۱	۴/۳

جدول ۹- مقادیر تبخیر- تعرق (میلی‌متر) برآورد شده از طریق بهره‌گیری از لایسیمتر و الگوریتم سبال سال ۱۳۹۹ در استان چهارمحال و بختیاری

تاریخ	۲/۲۶	۳/۳	۳/۱۱	۳/۱۹	۳/۲۷	۴/۲۸	۵/۵	۶/۳۰	۷/۱۵	۸/۱
ET _{CS}	۶/۵	۷	۷/۴	۸/۱	۸/۲	۷/۸	۷/۱	۵/۵	۵/۱	۲
ET _{CL}	۸/۸	۷/۹	۸/۶	۸/۲	۸/۲	۷/۷	۶/۵	۴/۸	۳/۷	۳/۱



شکل ۴- منحنی رابطه بین تبخیر- تعرق (میلی‌متر) برآورد شده توسط الگوریتم سبال و اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر از شروع سال زراعی ۹۶ تا پایان سال زراعی ۹۹ در استان چهارمحال و بختیاری

جدول ۱۰- شاخص‌های آماری صحت‌سنجی تبخیر- تعرق یونجه برآورد شده توسط الگوریتم سبال و اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر از شروع سال زراعی ۹۶ تا پایان سال زراعی ۹۹ در استان چهارمحال و بختیاری

پارامتر آماری	مقدار
R^2	۰/۷۳
MAE	۰/۶۲
MBE	-۰/۱۶
RMSE	۰/۸۳
NRMSE	۰/۱۲

همان‌طور که در جدول شماره ۱۰ مشاهده می‌شود، ضریب تبیین (R^2) بین مقادیر تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر و برآورد شده توسط الگوریتم سبال در این منطقه از کشور ۰/۷۳ است که بیانگر همبستگی خوبی بین دو روش برآورد تبخیر- تعرق است. مقدار بالای این شاخص آماری در این استان نسبت به استان البرز نشان داد که مدیریت آبیاری یکسان لایسیمتر و مزرعه استفاده شد برای گرفتن تصویر ماهواره‌ای، (هر دو در یکجا و با هم آبیاری می‌شدند) نقش زیادی در صحت انجام کار دارد و بخش زیادی از خطاهای ایجاد شده در اثر فاصله بین دو مکان اندازه‌گیری و یکسان نبودن مدیریت آبیاری یونجه در لایسیمتر و مزرعه است. علامت منفی MBE و مقدار آن نشان داد که در مجموع مقدار تبخیر- تعرق برآورد شده توسط لایسیمتر بیشتر از مقدار برآورد شده توسط الگوریتم سبال است اما این مقدار در مقایسه با استان البرز کمتر است. مقدار شاخص MAE بیانگر تفاوت بسیار اندک نتایج این دو روش برآورد تبخیر- تعرق یونجه در شهرستان شهرکرد بود. تفاوت مقدار MAE و MBE در این استان نشان داد که در برخی از تصاویر، مقدار تبخیر- تعرق برآورد شده توسط ماهواره بیشتر از تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر است و در برخی از تصاویر برعکس. بیشتر بودن تبخیر- تعرق برآورد شده نسبت به اندازه‌گیری شده در طول سه سال از روند مشخصی پیروی نکرد. اختلاف میانگین تبخیر- تعرق یونجه در لایسیمتر با میانگین تبخیر- تعرق به‌دست‌آمده از ماهواره بسیار کم بود (حدود ۰/۳ میلی‌متر). این اختلاف جزئی را می‌توان به رشد بهتر گیاه یونجه در داخل لایسیمتر نسبت به مزرعه به دلیل تهویه هوای بهتر دانست چون در هر آبیاری، زه‌آب آبیاری داخل

لایسیمتر توسط لوله زهکش نصب‌شده در قسمت تحتانی آن خارج می‌شود و این علاوه بر اینکه مانع غرقاب شدن لایسیمتر و جذب آب و املاح توسط ریشه گیاهان نمی‌شود، بلکه باعث تهویه مناسب هوای درون خاک و بهبود شرایط رشد گیاه یونجه در لایسیمتر می‌شود، در نتیجه گیاه یونجه از نظر سطح پوشش، ارتفاع، سبزی‌نگی، تراکم کاشت و شاخص سطح برگ نسبت به گیاه یونجه داخل مزرعه که شرایط ماندابی برای آن حتی تا چند روز پس از آبیاری محتمل است، بهتر شده بنابراین نور بیشتر، فتوسنتز بیشتر و در نتیجه نیاز آبی بیشتری خواهد داشت؛ اما اختلاف ناچیز این دو روش تعیین تبخیر- تعرق گیاه یونجه، بیشتر به دلیل شرایط یکسان لایسیمتر و مزرعه و جانمایی مناسب آن‌ها نسبت به یکدیگر است.

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) بین داده‌های تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر و برآورد شده توسط ماهواره برای ۳۹ زوج داده، نشان داد که پراکندگی داده‌های تبخیر- تعرق به‌دست‌آمده ماهواره در این منطقه کمتر از استان البرز است شاخص NRMSE نیز این موضوع را تأیید می‌کند چرا که مقدار آن در این منطقه نسبت به استان البرز کمتر بود (۱۲ درصد). نزدیکی لایسیمتر و مزرعه مورد استفاده اجازه ورود خطا در اثر پارامترهای هواشناسی را هم نمی‌داد در این پروژه در منطقه چهارمحال و بختیاری از ورود هر نوع عامل ایجاد خطا در برآورد تبخیر- تعرق در هر دو روش جلوگیری و با حداکثر دقت تبخیر- تعرق گیاه یونجه از طریق ماهواره و لایسیمتر تعیین شد که نتایج در این استان این موضوع را تأیید می‌کند. بر این اساس در این منطقه از کشور هم با اطمینان بیشتر

برآورد تبخیر- تعرق یونجه توسط الگوریتم سبال قابل قبول است.

نتیجه گیری

مقدار میانگین تبخیر- تعرق و نیاز آبی گیاه یونجه در استان چهارمحال و بختیاری کمتر از مقدار میانگین تبخیر- تعرق و نیاز آبی گیاه یونجه در استان البرز بود و نشان داد در مناطق مختلف به دلیل تغییر عوامل اقلیمی مقادیر تبخیر- تعرق و نیاز آبی گیاه یونجه متفاوت است و باید برای هر منطقه به صورت جداگانه تعیین شود. مقدار تبخیر- تعرق برآورد شده توسط الگوریتم سبال در هر دو استان کمتر از مقدار اندازه گیری شده آن توسط دستگاه

لایسمتر بود و نشان داد که شرایط رشد گیاه در لایسمتر با مزرعه اطراف متفاوت است و رشد گیاه در درون لایسمتر به دلیل نبود هیچ نوع تنش و وجود تهویه مناسب بهتر انجام شده در نتیجه مقدار تعرق در آن بیشتر است؛ بنابراین بخشی از اختلاف تبخیر- تعرق در این دو روش، مربوط به اختلاف رشد گیاه در بستر کشت در طول دوره رشد گیاه یونجه بود.

در استان البرز و چهارمحال و بختیاری برآورد تبخیر- تعرق یونجه توسط الگوریتم سبال قابل قبول بوده و با توجه به مزایایی که استفاده از ماهواره مثل پوشش سطح وسیع مزرع، سریع و ارزان بودن، نیاز به حداقل داده های میدانی دارد استفاده از این فناوری برای برآورد تبخیر- تعرق واقعی گیاه یونجه توصیه می شود.

فهرست منابع

۱. آمارنامه کشاورزی. ۱۳۹۹. وزارت جهاد کشاورزی.
۲. بانسوله، ب. ف.، کریمی، ع. ر. و حصادی، ه. ۱۳۹۵. برآورد تبخیر- تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم سبس و تصاویر لندست در ماهیدشت. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۳۰. شماره ۳. ص. ۷۱۶-۷۰۶.
۳. جوانشیر ز.، ولیزاده کامران خ.، رسولی ع. ا. و رستمزاده ه. ۱۴۰۰. بررسی عملکرد مدل سبال کوهستانی در برآورد تبخیر و تعرق واقعی مطالعه موردی: شهرستان های شرق دریاچه ارومیه. جغرافیا و برنامه ریزی. شماره ۷۵. صفحات ۹۱-۱۰۰.
۴. خرسند، ا.، وردی نژاد، و. ر. و شهیدی، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد مدل AquaCrop در پیش بینی عملکرد گندم، رطوبت و شوری نیمرخ خاک تحت تنش های شوری و کم آبی. مدیریت آب و آبیاری. دوره ۴. شماره ۱. ص. ۸۹-۱۰۴.
۵. راد، م. ه.، میرحسینی، س. ر.، م. مشکوه، م. ع. و سلطانی، م. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر رطوبت خاک بر چگونگی توسعه ریشه گیاه تاغ. فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. جلد ۱۶. شماره ۱. صفحه ۱۱۲-۱۱۳.
۶. زمانی ثانی، ا.، خورانی، ا.، صادقی لاری، ع. و سدید ج. ۱۳۹۶. ارزیابی برآورد تبخیر- تعرق گیاه گندم با استفاده از الگوریتم سبال (مطالعه موردی: ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرستان حاجی آباد). پژوهش های جغرافیای طبیعی. دوره ۴۹ شماره ۴. صفحات ۶۸۱-۶۶۷.
۷. سهیلی فر، ز.، میرلطیفی، س. م.، ناصری، ع. ع. و عصاری، م. ۱۳۹۲. برآورد تبخیر - تعرق واقعی نیشکر با استفاده از داده های سنجنش از دور در اراضی کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان. نشریه دانش آب و خاک. جلد ۲۳ شماره ۱ صفحه های ۱۵۱ تا ۱۶۳.

۸. صانع، م.، کوچکزاده، م. و شریفی، ف. ۱۳۹۹. ارزیابی الگوریتم سبال جهت برآورد تبخیر- تعرق واقعی در منطقه وردیج. مجله آبیاری و زهکشی ایران. دوره ۱۴. شماره ۱. صفحه ۱۳۵-۱۲۵.
۹. غلامی سفیدکوهی، م.، و میرلطیفی، س.، و محمدی، ک.، و علی محمدی، ع. (۱۳۸۹). برآورد ضریب گیاهی و تبخیر-تعرق واقعی گندم با استفاده از سنجش از دور مطالعه موردی: حوضه گرگانرود. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۲۴(۲)، ۲۳۱-۲۲۲.
۱۰. کریمی، ع.، ب. فرهادی بانسوله. ه. حصادی. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر- تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر لندست. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۴، جلد ۶، ص. ۳۶۴-۳۵۳.
۱۱. مرشدی، ع. طباطبایی، س. ح. و مهدی، ن. ۱۳۹۵. صحت سنجی برآورد تبخیر و تعرق از مدل‌های سبال و هارگریوز- سامانی با استفاده از داده‌های لایسیتتر. مجله آب و خاک. شماره ۲ دوره ۳۰.
۱۲. ملک‌پور م.، بابازاده ح.، کاوه ف. و ابراهیمی‌پاک ن. ع. ۱۳۹۵. برآورد تبخیر- تعرق واقعی و بهره‌وری آب گندم با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر ماهواره‌های لندست ۵ در دشت قزوین. پژوهش آب در کشاورزی. دوره ۳۰/۴. شماره ۴. ۵۸۲-۵۶۹.
۱۳. نوری ح. و فرامرزی. ۱۳۹۶. بررسی تبخیر- تعرق در کاربری‌های مختلف اراضی مناطق کوهستانی با استفاده از الگوریتم سبال و ترکیب تصاویر ماهواره‌ای MODIS و Landsat8. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. دوره ۲۸. شماره ۲. صفحات ۵۶-۳۹.
14. Allen RG, Tasumi M, and Trezza R, 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) Model." J. Irrig. Drain. Eng., 133- 4- 380-394.
15. Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M, 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements, irrigation and drain, paper No. 56. FAO, Rome, Italy, 300 pp
16. Allen RG, Tasumi M, Trezza R, Bastiaanssen W, Morse T, Kramber W, and Wright J, 2005. METRIC: High Resolution Satellite Quantification of Evapotranspiration. Part Two – Energy Balance, University of Idaho, Kimberly, Idaho.
17. Allen RG, Pereira LS, Raes D and Smith M, 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, 300 p.
18. Almhah A, and Busu I, 2008. Estimation of evapotranspiration with modified SEBAL model using Landsat-TM and NOAA-AVHRR images in aride mountains area. Proceedings of second Asia International Conference on Modelling & Simulation, 13-15 may, Kuala Lampur, 350-355.
19. Bala A, Rawat KS, Misra AK, Srivastava A, 2015a. Assessment and validation of evapotranspiration using SEBAL algorithm and Lysimeter data of IARI agricultural farm, India. Geocarto International, DOI.10.1080/10106049.2015.1076062
20. Bastiaanssen WGM, Ahmad MD, and Chemin Y, 2002. Satellite surveillance of evaporative depletion across the Indus Basin. Water Resource Research. 38(12): 1-9.
21. Bastiaanssen, WGM, Menenti M, Feddes RA and Holtslag AAM, 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. J. Hydrol., 212-213, 198-212.
22. Bastiaanssen, WGM, Noordman EJM, Pelgrum H, Davids G, Thoreson BP, and Allen RG, 2005. "SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field condition". J. Irrig. Drain. Eng., 131(1):85-93.

23. George P, Prasanna HG, Prasad PVV, Terry AH, Scott AS, Christopher MUN, 2013. Lysimetric evaluation of SEBAL using high resolution airborne imagery from BEAREX08, *Advances in Water Resources*. Volume 59, page 157-168.
24. Mokhtari MH, 2005. *Agricultural Drought Impact Assessment Using Remote Sensing: A Case study Borkhar district –Iran*. M.sc Thesis, ITC, Enschede, The Netherlands
25. Rawat K, Bala SA, Singh SK, and Pal RK, 2017. Quantification of Wheat Crop Evapotranspiration and Mapping: A Case Study from Bhiwani District of Haryana, India. *Agricultural Water Management* 187: 200–209.

ارزیابی اثرات کم‌آبیاری بر عملکرد، اجزاء عملکرد، محتوای پروتئین و بهره‌وری آب چهار رقم ذرت دانه‌ای در گرگان

منصور اسمعیلی، محمدرضا داداشی، محمدتقی فیض‌بخش^۱، کامی کابوسی و

فاطمه شیخ

دانشجوی دکترا گروه کشاورزی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران.

Esmailymansour57@yahoo.com

استادیار گروه کشاورزی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران.

Mdadashi370@yahoo.com

استادیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

گرگان، ایران. Fayz_54@yahoo.com

دانشیار گروه کشاورزی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران.

kkaboosi@yahoo.com

استادیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

گرگان، ایران. shaikhfatemeh@yahoo.com

دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۱ و پذیرش: آذر ۱۴۰۱

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثرات کم‌آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای در شرایط آب و هوایی گرگان، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، در ایستگاه عراقی محله گرگان در سال ۱۴۰۰ انجام شد. عامل اصلی کم‌آبیاری در چهار سطح (۱۰۰٪ (شاهد)، ۷۵٪، ۵۰٪ و ۲۵٪ نیاز آبی) بر اساس نمونه-برداری خاک برای تعیین رطوبت و آبیاری با روش قطره‌ای (نوار تیپ) انجام شد و عامل فرعی چهار رقم ذرت (BK50, ZP548, SC704, SC703) بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عامل کم‌آبیاری بر صفات مورد بررسی به‌جز تعداد ردیف در بلال در سطح یک درصد معنی‌دار بود. نیز، اثر ارقام روی همه صفات (تعداد ردیف در بلال، روز تا بلال-دهی، ارتفاع بوته، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، طول بلال، وزن خشک ساقه و برگ، وزن خشک چوب بلال، عملکرد دانه، بهره‌وری مصرف آب و پروتئین برگ) در سطح یک درصد معنی‌دار شد. همچنین، برهمکنش کم‌آبیاری و ارقام بر صفات تعداد ردیف طولی دانه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اثر معنی‌دار داشت. بالاترین عملکرد دانه (۷۷۲۲ کیلوگرم در هکتار) در تیمار شاهد مشاهده شد و عملکرد دانه تیمارهای ۷۵٪، ۵۰٪ و ۲۵٪ نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۶/۸٪، ۵۲/۴٪ و ۸۲٪ کاهش داشت. هیبرید ZP548 بیشترین عملکرد دانه (۵۵۷۶ کیلوگرم در هکتار) را داشت و بیشترین میزان پروتئین از تیمار ۲۵٪ نیاز آبی (۹/۹۱ میکرومول بر گرم) به دست آمد. بیشترین بهره‌وری مصرف آب در تیمار ۷۵٪ نیاز آبی (۱/۰۷ کیلوگرم بر متر مکعب) مشاهده شد. با توجه به میانگین کاهش آب مصرفی (۲۲۵۸ متر مکعب در هکتار) در این تیمار، آبیاری بر اساس ۷۵٪ نیاز آبی و کشت رقم ZP548 در منطقه گرگان توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد دانه، تنش خشکی، کارایی مصرف آب، نیاز آبی ذرت

۱- آدرس نویسنده مسئول: بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

مقدمه

ذرت (*Zea mays L*) یکی از مهم‌ترین محصولات استراتژیک و اقتصادی در جهان است (عبدالحماد و همکاران، ۲۰۲۱). برداشت بی‌رویه از ذخایر آب زیرزمینی، موجب بحران شدید کمبود آب شده است در شرایطی که محدودیت استفاده از منابع آبی وجود دارد، استفاده از روش کم‌آبیاری و بالا بردن بهره‌وری مصرف آب امری ضروری به شمار می‌آید (یداللهی و همکاران، ۱۴۰۰). کم‌آبیاری از جمله روش‌های افزایش بهره‌وری آب با دیدگاه افزایش تولید به ازای واحد مصرف آب است (عامریان و همکاران، ۱۴۰۰) و کاهش بازدهی که در اثر تنش آبی پدید می‌آید از طریق سود حاصل از کاهش قیمت آب مصرفی و به تبع آن افزایش سطح زیر کشت جبران می‌شود (دهقانی احمدآبادی و همکاران، ۱۴۰۰). در مناطقی که کمبود آب موجب محدودیت در کشاورزی باشد، می‌توان استراتژی کم‌آبیاری را برای صرفه‌جویی در مصرف آب را توصیه نمود (بزرگر و همکاران، ۱۴۰۰) و (پالاش و همکاران، ۱۴۰۰).

عرفان احمد و همکاران (۲۰۲۰) بیان داشتند که تولید دانه ذرت تحت تیمار دیم در مقایسه با تیمار آبیاری کامل کاهش بسیار زیادی داشته و عملکرد دانه در شرایط دیم در سال ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ به ترتیب به میزان ۸۴۶۵/۶۱ و ۷۸۸۴/۶۱ کیلوگرم در هکتار بوده که نسبت به تیمار آبیاری کامل به ترتیب حدود ۲۳/۶ و ۲۶/۱ درصد کاهش یافت همچنین کاهش عملکرد دانه در پژوهش عامریان و همکاران (۱۴۰۰) در سطوح کم‌آبیاری ۷۵ و ۵۵ درصد نسبت به ۱۰۰ درصد آبیاری (۱۴۸۰۵ کیلوگرم در هکتار) معنی‌دار بود. آقایی و همکاران (۱۴۰۰) در تحقیقی بیان داشتند که با افزایش شدت تنش خشکی اجزاء عملکرد ذرت کاهش می‌یابد. در این پژوهش تعداد ردیف در بلال از ۱۴/۱۱ ردیف در ۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر تا ۱۱/۱ ردیف در ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کاهش یافت و وزن هزار دانه نیز از ۲۴۱/۶ گرم به ۱۸۸ گرم کاهش پیدا کرد. واسایا و همکاران (۲۰۲۱) در آزمایشی که بر

روی دو رقم ذرت، سه شرایط آبیاری و دوزهای مختلف پتاسیم در اسلام‌آباد پاکستان انجام داد بیان نمودند که می‌توان اثرات نامطلوب خشکی را با حفظ پتانسیل اسمزی بهبود بخشید از طرفی با افزایش تنش خشکی به‌طور قابل توجهی وزن اندام هوایی و وزن خشک آن‌ها کاهش یافت.

خشائی و همکاران (۱۳۹۸) اعلام نمودند که اعمال کم‌آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی ذرت به علت بهره‌وری آب بالا در نواحی دارای مشکل کمبود منابع آب می‌تواند راهکار مناسبی برای صرفه‌جویی آب و رسیدن به بازده بیشتر باشد و بیشترین بهره‌وری آب به میزان ۲/۹۸ کیلوگرم بر هکتار با اعمال کم‌آبیاری به میزان ۷۵٪ نیاز آبی خالص گیاه به‌دست آمد. ساناتاوی و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی بیان داشتند که بهره‌وری مصرف آب ذرت تحت چهار رژیم آبیاری شامل بیش از حد (۱۲۰٪ تبخیر و تعرق)، نرمال (۱۰۰٪) و کمبود (۸۰٪) و شدید (۶۰٪) را بررسی کردند و بیان داشتند که آبیاری بیش از حد، عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش نداد در حالی که بهره‌وری مصرف آب را به‌طور معنی‌داری کاهش داد.

لازم به توضیح است که تحمل خشکی یعنی توانایی گیاه در درک کمبود آب و آغاز راهبردهای مقابله‌ای در برابر آن (لیو و کین، ۲۰۲۱) که یکی از این راهبرد-ها در ذرت لوله‌ای شدن برگ‌ها و تغییر رنگ برگ‌ها از سبز به سبز خاکستری است (شیرین پور و همکاران، ۲۰۲۱). از طرفی افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی یکی از مهم‌ترین سازوکارهای دفاعی گیاهان در برابر تنش‌ها است (شرقی و خلیلوند بهروزیار، ۱۳۹۸). کم‌آبیاری باعث افزایش میزان پرولین می‌گردد و با شدت گرفتن تنش به مقدار آن افزوده می‌شود؛ به‌طوری‌که در شرایط تنش کمبود آب گیاه به‌منظور جذب آب، از طریق تجمع ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی ازجمله پرولین و کربوهیدرات‌های محلول برگ، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد (بوش و همکاران، ۱۴۰۰) و (پیکرستان و همکاران،

(۱۳۹۷). تجمع پرولین در گیاهان تحت تنش به واسطه ساخت پرولین و غیرفعال شدن تخریب آن است و در این تحقیق بالاترین میزان پرولین در تیمار کم آبیاری ۴۰ درصد به دست آمد (بزرگر و همکاران، ۱۴۰۰). بوش و همکاران (۱۴۰۰) در تحقیقی بر روی گوجه فرنگی بیان داشتند که بیشترین میزان پرولین در برگ در تیمار نیاز آبیاری ۴۰ درصد با میانگین $9/07 \text{ g}/\mu\text{mol}$ و کمترین مقدار آن در تیمار نیاز آبیاری ۱۰۰ درصد با میانگین $4/22 \text{ g}/\mu\text{mol}$ مشاهده شد.

با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، کاهش بارندگی و کمبود آب، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات کم-آبیاری بر صفات کمی و کیفی و معرفی بهترین رژیم آبیاری و رقم در شرایط کم آبیاری در شهرستان گرگان اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان واقع در پنج کیلومتری شمال گرگان با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی انجام شد. ارتفاع از سطح دریا پنج متر و میانگین دما و بارندگی ۱۵ ساله به ترتیب ۱۸/۱ درجه سانتی‌گراد و ۴۷۶/۱ میلی‌متر است. آزمایش در قالب طرح اسپلیت پلات بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. قبل از اجرای آزمایش به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش، از اعماق مختلف نمونه برداری شد و نمونه‌ها توسط آزمایشگاه خاک تجزیه شدند (جدول ۱). آب مورد نیاز از یک حلقه چاه واقع در مزرعه تحقیقاتی

تأمین گردید، آب چاه به خاطر اینکه از میزان شوری و بی-کربنات پائینی برخوردار بوده دارای کیفیت مطلوب بوده و هیچ گونه محدودیتی برای رشد و نمو ذرت نداشت. میزان آنیون‌ها و کاتیون‌ها بر اساس روش‌های استاندارد در آزمایشگاه بخش تحقیقاتی خاک و آب (مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان) اندازه‌گیری شدند (جدول ۲). بر اساس نتایج این آزمون، نوع بافت خاک لوم سیلتی بود. میزان کود پایه (شامل فسفات تریپل و سولفات پتاسیم) مورد نیاز قبل از کشت و کود اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در طی دو مرحله (۶-۸ برگی و قبل از تاسل دهی) به صورت نواری به مزرعه داده شد. کشت در اول تیر ماه ۱۴۰۰ انجام شد و تراکم بوته ۶۵ هزار بوته در هکتار در نظر گرفته شد که با در نظر گرفتن ۲۰ سانتی‌متر روی خطوط کاشت و فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متری به دست آمد، در هر کرت چهار ردیف هشت متری با دست و به صورت کپه‌ای کشت گردید و در مرحله سه برگی تنک شد و جهت کاهش اثرات سایه‌اندازی و نفوذ آب به کرت‌های مجاور در بین تیمارها دو متر حاشیه در نظر گرفته شد. کم آبیاری در چهار سطح در کرت‌های اصلی (۱۰۰ درصد (شاهد)، ۷۵ درصد، ۵۰ درصد و ۲۵ درصد نیاز آبی (با استفاده از اوگر) در عمق توسعه ریشه انجام شد و عامل فرعی شامل چهار رقم ذرت (SC704، SC703، BK50، ZP548) بود. عملیات داشت از قبیل وجین علف‌های هرز و مبارزه با آفات و بیماری‌ها بسته به نیاز در طول فصل زراعی انجام شد و جدول شماره (۳) پارامترهای هواشناسی شهر گرگان در طول فصل رشد، در طی سال ۱۴۰۰ را نشان می‌دهد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک (cm)	اسیدیته	هدایت الکتریکی خاک (dS. m ⁻¹)	کربن آلی (درصد)	نیترژن کل (درصد)	فسفر قابل دسترس (mgkg ⁻¹)	پتاسیم قابل دسترس (mgkg ⁻¹)	وزن مخصوص ظاهری	بافت خاک	محتوی آب خاک		
									نقطه اشباع (درصد حجمی)	ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	نقطه پژمردگی دائم (درصد حجمی)
۳۰-۰	۷/۲	۱/۳۱	۱/۳	۰/۱۳	۵/۶	۲۵۰	۱/۴۲	سیلتی لوم	۵۲/۲	۲۷	۱۲/۳
۶۰-۳۰	۷/۳	۱/۴۲	۰/۶	۰/۰۶	۲	۱۰۸	۱/۴۰	سیلتی کلی لوم	۵۱/۹	۲۷/۶	۹/۸

جدول ۲- ویژگی‌های کیفی آب آبیاری در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان

کاتیون‌ها (meq/lit)					آنیون‌ها (meq/lit)				pH	EC (dS.m ⁻¹)
Ca ⁺	Mg ⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Hco ₃ ⁻	Co ₃ ⁻²	So ₄ ⁻²			
۶/۱	۶/۷	۱/۹	۰/۲۳	۹/۴	۴/۳	۰/۳	۱/۱	۷/۳		۰/۶

جدول ۳- میانگین دمای حداقل و حداکثر و مجموع بارندگی در طی دوره کشت و مقایسه آن با آمار ۱۵ ساله در گرگان (منبع اداره کل هواشناسی استان گلستان- ایستگاه هواشناسی فرودگاه گرگان)

ماه	میانگین حداقل دما ۱۴۰۰	میانگین حداقل دما ۱۵ ساله	میانگین حداکثر دما ۱۵ ساله	میانگین دمای ۱۵ ساله	بارندگی ۱۴۰۰	بارندگی ۱۵ ساله
تیر	۲۴/۱	۲۳	۳۷/۲	۳۴/۴	۲۸/۷	۲۳/۱
مرداد	۲۴/۷	۲۳/۳	۳۶/۵	۳۴/۹	۲۹/۱	۳/۹
شهریور	۲۳/۱	۲۰/۷	۳۴/۵	۳۲/۹	۲۶/۸	۲/۸
مهر	۱۵/۳	۱۴/۹	۲۵/۵	۲۷/۷	۲۱/۳	۵۸/۲
آبان	۶/۸	۹/۲	۱۸/۸	۲۱	۱۵/۱	۴۱/۷

اعمال تیمارهای کم آبیاری ۱۵ روز پس از کشت (باز شدن کامل سومین برگ) آغاز و تا رسیدگی فیزیولوژیکی ادامه یافت. به منظور اندازه‌گیری آب مورد نیاز برای گیاه سه روز پس از هر آبیاری، میزان رطوبت از طریق نمونه‌برداری با استفاده از اوگر در عمق توسعه ریشه (۳۰-۶۰ سانتی‌متر) از کرت‌های ۱۰۰ درصد نیاز آبی (شاهد)، در ارقام و تکرارهای مختلف و در عمق توسعه ریشه گرفته شد و پس از انتقال به آزمایشگاه، در آون در درجه حرارت ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردیدند و بلافاصله پس از رسیدن به ۴۰ تا ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده، آبیاری انجام شد تا رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی حفظ شود. میزان نیاز آبی بر اساس کرت‌های ۱۰۰ درصد به دست آمد و سپس میزان نیاز آبی هر یک از کرت‌ها بر اساس درصد

تعیین شده محاسبه گردید. آبیاری به صورت قطره‌ای با استفاده از نوارهای آبیاری تیپ انجام شد. جنس نوارهای آبیاری، پلی اتیلن به قطر ۲۰ میلی‌متر و فاصله روزنه‌ها ۲۰ سانتیمتر و میزان خروجی آب از روزنه دو لیتر در ساعت بود.

حجم آب آبیاری در تیمارهای مختلف با استفاده از رابطه ۱ تعیین شد (فیض بخش و همکاران، ۲۰۱۵).

$$VW = (Fc - \theta) * Bd * a * d / Ea \quad (1)$$

VW حجم آب مورد نیاز آبیاری (مترمکعب): FC درصد رطوبت وزنی، BD جرم مخصوص ظاهری خاک مزرعه، θ درصد وزنی رطوبت خاک هنگام نمونه‌برداری، Ea راندمان آبیاری (۹۰ درصد)، d عمق ریشه (متر) و a مساحت کرت (۲۴ مترمربع) انجام شد. بهره‌وری مصرف

آب با استفاده از رابطه ۲ تعیین شد که در این رابطه WUE بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم در مترمکعب)، W_{grain} عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و W مقدار آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) است و مجموع آب مصرفی در هر کرت به تفکیک تیمارهای کم‌آبیاری و ارقام در جدول (۴) ذکر گردید. در کل زمان اعمال تیمارها در روش آبیاری قطره‌ای ۱۱ بار آبیاری انجام گرفت.

جدول ۴- مجموع آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) تیمارهای مختلف کم‌آبیاری و ارقام

کم‌آبیاری	رقم	آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)	میزان صرفه‌جویی در آب (مترمکعب در هکتار)
۱۰۰ درصد نیاز آبی	SC703	۹۱۳۷	-
	SC704	۹۲۵۳	-
	ZP548	۸۸۵۹	-
	BK50	۸۸۷۸	-
۷۵ درصد نیاز آبی	SC703	۶۸۵۳	۲۲۸۴
	SC704	۶۹۳۹	۲۳۱۳
	ZP548	۶۶۴۴	۲۲۱۵
	BK50	۶۶۵۹	۲۲۲۰
۵۰ درصد نیاز آبی	SC703	۴۵۶۹	۴۵۶۸
	SC704	۴۶۲۷	۴۶۲۶
	ZP548	۴۴۳۰	۴۴۲۹
	BK50	۴۴۳۹	۴۴۳۹
۲۵ درصد نیاز آبی	SC703	۲۲۸۴	۶۸۵۳
	SC704	۲۳۱۳	۶۹۳۹
	ZP548	۲۲۱۴	۶۶۴۴
	BK50	۲۲۱۹	۶۶۵۹

بهره‌وری مصرف آب بر اساس رابطه ۲ به دست آمد.

$$WUE = \frac{W_{grain}}{W} \quad (2)$$

به‌منظور محاسبه روز تا بلال دهی ذرت در تیمارهای کم‌آبیاری و رقم بر اساس مشاهده ورود ۵۰ درصد بوته‌ها به مرحله فنولوژی یادداشت‌برداری گردید و جهت آزمایش پرولین قبل از ساعت ۱۱ صبح در هر کرت آزمایشی در مرحله ظهور گل تاجی، به‌طور تصادفی تعداد سه برگ برداشت و به آزمایشگاه جهت اندازه‌گیری میزان پرولین انتقال یافت. ۰/۱ گرم نمونه را در هاون چینی همراه با ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳/۳٪ سائیده و عصاره حاصل را در لوله آزمایش ریخته و در مخلوط آب و یخ نگهداری گردد. در مرحله بعد دو میلی‌لیتر از معرف ناین هیدرین (۱/۲۵ گرم ناین هیدرین + ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک شش مولار + ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک خالص) و دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال (خالص) و لوله‌ها به

مدت یک ساعت در حمام آب جوش (بنماری) قرار گرفته در این مرحله و در زیر هود شش میلی‌لیتر تولوئن به هر یک از لوله‌های آزمایش افزوده، در این حالت دو فاز تشکیل می‌شود؛ بنابراین یک میلی‌لیتر از فاز بالایی که محتوی پرولین بوده و طیف رنگی از صورتی تا بنفش را شامل بوده، برداشته و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر میزان جذب نور قرائت شد (مشایخی و آتشی، ۱۳۹۴). دو هفته پس از رسیدگی فیزیولوژیک دانه پس از حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر ردیف بوته‌های ذرت دو ردیف وسط به‌طول پنج متر با مساحت در هر کرت هفت متر مربع برداشت شدند و اجزای عملکرد از طریق میانگین‌گیری ۱۰ بوته انتخابی تعیین شد. سپس کل بلال‌های برداشت‌شده از هر کرت توزین و به‌وسیله کارگر، دانه از چوب بلال جدا شد. به‌منظور تعیین صفاتی نظیر ارتفاع بوته و بلال، تعداد ردیف دانه، تعداد دانه روی ردیف از هر کرت فرعی ۱۰

بوته به طور تصادفی انتخاب و این صفات در آن‌ها اندازه گیری شدند. برای اندازه گیری وزن هزار دانه بعد از برداشت محصول و خشک کردن در دمای ۷۰ درجه به مدت ۷۲ ساعت وزن خشک دانه‌ها به دست آمد و وزن هزار دانه بر اساس ۱۴ درصد محاسبه شد. تجزیه، تحلیل و آنالیز داده‌ها و ضرایب همبستگی با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.1.3 و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون LSD تا سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بر صفات متعدد عملکرد و اجزاء عملکرد، پرولین و بهره‌وری مصرف آب در جدول شماره ۵ ارائه شده است.

ارزیابی اثرات سطوح کم آبیاری و ارقام بر روز تا بلال دهی

نتایج تجزیه واریانس روز تا بلال دهی نشان می‌دهد که اثرات ساده تیمارهای آبیاری و ارقام ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد و برهمکنش سطوح آبیاری و ارقام بر این صفت تأثیر معنی داری مشاهده نشد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین (جدول ۶) نشان داد که بین سطوح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۷۵ درصد نیاز

آبی اختلاف معنی داری وجود نداشت ولی با سطوح ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی اختلاف معنی دار بود. بیشترین کمترین روز تا بلال دهی به ترتیب در تیمار آبیاری کامل (۶۵ روز) و تیمار آبیاری ۲۵ درصد نیاز آبی به میزان (۶۲ روز) بود. اعمال تنش خشکی در همه مراحل موجب کاهش روز تا رسیدگی هیبریدهای ذرت می‌گردد (منصوری فر و همکاران، ۱۳۹۳). ارقام متحمل به خشکی در شرایط تنش آبی، برای رسیدن به مراحل مختلف فنولوژیک به روزهای بیشتری نیاز داشتند و همه ارقام برای دستیابی به مراحل مختلف فنولوژیکی زودرس می‌شوند (رای و همکاران، ۲۰۲۰). این نتایج با یافته‌های (الیاس و همکاران، ۲۰۱۹)، (آفرینش و همکاران، ۱۳۹۴) و (الیاس و همکاران، ۲۰۲۰) مطابقت دارد، نتایج مقایسه میانگین (جدول ۶) نشان داد که بیشترین روز تا بلال دهی در ارقام در رقم ZP548 به میزان ۶۳ روز به دست آمد. نتایج ضرایب همبستگی (جدول ۷) نشان داد که همبستگی مثبت و معنی داری بین روز تا بلال دهی و عملکرد دانه وجود داشت و هیبریدها با طول دوره رویشی بیشتر و در شرایط آبیاری کامل دارای عملکرد دانه بالاتری بودند.

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات کمی و کیفی

میانگین مربعات													
منابع تغییرات	درجه آزادی	روز تا بلال دهی	ارتفاع بوته	تعداد ردیف در بلال	تعداد دانه در ردیف	وزن هزار دانه	طول بلال	وزن خشک پوست ساقه برگ	وزن خشک چوب بلال	وزن خشک کل	عملکرد دانه	کارایی مصرف آب	پروлін نهایی
تکرار	۲	۷/۷۷ ^{**}	۱۰۵۵/۹۵ ^{**}	۱۰/۵۹ ^{**}	۲۳/۷۵ [*]	۱۳۴/۱۶ ^{ns}	۲/۰۹ ^{ns}	۸۱۲۳۱۱۳/۷ ^{**}	۸۵۸۴۲/۳ ^{**}	۹۸۷۶۵۰۳/۷ ^{**}	۱۷۶۳۷۵۱/۴ ^{**}	۰/۰۸ ^{**}	۱/۷۴ ^{ns}
کم آبیاری (a)	۳	۴۴/۷۲ ^{**}	۳۵۸۴/۲۵ ^{**}	۰/۵۴ ^{ns}	۱۸۰/۶۱ ^{**}	۴۷۶۴/۸۵ ^{**}	۱۰۳/۲۳ ^{**}	۱۸۶۵۸۰۳۸۶/۵ ^{**}	۷۵۳۳۹۳/۹ ^{**}	۲۰۷۴۶۱۹۹۲/۲ ^{**}	۱۰۸۷۷۳۶۹۰/۷ ^{**}	۰/۴۱ ^{**}	۲۶/۰۵ ^{**}
خطای a	۶	۱/۰۷ ^{ns}	۵۲/۳۵ ^{ns}	۰/۹۹ ^{ns}	۳/۶۹ ^{ns}	۲۲۸/۹۷ ^{ns}	۱/۰۸ ^{ns}	۶۵۵۵۶۱/۵ ^{ns}	۲۶۹۶/۵ ^{ns}	۷۰۸۷۷۷/۳ ^{ns}	۱۴۲۸۰۷ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۴۹ ^{ns}
هیبرید (b)	۳	۳/۸۳ ^{**}	۱۳۵۰/۲۵ ^{**}	۲۶/۲۳ ^{**}	۱۹۷/۷۳ ^{**}	۱۵۳۶/۰۳ ^{**}	۱۷/۱۳ ^{**}	۱۲۹۳۳۰۶۹/۹ ^{**}	۶۹۱۷۹/۵ ^{**}	۱۴۸۲۴۲۴۱ ^{**}	۶۱۸۳۳۶۸/۵ ^{**}	۰/۲۶ ^{**}	۶/۷۶ ^{**}
کم آبیاری*هیبرید	۹	۱/۰۳ ^{ns}	۳۶/۸۳ ^{ns}	۱/۷۲ ^{ns}	۳۲/۹۱ ^{**}	۱۲۳/۳۸ [*]	۲/۲۳ ^{ns}	۵۷۷۲۸۳/۲ ^{ns}	۴۹۸۵/۴ ^{ns}	۶۲۵۸۲۳/۸ ^{ns}	۲۹۸۶۲۰/۲ [*]	۰/۰۰۵ ^{ns}	۲/۱۶ ^{ns}
خطای b	۲۴	۰/۵۲	۷۶/۸	۱/۸۴	۶/۳۵	۲۵۵/۲۷	۲/۶۴	۸۵۳۰۹۲	۳۷۰۷/۹	۹۲۶۲۷۵/۳	۱۰۴۹۲۳/۹	۰/۰۰۷	۱/۱۲
ضریب تغییرات		۱/۱۶	۴/۴۹	۱۱/۲۵	۱۲/۳۳	۷/۳۷	۸/۵۶	۸/۸۰	۹/۶۰	۸/۶۵	۶/۴۷	۱۰/۰۹	۱۲/۷۴

*, ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج، یک درصد و غیرمعنی دار.

بررسی اثرات سطوح مختلف کم‌آبیاری و ارقام بر ارتفاع بوته و طول بلال

نتایج تجزیه واریانس مبین این بود که اثرات تیمارهای آبیاری و ارقام ذرت بر صفات ارتفاع بوته و طول بلال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و اثر متقابل سطوح آبیاری و ارقام بر ارتفاع بوته و طول بلال تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین (جدول ۶) ارتفاع بوته نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار ۷۵ درصد آبیاری (۲۰۹/۴ سانتی‌متر) بود که با تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد اختلاف معنی‌دار آماری نداشت ولی در صفت طول بلال، بیشترین مقدار (۲۱/۷۵ سانتی‌متر) در آبیاری کامل به‌دست آمد. بیشترین ارتفاع بوته و طول بلال به ترتیب از هیبرید SC703 و ZP548 به‌دست آمد و کمترین ارتفاع بوته و طول بلال از هیبرید BK50 به دست آمد. نتایج بررسی‌های ارقام در سطوح مختلف کم‌آبیاری نشان داد که با اعمال تیمار کم-آبیاری تا ۷۵ درصد نیاز آبی ارتفاع بوته ارقام مختلف افزایش‌یافته و پس از اعمال تیمارهای ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی در تمامی ارقام کاهش شدید ارتفاع بوته مشاهده شد که بیانگر اثر کم‌آبیاری بر ارتفاع بوته در تمامی ارقام است. همچنین در شرایط کم‌آبیاری و تنش به دلیل تسریع در مراحل زایشی (فرار از خشکی) زمان برای پر شدن دانه‌ها کافی نبوده و طول بلال کاهش می‌یابد و با افزایش سطوح کم‌آبیاری ارتفاع بوته و طول بلال کاهش شدیدتری نشان می‌دهند... امینی و همکاران (۱۴۰۰) بیان داشتند که کاهش اثرات تنش خشکی، میزان عناصر غذایی در دسترس گیاه را افزایش داده و ارتفاع بوته و عملکرد را افزایش داد. نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های (آقایی و همکاران، ۱۴۰۰) و (سانتوس رزنه و همکاران، ۲۰۲۰) مطابقت دارد. ارتفاع بوته با همه صفات مورد بررسی از جمله عملکرد ماده خشک (**/۶۳+)، عملکرد دانه (**/۷۰+) و بهره‌وری مصرف آب (**/۴۲+) رابطه مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۷).

بررسی اثرات سطوح مختلف کم‌آبیاری و ارقام بر وزن خشک ساقه، برگ و پوست بلال، چوب بلال و وزن خشک زیست‌توده

نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از تأثیر معنی-دار تیمارهای آبیاری و ارقام ذرت در سطح یک درصد بر صفات وزن خشک ساقه، برگ و پوست بلال، چوب بلال و وزن خشک زیست‌توده است (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین در شکل ۶ نشان می‌دهد که اعمال تیمار آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار صفات وزن خشک ساقه، برگ و پوست بلال، چوب بلال و وزن خشک زیست‌توده شده که با افزایش سطوح آبیاری کاهش عملکرد تشدید شد و آبیاری ۲۵ درصد نیاز آبی کمترین مقدار را در تیمارهای آبیاری نشان داد. کم بودن وزن خشک اندام‌های رویش گیاه با اعمال تیمارهای کم‌آبیاری رابطه مستقیمی با مقادیر ارتفاع گیاه دارد. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۶) نشان داد که تیمارهای آبیاری کامل دارای بیشترین عملکرد وزن خشک ساقه، برگ و پوست بلال، چوب بلال و وزن خشک زیست‌توده به ترتیب ۱۴۱۷۷/۴، ۸۸۲/۴۳ و ۱۴۹۹۹/۸ بود، همچنین رقم ZP548 دارای بالاترین عملکرد وزن خشک ساقه، برگ و پوست بلال و وزن خشک زیست‌توده به ترتیب ۱۱۴۳۳/۵ و ۱۲۱۰۹/۶ کیلوگرم در هکتار و رقم SC704 بالاترین عملکرد وزن خشک چوب بلال (۶۷۷/۳۸ کیلوگرم در هکتار) بودند. وزن خشک بلال همانند عملکرد دانه بیشترین تأثیرپذیری در نتیجه اعمال تنش آبی را دارد (پالاش و همکاران، ۱۴۰۰).

در شرایط تنش خشکی ارتفاع بوته و تعداد برگ در بوته کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند که این امر در نهایت باعث کاهش وزن تر و خشک گیاه در شرایط تنش می‌گردد (آقایی و همکاران، ۱۴۰۰) و کاهش عملکرد وزن خشک برگ، ساقه و پوست بلال بر اثر کم‌آبیاری با نتایج سایر تحقیقات که در آن‌ها نیز با کاهش آب آبیاری از عملکرد خشک گیاه کم شده، هماهنگ است (پالاش و همکاران، ۱۴۰۰).

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های صفات کمی و کیفی

تیمارها	روز تا بلال- دهی	ارتفاع بوته (cm)	تعداد ردیف در بلال	تعداد دانه در ردیف	وزن هزار دانه (g)	طول بلال (cm)	وزن خشک پوست بلال، ساقه برگ (kg.ha ⁻¹)	وزن خشک چوب بلال(kg.ha ⁻¹)	وزن خشک کل(kg.ha ⁻¹)	عملکرد دانه(kg.ha ⁻¹)	بهره‌وری مصرف آب(kg.ha ⁻³)	محتوای پروئین
تیمارهای آبیاری	۱۰۰٪	۶۴/۸ ^a	۲۰۷/۸۹ ^a	۱۲/۲۵ ^a	۲۴/۱۵ ^a	۲۳۰/۸۵ ^a	۲۱/۷۵ ^a	۱۴۱۷۷/۴ ^a	۸۲۲/۴۳ ^a	۱۴۹۹۹/۸ ^a	۰/۸۵ ^b	۶/۶۹ ^d
	۷۵٪	۶۴/۳۳ ^a	۲۰۹/۴۴ ^a	۱۱/۷۹ ^a	۲۲/۵۸ ^a	۲۲۸/۱۳ ^a	۲۰/۶۶ ^b	۱۳۵۸۳/۹ ^a	۷۸۶/۹۴ ^a	۱۴۳۷۰/۹ ^a	۱/۰۷ ^a	۷/۵۰ ^c
	۵۰٪	۶۰/۴۱ ^c	۱۹۰/۸۳ ^b	۱۲/۱۹ ^a	۱۹/۶۹ ^b	۲۱۹/۸۸ ^a	۱۸/۳۷ ^c	۷۶۰۵/۳ ^b	۶۵۱/۶۶ ^b	۸۲۵ ^b	۰/۸۱ ^b	۹/۱۲ ^b
	۲۵٪	۶۱/۵۰ ^b	۱۷۲/۵۵ ^c	۱۱/۹۷ ^a	۱۵/۳۳ ^c	۱۸۷/۵۴ ^b	۱۵/۱۱ ^d	۶۵۹۷/۱ ^c	۲۴۷/۶۴ ^c	۶۸۷۱/۷ ^c	۰/۶۱ ^c	۹/۹۱ ^a
ارقام ذرت	Sc703	۶۱/۹۱ ^c	۲۰۸/۸۲ ^a	۱۳/۵۳ ^a	۲۱/۹۰ ^a	۲۱۵/۳۶ ^b	۱۹/۱ ^a	۱۰۶۲۵/۷ ^b	۶۶۱/۶۳ ^a	۱۱۲۸۷/۳ ^b	۰/۸۳ ^b	۸/۲۷ ^b
	Sc704	۶۲/۳۳ ^b	۱۹۸/۰۵ ^b	۱۲/۹۴ ^a	۲۲/۵۱ ^a	۲۱۶/۵۹ ^b	۱۹/۲۷ ^a	۱۰۸۸۶/۷ ^{ab}	۶۷۷/۳۸ ^a	۱۱۵۶۴/۱ ^{ab}	۰/۹۰ ^b	۷/۹۶ ^b
	Zp548	۶۳/۱۶ ^a	۱۸۸/۷ ^c	۱۱/۵ ^b	۲۲/۹۵ ^a	۲۳۱/۰۴ ^a	۲۰/۱۹ ^a	۱۱۴۳۳/۵ ^a	۶۷۶/۱۳ ^a	۱۲۱۰۹/۶ ^a	۰/۹۸ ^a	۷/۶۴ ^b
	Bk50	۶۲/۹۱ ^{ab}	۱۸۵/۱۳ ^c	۱۰/۲۴ ^c	۱۴/۳۸ ^b	۲۰۳/۴۱ ^b	۱۷/۳۳ ^b	۹۰۱۷/۸ ^c	۵۲۰/۵۳ ^b	۹۵۳۸/۴ ^c	۰/۶۳ ^c	۹/۰۸۳ ^a

میانگین‌هایی با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ با هم ندارند

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات کمی و کیفی ذرت

	DPC	HP	NRE	NGR	TKW	EL	DWLSB	DWEW	TDM	GY	WUE	LPC
DPC	۱	۰/۲۸۳ ^{ns}	۰/۲۷۳ ^{ns}	۰/۲۵۲ ^{ns}	۰/۳۱۶ [*]	۰/۴۹۶ ^{**}	۰/۷۸۱ ^{**}	۰/۵۳۹ ^{**}	۰/۷۷۳ ^{**}	۰/۷۱۱ ^{**}	۰/۴۹۳ ^{**}	۰/۵۲۴ ^{**}
HP		۱	۰/۳۸۶ ^{**}	۰/۶۱۲ ^{**}	۰/۵۳۵ ^{**}	۰/۶۶۳ ^{**}	۰/۶۲۴ ^{**}	۰/۶۳۳ ^{**}	۰/۶۳۱ ^{**}	۰/۷۰۷ ^{**}	۰/۴۲۲ ^{**}	۰/۵۲۴ ^{**}
NRE			۱	۰/۵۰۹ ^{**}	۰/۰۹۷ ^{ns}	۰/۲۱۹ ^{ns}	۰/۰۶۹ ^{ns}	۰/۱۱۷ ^{ns}	۰/۰۷۲ ^{ns}	۰/۱۰۱ ^{ns}	۰/۱۲۳ ^{ns}	۰/۲۴۳ ^{ns}
NGR				۱	۰/۶۶۱ ^{**}	۰/۷۲۴ ^{**}	۰/۵۹۶ ^{**}	۰/۶۴۲ ^{**}	۰/۶۰۴ ^{**}	۰/۶۸۲ ^{**}	۰/۵۷۹ ^{**}	۰/۶۷۹ ^{**}
TKW					۱	۰/۶۷۴ ^{**}	۰/۶۰۹ ^{**}	۰/۷۳۰ ^{**}	۰/۶۲۲ ^{**}	۰/۷۱۳ ^{**}	۰/۶۰۷ ^{**}	۰/۵۰۸ ^{**}
EL						۱	۰/۸۰۶ ^{**}	۰/۸۱۵ ^{**}	۰/۸۱۴ ^{**}	۰/۷۷۰ ^{**}	۰/۶۶۸ ^{**}	۰/۷۲۰ ^{**}
DWLSB							۱	۰/۸۴۳ ^{**}	۰/۹۹۹ ^{**}	۰/۹۶۰ ^{**}	۰/۷۵۵ ^{**}	۰/۷۱۷ ^{**}
DWEW								۱	۰/۸۶۱ ^{**}	۰/۹۱۳ ^{**}	۰/۷۹۲ ^{**}	۰/۶۲۵ ^{**}
TDM									۱	۰/۹۶۶ ^{**}	۰/۷۶۵ ^{**}	۰/۷۱۷ ^{**}
GY										۱	۰/۷۳۸ ^{**}	۰/۷۶۰ ^{**}
WUE											۱	۰/۵۲۴ ^{**}
LPC												۱

* و ** : ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیرمعنی دار

DPC: روز از بوته تا بلال، HP: ارتفاع بوته، NRE: تعداد ردیف در بلال، NGR: تعداد دانه در ردیف، TKW: وزن هزار دانه، EL: طول بلال، DWLSB: وزن خشک پوست ساقه برگ، DWEW: وزن خشک بلال، چوب، TDM: کاملاً خشک، GY: عملکرد دانه، WUE: مصرف آب بهینه، LPC: محتوای پروئین برگ

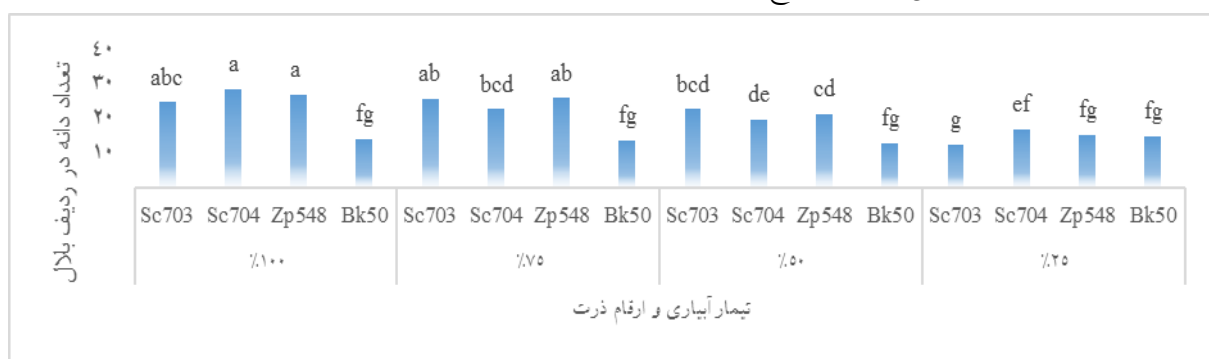
نتایج بررسی اثرات سطوح مختلف کم‌آبیاری و ارقام ذرت بر عملکرد و اجزاء عملکرد تعداد ردیف در بلال

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داده‌شده در جدول ۵، اثرات ارقام ذرت بر روی تعداد ردیف در بلال در سطح یک درصد معنی‌دار بود ولی اثرات تیمارهای آبیاری و اثر متقابل تیمارهای آبیاری و ارقام ذرت معنی‌داری نگردید. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میانگین بیشترین تعداد ردیف در بلال در ارقام مورد بررسی مربوط به رقم SC703 با ۱۳/۵۳ ردیف بوده که با هیبریدهای SC704 (۱۲/۹۴ ردیف) تفاوت معنی‌داری نداشت و میانگین کمترین تعداد ردیف در بلال مربوط به هیبرید BK50 با ۱۰/۲۴ ردیف مشاهده گردید (جدول ۶). صفت تعداد ردیف در بلال تحت کنترل شدید ژنتیکی است و انتظار می‌رود که این صفت تحت شرایط مختلف ثابت باشد و کمتر تحت تأثیر محیط قرار گیرد (محمدی بهمدی و آرمین، ۱۳۹۶). نتایج نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری ($+0.50^{**}$) بین تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در ردیف وجود داشت، همچنین سلامتی و دانایی (۱۴۰۰) بیان نمودند که عملکرد دانه در حالت بدون تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد ردیف دانه در بلال دارد.

تعداد دانه در ردیف بلال

نتایج تجزیه واریانس مبین این بود که اثرات ساده تیمارهای آبیاری و ارقام ذرت و اثرات متقابل آن بر روی تعداد دانه در ردیف طولی بلال در سطح یک درصد

معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد کم‌آبیاری موجب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در ردیف طولی بلال شد، به‌طوری‌که میانگین بیشترین تعداد دانه در ردیف طولی بلال در تیمار آبیاری کامل با ۲۴/۱۵ دانه بوده و میانگین کمترین تعداد دانه در ردیف طولی بلال مربوط به تیمار ۲۵ درصد آبیاری کامل با ۱۵/۳۲ دانه بود. از طرفی میانگین بیشترین تعداد دانه در ردیف طولی بلال در ارقام مورد بررسی مربوط به رقم ZP548 با ۲۲/۹۵ دانه بود که با هیبریدهای SC704 و SC703 تفاوت معنی‌داری نداشت و میانگین کمترین تعداد دانه در ردیف طولی مربوط به هیبرید BK50 با ۱۴/۳۸ دانه مشاهده گردید (جدول ۶). مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آبیاری $\times$ ارقام ذرت نشان داد که بیشترین تعداد دانه در ردیف در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد در رقم SC703 به‌دست آمد که با رقم ZP548 در همین شرایط آبیاری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱). بالاتر بودن تعداد دانه در ردیف بلال در یک رقم را می‌توان به تحمل به تنش خشکی بیشتر این ارقام مرتبط دانست و کاهش تعداد دانه در ردیف بلال در رقم‌های مورد بررسی در سطوح مختلف تنش به اثرات کمبود رطوبت و کمبود مواد غذایی به دلیل کاهش سطح برگ یا دوام سطح برگ در اثر تنش است (محمدی بهمدی و آرمین، ۱۳۹۶). نتایج ضرایب همبستگی در جدول ۷ نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تعداد دانه در ردیف طولی با وزن هزار دانه ($+0.66^{**}$)، عملکرد دانه ($+0.68^{**}$)، شاخص برداشت ($+0.65^{**}$) و بهره‌وری آب ($+0.57^{**}$) وجود داشت که با نتایج (سلامتی و دانایی، ۱۳۹۹) مطابقت دارد.

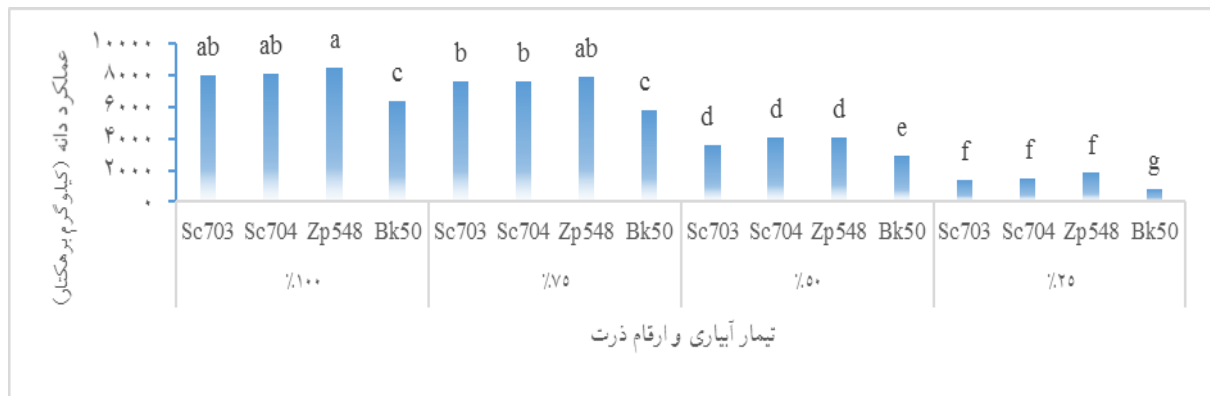


شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آبیاری $\times$ ارقام ذرت بر تعداد دانه در ردیف بلال

عملکرد دانه

میزان عملکرد دانه که یکی از مهم‌ترین صفات مورد اندازه‌گیری در این پژوهش بوده پس از خشک‌کردن دانه در آون و تبدیل آن در ۱۴ درصد رطوبت به دست آمد که نتایج تجزیه واریانس بر اساس جدول ۵ نشان داد که تیمارهای آبیاری و ارقام ذرت در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل تیمارهای آبیاری × ارقام ذرت در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین عملکرد دانه (جدول ۶) نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در آبیاری کامل (۷۷۲۲/۵ کیلوگرم در هکتار) و کمترین میزان عملکرد دانه از تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی (۱۳۸۸/۸۰ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که نشان از تأثیرپذیری زیاد ذرت به میزان آب مصرفی است به طوری که با اعمال تیمارهای کم‌آبیاری، در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی، میزان عملکرد دانه ۶/۸ درصد کاهش داشته ولی با تیمارهای ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی میزان کاهش عملکرد دانه به ترتیب ۵۲/۴ و ۸۲ درصد بود. همچنین بیشترین عملکرد دانه مربوط به رقم ZP548 به میزان ۵۵۷۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل کم‌آبیاری × هیبرید نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد در رقم ZP548 به میزان ۸۴۵۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (شکل ۲). عملکرد دانه تا حد زیادی تحت تأثیر عوامل محیطی به‌ویژه کمبود آب است (روچا و همکاران، ۲۰۲۱). تنش خشکی با کاهش سطح برگ، پیری زودرس برگ، کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دلیل افت پتانسیل فشاری و کوتاه شدن دوره رشد زایشی برای گیاه محدودیت منبع ایجاد می‌کند و با افزایش سقط جنین در

زمان گلدهی، کاهش تعداد بذر و کاهش تعداد و اندازه بلال محدودیت مخزن می‌کند و در مجموع با کاهش اجزای عملکرد از عملکرد نهایی می‌کاهد (آقایی و همکاران، ۱۴۰۰). بونتا و همکاران (۲۰۱۸) اظهار داشتند که کاهش عملکرد دانه تحت تنش خشکی بیشتر تحت تأثیر کاهش وزن هزار دانه است. نتایج بدست آمده با سایر محققان (امینی و همکاران، ۱۴۰۰) و (بهامین و همکاران، ۱۴۰۰) همخوانی دارد. امینی و همکاران (۱۴۰۰) طی تحقیقی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ایلام بر روی ذرت با آبیاری در سه سطح به کرت‌های اصلی (آبیاری پس از ۷۰، ۱۰۵ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و کرت‌های فرعی شامل چهار رقم هیبرید سینگل کراس ذرت (۵۲۴، ۶۶۶، ۶۷۷ و ۷۰۴) بیان داشتند که سطوح آبیاری از نظر عملکرد دانه در سطح آبیاری I ۱۰۵، حدود ۱۹ درصد و در سطح آبیاری I ۱۴۰، حدود ۴۲ درصد کاهش یافت. خشائی و همکاران (۱۳۹۸) در آزمایشی در ارومیه اعلام نمود که با کاهش ۲۵ درصد نیاز آبی در مقایسه دو سطح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز خالص، عملکرد دانه را حدود ۱۷ درصد کاهش یافته ولی در سطح آبیاری ۵۰ درصد این کاهش شدیدتر و ۵۱/۵ درصد است. افزایش عملکرد ناشی از برآیند مناسب اجزای عملکرد است و نتایج ضرایب همبستگی نشان داد که عملکرد دانه با تمامی صفات به‌غیر از تعداد دانه در ردیف عرضی اثرات مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد داشت که با سایر محققین (سلامتی و دانایی، ۱۳۹۹) و (شجایی و همکاران، ۲۰۲۰) مطابقت داشت.

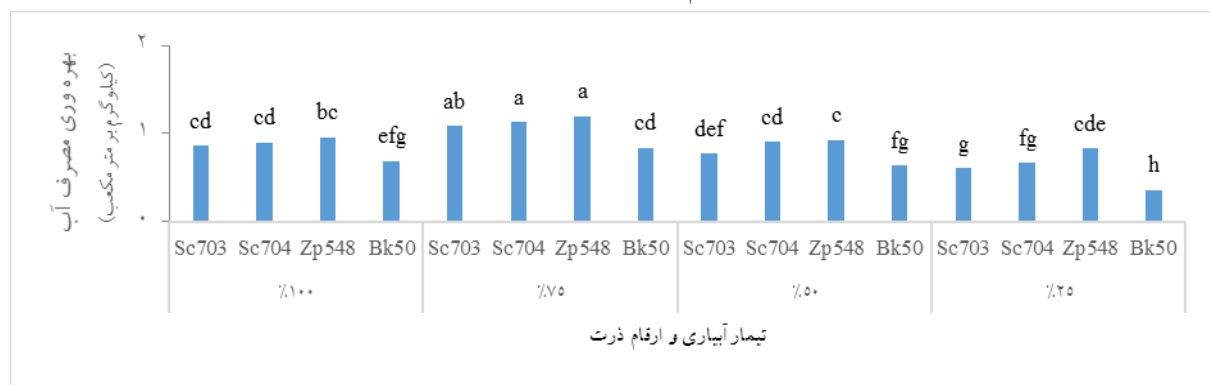


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آبیاری × ارقام ذرت بر عملکرد دانه

بهره‌وری مصرف آب

بهره‌وری مصرف آب از شاخص‌های مهم بوده که در این تحقیق برای محاسبه بهره‌وری مصرف آب از عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار و میزان آب آبیاری بر حسب مترمکعب در هکتار استفاده شده است (رابطه ۲). نتایج تجزیه واریانس بهره‌وری مصرف آب نشان داد که اثرات ساده تیمارهای آبیاری و ارقام ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ولی برهمکنش تیمارهای آبیاری و ارقام ذرت بر روی این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین بهره‌وری مصرف آب نشان داد که تیمار ۷۵ درصد آبیاری کامل با ۱/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب بیشترین بهره‌وری مصرف آب را داشت و با افزایش تنش میزان بهره‌وری مصرف آب کاهش یافته است، همچنین هیبرید ZP548 با ۰/۹۸ کیلوگرم بر مترمکعب بیشترین بهره‌وری مصرف آب را بین هیبریدهای مورد بررسی داشت و کمترین بهره‌وری مصرف آب مربوط به هیبرید BK50 با ۰/۶۳ کیلوگرم بر

مترمکعب بود. بهره‌وری مصرف آب بسته به نوع محصول، شیوه آبیاری، اقلیم و نوع خاک محل آزمایش، سرعت تبخیر و مقدار آب قابل دسترس گیاه متفاوت است (میرشکارنژاد و همکاران، ۱۳۹۹). دلیل کاهش بهره‌وری مصرف آب با اعمال تیمارهای کم‌آبیاری را افت شدید میزان تولید را می‌توان اعلام نمود که با نتایج تحقیقات پالاش و همکاران (پالاش و همکاران، ۱۴۰۰) و خلیلی (۱۴۰۰) مطابقت دارد. همچنین عامریان و همکاران (۱۴۰۰) بیشترین بهره‌وری مصرف آب را در ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه ذرت اعلام نمود. ساناتاوی و همکاران (۲۰۲۱) بهره‌وری مصرف آب ذرت تحت چهار رژیم آبیاری شامل بیش از حد (۱۲۰٪ تبخیر و تعرق)، نرمال (۱۰۰٪) و کمبود (۸۰) و شدید (۶۰٪) را بررسی کردند بیان داشتند که آبیاری بیش از حد، عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش نداد درحالی‌که بهره‌وری مصرف آب را به‌طور معنی‌داری کاهش داد.



شکل ۳- مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری و ارقام ذرت بر بهره‌وری مصرف آب

محتوی پرولین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات تیمارهای آبیاری و ارقام ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ولی اثر متقابل تیمارهای آبیاری و ارقام ذرت بر روی محتوی پرولین معنی‌دار نبود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین محتوی پرولین نشان داد که با کاهش آبیاری محتوی پرولین افزایش می‌یابد و تیمار ۲۵ درصد آبیاری با ۹/۹۱ میکرومول بر گرم بیشترین میزان محتوی پرولین بود، همچنین هیبرید BK50 با ۹/۳۶ میکرومول بر گرم بیشترین میزان پرولین در ارقام بود (جدول ۶). پرولین (Pro) نه تنها یک ماده تنظیم اسمزی مهم است، بلکه نقش مهمی در تنظیم مقاومت تنش غیرزیستی گیاه دارد (زئو و همکاران، ۲۰۲۲) و پرولین، آمینو اسید ذخیره‌شده در سیتوپلاسم سلول بوده که می‌تواند حلالیت پروتئین‌های مختلف را تحت تأثیر قرار دهد و از غیرطبیعی شدن آلبومین جلوگیری کند، در برخی گیاهان، مقدار چندین آمینو اسید طی مراحل اولیه تنش خشکی افزایش می‌یابد و با ادامه تنش خشکی، آمینو اسید پرولین بیشتر تجمع می‌یابد و ذخیره می‌شود (حمیدی مقدم و همکاران، ۱۴۰۰). کم‌آبیاری باعث افزایش میزان پرولین می‌گردد و با شدت گرفتن تنش به مقدار آن افزوده می‌شود؛ به‌طوری‌که در شرایط تنش کمبود آب گیاه به‌منظور جذب آب، از طریق تجمع ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی از جمله پرولین و کربوهیدرات‌های محلول برگ، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد و افزایش غلظت پرولین در اندام‌های گیاه در اثر ممانعت از تجزیه پرولین برای جلوگیری از ورود به چرخه ساخت پروتئین یا افزایش تجزیه پروتئین است که ممکن است با کاهش رشد همراه باشد (بوش و همکاران، ۱۴۰۰). شفیق و همکاران (۲۰۲۱) بیان داشتند که افزایش سطح پرولین در ارقام ذرت تحت تنش خشکی افزایش‌یافته و تجمع پرولین به‌عنوان

شاخصی برای تحمل به تنش خشکی است. همچنین با افزایش فاصله دور آبیاری باعث افزایش غلظت پرولین و گلیسین بتائین و قندهای محلول شده که باعث افزایش مقاومت در برابر تنش خشکی در ذرت می‌گردد (سعد الله و همکاران، ۲۰۲۲). نتایج با یافته‌های (شرقی و همکاران، ۱۳۹۸) و (آزادی و همکاران، ۱۴۰۰) و (شین رو و موک سام، ۲۰۲۱) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

با توجه به کمبود آب، کاهش بارندگی و بروز تنش‌های خشکی متوالی طی سال‌های گذشته از طرفی بالا بودن ارزش اقتصادی آب، استفاده بهینه از آب بسیار راهگشا برای کشاورزان است. هدف از این پژوهش یافتن بهترین تیمار آبیاری و رقم با توجه به صفات اجزاء عملکرد و شاخص‌های دیگر به‌خصوص بهره‌وری مصرف آب بود. نتایج پژوهش نشان داد که در بین تیمارهای مختلف این تحقیق، عملکرد ماده خشک، عملکرد دانه و اجزاء عملکرد در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی (شاهد) بیشتر بوده حتی در تیمار آبیاری در سطح ۷۵ درصد، کاهش عملکرد دانه به میزان ۶/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد بود ولی بهره‌وری مصرف آب در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشت همچنین در بین ارقام مورد بررسی، ZP548 و BK50 به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین عملکرد دانه در واحد سطح بودند و رقم ZP548 دارای ثبات عملکرد مناسبی در شرایط تنش آبی بود؛ بنابراین می‌توان با توجه به صرفه‌جویی آب در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی به‌طور میانگین به میزان ۲۲۵۸ مترمکعب در هکتار می‌توان در شرایط آب و هوایی گرگان تیمار کم‌آبیاری در سطح ۷۵ درصد و رقم ZP548 را توصیه نمود.

فهرست منابع

۱. امینی، ا.، اشراف مهرابی، ا.، حاتمی، ا.، فصیحی، خ.، و علیزاده، ی. ۱۴۰۰. بررسی اثر تنش کم‌آبی بر میزان جذب نور، کارایی مصرف نور و عملکرد ارقام مختلف ذرت (*Zea mays L.*) در شرایط ایلام، علوم گیاهان زراعی ایران. دوره ۵۲، شماره ۱. ص ۱۰۹-۱۲۱. DOI: 10.22059/ijfcs.2020.291824.654652
۲. آفرینش، ع.، فتحی، ق.، چوگان، ر.، سیادت، س.، ع.، عالمی سعید، خ.، و اشرفی زاده، س.، ر. ۱۳۹۴. بررسی اثر تنش خشکی بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک هیبریدهای متحمل به خشکی ذرت (*Zea mays L.*). نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی / سال پنجم / شماره هیجدهم. ۱۹۵-۲۰۵. Doi: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.195
۳. آقایی، پ.، ویسانی، و.، و دیانت، م.، ۱۴۰۰. تأثیر نانوسیلیکات پتاسیم بر رشد و عملکرد گیاه ذرت دانه‌ای (*Zea mays L.*) تحت تنش خشکی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. جلد چهاردهم، شماره دوم، ۳۳۱-۳۴۵. <http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.2719.1715.345>
۴. آزادی، م.، ص.، شکوه‌فر، ع.، ر.، مجدم، م.، لک، ش.، و علوی فاضل، م.، ۱۴۰۰. اثر کودهای شیمیایی و زیستی پتاسیم بر صفات بیوشیمیایی هیبریدهای ذرت تحت تنش خشکی و تعیین صفات مؤثر بر عملکرد دانه. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. جلد چهاردهم، شماره اول، ۲۷-۳۸. <http://dx.Doi.org/10.22077/escs.2020.2389.1620>
۵. بهامین، ص.، کوچکی‌فر، ع.، ر.، نصیری محلاتی، م.، و بهشتی، س.، ع.، ر.، ۱۴۰۰. بررسی اثر کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژن و فسفر بر عملکرد و شاخص‌های کارایی عناصر غذایی در ذرت تحت تنش خشکی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. جلد چهاردهم، شماره سوم، ۶۷۵-۶۹۰. <http://dx.Doi.org/10.22077/escs.2020.3095.1793>
۶. بذرگر، گ.، نبوی کلات، س.، م.، خاوری خراسانی، س.، قاسمی، م.، کلیدری، ع.، ل.، ۱۴۰۰. اثر تنش کم‌آبیری و تراکم گیاه بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، اسمولیت‌های سازگار، محتوی نسبی آب و عملکرد ذرت بچه (رقم پشن)، نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۶، جلد ۵۱، ص. ۱۳۷۰-۱۳۸۱. DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.6.12.2
۷. بوش، م.، ع.، بانژاد، ح.، گلدانی، م.، متانت، م.، ۱۴۰۰. بررسی تأثیر کیفیت‌های مختلف پساب بر برخی صفات بیوشیمیایی و مورفولوژی گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط کم‌آبیری، مجله پژوهش آب ایران، جلد ۱۵. شماره ۴. پیاپی ۴۳، ص. ۶۷-۵۹
۸. پالاش، م.، بافکار، ع.، فرهادی بانسوله، ب.، و قبادی، م.، ۱۴۰۰. بررسی اثرات کم‌آبیری بر خصوصیات کمی، کیفی و بهره‌وری آب در ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۶ در کرمانشاه. فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب. ۱، ۶۸-۸۸. Doi:10.22126/ATWE.2021.6686.1003
۹. پیکرستان، ب.، یارنیا، م.، مدنی، ح.، رشیدی، و.، و حیدری شریف‌آباد، ح.، ۱۳۹۷. تأثیر الگوی کم‌آبیری تناوبی و محلول‌پاشی روی بر غنی‌سازی فیزیولوژیک دانه قابل کنسرو ذرت شیرین. به زراعی کشاورزی. دوره ۲۰ شماره ۱. ص. ۱۶۱-۱۷۲. <http://dx.Doi.org/10.22059/jci.2018.231183.1712>
۱۰. حمیدی مقدم، ر.، سیروس مهر، ع.، ر.، و قنبری، ا.، ۱۳۹۹. تأثیر محلول‌پاشی سدیم سلنات، تیتانیوم دی‌اکسید و تنظیم‌کننده رشد آلی بر برخی صفات‌های فیزیولوژیکی، عملکرد و درصد روغن گلرنگ (*tinctorius Carthamus*) در معرض تنش خشکی. زیست‌شناسی گیاهی ایران، سال دوازدهم، شماره چهل و ششم، صفحه ۱-۱۸. DOI. 10.22108/ijpb.2020.120569.1189

۱۱. خلیلی، ف.، آقایی، ف.، و اردکانی، ح.، ر.، ۱۴۰۰. تأثیر توأم شیوه‌های کم‌آبیاری و کاربرد سوپر جاذب بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه ذرت. نشریه دانش آب‌وخاک، جلد ۳۱ شماره ۳ صفحه‌های ۱۵ تا ۲۹. Doi: 10.22034/WS.2021.12198
۱۲. خشائی، ف.، بهمنش، ج.، رضوردی نژاد، و.، و آزاد، ن.، ۱۳۹۸. تأثیر مقدار آبیاری و تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ب، جلد ۳۳، شماره ۴
۱۳. دهقانی احمدآبادی، م.، شاه‌نظری، ع.، قدمی فیروزآبادی، ع.، و اردکانی، م.، ر.، ۱۴۰۰. تأثیر مدیریت آبیاری بر رشد و بهره‌وری آب گیاه ذرت تحت سطوح مختلف بیوپچار، نشریه مدیریت آب در کشاورزی، جلد ۸، شماره ۱، ص. ۶۷-۷۶. DOR: 20.1001.1.24764531.2021.8.1.6.4
۱۴. سلامتی، ن.، و دانایی، ا.، خ.، ۱۴۰۰. مطالعه شاخص‌های تحمل به خشکی در ارقام ذرت دانه‌ای در شرایط آب‌وهوای بهبهان. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. جلد چهاردهم، شماره سوم. ص. ۷۴۵-۷۳۱. <http://dx.Doi.org/10.22077/escs.2020.3057.1785>
۱۵. سلامتی، ن.، و دانایی، ا.، خ.، ۱۳۹۹. بررسی شاخص‌های تنش خشکی در کم‌آبیاری سطحی ذرت. نشریه خاک و آب. سال بیست و چهارم / شماره چهارم. Doi: 10.47176/jwss.24.4.26986
۱۶. شرقی، ف.، و خلیلوند بهروزیار، ا.، ۱۳۹۸. اثر محلول‌پاشی نانو دی‌اکسید تیتانیوم و سالیسیلیک اسید بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و تولید دانه ذرت سینگل کراس ۷۰۴ تحت رژیم‌های آبیاری. نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد سیزدهم، شماره ۳ (۵۱)، ص. ۴۳۰-۴۱۳.
- DOI: 10.30495/JCEP.2019.669710
۱۷. صدرالدینی، س.، ع.، ا.، پرندین، م.، ا.، و ناظمی، ا.، ح.، ۱۳۹۸. اثرات کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد و تعیین بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای در ایستگاه اسلام‌آباد غرب. نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۳ / شماره ۲. Doi: 10.22092/JWRA.2019.119737
۱۸. عامریان، م.، هاشمی گرمدره، س.، ا.، و کرمی، ع.، ۱۴۰۰. اثر کم‌آبیاری در آبیاری قطره‌ای بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت سینگل کراس ۷۰۴. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ب، جلد ۳۵، شماره ۳. Doi:10.22092/JWRA.2021.352290.832
۱۹. مشایخی، ک.، و آتشی، ص.، ۱۳۹۴. راهنمای آزمایش‌های فیزیولوژی گیاهی (بررسی قبل و پس از برداشت گیاهان). انتشارات تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی (تاک). ص ۳۲۰
۲۰. محمدی بهمدی، م.، و آرمین، م.، ۱۳۹۶. اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف ذرت در شرایط کشت تأخیری. تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی. جلد ۴ شماره ۱ صفحات ۳۴-۱۷. URL: <http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-243-fa.html>
۲۱. منصوری فر، س.، فلاح، ع.، و حسین زاده، س.، ح.، ا.، ۱۳۹۳. تعیین حساسیت پنج هیبرید ذرت به تنش خشکی. یافته‌های نوین کشاورزی. سال نهم، شماره ۲. ص. ۱۲۹-۱۳۵
۲۲. میرشکارنژاد، ب.، پاکنژاد، ف.، امیری، ا.، اردکانی، م.، ر.، ایلکایی، م.، ن.، ۱۳۹۹. تأثیر تاریخ کاشت و رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و راندمان مصرف آب در ذرت دانه‌ای، نشریه تنش‌های محیطی در علوم زراعی، جلد سیزدهم، شماره دوم، ۵۴۷-۵۷، <http://dx.Doi.org/10.22077/escs.2020.2156.1540>

۲۳. یداللهی، م، ح، خوش‌روش، م، و غلامی سفیدکوهی، م، ع، ۱۴۰۰. تأثیر کم‌آبیاری تنظیم‌شده با آب مغناطیسی بر خواص کمی، کیفی و بهره‌وری آب نخودفرنگی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۳۵، شماره ۴. Doi: 10.22092/JWRA.2021.356340.897

24. Abdulhamed. Z, A., Abas, S, A., Noaman, A, H., Abood, N, M., 2021. Review on the Development of Drought Tolerant Maize Genotypes in Iraq, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 904. doi:10.1088/1755-1315/904/1/012010
25. Bonea, D., Urechean, V., Niculescu, M., 2018. Yiled and nutritional quality of different maize hybrid under drought stress. Annals off the University off Craiova, Agriculture, Montanology, Cadastre Series. Voll. XLVIII
26. Feyzbakhsh. M.T., Kamkar, B., Mokhtarpour, H., Esmaeil Asadi, M., 2015. Effect of soil water management and different sowing dates on maize yield and water use efficiency under drip irrigation system, Archives of Agronomy and Soil Science, DOI: 10.1080/03650340.2015.1019345
27. Irfan Ahmad, M., Noor Shah, A., Sun, J., Song, Y., 2020. Comparative Study on Leaf Gas Exchange, Growth, Grain Yield, and Water Use Eciency under Irrigation Regimes for Two Maize Hybrids, Agriculture, 10, 369, doi:10.3390/agriculture10090369
28. Ilyas, M., Khan, S, A., Awan, S, I., Rehman, S., 2019. Assessment of heritability and genetic advance in maize (*Zea mays* L.) under natural and water stress conditions. Sarhad Journal of Agriculture, 35(1): 144-154. DOI | <http://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2019/35.1.144.154>
29. Ilyas, M., Khan, S, A., Awan, S, I., Rehman, S., Ahmed, W., Khan, M, R., Naz, R, M, M., Khan, M, M, U., Hafeez, S., 2020. Preponderant of dominant gene action in maize revealed by generation mean analysis under natural and drought stress conditions. Sarhad Journal of Agriculture, 36(1): 198-209. DOI | <http://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2020/36.1.198.209>
30. Liu, Sh., F, Qin., 2021. Genetic dissection of maize drought tolerance for trait improvement, Mol Breeding 41: 8. <https://doi.org/10.1007/s11032-020-01194-w>
31. Ray, U, K., Sikder, S., Bahadur, M, M., Pramanik, S, K., 2020. Morphophenological and yield respinses of maize (*Zea mays* L.) to non-irrigation water stress condition. Journal of Science and Technology 18: 8-15.
32. Sanatawy, E, A, M., Ash-Shormillesy, S, M, A, I., Qabil, N., Awad, M, F., Mansour, E., Seed, H., 2021. Priming Improves Seedling Vigor, Grain Yield, and Water Use Efficiency of Maize under Varying Irrigation Regimes. Water, 13, 2115. <https://doi.org/10.3390/w13152115>.
33. Santos Rezendea, W., Beyeneb, Y., Mugob, S., Ndouc, E., Gowdab, M., Pyton Sserumagad, J., Asead, G., Ngolindae, I., Jumbob, M, D., Oikehf, S, O., Olsenb, M., Boréma, A., Damião Cruza, C., Prasannab, B, M., 2020. Performance and yield stability of maize hybrids in stress-prone environments in eastern Africa. THE CROP JOURNAL. 107–118. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2019.08.001>.
34. Saad-Allah, K.M., Nessem, A, A., Ebrahim, M, K, H., Gad, D., 2022. Evaluation of Drought Tolerance of Five Maize Genotypes by Virtue of Physiological and Molecular Responses. Agronomy, 12, 59. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010059>.
35. Shojaei, S, H., Mostafavi, Kh., Khosroshahli, M., Bihamta, M, R., 2020. Assessment of genotype-trait interaction in maize (*Zea mays* L.) hybrids using GGT biplot analysis. Food Sci. Nutr. 8: 5340-5351. DOI: 10.1002/fsn3.1826.
36. Shafiq, S., Akram, N, A., Ashraf, M., García-Caparrós, P., Ali, O, M., Latef, A, A, H, A., 2021. Influence of Glycine Betaine (Natural and Synthetic) on Growth, Metabolism and Yield Production of Drought-Stressed Maize (*Zea mays* L.) Plants., Plants. 10, 2540. <https://doi.org/10.3390/plants10112540>.
37. Shirinpour, M., Asghari, A., Atazadeh, E., Aharizad, S., Rasoulzadeh, A., 2021. Genetic analysis of grain yield and physiological traits of hybrid maize cv. SC704 under full and

- water deficit irrigation conditions, Cereal Research Communications, Akadémiai Kiadó Zrt. <https://doi.org/10.1007/s42976-020-00106-0>.
38. Shin Rou, E, K., Mok Sam, L., 2021. Effects of drought stress and potassium on the growth and yield of locally planted sweet corn. International Journal of Agriculture, Forestry and Plantation, Vol. 11 (June) ISSN 2462-1757.
39. Wasaya, A., Affan, M., Yasir, t, A., ur-Rehman, A., Mubeen, K., ur-Rehman, H., Ali, M., Nawaz, F., Galal, A., Iqbal, M, A., Sohikul Islam, m., El-Sharnouby, m., ur Rahman, m, h., EL Sabagh, a., 2021. Foliar Potassium Sulfate Application Improved Photosynthetic Characteristics Water Relations and Seedling Growth of Drought-Stressed Maize., 12, 663. <https://doi.org/10.3390/atmos12060663>.
40. Zuo, S., Li, J., Gu, W., Wei, S., 2022. Exogenous Proline Alleviated Low Temperature Stress in Maize Embryos by Optimizing Seed Germination, Inner Proline Metabolism, Respiratory Metabolism and a Hormone Regulation Mechanism. Agriculture, 12, 548. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040548>.

بررسی امکان استفاده گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis*.L) از آب

زیرزمینی کم عمق با کیفیت های مختلف

هوشنگ قمرنیا^۱، سجاد امیری و مهتاب نکوکیش

استاد گروه مهندسی آب دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

hghamarnia@razi.ac.ir

دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

hghamarnia@yahoo.co.uk

دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

Nekookish@gmail.com

دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۱ و پذیرش: شهریور ۱۴۰۱

چکیده

قسمتی از نیاز آبی گیاهان توسط آب زیرزمینی کم عمق با کیفیت مطلوب قابل تأمین است. در این تحقیق سهم آب زیرزمینی کم عمق و شور در تبخیر تعرق گیاه رزماری در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل با سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ توسط لایسیمترهایی به قطر ۱/۲ متر تعیین شد. تیمارهای اعمال شده شامل آب زیرزمینی با سطوح شوری ۱، ۲ و ۴ دسی زیمنس بر متر در عمق ثابت ۰/۸ متر بود. نتایج نشان داد که کل آب مورد نیاز گیاه رزماری معادل ۵۹۷ میلی متر بود و از کل آب مورد نیاز گیاه به ترتیب مقادیر ۳۲۱ میلی متر (۵۴٪)، ۲۶۰ میلی متر (۴۴٪) و ۲۰۱ میلی متر (۳۴٪) از طریق آب زیرزمینی با کیفیت های ۱، ۲ و ۴ دسی زیمنس بر متر تأمین گردید. سهم آب زیرزمینی برابر ۴/۹، ۳/۹ و ۳ میلی متر در روز به ترتیب متعلق به تیمارهای آب زیرزمینی با شوری ۱، ۲ و ۴ دسی زیمنس بر متر بود. اثرات شوری آب زیرزمینی بر عملکرد و پارامترهای گیاه رزماری در سطح ۵٪ معنی دار بود که نشان دهنده مقاوم بودن این گیاه به شوری بود. با استفاده گیاه رزماری از آب زیرزمینی با کیفیت های مختلف، در میزان آب سطحی برای آبیاری صرفه جوئی شده و مساحت بیشتری از اراضی قابلیت کشت آبی می یابد و همچنین تولید محصول و امکان شغل بیشتر برای کشاورزان فراهم خواهد شد.

واژه های کلیدی: اقلیم نیمه خشک، آبیاری با آب شور، نیاز آبی گیاهان

مقدمه

وسعت اراضی شور در حدود ۱۵/۲٪ از وسعت کل ایران یا در حدود ۲۵ میلیون هکتار از اراضی کشور است که این اراضی در نتیجه شوری و قلیائیت، بایر و بلااستفاده مانده است (قمرنیا و جلیلی، ۲۰۱۴). بخش بزرگی از خاک‌ها و حجم چشمگیری از کل منابع آبی موجود کشور به درجات مختلف مبتلا به شوری هستند. در بعضی از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان اغلب آب زیرزمینی کم‌عمق که با مسائل شوری و ماندابی اراضی نیز همراه است، به چشم می‌خورد (قمرنیا و همکاران، ۱۳۹۳). راه حل اصلی، پائین انداختن سطح سفره آب زیرزمینی از طریق احداث سیستم‌های مختلف زهکشی زیرزمینی است، غافل از اینکه بالا بودن سطح سفره آب زیرزمینی نعمتی است که از آن می‌توان جهت جبران قسمتی از نیازهای آب مورد نیاز گیاه استفاده نمود. اگر گیاه مجبور به جذب مقداری از نیاز آبی خود از آب زیرزمینی گردد، نتیجتاً مقدار آب جذب‌شده از خاک و همچنین دور و عمق آبیاری مورد نیاز آن کاهش می‌یابد. بنابراین آب زیرزمینی کم‌عمق یک منبع رایگان جهت تأمین آب کشاورزی است. قمرنیا و جلیلی (۲۰۱۴) در آزمایشی برای بررسی کمک آب زیرزمینی به تبخیر تعرق و عملکرد محصول گیاه دارویی سیاهدانه آزمایش لیسیمتری انجام دادند. تیمارهای مورد بررسی در این آزمایش شامل سه سطح ایستابی آب زیرزمینی کم‌عمق با اعماق ۰/۶، ۰/۸ و ۱/۱ متر و سه سطح شوری یک، دو و چهار دسی‌زیمنس بر متر بود. نتایج نشان داد که درصد مشارکت آب زیرزمینی برای سطوح شوری یک، دو و چهار دسی‌زیمنس بر متر در اعماق ۰/۶ و ۰/۸ و ۱/۱ متری به ترتیب در حدود (۶۷/۲۵، ۵۵، ۴۵/۷۵ درصد)، (۶۰/۷۵، ۵۰، ۴۱/۵ درصد) و (۵۴/۲۵، ۴۳/۵، ۳۶ درصد) نیاز کلی گیاه را برآورده می‌کند. نوری و همکاران (۲۰۰۹) در آزمایشی با استفاده از لیسیمتر زهکش دار به بررسی تأثیر مدیریت سطح آب زیرزمینی بر کنترل شوری خاک و عملکرد محصول یونجه پرداختند. در این آزمایش سطح آب زیرزمینی در اعماق ۰/۵، ۰/۷ و یک متری

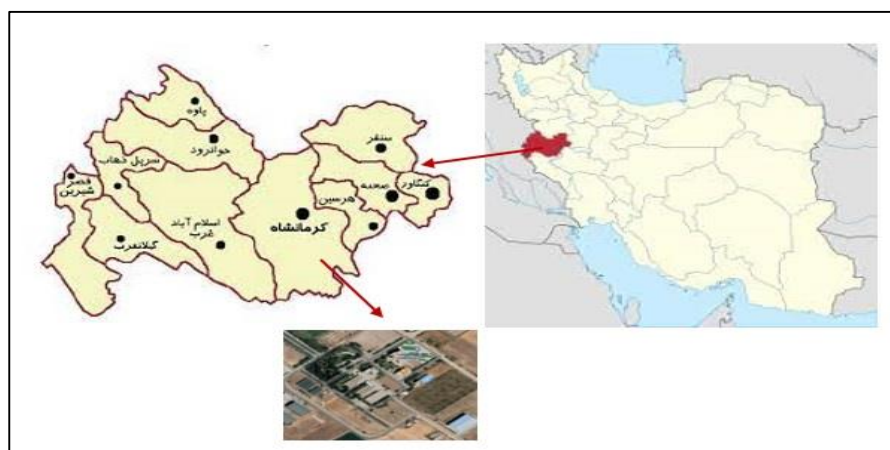
ثابت‌شده بود. نتایج آزمایش نشان داد که متوسط هدایت هیدرولیکی خاک در منطقه توسعه ریشه گیاه افزایش یافته است. حداکثر شوری در اعماق ۰/۵ و ۰/۷ متری سطح آب زیرزمینی نسبت به حالتی که عمق آب زیرزمینی یک متر بود به ترتیب ۷۳ و ۵۲ درصد افزایش داشت. ایتمس و همکاران (۲۰۱۴) تنش شوری با آب با کیفیت‌های (۰/۴، ۰/۵، ۲/۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) بر روی گیاه استویا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد زمانی که شوری آب آبیاری به ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر می‌رسد عملکرد محصول استویا به میزان ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. جلیلی و همکاران (۱۳۹۷) در صد مشارکت آب زیرزمینی گیاه استویا را تحت شوری‌های ۶، ۲، ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و تحت اعماق آب زیرزمینی ۰/۷، ۰/۹ و ۱/۲ متر را حداقل ۴۰ و حداکثر ۶۵ درصد نیاز کل گیاه گزارش نموده‌اند. ایارز و همکاران (۲۰۰۹) در یک مطالعه، آب مصرفی یونجه از آب زیرزمینی را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که بیش از ۵۰ درصد آب مصرفی از سطح ایستابی با عمق کمتر از ۱/۵ متر و با شوری کمتر از چهار دسی‌زیمنس بر متر استحصال شده است. گویینز و همکاران (۱۹۶۶) با مطالعه چهار سطح ایستابی ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ اینچ بر روی گیاهان گوجه فرنگی، لوبیا سبز و ذرت شیرین در سه بافت خاک، دریافتند که میزان محصول دهی همان‌طور که به بافت خاک بستگی دارد از عمق سطح ایستابی نیز تأثیر می‌پذیرد. بنز و همکاران (۱۹۸۴ و ۱۹۸۵) با مطالعه چهار سطح ایستابی (۴۶، ۱۰۱، ۱۵۵ و ۲۱۰ سانتیمتر) و سه سطح آبیاری معادل (۰/۳، ۰/۸ و ۱/۳ برابر تبخیر تعرق) بر روی گیاه یونجه دریافتند که بیشترین محصول مربوط به سطح ایستابی ۱۵۵ و ۲۱۰ سانتیمتر و سطح آبیاری ۰/۸ است. همچنین بیشترین تبخیر تعرق واقعی و مصرف آب مربوط به سطح ایستابی ۴۶ سانتیمتر گزارش شده است. بارگاهی و موسوی (۱۳۹۷) به بررسی تأثیر سطح ایستابی کم‌عمق (۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۲۰ سانتیمتر) و (دو سطح شوری آب زیرزمینی ۰/۶ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) بر کمک آب زیرزمینی به تبخیر تعرق گیاه گلرنگ پرداختند. نتایج نشان

داد که بیشترین مقدار تبخیر تعرق برابر با (۲۵۱ میلی‌متر) در سطح ایستابی ۵۰ سانتیمتر با شوری ۰/۶ دسی زیمنس بر متر و کمترین مقدار تبخیر تعرق (۴۳/۹ میلی‌متر) در سطح ایستابی ۹۰ سانتیمتر با شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر صورت گرفته است. قمرنیا و غلامیان (۲۰۱۳) درصد جذب آب زیرزمینی سالانه توسط گیاه گلرنگ را تحت رژیم‌های مختلف آبیاری زیرزمینی با عمق ثابت ۰/۸ متر را مورد بررسی قرار داده‌اند. شرایط مختلف آب زیرزمینی ایجادشده عبارت بودند از: (شوری آب زیرزمینی و سطحی یک دسی زیمنس)، (شوری آب زیرزمینی و سطحی به ترتیب ۱ و ۱۰ دسی زیمنس)، (شوری آب زیرزمینی و سطحی به ترتیب ۱۰ و ۱ دسی زیمنس). نتایج گزارش‌شده به ترتیب حاکی از تأمین ۵۸/۵٪، ۱۴٪، ۱۵٪ و ۳/۵۰٪ کل نیاز آبی مورد نیاز گلرنگ در شرایط ایجاد شده بوده است. در تحقیقی سه رژیم آبیاری (۹۰، ۶۷،۵ و ۴۵ میلی‌متر) در کاشت گندم تحت پنج سطح آب زیرزمینی شامل (۱،۵، ۲،۰، ۲،۵، ۳،۰ و ۳،۵ متری) در یک آزمایش لایسمتری جهت بررسی تأثیر سطح آب زیرزمینی و مقدار آب آبیاری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشانگر جذب در حدود ۱۶ الی ۲۳٪ نیاز آبی گندم در سطح ایستابی ۱/۵ متر بوده است (هو و همکاران، ۲۰۱۲). هنگ و همکاران (۲۰۱۶) وضعیت آب زیرزمینی دشت Jiefangzha چین را از سال ۱۹۸۰ تا سال ۲۰۱۳ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج بررسی های آن‌ها نشان داد که عمق آب زیرزمینی قبل از سال ۲۰۰۲ نسبتاً پایدار و در حدود ۱/۷ متر بوده است. نتایج بررسی‌های آن‌ها نشانگر آن بود که به دلیل کاهش انحراف آب از رودخانه زرد و اجرای اقدامات صرفه‌جویی در مصرف آب، نشت آب از کانال و نفوذ آبیاری کاهش‌یافته منجر به کاهش ۰/۴ متری سطح آب زیرزمینی در ۱۰ سال اخیر شده است. مصرف خالص آب زیرزمینی دوره رشد محصول از سال ۱۹۹۰ برآورد شد و با کاهش انحراف آب از ۵۰ میلی‌متر در سال در سال ۱۹۹۰ به ۱۱۰ میلی‌متر در سال ۲۰۱۳ افزایش یافته بود. درعین حال، تبخیر و تعرق منطقه‌ای روند کمی کاهشی را نشان داده بود. بنا به نتایج بدست آمده،

گیاه مورد بررسی در این پژوهش، گیاه رزماری با نام علمی (*Rosmarinus officinalis* L.) است. بررسی های انجام شده نشانگر آن است که تاکنون در هیچ مرجعی در رابطه با استفاده گیاه رزماری از آب زیرزمینی با شوری های مختلف تحقیقی صورت نپذیرفته و از میزان کمک آب زیرزمینی کم عمق و شور به میزان تبخیر تعرق این گیاه اطلاعاتی در دست نیست. لذا، در این تحقیق اثر عمق آب زیرزمینی (۰/۸ متر) با سطوح مختلف شوری یک، دو و چهار دسی زیمنس بر متر بر روی میزان استفاده از آب زیرزمینی کم عمق و عملکرد گیاه رزماری در طی دو سال زراعی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

مواد و روش

این تحقیق در طی دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی پردیس دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی صورت گرفت که دارای طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی بوده و در ارتفاع ۱۳۱۹ متری از سطح دریا قرار گرفته است شکل (۱). در طی مدت انجام تحقیق داده های هواشناسی از ایستگاه هواشناسی تمام اتوماتیکی که به فاصله پنجاه متری از محل آزمایش قرار داشت، به صورت روزانه دریافت گردید. پارامترهای هواشناسی، مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب در طول دوره آزمایش به ترتیب در جداول (۱) الی (۴) ارائه گردیده اند.



شکل ۱- محل و موقعیت انجام تحقیق

جدول ۱- میانگین پارامترهای هواشناسی در سال اول و دوم اجرای طرح

سال	ماه	متوسط درجه حرارت (C°)	متوسط رطوبت نسبی (%)	متوسط سرعت باد (m/s)	متوسط ساعات آفتابی (hr)	بارندگی (mm)	تابش (j/cm ²)
۱۳۹۶	خرداد	۲۴/۹	۲۱/۴	۷/۹	۹/۷	۰	۲۵۴۶/۵
	تیر	۲۸/۱	۱۹/۶	۷/۶	۱۰/۲	۰	۲۵۷۴/۲
	مرداد	۲۹/۸	۱۶/۳	۷/۸	۹/۹	۰	۲۵۷۵/۳
	شهریور	۲۵/۹	۱۴/۶	۷/۴	۱۰/۳	۰	۱۷۷۷/۰
۱۳۹۷	خرداد	۲۳/۳	۲۷/۴	۷/۴	۹/۲	۰	۲۵۵۵/۶
	تیر	۲۹/۱	۱۴/۷	۷/۴	۱۱/۶	۰	۲۵۶۴/۱
	مرداد	۲۷/۶	۱۸/۴	۷/۳	۱۰/۱	۰	۲۵۶۵/۳
	شهریور	۲۳/۲	۱۵/۴	۷/۶	۹/۱	۰	۱۷۶۷/۲

جدول ۲- مشخصات فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه

عمق نمونه برداری (cm)	وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³)	بافت خاک	شن %	سیلت %	رس %
۰-۳۰					
۳۰-۶۰	۱/۳	سیلتی رسی	۳/۷	۴۲/۳	۵۴
۶۰-۹۰					

جدول ۳ - مشخصات شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

PH	EC (μmohs/cm)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم جذب قابل (ppm)	کربن آلی %	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
۷/۳	۰/۶۰	۲۶	۴۴۰	۱/۳۸	۷/۸	۱۱/۹	۱/۳۶	۱/۶۴

جدول ۴ - خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب

TDS (mg/lit)	PH	EC (μ mols/cm)	SAR (%)	Na ⁺	Mg ⁺² Ca ⁺²	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	Hco ₃ ⁻	Co ₃ ⁻²
(mg/lit)						(meq/lit)			
۶۴۰	۷/۱	۱۰۰۰	۰/۵۴	۱/۰۸	۸/۱۵	۱/۱۸	۱/۹	۶/۱۵	۰/۰

نیز در مراحل اولیه، توسعه و میانی رشد به ترتیب معادل ۰/۳۲، ۱/۲۰ و ۱/۰۵ در نظر گرفته شد (قمرنیا و همکاران، ۱۳۹۳). تیمارهای اعمال شده شامل آب زیرزمینی با سطوح شوری یک، دو و چهار دسی زیمنس بر متر و همگی با عمق ثابت ۰/۸ متر بودند. آزمایش در سه تکرار و مجموعاً تعداد نه لیسیمتر با قطر خارجی ۱/۲۰ متر در نظر گرفته شده است.

نتایج و بحث

کل آب مصرفی و مشارکت آب زیرزمینی

مجموع نتایج کل آب استفاده شده برای هر سه تیمار طرح با توجه به عمق سطح ایستابی و شوری اعمال شده به نام های C1 (0.80, 1dS/m)، C2 (0.80) و C3 (0.80, 4dS/m) در جدول (۵) آمده است. کل متوسط آب مورد نیاز در طول دوره رشد برای همه تیمارها برابر با ۵۹۷ میلی متر بوده است. در این طرح کمترین و بیشترین میزان آب سطحی مورد استفاده به ترتیب برای تیمارهای C1 و C3 به دست آمد. میزان متوسط استفاده هر یک از تیمارهای C1، C2 و C3 از آب سطحی به ترتیب ۲۷۵/۴ میلی متر > ۳۳۶/۷ میلی متر > ۳۹۵/۹ میلی متر

کاشت رزماری در خردادماه هر دو سال از طریق انتقال بوته ها به محل کشت در داخل لیستمرهای زهکش داری به قطر ۱/۲ متر انجام گرفت. طول دوره رشد گیاه ۱۲۵ روز بوده و رشد گیاه تا زمان گلدهی و ایجاد شرایط مناسب برای اسانس گیری از گیاه ادامه داشت. با شروع فصل رشد نمونه برداری ها آغاز گردید. برای به دست آوردن میزان آب مورد نیاز گیاه به صورت روزانه، از داده های تبخیر حاصل از تشتک ایستگاه هواشناسی مستقر در فاصله پنجاه متری ایستگاه لیسیمتری استفاده شد. در این تحقیق از تشتک تبخیر کلاس A و از معادلات (۱) و (۲) جهت تعیین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی استفاده شد.

$$ET_o = K_p \times E_{pan} \quad (1)$$

در این رابطه ET_o تبخیر و تعرق پتانسیل، K_p ضریب تشتک و E_{pan} میزان تبخیر از تشتک اندازه گیری شده به (میلی متر) می باشد. مقادیر ضریب تشتک تبخیر (K_p) معادل ۰/۷ در نظر گرفته شد.

$$ET_c = K_c \times E_o \quad (2)$$

در این رابطه، K_c ضریب گیاهی و ET_c تبخیر و تعرق واقعی گیاه (میلی متر) است. در رابطه (۲) مقادیر K_c

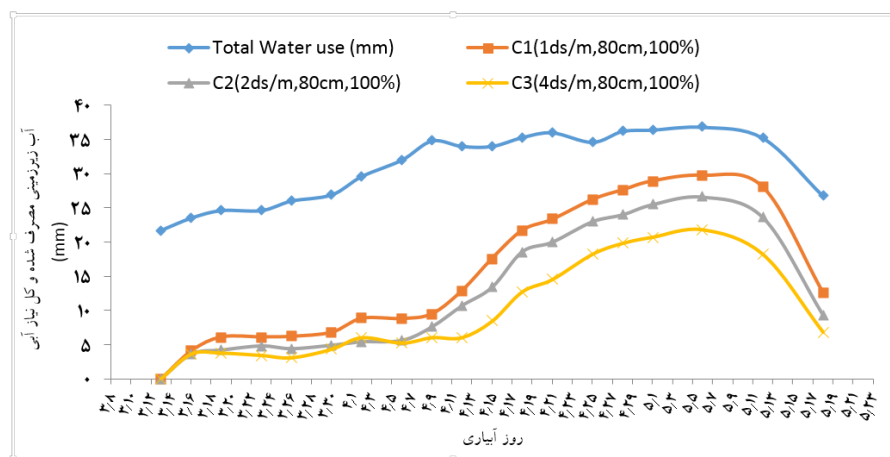
بود. به همین ترتیب، رده بندی متوسط استفاده از آب زیرزمینی توسط تیمارهای C1، C2 و C3 به ترتیب ۳۲۱/۶ میلی متر (۵۴ درصد)، ۲۶۰/۳ میلی متر (۴۴ درصد) و ۲۰۱/۱ میلی متر (۳۴ درصد) بدست آمد. همان طور که نتایج مندرج در جدول (۵) نشان می دهد تأثیر سطوح مختلف شوری آب زیرزمینی بر روی میزان مصرف گیاه از این منبع آبی در سطح احتمال (۰/۰۱) $P <$ معنی دار بوده است. نتایج جدول (۵) نشانگر آن است که تیمار با کمترین میزان شوری به مقدار یک دسی زیمنس آب زیرزمینی (C1)، بیشترین میزان مشارکت آب زیرزمینی را در مقابل سایر تیمارها داشته است. افزایش غلظت نمک آب زیرزمینی در آبیاری کامل از یک دسی زیمنس بر متر به دو و چهار دسی زیمنس بر متر، باعث شده تا سهم آب زیرزمینی به میزان ۱۰ درصد برای شوری دو دسی زیمنس بر متر و ۲۰ درصد برای شوری چهار دسی زیمنس بر متر کاهش پیدا کند. در جدول (۵) میزان مشارکت آب زیرزمینی تیمارهای مختلف در هر دو سال کشت به صورت جداگانه و همچنین میانگین دو سال اجرای طرح آمده است. متوسط میزان مشارکت روزانه آب زیرزمینی به ترتیب برابر ۴/۹، ۳/۹ و ۳ میلی متر در روز متعلق به تیمارهای با شوری آب زیرزمینی ۲/۱ و ۴ دسی زیمنس با عمق ثابت آب زیرزمینی ۰/۸۰ متر بوده است. کل آب مصرفی از آب زیرزمینی توسط گیاه برای همه تیمارها در طول فصل رشد در اشکال (۲) و (۳) نشان داده

شده است. همان گونه که در اشکال (۲) و (۳) مشاهده می گردد، هر سه تیمار از همان روز ابتدا و پس از کشت شروع به استفاده از آب زیرزمینی شور نموده اند. همچنین تیمار با شوری آب زیرزمینی چهار دسی زیمنس بر متر (C3) کمترین میزان مشارکت آب زیرزمینی را در مقایسه با سایر تیمارها داشته است (اشکال ۴ و ۵) با توجه به نتایج مندرج در اشکال (۴) و (۵) درصد مشارکت آب زیرزمینی با عمق ۸۰ سانتی متر در تیمارهای با شوری یک دسی زیمنس بر متر بیشتر از تیمارهای دو و چهار دسی زیمنس بر متر آب زیرزمینی بوده است. ضمناً اشکال (۴) و (۵) نشان می دهند که در تیمار C1 از تاریخ ۴/۲۵ تا ۵/۱۲ در شرایط آبیاری، ۷۹ تا ۸۰ درصد از نیاز آبی گیاه به مدت ۱۷ روز با استفاده از آب زیرزمینی کم عمق و شور به صورت کامل تأمین گشته است. در تیمار C2 از تاریخ ۴/۲۵ تا ۵/۱۲ در شرایط آبیاری، ۶۵ تا ۷۰ درصد از نیاز آبی گیاه به مدت ۱۷ روز با استفاده از آب زیرزمینی کم عمق و شور به صورت کامل تأمین شده. همچنین در تیمار C3 از تاریخ ۴/۲۴ تا ۵/۱۲ در شرایط آبیاری، ۵۰ تا ۵۷ درصد از نیاز آبی گیاه به مدت ۱۷ روز با استفاده از آب زیرزمینی کم عمق و شور به صورت کامل تأمین شده است. نتایج نشان می دهند که درصد مشارکت آب زیرزمینی در ابتدای فصل رشد بیشتر از انتهای فصل رشد بوده که این موضوع به دلیل انباشت نمک در خاک در طی فصل رشد است.

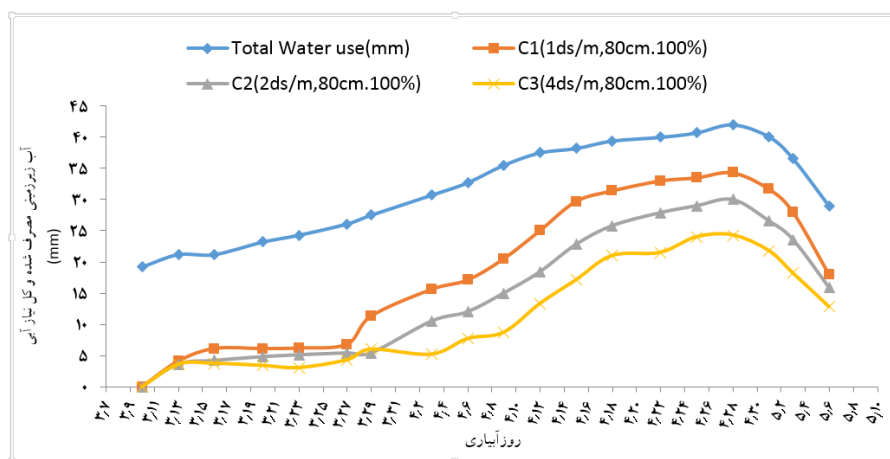
جدول ۵ - مجموع کل آب سطحی، زیرزمینی و درصد آب زیرزمینی

سال	عمق آب زیرزمینی (cm)	نام تیمار	کیفیت آب زیرزمینی (dS/m)	کل آب سطحی مورد استفاده (mm)	آب زیرزمینی مورد استفاده (mm)	کل نیاز آبی (mm)	مشارکت آب زیرزمینی (%)	مشارکت آب زیرزمینی (mm/day)
۱۳۹۶	۸۰	C1	۱	c۳۰۴/۱	a۲۸۴/۸	۵۸۸/۹	۴۸	a۴/۳
		C2	۲	b۳۵۴/۲	b۲۳۴/۷		۴۰	b۳/۶
		C3	۴	a۴۰۶/۴	c۱۸۲/۵		۳۱	c۲/۸
۱۳۹۷	۸۰	C1	۱	c۲۴۶/۷	a۳۵۸/۴	۶۰۵/۱	۵۹	a۵/۴
		C2	۲	b۳۱۹/۲	b۲۸۵/۹		۴۷	b۴/۳
		C3	۴	a۳۸۵/۵	c۲۱۹/۶		۳۶	c۳/۳
متوسط دوساله	۸۰	C1	۱	c۲۷۵/۴	a۳۲۱/۶	۵۹۷/۰	۵۴	a۴/۹
		C2	۲	b۳۳۶/۷	b۲۶۰/۳		۴۴	b۳/۹
		C3	۴	a۳۹۵/۹	c۲۰۱/۱		۳۴	c۳

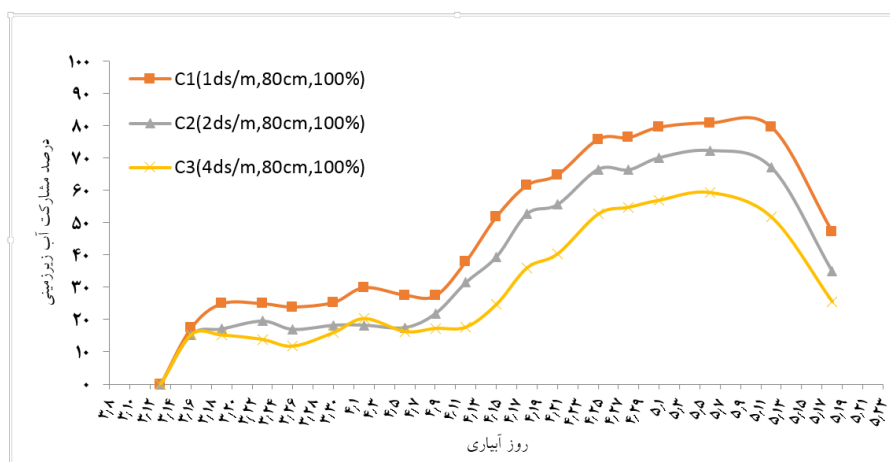
حروف مختلف نشان دهنده تفاوت معنی داری در سطح احتمال یک درصد با استفاده از آزمون دانکن می باشند



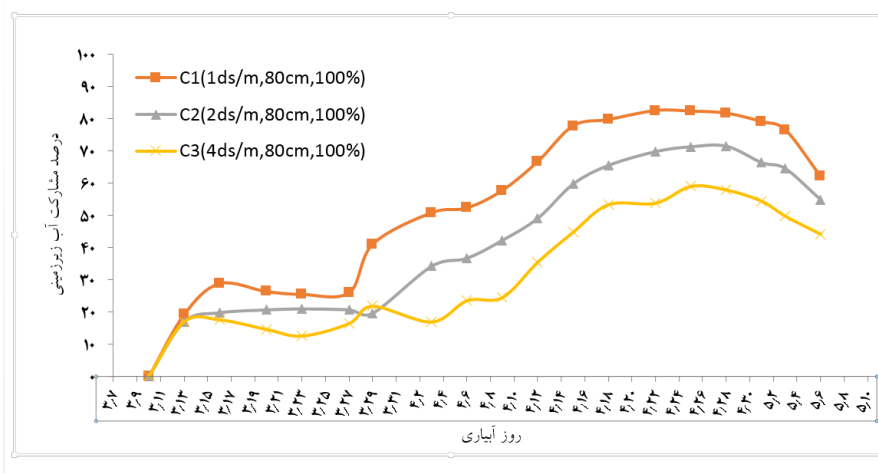
شکل ۲ - آب زیرزمینی شور استفاده شده و کل نیاز آبی در سال اول اجرای طرح (۱۳۹۶)



شکل ۳ - آب زیرزمینی شور استفاده شده و کل نیاز آبی در سال دوم اجرای طرح (۱۳۹۷)



شکل ۴ - درصد آب زیرزمینی استفاده شده در سال اول اجرای طرح (۱۳۹۶)

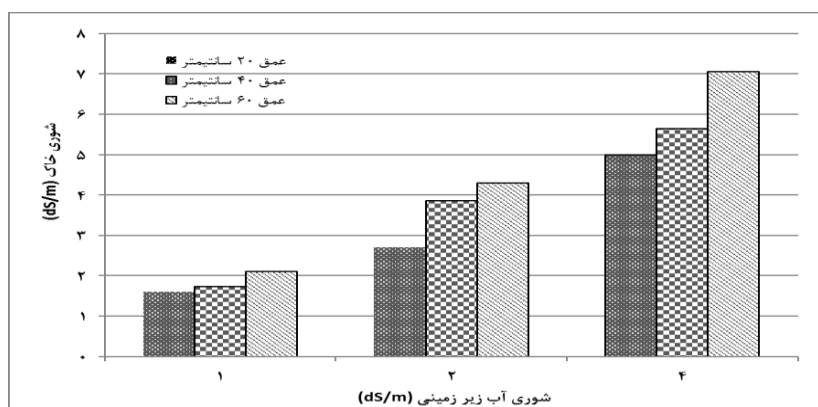


شکل ۵ - درصد آب زیرزمینی استفاده شده در سال دوم اجرای طرح (۱۳۹۷)

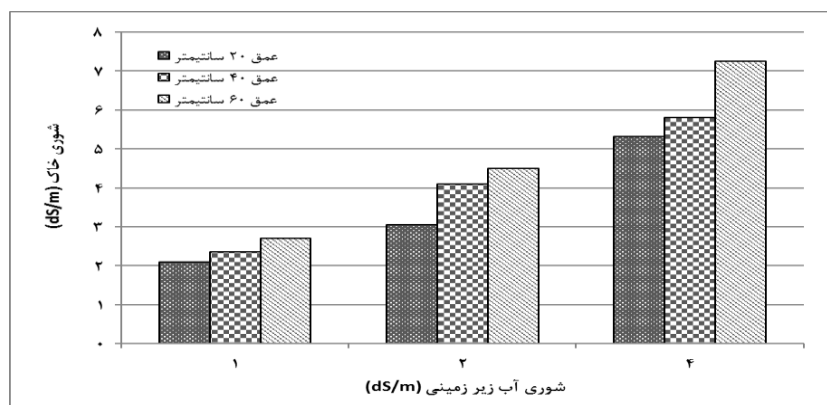
شوری پروفیل خاک

اشکال (۶) و (۷) میزان شوری پروفیل خاک در اعماق ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی متری لیسیمترهای تحت اعمال تیمارهای مختلف شوری در پایان دو دوره رشد گیاه رزماری را نشان می‌دهند. نتایج حاصله نشانگر شوری بیشتر پروفیل خاک در اعماق پایین‌تر با شوری آب زیرزمینی

بیشتر است. در کل بیشترین و کمترین میزان شوری پروفیل خاک در سال اول آزمایش با حدود ۷/۰۵ و ۱/۶۰ دسی زیمنس بر متر) و در سال دوم با حدود ۷/۳۵ و ۲/۱۰ دسی زیمنس بر متر) به ترتیب به تیمارهای آب زیرزمینی چهار دسی زیمنس و عمق ۰/۶ متر و آب زیرزمینی یک دسی زیمنس و عمق ۰/۲ تعلق دارند.



شکل ۶ - متوسط شوری خاک در اعماق مختلف در پایان فصل اول (۱۳۹۶)



شکل ۷ - متوسط شوری خاک در اعماق مختلف در پایان فصل رشد سال دوم (۱۳۹۷)

اجزای عملکرد

نتایج همه پارامترهای اصلی گیاه رزماری در پایان فصل رشد پس از اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل با آزمون دانکن در جدول (۶) آمده است. نتایج این تحقیق برای تأثیر سطوح ایستابی مختلف در سطح احتمال ($P < 0/01$) بر روی خصوصیات مورفولوژیکی اصلی گیاه نظیر اسانس، ارتفاع بوته، وزن تر نمونه، وزن خشک نمونه، تعداد شاخه و عمق ریشه مورد بررسی قرار گرفت. به دلیل آنکه نتایج بدست آمده اختلاف معنی‌داری نداشتند، لذا در سطح احتمال ($P < 0/05$) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند که این خود نشان‌دهنده مقاومت گیاه رزماری به شوری است. با توجه به نتایج مندرج در جدول (۶) اثر شوری‌های مختلف آب زیرزمینی بر روی اسانس گیاه، وزن تر بوته، وزن خشک بوته، تعداد شاخه و عمق ریشه در سطح ۵٪ اثر معنی‌دار بوده است. همچنین بیشترین و کمترین اسانس بدست آمده متعلق به تیمارهای C1 و C3 است. با توجه به نتایج بدست آمده، اثر شوری‌های مختلف آب زیرزمینی بر روی ارتفاع گیاه در سطح ۵٪ معنی‌دار نبوده است. تجمع نمک در خاک در تیمارهای با شوری بیشتر و نتیجتاً افزایش فشار اسمزیک عامل اصلی کاهش میزان مشارکت آب زیرزمینی و اجزای عملکرد گیاه رزماری است.

تاکنون در زمینه تأثیر آب زیرزمینی کم‌عمق با کیفیت‌های مختلف و در شرایط آبیاری کامل بر کمک به تبخیر تعرق در طول رشد گیاه رزماری در مناطق خشک و نیمه‌خشک توسط سایر محققان تحقیقی صورت نپذیرفته است تا بتوان آن‌ها را با نتایج بدست آمده از این تحقیق مقایسه نمود. لذا، به‌ناچار باید به بیان و مقایسه نتایج بدست آمده از سایر تحقیقات بر روی سایر گیاهان دیگر بود. نتایج بدست آمده نشانگر آن است که تیمار دارای عمق ایستابی ۸۰ سانتیمتر با شوری یک دسی زیمنس بر متر، با سرعت بالاتری نسبت به دو سطح شوری دو و چهار دسی زیمنس، نیاز آبی خود را از آب زیرزمینی تأمین و در اکثر روزهایی که آب زیرزمینی در اختیار گیاه بوده است، بیشترین نیاز تبخیر و تعرق خود را از این طریق جذب کرده است. در

هر دو سال اجرای طرح، تیمار با عمق سطح ایستابی ۸۰ سانتیمتر با شوری یک دسی زیمنس بر متر در اکثر روزها ۵۴٪ از مقدار نیاز آبی مورد نیاز خود را از آب زیرزمینی تأمین نموده است. این در حالی است که دو تیمار دیگر با عمق ۸۰ سانتیمتر و شوری‌های دو و چهار دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۴۴ و ۳۴ درصد از نیاز خود را از آب زیرزمینی تأمین کرده‌اند. بیشترین مصرف آب زیرزمینی مربوط به عمق ۸۰ سانتیمتر با شوری یک دسی زیمنس بر متر و کمترین مقدار مصرف از آب زیرزمینی نیز مربوط به عمق ۸۰ سانتی‌متری با شوری چهار دسی زیمنس بر متر بدست آمده‌است. همچنان که قبلاً نیز اشاره‌شده علت اصلی موضوع نیز به ترتیب واکنش مثبت و منفی گیاه به سطوح شوری موجود در شرایط ایجادشده است. همچنین با افزایش میزان شوری آب زیرزمینی، میزان مشارکت آب زیرزمینی در تأمین نیاز آبی گیاه کاهش یافته است. در هر دو سال انجام طرح، هر سه سطح شوری و عمق از نظر کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد اجزای گیاهی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ نبوده و در سطح ۵٪ معنی‌دار شده که می‌توان دلیل آن را در مقاوم بودن گیاه رزماری به تحمل شوری آب زیرزمینی دانست. نتایج حاصله از این تحقیق تأیید‌کننده نتایج گزارش‌شده توسط قمرنیا و جلیلی (۲۰۱۴) می‌باشند که در تحقیقی کمک آب زیرزمینی به تبخیر تعرق و عملکرد محصول گیاه دارویی سیاهدانه تحت سه سطح ایستابی آب زیرزمینی با اعماق ۰/۶، ۰/۸ و ۱/۱ متر و سه سطح شوری یک، دو و چهار دسی زیمنس بر متر را گزارش نموده‌اند. نتایج گزارش‌شده آن‌ها مؤید این موضوع بوده است که درصد مشارکت آب زیرزمینی برای سطوح شوری یک، دو و چهار دسی زیمنس بر متر در اعماق ۰/۶ و ۰/۸ و ۱/۱ متری به ترتیب در حدود (۶۷/۲۵، ۵۵، ۴۵/۷۵ درصد)، (۶۰/۷۵، ۵۰، ۴۱/۵ درصد) و (۵۴/۲۵، ۴۳/۵، ۳۶ درصد) بوده است. همچنین بر اساس نتایج تحقیق جلیلی و همکاران (۱۳۹۷) درصد مشارکت آب زیرزمینی گیاه استویا تحت شوری‌های ۶، ۲، ۱ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر و تحت اعماق آب زیرزمینی ۰/۷۰،

۰/۹۰ و ۱/۲۰ متر، حداقل ۴۰ و حداکثر ۶۵ در صد نیاز کل گیاه بوده است. نتایج گزارش شده توسط بنز و همکاران (۱۹۸۴ و ۱۹۸۵) با مطالعه چهار عمق سطح ایستابی و سه سطح آبیاری بر روی گیاه یونجه نیز مؤید این موضوع بوده است که بیشترین محصول حاصله مربوط به عمق سطح ایستابی ۱۵۵ و ۲۱۰ سانتیمتر و سطح آبیاری ۰/۸ بوده است. ضمناً نتایج تحقیقات گزارش شده توسط بارگاهی و موسوی (۱۳۹۷) با بررسی تأثیر چهار سطح ایستابی کم عمق و دو سطح شوری آب زیرزمینی بر کمک آب زیرزمینی به تبخیر و تعرق گیاه گلرنگ نیز نشانگر آن بوده است که بیشترین مقدار تبخیر تعرق (۲۵۱ سانتیمتر) در سطح

ایستابی ۵۰ سانتیمتر با شوری ۰/۶ دسی زیمنس بر متر و کمترین مقدار تبخیر تعرق (۴۳/۹ سانتیمتر) در سطح ایستابی ۹۰ سانتیمتر با شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر صورت گرفته است. همچنین ایکسو و همکاران (۲۰۱۷) گزارش نموده اند که در مناطق خشک با سطح سفره کم عمق، حداقل در حدود ۱۶٪ از نیاز آبی گیاهان قابل تأمین است. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج منتشر شده توسط گائو و همکاران (۲۰۱۷) و وانگ و همکاران (۲۰۲۰) برای محصول ذرت و وانگ و همکاران (۲۰۲۲) برای جذب آب زیرزمینی توسط تأمین بخشی از نیازهای آبی یونجه مطابقت دارند.

جدول ۶ - تأثیر تیمارهای مختلف بر روی پارامترهای گیاهی طرح C

سال	کیفیت آب زیرزمینی (ds/m)	تیمار	عمق آب زیرزمینی (cm)	اسانس (cc/20gr)	ارتفاع بوته (cm)	وزن تر بوته (gr)	وزن خشک بوته (gr)	تعداد شاخه در بوته	عمق ریشه (cm)
۱۳۹۶	۱	C1		a۰/۴۳	a۴۴	a۷۱/۸	a۵۱/۷	a۲۸	a۵۴/۲
	۲	C2	۸۰	a۰/۴۲	a۴۲	ab۶۵	a۴۸/۵	b۲۴	b۴۱/۶
	۴	C3		b۰/۳۵	b۳۷	b۵۶	b۳۲/۳	b۲۲	c۳۳/۹
۱۳۹۷	۱	C1		a۰/۴۸	a۴۹	a۷۸	a۵۷/۷	a۲۸	a۶۰
	۲	C2	۸۰	b۰/۴۲	a۴۶	b۶۱/۴	ab۴۶/۹	b۲۴	b۴۳/۹
	۴	C3		c۰/۳۳	a۴۰	b۵۱/۸	b۲۹/۶	b۲۳	b۳۷/۴
متوسط دو سالانه	۱	C1		a۰/۴۶	a۴۶	a۷۴/۹	a۵۴/۷	a۲۸	a۵۷/۱
	۲	C2	۸۰	a۰/۴۲	a۴۴	b۶۳/۲	a۴۷/۷	b۲۴	b۴۲/۷
	۴	C3		b۰/۳۴	a۳۸	b۵۳/۹	b۳۱	b۲۳	c۳۵/۶

حروف مختلف نشان دهنده تفاوت معنی داری در سطح احتمال پنج درصد (۰/۰۵) با استفاده از آزمون دانکن می باشند

نتیجه گیری

در کل نتایج این تحقیق نشانگر این موضوع است که آب زیرزمینی کم عمق با کیفیت های مختلف تأمین کننده قسمتی از نیاز کلی گیاه بوده و هرچه عمق سطح و شوری آب زیرزمینی افزایش پیدا نموده، درصد مشارکت آن در تأمین نیاز آبی گیاه کمتر و میزان محصول بدست آمده نیز کاهش پیدا کرده است. ضمناً کل آب مورد نیاز گیاه رزماری معادل ۵۹۷ میلی متر بوده و از این کل آب مورد نیاز گیاه به ترتیب مقادیر ۳۲۱/۶ میلی متر (۵۴ درصد)، ۲۶۰/۳ میلی متر (۴۴ درصد) و ۲۰۱/۱ میلی متر (۳۴ درصد) از طریق آب زیرزمینی با کیفیت های یک، دو و چهار دسی زیمنس قابل تأمین است. به عبارتی ساده تر می توان اعلام نمود که میزان

مشارکت روزانه آب زیرزمینی به ترتیب برابر نه، چهار، نه، سه و سه میلی متر متعلق به تیمارهای با شوری آب زیرزمینی یک، دو و چهار دسی زیمنس با عمق ثابت آب زیرزمینی ۰/۸ متر بوده است. نتایج این تحقیق نشانگر آن است که اثرات شوری آب زیرزمینی بر روی میزان عملکرد پارامترهای گیاه رزماری در سطح ۵٪ معنی دار بوده که دلالت بر مقاوم بودن این گیاه به شوری دارد. لازم به ذکر است که نتایج حاصل از این تحقیق می تواند در مدیریت آبیاری گیاه رزماری مورد استفاده برنامه ریزان منابع آب در مناطق با پتانسیل آب زیرزمینی با کیفیت و اعماق متنوع، جهت صرفه جوئی در مصرف منابع آب سطحی مورد استفاده واقع شود. لذا، با استفاده گیاه از پتانسیل های آب زیرزمینی با کیفیت های مختلف و صرفه جوئی در میزان آب

سطحی مورد استفاده، اراضی بیشتری قابلیت کشت داشته و همچنین تولید محصول و امکان شغل بیشتر برای کشاورزان فراهم خواهد گردید. در کل، کاربرد آب شور می‌تواند منجر به شور شدن خاک شود و لازم است با آبشویی از انباشت نمک جلوگیری به عمل آید.

فهرست منابع

۱. بارگاهی خ و موسوی س ع ا، (۱۳۹۷). تأثیر سطح ایستابی کم‌عمق شور آب زیرزمینی بر کمک آب زیرزمینی به تیخیر و تعرق گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، دوره ۱۰، شماره ۳، صفحات ۵۹ تا ۶۹.
۲. جلیلی ز، قمرنیا ه و کهریزی د، (۱۳۹۷). بررسی تأثیر آب زیرزمینی کم‌عمق و شور بر عملکرد گیاه استویا (*Stevia Rebaudiana Bertoni*). مجله مدیریت آب و آبیاری. دوره ۸، شماره ۲، صفحات ۱۹۳ تا ۲۰۹.
۳. قمرنیا ه، امیری س و خرمی وفام، (۱۳۹۳). برآورد نیاز آبی و ضرایب گیاهی یک جزئی و دوجزئی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) در اقلیم نیمه‌خشک. مجله مدیریت آب و آبیاری دانشگاه تهران. دوره ۴، شماره ۱، صفحات ۳۳ تا ۴۳.
4. Ayars J E, Schoneman R A, Soppe R W, Mead R M and Brown L C, (2009). Irrigating Cotton in the presence of shallow groundwater. Drainage in the 21st century. Proceedings of the 7th International Drainage Symposium. Orlando. Florida. USA. 8-10 March. 82-89.
5. Benz L C, Doering E J and Reichman G A, (1984). Water table condition to alfalfa evaporation and yield in sandy soil. Trans. ASAE 27: 1307-1312.
6. Benz L C, Doering E J and Reichman G A, (1985). Alfalfa yield and Evapotranspiration response to static watertable and irrigation. Trans. ASAE 28(4):1178-1185.
7. Ebtsam A, El-Housini, Ahmed M Hassanein M S and Tawfik M M, (2014). Effect of Salicylic Acid (SA) on Growth and Quality of Stevia (*Stevia rebaudiana* Bert.) Under Salt Stress. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci. 14 (4): 275-281.
8. Gao X, Bai Y, Huo Z and Steenhuis T, (2017). Deficit irrigation enhances contribution of shallow groundwater to crop water consumption in arid area. Agricultural Water Management 185:116-125.
9. Ghamarnia H and Gholamian S M, (2013). The Effect of saline shallow ground and surface water under deficit irrigation on (*Carthamus tinctorius* L.) in semi-arid condition. Agric. Water Manag. 118: 29-37.
10. Ghamarnia H and Jalili Z, (2014). Shallow saline groundwater use by Black cumin (*Nigella sativa* L.) in the presence of surface water in a semi-arid region. Agricultural Water Management 132: 89- 100.
11. Goins T, Lunin J and Worley H L, (1966). Water table effects on growth of tomatoes, snap beans and sweet corn. Trans. ASAE 9: 530-533.
12. Hang C, Zhongyi L, Zailin H, Zhongyi Q and Yuhong X, (2016). Alexander Fernald Impacts of agricultural water saving practice on regional groundwater and water consumption in an arid region with shallow groundwater. Environmental Earth Sciences. 75(16):1204.
13. Huo Z, Feng S, Huang G, Zheng Y, Wang Y and Guo P, (2012). Effect of groundwater level death and irrigation amount on water fluxes at the roundwater table and water use of wheat. Journal of irrigation and drainage. Volume 61. Issue 3. Pages 348-356.
14. Eltarabily M G, Burke J M and Khaled M B, (2020). Impact of Deficit Irrigation on Shallow Saline Groundwater Contribution and Sunflower Productivity in the Imperial Valley, California. Water 2020. 12, 571.

15. Noory H, Liaghat A M, Chaichi M R and Parsinejad M, (2009). Effects of water table management on soil salinity and alfalfa yield in a semi-arid climate. Journal of irrigation science. 27:401-407.
16. Wang X, Zailin H, Manoj KS , Wang X , Guo P, Xu X and Huang G, (2020). Energy fluxes and evapotranspiration over irrigated maize field in an arid area with shallow groundwater. Agricultural Water Management. Elsevier. vol. 228.
17. Wang S, Guo K, Ameen A, Fang D, Li X, Liu X and Lipu H , (2022). Evaluation of Different Shallow Groundwater Tables and Alfalfa Cultivars for Forage Yield and Nutritional Value in Coastal Saline Soil of North China. Life. 12(2), 217.
18. Xue J, Guan H, Huo Z, Wang F, Huang G and Boll J, (2017). Water saving practices enhance regional efficiency of water consumption and water productivity in an arid agricultural area with shallow groundwater. Agric. Water Manag. 194. 78–89.

تأثیر سامانه آبیاری فتيله‌ای بر بهره‌وری آب و برخی صفات رشد گیاه گوجه‌فرنگی در کشت گلخانه‌ای

مهدی رضایی خرم‌نانی، مهدی اکبری^۱ و مهدی کوچک‌زاده

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

mehdirezayikh1996@gmail.com

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

akbari_m43@yahoo.com

دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

kouchakm@modares.ac.ir

دریافت: خرداد ۱۴۰۱ و پذیرش: آذر ۱۴۰۱

چکیده

این پژوهش برای بررسی کارایی سامانه آبیاری فتيله‌ای در کشت گلخانه‌ای گیاه گوجه‌فرنگی و مقایسه آن با سامانه آبیاری قطره‌ای به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD)، شامل تیمارهای آبیاری در پنج سطح (آبیاری قطره‌ای و آبیاری فتيله‌ای با قطرهای یک، سه، چهار و پنج سانتی‌متر) و دو بستر کشت ("کوکوپیت، خاک، کود، پرلیت" و "خاک، شن، کود") در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه تربیت مدرس در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام شد. کمترین حجم مصرف آب در طول دوره رشد در آبیاری فتيله‌ای با قطر فتيله یک سانتی‌متر، ۲۹/۲۵ لیتر در بوته و بیشترین حجم مصرف آب در آبیاری قطره‌ای و فتيله‌ای با قطر فتيله پنج سانتی‌متر به ترتیب ۳۶ و ۳۷/۵ لیتر در بوته بود. این نتایج نشان دهنده اختلاف ۱۹٪ و ۴٪ در میزان مصرف آب بین تیمار آبیاری فتيله‌ای با قطر یک سانتی‌متر و پنج سانتی‌متر با آبیاری قطره‌ای است. میزان مصرف آب در سامانه آبیاری قطره‌ای نسبت به متوسط سامانه آبیاری فتيله‌ای به میزان شش درصد بیشتر بود. همچنین قطر فتيله در آبیاری فتيله‌ای تأثیر معنی‌داری بر میزان مصرف آب داشت، به طوری که اختلاف بین تیمارهای آبیاری فتيله‌ای (کمترین و بیشترین میزان مصرف آب) در قطرهای یک و پنج سانتی‌متر به ۲۸٪ رسید. آبیاری فتيله‌ای با قطر سه سانتی‌متر در بستر کشت "خاک، ماسه، کود" با ۷۰۰ گرم در بوته، بیشترین عملکرد میوه گوجه‌فرنگی را به خود اختصاص داد. عملکرد میوه در بستر "خاک، ماسه، کود" نسبت به بستر "کوکوپیت، خاک، پرلیت، کود" نیز ۵۹٪ افزایش یافت. بیشترین بهره‌وری آب در آبیاری فتيله‌ای با قطر سه سانتی‌متر، ۱۱/۱۹ و کمترین بهره‌وری آب در تیمار آبیاری قطره‌ای ۹/۰۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب به دست آمد که دارای اختلاف ۲۴٪ است. میزان مصرف آب در بستر کشت "خاک، شن، کود" نسبت به بستر کشت "کوکوپیت، خاک، کود، پرلیت" ۲۱٪ کاهش یافت و موجب افزایش ۱۰۰٪ بهره‌وری آب در بستر "خاک، شن، کود" شد. در آبیاری فتيله‌ای، به علت اینکه همواره آب در دسترس بوده، گیاه با تنش آبی مواجه نشد و این نتایج حاکی از آن است که سامانه آبیاری فتيله‌ای با بهبود رشد گیاه موجب افزایش میزان تولید محصول تر و خشک و بهره‌وری فیزیکی آب گوجه‌فرنگی شد. اگرچه در این تحقیق تجزیه و تحلیل اقتصادی انجام نشده است ولی محصول بیشتر همراه با مصرف آب کمتر در سامانه آبیاری فتيله‌ای، درآمد بیشتری برای بهره‌بردار خواهد داشت و می‌تواند دلیل قابل قبولی برای استفاده از این روش آبیاری باشد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری فیزیکی آب، آبیاری قطره‌ای، خاک گلدان، آب مصرفی گوجه‌فرنگی

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

مقدمه

با توجه به شرایط خاص اقلیمی کشور که خشکی و توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارندگی جز واقعیت انکارناپذیر آن است، هرگونه تولید مواد غذایی و کشاورزی پایدار، مشروط به استفاده صحیح و منطقی از منابع محدود آب کشور است. لذا استفاده از روش‌های مناسب برای افزایش بهره‌وری آب در بخش کشاورزی ضروری خواهد بود. تبدیل سامانه‌های آبیاری سنتی به روش‌های نوین، برنامه‌ریزی آبیاری (انجام آبیاری به مقدار لازم در زمان مناسب) و انجام کشت گلخانه‌ای می‌تواند از روش‌های حفظ و مدیریت منابع آب موجود باشد. هدف از آبیاری تأمین مقدار آب مورد نیاز گیاه در زمان مناسب است. مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب آبیاری، نیازمند آگاهی از نیاز آبی گیاه در طول فصل رشد، انتخاب سامانه مناسب آبیاری با توجه به میزان آب مورد نیاز و ظرفیت نگهداری آب در خاک دارد (گلدهر، ۲۰۰۵). تعیین دقیق نیاز آبی گیاه در شرایط مختلف و تأمین آبیاری به میزان لازم و در زمان مناسب در سامانه‌های آبیاری سطحی و تحت فشار، همواره با عدم قطعیت‌هایی همراه است. هر روش آبیاری که بتواند در زمان انجام آبیاری، این عدم قطعیت‌ها را کاهش دهد، می‌تواند در افزایش بهره‌وری آب مؤثر باشد. سامانه آبیاری فتيله‌ای^۲ یکی از روش‌هایی است که آب را همواره در اختیار گیاه قرار داده و بر اساس نیاز گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا عدم قطعیت‌ها مذکور را کاهش می‌یابد. در سامانه آبیاری فتيله‌ای آب از یک مخزن نگهداری آب توسط نیروی موئینه‌ای از طریق یک فتيله از جنس پنبه بافته، پنبه غیر بافته، پلی‌استر و غیر به سمت ریشه گیاهان حرکت می‌کند. نمایی شماتیک از سامانه آبیاری فتيله‌ای در شکل ۱ نشان داده شده است. در این روش آبیاری با استفاده از ترکیب دو خاصیت موئینی و مکش، آب مورد نیاز گیاه تأمین می‌شود (بودی آرتو و همکاران، ۲۰۱۳). سامانه آبیاری فتيله‌ای می‌تواند تا حد زیادی مشکل کمبود ظرفیت نگهداری آب را در محیط‌های کشت کاهش دهد، زیرا در

این سامانه مخزن نگهداری آب جدا از ظروف کشت بوده و می‌تواند ظرفیت نگهداری دلخواهی داشته باشد (محمدی‌اروجه و همکاران، ۱۳۹۶).



شکل ۱- شماتیک سامانه آبیاری فتيله‌ای

نتایج تحقیقات در جهان نشان داد که آبیاری فتيله‌ای را می‌توان در شرایط شدید خشک‌سالی، دسترسی به آب کم و حتی در مناطقی با آب گسترده استفاده کرد. همچنین از این سامانه آبیاری می‌توان در یک منطقه به‌طور موقت استفاده کرد و سپس سامانه مذکور را بدون هیچ عوارضی به محل دیگر منتقل نمود (فلیپ و همکاران، ۲۰۲۲). استفاده از نیروهای موئینی در آبیاری فتيله‌ای باعث رفع نیاز به تجهیزات آبیاری (مانند پمپ، زمان‌سنج و حس‌گر) شده است. این روش آبیاری، ساده، کارآمد و اقتصادی است. اگرچه این روش برای استفاده در کشت سبزی‌ها کارآمد و مقرون‌به‌صرفه است، اما برای استفاده طولانی‌مدت در محصولات در حال رشد توصیه نمی‌شود، زیرا ریشه گیاهان می‌تواند با گذشت زمان به فتيله نفوذ کرده، جریان آب را مختل و یا قطع کند و در نهایت باعث کاهش محصول شود. برای حل این مشکل با ایجاد یک لایه نفوذناپذیر بر روی فتيله می‌تواند از نفوذ ریشه به فتيله جلوگیری کرد و از آن برای محصولاتی با دوره رشد طولانی استفاده کرد (موسادا، ۲۰۰۸). سامانه فتيله‌ای در مناطقی با تبخیر و تعرق زیاد مانند کشورهای گرمسیری و

نیمه گرمسیری بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش به دلیل توانایی حفظ رطوبت خاک بسیار مفید است. همچنین طراحی، نصب و راه‌اندازی آن نیاز به تخصص بالایی نداشته و چون مصرف آب توسط پتانسیل آب در خاک و صعود موینگی تنظیم می‌شود، نیاز به محاسبات خاصی ندارد (عابدی‌باباحیدری، ۱۳۹۸). رضایی‌سرجویی (۱۳۹۸) کارایی مصرف آب ماش به روش آبیاری فتيله‌ای را در سال ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ بررسی کرد. تیمارها شامل روش آبیاری فتيله‌ای و آبیاری سطحی با مصرف آب معادل با آبیاری فتيله‌ای و دو برابر مصرف آب در آبیاری فتيله‌ای بودند. نتایج نشان داد که تمام صفات مرتبط با عملکرد به‌استثنای شاخص برداشت، تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار گرفتند و تیمار آبیاری فتيله‌ای در مقایسه با تیمارهای آبیاری سطحی برتری نشان داد. همچنین، تمام صفات مورفولوژیکی به‌استثنای ارتفاع ساقه در تیمار آبیاری فتيله‌ای در مقایسه با تیمارهای سطحی به‌طور معنی‌داری برتر بود، ولی صفات فیزیولوژیکی تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار نگرفتند. نتایج همچنین نشان داد که کارایی مصرف آب زیست‌توده و بذر در آبیاری فتيله‌ای در مقایسه با دیگر روش‌ها بهتر است. در مجموع نتایج این مطالعه نشان داد که آبیاری فتيله‌ای نه تنها تنشی را ایجاد نکرده است، بلکه با همان میزان آب کم توانسته است، کارایی مصرف آب بهتری را برای صفات عملکردی و مورفولوژیکی به دست آورد. زارعی و حیدری (۱۳۹۶) در تحقیقی، کارایی مصرف آب آفتابگردان در روش‌های آبیاری سطحی و فتيله‌ای را بررسی نمودند. آزمایش‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۴ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل، آبیاری معمولی به‌عنوان شاهد و آبیاری فتيله‌ای بود. نتایج نشان داد که در آبیاری فتيله‌ای نسبت به آبیاری سطحی، محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، ارتفاع بوته و قطر ساقه اصلی بیشتر است. از نظر وزن مخصوص برگ، تفاوتی بین سامانه‌های آبیاری وجود نداشت. همچنین آبیاری فتيله‌ای نسبت به آبیاری سطحی از نظر مصرف آب کاراتر و ماده خشک بیشتری

تولید کرد. دسترسی دائمی به آب و عدم شرایط غرقابی هم می‌تواند رشد گیاه را بهبود ببخشد و کارایی مصرف آب و تولید ماده خشک را افزایش دهد. وسونگا و همکاران (۲۰۱۴) در یک مطالعه تأثیر مواد مختلفی مانند پنبه بافته، پنبه غیر بافته، پارچه ۱۰۰ درصد پلی‌استر، فتيله وارداتی را برای استفاده به‌عنوان فتيله در چهار محیط کشت "خاک، شن، کود دامی"، "خاک، کوکوپیت، شن، کود دامی"، "خاک، کوکوپیت، کود دامی، پومایس" و "کود دامی، پومایس، کوکوپیت" در سامانه آبیاری فتيله‌ای مقایسه کردند. نتایج نشان داد که پلی‌استر، الگوی جذب آب بهتر و ارتفاع موینگی بالاتری داشته و به‌عنوان بهترین نوع فتيله برای آبیاری فتيله‌ای معرفی شده است. همچنین محیط‌های کشت "خاک، شن، کود دامی" و "خاک، کوکوپیت، کود دامی، پومایس" بهترین محیط‌های کشت به لحاظ رشد محصول و کاهش مصرف آب بودند. این محققین نتیجه گرفتند که حجم مخزن چهار لیتر مناسب‌ترین حجم مخزن برای استفاده در تولید گوجه‌فرنگی تحت سامانه آبیاری فتيله‌ای است. مانگای و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی، بهره‌وری آب و رشد گیاهان زینتی تحت سامانه آبیاری فتيله‌ای و سامانه آبیاری سطحی را در کنیا بررسی نمودند. آزمایش به روش آبیاری سطحی و فتيله‌ای در قالب طرح کرت‌های خرده شده در سه تکرار انجام شد. میزان آب مورد استفاده در این دو سامانه به‌صورت هفتگی در طول دوره رشد تعیین و رشد گیاهان در هر دو سامانه از نظر سطح برگ و ارتفاع گیاه ارزیابی شد. نتایج نشان داد که روش آبیاری فتيله‌ای به‌طور متوسط ۶۳/۷۵ درصد مصرف آب را در مقایسه با روش آبیاری سطحی (سستی) کاهش داده است؛ بنابراین روش آبیاری فتيله‌ای با توجه به مزایایی نظیر حفاظت از آب، کاهش هزینه نیروی کار و کود آبیاری، پتانسیل امیدوارکننده‌ای برای تولید گلخانه‌ای گیاهان زینتی در مقایسه با سایر روش‌های آبیاری ارائه می‌دهد. چاتووردی و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای وضعیت رشد فیزیولوژیکی، عملکرد و بهره‌وری فیزیکی آب سبزی‌ها را تحت روش آبیاری

فتيله‌ای در کشور هندوستان بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین افزایش عملکرد مربوط به محصول بامیه و گوجه‌فرنگی بوده که در روش آبیاری فتيله‌ای نسبت به روش سطحی به ترتیب ۸۲ و ۸۶ درصد افزایش یافته است. در مطالعه‌ای در آدلاید استرالیا، عملکرد آبیاری فتيله‌ای و آبیاری سطحی برای سامانه‌ای با عمق بستر خاک ۳۰ سانتی‌متر و گیاه گوجه‌فرنگی مقایسه شد. نتایج نشان داد که میزان عملکرد در سامانه آبیاری فتيله‌ای به میزان ۶۲ تا ۷۳ درصد نسبت به سامانه آبیاری سطحی افزایش یافته است (سماندا و همکاران، ۲۰۱۶). نتایج مطالعه فرارزی و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی تأثیر کشت هیدروپونیک با آبیاری فتيله‌ای بیانگر آن است که با افزایش رشد محصول، عملکرد و کیفیت گیاه کاهو در آبیاری فتيله‌ای نسبت به هیدروپونیک بهتر بوده و موجب افزایش ۸۳ درصد سطح برگ و ۴۴ درصد حجم ریشه شده است. همچنین وزن تر و خشک اندام هوایی به ترتیب ۵۸ و ۲۸ درصد و توده خشک ریشه ۳۵ درصد افزایش یافت. با این وجود، فتيله‌ها دارای معایبی هستند و موجب بروز بیماری در ریشه‌ها می‌شوند. این بیماری به علت مرطوب بودن دائمی ناحیه مجاور ریشه ایجاد می‌شود. نتایج مطالعه فلیپ و همکاران (۲۰۲۲) در خصوص بررسی تأثیر عملکرد کاهو و امکان‌سنجی کشت آن با استفاده از روش آبیاری فتيله‌ای بیانگر کاهش قابل توجهی از نظر حجم آب آبیاری و افزایش راندمان مصرف آب بود. این محققین مشاهده کردند که افزایش تعداد فتيله، اثر قابل قبولی در میزان عملکرد ندارد ولی اندازه و قطر مناسب فتيله در این زمینه مؤثر است. بیشترین و کمترین بهره‌وری آب کاهو به ترتیب ۷۰/۲۲ و ۱۸/۷۳ گرم بر لیتر با استفاده از کاربرد یک و سه عدد فتيله مشابه به دست آمد. حیدری و همکاران (۱۴۰۰) اثر روش آبیاری فتيله‌ای بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت را در نواحی نیمه‌خشک ایران بررسی کردند. نتایج نشان داد که در روش آبیاری فتيله‌ای، تلفات تبخیر و نفوذ عمقی نزدیک به صفر است که باعث افزایش عملکرد گیاه و کارایی مصرف آب می‌شود. همچنین حجم آب مصرفی

در سامانه آبیاری فتيله‌ای به‌طور میانگین حدود ۳۰ درصد نسبت به آبیاری سطحی کاهش یافت. عملکرد تر، عملکرد خشک و کارایی مصرف آب در تیمار آبیاری فتيله‌ای نسبت به تیمار آبیاری سطحی به ترتیب حدود ۴۰، ۷۰ و ۵۰ درصد افزایش یافت (حیدری و همکاران ۱۴۰۰). نتایج تحقیقات اورگ و همکاران (۲۰۱۹) در خصوص بررسی عملکرد میدانی سامانه آبیاری فتيله‌ای در کشور فیلیپین نشان داد که بهره‌وری آب در سامانه فتيله‌ای از روش‌های آبیاری موجود (قطره‌ای و سنتی) بیشتر بوده است. بهره‌وری آب فلفل سبز با استفاده از روش‌های آبیاری فتيله‌ای و قطره‌ای به ترتیب ۳۶/۶ و ۹/۹ گرم در لیتر بود. همین روند در مزرعه آزمایشی کشت بادمجان نیز مشاهده شد.

نتایج بررسی مطالعات محققان مختلف حاکی از آن است که سامانه آبیاری فتيله‌ای و تأثیرات آن بر مصرف آب و رشد گیاهان می‌تواند در عین ساده بودن، حجم آب آبیاری را به مقدار زیادی کاهش دهد و موجب بهبود رشد گیاهان شود. هدف از این تحقیق بررسی بهره‌وری آب، توانایی انتقال آب توسط قطره‌های مختلف فتيله و شناسایی بهترین محیط کشت برای سامانه آبیاری فتيله‌ای در گیاه گوجه‌فرنگی در گلخانه بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش از پاییز ۱۳۹۹ تا بهار ۱۴۰۰ در یکی از گلخانه‌های تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل پنج شیوه آبیاری (قطره‌ای، فتيله‌ای با قطر فتيله یک، سه، چهار و پنج سانتی‌متر) و دو نوع بستر کشت شامل "خاک، ماسه، کود حیوانی" و "کوکوپیت، خاک، کود، پرلیت" بود که علامت اختصاری تیمارها در جدول (۱) نشان داده شده است. در روش آبیاری قطره‌ای برای هر گلدان از یک قطره‌چکان نتافیم سه لیتر بر ساعت و در روش آبیاری فتيله‌ای از فتيله‌هایی از جنس کتان و دارای قطرهای یک، سه، چهار و پنج سانتی‌متر

فتیله‌ها، بستر موجود در گلدان برای انتقال نشاء مرطوب شود. پس از مرطوب شدن بستر کشت در گلدان‌ها، نشاء‌ها به گلدان‌ها منتقل شدند. در شکل (۲) نمایی از آبیاری گلدان‌ها به روش آبیاری قطره‌ای و آبیاری فتیله‌ای نشان داده شده است. برای تعیین زمان پرکردن مجدد مخزن آب در تیمارهای آبیاری فتیله‌ای، با بررسی میزان آب موجود در مخزن طی ساعات مختلف روز، در صورتی که حجم آب مخزن به حدود ۵۰ میلی‌لیتر رسیده بود به میزان یک لیتر آب وارد مخزن شد تا نیاز آبی گیاه را تأمین کند.

استفاده شد. برای کشت گیاه گوجه‌فرنگی ابتدا بذره‌های آن در سینی کشت نشاء قرار گرفت و به مدت ۳۰ روز تا مرحله پنج‌برگی به‌طور یکسان آبیاری شدند. برای اجرای سامانه آبیاری فتیله‌ای از مخازن نگهداری آب که دارای حجم مفید یک لیتر بودند استفاده شد. فتیله‌ها از جنس کتان انتخاب شدند تا به راحتی آب را جذب کرده و به بستر کشت انتقال دهند. پس از قرارگیری فتیله‌ها در گلدان از بسترهای کشت آماده‌شده در داخل گلدان‌ها ریخته و سپس گلدان‌ها بر روی مخزن آب قرار داده شدند تا با توجه به خاصیت موینگی

جدول ۱- علامت اختصاری تیمارها

ردیف	تیمارها	علامت اختصاری
۱	قطره‌ای در بستر خاک ۱ "خاک، ماسه، کود حیوانی"	I0S1
۲	قطره‌ای در بستر خاک ۲ "خاک، کوکوپیت، کود، پرلیت"	I0S2
۳	فتیله‌ای با قطر فتیله ۱ سانتیمتر در بستر خاک ۱	I1S1
۴	فتیله‌ای با قطر فتیله ۱ سانتیمتر در بستر خاک ۲	I1S2
۵	فتیله‌ای با قطر فتیله ۳ سانتیمتر در بستر خاک ۱	I3S1
۶	فتیله‌ای با قطر فتیله ۳ سانتیمتر در بستر خاک ۲	I3S2
۷	فتیله‌ای با قطر فتیله ۴ سانتیمتر در بستر خاک ۱	I4S1
۸	فتیله‌ای با قطر فتیله ۴ سانتیمتر در بستر خاک ۲	I4S2
۹	فتیله‌ای با قطر فتیله ۵ سانتیمتر در بستر خاک ۱	I5S1
۱۰	فتیله‌ای با قطر فتیله ۵ سانتیمتر در بستر خاک ۲	I5S2



شکل ۲- نمایی از آبیاری گلدان‌ها به روش آبیاری قطره‌ای و آبیاری فتیله‌ای

رطوبت‌سنج مدل (Lutron Professional Soil Moisture Meter, PMS-714) در عمق توسعه ریشه اندازه‌گیری و زمان آبیاری در تیمار قطره‌ای بر اساس ۵۰ درصد متوسط میزان

برای بررسی میزان آب موردنیاز گیاه گوجه‌فرنگی در تیمار آبیاری قطره‌ای از روش اندازه‌گیری رطوبت و بیان آب خاک استفاده شد. رطوبت خاک گلدان‌ها در تیمار آبیاری قطره‌ای به‌صورت روزانه با استفاده از دستگاه

تخلیه مجاز رطوبتی در نظر گرفته و میزان آب مورد نیاز گیاه از رابطه (۱) تعیین شد (قیصری و همکاران، ۲۰۱۵).

$$dn = (\theta_{fc} - \theta_i) * Z \quad (1)$$

θ_{fc} : درصد رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی
 θ_i : درصد رطوبت حجمی خاک باقیمانده در خاک قبل از آبیاری

Z : عمق ریشه بر حسب سانتی‌متر

d_n : عمق خالص آبیاری بر حسب سانتی‌متر

صفات مورد بررسی شامل وزن تر و خشک میوه، بهره‌وری فیزیکی آب، شاخص سطح برگ، میزان آب مصرفی گیاه و محتوای نسبی آب برگ در طول دوره رشد بودند. در انتهای دوره رشد و پس از برداشت گوجه‌فرنگی، وزن میوه‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. همچنین برای اندازه‌گیری وزن خشک میوه ابتدا چند نمونه میوه به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه قرار گرفتند و پس از آن وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد که به‌عنوان وزن خشک در نظر گرفته شد. برای محاسبه شاخص سطح برگ گیاه گوجه‌فرنگی، ابتدا به‌وسیله خط‌کش طول و عرض تمام برگ‌های موجود در ۳۰ گلدان اندازه‌گیری شد، سپس از هر گلدان تعداد ۱۰ برگ به‌صورت تصادفی جدا شده و به‌وسیله دستگاه اندازه‌گیری شاخص سطح برگ، مساحت هر برگ تعیین و از رابطه (۲) ضریب k برای محاسبه شاخص سطح برگ گیاه گوجه‌فرنگی تعیین شد (شعبانی و سپاسخواه، ۲۰۱۷).

$$K = \frac{B}{A} \quad (2)$$

K : ضریب شاخص سطح برگ

A : مساحت اندازه‌گیری شده توسط خط‌کش

B : مساحت به‌دست‌آمده توسط دستگاه شاخص سطح برگ
 از ضرب k محاسبه‌شده در مساحت سطح برگ قرائت‌شده در گلخانه، مساحت واقعی سطح برگ به دست آمد.

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، تعدادی از جوان‌ترین برگ‌های توسعه‌یافته در هر تیمار به‌طور تصادفی جدا گردید. سپس میزان چهار گرم برگ در ابعاد ۲×۲ سانتی‌متر از برگ‌ها جدا و به‌عنوان وزن تر در

نظر گرفته شد. نمونه‌ها به مدت شش ساعت در آب مقطر قرار گرفت و سپس با دستمال سطح آن‌ها خشک و مجدداً وزن شدند که وزن حاصل به‌عنوان وزن اشباع در نظر گرفته شد. برای تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار گرفت و وزن حاصل به‌عنوان وزن خشک در نظر گرفته شد. میزان محتوای نسبی آب برگ از رابطه (۳) محاسبه گردید (باقری، ۱۳۹۳).

$$RWC\% = \frac{(FW-DW)}{(TW-DW)} \times 100 \quad (3)$$

RWC : محتوای نسبی آب برگ (درصد).

FW : وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه‌برداری (گرم).

DW : وزن خشک برگ بعد از خارج کردن از آون (گرم).

TW : وزن تر برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر (گرم).

برای بررسی بهره‌وری فیزیکی آب، نسبت میزان عملکرد محصول گوجه‌فرنگی به حجم آب مصرف‌شده در طول دوره رشد تعیین و بهره‌وری فیزیکی آب از رابطه (۴) به دست آمد (مولدن، ۲۰۰۷).

$$Wp = \frac{Dw}{V} \quad (4)$$

WP : بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم بر مترمکعب)

DW : جرم ماده خشک، جرم ماده تر، (کیلوگرم)

V : حجم آب مصرف‌شده (مترمکعب)

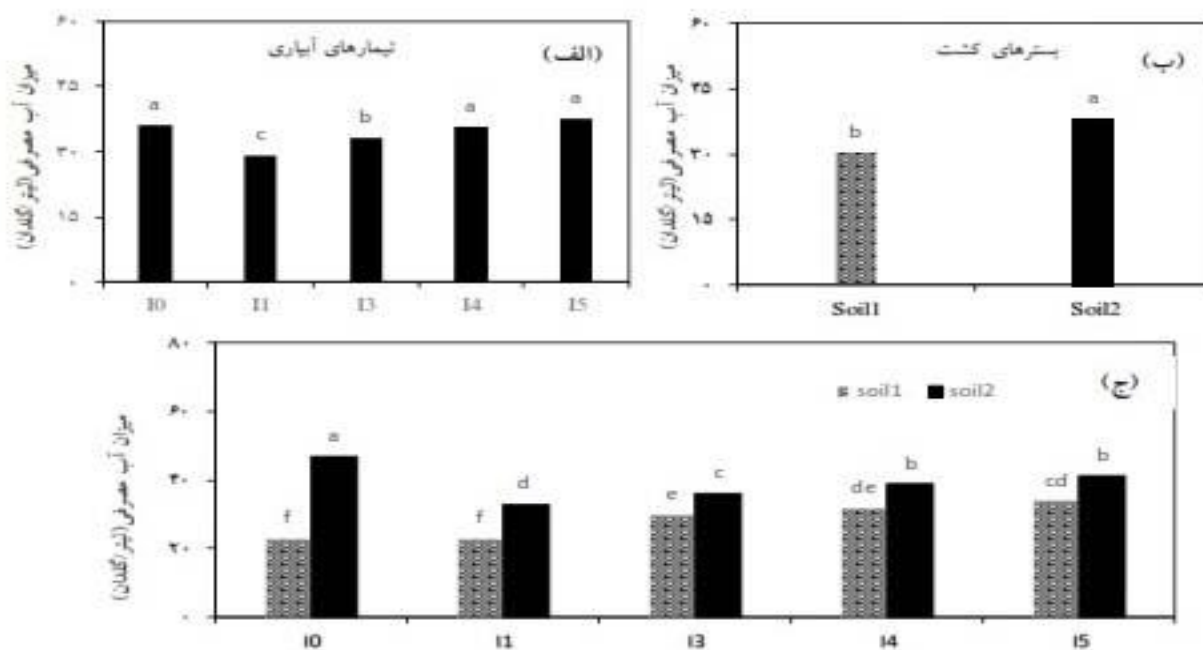
نتایج و بحث

میزان آب مصرفی

نتایج تجزیه تحلیل آماری میزان آب مصرفی در طول دوره رشد (جدول ۲) در تیمارهای آبیاری نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین آن‌ها است. اختلاف مصرف آب بین تیمارهای آبیاری فنیله‌ای و قطره‌ای متأثر از تفاوت در نوع آبیاری است. در آبیاری قطره‌ای، آبیاری از سطح خاک بر اساس سنجش میزان رطوبت موجود در خاک صورت گرفت. در روش آبیاری قطره‌ای به علت مرطوب بودن سطح خاک، تبخیر از سطح خاک وجود دارد، درحالی که در آبیاری فنیله‌ای، آبیاری از زیر سطح خاک توسط فنیله‌های موجود در مخزن صورت می‌گیرد و با توجه به

اینکه در این روش آبیاری سطح خاک عمدتاً خشک است، تلفات تبخیر از سطح خاک کاهش می‌یابد. این مسئله می‌تواند یکی از منابع اختلاف بین تیمار آبیاری قطره‌ای و فتيله‌ای باشد. همچنین به علت متفاوت بودن قطره‌ای فتيله، میزان مصرف آب در تیمارهای فتيله‌ای نیز متفاوت است. کمترین میزان مصرف آب در آبیاری فتيله‌ای در طول دوره رشد با قطر فتيله یک سانتی‌متر به میزان ۲۹/۲۵ لیتر در بوته و بیشترین میزان مصرف آب در تیمار آبیاری قطره‌ای و آبیاری فتيله‌ای با قطر فتيله پنج سانتی‌متر به میزان ۳۶ و ۳۷/۵ لیتر در بوته مشاهده شد (شکل ۳ - الف). نتایج تجزیه و تحلیل میزان مصرف آب در بسترهای مختلف کشت (جدول ۳) نشان داد که بین این دو بستر کشت اختلاف معنی‌داری وجود دارد. یکی از دلایل افزایش مصرف زیاد آب در بستر "کوکویت، خاک، پرلیت، کود" می‌تواند قدرت ذخیره بیشتر آب در خاک و در نتیجه سهولت تبخیر از سطح خاک باشد. همچنین مقایسه اثر متقابل آبیاری و

بستر کشت (شکل ۳-ج) نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آبیاری فتيله‌ای با آبیاری قطره‌ای است. بیشترین میزان مصرف آب در تیمار آبیاری قطره‌ای با بستر "کوکویت، خاک، پرلیت، کود" به میزان ۴۷/۷ لیتر در هر گلدان و کمترین میزان مصرف آب در تیمارهای آبیاری قطره‌ای و آبیاری فتيله‌ای با قطر یک سانتی‌متر در بستر "خاک، ماسه، کود" به میزان ۲۳ لیتر در هر گلدان مشاهده شد. همان‌طوری که در این شکل مشاهده می‌شود مقدار آب مصرفی در کلیه تیمارهای آبیاری در بستر "کوکویت، خاک، پرلیت، کود" بیشتر است. شاید بتوان گفت که علت افزایش این شاخص در خاک دو، وجود کوکویت و پرلیت در بستر خاک است. این نتایج حاکی از آن است که در این بستر، سهولت دسترسی به آب بیشتر بوده است. این سهولت دسترسی به آب می‌تواند موجب افزایش تبخیر از سطح خاک شود.



شکل ۳- مقایسه میانگین آب مصرف‌شده در تیمارهای مختلف آبیاری و بسترهای کشت

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی صفات گوجه‌فرنگی تحت سامانه آبیاری فتیل‌ای

منابع تغییر	درجه آزادی	میزان آب مصرفی	شاخص سطح برگ	محتوی نسبی آب برگ	وزن تر میوه	وزن خشک میوه	بهره‌وری آب
آبیاری	۴	۲۶۲/۰۵**	۴۲۶۱۹۵/۹۰**	۴۰/۷۵**	۱۵۱/۹۸**	۱۱۰۴/۰۲۴**	۳۳/۰۱**
بستر کاشت	۱	۴۹۲/۰۷**	۶۳۸۰/۸۷ ^{ns}	۴۱/۳۷**	۱۲۲/۹۵**	۶۴۳۹/۴۷۵**	۳۹/۰۴**
آبیاری×بستر	۴	۴۰۶/۰۵**	۶۲۲۴۸/۳۰ ^{ns}	۴۱/۵۸**	۳۱۸/۴۸ ^{ns}	۸۹۴/۵۱۷*	۱۴/۷۹ ^{ns}
خطا	۲۰	۴۴/۰۵	۵۲۵۲۱/۶۱	۰/۳۱	۲۰/۱	۱۸۵	۲۴/۹
ضریب تغییرات	-	۱۹/۷۳	۲۱/۹۴	۰/۶۰	۴۱/۶۹	۴۲/۲۶	۱۱/۹۷

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات گوجه‌فرنگی تحت بسترهای مختلف کشت

بستر کشت	آب مصرفی	محتوی نسبی آب برگ	شاخص سطح برگ	وزن خشک میوه	وزن تر میوه	بهره‌وری فیزیکی آب
Soil1	۳۰/۴ ^b	۸۸/۳۲ ^b	۱۰۳۰ ^b	۴۹/۰۹ ^a	۴۱۶/۳۸ ^a	۱۳/۸۳ ^a
Soil2	۳۸/۳ ^a	۹۵/۷ ^a	۱۰۵۹ ^a	۱۷/۴۴ ^b	۲۶۲/۲۹ ^b	۶/۸۷ ^b

نتایج تجزیه و تحلیل میزان مصرف آب در بسترهای مختلف کشت (جدول ۳) نشان داد که بین این دو بستر کشت اختلاف معنی‌داری وجود دارد. این نتایج نشان داد که بستر کشت "کوکویت، خاک، پرلیت، کود" به میزان ۲۶ درصد آب بیشتری را نسبت به بستر "خاک ماسه، کود" مصرف کرده است که از دلایل افزایش مصرف زیاد آب در بستر "کوکویت، خاک، پرلیت، کود" می‌تواند قدرت ذخیره بیشتر آب در خاک و در نتیجه سهولت تبخیر از سطح خاک باشد (شکل ۳-ب). نتایج این مطالعه با نتایج مطالعه مانگای و همکاران (۲۰۱۷) که تأثیر آبیاری فتیل‌ای بر میزان مصرف آب گیاه زینتی را مورد بررسی قرار داده بودند مطابقت دارد.

وزن تر میوه

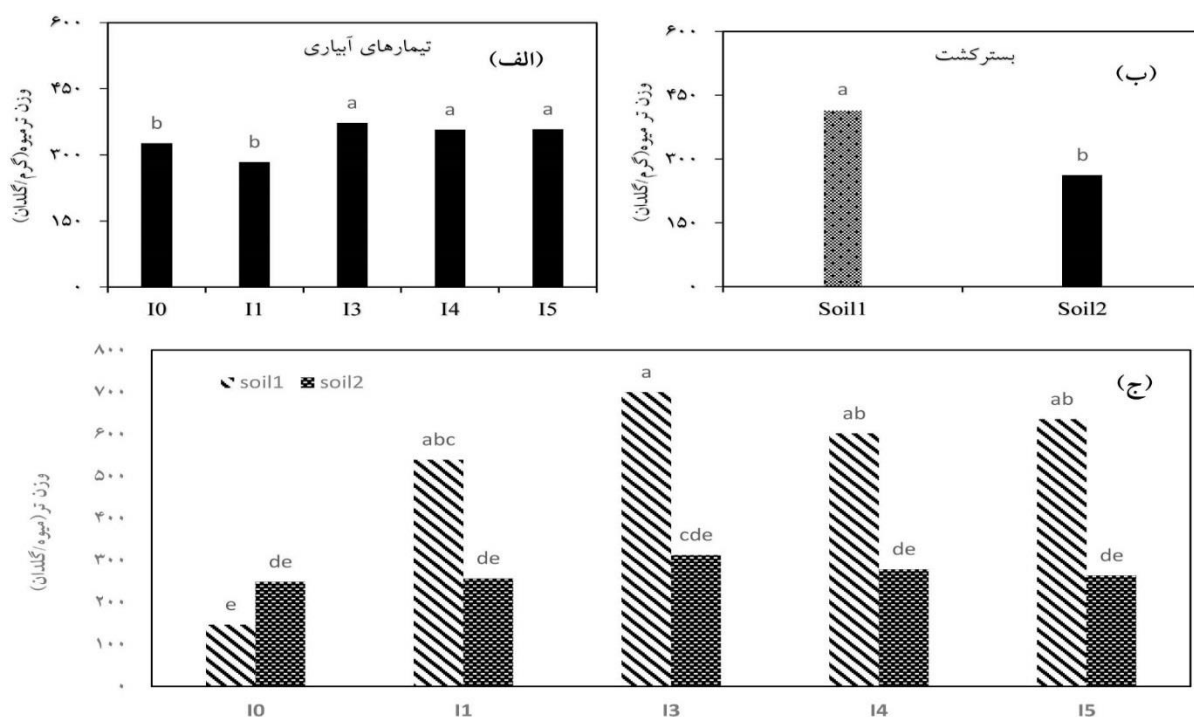
نتایج مقایسه وزن تر میوه (جدول ۲) در تیمارهای آبیاری حاکی از آن است که اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آبیاری وجود دارد. بیشترین وزن تر میوه مربوط به تیمار آبیاری فتیل‌ای با قطر سه سانتی‌متر به میزان ۳۷۲ گرم در بوته و کمترین وزن تر میوه به میزان ۲۸۴ گرم در بوته در تیمار آبیاری فتیل‌ای با قطر یک سانتی‌متر مشاهده شد. همچنین در تیمار آبیاری قطره‌ای وزن تر میوه ۳۲۶ گرم به دست آمد که نسبت به تیمارهای آبیاری فتیل‌ای با

قطر سه، چهار و پنج سانتی‌متر کمتر بود (شکل ۴-الف). نتایج به دست آمده بیانگر آن است که در تیمار آبیاری فتیل‌ای به علت مرطوب بودن دائمی خاک، دسترسی به آب سهل‌الوصول بیشتر بوده و موجب افزایش وزن تر میوه شده است. نتایج مقایسه میزان وزن تر میوه در بسترهای کشت (جدول ۳) حاکی از آن است که اختلاف این شاخص در بسترهای مختلف کشت معنی‌دار است. همچنین نتایج ارائه شده در شکل (۴-ب) نشان می‌دهد که وزن تر میوه در بستر ۱ "خاک، ماسه، کود" به میزان ۵۹ درصد نسبت به بستر ۲ "کوکویت، خاک، پرلیت، کود" بیشتر بوده است. اگرچه میزان ذخیره آب در بستر "کوکویت، خاک، پرلیت، کود" بیشتر از بستر "خاک، شن، کود" بود اما میزان وزن تر میوه در بستر "خاک، شن، کود" بیشتر شده است. شاید بتوان گفت که سهولت آب قابل‌دسترس در بستر "کوکویت، خاک، پرلیت، کود" باعث افزایش رشد رویشی گیاه شده، در نتیجه رشد زایشی کاهش یافته است که با مشاهدات مزرعه‌ای و نتایج تحقیقات محمدی‌اروجه و همکاران (۱۳۹۶)، و سونگا (۲۰۱۴) مطابقت دارد.

مقایسه اثر متقابل آبیاری و بستر کشت بر وزن تر میوه (شکل ۴-ج) نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آبیاری فتیل‌ای با آبیاری قطره‌ای است. بیشترین

آبیاری فتيله‌ای بر روی گیاه گوجه‌فرنگی نشان داد که محیط کشت "خاک، شن، کود دامی" و "خاک، کوکوپیت، کود دامی، پومایس" بهترین محیط کشت بودند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. همچنین اندازه یا وزن میوه با مقدار آب موجود در بستر کشت ارتباط مستقیمی دارد، لذا قدرت میوه در جذب آب و مواد مغذی از بسترهایی که قابلیت ذخیره آب کمتری دارند، بشدت کاهش می‌یابد. لذا در سامانه آبیاری فتيله‌ای با توجه به اینکه منطقه توسعه ریشه گیاه همواره در معرض رطوبت قرار دارد، می‌توان گفت این عامل به همراه عوامل مؤثر در بستر کشت باعث افزایش وزن تر میوه می‌شود.

وزن تر میوه در تیمار آبیاری فتيله‌ای با قطر سه سانتی‌متر در بستر "خاک، ماسه، کود" به میزان ۷۰۰ گرم در بوته و کم‌ترین وزن تر میوه در تیمار آبیاری قطره‌ای بستر "خاک، ماسه، کود" به میزان ۱۴۷ گرم در بوته به دست آمد. مقایسه اثر متقابل آبیاری و بستر کشت بر وزن تر میوه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است. آبیاری فتيله‌ای با قطر سه سانتی‌متر در بستر "خاک، ماسه، کود" برتری خود را نسبت به تمام تیمارهای آبیاری قطره‌ای و فتيله‌ای نشان داده است. بین تیمارهای آبیاری در بستر کشت "کوکوپیت، خاک، پرلیت، کود" اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج مطالعات سونگا و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی تأثیر چهار محیط کشت برای استفاده در سامانه

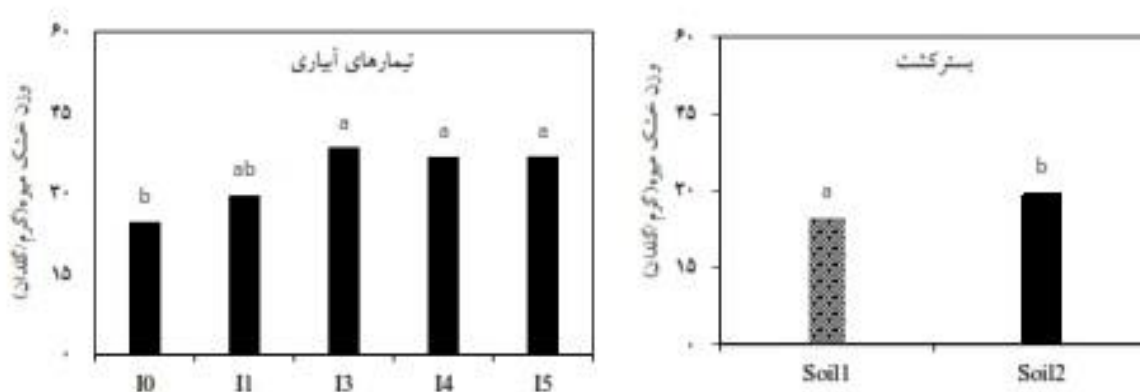


شکل ۴- مقایسه میانگین وزن تر میوه در تیمارهای مختلف آبیاری و بسترهای کشت

تیمارهای آبیاری معنی‌دار است. بیشترین وزن خشک میوه مربوط به تیمار آبیاری فتيله‌ای با قطر سه سانتی‌متر به میزان ۳۸/۵۱ گرم در بوته و کمترین وزن خشک میوه از تیمار آبیاری قطره‌ای به میزان ۲۴/۶۴ گرم در بوته به دست آمد (شکل ۵).

وزن خشک میوه

روند تغییرات وزن خشک میوه در تیمارهای مختلف مشابه وزن تر میوه بود و نتایج تجزیه آماری (جدول ۲) نشان داد که اختلاف میزان وزن خشک میوه در



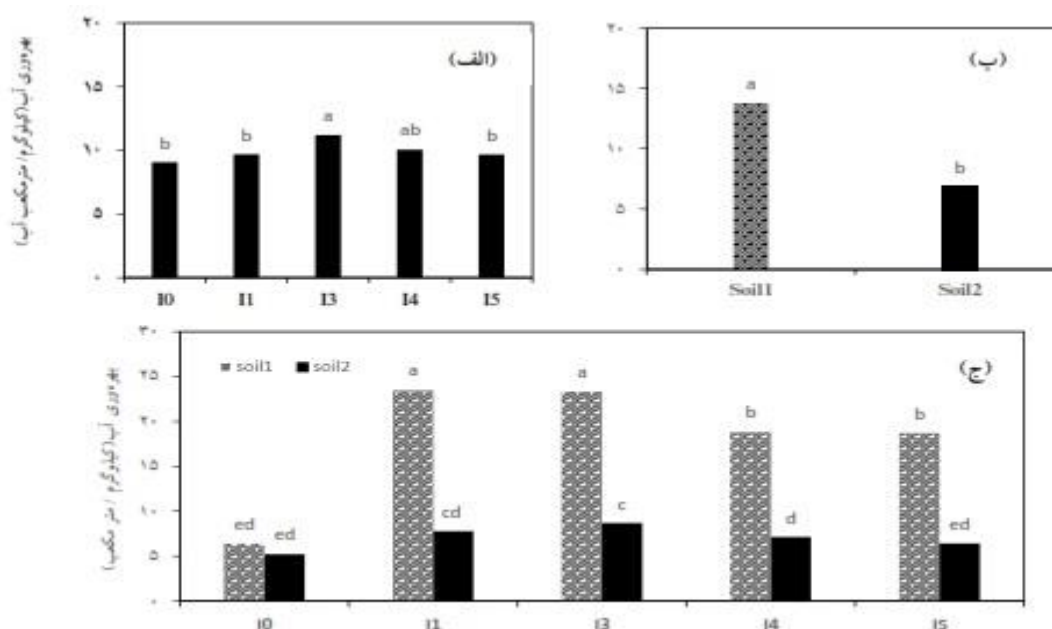
شکل ۵- مقایسه میانگین وزن خشک میوه در تیمارهای مختلف آبیاری و بسترهای کشت

آبیاری فتيله‌ای و آبیاری قطره‌ای، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آبیاری بود (جدول ۲). بیشترین میزان بهره‌وری فیزیکی آب به ازای وزن تر میوه از تیمار آبیاری فتيله‌ای با قطر فتيله‌ی سه سانتی‌متر به میزان ۱۱/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین میزان بهره‌وری فیزیکی آب به ازای وزن تر میوه از تیمار آبیاری قطره‌ای به میزان ۹/۰۶ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد (شکل ۶-الف). مقایسه اثر بسترهای کشت بر بهره‌وری آب نشان داد که بیشترین بهره‌وری فیزیکی آب متعلق به بستر "خاک، ماسه، کود" است که مقدار آن نسبت به بستر "کوکوپیت، خاک، پرلیت، کود" به میزان ۱۰۱ درصد افزایش داشته است (شکل ۶-ب). نتایج به‌دست‌آمده با مشاهدات مزرعه‌ای، اورگ و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد. آن‌ها مشاهده کردند که آبیاری فتيله‌ای با کاهش مصرف آب و افزایش میزان محصول تولیدی نسبت به آبیاری سطحی و قطره‌ای بهره‌وری آب بالاتری را ایجاد می‌کند.

میزان وزن خشک میوه ارتباط مستقیمی با میزان آب موجود در خاک داشت، به‌طوری‌که هرچه شرایط رشد مطلوب‌تری برای گیاه فراهم شد، وزن میوه نیز افزایش یافت. در آبیاری فتيله‌ای، مطلوب بودن شرایط رطوبت برای گیاه باعث شد که وزن خشک محصول افزایش یابد. مقایسه نتایج حاصل از وزن خشک میوه در بسترهای کشت نشان داد که وزن خشک میوه در بستر "خاک، ماسه، کود" به میزان ۱۸۴ درصد نسبت به بستر "کوکوپیت، خاک، پرلیت، کود" افزایش یافته است (شکل ۵). نتایج این تحقیق با نتایج زارعی و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت دارد. آن‌ها بیان کردند که دسترسی دائمی به آب و عدم شرایط غرقابی در آبیاری فتيله‌ای می‌تواند رشد گیاه را بهبود ببخشد و کارایی مصرف آب و تولید ماده خشک را افزایش دهد.

بهره‌وری فیزیکی آب

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آبیاری بر بهره‌وری آب به ازای وزن تر گوجه‌فرنگی در تیمارهای



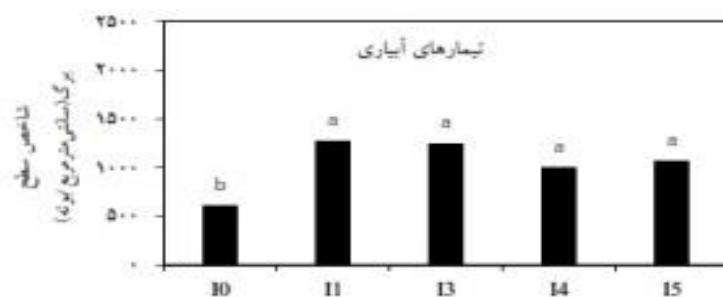
شکل ۶- مقایسه میانگین بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف آبیاری و بسترهای کشت

بستر "ماسه، کوکوپیت" نسبت به بستر "پرلیت، کوکوپیت" بیشتر بوده است و این عامل باعث ایجاد شرایط بهینه برای ریشه و در نتیجه افزایش سطح برگ، تعداد برگ و افزایش عملکرد و بهره‌وری فیزیکی آب شده است.

شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری شاخص سطح برگ در تیمارهای آبیاری (جدول ۲) نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آبیاری است. بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار آبیاری فنیله‌ای با قطره‌ای سه و چهار سانتی‌متر برابر با ۱۲۷۸ و ۱۲۵۰ سانتی‌متر مربع در بوته و کمترین میزان شاخص سطح برگ در تیمار آبیاری قطره‌ای برابر با ۶۱۴ سانتی‌متر مربع در بوته مشاهده شد (شکل ۷). در آبیاری فنیله‌ای به علت اینکه آب در مخزن همواره موجود است و محیط کشت همواره مرطوب می‌شود، لذا شرایط محیطی برای گیاه نسبت به آبیاری قطره‌ای مناسب‌تر است و به گیاه تنش آبی وارد نمی‌شود که این عامل موجب افزایش سطح برگ خواهد شد.

مقایسه اثر متقابل تیمارهای آبیاری و بستر کشت بر بهره‌وری آب (شکل ۶-ج) نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است. بیشترین وزن تر میوه از تیمار آبیاری فنیله‌ای با قطر یک و سه سانتی‌متر در بستر "خاک، ماسه، کود" به میزان ۲۳/۴ کیلوگرم بر متر مکعب و کم‌ترین بهره‌وری آب از تیمار آبیاری قطره‌ای به دست آمد. مقایسه اثر متقابل آبیاری و بستر کشت بر بهره‌وری آب حاکی از آن است که از نظر این شاخص، آبیاری فنیله‌ای با قطر یک و سه سانتی‌متر در بستر "خاک، ماسه، کود" نسبت به سایر تیمارهای آبیاری قطره‌ای و فنیله‌ای برتری دارد. اگر چه بین تیمارهای آبیاری در بستر کشت "کوکوپیت، خاک، پرلیت، کود" اختلاف معنی‌داری مشاهده شد، لیکن این اختلاف در مقایسه با تفاوت بهره‌وری آب در تیمارهای بستر کشت "خاک، ماسه، کود" ناچیز است. نتایج تحقیقات مزاری و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی تأثیر خصوصیات فیزیکی بسترهای کاشت بر رشد گیاه و بهره‌وری فیزیکی آب گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای تحت آبیاری سطحی بیانگر آن بود که بهره‌وری فیزیکی آب در بستر "ماسه، کوکوپیت" نسبت به سایر بسترها بیشتر بوده است. این محققان گزارش نمودند که سرعت انتشار اکسیژن در

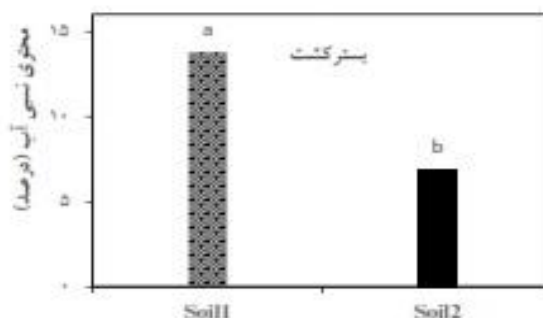
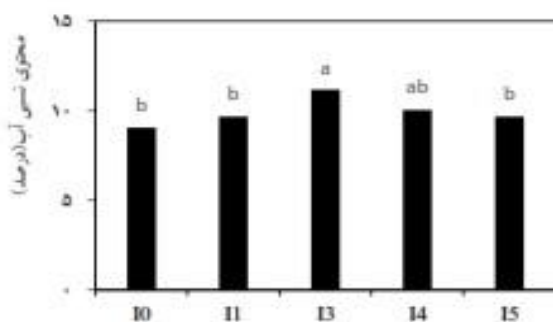


شکل ۷- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ در تیمارهای مختلف آبیاری

تجزیه و تحلیل آماری انجام شده، اختلاف معنی‌داری بین محتوی نسبی آب در بسترهای مختلف کشت مشاهده شد (جدول ۳). بیشترین محتوی نسبی آب برگ در بستر کشت "کوکوپیت، خاک، پرلیت، کود" به میزان هفت درصد بیشتر از بستر "خاک، ماسه، کود" بود (شکل ۸). در این پژوهش هرچند مصرف آب در روش آبیاری فتيله‌ای کمتر از آبیاری قطره‌ای بود، اما محتوای نسبی رطوبت آن نسبت به روش قطره‌ای کاهش نیافت که احتمالاً به علت توزیع مناسب زمانی یعنی دسترسی مداوم به آب در روش آبیاری فتيله‌ای است.

محتوی نسبی آب برگ

نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری محتوی نسبی آب برگ در تیمارهای آبیاری نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین آبیاری فتيله‌ای و قطره‌ای بود (جدول ۲). بر اساس نظر بلوم (۱۹۹۹)، محتوی نسبی آب برگ، بهترین معیار برای اندازه‌گیری وضعیت آب گیاه است. بالاترین محتوی نسبی آب در تیمار آبیاری فتيله‌ای با قطر فتيله پنج سانتی‌متر به میزان ۹۶/۲ درصد و پایین‌ترین درصد محتوی نسبی آب برگ در تیمار آبیاری فتيله‌ای با قطر فتيله سه سانتی‌متر به میزان ۸۹ درصد مشاهده شد (شکل ۸). بر اساس نتایج



شکل ۸- مقایسه میانگین محتوی نسبی آب برگ در تیمارهای مختلف آبیاری

یافت. شاید بتوان گفت که با افزایش قطر فتيله، توانایی انتقال آب از ظرف به محیط ریشه افزایش می‌یابد. بدیهی است که دبی عبوری از فتيله به عوامل مختلفی از جمله میزان رطوبت خاک و قطر فتيله بستگی دارد. با افزایش قطر فتيله سطح مقطع جریان بیشتر شده و در صورت وجود پتانسیل مکش، میزان آب بیشتری به بستر کشت انتقال

نتیجه‌گیری

تیمار آبیاری فتيله‌ای نسبت به آبیاری قطره‌ای در بیشتر صفات برتری داشت و ضمن کاهش مصرف آب گوجه‌فرنگی، باعث افزایش عملکرد محصول شد و در نتیجه بهره‌وری آب افزایش یافت. همچنین با افزایش قطر فتيله، میزان مصرف آب در سامانه آبیاری فتيله‌ای افزایش

می‌یابد. در این پژوهش قطر فتیله ۱ سانتی‌متر با مصرف آب ۲۹/۲۵ لیتر در بوته و قطر پنج سانتی‌متر با مصرف آب ۳۷/۵ لیتر در بوته به ترتیب کمترین و بیشترین مصرف آب را بین قطرهای مختلف فتیله دارا بودند. میزان مصرف آب در تیمار آبیاری قطره‌ای نیز ۳۶ لیتر در بوته بود که با میزان مصرف آب در تیمار آبیاری فتیله‌ای با قطر پنج سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری نداشت. بیشترین میزان بهره‌وری آب در آبیاری فتیله‌ای با قطر سه سانتی‌متر و آبیاری قطره‌ای به ترتیب ۱۱/۱۹ و ۹/۰۶ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. این نتایج نشان داد که قطر فتیله در رشد گیاه مؤثر است و با افزایش قطر فتیله میزان آب مصرفی افزایش و به مصرف پتانسیل آب نزدیک می‌شود، ولی این افزایش آب مصرفی متناسب با افزایش میوه‌دهی نخواهد بود. لذا می‌توان گفت افزایش بیش از حد قطر فتیله می‌تواند باعث افزایش رطوبت خاک، رسیدن رطوبت به سطح خاک و افزایش مقدار تبخیر از سطح خاک شود. میزان مصرف آب در بستر کشت "خاک، شن، کود" نسبت به بستر "کوکوپیت، خاک،

کود، پرلیت" به میزان ۲۱ کاهش یافت ولی شاخص بهره‌وری آب در بستر کشت "خاک، شن، کود" ۱۰۰ درصد افزایش داشت. در آبیاری فتیله‌ای با قطر فتیله مناسب، به علت اینکه همواره آب در دسترس بوده، گیاه با تنش آبی مواجه نشده و موجب بهبود رشد گیاه و افزایش عملکرد تر و خشک در گیاه گوجه‌فرنگی شده و در نتیجه بهره‌وری فیزیکی آب افزایش یافته است. اگرچه در این تحقیق تجزیه و تحلیل اقتصادی انجام نشده است ولی نتایج این تحقیق نشان داد که روش آبیاری فتیله‌ای با قطر فتیله سه سانتی‌متر بیشترین وزن تر میوه و بهره‌وری فیزیکی آب را داشته و درآمد بیشتری برای بهره‌بردار خواهد داشت. از طرف دیگر اگرچه سامانه آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری فتیله‌ای شناخته‌شده‌تر است، اما هزینه‌های نصب و راه‌اندازی سامانه آبیاری فتیله‌ای در گلخانه، نسبت به آبیاری قطره‌ای کمتر بوده و می‌تواند دلیل قابل قبولی برای استفاده از این روش آبیاری باشد.

فهرست منابع

۱. باقری، م. آل بوعلی، ف. صادقی، ح. جوانمردی، ش. (۱۳۹۳). بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر تغییرات یونی، محتوای نسبی آب برگ، میزان پرولین و برخی ویژگی‌های ظاهری گیاه اطلسی. نشریه علوم باغبانی (۳) ۲۸. صفحه ۳۴۷-۳۵۹
۲. رضایی سرجویی، م. (۱۳۹۸). بررسی بهره‌وری فیزیکی آب مصرف آب در ماش به روش آبیاری فتیله‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی - زراعت. دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی. دانشگاه رازی. ایران.
۳. زارعی، ژ. حیدری، ح. (۱۳۹۶). بررسی بهره‌وری فیزیکی آب مصرف آفتابگردان در روش‌های آبیاری سطحی و فتیله‌ای. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۰(۴): ۵۲۱-۵۳۰.
۴. عابدی باباحیدری، ح. (۱۳۹۶). مقایسه روش‌های آبیاری سطحی، قطره‌ای و واترباکس در استقرار نهال زالزالک برای کنترل پدیده بیابان‌زایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب گرایش آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شهرکرد. ایران.
۵. محمدی اروجه، ر. (۱۳۹۶). بررسی بهره‌وری فیزیکی آب سامانه آبیاری فتیله‌ای برای کشت‌های گلخانه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب گرایش آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شهرکرد. ایران.
6. Blum, A., (1999). Towards standard assay of drought resistance in crop plants. In J.M. Ribaut and D. Poland (Eds). M. A strategic planning workshop, 21-25 June 1999.

7. Budiarto, R., Ridwan, M. K., Haryoko, A., Anwar, Y. S., Suhono, and Suryoprato, K. (2013). Sustainability Challenge for Small Scale Renewable Energy use in Yogyakarta. *Procedia Environmental Sciences*, 17, 513–518.
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.02.066>
8. Chaturvedi, A. K., Surendran, U., Gopinath, G., MadhavaChandran, K., Anjali, N. K., and Mohd. Fasil C.T (2019). Elucidation of stage specific physiological sensitivity of okra to drought stress through leaf gas exchange, spectral indices, growth and yield parameters. *Agricultural Water Management*, 222, 92–104.
9. Felipe, A. J. B., and Bareng, J. L. R. (2022). Growth and yield assessment of lettuce (*Lactuca sativa* L.): an economic feasibility and performance evaluation of capillary wick irrigation system. *Plant Science Today*, 9(1), 62-69.
10. Ferrarezi, R. S., and Testezlaf, R. (2016). Performance of wick irrigation system using self-compensating troughs with substrates for lettuce production. *Journal of Plant Nutrition*, 39(1), 147-161.
11. Gheysari, M., Loescher, H.W., Sadeghi, S.H., Mirlatifi, S.M., Zareian, M.J. and G. Hoogenboom. 2015. Water-yield relations and water use efficiency of maize under nitrogen fertigation for semiarid environments: experiment and synthesis. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy*, pp. 175–229
12. Goldhamer, D. A., (2005). *Tree Water Requirements and Regulated Deficit Irrigation*. Pistachio Production Manual. 4th Ed. Ferguson L. University of California, Davis.
13. Heydari, N., and Liaghat, A. (2022). Effectiveness of Wick Irrigation Method on Yield and Water Use Efficiency on Maize in Semi-Arid Area. *Environment and Water Engineering*, 8(1), 122-132.
14. Masuda, M., and Fukumoto, S. (2008). Potential for tomato cultivation using capillary wick-watering method. Okayama University
15. Molden, D. 2007. *Water for food. Water for life. A comprehensive assessment of water management in agriculture*. International Water Management Institute (IWMI) and FAO.
16. Mungai, M. M., Wariara, K., Gathogo, H. P., Mwibanda, W. J. and Ochieng, A. A. (2017). Water use and plant growth of selected container grown ornamental plants under capillary wick based irrigation system and conventional irrigation system in Kenya." *Int. J. Agron. Agric. Res* 11: 32-41.
17. Orge, R. F., and Sawey, D. A. (2019). Field performance of the capillary wick irrigation (capillarigation) system for rice-based crops. *GEOMATE Journal*, 17(61), 41-49.
18. Semananda, N. P., Ward, J. D., and Myers, B. R. (2016). Evaluating the efficiency of wicking bed irrigation systems for small-scale urban agriculture. *Horticulturae*, 2(4), 13.
19. Shabani, A., and Sepaskhah, A. R. (2017). Leaf area estimation by a simple and non-destructive method. *Iran Agricultural Research*, 36(2), 101-105.
20. Wesonga, J. M., Wainaina, C., Ombwara, F. K., Masinde, P. W., and Home, P. G. (2014). Wick material and media for capillary wick based irrigation system in Kenya. *International Journal of Science and Research*, 3(4), 613-617.

بررسی ابعاد زهکش روباز در اراضی تجهیز، نوسازی و یکپارچه‌سازی شده شالیزاری

طاهره غلامی اسطلخی کوهی، مریم نواییان^۱ و مهدی اسمعیلی ورکی

دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان.

t.gholami92@yahoo.com

دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان و عضو وابسته پژوهشی گروه مهندسی آب و محیط‌زیست پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر دانشگاه گیلان.

Navabian@guilan.ac.ir

دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان و عضو وابسته پژوهشی گروه مهندسی آب و محیط‌زیست پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر دانشگاه گیلان.

esmaeili@guilan.ac.ir

دریافت: مرداد ۱۴۰۱ و پذیرش: آذر ۱۴۰۱

چکیده

برای کنترل سطح ایستابی هنگام برداشت محصول برنج و کشت گیاه دوم در اراضی شالیزاری، احداث سامانه‌های زهکشی اجتناب‌ناپذیر است. یافتن بهترین گزینه طراحی زهکش از دیدگاه مسائل محیطی و اقتصادی اهمیت بسیاری دارد. پژوهش حاضر با هدف بررسی عملکرد زهکش روباز در کنترل سطح ایستابی در کشت گیاه برنج و گیاه دوم در اراضی شالیزاری انجام شد. در این راستا، عملکرد زهکش‌های روباز شامل بار آبی و شدت تخلیه آب به زهکش در دوره رشد گیاهان برنج و کشت دوم با استفاده از مدل HYDRUS-2D شبیه‌سازی شد. برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل HYDRUS-2D، اطلاعات مورد نیاز از ۱۳۰ هکتار از اراضی شالیزاری روستاهای نوده، جیرسر و نوپاشان در شهرستان صومعه‌سرا، در سال ۱۳۹۸ برداشت شد. پارامترهای بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی، تخلخل و سرعت نفوذ اندازه‌گیری شدند. همچنین بار آبی به‌صورت ماهانه در منطقه اندازه‌گیری شد. پس از اعتبارسنجی مدل HYDRUS-2D، گزینه‌های مختلف طراحی زهکش روباز شامل عمق و عرض کف در مدل اجرا و نتایج آن مورد مقایسه قرار گرفت. بررسی نتایج شبیه‌سازی نشان داد که مدل HYDRUS-2D دقت مناسبی در شبیه‌سازی روند تغییرات بار آبی دارد. شاخص‌های ارزیابی مدل شامل $RMSE$ ، R^2 ، MAE و $nRMSE$ در مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۹۸، ۴/۳۹، ۳/۵۵ و ۱/۶٪ و در مرحله اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۹۸، ۴/۳۳، ۳/۳۷ و ۱/۶۷٪ و ۱۷۰ سانتی‌متر در طول دوره کشت برنج و کشت دوم به ترتیب با میزان تخلیه زه‌آب برابر ۷۲۶۴۴۰ و ۱۶۹۹۶۰ سانتی‌متر مکعب بر واحد طول زهکش و ضریب عکس‌العمل به ترتیب ۰/۲۹۳ و ۰/۵۸۳ در روز، دارای بالاترین عملکرد در کنترل سطح ایستابی بود. مقادیر ضرایب عکس‌العمل نشان داد که زهکش روباز پتانسیل خوبی برای دستیابی به اهداف زهکشی شامل توسعه برداشت مکانیزه برنج و همچنین توسعه کشت دوم در منطقه نداشت.

واژه‌های کلیدی: سطح ایستابی، عمق زهکش، عرض کف زهکش، مدل HYDRUS-2D

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان.

مقدمه

رشد روزافزون جمعیت، نیاز به تولید محصولات غذایی و کشاورزی را افزایش می‌دهد. برنج یکی از مهم‌ترین محصولات غذایی در سراسر جهان است که توسط نیمی از جمعیت جهان مورد مصرف قرار می‌گیرد (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۲). سطح اراضی شالیزاری در جهان در سال ۲۰۱۹ بالغ بر ۱۶۲ میلیون هکتار و مقدار تولید شلتوک نیز ۷۵۵ میلیون تن گزارش شده است (فائو، ۲۰۱۹). بر اساس آمارنامه سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت شلتوک کشور بالغ بر ۸۹۲ هزار هکتار با تولید ۴/۴۲ میلیون تن و میانگین عملکرد ۴۹۵۷ کیلوگرم در هکتار است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹). حدود ۷۰ درصد سطح زیر کشت برنج کشور در دو استان شمالی گیلان و مازندران قرار دارد که تولید بیش از ۷۱ درصد از برنج کشور را بر عهده دارند. سطح زیر کشت برنج در استان گیلان نزدیک به ۲۲۰ هزار هکتار بوده است و رقم‌های متنوعی مانند کاظمی، هاشمی، دم سیاه، دم زرد، صدری، بینام، دم سرخ، دم سفید و حسنی کشت می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷). در راستای بهبود کشاورزی پایدار در منطقه، اجرای طرح تجهیز، نوسازی و یکپارچه‌سازی اراضی شالیزاری اهمیت به‌سزایی دارد. "تجهیز، نوسازی و یکپارچه‌سازی اراضی شالیزاری به کلیه فعالیت‌های زیر بنایی اطلاق می‌شود که با هدف استفاده بهینه از منابع آب و خاک و اقتصادی نمودن تولید در اراضی کشاورزی آبی به اجرا گذاشته می‌شود" (عظیمی، ۱۳۸۶). در طرح تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری، قطعات نامنظم و غیر هندسی دارای شکل منظمی شده و با اجرای شبکه آبیاری و زهکشی، امکان آبیاری و زهکشی هر قطعه به‌طور مستقل فراهم می‌شود. بنابراین اشراف هر یک از قطعات به کانال آبیاری و زهکشی، استقلال قطعات در استفاده از کانال‌های آبیاری و زهکشی، افزایش بازده آبیاری و صرفه‌جویی در مصرف آب و امکان مدیریت کمی و کیفی زه‌آب می‌تواند از مزایای مهم طرح به شمار رود. اراضی شالیزاری در قالب طرح تجهیز و

یکپارچه‌سازی به‌صورت قطعات دارای ابعاد یکسان ۳۰×۱۰۰ متر بوده که در بالادست و پایین‌دست آن کانال‌های آبیاری و زهکشی در نظر گرفته می‌شوند.

شالیزارهای استان گیلان به دلیل مشکلاتی از جمله نبود زهکشی مناسب و عدم لایروبی زهکش‌های سنتی موجود، به دلیل بارندگی زیاد در فصول پاییز و زمستان، دچار آب‌گرفتگی هستند. از این‌رو کشت در نیمه دوم سال عملاً غیرممکن بوده و این امر تأثیر بسزایی در اقتصاد خانواده‌ها و کشاورزان می‌گذارد. سامانه‌های زهکشی با خروج آب مازاد می‌توانند شرایط مناسب برای کشت دوم محصولات شامل صیفی و سبزی و دانه‌های روغنی را فراهم آورده و باعث افزایش تولید و رونق اقتصادی این مناطق شود. علاوه بر این در اراضی شالیزاری استان گیلان به دلیل اشباع مداوم خاک و تجمع آب در سطح بسیاری از اراضی در طول سال، شرایط غیرهوازی ایجاد شده و موجب تجمع عناصر مضر و گازهای سمی در پروفیل خاک می‌شود که کاهش عملکرد کشت متوالی برنج را در پی دارد. اگرچه گیاه برنج، گیاه آب‌دوستی است اما زهکشی میان‌فصل در دوره پنجه‌زنی و زهکشی پایان‌فصل در زمان برداشت برنج منجر به بهبود عملکرد کمی و کیفی برنج و سهولت برداشت می‌شود. همچنین باران‌های شدید در ابتدای فصل رشد برنج منجر به خفگی نشاء می‌شود. از این‌رو بهره‌برداری چند منظوره از اراضی شالیزاری مستلزم ایجاد زیر ساخت زهکشی برای تخلیه به‌موقع آب مازاد در طول دوره رشد برنج و نیمه دوم سال است. در حال حاضر اراضی شالیزاری سنتی و تجهیز و نوسازی شده استان گیلان، به ترتیب مجهز به انهار سنتی و زهکش‌های سطحی هستند که غالب آن‌ها با توجه به ماهیت‌شان، مدیریت و بهره‌برداری نامناسب، اهداف اراضی شالیزاری در کشت برنج و توسعه کشت دوم را نمی‌توانند به‌خوبی برآورده نمایند.

پیچیدگی فرآیند زهکشی در اراضی شالیزاری و زمان‌بر بودن و هزینه آزمایش‌های مزرعه‌ای، استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز برای ارزیابی سامانه‌های زهکشی را

اجتناب‌ناپذیر می‌کند (مومن نژاد و همکاران، ۱۳۹۸). مدل HYDRUS با حل عددی معادله ریچاردز به شبیه‌سازی حرکت آب در خاک می‌پردازد (سیمیونک، ۱۹۹۹). این مدل قادر به شبیه‌سازی در شرایط اشباع و غیراشباع در حالت افقی، عمودی و شعاعی بوده و توانایی تخمین خصوصیات فیزیکی خاک به روش معکوس را نیز دارد (سیمیونک و همکاران، ۲۰۰۶).

معماری و همکاران (۱۳۹۷) پژوهشی به‌منظور بررسی عملکرد کیفی و فنی زهکش زیرزمینی در کشت لویا (پاچ‌باقلا)، به‌عنوان کشت دوم اراضی شالیزاری ارزیابی دقت مدل HYDRUS-2D در شبیه‌سازی زهکشی در بافت خاک رسی‌سیلتی انجام دادند. نتایج نشان داد که مدل HYDRUS-2D در شبیه‌سازی روند تغییرات غلظت نمک محلول خاک با مقادیر R^2 ، RMSE و nRMSE به ترتیب برابر ۰/۸۱، ۰/۳۸ میلی‌گرم بر لیتر و ۱۳/۷ درصد در مرحله واسنجی و ۰/۴۳، ۰/۳۹ میلی‌گرم بر لیتر و ۱۸/۵ درصد در مرحله اعتبارسنجی، عملکرد خوبی داشت. محمدپور (۱۳۹۸) پژوهشی را با هدف بررسی خصوصیات ترانشه بر عملکرد زهکش زیرزمینی در خاک رسی در زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل برنج در دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان انجام داد. زهکش لوله‌ای در عمق ۶۵ سانتی‌متری خاک و با قطر ۱۰ سانتی‌متر در ترانشه پر شده با شن و ماسه به ابعاد ۲۰ و ۷۵ سانتی‌متری (عرض و عمق) در لایسیمتر کارگذاری شد و لایه سخت در عمق ۱۷ سانتی‌متری سطح خاک و به ضخامت سه سانتی‌متر ایجاد شد. نتایج شبیه‌سازی بار آبی با توجه به مقادیر ۰/۹۸۲، ۲/۸ سانتی‌متر و ۴/۵ درصد به ترتیب برای شاخص‌های ارزیابی R^2 ، RMSE و nRMSE، نشان داد که مدل HYDRUS-2D دقت مناسبی در شبیه‌سازی حرکت آب و غلظت املاح زه‌آب و پروفیل خاک دارد.

یانگ و همکاران (۲۰۱۷) با شبیه‌سازی حرکت آب در اراضی شالیزاری تحت آبیاری غرقاب دائم، نشان دادند مدل برای شبیه‌سازی ارتفاع آب روی خاک و رواناب خروجی از کرت دارای دقت با شاخص‌های آماری R^2 و

RMSE به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۵۷ سانتی‌متر و ۰/۹۹ و ۰/۸۹ سانتی‌متر است. همچنین بیان کردند که خصوصیات لایه خاک زیر لایه شخم، بر جریان عمودی آب در اراضی شالیزاری نقش کلیدی دارد. چن و همکاران (۲۰۲۲) با مدل‌سازی مدیریت آب و نیتروژن در اراضی شالیزاری با استفاده از مدل HYDRUS-1D بیان کردند که مدل در بخش حرکت آب توانایی شبیه‌سازی خوبی با ضریب تبیین و ریشه میانگین مربعات خطای ۰/۳۸ سانتی‌متر و ۰/۹۸ دارد. ابراهیمیان و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی در محیط اشباع، دو مدل HYDRUS-1D و HYDRUS-2D به‌منظور شبیه‌سازی انتقال آب و نیترات برای سه روش کودآبیاری جویچه‌ای (ساختار مشابه با کانال روباز در زهکشی) و خاکی با محدوده بافت لومی رسی تا لومی شنی، مورد استفاده قرار دادند. مقادیر ضریب تبیین برای غلظت نیترات و محتوای آب خاک در مدل HYDRUS-1D به ترتیب ۰/۴۵۸-۰/۳۰۸ و ۰/۶۲۳-۰/۴۸۷ و برای مدل HYDRUS-2D به ترتیب ۰/۸۹-۰/۷۹ و ۰/۸۷-۰/۵۷ محاسبه شد.

از آنجاکه زهکشی نقش مؤثری برای ایجاد شرایط مناسب برداشت برنج و رونق کشت دوم در اراضی شالیزاری می‌تواند ایفا کند و با توجه به ابعاد کرت‌های شالیزاری در طرح تجهیز و نوسازی و رویکرد استفاده از زهکش‌های روباز در این طرح‌ها، هدف از این پژوهش بررسی ابعاد بهینه زهکش‌های روباز برای حصول به اهداف زهکشی در دو نوبت کشت گیاه برنج و کشت دوم در اراضی شالیزاری در نظر گرفته شد. بر اساس این پژوهش، پاسخ این سؤال داده خواهد شد که چه ابعادی از زهکش روباز برای اهداف ذکر شده مناسب است و آیا گزینه مناسبی می‌تواند باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

برای دستیابی به هدف پژوهش از اطلاعات اراضی شالیزاری ۱۳۰ هکتار از منطقه نوده، جیرسر و

نوپاشان واقع در شهرستان صومعه‌سرا، (در محدوده جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۵ دقیقه و ۲۱ ثانیه تا ۴۹ درجه و ۱۷ دقیقه و ۲۳ ثانیه‌ی طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه و ۱۵ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۲۶ دقیقه و ۳۲ ثانیه‌ی عرض شمالی) که غالباً دارای زهکش روباز در کرت‌های شالیزاری ۳۰×۱۰۰ متر است، استفاده شد.

داده‌های ورودی مدل HYDRUS-2D

در مدل HYDRUS از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک بندرانزلی (نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه مورد مطالعه)، برای محاسبه تبخیر-تعرق و مقادیر بارش استفاده شد. از آنجاکه در مدل می‌بایست تبخیر و تعرق به تفکیک آورده شود، تبخیر-تعرق پتانسیل با استفاده از شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده، به تبخیر و همچنین تعرق تفکیک شد (بلمند و همکاران، ۱۹۸۳). روابط (۱) و (۲) نحوه محاسبه تبخیر و تعرق را به صورت جداگانه نشان می‌دهند:

$$E_p = E_{T_c} \times e^{-K_{gr} \times LAI} \quad (1)$$

$$T_p = E_c - E_p \quad (2)$$

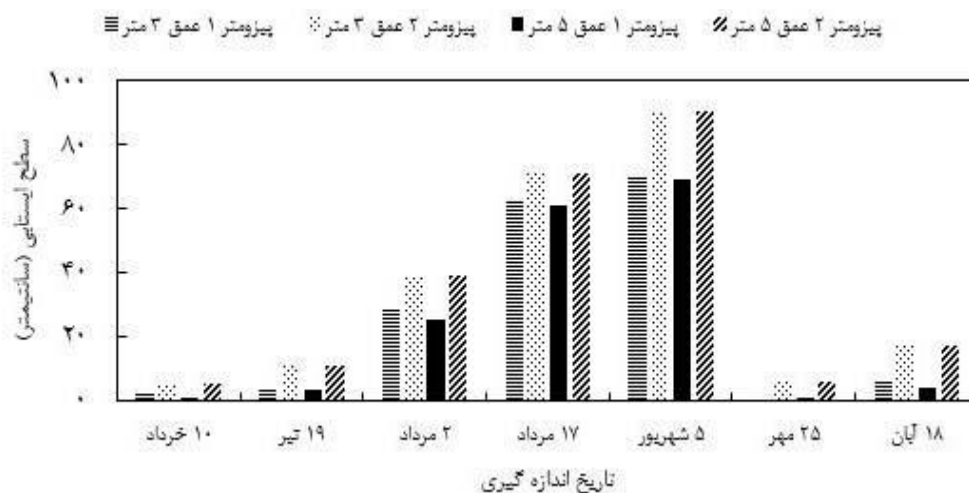
که در این روابط E_p و T_p به ترتیب تبخیر-تعرق پتانسیل، تبخیر پتانسیل و تعرق پتانسیل (سانتی‌متر بر روز)، LAI شاخص سطح برگ و K_{gr} ضریب توسعه تابش خورشیدی کل می‌باشند. محدوده شاخص سطح برگ در طول دوره رشد گیاه برنج ۳/۴ - ۰/۷۴ در نظر گرفته شد

(محمدپور، ۱۳۹۸). مقدار K_{gr} برای گیاه برنج توسط فوگات و همکاران (۲۰۱۰) به میزان ۰/۴ انتخاب شد. برای محاسبه تبخیر و تعرق داده‌های هواشناسی شامل بارش، حداکثر و حداقل دما، سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی برای سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ از ایستگاه سینوپتیک بندرانزلی دریافت و با استفاده از معادله پنمن مانتیث تبخیر-تعرق پتانسیل محاسبه شد. برای محاسبه تبخیر-تعرق برنج از ضرایب گیاهی ۰/۹۹، ۱/۳۵ و ۱/۱۴ به ترتیب برای دوره رشد ابتدایی، میانی و پایانی موجود در پژوهش پیرمردیان و همکاران (۱۳۹۲) استفاده شد.

اطلاعات زهکش شامل هندسه زهکش و ارتفاع آب داخل زهکش در طول بازه مورد مطالعه از ۱۵ اردیبهشت تا ۱۷ آبان ۱۳۹۸ از زهکش شماره (۱) واقع در شکل (۱)، اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری سطح ایستابی، دو پیزومتر مرکب در عمق سه و پنج متری در محدوده جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۶ دقیقه و ۲۳ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۶ دقیقه و ۷ ثانیه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۱۶ دقیقه و ۵۸ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۶ دقیقه و ۱۰ ثانیه عرض شمالی حفر و سطح آب داخل پیزومترها به صورت ماهانه و به مدت یک سال با استفاده از دستگاه عمق‌سنج قرائت شد. شکل (۲) مقادیر سطح ایستابی اندازه‌گیری شده در دو پیزومتر را نشان می‌دهد. بیشترین سطح ایستابی پس از برداشت محصول برنج در شهریور ماه روی داده است.



شکل ۱- موقعیت زهکش شماره (۱) در منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- مقادیر سطح ایستابی اندازه‌گیری شده در دو پیزومتر

مزرعه به صورت دو بعدی با طول ۲۰۶ متر (مجموع ۱۰۰ متر طول کرت در دو طرف زهکش و جاده بین کرت‌ها) و عمق پنج متر بر اساس اطلاعات پروفیل خاک (شش لایه خاک) شبیه‌سازی شد. برخی خصوصیات فیزیکی خاک در جدول (۱) آمده است. در پروفیل شماره ۱، بیش‌ترین مقدار شن در لایه سطحی مشاهده شد. جرم مخصوص ظاهری و تخلخل در افق‌ها روند منظمی نداشت و بافت خاک در افق‌های مختلف، متفاوت به دست آمد به طوری که در لایه اول خاک لومی و در لایه آخر بافت خاک لوم رس سیلتی بود. در این پروفیل لایه سخت در عمق حدود ۳۳ سانتی‌متری با مشخصات ۷۶/۷ درصد سیلت، ۱۸/۹ درصد رس، جرم مخصوص حقیقی ۲/۵۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و جرم مخصوص ظاهری ۱/۴۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد. در پروفیل شماره ۲، مقدار شن نسبت به سایر اجزای خاک بسیار کمتر بود و در عمق‌های زیرین مقدار آن بیش‌تر بود. بخش عمده‌ای از ذرات خاک مربوط به جزء سیلت به دست آمد. بیش‌ترین مقدار رس در افق‌های زیرین بوده و روند نامنظمی نسبت به عمق داشت. جرم مخصوص ظاهری و تخلخل در افق‌ها روند منظمی نداشتند. بافت خاک از نوع لوم سیلتی و لوم رس سیلتی بود که به دلیل دارا بودن مقادیر زیاد سیلت منجر به ایجاد شرایط زهکشی ضعیف در این محدوده شده است. در این پروفیل لایه سخت در عمق حدود ۳۴ سانتی‌متری با مشخصات ۵۲/۷

با توجه به واحد فیزیوگرافی منطقه مورد مطالعه، دو پروفیل خاک با ابعاد ۱/۵×۲×۱ متر برای مطالعات خاک حفر شد. پس از حفر گودال، ویژگی‌های مورفولوژیکی خاک از جمله رنگ خاک، ساختمان، پایداری و مرز بین افق‌ها و لایه‌ها با استفاده از راهنمای تشریح پروفیل خاک بررسی شد. در تشریح پروفیل‌ها از هر یک از افق‌های خاک نمونه‌برداری و برای انجام آزمایش به آزمایشگاه کیفیت آب دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان منتقل شدند. ابتدا نمونه خاک‌ها هوا خشک و سپس کوبیده و از الک دو میلی‌متر عبور داده شدند. برخی خصوصیات خاک از جمله تعیین بافت خاک به روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه و جرم مخصوص حقیقی خاک به روش پیکنومتری، تخلخل خاک به روش پارافینه کردن و رطوبت ظرفیت زراعی با استفاده از دستگاه صفحه فشاری اندازه‌گیری شدند (نشریه شماره ۴۶۷ دستورالعمل تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های خاک و آب). همچنین برای تعیین هدایت آبی اشباع لایه سطحی خاک، نفوذپذیری خاک به روش استوانه مضاعف در دو نقطه در دو طرف زهکش اندازه‌گیری شد.

شبیه‌سازی زهکش در مدل HYDRUS-2D

هندسه مزرعه، زهکش روباز و لایه‌بندی خاک در مدل HYDRUS-2D در شکل (۳) نشان داده شده است.

اردیبهشت ۱۳۹۸ (شروع فصل رشد برنج) مشخص شد. همچنین مرز بالادست برای اعمال آبیاری در فصل کشت برنج و بارش در فصل کشت دوم و مرز پایین‌دست به علت نوسان سطح ایستابی، به صورت ارتفاع آب متغیر و مرزهای جانبی به صورت بسته و بدون جریان فرض شدند. همچنین مرز دیواره زهکش به صورت نشت انتخاب شد.

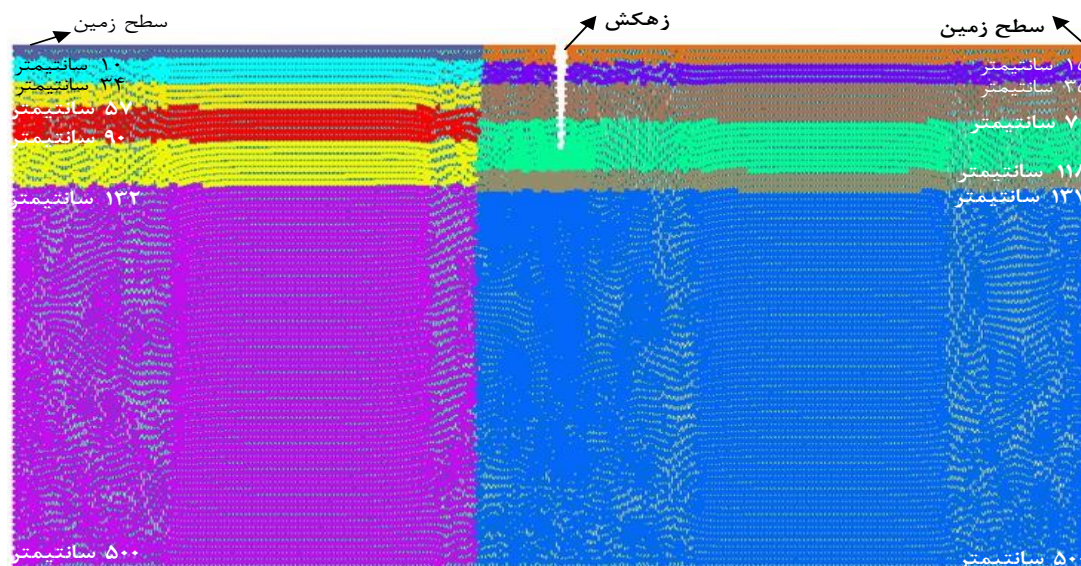
واسنجی و اعتبارسنجی مدل HYDRUS-2D

واسنجی مدل HYDRUS برای دوره کشت گیاه برنج در محدوده زمانی ۱۹ اردیبهشت تا ۱۱ مرداد (برداشت برنج در منطقه) با استفاده از اطلاعات هواشناسی و شناساندن محیط مورد مطالعه به مدل، شامل شکل هندسی (عرض کف ۱۴۰ و عمق ۱۰۰ سانتی‌متر با شیب دیواره یک به نیم) و موقعیت زهکش و پیزومترها، مساحت منطقه مورد مطالعه، اطلاعات ارتفاع آب روی سطح خاک بر اساس آبیاری عرف منطقه (عمق آب پنج سانتی‌متر تا ۵۰ روز، عمق آب سه سانتی‌متر تا روز ۶۵، اعمال باران تا روز ۷۵ و اعمال زهکشی تا روز ۹۰) و داخل زهکش، سطح ایستابی، شرایط اولیه و مرزی، اطلاعات لایه‌های مختلف خاک و استفاده از حل معکوس جهت تخمین برخی خصوصیات هیدرولیکی لایه‌های خاک (جدول ۴)، انجام شد.

درصد سیلت، ۲۶/۷ درصد رس، جرم مخصوص حقیقی ۲/۵۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب و جرم مخصوص ظاهری ۱/۶۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد.

برای بیان خصوصیات هیدرولیکی خاک بر اساس تجربیات پژوهش‌های پیشین (محمدپور، ۱۳۹۸) از مدل Van Genuchten-Mualem (وگنوختن، ۱۹۸۰) استفاده شد. پارامترهای هیدرولیکی ۱۲ لایه مورد نظر از طریق شبکه عصبی مصنوعی موجود در مدل HYDRUS و با اعمال اطلاعات درصد ذرات شن، رس و سیلت، جرم مخصوص ظاهری و رطوبت ظرفیت زراعی تعیین شدند. از آنجاکه هدایت آبی اشباع (K_s) یکی از پارامترهای مهم و با تغییرات گسترده زمانی و مکانی است، مقدار این پارامتر در ۱۲ لایه، از روش حل معکوس موجود در مدل HYDRUS و با استفاده از داده‌های بار آبی قرائت‌شده از پیزومترها، به دست آمدند. همچنین پارامتر n لایه‌های ۱ و پارامتر رطوبت اشباع (θ_s) لایه ۲ از روش حل معکوس تعیین شدند. از مدل فلدس و همکاران (۱۹۷۸) برای جذب آب توسط ریشه استفاده شد. مقادیر پارامترهای فلدس شامل P_0 , P_{0pt} , P_{2H} , P_{2L} , P_3 و r_{2H} و r_{2L} برای گیاه برنج از پژوهش فوگات و همکاران (۲۰۱۰) به ترتیب ۱۰۰، ۵۵، ۱۶۰، ۲۵۰، ۱۵۰۰۰، ۰/۵ و ۰/۱ در نظر گرفته شد.

شرط اولیه برای شبیه‌سازی سناریوهای مختلف زهکش روباز با قرار دادن سطح آب زیرزمینی در تاریخ ۱۹



شکل ۳- هندسه مزرعه مورد مطالعه در مدل HYDRUS و لایه‌بندی خاک

جدول ۱- محدوده خصوصیات فیزیکی پروفیل شماره ۱ (سمت چپ زهکش) و ۲ (سمت راست زهکش) مربوط به شش لایه خاک

شماره پروفیل	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	جرم مخصوص حقیقی (گرم بر سانتی متر مکعب)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	تخلخل (درصد)
۱	۵/۴-۳۶/۳	۳۱/۲-۶۲/۷	۱۷/۴-۴۵/۶	۲/۱۹-۲/۵۵	۱/۲۶-۱/۶۴	۳۰/۶-۴۹/۸۲
۲	۴/۲-۱۸/۱	۵۲/۹-۷۶/۷	۱۸/۹-۲۸/۹	۲/۴۶-۲/۶	۱/۳۴-۱/۷۴	۳۲-۴۸

کارکرد عالی، در محدوده ۱۰ تا ۲۰ درصد نشان‌دهنده کارکرد بسیار خوب و در محدوده ۲۰ تا ۳۰ درصد نشانه کارکرد متوسط و در بیش‌تر از ۳۰ درصد نشان‌دهنده ضعیف بودن کارکرد مدل است که در بررسی‌های بنیانی و هوگنبوم (۲۰۰۹) نیز این محدوده‌ها تأیید شدند.

ارزیابی عملکرد زهکش

عکس‌العمل زهکش در تخلیه آب پروفیل خاک را با ضریب عکس‌العمل نشان می‌دهند. ضریب عکس‌العمل زهکشی پایان فصل گیاه برنج و در زمان کشت گیاه دوم از رابطه (۷) محاسبه شد.

$$\alpha = \frac{Ln h_{(t-1)} - Ln h_{(t)}}{\Delta t} \times 100 \quad (7)$$

که در این رابطه h_t و h_{t-1} به ترتیب مقدار بار آبی در گام زمانی قبل و زمان قرائت (سانتی متر) و Δt فاصله زمانی میان قرائت بار آبی (روز) است.

سناریوهای زهکش روباز

پس از اطمینان از نتایج مدل HYDRUS در شبیه‌سازی حرکت آب در خاک در منطقه مورد مطالعه، گزینه‌های مختلف طراحی زهکشی روباز مدل شد تا اثر ابعاد زهکش بر کنترل سطح ایستابی در منطقه برآورد شود. بدین منظور مدل برای دو فصل کشت گیاه برنج و گیاه کشت دوم در اراضی شالیزاری اجرا شد. در فصل کشت برنج، هدف بررسی افت سطح ایستابی در زمان قطع آبیاری در زمان برداشت برنج و در فصل کشت دوم، هدف بررسی افت سطح ایستابی بعد از بارش یک باران پنج روزه با شدت پنج سانتی متر بر روز (متوسط باران پنج ساله در منطقه) در نظر گرفته شد. از آنجاکه در زهکشی سطحی، بسترسازی

پس از واسنجی و تعیین پارامترهای مجهول از طریق حل معکوس، از داده‌های مشاهداتی بازه زمانی ۱۱ مرداد تا ۱۷ آبان برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. در این مرحله مقادیر بهینه پارامترهای تعیین‌شده توسط حل معکوس در مرحله واسنجی، ثابت در نظر گرفته شد و عملکرد مدل در شبیه‌سازی حرکت آب در خاک مورد بررسی قرار گرفت. از شاخص‌های ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و درصد خطا (nRMSE) جهت ارزیابی مدل HYDRUS استفاده شد (روابط ۳، ۴، ۵ و ۶):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{\sum |P_i - O_i|}{n} \quad (5)$$

$$nRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \times 100 \quad (6)$$

که در آن P_i مقادیر شبیه‌سازی شده، O_i مقادیر مشاهده‌ای، $\bar{O}$ میانگین مقادیر مشاهده‌شده و n تعداد کل مشاهدات است. RMSE میزان تفاوت بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی را نشان می‌دهد و هر چه این شاخص کم‌تر باشد، نشان‌دهنده شبیه‌سازی بهتر است. MAE انحراف از خطا را نشان می‌دهد و بدیهی است هر چه مقدار آن به صفر نزدیک‌تر باشد، بهتر است. جامیسون و همکاران (جامیسون و همکاران، ۱۹۹۱) روشی ساده را برای برآورد خطا ارائه کردند که در آن میانگین مربعات خطا به عنوان درصدی از میانگین مشاهدات است که با nRMSE نمایش داده می‌شود که در محدوده کم‌تر از ۱۰ درصد نشان‌دهنده

سناریوهای زهکش روباز براساس عمق، عرض کف و طول دوره زهکشی در جدول (۲) آمده است.

برای مقایسه توانایی طراحی‌های مختلف زهکش در کاهش سطح ایستابی و تخلیه آب از خاک، شش نقطه مشاهداتی در وسط و انتهای خط زهکش در سه عمق پنج (نزدیک سطح خاک)، ۲۷ (روی لایه سخت) و ۵۰ (عمق) توسعه ریشه غالب گیاهان کشت دوم در اراضی شالیزاری) سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

نقش مؤثری دارد، فرض شد که با شیب‌بندی صحیح کرت‌ها، آب پس از قطع باران از سطح خاک حذف می‌شود. زهکش‌های روباز با هندسه مقطع دوزنقه‌ای به اعماق ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ سانتی‌متر با عرض کف ۱۴۰ و ۱۷۰ سانتی‌متر و شیب دیواره یک به نیم شبیه‌سازی شدند؛ بنابراین ۱۲ حالت از ابعاد مختلف زهکش روباز (با توجه به ابعاد زهکش‌های موجود در منطقه)، برای تعیین بهترین ابعاد هندسی مورد ارزیابی قرار گرفتند. کدگذاری

جدول ۲- کدگذاری سناریوهای زهکش روباز در طول فصل رشد گیاه برنج و گیاه کشت دوم اراضی شالیزاری

کد سناریو	مفهوم هر یک از پارامترهای کدگذاری
$SD_{100}W_{140}R$	عمق و عرض کف ۱۰۰ و ۱۴۰ سانتی‌متر با شیب دیواره یک به نیم در دوره کشت برنج
$SD_{100}W_{170}R$	عمق و عرض کف ۱۰۰ و ۱۷۰ سانتی‌متر با شیب دیواره یک به نیم در دوره کشت برنج
$SD_{150}W_{140}R$	عمق و عرض کف ۱۵۰ و ۱۴۰ سانتی‌متر با شیب دیواره یک به نیم در دوره کشت برنج
$SD_{150}W_{170}R$	عمق و عرض کف ۱۵۰ و ۱۷۰ سانتی‌متر با شیب دیواره یک به نیم در دوره کشت برنج
$SD_{200}W_{140}R$	عمق و عرض کف ۲۰۰ و ۱۴۰ سانتی‌متر با شیب دیواره یک به نیم در دوره کشت برنج
$SD_{200}W_{170}R$	عمق و عرض کف ۲۰۰ و ۱۷۰ سانتی‌متر با شیب دیواره یک به نیم در دوره کشت برنج
$SD_{100}W_{140}AR$	عمق و عرض کف ۱۰۰ و ۱۴۰ سانتی‌متر با شیب دیواره یک به نیم در دوره کشت دوم
$SD_{100}W_{170}AR$	عمق و عرض کف ۱۰۰ و ۱۷۰ سانتی‌متر با شیب دیواره یک به نیم در دوره کشت دوم
$SD_{150}W_{140}AR$	عمق و عرض کف ۱۵۰ و ۱۴۰ سانتی‌متر با شیب دیواره یک به نیم در دوره کشت دوم
$SD_{150}W_{170}AR$	عمق و عرض کف ۱۵۰ و ۱۷۰ سانتی‌متر با شیب دیواره یک به نیم در دوره کشت دوم
$SD_{200}W_{140}AR$	عمق و عرض کف ۲۰۰ و ۱۴۰ سانتی‌متر با شیب دیواره یک به نیم در دوره کشت دوم
$SD_{200}W_{170}AR$	عمق و عرض کف ۲۰۰ و ۱۷۰ سانتی‌متر با شیب دیواره یک به نیم در دوره کشت دوم

ارزیابی مدل مقایسه شدند. نتایج این ارزیابی با ریشه میانگین مربعات خطای ۴/۳ سانتیمتر و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده زیر ۱۰ درصد در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی (جدول ۳)، نشان می‌دهد مدل توانست به‌خوبی شبیه‌سازی را انجام دهد و می‌توان به نتایج شبیه‌سازی مدل اعتماد نمود. مقادیر پارامترهای خاک که طی مرحله واسنجی که به روش حل معکوس مشخص شدند در جدول (۴) آمده است. مقایسه هدایت آبی اشباع به‌دست‌آمده از طریق حل معکوس در لایه‌های اول خاک در دو پروفیل سمت چپ و راست زهکش با مقادیر نفوذ نهایی به‌دست‌آمده در آزمایش استوانه مضاعف نشان می‌دهد که مدل توانسته است به‌خوبی شرایط ورود آب به لایه خاک را شبیه‌سازی نماید.

نفوذپذیری خاک

روند تغییرات سرعت نفوذ خاک در دو نقطه اندازه‌گیری شده در شکل (۴) آمده است. سرعت نفوذ نهایی که تقریباً معادل هدایت آبی اشباع در نظر گرفته می‌شود به ترتیب در سمت چپ و راست زهکش برابر با ۱۳/۲۴ و ۴/۹۳ سانتی‌متر بر روز به‌دست آمد که بر اساس کلاس زهکشی (هانت و جلیکس، ۱۹۹۲)، خاک در نقطه سمت چپ مستعد آب‌گرفتگی و دارای کلاس زهکشی ضعیف و در نقطه سمت راست، مستعد آب‌گرفتگی و دارای کلاس زهکشی فوق‌العاده ضعیف است.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل

داده‌های مشاهداتی بار آبی پیزومتر و داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل با استفاده از شاخص‌های



مرحله ارزیابی	MAE (سانتی متر)	nRMSE (درصد)	RMSE (سانتی متر)	R ² (-)
واسنجی	۳/۵۵	۱/۶۰	۴/۳۹	۰/۹۸
اعتبار سنجی	۳/۳۷	۱/۶۷	۴/۳۳۷	۰/۹۸

سمت راست زهکش						سمت چپ زهکش					
شماره لایه											
۵	۴	۳	۲	۱	۶	۵	۴	۳	۲	۱	تراستر
۷/۴۹	۳/۷۹	۵/۷	۰/۹۱	۱۲/۹۶	۹/۶	۵/۲۶	۲۶/۰۲	۱۸/۲	۰/۴	۱/۳۸	K _s (cm)
-	-	-	۱/۶۲۰۲	-	-	-	-	-	-	۳/۱۱۰۹	(-)n
-	-	-	-	-	-	-	-	-	۰/۴۳۱۱	-	sE

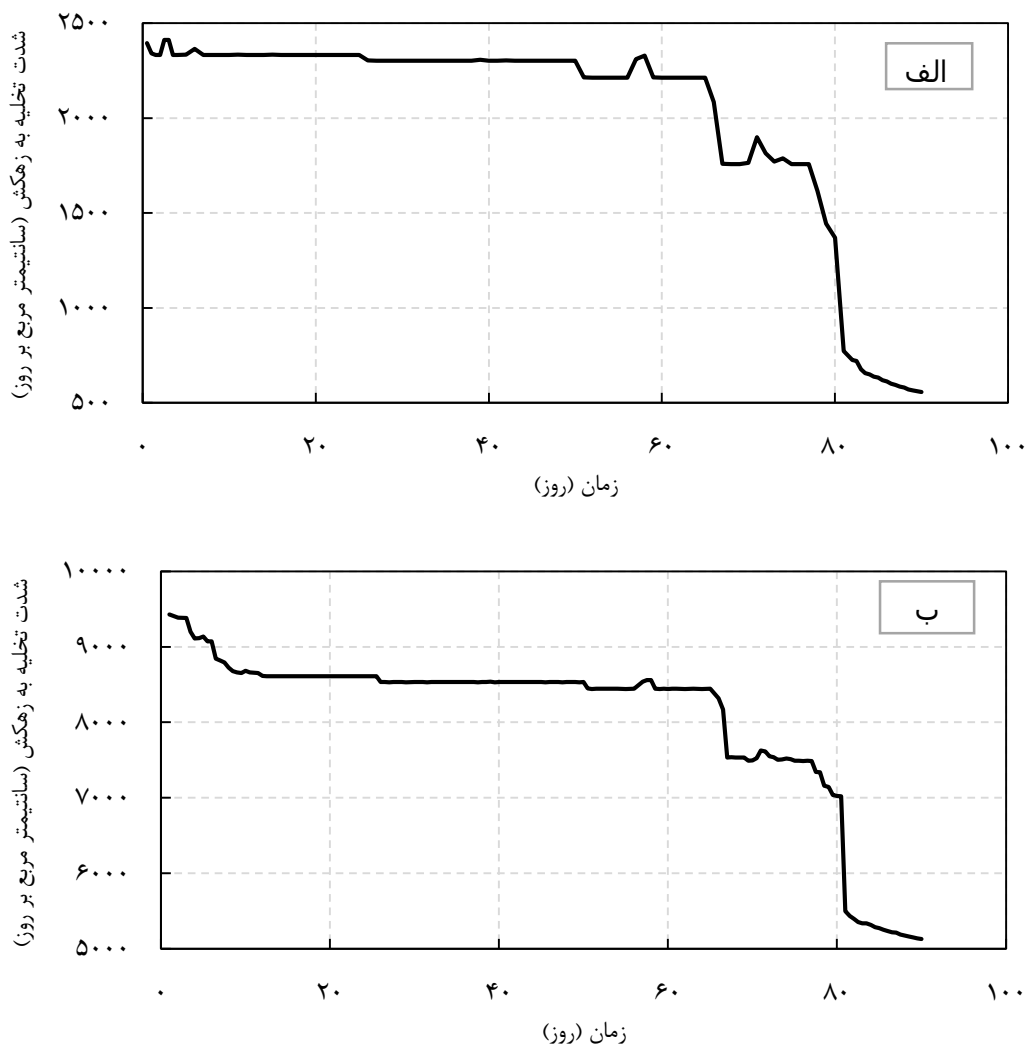
شبیه‌سازی سناریوهای زهکش

نتایج شبیه‌سازی زهکش‌های روباز در طول دوره کشت برنج در جدول (۴) و شکل (۵) مقادیر شبیه‌سازی شده شدت تخلیه زه‌آب در زهکش روباز با عمق و عرض کف ۱۰۰ و ۱۷۰ سانتی‌متر و عمق و عرض کف ۲۰۰ و ۱۷۰ سانتی‌متر را برای نمونه نشان می‌دهد. مطابق با شکل در زهکش با عمق و عرض کف ۱۰۰ و ۱۷۰ سانتی‌متر، شدت تخلیه آب داخل زهکش به ازای طول واحد زهکش در روز اول شبیه‌سازی ۲۳۴۰/۵ سانتی‌متر مربع در روز بود و تا روز ۶۶ ام با یک شیب بسیار ملایم میزان این تخلیه کم شد. در روز ۶۷ ام تخلیه آب با کاهش چشمگیری به حدود ۱۷۵۹ سانتی‌متر مربع در روز رسید که این کاهش چشمگیر به علت قطع آبیاری پس از شروع بارش‌های خفیف بود. از روز ۷۵ ام با قطع بارش تا روز ۹۰ ام، زه‌آب با شیب تندتر و سرعت بیشتری در حال تخلیه است و در روز ۹۰ ام به ۵۵۵ سانتی‌متر مربع در روز رسید. در نهایت میزان کل زه‌آب تخلیه شده در واحد طول زهکش در ۹۰ روز شبیه‌سازی حدود ۱۸۱۹۲۰ سانتی‌متر مربع به دست آمد. مقایسه گزینه‌های مختلف طراحی زهکش

روبار در جدول (۴) نشان می‌دهد با افزایش عمق زهکش روباز شدت تخلیه آب بیشتر بود به طوری که افزایش عمق زهکش از ۱۰۰ به ۱۵۰ سانتی‌متر و از ۱۵۰ به ۲۰۰ سانتی‌متر در عرض کف ۱۴۰ سانتی‌متر، به ترتیب منجر به افزایش ۱۷۰/۹۱ و ۴۸/۳ درصدی شد. در حالی که افزایش عمق از ۱۰۰ به ۱۵۰ و از ۱۵۰ به ۲۰۰ سانتی‌متری در عرض کف ۱۷۰ سانتی‌متری افزایش ۱۷۵/۴۷ و ۴۴/۹۵ درصدی را به همراه داشت؛ بنابراین اثر عمق زهکش از عرض کف زهکش روباز بیشتر بوده و همچنین تغییر عمق از ۱۰۰ به ۱۵۰ سانتی‌متر نسبت به تغییر عمق از ۱۵۰ به ۲۰۰ سانتی‌متر تأثیر بیشتری بر حجم آب خروجی از خاک داشت. برای بررسی زمان مناسب برای ورود ماشین‌آلات به داخل اراضی برای برداشت محصول، مکش خاک در نقطه مشاهداتی رو و زیر لایه سخت در وسط کرت مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان مکش و خشکی ایجاد شده در ابعاد مختلف زهکش، تفاوت معنی‌داری نداشت و هیچ یک از ابعاد زهکش نتوانستند وضعیت رطوبتی خاک را به ظرفیت زراعی برسانند. از این رو شرایط مناسب برای برداشت مکانیزه محصول برنج ظرف مدت ده روز زهکشی با ابعاد زهکش‌های روباز مورد بررسی روی نمی‌دهد.

جدول ۵- نتایج شبیه‌سازی سناریوهای مختلف زهکش روباز در طول دوره کشت گیاه برنج

کد سناریو	شدت تخلیه زه‌آب در طول واحد زهکش در روز اول ($\text{cm}^2.\text{day}^{-1}$)	شدت تخلیه زه‌آب در طول واحد زهکش در روز ۹۰ ام ($\text{cm}^2.\text{day}^{-1}$)	مجموع تخلیه زه‌آب در طول واحد زهکش (cm^2)	مکش در نقطه مشاهداتی بر روی لایه سخت در وسط کرت در روز خروج خاک از حالت اشباع (cm)	مکش در نقطه مشاهداتی بر روی لایه سخت در وسط کرت ۱۰ روز پس از خروج خاک از حالت اشباع (cm)	مکش در نقطه مشاهداتی زیر لایه سخت در وسط کرت ۱۰ روز پس از خروج خاک از حالت اشباع (cm)
$SD_{100}W_{170}R$	۲۳۴۰	۵۵۵	۱۸۱۹۲۰	-۱۲/۷۵	-۳۰/۳۱	-۱۵/۳۸
$SD_{100}W_{140}R$	۲۳۰۹	۵۲۳	۱۷۱۱۹۰	-۱۲/۶۵	-۳۰/۱۶	-۱۵/۳۵
$SD_{150}W_{170}R$	۶۶۴۱	۲۹۹۸	۵۰۱۱۴۰	-۱۲/۶۹	-۳۰/۴۹	-۱۵/۳۹
$SD_{150}W_{140}R$	۵۹۹۲	۲۷۳۰	۴۶۳۷۸۰	-۱۲/۷۱	-۳۰/۵۱	-۱۵/۳۲
$SD_{200}W_{170}R$	۹۴۲۸	۵۱۲۹	۷۲۶۴۴۰	-۱۲/۷۶	-۳۰/۵۴	-۱۵/۳۳
$SD_{200}W_{140}R$	۹۰۳۸	۴۸۶۰	۶۸۷۹۸۰	-۱۲/۷۳	-۳۰/۵۲	-۱۵/۳۳



شکل ۵- مقادیر شبیه‌سازی شده تخلیه زه‌آب در زهکش روباز با عمق و عرض کف ۱۰۰ و ۱۷۰ سانتی‌متر (الف) و عمق و عرض کف ۲۰۰ و ۱۷۰ سانتی‌متر (ب)

۲۳۴۶ و ۲۱۲۶ سانتی‌متر مربع در روز به دست آمد. همچنین مجموع زه‌آب تخلیه‌شده به ازای واحد طول زهکش در پنج روز اول شبیه‌سازی ۱۰۸۵۷ سانتی‌متر مربع بود. طبق نتایج در پنج روز اول شبیه‌سازی به علت باران پنج‌روزه، روی سطح خاک آب‌ماندگی ایجاد شد. پس از قطع بارش سطح ایستابی کاهش پیدا کرد. سطح آب در روز پنجم و ششم شبیه‌سازی در نقطه مشاهداتی نزدیک به زهکش، به ترتیب ۱/۲ سانتی‌متر روی خاک و ۲/۸ سانتی‌متر زیر سطح خاک به دست آمد در حالی‌که در نقطه مشاهداتی وسط کرت ارتفاع آب به ترتیب ۴/۶ سانتی‌متر روی سطح خاک و روی سطح خاک بود. سطح ایستابی در این نقطه در روز اول شبیه‌سازی در عمق ۳۵ سانتی‌متر قرار داشت

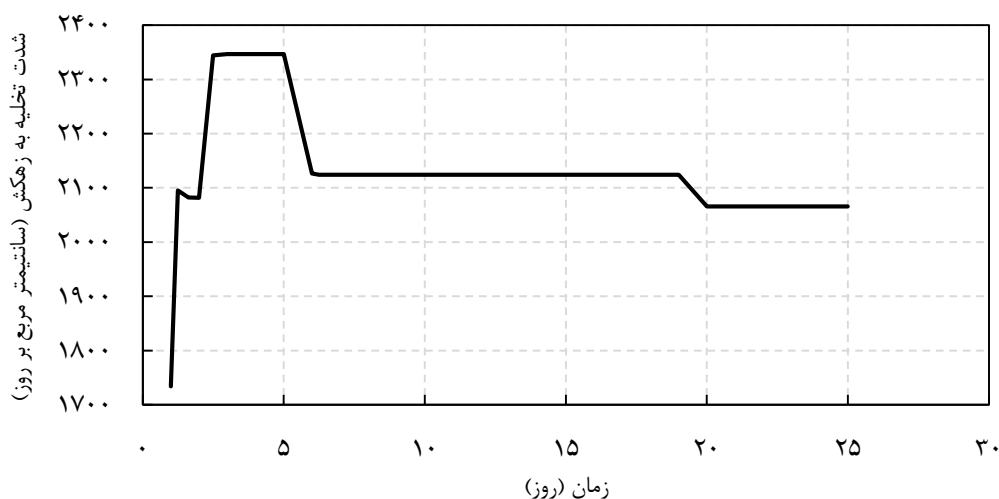
برای بررسی عملکرد زهکش در دوره رشد کشت گیاه دوم در اراضی شالیزاری، سطح خاک به میزان ۱۳۶/۶- سانتی‌متر به حالت مکش در نظر گرفته شد. همچنین ۵ سانتی‌متر باران بی‌وقفه در طول پنج روز متوالی به عنوان شرایط بحرانی برای دوره کشت دوم در مدل اعمال و اثر آن بر کنترل سطح ایستابی مورد بررسی قرار گرفت. جدول (۶) نتایج شبیه‌سازی زهکش‌های روباز بعد از دوره کشت گیاه برنج و شکل (۶) مقادیر شبیه‌سازی شده شدت تخلیه زه‌آب زهکش روباز با عمق ۱۰۰ و عرض کف ۱۷۰ سانتی‌متر را در دوره کشت گیاه دوم نشان می‌دهد. طبق نتایج شکل (۶) در روز اول، پنجم و ششم شبیه‌سازی شدت تخلیه زه‌آب به ازای واحد طول زهکش به ترتیب ۱۷۳۳،

که می تواند به علت سرعت نفوذ آب در خاک باشد. در پنج روز اول با گذشت زمان، آب در داخل خاک جمع شده و روی سطح خاک رسید. همچنین سطح ایستابی از اواسط روز دوم تا روز پنجم ثابت بود. جدول (۵) نشان می دهد که با افزایش عمق زهکش روباز شدت تخلیه آب بیشتر شد به طوری که افزایش عمق زهکش از ۱۰۰ به ۱۵۰ سانتی متر و از ۱۵۰ به ۲۰۰ سانتی متر در عرض کف ۱۴۰ سانتی متر، به ترتیب منجر به افزایش ۱۶۹/۷ و ۴۸/۸ درصدی شد. در حالی که در عرض کف ۱۷۰ سانتی متری افزایش ۱۷۳/۵ و ۴۵/۶ درصدی را به همراه داشت. بنابراین مشابه نتایج دوره رشد گیاه برنج، اثر تغییر بر عمق زهکش از عرض کف بیشتر بود و عمق ۱۵۰ سانتی متری بر تخلیه زه آب پروفیل خاک بیشترین تأثیر را داشت. مقایسه مکش

خاک در عمق پنج سانتی متری در وسط کرت و نزدیک زهکش نشان می دهد که سطح خاک پس از دو هفته زهکشی، نتوانست مکش قابل قبولی ایجاد نماید. سطح ایستابی در وسط کرت نیز پس از گذشت دو هفته زهکشی، به عمق ۶ سانتی متری خاک رسید و با توجه به عمق توسعه ریشه گیاهان کشت دوم نمی تواند، شرایط خوبی برای گیاه ایجاد نماید. نتایج نشان می دهد که ابعاد بزرگ تر زهکش روباز در کشت دوم نمی تواند تفاوت معنی داری در شرایط تهویه خاک ایجاد کند و افزایش عمق و عرض کف زهکش صرفاً حجم آبی که از لایه های پایین تر خاک تخلیه می کند را افزایش می دهد اما در ایجاد مکش بیشتر در لایه های سطحی خاک موفق نبود.

جدول ۶- نتایج شبیه سازی سناریوهای زهکش روباز در دوره کشت گیاه دوم

کد زهکش	شدت تخلیه زه آب در طول واحد زهکش در روز اول ($\text{cm}^2 \cdot \text{day}^{-1}$)	شدت تخلیه زه آب در طول واحد زهکش روز ۵ ام ($\text{cm}^2 \cdot \text{day}^{-1}$)	شدت تخلیه زه آب در طول واحد زهکش روز ۶ ام ($\text{cm}^2 \cdot \text{day}^{-1}$)	مجموع تخلیه در طول واحد زهکش زه آب روز ۲۰ ام (cm^2)	مکش در عمق پنج سانتیمتری خاک وسط کرت دو هفته پس از قطع باران (cm)	مکش در عمق پنج سانتیمتری خاک در نزدیک زهکش دو هفته پس از قطع باران (cm)	سطح ایستابی در وسط کرت دو هفته پس از قطع باران (cm)
$SD_{100}W_{170}AR$	۱۷۳۳	۲۳۴۶	۲۱۲۶	۴۲۶۶۲	-۰/۴۹	-۲/۸۸	۶/۱
$SD_{100}W_{140}AR$	۱۷۳۰	۲۲۳۱	۱۹۷۶	۴۰۰۰۳	-۰/۴۹	-۲/۸۸	۶/۱
$SD_{150}W_{170}AR$	۵۴۵۴	۶۱۲۳	۵۸۲۱	۱۱۶۷۰۰	-۰/۴۹	-۲/۱۲	۶/۱
$SD_{150}W_{140}AR$	۴۸۸۱	۵۶۶۹	۵۳۹۳	۱۰۷۹۱۰	-۰/۴۹	-۲/۱۲	۶/۱
$SD_{200}W_{170}AR$	۷۹۴۲	۸۷۳۴	۸۴۹۴	۱۶۹۹۶۰	-۰/۴۹	-۳/۴۵	۶/۱
$SD_{200}W_{140}AR$	۷۳۹۱	۸۴۸۶	۸۰۲۶	۱۶۰۶۶۰	-۰/۴۹	-۳/۴۳	۶/۱



شکل ۶- مقادیر شبیه‌سازی شده تخلیه زه‌آب در طول واحد زهکش روباز با عمق ۱۰۰ و عرض کف ۱۷۰ سانتی‌متر در دوره کشت گیاه دوم

بررسی ضریب عکس‌العمل و نرخ کاهش سطح ایستابی

طبق نتایج ضریب عکس‌العمل زهکش‌های روباز در جدول (۷) تفاوت معنی‌داری بین ضریب عکس‌العمل گزینه‌های طراحی زهکش روباز در دوره کشت برنج و پس از آن مشاهده نشد. ضرایب عکس‌العمل بر اساس افت بار آبی در وسط کرت محاسبه شده است که عدم تفاوت مقادیر آن در ابعاد مختلف زهکش نشان می‌دهد که زهکش روباز اثرگذاری بر روی تخلیه پروفیل خاک ندارند. مقادیر ضریب عکس‌العمل در مقایسه با ضریب عکس‌العمل زهکش‌های لوله‌ای نشان می‌دهد که توانایی تخلیه مؤثر آب را در زمان کشت دوم و برداشت محصول برنج ندارد. مومن‌نژاد (۲۰۱۷)، ضریب عکس‌العمل زهکش زیرزمینی با عمق و فاصله ۷۰ و ۵۰۰ سانتی‌متر و پوشش ژئوتکستایل (PP450) را برای کشت برنج، نزدیک به یک گزارش کرد. این تفاوت

بین زهکش روباز و زیرزمینی علاوه بر ماهیت این دو زهکش می‌تواند در شیوه اجرای زهکش روباز باشد که صرفاً در انتهای کرت قابل اجرا است در حالی که زهکش زیرزمینی در فواصل ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ سانتی‌متری در اراضی شالیزاری قابل اجرا است و از این رو پتانسیل بیشتری در تخلیه پروفیل خاک دارد. ضریب عکس‌العمل در زمان قطع منبع تغذیه (آبیاری یا باران) بر اساس افت بار آبی محاسبه می‌شود از این رو ضریب عکس‌العمل در دوره کشت برنج نسبت به گیاه کشت دوم متفاوت (حدود دو برابر بیشتر) به دست آمد. در زمان قطع آبیاری در دوره کشت برنج، ارتفاع آب روی خاک با توجه به عرف آبیاری در استان گیلان ۳۰ میلی‌متر بود در حالی که در زمان کشت گیاه دوم، شدت باران پنج‌روزه پنج سانتی‌متر بر روز منجر به ارتفاع آب ۴۶ میلی‌متر شد.

جدول ۷- میانگین ضریب عکس‌العمل زهکش روباز دوره کشت گیاه برنج و گیاه دوم

کد سناریو	ضریب عکس‌العمل دوره کشت برنج (day^{-1})	کد سناریو	ضریب عکس‌العمل دوره گیاه دوم (day^{-1})
$SD_{100}W_{170}R$	۰/۲۸۶	$SD_{100}W_{170}AR$	۰/۵۸۳۰
$SD_{100}W_{140}R$	۰/۲۸۳	$SD_{100}W_{140}AR$	۰/۵۸۳۰
$SD_{150}W_{170}R$	۰/۲۸۶	$SD_{150}W_{170}AR$	۰/۵۸۲۷
$SD_{150}W_{140}R$	۰/۲۹۳	$SD_{150}W_{140}AR$	۰/۵۸۲۹
$SD_{200}W_{170}R$	۰/۲۹۳	$SD_{200}W_{170}AR$	۰/۵۸۳۱
$SD_{200}W_{140}R$	۰/۲۸۶	$SD_{200}W_{140}AR$	۰/۵۸۳۱

زهکش با عمق و عرض کف ۲۰۰ و ۱۷۰ سانتی‌متر در طول دوره کشت برنج حجم آب بیشتری را نسبت به گزینه‌های دیگر تخلیه و در نهایت سطح ایستابی را تا عمق ۷۴ سانتی‌متری کنترل کرد؛ اما به نظر می‌رسد این حجم از تخلیه زه آب منجر به هدررفت زیاد آب شده و با اعمال سازه کنترل‌کننده در آن می‌توان از تخلیه بیش از حد زه آب جلوگیری نمود. این ابعاد زهکش در کشت دوم توانست سطح ایستابی را تا عمق ۲۵ سانتی‌متر کنترل نماید که اگرچه برای گیاهان با عمق توسعه ریشه کمتر از ۲۵ سانتی‌متری مناسب است (اگرچه صعود کاپیلاری را نیز می‌بایست لحاظ نمود که منجر می‌شود گیاهان با عمق توسعه ریشه کمتر شرایط بهتری داشته باشند) اما برای کشت گیاهان کشت دوم با عمق توسعه ریشه حدود ۵۰ سانتی‌متر، مؤثر نیست. اگرچه به دلیل لایه سخت در اراضی شالیزاری، عمق ریشه گیاه غالباً تا حدود ۳۰ سانتی‌متر محدود می‌شود، چنین ابعادی از زهکش روباز نسبتاً هدف را برآورده می‌نماید؛ اما این شرایط در باران‌های با تداوم بیشتر از پنج روز و یا شدت بارش بیشتر از پنج سانتی‌متر بر روز بحرانی‌تر خواهد شد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به‌منظور انتخاب ابعاد بهینه زهکش روباز برای جلوگیری از آب‌گرفتگی و ایجاد شرایط مناسب کشت گیاه برنج و گیاه کشت دوم در طرح تجهیز و یکپارچه‌سازی در اراضی شالیزاری انجام شد. برای شبیه‌سازی عملکرد زهکش در هندسه‌های مختلف از مدل HYDRUS-2D استفاده شد و برای ۱۳۰ هکتار از اراضی شالیزاری روستای نوده، جیرسر و نوپاشان شهرستان

صومعه‌سرای استان گیلان واسنجی و اعتبارسنجی شد. نتایج اعتبارسنجی مدل با توجه به شاخص‌های آماری ضریب تبیین و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده به ترتیب ۰/۹۸ و ۱/۶۷ درصد نشان از دقت مناسب مدل داشت؛ بنابراین نتایج مدل در شبیه‌سازی سناریوهای مختلف زهکش روباز قابل اعتماد است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده زهکش روباز با مقطع دوزنقه‌ای به عمق ۲۰۰ و عرض کف ۱۷۰ سانتی‌متر توانست با میزان شدت تخلیه ۹۴۲۸ و ۷۹۴۲ سانتیمتر مکعب بر روز در طول واحد زهکش یک روز پس از شروع فرآیند زهکشی در دوره کشت برنج و کشت گیاه دوم بیشترین تأثیر را بر سطح ایستابی و رطوبت خاک داشته باشد. اگرچه مقطع هندسی ذکرشده بهترین کنترل را بر سطح ایستابی داشت اما در کشت گیاه برنج، منجر به تخلیه بیشتر از حد آب از خاک می‌شود این در حالی است که برای گیاهانی کشت دومی که عمق توسعه ریشه آن‌ها از ۲۵ سانتی‌متر بیشتر شود، این مقطع زهکشی کارکرد مناسبی ندارد و به نظر می‌رسد در چنین اراضی می‌بایست از زهکش زیرزمینی بهره برد. ابعاد بهینه زهکش روباز به‌دست‌آمده بزرگ‌تر از کانال‌های زهکشی کنونی اراضی است و اگرچه تا حدودی پاسخگوی اهداف زهکشی در اراضی شالیزاری می‌تواند باشد، اما ابعاد بزرگ آن می‌تواند محدودیت‌هایی را در مزارع تجهیز و یکپارچه‌سازی ایجاد نماید که با اقداماتی مانند پر کردن زهکش با مواد متخلخل شاید بتوان بخشی از آن را کاهش داد. مقایسه عملکرد زهکش زیرزمینی با زهکش روباز با ابعاد به دست آمده در طرح‌های تجهیز و یکپارچه‌سازی و انتخاب گزینه مناسب‌تر در این اراضی، نیازمند مطالعات اقتصادی و فنی بیشتری است که امید است در پژوهش‌های بعدی مورد بررسی قرار گیرد.

فهرست منابع

۱. احمدی، ک.، عبادزاده، ح. ر.، عبدشاه، ه.، کاظمیان، آ. و رفیعی، م. ۱۳۹۷. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵، جلد اول: محصولات زراعی، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌بودجه، اداره کل آمار و اطلاعات، ۱۱۶ صفحه.

۲. احمدی، ک.، عبادزاده، ح. ر.، حاتمی، ف.، عبدشاه، ه. و کاظمیان، ا. ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی جهاد کشاورزی، جلد اول: محصولات زراعی.
۳. عظیمی، ر. ۱۳۸۶. تحلیلی بر روند اجرایی طرح تجهیز، نوسازی و یکپارچه‌سازی اراضی شالیزاری استان مازندران، انتشارات جهاد کشاورزی ساری.
۴. پیرمردیان، ن.، ذکری، ف.، رضایی، م. و عبدالحی، و. ۱۳۹۲. استخراج ضرایب گیاهی سه رقم برنج بر پایه روش برآورد تبخیر-تعرق مرجع در منطقه رشت، نشریه تحقیقات غلات، شماره ۲، صفحه‌های ۹۵-۱۰۶.
۵. محمدپور، ف. ۱۳۹۸. بررسی اثر خصوصیات ترانشه بر عملکرد زهکش زیرزمینی در خاک رسی با استفاده از مدل HYDRUS-2D، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان.
۶. معماری، ن.، نواییان، م.، پیرمردیان، ن. و اصفهانی، م. ۱۳۹۷. ارزیابی عملکرد زهکش زیرزمینی بر رشد گیاه لوبیا محلی در اراضی شالیزاری با استفاده از مدل فیزیکی. مجله تحقیقات آب‌و خاک ایران، دوره ۴۹، شماره ۶، صفحه‌های ۱۲۵۵-۱۲۴۴.
۷. مومن‌نژاد، ز. ۱۳۹۷. مقایسه کارایی مدل‌های SWAP و DRAINMOD در شبیه‌سازی عملکرد زهکش زیرزمینی کنترل‌شده در مقیاس مدل فیزیکی اراضی شالی‌زاری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان.
۸. مومن‌نژاد، ز.، نواییان، م.، و اسمعیلی ورکی، م. ۱۳۹۸. ارزیابی مدل DRAINMOD با استفاده از مدل فیزیکی در شبیه‌سازی عملکرد زهکشی زیرزمینی میان‌فصل و پایان‌فصل اراضی شالیزاری، مجله تحقیقات آب‌و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۱، صفحه‌های ۱۳-۲۴.
۹. نشریه ۴۶۷ دفتر نظام فنی اجرایی. ۱۳۸۷. دستورالعمل تجزیه‌های آزمایشگاهی آب‌و خاک، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، جلد، ۲۸۷ صفحه.
10. Belmans, C., Wesseling, J. G., and Feddes, R. A. 1983. Simulation model of the water balance of a cropped soil: SWATRE, Journal of hydrology, Vol 63: 271-286.
11. Bannayan, M. and Hoogenboom, G. 2009. Using pattern recognition for estimating cultivar coefficients of a crop simulation model, Field Crops Research, 1: 290-302.
12. Chen, K., Yu, S., Ma, T., Ding, J., He, P., Li, Y., Dai, Y. and Zeng, G. 2022. Modeling the Water and Nitrogen Management Practices in Paddy Fields with HYDRUS-1D. Agriculture, 12, 924.
13. Ebrahimian, H., Liaghat, A., Parsinejad, M., Abbasi, F. and Navabian, M. 2012. Comparison of one and two-dimensional models to simulate alternate and conventional furrow fertigation, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 138 (10): 929-938.
14. Feddes, R. A., Kowalik, P. J., and Zaradny, H. 1978. Simulation of Field Water Use and Crop Yield, John Wiley & Sons, New York, NY.
15. Hunt, N., and Gilkes, R. 1992. Farm monitoring handbook- A practical down-to-earth manual for farmers and other land users, University of Western Australia: Nedlands, W. A. and Land Management Society: Como, W.A.
16. Jamieson, P. D., Poeter, J. R., and Wilson, D. R. 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand, Field crop research, Vol 27: 337-350.
17. Phogat, V., Yadav, A. K., Malik, R. S., Kumar, S. and Cox, J. 2010. Simulation of salt and water movement and estimation of water productivity of rice crop irrigated with saline water, Paddy Water Environ, 8 (4): 333-346.
18. Simunek, J., Sejna, M. and Van Genuchten, M. Th. 1999. The HYDRUS-2D V. 2 software package for simulating water flow and solute transport in two-dimensional variably

- saturated media. US Salinity Laboratory, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, Riverside, Calif.
19. Šimůnek, J., Van Genuchten, M. Th., and Šejna, M. 2006. The HYDRUS Software Package for Simulating Two- and Three Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, Version 1.0, PC Progress, Prague, Czech Republic.
 20. Van Genuchten, M. Th. 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils”, Soil Science Society American Journal, 44: 892-898.
 21. Yang, R., Tong, J., Hu, B. X., Li, J., and Wei, W. 2017. Simulating water and nitrogen loss from an irrigated paddy field under continuously flooded condition with Hydrus-1D model. Environmental Science Pollutant Resource. 24(17):15089-15106.
 22. Zhang, J., Zhu, Y., Yu, L., Yang, M., Zou, X., Yin, C., and Lin, Y. 2022. Research Advances in Cadmium Uptake, Transport and Resistance in Rice (*Oryza sativa* L.). MDPI. 11:569.

راهکارهای بهینه‌کاوی فرآیند صدور مجوز سامانه‌های نوین آبیاری

ندا علیزاده^۱، حمیدرضا وجدانی و علیرضا نیکویی

استادیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

nedalizadeh@areeo.ac.ir

استادیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.

hrvojdani@yahoo.com

استادیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

anikooie@yahoo.com

دریافت: خرداد ۱۴۰۱ و پذیرش: شهریور ۱۴۰۱

چکیده

مشکلات زیادی در مسیر اجرای سامانه‌های نوین آبیاری با یارانه دولتی مشاهده می‌شود که صدور مجوز نیز از این قاعده مستثنی نیست. از این رو، هدف اصلی این تحقیق، شناسایی راهکارهای بهینه‌کاوی فرآیند صدور مجوزهای اجرای سامانه‌های نوین آبیاری است. جامعه آماری تحقیق شامل متقاضیانی بود که طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۸ در پنج استان منتخب همدان، فارس، زنجان، خراسان رضوی و کرمانشاه تقاضای خود را ثبت نموده بودند ($N_1=150$) و همچنین کارشناسان صدور مجوز سامانه‌های نوین آبیاری در استان‌های منتخب ($N_2=100$). روش این تحقیق گروه کانونی و مصاحبه‌های عمیق و ساختارمند بود. مطابق نتایج به‌دست آمده، مهم‌ترین مشکلات در فرآیند صدور این مجوز عبارت‌اند از: عدم انجام کار در بستر سامانه‌ای مناسب و یکپارچه، یکسان نبودن روند انجام طرح در استان‌های مختلف، عدم آشنایی و توجه اولیه کافی متقاضیان از ابتدا، سخت‌گیری و تأخیر در تعیین تکلیف استعلام‌ها و وجود برخی مراحل مازاد و قابل حذف طی فرآیند. بر این اساس، مهم‌ترین راهکارهای پیشنهادی عبارت‌اند از: انجام کلیه مراحل فرآیند در یک سامانه هوشمند و یکپارچه، ارائه مشاوره به متقاضی در مرحله تشکیل پرونده و توجه کافی متقاضی با بررسی اسناد و امکانات متقاضی، حذف موارد غیرضروری در فرآیند، پرداخت مبلغ یارانه به‌صورت پویا، اعمال سیستم نظارت هوشمند همراه با بازخورد فعال برای همه مراحل و همه عاملان در طرح و تعیین بازه زمانی انجام کار برای هریک از اقدامات. وزارت جهاد کشاورزی و جهاد کشاورزی استان‌ها مهم‌ترین متولیان درون سامانه‌ای برای رفع مشکلات مطرح‌شده معرفی شدند و متولیان بیرونی هم عمدتاً سازمان برنامه‌بودجه، بانک‌ها و نظام‌مهندسی کشاورزی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: سامانه‌های مدرن آبیاری، مجوزهای کشاورزی، روش گروه کانونی

^۱- آدرس نویسنده مسئول: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

مقدمه

ایران در یک منطقه و نیمه‌خشک واقع شده است و آب مهم‌ترین تنگنای توسعه کشاورزی محسوب می‌شود. در راستای غلبه بر این مشکل سرمایه‌گذاری‌های کلانی در بخش عرضه آب (مهار آب‌های سطحی) انجام شده و یا در حال انجام است. از سوی دیگر نگرش به مصرف بهینه و مدیریت تقاضای آب طی برنامه اول توسعه اقتصادی مورد توجه و عنایت قرار گرفته و اعتبارات گسترده‌ای به توسعه سامانه‌های نوین آبیاری به‌منظور افزایش راندمان و بهره‌وری آب کشاورزی تخصیص یافته است و این روند در برنامه‌های بعدی نیز تداوم پیدا کرد. هدف کلی در مدیریت تقاضا و بهره‌برداری آب در بخش کشاورزی افزایش راندمان و بهره‌وری آن است (مسگر و روستا، ۱۳۸۸).

اگر قرار باشد فهرستی از مهم‌ترین مشکلات و نارسایی‌های پیش روی فعالیت‌های مرتبط با دلایل گرایش کشاورزان به روش‌های سنتی آبیاری باشیم، موضوع کاغذبازی، قوانین دست و پاگیر و اعمال سلیقه‌های غیرضروری در زمینه صدور مجوزهای بخش آبیاری، یکی از گزاره‌های اصلی است که بدون تردید در رأس یک چنین لیست فرضی می‌نشیند (علیزاده، ۱۴۰۰).

بعد از تلاش‌های دولت برای به‌کارگیری پنجره واحد در بخش‌های مختلف تولیدی و تجاری، وزیر جهاد کشاورزی دولت دوازدهم نیز از بازنگری در دستورالعمل‌ها و بخشنامه‌های غیرضروری در جهت رونق فضای کسب‌وکار واحدهای تولیدی کشاورزی خبر داد؛ با وجود تمهیدات صورت گرفته در جهت تسهیل فرآیند بررسی و صدور مجوزهای تأسیس و بهره‌برداری برای فعالیت‌های مرتبط در بخش کشاورزی، از جمله راه‌اندازی پنجره واحد خدمات الکترونیک و واگذاری بخش عمده‌ی این موارد به نهادهای غیردولتی (سازمان نظام‌مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، انجمن‌های صنفی کشاورزی و غیره)، همچنان مسائل و مشکلات عدیده‌ای در مسیر صدور مجوزهای مربوطه وجود دارد که منجر به صرف زمان و هزینه بسیار

زیادی برای متقاضیان این حوزه شده است. از این رو برای تسهیل صدور مجوز برای سامانه‌های نوین آبیاری؛ این پژوهش با هدف بررسی مشکلات موجود، راهکارها و متولیان تأثیرگذار بر آن انجام شد.

بنا به اعتقاد (عباسپور و همکاران، ۱۳۹۵)، در شرایط رقابتی امروز، علاوه بر موضوع کارایی، یکی از روش‌هایی که موجب پیشرفت سازمان‌ها در عرصه رقابتی سازمان‌هاست، الگوبرداری از بهترین‌هاست. بهینه‌کاوای جستجو برای یافتن روش برتر است که احتمالاً منجر به عملکرد بهتر در برخی فعالیت‌های کسب‌وکار می‌شود. این روش می‌تواند تلاش‌های بهبود کیفیت را از طریق ارائه اطلاعات درباره سایر سازمان‌ها -درباره سطوح عملکرد و روش‌های مورد استفاده آن‌ها- قادر به دستیابی به جایگاه برتر سازد. همچنین، بهینه‌کاوای توجه از خارج به فعالیت‌ها، وظایف تخصصی و عملیات داخلی برای اصلاح و بهبود مستمر است (والی، ۱۳۹۱).

در راستای بهینه‌کاوای^۲ صدور مجوزهای کشاورزی، واحدی و موسیون (۱۳۹۴)، در تحقیقی با عنوان شناسایی مشکلات کسب و کارهای کشاورزی زیر بخش امور دام، اشاره می‌نماید که در بسیاری از کشورها، بنگاه‌های اقتصادی کوچک و بزرگ، شاه‌رگ حیات اقتصادی به شمار می‌روند که از آن جمله می‌توان به اقتصاد ۳۰ کشور عضو سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه اشاره کرد (OECD, 2005). برای مثال در آلمان، بنگاه‌های کوچک و متوسط با داشتن حدود ۵۰ درصد از تولید ناخالص داخلی، موتور توسعه به شمار می‌روند (رشکچی، ۲۰۰۹).

بنا به اعتقاد (تامبونان، ۲۰۰۹)، بیان می‌کند بنگاه‌های کوچک و متوسط کارآفرین، امروزه در سایر نقاط دنیا از رشد چشم‌گیری برخوردار بوده و جایگاه ویژه‌ای در حیات اقتصاد ملی دارند. این بنگاه‌ها در دیگر کشورهای شرقی آسیا با به‌کارگیری ۶۰ تا ۷۰ درصد از نیروی کار، حدود ۳۰ درصد از صادرات ملی را به خود اختصاص

داده‌اند. در آفریقای جنوبی نیز بنگاه‌های کوچک و متوسط حدود ۳۵ درصد تولید ناخالص ملی را به خود اختصاص داده و قریب ۴۰ درصد از برون داد بخش کشاورزی را در دست دارند.

در مقاله حضرت‌پور (۱۳۹۱)، تحت عنوان هفت‌خوان مجوز سرمایه‌گذاری و فرار سرمایه‌گذاران، هزینه‌های صدور مجوز پروانه در بنگاه‌ها و واحدهای کوچک را رقمی بین ۳ تا ۱۰ میلیون تومان برآورد کرده و مدت‌زمان آن را در بازه زمانی سه ماه الی یک سال بیان نمود. وی اشاره می‌کند که متقاضی باید به‌طور کامل وقت خود را برای مراجعه به ادارات مختلف برای گرفتن استعلام اختصاص دهد و اگر طی مراحل اداری، دریافت یکی از استعلام‌ها به مشکلی بر بخورد ممکن است صدور مجوز تا دو سال به تعویق بیفتد.

در پژوهش یوسفی نژاد عطاری و نیشابوری جامی (۱۳۹۱) با عنوان " بهینه‌سازی سیستم صف پرونده‌های اخذ مجوز اصولی و قطعی دفتر پارک‌ها و مراکز رشد" به این نتیجه رسیدند که تخصیص سه نفر از کارشناسان جهت رسیدگی پرونده‌های اصولی و پنج نفر از کارشناسان بر روی پرونده‌های قطعی موجب خواهد شد میانگین مدت‌زمان انتظار مشتریان در صف و متوسط تعداد افراد در صف کمتر شود.

مرکز نوسازی و تحول اداری، سازمان حفظ نباتات کشور و سازمان نظام‌مهندسی (۱۳۹۳)، در زمینه نظام صدور مجوز و پروانه واحدهای گیاه پزشکی بر بهره‌گیری از ظرفیت‌ها و توانمندی‌های بخش غیردولتی به‌منظور افزایش بهره‌وری از طریق سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی، اعمال مدیریت و نظارت مطلوب بر واحدهای گیاه‌پزشکی در خصوص صدور مجوزها و پروانه‌ها و سایر وظایف اجرایی در حوزه گیاه‌پزشکی به استناد قانون افزایش بهره‌وری بخش کشاورزی و منابع طبیعی، تأکید داشتند.

همچنین کریمی کمال‌آباد (۱۳۹۴)، در تبیین فضای کسب‌وکار در بخش کشاورزی ایران نشان داد که اقتصاد ایران با مشکلات گوناگونی همچون فقر، بیکاری

و رکود مواجه است. این مشکلات به میزان زیادی ریشه در نامناسب بودن محیط کسب‌وکار دارند، لذا به‌منظور بهبود فضای کسب‌وکار در ایران، توسعه تشکلهای بخش خصوصی، تسهیل صدور مجوزهای موردنیاز، ایجاد سازوکار مناسب جهت پاسخ‌گویی دقیق و متعهدانه دستگاه‌های اجرائی به ابهامات، پرسش‌ها و مسائل فعالان اقتصادی، تلاش در خصوص کاهش واردات و توسعه صادرات، تجدیدنظر در روال‌های اداری و رسیدگی به درخواست صاحبان کسب‌وکار برای اخذ تسهیلات بانکی، تأمین به‌اندازه کافی و به‌موقع نهاده‌ها پیشنهاد گردید.

در بررسی چالش‌ها و فرصت‌های توسعه کارآفرینی در بخش صنایع تبدیلی محصولات باغی، کارشناسان (۱۳۹۵) در تحقیق خود نشان دادند که از بین عوامل مطرح، موانع تأمین مالی در رتبه اول عوامل تأثیرگذار بر صنایع تبدیلی استان خراسان شمالی قرار دارند و پس‌از آن تنگنای مرتبط با بازار در رتبه دوم، فقدان برنامه‌ریزی راهبردی در صنایع تبدیلی محصولات باغی در رتبه سوم، کاغذبازی در فرآیند صدور مجوزها (نظام بروکراسی) و ضعف نظام مدیریتی بخش خصوصی و تعاونی واحدهای تبدیلی به‌طور مشترک در رتبه چهارم قرار داشته و ضعف هماهنگی بین دستگاه‌های دولتی در رتبه پنجم قرار دارد؛ بنابراین، پیشنهاد شد که پرداخت وام با شرایط آسان‌تر و زمان بازپرداخت طولانی‌تر صورت گیرد. همچنین، ایجاد یک پنجره واحد میان سازمان‌ها جهت اخذ مجوز، هزینه‌ها و زمان شروع ایجاد کارگاه‌ها و کارخانه‌های صنایع تبدیلی را می‌تواند کاهش دهد.

در مطالعه سلاطین و همکاران (۱۳۹۶)، میزان تأثیر شاخص‌های فضای کسب‌وکار بر جذب سرمایه‌گذاری خارجی در کشورهای منتخب منطقه منا بررسی شد. نتایج نشان داد که در دوره ۲۰۰۴ الی ۲۰۱۴ شاخص اخذ مجوزهای ساخت‌وساز، الزام‌آور بودن اجرای قراردادهای استخدام و اخراج نیروی کار و پرداخت مالیات، تأثیر منفی و معنی‌دار بر جذب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی داشت. هم‌زمان، شاخص‌های حمایت از سرمایه‌گذاران خرد، اخذ

اعتبار، تجارت فرامرزی و ثبت مالکیت، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر جذب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی داشتند. نتایج مشخص کرد که انحلال یک فعالیت و شروع کسب‌وکار به‌طور معنی‌داری بر جذب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی تأثیری نداشته ولی حمایت از سرمایه‌گذاری خرد بیشترین اثر را بر جذب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی دارد.

در گزارش مظفری (۱۳۹۷)، با عنوان راهنمای فرآیند صدور مجوز سرمایه‌گذاری در دستگاه‌های اجرایی استان اردبیل، یکی از اساسی‌ترین موانع و مشکلات موجود بر سر راه فضای کسب‌وکار استان اردبیل را بروکراسی اداری، موازی کاری دستگاه‌های اجرایی و طولانی بودن روند صدور مجوزهای بخش کشاورزی معرفی می‌نماید.

در تحقیق (یعقوبی و قاسمی، ۲۰۰۹)، عوامل مؤثر بر موفقیت کارآفرینان بخش کشاورزی و راهکارهای حمایت از آن‌ها را در استان زنجان بررسی شده است. آن‌ها نشان دادند که مهم‌ترین موانع کارآفرینی و اشتغال، تشریفات زائد در زمینه صدور مجوزها، قوانین و مقررات دست‌وپا گیر ضعف در رقابت بین بنگاه‌های کشاورزی خواند. همچنین (امین بیدختی و زرگر، ۲۰۱۱)، در پژوهشی تحت عنوان آسیب‌شناسی بنگاه‌های کوچک و متوسط کشاورزی در استان سمنان، نشان دادند که این بنگاه‌ها با آسیب‌ها و مشکلات درون بنگاهی و برون بنگاهی متعددی مواجه هستند. رتبه‌بندی حمایت‌های دولت از دیدگاه مدیران این شرکت‌ها نشان داد که حمایت مالی دولت از بنگاه‌های مذکور در درجه اول اهمیت قرار دارد و حمایت‌های مدیریتی، بازاریابی و فنی در رتبه‌های بعد است.

ازاین‌رو، این تحقیق سعی دارد ضمن شناسایی مشکلات و موانع موجود بر سر راه صدور مجوزهای بخش کشاورزی در حوزه پرکاربرد و اساسی آب، به جهت مشکلات عدیده‌ای که در زمینه شرایط اقلیمی و خشکسالی‌های اخیر به وجود آمده، همچنین به‌منظور استفاده بهینه از آب موجود، بپردازد چرا که بهینه‌کاوای در این بخش می‌تواند ضمن رفع موانع و مشکلات کشاورزان،

در ایجاد اشتغال، ایجاد انگیزه برای ادامه کار و تولید و برطرف کردن نیازهای اساسی کشور به واردات و خروج ارز از کشور، تأثیر به‌سزایی داشته باشد. ازاین‌رو سؤالات اصلی که تحقیق سعی در پاسخگویی به آن‌ها دارد عبارت از:

۱- وضع موجود فرآیند صدور مجوزها در سامانه‌های نوین آبیاری چگونه است؟

۲- چه موانعی بر سر راه صدور مجوز در بخش سامانه‌های نوین آبیاری برای متقاضیان وجود دارد؟

۳- شرایط بهینه صدور مجوزها در بخش سامانه‌های نوین آبیاری چه می‌تواند باشد؟

۴- چه ارائه راهکارهایی در جهت رفع شکاف‌های موجود به‌منظور تسهیل و کوتاه کردن مدت‌زمان و هزینه صدور مجوز در بخش سامانه‌های نوین آبیاری می‌توان ارائه نمود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، به‌منظور شناسایی وضع موجود فرآیند صدور مجوز آبیاری نوین، آسیب‌شناسی و واکاوی وضع بهینه آن، از روش تحقیق کیفی گروه کانونی (Focus Group) استفاده شد. گروه‌های کانونی جلسات بحث سازمان‌دهی شده‌ای هستند که در آن، گروهی از افرادی که بتوان به نظر آنان به‌عنوان کانون بحث موضوعی متمرکز شد، انتخاب می‌شوند. سپس از طریق مصاحبه‌ی گروهی، این افراد، نظرها و تجربه‌های خود را بازنمایی می‌کنند. هدف از این روش، کشف نگرش‌ها، احساسات، باورها، تجربه‌ها و واکنش افراد است که در مقایسه با روش مصاحبه‌های فردی، پژوهشگر در مدت‌زمانی کوتاه‌تر و با دقت بالاتری به دلیل اینکه خود حضور تمام‌وقت و مستقیم در فرآیند مصاحبه و بحث‌های گروهی دارد، اطلاعات بیشتری را فراهم می‌کند.

جامعه آماری مدنظر تحقیق دو بخش متقاضیان و کارشناسان را شامل می‌شود. در بخش متقاضیان، بر اساس اطلاعات مستخرج از «سامانه آبیاری نوین» ۶۷۲۲ تقاضا در فاصله سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ ثبت شده است که تا زمان

استخراج داده‌ها تعداد ۲۹۲۱ مورد از این طرح‌ها خاتمه‌یافته، ۳۷۴۷ طرح جاری و ۵۴ طرح انصرافی گزارش شده‌اند. بر این اساس ۱۵۰ نفر از افرادی که بین سال‌های ۹۸ تا ۱۴۰۰ در پنج استان (همدان، فارس، زنجان، خراسان رضوی و کرمانشاه) درخواست مجوز کرده بودند و موفق به دریافت مجوز شده بودند، انتخاب شدند. در بخش کارشناسان نیز ۱۵۰ نفر از نمایندگان دستگاه‌های کلیدی مجری در صدور مجوز، شامل شرکت سهامی آب منطقه‌ای، سازمان جهاد کشاورزی، اداره کل منابع طبیعی، اداره محیط‌زیست، استانداری، سازمان نظام‌مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی استان‌ها انتخاب شدند. داده‌ها در بخش متقاضیان، عمدتاً از طریق مصاحبه‌های انفرادی و در بخش کارشناسان، با انجام کارگروه‌های مشترک استانی به شکل حضوری و وبیناری، گردآوری شد. این تحقیق به‌منظور دستیابی به اهداف خود پنج گام زیر را طی نموده است که عبارت‌اند از:

گام اول: احصاء فرآیند موجود بر اساس مستندات، بررسی و ارزیابی قوانین و مقررات بالادستی، بررسی تجربیات سایر کشورها، پیمایش اولیه و تدوین پرسشنامه با قالب سؤالات باز و بسته.

گام دوم: تشکیل کارگروه‌های استانی به‌منظور آسیب‌شناسی وضع موجود با استفاده از نظر منتخبی از متقاضیان استانی که در سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۹ درخواست دریافت مجوز داشته‌اند. جمع‌آوری اطلاعات در این مرحله بر اساس روش نمونه‌گیری هدفمند به‌صورت حضوری و یا تلفنی در قالب پرسشنامه انجام و جمع‌بندی شد.

گام سوم: تشکیل گروه کانونی با حضور نمایندگان نهادهای دخیل در صدور مجوز (شرکت سهامی آب منطقه‌ای، سازمان جهاد کشاورزی، اداره کل منابع طبیعی، اداره محیط‌زیست، استانداری، سازمان نظام‌مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی استان‌ها). در این گام، نقاط ضعف مطرح‌شده توسط متقاضیان در اختیار کارشناسان قرار گرفته و نظر آن‌ها نسبت به تک تک موارد بیان شده گردآوری شد.

گام چهارم: مطالعه تطبیقی فرآیندهای احصاء شده در گام-های قبلی، بررسی خلأهای قانونی، بهینه‌سازی و ترسیم فرآیند مطلوب و ارائه راهکارهای پیشنهادی.

گام پنجم: فراخوان گروه کانونی کارشناسان به‌منظور نهایی کردن راهکارها و بررسی خلأهای قانونی به‌منظور ارائه وضع مطلوب برای صدور مجوز در حوزه آبیاری.

تجزیه و تحلیل داده‌ها در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ انجام پذیرفت.



شکل ۱- گام‌های مختلف تحقیق (منبع: یافته‌های تحقیق)

نتایج

نتایج حاصل از انجام این تحقیق در سه بخش بررسی وضع موجود، صدور مجوز سامانه نوین آبیاری، بررسی زمان و هزینه لازم برای صدور مجوز در این حوزه در حال حاضر و موانع و مشکلات صدور مجوز و راهکارها و متولیان پیشنهادی به شرح ذیل قابل ارائه است:

فرآیند و وضعیت موجود در سامانه نوین آبیاری از

ثبت‌نام تا اجرا

به‌منظور احصاء وضع موجود فرآیند صدور مجوز آبیاری، ابتدا دستورالعمل موجود در «سامانه اطلاع‌رسانی طرح توسعه سامانه‌های نوین آبیاری» مورد بررسی قرار

گرفت و سپس به بررسی وضعیت کنونی فرآیند از طریق مراجعه به کارشناسان پرداخته شد. بررسی «دستورالعمل اجرایی طرح توسعه سامانه‌های نوین آبیاری» نشان می‌دهد که اگرچه شرح اقدامات کم و بیش روشن است، اما مراحل انجام کار، نقش‌ها و مسئولیت‌های هریک از مجریان با شرح مراحل فرآیند و به شکلی کاربردی ارائه نشده است. بررسی‌های این پژوهش نشان می‌دهد که تفاوت‌هایی بین دستورالعمل با آنچه در عمل روی می‌دهد وجود دارد (مصادیق آن).

مراحل درخواست تا اجرای طرح‌های آبیاری در عمل نشان می‌دهد که مسیر انجام فعالیت‌ها به شکلی که در عمل انجام شده، در تطابق کامل با دستورالعمل اجرایی نبوده

است. اولین نکته‌ای که مشاهده می‌شود لزوم انجام سامانه‌ای فرآیندها از مرحله ثبت‌نام و تشکیل پرونده تا مراحل بعدی است؛ اما در عمل متقاضیان به‌جای ثبت‌نام در سامانه به‌عنوان اولین مرحله، به سازمان جهاد کشاورزی مراجعه می‌کنند و تشکیل پرونده می‌دهند. حال آنکه طبق دستورالعمل اداری طرح‌های آبیاری، ثبت‌نام و بررسی پرونده می‌باید در این سامانه انجام شود. جدول (۱) معرف فاصله زمانی بین ثبت نام در سامانه نوین آبیاری تا تشکیل پرونده جهت تقاضای طرح‌های آبیاری در فاصله سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ است. مطابق نتایج این جدول، از اولین مرحله که ثبت نام متقاضیان است بی‌نظمی در توالی بین ثبت‌نام و تشکیل پرونده مشهود است.

جدول ۱- فاصله زمانی بین ثبت نام در سامانه نوین آبیاری تا تشکیل پرونده جهت تقاضای طرح‌های آبیاری در سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰

نسبت (درصد)	تعداد پرونده	
۳۹/۳	۲۶۴۳	تشکیل پرونده یک ماه و پیش‌تر قبل از ثبت نام
۶/۹	۴۶۴	تشکیل پرونده یک روز تا یک ماه قبل از ثبت نام
۱۸/۲	۱۲۲۲	تشکیل پرونده و ثبت در سامانه در همان روز
۱۱	۷۴۰	تشکیل پرونده یک روز تا هفت روز بعد از ثبت نام
۷/۸	۵۲۲	تشکیل پرونده یک هفته تا یک ماه بعد از ثبت نام
۵/۵	۳۶۹	تشکیل پرونده یک ماه تا سه ماه بعد از ثبت نام
۴/۶	۳۰۶	تشکیل پرونده بعد از سه ماه از زمان ثبت نام
۶/۸	۴۵۶	ثبت نام نموده ولی پرونده‌ای تشکیل نشده
۱۰۰	۶۷۲۲	کل

مقایسه زمان صرف شده در عمل با زمان نرمال در هریک از مراحل فرآیند طرح‌های آبیاری

متقاضیان طرح‌های آبیاری که در فاصله سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ تقاضای خود را در سامانه نوین آبیاری ثبت نموده‌اند، به‌طور میانگین طی ۳۲۷ روز مراحل مختلف را طی می‌کنند. با پرسش و تعامل با کارشناسان مرتبط با طرح‌های آبیاری، به ارقامی در زمینه مدت زمان معمولی که گذار از مراحل فرآیند نیاز دارد دست یافتیم (جدول ۲). منظور از این ارقام، ارقام بهینه و حداقلی نیست، بلکه زمان متوسطی است که در شرایط عادی باید برای گذار از مراحل طرح‌ها صرف شود. جهت برآورد میزان صرف شده برای هریک از مراحل نیز از محاسبه تاریخ‌های بین مراحل مستخرج از اطلاعات سامانه نوین آبیاری استفاده شد. به‌این‌ترتیب مقایسه زمان صرف شده در عمل با زمانی که

باید به‌طور طبیعی و نرمال صرف می‌شده برای هریک از مراحل امکان‌پذیر گردید. با محاسبه تفاوت‌ها در نهایت برآورد گردید که زمان صرف شده در عمل ۲۲۱ روز بیشتر از زمانی که باید به‌طور طبیعی طول می‌کشیده (بیش از سه برابر) زمان برده است (شکل ۲).

بررسی مشکلات و راهکارهای فرآیند طرح‌های آبیاری

بررسی مشکلات فرآیند طرح‌های آبیاری در این پژوهش با بهره‌گیری از اطلاعات و نظرات کارشناسان مرتبط در قسمت‌های مختلف فرآیند و متقاضیان این طرح‌ها انجام گرفت. در مرحله‌ی شناسایی فرآیند موجود، ۲۰ مرحله تفکیک گردید که در بررسی مشکلات و راهکارها نیز تلاش گردید تا بررسی‌ها در قالب همین دسته‌بندی بیست‌گانه انجام شود. در زمان بررسی مشکلات،

مشکلات سامانه‌ای

مشکلات مرتبط با سامانه نوین آبیاری در قسمت درون‌سازمانی عمدتاً مرتبط بود با مسائل عملکردی سامانه، عدم یکپارچگی بین بخش‌های مختلف سامانه و به رسمیت شناخته نشدن سامانه و اسناد آن توسط متقاضیان. در زمینه مشکلات بیرون سازمانی می‌توان به فقدان یک سیستم یکپارچه بین سازمان‌های درونی و بیرونی جهاد کشاورزی اشاره نمود. سامانه‌ای و یکپارچه کردن فرآیندها و پرهیز از چندباره کاری و درخواست کاهش هزینه اعتبارسنجی از نهادها و ارگان‌های دخیل برای صدور مجوز برای متقاضیان، از جمله راهکارهای پیشنهادی است که از سوی وزارت جهاد کشاورزی، نظام‌مهندسی و انجمن‌های صنفی قابل‌پیگیری است (جدول ۳).

هم‌زمان راهکارها نیز از متقاضیان و کارشناسان پرسیده شده است. پس از گردآوری این مطالب در استان‌های مورد بررسی، اقدام به جمع‌بندی راهکارها گردید.

دسته‌بندی مشکلات در قالب دو گروه عمده: «مسائل درون مجموعه وزارت جهاد کشاورزی» و «مسائل بیرون از مجموعه وزارت جهاد کشاورزی»، انجام شد. هریک از این گروه‌ها خود دارای چهار دسته مشکلات شامل: مشکلات سامانه‌ای، مشکلات مربوط به دستورالعمل‌ها و ثبت درخواست، مشکلات رفتاری و مشکلات اعتباری بودند. پس از مشخص شدن مشکلات، اقدام به تدوین راهکارها برای هریک از موارد با توجه به پیشنهادهای کارشناسان و بهره‌برداران، بررسی‌های اسنادی و با ارجاع به دستورالعمل‌ها و قوانین گردید. همچنین متولی انجام هر قسمت از فرآیند که موضوع مشکل و راهکار به آن مربوط بوده نیز مشخص گردید.

جدول ۲- مقایسه بازه زمانی نرمال با میزان زمان صرف شده در عمل در طرح‌های آبیاری کشور

تشکیل پرونده تا شروع مطالعه	مدت زمان انجام مطالعه	پایان مطالعه تا تأیید طرح	تأیید طرح تا معرفی تسهیلات	معرفی برای تسهیلات تا عقد قرارداد	عقد قرارداد با پیمانکار تا شروع عملیات اجرایی	شروع تا پایان عملیات اجرایی	مجموع زمان صرف شده برای مراحل
۴۱	۳۴	۴۱	۷۳	۳۴	۱۷	۸۷	۳۲۷
میانگین تعداد روز صرف شده در عمل (بر اساس اطلاعات آماری سال ۱۳۹۸)							
۱۵	۱۴	۴	۷	۱۰	۶	۵۰	۱۰۶
مدت زمان نرمال موردنیاز هر مرحله (با توجه به دیدگاه کارشناسان)							
۲۶	۲۰	۳۷	۶۶	۲۴	۱۱	۳۷	۲۲۱
تفاوت بین زمان مورد انتظار نرمال با مدت زمان صرف شده در عمل							

جدول ۳- مشکلات، سامانه‌ای درون‌سازمانی و برون‌سازمانی در طرح‌های آبیاری، راهکارها و متولیان امور

مشکلات سامانه‌ای		
متولیان	مشکلات	راهکارها
درونی	وزارت جهاد کشاورزی	عملکرد غیرقابل اتکای سامانه نوین آبیاری
		مراحل فرآیند به شکل عملی در سامانه انجام گیرد. در بند پ ماده ۶۷ قانون برنامه ششم دستگاه‌های اجرایی موظف به الکترونیکی کردن کلیه فرآیندها و خدمات شده‌اند. مطابق ماده‌های ۱-۴ و ۲-۴ دستورالعمل اجرایی طرح توسعه سامانه‌های نوین آبیاری ثبت نام و بررسی درخواست باید در سامانه نوین آبیاری انجام شود.
	جهاد کشاورزی، نظام‌مهندسی، انجمن صنفی و شرکت‌ها	عدم یکپارچگی سامانه‌های داخل و خارج سازمان
		ایجاد سامانه یکپارچه که اجرای فرآیند در آن جریان یابد. در بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی موضوع ماده ۵ قانون استخدام کشوری (مورخ ۱۳۹۶/۱۲/۱۵) آمده: مکاتبات اداری بین دستگاه‌های اجرایی صرفاً از طریق سامانه پیام دولت انجام می‌پذیرد.
بیرونی	جهاد کشاورزی شهرستان	به رسمیت شناخته نشدن سامانه و اسناد آن
		اطلاعات پرونده فقط یک‌بار اعتبارسنجی و قابل اتکا وارد شود. طبق ماده‌های ۱-۴ و ۲-۴ دستورالعمل اجرایی طرح توسعه سامانه‌های نوین آبیاری فعالیت سامانه‌ای باید به رسمیت شناخته شود.
بیرونی	سازمان‌های مرتبط با طرح‌های آبیاری	فقدان یک سیستم یکپارچه بین سازمان‌های بیرون از جهاد کشاورزی
		با ایجاد سامانه‌ای مشترک کلیه مدارک به شکلی قابل ردیابی وارد شوند. در بند ۶ بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی موضوع ماده ۵ قانون استخدام کشوری آمده: ضروری است گردش اداری کلیه مکاتبات به‌صورت الکترونیکی و با ارائه شناسه قابل رهگیری باشند.

مشکلات اعتباری

در زمینه مشکلات اعتباری درون مجموعه وزارت جهاد کشاورزی، می‌توان به مسائلی از قبیل تأخیر در پرداخت پول از صندوق توسعه کشاورزی و مشکلات در تأمین آورده شخصی به دلیل عدم توجیه اولیه و تغییر قیمت‌ها اشاره نمود. در زمینه مشکلات برون سیستمی نیز مواردی از قبیل تعیین رقم ثابت بلاعوض از ابتدا تا انتهای سال بدون توجه به نرخ تورم، اخذ تسهیلات بانکی و عدم تخصیص اعتبار، از جمله مسائل شناخته شده در این زمینه بود. تسریع در پرداخت‌ها از سوی نهادهای ذی‌ربط، توجیه اولیه متقاضی در مورد آورده شخصی و تغییر قیمت‌ها، اخذ تمهیداتی برای اخذ تسهیلات بانکی از جمله راهکارهای معرفی شده در این زمینه بود که عمده متولی آن وزارت جهاد کشاورزی، سیستم بانکی کشور و سازمان برنامه و بودجه است (جدول ۴).

مشکلات رفتاری در بررسی پرونده‌ها

مطابق پاسخ‌های به‌دست‌آمده از گروه کانونی کارشناسان مجری در زمینه صدور مجوزهای سامانه نوین آبیاری، در زمینه مشکلات رفتاری، زمان‌بری زیاد و دشواری بررسی پرونده‌ها در کمیته فنی، عدم تشریح و شفافیت هزینه‌ها برای متقاضیان و ایجاد بی‌اعتمادی، انجام ارجاعات و اقدامات غیرضروری و سلیقه‌ای، سختگیری بی‌مورد و تکراری در بررسی مدارک در صندوق توسعه، عدم سرعت در کار ناظر در تأیید صورت وضعیت‌ها، عدم وجود رزومه شفاف شرکت‌ها و تأکید بر پیشنهاد قیمت کمتر توسط متقاضیان، عدم تعامل کافی بین متقاضی و شرکت طراح، به‌عنوان مشکلات اساسی است که در درون مجموعه وزارت جهاد کشاورزی و توسط کارکنان این مجموعه شناخته شدند. اطلاع‌رسانی شفاف و ثبت همه پرداخت‌ها در سامانه، حذف ارجاعات و اقدامات غیرضروری، برگزاری دوره آموزشی - توجیهی برای

کارکنان صندوق، ایجاد بازخورد عملی نحوه و سرعت انجام کار برای ناظران، به روزرسانی رزومه شرکت‌ها و برقراری تعامل بین متقاضی و شرکت و طراحی با مراجعه میدانی از جمله راهکارهای پیشنهادی در این زمینه است که عمدتاً توسط وزارت جهاد کشاورزی قابل حل است (جدول ۵).

مشکلات مربوط به دستورالعمل‌ها و ثبت درخواست در سامانه

در زمینه مشکلات مربوط به دستورالعمل‌ها و ثبت درخواست، مسائل شناخته شده عبارت بودند از: مسائل

مربوط به ثبت نامه و تشکیل پرونده، عدم توجیه کافی متقاضی در مورد طرح، عدم انگیزه کافی شرکت‌ها برای طرح‌های کوچک، عدم سیستم ارزیابی فعال و دارای بازخورد تا قبل از عملیات اجرایی، عدم برآورد صحیح و پویای هزینه اجرای طرح و زمان‌بری اعلام‌ها. راهکارهای پیشنهادی در این زمینه عبارت‌اند از: آشنایی متقاضیان با روند تشکیل پرونده از طریق چاپ بروشور، تشکیل جلسه مشاوره آموزش، افزایش حق الزحمه برای طرح‌های کوچک، ایجاد سامانه نظارت و ارزشیابی، برآورد کارشناسی هزینه‌ها و مدیریت اعلام‌ها (جدول ۶).

جدول ۴- مشکلات، اعتباری درون سازمانی و برون سازمانی در طرح‌های آبیاری، راهکارها و متولیان امور

مسائل اعتباری			
متولیان	مشکلات	راهکارها	
درونی	تأخیر در پرداخت پول از صندوق توسعه کشاورزی	در پرداخت تسریع شود و مبلغ خرید مایحتاج طرح یکجا پرداخت شود	جهاد کشاورزی (صندوق توسعه)
جهاد کشاورزی و متقاضی	مشکلات در تأمین آورده شخصی به دلیل عدم توجیه اولیه و تغییر قیمت‌ها	توجیه اولیه متقاضی در مورد آورده شخصی و تغییر قیمت‌ها	
بیرونی	تعیین رقم ثابت بلاعوض از ابتدا تا انتهای سال بدون توجه به تورم	در تعیین مبلغ اعتبارات طرح‌ها تغییرات قیمت در درون سال اعمال شود. در ماده ۳۵ قانون برنامه پنج‌ساله پرداخت حداقل ۸۵٪ بلاعوض در نظر گرفته شده و پرداخت می‌تواند بیشتر هم باشد، اما نحوه عمل کنونی به کمتر از ۸۵ درصد منجر می‌شود.	سازمان برنامه و بودجه
سیستم بانکی و جهاد کشاورزی	تنها کمک بلاعوض در نظر گرفته شده و معرفی وام ندارد	تمهیداتی برای اخذ تسهیلات بانکی فراهم شود	
سازمان برنامه و بودجه	عدم تخصیص یا تخصیص دیرنگام اعتبار از برنامه و بودجه	جهت تسریع در پرداخت هماهنگی صورت گیرد	
سیستم بانکی و جهاد کشاورزی	تأخیر در پرداخت هزینه‌های مطالعات و تهیه طرح شامل نقشه‌برداری، آزمایش‌های خاک و آب و ارائه طرح از طرف مشاور	جهت تسریع در پرداخت هماهنگی صورت گیرد	
سیستم بانکی و جهاد کشاورزی	تأخیر بهره‌برداران در تأمین و پرداخت سهم خودیاری پروژه‌ها و ناتمام ماندن و تأخیر در اتمام پروژه‌ها	ارائه تسهیلات به بهره‌برداران جهت تأمین هزینه‌های خودیاری	
جهاد کشاورزی	افزایش قیمت‌ها و حق الزحمه‌ها	ارائه تسهیلات به بهره‌برداران جهت تأمین هزینه‌های خرید تجهیزات و پرداخت حق الزحمه	

جدول ۵- مشکلات رفتاری در طرح‌های آبیاری، راهکارها و متولیان امور

عوامل رفتاری		
متولیان	مشکلات	راهکارها
جهاد کشاورزی استان	زمان‌بری زیاد و دشواری بررسی دفترچه‌ی مطالعه در کمیته فنی	در صورت تراکم کاری واگذاری به مشاور (طبق مجوز دستورالعمل). در تبصره ماده ۵ دستورالعمل اجرایی سامانه‌های نوین آبیاری آمده: کمیته فنی می‌تواند در بررسی طرح‌ها از خدمات مشاور استفاده نماید.
جهاد کشاورزی	عدم تشریح و شفافیت هزینه‌ها برای متقاضیان و ایجاد بی‌اعتمادی	اطلاع‌رسانی شفاف و ثبت همه پرداخت‌ها در سامانه. در ماده ۲۲ بخش ۴ قانون برنامه ششم در زمینه محیط کسب‌وکار آمده: دولت مکلف است با اقدام قانونی محیط کسب‌وکار را شفاف کند.
جهاد کشاورزی	انجام ارجاعات و اقدامات غیرضروری و سلیقه‌ای	حذف ارجاعات و اقدامات غیرضروری
جهاد کشاورزی	سختگیری بی‌مورد و تکرار در بررسی مدارک در صندوق توسعه	برگزاری دوره آموزشی – توجیهی برای کارکنان صندوق
جهاد کشاورزی	عدم سرعت در کار ناظر در تأیید صورت وضعیت‌ها	ایجاد بازخورد عملی نحوه و سرعت انجام کار برای ناظران
جهاد کشاورزی و انجمن صنفی	عدم رزومه شفاف شرکت‌ها و تأکید بر پیشنهاد قیمت کمتر توسط متقاضیان	رزومه شرکت‌ها شفاف و به‌روز در بستر سامانه در اختیار ذینفعان باشد
شرکت طراح و متقاضی	عدم تعامل کافی بین متقاضی و شرکت طراح و عدم توجه و تفاهم کافی	برقراری تعامل بین متقاضی و شرکت و طراحی با مراجعه میدانی
نظام‌مهندسی کشاورزی	عدم نظارت کامل و فنی بر مراحل تهیه نقشه و طرح، تهیه وسایل مرغوب و عملیات اجرایی درست و فنی	نظارت بر اجرای عملیات و اطمینان از کیفیت مواد مصرفی

جدول ۶- مشکلات مربوط به دستورالعمل‌ها و ثبت درخواست‌ها در طرح‌های آبیاری، راهکارها و متولیان امور

مشکلات دستورالعمل‌ها و قوانین			
متولیان	مشکلات	راهکارها	درونی
جهاد کشاورزی شهرستان	ساده‌انگاری در مرحله ثبت‌نام و تشکیل پرونده و اخذ اسناد و اطلاعات	در اولین مرحله برای متقاضی آشنایی کاملی فراهم شود	
مشاور خبره مورد تأیید جهاد کشاورزی	عدم توجه کافی متقاضی در مورد طرح، هزینه‌ها و ضروریات آن	پس از ثبت نام با تشکیل جلسه مشاوره آموزش و توجه لازم صورت گیرد	
وزارت جهاد کشاورزی	عدم انگیزه کافی شرکت‌ها برای طرح‌های کوچک با حق‌الزحمه کم	حق‌الزحمه برای طرح‌های کوچک افزایش یابد	
وزارت جهاد کشاورزی	عدم سیستم ارزیابی فعال و دارای بازخورد تا قبل از عملیات اجرایی	سامانه‌ای برای نظارت و ارزیابی (در بستر سامانه طراحی و اجرا شود، مطابق بند ۱ اهداف دستورالعمل اجرایی سامانه‌های نوین آبیاری، "نظارت" از وظایف حاکمیتی جهاد کشاورزی است.	
شرکت‌های طراح	عدم برآورد صحیح و پویای هزینه اجرای طرح	برآورد هزینه‌ها دقیق‌تر و کارشناسی و با پیش‌بینی تغییرات قیمت‌ها	
امور آب (و جهاد کشاورزی)	استعلام از امور آب جهت تعیین دبی و حقابه بسیار زمان‌بر است	پروانه‌های پنج‌ساله اخیر استعلام نشود و بار حقوقی از استعلام‌ها برداشته شود. در برنامه ششم بخش ۵ ماده ۲۷ کاهش زمان پاسخ استعلام‌ها و صدور پروانه ساخت بنگاه‌های اقتصادی روستایی و عشایری به حداکثر ۱۵ روز آمده است. همچنین در ماده ۳ دستورالعمل اجرایی سامانه‌های نوین آبیاری در مورد مدرک آب آمده است که در صورت عدم وجود پروانه بهره‌برداری یا تخصیص آب از امور آب، سایر مدارک آب با تصویب کارگروه استانی قابل قبول است.	
نظام‌مهندسی کشاورزی	دانش کم کارشناسان طراح که باعث اشتباه و دوباره‌کاری مراحل اجرای عملیات می‌شود	استفاده از نیروهای متخصص و باتجربه و نظارت بر کار کارشناسان	

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

اگرچه در قسمت‌های مختلف فرآیند صدور مجوزهای سامانه نوین آبیاری، مشکلاتی کم‌وبیش بروز کرده، محوریت مشکلات و راهکارها را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

- ایجاد سامانه یکپارچه برای جهت صدور مجوز آبیاری برای کشاورزان، در عمل کمک چندانی به تسریع روند صدور مجوزها نکرده است. فرآیندها در این سامانه تغییر چندانی نکرده و همچنان نیاز به حضور فیزیکی متقاضیان و طی مراحل گذشته برای دریافت مجوز دارد. درحالی‌که لازم است مراحل صدور مجوز، به‌صورت کاملاً یکپارچه برای دستگاه‌های ذی‌ربط، شفاف و هوشمند تعریف شود.

اسناد به شکل کدبندی شده ثبت و در هر مرحله از فرآیند، اسناد قابلیت دسترسی برای ارگان‌های مرتبط داشته باشند تا از دوباره‌کاری‌ها و دریافت مدارک مجدد جلوگیری شود. - فرآیند طرح‌های آبیاری در استان‌های مختلف روند یکسانی را طی نمی‌کند و در برخی استان‌ها پاره‌ای ارجاعات و اقدامات اضافی و قابل حذف وجود دارد. لازم است دستورالعمل و راهنمایی شفاف برای فرآیند تهیه و در کل کشور مورد استفاده قرار گیرد و ارجاعات زائد، مثل ارجاع به نظام‌مهندسی (به‌جای ارجاع مستقیم به انجمن صنفی آبیاری) و ارجاع نقشه تهیه‌شده جهت تأیید به جهاد کشاورزی حذف شود.

- مشکل تأمین آورده شخصی کشاورزان با توجه به تعیین عددی معین برای کمک بلاعوض از ابتدا تا انتهای یک سال و افزایش قیمت‌ها طی سال با انعطاف‌پذیر نمودن رقم برای پاسخگویی به تغییر قیمت‌ها لازم است. همچنین تمهیدی برای معرفی کشاورزان به بانک برای تسهیل در تأمین آورده شخص لازم است.
- مرحله ثبت‌نام و تشکیل پرونده با سهولت و گاه ساده‌انگاری و بدون بررسی اولیه جهت احراز شرایط انجام می‌شود، بدون اینکه متقاضی به قدر کافی از هزینه‌ها، مراحل انجام کار، مقتضیان و اسناد موردنیاز آگاهی داشته باشد و در مراحل بعدی مشکلات زیادی را برای متقاضی و مجریان و متولیان ایجاد می‌کند.
- فقدان نظارتی هوشمند در مراحل مختلف و بر عاملان مختلف مشکلاتی را ایجاد کرده است. لازم است با سامانه‌ای هوشمند کل مراحل از ابتدا تا انتها و همه عاملان و نیز خود ناظران مورد نظارت باشند. این نظارت‌ها باید دربردارنده بازخورد مؤثر برای تمام عاملان با ابزارهای تشویقی و تنبیهی باشد.
- برخی از مشکلات در جریان طرح‌های آبیاری در حوزه مشکلات رفتاری قرار می‌گیرد؛ مانند سختگیری‌های بیهوده و فراتر از قوانین و دستورالعمل‌ها، بررسی‌های تکراری مدارک، پاسخ دیر هنگام و یا برخوردهای دلسردکننده برخی عاملان. لازم است با آموزش و توجیه و نظارت فعال این رفتارها اصلاح گردد.

فهرست منابع

۱. حضرت‌پور، س.ع. (۱۳۹۱). هفت‌خوان مجوز سرمایه‌گذاری و فرار سرمایه‌گذاران، نهمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت، تهران، ایران. ۱۲-۲۶.
۲. سلاطین، پ.، نصیری، ع. و امیرعباسی، ز. (۱۳۹۶). تأثیر فضای کسب‌وکار بر جذب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، مجله اقتصادی، ۵ و ۶: ۷۵-۹۰.
۳. عباسپور، عباس، رحیمیان، حمید، مهرگان، محمدرضا و احمدنیا، هادی. (۱۳۹۵). تحلیل پوششی داده‌ها به مثابه ابزار اندازه‌گیری عملکرد سازمانی، برنامه‌ریزی و بهینه‌کاوای در آموزش و پرورش. فصلنامه اندازه‌گیری تربیتی، ۶ (۲۳): ۹۹-۱۱۶.
۴. عیدی، ا.، کاظمیه، ف.، و ظریفیان، ش. (۱۳۹۹). شناسایی عوامل مؤثر بر مدیریت پایدار منابع آب کشاورزی از دیدگاه کشاورزان (مطالعه موردی: گندم کاران روستاهای شهرستان مراغه). نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۳۰ (۴)، ۳۱۱-۳۲۶.
۵. کارشناسان، ع. (۱۳۹۵)، چالش‌ها و فرصت‌های توسعه کارآفرینی در بخش صنایع تبدیلی محصولات باغی (مطالعه موردی: استان خراسان شمالی)، راهبردهای کارآفرینی در کشاورزی، ۳ (۶)، ۲۳-۳۶.
۶. کریمی کمال‌آباد، ص. (۱۳۹۴)، تبیین فضای کسب‌وکار در بخش کشاورزی، مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی، وزارت جهاد کشاورزی، تهران.
۷. مسگر، م.، و روستا. (۱۳۸۸). بحران آب و اهمیت بهره‌وری آب کشاورزی در مناطق دچار خشک‌سالی. مطالعه شهرستان آباد و نی‌ریز. همایش ملی مدیریت بحران آب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.
۸. مظفری، ه. (۱۳۹۷). راهنمای فرآیند صدور مجوز سرمایه‌گذاری در دستگاه‌های اجرایی استان اردبیل.
۹. واحدی، م.، و موسویون، س. (۱۳۹۴). شناسایی مشکلات کسب‌وکارهای کشاورزی زیر بخش امور دام در شهرستان ایلام. فصلنامه کارآفرینی و کشاورزی، ۲ (۳)، ۳۵-۴۲.

۱۰. والی، مینا. (۱۳۹۱). بررسی روش‌ها و الگوهای بهینه کاوی در صنعت نشر کتاب. فصلنامه تحلیلی پژوهشی کتاب مهر، ۵: ۷۲-۸۹.
۱۱. یوسفی‌نژاد عطاری، مهدی و نیشابوری جامی، انسیه. (۱۳۹۱). بهینه‌سازی سیستم صف پرونده‌های اخذ مجوز اصولی و قطعی دفتر پارک‌ها و مراکز رشد. رشد فناوری، ۸ (۳۱): ۴۳-۵۲.
12. Aminbidokhti, A.A. & S. M. Zargar. (2011). Pathology of Small and Medium Enterprises and Explain of Applied Strategies for supporting them. *Journal of Development and Management Process*, 78: 125-156.
13. Bindra S, Hamid A, Salem H, Hamuda K and Abulifa S. 2014. Sustainable integrated water resource management for production and food security in Libya. *Procedia Technology*, 12:747-752.
14. Lestizand M, Paymani K and Viscermy A. 2015. Survey of Agricultural Surface Water Consumption Patterns, Case Study: Hahnam Watershed. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 6 (4):400-410.
15. Madani K. 2014. Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *Journal Environment Study Science*, 4: 315-328.
16. Mohammadi- Kanigolzar F. Daneshvar Ameri J and Motee N. 2014. Virtual water trade as a strategy to water resource management in Iran. *Journal of Water Resource and Protection*, 6, PP. 141-148.
17. Nasr Abadi A. 2016. Environmental Evidence of the Iranian Water Crisis and Some Solutions. *Journal of Social Cultural Strategy*, 4(15):8-65.
18. Raskhchi, S. (2009). Study of Small and Medium Enterprises Statues in Germany. *Journal of Trade & Industry & Mine Room*, 499: 6-8.
19. Tambunan, T. (2009). Women Entrepreneurship in Asian developing countries: Their development and main constraints. *Journal of Development and Agricultural Economics*, May, 2009. 1: 27- 40.
20. Yaghobi, J. & J. Ghasemi. (2009). Study of Effective Factors on Success of Agricultural Entrepreneurs and Strategies of Supporting them (Zanjan case study). *Quarterly of Agriculture and Cooperative*, 20: 15-34.

بررسی اثر متقابل کم آبیاری و آب مغناطیسی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب گیاه همیشه بهار

صابر جمالی، حسین انصاری^۱ و عباس صفری زاده ثانی

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

Saber.jamali@mail.um.ac.ir

استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

Ansary@um.ac.ir

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

Abbas.safarizadehsani@mail.um.ac.ir

دریافت: خرداد ۱۴۰۱ و پذیرش: شهریور ۱۴۰۱

چکیده

به منظور بررسی اثر متقابل آب مغناطیسی و کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی همیشه بهار، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۸ با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای پژوهش شامل چهار سطح آبیاری (۱۰۰٪، ۸۵٪، ۷۰٪ و ۵۵٪ ظرفیت زراعی) و دو نوع آب (آب معمولی و آب مغناطیسی) بود. نتایج نشان داد که اثر سطوح مختلف آبیاری بر تمامی صفات (به جز بهره‌وری فیزیکی آب که در سطح ۵٪ معنی دار بود) در سطح احتمال ۱٪ معنی دار شد و اثر آب مغناطیسی نیز بر روی وزن خشک شاخه جانبی و گل، تعداد گل و بهره‌وری فیزیکی آب در سطح احتمال ۱٪ و بر وزن خشک ساقه گل‌دار و برگ، تعداد برگ و شاخه جانبی در سطح احتمال ۵٪ معنی دار شد. اثر متقابل تیمارها نیز بر تعداد برگ در سطح احتمال ۱٪ و بر وزن خشک ریشه، گل و ساقه گل‌دار در سطح احتمال ۵٪ معنی دار شد. بیشترین میزان وزن خشک برگ و ساقه گل‌دار، تعداد گل، تعداد برگ و شاخه جانبی، ارتفاع و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب در تیمار آبیاری به میزان ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی و به ترتیب با ۱/۷۷ و ۰/۳۷ گرم در بوته، هفت و شش عدد، ۱۸/۴ سانتی‌متر و ۰/۱۸۶ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده شد. همچنین کاهش ۱۵٪، ۳۰٪ و ۴۵٪ میزان آب آبیاری سبب کاهش صفت تعداد گل (۲۵/۷٪، ۳۲/۸٪، ۵۴/۳٪) و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب (۱۸/۸٪، ۲۱/۵٪ و ۲۴/۲٪) شد. بیشترین میزان وزن خشک گل، ریشه و شاخه جانبی به ترتیب با ۰/۲۹، ۰/۵ و ۰/۷۴ گرم در بوته در تیمار آبیاری مغناطیسی به میزان ظرفیت زراعی مشاهده شد. با توجه به نتایج به دست آمده، اعمال میدان مغناطیسی ۰/۶ تسلا در شرایط تنش آبی، سبب بهبود عملکرد گل و بهره‌وری مصرف آب شده و تیمار آبیاری بهینه این گیاه در شرایط گلدانی آبیاری مغناطیسی به میزان ظرفیت زراعی است. به هر حال برای کاربرد این تنش‌ها در سطح مزرعه، نیاز به پژوهش‌های بیشتری است.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری فیزیکی آب، تابع تولید، تنش خشکی، عملکرد گل، میدان مغناطیسی

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

مقدمه

با توجه به رشد روزافزون جمعیت در کشور نیاز به افزایش تولید محصولات کشاورزی امری بدیهی است (رستگار و همکاران، ۱۳۹۴)؛ به همین دلیل تقاضا برای منابع محدود زمین نیز افزایش یافته است (علی اکبری و زند پارسا، ۱۳۹۶). در میان این منابع، آب مهم‌ترین نهاده و عمده‌ترین عامل محدود کننده تولید در سامانه‌های کشاورزی و به‌ویژه کشور ایران است و همواره بخشی از خلأ عملکرد در هر کشور به دلیل بروز تنش‌های خشکی است (محمودی و همکاران، ۱۳۹۵). از طرفی با توجه به وقوع خشکسالی‌های متوالی در سال‌های گذشته و اثرات نامطلوبی که بر میزان تولید محصولات کشاورزی بر جای گذاشته است، بایستی استفاده اصولی از کلیه منابع آب موجود و در دسترس و ارتقای بهره‌وری آب در بخش کشاورزی (با مصرف بیش از ۹۰ درصد از منابع آب) با هدف تقلیل اثرات زیان‌بار خشکسالی مورد توجه قرار گیرد (جمالی و انصاری، ۱۳۹۸ الف؛ توپاک^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). از این رو در این پژوهش به بررسی روش‌هایی برای بهبود در بهره‌وری مصرف آب و کاهش اثرات منفی تنش‌های محیطی (مانند تنش خشکی) پرداخته شده است. در ذیل برخی از پژوهش‌هایی که در این زمینه انجام شده، ارائه شده است.

در پژوهشی که بر روی گیاه همیشه بهار رقم Gianta انجام شد، نتایج نشان داد که آبیاری پس از تخلیه رطوبت قابل دسترس خاک به میزان ۶۰ و ۸۵ درصد منجر به بهبود در کارایی مصرف آب به میزان ۱۳/۰ و ۷/۰ درصد شد (زرین‌آبادی^۲ و همکاران، ۲۰۱۹ الف). نتایج پژوهش خسروی‌شکیب و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که آبیاری به میزان ۶۰ و ۴۰ درصد آب قابل دسترس در گیاه همیشه بهار منجر به تغییراتی در تعداد گل (به ترتیب ۱۲/۵- و ۲۸/۱- درصد)، وزن خشک اندام هوایی (به ترتیب ۱۵/۲- و ۲۷/۵- درصد)، وزن خشک ریشه (۱۷/۳+ و ۰/۰ درصد) و کارایی مصرف آب (به ترتیب ۵۴/۴+ و ۱۰/۶+ درصد) شد (لازم به

ذکر است که +، - و صفر به ترتیب بیانگر افزایش، کاهش و بدون تغییر بودن صفت نسبت به تیمار شاهد است). ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۶) به منظور بررسی اثر تنش خشکی بر روی گیاه همیشه بهار نشان دادند که اعمال تنش خشکی متوسط و شدید منجر به کاهش وزن خشک گیاه به میزان ۹/۴ و ۴۶/۲ درصد شد. همچنین اعمال تنش شدید و متوسط در طول دوره رشد منجر به کاهش عملکرد گل شده است. در پژوهشی دیگر اثر دوره‌های مختلف آبیاری (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ روز) بر روی گیاه همیشه بهار مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج نشان داد که اعمال آبیاری در دوره‌های آبیاری ۱۰، ۱۵ و ۲۰ روز نسبت به تیمار شاهد پنج روز منجر به تغییراتی در وزن خشک گل به میزان ۰/۸+، ۲۱/۶- و ۴۴/۹- درصد شد (لازم به ذکر است که علائم + و - به ترتیب بیانگر افزایش و کاهش صفت نسبت به تیمار شاهد است) (پیرمانی و همکاران، ۱۳۹۸). مولایی و همکاران (۱۳۹۶) اثر رژیم‌های مختلف آبیاری (۱۰۰، ۶۶ و ۳۳ درصد نیاز آبی) را بر روی گیاه همیشه بهار مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که اعمال تنش خشکی منجر به کاهش معنی‌دار در ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی و تعداد گل در سطح احتمال ۵ درصد می‌شود. نتایج پژوهش پورقاسمیان و مرادی (۱۳۹۶) حاکی از اثر منفی و معنی‌دار سطوح مختلف تنش خشکی بر وزن تر و خشک گیاه و ارتفاع است. در پژوهشی دیگر اثر سطوح مختلف کم‌آبیاری بر گیاه همیشه بهار مورد بررسی قرار گرفته و نتایج نشان‌دهنده اثر منفی این تنش بر ارتفاع و عملکرد گل شد (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۲). بهرام‌پور و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند که افزایش تنش آبی بر روی گیاه همیشه بهار اثر منفی و معنی‌دار داشته، به‌طوری‌که افزایش تنش منجر به کاهش ارتفاع، تعداد برگ و وزن تر و خشک اندام هوایی شد.

در پژوهشی صفات تعداد گل، تعداد برگ و سطح برگ گیاه همیشه بهار در اثر استفاده از آب مغناطیسی در آبیاری این گیاه در سطح احتمال یک درصد و وزن تر و

خشک برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد (قناویزچی و همکاران، ۱۳). از آب مغناطیسی در آبیاری گیاه همیشه بهار توسط حسن (۲۰۱۴) استفاده شده و اعمال آب مغناطیسی در آبیاری این گیاه بر روی طول برگ، وزن خشک ریشه، طول و قطر ریشه اثر مثبت و معنی دار در سطح احتمال پنج درصد داشت. استفاده از آب مغناطیسی برای آبیاری گیاه همیشه بهار نشان داد که اعمال میدان‌های مغناطیسی (۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ گاوس) بر روی وزن تر و خشک اندام هوایی، ارتفاع، تعداد برگ، تعداد گل و قطر گل اثری مثبت و معنی دار در سطح احتمال پنج درصد داشته است (سافانا^۱، ۲۰۱۷). با توجه به خشکسالی‌های اخیر و منابع آب شیرین محدود در کشور، نیاز به تکنیک‌هایی برای استفاده حداکثری از آب در دسترس حس می‌شود که از این روش‌ها برای به حداکثر رساندن بهره‌وری مصرف آب می‌توان به کم‌آبیاری اشاره کرد. از طرفی مغناطیس کردن آب نیز به عنوان روشی برای کاهش اثر منفی کم‌آبیاری در این پژوهش مورد استفاده قرار خواهد گرفت. از آنجایی که گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) جهت اهداف داروسازی و مصارف صنایع غذایی استفاده می‌شود، کشت این گیاه از لحاظ اقتصادی به دلیل اهمیت آن در مصارف دارویی دارای اهمیت است. از این رو پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر آبیاری با آب معمولی و مغناطیس شده بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی همیشه بهار (که دارای خواص دارویی بسیار ارزشمندی است) در شرایط تنش خشکی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گل همیشه بهار (رقم Gitana) در شرایط استفاده از آب مغناطیسی پژوهشی به صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی

در شرایط گلخانه‌ای با سه تکرار در گلدان (با ارتفاع ۲۰ و قطر ۱۵ سانتی‌متری) در تابستان ۱۳۹۸ در دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. گلخانه مذکور دارای موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی، ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۹۵۸ متر ارتفاع از سطح دریا اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش شامل چهار سطح آبیاری (۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی) و دو نوع آب (آب معمولی و آب مغناطیسی ۰/۶ تسلا) بود. لازم به ذکر است که در خرداد ۱۳۹۸ برای برآورد صحت اندازه‌گیری رطوبت با دستگاه مورد استفاده در این پژوهش آزمایشی در گلخانه مذکور با شش گلدان (با ابعاد ۱۵ سانتی‌متر قطر و ۲۰ سانتی‌متر ارتفاع) که از خاک مورد استفاده در این پژوهش پر شده بود، اجرا شد (قبل از انجام آزمایش کل خاک مورد استفاده در آزمایش در آن و در دمای ۱۰۵ درجه و به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید). در این پژوهش به مدت یک ماه از سه نقطه (که با لوله‌هایی که به صورت مثلی در گلدان تعبیه شده بود) در هر تکرار داده‌برداری با استفاده از دستگاه TDR مذکور انجام شد. لازم به ذکر است که گلدان‌های مورد استفاده جهت تعیین رطوبت خاک با استفاده از فویل آلومینیومی پوشیده شده بود. در انتها میانگین سه برداشت به عنوان داده هر یک از گلدان‌ها در هر بار داده‌برداری یادداشت شد. برای کنترل دقت دستگاه مذکور در بافت سیلتی رسی از روش وزنی استفاده کرده و برای اندازه‌گیری رطوبت وزنی نمونه‌ها در هر روز، گلدان‌ها توزین و تغییرات میزان آب خاک گلدان‌ها، اندازه گرفته شد. برای این منظور، با توجه به کاهش رطوبت گلدان‌ها به صورت هوا خشک و تا زمان رسیدن وزن گلدان به میزانی که آب در حد تخلیه مجاز رطوبتی^۲ برای گیاه همیشه بهار (MAD^3) در آن وجود داشت، گلدان‌ها توزین شدند (زرین‌آبادی و همکاران، ۲۰۱۹ ب). در تاریخ ۱۵ تیر ۱۳۹۸ نشاهای گل همیشه بهار به گلدان‌های مذکور منتقل شده و در هر گلدان تراکم بوته

^۲ -Maximum allowable depletion

^۱ -Safana

^۲ -که از قبل این عدد برابر با ۳/۳ کیلوگرم برای گلدان‌های مورد استفاده به دست آمده بود.

یک گیاهچه بوده و تا زمان استقرار کامل گیاهان در خاک آبیاری با آب چاه و به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی انجام شد. لازم به ذکر است که مراحل فنولوژیکی گیاه در این مطالعه که شامل سبز شدن، پنجه دهی و تشکیل ساقه، گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی بود، به ترتیب ۷، ۴۵، ۸۵ و ۱۱۸ روز پس از کشت بود. در تاریخ ۲۵ تیر ۱۳۹۸ تیمارهای آبیاری بر روی گیاهان اعمال شد. برای تعیین میزان آب آبیاری در این طرح از روش وزنی استفاده (خراسانی‌نژاد^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). پس از مشخص شدن درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی مزرعه، میزان رطوبت موجود در خاک برای اعمال تیمارهای رطوبتی مختلف مشخص شده و با قرائت روزانه دستگاه TDR^۲ زمان آبیاری تعیین شد (جدول ۱) (جمالی و همکاران، ۱۳۹۸ ب). برای اعمال میدان مغناطیسی از دستگاهی که در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد ساخته شده بود، استفاده شده است. جهت ساخت دستگاه مغناطیس کننده سیالات از دو قطعه آهنربای مکعبی با ابعاد ۱۰۰*۵۰*۴۰ میلی‌متر با قدرت اسمی ۱/۴ تسلا (که میدان مغناطیسی با قدرت واقعی ۰/۶ تسلا را تولید می‌کند) استفاده شد. بدین‌صورت که دو قطعه آهنربا به کمک دو پایه نگهدارنده از جنس پلاستیک فشرده و یک

ریل جهت جا به جایی آهنربا در داخل یک جعبه چوبی نصب گردید (متانت، ۱۳۹۷؛ جمالی و همکاران، ۱۴۰۰). سامانه مذکور دارای دو منبع بوده که یکی برای آب ورودی و دیگری برای آب پس از عبور از میدان مغناطیسی است که با پمپ آب عبوری از دستگاه به درون این منبع منتقل شده و با شیر خروجی که در این منبع تعبیه شده است، آب مغناطیسی مرتبط با هر یک از تیمارهای مورد بررسی قابل برداشت بود (شکل ۱). منبع تولید میدان مغناطیسی مورد استفاده در این سامانه دارای ضامن بوده و برای شدت میدان‌های مختلف قابل تنظیم است، در این پژوهش تنها از حداکثر میدان تولیدشده توسط دستگاه (۰/۶ تسلا) استفاده شد. خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در این پژوهش در جدول (۲) ارائه شده است. در مرحله داشت برای مقابله با آفت شته و مگس سفید پنج مرحله سم‌پاشی با سموم دورسبان و کنفیدور به‌صورت دوره‌ای و با غلظت یک در هزار حجمی انجام شد. در این مرحله برای مقابله با علف‌های هرز طی دو مرحله و به‌صورت مکانیکی علف‌های هرز برداشت شد، همچنین در این پژوهش طی سه مرحله کود دهی با کود NPK با نسبت‌های ۲۰:۲۰:۲۰ اعمال شد.



شکل ۱- شماتیک سامانه مورد استفاده جهت مغناطیسی کردن آب (متانت، ۱۳۹۷)



^۲- دستگاه مورد استفاده ساخت شرکت Lutron تایوان بوده دارای یک سنسور است

^۱-Khorasaninejad

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	شن	سیلت	رس	چگالی ظاهری	ظرفیت زراعی	هدایت الکتریکی	pH
	%	%		gcm^{-3}	%	dSM^{-1}	
سیلتی رسی	۸	۵۰	۴۲	۱/۴۷	۳۸/۲	۱/۲۵	۷/۸۵

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده

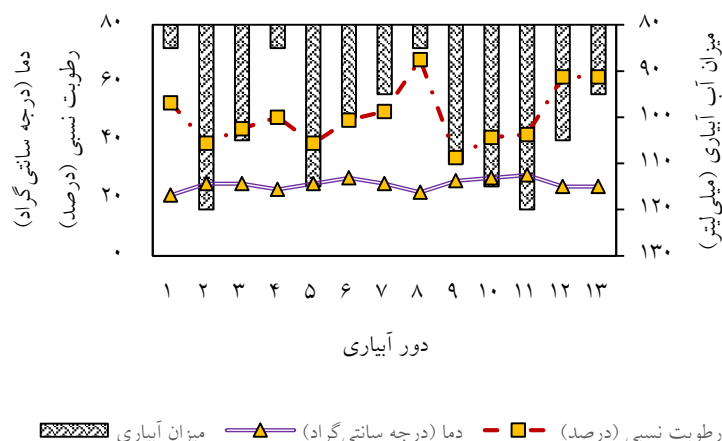
ترکیبات شیمیایی									
کیفیت آب	SAR	Cl	Na	K	Ca	Mg	SO ₄	HCO ₃	EC ₂₅
		(meq/L)	(meq/L)	(meq/L)	(meq/L)	(meq/L)	(meq/L)	(meq/L)	(dS/m)
آب چاه	۲/۷۱	۱	۰/۲۷	۰/۴۸	۴/۴	۲/۸	۰/۷	۷	۱/۲۳
									pH
									۸/۲

در جدول ۳ میزان آب آبیاری در هر یک از تیمارهای مورد بررسی در کل دوره رشدی گیاه ارائه شده است. دمای هوا، رطوبت نسبی گلخانه و میزان آب آبیاری در هر دوره در شکل (۲) ارائه شده است. تاریخ ۲۰ شهریور ۱۳۹۸ گیاهان کف‌بری شده و صفاتی نظیر وزن خشک شاخه جانبی، برگ، ساقه، گل و ریشه؛ ارتفاع، تعداد گل، شاخه جانبی و برگ برداشت شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک قسمت‌های مختلف گیاهی را در پاکت‌های مخصوص قرار داده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته از خط‌کش استفاده شد. بهره‌وری مصرف آب نیز با استفاده از رابطه‌ی (۱) محاسبه شد. پس از تعیین عملکرد برای تعیین تابع تولید از توابع تولید خطی، درجه دوم و لگاریتمی (روابط ۲-۴) استفاده شد؛ که در آن Y بیانگر عملکرد در واحد سطح (Kg m^{-2}) و I میزان آب مصرفی (میلی‌لیتر) است. برای ارزیابی توابع مذکور و تعیین تابع تولید بهینه از شاخص‌های آماری EF ، ME ، CRM ، R^2 ، $RMSE$ و EF

استفاده شد (روابط ۵-۹) (جمالی و همکاران، ۱۳۹۸ ب؛ پیری، ۱۳۹۶؛ علیزاده و عباسی، ۱۳۹۵) که در آن $\bar{Y}_1$ مقادیر عملکرد محاسبه‌شده، $\bar{Y}$ عملکرد متوسط، $\bar{A}$ متوسط آب مصرفی و n تعداد مشاهدات است. پس از به‌دست آوردن توابع تولید برای ارزیابی هر یک از آن‌ها از شاخص‌های آماری ME ، EF ، CRM ، R^2 استفاده شد. هر یک از توابع تولید مورد استفاده به‌صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته و برای هر مشخصه آماری رتبه در نظر گرفته شد، به‌طوری‌که برای CRM ، $RMSE$ و ME مقادیر کمتر رتبه یک و به‌ترتیب مقادیر بیشتر رتبه‌های بالاتر را اخذ کردند، ولی در مشخصه‌های EF و R^2 توابعی که دارای بیشترین مقادیر بودند رتبه یک و به‌ترتیب مقادیر کمتر رتبه‌های دیگر را به خود اختصاص دادند. تجزیه و تحلیل داده‌ها (تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش LSD) با استفاده از نسخه ۹/۴ نرم‌افزار SAS و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel و Minitab 19 انجام شد.

جدول ۳- میزان آب مورد استفاده تیمارهای مختلف در کل دوره رشدی گیاه

تیمار	۰/۵۵ FC	۰/۷ FC	۰/۸۵ FC	FC
میزان آب آبیاری (میلی‌لیتر)	۷۳۴	۹۳۵	۱۱۳۵	۱۳۳۵



شکل ۲- تغییرات دما، رطوبت نسبی و میزان آب آبیاری در طول دوره رشد گیاه همیشه بهار در شرایط گلخانه‌ای

رسی، ضریب تبیین 0.82 است. مطابق با شکل (۳) در بافت سیلتی رسی رطوبت اندازه‌گیری شده با استفاده از TDR در تمامی محدوده رطوبتی اندازه‌گیری شده نسبت به روش حجمی دارای میزان بیشتری در شرایط آبیاری با آب چاه است. در این بافت خاک و در شرایط آبیاری با آب چاه در برخی از نقاط مقادیر اندازه‌گیری شده توسط دستگاه رطوبت 50% درصدی را نشان می‌دهد که دلیل آن می‌تواند اندازه‌گیری پس از زمان آبیاری و در روز آبیاری باشد. بر اساس جدول تجزیه واریانس صفات رشدی و عملکردی گیاه همیشه بهار تحت سطوح مختلف آبیاری و استفاده از آب مغناطیسی نشان داد که سطوح مختلف آبیاری بر تمامی صفات (به جز بهره‌وری فیزیکی آب که در سطح پنج درصد معنی‌دار شده بود) در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار شد (جدول ۴). همچنین نتایج مطابق جدول (۴) نشان داد که آب مغناطیسی نیز بر وزن خشک شاخه جانبی و گل؛ تعداد گل و بهره‌وری فیزیکی آب در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) و بر وزن خشک ساقه گلدار و برگ؛ تعداد برگ و شاخه جانبی در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$) معنی‌دار شد. اثر متقابل تیمارهای مورد بررسی نیز بر تعداد برگ در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) و بر وزن خشک ریشه، گل و ساقه گلدار در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$) معنی‌دار شد (جدول ۴).

$$\text{عملکرد} = \frac{\text{بهره‌وری فیزیکی مصرف آب}}{\text{میزان آب مصرفی}} \quad (1)$$

$$Y = a_0 + a_1 I \quad (2)$$

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 \quad (3)$$

$$Y = a_0 + a_1 \ln(I) \quad (4)$$

$$nRMSE = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \left(\frac{100}{\bar{Y}} \right) \quad (5)$$

$$ME = \max |Y_i - \hat{Y}_i| \quad (6)$$

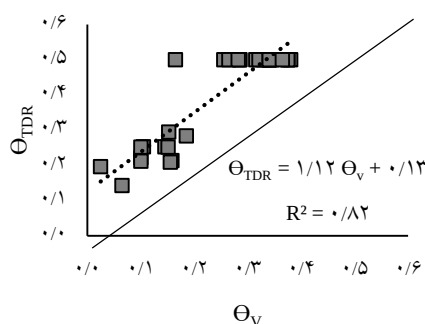
$$CRM = \frac{\sum Y_i - \sum \hat{Y}_i}{\sum Y_i} \quad (7)$$

$$R^2 = \frac{(\sum (1 - \bar{I})(Y - \bar{Y}))^2}{\sum (1 - \bar{I})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2} \quad (8)$$

$$EF = \frac{\sum Y_i - \sum \hat{Y}_i}{\sum Y_i} \quad (9)$$

نتایج و بحث

در شکل ۳ مقادیر رطوبت به روش حجمی و دستگاه TDR اندازه‌گیری شده برای بافت خاک سیلتی رسی در شرایط آبیاری با آب چاه نشان داده شده است. برای تعیین همسانی بین روش حجمی و استفاده از TDR مطابق شکل (۳) مقادیر رطوبت حجمی در مقابل رطوبت اندازه‌گیری شده با استفاده از دستگاه مذکور ترسیم شده و برای بیان تغییرات واریانس مقادیر محاسبه شده با دستگاه و روش حجمی از ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. شکل (۲) نشان می‌دهد که میزان انحراف از خط ۱:۱ و مقادیر اندازه‌گیری شده بین دو روش در خاک با بافت سیلتی



شکل ۳- مقایسه بین رطوبت با استفاده از TDR در مقابل روش حجمی برای بافت سیلتی رسی

مطابق جدول (۵) که بیانگر مقایسه میانگین‌های صفات ساده کم‌آبیاری و آب مغناطیسی بر روی صفات است، بیشترین میزان وزن خشک برگ و ساقه گلدار، تعداد گل، تعداد برگ و شاخه جانبی، ارتفاع و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب در تیمار آبیاری به میزان ظرفیت زراعی و به ترتیب با ۱/۷۷ و ۰/۳۷ گرم در بوته، هفت و شش عدد، ۱۸/۴ سانتی‌متر و ۰/۱۸۶ کیلوگرم در متر مکعب مشاهده شد. همچنین بر اساس نتایج جدول (۵) کمترین میزان از صفات وزن خشک برگ و ساقه گلدار، تعداد گل، تعداد برگ و شاخه جانبی، ارتفاع و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب نیز به ترتیب با ۰/۶۷ و ۰/۱۹ گرم در بوته، ۳/۲ و ۲/۸ عدد، ۱۵/۷ سانتی‌متر و ۰/۱۴۱ کیلوگرم در متر مکعب در تیمار ۰/۵۵ ظرفیت زراعی مشاهده شد. کاهش ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصدی میزان آب آبیاری منجر به کاهش در صفت وزن خشک برگ (به ترتیب با ۲۸/۸، ۵۰/۸ و ۶۲/۱ درصد)، وزن خشک ساقه گلدار (به ترتیب با ۱۰/۸، ۳۵/۱ و ۴۸/۶ درصد)، تعداد گل (به ترتیب با ۲۵/۷، ۳۲/۸ و ۵۴/۳ درصد)، تعداد شاخه جانبی (به ترتیب با ۱۳/۳، ۲۸/۳ و ۵۳/۳ درصد)، ارتفاع (به ترتیب با ۳/۸، ۱۱/۴ و ۱۴/۷ درصد) و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب (به ترتیب با ۱۸/۸، ۲۱/۵ و ۲۴/۲ درصد) شد. بر اساس جدول (۵) در صفت وزن خشک ساقه بین تیمارهای آبیاری به میزان ظرفیت زراعی و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی، در صفت تعداد گل بین تیمارهای آبیاری به میزان ۸۵ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، در صفت ارتفاع بین تیمارهای آبیاری به میزان ظرفیت زراعی و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی و بین تیمارهای ۷۰ و

۵۵ درصد ظرفیت زراعی و در صفت بهره‌وری فیزیکی مصرف آب بین تیمارهای ۸۵ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD در مقایسه میانگین‌ها تفاوتی مشاهده نشد. استفاده از آب مغناطیسی در آبیاری گل همیشه بهار سبب افزایش در صفات وزن خشک برگ و ساقه؛ تعداد گل و شاخه جانبی و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب به میزان ۱۹/۲، ۱۵/۴، ۳۸/۱، ۱۵/۸ و ۳۸/۴ درصد شد. بر اساس نتایج شکل (۴) بیشترین میزان از وزن خشک گل، ریشه و شاخه جانبی به ترتیب با ۰/۲۹، ۰/۵ و ۰/۷۴ گرم در بوته در تیمار آب مغناطیسی + آبیاری به میزان ظرفیت زراعی مشاهده شد؛ همچنین کمترین میزان از این صفات نیز به ترتیب با ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۲۶ گرم در بوته در تیمارهای آب معمولی + آبیاری به میزان ۰/۵۵ ظرفیت زراعی، آب مغناطیسی + آبیاری به میزان ۰/۵۵ ظرفیت زراعی و آب معمولی + آبیاری به میزان ۰/۵۵ ظرفیت زراعی مشاهده شد. نتایج نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی در شرایط اعمال تنش آبی منجر به کاهش اثر منفی کم‌آبیاری شد که دلیل آن می‌تواند بهبود در جذب آب توسط ریشه به دلیل انحلال بهتر املاح در آب باشد. بر اساس نتایج شکل (۵) بیشترین و کمترین میزان از تعداد برگ به ترتیب با ۲۶/۳ و ۱۰ عدد در تیمارهای آب مغناطیسی + آبیاری به میزان ظرفیت زراعی و آب معمولی + آبیاری به میزان ۰/۵۵ ظرفیت زراعی مشاهده شد (لازم به ذکر است که اعداد میانگین سه تکرار است).

نتایج تخمین توابع تولید عملکرد- آب مصرفی به صورت توابع خطی، درجه دو و لگاریتمی در شکل (۶)

ارائه شده است. بر اساس نتایج جدول (۶)، رابطه خطی ساده بهترین برازش را به میزان آب مصرفی و عملکرد کل گیاه همیشه بهار نشان داده است و پس از آن استفاده از تابع لگاریتمی بهترین تابع است. نتایج این پژوهش با نتایج جمالی و همکاران (۱۳۹۸ ب) بر روی کینوا، یزدانی و همکاران (۱۳۹۳) بر روی کلزا و جورونی و همکاران (۱۳۹۶) بر روی ذرت مطابقت داشت. در شرایط اعمال کم‌آبیاری و استفاده از میدان‌های مغناطیسی جهت آبیاری این گیاه تابع $Y = -1.32 + 0.0034 I + 0.601 MW$ بهترین برازش را بر روی داده‌ها نشان داده است. با توجه به شکل (۷) با افزایش میزان آب آبیاری عملکرد کل افزایش یافته است. شکل (۷) نشانگر این است که در شرایط اعمال کم‌آبیاری در صورت استفاده از آب مغناطیسی بر میزان عملکرد کل افزوده می‌شود، یا به عبارت دیگر در شرایط کم‌آبیاری استفاده از میدان‌های مغناطیسی از اثر منفی این تنش می‌کاهد. در شرایط آبیاری کامل استفاده از میدان‌های مغناطیسی (۰/۲ و ۰/۴ تسلا) شیب صعودی تغییرات

عملکرد نسبت به میدان ۰/۶ تسلا کمتر است. نتایج نشان داد کاهش فراهمی آب و مواد غذایی برای جذب توسط ریشه گیاه در شرایط کاهش میزان آب آبیاری، خود عاملی برای کاهش در صفت عملکرد گل بوده است و از طرفی کاهش تعداد گل در این شرایط خود عاملی مضاعف بر کاهش عملکرد گل است، البته لازم به ذکر است که اعمال میدان‌های مغناطیسی سبب کاهش اثر منفی کم‌آبیاری بر روی عملکرد و تعداد گل همیشه بهار شده و در شرایط اعمال تنش عملکرد گل را بهبود بخشیده است. در شرایط اعمال تنش‌های آبی گیاه، یک سازش مورفولوژیکی برای اجتناب از خشکی، انتشار مجدد مواد غذایی در گیاه و کاهش تعرق انجام داده و با انباشتگی میزان اتیلن در برگ از سطح برگ خود کاسته تا کمبود آب موجود تعدیل شود (برگ‌های مسن‌تر به دلیل انباشتگی اتیلن خشک می‌شود) و در پی آن از تعرق گیاه نیز کاسته می‌شود (پورقاسمیان و مرادی، ۱۳۹۶؛ دول و وینکس^۱، ۲۰۰۵).

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات رشدی و عملکردی گیاه همیشه بهار

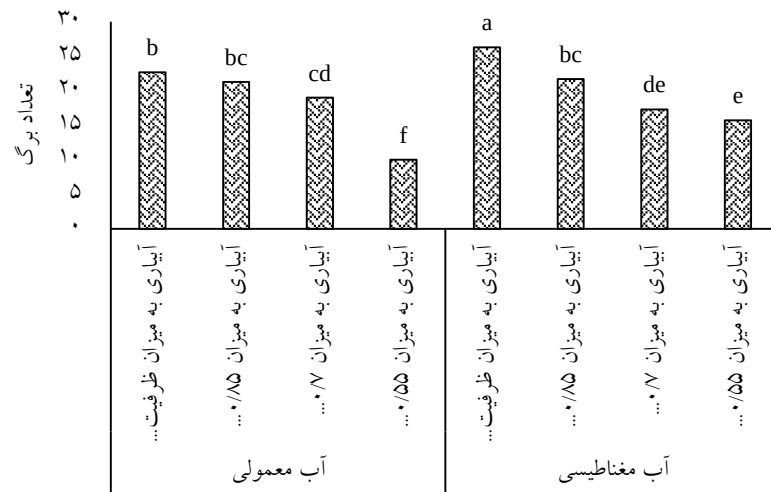
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		وزن خشک شاخه جانبی	وزن خشک برگ	وزن خشک ریشه	وزن خشک ساقه	وزن خشک گل	تعداد شاخه جانبی	تعداد برگ	ارتفاع
کم آبیاری	۳	۰/۱۷ **	۱/۴۳ **	۰/۰۵ **	۰/۰۳۹ **	۰/۰۲۳ **	۱۵ **	۱۰/۹ **	۹ **
آب مغناطیسی	۱	۰/۰۵ **	۰/۲۳ *	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۹ *	۰/۰۱۸ **	۱۶/۷ **	۲/۶۷ *	۰/۱۵ ns
کم آبیاری × آب مغناطیسی	۳	۰/۰۱ *	۰/۰۶ ns	۰/۰۱ *	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۱۵ *	۱/۴ ns	۰/۵۶ ns	۰/۵۸ ns
خطا	۱۶	۰/۰۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۴	۰/۵	۰/۴۲	۰/۳۳
ضریب تغییرات		۱۰/۵	۱۴/۸	۱۵/۴	۱۳/۸	۱۲/۳	۱۴/۱	۸/۸	۳/۴

**، * و ns به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی داری است

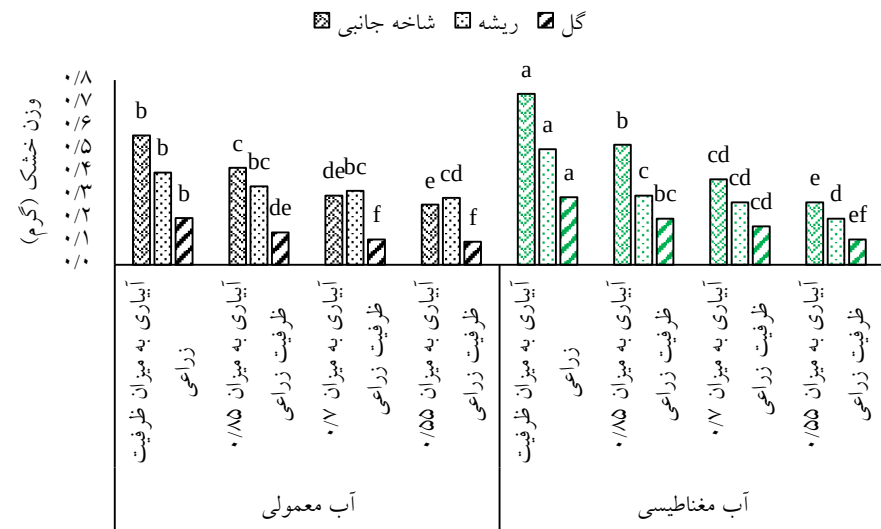
جدول ۵- تغییرات صفات رشدی و عملکردی گیاه همیشه بهار تحت تیمارهای مورد بررسی

ترکیبات تیماری	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	تعداد گل ها	تعداد شاخه جانبی	ارتفاع	بهره وری فیزیکی آب
	گرم در بوته		-	سانتی متر	کیلو گرم در متر مکعب	
آبیاری به میزان ظرفیت زراعی	۱/۷۷ a	۰/۳۷ a	۷ a	۶ a	۱۸/۴ a	۰/۱۸۶ a
آبیاری به میزان ۰/۸۵ ظرفیت زراعی	۱/۲۶ b	۰/۳۳ a	۵/۲ b	۵/۲ b	۱۷/۷ a	۰/۱۵۱ b
آبیاری به میزان ۰/۷ ظرفیت زراعی	۰/۸۷ c	۰/۲۴ b	۴/۷ b	۴/۳ c	۱۶/۳ b	۰/۱۴۶ b
آبیاری به میزان ۰/۵۵ ظرفیت زراعی	۰/۶۷ d	۰/۱۹ c	۳/۲ c	۲/۸ d	۱۵/۷ b	۰/۱۴۱ b
LSD (۰/۰۵)	۰/۲۱	۰/۰۵	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۰۲
آب معمولی	۱/۰۴ b	۰/۲۶ b	۴/۲ b	۴/۹۲ a	۱۶/۹ a	۰/۱۳ b
آب مغناطیسی	۱/۲۴ a	۰/۳ a	۵/۸ a	۴/۲۵ b	۱۷/۱ a	۰/۱۸ a
LSD (۰/۰۵)	۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۶	۰/۵۶	۰/۵	۰/۰۲

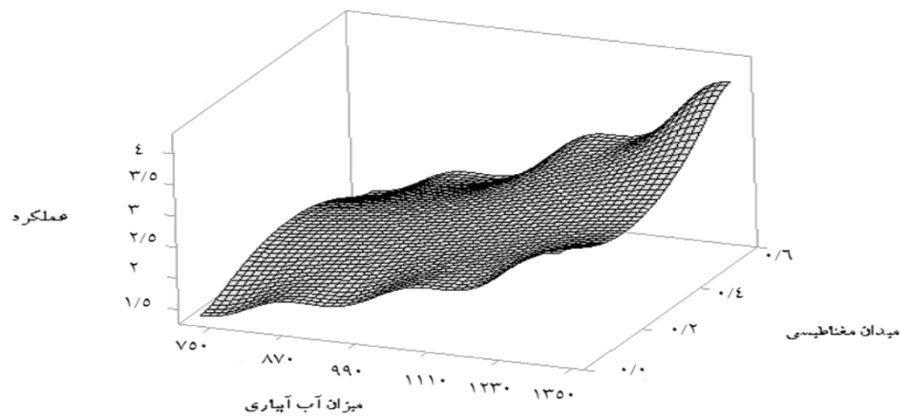
حروف مشترک در ستون ها بیانگر عدم معنی داری در مقایسه میانگین ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است



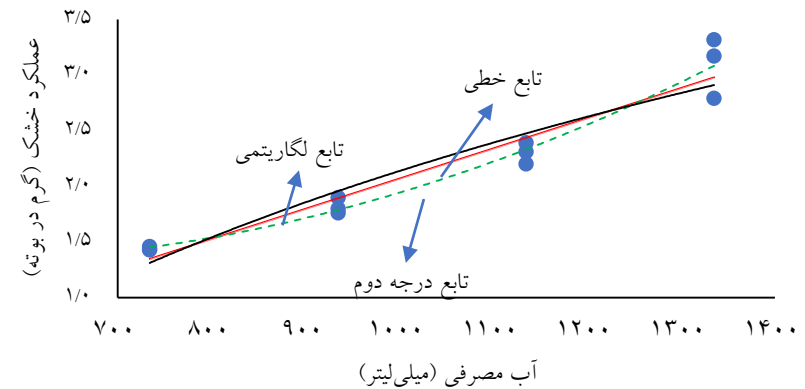
شکل ۵- تغییرات تعداد برگ همیشه بهار در شرایط اعمال تنش آبی و آب مغناطیسی



شکل ۴- تغییرات وزن خشک گل، ریشه و شاخه جانبی گل همیشه بهار در شرایط اعمال تنش آبی و آب مغناطیسی



شکل ۷- تغییرات عملکرد کل نسبت به میزان آب آبیاری و میدان مغناطیسی



شکل ۶- تعیین تابع آب مصرفی-عملکرد گیاه همیشه بهار تحت تنش‌های آبی

همکاران، ۲۰۰۱). کاهش رشد و توسعه سلول‌های ساقه و برگ سبب محدود شدن اندازه اندام و کوچک شدن آن می‌شود که از اولین علائم کمبود آب در گیاهان است و در پی آن شرایط کم‌آبی نسبت به آبیاری کامل گیاهان کوتاه‌تری تولید می‌شود. هزین و عبدالقدوس (۲۰۱۰) معتقدند که استفاده از آب مغناطیسی در آبیاری، هورمون سیتوکینین (به‌عنوان هورمونی برای تقسیم سلولی) را افزایش داده و بهبود در رشد ساقه را به همراه دارد، در این مطالعه نیز استفاده از آب مغناطیسی در شرایط تنش منجر به کاهش اثر منفی آن شده و ارتفاع گیاهان تحت این تیمار نسبت به آب معمولی در شرایط تنش، بهبود یافته است. در شرایط کم‌آبیاری علاوه بر کاهش مواد فتوسنتزی در دسترس اندام هوایی می‌توان کاهش جذب مواد غذایی را نیز از دلایل کاهش ارتفاع و سطح برگ (کاهش اندازه برگ منجر به کاهش تولید شیره پرورده حاصل از فعالیت‌های فتوسنتزی می‌شود) دانست که متعاقب آن عملکرد تر و خشک اندام هوایی را به‌همراه دارد (امیدبگی، ۲۰۰۳؛ عزوز و یوسف^{۱۴}، ۲۰۱۰).

جدول ۶- ارزیابی شاخصه‌های آماری توابع تولید عملکرد-آب مصرفی مختلف

مجموع رتبه‌بندی	شاخص آماری					تابع تولید
	EF	R ²	CRM	ME	nRMSE	
۸	(۲) ۰/۹۲	(۲) ۰/۹۳	(۲) ۰/۰۰۷	(۱) ۰/۱۲	(۱) ۶/۱	خطی $Y = ۰/۰۰۳ I - ۰/۶۴۵$
۱۳	(۳) -۱/۹۵	(۱) ۰/۹۶	(۳) -۰/۲۳	(۳) ۰/۲۸	(۳) ۲۵/۵۷	درجه دوم $Y = ۰/۰۰۰۰۳ I^2 - ۰/۰۰۳ I + ۱/۹۹۱$
۹	(۱) ۰/۹۶	(۳) ۰/۹۰	(۱) ۰/۰۰۰۰۳	(۲) ۰/۱۵	(۲) ۹/۲۹	لگاریتمی $Y = ۲/۶۷ \ln(I) - ۱۶/۳۲۴$

اعداد درون پرانتز بیانگر رتبه شاخص آماری در تابع تولید مدنظر است

پس از کاهش سطح برگ از مواد فرآوری شده در اثر فتوسنتز در گیاه کاسته شده و در این شرایط از میزان عملکرد و ماده خشک اندام‌های مختلف گیاه نیز کاسته می‌شود (سارکر^{۱۵} و همکاران، ۲۰۰۵). کاهش در سطح برگ و سطح فتوسنتز کننده گیاه عاملی برای کاهش شیره پرورده تولیدی مورد نیاز برای حصول عملکرد حداکثری در گیاه است، به‌طوری‌که کاهش تعداد برگ و تعداد شاخه‌های جانبی را به همراه دارد. کاهش در تعداد شاخه جانبی تأثیر منفی بر عملکرد گل دارد، چرا که با کاهش شاخه‌های فرعی تعداد گل و در نتیجه عملکرد گل کاهش می‌یابد. تنش آبی (به‌عنوان یک عامل بازدارنده در رشد) تولید بیشتر آبسزیک اسید را به همراه داشته که کاهش رشد اندام‌های گیاهی را به همراه دارد (بهرام‌پور و همکاران، ۱۳۹۸)، علاوه بر آن کاهش جذب آب و به‌تبع آن آماس سلولی در بافت‌های مختلف گیاه را به همراه داشته که خود عاملی برای کاهش توسعه سلولی و تولید متابولیت‌های لازم برای تقسیم سلولی در گیاه است (فاروق^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۹؛ اسکالیا^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۹؛ هامرونی^{۱۳} و

میرستمی، افزایش جذب و آسیمیلایون عناصر غذایی، بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی و سبب صعود کاپیلاری در مکانیسم انتقال مواد در بافت‌های زنده می‌شود. افزایش ماده خشک گیاهی در راستای افزایش ارتفاع، سطح برگ و قطر ساقه گیاه بوده که با اعمال آب مغناطیسی که خود منجر به افزایش میزان آب در دسترس گیاه، آماس سلولی و بهبود در تقسیم سلولی

مجد و شیرنگی (۲۰۰۹) نیز معتقدند که گیاهان تیمار شده با آب مغناطیسی به دلیل تبادل گازی راحت‌تر نسبت به آب غیرمغناطیسی، آوندهای چوبی و آبکشی رشد و نمو بیشتری داشته و سلول‌های پارانشیم و اتافک زیر روزنه بزرگ‌تری دارند. همچنین ایشان اظهار کردند که میدان مغناطیسی مناسب، باعث تأثیر بر متابولیسم سلول‌های

^{۱۳} -Hamrouni

^{۱۴} -Azooz and Yousswf

^{۱۵} -Sarker

^{۱۱} -Farooq

^{۱۲} -Scalia

می‌شود، اتفاق می‌افتد. افزایش حلالیت آب که با مغناطیس کردن آب منجر و افزایش نظم در آرایش مولکول‌های آب اتفاق می‌افتد که افزایش انحلال کاتیون‌ها و آنیون‌ها را در پی دارد، توسط بلاویسکی (۲۰۰۴) در پژوهشی بیان شده است. افزایش انحلال کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آب مغناطیسی فراهمی مواد غذایی و جذب آن را توسط گیاه افزایش می‌دهد؛ همچنین در اثر مغناطیس کردن آب نمک‌های موجود در آب خنثی شده و از تجمع نمک در ناحیه توسعه ریشه کاسته می‌شود. گیاه در مقایسه با آبیاری با آب معمولی در شرایط آبیاری با آب مغناطیس رشد و نمو بهتری دارد (نیکبخت و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج این پژوهش در راستای پژوهش‌های خسروی شکیب و همکاران (۲۰۱۹)، زرین‌آبادی و همکاران (۲۰۱۹)، الف، العییدی و همکاران (۲۰۱۹) و آنانتارسلوی و همکاران (۲۰۱۹) بر روی همیشه بهار بود.

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان داد که بیشترین میزان وزن خشک برگ و ساقه گلدار، تعداد گل، تعداد برگ و شاخه جانبی، ارتفاع و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب در تیمار آبیاری به میزان ظرفیت زراعی و به ترتیب با ۱/۷۷ و ۰/۳۷ گرم در بوته، هفت و شش عدد، ۱۸/۴ سانتی‌متر و ۰/۱۸۶ کیلوگرم در متر مکعب مشاهده شد. همچنین کاهش ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصدی میزان آب آبیاری سبب کاهش صفت

وزن خشک برگ (۲۸/۸، ۵۰/۸ و ۶۲/۱ درصد)، وزن خشک ساقه گلدار (۱۰/۸، ۳۵/۱ و ۴۸/۶ درصد)، تعداد گل (۲۵/۷، ۳۲/۸ و ۵۴/۳ درصد)، تعداد شاخه جانبی (۱۳/۳، ۲۸/۳ و ۵۳/۳ درصد)، ارتفاع (۳/۸، ۱۱/۴ و ۱۴/۷ درصد) و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب (۱۸/۸، ۲۱/۵ و ۲۴/۲ درصد) شد. رابطه خطی ساده بهترین برازش را بر میزان آب مصرفی و عملکرد کل گیاه همیشه بهار نشان داده و پس از آن استفاده از تابع لگاریتمی بهترین تابع است. همچنین در شرایط اعمال کم‌آبیاری و استفاده از میدان‌های مغناطیسی جهت آبیاری این گیاه تابع $Y = -1.32 + 0.0034 I + 0.601 MW$ بهترین برازش را بر روی داده‌ها داشت. در شرایط کم‌آبیاری استفاده از آب مغناطیسی عبوری از میدان ۰/۶ تسلا از اثر منفی این تنش کاسته است. با توجه به این موضوع که در این پژوهش از حداکثر میدان تولیدی توسط دستگاه مغناطیس کننده سیالات استفاده شده، کاهش میدان مغناطیسی در شرایط آبیاری کامل سبب کم‌شدن اثر مثبت آب مغناطیسی بر روی گیاه شده است. بر اساس نتایج مذکور، اعمال میدان‌های مغناطیسی در شرایط تنش آبی، سبب بهبود در عملکرد گل و بهره‌وری مصرف آب در این گیاه شده و تیمار بهینه جهت آبیاری این گیاه در شرایط کشت گلخانه‌ای و گلدانی تیمار آبیاری مغناطیسی و به میزان FC است. به‌رحال جهت اعمال این تنش‌ها در سطح مزرعه، نیاز به پژوهش‌های بیشتری است و اعمال این تیمارها بر روی این گیاه در منطقه مشهد برای پژوهش‌های آتی توصیه می‌گردد.

فهرست منابع

۱. ابراهیمی م، زمانی غ ر و علیزاده ز، ۱۳۹۶. بررسی صفات کیفی و تحلیل عملکرد گل همیشه بهار طی دوره رشد این گیاه در شرایط تنش خشکی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، جلد ۱۰، شماره ۲، صفحه‌های ۲۹۳ تا ۳۰۶.
۲. بهرام‌پور م، دهستانی اردکانی م، شیرمردی م و غلام‌نژاد ج، ۱۳۹۸. تاثیر بسترهای کشت مختلف و نانوکود پتاسیم بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک همیشه بهار زیر تنش خشکی. علوم و فنون باغبانی ایران، جلد ۲۰، شماره ۱، صفحه‌های ۶۵ تا ۷۸.

۳. پورقاسمیان ن و مرادی ر ا، ۱۳۹۶. بررسی اثر تنش خشکی و آسکوربیک اسید بر برخی پارامترهای رشد و بیوشیمیایی در گیاه همیشه بهار. فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۶، شماره ۱۹، صفحه‌های ۷۷ تا ۸۸.
۴. پیرمانی ا، میرمحمودی ت و یزدان‌ستا س، ۱۳۹۸. تأثیر دور آبیاری و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد، میزان روغن و اسانس گل همیشه بهار. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، جلد ۱۲، شماره ۲، صفحه‌های ۴۴۵ تا ۴۵۷.
۵. پیری ح، ۱۳۹۶. تعیین تابع تولید آب - کود نیتروژن و ارزیابی شاخص‌های تولید پیاز در منطقه زهک سیستان و بلوچستان. مدیریت آب و آبیاری، جلد ۷، شماره ۲، صفحه‌های ۲۸۷ تا ۳۰۳.
۶. جعفرزاده ل، امیدی ح و بستانی ع، ۱۳۹۲. تأثیر تنش خشکی و کود زیستی بر عملکرد گل، رنگریزه‌های فتوسنتزی و محتوی پرولین گیاه دارویی همیشه بهار. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، جلد ۲۹، شماره ۳، صفحه‌های ۶۶۶ تا ۶۸۰.
۷. جمالی ص و انصاری ح، ۱۳۹۸ الف. اثر کیفیت آب و مدیریت آبیاری روی رشد و عملکرد گیاه کینوا. پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۳۳، شماره ۳، صفحه‌های ۳۴۱ تا ۳۵۱.
۸. جمالی ص، گلدانی م و زین‌الدین س م، ۱۳۹۸ ب. بررسی اثر تنش آبی دوره ای بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه کینوا (رقم NSRQC). آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱۳، شماره ۶، صفحه‌های ۱۶۸۷ تا ۱۶۹۷.
۹. جمالی ص، انصاری ح. و صفری‌زاده ثانی، ۱۳۹۹. تأثیر سطوح مختلف آبیاری و آب مغناطیسی بر رشد و عملکرد گیاه دارویی نعنا فلفلی. پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۳۴، شماره ۳، صفحه‌های ۴۳۳ تا ۴۴۷.
۱۰. جورونی ا، عالی‌نژادیان بیدآبادی ا و ملکی ع، ۱۳۹۶. تعیین تابع تولید و پاسخ عملکرد کل ماده خشک و دانه به کم‌آبیاری در گیاه ذرت. مدیریت آب و آبیاری، جلد ۷، شماره ۲، صفحه‌های ۲۴۱ تا ۲۵۶.
۱۱. رستگار س، صادقی لاری ع و سالاری م، ۱۳۹۴. اثر آب مغناطیسی بر جوانه زنی و خصوصیات رشد اولیه بذر گوجه فرنگی. اولین همایش الکترونیکی یافته‌های نوین در محیط زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی، پژوهشگاه انرژی‌های نو و محیط زیست دانشگاه تهران.
۱۲. علی اکبری ا و زند پارسا ش، ۱۳۹۶. تأثیر سطوح مختلف آب آبیاری بر رشد و عملکرد درخت پسته در شهرستان انار استان کرمان. علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۴۰، شماره ۳، صفحه‌های ۱۲۳ تا ۱۳۶.
۱۳. عزیززاده ح ع و عباسی ف، ۱۳۹۵. بهینه‌سازی مصرف آب و کود در کودآبیاری ذرت دانه‌ای. پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۳۰، شماره ۴، صفحه‌های ۴۴۵ تا ۴۵۵.
۱۴. قنایزچی ف، تهرانی‌فرع، کهربائیان م و حلاج‌نیا ا، ۱۳۹۷. بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر برخی پارامترهای مورفولوژیکی گل همیشه بهار تحت تنش شوری آب. ششمین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در علوم کشاورزی، تهران.
۱۵. متانت م، ۱۳۹۷. تأثیر آب مغناطیسی در جهت بهبود آب مصرفی و عملکرد گیاه تربیچه (*Raphanus Sativum*). پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

۱۶. محمودی ق، قنبری ع، راستگو م، قلی‌زاده م و طهماسبی ا، ۱۳۹۵. بررسی اثر میدان مغناطیسی بر رشد و عملکرد نخود (*Cicer arietinum L.*) در شرایط آب و هوایی مشهد. پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۱۴، شماره ۲، صفحه‌های ۳۸۰ تا ۳۹۱.
۱۷. مولایی ر، اعلایی م، ارغوانی م و نیکبخت ج، ۱۳۹۶. اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه همیشه بهار در شرایط اقلیمی زنجان. علوم باغبانی ایران، جلد ۴۸، شماره ۴، صفحه‌های ۹۶۵ تا ۹۷۵.
۱۸. یزدانی و، داوری ک، قهرمان ب و کافی، م، ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد کلزا به صورت تابعی از ارتفاع آب آبیاری و شوری در منطقه مشهد. مهندسی آبیاری و آب ایران، جلد ۵، شماره ۲، صفحه‌های ۳۲ تا ۵۳.
19. Al-Obaid H, Karimian Z, and Tehranifar A, 2019. Application of Superabsorbent and Mulch on Some Traits of African Marigold (*Tagetes erecta*) under Irrigation Intervals. *Journal of Ornamental plants* 9.3: 153-164.
20. Ananthaselvi K, Selvi S T, Subramanian S and Chandrasekhar C N, 2019. Effect of chitosan on growth and yield of African marigold (*Tagetes erecta L.*) under drought-induced stress condition. *International Journal of Chemical Studies* 7.3: 3612-3615.
21. Azooz MM and MM Youssef, 2010. Evaluation of heat shock and salicylic acid treatments as inducers of drought stress tolerance in hassawi wheat. *American Journal of Plant Physiology* 5 (2): 56-70.
22. Belyavskaya NA, 2004. Biological effects due to weak magnetic field on plants. *Advances in Space Research* 34: 1566-1574.
23. Dole JM and Wilkins HF, 2005. Floriculture: Principals and species. Published by Prentice Hall, 595 pp.
24. Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D and Basra SMA, 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms, and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 185-212.
25. Hamrouni I, Salah H and Marzouk B, 2001. Effects of water-deficit on oil of safflower aerial parts. INRST, Laboratoire d'adaptation et d'melioration des Plants, BP 95 2050, Hammam-Lif, Tunisia. 95: 21-52.
26. Hassan AZ, 2014. Effect of magnetized irrigation water with different gaussess on the growth and mucilage percentage on two varieties of *Calendula officinalis L.* *Journal of Biotechnology Research Center* 8(3): 5-10.
27. Hozayn M and Qados AA, 2010. Magnetic water application for improving wheat (*Triticum aestivum L.*) crop production. *Agriculture and Biology of North America* 1(4): 677-682.
28. Khorasaninejad S, Alizadeh Ahmadabadi A and Hemmati K, 2018. The effect of humic acid on leaf morphophysiological and phytochemical properties of *Echinacea purpurea L.* under water deficit stress. *Scientia Horticulture* 239: 314-323.
29. Khosravi Shakib A, Rezaei Nejad A, Khandan Mirkohi A and Kalate Jari S, 2019. Vermicompost and Manure Compost Reduce Water-Deficit Stress in Pot Marigold (*Calendula officinalis L.* cv. Candyman Orange). *Compost Science and Utilization* 27.1: 61-68.
30. Majd A, and Shabrangi A, 2009. Effect of seed pretreatment by magnetic fields on seed germination and ontogeny growth of agricultural plants. *Progress in Electro-magnetic Research Symposium*, Beijing, China, March 23-27.
31. Nikbakht J, Khande royan M, Tavakoli A and Taheri M, 2013. The effect of low irrigation with magnetic water on yield and water use efficiency of corn. *Journal of Agricultural Research in Water* 27(4): 551-563.

32. Omidbaigi R, Hassani A and Sefidkon F, 2003. Essential oil content and composition of Sweet Basil (*Ocimum basilicum*) at different irrigation regimes. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants* 6: 104-108.
33. Safana HS, 2017. Effect of magnetized water and spraying of 0f IBA on the growth and flowering of *Calendula officinalis* L. *Kufa Journal for Agricultural Science* 9(1): 87-103.
34. Sarker, BC, Hara M and Uemura M, 2005. Proline synthesis, physiological responses, and biomass yield of eggplants during and after repetitive soil moisture stress. *Scientia Horticulture* 103: 387-402.
35. Scalia R, Oddo E, Saiano F and Grisafi F, 2009. Effect of salinity a *Puccinellellia distance* (L.) Parl. treated with NaCl and foliar-applied glycine betaine. *Plant Stress* 3: 49-54.
36. Topak R, Acar B, Uyanoz R and Ceyhan E, 2016. Performance of partial root-zone drip irrigation for sugar beet production in a semi-arid area. *Agricultural Water Management* 176: 180-190.
37. Zarrinabadi IG, Razmjoo J, Mashhadi AA and Boroomand A, 2019 a. Physiological response and productivity of pot marigold (*Calendula officinalis*) genotypes under water deficit. *Industrial Crops and Products* 139: 111488.
38. Zarrinabadi IG, Razmjoo J, Mashhadi AA, Karimmojeni H, and Tseng TM, 2019 b. Irrigation effect on yield and desirable metabolites of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) genotypes. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 60.4: 467-478.

Investigating the Interaction of Deficit Irrigation and Magnetic Water on Yield, Yield Components, and Water Productivity of Marigold

S. Jamali, H. Ansari¹, and A. Safarizadeh Sani

PhD Candidate, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.

Saber.jamali@mail.um.ac.ir

Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.

Ansary@um.ac.ir

PhD Candidate, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.

Abbas.safarizadehsani@mail.um.ac.ir

Received: May 2022 and Accepted: August 2022

Abstract

To investigate the interaction of magnetic water and deficit irrigation on yield and yield components of marigold, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, in 2019, using pot culture with 3 replications. Treatments included 4 irrigation levels (100%, 85%, 70%, and 55% of field capacity) and 2 types of water (normal water and magnetic water). The results showed that different levels of irrigation on all traits (except physical water productivity which was significant at a 5% level) were significant ($P < 0.01$). Effects of magnetic water on the dry weight of lateral branches and flowers, number of flowers and physical water productivity were significant (at $P < 0.01$); and on the dry weight of flowering stems and leaves, number of leaves and lateral branches were also significant (at $P < 0.05$). The interaction effect of the studied treatments was significant ($P < 0.01$) on the number of leaves; and on the dry weight of roots, flowers, and flowering stems ($P < 0.05$). The highest dry weights of leaves and flowering stems, number of flowers, number of leaves and lateral branches, height and physical water productivity were in irrigation with 100% field capacity and were, respectively, 1.77 and 0.37 g/plant, 7 and 6, 18.4 cm and 0.186 kg/m³. Also, reducing irrigation water by 15%, 30%, and 45% reduced the number of flowers by 25.7%, 32.8%, and 54.3%; and the physical water productivity by 18.8%, 21.5%, and 24.2%, respectively. The highest dry weight of flowers, roots, and lateral branches were observed in magnetic water + irrigation with 100% field capacity, as 0.29, 0.5, and 0.74 g/plant, respectively. The results showed that using a magnetic field increased flower yield and water productivity of Marigold plants under water stress. In this study, the best treatment was 0.6 teslas magnetized water+ 100%FC. However, to apply these stresses at the field level, more research is needed.

Keywords: Physical water productivity, Production function, Drought stress, Flower yield, Magnetic field.

¹ - Corresponding author: Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.

Optimization Solutions for Lincensing Process of New Irrigation Systems

N. Alizadeh¹, H. R. Vojdani, and A. Nikouei

Assistant Prof., Agricultural Research, Education and Extension Organization.

nedalizadeh@areeo.ac.ir

Assistant Prof., Agricultural Research, Education and Extension Organization.

hrvojdani@yahoo.com

Assistant Prof., Agricultural Research, Education and Extension Organization.

anikooie@yahoo.com

Received: June 2022 and Accepted: August 2022

Abstract

Many problems are encountered in the implementation of new irrigation systems with government subsidy, and the issuance of licenses is not an exception to this rule. Therefore, the main goal of this research was to identify optimal solutions for the process of issuing permits for the implementation of these systems. The statistical population of the research consisted of the applicants who registered their application in the five selected provinces of Hamedan, Fars, Zanzan, Khorasan-Razavi, and Kermanshah during 2019-2021 (N1=150) and the corresponding experts working on licensing new irrigation systems (N2=100). The research method was focus group and in-depth structured interviews. According to the results, the most important problems in the licensing process included: failure to perform work in a suitable and integrated system, the differences in the process of carrying out the project in different provinces, lack of familiarity and insufficient initial justification for the applicants, strictness and delay in determining the assignment of inquiries, and existence of some redundant and eliminable steps during the process. Based on this, the most important proposed solutions are: carrying out all process steps in a smart and integrated system, providing consultation to the applicant at the stage of filing and justification by reviewing the applicant's documents and facilities, removing unnecessary items in the process, paying the subsidy dynamically, applying an intelligent monitoring system with active feedback for all stages and all actors in the plan, and determining the time frame for each action. Within the system, the most important authorities to solve these problems are the Ministry of Agricultural Jihad and Agricultural Jihad Organizations of the provinces; and the external responsible authorities are mainly Plan and Budget Organization, banks, and the agricultural engineering system.

Keywords: Modern irrigation system, Agricultural Permits, Focus Group method

¹ - Corresponding author: Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran.

Investigation of the Dimensions of Open Drains in Paddy Fields of Land Consolidation Project

T. Gholami Estalkhi Kohi, M. Navabian¹, and M. Esmaili Varaki

MSc. student, Water Eng. Dept., Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan.

t.gholami92@yahoo.com

Associated Prof., Water Eng. Dept., Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan; and Dept. of Water Eng. and Environment, Caspian Sea Basin Research Center, University of Guilan, Rasht, Iran.

Navabian@guilan.ac.ir

Associated Prof., Water Eng. Dept., Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan; and Dept. of Water Eng. and Environment, Caspian Sea Basin Research Center, University of Guilan, Rasht, Iran.

esmaeili@guilan.ac.ir

Received: August 2022 and Accepted: December 2022

Abstract

Construction of drainage systems is inevitable in paddy fields to control the level of waterlogging during rice harvest and cultivation of the second crop. Finding the best design option of drainage is very important from the point of view of environmental and economic issues. This study was conducted with the aim of investigating the performance of open drains including pressure head and depletion flux in controlling the water level in the cultivation of rice plants and the second plant in paddy fields. In this regard, the performance of open drains during rice and the second crop growth period was simulated using HYDRUS-2D model. To calibrate and validate HYDRUS-2D model, the required information was collected from 130 hectares of paddy fields in Nodeh, Jirsar and Nupashan villages in Soumesara region, in 2019. Soil texture, bulk and specific density, porosity and infiltration rate were measured. Also, pressure head of water was measured monthly in the region by piezometers. After validation, different open drain design options (bottom width and depth of drain) were run in HYDRUS-2D and its results were compared. The simulation results showed that the HYDRUS-2D had a reasonable accuracy in simulating the changes in water pressure head. The statistical indexes including R^2 , RMSE, nRMSE and MAE in the calibration stage were 0.98, 4.39 cm, 1.6%, and 3.55 cm, respectively, and 0.98, 4.33 cm, 1.67%, and 3.37 cm in the validation stage, respectively. The results showed that the open drain with a depth and bottom width of, respectively, 200 and 170 cm had the best performance for controlling water table during rice and the second crop cultivation, with a discharge rate of 726440 and 169960 cm³ per unit of drain length, and the reaction coefficient of 0.293 and 0.583 per day, respectively.

Keywords: Water table, Drainage depth, Drain bottom width, HYDRUS-2D

¹ - Corresponding author: Water Eng. Dept., Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan; and Dept. of Water Eng. and Environment, Caspian Sea Basin Research Center, University of Guilan, Rasht, Iran.

Effect of Wick Irrigation System on Water Productivity, Growth and Yield Parameters of Tomato Plants in Greenhouse

M. Rezaee Khormenani, M. Akbari¹, and M. Kouchakzadeh

MSc Student, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

mehdirezayikh1996@gmail.com

Associated Prof., Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

akbari_m43@yahoo.com

Associate Prof., Department of Irrigation and Drainage Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

kouchakm@modares.ac.ir

Received: May 2022 and Accepted: December 2022

Abstract

This study aimed to evaluate the efficiency of wick irrigation system in greenhouse cultivation of tomato plant and compare it with drip irrigation. The experiment was performed as factorial with a completely randomized design (CRD) in the research greenhouse of Tarbiat Modares University in 2021. Irrigation treatments included five levels (drip irrigation and wick irrigation with diameters of 1, 3, 4, and 5 cm) and two soil combination ("cocopeat, soil, fertilizer, perlite" and "soil, sand, fertilizer"), in 3 replications. The lowest and highest water consumption during the growing season was observed in wick irrigation with a diameter of 1 cm (29.25 L/plant) and in drip irrigation and wicks with a diameter of 5 cm (36 and 37.5 L/plant), respectively. The results showed differences of 19% and 4% in water consumption between, respectively, wick irrigation with a diameter of 1 and 5 cm compared to drip irrigation. Also, the difference in water consumption between wick irrigation (minimum and maximum water consumption) of 1 and 5 cm diameters was 28%. The yield in "soil, sand, fertilizer" cultivation bed was increased by 59% compared to the "cocopeat, soil, fertilizer, perlite" cultivation bed and the maximum tomato yield (700gr/plant) was observed in the wick irrigation with a diameter of 3 cm. Water consumption index in "soil, sand, fertilizer" cultivation bed was decreased 21%, rather than "cocopeat, soil, fertilizer, perlite" cultivation bed and increased water productivity by 100%. In wick irrigation, since water is always available, the plant does not face water stress and these results indicate that the wick irrigation system improves plant growth and increases production of wet and dry matter and water productivity in tomato plant. Although economic analysis has not been done in this research, but more crop yield along with less water consumption in the wick irrigation system would have more income for the user and can be an acceptable reason for using this irrigation method.

Keywords: Physical water productivity, Tomato water consumption, Drip Irrigation, Potting soil

¹ - Corresponding author: Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

Investigating the Possibility of Rosemary (*Rosmarinus officinalis*.L) Use of Shallow Groundwater with Different Qualities

H. Ghamarnia¹, S. Ameri, and M. Nekookish

Professor of Water Ressources Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

hghamarnia@razi.ac.ir

Former M. Sc. Student, Department of Water Ressources Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

hghamarnia@yahoo.co.uk

Former M. Sc. Student, Department of Water Ressources Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

Nekookish@gmail.com

Received: May 2022 and Accepted: August 2022

Abstract

A part of the plants' water needs can be met by shallow groundwater with desirable quality. In this research, contribution of shallow and saline groundwater to evapotranspiration of rosemary plant was studied in a completely randomized factorial design with three replications and using drainage lysimeters with a diameter of 1.20 m, in 2017 and 2018. The applied treatments included groundwater with salinity levels of 1, 2 and 4 dS/m at a constant depth of 0.8 m. The results showed that the total water requirement of rosemary was 597 mm. From total water required by the plant, 312.6 mm (54%), 260.3 mm (44%), and 201.1 mm (34%) were supplied by shallow groundwater with qualities of 1, 2 and 4 dS/m, respectively. The daily groundwater contribution was 4.9, 3.9, and 3 mm by, respectively, treatments 1, 2, and 4 dS/m. The effects of groundwater salinity on the yield of rosemary plant parameters were significant at the level of 5%, which can be attributed to the tolerance of this plant to groundwater salinity. In addition, due to the rosemary plant use of groundwater with different qualities, some water from surface water can be saved and irrigated land can be expanded, with consequently higher crop production and more jobs for farmers.

Keywords: Irrigation with saline water, Crop water requirement, Semi-arid climate

¹ - Corresponding author: Water Ressources Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

Evaluation of the Effects of Deficit Irrigation on Yield, Yield Components, Proline Content, and Water Productivity of Four Seed Corn Cultivars in Gorgan, Iran

M. Esmaily, M. R. Dadashi, M. T. Feyzbakhsh¹, K. Kabousi, and F. Sheikh

Department of Agriculture, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran.

Esmailymansour57@yahoo.com

Department of Agriculture, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran.

Mdadashi370@yahoo.com

Assistant Prof., Department of Agricultural and Horticultural Research, Agricultural Research and Training Center and Natural Resources, Golestan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Gorgan (AREEO), Iran.

Feyz_54@yahoo.com

Associated Prof., Department of Agriculture, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran.

kkaboosi@yahoo.com

Assistant Prof., Department of Agricultural and Horticultural Research, Agricultural Research and Training Center and Natural Resources, Golestan Province, AREEO, Gorgan, Iran.

shaikhfatemeh@yahoo.com

Received: May 2022 and Accepted: December 2022

Abstract

In order to evaluate the effects of deficit irrigation on the yield and water productivity of grain corn in the climatic conditions of Gorgan, an experiment was conducted using split plots in the form of a randomized complete block design in three replicates at the Araghi Mahaleh Research Station of Gorgan, in 2021. The main factor was irrigation treatments at four levels (100% (control), 75%, 50%, and 25% of corn water requirement) and was done based on soil sampling for moisture determination and use of drip irrigation by tape, and the secondary factor consisted of four corn varieties (SC703, SC704, ZP548, BK50). The results of the analysis of variance showed that the effect of irrigation factor was significant ($p < 1\%$) on the examined traits, except the number of rows in the ear. The effect of cultivars on all traits (number of rows per ear, days until earing, plant height, number of seeds per row, weight of 1000 seeds, length of ear, dry weight of stem and leaves, dry weight of cob wood, grain yield, yield, water productivity, and leaf proline) was also significant ($p < 1\%$). Additionally, interaction of deficit-irrigation and cultivars on the traits of the number of rows of seeds, weight of 1000 seeds and seed yield was significant. Comparing the averages showed that the highest seed yield (7722 kg/ha) was observed in the control treatment and the seed yield of the 75%, 50% and 25% treatments compared to the control was 6.8%, 52.4%, and 82% less, respectively. ZP548 hybrid had the highest seed yield (5576 kg/ha) and the highest amount of proline was obtained from the 25% water demand treatment (9.91 $\mu\text{mol/g}$). The highest water productivity was observed in the 75% treatment (1.07 kg/m^3). Considering the large volume of water saving (2258 m^3/ha) in this treatment, irrigation is recommended based on 75% of water requirement and cultivation of ZP548 variety in Gorgan region.

Keywords: Grain yield, Drought stress, Water use efficiency, Crop water requirement

¹ - Corresponding author: Department of Agricultural and Horticultural Research, Agricultural Research and Training Center and Natural Resources, Golestan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Gorgan (AREEO), Iran.

Evaluation of Remote Sensing Technology in Estimation of Evapotranspiration of Alfalfa Using Evapotranspiration Data Estimated by Lysimeter in Alborz and Chaharmahal and Bakhtiari Provinces

H. Jafari¹ and A. Morshedi

Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Karaj, Iran.
jafari52_h@yahoo.com

Assistant Prof., Agricultural and Natural Resources Research Center, Chahar Mahal and Bakhtiari Province, Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Shahrekord, Iran.

alimorshedi2000@gmail.com

Received: October 2021 and Accepted: August 2022

Abstract

Estimation of crop water requirement and evapotranspiration by lysimeter is costly and time-consuming and could not be applied to larger field scale. Remote sensing technology can overcome this limitation. The goal of this research was to estimate alfalfa actual evapotranspiration using satellite imagery and compare it with the in-situ measurement by lysimeter. The study was carried out from 2017 to 2020 in the agricultural lands of Alborz and Chaharmahal and Bakhtiari provinces employing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) method. Lysimeter has been implemented under standard conditions. The cold pixels of each satellite image were extracted to estimate net alfalfa crop water requirement. In-situ net crop water requirement for Alborz and Chaharmahal and Bakhtiari provinces were obtained as 1383 and 1087 mm, respectively. The coefficients of determination (R^2) were 73% and 76%, respectively, for the two studied provinces. The statistical analysis showed that there were small deviations from the mean values. The standard evapotranspiration measurements using lysimeter were higher than the satellite estimations. This technique can be useful for the estimation of crop water consumption since it is simple, cheap, fast, and can be used for large areas.

Keywords: SEBAL algorithm, Drainage type lysimeter, Alfalfa water requirement

¹ - Corresponding author: Soil and Water Research Institute, Irrigation and Soil Physics Department.

Evaluation of Remote Sensing Technology in Estimation of Evapotranspiration of Alfalfa Using Evapotranspiration Data Estimated by Lysimeter in Alborz and Chaharmahal and Bakhtiari Provinces.....15*H. Jafari and A. Morshedi***Evaluation of the Effects of Deficit Irrigation on Yield, Yield Components, Proline Content, and Water Productivity of Four Seed Corn Cultivars in Gorgan, Iran.....16***M. Esmaily, M. R. Dadashi, M. T. Feyzbakhsh, K. Kabousi, and F. Sheikh***Investigating the Possibility of Rosemary (*Rosmarinus officinalis*.L) Use of Shallow Groundwater with Different Qualities.....17***H. Ghamarnia, S. Ameri, and M. Nekookish***Effect of Wick Irrigation System on Water Productivity, Growth and Yield Parameters of Tomato Plants in Greenhouse18***M. Rezaee Khormenani, M. Akbari, and M. Kouchakzadeh***Investigation of the Dimensions of Open Drains in Paddy Fields of Land Consolidation Project.....19***T. Gholami Estalkhi Kohi, M. Navabian, and M. Esmaili Varaki***Optimization Solutions for Lincensing Process of New Irrigation Systems.....20***N. Alizadeh, H. R. Vojdani, and A. Nikouei***Investigating the Interaction of Deficit Irrigation and Magnetic Water on Yield, Yield Components, and Water Productivity of Marigold.....21***S. Jamali, H. Ansari, and A. Safarizadeh Sani*

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

Journal of Water Research in Agriculture

Vol. 36, No. 3
2022

***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 36/ No 3/ 2022

ISSN: 2228-7140

Contents

Subject

Page

Evaluation of Remote Sensing Technology in Estimation of Evapotranspiration of Alfalfa Using Evapotranspiration Data Estimated by Lysimeter in Alborz and Chaharmahal and Bakhtiari Provinces.....15

H. Jafari and A. Morshedi

Evaluation of the Effects of Deficit Irrigation on Yield, Yield Components, Proline Content, and Water Productivity of Four Seed Corn Cultivars in Gorgan, Iran.....16

M. Esmaily, M. R. Dadashi, M. T. Feyzbakhsh, K. Kabousi, and F. Sheikh

Investigating the Possibility of Rosemary (*Rosmarinus officinalis*.L) Use of Shallow Groundwater with Different Qualities.....17

H. Ghamarnia, S. Ameri, and M. Nekookish

Effect of Wick Irrigation System on Water Productivity, Growth and Yield Parameters of Tomato Plants in Greenhouse18

M. Rezaee Khormenani, M. Akbari, and M. Kouchakzadeh

Investigation of the Dimensions of Open Drains in Paddy Fields of Land Consolidation Project.....19

T. Gholami Estalkhi Kohi, M. Navabian, and M. Esmaeili Varaki

Optimization Solutions for Lincensing Process of New Irrigation Systems.....20

N. Alizadeh, H. R. Vojdani, and A. Nikouei

Investigating the Interaction of Deficit Irrigation and Magnetic Water on Yield, Yield Components, and Water Productivity of Marigold.....21

S. Jamali, H. Ansari, and A. Safarizadeh Sani