



نشریه علمی پژوهشی

پژوهش آب در کشاورزی

<http://www.wra.areo.ir>



ISSN: 2228-7140

ب / جلد ۳۴ / شماره ۳ / سال ۱۳۹۹

صفحه

عنوان

- ۳۱۷..... تعیین بهره‌وری آب و بهره‌وری اقتصادی آبیاری درختان انجیر دیم استهبان.....
محمدعلی شاهرخ‌نیا و حمید زارع
- ۳۳۷..... بررسی اثرات استفاده از زهاب مزارع نیشکر جنوب خوزستان در کشت گیاه کینوا بر عملکرد محصول و تغییرات شوری و سدیمی خاک.....
علی مختاران، مهرزاد طاوسی، پیمان ورجاوند و سالومه سپهری صادقیان
- ۳۵۵..... ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک در دشت اردبیل.....
مهران محمدی، جوانشیر عزیزی مبصر و مجید رئوف
- ۳۷۵..... ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی و انرژی شبکه سراسری برق در سامانه‌های آبیاری تحت فشار در کرج.....
جواد باغانی و هرمز اسدی
- ۳۸۹..... تعیین ضریب گیاهی و تبخیر-تغرق آویشن دناپی در شرایط استاندارد در کرج.....
ابراهیم شریفی عاشورآبادی، حسن روحی‌پور، مریم جلی، مریم مکی‌زاده تفتی و بهروز نادری
- ۴۰۱..... برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی دو گونه سالیکورنیا در یزد.....
حسین بیرامی، محمدحسن رحیمیان و فرهاد دهقانی
- ۴۱۵..... تأثیر غلظت‌های مختلف سلیوم بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بالنگوی شهری در رژیم‌های مختلف آبیاری.....
معصومه عامریان، علی‌رضا زبرجدی و جوانه‌السادات محرابی
- ۴۳۳..... تاثیر سطوح مختلف آبیاری و آب مغناطیسی بر رشد و عملکرد گیاه دارویی نعنا فلفلی.....
صابر جمالی، حسین انصاری و عباس صفری‌زاده ثانی
- ۴۴۹..... کاربرد شاخص‌های یکنواختی بارش و زمان - بارش مؤثر برای برآورد عملکرد گندم دیم و نوسانات آن در اقلیم نیمه‌خشک تبریز.....
محمد خالدی علمداری و ابوالفضل مجنونی هریس
- ۴۶۳..... شناسایی موانع و حمایت‌های موردنیاز برای مشارکت کشاورزان در طرح انتقال و توزیع آب به اراضی کشاورزی دشت سیستان.....
محمد رضا محبوبی، مهدیه بزی، محمدشریف شریف‌زاده و جابر پاریاب
- ۴۸۱..... اثرات خشکسالی بر الگوی کشت زراعی و رفاه کشاورزان دشت مهیار جنوبی.....
انیسه جمی، حامد نجفی علمدارلو و سید ابوالقاسم مرتضوی
- ۴۹۵..... اثرات کاربرد برگی سالیسیلیک اسید بر بهبود تحمل به خشکی گل پریش.....
غلامحسین همایونی، نیما احمدی و محمودرضا روزبان

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

جلد ۳۴ شماره (۳)
۱۳۹۹

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

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

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

تعداد انتشار در سال:

ویراستار انگلیسی:

صفحه آرایی:

چهار شماره

دکتر حمید سیادت

مهندس فاطمه آقاجانی

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 بانک اطلاعات نشریات کشور (Magiran): https://www.magiran.com	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
--	--

آدرس: کرج - میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بعد از رزکان نو، بلوار امام خمینی - کد پستی ۳۱۷۷۹۹۳۵۴۵

تلفن و نمابر ۰۲۶ ۳۶۲۲۰۱۶۰ آدرس پایگاه الکترونیکی مجله: <http://www.wra.areo.ir>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

- تعیین بهره‌وری آب و بهره‌وری اقتصادی آبیاری درختان انجیر دیم استهبان..... ۳۱۷
محمدعلی شاهرخ‌نیا و حمید زارع
- بررسی اثرات استفاده از زهاب مزارع نیشکر جنوب خوزستان در کشت گیاه کینوا بر عملکرد محصول و تغییرات شوری و سدیمی خاک..... ۳۳۷
علی مختاران، مهرزاد طاوسی، پیمان ورجاوند و سالومه سپهری صادقیان
- ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک در دشت اردبیل..... ۳۵۵
مهران محمدی، جوانشیر عزیزی مبصر و مجید رئوف
- ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی و انرژی شبکه سراسری برق در سامانه‌های آبیاری تحت فشار در کرج..... ۳۷۵
جواد باغانی و هرمزاسدی
- تعیین ضریب گیاهی و تبخیر- تعرق آویشن دناپی در شرایط استاندارد در کرج..... ۳۸۹
ابراهیم شریفی عاشورآبادی، حسن روحی‌پور، مریم جلی، مریم مکی‌زاده تفتی و بهروز نادری
- برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی دو گونه سالیکورنیا در یزد..... ۴۰۱
حسین بیرامی، محمدحسن رحیمیان و فرهاد دهقانی
- تأثیر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بالنگوی شهری در رژیم‌های مختلف آبیاری..... ۴۱۵
معصومه عامریان، علی‌رضا زبرجدی و جوانه‌السادات محرابی
- تأثیر سطوح مختلف آبیاری و آب مغناطیسی بر رشد و عملکرد گیاه دارویی نعنا فلفلی..... ۴۳۳
صابر جمالی، حسین انصاری و عباس صفری‌زاده ثانی
- کاربرد شاخص‌های یکنواختی بارش و زمان - بارش مؤثر برای برآورد عملکرد گندم دیم و نوسانات آن در اقلیم نیمه‌خشک تبریز..... ۴۴۹
محمد خالدی علمداری و ابوالفضل مجنونی هریس
- شناسایی موانع و حمایت‌های موردنیاز برای مشارکت کشاورزان در طرح انتقال و توزیع آب به اراضی کشاورزی دشت سیستان..... ۴۶۳
محمد رضا محبوبی، مهدیه بزی، محمدشریف شریف‌زاده و جابر پاریاب
- اثرات خشکسالی بر الگوی کشت زراعی و رفاه کشاورزان دشت مهیار جنوبی..... ۴۸۱
انیسه جمی، حامد نجفی علمدارلو و سید ابوالقاسم مرتضوی
- اثرات کاربرد برگی سالیسیلیک اسید بر بهبود تحمل به خشکی گل پریش..... ۴۹۵
غلامحسین همایونی، نیما احمدی و محمودرضا روزبان

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

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

الف) اصول کلی

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

ب) نحوه تهیه و ارسال مقاله

نحوه نگارش مقاله

- ۱- مقاله حداکثر در ۱۵ صفحه A4 با فاصله خطوط ۱/۵ و حاشیه‌های ۳ سانتی‌متر از هر طرف و به صورت تک ستونی در نرم افزار Word 2007 تایپ شود.
- ۲- نوع قلم فارسی و انگلیسی و اندازه آنها مطابق جدول (۱) استفاده شود.
- ۳- پیش از نقطه (.) و کاما (،) گذاشتن فاصله لازم نیست، لیکن پس از آنها، یک فاصله لازم است.
- ۴- اصول نگارش زبان فارسی به طور کامل رعایت شده و از به 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	Nazanin پر رنگ	14
متن مقاله	Nazanin	12
عناوین بخش های مقاله	Nazanin پر رنگ	12
نام مؤلفان	Nazanin پر رنگ	12
کلمه چکیده و کلمات کلیدی	Nazanin پر رنگ	12
عناوین جداول و اشکال	Nazanin پر رنگ	11
متن جداول و شکل ها و منابع	Nazanin	11
متن انگلیسی	Times New Roman	یک واحد کمتر از اندازه فارسی در هر موقعیت

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

شناسنامه مقاله

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

برگ شناسه

عنوان مقاله، نام، نام خانوادگی، موقعیت شغلی نگارنده(گان)، نام دانشگاه یا مؤسسه پژوهشی که نگارنده(گان) در آن اشتغال دارند، نشانی کامل نگارنده(گان) و نام و مشخصات نگارنده مسئول مکاتبات (به هر دو زبان فارسی و انگلیسی)، در یک صفحه جداگانه تایپ شود. * نگارنده مسئول باید فرم تعهدنامه را که به امضای کلیه نگارندگان رسیده به همراه مقاله ارسال کند.

عنوان مقاله

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

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

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

واژه‌های کلیدی:

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

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

مقدمه

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

مواد و روشها

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

نتایج

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

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

بحث

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

تشکر و قدردانی

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

فهرست منابع

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

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

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

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

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

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

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

مثال‌های برای تنظیم منابع

مقاله از مجله

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

مقاله از کارگاه آموزشی یا علمی

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

مطلب از کتاب

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

مطلب نقل شده یک نویسنده در یک مجموعه مقالات

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

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

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

ذکر مطلب از اینترنت

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

منابع مورد استفاده در متن بدین صورت نگاشته شوند:

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

اسمیت (۲۰۰۲) گزارش کرد ...

اسمیت و جونز (۲۰۰۲) گزارش کردند...

اسمیت و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند...

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

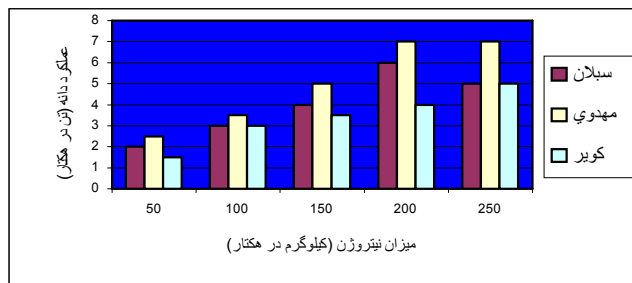
جدول نامناسب

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

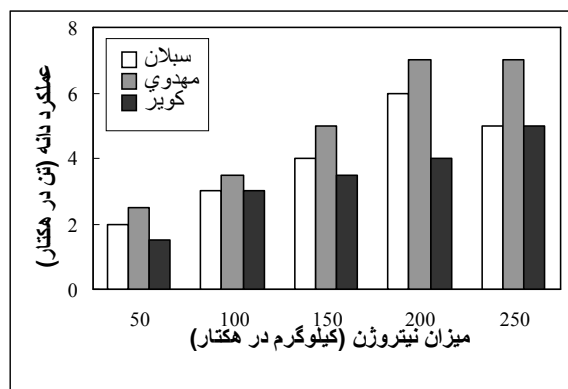
جدول مناسب

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

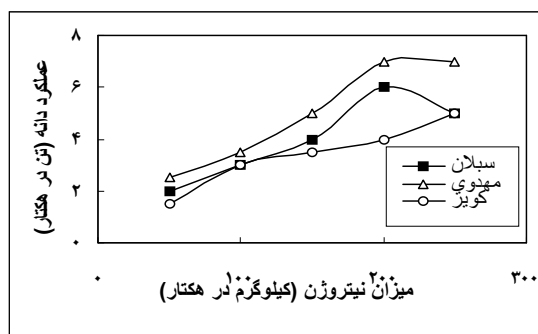
نامناسب



مناسب



مناسب



دکتر الهام باریکانی.....	۱ دآوری
دکتر جواد باغانی.....	۳ دآوری
مهندس سید محمد بنی جمال.....	۳ دآوری
دکتر علیرضا توکلی.....	۳ دآوری
دکتر علیرضا حسن اقلی.....	۱ دآوری
دکتر نادر حیدری.....	۶ دآوری
دکتر مجتبی خوشروش.....	۱ دآوری
دکتر ناصر دواتگر.....	۱ دآوری
دکتر وحید رضاوردی نژاد.....	۱ دآوری
دکتر شاهرخ زندپارسا.....	۱ دآوری
دکتر حسن شهرکی.....	۲ دآوری
دکتر جهانگیر عابدی کوپایی.....	۱ دآوری
دکتر عبدالوهاب عبدالحی.....	۱ دآوری
دکتر علی اکبر عزیزی زهان.....	۳ دآوری
دکتر حسن علیپور.....	۲ دآوری
دکتر عبدالعلی غفاری.....	۲ دآوری
دکتر علی قدمی فیروزآبادی.....	۱ دآوری
دکتر نوذر قهرمان.....	۱ دآوری
دکتر بابک متشعزاده.....	۲ دآوری
دکتر اسلام مجیدی.....	۱ دآوری
دکتر علی مرشدی.....	۳ دآوری
دکتر سیامک مشایخی.....	۲ دآوری
دکتر منصور معیری.....	۱ دآوری
دکتر محمدحسین مهدیان.....	۱ دآوری
دکتر فرهاد موسوی.....	۱ دآوری
دکتر فرهاد میرزایی.....	۲ دآوری
دکتر بهمن یارقلی.....	۱ 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

تعیین بهره‌وری آب و بهره‌وری اقتصادی آبیاری درختان انجیر دیم استهبان

محمدعلی شاهرخ‌نیا^۱ و حمید زارع

دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، شیراز، ایران. mashahrokh@yahoo.com

استادیار پژوهشی، ایستگاه تحقیقات انجیر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، استهبان،

ایران. hamidzare777@gmail.com

دریافت: بهمن ۱۳۹۷ و پذیرش: مهر ۱۳۹۹

چکیده

سطح وسیعی از باغ‌های استهبان فارس اختصاص به انجیر دیم دارد. به دلیل خشکی سال‌های اخیر، باغ‌داران به آبیاری که اغلب بی‌رویه بود اقدام نموده‌اند. در تحقیق حاضر با اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه، در تنش‌های آبی مختلف اقدام به آبیاری گردید. تیمارهای مورد نظر در این تحقیق عبارت بودند از انجام آبیاری در مقادیر مختلف شاخص تنش آبی ۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸. یک تیمار بدون آبیاری (دیم) نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. آبیاری به صورت دستی با تانکر انجام گردید. تعداد دفعات آبیاری، میزان محصول و بهره‌وری مصرف آب تیمارهای مختلف اندازه‌گیری گردید. طرح آزمایشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام و مقایسه میانگین داده‌های بدست آمده با به کارگیری آزمون دانکن انجام شد. تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی نیز بر اساس تفاوت و نسبت درآمد به هزینه در دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ انجام گردید. نتایج آزمایش نشان داد که شاخص تنش آبی گیاه از ۰/۶ بیشتر نگردید. با افزایش تعداد دفعات آبیاری تا آبیاری کامل، میزان محصول از ۳/۱ به ۹/۸ کیلوگرم در هر درخت افزایش نشان داد ولی بهره‌وری مصرف آب آبیاری کاهش و از مقدار نامعلوم زیاد در تیمار دیم، به ۰/۶۵ کیلوگرم بر متر مکعب در تیمار بدون تنش رسید. در سال‌های مورد بررسی با انجام یک مرتبه آبیاری میزان محصول و در نتیجه میزان سود خالص نسبت به تیمار دیم به شدت افزایش داشت که در دو سال به ترتیب به حدود ۷۴۰۰۰ ریال و ۱۱۹۰۰۰ ریال به‌ازای هر درخت رسید. میزان سود به دست آمده با انجام یک مرتبه آبیاری در دو سال مورد بررسی به ترتیب حدود ۵۳۰۰۰ و ۹۹۰۰۰ ریال به‌ازای هر مترمکعب آب بود که با افزایش تعداد دفعات آبیاری این سود کاهش یافت. نسبت درآمد به هزینه نیز در سال‌های مورد بررسی از ۱/۱۰ و ۱/۴۶ در شرایط دیم به ۲/۲۱ و ۲/۸۹ در شرایط اعمال یک مرتبه آبیاری رسید. بنابراین با انجام یک نوبت آبیاری در اوایل مرداد ماه می‌توان علاوه بر حفظ درختان انجیر دیم استهبان از خطر خشکیدگی، به سود اقتصادی قابل توجهی دست یافت و از آبیاری بی‌رویه نیز جلوگیری نمود.

واژه‌های کلیدی: نسبت درآمد به هزینه، تنش آبی، دمای پوشش گیاه

مقدمه

مهمترین مشکل کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان، کمبود آب می‌باشد. کشور ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک دنیا بوده و از تولیدکننده‌ها و صادرکننده‌های مهم انجیر می‌باشد. جایگاه پنجم تولید دوم سطح زیر کشت متعلق به ایران می‌باشد. میزان تولید سالانه انجیر در ایران و دنیا بترتیب حدود ۸۷۰۰۰ و ۱۱۵۰۰۰ تن می‌باشد. سطح زیر کشت انجیر آبی در ایران و دنیا بترتیب ۸۲۰۰ و ۲۰۰۵۰۰ هکتار و سطح زیر کشت دیم بترتیب ۵۱۰۰۰ و ۱۱۵۰۰۰ هکتار می‌باشد. بیش‌تر درختان انجیر ایران در شهرستان استهبان کشت گردیده‌اند. استهبان یکی از شهرستان‌های استان فارس بوده که در آن ۲۳۰۰۰ هکتار باغ انجیر دیم وجود دارد. میانگین بارندگی سالانه استهبان طبق آمار سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ ایستگاه هواشناسی منطقه، ۲۷۲ میلی‌متر می‌باشد که در سال‌های اخیر بارندگی سالانه منطقه کمتر از میانگین کل بوده است. نیاز آبی درختان انجیر آبی در منطقه بر اساس روش پنمن مانیتث حدود ۱۴۵۰۰ مترمکعب در سال می‌باشد. متأسفانه به‌دلیل کاهش ریزش‌های جوی در سال‌های اخیر و افزایش نسبی دما، نیاز آبی باغ‌های منطقه تامین نگشته و انجام آبیاری این باغ‌ها، امری ضروری به نظر می‌رسد. در سال ۱۳۸۹، به‌علت خشکی شدید، بیش از ۱۰٪ درختان منطقه از بین رفته و تولید محصول حدود ۸۰ درصد کاهش یافت (جعفری و همکاران، ۲۰۱۲). علاوه بر این تجربه باغداران نشان داده که آبیاری کردن این درختان می‌تواند باعث افزایش عملکرد و درآمد گردد؛ بنابراین به‌طور معمول باغداران منطقه سعی می‌کنند به‌هروسیله ممکن آب بیش‌تری را به درختان انجیر خود برسانند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که آبیاری درختان انجیر دیم استهبان باعث مصرف بی‌رویه آب‌های زیرزمینی در منطقه گردیده است. برآوردها نشان می‌دهد که بعضی از درختان انجیر تا حدود ۱۷۰۰۰ لیتر به‌ازای هر درخت آبیاری شده‌اند. با توجه به اینکه فاصله درختان انجیر در منطقه از

هم حدود ۱۰ متر می‌باشد، در هر هکتار ۱۰۰ اصله درخت وجود داشته که حدود ۱۷۰۰ متر مکعب در هکتار آب مصرف شده است؛ بنابراین بررسی میزان افزایش محصول و بهره‌وری مصرف آب انجیر با و بدون اعمال آبیاری موضوع مهمی است که باید به آن پرداخته شود. آبیاری عبارتست از به‌کار بردن میزان محدودی از آب برای گیاهان دیم، زمانی که بارندگی نتواند نیاز آبی گیاه برای رشد، توسعه معمول گیاه و پایداری محصول را تامین نماید (اویس، ۱۹۹۷). تحقیقات گذشته نشان داده است که آبیاری درختان انجیر تأثیری مثبت بر رشد و محصول درختان انجیر داشته است (الدسوکی و همکاران، ۲۰۰۹، کامگار حقیقی و سپاسخواه، ۲۰۱۵، هنر و سپاسخواه، ۲۰۱۵). عبداللهی‌پور و همکاران (۲۰۱۸) کاربرد دو مقدار آبیاری ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ لیتر به‌ازای هر درخت در زمان‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند و مقدار ۲۰۰۰ لیتر به‌ازای هر درخت و در ابتدای بهار را توصیه نمودند. یکی از راه‌های تعیین زمان آبیاری گیاهان یا به‌طور کلی برنامه ریزی آبیاری، اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه می‌باشد.

تحقیقات جامعی در زمینه استفاده از پوشش سبز گیاه در برنامه ریزی آبیاری توسط ایدسو (۱۹۸۲) و ایدسو و همکاران (۱۹۸۱) انجام شده است که مرجع تحقیقات بعدی قرار گرفته است. ایشان شاخص تنش آبی گیاه^۲ (CWSI) را بر اساس خط مبنای پایینی (خط بی‌تنش) و بالایی (خط بیش‌ترین تنش) معرفی نمودند. این خطوط رابطه تفاوت مقادیر دمای پوشش سبز گیاه و دمای هوا را به کمبود فشار بخار هوا نشان می‌دهند. سپاسخواه و کاشفی‌پور (۱۹۹۴) و (۱۹۹۵) با استفاده از دماسنج مادون قرمز برنامه‌ریزی آبیاری درختان لیموشیرین را در جهرم انجام دادند و برنامه ریزی آبیاری با استفاده از دمای پوشش سبز گیاه را روش مناسبی دانستند. لوبو و همکاران (۲۰۰۴) به کمک دماسنج مادون قرمز بهترین زمان آبیاری لوبیا را تعیین نمودند. نتایج آن‌ها

^۲Crop Water Stress Index (CWSI)

ارائه نموده و استفاده از دمای پوشش سبز گیاه برای برنامه-ریزی آبیاری را مفید دانستند.

درخصوص ارزش آب و بررسی اقتصادی آبیاری محصولات مختلف در کشور نیز در سال‌های اخیر تحقیقاتی انجام گرفته است. زارعی و همکاران (۱۳۹۳) با اندازه‌گیری ارزش اقتصادی آب در تولید سیب زمینی استان‌های کردستان و همدان اظهار داشتند که سیاست‌های قیمتی می-تواند عامل مهمی در کنترل مصرف آب باشد و پیشنهاد نمودند با حذف تدریجی اختلاف قیمت‌ها، ارزش آب به جایگاه واقعی خود نزدیک‌تر و در مصرف آب صرفه جویی شود. موسی‌وند و غفاری (۱۳۹۴) ارزش اقتصادی آب در تولید پیاز در قزوین را بررسی و پیشنهاد نمودند که قیمت آب بهای دریافتی باید اصلاح شود تا صرفه جویی و بهره-وری آب بیش‌تر گردد. فلاحی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی اقتصادی آب در تولید محصولات مختلف دشت سیدان- فاروق مرودشت پرداختند و نتیجه گرفتند تقاضای آب با قیمت محصول رابطه مستقیم و با قیمت آب و قیمت سایر نهاده‌ها رابطه معکوس داشت.

ارزش اقتصادی آب در تولید محصولات صیفی به نحو چشم‌گیری بیش‌تر از محصولات شتوی بود و بنابراین افزایش قیمت جهت کنترل مصرف آب در محصولات صیفی موثرتر از محصولات شتوی است. نتایج بررسی گلزاری و همکاران (۱۳۹۵) در تولید گندم در گرگان نشان داد که سیاست‌های قیمتی می‌تواند عامل مهمی در کنترل مصرف غیر بهینه آب باشند. شاه‌رخ نیا و رحیمی (۱۳۹۵) در رقم‌های مختلف گوجه فرنگی در مرودشت فارس، بررسی اقتصادی کم آبیاری را انجام داده و به‌ازای مقادیر مختلف ارزش آب، نسبت درآمد به هزینه و تفاوت درآمد و هزینه را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که تولید گوجه فرنگی در شرایط مورد بررسی اقتصادی نبوده و افزایش قیمت فروش بیش‌تر از افزایش قیمت آب می‌تواند بر تولید محصول اقتصادی تاثیرگذار باشد. اسدی و همکاران (۱۳۹۴)

نشان داد؛ که بهترین زمان آبیاری وقتی است که تفاوت دمای پوشش سبز گیاه نسبت به دمایی که در آن گیاه در بهترین وضعیت قرار دارد، سه درجه سانتی‌گراد باشد. با این کار ۳۸ درصد در مصرف آب صرفه جویی گردید. با توجه به این‌که روش اول زمان آبیاری را نشان می‌دهد، برای تعیین مقدار آبیاری می‌توان آن را به صورت ترکیبی با روش‌های دیگر به‌کار برد. اردم و همکاران (۲۰۰۵) برنامه‌ریزی آبیاری را بر اساس مقادیر مختلف شاخص تنش آبی برای هندوانه با استفاده از دماسنج مادون قرمز انجام دادند. نتایج نشان داد بیش‌ترین میزان بهره‌وری مصرف آب وقتی به‌دست می‌آید که آبیاری زمانی انجام شود که شاخص تنش آبی ۰/۶ باشد. در حالی که از مقدار ۰/۲ به بالای این شاخص، کاهش محصول مشاهده شد.

اردم و همکاران (۲۰۰۶) به کمک دماسنج مادون قرمز، شاخص تنش آبی گیاه را در مقادیر مختلف آب آبیاری برای لوبیا تعیین نمودند و به میزان محصول تولیدی ربط دادند. آن‌ها استفاده از این روش را راه‌کاری مناسب برای مدیریت آبیاری در مزرعه دانستند. میسرا^۳ و همکاران (۲۰۰۶) به مقایسه روش‌های مستقیم و غیر مستقیم تعیین شاخص تنش آبی پرداختند. آن‌ها بیان نمودند که روش‌های غیر مستقیم (دمای پوشش گیاه، قطر میوه‌ها ساقه) از روش-های مستقیم (پتانسیل آب برگ و ساقه، مقاومت روزه‌ای) مناسب‌تر می‌باشند. گونیتا و تیواری (۲۰۰۸)، لبورگیوس و همکاران (۲۰۱۰)، وانگ و گارتونگ (۲۰۱۰)، بیکر و همکاران (۲۰۱۳)، شاه‌رخ نیا و همکاران (۱۳۹۵)، شاه‌رخ نیا و کرمی (۱۳۹۶)، کولاک و یازار (۲۰۱۷)، کوسیچ و همکاران (۲۰۱۸)، آندا و همکاران (۲۰۲۰) نیز به‌ترتیب برنامه‌ریزی آبیاری گندم، نیشکر آبی و دیم، هلو، پنبه آبی و دیم، گوجه‌فرنگی، انگور یاقوتی، انگور آبی و دیم، فلفل شیرین و سویای دیم و آبی را با استفاده از دمای پوشش سبز گیاه انجام و روابطی برای برآورد شاخص تنش آبی گیاه

آبی و برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان مختلف باشد و از این روش کمتر برای آبیاری درختان انجیر دیم استفاده شده‌است. با توجه به اهمیت آبیاری باغات انجیر دیم و کم بودن تحقیقات در این زمینه، بررسی تاثیر آبیاری بر تولید محصول، بهره‌وری مصرف آب و بازده اقتصادی این باغات امر مهمی است که در این تحقیق به آن پرداخته شده‌است.

مواد و روش‌ها

این پروژه در ایستگاه تحقیقات انجیر استهبان روی درختان ۵۰ ساله انجیر دیم رقم سبز اجرا شد. شهرستان استهبان با عرض شمالی ۲۹ درجه و ۸ دقیقه و طول شرقی ۵۴ درجه و ۳ دقیقه، از دشت‌های شرقی استان فارس با ارتفاع متوسط دشت از سطح دریا ۱۷۶۰ متر، میانگین بارندگی ۲۷۲ میلی‌متر در سال، میانگین دمای ۱۷/۴، حداقل مطلق دمای ۸/۲- و حداکثر مطلق دمای ۴۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. جدول ۱ میانگین عوامل اقلیمی شهرستان استهبان که از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک آن گرفته شده است را نشان می‌دهد. به‌منظور تعیین بهترین زمان آبیاری درختان انجیر، از اندازه‌گیری تفاوت دمای پوشش سبز گیاه (به‌کمک دماسنج مادون قرمز دستی) و دمای هوا (با استفاده از دماسنج هوا) و طبق روش ارائه شده توسط ایدسو (۱۹۸۲) استفاده گردید. در برنامه‌ریزی آبیاری توسط ایدسو (۱۹۸۲) و ایدسو و همکاران (۱۹۸۱) شاخص تنش آبی گیاه ($CWSI$) را بر اساس خط منبای پایینی (خط بی‌تنش) و بالایی (خط بیش‌ترین تنش) معرفی نمودند. این خطوط رابطه تفاوت مقادیر دمای پوشش سبز گیاه و دمای هوا را به‌کمبود فشار بخار هوا نشان می‌دهند (شکل ۳). در این شکل برای "دمای پوشش سبز گیاه"، "دمای هوا" و "کمبود فشار بخار هوا" به‌ترتیب نمادهای T_c ، T_a و vpd استفاده شده است. اندیس‌های ul ، ll نشان دهنده خطوط منبای پایینی و بالایی می‌باشد. بدین ترتیب شاخص تنش آبی را به‌صورت معادله ۱ می‌توان بیان نمود.

به بررسی اقتصادی گندم دیم در استان لرستان پرداخته و تک آبیاری در زمان کاشت و تک آبیاری بهاره را بعنوان اولویت‌های اول و دوم معرفی نمودند. علیراده دیزج و ابراهیمیان (۱۳۹۶) به بررسی اثر آبیاری بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی گندم و جو دیم پرداختند و بر این اساس تاریخ بهینه کاشت را توصیه نمودند. عزیزی و همکاران (۱۳۹۶) در محصولات دیم گندم، جو، عدس، نخود، ماشک و ارزن، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی را مورد بررسی قرار دادند که نخود و عدس بیشترین ارزش اقتصادی به ازای مصرف آب را دارا بودند. پیری و حیدری (۱۳۹۶) ارزش اقتصادی آب در تولید سورگوم علوفه‌ای در منطقه سیستان را ۴۵۰ ریال بر متر مکعب تعیین نمودند که حدوداً ۵۰ درصد بیش‌تر از مقدار آب بها بود و اذعان داشتند که با واقعی شدن ارزش آب می‌توان در مصرف آن صرفه‌جویی نمود.

طبق بررسی محمودی و کریمی (۱۳۹۶) در مورد ارزش اقتصادی آب در مزارع طبس، تفاوت بین ارزش واقعی آب و آب بهای پرداختی را به‌عنوان عامل مهم بی-انگیزه‌ای کشاورزان برای سرمایه‌گذاری در مدیریت آبیاری دانستند. پوران و همکاران (۱۳۹۶) ارزش آب را در پنج استان کشور و در محصولات مختلف تعیین و بررسی نموده و نشان دادند که ارزش آب در مناطق مختلف متفاوت است و هرچه استانی وضعیت آبی نامساعدتری داشته باشد، ارزش آب برای تولید محصولات کشاورزی بیش‌تر است. هم‌چنین باید در تعیین قیمت تمام شده و تضمینی محصولات کشاورزی، به ارزش آب نهفته در آن نیز توجه داشت. پرهیزکاری و بدیع برزین (۱۳۹۶) ارزش اقتصادی آب در منطقه تاکستان را ۱۶۹۰ ریال بر متر مکعب برآورد نمودند که خیلی بیش‌تر از نرخ آب بهای پرداختی توسط کشاورزان بود و پیشنهاد گردید که نرخ آب بها با توجه به ارزش آب تعیین شود.

تحقیقات پیشین نشان داد که اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه می‌تواند روشی مناسب برای بررسی تنش

رابطه به ترتیب I مقدار خالص آب آبیاری بر حسب سانتی متر، M میزان تخلیه مجاز مدیریتی بر حسب اعشار، FC مقدار وزنی رطوبت ظرفیت مزرعه بر حسب گرم آب بر گرم خاک، PWP مقدار وزنی رطوبت نقطه پژمردگی دائم بر حسب گرم آب بر گرم خاک، As چگالی ظاهری خاک (از تقسیم جرم مخصوص ظاهری خاک بر جرم مخصوص آب به دست می آید) و D عمق خاک یا ریشه بر حسب سانتی متر می باشد.

$$I = M * (FC - PWP) * As * D \quad (۴)$$

تیمارهای آزمایش که در چهار تکرار و در قالب بلوک کامل تصادفی روی ۲۴ درخت همسن (۵۰ ساله) اجرا شد عبارت بودند از:

- ۱- تیمار تعیین زمان آبیاری بر اساس شاخص تنش آبی صفر (بدون تنش). ۰/۲۰
- ۲- تیمار تعیین زمان آبیاری بر اساس شاخص تنش آبی ۰/۴۰
- ۳- تیمار تعیین زمان آبیاری بر اساس شاخص تنش آبی ۰/۶۰
- ۴- تیمار تعیین زمان آبیاری بر اساس شاخص تنش آبی ۰/۸۰
- ۵- تیمار تعیین زمان آبیاری بر اساس شاخص تنش آبی ۰/۸۰
- ۶- تیمار دیم و بدون آبیاری (شاهد)

مقایسه تیمارها از نظر میزان محصول و بهره‌وری آب آبیاری در هر تیمار اندازه‌گیری و با انجام تجزیه و تحلیل لازم نتایج دو ساله، تیمار برتر انتخاب و معرفی شد. بهره‌وری آب آبیاری با تقسیم میزان عملکرد به میزان آب داده شده به هر درخت به دست آمد. با توجه به اهداف این تحقیق، بهترین تیمار آن تیماری است که بتواند با کمترین میزان آب آبیاری، درختان انجیر را از آسیب حفظ نماید و محصول مناسبی داشته باشد. بررسی اقتصادی تیمارهای مختلف نیز می‌تواند نتایج به دست آمده را تکمیل نماید.

$$CWSI = \frac{MN}{LN} = \frac{(T_c - T_a)_m - (T_c - T_a)_{ul}}{(T_c - T_a)_{ul} - (T_c - T_a)_{ll}} \quad (۱)$$

ایده‌سوی خطوط بالایی و پایینی تنش آبی را برای درختان انجیر به صورت روابط ۲ و ۳ ارائه نموده است.

$$(T_c - T_a)_{ll} = 4.22 - 1.77(vpd) \quad (۲)$$

$$(T_c - T_a)_{ul} = 5 \quad (۳)$$

با توجه به شکل (۱) مشاهده می‌گردد که در یک روز با یک کمبود فشار بخار (vpd) خاص، هر چه میزان تنش آبی بیش‌تر شود، تفاوت دمای گیاه و دمای هوا افزایش یافته، نقطه M به سمت بالا حرکت کرده و مقدار شاخص تنش آبی ($CWSI$) با توجه به معادله فوق افزایش می‌یابد. در این پژوهش، بعد از آبیاری، با اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه و دمای هوا، شاخص تنش آبی محاسبه شد. ابتدا مقادیر مختلف شاخص تنش آبی ۰/۰ (بدون تنش)، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ در نظر گرفته شد. با استفاده از روابط تنش ارائه شده پیشین، مقادیر بحرانی تفاوت بین دمای پوشش سبز گیاه و دمای هوا برای هر شاخص محاسبه گردید. سپس با اندازه‌گیری هفتگی دمای پوشش سبز گیاه و دمای هوا و رسیدن اختلاف این دو به حد تعیین شده، زمان آبیاری تعیین و آبیاری به صورت دستی انجام شد. علت انجام آبیاری به صورت دستی (با تانکر)، مطابقت آن با شیوه آبیاری معمول منطقه در شرایط خشکسالی بود. این روش اعمال آبیاری به مدت دو سال انجام و مقادیر آب داده شده، میزان محصول تولیدی و بهره‌وری آب اندازه‌گیری گردید. عوامل هواشناسی روزانه مورد نیاز از ایستگاه هواشناسی منطقه گرفته شد. میزان بارندگی در سال اول و دوم اجرای پروژه بترتیب ۲۳۴ و ۲۰۴ میلیمتر و از ماه آبان تا اردیبهشت سال بعد اتفاق افتاد. برای تعیین میزان حجم آب آبیاری در هر نوبت، از خاک محل آزمایش نمونه‌برداری و خصوصیاتی شامل رطوبت ظرفیت زراعی، رطوبت نقطه پژمردگی خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک اندازه‌گیری شد. از معادله (۴) برای محاسبه میزان آب آبیاری با توجه به مقادیر رطوبت ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم استفاده گردید. در این

تعیین و بر اساس آن آبیاری انجام شد. جداول ۲ و ۳ مقادیر حدود بحرانی و مقادیر اندازه‌گیری شده تفاوت دمای پوشش گیاه و دمای هوا را که بر اساس آنها زمان انجام آبیاری‌ها تعیین شده است.

با توجه به این‌که در منطقه آبیاری به‌وسیله تانکر و به‌صورت دستی انجام می‌شود، با افزایش تعداد آبیاری، هزینه‌ها به‌شدت افزایش می‌یابد؛ بنابراین باغ‌داران به‌طور معمول سعی می‌کنند میزان آب آبیاری هر نوبت را بیش‌تر و تعداد دفعات آبیاری را کمتر کنند. در این تحقیق میزان آب آبیاری بر اساس حداکثر میزان رطوبت قابل نگهداری در خاک تعیین گردید. میزان آب آبیاری با توجه به عمق ریشه دو متر، جرم مخصوص ظاهری خاک ۱/۵۴ گرم بر سانتی مترمکعب، رطوبت ظرفیت مزرعه ۲۱/۳ درصد وزنی، رطوبت نقطه پژمردگی دائم ۱۱/۹ درصد وزنی، تخلیه مجاز رطوبت ۷۵٪ و قطر سایه اندازه ۳/۳۶ متر، معادل ۱۵۰۰ لیتر در هر نوبت به‌ازای هر درخت تعیین گردید. عبداللہی‌پور و همکاران (۲۰۱۸) میزان آب آبیاری برای هر درخت در منطقه استهبان را ۲۰۰۰ لیتر به دست آوردند.

جهت مقایسه اقتصادی تیمارهای آبیاری با یکدیگر و با تیمار دیم (بدون آبیاری) از شاخص نسبت درآمد به هزینه، استفاده شد (شاهرخ نیا و رحیمی، ۱۳۹۵). به‌همین منظور میانگین درآمد و هزینه تیمارهای مختلف محاسبه شد. بدین ترتیب میانگین منافع و هزینه در تیمار در دو سال مورد بررسی (۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) بدست آمد. با توجه به افزایش قیمت به وجود آمده در سال ۱۳۹۷ به‌دلیل تحریم‌های خارجی کشور و افزایش قیمت ارز، بررسی‌های اقتصادی با توجه به منفعت و هزینه در سال ۱۳۹۷ نیز انجام شد. در بررسی‌های اقتصادی میزان متوسط عملکرد هر دو تیمار سه و چهار به دلیل تفاوت ناچیز برابر با هفت کیلوگرم به ازای هر درخت در نظر گرفته شد.

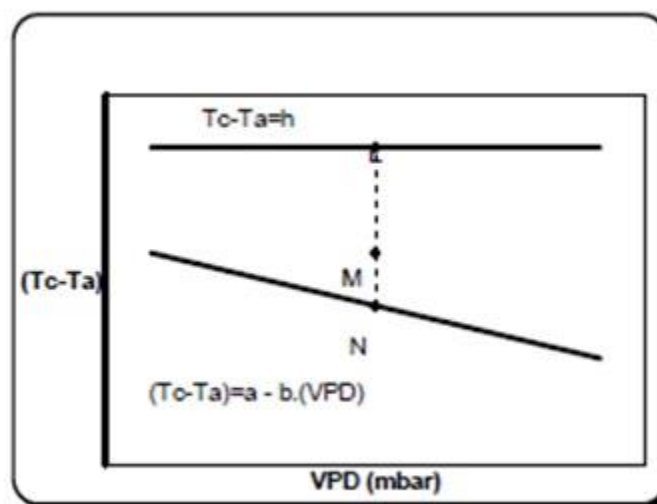
رابطه رگرسیونی میان نسبت درآمد-هزینه با میزان آب مصرفی نیز در شرایط مختلف برازش داده و بررسی شد. قیمت آب در سال ۹۵-۹۶ و ۹۷ به‌ترتیب ۵۰۰۰۰ و ۷۰۰۰۰ ریال بر مترمکعب بوده که برابر با هزینه حمل آب توسط تانکر تا پای درخت محاسبه گردیده است. هزینه برداشت محصول به ازای هر ۸۵ کیلوگرم محصول برای سال ۹۵-۹۶ و ۹۷ به‌ترتیب ۶۰۰۰۰ و ۱۰۰۰۰۰ ریال و سایر هزینه‌های داشت شامل گرده‌افشانی، کود و سم و سایر هزینه‌ها برابر با ۵۴۰۰۰ و ۶۰۰۰۰ ریال برای دو سال مورد بررسی بود. قیمت فروش محصول انجیر بسته به کیفیت میوه در سال ۹۵-۹۶ بین ۲۰۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰۰ ریال بود که قیمت ۲۰۰۰۰۰ ریال مربوط به تیمار دیم و قیمت ۲۵۰۰۰۰ ریال مربوط به تیماری بود که آبیاری کامل شده بود. در سال ۹۷ قیمت فروش میوه انجیر بسته به کیفیت آن بین ۳۰۰۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰۰ ریال در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

همان‌گونه که در مواد و روش‌ها اشاره شد، با اندازه‌گیری اختلاف دمای پوشش سبز درختان انجیر و دمای هوا بر اساس روش ایدسو، زمان نیاز آبیاری در هر تیمار

جدول ۱- میانگین ۱۴ ساله پارامترهای اقلیمی ایستگاه سینوپتیک استهبان

متوسط باد ماکزیمم		تعداد روز	ساعت آفتابی	تبخیر (میلی متر)	ارتفاع برف	بارندگی(میلی متر)		رطوبت نسبی ماهیانه (%)			میانگین درجه حرارت						
ماه های سال	سرعت (متر بر ثانیه)	سمت - درجه	یخبندان	جمع ماهانه	تجمعی (cm)	حداکثر روزانه	تعدادروز بارانی	مقدار	متوسط	حداکثر	حداقل	روز	حداکثر مطلق	روز	متوسط دما	حداکثر دما	حداقل دما
فروردین	۱۵	۲۴۷	۱	۲۵۴/۰	۰	۴۲/۲	۷	۴۰/۹۴	۴۶	۶۸	۲۳		۲۹/۴		۱۴/۶	۲۲/۱	۷/۲
اردیبهشت	۱۵	۲۵۹	۰	۳۰۶/۲	۰	۳۰/۸	۲	۶/۹۰	۳۵	۵۵	۱۵		۳۵/۶		۲۰/۰	۲۸/۶	۱۱/۴
خرداد	۱۳	۲۱۲	۰	۳۵۰/۲	۰	۰/۲	۰	۰/۰۲	۲۳	۳۷	۱۰		۳۹/۴		۲۵/۱	۳۴/۲	۱۶/۰
تیر	۱۴	۱۶۹	۰	۳۴۱/۵	۰	۹/۶	۱	۲/۱۷	۲۳	۳۵	۱۱		۴۱/۰		۲۸/۴	۳۶/۸	۲۰/۱
مرداد	۱۵	۱۵۴	۰	۳۲۹/۸	۰	۳۰/۹	۲	۱۰/۳۹	۲۵	۳۷	۱۲		۴۰/۸		۲۸/۰	۳۵/۹	۲۰/۱
شهریور	۱۵	۱۸۸	۰	۳۱۷/۲	۰	۷/۴	۱	۱/۴۸	۲۷	۴۱	۱۲		۳۸/۸		۲۴/۹	۳۳/۵	۱۶/۲
مهر	۱۱	۲۱۷	۰	۳۰۸/۱	۰	۱/۲	۱	۰/۱۲	۳۱	۴۶	۱۵		۳۴/۲		۱۹/۸	۲۹/۱	۱۰/۶
آبان	۱۱	۲۴۸	۲	۲۵۹/۹	۰	۵۵/۶	۳	۱۵/۲۰	۴۲	۶۰	۲۴		۲۸/۶		۱۳/۸	۲۲/۰	۵/۶
آذر	۱۱	۲۴۴	۱۳	۲۳۴/۹	۰	۵۵/۹	۵	۴۵/۵۴	۵۳	۷۴	۳۲		۲۴/۸		۸/۶	۱۶/۰	۱/۲
دی	۱۳	۱۸۹	۱۸	۲۲۹/۲	۲	۲۳/۸	۶	۵۴/۳۵	۵۵	۷۷	۳۳		۲۴/۰		۶/۴	۱۳/۳	-۰/۴
بهمن	۱۴	۲۰۹	۱۴	۲۳۱/۱	۰	۳۰/۰	۷	۶۴/۸۱	۵۳	۷۷	۳۰		۲۳/۰		۷/۸	۱۴/۲	۱/۳
اسفند	۱۵	۲۰۹	۵	۲۵۱/۷	۰	۴۴/۲	۵	۳۰/۰۵	۴۶	۶۸	۲۴		۲۹/۸		۱۱/۴	۱۸/۷	۴/۰
جمع			۵۳	۳۴۱۳/۸	۲۲۴۵/۶	۲	۳۹	۲۷۲/۰									
معدل	۱۳	۲۱۲	۴	۹/۴	۶/۲		۳		۳۸	۵۶	۲۰				۱۷/۴	۲۵/۴	۹/۴
حداقل مطلق													-۸/۲				
حداکثر مطلق	۲۵					۱۰۰/۸					۴۱/۰						



شکل ۱- موقعیت خط تنش بالایی و پایینی به روش ایدسو (۱۹۸۲)

جدول ۲- حدود بحرانی تفاوت دمای پوشش گیاه و دمای هوا (درجه سانتی گراد)

سال	تیمار ۱	تیمار ۱	تیمار ۲	تیمار ۳	تیمار ۴	تیمار ۵	تیمار ۶
اول	میانگین	-۲/۵۴	-۱/۰۳	۰/۴۸	۱/۹۸	۳/۴۹	۵/۰۰
	حداکثر	۰/۵۴	۱/۴۳	۲/۳۲	۳/۲۲	۴/۱۱	۵/۰۰
	حداقل	-۴/۵۷	-۲/۶۶	-۰/۷۴	۱/۱۷	۳/۰۹	۵/۰۰
دوم	میانگین	-۳/۱۶	-۱/۵۳	۰/۱۱	۱/۷۴	۳/۳۷	۵/۰۰
	حداکثر	-۰/۶۴	۰/۴۹	۱/۶۱	۲/۷۴	۳/۸۷	۵/۰۰
	حداقل	-۵/۱۷	-۳/۱۳	-۱/۱۰	۰/۹۳	۲/۹۷	۵/۰۰
دو سال	میانگین	-۲/۸۶	-۱/۲۹	۰/۲۸	۱/۸۶	۳/۴۳	۵/۰۰
	حداکثر	۰/۵۴	۱/۴۳	۲/۳۲	۳/۲۲	۴/۱۱	۵/۰۰
	حداقل	-۵/۱۷	-۳/۱۳	-۱/۱۰	۰/۹۳	۲/۹۷	۵/۰۰

جدول ۳- مقادیر اندازه گیری شده تفاوت دمای پوشش گیاه و دمای هوا (درجه سانتی گراد)

سال	تیمار ۱	تیمار ۱	تیمار ۲	تیمار ۳	تیمار ۴	تیمار ۵	تیمار ۶
اول	میانگین	-۲/۷۸	-۲/۵۴	-۲/۴۴	-۱/۸۱	-۲/۴۲	-۱/۹۲
	حداکثر	۰/۱۴	۰/۴۸	۱/۲۱	۲/۳۳	۰/۷۶	۱/۶۳
	حداقل	-۵/۴۴	-۵/۵۸	-۵/۶۳	-۶/۵۰	-۵/۰۴	-۶/۱۶
دوم	میانگین	-۴/۱۹	-۳/۸۸	-۲/۸۰	-۳/۱۰	-۳/۵۴	-۳/۵۲
	حداکثر	-۱/۷۹	۰/۳۵	۳/۳۸	۱/۷۷	۰/۹۴	-۰/۰۲
	حداقل	-۷/۴۵	-۶/۲۹	-۶/۵۴	-۵/۹۸	-۶/۰۶	-۵/۵۸
دو سال	میانگین	-۳/۵۲	-۳/۲۴	-۲/۶۳	-۲/۴۸	-۳/۰۰	-۲/۷۶
	حداکثر	۰/۱۴	۰/۴۸	۳/۳۸	۲/۳۳	۰/۹۴	۱/۶۳
	حداقل	-۷/۴۵	-۶/۲۹	-۶/۵۴	-۶/۵۰	-۶/۰۶	-۶/۱۶

وضعیت آب و هوایی منطقه در این دو سال بود. چون اطلاعات هواشناسی نشان داد که در سال دوم میزان بارندگی و رطوبت نسبی کمتر از سال اول و مقدار عواملی مانند میانگین دما، حداکثر دما، سرعت باد، ساعات آفتابی و تبخیر بیش تر از سال اول بود؛ بنابراین به طور کلی سال دوم آزمایش سالی گرم تر و خشک تر نسبت به سال اول بود (جدول ۴).

جدول ۵ میزان آبیاری دریافتی هر درخت در سال- های آزمایش را نیز نشان می دهد. در تیمار بدون تنش به طور متوسط ۱۵/۰ مترمکعب آب توسط هر درخت دریافت شده است. در سال دوم آزمایش به دلیل خشکی بیش تر، حدوداً شش مترمکعب آب بیشتر از سال اول مورد نیاز بود.

جدول ۲ تعداد و میزان آبیاری در هر تیمار در دو سال آزمایش را نشان می دهد. بازه انجام آبیاری خرداد تا مرداد ماه بود. مشاهده می گردد که در سال ۹۵ و ۹۶ (سال اول و دوم آزمایش)، درختان تیمار یک که تیمار بدون تنش آبی بوده بترتیب ۸ و ۱۲ مرتبه آبیاری گردیدند. درختان تیمار دو با شاخص تنش آبی ۰/۲۰، بترتیب پنج و شش مرتبه در سال اول و دوم آزمایش آبیاری شدند. تیمار سه با شاخص تنش آبی ۰/۴۰ در سال اول و دوم بترتیب یک و دو مرتبه آبیاری شد. تیمار چهار با شاخص تنش آبی ۰/۶۰ در هر دو سال آزمایش فقط یک مرتبه نیاز به آب داشت. تیمار پنج با شاخص تنش آبی ۰/۸۰ در طول دو سال آزمایش نیاز به آب نداشت و مانند تیمار شش آبیاری نشد. تعداد دفعات بیش تر آبیاری در سال دوم نسبت به سال اول به دلیل تفاوت

جدول ۴- مقایسه برخی از پارامترهای هواشناسی در سال اول و دوم تحقیق

پارامتر هواشناسی	سال اول	سال دوم
بارندگی سالیانه (میلی متر)	۲۳۴	۲۰۴
تخیر سالیانه (میلی متر)	۱۸۳۰	۲۳۹۱
رطوبت نسبی متوسط (%)	۴۰	۳۸
متوسط دما (درجه)	۱۷/۲	۱۷/۵
میانگین حداکثر دما (درجه)	۲۴/۹	۲۵/۴
جمع ساعات آفتابی در سال	۳۳۶۷	۳۴۹۳
میانگین حداکثر سرعت باد (متر بر ثانیه)	۱۳/۶	۱۴/۶

جدول ۵- میزان آبیاری تیمارهای مختلف در دو سال آزمایش (مترمکعب در هر درخت در سال)

تیمار	سال اول	سال دوم	میانگین دو سال
تعداد دفعات آبیاری	مقدار آبیاری	تعداد دفعات آبیاری	مقدار آبیاری
۱-تنش آبی ۰٪	۸	۱۲/۰	۱۵/۰
۲-تنش آبی ۲۰٪	۵	۷/۵	۸/۳
۳-تنش آبی ۴۰٪	۱	۱/۵	۲/۳
۴-تنش آبی ۶۰٪	۱	۱/۵	۱/۵
۵-تنش آبی ۸۰٪	۰	۰/۰	۰/۰
۶-بدون آبیاری	۰	۰/۰	۰/۰

انجیر در درخت نسبت به تیمارهای با شاخص تنش ۰/۲۰، ۰/۴۰، ۰/۶۰، ۰/۸۰ و شاهد به ترتیب با ۷/۹، ۷/۶، ۳/۱ و ۳/۱ کیلوگرم میوه خشک انجیر در درخت از تفاوت عملکرد

در جدول ۶ و ۷ نتایج تجزیه واریانس و میزان عملکرد محصول در تیمارهای مختلف آورده شده است. تیمار بدون تنش با عملکرد کل ۹/۸ کیلوگرم میوه خشک

بالاتری برخوردار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار بدون تنش با بیش‌ترین عملکرد در سطح اول، شاخص تنش آبی ۰/۲۰ در سطح دوم، شاخص تنش آبی ۰/۴۰ و ۰/۶۰ در سطح سوم و شاخص تنش آبی ۰/۸۰ و شاهد در سطح چهارم قرار گرفتند. به‌طور کلی می‌توان گفت که با افزایش آب آبیاری، عملکرد محصول نیز افزایش یافت.

جدول ۶- تجزیه واریانس مرکب و سطح معنی‌داری اثر تیمار بر عملکرد انجیر

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات عملکرد
سال	۱	۰/۲۱ *
خطای سال	۶	۰/۰۲۱
تیمار	۵	۵۸/۰۴ **
تیمار × سال	۵	۰/۰۳ ^{ns}
خطای آزمایش	۲۹	۰/۰۲
ضریب تغییرات (درصد)		۲/۲۶

جدول ۷- عملکرد وزنی انجیر خشک در تیمارهای مختلف آبیاری

تیمار	عملکرد وزنی (کیلوگرم در هر درخت)			
	سال اول	سال دوم	میانگین دو ساله	
۱- تنش آبی ۰٪	a	a	۹/۷	a
۲- تنش آبی ۲۰٪	b	b	۷/۸	b
۳- تنش آبی ۴۰٪	c	c	۶/۸	c
۴- تنش آبی ۶۰٪	c	c	۷/۱	c
۵- تنش آبی ۸۰٪	d	d	۳/۱	d
۶- بدون آبیاری	d	d	۳/۲	d

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ آزمون چند دامنه‌ای دانکن هستند

که تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد. در تیمارهای پنج و شش، به دلیل عدم انجام آبیاری، عدد صفر در مخرج کسر قرار گرفته و میزان بهره‌وری آب آبیاری یک عدد نامعلوم زیاد را که از سایر تیمارها بیشتر خواهد بود را اختیار خواهد کرد.

جداول ۸ و ۹ نتایج تجزیه واریانس بهره‌وری مصرف آب آبیاری که نسبت عملکرد به آب آبیاری می‌باشد را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که با انجام آبیاری و افزایش مصرف آب، بهره‌وری مصرف آب به‌طور متوسط در دو سال از ۰/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار بدون تنش تا یک مقدار زیاد نامعلوم در تیمار بدون آبیاری متغیر بوده

جدول ۸- تجزیه واریانس مرکب و سطح معنی‌داری اثر تیمار بر بهره‌وری مصرف آب

منابع تغییرات	درجه آزادی	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
سال	۱	۴/۰۷ *
خطای سال	۶	۰/۳۳
تیمار	۵	۳۹۸/۹۰ **
تیمار × سال	۵	۶/۸۶ **
خطای آزمایش	۲۹	۰/۲۰
ضریب تغییرات (درصد)		۶/۸۴

جدول ۹- مقادیر بهره‌وری مصرف آب آبیاری در تیمارهای مختلف

تیمار	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)					
	سال اول		سال دوم		میانگین دو ساله	
۱- تنش آبی ۰٪	d	۰/۸۱	e	۰/۵۵	e	۰/۶۵
۲- تنش آبی ۲۰٪	c	۱/۰۴	d	۰/۸۹	d	۰/۹۵
۳- تنش آبی ۴۰٪	b	۴/۵۳	c	۲/۳۰	c	۳/۰۰
۴- تنش آبی ۶۰٪	b	۴/۶۷	b	۴/۸۷	b	۴/۷۳
۵- تنش آبی ۸۰٪	a	نامعلوم	a	نامعلوم	a	نامعلوم
		(زیاد)		(زیاد)		(زیاد)
۶- بدون آبیاری	a	نامعلوم	a	نامعلوم	a	نامعلوم
		(زیاد)		(زیاد)		(زیاد)

در جدول ۱۰ قیمت فروش میوه خشک انجیر، هزینه آبیاری، سایر هزینه‌های تولید، درآمد فروش انجیر و درآمد ایجاد شده از مصرف هر مترمکعب آب در دو سال مورد بررسی آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که اعمال یک نوبت آبیاری (تیمار ۴) در سال ۹۶ و ۹۷ به ترتیب ۹۸۰۰۰۰ ریال و بیش از ۱۵۱۰۰۰۰ ریال به ازای هر مترمکعب آب درآمد ناخالص ایجاد کرده است. افزایش درآمد سال ۹۷ نسبت به سال ۹۶ به دلیل افزایش چشم‌گیر قیمت انجیر در سال ۹۷ بوده است. اگرچه در سال ۹۷ هزینه آبیاری و سایر هزینه‌های تولید نسبت به سال ۹۶ افزایش یافته لیکن میزان افزایش درآمد فروش انجیر از افزایش هزینه‌ها بیش‌تر بوده است. در تیمار یک که آبیاری به صورت کامل انجام گرفته، درآمد از آب در آن دو سال به ترتیب ۱۶۳۳۳۰ و ۲۶۱۳۳۰ ریال بود. با افزایش آبیاری کیفیت محصول افزایش یافته که نتیجه آن افزایش قیمت فروش هر کیلوگرم انجیر بوده است.

در جدول ۱۰ قیمت فروش میوه خشک انجیر، هزینه آبیاری، سایر هزینه‌های تولید، درآمد فروش انجیر و درآمد ایجاد شده از مصرف هر مترمکعب آب در دو سال مورد بررسی آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که اعمال یک نوبت آبیاری (تیمار ۴) در سال ۹۶ و ۹۷ به ترتیب ۹۸۰۰۰۰ ریال و بیش از ۱۵۱۰۰۰۰ ریال به ازای هر مترمکعب آب درآمد ناخالص ایجاد کرده است. افزایش درآمد سال ۹۷ نسبت به سال ۹۶ به دلیل افزایش چشم‌گیر قیمت انجیر در سال ۹۷ بوده است. اگرچه در سال ۹۷ هزینه آبیاری و سایر هزینه‌های تولید نسبت به سال ۹۶ افزایش یافته لیکن میزان افزایش درآمد فروش انجیر از افزایش هزینه‌ها بیش‌تر بوده است. در تیمار یک که آبیاری به صورت کامل انجام گرفته، درآمد از آب در آن دو سال به ترتیب ۱۶۳۳۳۰ و ۲۶۱۳۳۰ ریال بود. با افزایش آبیاری کیفیت محصول افزایش یافته که نتیجه آن افزایش قیمت فروش هر کیلوگرم انجیر بوده است.

جدول ۱۰- هزینه و درآمد تولید انجیر در تیمارهای مختلف آبیاری

تیمار	قیمت فروش انجیر (ریال بر کیلوگرم)		هزینه آبیاری (ریال بر درخت)		سایر هزینه‌های تولید (ریال بر درخت)		درآمد فروش انجیر (ریال بر درخت)		درآمد از آب (ریال بر متر مکعب)	
	سال ۹۶-۹۵	سال ۹۷	سال ۹۶-۹۵	سال ۹۷	سال ۹۶-۹۵	سال ۹۷	سال ۹۶-۹۵	سال ۹۷	سال ۹۶-۹۵	سال ۹۷
۱	۲۵۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰	۷۵۰۰۰۰	۱۰۵۰۰۰۰	۶۰۹۱۸۰	۷۱۵۲۹۰	۲۴۵۰۰۰۰	۳۹۲۰۰۰۰	۱۶۳۳۳۰	۲۶۱۳۳۰
۲	۲۳۷۰۰۰	۳۷۵۰۰۰	۴۱۵۰۰۰	۵۸۱۰۰۰	۵۹۵۷۶۰	۶۹۲۲۹۰	۱۸۷۲۳۰۰	۲۹۶۲۵۰۰	۲۲۵۵۸۰	۳۵۶۹۳۰
۳	۲۲۵۰۰۰	۳۵۰۰۰۰	۱۱۵۰۰۰	۱۶۱۰۰۰	۵۸۹۴۱۰	۶۸۲۳۵۰	۱۵۷۵۰۰۰	۲۴۵۰۰۰۰	۶۸۴۷۸۰	۱۰۶۵۲۲۰
۴	۲۱۰۰۰۰	۳۲۵۰۰۰	۷۵۰۰۰	۱۰۵۰۰۰	۵۸۹۴۱۰	۶۸۲۳۵۰	۱۴۷۰۰۰۰	۲۲۷۵۰۰۰	۹۸۰۰۰۰	۱۵۱۶۶۷۰
۵ و ۶	۲۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۰	۰	۵۶۱۸۸۰	۶۳۶۴۷۰	۶۲۰۰۰۰	۹۳۰۰۰۰	-	-

جدول ۱۱ و ۱۲ تفاوت و نسبت درآمد به هزینه انجیر را در سال ۹۶ و ۹۷ نشان می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد بیش‌ترین تفاوت درآمد و هزینه مربوط به تیمار سه بوده است. در سال ۹۶ تفاوت درآمد و هزینه یا سود خالص به-دست آمده از هر درخت در درختان دیم ۵۸۱۲۰ ریال و از درختی که آبیاری کامل شده است ۱۰۹۰۸۲۰ ریال بود. با یک بار آبیاری، میزان سود خالص دریافتی از هر درخت به ۸۰۵۵۹۰ ریال رسید. میزان سود خالص به‌دست آمده از هر کیلوگرم میوه انجیر در تیمار دیم ۱۸۷۵۰ و در تیمار آبیاری کامل ۱۱۱۳۱۰ ریال بر کیلوگرم و به‌طور متوسط در تیمارهای آبیاری حدود ۱۱۵۰۰۰ ریال بر کیلوگرم بود. تفاوت درآمد به هزینه یا سود به‌دست آمده از مصرف هر

جدول ۱۱ و ۱۲ تفاوت و نسبت درآمد به هزینه انجیر را در سال ۹۶ و ۹۷ نشان می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد بیش‌ترین تفاوت درآمد و هزینه مربوط به تیمار سه بوده است. در سال ۹۶ تفاوت درآمد و هزینه یا سود خالص به-دست آمده از هر درخت در درختان دیم ۵۸۱۲۰ ریال و از درختی که آبیاری کامل شده است ۱۰۹۰۸۲۰ ریال بود. با یک بار آبیاری، میزان سود خالص دریافتی از هر درخت به ۸۰۵۵۹۰ ریال رسید. میزان سود خالص به‌دست آمده از هر کیلوگرم میوه انجیر در تیمار دیم ۱۸۷۵۰ و در تیمار آبیاری کامل ۱۱۱۳۱۰ ریال بر کیلوگرم و به‌طور متوسط در تیمارهای آبیاری حدود ۱۱۵۰۰۰ ریال بر کیلوگرم بود. تفاوت درآمد به هزینه یا سود به‌دست آمده از مصرف هر

مترمکعب آب در تیمار آبیاری کامل و تیمار یک مرتبه آبیاری به‌ترتیب ۷۲۷۲۰ و ۵۳۷۰۶۰ ریال بود که تفاوت چشم‌گیری است. تفاوت سود خالص به دست آمده از تیمار آبیاری کامل و تیمار دیم ۱۰۳۲۷۱۰ ریال به‌ازای هر درخت و به‌ازای یک نوبت آبیاری ۷۴۷۴۷۰ ریال به‌ازای هر درخت به دست آمد. میزان نسبت درآمد به هزینه در تیمار دیم، تیمار یک نوبت آبیاری و تیمار آبیاری کامل به‌ترتیب ۱/۱۰،

۲/۲۱ و ۱/۸۰ برآورد گردید. بیش‌ترین میزان نسبت درآمد به هزینه مربوط به تیمار سه به میزان ۲/۲۴ بوده که تفاوت قابل توجهی با تیمار سه نداشت. نتایج نشان می‌دهد که نسبت درآمد به هزینه در تیمار دیم خیلی کمتر از تیمارهای آبیاری بوده ولی به‌طور کلی با افزایش آبیاری کاهش یافته است.

جدول ۱۱- تفاوت و نسبت درآمد به هزینه انجیر در سال ۹۵ و ۹۶

تیمار آبیاری	تفاوت درآمد و هزینه (ریال بر درخت)	تفاوت درآمد و هزینه (ریال بر کیلوگرم)	تفاوت درآمد و هزینه (ریال بر مترمکعب)	تفاوت درآمد و هزینه نسبت به تیمار بدون آب (ریال بر درخت)	نسبت درآمد به هزینه هر درخت
۱	۱۰۹۰۸۲۰	۱۱۱۳۱۰	۷۲۷۲۰	۱۰۳۲۷۱۰	۱.۸۰
۲	۸۶۱۵۴۰	۱۰۹۰۶۰	۱۰۳۸۰۰	۸۰۳۴۲۰	۱.۸۵
۳	۸۷۰۵۹۰	۱۲۴۳۷۰	۳۷۸۵۲۰	۸۱۲۴۷۰	۲.۲۴
۴	۸۰۵۵۹۰	۱۱۵۰۸۰	۵۳۷۰۶۰	۷۴۷۴۷۰	۲.۲۱
۵ و ۶	۵۸۱۲۰	۱۸۷۵۰	-	۰	۱.۱۰

هزینه تیمار دیم نیز برابر با ۱/۴۶ گردید که از مقدار مشابه در سال ۹۵ و ۹۶ (۱/۱۰) بیش‌تر است؛ بنابراین می‌توان گفت میزان سود خالص سال ۹۷ نسبت به سال ۹۶ و ۹۵، به‌ازای هر درخت حدود ۷۰ درصد، به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی ۸۶ درصد و به‌ازای هر کیلوگرم میوه خشک انجیر حدود ۹۰ درصد افزایش داشت. مهم‌ترین دلیل افزایش سود خالص سال ۹۷ نسبت به سال‌های قبل می‌تواند این باشد که در سال ۹۷ عمده هزینه‌های تولید توسط باغداران به صورت ریالی پرداخت شده ولی قیمت فروش محصول بیش‌تر متأثر از قیمت ارز بوده که جهش شدیدتری داشته است.

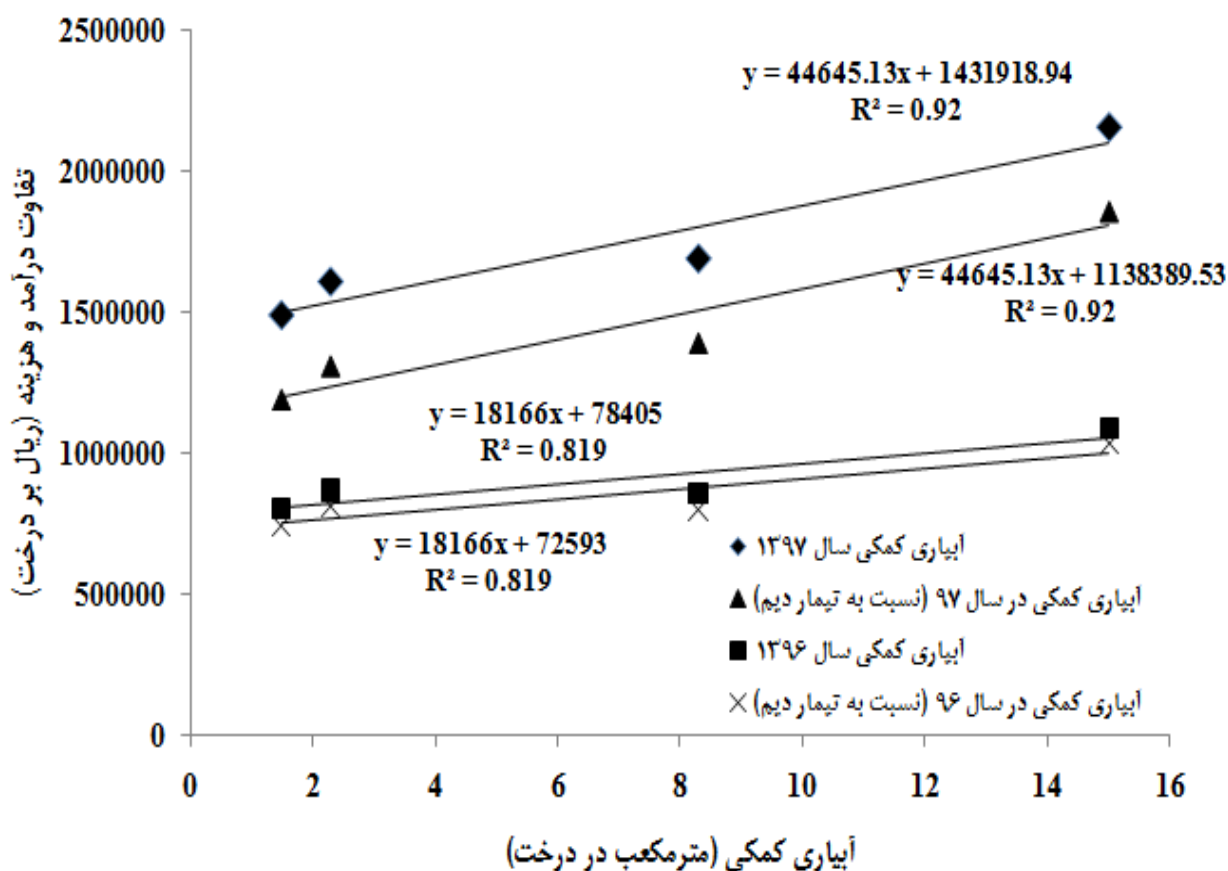
بر اساس جدول ۱۲ در سال ۹۷ و پس از افزایش قیمت‌ها، روند و نتایج کلی تفاوت بین تیمارها مشابه سال ۹۶ و ۹۵ بوده ولی میزان تفاوت درآمد و هزینه و نسبت درآمد به هزینه در سال ۹۷ نسبت به سال ۹۵ و ۹۶ افزایش چشم‌گیری داشته است. سود خالص به دست آمده از هر درخت دیم به ۲۹۳۵۳۰ ریال و در آبیاری کامل به ۲۱۵۴۷۱۰ ریال رسید. با یک‌بار آبیاری میزان سود به ۱۴۸۷۶۵۰ ریال رسید. میزان تفاوت در سود به‌دست آمده از تیمار چهار (یک مرتبه آبیاری) نسبت به تیمار دیم ۱۱۹۴۱۲۰ ریال بود. نسبت درآمد به هزینه نیز افزایش داشت و در تیمارهای مختلف آبیاری بین ۲/۲۲ و ۲/۹۱ متغیر بود. نسبت درآمد به

جدول ۱۲- تفاوت و نسبت درآمد به هزینه انجیر در سال ۹۷

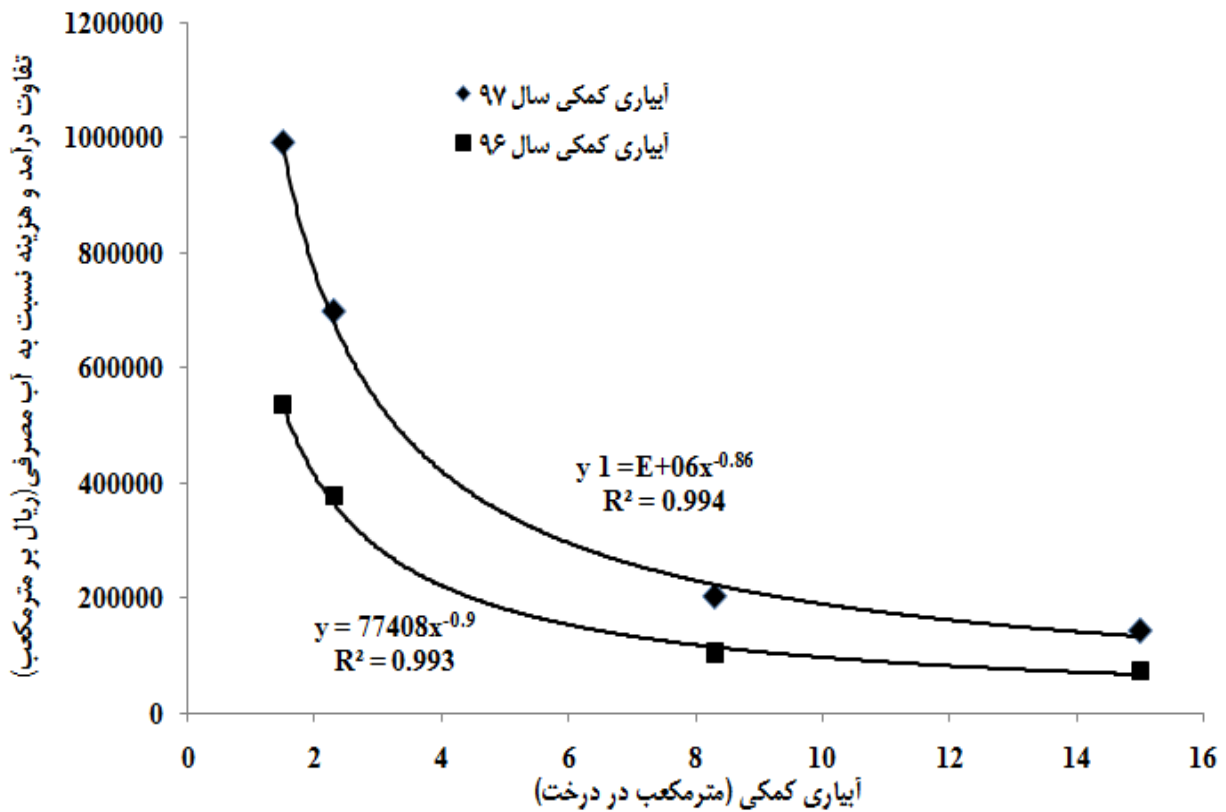
تیمار آبیاری	تفاوت درآمد و هزینه (ریال بر درخت)	تفاوت درآمد و هزینه (ریال بر کیلوگرم)	تفاوت درآمد و هزینه (ریال بر مترمکعب)	تفاوت درآمد و هزینه نسبت به تیمار بدون آب (ریال بر درخت)	نسبت درآمد به هزینه هر درخت
۱	۲۱۵۴۷۱۰	۲۱۹۸۷۰	۱۴۴۶۵۰	۱۸۶۱۸۰	۲.۲۲
۲	۱۶۸۸۵۶۰	۲۱۳۷۴۰	۲۰۳۴۴۰	۱۳۹۵۰۳۰	۲.۳۳
۳	۱۶۰۶۶۵۰	۲۲۹۵۲۰	۶۹۸۵۴۰	۱۳۱۳۱۲۰	۲.۹۱
۴	۱۴۸۷۶۵۰	۲۱۲۵۲۰	۹۹۱۷۶۰	۱۱۹۴۱۲۰	۲.۸۹
۵ و ۶	۲۹۳۵۳۰	۹۴۶۹۰	-	۰	۱.۴۶

کاهش می‌یابد. منحنی مربوط به سال ۹۷ به‌طور کامل در بالای منحنی سال قبل قرار گرفته که نشان دهنده سود چشم-گیر در این سال نسبت به سال قبل به دلیل افزایش قیمت‌ها می‌باشد. طبق شکل ۴ تغییرات نسبت درآمد به هزینه در هر دو سال مورد بررسی به شکل معادله خط راست با شیب منفی بوده که دوباره خط مربوط به سال ۹۷ بالاتر از خط مربوط به سال ۹۶ می‌باشد و به‌طور کلی با افزایش آبیاری نسبت درآمد به هزینه کاهش می‌یابد. شکل ۵ تغییرات تفاوت درآمد و هزینه بر میزان محصول تولیدی را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که آبیاری تغییر چندانی در میزان سود به‌دست آمده از هر کیلوگرم محصول نداشته است و همبستگی آماری بین مقادیر سود وجود نداشته است.

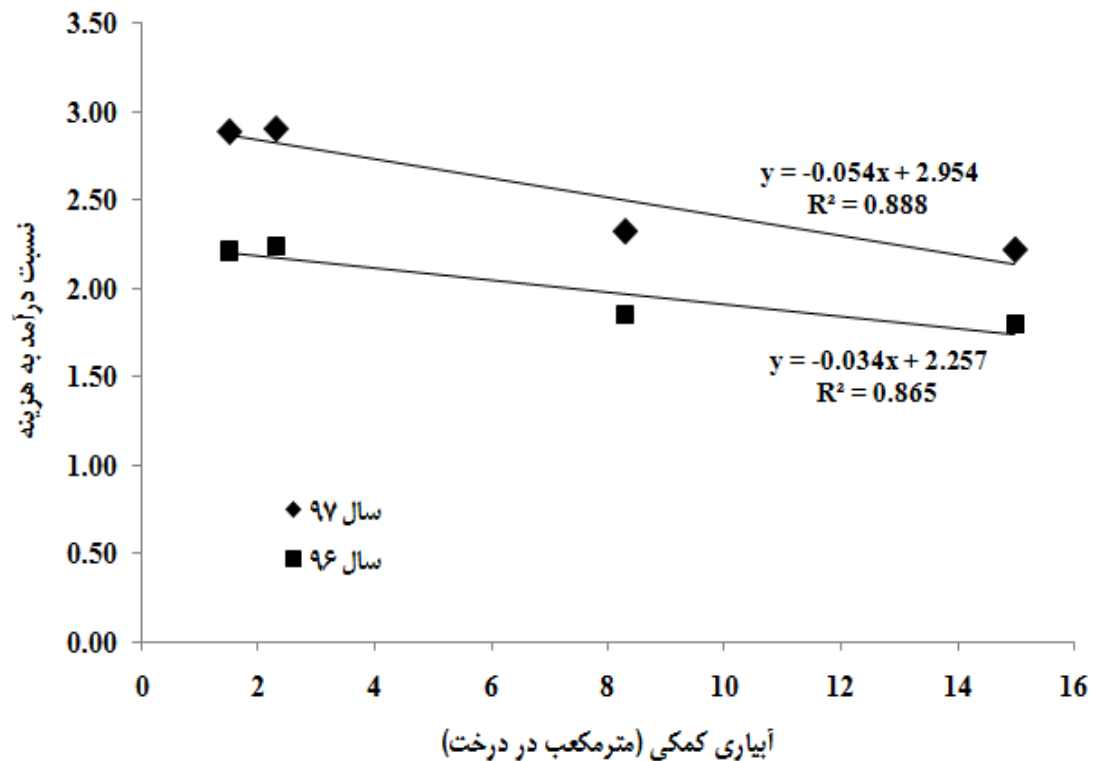
شکل ۲ خطوط برازش شده بر مقادیر تفاوت درآمد و هزینه در هر درخت را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد تغییرات تفاوت درآمد و هزینه به میزان آبیاری از معادله خط راست پیروی نموده و از معادلات خطوط برازش شده می‌توان به منظور پیش بینی سود خالص به‌ازای مقادیر آبیاری استفاده کرد. این خطوط نیز نشان می‌دهند که میزان و شیب افزایش سود در سال ۹۷ بیش‌تر از سال‌های قبل بوده است. شکل ۳ خطوط برازش شده بر تفاوت درآمد و هزینه به‌ازای آب مصرف شده در دو سال مورد بررسی را نشان می‌دهد. تغییرات این پارامتر در هر دو سال مورد بررسی از منحنی توانی با شیب منفی پیروی کرده که با افزایش دفعات یا میزان آبیاری، میزان سود حاصله به‌شدت



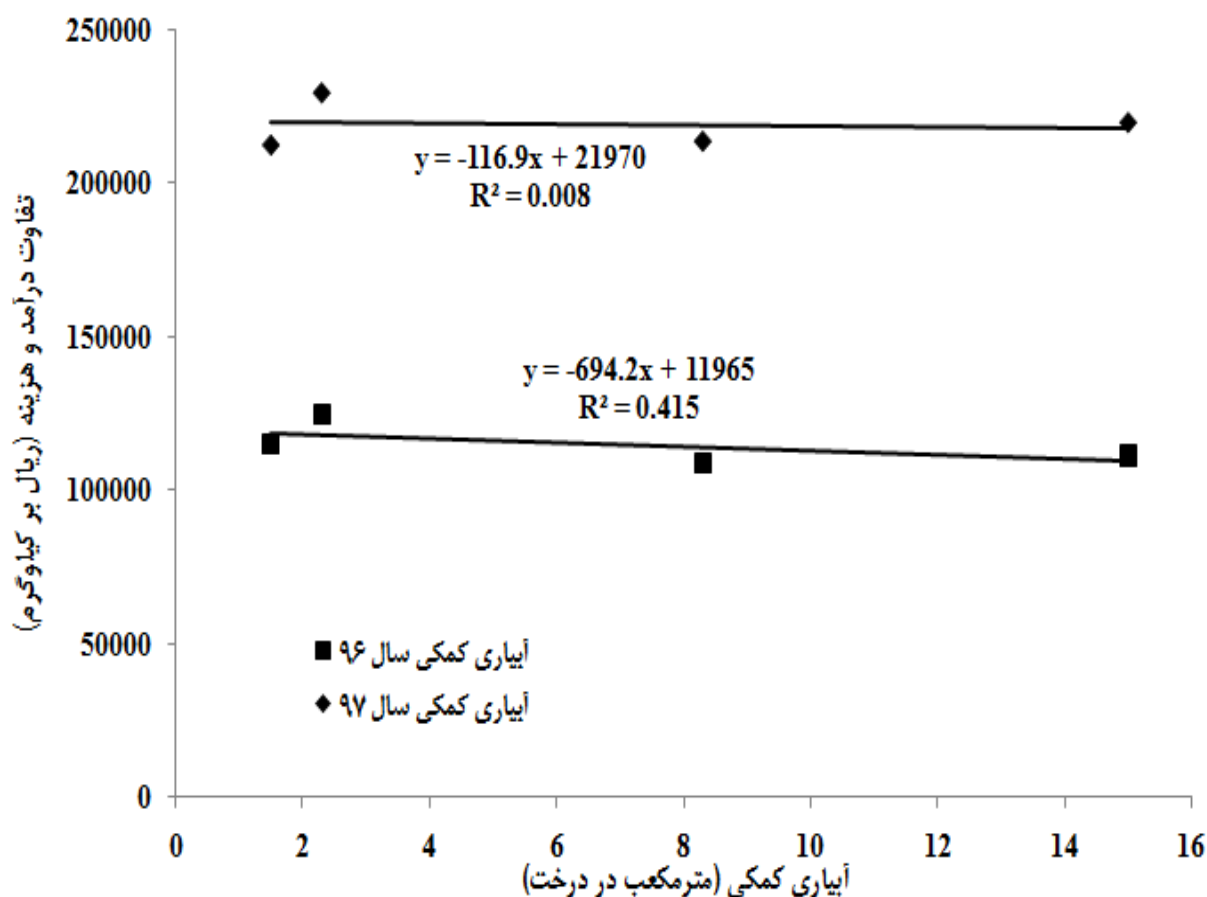
شکل ۲- مقایسه تفاوت درآمد و هزینه در مقادیر مختلف آبیاری به‌ازای هر درخت



شکل ۳- مقایسه تفاوت درآمد و هزینه در مقادیر مختلف آبیاری به ازای میزان آب مصرفی



شکل ۴- مقایسه نسبت درآمد به هزینه در مقادیر مختلف آبیاری



شکل ۵- مقایسه تفاوت درآمد و هزینه در میزان محصول به ازای میزان آب مصرفی

نتیجه گیری و پیشنهادات

نتایج این تحقیق نشان داد که با اندازه گیری دمای پوشش سبز گیاه و استفاده از روابط ارائه شده توسط ایدسو می توان به خوبی برنامه ریزی آبیاری درختان انجیر دیم را انجام داد. متوسط میزان آب داده شده به هر درخت در پنج تیمار تنش آبی بین ۱/۵ تا ۱۵ و در تیمار دیم (بدون آبیاری) صفر متر مکعب بود. میزان عملکرد این تیمارها نیز بین ۹/۸ تا ۳/۱ کیلوگرم در هر درخت متغیر بود. متوسط بهره‌وری مصرف آب در تیمار یک (آبیاری کامل) ۰/۶۵، در تیمار چهار (یک مرتبه آبیاری) ۴/۷۳ کیلوگرم بر مترمکعب و در تیمار دیم میزانی زیاد و نامعلوم به دست آمد؛ بنابراین مشاهده می‌گردد که با انجام آبیاری، میزان عملکرد محصول تا بیش از سه برابر افزایش یافته و در عوض میزان بهره‌وری

مصرف آب کاهش داشته است. بررسی‌های اقتصادی نشان داد که به طور کلی تفاوت درآمد و هزینه و نسبت درآمد به هزینه در سال ۹۷ خیلی بیش‌تر از سال ۹۶ و ۹۵ بوده که به دلیل افزایش بیش‌تر قیمت فروش میوه انجیر نسبت به افزایش هزینه‌ها بوده است. در سال‌های مورد بررسی با انجام یک مرتبه آبیاری میزان محصول و در نتیجه میزان تفاوت سود خالص نسبت به تیمار دیم به شدت افزایش داشته است. در سال ۹۵ و ۹۶ این تفاوت ۷۴۰۰۰۰ ریال و در سال ۹۷ حدود ۱۱۹۰۰۰۰ ریال به ازای هر درخت بوده است. میزان سود به دست آمده با انجام یک مرتبه آبیاری به ترتیب حدود ۵۳۰۰۰۰ و ۹۹۰۰۰۰ ریال به ازای هر مترمکعب آب برآورد گردید که با افزایش تعداد دفعات آبیاری این سود کاهش یافته تا در آبیاری کامل به ترتیب به حدود

۷۲۰۰۰ و ۱۴۳۰۰۰ ریال بر مترمکعب رسید. نسبت درآمد به هزینه نیز در سال‌های مورد بررسی از ۱/۱۰ و ۱/۴۶ در شرایط دیم به ۲/۲۱ و ۲/۸۹ در شرایط اعمال یک مرتبه آبیاری رسید که افزایش حدود دو برابری را نشان می‌دهد. در سال‌های گذشته به دلیل خشکی‌های مکرر، درختان انجیر دیم استهبان رو به خشکی رفته و انجام آبیاری به منظور نجات این درختان امری ضروری به نظر می‌رسید. باغ‌داران منطقه نیز بر اساس تجربه سال‌های گذشته به اهمیت آبیاری در حفظ درختان خود پی برده و به دلیل افزایش سود اقتصادی، تمایل زیادی به انجام آبیاری دارند؛ بنابراین باید

این موضوع به نحو مطلوب مدیریت شده که علاوه بر حفظ این انجیرستان از خطر خشکی و افزایش سود اقتصادی برای باغداران، با مصرف حداقل آب، به منابع آبی منطقه نیز لطمه‌ای وارد نشود. بررسی فنی و اقتصادی آبیاری درختان انجیر دیم استهبان در این تحقیق نشان داد که با یک نوبت آبیاری به میزان ۱۵۰۰ لیتر به ازای هر درخت و در اوایل مرداد ماه هر سال، علاوه بر نجات درختان از خشکی و مصرف آب کمتر، میزان محصول و سود اقتصادی به دست آمده را به شدت افزایش می‌دهد.

فهرست منابع

۱. اسدی، ه.، زمانیان، غ. و توکلی، ع. ۱۳۹۴. بررسی اقتصادی تک آبیاری و تعیین هزینه تمام شده آب آبیاری در مزارع گندم دیم منطقه هنام، استان لرستان. مجله بوم شناسی گیاهان زراعی، جلد ۱۱، شماره ۲، ۱-۱۰.
۲. پرهیزکاری، ا. و بدیع برزین، ح. ۱۳۹۶. تعیین ارزش اقتصادی آب و شبیه سازی رفتار کشاورزان منطقه تاکستان در کاهش منابع آب کشاورزی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ب، جلد ۳۱، شماره ۱، ۱۰۶-۱۱۸.
۳. پوران، ر.، راغفر، ح.، قاسمی، ع. و بزازان، ف. ۱۳۹۶. محاسبه ارزش اقتصادی آب مجازی با رویکرد حداکثر سازی بهره وری آب آبیاری. فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، سال ۶، شماره ۲۱، ۱۸۹-۲۱۲.
۴. پیری، ح. و حیدری، م. ۱۳۹۶. برآورد تابع تقاضا و ارزش اقتصادی آب در تولید سورگوم علوفه ای در منطقه سیستان. تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۱۰، شماره ۲، ۱۲۱-۱۳۴.
۵. زارع، ح. (۱۳۸۶). بررسی اثرهای هرس بر کمیت و کیفیت انجیر خشک رقم سبز در شرایط دیم. علوم و فنون باغبانی ایران، ۸ (۱)، ۱-۱۲.
۶. زارعی، ن.، مهرابی بشرآبادی، ح. و خسروی، م. ۱۳۹۳. برآورد ارزش اقتصادی آب در تولید سیب زمینی؛ مطالعه موردی: روستاهای استان های کردستان و همدان. فصلنامه راهبردهای توسعه روستایی، جلد ۱، شماره ۳، ۱۹-۳۲.
۷. شاهرخ نیا، م.ع. و کرمی، م.ج. (۱۳۹۶). بررسی اثر مقادیر مختلف آب آبیاری بر عملکرد انگور یاقوتی. مجله مهندسی آبیاری و آب، سال ۷، شماره ۲۸، ۱۰۸-۱۲۲.
۸. شاهرخ نیا، م.ع.، جوکار، ل. و رخشنده رو، م. (۱۳۹۵). بررسی تنش آبی با استفاده از شاخص های دمای برگ و رطوبت خاک بر عملکرد و بهره وری مصرف آب گوجه فرنگی نشایی. مجله مهندسی آبیاری و آب، سال ۷، شماره ۲۶، ۹۷-۱۱۱.
۹. شاهرخ نیا، م.ع. و رحیمی، ه. (۱۳۹۵). بررسی اقتصادی کم آبیاری ارقام گوجه فرنگی در کشت نشایی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ب، جلد ۳۰، شماره ۴، ۴۸۳-۴۹۵.
۱۰. عزیزی، ش.، توبه، ا.، رزمجو، ا.، همپایی، خ. و یقینی، ف. ۱۳۹۶. ارزیابی بهره وری فیزیکی و اقتصادی آب مصرفی در الگوی کشت محصولات زراعی دیم (مطالعه موردی: دهستان انجیرلو)، سومین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج.
۱۱. علیزاده دیزج، ا. و ابراهیمیان، ح. ۱۳۹۶. بررسی اثر آبیاری تکمیلی و تاریخ کاشت بر بهره وری فیزیکی و اقتصادی آب مصرفی گیاهان گندم و جو در شرایط دیم ارومیه. مجله زراعت دیم ایران، دوره ۶، شماره ۲، ۲۴۷-۲۶۲.
۱۲. فلاحی، ا.، خلیلیان، ص. و احمدیان، م. ۱۳۹۴. استخراج توابع تقاضا و تعیین ارزش اقتصادی آب در تولید محصولات عمده زراعی دشت سیدان-فاروق شهرستان مرو دشت. اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۳، شماره ۹۰، ۱-۲۸.
۱۳. گلزاری، ز.، اشراقی، ف. و کرامت زاده، ع. ۱۳۹۵. برآورد ارزش اقتصادی آب در تولید محصول گندم در شهرستان گرگان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ب، جلد ۳۰، شماره ۴، ۴۵۷-۴۶۶.

۱۴. محمودی، ا. و کریمی، ه. ۱۳۹۶. ارزش گذاری اقتصادی آب برای مزارع بزرگ و کوچک گندم (مطالعه موردی: شهرستان طبس). اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۵، شماره ۱۰۰، ۱-۱۹.
۱۵. موسی وند، س. و غفاری، ح. ۱۳۹۴. برآورد ارزش اقتصادی آب در تولید محصول پیاز در حوزه آبریز زنجانرود. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ب، جلد ۲۹، شماره ۴، ۵۴۷-۵۵۷.
16. Abdolahipour, M., Kamgar-Haghighi, A.A., Sepaskhah, A.R. 2018. Time and amount of supplemental irrigation at different distances from tree trunks influence on soil water distribution, evaporation and evapotranspiration in rainfed fig orchards. *Agricultural Water Management*, 203, 322-332.
17. Al-Desouki, M., Abd El-Rahman, I., Sahar, A. 2009. Effect of some antitranspirants and supplementary irrigation on growth: yield and fruit quality of Sultani fig (*Ficus carica*) grown in the Egyptian western coastal zone under rainfed conditions. *Res. J. Agric. Biol. Sci.* 5, 899-908.
18. Anda, A., Soos, G., Menyhart, L., Kucserka, T., Simon, B. 2020. Yield features of two soybean varieties under different water supplies and field conditions. *Field Crop Research*, 245, (published online)
19. Baker, J.T., Mahan, J.R., Gitz, D.C., Lascano, R.J., Ephrath, J.E. 2013. Comparison of deficit irrigation scheduling methods that use canopy temperature measurements. *Plant Biostems*, 147(1), 40-49.
20. Colak, Y.B., Yazar, A. 2017. Evaluation of crop water stress index on Royal table grape variety under partial root drying and conventional deficit irrigation regimes in the Mediterranean Region. *Scientia Horticulturae*, 224, 384-394.
21. Cosic, M., Stricevic, R., Djurovic, N., Lipovac, A., Bogdan, I., and Pavlovic, M. 2018. Effect of irrigation regime and application of kaolin on canopy temperatures of sweet pepper and tomato. *Scientia Horticulturae*, 238, 23-31.
22. Erdem, Y., Sehirali, S., Erdem, T. and Kenar, D. 2006. Determination of crop water stress index for irrigation scheduling of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Turk J. Agric. For.*, 30, 195-202.
23. Erdem, Y., Erdem, T., Orta, H. and Okursoy, H. 2005. Irrigation scheduling for watermelon with crop water stress index (CWSI). *J. Cent. Eur. Agr.*, 6, 449-460.
24. Gonita, N.K. and Tiwari, K.N. 2008. Development of crop water stress index of wheat crop for scheduling irrigation using infrared thermometry. *Agricultural Water Management*, 95, 1144-1152.
25. Honar, T., Sepaskhah, A.R. 2015. Effect of using potassium on increasing resistance of fig trees to drought. National Drought Research Institute, Shiraz, Iran, pp.113.
26. Idso, S.B. (1982). Non-water stressed base line: A key to measuring and interpreting plant water stress. *Agric. Meteorol.*, 27, 59-70.
27. Idso, S.B., Jackson, R.D., Pinter, P.J., Reginato, R.J. and Hatfield, J.L. 1981. Normalizing the stress-degree day parameter for environmental variability, *Agric. Meteorol.*, 24, 45-55.
28. Jafari, M., Abdolahipour-Haghighi, J., Zare, H. 2012. Mulching impact on plant growth and production of rainfed fig orchards under drought conditions. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 10 (1), 428-433.
29. Kamgar-Haghighi, A.A., Sepaskhah, A.R. 2015. Effects of different levels of supplementary irrigation and pruning times on rainfed fig trees in wet and dry years. National Drought Research Institute, Shiraz, Iran, pp.102.
30. Lebourgeois, V., Chopart, J.L., Begue, A., and Le Mezo, L. 2010. Towards using a thermal infrared index combined with water balance modeling to monitor sugarcane irrigation in a tropical environment. *Agricultural Water Management*, 97, 75-82.

31. Lobo, F.A., Oliva, M.A., Resende, M., Lopes, N.F., and Maestri, M. (2004). Infrared thermometry to schedule irrigation of common bean. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39, 113-121.
32. Misra, R.K., Fuentes, S. and Raine, S.R. (2006). Recent developments and strategies in the use of plant indicators for irrigation scheduling. Cooperative Research Centre for Irrigation Futures, University of Southern Queensland, Toowoomba, QLD 4350.
33. Oweis, T. 1997. Supplemental Irrigation: A highly efficient water-use practice. ICARDA.
34. Sepaskhah, A.R., and Kashefipour, S.M. (1995). Evapotranspiration and crop coefficient of sweet lime under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 27, 331-340.
35. Sepaskhah, A.R., and Kashefipour, S.M. (1994). Relationship between leaf water potential, CWSI, yield and fruit quality of sweet lime under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 25, 13-22.
36. Wang, D., and Gartung, J. 2010. Infrared canopy temperature of early-ripening peach trees under postharvest deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 97, 1787-1794.

بررسی اثرات استفاده از زهاب مزارع نیشکر جنوب خوزستان در کشت گیاه کینوا بر عملکرد محصول و تغییرات شوری و سدیمی خاک

علی مختاران^۱، مهرزاد طاوسی، پیمان ورجاوند و سالومه سپهری صادقیان

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج

کشاورزی، اهواز، ایران. alimokhtaran@gmail.com

محقق بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی،

اهواز، ایران. tavoosimehr@yahoo.com

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج

کشاورزی، اهواز، ایران. pvarjavand@yahoo.com

استادیار پژوهشی بخش آبیاری و زهکشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج،

ایران. sepehri_saloomo@yahoo.com

دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۹ و پذیرش: مهر ۱۳۹۹

چکیده

در استان خوزستان تولید زهاب حاصل از فعالیت‌های مختلف به ویژه کشاورزی، یکی از مشکلات جدی است. کشت گیاهان مقاوم به شوری با استفاده از زهاب می‌تواند به عنوان یک اقدام مناسب مورد توجه قرار گیرد. لذا تحقیقی به منظور بررسی امکان بازچرخانی زهاب مزارع نیشکر برای زراعت زمستانه کینوا با هدف تولید علوفه در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ واقع در مزرعه تحقیقاتی شرکت کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان در جنوب خوزستان انجام شد. این پژوهش به صورت کرت‌های یک‌بارخرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل و سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی مدیریت کیفی آب آبیاری مشتمل بر استفاده از آب رودخانه کارون، زهاب مزارع نیشکر، و آبیاری تلفیقی-تناوبی (یک در میان آب کارون و زهاب) و عامل فرعی، چهار ژنوتیپ کینوا شامل گیزا ۱۱، تی‌تی‌کاکا، روزادا و کیو ۲۶ بود. در بررسی اثر متقابل نوع آب آبیاری با ژنوتیپ، نتایج نشان داد بیشترین زیست توده (بیوماس) بر حسب علوفه خشک مربوط به ژنوتیپ گیزا ۱۱ با تیمار آبیاری با آب کارون به میزان ۳۶۴۵/۶ کیلوگرم در هکتار بود که از نظر آماری با زیست توده تولید شده ژنوتیپ روزادا با تیمار مدیریت آبیاری با زهاب به میزان ۲۶۲۰ کیلوگرم در هکتار در یک گروه بود. پایش شوری عصاره اشباع خاک و تغییرات درصد سدیم قابل تبادل خاک (ESP) که با توجه به نسبت جذب سدیم (SAR) خاک به دست آمد، نشان داد که در طول فصل رشد خاک مزرعه تا عمق یک متری برای دو تیمار آبیاری با آب کارون و آبیاری تلفیقی-تناوبی، در وضعیت غیرشور-غیرسدیمی بود. این در حالی است که خاک مزرعه قبل از کشت و تا عمق ۲۵ سانتی‌متری، وضعیتی شور (۵/۵۴ دسی‌زیمنس بر متر) و از عمق ۲۵ سانتی‌متری به پایین غیرشور بود. در تیمار مدیریت آبیاری با زهاب، خاک تا لایه ۲۵ سانتی‌متری به دلیل شوری آب و اثر مضاعف تبخیر از سطح خاک، در وضعیت شور باقی ماند. اما از عمق ۷۵ سانتی‌متری خاک به پایین، شرایط خاک از شوری دو دسی‌زیمنس بر متر قبل از کشت، به وضعیت شور با سدیم قابل تبادل خاک ۷٪ و شوری عصاره اشباع خاک چهار دسی‌زیمنس بر متر رسید. بر اساس این داده‌ها، در بازچرخانی زهاب کشاورزی، برای حفظ بیلان نمک در خاک، آبیاری در پایان فصل کشت و انجام زهکشی برای خروج نمک‌ها ضرورت دارد.

واژه‌های کلیدی: گیاه شورزیست، آب نامتعارف، پایش شورخاک، آبیاری تلفیقی-تناوبی، مدیریت آبیاری

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

مقدمه

خشکسالی و کم‌آبی در ایران واقعیتی اقلیمی است و با توجه به روند روزافزون نیاز بخش‌های مختلف به آب، مشکل خشکسالی در سال‌های آینده حادث‌تر نیز خواهد شد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵؛ ناصری و همکاران، ۱۳۹۶). یکی از راهکارهای اساسی برای تامین منابع آب کشاورزی با توجه به کمبود منابع آب مناسب، استفاده از آب‌های نامتعارف شامل زهاب‌های کشاورزی، آب‌های شور و لب شور و پساب‌های شهری و صنعتی است. در استان خوزستان، تولید زهاب از بخش‌های مختلف به ویژه کشاورزی، یکی از مشکلات جدی است (بی‌نام، ۱۳۹۷). در این استان، در مجموع نزدیک چهار میلیارد مترمکعب زهاب در سال تولید می‌شود که حجم زهاب شبکه‌های آبیاری و زهکشی حوضه کارون به تنهایی حدود دو میلیارد مترمکعب در سال است (بی‌نام، ۱۳۹۷). واحدهای توسعه نیشکر و مزارع پرورش ماهی از تولیدکنندگان اصلی زهاب این حوضه هستند. یکی از مناطقی که زهاب در آن انباشته و در حال حاضر به دغدغه‌ای جدی تبدیل شده، حوضچه‌های تبخیری جنوب اهواز در منطقه مرزی با عراق است.

این حوضچه‌ها در گذشته وجود نداشته و با توسعه زمین‌های زیرکشت نیشکر و با دفع زهاب ایجاد شده‌اند. مساحت حوضچه‌های مذکور در حال حاضر نزدیک به ۴۲ هزار هکتار است که حدود ۳۵۰ میلیون مترمکعب زهاب را در خود جا داده است. شوری آب در ابتدای حوضچه‌ها (محل ورود از زهکش المهدی به حوضچه ابتدایی) بین پنج تا هفت دسی‌زیمنس بر متر است که در انتها به حدود ۱۲۰ دسی‌زیمنس بر متر می‌رسد (بی‌نام، ۱۳۹۷). این زهاب، به‌خصوص هنگام ورود به حوضچه‌ها که دارای کمترین شوری است، بسیار ارزشمند است و می‌توان از آن برای کشت گیاهان متحمل به شوری یا پرورش آبزیان استفاده کرد تا بخشی از زهاب به مصرف برسد و از حجم زهاب ورودی به حوضچه‌ها کاسته شود. استفاده از زهاب برای مزارع تحت آیش

سالیانه کشت و صنعت‌های نیشکر که به کشت‌های غیر نیشکری اختصاص می‌یابد می‌تواند بر میزان تخصیص آب به شبکه‌های آبیاری کشت و صنعت نیز اثر بگذارد. استفاده مجدد از زهاب کشاورزی، یکی از روش‌های مدیریت زهاب می‌باشد (یازار و همکاران، ۲۰۱۵). زهاب با کیفیت مناسب به‌طور مستقیم و یا به‌صورت مخلوط با آب شیرین می‌تواند برای تولید محصول، مورد استفاده قرار گیرد. تلفیق زهاب با آب شیرین به دو صورت، استفاده تناوبی و اختلاط امکان‌پذیر است. در استفاده تناوبی، دو منبع آب به‌صورت متناوب در فصل کشت مورد استفاده قرار می‌گیرند (استفاده تناوبی درون فصلی)، یا اینکه هر دو منبع آب به‌طور جداگانه در طول فصول برای گیاهان مختلف استفاده می‌شود (استفاده تناوبی بین فصلی). نتایج تحقیقات در هند، پاکستان، آسیای مرکزی و مصر نشان می‌دهد که آبیاری سطحی با استفاده مستقیم از زهاب، بدون کاهش محصول در صورتی امکان‌پذیر است که شوری زهاب از حد آستانه برای گیاهان مورد نظر فراتر نرود و شرایط زهکشی وضعیتی مناسب داشته باشد. پرورش گیاهان متحمل به شوری در این شرایط نیاز به مدیریت بیلان نمک در منطقه ریشه گیاه دارد و هنگامی که زهکشی طبیعی مناسب نباشد، زهکشی مصنوعی برای خارج کردن آب آبتوی مورد نیاز خواهد بود.

کلیه گیاهان حتی ارقام متحمل به شوری در دوران اولیه رشد نسبت به شوری حساس‌ترند. در هند و پاکستان، براساس تحقیقات، پیش‌آبیاری با آب دارای کیفیت مناسب اهمیت خاصی دارد. در این دو کشور نیز برای دستیابی به محصول بیشتر، لازم است پیش‌آبیاری با آب مناسب در نظر گرفته شود و در آبیاری‌های بعد، از زهاب استفاده گردد. در چنین شرایطی، استفاده از زهاب با میزان شوری بیشتر از حد آستانه توأم با حفظ محصول امکان‌پذیر خواهد بود (فائو، ۲۰۰۲). استفاده مجدد از زهاب کشاورزی برای کشت گیاهان اقتصادی مانند کینوا، به‌عنوان گیاه هالوفیت اختیاری (نمک‌رو یا شورزیست) با هدف بهبود ارزش افزوده زهاب برای کشاورزان

خوزستان به خصوص در مرکز و جنوب استان، می تواند با اهمیت باشد. کینوا گیاهی یک ساله است و به منظور تولید دانه و علوفه کشت می شود ولی از برگ های جوان آن به صورت سبزی تازه یا پخته نیز استفاده می گردد. پروتئین کینوا از نظر کمی و کیفی بهتر از دانه غلات متداول است و تعادل اسید آمینه مطلوب تری برای تغذیه انسان و دام نسبت به گندم دارد (طاوسی و لطفعلی آینه، ۱۳۹۶). بذر، کاه و کلش و همچنین علوفه سبز کینوا به دلیل پروتئین بالا برای دام و طیور قابل استفاده است. کینوا می تواند به عنوان یک گیاه علوفه ای نیز مورد توجه قرار گیرد. بهترین زمان برداشت کینوا برای علوفه تر و سیلو کردن زمان گل دهی است که پروتئین علوفه ۱۷-۱۸ و میزان کلسیم نیز ۳/۴ درصد گزارش شده است (صالحی و دهقانی، ۱۳۹۷). کردونی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی با هدف بررسی ارزش کمی و کیفی علوفه کینوا برای سه ژنوتیپ (گیزا ۱۲، روزادا ۳، کیو ۱۰۲)^۴ در استان خوزستان نشان دادند که علوفه هر سه ژنوتیپ در هر سه مرحله برداشت (شروع دانه بندی، شیری شدن دانه و رسیدگی کامل) به لحاظ انرژی قابل متابولیسم دارای کیفیت مناسبی است. از نظر درصد پروتئین خام، دو ژنوتیپ گیزا ۱ و روزادا نسبت به ژنوتیپ کیو ۱۰۲ به طور معنی داری بیشتر بود. طاوسی و همکاران (۱۳۹۸)، در استان خوزستان عملکرد تولید علوفه خشک گیاه کینوا در فصل زمستان بیش از پنج تن در هکتار بدست آمد. رائو و همکاران (۲۰۱۳)، عملکرد بیوماس سبز کینوا را ۴/۳ کیلوگرم در متر مربع گزارش کردند. آنها کینوا را به عنوان یک محصول تولید علوفه پیشنهادی در تناوب زراعی مناطق شور معرفی کردند. تغییرات آب و هوایی ایران به سمت گرم و خشک شدن از یک سو، شور شدن تدریجی خاکهای زراعی کشور و تحمل زیاد گیاه کینوا در مقابل خشکی، شوری و سرمازدگی از سوی دیگر، به طور منطقی بیانگر این است که

از کینوا می توان به عنوان گیاهی مناسب برای رسیدن به کشاورزی پایدار، تغذیه مناسب و تولید صنعتی استفاده کرد (سپهوند، ۱۳۹۲). پانوچیو و همکاران (۲۰۱۴) برای پی بردن به ساز و کار فیزیولوژیکی تحمل به شوری در کینوا که به عنوان یک هالوفیت شناخته می شود، اثرات آب دریا و نمک های مختلف را بر روی جوانه زنی، رشد گیاهچه و فعالیت آن تی اکسیدان بذر این گیاه بررسی کردند. آنها مشاهده کردند که در زمان جوانه زنی، غلظت های پائین نمک ها، سرعت جوانه زنی را در مقایسه با شاهد (آب خالص) افزایش داد اما رشد گیاهچه به نوع و غلظت های مختلف نمک عکس العمل مختلف نشان داد. یازار و همکاران (۲۰۱۵)، پژوهشی به منظور بررسی رقم تی تی کاکا^۵ با استفاده از آب شور با غلظت های (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ دسی زیمنس بر متر) در مقایسه با آب شیرین در منطقه آدنا ترکیه انجام دادند.

نتایج نشان داد که عملکرد آب شور از غلظت ۳۰ دسی زیمنس بر متر به بالا کاهش یافت. همچنین تنش شوری و تنش خشکی در کنار هم به طور معنی داری بر عملکرد دانه و زیست توده موثر بود. هر چند که تنش شوری به تنهایی بر عملکرد و زیست توده تاثیر معنی داری نداشت. سزن و همکاران (۲۰۱۶) تاثیر آب زهکشی با شوری یک دسی زیمنس بر متر روی گیاه کینوا با استفاده از سیستم آبیاری بارانی در آب و هوای مدیترانه ای کشور ترکیه بر عملکرد، بهره وری آب و تجمع نمک در منطقه توسعه ریشه گیاه بررسی کردند. در این تحقیق دو ساله حداکثر عملکرد گیاه ۴۸۸۰ و ۴۵۱۰ کیلوگرم بر هکتار بود. همچنین نتایج یازار و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که در شرایط کمبود آب می توان زهاب را برای آبیاری کینوا استفاده کرد و سطوح آبیاری و زمان کاشت به طور معنی داری عملکرد و اجزا عملکرد را تحت تاثیر قرار می دهد. جمالی و شریفان (۱۳۹۷) در پژوهشی با هدف بررسی اثر سطوح مختلف شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا (رقم تی تی کاکا)، پنج سطح اختلاط آب

^۴-Giza 1^۳-Rosada^۴-Q102^۵-Titicaca

شور دریا (۲۵/۴ دسی زیمنس بر متر) و آب شهری (۰/۵ دسی زیمنس بر متر) شامل ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درصد اختلاط آب دریا و آب شهری که به ترتیب معادل شوری (۰/۵، ۴/۳، ۸، ۱۱/۸ و ۱۵/۵ دسی زیمنس بر متر) در شرایط گلخانه‌ای و در گلدان با بافت خاک رسی سیلنتی مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، نتایج نشان دهنده اثر منفی شوری بر همه صفات گیاهی بود. همچنین تیمار ۱۵ درصد اختلاط آب دریا و آب شهری (شوری ۴/۳ دسی زیمنس بر متر) در مقایسه با سایر رژیم‌های مورد بررسی پس از تیمار شاهد (شوری ۰/۵ دسی زیمنس بر متر) دارای بیشترین میزان وزن خشک ریشه و بوته، وزن هزار دانه و عملکرد در واحد سطح بوده ولی در صفت ارتفاع بوته بیشترین مقدار در تیمار ۱۵ درصد اختلاط آب دریا و آب شهری مشاهده شد. در نهایت نتایج نشان داد که افزایش شوری به ترتیب از تیمار صفر به ۱۵ درصد اختلاط آب دریا وزن خشک اندام هوایی را تا ۲۳ درصد کاهش داد. طاوسی و همکاران (۱۳۹۷) عملکرد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و تحمل به شوری ژنوتیپ‌های مختلف کینوا را در شرایط خاک‌های شور و نیمه شور جنوب خوزستان بررسی کردند و نشان دادند که ژنوتیپ‌های روزادا، کیو ۲۶ و گیزا ۱۱ گزینه‌های مناسبی برای تولید با شوری ۱۴ دسی زیمنس بر متر هستند.

طاوسی و لطفعلی‌آینه (۱۳۹۷) در بررسی اثر سطوح مختلف شوری (حداقل دو و حداکثر ۱۴ دسی زیمنس بر متر) بر شاخص‌های جوانه‌زنی ۲۰ ژنوتیپ کینوا نشان دادند که سطوح مختلف شوری و ژنوتیپ بر کلیه پارامترهای رشد و جوانه‌زنی (در سطح احتمال یک درصد) معنی‌دار بود. خلیلی و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی تاثیر سطوح شوری و فسفر بر برخی ویژگی‌های گیاه کینوا در شرایط گلخانه‌ای، آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام دادند. تیمارهای آزمایش شامل شوری آب آبیاری در شش سطح، شاهد (۰/۷)، ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ دسی زیمنس بر متر و فسفر از طریق اضافه کردن به خاک از منبع سوپر فسفات

تریپل در چهار سطح ۰، ۱۰۰، ۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج نشان داد با افزایش شوری آب آبیاری تا ۱۵ دسی زیمنس بر متر ارتفاع گیاه ۱۸/۶۵ درصد و طول پانیکول ۵۲/۴ درصد کاهش و غلظت سدیم در گیاه ۱۸/۵ درصد افزایش یافت. همچنین با افزایش فسفر به خاک تا سطح ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار، ارتفاع گیاه در مقایسه با شاهد ۱۲/۳ درصد، طول پانیکول ۸/۷۹ درصد و غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه ۱۲/۵ درصد افزایش پیدا کرد. جاکوبسن و همکاران (۲۰۱۰) در آزمایشی به منظور بررسی اثر شوری بر روی گیاه کینوا رقم تی‌تی‌کاکا در شرایط آب و هوایی اروپا به این نتیجه رسیدند که این رقم به خوبی با شرایط تنش شوری سازگار شده است.

القصبی و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهش خود به منظور بررسی اثر آبیاری با آب شور بر رشد گیاه کینوا رقم چیپایا، نشان دادند که بیشترین میزان وزن هزار دانه مربوط به شوری ۱/۲۵ دسی زیمنس بر متر و ۳/۴۹ گرم و کمترین میزان مربوط به شوری چهار دسی زیمنس بر متر بود. از طرفی بین شوری‌های ۸ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر مقادیر این پارامتر دارای اختلاف معنی‌داری نبود و قطر ساقه، طول سنبله، وزن خشک دانه، وزن خشک اندام هوایی و سطح برگ با افزایش شوری کاهش معنی‌داری داشت (بجز شوری چهار دسی زیمنس بر متر). همچنین نتایج نشان داد که افزایش شوری منجر به افزایش کلروفیل و پتانسیل آب و کاهش تعداد برگ در بوته (بجز شوری ۱۶ دسی زیمنس بر متر) شد. کوپرو و ایسا (۲۰۰۸) در پژوهشی نشان دادند که گیاه کینوا در شرایط استفاده از آب شور با غلظت‌های (۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰) میلی‌مولار نمک (NaCl) که معادل (۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰) درصد آب دریا به عنوان آب آبیاری، در شرایط گلخانه‌ای در منطقه گیزسن آلمان، دوره رشد خود را به پایان رسانده و بذر نیز تولید می‌کند. از طرفی افزایش شوری باعث کاهش معنی‌دار عملکرد، تعداد دانه و زیست توده (بیوماس) کل خواهد شد. در تحقیق حاضر، اثر استفاده از زهاب مزارع نیشکر کشت و صنعت‌های

امیرکبیر و میرزا کوچک خان در جنوب استان خوزستان بر ویژگی‌های شوری و سدیمی خاک و عملکرد گیاه کینوا در ژنوتیپ‌های مختلف به‌منظور افزایش بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی و جلوگیری از آلودگی‌های زیست محیطی با کاهش تخلیه زهاب بررسی شد. ارزیابی تاثیر شوری آب آبیاری بر عملکرد گیاه کینوا، مقایسه سطوح کیفی آب آبیاری از نظر تاثیر آنها بر تجمع املاح در نیمرخ خاک و تعیین ژنوتیپ‌های سازگارتر کینوا با شرایط آب و خاک مورد آزمون، از اهداف این پژوهش بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق برای زراعت زمستانه گیاه کینوا به‌مدت یک سال زراعی از بهمن‌ماه ۱۳۹۷ تا پایان اردیبهشت ۱۳۹۸ در یکی از مزارع نیشکر شرکت کشت و صنعت میرزا کوچک‌خان (مزرعه ۲۰-۸۰۸) واقع در جنوب خوزستان، ۷۵ کیلومتری جاده اهواز- خرمشهر، اجرا شد. علت اصلی کشت کینوا در این تاریخ با هدف تولید علوفه کینوا و به دلیل وجود زهاب مزارع نیشکر ناشی از شروع عملیات آبیاری است که از اوایل اسفند ماه تا نیمه مهرماه هر سال اتفاق می‌افتد. این مزرعه آزمایشی برای کشت و معرفی محصولات متحمل به شوری در فروردین‌ماه سال ۱۳۹۷ تجهیز شد. مجهز بودن مزرعه به سامانه زهکشی زیرزمینی با عمق کارگذاری دو متر و فاصله لاترال‌های ۵۶ متری و مجاورت آن با ایستگاه هواشناسی و زهکش جمع‌کننده میانی مزارع نیشکر شرکت میرزا کوچک‌خان، موقعیت مناسبی برای تحقیق با استفاده از زهاب فراهم آورده است. این پژوهش به‌صورت کرت‌های یک بار خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل و سه تکرار اجرا شد. بر این اساس عامل اصلی، سطوح کیفیت آب آبیاری مشتمل بر استفاده از آب رودخانه کارون در مقطع جنوب اهواز (به‌عنوان تیمار شاهد)، زهاب مزارع کشت نیشکر شرکت میرزا کوچک‌خان و آبیاری تلفیقی-تناوبی (کاربرد یک در میان آب کارون و

زهاب) و عامل فرعی چهار ژنوتیپ گیاه کینوا شامل "گیزا۱، تی‌تی‌کا کا، روزادا و کیو۲۶" بود. تنها منبع آب آبیاری مزارع نیشکر، رودخانه کارون بود. مشخصات خاک محل اجرای تحقیق در (جدول ۱) آمده است.

تهیه بستر کاشت همانند سایر بذور ریز و محصولات دانه‌ریز شامل پیش آبیاری، شخم، دیسک، ماله و کودپاشی انجام شد و بذور ژنوتیپ‌ها در تاریخ ۱۵ بهمن ماه کشت شد. هر کرت آزمایشی شامل هشت خط کاشت به طول ۱۰ متر بود. تعداد جوی و پشته‌ها در هر کرت آماری هشت عدد و هر رقم در دو طرف جوی محل داغاب پشته‌ها کشت شد. فاصله خطوط کاشت ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خطوط پنج سانتی‌متر منظور شد. بنابراین عرض هر کرت آزمایشی شش متر و طول آن ۱۰ متر طراحی شد. فاصله بین تکرارها دو متر به‌صورت نکاشت قرار داده شد. مصرف کود به‌میزان ۱۲۵ کیلوگرم فسفات، ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاس و ۱۰۰ کیلوگرم اوره (۴۰ درصد قبل از کشت و ۶۰ درصد به‌صورت سرک) انجام شد (طاوسی و لطفعلی‌آینه، ۱۳۹۶).

آفات، بیماری و یا اثر تنش‌های محیطی تحت نظر و مراقبت قرارگرفت و از ویژگی‌های فنولوژیکی و مرفولوژیکی شامل زمان از کشت تا جوانه‌زنی، گل‌دهی، رسیدگی کامل، طول گل‌آذین، سطح برگ، ارتفاع گیاه و ماده خشک در پایان دوره رشد یادداشت‌برداری شد. بر اساس نتایج تحقیق پترسون و مورفی (۲۰۱۵) ارتفاع گیاه ۷۰ روزه، شاخص سبزی‌نگی برگ LGI^v گیاه ۷۰ روزه از سه برگ انتهایی گیاه و با استفاده از دستگاه اسپاد^۸ اندازه‌گیری شد. پس از کامل شدن دوره رشد، عملیات برداشت بذور با مشاهده اولین علائم رسیدگی (۵۰٪ سنبله‌ها زرد شده باشند) صورت گرفت و ساقه‌های گل‌دار در محل سایه آفتاب پهن و خشک شدند و پس از چند روز کوبیده و جداسازی شدند.

^۶-Q26

^۷ - Leaf greenness index

^۸-Spad

جدول ۱ - مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک محل آزمایش

عمق خاک (سانتی متر)	بافت خاک	شوری خاک (دسی زیمنس بر متر)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	رطوبت ظرفیت زراعی (درصد) FC(%)	رطوبت نقطه پژمردگی (درصد) PWP(%)
۰-۲۵	لومی رسی	۵/۵۴	۱/۳۹	۴۰/۸۳	۱۹/۹۷
۲۵-۵۰	رس	۲/۵۵	۱/۳۷	۳۳/۵	۱۵/۰۹
۵۰-۷۵	لوم رسی سیلتی	۲	۱/۴۶	۴۶/۹۸	۱۷/۲۲
۷۵-۱۰۰	لوم رسی سیلتی	۲/۲	۱/۴	۴۲/۲۸	۱۶/۱

این همبستگی برای شوری‌های مختلف برابر رابطه‌های زیر است:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mg/lit} &= 640 * 1 \text{ dS/m} & EC < 5 \text{ dS/m} \\ 1 \text{ mg/lit} &= 840 * 1 \text{ dS/m} & 5 < EC < 10 \text{ dS/m} \\ 1 \text{ mg/lit} &= 920 * 1 \text{ dS/m} & EC > 10 \text{ dS/m} \end{aligned} \quad (۱)$$

با در نظر گرفتن جریان ماندگار آب در خاک به شرح زیر، می‌توان معادله تعادل نمک را در ناحیه ریشه به صورت رابطه (۲) بیان کرد (فائو، ۲۰۰۲):

$$\Delta S = S_{IW} - S_R^* \quad (۲)$$

S_{IW} = نمک‌هایی که در اثر آبیاری به خاک نفوذ می‌کنند.
 S_R^* = نمک‌های مقدار خالص آب نفوذی به زیر منطقه ریشه.

ΔS = تغییرات ذخیره نمک در ناحیه ریشه.

نتایج و بحث

نیاز آبی و حجم آب کاربردی

آب کاربردی مورد نیاز گیاه کینوا با توجه به هوا و اقلیم جنوب خوزستان، بافت خاک منطقه (رس تا لومی رسی سیلتی)، تغییرات شوری زهاب مزارع نیشکر در طول فصل رشد (حداکثر ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در اواخر بهمن ماه و حداقل ۶/۲۳ دسی‌زیمنس بر متر در اردیبهشت ماه) و تغییرات شوری آب رودخانه کارون در دوره رشد گیاه (حداکثر ۱/۶۳ دسی‌زیمنس بر متر در بهمن ماه و حداقل ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر در اردیبهشت ماه) به روش پنمن مانتیث - فائو برآورد شد. برنامه‌ریزی آبیاری با فرض حداکثر عمق توسعه ریشه ۵۰ سانتی‌متر و تلفات عمقی ۱۵ درصد و تطبیق آن با اندازه‌گیری‌های دوره‌ای رطوبت

در این تحقیق، آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک انجام گرفت. به این صورت که قبل از هر آبیاری نمونه رطوبت خاک گرفته شد. با توجه به ضریب مدیریت آبیاری (MAD) معادل ۷۰ درصد ظرفیت نگهداری آب در خاک برای گیاهان متحمل به شوری تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، آبیاری انجام شد. در هر بار آبیاری، میزان آب مصرفی با استفاده از WSC فلوم تیپ چهار برای هر سه عامل آبیاری (آب کارون، زهاب و آبیاری تلفیقی - تناوبی با آب کارون و زهاب) جداگانه اندازه‌گیری شد. آب کارون بعد از دریاچه آبگیر توسط هیدروفلوم و زهاب نیشکر توسط پمپ کفکش از منهل زهکشی به ابتدای قطعه زراعی کینوا انتقال یافتند. آبیاری اول بلافاصله بعد از کشت توسط آب کارون در تمامی تیمارها انجام شد. پنج روز بعد جهت تثبیت بذر و سبز شدن گیاه، مجدد عملیات آبیاری با اعمال تیمار مدیریت آبیاری برای هر کرت نواری انجام شد. در هر دور آبیاری نمونه آب جهت اندازه‌گیری‌های کیفی گرفته شد. همچنین قبل زمان کاشت، اوایل فصل، وسط و انتهای فصل کشت با نمونه‌گیری خاک در چهار لایه ۰-۲۵، ۲۵-۵۰، ۵۰-۷۵ و ۷۵-۱۰۰ سانتی‌متری از سطح زمین، روند تغییرات املاح و شوری خاک (pH, EC, SAR, ESP, Na, Cl) در هر تیمار آبیاری به‌طور جداگانه بررسی و تحلیل شد. به منظور مطالعه اثر آبیاری و زهکشی برگیه، دانستن تغییرات شوری در ناحیه ریشه برای زمان‌های مشخص فصل زراعی نیز ضرورت دارد. همبستگی بسیار زیادی بین غلظت نمک محلول بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و هدایت الکتریکی محلول بر حسب دسی‌زیمنس بر متر وجود دارد.

خاک تا عمق توسعه ریشه گیاه انجام شد. در جدول‌های ۲ تا ۴، تبخیر و تعرق پتانسیل، ضریب گیاهی، نیاز آبی خالص گیاه کینوا و برنامه‌ریزی آبیاری در مزرعه تحقیقاتی آورده شده است.

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی و تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره کشت (بهمن‌ماه ۹۷ تا پایان اردیبهشت ۹۸)

متوسط	حداکثر	حداقل	
۱۲/۶	۲۳/۸	۱/۸	دما حداقل (سانتی‌گراد)
۲۸/۳	۴۲	۱۴/۶	دما حداکثر (سانتی‌گراد)
۴۳	۶۸	۱۸	رطوبت حداقل (درصد)
۹۰/۵	۹۸	۸۷	رطوبت حداکثر (درصد)
۶	۱۰/۳	۱/۷	میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه)
۶/۲۵	۱۲/۵	۰	تعداد ساعات آفتابی
۴/۳	۶/۵	۲/۱	میانگین تبخیر (میلی‌متر در روز)
۱۹۱/۲۵	۳۰۲	۸۹	تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر)

جدول ۳- ضرایب گیاهی اصلاح شده و نیاز آبی کینوا در ماه‌های مختلف رشد

مجموع	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	آیتم
-	۰/۴	۰/۷	۰/۵۵	۰/۳۵	ضریب گیاهی
۱۰۵	۱۵	۳۱	۲۹	۳۰	دوره رشد (روز)
۳۲۷/۹	۵۸/۵	۱۵۱/۹	۸۶/۴	۳۱/۲	تبخیر و تعرق گیاه (میلی‌متر)
۳۶۶/۳	۵۸/۵	۱۵۱/۹	۷۴/۸	۸۱/۲	نیاز آبی باتوجه به باران موثر (میلی‌متر)
-	۰/۱۷	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۵	درصد آبشویی برای زهاب
-	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۳	درصد آبشویی برای کارون
۴۰۷/۶۸	۵۸/۸۴	۱۵۹/۴	۸۴/۲۸	۱۰۵/۴۳	نیاز آبی خالص براساس آبشویی زهاب (میلی‌متر)
۳۶۶/۳	۵۸/۴	۱۵۱/۹	۷۴/۷۹	۸۱/۱۵	نیاز آبی خالص براساس آبشویی کارون (میلی‌متر)
۵۸۲/۴	۸۴/۰۵	۲۲۷/۳۴	۱۲۰/۴	۱۵۰/۶۱	نیاز ناخالص آبیاری زهاب (میلی‌متر)
۵۲۳/۳	۸۳/۵	۲۱۷	۱۰۶/۸۵	۱۱۵/۹۳	نیاز ناخالص آبیاری کارون (میلی‌متر)

ضریب گیاهی کینوا در نشریه فائو ۵۶ موجود نیست. این ضریب با توجه به مقاوم بودن گیاه کینوا به شوری از گیاهان مشابه مانند جو، که تا شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر برای داشتن ۹۰ درصد عملکرد محصول مقاومت نشان می‌دهند، انتخاب شده است. ضریب گیاهی براساس اطلاعات هواشناسی (مانند رطوبت، سرعت باد و غیره) در منطقه مورد تحقیق اصلاح شد. نیاز آبی خالص گیاه در طول دوره رشد ۳۲۸ میلی‌متر برآورد شد. با در نظر گرفتن باران موثر، درصد آبشویی و راندمان کاربرد ۷۰ درصد آب در قطعه زراعی (با توجه حذف

رواناب سطحی به دلیل داشتن فاروهای انتها بسته)، می‌توان نیاز آبی گیاه را در طول فصل رشد برای آب کارون ۵۲۳ میلی‌متر و برای زهاب مزارع نیشکر ۵۸۳ میلی‌متر در نظر گرفت. تفاوت نیاز آبی گیاه در استفاده از آب رودخانه کارون و زهاب به علت تفاوت در کیفیت آب و نیاز آبشویی متفاوت برای داشتن حداکثر ۹۰ درصد عملکرد محصول می‌باشد. با توجه به برآورد نیاز آبی ناخالص گیاه در قطعه زراعی، دور آبیاری بر این اساس مشخص شد (جدول ۴).

جدول ۴- مقادیر محاسبه شده دور آبیاری کینوا براساس نیاز آبی ناخالص گیاه و سایر پارامترهای مورد نیاز در مدیریت آبیاری با زهاب

آبیم	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت
نیاز آبی ناخالص (زهاب)	۵	۴/۱۵	۷/۳۳	۲/۷۱
AW (اعشار)	۰/۱۹۵	۰/۱۹۵	۰/۱۹۵	۰/۱۹۵
MAD (اعشار)	۰/۸۶	۰/۷۸	۰/۷	۰/۸۲
Drz (متر)	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۵
RAW (متر / متر)	۳۳/۵۴	۴۵/۶۳	۶۸/۲۵	۷۹/۹۵
F (روز)	۷	۱۱	۱۰	۳۰

بر طبق جدول (۴):

$$F = \frac{RAW}{ET_c} \quad (۴)$$

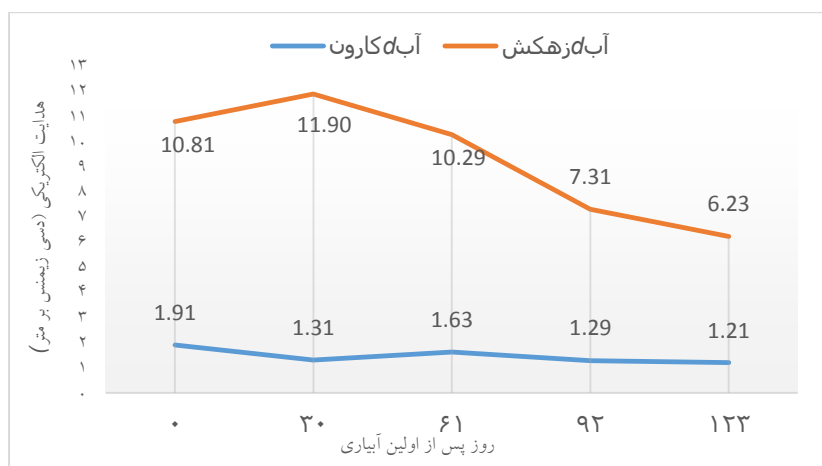
$$RAW = AW * MAD * DRZ * 1000 \quad (۵)$$

ET_c : تبخیر و تعرق گیاه به همراه آبخوئی با در نظر گرفتن راندمان کاربرد (میلی متر بر روز) ، F : دور آبیاری (روز) ، RAW : رطوبت سهل الوصول (متر / متر) ، AW : رطوبت قابل دسترس (اعشار) ، MAD : ضریب تخلیه مجاز رطوبتی (اعشار) و Drz : عمق توسعه ریشه گیاه (متر).
براساس جدول (۴) که مبنای طرح برای برنامه ریزی آبیاری بود، یک روز قبل از انجام عملیات آبیاری با اندازه گیری رطوبت خاک تا عمق یک متری به صورت لایه های ۲۵ سانتی متری و با توجه به پتانسیل های حجمی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی، ضریب (MAD) تعیین و با زمان آبیاری تطبیق داده شد. در لایه های بالایی خاک (تا عمق ۵۰ سانتی متری) که محدوده عمق توسعه ریشه گیاه است، ضریب (MAD) ۶۵ تا ۷۵ درصد بود. این درحالی است که در لایه های پایین تر این عدد تا ۴۰ درصد هم رسید. این مساله به علت عمیق تر شدن سطح خاک و کاهش تبخیر، منطقی به نظر می رسد. عملیات آبیاری در قطعه زراعی، هفت مرتبه انجام شد. متوسط حجم آب آبیاری اندازه گیری شده از WSC فلوم در مدت زمان تحقیق، ۷۰ میلی متر بود. بارش در بهمن ماه به میزان ۱۵ میلی متر، اسفندماه به طور پراکنده به مقادیر ۱۵، ۵، ۹ و ۲ میلی متر در روزهای مختلف و در فروردین ماه به میزان ۱۰ و ۴ میلی متر بود. این نوع بارش در حجم آب آبیاری برای هر دور موثر نبود اما در تاخیر زمان آبیاری اثرگذار

بود. در مجموع حجم آب آبیاری به میزان ۵۷۰ میلی متر اندازه گیری شد و با نیاز واقعی گیاه مطابقت داشت. طاوسی و لطفعلی آینه (۱۳۹۶) نشان دادند که گیاه کینوا در خوزستان در طول دوره رشد بسته به وضعیت بارندگی و نوع بافت خاک، به پنج نوبت آبیاری نیاز دارد و میانگین ۵۵۰ میلی متر رطوبت در دسترس توصیه شده است.

تحلیل کمی و کیفی آب آبیاری

در طول دوره تحقیق، متوسط شوری آب رودخانه کارون ۱/۴۷ دسی زیمنس بر متر و متوسط شوری زهاب ۹/۳۱ دسی زیمنس بر متر اندازه گیری شد. حداکثر شوری زهاب در بهمن ماه و ۱۲ دسی زیمنس بر متر بود. این مساله به دلیل کاهش میزان آب آبیاری مزارع نیشکر در آن مقطع زمانی می باشد. با افزایش آبیاری و در نتیجه افزایش حجم زهاب خروجی از نیمه فروردین ماه به بعد، شوری زهاب تا شش دسی زیمنس بر متر به طور میانگین تقلیل پیدا کرد. بهبود کیفیت نسبی آب کارون در دوره تحقیق (اواخر زمستان ۹۷ و بهار ۹۸) به دلیل باران های مناسب در بالادست جلگه خوزستان و رهاسازی آب از پشت سدهای دز و حوضه رودخانه کارون می باشد. این درحالی است که در سال های پیش (۱۳۹۰ تا تابستان ۱۳۹۷) به دلیل خشکسالی، میزان شوری رودخانه کارون در مقطع جنوب خوزستان به طور متوسط تا ۴/۲ دسی زیمنس بر متر افزایش پیدا کرد. شکل (۱) تغییرات شوری نسبت به زمان در هر دو منبع آب آبیاری (زهاب نیشکر و رودخانه کارون) در مقطع زمانی بهمن ماه ۱۳۹۷ تا پایان اردیبهشت ۱۳۹۸ را نشان می دهد.

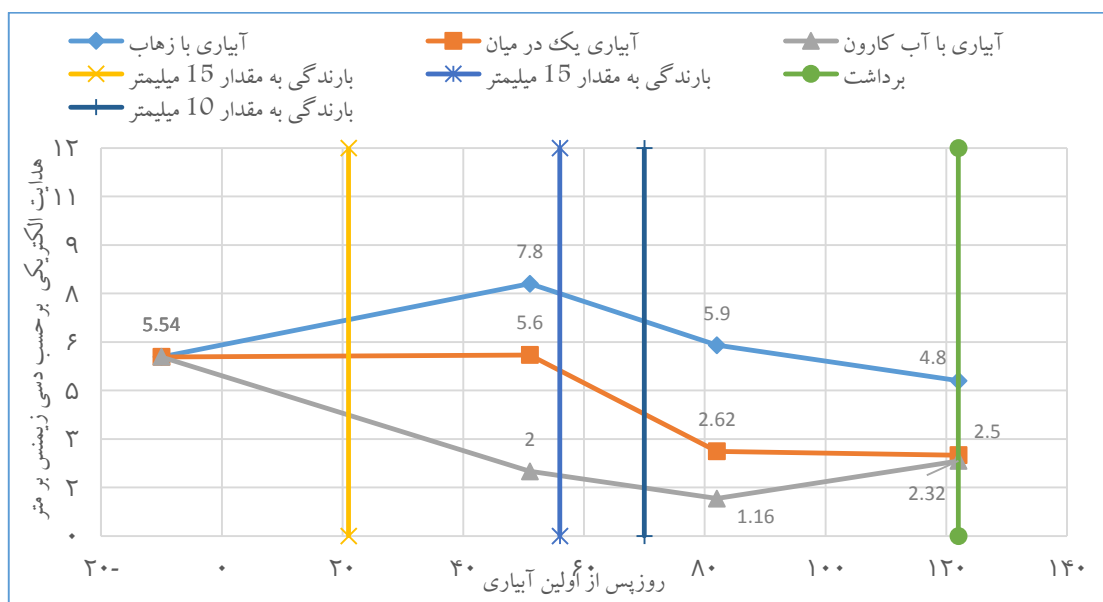


شکل ۱- تغییرات شوری زهاب مزارع نیشکر و آب کارون نسبت به زمان (بهمن ماه ۹۷ تا پایان اردیبهشت ۹۸)

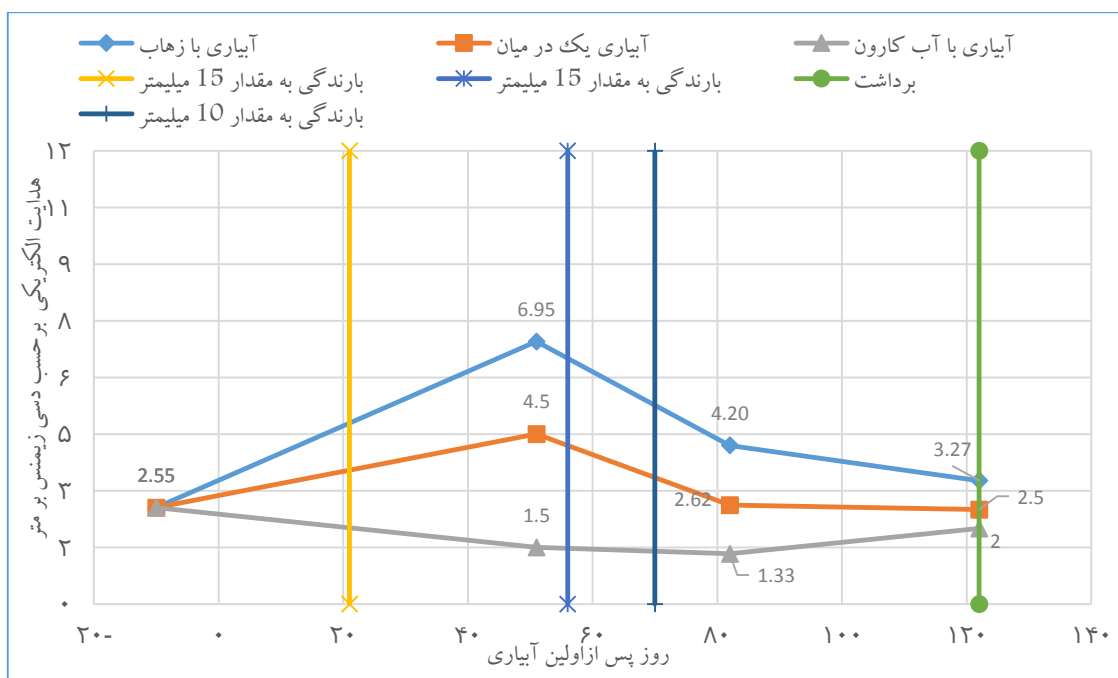
تحلیل تغییرات شوری خاک در دوره رشد

در این تحقیق، با هدف پایش و ارزیابی تغییرات املاح خاک در چهار لایه ۲۵-۵۰، ۵۰-۷۵، ۷۵-۱۰۰ و ۱۰۰-۱۲۵ سانتی متری از سطح خاک، نمونه‌های مرکب برای هر تیمار مدیریت آبیاری (آبیاری با آب کارون، زهاب و تلفیقی- تناوبی) تهیه شد. بعد از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه خاک و آب و خشک کردن خاک، علاوه بر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC_e)، pH ، یون کلر،

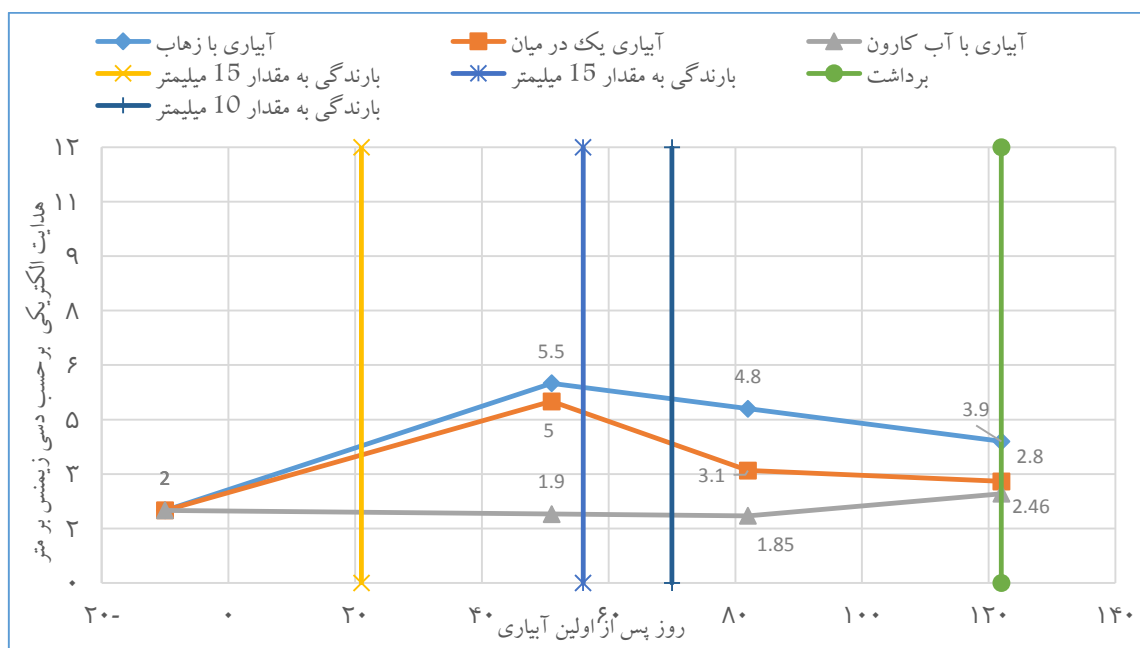
سدیم، منیزیم و کلسیم مشخص و در نتیجه میزان SAR (نسبت جذب سدیم) و براساس آن، ESP (درصد سدیم قابل تبادل خاک)، تعیین شد. شکل‌های ۲ تا ۶ تغییرات هدایت الکتریکی به عنوان نمایه شوری خاک (برحسب دسی‌زیمنس بر متر) در یک دوره ۱۳۰ روزه قبل از زمان کاشت تا پایان برداشت کینوا در اوایل خرداد ماه در اعماق نمونه برداری را نشان می‌دهد.



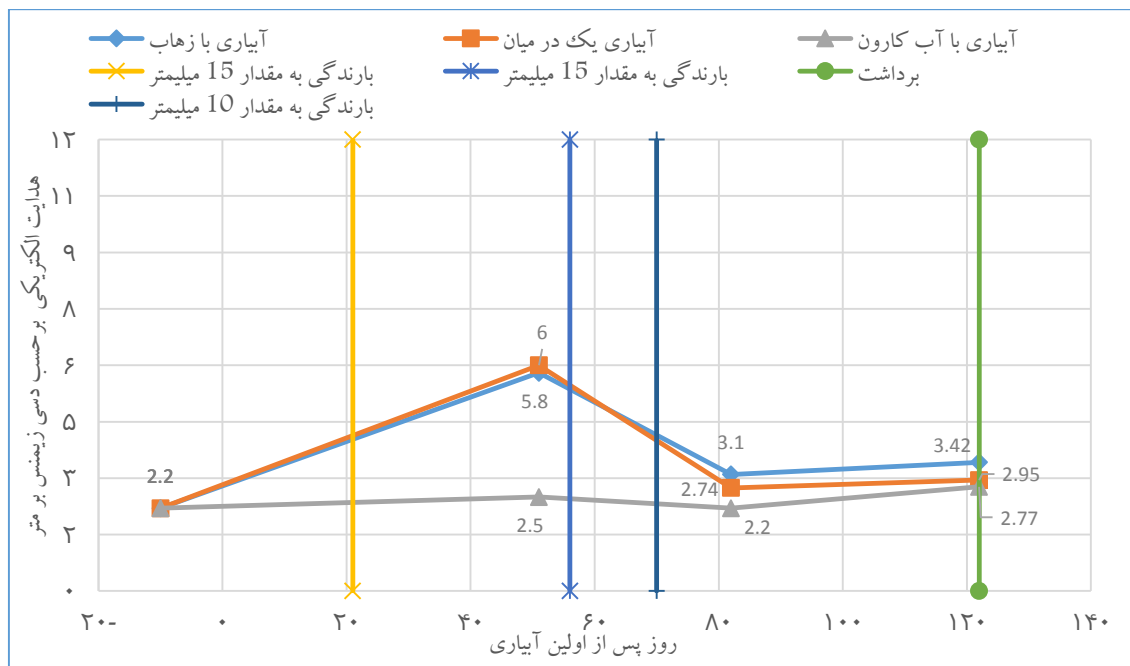
شکل ۲- تغییرات شوری عصاره اشباع خاک در تیمارهای مختلف آبیاری - (لایه ۲۵-۰ سانتی متری)



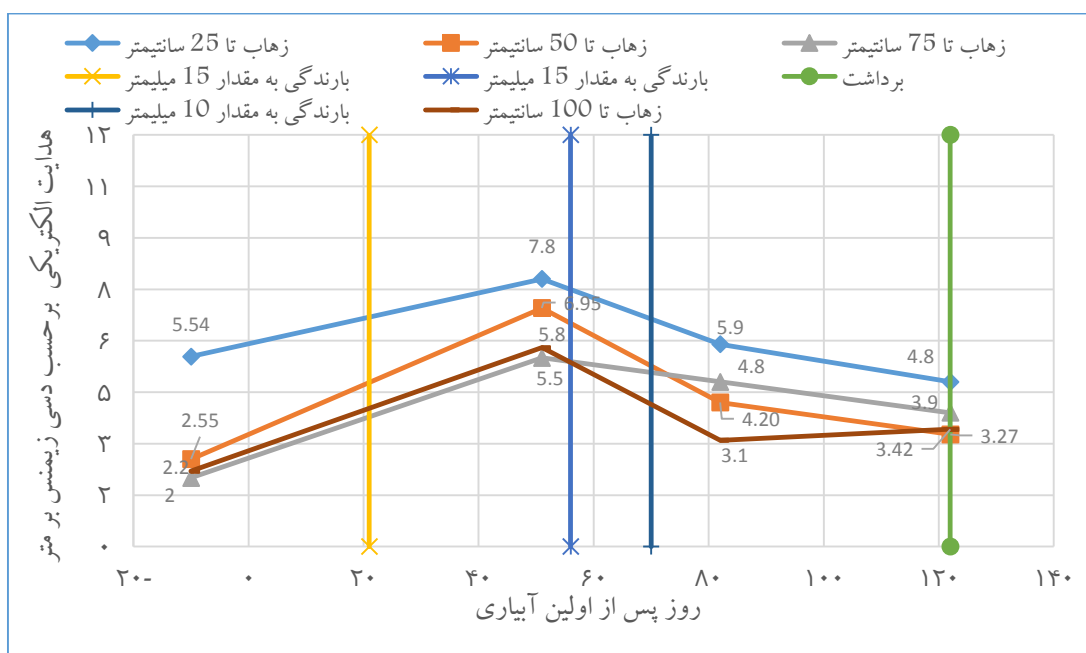
شکل ۳- تغییرات شوری عصاره اشباع خاک در تیمارهای مختلف آبیاری- (لایه ۵۰-۲۵ سانتی متری)



شکل ۴- تغییرات شوری عصاره اشباع خاک در تیمارهای مختلف آبیاری- (لایه ۷۵-۵۰ سانتی متری)



شکل ۵- تغییرات شوری عصاره اشباع خاک در تیمارهای مختلف آبیاری- (لایه ۱۰۰-۷۵ سانتی متری)



شکل ۶- تغییرات شوری عصاره اشباع خاک در تیمار مدیریت آبیاری با زهاب در لایه‌های مختلف خاک

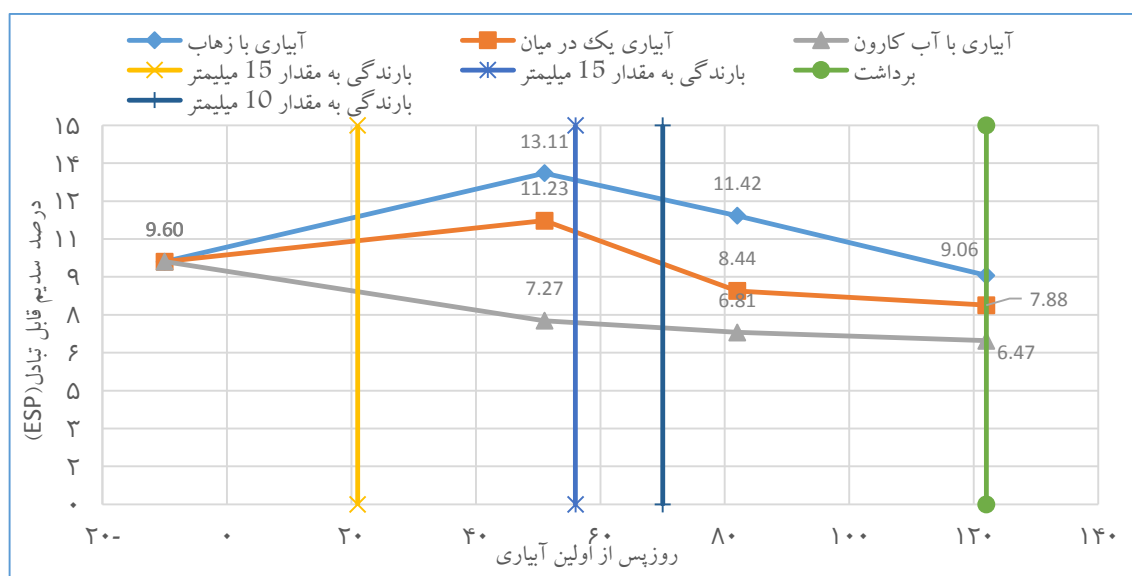
حسب دسی‌زیمنس بر متر) بیشتر بود. با افزایش آبیاری و کاهش شوری زهاب ناشی از شروع آبیاری مزارع نیشکر، میزان شوری در نیمرخ خاک کاهش یافت، اما در لایه‌های پایین (اعماق ۷۵ سانتی‌متری به پایین) به دلیل تجمع نمک، میزان شوری نسبت به اول فصل، افزایش و به شوری لایه سطحی خاک نزدیک شد. به دلیل وجود زهکشی زیرزمینی تجمع املاح در لایه‌های زیرین بسیار نبود به طوری که در

میزان افزایش شوری در لایه ۰-۲۵ سانتی‌متری نسبت به دو لایه ۲۵-۵۰ و ۵۰-۷۵ سانتی‌متری به علت تبخیر از سطح خاک بیشتر بود. این مسأله در دو ماه اول کشت که کیفیت زهاب بسیار پایین‌تر است (شوری ۱۰ تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر)، محسوس‌تر بود. در تیمار آبیاری با زهاب، متوسط شوری در نیمرخ ۲۵ سانتی‌متری از سطح خاک نسبت به سه نیمرخ دیگر، ۱/۵ تا ۲ واحد (بر

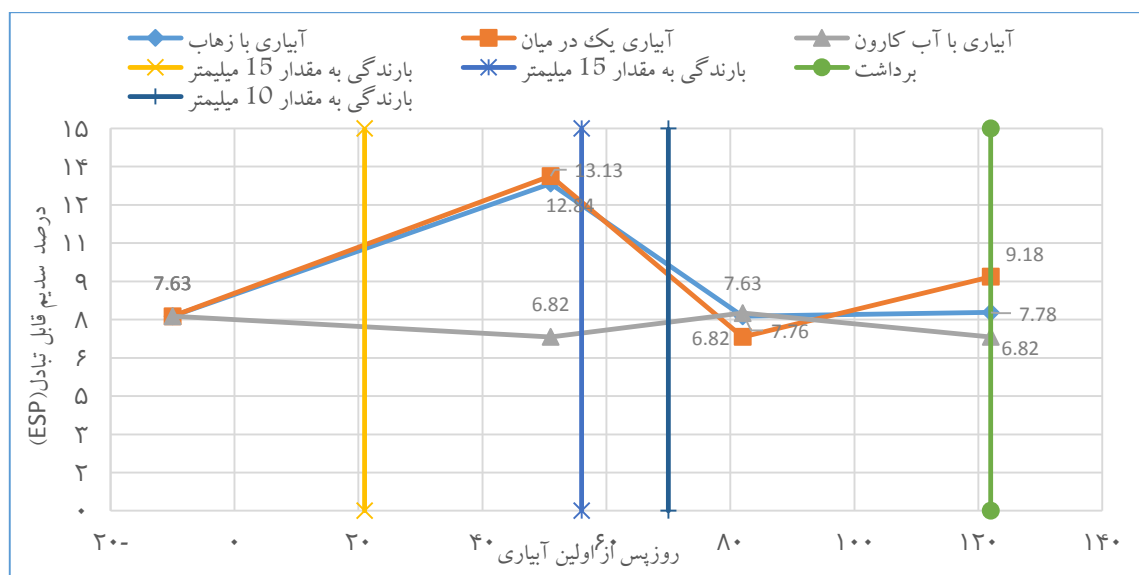
تحلیل پایش درصد سدیم قابل تبادل (ESP) خاک در تیمارهای مختلف

دو معیار EC_e (عصاره اشباع خاک)، شاخص مربوط به فشار اسمزی و ESP (درصد سدیم قابل تبادل خاک) شاخص مربوط به پراکنده شدن ذرات خاک، در پایش خاک با اهمیت است. شکل‌های (۷) و (۸) تغییرات درصد سدیم قابل تبادل خاک (ESP) را در دو لایه ۰-۲۵ و ۷۵-۱۰۰ سانتی‌متری به‌عنوان نمونه در دوره تحقیق را نشان می‌دهد که با توجه به نسبت جذب سدیم (SAR) خاک به‌دست آمده است. با توجه به بررسی تغییرات شوری (شکل‌های ۲ تا ۶) و تغییرات درصد سدیم قابل تبادل خاک (شکل‌های ۷ و ۸) در طول فصل رشد، خاک مزرعه تحقیقاتی در تمامی لایه‌ها تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری برای دو تیمار مدیریت آبیاری با آب رودخانه کارون و مدیریت آبیاری تلفیقی-تناوبی (نوبتی و یا یک در میان) در وضعیت غیرشور- غیرسدیمی قرارگرفت. این در حالی است که خاک مزرعه تحقیقاتی قبل از کشت تا نیمرخ ۲۵ سانتی‌متری وضعیتی شور (۵/۵۴ دسی‌زیمنس بر متر) و از لایه ۲۵ سانتی‌متری به پایین غیرشور بود (جدول ۱).

تیمار آبیاری با زهاب میزان شوری خاک در لایه‌های ۵۰ سانتی‌متری به پایین از دو دسی‌زیمنس برمتر به چهار دسی‌زیمنس برمتر رسید. تجمع نمک، نیاز به آبیاری در پایان فصل کشت و خروج املاح از نیمرخ خاک توسط زهکش‌های زیرزمینی را می‌طلبد. آنچه از مشاهده شکل‌های (۲ تا ۶) مورد توجه قرار می‌گیرد، نزدیکی تغییرات شوری نیمرخ خاک در اعماق مختلف در هر دو تیمار آبیاری تلفیقی-تناوبی (نوبتی) و تیمار آبیاری با آب کارون می‌باشد. این اتفاق از اوایل فروردین ماه به بعد که آبیاری مزارع نیشکر شروع می‌شود و منجر به کاهش شوری زهاب شد، محسوس‌تر است. همچنین تطابق و نزدیکی تغییرات شوری بین دو مدیریت آبیاری با آب کارون و مدیریت آبیاری یک در میان یا نوبتی، نیاز به آبیاری سنگین در پایان فصل و یا در طول دوره فصل را کاهش می‌دهد. شاید بتوان گفت استفاده نوبتی از زهاب مزارع نیشکر و آب رودخانه کارون برای قسمتی از اراضی جنوب و جنوب غرب استان خوزستان که منبع تامین آب شیرین (رودخانه کارون) دارای محدودیت می‌باشد، می‌تواند راه حل مناسبی برای تولید کشت در بهار و تابستان باشد.



شکل ۷- تغییرات درصد سدیم قابل تبادل خاک در تیمارهای مختلف آبیاری - (لایه ۰-۲۵ سانتی‌متری)



شکل ۸- تغییرات درصد سدیم قابل تبادل خاک در تیمارهای مختلف آبیاری - (لایه ۷۵-۱۰۰ سانتی متری)

متوسط ۷۰۰ مترمکعب به ازای هر هکتار) و توجه به شوری متوسط زهاب به میزان نه دسی‌زیمنس بر متر بر طبق رابطه (۱)، ۴۸ تن نمک به ازای هر هکتار از طریق آبیاری با زهاب به خاک اضافه شده است. با توجه به شوری متوسط خاک قبل از کشت در تمامی لایه‌ها تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری به میزان متوسط سه دسی‌زیمنس بر متر و افزایش این میزان شوری در پایان فصل رشد به میزان پنج دسی‌زیمنس بر متر با در نظر گرفتن تخلخل ۵۱ درصد خاک، بر طبق رابطه (۲) می‌توان گفت که از این ۴۸ تن نمک، مقدار ۶/۱۱ تن به ازای هر هکتار تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری در خاک باقی مانده و بقیه املاح از نیمرخ خاک توسط زهکش‌های زیرزمینی خارج گردیده است. هر چند ممکن است قسمتی از املاح در لایه‌های پایین‌تر از عمق ۱۰۰ سانتی‌متری و تا قبل از رسیدن به عمق کارگذاری زهکش‌ها (عمق دو متری) جمع شده باشند که با آبیاری قبل از آماده سازی زمین در اول فصل کشت بعدی از طریق زهکش‌ها خارج خواهد شد. این موضوع اهمیت زهکشی و به‌خصوص زهکشی زیرزمینی را در بازرخانی زهاب کشاورزی و عملیات شورورزی برای حفاظت خاک نشان می‌دهد.

کیفیت بسیار مناسب آب کارون در پایین دست جلگه خوزستان به دلیل رها سازی آب از مخازن سدهای دز و کارون ناشی از سیلاب بالادست در بهار ۱۳۹۸ و زهکشی زیرزمینی مناسب اراضی تحقیقاتی از دلایل عمده این وضعیت استثنایی و پایدار بودن شرایط کیفی خاک مزرعه در پایان کشت برای دو تیمار مدیریت آبیاری مذکور بود. در تیمار مدیریت آبیاری با زهاب، خاک تا لایه ۲۵ سانتی‌متری در وضعیت شور باقی ماند (متوسط شوری عصاره اشباع ۴/۸ دسی‌زیمنس بر متر و درصد سدیم قابل تبادل خاک ۹/۰۶). این مهم به دلیل اثر تبخیر از سطح خاک در لایه‌های سطحی و شوری بالاتر آب آبیاری در این تیمار بود. اما از عمق ۷۵ سانتی‌متری سطح خاک به پایین، شرایط خاک که با میزان شوری دو دسی‌زیمنس بر متر قبل از زمان کشت در حالت غیرشور بود، به وضعیت شور با درصد سدیم قابل تبادل خاک هفت و شوری عصاره اشباع خاک چهار دسی‌زیمنس بر متر رسید.

میزان ذخیره نمک در نیمرخ خاک تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری

در طول دوره تحقیق برای تیمار مدیریت آبیاری با زهاب و در نظر گرفتن حجم آب آبیاری در هر نوبت)

عملکرد محصول

شرایط اکولوژیک حاکم بر کشت زمستانه کینوا و نیازهای آگرو اکولوژیکی کینوا موجب شد که علی‌رغم رشد رویشی و تولید زیست توده (بیوماس) بسیار خوب، عمل‌گرده افشانی و تولید بذر صورت نگیرد و عملکرد به‌صورت علوفه‌ای باشد. دوره رشد کینوا برای کشت زمستانه در خوزستان از بهمن‌ماه شروع و تا اردیبهشت‌ماه ادامه یافت. درجه حرارت حداقل و حداکثر ثبت شده در اردیبهشت ماه ۱۳۹۸ (درمحل اجرای پروژه) که مصادف با زمان گرده افشانی و تشکیل دانه کینوا بود به‌ترتیب ۱۹ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد ثبت شد. این درحالی است که برای کینوا دمای مناسب جوانه‌زنی و شروع رشد و نمو ۱۷-۱۳ درجه، دمای بهینه رشد رویشی ۲۵-۱۵ درجه و دمای بهینه رشد زایشی ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

دماهای بالاتر از ۳۵-۳۲ درجه سانتی‌گراد در مرحله گرده‌افشانی باعث عقیمی دانه گرده می‌شود (باقری، ۱۳۹۷). استفاده از زهاب مزارع نیشکر، بیوماس کینوا را تحت تاثیر قرار داد به‌طوری که بیشترین بیوماس را تیمار آبیاری با آب کارون و تیمار مدیریت آبیاری تلفیقی-تناوبی (ترکیبی یا نوبتی زهاب و کارون) داشتند. اثر متقابل نوع آب با ژنوتیپ نشان داد که بیشترین زیست توده براساس علوفه خشک مربوط به ژنوتیپ "گیزا ۱" با استفاده از تیمار مدیریت آبیاری با آب کارون به میزان ۳۶۴۵/۶ کیلوگرم برهکتار بود که از نظر آماری با زیست‌توده تولید شده ژنوتیپ "روزادا" با استفاده از تیمار مدیریت آبیاری با زهاب به میزان ۲۶۲۰ کیلو گرم بر هکتار در یک سطح بود (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع آب و ژنوتیپ بر صفات زراعی و فیزیولوژیک کینوا به روش LSD

نوع آبیاری	ژنوتیپ	تیمار	بیوماس (Kg/h)	کلروفیل برگ ($\mu g/cm^2$)	ارتفاع گیاه (cm)	طول گل آذین (cm)	سطح برگ (cm^2)
۱	۱	۱	۲۴۱۳/۳ cd	۵۱/۱۱ b	۹۸/۱۵ c	۲۲/۵۷ a	۲۰۶/۴۹ bc
۱	۲	۲	۲۶۲۰ abcd	۴۹/۶۳ b	۹۱/۸۲ cd	۲۳/۷۸ a	۱۸۱/۸۱ bc
۱	۳	۳	۲۶۰۶/۷ bcd	۵۵/۸۸ ab	۱۱۴/۵۲ ab	۱۸/۶۶ a	۱۴۶/۰۸ bc
۱	۴	۴	۲۴۷۴/۴ cd	۵۸/۱۷ a	۹۸/۵۴ c	۲۳/۳۷ a	۱۷۰/۷۵ bc
۲	۱	۵	۳۵۴۸/۹ ab	۵۳/۳۲ ab	۹۶/۴۱ cd	۲۰/۹۲ a	۱۳۸/۶۱ c
۲	۲	۶	۲۰۶۰ d	۴۲/۰۸ c	۸۳/۰۰ de	۲۲/۶۷ a	۱۲۹/۲۲ c
۲	۳	۷	۳۱۱۸/۹ abc	۵۱/۳۴ b	۱۲۰/۶۷ a	۲۱/۱۰ a	۱۶۷/۲ bc
۲	۴	۸	۳۱۲۸/۹ abc	۵۲/۰۹ ab	۱۰۳/۵۹ bc	۲۶/۰۰ a	۲۹۷/۷۸ a
۳	۱	۹	۳۶۴۵/۶ a	۵۱/۸۷ ab	۱۰۲/۹۹ bc	۲۶/۲۴ a	۳۰۹/۸ a
۳	۲	۱۰	۳۰۹۸/۹ abc	۵۰/۷۲ b	۷۶/۲۴ e	۲۲/۸۱ a	۱۲۱/۱۵ c
۳	۳	۱۱	۲۹۱۳/۳ abcd	۵۲/۴۲ ab	۱۲۴/۱۹ a	۲۰/۴۴ a	۲۳۱/۱۷ ab
۳	۴	۱۲	۲۶۷۵/۶ abcd	۵۶/۲۴ ab	۱۰۴/۶۳ bc	۲۱/۹۶ a	۱۸۳/۷۲ bc

نوع آبیاری ۱، ۲ و ۳ به ترتیب نشان‌دهنده زهاب، تلفیقی-تناوبی (نوبتی یا ترکیبی) و کارون/ژنوتیپ ۱، ۲ و ۳ به ترتیب نشان‌دهنده ژنوتیپ‌های "گیزا ۱"، "روزادا"، "تی تی کا" و "کیو ۲۶" میانگین‌های هرستون با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری باهم ندارند

در بررسی مقایسات میانگین اثر متقابل هر دو عامل، از روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) استفاده شد. اثر متقابل ژنوتیپ با نوع آب، پاسخ‌های متفاوت و

معنی‌داری داشتند. برای زیست توده، طول گل آذین و سطح برگ در سطح ۰/۱ درصد و برای ارتفاع گیاه در سطح پنج درصد معنی‌دار بودند اما برای کلروفیل برگ

معنی دار نبود. بیشترین کلروفیل برگ را "کیو ۲۶" کشت شده با استفاده از تیمار مدیریت آبیاری با زهاب به مقدار ۵۸/۱۷ (بر حسب سه بوته) داشت. به نظر می‌رسد نوع ژنوتیپ و رنگ طبیعی و ذاتی آن در این صفت تاثیر داشته باشد. "روزادا" گیاهی با رنگیزه صورتی است و "تی تی کاکا" ژنوتیپ زودرسی است که زود به زردی می‌گراید. نوع آب در ارتفاع گیاه اثر معنی دار آماری نداشت. اما ژنوتیپ در ارتفاع گیاه تاثیر بسیار معنی دار آماری داشت. به طور کلی "تی تی کاکا" بیشترین ارتفاع را در بین ژنوتیپ‌ها داشت. به طوری که متوسط ارتفاع این ژنوتیپ با استفاده از تیمار مدیریت آب کارون، ۱۲۴ سانتی متر، تیمار مدیریت آبیاری نوبتی، ۱۲۰ سانتی متر و تیمار مدیریت آبیاری در استفاده از زهاب، ۱۱۴ سانتی متر بود. این درحالی است که "تی تی کاکا" در کشت پاییزه ارتفاع کوتاهی دارد (طاوسی و لطفعلی آینه، ۱۳۹۶). در صورتی که در کشت زمستانه و با استفاده از انواع تیمارهای کیفی مدیریت آب آبیاری حتی زهاب کشاورزی بیشترین ارتفاع را داشت. نوع آب و نوع ژنوتیپ در طول گل‌آذین اثر معنی دار آماری نداشت. به نظر می‌رسد رشد علوفه‌ای در کشت زمستانه موجب این امر شده باشد. بیشترین طول گل‌آذین را "گیزا ۱۱" به میزان ۲۶/۲۴ سانتی متر در استفاده با آب کارون داشت. سطح برگ در تمامی سطوح آماری عامل اصلی و فرعی و اثرات متقابل آنها معنی دار بود. بیشترین سطح برگ را ژنوتیپ "گیزا ۱۱" کشت شده با استفاده از مدیریت آبیاری با آب کارون به میزان متوسط ۳۰۹/۸ (بر حسب یک بوته) داشت.

نتیجه گیری

این تحقیق به منظور بررسی امکان استفاده از زهاب کشاورزی حاصل از کشت مزارع نیشکر در آبیاری محصولات زراعی جایگزین از جمله زراعت زمستانه کینوا به مدت یک سال زراعی و از نیمه بهمن ماه ۱۳۹۷ تا پایان اردیبهشت ماه ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی شرکت کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک‌خان در جنوب استان

خوزستان اجرا شد. این پژوهش به صورت کرت‌های یک-بار خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل و سه تکرار به طوری که عامل اصلی، سطوح کیفیت آب آبیاری مشتمل بر استفاده از آب رودخانه کارون در مقطع جنوب اهواز (به عنوان تیمار شاهد)، زهاب مزارع کشت نیشکر شرکت و آبیاری تلفیقی-تناوبی (کاربرد یک در میان آب کارون و زهاب) و عامل فرعی چهار ژنوتیپ گیاه کینوا شامل "گیزا ۱۱"، تی تی کاکا، روزادا و کیو ۲۶ بود. تنها منبع آب آبیاری مزارع نیشکر، رودخانه کارون بود. نتایج نشان داد که کشت زمستانه کینوا در خوزستان فقط با هدف تولید علوفه مناسب است. اثر متقابل نوع آب با ژنوتیپ نشان داد که بیشترین زیست-توده براساس علوفه خشک مربوط به ژنوتیپ "گیزا ۱۱" با استفاده از تیمار مدیریت آبیاری با آب کارون به میزان ۳۶۴۵/۶ کیلوگرم برهکتار بود که از نظر آماری با زیست-توده تولید شده ژنوتیپ "روزادا" با استفاده از تیمار مدیریت آبیاری با زهاب به میزان ۲۶۲۰ کیلوگرم برهکتار در یک سطح بود.

پایش شوری عصاره اشباع خاک و روند تغییرات درصد سدیم قابل تبادل خاک (ESP) منتج از نسبت جذب سدیم خاک (SAR)، در طول فصل رشد نشان داد که خاک مزرعه در تمامی لایه‌ها تا عمق یک متری برای دو تیمار مدیریت آبیاری با آب رودخانه کارون و مدیریت آبیاری تلفیقی-تناوبی (نوبتی و یا یک در میان) در وضعیت غیرشور- غیر سدیمی قرار گرفت. این در حالی است که خاک مزرعه تحقیقاتی قبل از کشت تا نیمرخ ۲۵ سانتی متری وضعیتی شور (با شوری عصاره اشباع ۵/۵۴ دسی زیمنس بر متر) و از لایه ۲۵ سانتی متری به پایین غیرشور بود. می‌توان بیان کرد که استفاده نوبتی از زهاب نیشکر و آب کارون نیاز به آبهویی در پایان فصل کشت را کاهش داده و همچنین برای قسمتی از اراضی جنوب و جنوب غرب خوزستان که منبع تامین آب شیرین (رودخانه کارون) دارای محدودیت است، راه حل مناسبی برای تولید کشت در بهار و تابستان می‌باشد. در

تیمار مدیریت آبیاری با زهاب، خاک تا لایه ۲۵ سانتیمتری به دلیل شوری آب و اثر مضاعف تبخیر از سطح خاک، در وضعیت شور باقی ماند. اما از عمق ۷۵ سانتی متری سطح خاک به پایین، شرایط خاک که با میزان شوری دو دسی‌زیمنس بر متر قبل از زمان کشت در حالت غیر شور بود، به وضعیت شور با درصد سدیم قابل تبادل خاک هفت و شوری عصاره اشباع خاک چهار دسی‌زیمنس بر متر رسید. در این تحقیق هنگام استفاده از زهاب در هفت مرتبه عملیات آبیاری، ۴۸ تن نمک به ازای هر هکتار به خاک اضافه شد. از این ۴۸ تن نمک، مقدار ۶/۱ تن به ازای هر هکتار تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک وارد شد و بقیه املاح از نیم‌رخ خاک توسط زهکش‌های زیرزمینی خارج شد. هرچند ممکن است قسمتی از املاح در لایه‌های پایین‌تر از عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک تجمع کرده باشند که با آبشویی قبل از آماده‌سازی زمین در اول فصل کشت از طریق زهکش‌ها خارج خواهند شد. این مهم به دلیل زهکشی زیرزمینی مناسب اراضی مورد تحقیق می‌باشد و اهمیت زهکشی در بازچرخانی زهاب کشاورزی و عملیات شورورزی برای حفاظت خاک را نشان می‌دهد. علاوه بر این، زهکشی مزارع مورد استفاده با زهاب، می‌تواند کشت ارقام و گیاهان مقاوم‌تر را بصورت پلکانی در جهت حذف کامل زهاب مورد اهمیت قرار دهد. با توجه به حجم تولید زهاب در منطقه، می‌توان با استفاده از زهاب و کاشت گیاهان شورزیست مانند کینوا و ارقام متحمل به شوری گیاهان زراعی و صنعتی مانند برنج، پنبه، کنف، چغندر قند، جو، گندم و سورگوم به عملکرد مناسبی رسید. این

مساله ضمن جلوگیری از آلودگی‌های زیست محیطی به دلیل کاهش تخلیه زهاب، باعث افزایش درآمد و اشتغال برای کشاورزان جنوب خوزستان شده و همچنین می‌توان قسمتی از اراضی آیش شرکت‌های کشت و صنعت نیشکر را در مواقع خشکسالی توسط این زهاب به زیر کشت برد. ثابت بودن تغییرات شوری زهاب مزارع نیشکر در سال‌های اخیر ناشی از به تعادل رسیدن آب آبیاری و آب شور زیرزمینی و همچنین وجود زهکشی زیرزمینی مناسب مزارع، باعث می‌شود تحقیق یکساله از گیاه کینوا با استفاده از زهاب در جهت پایش خاک و شناخت ارقام به دلیل عدم تغییر در عملکرد و شرایط خاک (ناشی از آبشویی در پایان فصل) کافی باشد. هرچند تحقیقات تکمیلی مانند استفاده از گیاهان و ارقام و لاین‌های مختلف، تاثیر روش‌های کاشت، تاثیر عوامل تغذیه‌های کودی، بررسی علوفه برای خوراک دام در هنگام بازچرخانی زهاب بسیار مورد نیاز و پراهمیت است.

قدردانی

از کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک‌خان به- عنوان پیشرو در این کار تحقیقاتی، از سازمان آب و برق خوزستان به عنوان متولی آب و زهاب استان و حامی مالی پروژه، از موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان به عنوان بازوهای تحقیقاتی و حامیان پروژه، قدردانی می‌شود.

فهرست منابع

۱. باقری، م. ۱۳۹۷. دستنامه زراعت کینوا. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، دفتر شبکه دانش و رسانه های ترویجی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج، نشر آموزش کشاورزی.
۲. بی‌نام. ۱۳۹۷. گزارش مطالعاتی مدیریت زهاب و استفاده مجدد از زهاب. معاونت طرح و توسعه شبکه‌های آبیاری و زهکشی سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران.
۳. خلیلی، س. بستانی، ا. و باقری، م. ۱۳۹۸. اثر سطوح مختلف شوری آب آبیاری و فسفر بر برخی خصوصیات خاک و گیاه کینوا. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، الف، جلد ۳۳، شماره ۲.
۴. جمالی، ص. و شریفان، ح. ۱۳۹۷. بررسی اثر سطوح مختلف شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا رقم تی‌تی‌کاکا. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد بیست و پنجم، شماره ۲، صفحات: ۲۶۶-۲۵۱.
۵. سپهوند، ن. ۱۳۹۲. بررسی سازگاری، ویژگی‌های زراعی، فنولوژیکی و ارزش کیفی محصول گیاه کینوا در ایران. گزارش نهایی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز اطلاعات و مدارک علمی و تحقیقاتی کشاورزی، شماره ثبت: ۴۴۰۲۶.
۶. عباسی، ف.، سهرابی، ف. و عباسی، ن. ۱۳۹۵. ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. مجله تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، جلد ۱۷ شماره ۶۷، صفحه‌های ۱۲۸-۱۱۳.
۷. صالحی، م. و دهقانی، ف. ۱۳۹۷. راهنمای کاشت، داشت و برداشت کینوا در شرایط شور. مرکز ملی تحقیقات شوری، دفتر شبکه دانش و رسانه های ترویجی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج، نشر آموزش کشاورزی.
۸. طاوسی، م. و لطفعلی آینه، غ.ع. ۱۳۹۶. کشت کینوا و نتایج تحقیقات مربوط به آن. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، دفتر شبکه دانش و رسانه‌های ترویجی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج، نشر آموزش کشاورزی.
۹. طاوسی، م. و لطفعلی آینه، غ.ع. ۱۳۹۷. بررسی تاثیر سطوح مختلف شوری بر شاخص‌های جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های کینوا. پانزدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر.
۱۰. طاوسی، م. و لطفعلی آینه، غ.ع. و جوادزاده، م. ۱۳۹۷. مقایسه عملکرد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و تحمل به شوری ژنوتیپ‌های کینوا در شرایط خاک‌های شور و نیمه شور جنوب خوزستان. پانزدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر.
۱۱. طاوسی، م.، کردونی، ع.، مهدوی مجد. ج. ۱۳۹۸. بررسی امکان تولید بذر-علوفه از گیاه کینوا در فصول مختلف و تعیین ارزش غذایی آن. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان. ص ۳۸-۱.
۱۲. کردونی، ع.، طاوسی، م.، مهدوی مجد، ج.، طاهری دزفولی، ب. و عنافچه، ز. ۱۳۹۹. تعیین ارزش غذایی سه رقم کینوا (گیزا ۱، روزادا و کیو ۱۰۲) در سه مرحله برداشت. نشریه تحقیقات کاربردی در علوم دامی. شناسنامه دیجیتال 10.22092/aasrj.2.2.342663.1199
۱۳. ناصری، ا.، عباسی، ف. و اکبری، م. ۱۳۹۶. برآورد آب مصرفی در بخش کشاورزی به روش بیلان آب. مجله تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، جلد ۱۸ شماره ۶۸، صفحه‌های ۳۲-۱۷.

14. Algosaibi, A.M., El-Garawany, M.M., Badran, A.E., and Almadini, A.M. 2015. Effect of Irrigation Water Salinity on the Growth of Quinoa Plant Seedlings. *J. Agric. Sci.* 7: 8. 205.
15. FAO. 2002. *Agricultural Drainage Water Management in Arid and Semi-Arid Areas*, FAO Irrigation and Drainage Paper 61.
16. Koyro, H.W., and Eisa, S.S. 2008. Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. *Plant and Soil*. 302: 1-2. 79-90.
17. Jacobsen, S.E., Christiansen, J.L., and Rasmussen, J. 2010. Weed harrowing and inter-row hoeing in organic grown quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Outlook on Agriculture*, 39: 3. 223-227.
18. Panuccio, M.R., S.E. Jacobsen, S.S. Akhtar and A. Muscolo. 2014. Effect of saline water on seed germination and early seedling growth of the halophyte quinoa. *Oxford Journals, Science & Mathematics, AOB PLANTS*, Volume 6.
19. Peterson, A. and K. Murphy. 2015. Tolerance of lowland quinoa cultivars to sodium chloride and sodium sulfate salinity. *Crop Science*. 55: 331-338.
20. Rao, N. K., K.U. Rahman and S. Ismail. 2013. Quinoa: prospects as an alternative crop for salt-affected areas. In: *Proceedings (Book of Abstracts) of 3rd International Conference on: Neglected and Underutilized Species (NUS): for a Food-Secure Africa*, 25-27.
21. Sezen, S. M., A. Yazar, S. Tekin, M. Yildiz. 2016. Use of drainage water for irrigation of quinoa in a Mediterranean environment. *2nd World Irrigation Forum (WIF2)* 6-8 November 2016, Chiang Mai, Thailand.
22. Yazar, A., Incekaya C, Sezen S. M., & Jacobsen S-E. 2015 Saline water irrigation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under Mediterranean conditions. *Crop & Pasture Science*. 66: 993–1002.
23. Yazar, A., S. Metin, B. Yeşim, İ. Çiğdem and T. Servet. 2017. Effect of Planting Times and Saline Irrigation of Quinoa Using Drainage Water on Yield and Yield Components under the Mediterranean Environmental Conditions. *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*, vol. 4, no. 8, pp. 8-16.

ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک در دشت

اردبیل

مهران محمدی، جوانشیر عزیزی مبصر^۱ و مجید رئوف

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

mehranmohammadi1109@gmail.com

استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

ja.mobaser22@gmail.com

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

majidraoof2000@yahoo.co.uk

دریافت: فروردین ۱۳۹۸ و پذیرش مهر ۱۳۹۹

چکیده

به منظور آگاهی از وضعیت فنی سامانه‌های آبیاری و تعیین مقدار دستیابی به اهداف مرحله طراحی، نیاز به ارزیابی این سامانه‌ها می‌باشد. در این پژوهش، تعداد ۱۸ سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک اجرا شده در نقاط مختلف دشت اردبیل، در تابستان سال ۹۸ مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور از شاخص‌های، ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU)، یکنواختی توزیع (DU)، بازده پتانسیل کاربرد در ربع پایین (PELQ)، بازده واقعی کاربرد در ربع پایین (AELQ)، در دو مقیاس بلوک آزمایش و کل سامانه، استفاده شد. پس از اندازه‌گیری‌ها و برداشت اطلاعات مورد نیاز، این شاخص‌ها محاسبه شد. مقادیر متوسط شاخص‌ها، برای بلوک‌ها به ترتیب $۰.۸۳/۴۶$ ، $۰.۷۴/۹۶$ ، $۰.۶۸/۹۳$ و $۰.۶۷/۹۴$ ، و برای سامانه به ترتیب $۰.۸۲/۳۲$ ، $۰.۷۳/۴۳$ ، $۰.۶۵/۷۱$ و $۰.۶۶/۷۰$ به دست آمد. علاوه بر آن، از شاخص‌های تلفات تبخیر و بادبردگی (WDEL)، تلفات نفوذ عمقی (DP) و کفایت آبیاری (ADirr) نیز استفاده شد که مقدار شاخص‌ها به ترتیب، $۰.۷/۹۵$ ، $۰.۶/۹۷$ و $۰.۲۷/۰۸$ به دست آمد. نتایج بدست آمده و بررسی‌های میدانی نشان دادند که مقادیر کم شاخص‌های PELQ و AELQ متأثر از فاصله نامناسب آبیاش‌ها، فشار کم اجرا نسبت به فشار طراحی، تغییرات فشار زیاد در سامانه و استفاده هم‌زمان از تعداد زیاد آبیاش است. همچنین مدیریت نادرست در بهره‌برداری، توپوگرافیزمین و طول زیاد لوله‌ها از عوامل تأثیرگذار در کاهش شاخص‌های تعیین عملکرد واقعی سامانه‌ها در دشت اردبیل هستند. از جمله راهکارهای پیشنهادی، بازنگری در طراحی‌ها، در نظر گرفتن شیب زمین، تغییر در نوع آبیاش‌ها و یا حتی تغییر روزه آبیاش‌ها، است.

واژه‌های کلیدی: بازده پتانسیل کاربرد، ضریب یکنواختی کریستیانسن، طراحی سامانه آبیاری

^۱ - نویسنده مسئول: اردبیل، استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی.

مقدمه

امروزه یکی از چالش‌های مهم در بخش کشاورزی، استفاده بهینه از منابع آب موجود برای تولید محصولات کشاورزی است. سامانه‌های آبیاری مناسب، با استفاده از کنترل تلفات آب در مزرعه مصرف آب را به حداقل می‌رسانند (معروف‌پور و همکاران، ۲۰۱۹). استفاده از روش مناسب آبیاری برای حفظ ایمنی غذایی و کاهش آب مورد نیاز در مقیاس جهانی مطرح می‌باشد (کائو و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه بر این، برای افزایش بهره‌وری آب، مدیریت بهینه آبیاری باید اعمال شود (ساسکن، ۲۰۱۸؛ فانگ و همکاران، ۲۰۱۸). کاهش تلفات آب یا ارتقاء سامانه‌های آبیاری می‌تواند به مدیریت آب موجود کمک کند (نیر، ۲۰۱۳). با توجه به شرایط اقلیمی ایران، محدودیت منابع آب آبیاری، پایین بودن بازده آبیاری در روش‌های سنتی، از یک سو و وجود عرصه‌های توسعه زمین‌های آبی و نیاز روزافزون به مواد غذایی از سوی دیگر، کاربرد روش‌های آبیاری تحت فشار را به عنوان یکی از موثرترین راه‌های استفاده بهینه از منابع آب موجود اجتناب ناپذیر نموده است (برادران هزاوه و همکاران، ۱۳۸۵). آبیاری تحت فشار یکی از نتایج پیشرفت‌های تکنولوژی برای جلوگیری از هدر رفت آب و افزایش راندمان مصرف آب در بخش کشاورزی است. سیستم‌های آبیاری در سال‌های اخیر سطح بالایی از تنوع رو بدست آورده‌اند به گونه‌ای که انتخاب و اجرای یک سیستم آبیاری بر اساس کارایی منطقه می‌باشد (نیسی و همکاران، ۲۰۲۰). امروزه مدیریت سامانه‌های آبیاری، ارزیابی مداوم، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و هوشمندسازی نقش اساسی در افزایش راندمان مصرف آب دارد (یان و همکاران، ۲۰۲۰).

طراحی و مدیریت صحیح باعث افزایش راندمان در سامانه‌های آبیاری می‌شود که برای آگاهی از صحت طراحی و مدیریت هر سامانه باید مورد ارزیابی قرار گیرد (فاریابی و همکاران، ۲۰۲۰). ارزیابی روش آبیاری شامل تعیین راندمان واقعی کاربرد و بررسی روش

مدیریت مزرعه و به دست آوردن حداکثر عملکرد واقعی سامانه می‌باشد (کلر و بلیسنر، ۱۹۹۰). مریام و کلر (۱۹۷۸) یکنواختی توزیع (DU^2)، راندمان کاربرد آب در ربع پایین ($AELQ^3$)، راندمان پتانسیل کاربرد آب در ربع پایین ($PELQ^4$) و ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU^5) را به عنوان عمده‌ترین پارامترها در ارزیابی سامانه‌های بارانی معرفی نمودند. با استفاده از معیارهای ارزیابی، سامانه‌های اجرا شده آبیاری در داخل کشور و سایر نقاط دنیا مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. از جمله این تحقیقات می‌توان به تحقیق بهرامی و همکاران (۱۳۹۶) که به بررسی و ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی اجرا شده در برخی از دشت‌های استان فارس پرداختند، اشاره کرد که نتایج نشان داد که فرونشست عمقی، قدیمی بودن سامانه‌ها، کمبود فشار و کم‌بودن دبی آبپاش‌ها از علل کاهش یکنواختی توزیع در سامانه‌های آبیاری در محل پژوهش بوده است. قربانی (۱۳۹۷) مقدار رواناب در خاک‌های سبک و سنگین را در آبیاری تفنگی مورد ارزیابی قرار داد و دریافت که هر چه سرعت دستگاه کم‌تر باشد امکان رواناب بیش‌تر است. در پژوهشی دیگر که توسط جعفری و همکاران (۱۳۹۶) به منظور ارزیابی و مقایسه اقتصادی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی در زراعت سیب‌زمینی در همدان صورت گرفت، مشخص شد که روش کاشت مرسوم در آبیاری قطره‌ای از نظر اقتصادی برتر بوده است. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی از جمله آبیاری بارانی ویل موو، کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک و ستریپپوت در استان سمنان توسط نادری و همکاران (۱۳۹۷)، انجام شد. نتایج نشان داد که پارامترهای $PELQ$ ، $AELQ$ و CU در مزرعه با سامانه ستریپپوت وضعیت بهتری را داشته که از جمله علل آن، طراحی مناسب سامانه، وجود آبپاش‌های مناسب، نو و پایین بودن ارتفاع آبپاش‌ها ذکر کرده‌اند. سالم (۱۳۸۹) سامانه‌های

² Distribution Uniformity³ Actual efficiency of Low Quarter⁴ Potential Application Efficiency of Low Quarter⁵ Christensen Uniformity Coefficient

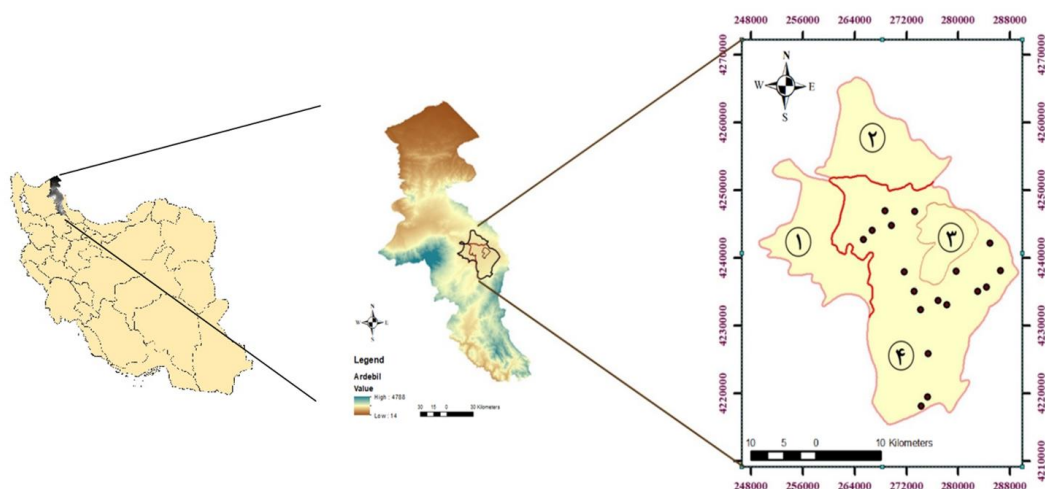
آبیاری بارانی کلاسیک متحرک را در دشت قروه ارزیابی نمود و نتایج نشان داد که کاهش فاصله آبیاش‌ها باعث افزایش ضریب یکنواختی در سامانه‌ها می‌شود. رئوف و همکاران (۱۳۹۷) با ارزیابی سامانه کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک و مدل‌سازی تلفات تبخیر و بادبردگی آبیاش مدل *ADF25* در منطقه مغان، دریافتند که در آبیاش مدل *ADF25* عامل باد بیش‌ترین تأثیر و کمبود فشار بخار اشباع کم‌ترین تأثیر را بر تلفات تبخیر و بادبردگی داشته است. کاظمی و همکاران (۱۳۹۸)، سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک در شهرستان اقلید فارس را مورد ارزیابی قرار دادند و دریافتند که با کاهش فواصل آبیاش‌ها، تنظیم فشار و عدم استفاده از تعداد زیاد آبیاش به طور همزمان، یکنواختی توزیع افزایش می‌یابد. همچنین، با کاهش مدت زمان آبیاری، تلفات آبیاری کاهش و بازده ترکیبی و بازده کاربرد آب در سامانه افزایش می‌یابد. استامبولی و همکاران (۲۰۱۳) مقدار تلفات تبخیر و باد را در سامانه کلاسیک ثابت در منطقه‌ای نیمه خشک در اسپانیا بررسی کردند و مقدار متوسط تلفات تبخیر و باد برای سامانه کلاسیک ثابت در طول روز و شب به ترتیب برابر $15/4$ و $8/5$ محاسبه شد. آبشیر و سینگ (۲۰۱۸)، طی تحقیقی که برای ارزیابی سامانه‌های آبیاری در اتیوپی انجام دادند، دریافتند که این سامانه به اندازه ظرفیت طراحی، کار نمی‌کند، در همین راستا پیشنهاد شد برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس شرایط کار واقعی سامانه با توجه به ماه رشد و مرحله رشد انجام شود. ارزیابی سامانه‌های آبیاری معمولاً باید در یکی از مراحل از جمله پایان طراحی، حین اجرای سامانه، بلافاصله بعد از اجرای سامانه و سال‌ها بعد از بهره‌برداری

باید انجام شود (عمران و همکاران، ۲۰۲۰). همان‌طور که اشاره شد استفاده از روش‌های نوین آبیاری، یکی از راه‌کارهای مدیریت بهینه منابع آب از طریق افزایش راندمان آبیاری است. برای این منظور در دشت اردبیل، اجرای سامانه‌های آبیاری بارانی در سال‌های اخیر رشد زیادی داشته است. متعاقب آن نیاز است مشخص شود که آیا این سامانه‌ها به درستی طراحی شده‌اند؟ که اگر اجرای آن‌ها مطابق شرایط طراحی بوده باشد و بهره‌برداری این سامانه‌ها به درستی انجام شود، منجر به افزایش راندمان آبیاری می‌گردد؛ بنابراین این پژوهش با هدف تعیین میزان کارایی سامانه‌های اجرا شده در دشت اردبیل و مقایسه شرایط کار با طراحی در این سامانه‌ها از طریق معیارهای استاندارد انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت اردبیل در ناحیه شمال غرب ایران بین عرض شمالی 38° درجه و $5'$ دقیقه تا 38° درجه و $30'$ دقیقه و طول شرقی 48° درجه و $15'$ دقیقه تا 48° درجه و $35'$ دقیقه واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع متوسط اراضی کشاورزی حدود 1360 متر از سطح دریاهای آزاد است. وسعت آن حدود 820 کیلومتر مربع بوده و جزیی از حوزه آبخیز رود قره‌سو به‌شمار می‌رود (رستم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴). در کل دشت اردبیل، حدود 13700 هکتار به سامانه آبیاری مدرن مجهز شده که حدود 3000 هکتار آبیاری بارانی، حدود 800 هکتار آبیاری قطره‌ای و حدود 9900 هکتار آبیاری کم فشار اجرا شده است.



شکل ۱- موقعیت محل انجام تحقیق (دشت اردبیل) در استان اردبیل (۱- منطقه مسکونی و طرح‌های سنتی و کم‌فشار ۲- منطقه دارای خاک غیرقابل کشت ۳- فرودگاه اردبیل ۴- منطقه مورد مطالعه در دشت اردبیل)

روش انجام تحقیق

در این پژوهش، ۱۸ مزرعه مجهز به سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک، با در نظر گرفتن معیارهایی از قبیل، حداقل یک فصل زراعی از بهره‌برداری آن‌ها سپری شده باشد، دارای دفترچه طراحی و مجوز از سازمان جهاد کشاورزی استان باشد، کمتر از پنج سال از شروع بهره‌برداری آن‌ها گذشته باشد و همچنین، پراکندگی در سطح دشت به گونه‌ای باشد که به صورت متوازی در دشت اردبیل توزیع شده باشند، انتخاب شد. برخی از مشخصات سامانه‌های انتخاب شده در جدول (۱) ارائه شده است. علاوه بر مشخصات مندرج در جدول (۱)، اطلاعاتی از قبیل فشار تولیدی پمپ، الگوی نصب آبیاش‌های فعال، تعداد مجاز آبیاش

فعال روی هر لاترال، فاصله آبیاش‌ها، الگوی کشت، ساعت آبیاری، تعداد آبیاش‌های فعال در کل مزرعه، نوع آبیاش، نوع پمپ، چیدمان اجزاء مختلف شبکه آبیاری و مشخصات فیزیکی شبکه (قطر، طول و جنس لوله‌ها) بررسی و با شرایط طراحی مقایسه شد تا میزان انطباق و عدم انطباق شرایط طراحی، با شرایط اجرا و بهره‌برداری در طرح‌ها مشخص شود. در هر کدام از مزارع در روز آبیاری و قبل از انجام آبیاری از لایه‌های مختلف خاک به منظور تعیین وزن مخصوص ظاهری و ظرفیت زراعی (FC) نمونه‌های دست نخورده و همچنین برای تعیین بافت و رطوبت خاک، نمونه‌های دست خورده تهیه شد (فاریابی و همکاران، ۱۳۹۸).

جدول ۱- مشخصات سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک مورد مطالعه

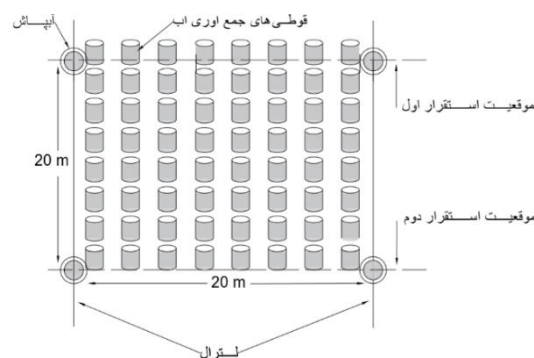
شماره سامانه	روستا	مختصات	کشت موجود	مساحت (ha)	فاصله آبیاش‌ها (m×m)	مدل آبیاش	دبی آبیاش (lit/s)	نازل آبیاش (mm)
GA1	حصار	X:۲۷۴۵۹۴ Y:۴۲۱۷۶۰۵	گندم	۷/۶۵	۲۰×۲۰	ZK30	۲/۱۱	۱۰
GA2	نوشهر	X:۲۷۴۳۴۰ Y:۴۲۱۸۶۵۷	سیب زمینی	۱۳/۵۳	۲۰×۲۲	komet 162	۱/۹۳	۸
GA3	آرالو	X:۲۷۵۵۴۱ Y:۴۲۲۵۲۸۷	گندم	۴	۲۱×۲۱	komet 163	۱/۷	۸
GA4	تپراقلو	X:۲۷۵۰۸۷ Y:۴۲۳۰۸۳۱	سیب زمینی	۴۲/۴	۱۸×۱۹	komet 163	۱/۹۳	۸
GA5	تپراقلو	X:۲۷۷۸۱۲ Y:۴۲۳۱۵۷۶	گندم	۸	۱۸×۱۸	ZK30	۱/۷	۳/۱۷*۴/۷۶
GA6	تپراقلو	X:۲۷۸۱۴۶ Y:۴۲۳۱۵۹۸	غلات	۲۴/۲	۱۸/۵×۱۸/۵	Komet F41/2	۱/۴۲	۸*۳/۲
GA7	آقبلاغ	X:۲۷۴۳۷۶ Y:۴۲۳۳۰۳۲	سیب زمینی	۱۵	۲۱×۲۰	Komet 163-162	۱/۹۳	۸
GA8	تپراقلو	X:۲۷۹۳۷۹ Y:۴۲۳۲۵۹۵	غلات	۱۰	۲۰×۲۰	kamet163	۱/۹۳	۸
GA9	مرنی	X:۲۸۴۱۱۶ Y:۴۲۳۵۵۸۴	گندم	۱۳	۲۲×۲۲	kamet162	۲/۶۶	۸
GA10	مرنی	X:۲۸۵۲۰۸ Y:۴۲۳۶۰۲۴	گندم	۹	۲۲×۲۲	Komet 163-162	۲/۵	۸
GA11	قره تپه	X:۲۷۹۸۱۲ Y:۴۲۳۷۲۸۶	کلزا	۱۴/۸	۲۰×۲۰	Komet 163	۱/۹۳	۱۰
GA12	مرنی	X:۲۸۶۰۶۴ Y:۴۲۳۷۹۵۵	سیب زمینی	۸	۲۱×۲۱	kamet162-163	۲/۶۶	۱۰
GA13	آبیگلو	X:۲۸۴۴۸۶ Y:۴۲۴۱۶۳۸	گندم	۱۲	۲۰×۲۰	Komet 163	۱/۹۳	۸*۱۶
GA14	بابلان	X:۲۶۵۹۸۵ Y:۴۲۴۲۸۸۵	سیب زمینی	۴۳/۲۵	۱۸/۵×۱۸/۵	TN25	۱/۷۸	۸*۷
GA15	کرکرک	X:۲۶۹۷۱۰ Y:۴۲۴۴۶۴۱	کلزا	۱۰	۲۰×۲۰	kamet162-163	۱/۹۳	۸
GA16	کرکرک	X:۲۶۹۲۲۶ Y:۴۲۴۵۶۱۶	گندم	۳/۴	۲۰×۱۹	Komet 163	۱/۹	۸
GA17	تازه کند	X:۲۷۲۸۳۵ Y:۴۲۴۶۲۸۳	گندم	۴۲/۶	۲۰×۲۰	Komet R163-R162	۲/۶۶	۱۰
GA18	آقا باقیر	X:۲۷۱۴۰۶ Y:۴۲۳۷۵۰۲	سیب زمینی	۶۱/۵	۱۲×۱۲	Atom	۰/۴۹	۵/۵

آنجا رخ دهد. به عنوان مثال چنانچه توپوگرافی زمین مسطح بود، محل استقرار آبیاش‌ها برای آزمایش، لاترال‌های میانه مزرعه بود (مولایی و همکاران، ۱۳۹۵). بعد از مشخص شدن مکان آزمایش، آبیاش‌ها، ابتدا در موقعیت استقرار (۱) قرار گرفت و به مدت زمان محاسبه

با استفاده از مته نمونه‌برداری قبل از آبیاری نمونه خاک در عمق‌های ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰ و ۸۰-۶۰ تهیه شد. به منظور انتخاب محل مناسب برای استقرار آبیاش‌ها، با در نظر گرفتن توپوگرافی هر مزرعه، سعی شد موقعیتی در نظر گرفته شود که فشار متوسط سامانه در

مدت زمان ۱۰ ثانیه و با تعداد سه تکرار برای هر آبیاش انجام شد. فشار سر آبیاش نیز با استفاده از فشارسنج اندازه‌گیری شد (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۸). از جمله عوامل تاثیرگذار بر بازده آبیاری، تلفات بادبردگی و تبخیر از سامانه آبیاری بارانی اجرا شده است. سرعت باد، میزان بارندگی، رطوبت نسبی و همین‌طور دما از پارامترهای تاثیر گذار بر مقدار این تلفات‌ها است. میانگین این پارامترها از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک فرودگاه اردبیل با مشخصات جغرافیایی $38^{\circ}19'53''N$ ، $48^{\circ}25'45''E$ و ارتفاع ۱۳۱۵ متر از سطح دریا، در سال ۱۳۹۸ جمع‌آوری شد. میانگین رطوبت نسبی، بارندگی، سرعت باد، بیشینه دما، کمینه دما و متوسط دما به ترتیب برابر ۷۳/۸ درصد، ۲۴/۴ میلی متر، ۵/۴ متر بر ثانیه، ۱۶/۷ درجه سانتی‌گراد، ۳/۱ درجه سانتی‌گراد و ۹/۴ درجه سانتی‌گراد در دوره آماری پنج ساله است. همچنین، برای اینکه ارزیابی سامانه‌های آبیاری در بالاترین راندمان صورت گیرد، برداشت‌ها در دامنه سرعت باد ۰ تا چهار متر بر ثانیه در کلیه مزارع انجام شد (علیزاده، ۱۳۹۰).

شده طبق جدول (۲) آبیاری، در استقرار اول، ادامه داشت و پس از پایان این مدت زمان آبیاش‌ها به موقعیت استقرار (۲) منتقل شده (شکل ۲) تا اثر متقابل آن‌ها نیز مشخص شود. مدت زمان آبیاری در استقرار دوم نیز برابر استقرار اول بود. مساحت بین آبیاش‌ها با استفاده از متر و میخ چوبی به فواصل مشخص ۸×۸ شبکه‌بندی و سپس قوطی‌های جمع‌آوری آب به تعداد ۶۴ عدد و با قطر (cm) ۱۴/۵ و ارتفاع (cm) ۱۲ در شبکه‌های منظم قرار گرفت. در کل مدت زمان پاشش آبیاش‌ها، برای اندازه‌گیری مقدار تبخیر از یک قوطی پر از آب استفاده شد. پایه‌های قرارگیری قوطی‌ها به صورت متغیر و متناسب با الگوی کشت و مراحل مختلف رشد گیاه تهیه شد تا بر مقدار آب جمع شده در قوطی‌ها تأثیر نداشته باشد. در پایان آزمایش، حجم آب جمع شده در قوطی‌ها با استفاده از استوانه مدرج اندازه‌گیری شد (قاسم‌زاده مجاوری، ۱۳۷۷). در شکل (۲) نحوه قرار گرفتن قوطی‌ها نشان داده شده است. علاوه بر ویژگی‌های اقلیمی و خصوصیات خاک، دبی و فشار آبیاش نیز اندازه‌گیری شد. دبی آبیاش‌ها به روش حجمی و با استفاده از یک ظرف ۲۰ لیتری و در



شکل ۲- ترتیب قرار گرفتن قوطی‌های جمع‌آوری آب (کلر و بلینسر، ۱۹۹۰)

θ_{fc} : رطوبت حجمی ظرفیت زراعی (درصد)، θ_c : رطوبت برداشت‌شده قبل از آزمایش (درصد).
شدت پاشش و زمان آبیاری با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشد (علیزاده، ۱۳۹۰):

$$I_g = \frac{Q_c}{A} \quad (۲) \text{ شدت پاشش}$$

$$T = \frac{dn}{I_g} \times 60 \quad (۳) \text{ زمان آبیاری}$$

شاخص‌های ارزیابی

پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، مقدار رطوبت سهل الوصول که از آن می‌تواند استفاده کند، با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (علیزاده، ۱۳۹۰):

$$RAW = \frac{D_{rz} \times MAD \times (\theta_{fc} - \theta_c)}{100} \quad (۱)$$

RAW: رطوبت سهل الوصول (میلی متر) D_{rz} : حداکثر عمق توسعه ریشه (متر)، MAD: حداکثر تخلیه مجاز،

به همین منظور، یکنواختی‌های توزیع محاسبه شده نیز با استفاده از رابطه زیر تعدیل می‌شود (توپاک و همکاران، ۲۰۰۵).

$$DU_s = DU_t \left[\frac{1 + 3 \left(\frac{P_{min}}{P_{mean}} \right)^{0.5}}{4} \right] \quad (9)$$

در این روابط:

P_{min} و P_{men} به ترتیب حداقل فشار و میانگین فشار سامانه و DU_s ، DU_t به ترتیب یکنواختی توزیع سامانه و ضریب یکنواختی می‌باشند، سپس راندمان واقعی کاربرد آب با استفاده از رابطه (۸) قابل محاسبه است. فشار متوسط با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد (مرکلی و آلباشد ۰۴).

$$P_{mean} = \frac{2P_{min} + P_{max}}{3} \quad (10)$$

در صورتی که میانگین یک چهارم عمق آب ذخیره در خاک بیش‌تر از مقدار آب مورد نیاز برای رساندن رطوبت خاک از وضع موجود به ظرفیت زراعی باشد، تلفات نفوذ عمقی نسبتاً زیادی وجود داشته و راندمان واقعی کاهش پیدا می‌کند که در این صورت در رابطه (۸) به جای میانگین یک چهارم عمق آب ذخیره شده در ناحیه ریشه، کمبود رطوبت خاک (SMD) قرار می‌گیرد (مرکلی و آلن، ۲۰۰۴).

$$AELQ_t = \frac{SMD}{D_r} \times 100 \quad (11)$$

راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین با استفاده از معادله زیر بدست آمد (قاسم‌زاده مجاوری، ۱۳۷۷):

$$PELQ_t = \frac{D_q}{D_r} \times 100 \quad (12)$$

برای محاسبه راندمان پتانسیل کاربرد و راندمان واقعی کاربرد کل سامانه از روابط زیر استفاده می‌شود.

$$AELQ_s = (1 - ER) \times AELQ_t \quad (13)$$

$$PELQ_s = (1 - ER) \times PELQ_t \quad (14)$$

ER : ضریب کاهش راندمان که به صورت رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$ER = \frac{0.2 \times (P_{max} - P_{min})}{P_{mean}} \quad (15)$$

پارامترهای P_{min} ، P_{mean} و P_{max} به ترتیب حداقل فشار و میانگین فشار و حداکثر فشار سامانه (bar) می‌باشند.

I_g : شدت پاشش (m/hr)، Q_c : دبی اندازه‌گیری شده از سر نازل آبپاش (m^3/s)، A : مساحت (m^2)، T : زمان آبیاری (min).

پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز پارامتر-های تعریف شده برای ارزیابی فنی شامل ضریب یکنواختی توزیع (DU)، راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین ($PELQ$)، راندمان واقعی در ربع پایین ($AELQ$) و ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU) با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (مریام و کلر، ۱۹۷۸):

$$DU_t = \frac{D_q}{D} \times 100 \quad (4)$$

DU_t : یکنواختی توزیع در ربع پایین اطلاعات (صد)، D_q : متوسط عمق آب در یک چهارم کم‌ترین مقادیر اندازه‌گیری شده (میلی‌متر)، $\bar{D}$: متوسط عمق‌های آب جمع شده در قوطی‌ها (میلی‌متر).

$$CU_t = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^N |D_i - \bar{D}|}{\bar{D} \times N} \right] \quad (5)$$

CU_t : ریب یکنواختی کریستیانسن بلوک آزمایش (درصد)، D_i : عمق آب در هر یک از قوطی‌های جمع-آوری (میلی‌متر)، N : تعداد مشاهدات (قوطی‌ها). برای $CU > 70$ ، رابطه (۵) بصورت زیر اصلاح می‌شود (مرکلی و آلن، ۲۰۰۴).

$$CU_t = \left[100 * \frac{D_j}{D} \right] \quad (6)$$

D_j : متوسط عمق آب در یک دوم کم‌ترین مقادیر.

برای محاسبه راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین از رابطه (۷) می‌توان استفاده کرد.

$$AELQ_t = \frac{D_q}{D_r} \times 100 \quad (7)$$

$AELQ_t$: راندمان کاربرد واقعی در ربع پایین (درصد)، D_r : متوسط آب آبیاری اندازه‌گیری شده (میلی‌متر). به منظور نسبت دادن ضرایب یکنواختی محاسبه شده به کل سامانه، این مقادیر با توجه به اختلاف فشار موجود در هریک از سامانه‌ها با استفاده از رابطه زیر تعدیل می‌شود (توپاک و همکاران، ۲۰۰۵).

$$CU_s = CU_t \left[\frac{1 + \left(\frac{P_{min}}{P_{mean}} \right)^{0.5}}{2} \right] \quad (8)$$

لازم به ذکر است که محدوده قابل قبول پیشنهاد شده برای ضریب یکنواختی کریستیانسن و یکنواختی توزیع آب در ربع پایین بصورت زیر می‌باشد (مریام و کمر، ۱۹۷۸):

$$0.67 \leq DU \leq 0.8 \quad \text{و} \quad 0.81 \leq CU \leq 0.87 \quad (22)$$

همچنین برای راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین (AELQ) و راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین (PELQ) محدوده پیشنهاد شده به صورت زیر در تحقیق مورد استفاده قرار گرفت (مریام و کمر، ۱۹۷۸):

$$0.65 \leq AELQ \leq 0.85 \quad \text{و} \quad 0.65 \leq PELQ \leq 0.85 \quad (23)$$

نتایج و بحث

قبل از شروع آزمایش و برای اندازه‌گیری اجزاء تلفات، از قبیل مقدار نفوذ عمقی و سایر پارامترهای ارزیابی، نیاز آبی بر اساس نمایه خاک، طبق مراحل تشریح شده، بر اساس رطوبت خاک محاسبه شد. سپس با استفاده از نیاز آبی و شدت پاشش محاسبه شده زمان آبیاری برای آزمایش در هر زمین طبق جدول (۲) بدست آمد. متناسب با شرایط رطوبت خاک قبل از آزمایش، زمان آبیاری از ۱۴ دقیقه تا ۱۷۲ دقیقه متغیر بود. اطلاعات مربوط به آزمایش خاک مزارع در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که خاک تمامی مزارع به دلیل داشتن EC پایین (کمتر از چهار دسی زیمنس بر متر) در طبقه‌بندی خاک‌های متأثر از نمک، در رده نرمال قرار می‌گیرد. به طور کلی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع مورد ارزیابی در محدوده‌ای قرار دارد که برای آبیاری بارانی محدودیت کاربری ندارد (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷).

برای محاسبه میزان درصد تلفات تبخیر و باد (WDEL) از رابطه (۱۶) استفاده می‌شود (دجمنی و همکاران، ۲۰۰۳).

$$WDEL = \frac{D_r - \bar{D}}{D_r} \times 100 \quad (16)$$

$\bar{D}$: متوسط عمق‌های آب جمع‌شده در قوطی‌ها (میلی-متر)، D_r : متوسط آب آبیاری اندازه‌گیری شده (میلی-متر).

برای محاسبه میزان درصد نفوذ عمقی (D_p) برای دو حالت آبیاری کامل و آبیاری ناقص از روابط زیر استفاده می‌شود.

$$D_p = \frac{\bar{D} - SMD}{D_r} \times 100 \quad \text{برای آبیاری کامل} \quad (17)$$

$$D_p = \frac{V_{Z1} \cdot (SMD \times AD_{irr} \times S_l \times S_m)}{q \times T_{irr}} \times 100 \quad \text{برای آبیاری ناقص} \quad (18)$$

q : دبی متوسط آبیاش (m^3/s)، T_{irr} : مدت زمان آبیاری (ثانیه)، S_l : فاصله آبیاش ها بر روی یک لترال (متر)، S_m : فاصله ردیف‌های آبیاری (متر)، AD_{irr} : درصد کفایت آبیاری، V_{Z1} : کل حجم آب نفوذ کرده (m^3) برای محاسبه درصد کفایت و کل حجم آب نفوذیافته از روابط زیر استفاده می‌شود.

$$AD_{irr} = \frac{N_1}{N} \times 100 \quad (19)$$

N_1 : تعداد قوطی‌هایی که آب جمع‌شده در آن‌ها بیش‌تر و یا مساوی SMD است N : تعداد کل قوطی‌ها

$$V_{Z1} = \sum_{i=1}^{i:D_i \geq SMD} (D_i \times A_i) \times S_l \times S_m \quad (20)$$

A_i : درصد مساحتی که توسط هر یک از قوطی‌های جمع‌آوری آب پوشیده شده است ($\frac{1}{N} \times 100$).

بازده ترکیبی با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد (دجمنی و همکاران، ۲۰۰۳).

$$E_c = \frac{((100 - D_p)(100 - WDEL))}{100} \quad (21)$$

جدول ۲- اطلاعات مربوط به رطوبت خاک و نیاز آبی گیاه

شماره سامانه	رطوبت ظرفیت زراعی (θ_{fc}) (درصد حجمی)	رطوبت اندازه‌گیری شده قبل آزمایش (درصد حجمی) (θ_i)	نیاز آبی گیاه (m)	شدت پاشش (m/hr)	زمان آبیاری (min)
GA1	۲۷	۲۵/۱۹	۰/۰۱۱	۰/۰۱۹	۳۴
GA2	۳۶	۲۶/۶۸	۰/۰۱۶	۰/۰۱۴	۷۱
GA3	۲۸	۲۳/۶۷	۰/۲۶۹	۰/۰۱۵	۱۰۲
GA4	۳۷	۲۷/۰۶	۰/۱۷۸	۰/۰۲۵	۴۱
GA5	۳۹	۳۰/۹۳	۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۶۹
GA6	۲۷	۲۴/۹۹	۰/۰۱۳	۰/۰۱۶	۴۹
GA7	۳۱	۲۴/۸۶	۰/۰۱۱	۰/۰۱۶	۳۹
GA8	۲۹	۲۷/۷۹	۰/۰۰۷	۰/۰۱۶	۲۸
GA9	۳۱	۳۰/۱۸	۰/۰۰۵	۰/۰۱۸	۱۷
GA10	۳۱	۲۶/۸۵	۰/۰۲۵	۰/۰۱۹	۷۸
GA11	۳۱	۲۹/۵۱	۰/۰۰۹	۰/۰۱۶	۳۵
GA12	۳۱	۲۸/۲۳	۰/۰۰۴	۰/۰۲۰	۱۴
GA13	۳۱	۳۰/۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۱۷	۲۰
GA14	۲۹	۲۴/۸۱	۰/۰۰۷	۰/۰۱۷	۲۵
GA15	۳۱	۲۹/۹۷	۰/۰۰۶	۰/۰۱۶	۲۴
GA16	۳۱	۲۹/۹۵	۰/۰۰۶	۰/۰۱۸	۲۱
GA17	۳۱	۲۶/۸۸	۰/۰۲۵	۰/۰۲۲	۶۸
GA18	۴۴	۲۳/۹۳	۰/۰۳۶	۰/۰۱۲	۱۷۲

در روش‌های مختلف آبیاری بارانی، انتخاب آبیاش‌ها بر مبنای سرعت نفوذ آب به خاک مشخص می‌شود. هرگاه شدت پاشش که تحت عوامل مختلفی از قبیل، نوع خاک، پستی و بلندی سطح زمین، مدیریت، مشخصات هیدرولیکی آبیاش‌ها و نوع گیاه افزایش یابد، پتانسیل ایجاد رواناب سطحی افزایش می‌یابد (قربانی، ۱۳۹۷). با مقایسه نفوذپذیری نهایی خاک از جدول (۳) با شدت پاشش آبیاش‌ها (جدول ۴) می‌توان دریافت که تنها در مزارع GA2، GA4، GA5 و GA13 مقدار نفوذپذیری نهایی از مقدار پاشش آبیاش بر روی زمین بیش‌تر است. در سایر زمین‌ها، مقدار نفوذپذیری نهایی از شدت پاشش روی زمین کم‌تر است که پتانسیل ایجاد رواناب را افزایش می‌دهد که در نهایت پتانسیل تلفات را افزایش می‌دهد. در جدول (۴) نتایج مربوط به اندازه‌گیری شدت خروجی از آبیاش، شدت متوسط پاشش روی زمین، مقدار و درصد تلفات تبخیر و بادبردگی ارائه شده است. نتایج نشان داد که سامانه‌های GA16، GA6 و GA15 به دلیل اختلاف بیش‌تر شدت خروجی آبیاش و شدت متوسط پاشش روی زمین، به ترتیب با مقادیر ۱۷/۶۷،

۱۶/۲۱ و ۱۵/۳۲ درصد نسبت به سامانه‌های دیگر دارای درصد تلفات بادبردگی و تبخیر بیش‌تری می‌باشند. در مقابل سامانه‌های GA17، GA4 و GA18 نسبت به سامانه‌های دیگر به علت اختلاف کم‌تر شدت خروجی آبیاش و شدت متوسط پاشش روی زمین، به ترتیب با مقادیر ۱/۸۱، ۲/۱۸ و ۲/۵۵ درصد تلفات بادبردگی و تبخیر کم‌تری داشتند. با توجه به انجام آزمایش‌ها برای دستیابی به راندمان بیش‌تر (طبق ضوابط طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی، ۱۳۸۳)، در شرایط باد کم (صفر تا ۱/۷۷ متر بر ثانیه)، نکته مهم در مورد مقادیر بیشینه و کمینه تلفات تبخیر و بادبردگی، دامنه تقریباً زیاد (از ۱/۸۱ تا ۱۷/۶۷ درصد) در محل پژوهش است که در شرایط وزش باد متوسط و تند این دامنه به سمت افزایش تلفات بادبردگی و تبخیر گسترش پیدا خواهد نمود. از جمله شاخص‌های دیگری که برای ارزیابی سامانه‌ها استفاده شدند، ضریب یکنواختی کریستیانسن، یکنواختی توزیع آب در ربع پایین، بازده پانسیل و بازده واقعی کاربرد در ربع پایین که به تفکیک برای بلوک آزمایش و سامانه آبیاری محاسبه شده است (جدول ۵).

جدول ۳- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع

شماره سامانه	بافت خاک	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	هدایت الکتریکی (ds/m)	اسدیته خاک اشباع	رطوبت قابل استفاده خاک (mm/m)	نفوذ پذیری نهایی (mm/hr)
GA1	Clay Loam	۱/۴۵	۱/۱۶	۷/۶	۱۹۰	۸
GA2	Loam	۱/۳۷	۱/۲۹	۶/۸۶	۱۷۰	۱۳
GA3	Clay Loam	۱/۴۰	۱/۴	۷/۶۷	۱۹۰	۸
GA4	Loam	۱/۳۸	۱/۲۵	۷/۸۱	۱۷۰	۱۳
GA5	Loam	۱/۳۸	۰/۴۲	۷/۹۸	۱۷۰	۱۳
GA6	Clay Loam	۱/۴۱	۲/۱۹	۷/۸۸	۱۹۰	۸
GA7	Loam	۱/۳۹	۱/۴۴	۷/۸۸	۱۷۰	۱۳
GA8	Clay Loam	۱/۴۱	۱/۶۵	۷/۷۴	۱۷۰	۱۳
GA9	Clay Loam	۱/۳۸	۱/۷۸	۷/۳۵	۱۹۰	۸
GA10	Clay Loam	۱/۴۲	۱/۲۶	۷/۷۸	۱۹۰	۸
GA11	Clay Loam	۱/۴	۱/۲۱	۷/۶۲	۱۹۰	۸
GA12	Loam	۱/۳۶	۱/۱۲	۷/۱۹	۱۷۰	۱۳
GA13	Loam	۱/۳۹	۰/۶	۷/۶	۱۹۰	۱۳
GA14	Clay Loam	۱/۴۲	۱/۳۴	۷/۷۶	۱۹۰	۸
GA15	Loam	۱/۳۹	۲/۲۱	۷/۲۲	۱۷۰	۱۳
GA16	Loam	۱/۳۸	۰/۷۱	۷/۸۳	۱۷۰	۱۲
GA17	Clay Loam	۱/۴۳	۲/۸۲	۸/۴	۱۹۰	۸
GA18	Clay Loam	۱/۲۵	۱/۷۲	۷/۷	۱۷۰	۸

سامانه از ۷۷/۲۶ تا ۸۸/۹۴ درصد متغیر می‌باشد که تا حدودی بیش‌تر از مقدار پیشنهاد شده که دلیل آن تغییرات فشار در سامانه و بلوک آزمایش می‌باشد.

بنابر نتایج به دست آمده، ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU) در بلوک آزمایش در محدوده ۷۹/۷۵ تا ۸۸/۹۹ درصد می‌باشد که تقریباً در محدوده پیشنهاد شده مریام و کلر (۱۹۷۸) می‌باشد (رابطه ۲۲). همچنین این محدوده در

جدول ۴- اطلاعات مربوط به شدت خروجی از آبیاش، شدت پاشش روی زمین و مقدار تلفات در محل تحقیق

شماره سامانه	شدت خروجی از آبیاش (mm/hr)	شدت پاشش روی زمین (mm/hr)	مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی (mm/hr)	درصد تلفات تبخیر و بادبردگی
GA1	۱۴/۹۱	۱۳/۶۶	۱/۲۶	۸/۴۲
GA2	۱۳/۰۳	۱۲/۶۴	۰/۳۹	۲/۹۸
GA3	۱۴/۱۹	۱۲/۷۴	۱/۴۵	۱۰/۱۸
GA4	۱۲/۹۸	۱۲/۶۹	۰/۲۸	۲/۱۸
GA5	۱۲/۳۸	۱۱/۲۶	۱/۱۳	۹/۰۸
GA6	۱۴/۶۸	۱۲/۳۰	۲/۳۸	۱۶/۲۱
GA7	۱۵/۵۷	۱۴/۲۳	۱/۳۵	۸/۶۴
GA8	۱۳/۹۵	۱۳/۳۸	۰/۵۷	۴/۰۷
GA9	۱۲/۲۱	۱۱/۷۱	۰/۵۰	۴/۰۶
GA10	۱۵/۳۷	۱۴/۷۹	۰/۵۸	۳/۷۹
GA11	۱۳/۷۳	۱۲/۱۶	۱/۵۶	۱۱/۳۹
GA12	۱۳/۹۴	۱۳/۱۴	۰/۷۶	۵/۴۹
GA13	۱۴/۶۹	۱۲/۸۴	۱/۸۵	۱۲/۵۶
GA14	۱۳/۴۵	۱۲/۵۲	۰/۹۲	۶/۸۷
GA15	۱۶/۳۵	۱۳/۸۵	۲/۵۱	۱۵/۳۲
GA16	۱۷/۲۷	۱۴/۲۱	۳/۰۵	۱۷/۶۷
GA17	۱۵/۱۴	۱۴/۸۶	۰/۲۷	۱/۸۱
GA18	۱۳/۵۳	۱۳/۱۹	۰/۳۵	۲/۵۵
میانگین	۱۴/۳	۱۳/۱	۱/۲	۸/۰
انحراف معیار	۱/۳۴	۱/۰۱	۰/۸۳	۵/۰۷

ضریب یکنواختی توزیع آب (DU) در بلوک آزمایش و سامانه به ترتیب از $۶۷/۸۹$ تا $۸۰/۷۶$ درصد و $۶۴/۵۳$ تا $۸۲/۱۶$ درصد متغیر بود. علت کم بودن این مقدار در سامانه، نسبت به محدوده پیشنهادی مریام و کلر (۱۹۷۸) می‌تواند در اثر استفاده همزمان تعداد زیاد آبپاش و یا فاصله نامناسب آبپاش‌ها باشد. در تحقیقی مشابه که فاریابی و همکاران (۱۳۹۸)، در بررسی سیستم‌های آبیاری کلاسیک ثابت دشت دهگلان انجام دادند، پایین بودن فشار در سیستم آبیاری و زیاد بودن فاصله آبپاش‌ها را دلیل پایین بودن ضرایب یکنواختی دانستند. در این تحقیق نیز در برخی از زمین‌ها به علت عدم رعایت تعداد مجاز آبپاش روی هر لاترال فشار مورد نیاز آبپاش تأمین نشده و باعث کاهش ضریب یکنواختی گردیده است. متوسط ضریب یکنواختی کریستیانسن و یکنواختی توزیع آب در بلوک آزمایش به ترتیب برابر $۸۳/۴۶$ و $۷۴/۹۶$ درصد می‌باشد که در محدوده پیشنهادی مریام و کلر (۱۹۷۸) قرار دارد. بالاترین مقادیر ضریب یکنواختی کریستیانسن و یکنواختی توزیع در بلوک آزمایش مربوط به زمین $GA7$ با مقادیر $۸۸/۹۹$ و $۸۰/۷۶$ درصد است و با توجه به بازدید میدانی، علاوه بر رعایت سایر نکات، رعایت فاصله و تعداد مجاز آبپاش روی لاترال از جمله عوامل مقدار بالای ضریب یکنواختی در این زمین بود. در پژوهشی که در اراک انجام شده، فاصله مناسب آبپاش‌ها را یکی از دلایل اصلی بالا بودن ضرایب یکنواختی گزارش نمودند (برادران هزاوه و همکاران، ۱۳۸۵). همچنین، کم‌ترین مقادیر ضریب یکنواختی کریستیانسن و یکنواختی توزیع در بلوک آزمایش به ترتیب مربوط به مزارع $GA14$ و $GA2$ با مقادیر $۷۹/۷۵$ و $۶۷/۸۹$ است، علت کم بودن این مقادیر را می‌توان به استفاده هم‌زمان از تعداد زیاد آبپاش، فشار کارکرد کمتر از میزان مورد انتظار

و عمود نبودن پایه آبپاش‌ها، دانست که این عوامل نیز در زمین‌های یادشده شده نیز مشاهده شد مشابه این نتیجه در تحقیق کاظمی و همکاران (۱۳۹۸) نیز گزارش شده است. در محل پژوهش راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین، برای بلوک آزمایش در دامنه $۶۰/۶۲$ تا $۷۷/۶۶$ درصد متغیر بود که اندکی کمتر از محدوده پیشنهادی توسط مریام و کلر (۱۹۷۸) است (رابطه ۲۳). همچنین، راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین برای سامانه در محدوده $۶۰/۸۳$ تا $۷۴/۸۲$ درصد بدست آمد که این مقدار نیز کمتر از مقدار پیشنهادی است. با توجه به بررسی‌های انجام شده در محل این پژوهش، دلیل کم‌بودن این شاخص می‌تواند فشار نامناسب پمپ و عدم رعایت فاصله آبپاش‌ها (مشکلات اجرایی)، الگوی نصب و عدم رعایت آبپاش‌های مجاز روی هر لاترال، الگوی کشت و ساعت آبیاری (مشکلات بهره‌برداری) باشد. فاریابی و همکاران (۱۳۹۸)، با بررسی و ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در دشت دهگلان کردستان، عامل پایین بودن عملکرد سامانه‌ها را در مشکلات طراحی و اجرایی و همین‌طور در مدیریت و بهره‌وری ضعیف سامانه‌های آبیاری، دانستند. راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین و در بلوک آزمایش، طبق نتایج در محدوده $۶۳/۲۹$ تا $۷۷/۶۶$ درصد محاسبه شد. این شاخص برای سامانه در محدوده $۶۰/۸۳$ تا $۷۴/۸۲$ درصد متغیر بود که کمتر از مقدار پیشنهادی است. با توجه به جدول (۵) مقادیر شاخص $AELQ$ در $۷۲/۲$ درصد از سامانه‌های آبیاری برابر با مقدار $PELQ$ به دست آمده است و علت آن این است که حداقل آب داده شده به زمین و ذخیره شده در منطقه ریشه، کمتر از کمبود رطوبتی خاک بوده است که مطلب توسط لوپز و ماتا، (۲۰۱۰) مورد اشاره قرار گرفته است.

جدول ۵- خلاصه نتایج پارامترهای ارزیابی در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک

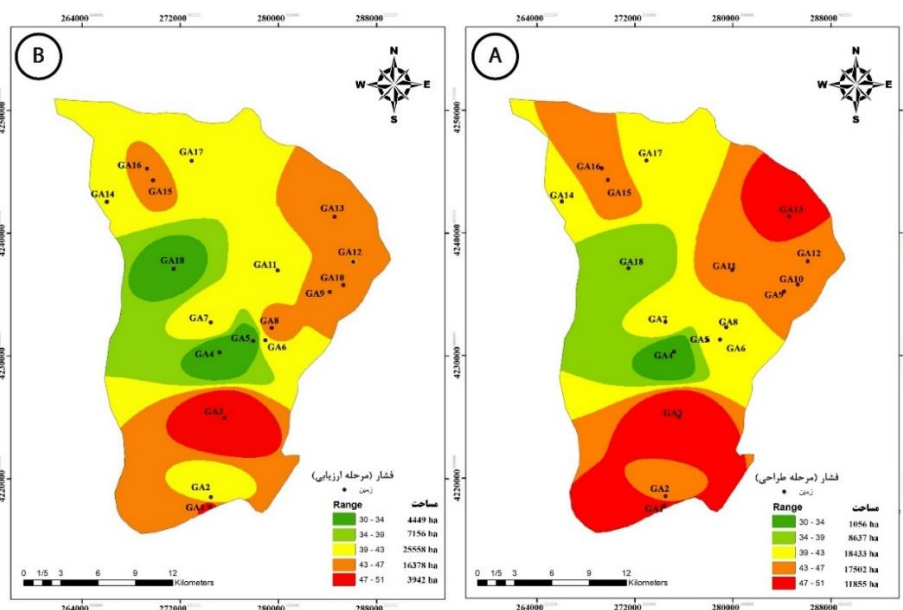
سامانه (%)				بلوک آزمایش (%)				شماره سامانه
PELQ	AELQ	DU	CU	PELQ	AELQ	DU	CU	
۶۴/۶	۶۴/۶	۷۱/۶	۸۰/۰	۶۷/۱	۶۷/۱	۷۳/۳	۸۱/۲	GA1
۶۰/۸	۶۰/۸	۶۴/۵	۷۷/۲	۶۵/۸	۶۵/۸	۶۷/۸	۷۹/۸	GA2
۶۴/۳	۶۴/۳	۷۲/۰	۸۱/۰	۶۵/۳	۶۵/۳	۷۲/۷	۸۱/۵	GA3
۶۶/۶	۶۶/۶	۶۹/۸	۷۹/۶	۷۱/۲	۷۱/۲	۷۲/۸	۸۱/۹	GA4
۶۲/۳	۶۲/۳	۷۰/۷	۷۸/۷	۶۸	۶۸/۰	۷۴/۸	۸۱/۷	GA5
۶۲/۶	۶۲/۶	۷۵/۸	۸۳/۸	۶۵/۲	۶۵/۲	۷۷/۸	۸۵/۲	GA6
۷۱/۶	۷۱/۶	۷۹/۳	۸۷/۹	۷۳/۷	۷۳/۷	۸۰/۷	۸۸/۹	GA7
۶۹/۷	۶۶/۲	۷۳/۱	۸۲/۳	۷۱/۰	۶۷/۵	۷۴/۰	۸۳/۰	GA8
۶۷/۳	۶۴/۴	۷۱/۰	۸۰/۱	۶۹/۵	۶۶/۵	۷۲/۴	۸۱/۲	GA9
۷۱/۹	۷۱/۹	۷۵/۵	۸۴/۶	۷۴	۷۴/۰	۷۶/۹	۸۵/۶	GA10
۶۴/۲	۶۱/۹	۷۳/۷	۸۳/۶	۶۴/۸	۶۴/۸	۷۵/۹	۸۵/۲	GA11
۶۸/۴	۶۸/۴	۷۳/۳	۸۱/۲	۷۰/۸	۷۰/۸	۷۴/۹	۸۲/۴	GA12
۶۸/۱	۶۳/۶	۷۸/۳	۸۵/۷	۶۹/۱	۶۴/۵	۷۹/۰	۸۶/۱	GA13
۶۱/۹	۶۱/۹	۶۸	۷۷/۷	۶۵/۹	۶۵/۹	۷۰/۷	۷۹/۷	GA14
۶۲/۷	۶۱/۱	۷۴/۷	۸۳/۶	۶۴/۲	۶۲/۶	۷۵/۸	۸۴/۵	GA15
۷۱/۱	۶۸	۸۶/۱	۸۸/۹	۶۳/۲	۶۰/۶	۷۶/۸	۸۵/۰	GA16
۷۴/۸	۷۴/۸	۷۷/۲	۸۵/۸	۷۷/۶	۷۷/۶	۷۹/۰	۸۷/۱	GA17
۶۶/۹	۶۶/۹	۷۰/۲	۷۹/۱	۷۱/۲	۷۱/۲	۷۳/۰	۸۱/۲	GA18
۶۶/۷	۶۵/۷	۷۳/۴	۸۲/۳	۶۸/۹	۶۷/۹	۷۴/۹	۸۳/۴	متوسط

دارای اختلاف فشار بیش‌تر از حد مجاز بودند و همواره این اختلاف فشار در اثر تلفات آب در مسیر لوله‌ها، به خصوص در محل اتصالات بوده است. نتایج شکل (۳) عدم انطباق تغییرات فشار در مرحله طراحی (استخراجی از دفترچه طراحی) و تغییرات فشار در مرحله ارزیابی (اندازه‌گیری شده) را نشان می‌دهد که این عدم انطباق به نسبت در نیمه شمالی دشت بیش‌تر است و علت آن تغییرات بیش‌تر فشار (۴۳ تا ۴۷ متر) در نیمه بالای جدول (زمین‌های GA1 تا GA10) است. اگرچه در محل انجام پژوهش تغییرات فشار وجود دارد، اما نکته حائز اهمیت این است که این تغییرات در دامنه مجاز ($\bar{P} \pm 0.2\bar{P}$) است. با در نظر گرفتن حداقل و حداکثر فشار شبکه‌ها، فشار در کلاس‌های ۳۰-۳۴، ۳۴-۳۹، ۳۹-۴۳، ۴۳-۴۷، ۴۷-۵۱ متر تقسیم‌بندی شد، در مقایسه با شرایط طراحی کلاس ۳۹-۴۳ متر با ۴۴ درصد کلاس ۴۷-۵۱ متر با هفت درصد از مساحت کل، بیش‌ترین و کم‌ترین وسعت را به خود در مرحله اجرا اختصاص داد.

در جدول (۶) اطلاعات مربوط به فشار، تغییرات فشار و ضریب کاهش راندمان (با استفاده از رابطه ۱۹) در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت برای مزرعه‌های مورد مطالعه، ارائه شده است. نتایج نشان داد که از بین سامانه‌های بررسی شده فقط سه مزرعه GA7، GA9 و GA17 دارای فشار متناسب با فشار طراحی است. اگر چه بقیه سامانه‌ها، دارای فشاری بیش‌تر و یا کم‌تر از مقدار فشار طراحی بودند، اما تغییرات فشار در این سامانه‌ها در محدوده تغییرات مجاز ($\bar{P} \pm 0.2\bar{P}$) بود (مریام و کلر، ۱۹۷۸). تغییرات فشار زمین‌های GA13، GA3 و GA16 با مقادیر ۲/۲۷، ۴/۵۴ و ۴/۶۵ متر آب از شرایط بهتری برخوردار بودند که باعث شده ضریب کاهش راندمان در این زمین‌ها نسبت به زمین‌های دیگر کم‌تر باشد. لذا تغییرات راندمان واقعی کاربرد و راندمان پتانسیل کاربرد در بلوک آزمایش نسبت به سامانه کم‌تر است (جدول ۵). در پژوهشی که توسط کاظمی و همکاران، ۱۳۹۸ در شهرستان اقلید فارس انجام شد، مشخص شد که ۱۰۰ درصد سامانه آبیاری انتخاب شده

جدول ۶- تغییرات فشار (بار) در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک

شماره سامانه	طراحی	اندازه‌گیری			تغییر فشار ارزیابی (%)	ضریب کاهش راندمان
		حداکثر	متوسط	حداقل		
GA1	۴۹	۵۲	۴۸/۴	۴۴	۹/۱۴	۰/۰۳۳
GA2	۴۴	۴۶	۳۸/۶	۳۲	۱۷/۲۴	۰/۰۷۲
GA3	۴۹	۵۳	۵۱/۳	۴۹	۴/۵۴	۰/۰۱۵
GA4	۲۹	۳۴	۲۹/۸	۲۵	۱۶/۳۵	۰/۰۶۰
GA5	۳۸	۳۷	۳۰	۲۶	۱۳/۳۳	۰/۰۷۳
GA6	۴۱	۴۶	۴۳/۴	۳۸	۱۲/۴۷	۰/۰۳۷
GA7	۴۲	۴۶	۴۲/۶	۴۰	۶/۲۵	۰/۰۲۸
GA8	۴۳	۴۶	۴۴/۲	۴۲	۵/۰۸	۰/۰۱۸
GA9	۴۴	۴۹	۴۳/۷	۴۰	۸/۴۹	۰/۰۴۱
GA10	۴۳	۴۶	۴۲/۷	۴۰	۶/۴۳	۰/۰۲۸
GA11	۴۴	۴۶	۴۳/۳	۳۷	۱۲/۵۲	۰/۰۴۲
GA12	۴۳	۴۷	۴۲/۷	۴۰	۶/۴۹	۰/۰۳۲
GA13	۴۷	۴۶	۴۴	۴۳	۲/۲۷	۰/۰۱۳
GA14	۳۹	۴۴	۳۹	۳۳	۱۵/۳۸	۰/۰۵۶
GA15	۴۶	۴۶	۴۳/۶	۴۱	۶/۱۰	۰/۰۲۲
GA16	۴۵	۴۵	۴۳	۴۱	۴/۶۵	۰/۰۱۸
GA17	۴۰	۴۳	۳۹/۸	۳۶	۹/۵۴	۰/۰۳۵
GA18	۳۴	۳۶	۳۲/۸	۲۷	۱۷/۸۷	۰/۰۵۴



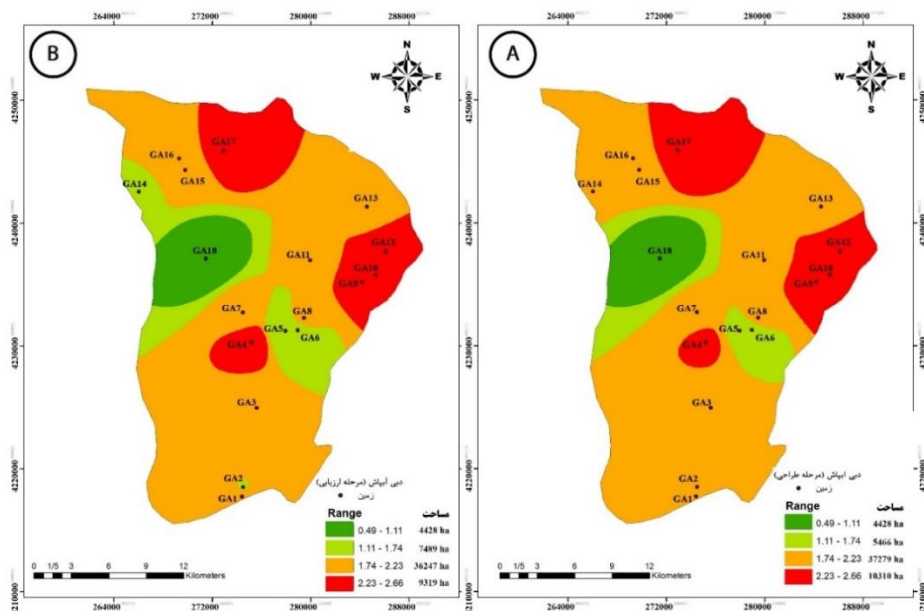
شکل ۳- تغییرات فشار مرحله طراحی (A) و مرحله ارزیابی (B) در دشت اردبیل

که درصد مساحت اختصاص یافته برای هر کلاس دبی، در مراحل طراحی و اجرا به ترتیب، ۸ و ۸،۱۰ و ۱۳، ۶۵ و ۶۳، ۱۷ و ۱۶ درصد برآورد شد که تغییرات جزئی مشاهده می‌شود. علاوه بر وجود مغایرت جزئی این کلاس‌بندی نشان داد که در مرحله اجرا حدود ۸۰ درصد

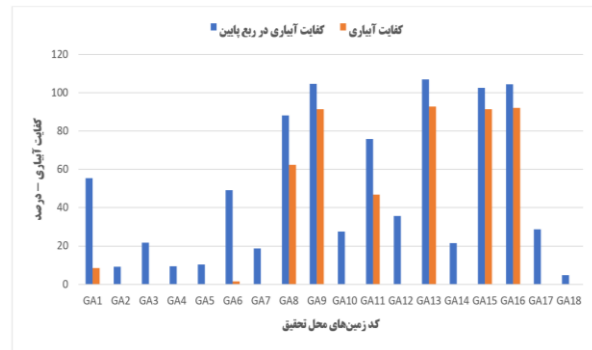
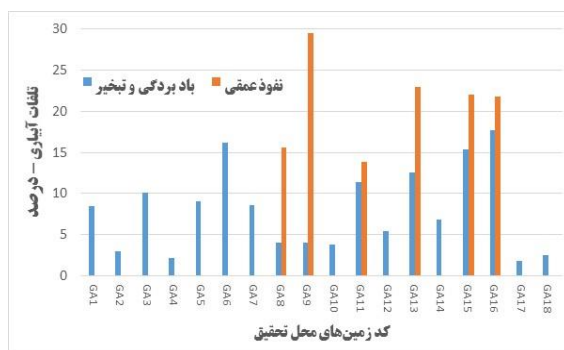
تأثیر مثبت وجود این تغییرات در دامنه مجاز، در تغییرات دبی دشت مشاهده می‌شود که مطابق نتایج شکل (۴) مغایرت حداقلی در دبی ایجاد شده است؛ به عبارت دیگر، کلاس‌بندی تغییرات دبی به صورت ۰/۴۹-۱/۱۱، ۱/۷۴-۱/۷۴ و ۲/۲۳-۲/۶۶ لیتر بر ثانیه انجام

در ربع پایین، سامانه‌های $GA13, GA9$ ، $GA15$ و $GA16$ بیش‌تر از ۱۰۰ درصد است که نشان دهنده این است که زمین بیش از نیازش آب دریافت کرده و در این زمین‌ها تلفات نفوذ عمقی قابل پیش‌بینی است، بنابراین می‌توان با کاهش مدت زمان آبیاری از تلفات نفوذ عمقی جلوگیری کرد و بازده را تا حد بازده پتانسیل ربع پایین افزایش داد. کاظمی و همکاران (۱۳۹۸) در اقلید فارس و میخک بیرانوند و همکاران (۱۳۹۳)، در خرم‌آباد به نتایج مشابهی را گزارش نمودند.

دبی در دشت بیش‌تر از ۱/۷۴ لیتر بر ثانیه است. در شکل (۵) کفایت آبیاری در سامانه‌های مورد مطالعه و در ربع پایین ارایه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود بیش‌ترین مقدار شاخص کفایت آبیاری مربوط به مزرعه $GA13$ با مقدار ۹۳ درصد و کم‌ترین مقدار شاخص کفایت آبیاری مربوط به زمین‌های $GA4$ ، $GA3, GA2$ ، $GA18$ و $GA17, GA14, GA12, GA10, GA7, GA5$ با مقدار صفر است. این مقدار کم باعث ایجاد تنش بسیار زیادی در گیاه می‌شود، لذا برای کاهش این تنش می‌توان زمان آبیاری و یا دور آبیاری را افزایش داد. کفایت آبیاری

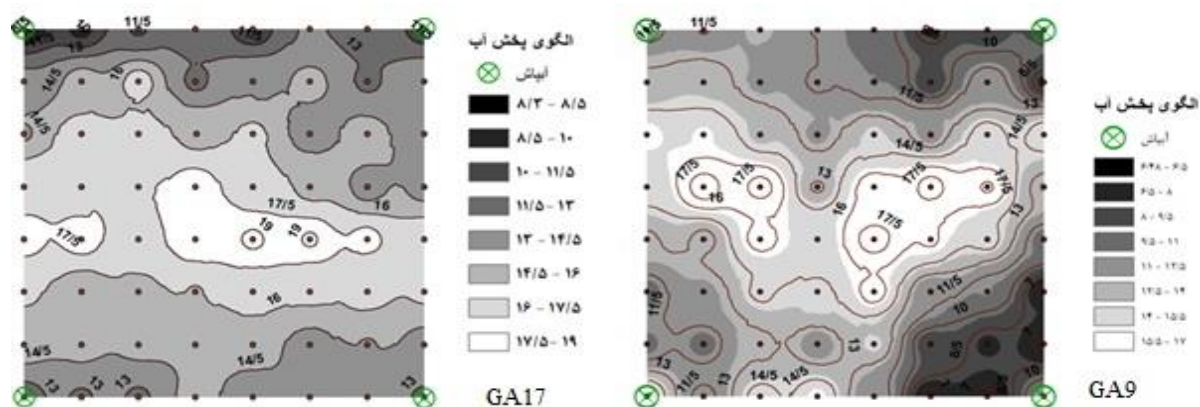


شکل ۴ - تغییرات دبی مرحله طراحی (A) و مرحله ارزیابی (B) در دشت اردبیل



شکل ۵- کفایت و تلفات آبیاری در سامانه‌های مورد ارزیابی

GA16 نیز به دلیل کفایت آبیاری بیش‌تر از ۱۰۰ درصد، تلفات نفوذ عمقی در این زمین‌ها نسبت به سایر زمین‌ها بیش‌تر می‌باشد. در تحقیقی که کاظمی و همکاران (۱۳۹۸)، بر روی ارزیابی سیستم‌های آبیاری در شهرستان اقلید انجام دادند، نیز نتایج مشابهی برای برخی از زمین‌های زراعی به‌دست آمد. الگوی پاشش آب توسط آبپاش‌ها متأثر از عواملی از قبیل، فاصله لاترال‌ها، مقدار فشار، قطر روزنه‌ها، سرعت و جهت وزش باد است و به نوعی می‌توان گفت که الگوی پاشش تعیین‌کننده کیفیت فنی سامانه آبیاری می‌باشد؛ بنابراین الگوی پاشش دو زمین در شرایط مناسب پاشش (GA17) و نامناسب پاشش (GA9) ارائه شده است (شکل ۶). همانطور که مشاهده می‌شود توزیع آب در زمین GA17 از شرایط بهتری برخوردار است که عامل این امر را می‌توان به دلیل طراحی صحیح و فواصل مناسب آبپاش‌ها دانست.

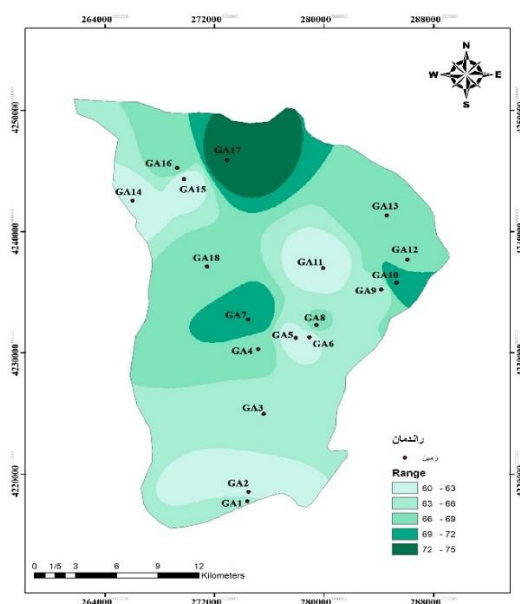


شکل ۶- الگوی پخش آب در اطراف لوله جانبی مورد آزمایش سامانه‌های GA17 (مناسب) و GA9 (نامناسب)

زمین GA9 را می‌توان به فشار پایین سامانه در حین اجرا نسبت به طراحی دانست. کاظمی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی مشابه علت پخش نامناسب را مربوط به فشار کم سامانه نسبت به طراحی دانست. در پژوهشی دیگر که توسط سالم (۱۳۸۹) انجام شد نتایج نشان داد کاهش فاصله استقرار آبپاش‌ها باعث افزایش ضرایب یکنواختی در سامانه‌های آبیاری کلاسیک ثابت می‌شود. راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین (AELQ) برای دشت محاسبه و مشخص شد که مقدار آن در دامنه ۶۰ تا ۷۵ درصد متغیر است (شکل ۷).

محاسبات مربوط به تلفات آبیاری (شکل ۵) نشان داد که در سامانه GA9 حدود ۲۹ درصد آب بکار گرفته شده در سامانه آبیاری، صرف تلفات نفوذ عمقی شده است که بیش‌تر از بقیه‌ی سامانه‌های آبیاری بود. در مجموع تلفات حاصل از تبخیر و بادبردگی و نفوذ عمقی سامانه GA16 با مقدار تقریبی ۳۹ درصد دارای بیش‌ترین مقدار تلفات نسبت به بقیه سامانه‌های آبیاری بود که می‌توان عامل این امر را بیش‌تر بودن مقدار فشار، فاصله زیاد لاترال‌ها و کم بودن قطر روزنه آبپاش‌ها (ملاحظات میدانی) دانست. با مقایسه کفایت آبیاری در ربع پایین، با تلفات آبیاری می‌توان دریافت که در زمین GA9 میزان کفایت بیش‌تر از ۱۰۰ درصد می‌باشد. این مقدار نشان می‌دهد که زمین بیش از نیاز آب دریافت نموده و باعث شده است که تلفات نفوذ عمقی درصد بیش‌تری نسبت به سایر زمین‌ها داشته باشد. برای زمین‌های GA15، GA13 و

زمین ۹ و زمین ۱۷ از نظر دبی و فشار طراحی تقریباً در شرایط یکسانی قرار دارند. فاصله آبپاش‌ها در زمین GA9 بصورت شبکه ۲۲*۲۲ و در زمین GA7 بصورت ۲۰*۲۰ می‌باشد. با توجه به این اطلاعات می‌توان دریافت که فاصله نامناسب آبپاش‌ها در زمین GA9 می‌تواند عامل نامناسب بودن الگوی پخش آب گردد. با توجه به الگوی پخش، عمق آب دریافتی در مرکز به دلیل همپوشانی ۴ آبپاش در حال کار، بیش‌تر است و هرچه از مرکز فاصله گرفته شود، عمق آب دریافتی کم‌تر می‌شود. از دیگر عوامل نامناسب بودن الگوی پخش در



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی تغییرات شاخص $AELQ$ در دشت اردبیل

نظر گرفته شود، مشخص می‌شود که بخش‌های کوچکی دارای راندمانی حدود راندمان طراحی است. علت کاهش راندمان در کل دشت را می‌توان مشکلات طراحی، اجرا و بهره‌برداری به صورت توأمان دانست (جدول ۷).

این درحالی است که طبق اطلاعات موجود، طراحی بر اساس راندمان ۷۵ درصد در دشت اردبیل انجام شده است. با توجه به اینکه راندمان کل سامانه معیار طراحی است، بنابراین اگر این شاخص در دشت را به عنوان یک معیار برای قضاوت برای ارزیابی عملکرد در

جدول ۷- مقایسه موارد مختلف مربوط به طراحی، اجرا و بهره‌برداری در مزارع

پارامترها	تعداد زمین‌های رعایت شده	تعداد زمین‌های رعایت نشده	درصد عدم رعایت	نوع مشکل
فشار تولید شده پمپ	۳	۱۵	۸۳/۳۳	طراحی
الگوی نصب آبیاش فعال	۳	۱۵	۸۳/۳۳	بهره‌برداری
تعداد آبیاش فعال مجاز روی لترال	۶	۱۲	۶۶/۶۷	بهره‌برداری
فاصله آبیاش‌ها	۸	۱۰	۵۵/۵۶	اجرایی
الگوی کشت	۸	۱۰	۵۵/۵۶	بهره‌برداری
ساعت آبیاری	۹	۹	۵۰	بهره‌برداری
تعداد آبیاش فعال در کل مزرعه	۱۴	۴	۲۲/۲۲	بهره‌برداری
نوع آبیاش‌ها	۱۷	۱	۵/۵۶	اجرایی
نوع پمپ	۱۸	۰	۰	اجرایی
فیزیک شبکه (قطر و جنس لوله)	۱۸	۰	۰	اجرایی
چیدمان اجزای شبکه یا layout	۱۸	۰	۰	اجرایی

باشد که در بررسی‌های انجام شده مشخص شد، مهم‌ترین مشکل در این بخش عدم رعایت فاصله آبیاش‌ها در اجرا و به نسبت خیلی کم‌تر، نوع آبیاش بود. علاوه بر آن در بخش بهره‌برداری مشکل اساسی عدم رعایت الگوی نصب آبیاش‌ها و تعداد مجاز روی هر لترال بود. همچنین، در شرایط بهره‌برداری عدم رعایت الگوی

همانگونه که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، کلیه پمپ‌های نصب شده طبق مشخصات مرحله طراحی (نوع پمپ) بوده اما فشار تولیدی پمپ در ۸۳ درصد از مزارع با فشار طراحی مغایرت نشان داد که طبق جدول ۶ این تغییرات در دامنه ۴/۵۴ تا ۱۷/۷۸ درصد قرار داشت. مشکلات زمان اجرا نیز می‌تواند عامل کاهش راندمان

کشت، ساعت آبیاری و تعداد آبپاش فعال کل مزرعه
مشکلات سامانه‌های آبیاری دشت اردبیل بود. همچنین به صورت خلاصه برخی مشکلات اصلی و راه‌حل‌های پیشنهادی در قالب جدول (۸) ارائه شده است.

جدول ۸- برخی مشکلات و راه‌حل در اراضی ارزیابی شده

شماره سامانه	مشکلات	پیشنهاد و راهکار
GA1,9	عدم رعایت آبپاش فعال و مجاز روی لترال - الگوی نصب نامناسب آبپاش‌های فعال	نصب یک آبپاش* بر روی هر لترال - استفاده از آبپاش‌های فعال به تعدادی که طراحی شده است.
GA3,4,5,6,13,14,15,18 GA 2,7,16	عدم رعایت فشار تولید شده توسط پمپ، الگوی کشت، آبپاش فعال و مجاز روی لترال - فاصله نامناسب آبپاش‌ها	رعایت الگوی کشت مورد استفاده در طراحی - استفاده از آبپاشی که متناسب با فاصله اجرا شده لترال‌ها و مشخصات پمپ است (با نظر طراح)
GA8,17	فشار تولید شده توسط پمپ، ساعت آبیاری	فشار تولیدی پمپ در محدوده مجاز است، تنها توصیه به رعایت ساعت آبیاری
GA10,11,12	ساعت آبیاری، فاصله نامناسب آبپاش‌ها	رعایت ساعت آبیاری طبق طراحی - انتخاب مجدد آبپاش متناسب با فاصله لترال‌های اجرا شده (با نظر طراح)

*منظور آبپاشی است که در دفترچه‌های طراحی معرفی شده است

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تعداد ۱۸ سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در دشت اردبیل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که در محل پژوهش در هر سه مرحله طراحی، اجرا و بهره‌برداری مشکلاتی وجود دارد و عامل کاهش پارامترهای ارزیابی هستند. تقریباً ۱۰ درصد مشکلات مربوط به طراحی، ۴۵ درصد از مشکلات مربوط به قسمت اجرا و ۴۵ درصد مربوط به بهره‌برداری این سامانه‌ها می‌باشند. انتخاب نوع پمپ در بخش طراحی، عدم رعایت فاصله آبپاش‌ها در حین اجرا و در زمان بهره‌برداری، عدم رعایت الگوی نصب آبپاش‌ها، تعداد مجاز آبپاش روی هر لترال، الگوی کشت و ساعت آبیاری مشکلات مشاهده شده بودند. بنابر این با در نظر گرفتن نتایج این پژوهش و مشاهدات میدانی در محل این پژوهش که عمده مشکلات در بخش بهره‌برداری مشاهده شد، پیشنهاد می‌شود که فقط به تعداد آبپاش‌های در نظر گرفته در طراحی در کل مزرعه استفاده شود. همچنین اساس طراحی در سامانه‌های آبیاری بارانی

کلاسیک ثابت - آبپاش متحرک، فعالیت تنها یک آبپاش روی هر لترال است، بنابراین ضمن رعایت الگوی کشت و ساعت آبیاری طبق برنامه‌ریزی آبیاری روی هر لترال تنها یک آبپاش قرار گیرد. طبق بررسی‌های میدانی برخی مشکلات از قبیل مغایرت نوع آبپاش، تغییر ساعات آبیاری متناسب با الگوی کشت، الگوی نصب آبپاش‌ها فعال و تغییر الگوی کشت به دلیل عدم آموزش کافی کشاورز و رها شدن سامانه بعد از تحویل به بهره‌بردار اتفاق می‌افتد. بنابراین ضروریست ضمن آموزش اولیه کشاورزان، آموزش و نظارت مستمر بر فعالیت سامانه‌های نوین مورد توجه بیش‌تر قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله از پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مصوب و دفاع شده در دانشگاه محقق اردبیلی استخراج شده است. نویسندگان این مقاله از همه اساتید، کارشناسان و مسئولین اداره‌ها و همه افرادی که در ارتقاء این پژوهش یاری دادند تشکر می‌نمایند.

فهرست منابع

۱. بهرامی م.، خواجه‌ای ف.، دیندارلوع. و دستورانی م. ۱۳۹۶. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی اجرا شده در برخی از دشت‌های استان فارس، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۴ (۱): ۳۱۱ تا ۳۱۷.
۲. برادران هزاوه، ف. ۱۳۸۵، ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری تحت فشار اجرا شده در شهرستان اراک. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۳. جعفری ع.، سلطانی ه.، رضوانی م. و قدمی فیروزآبادی ع. ۱۳۹۶. ارزیابی و مقایسه اقتصادی سامانه‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای در زراعت سیب‌زمینی در استان همدان، نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۱ (۲): ۱۹۶ تا ۲۰۵.
۴. رستم‌زاده ه.، اسدی ا. و جعفرزاده ج. ۱۳۹۴. بررسی سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت اردبیل، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۲ (۱): ۳۱ تا ۴۲.
۵. رئوف م.، حسینی ی. و نظری گیگلو ف. ۱۳۹۷. ارزیابی سامانه کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک و مدل‌سازی تلفات تبخیر و بادبردگی در آبیاش مدل ADF25 در منطقه مغان، نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۷ (۴): ۱۱۷ تا ۱۳۳.
۶. سالم ا. ۱۳۸۹. ارزیابی و مقایسه سامانه‌های آبیاری بارانی چرخدار و کلاسیک ثابت اجرا شده در دشت قروه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران.
۷. ضوابط و معیارهای فنی آبیاری تحت فشار، نشریه شماره ۲۸۶، ۱۳۸۳، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.
۸. علیزاده ا. ۱۳۹۰. طراحی سامانه‌های آبیاری، دانشگاه امام رضا، مشهد.
۹. فاریابی ا.، معروف‌پور ع. و قمرنیا ه. ۱۳۸۹. بررسی و ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت دشت دهگلان کردستان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴ (۵۴): ۱۵ تا ۱۵.
۱۰. قاسم‌زاده مجاوری، ف. ۱۳۷۷، ارزیابی سیستم‌های آبیاری مزارع، آستان قدس رضوی.
۱۱. قربانی ب. ۱۳۹۷. بررسی، مقایسه و شبیه‌سازی رواناب در خاک‌های سبک و سنگین تحت شرایط آبیاری بارانی با ماشین تفنگی، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۸ (۳۲): ۱۴۵ تا ۱۵۵.
۱۲. کاظمی س.، برومندنسب س. و ایزدپناه ز. ۱۳۹۸. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آب‌پاش متحرک (AMBOO, VYR155) در شهرستان اقلید- فارس، نشریه علوم و مهندسی آبیاری، ۴۲ (۱): ۱۸۱ تا ۱۹۶.
۱۳. مولایی ز.، معروف‌پور ع. و ملکی ع. ۱۳۹۵، بررسی و ارزیابی فنی برخی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت دشت کوه‌دشت، مجله پژوهش آب ایران، ۱۰ (۲۱): ۱۲۵.
۱۴. میخک بیرانوند ز.، برومندنسب س.، ایزد پناه ز. و ملکی ع. ۱۳۹۳. بررسی بازده آبیاری سامانه‌های آبیاری بارانی در منطقه خرم آباد، نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۴ (۲): ۱۹۱ تا ۲۰۲.
۱۵. وزیر، ژ؛ انتصاری، محمد؛ حیدری، نادر، ۱۳۸۷، تبخیر- تعرق گیاهان، کمیته ملی آبیاری زهکشی ایران.
۱۶. نادری ن.، قدمی فیروزآبادی ع. و فرومدی م. ۱۳۹۷. ارزیابی فنی سامانه‌های مختلف آبیاری بارانی در شرایط مزرعه، نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۲ (۳): ۴۲۹ تا ۴۳۹.
17. Abshiro, F.K. and Singh, P., 2018. Evaluation of Irrigation Scheduling for Sprinkler Irrigation System under Existing Condition in Beles Sugar Development Project, Ethiopia. Irrigat Drainage Sys Eng, 7(208), p.2.

18. Cao, X., Zeng, W., Wu, M., Guo, X. and Wang, W., 2020. Hybrid analytical framework for regional agricultural water resource utilization and efficiency evaluation. *Agricultural Water Management*, 231, p.106027.
19. Dechmi, F., Playán, E., Caverro, J., Faci, J.M. and Martínez-Cob, A., 2003. Wind effects on solid set sprinkler irrigation depth and yield of maize (*Zea mays*). *Irrigation Science*, 22(2), pp.67-77.
20. Fang, Q., Zhang, X., Shao, L., Chen, S. and Sun, H., 2018. Assessing the performance of different irrigation systems on winter wheat under limited water supply. *Agricultural Water Management*, 196, pp.133-143.
21. Faryabi, A., Maroufpoor, E., Ghamarnia, H. and Yamin Moshrefi, G., 2020. Comparison of classical sprinkler and wheel move irrigation systems in Dehgolan plain, north- west Iran. *Irrigation and Drainage*, 69(3), pp.352-362.
22. Keller, J. and Bliesner, R.D., 1990. Trickle irrigation planning factors. In *Sprinkle and Trickle Irrigation* (pp. 453-477). Springer US.
23. Keller, J. and Bliesner, R.D., 1990. *Sprinkler and Trickle Irrigation* Von Nostrand-Reinhold New York.
24. López-Mata, E., Tarjuelo, J.M., De Juan, J.A., Ballesteros, R. and Domínguez, A., 2010. Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops. *Agricultural Water Management*, 98(1), pp.190-198.
25. Maroufpoor, S., Maroufpoor, E. and Khaledi, M., 2019. Effect of farmers' management on movable sprinkler solid-set systems. *Agricultural Water Management*, 223, p.105691.
26. Merkley, G.P. and Allen, R.G., 2004. *Sprinkle and trickle irrigation lectures*. Biological and Irrigation Engineering Department. Utah State University Logan, Utah, 285p.
27. Merriam, J.L. and Keller, J., 1978. *Farm irrigation system evaluation: A guide for management*. Farm irrigation system evaluation: a guide for management.
28. Nair, S., Maas, S., Wang, C. and Mauget, S., 2013. Optimal field partitioning for centerpivot irrigated cotton in the Texas High Plains. *Agronomy Journal*, 105(1), pp.124-133.
29. Neissi, L., Albaji, M. and Nasab, S.B., 2020. Combination of GIS and AHP for site selection of pressurized irrigation systems in the Izeh plain, Iran. *Agricultural Water Management*, 231, p.106004.
30. Omran, E.S.E. and Negm, A.M. eds., 2020. *Technological and Modern Irrigation Environment in Egypt: Best Management Practices & Evaluation*. Springer Nature.
31. Saccon, P., 2018. Water for agriculture, irrigation management. *Applied soil ecology*, 123, pp.793-796.
32. Stambouli, T., Martínez-Cob, A., Faci, J.M., Howell, T. and Zapata, N., 2013. Sprinkler evaporation losses in alfalfa during solid-set sprinkler irrigation in semiarid areas. *Irrigation Science*, 31(5), pp.1075-1089.
33. Topak, R., Suheri, S., Ciftci, N. and Acar, B., 2005. Performance evaluation of sprinkler irrigation in a semi-arid area. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 8(1), pp.97-103.
34. Yan, H., Hui, X., Li, M. and Xu, Y., 2020. Development in sprinkler irrigation technology in China. *Irrigation and Drainage*.

ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی و انرژی شبکه سراسری برق در سامانه‌های آبیاری تحت فشار در کرج

جواد باغانی^۱ و هرمز اسدی

استادیار پژوهش تحقیقات آبیاری و زهکشی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

baghani37@gmail.com

استادیار پژوهش تحقیقات اقتصاد کشاورزی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

hormoz.asadi3@gmail.com

دریافت: تیر ۱۳۹۹ و پذیرش: مهر ۱۳۹۹

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی امکان استفاده از انرژی خورشید (سیستم‌های فتوولتائیک) در مقایسه با انرژی شبکه سراسری در سه سامانه آبیاری قطره‌ای (تیپ)، بارانی سنتریپوت و بارانی کلاسیک ثابت بود که در سال ۱۳۹۶ در استان البرز انجام گرفت. ابتدا دو محصول زراعی غالب در منطقه (گندم و ذرت علوفه‌ای) مشخص شده و نیاز آبی این محصولات در شرایط منطقه تعیین شد. سپس انرژی مورد نیاز برای تامین توان لازم در هر کدام از سامانه‌های آبیاری با استفاده از برق سراسری کشور و برق خورشیدی مشخص شد. پس از آن تعداد پانل‌های خورشیدی مورد نیاز برای تامین این مقدار انرژی و هزینه اولیه برای احداث سیستم خورشیدی و همچنین هزینه‌های لازم برای استفاده از برق شبکه بررسی شد. سپس با بررسی عملکرد محصولات در منطقه و ارزش اقتصادی آن، سودآوری محصولات تولیدی با استفاده از شاخص‌های اقتصاد مهندسی در منطقه تعیین گردید. به منظور تعیین اختلاف میانگین هزینه و درآمد یا سود سامانه‌ها از لحاظ آماری، از آزمون t استفاده شد. بررسی اقتصادی نشان داد در دوره تحلیل، در سیستم برق شبکه سراسری با سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت، بارانی سنتریپوت و قطره‌ای (تیپ)، ارزش حال خالص به ترتیب ۷۵۳/۷، ۷۷۰/۳ و ۱۲۱۲/۲ میلیون ریال و نسبت فایده به هزینه به ترتیب ۱/۶۴، ۱/۶۷ و ۲/۱ محاسبه شد. در سیستم برق خورشیدی با سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت، بارانی سنتریپوت و قطره‌ای (تیپ)، ارزش حال خالص به ترتیب ۳۲۲/۶، ۷۱۳ و ۹۸۸/۸ میلیون ریال و نسبت فایده به هزینه به ترتیب ۱/۲، ۱/۵۹ و ۱/۷۳ برآورد گردید. بنابراین، بر اساس شاخص‌های سودآوری، کاربرد سامانه آبیاری قطره‌ای (تیپ) با استفاده از سیستم برق شبکه سراسری به عنوان تیمار برتر انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: برق خورشیدی، سیستم‌های فتوولتائیک، آبیاری قطره‌ای (تیپ)، بارانی سنتریپوت، بارانی کلاسیک ثابت

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: کرج، بخش تحقیقات آبیاری و زهکشی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

مقدمه

امروزه نیاز بشر به انرژی، پیوسته در حال افزایش و ذخیره منابع انرژی فسیلی پایان پذیر، در حال کاهش است. استفاده از سوخت های فسیلی با دو چالش اساسی تمام شدنی بودن و آلودگی آن روبه رو است. سرعت سرمایه گذاری ها در زمینه فناوری های نوین و انرژی های تجدید پذیر در بین کشورها بسیار متفاوت است (باغانی، ۱۳۹۶). توسعه فناوری های جدید انرژی خورشیدی یکی از راه حل های کلیدی در راستای تحقق تقاضای روزافزون جهانی برای انرژی به شمار می رود. با این وجود رشد سریع در حوزه فناوری های خورشیدی با موانع فنی مختلفی از جمله کارایی پایین سلول های خورشیدی، سامانه های تعادل کم کارایی^۱ (BOS) و موانع اقتصادی روبرو است (کبیر و همکاران، ۲۰۱۸). با تحلیلی که سامپو و گونزالس (۲۰۱۷) بر روی ۱۴۲ مقاله از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ انجام دادند، نتیجه گرفتند، مطالعات در مورد انرژی فتوولتائیک رو به افزایش است و ممکن است نقش مهمی در رسیدن به تقاضای زیاد انرژی در سراسر جهان داشته باشد؛ اما برای افزایش سهم مشارکت انرژی فتوولتائیک در بازار انرژی های تجدید پذیر، ابتدا نیاز به آگاهی در مورد مزایای آن است و سپس افزایش تحقیق و توسعه فناوری های جدید برای اجرای سیاست های عمومی، تولید انرژی فتوولتائیک را تشویق می کنند.

بر اساس گزارش سازمان خوار و بار جهانی^۲ (FAO)، حدود ۲۰ درصد از اراضی زیر کشت آبی جهان، حدود ۴۰ درصد کل مواد غذایی را تولید می کنند. براساس همین گزارش، سامانه های آبیاری خورشیدی، پتانسیل کاهش ۹۵ درصدی انتشار گازهای گلخانه ای در واحد انرژی مصرف شده برای پمپاژ آب را در مقایسه با گزینه های جایگزین شده توسط شبکه های برق، دیزل یا فسیلی نشان می دهند. ارزیابی بقای اقتصادی سامانه آبیاری خورشیدی نیاز به در نظر گرفتن طیف گسترده ای

از پارامترها از جمله اندازه و پیکربندی سامانه، ظرفیت ذخیره آب و امکان سنجی عمق چاه، دور بودن منطقه و نوع آن دارد و فائو از دولت ها خواسته است که برنامه های تشویقی خود را به نفع "یارانه سبز" نسبت به آنهایی که از سوخت های فسیلی استفاده می کنند، بازبینی کنند.

بر اساس گزارش آژانس بین المللی انرژی^۳ (IEA) نیز تحقیقات تا سال ۲۰۴۰ و کاملاً تا ۲۰۵۰ استفاده از انرژی خورشیدی می تواند، سوخت های فسیلی نظیر نفت، گاز، زغال سنگ و حتی منابع تجدید پذیر نظیر باد یا انرژی هسته ای را تحت الشعاع قرار داده و به عنوان منبع اصلی تولید برق در جهان تبدیل شود. انرژی خورشیدی تا سال ۲۰۴۰، ۱۴ درصد و تا سال ۲۰۵۰ می تواند ۱۶ درصد تامین نیروی الکتریسیته را در بین انرژی های تجدید پذیر جهان به خود اختصاص دهد، در حالی که نیروگاه های تولید برق حرارتی از انرژی خورشیدی ۱۱ درصد دیگر به این میزان اضافه خواهند کرد که چین با ۲۲۰۰ کیلووات بر ساعت اول است. با استفاده از پنل ها و نیروگاه های تولید انرژی خورشیدی در صورت محقق شدن آمارهای مذکور، سالانه حدود ۶۰ میلیارد تن از تولید دی اکسید کربن و گازهای گلخانه ای کاسته خواهد شد (بای، ۱۳۹۴).

در کشور ترکیه، بر اساس برنامه استراتژیک انرژی در سال های ۲۰۱۴-۲۰۱۰، یکی از اولویت های دولت در این برنامه افزایش سهم منابع انرژی تجدید پذیر به ۳۰ درصد از کل تولید انرژی سال ۲۰۲۳ بوده است (فرقانی، ۱۳۹۲). با توجه به افزایش استفاده از انرژی و همچنین مشکلات ناشی از سوخت های فسیلی و محدود بودن این منابع، انرژی پاک خورشیدی به عنوان یک نعمت پایان ناپذیر می تواند جایگزین مناسبی برای سوخت های فسیلی باشد (کوهزاد و همکاران، ۱۳۹۲). کلیک (۲۰۰۶) در مطالعه ای، جایگاه انرژی خورشیدی در آنکارا (ترکیه) را به لحاظ فنی، اقتصادی و طول عمر، یک سامانه فتوولتائیک متصل به شبکه برق را تحلیل کرد و مهمترین

^۱ -balance-of-systems

^۲ - Food and Agriculture Organization of the United Nations

^۳ -International Energy Agency

نتیجه‌ای که گرفت، این بود که هزینه برق تولیدی توسط سامانه فتوولتائیک خانگی متصل به شبکه (طراحی شده به صورت تئوریک)، سه تا چهار برابر گران‌تر از برق شبکه است. چربی و گاستلی (۲۰۱۱)، برای ارزیابی تناسب اراضی مزارع بزرگ در کشور عمان از شاخص چند معیاره مکانی در تلفیق با روش فازی استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که ۰/۵ درصد مجموع اراضی کشور عمان، سطح تناسب بالایی برای نصب تجهیزات فتوولتائیک دارند. دجوردجویک (۲۰۱۱)، مطالعه‌ای را به منظور تجزیه و تحلیل و ارزیابی پتانسیل وضعیت و چشم‌انداز انرژی خورشیدی در کشور جمهوری صربستان انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که این کشور از پتانسیل خوبی برای بهره‌گیری از سامانه‌های انرژی خورشیدی مستقل از شبکه برخوردار است. خمسه و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که سامانه آبیاری قطره‌ای با پمپ خورشیدی با استفاده از قطره‌چکان‌های OLPC برای گسترش باغات در مناطق خشک مناسب است. عملکرد سیستم در مزارع پژوهشی نشان داد که پمپ فتوولتائیک (آرایه خورشیدی^۱ Wp ۹۰۰، موتور پمپ مونو بلاک ۸۰۰ وات DC) می‌تواند ۷۰ تا ۱۰۰ کیلوپاسکال فشار و دبی ۳/۴ تا ۳/۸ لیتر در ساعت از هر قطره‌چکان در طول ساعات مختلف روز ایجاد کند. یکنواختی توزیع در زمین یک هکتاری، ۹۲ تا ۹۶ درصد بود.

با توجه به وضعیت موجود صنعت برق کشور و رویکرد شتابان سایر کشورها در بکارگیری انرژی‌های تجدید پذیر به عنوان منبع تولید انرژی الکتریسیته می‌توان اظهار نمود در آینده نزدیک ضمن این که برق بادی نمی‌تواند به تنهایی ۱۰ درصد نیاز برق مصرفی کشور را تامین نماید، تولید انرژی خورشیدی در کشور و ظرفیت‌سازی پیرامون فناوری‌های انرژی خورشیدی صنایع مرتبط با آن امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود (فرقانی، ۱۳۹۲). فرجی سبکبار و همکاران (۱۳۹۲) با

انجام مطالعه‌ای اعلام کردند که برخی محققین به این نتیجه رسیدند که ایران دارای پتانسیل فوق‌العاده بالایی برای بهره‌گیری از فناوری فتوولتائیک است، به گونه‌ای که ۳۱ درصد از خشکی‌های ایران در سه کلاس عالی، بسیار خوب و خوب قرار گرفته‌اند که سه استان یزد، کرمان و خراسان جنوبی به ترتیب دارای بهترین پتانسیل برای احداث نیروگاه های فتوولتائیک هستند. همچنین، فاصله از خطوط انتقال برق و دما را به عنوان مهمترین عوامل موثر در پتانسیل‌سنجی اراضی ایران برای احداث مزارع فتوولتائیک معرفی نمودند.

در تحلیلی که توسط خیاطیان یزدی و همکاران (۱۳۹۹) از روند گسترش نیروگاه‌های خورشیدی در ایران انجام شده است، کل دوران توسعه این فناوری از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۴ به سه دوره تقسیم شده است. در دوره سوم (۹۸-۱۳۹۴)، جهت‌گیری نهادی کشور را به سمت بازار انرژی‌های تجدیدپذیر و خورشیدی دانسته‌اند که تمرکز اصلی وزارت نیرو و سازمان‌های تولیدی و خدماتی بر تولید پنل‌ها و نصب و راه‌اندازی نیروگاه‌های فتوولتائیک در مقیاس کوچک تا بزرگ بوده است. در این سال‌ها نیروگاه‌های ۷ مگاواتی امیرکبیر و خلیج فارس در همدان، ۱۰ مگاواتی جرفویه اصفهان، ۲۰ مگاواتی مکران کرمان به ترتیب با سرمایه‌گذاری آلمانی‌ها، یونانی‌ها و سوئیسی‌ها با خرید تضمینی برق تولیدی به بهره‌برداری رسیده‌اند.

مطالعه‌ای در آمریکا با هدف ارزیابی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای تهیه انرژی (بخشی از آن) یک سامانه آبیاری عقربه‌ای^۲ برای محصولات زمستانه و تابستانه (ذرت، گندم زمستانه، پنبه و سورگوم) انجام شد. در این پژوهش، ابتدا انرژی مورد نیاز ماهانه و اشعه فتوولتائیک مورد نیاز آن انرژی برای محصولات مورد هدف به ترتیب برای منبع باد و خورشید تعیین شد و سپس هزینه و درآمد باد، خورشید و ترکیب آن و راه‌های

^۲- Center-pivot irrigation

^۱ - solar array

دیگر استفاده از تجهیزات انرژی تجدیدپذیر نیز مشخص گردید (ویک و آلامز، ۲۰۱۰).

همیدات و همکاران (۲۰۰۳) معتقدند در ترکیب آبیاری و انرژی خورشیدی، یک سامانه فتوولتائیک کوچک می‌تواند برای تامین انرژی پمپ آبی در آبیاری مقیاس کوچک استفاده شود. در آزمایش لوئی (۲۰۰۵) در یک سامانه آبیاری خورشیدی اتوماتیک در یک شیب کشت شده در جزیره لانتائو^۱، نتایج مثبت این سامانه را نشان داد. نوشتار حاضر برگرفته از مطالعه‌ای است که به منظور، بررسی امکان استفاده از انرژی خورشیدی (سامانه‌های فتوولتائیک) در مقایسه با انرژی شبکه سراسری در سه سامانه آبیاری قطره‌ای (تیپ)، بارانی عقربه‌ای و بارانی کلاسیک ثابت در کرج انجام شده است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی امکان استفاده از سامانه انرژی خورشیدی (فتوولتائیک) پژوهشی در سامانه‌های مختلف آبیاری تحت فشار (بارانی عقربه‌ای، بارانی کلاسیک ثابت و قطره‌ای (تیپ) در سال ۱۳۹۶ در شهرستان کرج به اجرا درآمد. مزرعه تحقیقاتی هدف در کرج دارای موقعیت طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۹۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۷۹ دقیقه شمالی، ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا (اندازه‌گیری شده) و بر اساس اطلاعات سایت اداره کل هواشناسی استان البرز (www.alborz-met.ir)، میانگین بارش سالیانه شهر کرج ۲۴۷/۳ میلی‌متر و میانگین سالانه جمع ساعات آفتابی ۲۸۹۹ ساعت بوده است.

در سامانه عقربه‌ای، مساحت کل زیر پوشش دستگاه ۲۵ هکتار و الگوی کشت زیر دستگاه شامل ۱۲/۵ هکتار ذرت و ۱۲/۵ هکتار گندم بود. در سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت نیز در مساحت ۲۵ هکتار بود. در سامانه آبیاری قطره‌ای (تیپ) نیز در مساحت ۱۲/۵ هکتار روی گیاه ذرت علوفه‌ای و ۱۲/۵ هکتار روی گیاه گندم

در نظر گرفته شد. در هر سه سامانه آبیاری برای محاسبه آب مصرفی محصولات از نرم‌افزار Net wat استفاده شد (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۷). مقدار تبخیر و تعرق واقعی با توجه به سطح سایه‌انداز از رابطه زیر محاسبه شد (بی‌نام، ۱۳۸۷؛ باغانی، ۱۳۹۶).

$$Td = [ETc \times 0.1(Ps^{0.5}) - Re] \quad (1)$$

که در آن:

Td: مقدار نیاز آبی یا تعرق روزانه در آبیاری میکرو که فقط بخشی از زمین آبیاری می‌شود (دوره‌ای که نیاز آبی به حداکثر خود می‌رسد) (سهرابی و پایدار، ۱۳۸۴)

ETc: تبخیر و تعرق گیاه

Ps: میزان سطح سایه‌انداز

Re: بارش مؤثر

نیاز ناخالص آب مورد نیاز گیاهان با اعمال راندمان پتانسیل معادل ۹۰، ۷۰ و ۹۰ درصد به ترتیب برای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، بارانی کلاسیک ثابت ریزر متحرک و عقربه‌ای و در نظر گرفتن ضریب آبخشویی محاسبه شد (بی‌نام، ۱۳۸۷؛ باغانی، ۱۳۹۶).

نیاز به آبخشویی نیز براساس نوع محصول، دوره کاشت، سامانه آبیاری، شوری آب آبیاری و شوری قابل تحمل گیاه تعیین می‌شود که برای سامانه آبیاری قطره‌ای و بارانی به ترتیب از روابط ۲ و ۳ و برای تعیین ناخالص آب آبیاری از رابطه ۴ استفاده شده است (رابطه ۴)، (آیز و وستکات، ۱۹۹۴)

$$LR = [EC_{iw} / (2EC_{emax})] \quad (2)$$

$$LR = [EC_{iw} / (5EC_{emin} - EC_{iw})] \quad (3)$$

$$d_g = \frac{Td}{(1 - LR) Ea / 100} \quad (4)$$

که در آن:

LR: ضریب آبخشویی برای دوره کاشت

EC_{iw}: شوری آب آبیاری

EC_{emin}: شوری آستانه تحمل گیاه

EC_{emax}: حداکثر شوری قابل تحمل گیاه

d_g: مقدار نیاز ناخالص گیاه

Td : مقدار نیاز آبی یا تعرق روزانه در آبیاری میکرو که فقط بخشی از زمین آبیاری می شود (دوره ای که نیاز آبی به حداکثر خود می رسد) (سهرابی و پایدار، ۱۳۸۴).

در بررسی اقتصادی پروژه، کلیه هزینه های سرمایه گذاری های ثابت و همچنین هزینه های جاری در دو سامانه استفاده از برق شبکه با فاصله یک کیلومتر از شبکه سراسری و همچنین برق تامین شده از انرژی خورشیدی بر اساس قیمت های سال مطالعه در بازار برآورد شده و نهایتاً تحلیل اقتصادی صورت گرفت. هزینه های جاری شامل هزینه های ثابت و متغیر تولیدی بود. منظور از هزینه های متغیر تولیدی، هزینه هایی است که با تغییر مقدار تولید، تغییر می کند و مستقیماً به تولید بستگی دارد. منظور از هزینه های ثابت تولیدی، هزینه هایی است که با تغییر مقدار تولید، تغییر نمی کند و مستقیماً به تولید بستگی ندارد. در این بررسی، هزینه های سرمایه ای شامل هزینه ایجاد سامانه آبیاری، تأسیسات الکتریکی، هزینه های جاری از جمله هزینه های ثابت تولیدی شامل هزینه استهلاک اقلام سرمایه ای و هزینه نگهداری و سرویس سامانه آبیاری و سامانه برق می باشند. هزینه های متغیر تولیدی شامل هزینه های برق مصرفی، نوار آبیاری قطره ای، هزینه کاشت تا برداشت محصولات است. برای برآورد درآمدها، تعیین میزان تولید محصول اصلی و فرعی، تعیین میزان فروش و تعیین قیمت محصول اصلی و فرعی لازم است. در این بخش پس از محاسبه هزینه و درآمدهای ایجاد شده در تیمارهای مختلف، از فرمول های اقتصاد مهندسی از جمله شاخص سودآوری ارزش کنونی خالص^۱ (NPV) و نسبت فایده به هزینه^۲ (B/C) استفاده شد تا اطمینان حاصل شود که انجام کدام گزینه اقتصادی است. در بررسی حاضر برای هر یک از تیمارها به عنوان فعالیتی مستقل، دوره تحلیل سرمایه گذاری پنج ساله در نظر گرفته شد و سپس با نرخ تنزیل مناسب (بهره سپرده بلند مدت ۱۸ درصد) به ارزش کنونی تبدیل گردید. شاخص نسبت فایده به هزینه، همان نسبت ارزش حال

منافع به ارزش حال هزینه ها در هر یک از گزینه ها است. به این مفهوم که یک ریال سرمایه گذاری چند ریال منافع به همراه دارد. این نسبت را با واحد (بزرگتر، کوچکتر و یا مساوی واحد) می سنجند (سلطانی، ۱۳۸۶).

با توجه به مدل ریاضی ارزش حال خالص، اگر ارزش حال خالص کاربرد سامانه ای مثبت باشد اجرای آن سامانه اقتصادی خواهد بود (رابطه ۵).

$$NPV_t = PV(B)_t - PV(TVC)_t \quad (5)$$

که در آن:

NPV_t: ارزش حال خالص تیمار در دوره مطالعه t

PV(B)_t: ارزش حال منافع سرمایه گذاری در تیمار در

دوره مطالعه t

PV(TVC)_t: ارزش حال هزینه های سرمایه گذاری در

تیمار در دوره مطالعه t

با توجه به مدل ریاضی تحلیل فایده به هزینه (B/C)، اگر این نسبت بزرگتر از واحد باشد نشان دهنده آن است که ارزش حال ناخالص برنامه بیشتر از ارزش حال هزینه های برنامه می باشد؛ بنابراین، اجرای برنامه اقتصادی خواهد بود (رابطه ۶).

$$B/C = PV(B)_t / PV(TVC)_t \quad (6)$$

پس از طراحی سامانه های آبیاری بارنی عقبه ای و کلاسیک ثابت و سامانه آبیاری قطره ای (تیپ) برای اراضی به مساحت ۲۵ هکتار، لوازم و تجهیزات مورد نیاز برای هر کدام از آنها برآورد شد. بدیهی است پمپ های مورد نیاز هر کدام از سامانه ها بر اساس فشار و دبی لازم برای سامانه، تعیین شد که مشخصات فنی الکتروپمپ های انتخابی در جدول ۱ آورده شده است. لازم به توضیح است که طراحی هر کدام از سامانه های آبیاری بارنی و قطره ای روند خاص و طولانی دارد که به اختصار مراحل انجام آن عبارت است از: برآورد تبخیر و تعرق گیاه، باران موثر در فصل رشد، محاسبه مقدار ناخالص آب مورد نیاز با در نظر گرفتن نسبت آبشویی و راندمان سامانه آبیاری، تعیین هیدرومدول طرح، قطعه بندی و برنامه ریزی آبیاری، تعیین حداکثر ظرفیت سامانه، محاسبات هیدرولیک جریان

1 - Net Present Value

2 - Benefit Cost Ratio

در کل شبکه، تعیین قطر لوله‌ها در نقاط مختلف زمین، محاسبات افت فشار در کل شبکه و اجزاء ایستگاه کنترل مرکزی، تعیین فشار و دبی و نهایتاً قدرت و انرژی لازم برای پمپاژ، انتخاب اجزاء سامانه کنترل مرکزی و پمپ مناسب بر اساس موجودی بازار، برآورد لوازم مورد نیاز، برآورد هزینه‌های لوازم، تجهیزات و اجرای طرح.

جدول ۱- مشخصات الکتروپمپ‌های انتخابی در سامانه‌های مختلف آبیاری

مشخصات الکتروپمپ	بارانی عقربه‌ای	بارانی کلاسیک ثابت	قطره‌ای (تیپ)
مدل پمپ	۴۰۰-۱۰۰	۴۰۰-۱۰۰	۳۱۵-۱۰۰
محدوده دبی (مترمکعب در ساعت)	۱۶۰-۱۲۰	۱۶۰-۱۲۰	۱۲۰-۹۰
محدوده فشار (متر)	۲۵-۳۹/۵	۵۰-۵۴/۵	۲۷/۷-۳۰
قطر پروانه (میلی‌متر)	۳۴۰	۴۰۰	۳۰۰
قدرت مصرفی (کیلووات)	۲۲	۴۵	۱۸/۵
قدرت مصرفی (اسب بخار)	۳۰	۶۱	۲۵
جریان مصرفی (آمپر)	۴۴	۸۵/۵	۳۶/۵
راندمان (درصد)	۶۸	۷۳	۷۴

در این تحقیق، به منظور تعیین اختلاف معنی داری بین میانگین هزینه و درآمد یا سود سامانه‌ها از لحاظ آماری از آزمون t استفاده شده است (رابطه ۷). لازم به توضیح است که برآورد هزینه کلیه لوازم و تجهیزات سامانه فتوولتائیک بر اساس قیمت روز گرفته شده از شرکت‌های وارد کننده، تولید کننده و گاهی قیمت‌های ارزی بوده است.

$$\text{Diff} = \text{mean (هزینه)} - \text{mean (درآمد)}$$

$$H_0 : \text{diff} = 0$$

فرضیه ۱: بین میانگین هزینه و درآمد اختلاف معنی‌داری وجود دارد

فرضیه ۲: بین میانگین هزینه و درآمد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد

$$H_1 : \text{diff} \geq 0$$

(۷)

نتایج و بحث

آب آبیاری زراعت‌های گندم- ذرت

برای برنامه‌ریزی آبیاری در هر سه سامانه آبیاری، حداکثر زمان کار ایستگاه پمپاژ در زمان حداکثر مصرف نیاز آبی گیاه ذرت، معادل ۲۰ ساعت در نظر گرفته شد. نکته قابل توجه این است که برق شبکه سراسری در چهار ساعت از شبانه روز به عنوان زمان پرباری شناخته شده و بهای انرژی مصرفی گرانتر محاسبه می‌شود که تعدادی از کشاورزان (بنا به توصیه وزارت نیرو) در این ساعات، کل سامانه پمپاژ آب از چاه و سامانه تحت فشار را خاموش می‌کنند. به این علت در هر شبانه روز برای کل سامانه‌ها چهار ساعت خاموشی در نظر گرفته شد. زمانی که قرار باشد سامانه چهار ساعت در هر شبانه روز در زمان حداکثر نیاز آبی گیاه خاموش باشد، به اجبار ظرفیت سامانه نسبت به زمانی که در تمام شبانه روز سامانه در حال کار است، افزایش می‌یابد. طبق جدول ۲، در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای (تیپ)، بارانی عقربه‌ای و بارانی کلاسیک ثابت آب مصرفی گندم به ترتیب ۴۰۹۰، ۴۳۶۶ و ۵۳۰۱ و آب مصرفی ذرت به ترتیب ۸۲۹۷، ۹۷۸۰ و ۱۱۴۵۸ مترمکعب در هکتار مشخص شد.

جدول ۲- آب مورد نیاز آبیاری هر هکتار زراعت‌های گندم و ذرت در سامانه‌های مختلف آبیاری در دوره کاشت

ردیف	سامانه آبیاری	آب مصرفی گندم		آب مصرفی ذرت	
		صرفه جویی		صرفه جویی	
		میزان مصرف (مترمکعب در هکتار)	نسبت به سامانه کلاسیک (مترمکعب در هکتار) (درصد)	میزان مصرف (مترمکعب در هکتار)	نسبت به سامانه کلاسیک* (مترمکعب در هکتار) (درصد)
۱	قطره‌ای (تیپ)	۴۰۹۰	۱۲۱۲	۸۲۹۷	۳۱۶۱
۲	بارانی عقربه‌ای	۴۳۶۶	۹۳۹	۹۷۸۰	۱۶۷۷
۳	بارانی کلاسیک ثابت	۵۳۰۱	۰	۱۱۴۵۸	۰

* چون میزان مصرف آب سامانه آبیاری کلاسیک بیشتر از سامانه‌های دیگر بود، این عامل مبنای سنجش سایر سامانه‌ها با سامانه کلاسیک قرار گرفت

دبی و فشار در سامانه‌های آبیاری

الکتریکی لازم برای موتور محرک چرخ‌ها و برج‌های عقربه‌ای قدرت مورد نیاز هر سامانه آبیاری بارانی عقربه‌ای، بارانی کلاسیک ثابت و قطره‌ای (تیپ) به ترتیب معادل ۲۲، ۴۵ و ۱۸/۵ کیلووات انرژی الکتریکی محاسبه شد.

با در نظر گرفتن فشار لازم برای آبیاش‌های اسپریر سامانه عقربه‌ای و ضربه‌ای کلاسیک ثابت و هم چنین قطره‌چکان‌ها و با احتساب افت فشار در لوله‌ها در طول مزرعه، جدول ۳ تنظیم شد. با توجه به نتایج محاسبات مذکور و همچنین حدود چهار کیلووات انرژی

جدول ۳- دبی و فشار لازم در سامانه‌های مختلف آبیاری

سامانه آبیاری	سامانه برق شبکه		سامانه برق خورشیدی	
	فشار در خروجی پمپ (متر)	دبی پمپ (لیتر در ثانیه)	فشار در خروجی پمپ (متر)	دبی پمپ (لیتر در ثانیه)
بارانی عقربه‌ای	۲۹/۵	۱۹/۸	۲۹/۵	۳۴/۴
بارانی کلاسیک ثابت	۵۰	۲۲/۷	۵۰	۳۹/۴
قطره‌ای (تیپ)	۲۵	۱۷	۲۵	۲۹/۶

هزینه سامانه‌ها

ارزی بوده است. هزینه‌های برق مصرفی نیز از شرکت برق منطقه‌ای گرفته شده است. بر اساس جدول ۵، در سطح احتمال پنج درصد، اختلاف میانگین بین هزینه و درآمد سامانه‌ها که همان سود می‌باشد با توجه به آماره محاسباتی t از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد؛ بنابراین فرضیه H_0 (بین میانگین هزینه و درآمد اختلاف معنی‌داری وجود دارد) و فرضیه H_0 (بین میانگین هزینه و درآمد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد) پذیرفته می‌شود. (رابطه ۷).

هزینه گزینه‌ها در سامانه برق شبکه سراسری با سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت، بارانی عقربه‌ای و قطره‌ای (تیپ)، به ترتیب ۳۰۰، ۲۶۳/۸ و ۲۹۶/۵ میلیون ریال و هزینه گزینه‌ها در سامانه برق خورشیدی با سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت، بارانی عقربه‌ای و قطره‌ای (تیپ) به ترتیب ۶۳۹/۷، ۴۲۷/۴ و ۴۷۲/۱ میلیون ریال محاسبه شد (جدول ۴). همان‌طوری که در قبل نیز اشاره شد، هزینه کلیه لوازم و تجهیزات سامانه فتوولتائیک (هزینه سرمایه‌ای) بر اساس قیمت روز گرفته شده از شرکت‌های وارد کننده، تولید کننده و گاهای قیمت‌های

جدول ۴- هزینه‌های سرمایه‌ای و جاری سامانه‌ها در الگوی کشت گندم- ذرت در هکتار در سال مطالعه (واحد: هزارریال) (باغانی، ۱۳۹۶)

سامانه آبیاری	هزینه‌های سرمایه‌ای			هزینه‌های ثابت تولیدی			هزینه‌های جاری		
	سامانه آبیاری	تاسیسات الکتریکی	جمع	استهلاک سرمایه	هزینه نگهداری و سرویس سامانه‌ها	جمع	برق مصرفی	نوار آبیاری قطره‌ای	هزینه‌های متغیر تولیدی
سامانه برق شبکه با سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت	۱۲۲۵۲۱	۳۸۰۸۰	۱۶۰۶۰۱	۵۳۵۳/۴	۵۰۰۰	۵۵۳۵۳/۴	۹۶۴/۷	۰	۸۳۱۰۶/۳
سامانه برق شبکه با سامانه آبیاری بارانی عقربه‌ای	۱۱۰۱۳۴	۳۵۳۵۶	۱۴۵۳۹۰	۴۸۴۶/۳	۳۰۰۰	۳۴۸۴۶/۳	۴۷۱/۶	۰	۸۳۱۰۶/۳
سامانه برق شبکه با سامانه آبیاری قطره‌ای (تیپ)	۱۲۹۲۹۲	۳۵۲۵۶	۱۶۴۵۴۸/۵	۵۴۸۵	۳۰۰۰	۳۵۴۸۵	۳۹۶/۶	۱۳۰۰۰	۸۳۱۰۶/۳
سامانه برق خورشیدی با سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت	۱۶۸۱۰۸	۳۲۲۱۹۲	۴۹۰۲۹۹/۶	۱۶۳۴۳/۳	۵۰۰۰	۶۶۳۴۳/۳	۰	۰	۸۳۱۰۶/۳
سامانه برق خورشیدی با سامانه آبیاری بارانی عقربه‌ای	۱۴۳۵۳۰	۱۶۰۶۴۰	۳۰۴۱۷۰	۱۰۱۳۹	۳۰۰۰	۴۰۱۳۹	۰	۰	۸۳۱۰۶/۳
سامانه برق خورشیدی با سامانه آبیاری قطره‌ای (تیپ)	۱۹۷۳۵۶	۱۳۷۵۰۴	۳۳۴۸۶۰/۳	۱۱۱۶۲	۳۰۰۰	۴۱۱۶۲	۰	۱۳۰۰۰	۸۳۱۰۶/۳

جدول ۵- بررسی معنی‌داری هزینه و درآمد (سود) سامانه‌ها از لحاظ آماری

شاخص‌ها	میانگین	خطای استاندارد (S.E.D)
درآمد	۲۸۸/۳۷	۱۲/۰۶
هزینه	۲۷۰/۱۲	۲۹/۳
اختلاف	۱۸/۲۵	۳۱/۶۸
$t = 0.5835$		$H_0 : \text{diff} = 0$
$H_1 : \text{diff} > 0$		$H_1 : \text{diff} < 0$,
$\text{Pr}(T > t) = 0.2918$		$\text{Pr}(T < t) = 0.7082$,

گردش نقدی و سودآوری

در بررسی اقتصادی برای بازدهی سامانه ها در الگوی کشت گندم- ذرت در دوره تحلیل، ابتدا جدول گردش نقدی سامانه‌ها که شامل ارزش کنونی درآمد و هزینه و ارزش کنونی خالص سامانه‌ها می‌باشد، تنظیم گردید و سپس شاخص سودآوری نسبت فایده به هزینه محاسبه شد. برای محاسبه ارزش ناخالص محصولات از قیمت‌های تضمینی وزارت جهاد کشاورزی و قیمت فروش محصولات روستایی مرکز آمار در سال‌های مطالعه استفاده شد به طوری که در سال مطالعه قیمت هر کیلو گندم و ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۱۳۰۰۰ و ۱۷۰۰ ریال در نظر گرفته شد. در منطقه هدف، عملکرد گندم آبی (رقم پیش‌تاز) در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت، بارانی عقربه‌ای و قطره‌ای (تیپ) به ترتیب ۷/۵، ۷/۵ و ۹ تن و برای ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۹۰،

۹۰ و ۱۱۰ تن در هکتار در نظر گرفته شد. در جدول نقدی ۶ که مربوط به گزینه‌های مختلف سامانه برق شبکه می‌باشد، در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت، بارانی عقربه‌ای و قطره‌ای (تیپ) با استفاده از سامانه برق شبکه، ارزش حال درآمدها به ترتیب ۱/۹۳، ۱/۹۳ و ۲/۳۳ میلیارد ریال و ارزش حال هزینه‌ها به ترتیب ۱/۱۷، ۱/۱۶ و ۱/۱۲ میلیارد ریال محاسبه شد. در جدول نقدی ۷ که مربوط به گزینه‌های مختلف سامانه برق خورشیدی می‌باشد، در سامانه برق خورشیدی با سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت، بارانی عقربه‌ای و قطره‌ای (تیپ)، ارزش حال درآمدها به ترتیب ۱/۹۳، ۱/۹۳ و ۲/۳۳ میلیارد ریال و ارزش حال هزینه‌ها به ترتیب ۱/۶، ۱/۲۱ و ۱/۳۵ میلیارد ریال محاسبه شد. طبق جدول ۸، در سامانه برق شبکه با سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت، بارانی عقربه‌ای و قطره‌ای (تیپ)، ارزش حال خالص به ترتیب

بیشتر از سایر سامانه‌ها بوده است. نسبت فایده به هزینه این سامانه نشان می‌دهد، به ازای هر یک ریال سرمایه‌گذاری در این سامانه ۲/۱ ریال نصیب تولیدکننده خواهد شد؛ بنابراین این سامانه به عنوان سامانه در اولویت اول توصیه می‌شود و گزینه انتخابی در اولویت دوم، سامانه برق خورشیدی با سامانه آبیاری قطره‌ای (تیپ) است.

۷۵۳/۷، ۷۷۰/۳ و ۱۲۱۲/۲ میلیارد ریال و نسبت فایده به هزینه به ترتیب ۱/۶۷، ۲/۱ و ۱/۶۴ محاسبه شد. در سامانه برق خورشیدی با سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت، بارانی عقبه‌ای و قطره‌ای (تیپ)، ارزش حال خالص به ترتیب ۳۲۲/۶، ۷۱۳ و ۹۸۸/۸ میلیارد ریال و نسبت فایده به هزینه به ترتیب ۱/۲، ۱/۵۹ و ۱/۷۳ محاسبه شد. با توجه به نتایج، ارزش کنونی خالص و نسبت فایده به هزینه سامانه برق شبکه با سامانه آبیاری قطره‌ای (تیپ)

جدول ۶- جدول گردش نقدی سامانه‌های مختلف آبیاری با انرژی برق شبکه در الگوی کشت گندم-ذرت در هکتار (واحد: هزارریال)

سال	ارزش کنونی هزینه سرمایه‌ای	ارزش کنونی جاری هزینه جاری	ارزش کنونی درآمد	ارزش کنونی خالص	سامانه آبیاری
اول	۸۰۳۰۰	۱۳۹۴۲۴/۳	۲۶۹۲۵۰	۴۹۵۲۵/۳	بارانی کلاسیک ثابت
دوم	۹۴۷۵۴/۵	۱۶۴۵۲۱	۳۱۷۷۱۵	۵۸۴۳۹/۹	
سوم	-	۱۹۴۱۳۴/۴	۳۷۴۹۰۳/۷	۱۸۰۷۶۹/۳	
چهارم	-	۲۲۹۰۷۸/۶	۴۴۲۳۸۶/۴	۲۱۳۳۰۷/۸	
پنجم	-	۲۷۰۳۱۲/۷	۵۲۲۰۱۵/۹	۲۵۱۷۰۳/۲	
جمع	۱۷۵۰۵۴/۵	۹۹۷۴۷۱	۱۹۲۶۲۷۱	+۷۵۳۷۴۵/۵	
اول	۷۲۶۹۵	۱۳۹۴۲۴/۳	۲۶۹۲۵۰	۵۷۱۳۰/۷	بارانی عقبه‌ای
دوم	۸۵۷۸۰	۱۶۴۵۲۱	۳۱۷۷۱۵	۶۷۴۱۴	
سوم	-	۱۹۴۱۳۴/۴	۳۷۴۹۰۳/۷	۱۸۰۷۶۹/۳	
چهارم	-	۲۲۹۰۷۸/۶	۴۴۲۳۸۶/۴	۲۱۳۳۰۷/۸	
پنجم	-	۲۷۰۳۱۲/۷	۵۲۲۰۱۵/۹	۲۵۱۷۰۳/۲	
جمع	۱۵۸۴۷۵	۹۹۷۴۷۱	۱۹۲۶۲۷۱	+۷۷۰۳۲۵	
اول	۸۲۲۷۴/۲	۱۳۱۹۸۷/۸	۳۲۶۵۰۰	۱۱۲۲۳۸	قطره‌ای (تیپ)
دوم	۹۷۰۸۳/۶	۱۵۵۷۴۵/۶	۳۸۵۲۷۰	۱۳۳۴۴۰/۸	
سوم	-	۱۸۳۷۷۹/۸	۴۵۴۶۱۸/۶	۲۷۰۸۳۸/۸	
چهارم	-	۲۱۶۸۶۰/۲	۵۳۶۴۵۰	۳۱۹۵۸۹/۸	
پنجم	-	۲۵۵۸۹۵	۶۳۳۰۱۱	۳۷۷۱۱۵/۹	
جمع	۱۷۹۳۵۷/۸	۹۴۴۲۶۸/۴	۲۳۳۵۸۴۹/۶	+۱۲۱۲۲۲۳/۴	

جدول ۷- جدول گردش نقدی سامانه‌های مختلف آبیاری با انرژی خورشیدی در الگوی کشت گندم-ذرت در هکتار، (واحد: هزارریال)

سامانه‌های آبیاری	سال	ارزش کنونی هزینه سرمایه‌ای	ارزش کنونی هزینه جاری	ارزش کنونی درآمد	ارزش کنونی خالص
بارانی کلاسیک ثابت	اول	۲۴۵۱۴۹/۸	۱۴۹۴۴۹/۶	۲۶۹۲۵۰	-۱۲۵۳۴۹/۴
	دوم	۲۸۹۲۷۶/۷	۱۷۶۳۵۰/۵	۳۱۷۷۱۵	-۱۴۷۹۱۲/۳
	سوم	-	۲۰۸۰۹۳/۶	۳۷۴۹۰۳/۷	۱۶۶۸۱۰
	چهارم	-	۲۴۵۵۵۰/۵	۴۴۲۳۸۶/۴	۱۹۶۸۳۵/۹
	پنجم	-	۲۸۹۷۴۹/۵	۵۲۲۰۱۵/۹	۲۳۲۲۶۶/۴
جمع		۵۳۴۴۲۶/۵	۱۰۶۹۱۹۳/۷	۱۹۲۶۲۷۱	+۳۲۲۶۵۰/۸
بارانی عقربه‌ای	اول	۱۵۲۰۸۵	۱۲۳۲۴۵/۳	۲۶۹۲۵۰	-۶۰۸۰/۳
	دوم	۱۷۹۴۶۰/۴	۱۴۵۴۳۹/۴	۳۱۷۷۱۵	-۷۱۷۴/۸
	سوم	-	۱۷۱۶۰۶/۷	۳۷۴۹۰۳/۷	۲۰۳۲۹۷
	چهارم	-	۲۰۲۴۹۵/۹	۴۴۲۳۸۶/۴	۲۳۹۸۹۰/۴
	پنجم	-	۲۳۸۹۴۵/۲	۵۲۲۰۱۵/۹	۲۸۳۰۷۰/۷
جمع		۳۳۱۵۴۵/۴	۸۸۱۷۲۲/۵	۱۹۲۶۲۷۱	+۷۱۳۰۰۳
قطره‌ای (تیپ)	اول	۱۶۷۴۳۰/۱	۱۳۷۲۶۸/۳	۳۲۶۵۰۰	۲۱۸۰۱/۶
	دوم	۱۹۷۵۶۷/۶	۱۶۱۹۷۶/۶	۳۸۵۲۷۰	۲۵۷۲۵/۹
	سوم	-	۱۹۱۱۳۲/۳	۴۵۴۶۱۸/۶	۲۶۳۴۸۶/۲
	چهارم	-	۲۲۵۵۳۶/۲	۵۳۶۴۵۰	۳۱۰۹۱۳/۸
	پنجم	-	۲۶۶۱۳۲/۷	۶۳۳۰۱۱	۳۶۶۸۷۸/۲
جمع		۳۶۴۹۹۷/۷	۹۸۲۰۴۶/۱	۲۳۳۵۸۴۹/۶	۹۸۸۸۰۵/۸

جدول ۸- سودآوری سامانه‌های آبیاری با انرژی‌های مختلف در الگوی کشت گندم-ذرت

نسبت فایده به هزینه	ارزش کنونی خالص (هزارریال)	سامانه‌ها
۱/۶۴	+۷۵۳۷۴۵/۵	سامانه برق شبکه با سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت
۱/۶۷	+۷۷۰۳۲۵	سامانه برق شبکه با سامانه آبیاری بارانی عقربه‌ای
۲/۱	+۱۲۱۲۲۳۳/۴	سامانه برق شبکه با سامانه آبیاری قطره‌ای (تیپ)
۱/۲	+۳۲۲۶۵۰/۸	سامانه برق خورشیدی با سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت
۱/۵۹	+۷۱۳۰۰۳	سامانه برق خورشیدی با سامانه آبیاری بارانی عقربه‌ای
۱/۷۳	۹۸۸۸۰۵/۸	سامانه برق خورشیدی با سامانه آبیاری قطره‌ای (تیپ)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

طبق نتایج بدست آمده، در سامانه برق شبکه با سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت، بارانی عقربه‌ای و قطره‌ای (تیپ)، ارزش حال خالص به‌ترتیب ۷۵۳/۷، ۷۷۰/۳ و ۱۲۱۲/۲ میلیارد ریال و نسبت فایده به هزینه به‌ترتیب ۱/۶۴، ۱/۶۷ و ۲/۱ محاسبه شد. در سامانه برق خورشیدی با سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت، بارانی عقربه‌ای و قطره‌ای (تیپ)، ارزش حال خالص به‌ترتیب ۳۲۲/۶، ۷۱۳ و ۹۸۸/۸ میلیارد ریال و نسبت فایده به هزینه به‌ترتیب ۱/۲، ۱/۵۹ و ۱/۷۳ برآورد گردید. با توجه به نتایج، ارزش کنونی خالص و نسبت فایده به هزینه سامانه برق شبکه سراسری با سامانه آبیاری قطره‌ای (تیپ) بیشتر از سایر سامانه‌ها بوده است. نسبت فایده به هزینه این سامانه نشان می‌دهد، به ازای هر یک ریال سرمایه‌گذاری در این سامانه ۲/۱ ریال نصیب تولیدکننده خواهد شد؛ اما نکته قابل تأمل دیگر اینکه برق خورشیدی تولید شده توسط بخش خصوصی یا کشاورزان در مقیاس حدود ۳۰ کیلووات ساعت، بر اساس قیمت‌های سال انجام پژوهش، با قیمت هر کیلووات ۷۵۰۰ ریال از تولیدکننده توسط وزارت نیرو خریداری می‌شود (سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق، ساتبا). در حالی که بهای هرکیلووات برق مصرفی شبکه در شرایط پرباری از ۴۰۰ ریال تجاوز نمی‌کند. تفاوت بهای برق فروشی به شبکه و برق خریداری شده از شبکه با یارانه دولتی توسط

کشاورز به اندازه‌ای است که حتی در صورتی که فاصله مزرعه از شبکه ۱۰۰۰ متر هم باشد، رغبتی به اینکار وجود ندارد، مگر در شرایطی که اصلاً امکان استفاده از برق شبکه وجود نداشته باشد. به عبارتی انرژی تولیدی توسط سلول‌های فتوولتائیک با هزینه آزاد به شبکه برق سراسری فروخته شود و انرژی مورد نیاز الکتروپمپ با استفاده از یارانه‌های دولتی از شرکت برق خریداری شود؛ بنابراین این سامانه به عنوان سامانه در اولویت اول توصیه می‌شود. برخی مزایای تکنولوژی فتوولتائیک نسبت به روش فعلی تولید برق شامل مواردی همچون، مهمترین منبع قابل تجدید و منبعی بی‌خطر و سالم‌ترین نوع برای تولید انرژی، دارای ضریب ایمنی بالا و عمر زیاد، عدم نیاز به سوخت و در نتیجه عدم ایجاد آلودگی ناشی از سوخت-های فسیلی و هسته‌ای بویژه عدم ایجاد آلودگی زیست محیطی و صوتی، عدم ایجاد تشعشع و ضایعات ذکر می‌شود. البته از معایب مهم این منبع انرژی، قیمت بالای سلول‌هایی فتوولتائیک و عدم آشنایی همگان با این تکنولوژی می‌باشد. در همین راستا، با این وجود همیدات و همکاران (۲۰۰۳) معتقدند در ترکیب آبیاری و انرژی خورشیدی، یک سامانه فتوولتائیک کوچک می‌تواند برای تامین انرژی پمپ آبی در آبیاری مقیاس کوچک استفاده شود. گرچه نتایج مطالعه کوهزاد و همکاران، (۱۳۹۲) مانند نتایج مطالعه حاضر انرژی خورشیدی را نعمتی پایان‌ناپذیر دانستند ولی کلیک (۲۰۰۶) نتیجه گرفت که

هزینه برق تولیدی توسط سامانه فتوولتائیک خانگی متصل به شبکه (طراحی شده به صورت تئوریک)، سه تا چهار برابر گران‌تر از برق شبکه در ترکیه است. لذا در شرایط فعلی کشور و با توجه به هزینه‌های لوازم و تجهیزات برق خورشیدی و یارانه‌های دولتی، استفاده از برق شبکه سراسری برای تامین انرژی مورد نیاز سامانه‌های تحت فشار مقرون به صرفه‌تر است.

فهرست منابع

۱. باغانی، ج. ۱۳۹۶. امکان‌سنجی استفاده از انرژی‌های نو در سامانه آبیاری تحت فشار. گزارش نهایی مصوب موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۹۴ صفحه.
۲. بای، ن. ۱۳۹۴. چشم‌انداز انرژی جهان در افق سال‌های ۲۰۳۵ و ۲۰۴۰ در آینده‌نگاری آژانس بین‌المللی انرژی (IEA). ماهنامه عصر کیمیاگری. شماره ۴۲.
۳. بی‌نام. ۱۳۸۸. معیار کارایی و معیاری برای روش‌های آبیاری تحت فشار، قوانین طراحی برای روش‌های آبیاری محلی. شرکت خدمات مهندسی آب و خاک، جلد ۴ چاپ اول، صفحه ۱۷۳.
۴. خمسه، م.، عالی، پ. و رجایی، م. ۱۳۹۲. طراحی و آزمایش پمپ خورشیدی فتوولتائیک برای سیستم آبیاری قطره‌ای. مجموعه مقالات دومین همایش ملی انرژی باد و خورشید، سوم اسفند، تهران.
۵. خیاطیان یزدی، م.ص.، فرتاش، ک. و قربانی، ا. ۱۳۹۹. تحلیلی تطور تاریخی توسعه فناوری سامانه‌های خورشیدی فتوولتائیک در ایران: رویکردی نهادی. مدیریت بهبود، دوره ۱۴، شماره ۱ (پیاپی ۴۷)، صفحه ۳۰-۱.
۶. سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق، ساتبا، <http://www.satba.gov.ir/fa/aboutorganization>
۷. سلطانی، غ.ر. ۱۳۸۷. اقتصاد مهندسی. انتشارات دانشگاه شیراز، چاپ یازدهم، ۳۲۸ صفحه.
۸. سهرابی، ت. و پایدار، ز. ۱۳۸۴. اصول طراحی سامانه‌های آبیاری. موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
۹. علیزاده، ا. و کمالی، غ. ۱۳۸۷. نیاز آبی گیاهان در ایران. انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ دوم، مشهد، صفحه ۲۲۸.
۱۰. فرجی سبکبار، ح.، پاک طینت مهدی آبادی، ه. رحیمی کیان، ا و عشورنژاد، غ. ۱۳۹۲. تناسب سنجی اراضی به منظور احداث مزارع فتوولتائیک به کمک تلفیق سامانه‌های جمع ساده وزنی و استنتاج فازی در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۴۵(۴): ۴۵-۶۰.
۱۱. فرقانی، ع. ۱۳۹۲. درآمدی بر تدوین نقشه راه نیروگاه خورشیدی در ایران. تهران، پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاد دانشگاهی، گروه پژوهشی مهندسی صنایع.
۱۲. قدمی فیروزآبادی، ع.، چایچی، م. و سیدان، س. م. ۱۳۹۶. اثر سامانه‌های آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب سه ژنوتیپ گندم و ارزیابی اقتصادی آنها در همدان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۱(۲): ۱۴۹-۱۳۹.
۱۳. کوهزاد، ع.، ایمانی، و.، بابکی، ت. و مسعودی، ح. ۱۳۹۲. استفاده از انرژی خورشیدی جهت انتقال آب شرب. شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، چهارم اسفندماه، تهران.
۱۴. نادری، ن.، قدمی فیروزآبادی، ع. و فرومدی، م.ص. ۱۳۹۷. ارزیابی سامانه‌های مختلف آبیاری بارانی در شرایط مزرعه. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۲(۳): ۴۳۹-۴۲۹.
15. Ayers, R.S. and D.W. Westcot. 1994. Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper No. 29, FAO

16. Celik, A.N. 2006. Present status of photovoltaic energy in Turkey and life cycle techno-economic analysis of a grid-connected photovoltaic-house. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10: 370-387.
17. Charabi, Y. and A. Gastli. 2011. PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi- criteria evaluation, *Renewable Energy*. 36(9): 2554-2561.
18. Djurdjevic, D.Z. 2011. Perspectives and assessment solar PV power engineering in the Republic of Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5): 2431-2446.
19. Hamidat, A., Benyoucef, B. and Hartani, T. 2003. Small-scale irrigation with photovoltaic water pumping system in Sahara regions. *Renew. Energy*. 28, 1081-1096.
20. <http://www.alborz-met.ir/>
21. <http://www.fao.org/news/story/en/item/1114618/icode/>
22. Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A.A. and Kim, K.h. 2018. Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 82, Part 1, February 2018, Pages 894-900
23. Lui, B.L.S. 2005. Trial Use of Solar Power Automatic Irrigation System. Geo Report No. 194. Geotechnical Engineering Office. Civil Engineering and Development Department. Hong Kong.
24. Moral, F.J., López Rodríguez, F., Cuadros, F. and Ruiz Celma, A. 2009. Computer-assisted sizing of photovoltaic systems for drip irrigation of olive orchards in semi-arid climate. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(3): 503-512.
25. Sampaio, P. and González, M. 2017. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 74, July 2017, Pages 590-601
26. Vick, B.D. and Almas, L.K. 2010. Developing wind and/or solar powered crop irrigation systems for the Great Plains. *Applied Engineering in Agriculture*, 27(2): 235-245.

تعیین ضریب گیاهی و تبخیر- تعرق آویشن دنايي در شرایط استاندارد در کرج

ابراهیم شریفی عاشورآبادی^۱، حسن روحی پور، مریم جبلی، مریم مکی زاده تفتی و بهروز نادری

دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

esharifi@rifr-ac.ir

دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

parviz.rouhi@yahoo.com.au

کارشناس ارشد پژوهش، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

Rihan2000ir@yahoo.com

استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

marytafti@yahoo.com

کارشناس پژوهش، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

nadery.behroz.rifr@gmail.com

دریافت: آبان ۱۳۹۸ و پذیرش: مهر ۱۳۹۹

چکیده

به منظور تعیین تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی آویشن دنايي (*Celak.Thymus daenensis*) آزمایشی در سال ۱۳۹۵ با استفاده از روش‌های لایسیمی (روش مستقیم) و محاسباتی انجام شد. در روش مستقیم، از لایسیمترهای زهکش‌دار با سازه‌های زیرزمینی واقع در ایستگاه تحقیقات البرز کرج استفاده شد. هر کدام از لایسیمترها، به قطر ۰/۹ متر و ارتفاع ۱/۲۸ متر بود که در آنها یک نشاء از آویشن دنايي کشت شد. در این مجموعه، دو لایسیمتر اصلی انتخاب و آبیاری آنها در حد ظرفیت زراعی تنظیم شد. در دو طرف هر کدام از آنها، لایسیمترهای مشابه‌ای به عنوان حاشیه قرار داشت. در طول دوره آزمایش، آب ورودی و خروجی لایسیمترها و ویژگی‌های آویشن شامل وزن خشک اندام هوایی، میزان تبخیر-تعرق و کارایی مصرف آب در آویشن اندازه گیری شد. به منظور برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن، از روش‌های محاسباتی بلانی کریدل فائو و روش استاندارد پنمن مانیتث فائو استفاده شد. ضریب گیاهی آویشن در طول دوره رشد، از نسبت تبخیر-تعرق آویشن به تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن (بر پایه روش پنمن مانیتث فائو) بدست آمد. طبق نتایج بدست آمده، مقدار تبخیر-تعرق تجمعی گیاه مرجع به روش‌های بلانی کریدل فائو و پنمن مانیتث فائو به ترتیب ۷۱۵ و ۶۳۷ میلی‌متر بود. در لایسیمترها نیز مقدار تبخیر-تعرق آویشن دنايي تا ابتدای گلدهی برابر ۱۰۰ میلی‌متر، تا ابتدای تولید بذر معادل ۴۵۵ میلی‌متر و تا انتهای مرحله بذردهی برابر ۶۲۲ میلی‌متر تعیین شد. ضریب گیاهی آویشن در مراحل چهارگانه ابتدایی (*Initial*)، توسعه (*Development*)، میانی (*Mid-season*) و انتهایی (*Late-season*) رشد به ترتیب ۰/۳۳، ۰/۶۵، ۱/۲۰ و ۰/۹۹ و کارایی مصرف آب ۰/۴ گرم بر لیتر برآورد شد. با تعیین ضریب گیاهی و نیازآبی آویشن دنايي، ضمن کمک به طراحی سیستم‌های هوشمند و آبیاری مکانیزه، امکان برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری در طول دوره رشد گیاه نیز فراهم خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: گیاهان دارویی، نیازآبی، گیاه مرجع، بلینی کریدل، پنمن مانیتث، درجه روز رشد

^۱- آدرس نویسنده مسئول: تهران، بخش تحقیقات گیاهان دارویی موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

مقدمه

نام آویشن به طور مترادف برای گروهی از گیاهان خانواده نعناع (*Lamiaceae*) به کار رفته است. این گیاهان متعلق به سه جنس مختلف از این خانواده شامل *Ziziphora*, *Zataria* و *Thymus* هستند. گیاهان متعلق به جنس *Thymus* شناخته شده ترین گیاهان دارویی در ایران و جهان را تشکیل می دهند. در ایران، گونه های مختلف این جنس دارای الگوی پراکندگی خاصی بوده و از شمال غرب، شمال شرق به طرف مرکز و همچنین غرب تا مناطق کوهستانی جنوب ایران مشاهده می شوند (جم زاد، ۱۳۹۱). تعدادی از گونه های جنس *Thymus* در صنایع غذایی، بهداشتی و دارویی مورد استفاده قرار می گیرند. سرشاخه اندام هوایی آویشن حاوی اسانس یا روغن اسانسی (*Essential oil*) بوده که شامل ترکیب های فنلی، غیر فنلی و سایر مواد است. ترکیب های فنلی *Thymol* و *Carvacrol* موجود در جنس *Thymus* سبب ایجاد ویژگی های دارویی و فارماکولوژیک متعددی می شود (جم زاد، ۱۳۸۸). در ایران ۱۸ گونه بومی از جنس *Thymus* وجود دارد. یکی از گونه های بومی ارزشمند، گیاهی چند ساله به نام آویشن دنیایی با نام علمی *Celak. Thymus daenensis* است (جم زاد، ۱۳۸۸ و شریفی عاشورآبادی و همکاران ۱۳۹۶)

یکی از عوامل مهم و مؤثر در کشت گیاهان دارویی و از جمله آویشن دنیایی، تعیین نیازآبی گیاه و ضریب گیاهی آن است. در تعیین تبخیر-تعرق گیاه، روش های مستقیم (لایسمتری) و غیرمستقیم (محاسباتی) استفاده می شوند. در روش غیرمستقیم، برآورد دقیق تبخیر-تعرق گیاه مرجع مانند یونجه و یا چمن از اهمیت زیادی برخوردار است (هاشمی نیا، ۱۳۷۸ و علیزاده، ۱۳۸۴). در تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع، معادله های متعددی وجود دارد که تعدادی از آنها اصلاح و بازنگری شده اند. از مهمترین آنها می توان به رابطه پنمن مانیتیت اصلاح شده توسط سازمان خوار و بار جهانی (FAO) اشاره کرد. فائو روش پنمن مانیتیت را به عنوان روش برتر

محاسبه نیازآبی گیاهان معرفی نموده و به تفصیل به ملاحظات برآورد این روش پرداخته است (آلن و همکاران، ۱۹۹۴). چنانچه منطقه بررسی شده دارای آمار هواشناسی مورد نیاز باشد، روش پنمن مانیتیت دارای اولویت است (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶a). در سه منطقه در شمال شرقی کارولینا، میزان تبخیر-تعرق چمن با استفاده از روش پنمن و لایسمتر با روش های پنمن مانیتیت، ماکنیک، هارگریوز سامانی و تورنت وایت بررسی و مقایسه شدند. طبق نتایج حاصل، همبستگی مناسبی بین روش های مبتنی بر دما و تابش وجود داشت. در این ارتباط، روش پنمن مانیتیت بهترین روش در تخمین روزانه و فصلی تبخیر-تعرق مرجع گزارش شد (آماتیا و همکاران، ۱۹۹۵).

در ایران نیز در ارتباط با تبخیر-تعرق گیاه مرجع تحقیقات قابل توجهی انجام شده است. در منطقه اصفهان، تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از روش های بلانی کریدل اصلاح شده، پنمن اصلاح شده، پنمن مانیتیت و تشت تبخیر با ضریب ارائه شده توسط کانکا (به کمک آمار هواشناسی) مقایسه شدند. نتایج نشان داد که در منطقه اصفهان، روش تشت تبخیر با ضریب کانکا در اولویت اول و روش های بلانی کریدل، پنمن اصلاح شده و پنمن مانیتیت در اولویت های بعدی قرار گرفتند (پناهی، ۱۳۷۸). بختیاری و همکاران (۱۳۸۰) نیز تبخیر-تعرق روزانه گیاه مرجع را که از طریق لایسمتر وزنی بدست آمده بود با روش پنمن مانیتیت مقایسه نموده و ضریب اصلاحی بین ۱/۳۵ تا ۲/۵ را برای محاسبه توسط این روش بدست آوردند.

در ارتباط با تبخیر-تعرق و تعیین نیازآبی گیاهان زراعی (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶a) و باغی کشور (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶b) مطالعات قابل توجهی در ایران وجود دارد اما این مطالعات برای گیاهان مرتعی و دارویی کمتر انجام شده است. در منطقه کرج، شریفی عاشورآبادی و همکاران (۱۳۹۱) نیازآبی بومادران را در طول زمان گلدهی ۱۴۹/۷۲ میلی متر و همچنین شریفی عاشورآبادی

عملکرد اندام هوایی را کاهش و طول ریشه را افزایش داده است. به لحاظ اهمیت مصرف بهینه آب در مدیریت آبیاری و امکان توسعه کشت آویشن دناپی در مناطقی با محدودیت منابع آب، میزان تبخیر-تعرق این گیاه دارویی ارزشمند در منطقه کرج تعیین شد.

مواد و روش‌ها

به منظور تعیین میزان تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی آویشن دناپی (*Thymus daenensis Celak.*) آزمایشی در سال ۱۳۹۵ با استفاده از روش‌های لایسیمتری (روش مستقیم) و محاسباتی (با استفاده از مدل‌های رایج) اجراء شد. مکان اجراء در ایستگاه تحقیقات البرز کرج، وابسته به موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور بود. این ایستگاه در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی، ارتفاع از سطح دریا معادل ۱۳۲۰ متر، طبقه آب‌وهوایی (بر مبنای تقسیم‌بندی آمبرژه) نیمه‌خشک، متوسط بارندگی ۳۰ ساله معادل ۲۳۰ میلی‌متر، بافت خاک (مزرعه و لایسیمتر) لومی و از طبقه *Loamy-Skeletal, mixed, medic Typic Haploxerepts* قرار دارد. در جدول ۱ به تعدادی از ویژگی‌های خاک منطقه اشاره شده است.

و همکاران (۱۳۹۳) نیازآبی گل‌محمدی را از اول فروردین ماه تا اتمام گلدهی برابر ۱۱۱ میلی‌متر و تا انتهای دوره رشد معادل ۱۱۴۷ میلی‌متر تعیین نمودند. طبق تحقیقات انجام شده توسط راد و همکاران (۱۳۹۰) در یزد، هر اصله درخت بالغ سیاه تاغ (*Haloxylon aphyllum*)، برای رشد مطلوب به طور میانگین سالیانه به ۲/۴ مترمکعب آب نیاز دارد. تامین آب قابل دسترس گیاه، از عوامل موثر بر افزایش عملکرد محصولات کشاورزی است (کائول و همکاران، ۲۰۰۵). این درحالی است که عدم دسترسی گیاه به مقدار مناسب از منابع آبی موجب کاهش عملکرد می‌شود (سادراس و کالوینو، ۲۰۰۱). خورشیدی و همکاران (۱۳۹۴)، با استفاده از شاخص‌های مورد بررسی مشخص نمودند که آویشن دناپی تحمل نسبی بالایی به تنش کم‌آبی نشان داده و گزینه مناسبی برای کشت در شرایط کم‌آب و دیم است. البته تنش کم‌آبی بر تولید ماده موثره آویشن دناپی نیز موثر است. در گزارش دیگری، خورشیدی و همکاران (۱۳۹۷) تاثیر تنش کم‌آبی را بر افزایش درصد اسانس اکوتیپ‌هایی از آویشن دناپی در تیمار قطع آبیاری در مرحله رویشی مشاهده نمودند. مرادی دهنوی و همکاران (۱۳۹۴)، واکنش آویشن دناپی را در آبیاری بر اساس ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بررسی نموده و گزارش دادند که تنش خشکی، ارتفاع و

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مزرعه و لایسیمتر در ایستگاه البرز کرج

۲/۰۱	هدایت الکتریکی ($ds m^{-1}$)
۷/۴۸	اسیدیته (pH)
۰/۶۷	کربن آلی (درصد)
۰/۰۶	نیتروژن کل (درصد)
۹/۰۳	فسفر ava (ppm)
۲۳۰	پتاسیم ava (ppm)
۳۹	شن (درصد)
۳۴/۷	سیلت (درصد)
۲۶/۳	رس (درصد)
لوم	بافت خاک
۱/۴۸	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعب)

اجراء شد. مجموعه فوق در جنوب ایستگاه تحقیقات البرز (با وسعت ۷۰ هکتار) و در مزرعه چهار هکتاری گیاهان دارویی و به دور از تاسیسات ساختمانی قرار داشت.

آزمایش‌های لایسیمتری در مجموعه لایسیمترهای زهکش‌دار (شامل ۱۲ لایسیمتر با چیدمان مربعی) که به صورت سازه‌های با تونل زیرزمینی بودند

به منظور برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن، از مدل‌های بلانی-کریدل فائو (دورنبوس و پریوت، ۱۹۷۵) و همچنین پنمن-مانتیت فائو (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) استفاده شد. بدین منظور، تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن بر مبنای داده‌های روزانه سال ۲۰۱۶ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کرج در مجاورت منطقه اجرای طرح و با استفاده از روش‌های بلانی-کریدل فائو و پنمن-مانتیت فائو برآورد شد.

روش بلانی-کریدل فائو

هر کدام از مولفه‌های روش بلانی-کریدل فائو بر پایه ویژگی‌های اکولوژیک و اقلیمی منطقه و با استفاده از روابط ۲ تا ۵ محاسبه شدند.

$$ET_o = a + bf \quad (2)$$

$$f = P(0.46T + 8.13) \quad (3)$$

$$a = 0.0043RH_{\min} - \frac{n}{N} - 1.41 \quad (4)$$

$$b = a_0 + a_1RH_{\min} + a_2\frac{n}{N} + a_3U_d + a_4RH_{\min}\frac{n}{N} + a_5RH_{\min}U_d \quad (5)$$

که در آن:

ET_o : تبخیر-تعرق گیاه مرجع ($mm \ day^{-1}$), f : ضریب متاثر از (T) و (P) : میانگین دمای هوا در ارتفاع دو متری ($^{\circ}C$), P : درصد ماهانه ساعات روشنایی براساس عرض جغرافیایی منطقه, α : عدد ثابت رابطه, b : ضریب رابطه بلینی-کریدل, α_0 تا α_5 : ضرایب رابطه ET_o : ضریب

حداقل رطوبت نسبی (%), $\frac{n}{N}$: نسبت تعداد ساعات آفتابی به حداکثر ساعات روشنایی روز و U_d : سرعت باد در ارتفاع d یا دو متری از سطح زمین ($m \ s^{-1}$) است.

روش پنمن-مانتیت فائو

هر کدام از مولفه‌های رابطه پنمن-مانتیت فائو، با استفاده از روابط یاد شده در نشریه شماره ۵۶ فائو محاسبه شدند (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). داده‌های خام هواشناسی روزانه شامل حداقل و حداکثر دما، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، تعداد ساعات آفتابی، سرعت باد

در حدود ۱۰ متری اطراف لایسیمترها، گونه‌های دارویی و مرتعی کشت شده بود. هر کدام از لایسیمترها، به قطر ۰/۹ متر، ارتفاع ۱/۲۸ متر و مساحت ۰/۶۴ مترمربع بود. نشاءهای آویشن دناپی که در اوایل زمستان سال قبل و از کشت بذر در گلدان تهیه شده بود، در ابتدای فروردین ماه به صورت تک بوته (بنابر خصوصیات هر بوته که در طبیعت قطر آن به بیش از نیم متر می‌رسد) به هر کدام از لایسیمترها منتقل شد. در این مجموعه، دو لایسیمتر اصلی انتخاب و آبیاری آنها در حد ظرفیت زراعی تنظیم شد. در دو طرف هر کدام از آنها، لایسیمترهای مشابه‌ای با فاصله ۷۵ سانتی متری به عنوان لایسیمترهای حاشیه قرار داشت. در هر لایسیمتر، میزان آب ورودی با روش حجمی دقیق (با استفاده از *Water meter* به طور متوسط بین دو تا سه روز و تقریباً معادل ۳۰ لیتر در هر نوبت) اعمال شد. ۲۴ ساعت پس از هر آبیاری، زه آب خارج شده از هر لایسیمتر در مخازن جداگانه جمع‌آوری و حجم آن اندازه‌گیری شد. بر اساس آزمایش‌های قبلی نگارنده که در همین شرایط انجام شده بود، میزان رطوبت خاک ۲۴ ساعت پس از هر آبیاری در حد ظرفیت زراعی تعیین شده بود (شریفی عاشورآبادی و همکاران، ۱۳۹۱). در هر لایسیمتر، وضعیت بیلان آب در خاک با استفاده از رابطه ۱ بیان می‌شود (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷ و علی‌حوری، ۱۳۹۶).

$$ET_c = I + P - RO - DP \pm \Delta S \quad (1)$$

که در آن:

ET_c : تبخیر-تعرق گیاه در لایسیمتر $I, (mm)$: آب آبیاری $P, (mm)$: بارندگی $RO, (mm)$: رواناب سطحی که در لایسیمتر برابر با صفر در نظر گرفته شد $DP, (mm)$: نفوذ عمقی یا زه آب جمع‌آوری شده از هر لایسیمتر (mm) و ΔS : تغییرات رطوبت خاک (mm) می‌باشد.

ویژگی‌های مورد بررسی شامل اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی، میزان تبخیر-تعرق گیاه براساس مدل معادله بیلان آبی و در نهایت کارایی مصرف آب بر حسب گرم بر لیتر بود.

تیرماه ۱۳۹۵) بود. در طول این مدت، ضریب گیاهی آویشن دناپی در دهه‌های رشد و همچنین در مراحل چهارگانه رشد شامل مراحل ابتدایی (*Initial*)، توسعه (*Development*)، میانی (*Mid-season*) و انتهایی (*Late-season*) بر پایه تقویم زمانی و همچنین تقویم حرارتی بر حسب درجه‌روز رشد (*GDD*) تعیین شد. رابطه ۸ بیان‌کننده تجمع حرارت در مراحل مختلف رشد گیاه است (شریفی عاشورآبادی و همکاران، ۱۳۹۶).

$$ET_o = \sum \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - T_b \quad (8)$$

که در آن:

T_{max} : حداکثر درجه حرارت ($^{\circ}C$)، T_{min} : حداقل درجه حرارت ($^{\circ}C$) و T_b : صفر فیزیولوژیک آویشن دناپی ($^{\circ}C$) است. طبق منابع موجود، صفر فیزیولوژیک آویشن دناپی چهار درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد (شریفی عاشورآبادی و همکاران، ۱۳۹۶).

کارایی مصرف آب که شامل مقدار وزن خشک سرشاخه اندام‌هوایی (بر حسب گرم) به‌ازای هر واحد آب مصرف شده توسط آویشن (بر حسب لیتر) بود، از رابطه ۹ بدست آمد (جین و همکاران، ۲۰۱۸).

$$WUE = \frac{P}{W} \quad (9)$$

که در آن:

WUE : کارایی مصرف آب، P : وزن خشک سرشاخه اندام‌هوایی (gr) و W : آب مصرف شده توسط آویشن (L) می‌باشد.

نتایج

جدول ۲ میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن را با استفاده از روش‌های محاسباتی در دهه‌های رشد و همچنین به صورت تجمعی نشان می‌دهد. میزان تبخیر-تعرق تجمعی گیاه مرجع (منطبق بر طول دوره رشد گیاه آویشن دناپی تا دهه سوم تیرماه) به‌روش بلانی‌کریدل فائو معادل ۷۱۵/۳۵ میلی‌متر و به‌روش پنمن‌مانتیت فائو، ۶۳۷/۷۱ میلی‌متر برآورد شد.

در ارتفاع دو متری و تعدادی از ویژگی‌های اکولوژیک منطقه بود که بر پایه آنها گرمای نهان تبخیر، فشار بخار اشباع، فشار بخار واقعی، کمبود فشار بخار، ضریب سایکومتري و همچنین تعدادی دیگری از عوامل محاسبه و در نهایت رابطه نهایی پنمن‌مانتیت فائو محاسبه شد (رابطه ۶).

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (Rn - G) + \gamma \times \frac{900}{T + 273} \times U_2 \times (es - ea)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (6)$$

که در آن:

ET_o : تبخیر-تعرق مرجع ($mm \ day^{-1}$)، Rn : تابش خالص در سطح گیاه ($MJ \ m^{-2} \ day^{-1}$)، G : شار گرما به‌داخل خاک ($MJ \ m^{-2} \ day^{-1}$) که براساس منابع موجود صفر در نظر گرفته شد (علیزاده، ۱۳۸۴ و فرش و همکاران، ۱۳۷۶a)؛ T : میانگین دمای هوا در ارتفاع دو متری ($^{\circ}C$)، U_2 : سرعت باد در ارتفاع دو متری ($m \ s^{-1}$)، es : فشار بخار اشباع (kPa)، ea : فشار بخار واقعی (kPa)، $es - ea$: کمبود فشار بخار اشباع (kPa)، Δ : شیب تغییرات فشار بخار با درجه حرارت ($kPa \ ^{\circ}C^{-1}$) و γ : ضریب سایکومتري ($kPa \ ^{\circ}C^{-1}$) است.

از آنجائیکه این تحقیق براساس روش استاندارد نشریه ۵۶ فائو پایه‌ریزی شده است، ضریب گیاهی آویشن در طول دوره رشد از نسبت تبخیر-تعرق آویشن در لایسیمترها به تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن (بر پایه روش پنمن‌مانتیت فائو) بدست آمد (رابطه ۷).

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (7)$$

که در آن:

K_c : ضریب گیاهی آویشن دناپی، ET_c : تبخیر-تعرق آویشن دناپی در شرایط استاندارد (mm) و ET_o : تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن (mm) است.

در این آزمایش، بازه زمانی بررسی شده، از شروع فعالیت رشدی آویشن دناپی (تقریباً از اول فروردین‌ماه ۱۳۹۵) تا مرحله رسیدن بذر (در حدود ۲۷

جدول ۳، ضریب گیاهی را در دهه‌های رشد و نمودار ۱ ضریب گیاهی را در مراحل چهارگانه رشد آویشن دناپی نشان می‌دهد. ضریب گیاهی آویشن در مراحل چهارگانه رشد شامل مراحل ابتدایی (*Initial*)، توسعه (*Development*)، میانی (*Mid-season*) و انتهایی (*Late-season*) به ترتیب ۰/۳۳، ۰/۶۵، ۱/۲۰ و ۰/۹۹ برآورد شد. طبق نتایج جدول ۴، میزان عملکرد تک‌بوته آویشن دناپی ۲۵۱/۲۵ گرم و کارایی مصرف آب ۰/۴ گرم بر لیتر تعیین شد.

جدول ۳ میزان تبخیر-تعرق آویشن دناپی را با استفاده از روش لایسیمتری در دهه‌های رشد و همچنین به صورت تجمعی نشان می‌دهد. میزان تبخیر-تعرق تجمعی آویشن دناپی در ظرفیت زراعی تا ابتدای مرحله گلدهی (دهه دوم اردیبهشت) با دریافت حرارت تجمعی ۴۵۲ درجه‌روزرشد معادل ۱۰۰/۵ میلی‌متر تا ابتدای مرحله بذردهی (دهه اول تیرماه) با دریافت حرارت تجمعی ۱۳۶۶ درجه‌روزرشد برابر ۴۵۵/۶۳ میلی‌متر و تا انتهای مرحله بذردهی (دهه سوم تیرماه) با دریافت حرارت تجمعی ۱۸۱۲ درجه‌روزرشد معادل ۶۲۲/۱۳ میلی‌متر بود.

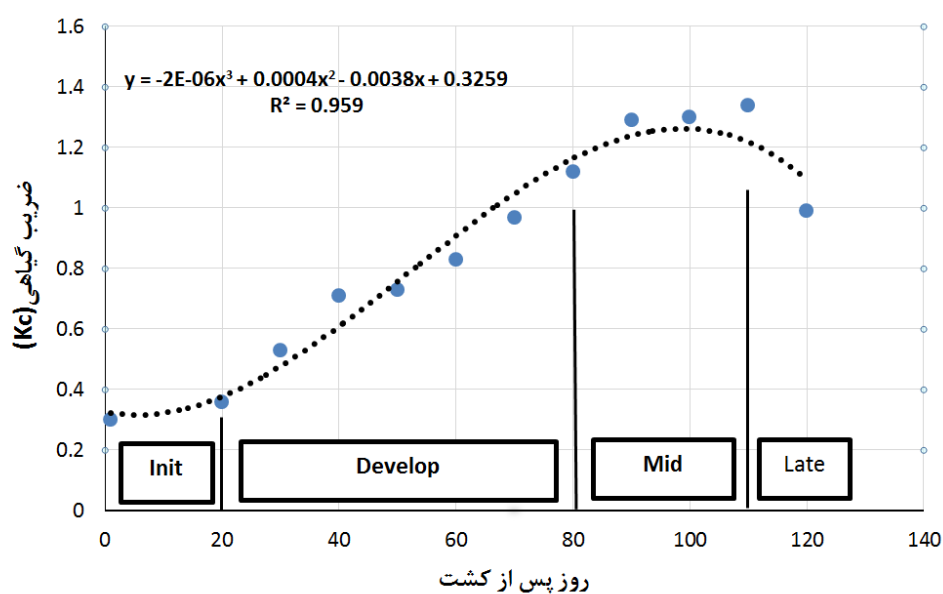
جدول ۲- تبخیر- تعرق گیاه مرجع بر اساس روش‌های بلانی کریدل و روش استاندارد پنمن مانیتیت فائو در سال ۱۳۹۵

ردیف	ماه	دهه	روش بلانی کریدل (میلی‌متر)		روش پنمن مانیتیت فائو (میلی‌متر)	
			دهه رشد	تجمعی	دهه رشد	تجمعی
۱	فروردین	۱	۲۰/۸۲	۲۰/۸۲	۲۴/۷۸	۲۴/۷۸
۲	فروردین	۲	۲۴/۰۷	۴۴/۸۹	۲۶/۶۳	۵۱/۴۱
۳	فروردین	۳	۳۰/۲۲	۷۵/۱۱	۳۶/۱۵	۸۷/۵۶
۴	اردیبهشت	۱	۳۳/۶۹	۱۰۸/۸	۴۰/۳۴	۱۲۷/۹
۵	اردیبهشت	۲	۵۸/۸۲	۱۶۷/۶۲	۴۹/۴۸	۱۷۷/۳۸
۶	اردیبهشت	۳	۴۷/۴۸	۲۱۵/۱	۴۸/۰۲	۲۲۵/۴
۷	خرداد	۱	۶۹/۱۹	۲۸۴/۲۹	۶۲/۰۹	۲۸۷/۴۹
۸	خرداد	۲	۸۳/۱۵	۳۶۷/۴۴	۶۵/۳۱	۳۵۲/۸
۹	خرداد	۳	۸۹/۸۶	۴۵۷/۳	۶۹/۳۹	۴۲۲/۱۹
۱۰	تیر ماه	۱	۸۸/۷۴	۵۴۶/۰۴	۷۱/۴۷	۴۹۳/۶۶
۱۲	تیر ماه	۲	۸۷/۶۷	۶۳۳/۷۱	۶۹/۲	۵۶۲/۸۶
۱۳	تیر ماه	۳	۸۱/۶۴	۷۱۵/۳۵	۷۴/۸۵	۶۳۷/۷۱

جدول ۳- تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی آویشن دنايي بر پایه تقويم زمانی و شاخص حرارتی در لایسیمترهای ایستگاه تحقیقات البرز
کرج در سال ۱۳۹۵

ردیف	ماه	دهه رشد	مرحله رشد	تقویم حرارتی (درجه روزرشد*)	ET_c (میلی متر)	K_c
		در هر دهه	تجمعی			
۱	فروردین	۱	ابتدایی	۴۶	۷/۵	۰/۳۰
۲	فروردین	۲	ابتدایی	۱۰۶/۰۵	۱۷	۰/۳۶
۳	فروردین	۳	توسعه	۱۹۹/۸۵	۱۹	۰/۵۳
۴	اردیبهشت	۱	توسعه	۲۹۴/۸	۲۸/۵	۰/۷۱
۵	اردیبهشت (شروع گلدهی)	۲	توسعه	۴۵۱/۷	۳۶	۰/۷۳
۶	اردیبهشت	۳	میانی	۵۹۵/۵۵	۳۹/۷	۰/۸۳
۷	خرداد	۱	میانی	۷۷۵/۱۵	۶۰	۰/۹۷
۸	خرداد	۲	میانی	۹۵۷/۶۵	۷۳/۴	۱/۱۲
۹	خرداد	۳	میانی	۱۱۶۳/۶	۸۹/۱۸	۱/۲۹
۱۰	تیر ماه (شروع بذردهی)	۱	میانی	۱۳۶۵/۸۵	۹۲/۸۵	۱/۳۰
۱۲	تیر ماه	۲	میانی	۱۵۹۷/۰۵	۹۲/۵	۱/۳۴
۱۳	تیر ماه (تکمیل بذر دهی)	۳	انتهای	۱۸۱۱/۸۵	۷۴	۰/۹۹

*-Growing degree days



نمودار ۱- ضریب گیاهی آویشن دنايي در مراحل مختلف رشد

جدول ۴- مرفولوژی، عملکرد و کارایی مصرف آب آویشن دناپی در شرایط لایسیمتری

ارتفاع گیاه (سانتی متر)	محیط گیاه (سانتی متر)	عملکرد سرشاخه بوته (گرم در بوته)	کارایی مصرف آب (گرم بر لیتر)
۴۰	۳۹۲/۵	۲۵۱/۲۵	۰/۴۰

بحث

در این تحقیق با استفاده از روش لایسیمتری میزان تبخیر-تعرق آویشن دناپی (تقریباً معادل نیاز خالص آب آبیاری) در مراحل مختلف و همچنین در انتهای مرحله بذردهی (۶۲۲/۱۳ میلی متر) بر اساس تقویم زراعی و همچنین شاخص حرارتی ارائه شده است. شاخص حرارتی با واحد درجه روز رشد بیان شده و نشان دهنده تجمع حرارت در گیاه برای رسیدن به هریک از مراحل فنولوژیک رشد می باشد. از آنجائیکه ممکن است به دلیل عدم شناخت رفتار فیزیولوژیک گیاه، آب مصرفی در زمان مناسب و مقدار لازم اعمال نشده و گیاه تحت تاثیر تنش کم آبی قرار گیرد لذا با استفاده از تقویم زمانی و شاخص حرارتی، امکان زمان بندی مناسب و بهینه سازی مصرف آب فراهم خواهد شد. شریفی عاشورآبادی و همکاران (۱۳۹۳) نیازآبی گل محمدی (*Rosa damascena*) را در مراحل مختلف رشد، علاوه بر تقویم زمانی بر پایه شاخص حرارتی درجه روز رشد نیز محاسبه نمودند. استفاده از شاخص حرارتی در هر اقلیم و هر مقیاس امکان پذیر است. این شاخص در موضوعات کشاورزی، منابع طبیعی و حتی صنعت گردشگری (فرج زاده و همکاران، ۱۳۹۵) نیز کاربرد دارد.

همانگونه که در نتایج مشاهده می شود، تبخیر-تعرق تجمعی گیاه چمن در منطقه کرج از روش های بلانی کریدل فائو و پنمن مانتیث فائو به ترتیب ۷۱۵/۳۵ و ۶۳۷/۷۱ میلی متر برآورد شد. طبق جدول ۲، برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع از دهه اول تا چهارم، در روش بلینی کریدل فائو کمتر از روش پنمن مانتیث فائو بود. از دهه پنجم تا سیزدهم، روند به طور محسوسی تغییر کرده و برعکس شد. به طوری که تبخیر-تعرق تجمعی برآورد شده در روش بلینی کریدل فائو بیشتر از

پنمن مانتیث فائو بود. این مطلب به دلیل ماهیت پردازش داده های هواشناسی به وسیله هر کدام از روابط محاسباتی است. روش پنمن مانتیث فائو، توسط مراجع علمی مانند FAO و کمیسیون بین المللی آبیاری و زه کشی (ICID) برای تعیین نیاز آبی گیاه مرجع چمن توصیه شده است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸ و اسمیت و همکاران، ۱۹۹۲). ذکر این نکته ضروریست که تأیید دقت روش پنمن مانتیث فائو دلیل بر رد روش های دیگر محاسباتی در برآورد تبخیر-تعرق نیست. نتایج تعدادی از تحقیقات نشان می دهد که در برخی از مناطق ایران، سایر روش های محاسباتی و غیرمستقیم نیز میزان تبخیر-تعرق را با دقت بالایی برآورد نموده اند (بختیاری و همکاران، ۱۳۸۰ و پناهی، ۱۳۷۸). به هر حال تعداد داده های هواشناسی و ویژگی های اقلیمی قابل دسترس در هر منطقه می تواند در انتخاب روش مناسب برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع تعیین کننده باشد (مینایی و ماحد خاکسار، ۱۳۸۱). از آنجائیکه این تحقیق براساس روش استاندارد نشریه ۵۶ فائو پایه ریزی شده است، لذا نتایج روش پنمن مانتیث فائو برای ادامه تحقیق و تعیین ضریب گیاهی آویشن انتخاب شد.

طبق نتایج بدست آمده، ضریب گیاهی برای مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی رشد آویشن به ترتیب ۰/۳۳، ۰/۶۵، ۱/۲۰ و ۰/۹۹ تعیین شد. همان گونه که مشاهده می شود در مرحله میانی از رشد گیاه آویشن، ضریب گیاهی بیش از عدد یک و در مرحله انتهایی رشد نیز نزدیک به یک بود. به لحاظ فراهم بودن رطوبت کافی، گیاه آویشن از رشد رویشی بالایی برخوردار بود و حتی پس از تشکیل بذر نیز فعالیت رشدی گیاه کاملاً متوقف نشد. با استفاده از میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع و ضریب

اعمال مدیریت صحیح در آبیاری، عملکرد مناسب با حداقل مصرف آب بدست خواهد آمد.

نتیجه گیری نهایی

تقاضای روزافزون در مصرف گیاهان دارویی و معطر، باعث برداشت بی رویه آنها در عرصه های طبیعی، کاهش پوشش گیاهی و فرسایش خاک شده است. به منظور حفاظت از عرصه های طبیعی، کشت و اهلی کردن گیاهان دارویی در اراضی مساعد واقعیتی اجتناب ناپذیر است. از آنجائیکه قسمت قابل توجهی از مساحت کشور پهناور ایران در مناطق خشک و نیمه خشک واقع شده و از نظر تامین منابع آب دارای محدودیت است لذا با تعیین ضریب گیاهی و نیاز آبی آویشن دناپی، ضمن کمک به طراحی سیستم های هوشمند و آبیاری مکانیزه، امکان برنامه ریزی و مدیریت آبیاری در طول دوره رشد گیاه نیز فراهم خواهد شد.

سپاسگزاری

نویسنده مسئول از رییس محترم و همکاران ارجمند موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور، بخش تحقیقات گیاهان دارویی، ایستگاه تحقیقات البرز کرج و همچنین از مساعدت های جناب آقای دکتر کامران افتخاری از موسسه تحقیقات خاک و آب تشکر و قدردانی می نماید.

گیاهی می توان میزان تبخیر-تعرق گیاه هدف را برآورد نمود. در این ارتباط، نیازآبی تعدادی از گیاهان زراعی (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶a) و باغی (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶b) در شرایط متنوع اقلیمی ایران گزارش شده است. در ارتباط با گیاهان دارویی نیز شریفی عاشورآبادی و همکاران (۱۳۹۱) ضریب گیاهی بوماردان (*Achillea L.* *millefolium*) را در منطقه کرج برای مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی رشد به ترتیب ۰/۱۶، ۰/۴۵، ۱/۰۵ و ۰/۸۱ تعیین کردند. صابری و همکاران (۱۳۹۶)، ضریب گیاه دارویی اجغون (*Trachyspermum ammi*) را در منطقه بیرجند در مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی رشد به ترتیب ۰/۷۸، ۱/۰۶، ۱/۱۳ و ۰/۹۶ گزارش کردند. در این تحقیق کارایی مصرف آب در آویشن دناپی معادل ۰/۴ گرم بر لیتر تعیین شد. کارایی مصرف آب در گیاهان مختلف متفاوت است. کارایی مصرف آب از موضوعات قابل توجه محققان بوده که مقدار ماده خشک تولیدی (و یا عملکرد اقتصادی محصول) را به ازای مصرف هر واحد آب نشان می دهد (کلایفون بران و لواندوسکی، ۲۰۰۰، ماء و همکاران، ۲۰۰۴، ویوآ و همکاران، ۲۰۰۸، عبید و همکاران، ۲۰۱۶، جین و همکاران، ۲۰۱۸). با استفاده از کارایی مصرف آب می توان نسبت به تدوین استراتژی مناسب در زمینه مدیریت مصرف آب اقدام نمود (به دانی و همکاران، ۲۰۰۸). با

فهرست منابع

۱. بختیاری، ب.، خانجانی، م.ج.، علیزاده، ا. و کمالی، غ.، ۱۳۸۰. محاسبه تبخیر-تعرق روزانه گیاه مرجع و مقایسه آن مقدار با مقدار اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر الکترونیکی. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل، ۱۵ اسفند: ۴۸۵-۴۹۶.
۲. پناهی، م.، ۱۳۷۸. ارزیابی چند روش محاسباتی برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل. هفتمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۲-۱۰ اسفند: ۲۱-۳۴.
۳. جم‌زاد، ز.، ۱۳۸۸. آویشن‌ها و مرزده‌های ایران. انتشارات موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، ۱۷۱ صفحه.
۴. جم‌زاد، ز.، ۱۳۹۱. فلور ایران، جلد ۷۶، تیره نعناع. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، ۱۰۷۲ صفحه.
۵. خورشیدی، ج. شکر پور، م. و ناظری، و. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر تنش کم آبی بر عملکرد، اسانس و برخی از صفات فیزیولوژیک اکوتیپ‌های آویشن دناپی (*Thymus daenensis subsp. daenensis*) در منطقه کرج. مجله علوم باغبانی ایران، ۴۹ (۳): ۶۲۴-۶۱۳.
۶. خورشیدی، ج. شکر پور، م. و ناظری، و. ۱۳۹۴. ارزیابی پاسخ به تنش کم آبی در اکوتیپ‌های مختلف آویشن دناپی (*Thymus daenensis subsp. daenensis*) با استفاده از شاخص‌های تحمل تنش. مجله علوم باغبانی ایران. ۴۶ (۴): ۵۷۳-۵۶۳.
۷. راد، م. ه.، مشکوه، م. ع.، سلطانی، م. و میر جلیلی، م. ر. ۱۳۹۰. تعیین نیاز آبی تاغ (*Haloxylon aphyllum*) به روش آزمایش‌های لایسیمتری. فصلنامه خشک‌بوم دوره ۱، شماره ۳: ۲۳-۱۴.
۸. شریفی عاشورآبادی، ا.، روحی پور، ح.، عصاره، م. ح.، لباسچی، م. ح.، عباس زاده، ب.، نادری، ب. و رضایی سرخوش، م. ۱۳۹۱. تعیین نیاز آبی بومادران (*Achillea millefolium*) با استفاده از لایسیمتر. فصلنامه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، جلد ۲۸ (۳): ۴۹۲-۴۸۴.
۹. شریفی عاشورآبادی، ا.، روحی پور، ح.، عصاره، م. ح.، طبایی‌عقدایی، س. ر.، لباسچی، م. ح. و نادری، ب. ۱۳۹۳. تعیین نیاز آبی گل محمدی (*Rosa damascena Mill.*) با استفاده از لایسیمتر. فصلنامه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، جلد ۳۰ (۶): ۹۳۱-۹۲۳.
۱۰. شریفی عاشورآبادی، ا.، جم‌زاد، ز.، لباسچی، م. ح.، اکبری‌نیا، ا.، صفایی، ل.، لارتنی، م.، حبیبی، ر.، گریوانی، گ. م.، صفری، ص.، صمدی اصل، و. و مکی زاده تفتی، م. ۱۳۹۶. استفاده از شاخص حرارتی در پیش‌بینی مراحل فنولوژیک رشد آویشن (*Thymus*) در رویشگاه‌های طبیعی. نشریه طبیعت ایران، جلد ۲ (۶): ۴۴-۳۴.
۱۱. صابری، ا.، رضایی، ف. و خاشعی سیوکی، ع. ۱۳۹۶. برآورد ضریب گیاهی اجغون (*Trachyspermum ammi*) در مراحل مختلف رشد به روش لایسیمتری در منطقه بیرجند. پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۳۱ (۳): ۳۸۹-۳۹۸.
۱۲. علیزاده، ا. ۱۳۸۴. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه امام رضا، ۴۷۰ صفحه.
۱۳. علی‌حوری، م. ۱۳۹۶. تعیین نیازآبی و ضریب گیاهی خرما در مرحله رشد رویشی با استفاده از لایسیمتر. پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۳۱ (۳): ۳۴۰-۳۲۹.
۱۴. فرج‌زاده، ح.، سلیقه، م. و علیجانی، ب. ۱۳۹۵. کاربرد شاخص اقلیم حرارتی جهانی در ایران از منظر گردشگری. مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال پنجم، شماره هفتم: ۱۳۷-۱۱۷.

۱۵. فرش، ع.ا.، شریعتی، م.ر.، جارالهی، ر.، قائمی، م.ر.، شهابی فر، م. و تولایی، م.م.ش.، ۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور (جلد اول، گیاهان زراعی). نشر آموزش کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، ۹۰۰ صفحه.
۱۶. فرش، ع.ا.، شریعتی، م.ر.، جارالهی، ر.، قائمی، م.ر.، شهابی فر، م. و تولایی، م.م.ش.، ۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور (جلد دوم، گیاهان باغی). نشر آموزش کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، ۶۲۹ صفحه.
۱۷. مرادی دهنوی، م. ر.، مردای، پ. و پورمیدانی، ع. ۱۳۹۴. بررسی اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر صفات رویشی و عملکرد آویشن دنايي. سومین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه. ۲۳۰-۲۲۶.
۱۸. مینایی، س. و ماح خاکسار، آ.، ۱۳۸۱. بررسی و نقدی بر روش و محاسبه نیاز آبی سند ملی آب استان خوزستان و ارائه پیشنهادات. یازدهمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، تهران، ۲۶-۲۵ آبان: ۸۰-۶۳.
۱۹. وزیر، ژ. سلامت، ع.، انتصاری، م.، مسیحی، م.، حیدری، ن. و دهقانی سانچ، ح. ۱۳۸۷. تبخیر-تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان)، کارگروه استفاده پایدار از منابع آب برای تولید محصولات کشاورزی. کمیته ملی آب و کشاورزی ایران، نشریه شماره ۱۲۲، ۳۶۲ صفحه.
۲۰. هاشمی نیا، س.م.، ۱۳۷۸. تبخیر، تبخیر-تعرق و داده‌های اقلیمی (ترجمه). انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۲۴۲ صفحه.
21. Abid, M., Haddad, M., Ben Khaled, A., Mansour, E., , Bachar1, K., Lacheheb, B., Ferchichi A. 2016. Water Relations and Gas Exchange in Alfalfa Leaves under Drought Conditions in Southern Tunisian Oases. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 25 (3): 917-924.
22. Allen, R.G., Pereira, L., Raes, D. and Smit. M., 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy.
23. Allen, R.G., Smith, M., Pereira, L.S. and Perrier, A., 1994. An update for the calculation of reference evapotranspiration. ICID Bulletin, 43(2): 35-92.
24. Amatya, D.M., Skayys, R.W. and Greyory, J.D., 1995. Comparison of methods for estimating REF-Et. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 121(6): 427-435.
25. Behdani. M.A.. Nassiri Mahallati. M.. and Koocheki. A. 2008. Evaluation of birrigation manegement of saffron atagroecosystem scale in dry regions of Iran. Asian Journal of plant science 7(1): 22-25.
26. Clifton-Brown, J.C. and Lewandowski, I., 2000. Water use efficiency and biomass partitioning of three different miscanthus genotypes with limited and unlimited water supply. Annals of Botany, 86: 191-200.
27. Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. 1975. Crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper N. 24. F.A.O., Rome. Italy.
28. Jin, N., Ren, W., Tao, B., He, L., Ren, Q., Li, S., Yu, Q. 2018. Effects of water stress on water use efficiency of irrigated and rainfed wheat in the Loess Plateau, China. Science of theTotal Environment, 642:1-11.
29. Kaul. M..Hill. R.I.. and Walthall. C.2005. Artificial neural networks for corn and soybean yield prediction. Agricultural System 85: 1-18.
30. Ma, C.C., Gao, Y.B., Guo, H.Y. and Wang, J.L., 2004. Photosynthesis,transpiration and water use efficiency of Caragana microphylla, C. intermedia, and C. korshinskii. Photosynthetica, 42(1): 65-70.

31. Sadras. V.O., and Calvino. P.A. 2001. Quantification of grain yield response to soil depth in soybean. maize.sunflower. and wheat. *Agronomy Journal* 93: 577-583.
32. Smith, M., Allen, R.G., Monteith, J.L., Perrier, A., Santos Pereira, L. and Segeren, A., 1992. Report of the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements. UN-FAO, Rome, Italy, 28-31 May, 45p.
33. Wua, F., Baoa, W., Lia, F. and Wua, N., 2008. Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water use efficiency of *Sophora davidii* seedling. *Environmental and Experimental Botany*, 63(1-3): 248-255.

برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی دو گونه سالیکورنیا در یزد

حسین بیرامی^۱، محمدحسن رحیمیان و فرهاد دهقانی

استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران.

beyrami.h@hotmail.com

استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران.

mhrahimian@gmail.com

استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران.

dehghany47@gmail.com

دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۹ و پذیرش: مهر ۱۳۹۹

چکیده

منابع آب و خاک کشور محدود می‌باشد و استفاده بهینه از منابع آب در بخش کشاورزی مستلزم برآورد هرچه دقیق‌تر میزان آب مورد نیاز گیاهان مختلف در شرایط متفاوت می‌باشد. این تحقیق به منظور تخمین تبخیر و تعرق، نیاز آبی و ضریب گیاهی دو گونه سالیکورنیا در شرایط لایسیمتری به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی انجام گردید. تیمارهای آزمایش شامل دو گونه مختلف سالیکورنیا (*S. persica* و *S. bigelovii*) و دو سطح مختلف شوری آب آبیاری (۸ و ۲۵ دسی زیمنس بر متر) در سه تکرار بود. تبخیر و تعرق واقعی گیاه (ET_a) و تبخیر و تعرق مرجع (ET_o) و ضرایب گیاهی (K_c) سالیکورنیا در سه مرحله رشد برآورد شدند. نتایج نشان داد که افزایش شوری از ۸ به ۲۵ دسی زیمنس بر متر در هر دو گونه موجب تغییر معنی‌دار عملکرد (وزن دانه و وزن کل اندام هوایی) در سطح آماری یک درصد شد. میزان آب مصرفی در فصل رشد در تیمارها و تکرارهای مختلف بین ۲۸۶۷۹ تا ۳۳۳۰۴ مترمکعب بر هکتار متفاوت بود. مقدار ضریب گیاهی در شوری هشت دسی زیمنس بر متر در گونه بیگلووی در ابتدا، میانه و انتهای فصل به ترتیب ۱/۱۸، ۱/۵۵ و ۱/۴۲ و در شوری ۲۵ دسی زیمنس بر متر به ترتیب برابر ۱/۰۶، ۱/۳۷ و ۱/۲۶ بود. مقدار ضریب گیاهی در شوری هشت دسی زیمنس بر متر در گونه پرسیکا در ابتدا و میانه و انتهای فصل به ترتیب ۱/۳۷، ۱/۵۸ و ۱/۱۰ و در شوری ۲۵ دسی زیمنس بر متر به ترتیب برابر ۱/۱۵، ۱/۳۸ و ۱/۲۷ بود. علاوه بر این شاخص کارایی مصرف آب سالیکورنیا (WUE) در تیمارهای مختلف بین ۰/۲۱ تا ۰/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر بود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، آب شور، کارایی مصرف آب، گیاه شورزی، لایسیمتر

مقدمه

افزایش جمعیت و نیاز به غذا از یک طرف و محدودیت استفاده از منابع آب متعارف و توسعه تدریجی شوری منابع آب و خاک از طرف دیگر سبب شده است که راهکارها و اقدامات پایدار تولید در منابع آب و خاک نامتعارف (شور) اهمیت دو چندان پیدا کنند. با توجه به اینکه اکثریت گیاهان زراعی، گلیکوفیت‌های حساس به نمک هستند، تلاش‌های اولیه برای کشت این گلیکوفیت‌ها در رژیم‌های شور با استفاده از برنامه‌های سنتی زراعی، چندان امیدوار کننده نبوده است (فلاورز و همکاران، ۲۰۱۰؛ سینگ و همکاران، ۲۰۱۴). فلاورز و یئو (۱۹۹۵) نتایج کلی تلاش‌های مربوط به دست‌کاری ژنتیکی و افزایش تحمل به شوری گیاهان گلیکوفیت را ناموفق عنوان کرده‌اند. آن‌ها اذعان داشته‌اند که در اثر تلاش‌های مذکور، تنها تعداد انگشت‌شماری از واریته‌های متحمل به شوری ایجاد شده است. به گفته آنان، دلایل کم‌بودن موفقیت‌ها در این زمینه، شامل پیچیدگی ژنتیکی و مکانیزم تحمل به نمک گیاهان، پایین بودن سطح همکاری بین متخصصان تولیدات گیاهی و فیزیولوژیست‌ها و همچنین اولویت نداشتن مسئله شوری منابع آب و خاک در طی این سال‌ها بوده است. طی سال‌های بعد و با گسترش مشکلات شوری منابع آب و خاک کشاورزی، افزایش جمعیت و نیاز به تولید غذا در شرایط شور، استراتژی‌های جدیدتری در خصوص معرفی گیاهان مناسب و پربازده در شرایط شور معرفی و پیگیری شده است. یکی از این استراتژی‌ها برای دستیابی مستقیم‌تر به گزینه‌های مناسب و متحمل در برابر شوری، کار بر روی گیاهان هالوفیت و گونه‌های گیاهی دارای تحمل ذاتی به نمک، بوده است (فلاورز ۲۰۰۴). این گیاهان از لحاظ دامنه تحمل به شوری، روند رشد و تولید در شرایط شور، دارای تنوع زیادی هستند که همین موضوع، آن‌ها را نیازمند بررسی و تحقیق فراوان نموده است. به گفته محققین، هالوفیت‌ها حتی زمانی که با آب شور دریا آبیاری می‌شوند، می‌توانند عملکردی به اندازه محصولات زراعی متعارف داشته

باشند (گلن و همکاران، ۱۹۹۹؛ ونتورا و همکاران، ۲۰۱۱a,b). هرچند که حد بهینه رشد بیشتر هالوفیت‌ها بین ۵۰ تا ۲۵۰ میلی مولار $NaCl$ است (فلاورز و همکاران، ۱۹۸۶)، اما برای برخی نمونه‌ها، این مقدار بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی مولار $NaCl$ نیز گزارش شده است (فلاورز و کولمر، ۲۰۰۸).

تا به امروز، یکی از موفق‌ترین نمونه‌های کشت هالوفیت در سواحل دریاها، شاید سالیکورنیا باشد (ونتورا و ساگی، ۲۰۱۳؛ اورلوسکی و همکاران، ۲۰۱۶). سالیکورنیا از گیاهان یکساله خانواده کنوپودیاسه^۱ است که به‌صورت علفی با ساقه‌های آبدار و گوشتی ظاهر می‌شود و به‌طور طبیعی در سواحل دریا و حاشیه مانداب‌های شور، رشد و تکامل یافته است (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹). سالیکورنیا از آب شور تغذیه و به روش گرده‌افشانی تولیدمثل می‌کند (اولسن و همکاران ۲۰۰۳). با افزایش شوری، پتانسیل آب در سالیکورنیا-پرسیکا به شدت منفی شده و نشان می‌دهد که در پاسخ به شدت شوری این گیاه تنظیم اسموتیکی دارد (احمد و همکاران، ۲۰۱۲). به‌دلیل وجود خاک‌های شور و آب و هوای متنوع در ایران و وجود زیستگاه‌های گسترده شور در بیابان‌های گرم و معتدل، شرایط برای رشد این گونه مطلوب عنوان شده است (آخانی و همکاران، ۲۰۰۳؛ آخانی، ۲۰۰۷). پایداری کشت در گونه‌های متفاوتی از سالیکورنیا در تنش‌های مختلف محیطی توسط پژوهشگران متعددی انجام یافته است (اکین و همکاران، ۲۰۱۷؛ سینگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ سوزا و همکاران، ۲۰۱۸). گونه‌های مختلفی از سالیکورنیا در بخش‌های مرکزی، جنوب، شمال و شمال غربی ایران شامل استان‌های اصفهان، کرج، خوزستان، هرمزگان، بوشهر و ارومیه یافت شده‌اند. به‌طورکلی، سالیکورنیا یکی از گیاهانی است که در بین هالوفیت‌ها دارای خصوصیات برجسته اقتصادی و زراعی بوده و علاوه بر تولید دانه‌های روغنی و پروتئین، از نظر تولید علوفه نیز حائز اهمیت است. این گیاه با استفاده از

^۱ *Chenopodiaceae*

منابع آب خیلی شور نظیر سواحل جنوبی کشور (خلیج فارس و دریای عمان) قادر به رشد بوده و طبق شواهد اولیه، می‌تواند نتایج رضایت‌بخشی را نیز به همراه داشته باشد (بیرامی و همکاران، ۱۳۹۸).

رنجبر و پیراسته (۱۳۹۷) در پژوهشی تأثیر تنش شوری به صورت درصدهای مختلف (شاهد، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰ و ۱۰۰ درصد) از آب خلیج فارس (۵۸ دسی زیمنس بر متر) بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گونه‌های مختلف سالیکورنیا، به منظور تعیین آستانه تحمل به شوری و آستانه کاهش ۵۰ درصدی در یزد را در دو گونه *Salicornia europaea* و *S. bigelovii* به همراه سه توده بومی خور مزین (استان بوشهر)، ایلخچی (استان آذربایجان شرقی) و مرکزی (مناطق مرکزی ایران) بررسی نمودند. بود. نتایج آنان نشان داد که میانگین جوانه‌زنی گونه‌ها از شوری ۲۵ درصد آب خلیج فارس به طور معنی‌داری کاهش یافت، ولی جوانه‌زنی هیچ‌کدام از گونه‌ها حتی در شوری ۱۰۰ درصد آب خلیج فارس متوقف نشد. آنان بیان نمودند که همه گونه‌های سالیکورنیا تحمل به شوری بالایی داشتند، به طوری که حد آستانه تحمل توده‌های خور مزین، ایلخچی، مرکزی و گونه‌های *S. bigelovii* و *S. europaea* به ترتیب ۱۴/۳۶، ۵/۰۱، ۱۴/۴۶، ۱۱/۹۱ و ۷/۵۴ دسی زیمنس بر متر و حد آستانه کاهش ۵۰ درصد جوانه‌زنی آن‌ها به ترتیب ۵۶/۲۵، ۵۱/۶۰، ۶۱/۱۵، ۳۲/۶۹ و ۲۷/۰۱ دسی زیمنس بر متر برآورد شد. رحیمیان و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به بررسی تغییرات تبخیر و تعرق و نیاز آبی سالیکورنیا در سواحل جنوبی کشور پرداختند. نتایج آنان نشان داد که میانگین تبخیر و تعرق روزانه و فصلی سالیکورنیا در نوار ساحلی جنوب کشور به ترتیب برابر با ۷/۵ میلی‌متر بر روز (بین ۴/۹ تا ۹/۰ میلی‌متر) و ۱۵۶۷ میلی‌متر (بین ۱۲۲۸ تا ۱۷۹۹ میلی‌متر) می‌باشد. همچنین آنان بیان نمودند که نیاز آبی سالیکورنیا وابسته به محل کشت، راندمان کاربرد سیستم آبیاری و آبشویی بوده که

در دامنه راندمان‌های مختلف کاربرد آب بین ۱۹ تا ۴۰ هزار مترمکعب در هکتار متغیر است و کمترین آب مورد نیاز سالیکورنیا در مناطق بوشهر، بندر دیلم و جاسک و بیشترین آب مورد نیاز در مناطق غربی شامل آبادان، ماهشهر و هندیجان به دست آوردند.

با این وجود، با تمام تلاش‌ها و تحقیقات صورت گرفته بر روی این گیاه تاکنون، هنوز سؤالات و ابهاماتی در خصوص ضرایب گیاهی و نیاز آبی این گیاه وجود دارد (رحیمیان و همکاران، ۱۳۹۶)؛ بنابراین این تحقیق با هدف تعیین تبخیر و تعرق و نیاز آبی دو گونه مختلف سالیکورنیا (*S. persica* و *S. bigelovii*) و دو سطح مختلف شوری آب آبیاری (۸ و 25 dS.m^{-1}) انجام یافت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مرکز ملی تحقیقات شوری کشور واقع در استان یزد با مختصات جغرافیایی شمالی و شرقی انجام گرفت. برای تعیین تبخیر و تعرق مرجع از داده‌های هواشناسی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مرجع (ایستگاه یزد) استفاده گردید. ابتدا خصوصیات عمومی فیزیکی و شیمیایی در خاک مورد نظر برای پر نمودن لایسمترها در اسفند ۱۳۹۵ اندازه‌گیری شد (جدول ۱). خاک مورد نظر دارای کلاس بافت لوم شنی و متوسط بافت بوده، دارای شوری بالا و pH خنثی می‌باشد. این خاک دارای ماده آلی ناچیزی بوده و ازت کل در آن نیز مقدار بسیار کمی داشت. همچنین خصوصیات شیمیایی آب استفاده شده برای آبیاری در این پژوهش در جدول ۲ آورده شده است. این آب از اختلاط آب چاه (با EC برابر با چهار دسی زیمنس بر متر) و آب شور انتقالی از منطقه عقدا استان یزد با شوری بسیار بالا تأمین گردید.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در زمان شروع آزمایش

ویژگی	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	کلاس بافت خاک	ECe (dS m ⁻¹)	pH	کربن آلی (%)	ازت کل (%)	پتاسیم (av) (mg kg ⁻¹)	فسفر (av) (mg kg ⁻¹)
مقدار	۶۸/۵۸	۱۵/۴۲	۱۶	لوم شنی (SL)	۱۱/۸۳	۷/۴۶	۰/۲۱	۰/۰۱۸	۱۴۴	۲۰/۱۲

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری تیمارهای آزمایش

SAR	$(meq\ l^{-1})$						pH	EC ($dS\ m^{-1}$)	ویژگی		
	Cl	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺						
۲۵/۸۰	۶/۲۶	۶۶/۵۱	۰/۱۷	۶۳/۳۲	۲/۷۷	۰/۰۰	۸/۹۰	۳/۱۵	۸/۰۰	تیمار ۱	
۵۱/۵۷	۱۹/۵۰	۲۲۳/۱۱	۰/۵۱	۲۱۱/۳۰	۲/۷۷	۰/۰۰	۲۹/۵۲	۴/۰۵	۷/۹۴	۲۵/۰۰	تیمار ۲

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با دو فاکتور شوری آب آبیاری و دو گونه مختلف سالیکورنیا انجام گرفت. تیمارهای پژوهش دو گونه سالیکورنیا (*S. bigelovii*) و (*S. persica*) و دو سطح مختلف شوری آب آبیاری ۸ و ۲۵ دسی‌زیمنس بر متر با سه تکرار (جمعاً ۱۲ لایسیمتر) بود.

محل مورد نظر برای تعبیه و استقرار لایسیمترها در اواخر اسفند ۱۳۹۵ انتخاب و سپس اقدام به تسطیح و آماده‌سازی سایت گردید. برای آماده‌سازی لایسیمترها ابتدا تعداد ۱۲ عدد لایسیمتر وزنی با طول ۸۵، عرض ۲۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر تهیه شدند. در کف این لایسیمترها فیلتری شنی قرار داده شد تا زهکشی به سهولت از مجرای زیرین آن‌ها صورت گیرد. سپس هر یک از لایسیمترها با خاکی با بافت غالب منطقه (لوم شنی) پر شده و بر روی پایه و باسکول‌های (ترازوهای) الکترونیکی مجزا با دقت توزین ۵۰ گرم قرار داده شدند، به‌طوری‌که سطح بالایی لایسیمترها هم‌سطح مزرعه باشد. مجرای زهکش کف لایسیمترها به درون یک مخزن ذخیره متصل بود تا میزان زه‌آب خروجی در زمان‌های معین مورد اندازه‌گیری قرار گیرد. برای اینکه تبادل دمایی از دیواره لایسیمترها به حداقل برسد، دیواره لایسیمترها با فوم پوشش داده شد. نشاءهای مورد نیاز برای این پروژه در گلخانه مرکز ملی تحقیقات شوری تهیه و سپس به درون لایسیمترها در محل سایت اصلی انتقال داده شده‌اند. بدین گونه که ابتدا از بذور هر دو گونه مورد آزمایش سالیکورنیا در نیمه اول

اسفند ۱۳۹۵ در سینی‌های نشاء کشت شدند و پس از رسیدن به مرحله استقرار، این نشاءها در اوایل فروردین ۱۳۹۶ به لایسیمترها انتقال یافتند. تراکم کاشت تعداد نشاءهای انتقال‌یافته چهار نشاء در هر لایسیمتر (با فاصله ۲۰ سانتی‌متر) بود.

آبیاری بر اساس دور متداول آبیاری این گیاه (دو تا سه روز) و بر اساس میزان تخلیه رطوبت خاک در هر نوبت و در نظر گرفتن حداکثر تخلیه مجاز (MAD) ۵۰ درصد و نیاز آبتیوی حدود ۲۵ درصد انجام شد. برای کنترل شوری خاک، زه‌آب خروجی از ناحیه ریشه در هر نوبت از آبیاری جمع‌آوری شده و هدایت الکتریکی آن‌ها در هر نوبت اندازه‌گیری شد. در نهایت حجم کل آب آبیاری محاسبه شده به هر لایسیمتر در هر مرحله آبیاری اعمال شد. میزان عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بر اساس آزمون خاک و علائم کمبود به‌خصوص از نظر نیتروژن، فسفر و پتاسیم (۵۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات پتاسیم و سوپر فسفات تریپل و اوره قبل از کشت و چهار بار کود سرک اوره هر نوبت ۵۰ کیلوگرم بر هکتار در میانه فصل) و عناصر میکرو (کود کامل دو در هزار به‌صورت محلول در آب آبیاری سه مرتبه در میانه فصل) به خاک اضافه شد.

تخمین تبخیر و تعرق و ضرایب گیاهی

تبخیر و تعرق واقعی (ET_a) دو گونه گیاه سالیکورنیا بیگلویی و پرسیکا و برای هر یک از تیمارهای

مختلف شوری آب آبیاری ۸ و ۲۵ دسی زیمنس بر متر به روش بیلان رطوبتی خاک بر اساس حجم آب ورودی و خروجی لایسیمترها در طول فصل رشد اندازه‌گیری شد. تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) بر اساس آمار هواشناسی (جدول ۳) نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (ایستگاه یزد) و با استفاده از روش پنمن مانیت فائو در طول دوره رشد محاسبه شد. سپس ضرایب گیاهی (K_c) سالیکورنیا بر اساس نسبت ET_a/ET_0 در مراحل مختلف رشد برآورد

گردید (فرناندز و همکاران ۲۰۰۰). در انتهای کار پس از برداشت سالیکورنیا میزان شوری خاک در هر یک از لایسیمترها مورد اندازه‌گیری و ارزیابی قرار گرفت. برداشت سالیکورنیاها به صورت دستی انجام یافته و پس از خشک شدن خصوصیات عملکردی (وزن کاه، وزن دانه و وزن کل اندام هوایی) سالیکورنیا اندازه‌گیری شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار *Excel 2013* و برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار *SPSS 16.0* استفاده گردید.

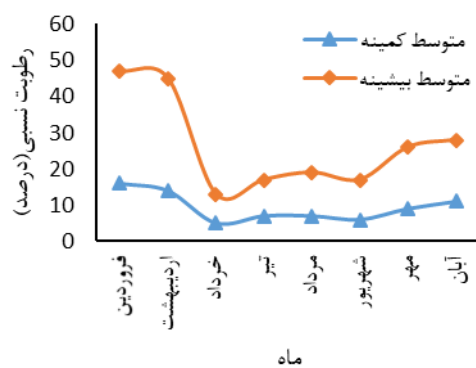
جدول ۳- آمار سینوپتیک ایستگاه هواشناسی یزد

ماه	دما (درجه سانتی‌گراد)		رطوبت نسبی (درصد)			بارندگی (میلی‌متر)		تبخیر ماهانه (میلی‌متر)	ساعات آفتابی ماهانه	میانگین سرعت باد (m/s)
	متوسط کمینه	متوسط بیشینه	میانگین	متوسط بیشینه	متوسط کمینه	مجموع ۲۴ ساعته	حداکثر			
فروردین	۱۳/۵	۲۷/۱	۲۰/۳	۱۶/۰	۴۷/۰	۱/۷	۱/۰	۲۵۹/۷	۲۶۵/۲	۶/۹
اردیبهشت	۱۸/۸	۳۲/۲	۲۵/۵	۱۴/۰	۴۵/۰	۱۱/۶	۷/۵	۳۳۵/۰	۲۸۴/۰	۶/۷
خرداد	۲۴/۰	۳۹/۱	۳۱/۶	۵/۰	۱۳/۰	۰/۰	۰/۰	۴۸۰/۹	۳۸۶/۰	۶/۵
تیر	۲۵/۳	۳۹/۳	۳۲/۳	۷/۰	۱۷/۰	۰/۰	۰/۰	۵۰۸/۷	۳۸۱/۵	۷/۰
مرداد	۲۳/۸	۳۸/۰	۳۰/۹	۷/۰	۱۹/۰	۰/۰	۰/۰	۴۶۲/۴	۳۷۰/۳	۷/۳
شهریور	۱۹/۴	۳۴/۸	۲۷/۱	۶/۰	۱۷/۰	۰/۰	۰/۰	۳۸۰/۱	۳۵۳/۸	۵/۱
مهر	۱۵/۶	۳۰/۷	۲۳/۲	۹/۰	۲۶/۰	۰/۰	۰/۰	۲۶۲/۰	۳۰۸/۹	۴/۸
آبان	۱۰/۶	۲۵/۴	۱۸/۰	۱۱/۰	۲۸/۰	۰/۰	۰/۰	۱۶۰/۸	۲۷۶/۳	۴/۲
آذر	۳/۳	۱۶/۹	۱۰/۱	۱۷/۰	۴۰/۰	۰/۴	۰/۴	۶۵/۹	۲۵۱/۸	۴/۷

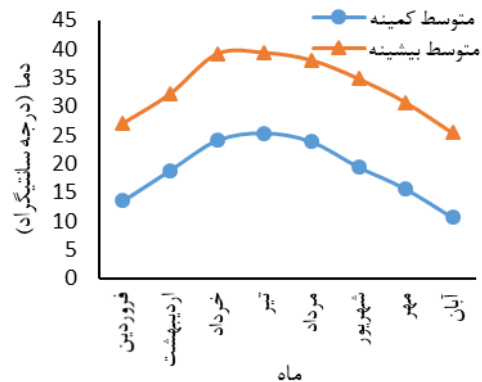
نتایج و بحث

شکل ۱ میانگین ماهانه پارامترهای مختلف هواشناسی شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت هوا، سرعت باد و ساعات آفتابی در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. این نمودارها بر اساس آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک یزد ترسیم شده‌اند. بر این اساس، میانگین حداکثر و حداقل دمای هوا (در دوره رشد فروردین تا آبان) به ترتیب ۳۹/۳ و ۱۰/۶ درجه سانتی‌گراد

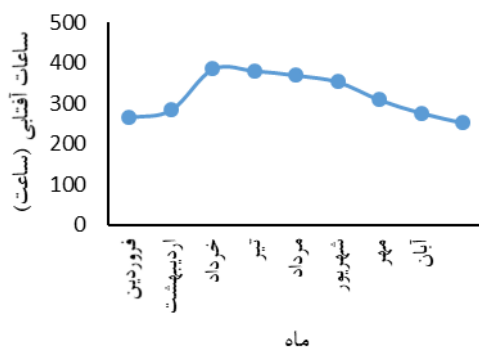
می‌باشد که در ماه‌های تیر و آبان مشاهده شده است. همچنین رطوبت میانگین هوا در منطقه بین ۹ تا ۳۱ درصد متغیر است که به ترتیب در ماه‌های خرداد و فروردین به ثبت رسیده است. مطالعه داده‌های هواشناسی به‌ویژه دمای هوا نشان می‌دهد که خروج سریع‌تر این منطقه از سرمای زمستانه نویدبخش تناسب بیشتر اقلیم این مناطق برای کشت و توسعه سالیکورنیا می‌باشد.



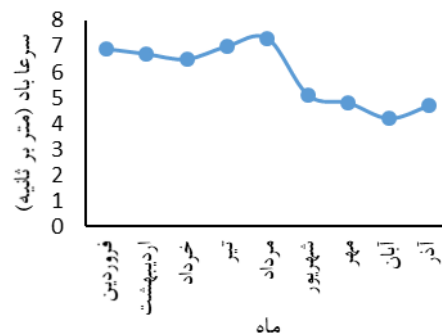
ب- رطوبت نسبی



الف- میانگین های دمای حداقل، دمای حداکثر



د- ساعات آفتابی



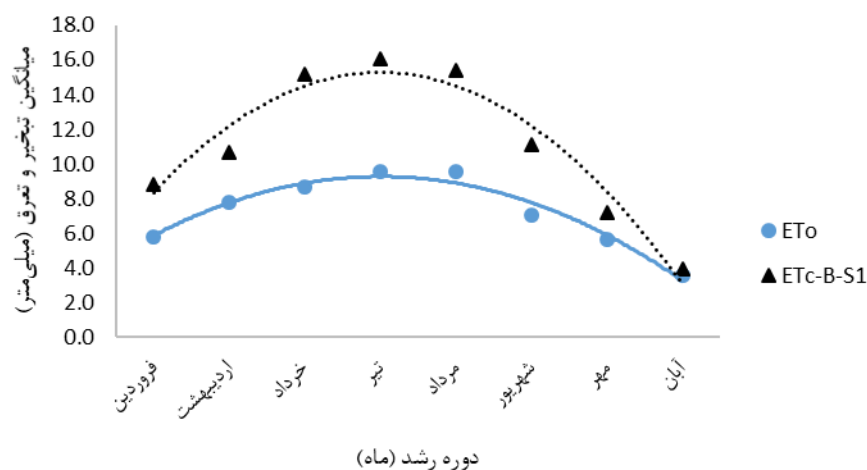
ج- میانگین سرعت باد

شکل ۱- تغییرات ماهانه میانگین پارامترهای مختلف هواشناسی در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک یزد

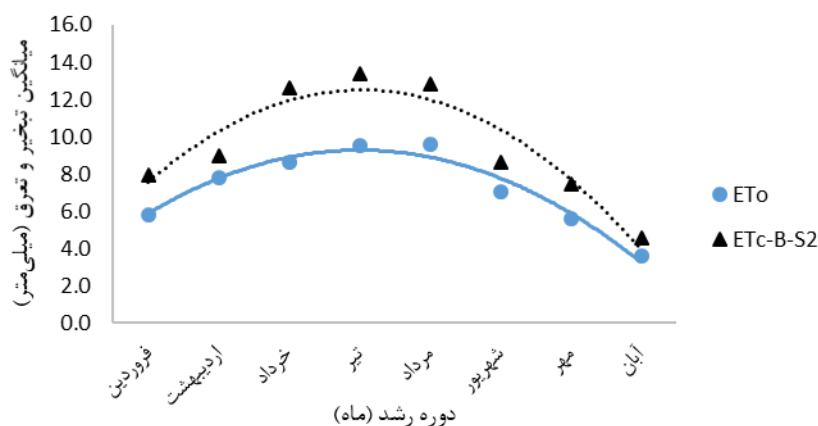
مقدار نزدیک به هم دارند. نتایج مشابهی توسط بنز و همکاران (۲۰۰۵) و گراتن و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش شده است. آنان بیان نمودند که مقدار تبخیر و تعرق سالیکورنیا گونه بیگلولی در شرایط استفاده از آب شور و زه آب شور، در طول فصل بیشتر از گیاه مرجع (در شرایط استاندارد) بود و ضریب گیاهی میانگین برای سالیکورنیا گونه بیگلولی را ۱/۱ گزارش نمودند. بالا بودن این ضریب به دلیل شدت بالای تعرق این گیاه در مقایسه با تبخیر می باشد به طوری بیش از ۷۸ درصد تلفات آب در سیستم صرفاً ناشی از تعرق بود (گراتن و همکاران، ۲۰۰۸).

رابطه بین تبخیر و تعرق مرجع و واقعی

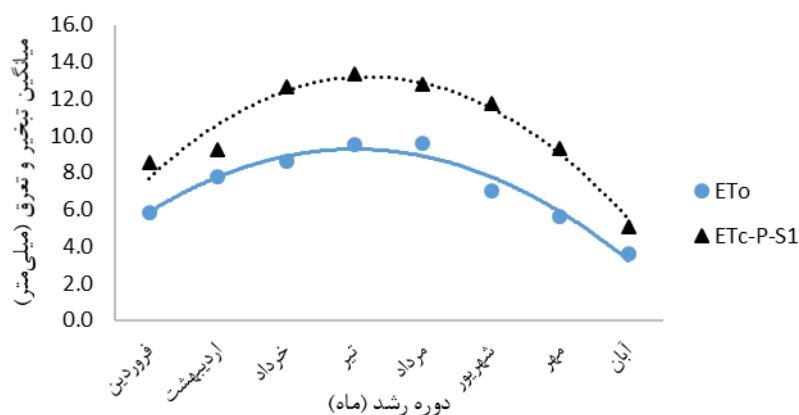
به منظور تعیین نیاز آبی سالیکورنیا، ابتدا تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) ایستگاه منتخب به کمک آمار هواشناسی ماهانه محاسبه شد. شکل های ۲ تا ۵ به ترتیب تغییرات تبخیر و تعرق واقعی در تیمارهای مختلف و تغییرات تبخیر و تعرق مرجع ماهانه (ET_0) محاسباتی به روش پنمن-مانتیت-فائو در ایستگاه مورد مطالعه را نشان می دهد. در این شکل ها دیده می شود که بیشترین مقدار تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه در ماه های خرداد، تیر و مرداد روی داده است و مقدار تبخیر و تعرق واقعی در طول فصل رشد بیشتر از تبخیر و تعرق مرجع می باشد و تنها در انتهای فصل مقدار تبخیر و تعرق مرجع و واقعی



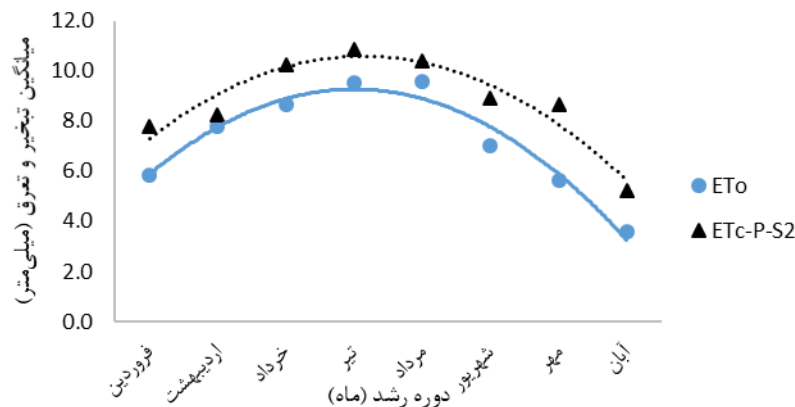
شکل ۲- تبخیر و تعرق مرجع و تبخیر واقعی در طول فصل رشد برای سالیکورنیا گونه بیگلویی در شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر (B-S1: گونه بیگلویی سطح شوری یک)



شکل ۳- تبخیر و تعرق مرجع و تبخیر واقعی در طول فصل رشد برای سالیکورنیا گونه بیگلویی در شوری ۲۵ دسی‌زیمنس بر متر (B-S2: گونه بیگلویی سطح شوری دو)



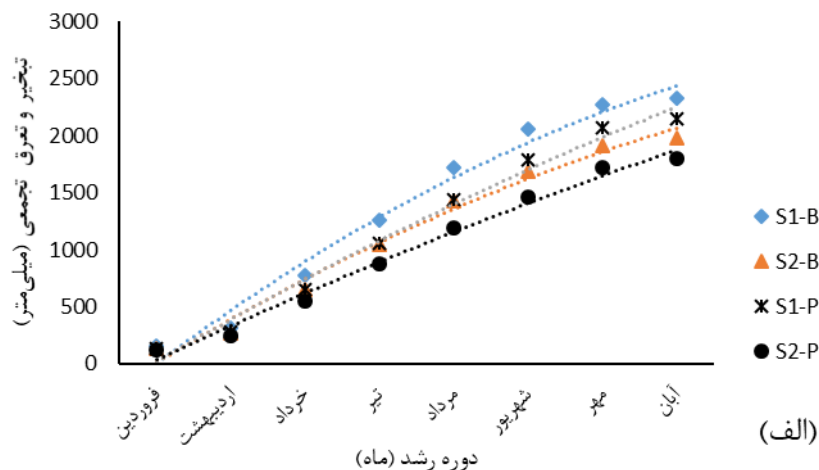
شکل ۴- تبخیر و تعرق مرجع و تبخیر واقعی در طول فصل رشد برای سالیکورنیا گونه پرسیکا در شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر (P-S1: گونه پرسیکا سطح شوری یک)



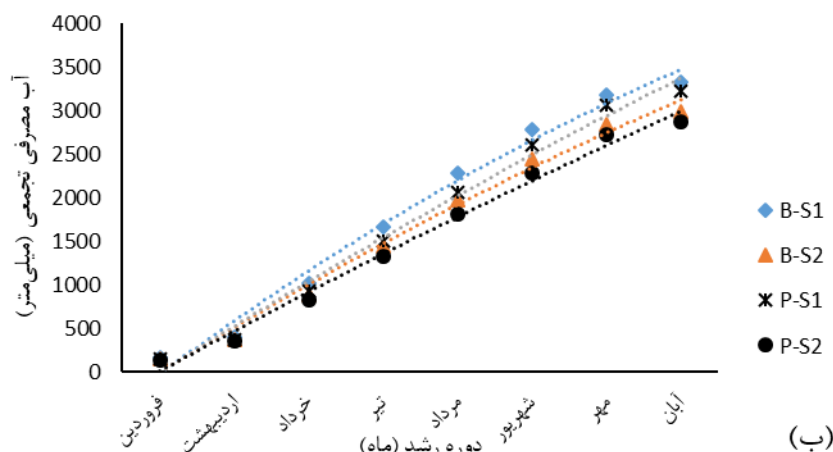
شکل ۵- تبخیر و تعرق مرجع و تبخیر و تعرق واقعی در طول فصل رشد برای سالیکورنیا گونه پرسیکا در شوری ۲۵ دسی زیمنس بر متر (P-S2: گونه پرسیکا سطح شوری دو)

متر)، بین ۱/۵ تا ۲/۵ برابر تبخیر تشک به آب نیاز دارد. در مطالعه گراتان و همکاران (۲۰۰۸) نیز تبخیر و تعرق صورت گرفته از لایسیتراهای سالیکورنیا بین ۴ تا ۶ برابر تبخیر صورت گرفته از خاک لخت عنوان شده است که بیانگر شدت بالای تعرق این گیاه نسبت به مجموع تبخیر و تعرق از سطح مزرعه می باشد. بر طبق گزارش گراتان و همکاران (۲۰۰۸) نسبت تعرق به تبخیر و تعرق سالیکورنیا در طول فصل رشد به بیشتر از ۷۸ درصد نیز می رسد. همچنین گلن و همکاران (۱۹۹۸) بیان نمودند که تبخیر و تعرق واقعی صورت گرفته از لایسیترا در حدود ۶۵ درصد عمق آب کاربردی در تمامی تیمارها بوده است. در این مطالعه، میانگین نسبت تبخیر و تعرق واقعی صورت گرفته از لایسیتراهای تحت کشت سالیکورنیا به میزان تبخیر از تشک (Epan) طی دو سال متوالی آزمایش به ترتیب حدود ۱/۰۱ و ۱/۴۶ بود.

شکل ۶ میزان تبخیر و تعرق تجمعی و آب مصرفی (تبخیر و تعرق و نیاز آبتوی) در طول دوره رشد در تیمارهای مختلف را نشان می دهد. همان گونه که دیده می شود میزان تبخیر و تعرق تجمعی در فصل رشد در سطوح شوری یکسان، در گونه بیگلوی بیشتر از گونه پرسیکا می باشد. با افزایش شوری در هر دو گونه میزان تبخیر و تعرق تجمعی کاهش یافته است. بر اساس مطالعاتی که توسط محققان دیگر نیز انجام یافته نشان می دهد امکان کشت سالیکورنیا با آب شور وجود داشته و نیاز آبی بالایی که در این تحقیق (۲۸۶۸ میلی متر تا ۳۳۳۰ میلی متر) به دست آمد، توسط دیگر محققان نیز در مورد سالیکورنیا گزارش شده است. برای مثال گراتان و همکاران (۲۰۰۸) بیان نمودند که گیاه سالیکورنیا در صورت آبیاری با آب دریا (با شوری ۵۲ دسی زیمنس بر متر) و یا آب زهکشی بسیار شور (۴۹ دسی زیمنس بر



(الف)

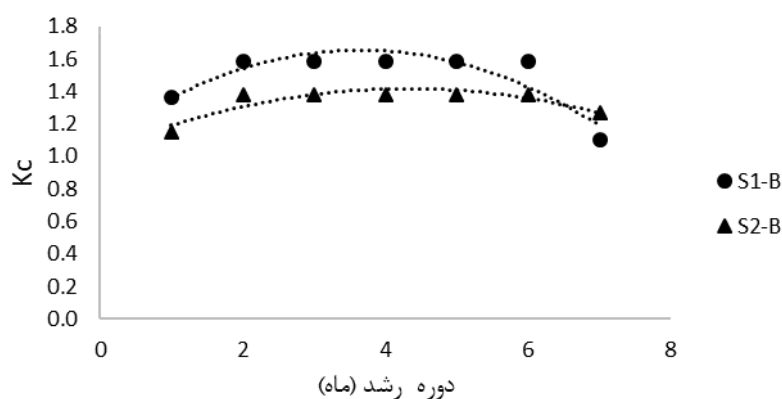


شکل ۶- میزان تبخیر و تعرق (الف) و آب مصرفی (ب) تجمعی دو گونه سالیکورنیا در تیمارهای مختلف (علائم B-S1 و B-S2 به ترتیب بیانگر گونه بیگلوی در سطح شوری یک و دو و علائم P-S1 و P-S2 به ترتیب بیانگر گونه پرسیکا سطح شوری یک و دو می باشند)

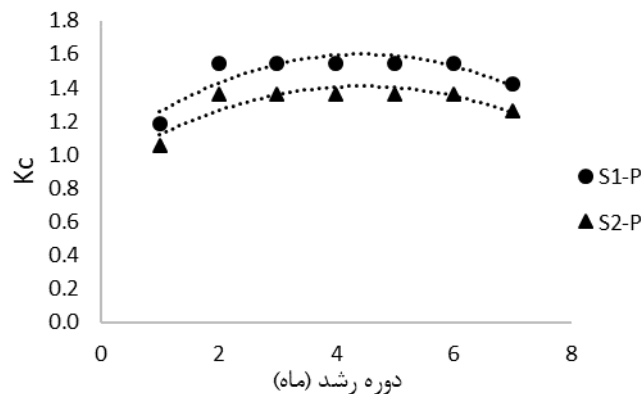
ضریب گیاهی

رشد بالاتر از منحنی ضریب گیاهی در شوری ۲۵ دسی زیمنس بر متر قرار دارد. در تحقیق حاضر ضریب گیاهی سالیکورنیا در مراحل مختلف رشد در شوری 8 dS.m^{-1} در گونه بیگلوی در ابتدا، میانه و انتهای فصل به ترتیب $1/18$ ، $1/55$ و $1/42$ و در شوری 25 dS.m^{-1} به ترتیب برابر $1/06$ ، $1/37$ و $1/26$ بود. مقدار ضریب گیاهی در شوری 8 dS.m^{-1} در گونه پرسیکا در ابتدا و میانه و انتهای فصل به ترتیب $1/37$ ، $1/58$ و $1/10$ و در شوری 25 dS.m^{-1} به ترتیب برابر $1/15$ ، $1/38$ و $1/27$ به دست آمد. در این خصوص نیز مطالعاتی در دست است، به عنوان نمونه می توان به مطالعه بنز و همکاران (۲۰۰۵) اشاره کرد که ضریب گیاهی سالیکورنیا را برای مزارع آزمایشی تحت شرایط شور، $1/1$ به دست آورده اند.

شکل ۷ ضریب گیاهی سالیکورنیا گونه بیگلوی در دو شوری متفاوت در فصل رشد را نشان می دهد. همان گونه که دیده می شود منحنی ضریب گیاهی در شوری هشت دسی زیمنس بر متر بالاتر از منحنی ضریب گیاهی در شوری ۲۵ دسی زیمنس بر متر است. در انتهای فصل رشد (مهر و آبان) منحنی ضریب گیاهی در شوری ۲۵ دسی زیمنس بر متر بالاتر از منحنی ضریب گیاهی در شوری هشت دسی زیمنس بر متر می باشد. شکل ۸ میانگین ماهانه ضریب گیاهی سالیکورنیا گونه پرسیکا در دو شوری متفاوت در فصل رشد را نشان می دهد. همان گونه که دیده می شود منحنی ضریب گیاهی در شوری هشت دسی زیمنس بر متر در تمامی طول فصل



شکل ۷- ضریب گیاهی سالیکورنیا - بیگلوی در دو شوری متفاوت در فصل رشد (علائم مشابه شکل ۶)



شکل ۸- ضریب گیاهی سالیکورنیا - پرسیکا در دو شوری متفاوت در فصل رشد (علائم مشابه شکل ۶)

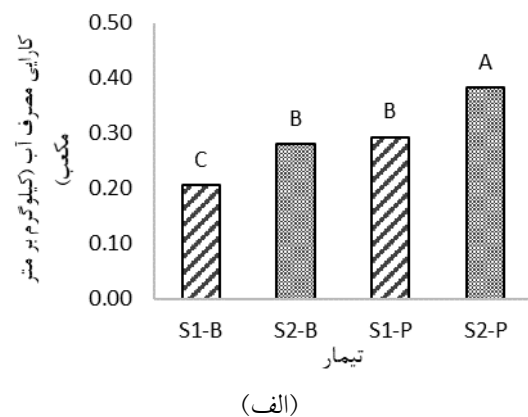
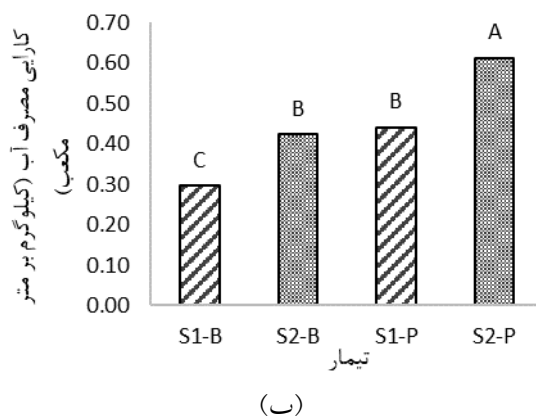
رابطه بین عملکرد و آب مصرفی

در این پژوهش شاخص کارایی مصرف آب (میزان تولید بر میزان آب مصرفی) بر اساس اندازه‌گیری‌های حجم آب مصرفی و عملکرد محصول در هر تیمار محاسبه گردید. حجم آب مصرفی تیمارها و تکرارهای مختلف (به صورت غرقابی) بین ۲۸۶۸ تا ۳۳۳۰ میلی‌متر (معادل ۲۸۶۷۹ تا ۳۳۳۰۴ مترمکعب در هکتار) و عملکرد دانه گیاه سالیکورنیا در تیمارها و تکرارهای مختلف بین ۱۴۶۵ تا ۲۹۷۴ کیلوگرم بر هکتار متغیر بود. سوزا و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقات خود اثر معنی‌دار گونه و شوری بر عملکرد سالیکورنیا را گزارش نموده‌اند. آنان افزایش عملکرد در شرایط کشت با شوری‌های متوسط (غلظت حدود ۸۶ مولار $NaCl$) را گزارش نمودند. بر اساس اندازه‌گیری‌ها و محاسبات انجام شده آب مصرفی، شاخص کارایی مصرف آب سالیکورنیا (WUE) ۰/۲۱ تا ۰/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب بود (شکل ۹ الف). کارایی مصرف آب بر اساس اندازه‌گیری‌های حجم تبخیر و تعرق و عملکرد محصول در هر تیمار در شکل ۹ ب آورده شده است. بر اساس اندازه‌گیری‌ها و محاسبات انجام شده، شاخص کارایی مصرف آب سالیکورنیا (WUE) بر اساس تبخیر و تعرق بین ۰/۲۹ تا ۰/۶۱ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر می‌باشد (شکل ۹ ب). این نتایج نشان‌دهنده این است که این گیاه دارای کارایی مصرف آب کمتری نسبت به گیاهان زارعی معمول می‌باشد. با توجه به اینکه شاخص کارایی مصرف آب از

تقسیم میزان عملکرد بر حجم آب مصرفی به دست می‌آید و در اثر افزایش شوری آب آبیاری از ۸ به ۲۵ دسی زیمنس بر متر، صورت کسر افزایش یافته و مخرج کسر با کاهش معنی‌دار همراه بوده است، لذا این شاخص با افزایش شوری آب آبیاری از ۸ به ۲۵ دسی زیمنس بر متر، افزایش یافت. بر اساس مطالعات محققان مختلف مانند سوزا و همکاران (۲۰۱۸) و روزما و اسکات (۲۰۱۳)، مغایب و همکاران (۲۰۰۴) با افزایش شوری در ابتدا مقدار وزن خشک اندام هوایی سالیکورنیا افزایش یافت، ولی با افزایش مقدار بیشتر غلظت سدیم، مقدار وزن خشک اندام هوایی کاهش یافت به طوری که در غلظت ۳۴۰ میلی مولار سدیم مقدار وزن خشک اندام هوایی به کمتر از مقدار شاهد (در غلظت صفر سدیم) رسید. کوربان و همکاران (۱۹۹۹) نیز در تحقیقات خود بر روی سالیکورنیا گونه بیگلووی گزارش نمودند که اثر شوری در غلظت‌های پایین‌تر می‌تواند موجب بهبود رشد گیاه گردد. در عین حال بر اساس نتایج محققانی مانند احمد و همکاران (۲۰۱۲)، با افزایش شوری آب آبیاری، پتانسیل آب در گیاه سالیکورنیا به شدت منفی می‌گردد، لذا این گیاه در پاسخ به شدت شوری، با تنظیم اسموتیکی موجب کاهش مقدار تبخیر و تعرق می‌گردد؛ بنابراین افزایش عملکرد از یکسو و کاهش تبخیر و تعرق از سوی دیگر موجب افزایش کارایی مصرف آب این گیاه با افزایش شوری آب آبیاری از ۸ به ۲۵ دسی زیمنس بر متر گردید.

گلن و همکاران (۱۹۹۷) بیان نمودند که تحقیقات متعددی نشانگر مقدار آب مصرفی بالا و دوره کوتاه آبیاری برای سالیکورنیا هستند. همچنین کاربرد شوری‌های بالا ممکن است باعث کاهش عملکرد گردد که یک استراتژی برای جلوگیری از این کاهش، آبیاری روزانه تا حدی که آبشویی نیز رخ دهد، می‌باشد. آنان همچنین بیان نمودند که آبیاری روزانه موجب افزایش تبخیر سطحی و افزایش شوری محلول خاک می‌شود، مگر اینکه مقدار آب آبیاری بیشتر از مقدار تبخیر پتانسیل باشد. همچنین طبق نظر گلن و همکاران (۱۹۹۷) برای رسیدن به بیشترین عملکرد در گیاه سالیکورنیا، شوری در ناحیه ریشه (صفر تا ۱۵ سانتی-متری برای این گیاه) بایستی در حدود ۷۰ تا ۷۵ گرم بر لیتر نگه‌داشته شود. سوزا و همکاران (۲۰۱۸) و روزما و اسکات (۲۰۱۳) در تحقیقات خود بیان نمودند که عملکرد گونه‌های متفاوت سالیکورنیا در شوری‌های متوسط رشد حداکثری نسبت به شرایط کنترل یا بدون شوری داشتند. صالحی و همکاران (۱۳۹۶) بیان نمودند که میزان تولید این گیاه در شرایط اقلیم یزد با مدیریت مناسب و آبیاری با آب با هدایت الکتریکی ۱۵ دسی زیمنس بر متر در گونه سالیکورنیا بیگلوی ۱/۹ تن در هکتار و گونه پرسیکا ۱/۵ تن در هکتار بود. به‌منظور رسیدن به حداکثر عملکرد با توجه به حساسیت گیاه به طول روز باید تاریخ کاشت گیاه در زمان مناسب با توجه به فتوپریود منطقه انجام شده

و همچنین نیاز آبی و کودی گیاه در مراحل حساس رشدی گیاه تأمین شود. رحیمیان و همکاران (۱۳۹۷) گزارش نمودند که بر اساس حجم آب مصرفی (با شوری آب آبیاری حدود ۵۵ دسی زیمنس بر متر) و عملکرد ماده خشک سالیکورنیا در منطقه بوشهر، شاخص کارایی مصرف آب برای علوفه خشک سالیکورنیا (WUE) بین ۰/۱۵ تا ۰/۴۴ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر بود. آنان همچنین بیان نمودند که اگرچه محدودیت فیزیکی منابع آب برای تأمین نیاز آبی سالیکورنیا در منطقه مطالعاتی وجود ندارد، اما با توجه به شوری آب دریا و پیش‌بینی ورود حجم قابل توجهی از آب‌های شور به مزارع سالیکورنیا، خطر شور شدن و از بین رفتن تدریجی خاک در آینده وجود خواهد داشت. مضافاً اینکه، پیش‌بینی‌ها حکایت از وقوع نفوذ عمقی قابل توجه آب در مزارع سالیکورنیا داشته که توجه جدی به مسئله زهکشی اراضی تحت آبیاری، جلوگیری از افزایش سطح ایستایی و کاهش مخاطرات زیست‌محیطی مربوطه در آینده را ضروری و غیرقابل اجتناب خواهد کرد. محمدی و همکاران (۱۳۸۹) در مقایسه میانگین تیمارهای شوری بیشترین رشد و ماده خشک تولید شده را در شوری ۲۰۰ میلی مولار به‌دست آمد و کمترین مقدار وزن خشک در بیشترین تیمار شوری یعنی ۶۰۰ میلی مولار به‌دست آمد.



شکل ۹- کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف (الف) بر اساس آب مصرفی و (ب) بر اساس تبخیر و تعرق (علائم مشابه شکل ۶)

آبشویی، این موارد از دلایل اصلی بالا بودن نیاز آبی سالیکورنیا در این منطقه محسوب می‌شود. مطالعه ضریب گیاهی سالیکورنیا (هر دو گونه بیگلویی و پرسیکا) در دو شوری متفاوت نشان می‌دهد منحنی ضریب گیاهی در شوری هشت دسی زیمنس بر متر بالاتر از منحنی ضریب گیاهی در شوری ۲۵ دسی زیمنس بر متر است. محاسبه کارایی مصرف آب بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده، نشان داد که شاخص کارایی مصرف آب سالیکورنیا (WUE) بین ۰/۲۱ تا ۰/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر بوده است و که این گیاه دارای کارایی مصرف آب کمتری نسبت به گیاهان زارعی معمول است. همچنین کارایی مصرف آب در گونه پرسیکا بیشتر از گونه بیگلویی بود.

سپاسگزاری

مولفان بدین وسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را از شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران به دلیل حمایت‌های انجام یافته در راستای این تحقیق اعلام می‌دارد.

اندازه‌گیری شوری خاک پس از اتمام فصل رشد در خاک لایسیمترها با توجه به ضریب آبشویی اعمال شده (حدود ۲۵ درصد) نشان داد که به‌صورت میانگین در لایسیمترهای با تیمارهای آب آبیاری با شوری ۸ و ۲۵ دسی زیمنس بر متر شوری خاک در لایسیمترهای دارای گونه بیگلویی به‌ترتیب ۱۲/۲۴ و ۳۳/۰۰ دسی زیمنس بر متر، در لایسیمترهای دارای گونه پرسیکا به‌ترتیب ۱۲/۷۴ و ۲۷/۶۳ دسی زیمنس بر متر بود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار تبخیر و تعرق در منطقه در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد روی داده است و مقدار تبخیر و تعرق واقعی در طول فصل رشد بیشتر از تبخیر و تعرق مرجع می‌باشد و تنها در انتهای فصل مقدار تبخیر و تعرق مرجع و واقعی مقدار نزدیک به هم دارند. همچنین افزایش درجه شوری از ۸ به ۲۵ دسی زیمنس بر متر در هر دو گونه موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد. بررسی میزان تبخیر و تعرق تجمعی در طول دوره رشد در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که این پارامتر در سطوح شوری برابر در گونه بیگلویی بیشتر از گونه پرسیکا بوده و با افزایش شوری در هر دو گونه میزان تبخیر و تعرق تجمعی کاهش یافته است. همچنین میزان آب مصرفی در فصل رشد در سطوح شوری برابر در گونه بیگلویی نسبت به گونه پرسیکا بیشتر بوده و با افزایش شوری از ۸ به ۲۵ دسی زیمنس به متر در هر دو گونه میزان آب مصرفی کاهش یافته است. حجم آب مصرفی تیمارها و تکرارهای مختلف بین ۲۸ تا ۳۳ هزار مترمکعب در هکتار متغیر بوده است و با در نظر گرفتن طول دوره رشد سالیکورنیا (حدود هفت ماه) و در مقایسه با نیاز آبی سایر گیاهان، این مقادیر اعداد بالایی به شمار می‌آیند. علاوه بر این باید در نظر داشت که پتانسیل تبخیری اتمسفر^۱ در منطقه یزد به دلیل دمای بالا و رطوبت نسبی پایین هوا بالا بوده و با در نظر گرفتن مسئله

^۱ -Evaporation demand of the atmosphere

فهرست منابع

۱. بیرامی، ح.، رحیمیان، م.ح.، دهقانی، ف.، رنجبر، غ.ح.، هاشمی‌نژاد، ی. ۱۳۹۸. تأثیر شوری آب آبیاری بر عملکرد و اجزاء عملکرد دو گونه سالیکورنیا (*Salicornia persica* و *S. bigelovii*). نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. جلد ۲۹، شماره ۳. صفحات ۱۱۳ تا ۱۲۲.
۲. رحیمیان، م.ح.، هاشمی‌نژاد، م.، هاشمی‌نژاد، ی. و بیرامی، ح. ۱۳۹۶. برآورد تبخیر و تعرق و نیاز آبی سالیکورنیا در نوار ساحلی جنوب کشور، اولین همایش ملی شورورزی، مرکز تحقیقات شوری، یزد، ایران.
۳. رحیمیان، م.ح.، هاشمی‌نژاد، م.، هاشمی‌نژاد، ی. و بیرامی، ح. ۱۳۹۷. ارزیابی نیاز آبی و آبتویی سالیکورنیا در سواحل جنوبی کشور. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی مرکز ملی تحقیقات شوری. ۱۸۰ صفحه.
۴. رنجبر، غ.ح. و پیرسته‌انوشه، هادی. ۱۳۹۷. تعیین آستانه تحمل به شوری گونه های سالیکورنیا با استفاده از آب خلیج فارس. نشریه خشک بوم. جلد ۸، شماره ۲. صفحات ۱۰۳ تا ۱۱۲.
۵. صالحی، م.، دهقانی، ف.، و ابراهیمی، ن.ق. ۱۳۹۶. تجربه موفق تکثیر بذر سالیکورنیا با منابع آب شور. نشریه آب و توسعه پایدار. جلد ۴، شماره ۱. صفحات ۳۷ تا ۴۶.
۶. محمدی، ح.ر.، اکبری، غ.ع.، خوش خلق سیما، ن.ا. و مرادی، ف. ۱۳۸۹. بررسی رشد ونمو وخواص کیفی روغن سالیکورنیا به عنوان یک گیاه شورزیست و متحمل به شوری آب دریا، همایش ملی دستاوردهای نوین در تولید گیاهان با منشاء روغنی، بجنورد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد.
7. Ahmad, S.T., Sima, N.A.K.K. and Mirzaei, H.H. 2012. Effects of sodium chloride on physiological aspects of *Salicornia Persica* growth. *Journal of Plant Nutrition*. 36: 401–414.
8. Akhani, H., Ghobadnejhad, M. and Hashemi, S. 2003. Ecology, biogeography and pollen morphology of *Bienertia cycloptera* Bunge ex Boiss. (*Chenopodiaceae*), an enigmatic C4 plant without Kranz anatomy. *Plant Biology*. 5(2):167-78.
9. Akhani, H. 2007. Diversity, biogeography, and photosynthetic pathways of *Argusia* and *Heliotropium* (*Boraginaceae*) in South West Asia with an analysis of phytogeographical units. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 155(3): 401-25.
10. Benes, S.E., Grattan, S.R. and Robinson, P.H. 2005. Cultivation of halophytes to reduce drainage volumes on the Westside San Joaquin Valley of California. Final report to the California State University Agricultural Research Initiative (ARI). Project #00-1-003. 18 Oct. 2005.
11. Akcin, T.A., Akcin, A. and Yalcin, E. 2017. Anatomical changes induced by salinity stress in *Salicornia freitagii* (*Amaranthaceae*). *Brazilian Journal of Botany*. 40(4): 1013-1018.
12. Fernandez, M.D., Gallardo, M., Bonachela, S., Orgaz, F. and Fereres, E. 2000. Crop coefficient of a pepper crop grown in plastic greenhouses in Almeria, Spain. *ISHS Acta Horticulturae*, 537: III International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops.
13. Flowers, T.J., Hajibagheri, M.A. and Clipson, N.J.W. 1986. Halophytes. *The Quarterly Review of Biology*. 61: 313–337.
14. Flowers, T.J. and Yeo, A.R. 1995. Breeding for salinity resistance in crop plants: where next? *Australian Journal of Plant Physiology*. 22: 875–884.
15. Flowers, T.J. 2004. Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*. 55: 307–319.
16. Flowers, T.J. and Colmer, T.D. 2008. Salinity tolerance of halophytes. *New Phytologists*. 179: 945–963.
17. Flowers, T.J., Galal, H.K. and Bromham, L. 2010. Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. *Functional Plant Biology*. 37: 604–612.
18. Glenn, E., Miyamoto, S., Moore, D. and Brown, P. 1997. Water requirements for cultivating *Salicornia bigelovii* Torr. with seawater on sand in a coastal desert environment. *Journal of Arid Environments*. 36(4):711-730.

19. Glenn, E.P., Brown, J.J. and O'Leary, J.W. 1998. Irrigating crops with seawater. *Scientific American*. 279: 76–81.
20. Glenn, E.P., Brown, J.J. and Blumwald, E. 1999. Salt tolerance and crop potential of halophytes. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 18: 227–255.
21. Grattan, S.R., Benes, S.E., Peters, D.W. and Diaz, F. 2008. Feasibility of irrigating pickleweed (*Salicornia bigelovii* Torr.) with hyper-saline drainage water. *Journal of Environment Quality*. 37: 149–156.
22. Orlovsky, N., Japakova, U., Zhang, H. and Volis, S. 2016. Effect of salinity on seed germination, growth and ion content in dimorphic seeds of *Salicornia europaea* L. (*Chenopodiaceae*). *Plant Diversity*. 38: 183-189.
23. Olson, M.E., Gaskin, J.F. and Ghahremani-Nejad, F. 2003. Stem anatomy is congruent with molecular phylogenies placing *Hypericopsis persica* in *Frankenia* (*Frankeniaceae*): comments on vasicentric tracheids. *Taxon*. 525-532.
24. Rozema, J. and Schat, H. 2013. Salt tolerance of halophytes, research questions reviewed in the perspective of saline agriculture. *Environmental and Experimental Botany*. 92: 83–95.
25. Singh, D., Buhmann, A. K., Flowers, T. J., Seal, C. E. and Papenbrock, J., 2014. *Salicornia* as a crop plant in temperate regions: selection of genetically characterized ecotypes and optimization of their cultivation conditions. *Journal of AoB Plants*. 6: 1-20.
26. Singh, A., Sharma, S. and Shah, M.T. 2018. Successful Cultivation of *Salicornia brachiata* – A Sea Asparagus Utilizing RO Reject Water: A Sustainable Solution. *International Journal of Waste Resources*. 8(1): 1-5.
27. Souza, M.M., Mendes, C.R., Doncato, K.B., Badiale-Furlong, E. and Costa, C.S.B. 2018. Growth, Phenolics, Photosynthetic Pigments, and Antioxidant Response of Two New Genotypes of Sea Asparagus (*Salicornia neei* Lag.) to Salinity under Greenhouse and Field Conditions. *Agriculture*. 8(7): 115-133.
28. Ventura, Y., Wuddineh, W.A., Myrzabayeva, M., Alikulov, Z., Khozin-Goldberg, I., Shpigel, M., Samocha, T.M. and Sagi, M. 2011a. Effect of seawater concentration on the productivity and nutritional value of annual *Salicornia* and perennial *Sarcocornia* halophytes as leafy vegetable crops. *Scientia Horticulturae*. 128: 189–196.
29. Ventura, Y., Wuddineh, W.A., Shpigel, M., Samocha, T.M., Klim, B.C., Cohen, S., Shemer, Z., Santos, R. and Sagi, M. 2011b. Effects of day length on flowering and yield production of *Salicornia* and *Sarcocornia* species. *Scientia Horticulturae*. 130: 510–516.
30. Ventura, Y. and Sagi, M. 2013. Halophyte crop cultivation: The case for *Salicornia* and *Sarcocornia*. *Environmental and Experimental Botany*. 92: 144-153.

تأثیر غلظت‌های مختلف سلیوم بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بالنگوی شهری در رژیم‌های مختلف آبیاری

معصومه عامریان^۱، علی‌رضا زبرجدی و جوانه‌السادات محرابی

استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

Masoomehamerian@yahoo.com

دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

zebarjadiali@yahoo.com

کارشناس تولیدات گیاهی-گیاهان دارویی و معطر، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع

طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

j.mehrabi2017@yahoo.com

دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۹ و پذیرش: مهر ۱۳۹۹

چکیده

خشکی یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های تولید کشاورزی در سراسر جهان است. سلیوم از طریق افزایش میزان ترکیبات و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نقش مهمی در تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی دارد. به‌منظور بررسی اثر سلیوم بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بالنگوی شهری تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه اجرا گردید. فاکتور اول شامل سطوح مختلف تنش خشکی (۰، ۷۵٪، ۵۰٪ و ۲۵٪ ظرفیت زراعی) و فاکتور دوم شامل غلظت‌های مختلف سلیوم (صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلمات سدیم) بود. براساس نتایج به‌دست آمده، خشکی اثر منفی بر میزان وزن تر گیاه، وزن تر و خشک برگ، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد بذر بالنگوی شهری داشت. اما، تحت تنش خشکی، محلول‌پاشی سلیوم سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه (۳۲/۲ سانتی‌متر)، میزان پرولین (۰/۹۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و فنول کل (۰/۸۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) شد. با افزایش غلظت سلیوم ویژگی‌های فیزیولوژیکی مورد مطالعه‌ی (محتوی نسبی آب برگ (۶۵/۱۰٪) قند محلول کل (۲/۵۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، پروتئین کل (۰/۲۸۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۰/۲۱٪) برگ بالنگوی شهری افزایش یافت. میزان غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلمات سدیم تأثیر مثبتی بر وزن تر گیاه و عملکرد بیولوژیکی بالنگوی شهری داشت که احتمالاً با نقش آنتی‌اکسیدانی سلیوم همراه است. تحت شرایط تنش خشکی، سلیوم میزان پرولین و فنول کل را افزایش داد که افزایش این اسمولیت‌های سازگار نقش مهمی در تحمل بالنگوی شهری به خشکی داشت.

واژه‌های کلیدی: سلمات سدیم، آنتی‌اکسیدان، تنش خشکی، فنول کل، پرولین

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: کرمانشاه، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی.

مقدمه

بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* L.) گیاهی دارویی و روغنی یکساله، علفی، سرمادوست و زودرس از خانواده نعنائیان (*Labiatae*) می‌باشد که از نواحی قفقاز منشاء گرفته و در مناطق مختلف ایران یافت می‌شود (مصطفوی و جلیلیان، ۱۳۹۸). گیاهی چند منظوره با امکان کشت دیم با قابلیت‌ها و کاربردهای متنوع و فراوان است که تمام قسمت‌های آن (برگ یا دانه) از لحاظ اقتصادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حال حاضر، این گیاه جهت تولید دانه، روغن و موسیلاژ کشت می‌شود که دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشد. روغن بالنگوی شهری دارای کاربردهای غذایی، روشنایی، روغن جلا، روغن نقاشی، روغن گریس است و نیز در درمان بیماری‌های کبد، کلیه و اختلالات عصبی مؤثر است (امان‌زاده، ۲۰۱۱).

گیاهان در طول چرخه‌ی زندگی خود ممکن است با تنش‌های مختلف مواجه شوند که تنش کم آبی یکی از مهم‌ترین آن‌ها است. تنش کم آبی مهم‌ترین دلیل کاهش تولید و عملکرد تا ۵۰٪ در محصولات مختلف سراسر جهان است (دپاک و همکاران، ۲۰۱۹). در تنش کم آبی کمبود آب در بافت گیاه رخ می‌دهد که کاهش محتوی آب، تقلیل پتانسیل آب برگ و افت فشار تورگر، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش رشد سلول‌ها را در پی دارد و در تنش‌های شدید ممکن است به توقف فرآیند فتوسنتز، تخریب متابولیسم و در نهایت مرگ گیاه منجر شود (جلیل و همکاران، ۲۰۰۸). به‌طور کلی، تنش کم آبی باعث تولید بیش از حد گونه‌های اکسیژن واکنش پذیر (*ROS*) می‌شود که غالباً در فرایند فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای اختلال ایجاد می‌کند. تجمع گونه‌های اکسیژن واکنش پذیر تنش اکسیداتیو را در پی دارد که می‌تواند منجر به شرايطی شود که در آن تولید بیش از ظرفیت سلول‌ها برای از بین بردن این اکسیدان‌ها باشد (جنگارمن و همکاران، ۲۰۱۰). تنش اکسیداتیو از طریق اکسیداسیون لیپیدها، *DNA* و رنگیزه‌های فتوسنتزی و نیز غیرفعال

کردن آنزیم‌ها باعث ایجاد اثرات مضر می‌شود (دل‌بونو و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین، در نتیجه‌ی این اثرات رشد و نمو گیاه محدود می‌شود (حسن‌آزمن و همکاران، ۲۰۱۰). سلیوم (*Se*) به‌عنوان یک عنصر کمیاب با عدد اتمی ۳۴ در گروه ششم جدول تناوبی قرار دارد. به‌دلیل تشابه شیمیایی سلیوم به گوگرد، گیاهان سلیوم را از طریق ناقلین گوگرد از خاک جذب می‌کنند (اسپدون و همکاران، ۲۰۰۷). سلیوم به فرم‌های سلنات و سلنیت توسط گیاه جذب می‌شود (استری‌واستوا و همکاران، ۲۰۰۹). میزان انتقال سلیوم به اندام‌های مختلف گیاهی بسته به گونه گیاه، مرحله رشد، دما و رطوبت متفاوت است (اسپدون و همکاران، ۲۰۰۷). سلیوم در غلظت‌های کم برای انسان و حیوانات ضروری است، اما برای گیاهان ضروری شناخته نشده است (مارفی و همکاران، ۲۰۱۴). در نتیجه سلیوم عنصری ضروری و مهم برای انسان و حیوان می‌باشد که باید از طریق رژیم غذایی تأمین گردد. سازمان بهداشت جهانی نیاز روزانه‌ی یک فرد بالغ به سلیوم را حدود ۵۵ میکروگرم سلیوم در روز اعلام کرده است. کمبود سلیوم به‌طور مستقیم روی سلامت انسان تأثیر گذاشته و بیش از ۴۰ نوع بیماری مرتبط با کمبود این عنصر مانند بیماری کشان ۲، سرطان، بیماری‌های قلبی عروقی، بیماری‌های کبدی و آب مروارید گزارش شده است (پشینالی و همکاران، ۲۰۱۷). گیاهان نقش مهمی در انتقال سلیوم از خاک به زنجیره‌ی غذایی انسان دارند. در نتیجه غنی‌سازی زیستی تولیدات کشاورزی با سلیوم، به منظور افزایش کیفیت محصول و کاهش عوارض ناشی از کمبود این عنصر در افراد جامعه ضروری می‌باشد (مستشارنیا و همکاران، ۲۰۲۰). طبق تحقیق انجام شده، محلول‌پاشی تاج درخت در غنی‌سازی زیستی سلیوم در میوه سیب مؤثر بوده و متعاقباً تأثیر معنی‌داری در حفظ کیفیت میوه در طول انبار سرد داشته است (محبی و همکاران، ۱۳۹۸). در گیاه یونجه (*Medicago sativa*) محلول‌پاشی برگی سلیوم منجر به بهبود ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی شد (مستشارنیا و همکاران، ۲۰۱۹). در

گیاهان سلیوم در غلظت‌های پایین خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارد و نیز یک جزء مهم آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز (GSH-PX) است که در شرایط تنش اکسیداتیو از تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن جلوگیری می‌کند و از سلول‌ها در برابر آسیب‌های ناشی از اکسایش محافظت می‌کند. هم‌چنین سلیوم پیری را به تأخیر انداخته و رشد و نمو گیاه را بهبود می‌بخشد (پاسیولا و همکاران، ۲۰۱۱). در حالی‌که در غلظت‌های زیاد به‌عنوان اکسیدان عمل کرده و کاهش رشد و عملکرد گیاه را در پی دارد (سپن و همکاران، ۲۰۱۵ و زانگ و همکاران، ۲۰۲۰). سلیوم اثرات نامطلوب تنش‌ها را کاهش می‌دهد. مکانیسم محافظتی سلیوم از گیاهان تحت شرایط تنش شامل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (پراکسیداز، کاتالاز و ...) و ترکیبات آنتی‌اکسیدان (آنتوسیانین، فلاونوئید، ترکیبات فنلی و ...) است (چو و همکاران، ۲۰۱۰). سلیوم می‌تواند فتوسنتز گیاه را از طریق افزایش راندمان فتوسنتس II (PSII)، افزایش فلورسانس کلروفیل و کاهش تخریب کلروفیل بهبود بخشد (چو و همکاران، ۲۰۱۰). مطالعات نشان می‌دهد که تحت شرایط تنش کم آبی، سلیوم با کاهش آسیب‌های ناشی از تنش اکسیداتیو، افزایش میزان کلروفیل، تنظیم وضعیت آب و تحریک رشد نقش مهمی در گیاهان ایفا می‌کند (احمد و همکاران، ۲۰۱۶). هم‌چنین سلیوم با افزایش راندمان جذب آب از ریشه‌ها و کاهش تلفات آب از بافت‌ها در تنظیم وضعیت آب در گیاهان نقش دارد (کیزنکسو و همکاران، ۲۰۳۳). سلیوم با حفاظت از سیستم غشایی که منجر به رشد طولی ریشه و شاخه می‌شود رشد گیاه را تحریک می‌کند (سان و همکاران، ۲۰۱۰) و نیز از توسعه سیستم ریشه حمایت می‌کند (هارلاک-نواک، ۲۰۰۹). تأثیر مثبت سلیوم در بهبود تحمل تنش کم آبی از طریق انباشت اسمولیت‌های سازگار و فعال‌سازی آنزیم‌ها در جو (حبیبی، ۲۰۱۳)، کلزا (حسن‌آزمن و فوجیتا، ۲۰۱۱) و گندم (ناواز و همکاران، ۲۰۱۳) گزارش شده است.

گیاه بالنگوی شهری در اکثر مناطق به‌صورت دیم و آبی کشت می‌شود و دلیل سازگاری این گیاه به تنش کم آبی ناشی از وجود ژن‌های تحمل به کم آبی می‌باشد (شیخی سنندجی و پیرزاد، ۱۳۹۸). کاهش ارتفاع گیاه و عملکرد بیولوژیک بالنگوی شهری (شیخی سنندجی و پیرزاد، ۱۳۹۸ و مصطفوی و جلیلیان، ۱۳۹۸) در شرایط کشت دیم گزارش شده است. بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در شرایط تنش کم آبی، از وجود سازوکارهای مؤثر و راهکارهای اقتصادی گیاه در جهت کاهش اثرات این تنش دارد. با این حال، بسیاری از گیاهان مهم اقتصادی از طریق مکانیسم‌های داخلی توان مقابله با تنش‌های محیطی را ندارند؛ بنابراین، بشر از طریق برخی علوم زیستی و به‌کار بردن ترکیبات خارجی روی گیاه، آن‌ها را در مقابله با این شرایط همراهی می‌کند. این ترکیبات شامل اسمولیت‌های آلی، هورمون‌های گیاهی و مواد معدنی هستند؛ بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی میزان تأثیرگذاری غلظت‌های مختلف سلیوم روی گیاه بالنگوی شهری در سطوح مختلف تنش کم آبی و تعیین بهترین غلظت این ماده از طریق بررسی پارامترهای رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌ای تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش کم آبی و سلیوم بر برخی ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی بالنگوی شهری در سال ۱۳۹۷ انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل تنش کم آبی در چهار سطح تیمار شاهد (بدون تنش کم آبی)، ۲۵٪ (۷۵٪ ظرفیت زراعی)، ۵۰٪ (۵۰٪ ظرفیت زراعی) و ۷۵٪ (تنش کم آبی ۲۵٪ ظرفیت زراعی) (داوری‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴ و مظفری و همکاران، ۱۳۹۵) و محلول‌پاشی برگی سلیوم در سه سطح (صفر، ۵

رطوبت خاک طبق فرمول زیر محاسبه شد (اسکانفلد و همکاران، ۱۹۸۸).

$$FC = \frac{FCW - DW}{DW} \times 100 \quad (۱)$$

FC = ظرفیت زراعی، FCW = وزن خاک در ظرفیت زراعی، DW = وزن خاک خشک شده در آن است.

برای اعمال سطوح مختلف تنش از روش وزنی استفاده گردید. بدین صورت که بعد از محاسبه ظرفیت زراعی سایر سطوح تنش به صورت درصدی از رطوبت زراعی در نظر گرفته شد و مقدار کاهش رطوبت تا رسیدن به مقدار رطوبت مدنظر بر حسب گرم آب محاسبه و به گلدان‌ها اضافه گردید. برای هر یک از سطوح تنش رطوبتی وزن نهایی گلدان در سطح تنش مذکور محاسبه شد و جهت رسیدن وزن گلدان به مقدار مدنظر به آن آب اضافه شد و پس از رسیدن به سطح تنش مربوطه در همان روز در سطح آن تنش حفظ گردید. توزین و محاسبه میزان رطوبت مورد نظر در طول مدت تنش روزانه محاسبه گردید (اردلانی و همکاران، ۱۳۹۴).

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

به منظور تعیین میزان نسبی آب برگ از هر تیمار پنج برگ به طور تصادفی انتخاب شد و در کیسه پلاستیکی قرار گرفت و بلافاصله جهت اندازه‌گیری رطوبت به آزمایشگاه انتقال یافت. در فاصله انتقال به آزمایشگاه نمونه‌ها در فلاسک یخ قرار گرفت. در آزمایشگاه پس از پانچ کردن برگ‌ها وزن تازه آن‌ها تعیین و سپس قطعات پانچ شده به مدت ۱۸-۱۶ ساعت در درجه حرارت اتاق (۲۰-۱۸ سلسیوس) و در تاریکی قرار گرفت و متعاقب آن وزن آماس پس از حذف رطوبت سطح نمونه‌ها با قرار دادن آن‌ها در بین کاغذ خشک کن، تعیین گردید. وزن خشک نیز پس از قرار گرفتن نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ سلسیوس تعیین شد و در نهایت محتوای آب نسبی برگ‌ها از رابطه‌ی زیر به دست آمد (اسکانفلد و همکاران، ۱۹۸۸).

$$RWC\% = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100 \quad (۲)$$

و ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم) بود. نمک سانات سدیم با فرمول Na_2O_4Se از شرکت اینترنتی تماد کالا (با برند سیگما) خریداری شد. در مرحله‌ی هشت برگی (یک ماه پس از کشت بذر) تنش کم آبی اعمال گردید. محلول پاشی برگ‌ی سلنیوم در دو مرحله انجام شد، مرحله اول در زمان شروع تنش و مرحله‌ی دوم با فاصله زمانی دو هفته‌ای بعد از محلول پاشی مرحله اول صورت گرفت (آزاد و همکاران، ۱۳۹۷). در طول دوره آزمایش دمای روز بین ۲۵-۲۳ سلسیوس و دمای شب بین ۲۱-۲۰ سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۰-۷۰ درصد بود. بذر گیاه دارویی بالنگو از توده‌های بومی شهرستان سنقر و کلیایی استان کرمانشاه جمع‌آوری شد. بذور در گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۲۰ سانتی متر و طول ۱۸ سانتی متر حاوی ترکیب کود حیوانی، ماسه و خاک به نسبت ۱:۱:۳ کشت گردیدند. در مرحله‌ی چهار برگی گیاهچه‌های ضعیف حذف و در هر گلدان فقط سه بوته تا انتهای آزمایش حفظ شدند (آزاد و همکاران، ۱۳۹۷). تنش کم آبی تا مرحله‌ی تشکیل بذر ادامه یافت و برخی از صفات مورفولوژیکی (ارتفاع گیاه، وزن تر گیاه، وزن تر و خشک برگ) و فیزیولوژیکی برگ بالنگوی شهری اندازه‌گیری شدند.

به منظور اعمال تیمارهای رطوبتی، گلدان‌ها به صورت یکسان با ترکیب خاکی مورد نظر پر شدند. تعدادی از گلدان‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب قرار گرفتند تا به ظرفیت زراعی برسند و تمامی خلل و فرج آن‌ها به وسیله‌ی آب پر شود. سپس گلدان‌ها از آب خارج شده و به منظور ممانعت از تبخیر رطوبت گلدان‌ها، سطح فوقانی آن‌ها با فویل آلومینیومی پوشانده شد. گلدان‌ها به مدت ۴۸ ساعت روی سطوح مشبک جهت زهکشی و رسیدن به ظرفیت مزرعه قرار داده شدند. سپس بلافاصله گلدان‌ها وزن شدند و خاک آن‌ها جهت خشک شدن کامل در دمای ۱۰۵ سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت در آن قرار داده شدند. در نهایت وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد.

FW : وزن تر، DW : وزن خشک و TW : وزن آماس می‌باشند.

(مدل کری ۱۰۰، واریان، امریکا) اندازه‌گیری شد (ایرگون و همکاران، ۱۹۹۲).

استخراج عصاره جهت اندازه‌گیری پرولین و قندهای محلول کل

نیم‌گرم از بافت برگ به همراه نیتروژن مایع در داخل هاون چینی سائیده و له گردید. سپس بلافاصله به آن پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۵٪ اضافه و به شدت تکان داده شد. قسمت بالایی محلول حاصل جدا و رسوبات آن دو بار با پنج میلی‌لیتر اتانول ۷۰٪ شسته شد و فاز بالایی آن-ها به قسمت رویی که قبلاً برداشت شده بود، اضافه گردید. محلول به‌دست آمده به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتیفریژ شد. پس از جدا شدن فاز مایع و جامد، قسمت مایع در داخل یخچال با دمای چهار سیلیسوس نگه‌داری گردید.

قندهای محلول کل

برای اندازه‌گیری کل قندهای محلول، ۰/۱ میلی-لیتر از عصاره الکلی با ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه شده (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون + ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲٪) واکنش داده شد، سپس به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شد. در این هنگام ماده رنگی تشکیل گردید و استانداردهایی از گلوکز از غلظت صفر تا ۰/۱ میکرومول بر میلی‌لیتر تهیه شد و در نهایت میزان جذب نور محلول‌های استاندارد و نمونه‌ها با اسپکتوفتومتر (مدل کری ۱۰۰، واریان، امریکا) در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت گردید (پیون و لاجسرو، ۱۹۷۹).

میزان پرولین

برای تعیین غلظت پرولین، یک میلی‌لیتر از عصاره الکلی فوق‌الذکر با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق شد و پنج میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین به آن اضافه گردید. ترکیب معرف نین‌هیدرین برای هر نمونه شامل ۰/۱۲۵ گرم نین‌هیدرین + دو میلی‌لیتر اسید فسفریک شش مولار + سه میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال بود. پس از افزودن معرف نین‌هیدرین، پنج میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن افزوده شد و مخلوط حاصله پس از به‌هم زدن به مدت ۴۵ دقیقه در حمام آب جوش ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد. پس از خارج کردن نمونه‌ها از حمام آب جوش و خنک شدن آن‌ها ۱۰ میلی‌لیتر بنزن به هر کدام از نمونه-ها اضافه و به شدت تکان داده شدند تا پرولین وارد فاز بنزن گردید. نمونه‌ها سپس به مدت ۳۰ دقیقه به حال سکون رها شدند. محلول‌های استاندارد از پرولین به غلظت‌های صفر تا ۰/۱ میکرومول بر میلی‌لیتر تهیه گردید و در نهایت میزان جذب نور محلول‌های استاندارد و نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر

پروتئین محلول

برای تعیین میزان پروتئین‌های محلول از روش برادفورد (۱۹۷۶) استفاده گردید. بدین منظور مقدار نیم گرم برگ تازه با ۶/۲۵ میلی‌لیتر محلول بافر استخراج مخلوط و به مدت ۲۴ ساعت نگه‌داری شد. برای تهیه یک لیتر محلول بافر استخراج، ۱۲۱/۴ گرم تریس در یک لیتر آب مقطر حل گردید و اسیدیته محلول توسط اسیدکلریدریک نرمال به ۶/۸ تغییر داده شد تا محلول بافر مورد نظر به‌دست آمد. پس از سپری شدن مدت مذکور، برگ‌های داخل هاون کاملاً ساییده شدند و سپس در دور ۶۰۰۰ و به مدت ۲۰ دقیقه سانتیفریژ شدند. سپس مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول بالایی سانتیفریژ شده توسط سمپلر برداشته و به آن ۵ میلی‌لیتر معرف بیورد اضافه گردید. برای تهیه معرف، ۱۰۰ میلی‌گرم کوماسی بریلیانت بلو جی-۲۵۰ با ۵۰ میلی‌لیتر اتانول خالص، مخلوط گردید و سپس با آب مقطر به حجم تقریبی ۸۰۰ میلی‌لیتر رسانده و از صافی عبور داده شد. نهایتاً حجم محلول صاف شده با ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک خالص و آب مقطر به ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل به

ظرفیت آنتی اکسیدانی

ظرفیت آنتی اکسیدانی برگ بالنگوی شهری به روش *DPPH* اندازه‌گیری شد. در این روش فعالیت خنثی‌کنندگی رادیکال دو و دو دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل توسط عصاره‌ی متانولی با روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۵۱۵ نانومتر تعیین شد که از قانون لامبرت پیروی می‌کند و کاهش جذب آن با میزان ماده آنتی اکسیدانی رابطه خطی دارد. هر چه بر مقدار ماده آنتی اکسیدانی افزوده شود، *DPPH* بیشتری مصرف شده و رنگ بنفش بیشتر به سمت زرد میل می‌کند. *DPPH* ترکیبی است بنفش رنگ که به دلیل حضور گروه‌های فنیل در ساختارش به راحتی به صورت رادیکال در آمده و در واقع منبع رادیکال آزاد می‌باشد. این ترکیب با گرفتن یک الکترون از ترکیب آنتی اکسیدان، از رنگ بنفش به زرد تغییر رنگ می‌دهد (دآبروسکا و همکاران، ۲۰۰۷). میزان فعالیت خنثی‌کنندگی رادیکال *DPPH* بر اساس فرمول زیر محاسبه شد.

$$DPPH = \frac{AC-AS}{AC} \times 100 \quad (3)$$

در این فرمول *AC* جذب رادیکال *DPPH* بدون هیچ آنتی اکسیدان به عنوان کنترل و *AS* جذب *DPPH* همراه عصاره بوده و از متانول به عنوان بلانک استفاده شد.

تجزیه آماری: تجزیه‌ی داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار *SAS* (۹/۱) انجام گرفت و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P \leq 0.05$) استفاده گردید.

نتایج و بحث

خصوصیات مورفولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های مورفولوژیکی بالنگوی شهری نشان داد که (جدول ۱)، دو فاکتور تنش کم آبی و سلنیوم اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر میزان ارتفاع گیاه، وزن تر گیاه، وزن تر و خشک برگ، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد بذر داشتند. اثر متقابل بین سطوح تنش کم آبی و محلول‌پاشی سلنیوم تنها بر

همراه محلول بافر استخراج در دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل کری ۱۰۰، واریان، امریکا) قرار داده شد و در طول موج ۵۹۵ نانومتر میزان جذب آن قرائت گردید. برای تهیه محلول استاندارد، مقدار ۱۰۰ میلی گرم آلبومین گاوی در یک میلی لیتر بافر استخراج حل گردید و سپس توسط آب مقطر به حجم ۱۰۰۰ میلی لیتر رسانده شد. سپس از محلول مقادیر ۱۰ تا ۹۰ پی پی ام استاندارد تهیه و میزان جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج مذکور قرائت شد.

تهیه عصاره‌ی متانولی برای سنجش فنول کل و فعالیت آنتی اکسیدانی

به منظور تهیه‌ی عصاره‌ی متانولی نیم گرم بافت تازه‌ی برگ داخل هاون چینی و در حضور سه میلی لیتر متانول ۸۵٪ به خوبی له و سپس صاف گردید. از این عصاره متانولی جهت اندازه‌گیری فنول کل و فعالیت آنتی-اکسیدانی استفاده شد.

فنول کل

میزان فنول کل با استفاده از معرف فولین-سیوکالتو تعیین شد (سینگلتون و روسی، ۱۹۶۵). در این روش ۳۰۰ میکرولیتر از عصاره متانولی با ۱۵۰۰ میکرولیتر محلول فولین سیکالته رقیق شده (با نسبت ۱۰:۱ با آب مقطر) مخلوط گردید، پس از هشت دقیقه نگه‌داری در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، ۱۲۰۰ میکرولیتر محلول ۷٪ بیکربنات سدیم به آن اضافه شد. پس از ۹۰ دقیقه تکان دادن روی شیکر با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه در دمای اتاق و در شرایط تاریکی، جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل کری ۱۰۰، واریان، امریکا) قرائت گردید. با استفاده از منحنی استاندارد اسید گالیک، فنول کل به صورت میلی گرم اسید گالیک در گرم وزن تازه محاسبه شد.

ارتفاع گیاه و عملکرد بذر بالنگوی شهری معنی دار شد (جدول ۱).

بر طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱)، تنش کم آبی باعث کاهش ارتفاع بوته گیاه بالنگوی شهری شد. در حالی که با افزایش سطح سلیوم میزان ارتفاع گیاه افزایش نشان داد. بیش‌ترین ارتفاع گیاه در تیمار بدون تنش کم آبی (شاهد) همراه با ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلفات سدیم مشاهده شد. کم‌ترین میزان ارتفاع گیاه در تیمار ۷۵٪ تنش کم آبی همراه با صفر میلی گرم بر لیتر سلفات سدیم بود. طبق نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بین دو فاکتور (شکل ۱)، در تیمارهای بدون تنش کم آبی (شاهد) و ۲۵٪ تنش کم آبی با افزایش سطح سلیوم میزان ارتفاع گیاه افزایش یافت. در تیمار ۵۰٪ تنش کم آبی نیز با افزایش سطح سلیوم ارتفاع گیاه افزایش نشان داد البته تفاوت معنی داری بین سطوح سلیوم مشاهده نشد. در تیمار ۷۵٪ تنش کم آبی نیز با افزایش میزان سلیوم میزان ارتفاع گیاه افزایش نشان داد.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲)، تنش کم آبی باعث کاهش وزن تر گیاه، وزن تر و خشک برگ شد. بیش‌ترین میزان وزن تر گیاه، وزن تر و خشک برگ در تیمار بدون تنش کم آبی (شاهد) بود. کم‌ترین

میزان وزن تر گیاه، وزن تر و خشک برگ در ۷۵٪ تنش کم آبی مشاهده شد. طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲)، با افزایش سطح سلیوم میزان وزن تر گیاه، وزن تر و خشک برگ افزایش نشان داد. بیش‌ترین و کم‌ترین وزن تر گیاه، وزن تر و خشک برگ به ترتیب در تیمارهای ۱۰ و صفر میلی گرم بر لیتر سلفات سدیم بود.

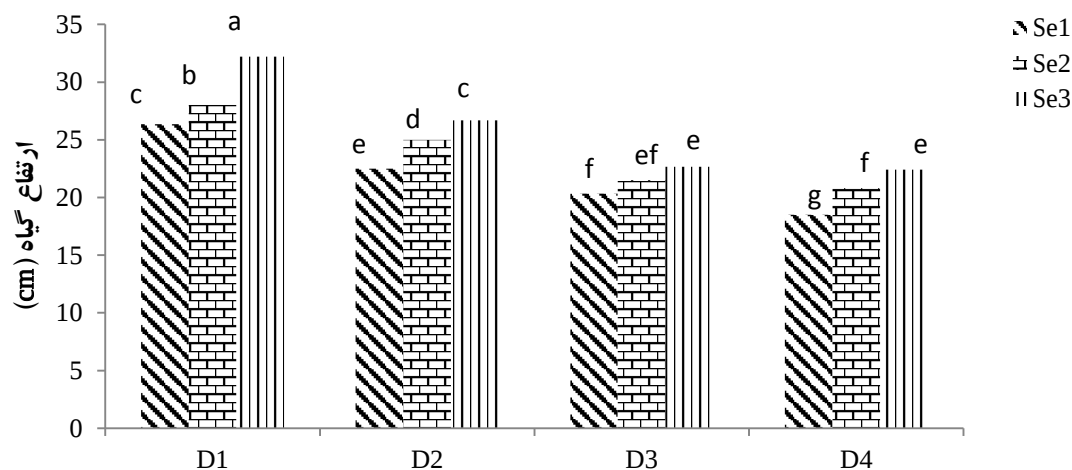
با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲)، تنش کم آبی تأثیر منفی بر میزان عملکرد بیولوژیکی داشت. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان عملکرد بیولوژیکی گیاه بالنگوی شهری به ترتیب در تیمارهای بدون تنش کم آبی و ۷۵٪ تنش کم آبی مشاهده شد. در حالی که با افزایش غلظت سلیوم میزان عملکرد بیولوژیکی نسبت به شاهد افزایش یافت.

با توجه به نتایج به دست آمده (شکل ۲)، کم‌ترین میزان عملکرد بذر در تیمار ۷۵٪ تنش کم آبی همراه با صفر میلی گرم بر لیتر سلفات سدیم مشاهده شد. بیش‌ترین میزان عملکرد بذر در در تیمار بدون تنش کم آبی (شاهد) همراه با ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلفات سدیم بود. در هر چهار تیمار تنش کم آبی با افزایش غلظت سلیوم (صفر تا ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلفات سدیم) عملکرد بذر افزایش نشان داد (شکل ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف تنش کم آبی، سلیوم و اثر متقابل بین دو فاکتور بر ویژگی‌های مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده بالنگوی شهری

میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	وزن تر گیاه	وزن تر برگ	وزن خشک برگ	عملکرد بیولوژیکی
تنش کم آبی	۳	۱۲۶/۶۹**	۲۷/۳۲**	۱۳/۴۶**	۰/۰۱۳۵**	۲۷۷/۱۵**
سلنات سدیم	۲	۴۹/۶۷**	۱۶/۱۰**	۱۳/۰۲۰**	۰/۱۱۹۰**	۱۶۳/۳۰**
تنش کم آبی × سلنات سدیم	۶	۲/۱۳**	۰/۳۰۰ ^{ns}	۰/۲۰۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۴۷ ^{ns}	۳/۰۵ ^{ns}
اشتباه آزمایشی	۲۴	۰/۵۱۱	۰/۱۹۳	۰/۰۸۳	۰/۰۰۰۲۴	۱/۹۵
ضریب تغییرات	–	۲/۹۸	۹/۶۲	۱۱/۱۲	۵/۷۵	۹/۶۲

^{ns}، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد



سطوح مختلف تنش کم آبی (%)

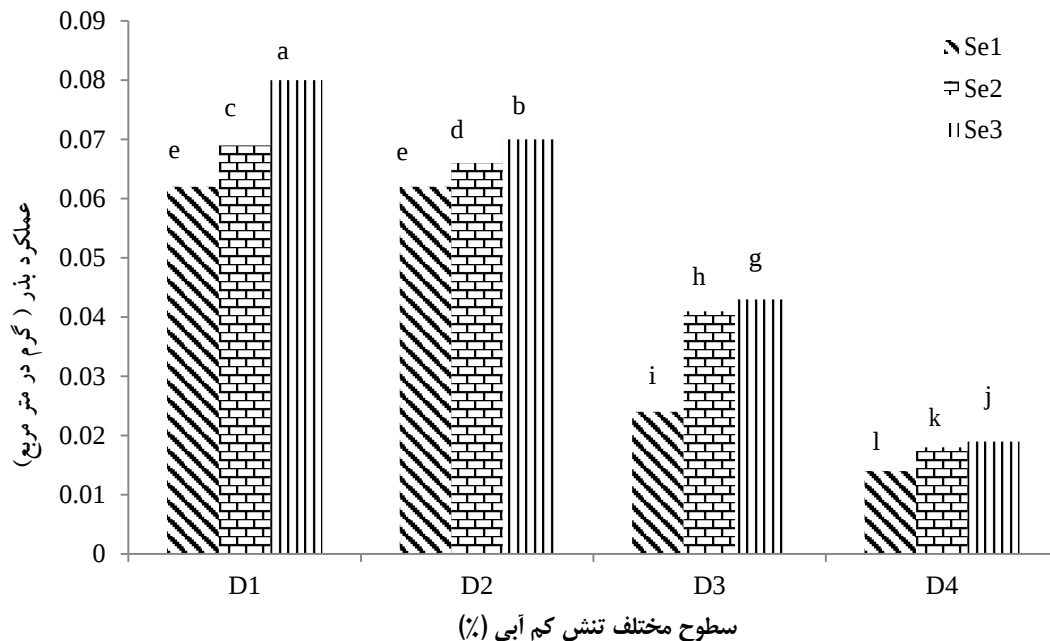
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل بین تنش کم آبی و سلنات سدیم بر ارتفاع گیاه بالنگوی شهری

D_1 , D_2 , D_3 و D_4 به ترتیب: بدون تنش کم آبی، ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ تنش کم آبی و Se_1 , Se_2 و Se_3 به ترتیب: صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش کم آبی و سلفات سدیم بر ویژگی‌های مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده بالنگوی شهری

تیماها	وزن تر گیاه (g)	وزن تر برگ (g)	وزن خشک برگ (g)	عملکرد بیولوژیکی ($g\ m^2$)
تنش کم آبی (%)				
بدون تنش کم آبی	۶/۸۳ ^a	۴/۲۶ ^a	۰/۳۱۸ ^a	۲۱/۷۶ ^a
%۲۵	۴/۷۶ ^b	۲/۵۶ ^b	۰/۲۸۰ ^b	۱۵/۱۸ ^b
%۵۰	۴/۰۰ ^c	۲/۱۶ ^c	۰/۲۶۴ ^c	۱۲/۷۳ ^c
%۷۵	۲/۶۶ ^d	۱/۳۶ ^d	۰/۲۲۴ ^d	۸/۴۹ ^d
سلفات سدیم (میلی گرم بر لیتر)				
صفر	۳/۴۰ ^c	۱/۵۵ ^c	۰/۱۷۱ ^c	۱۰/۸۵ ^c
۵	۴/۵۶ ^b	۲/۵۹ ^b	۰/۲۷۳ ^b	۱۴/۵۴ ^b
۱۰	۵/۷۳ ^a	۳/۶۳ ^a	۰/۳۷۰ ^a	۱۸/۲۳ ^a

در هر ترکیب تیماری حروف مشابه عدم اختلاف معنی‌دار و حروف غیرمشابه اختلاف معنی‌دار را در سطح احتمال پنج درصد نشان می‌دهد (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)
 D_1, D_2, D_3 و D_4 به ترتیب: بدون تنش کم آبی، %۲۵، %۵۰ و %۷۵ تنش کم آبی و Se_1, Se_2 و Se_3 به ترتیب: صفر، ۵ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلفات سدیم



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل بین تنش کم آبی و سلنات سدیم بر عملکرد بذر گیاه بالنگوی شهری
 D_1, D_2, D_3 و D_4 به ترتیب: بدون تنش کم آبی، ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ تنش کم آبی و Se_1, Se_2 و Se_3 به ترتیب: صفر، ۵ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم

تحمل به تنش (مانند متابولیسم آنتی اکسیدان‌ها و متابولیت‌های ثانویه) کنترل می‌کند (الکلش و همکاران، ۲۰۱۹). برخلاف سلیوم، کاهش وزن تر برگ و گیاه تحت تنش کم آبی کاهش میزان عملکرد بیولوژیک را در پی داشت (جدول ۲) که توسط ناواز و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش شده است. تحقیقات نشان داده است که تنش اکسیداتیو در شرایط کمبود آب با تأثیر بر ترکیبات سلولی مانند کربوهیدرات‌ها، اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها باعث کاهش رشد گیاه، تنفس و فتوسنتز می‌شود (همتی و همکاران، ۲۰۱۹). در تحقیق حاضر نیز تنش کم آبی باعث کاهش رشد رویشی و عملکرد بذر شد که این می‌تواند به معنی سازگاری بالای این گیاه به شرایط تنش رطوبتی باشد. تحت شرایط تنش کم آبی محلول‌پاشی سلیوم اثر معنی‌داری بر عملکرد بذر کلزا داشت (همتی و همکاران، ۲۰۱۹).

خصوصیات فیزیولوژی بالنگوی شهری

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، تنش کم آبی و سلیوم اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک

با توجه به نتایج به دست آمده، برخلاف تنش کم آبی، سلیوم تأثیر مثبت بر میزان وزن تر گیاه، وزن تر و خشک برگ داشت (جدول ۲). تحریک رشد و افزایش وزن تر و خشک برگ تحت تیمار سلیوم توسط هارتیکینین و همکاران (۲۰۰۰) در چاودار و جناگرامن و همکاران (۲۰۰۵) در سویا نیز گزارش شده است. تنش کم آبی میزان رشد بالنگوی شهری را کاهش داد که مطابق نتایج دائو و همکاران (۲۰۰۸) و یاو و همکاران (۲۰۰۹) بود. در هر سه سطح تنش کم آبی با افزایش میزان سلنات سدیم ارتفاع گیاه افزایش نشان داد (شکل ۱). یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش آماس و در نتیجه کاهش تقسیم و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها است و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم آبی بر روی گیاهان را می‌توان از اندازه کوچک‌تر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد (بت و اسرینواسا-راو، ۲۰۰۵). در حالی که سلیوم با تأثیر مثبت بر سنتز کلروفیل، تثبیت کربن، سنتز و هیدرولیز نشاسته و تحریک تقسیم سلولی در سلول‌های مرستمی می‌تواند از کاهش اندازه برگ و ارتفاع گیاه جلوگیری کند (صفارزاده و همکاران، ۲۰۱۲). سلیوم رشد گیاه را از طریق تنظیم و تقویت مکانیسم‌های

لیتر سلنات سدیم نداشت. کمترین میزان فنول کل در تیمار بدون تنش و صفر میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم بود که تفاوت معنی داری با تیمارهای ۰.۲۵٪، ۰.۵۰٪ و ۰.۷۵٪ تنش کم آبی همراه با صفر میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم نداشت. با توجه به نتایج اثر متقابل بین تنش کم آبی و سلنیوم در هر چهار سطح تنش کم آبی با افزایش غلظت سلنیوم میزان فنول کل برگ افزایش نشان داد (شکل ۴). در تیمار شاهد تفاوت معنی داری بین سطوح صفر و ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم وجود داشت. در تیمارهای ۰.۲۵٪، ۰.۵۰٪ و ۰.۷۵٪ تنش کم آبی بیشترین و کمترین میزان فنول کل به ترتیب در تیمارهای ۱۰ و صفر میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم بود.

درصد بر میزان پرولین، قند محلول کل، پروتئین کل، فنول کل، ظرفیت آنتی اکسیدانی و محتوای آب برگ بالنگوی شهری داشتند. اثر متقابل بین تنش کم آبی و سلنیوم بر میزان پرولین (در سطح احتمال پنج درصد) و فنول کل (در سطح احتمال یک درصد) معنی دار بود (جدول ۳). طبق نتایج مقایسه میانگین ها (جدول ۴)، با افزایش سطح تنش کم آبی میزان قند محلول کل نسبت به شاهد افزایش نشان داد. در حالی که تنش کم آبی تأثیر منفی بر میزان پروتئین کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی داشت و میزان پروتئین کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی در بالاترین سطح تنش (۰.۷۵٪ تنش کم آبی) تفاوت معنی داری با تیمار شاهد داشت. سلنیوم میزان قند محلول کل، پروتئین کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی برگ بالنگوی شهری را افزایش داد. بیشترین و کمترین میزان قند محلول کل، پروتئین کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی برگ بالنگوی شهری به ترتیب در تیمارهای ۱۰ و صفر میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم مشاهده شد. با افزایش سطح سلنیوم محتوای نسبی آب برگ نیز افزایش نشان داد. کمترین میزان محتوای نسبی آب برگ در تیمار صفر میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم بود و بیشترین میزان آن در تیمار ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم مشاهده شد (جدول ۴).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بین تنش کم آبی و سلنیوم بر میزان پرولین برگ بالنگوی شهری (شکل ۳)، در هر چهار سطح تنش کم آبی با افزایش غلظت سلنیوم میزان پرولین برگ افزایش یافت. در حالی که تفاوت معنی داری بین تیمارهای ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم در هر چهار سطح تنش کم آبی مشاهده نشد که می تواند بیانگر نقش بیشتر سلنیوم در افزایش غلظت پرولین باشد.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین ها (شکل ۴)، بیشترین میزان فنول کل برگ (۰/۸۲ میلی گرم بر گرم وزن خشک) در تیمار ۰.۷۵٪ تنش کم آبی همراه با ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم مشاهده شد که تفاوت معنی داری با ۰.۵۰٪ تنش کم آبی همراه با ۱۰ میلی گرم بر

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف تنش کم آبی، سلیوم و اثر متقابل بین دو فاکتور بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده بالنگوی شهری

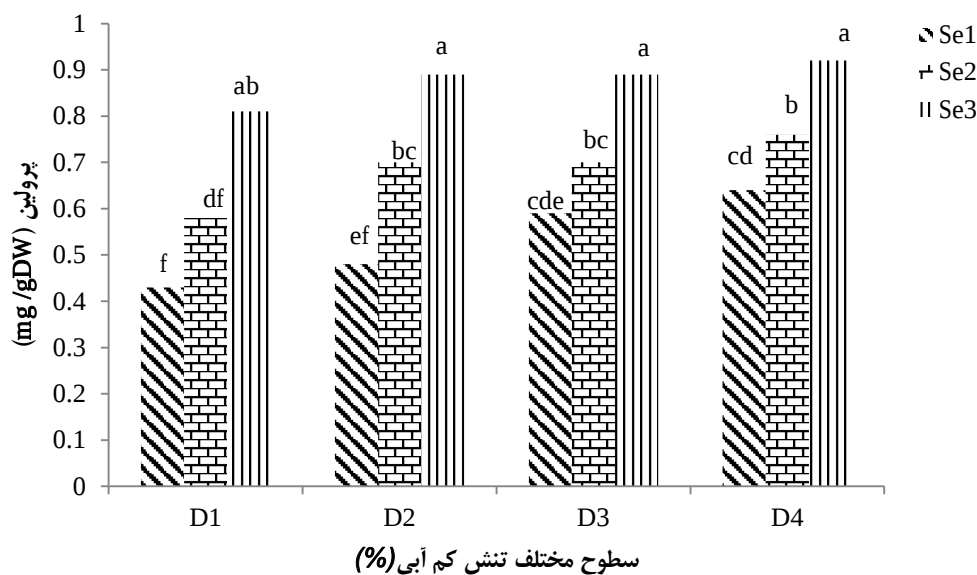
میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	پرولین	قند محلول کل	پروتئین کل	فنول کل	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی
تنش کم آبی	۳	۰/۰۲۳ ^{**}	۰/۲۳۱۸ ^{**}	۰/۰۱۵۸ ^{**}	۰/۱۳۶۰ ^{**}	۰/۰۲۵۶ ^{**}
سلنات‌سدیم	۲	۰/۳۵۲۳ ^{**}	۱۲/۰۰ ^{**}	۰/۱۳۷۶ ^{**}	۰/۶۷۰۶ ^{**}	۰/۰۸۷۳ ^{**}
تنش کم آبی × سلنات‌سدیم	۶	۰/۰۱۴۷ [*]	۰/۰۰۰۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۹۹ ^{ns}	۰/۰۳۴۴۶ ^{**}	۰/۰۰۳۳ ^{ns}
خطا آزمایشی	۲۴	۰/۰۰۴۲۶	۰/۰۳۹۳	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۱۷۲
ضریب تغییرات	–	۹/۲۸	۱۲/۷۵	۲۴/۶۲	۱۸/۸۷	۳۵/۹۰

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

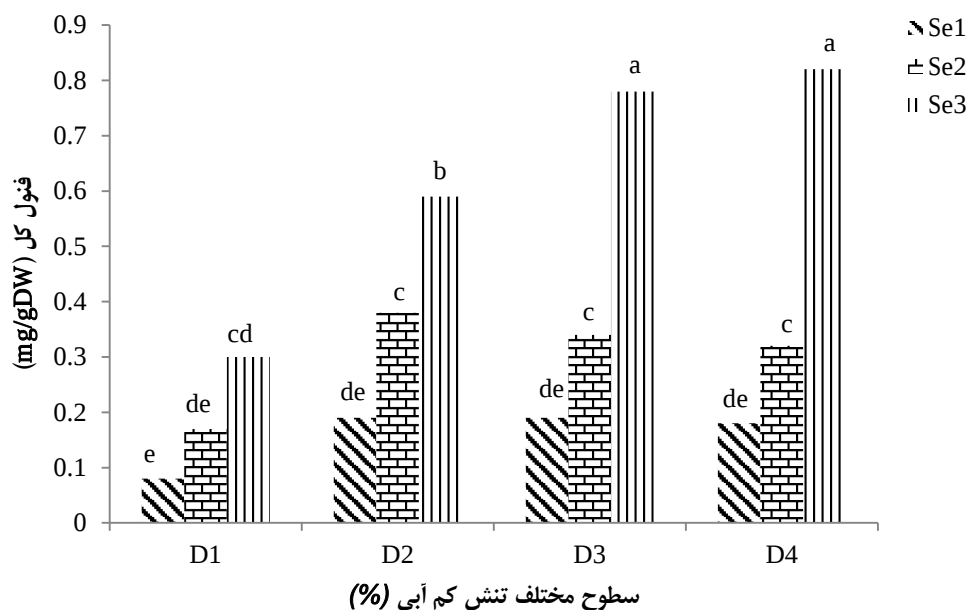
جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش کم آبی و سلنات‌سدیم بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی برگ بالنگوی شهری

تیماها	قند محلول کل (mg/gDW)	پروتئین کل (mg/gDW)	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (%)	محتوای نسبی آب برگ (%)
تنش کم آبی (%)				
بدون تنش کم آبی	۱/۳۸ ^b	۰/۲۳ ^a	۰/۹۰ ^a	۶۵/۲۰ ^a
۲۵٪	۱/۴۵ ^b	۰/۱۹ ^a	۰/۶۵ ^b	۶۴/۴۳ ^b
۵۰٪	۱/۶۶ ^a	۰/۱۷ ^b	۰/۱۸ ^b	۶۲/۹۳ ^c
۷۵٪	۱/۷۱ ^a	۰/۱۳ ^c	۰/۱۱ ^c	۶۲/۸۵ ^c
سلنات‌سدیم (میلی‌گرم بر لیتر)				
صفر	۰/۵۵ ^c	۰/۰۷ ^c	۰/۰۴ ^c	۶۲/۵۴ ^c
۵	۱/۵۵ ^b	۰/۱۸ ^b	۰/۰۸ ^b	۶۳/۹۲ ^b
۱۰	۲/۵۵ ^a	۰/۲۸ ^a	۰/۲۱ ^a	۶۵/۱۰ ^a

در هر ترکیب تیماری حروف مشابه عدم اختلاف معنی‌دار و حروف غیرمشابه اختلاف معنی‌دار را در سطح احتمال پنج درصد نشان می‌دهد (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل بین تنش کم آبی و سلفات سدیم بر پرولین برگ بالنگوی شهری
 D_1 , D_2 , D_3 و D_4 به ترتیب: بدون تنش کم آبی، ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ تنش کم آبی و Se_1 , Se_2 و Se_3 به ترتیب: صفر، ۵ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلفات سدیم



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل بین تنش کم آبی و سلفات سدیم بر فنول کل برگ دانهال بالنگوی شهری
 D_1 , D_2 , D_3 و D_4 به ترتیب: بدون تنش کم آبی، ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ تنش کم آبی و Se_1 , Se_2 و Se_3 به ترتیب: صفر، ۵ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر سلفات سدیم

قرار گیرد (ساجدی و همکاران، ۲۰۱۱). با افزایش سطح سلفات سدیم میزان ظرفیت آنتی اکسیدانی برگ بالنگوی شهری افزایش یافت که بیانگر نقش مثبت سلیوم در غلظت مناسب (۱۰ میلی گرم بر لیتر سلفات سدیم) بر میزان ظرفیت آنتی اکسیدانی است (جدول ۴). تحت تنش کم آبی، محلول پاشی برگ سلیوم به طور معنی داری میزان

وقتی گیاه با تنش های مختلف مواجه می شود فعالیت آنتی اکسیدانی جهت کاهش رادیکال های آزاد که برای رشد گیاه مطلوب نیستند مانند سوپراکسید و پراکسید افزایش می یابد (رحیم زاده و همکاران، ۲۰۰۷)؛ بنابراین، تعیین فعالیت آنتی اکسیدانی می تواند به عنوان یک شاخص مفید برای پاسخ گیاهان به تنش مورد استفاده

پرولین و فنول کل برگ بالنگوی شهری را بهبود بخشید (شکل‌های ۳ و ۴). طبق نتایج به‌دست آمده بیش‌ترین میزان پرولین در هر چهار سطح تنش، در بالاترین غلظت سلیوم (۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم) مشاهده گردید که بیانگر نقش مثبت سلیوم بر میزان سنتز پرولین تحت شرایط تنش کم آبی می‌باشد. در شرایط تنش سلیوم با تعدیل فعالیت γ گلوتامیل کیناز ($GK-\gamma$) و پرولین اکسیداز ($PROX$) بر متابولیسم پرولین تأثیرگذار است و منجر به سنتز بیشتر و تخریب کمتر آن می‌شود (الکلیش و همکاران، ۲۰۱۹). گائو و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که افزایش تجمع پرولین منجر به افزایش راندمان فتوسنتز و تولید ATP می‌شود، در نتیجه راندمان مصرف آب افزایش می‌یابد. افزایش میزان پرولین در محلول‌پاشی سلیوم با افزایش میزان محتوای نسبی آب برگ و میزان قند همراه بود، محتوای نسبی آب برگ کافی از کاهش فتوسنتز و تخریب پروتئین‌ها جلوگیری می‌کند (احیجر و همکاران، ۲۰۱۷). افزایش میزان پروتئین‌های محلول با افزایش غلظت سلیوم می‌تواند به افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز مرتبط باشد (ناواز و همکاران، ۲۰۱۵). در حالی‌که همراه با افزایش سطوح تنش میزان پروتئین محلول برگ بالنگوی شهری کاهش نشان داد (جدول ۴) که با افزایش میزان پرولین در این شرایط قابل توجیه می‌باشد (شکل ۳). با توجه به نتایج به‌دست آمده، غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم تأثیر مثبتی بر وزن تر گیاه و عملکرد بیولوژیکی بالنگوی شهری داشت که احتمالاً با نقش آنتی‌اکسیدانی سلیوم همراه است. تحت شرایط تنش کم آبی، سلیوم میزان پرولین و فنول کل را افزایش داد که

افزایش این اسمولیت‌های سازگار نقش مهمی در تحمل بالنگوی شهری به تنش کم آبی داشت. تنش کم آبی میزان محتوای نسبی آب برگ را کاهش داد (جدول ۴). محتوای نسبی آب برگ به‌عنوان شاخص وضعیت آب در گیاهان، تعادل بین ذخیره‌ی آب به بافت برگ و میزان تعرق را منعکس می‌کند، در نتیجه بین محتوای نسبی آب برگ و کاهش عملکرد نسبی ارتباط معنی‌داری وجود دارد (همتی و همکاران، ۲۰۱۹). در گیاه شبدر سفید (*Trifolium repens*) نقش مثبت سلیوم در افزایش محتوای نسبی آب برگ توسط وانگ (۲۰۱۱) نیز گزارش شده است، در این تحقیق میزان محتوای نسبی آب برگ در گیاهان محلول‌پاشی شده با سلیوم و تحت تیمار تنش کم آبی بیشتر از گیاهان شاهد بود (جدول ۴).

نتیجه‌گیری

مطالعه‌ی حاضر نشان داد که کاربرد سلیوم در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم نقش مؤثری در کاهش اثرات مضر تنش کم آبی بر رشد و صفات بیوشیمیایی بالنگوی شهری داشت. تحت شرایط تنش کم آبی سلیوم ارتفاع گیاه را افزایش داد و متابولیسم اسمولیت‌ها (پرولین و قند محلول کل) و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی (فنول کل) را تنظیم کرد. در نتیجه استفاده از سلیوم در غلظت کم ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی مهم برای بهبود رشد و ویژگی‌های بیوشیمیایی بالنگوی شهری تحت تنش کم آبی باشد.

فهرست منابع

۱. آزاد م، رستمی م، قبولی م و موحدی ز، ۱۳۹۷. برهمکنش تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر صفات فیزیولوژیک بالنگو (*Lallemantia iberica*). مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)، ۲ (۳۱): ۱-۱۳.
۲. اردلانی ش، جلالی هندمند س، قبادی ما و عبدلی م، ۱۳۹۴. اثر تنش خشکی پس از گرده افشانی بر برخی صفات زراعی و فیزیولوژیک مرتبط با قدرت منبع در چهار ژنوتیپ گندم نان. تحقیقات غلات، ۵ (۱): ۴۵-۶۵.
۳. داوری‌نژاد غ ح، شیربانی س و زراعی م، ۱۳۹۴. اثر رژیم‌های کم آبیاری روی برخی از خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی چهار رقم انجیر. نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۹ (۴): ۵۰۱-۵۱۷.
۴. محبی ش، بابالار م، زمانی ذ، عسکری سرچشمه م ع، ۱۳۹۸. تأثیر محلول‌پاشی تاج درخت با سدیم سلنات بر غنی سازی زیستی سلنیوم و حفظ کیفیت میوه سیب 'استارکینگ دلشس' در طول دوره انبارمانی. علوم باغبانی ایران، ۵۰ (۳): ۵۰۱-۵۱۴.
۵. مصطفوی ر و جلیلیان ج، ۱۳۹۸. بررسی تغییرات عملکرد، خصوصیات فیزیولوژیک و کیفیت بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*) تحت تأثیر کودهای شیمیایی، زیستی-آلی و دفعات آبیاری. زراعت دیم ایران، ۱۹ (۱): ۱-۱۹.
۶. مظفری س، خراسانی نژاد س و گرگینی شبانکاره ح، ۱۳۹۵. اثر مقادیر آبیاری بر اساس درصد ظرفیت زراعی و کاربرد اسید هیومیک بر برخی (*Portulaca oleracea L.*) ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه دارویی خرفه. نشریه تولید گیاهان زراعی، ۹ (۳): ۱۷۵-۱۵۳.
۷. شیخی سنندجی د و پیرزاد ع ر. ۱۳۹۸. مطالعه پاسخ اکوفیزیولوژیک بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica L.*) در شرایط دیم به کاربرد خارجی تنظیم کننده‌های اسمزی. بوم شناسی کشاورزی، ۱۱ (۳): ۱۱۰۵-۱۱۲۱.
۸. شیخی سنندجی د و پیرزاد ع ر، ۱۳۹۸. ارزیابی محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و سیلیسیم بر خصوصیات زراعی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بالنگوی شهری در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی. زراعت دیم، ۸ (۱): ۲۱-۴۲.
9. Ahanger MA, Tomar NS, Tittal M, Argal S and Agarwal RM, 2017. Plant growth under water/salt stress: ROS production; antioxidants and significance of added potassium under such conditions. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 23(4): 731-744.
10. Ahmad R, Waraich E A, Nawaz F, Ashraf MY and Khalid M, 2016. Selenium (Se) improves drought tolerance in crop plants—a myth or fact? *Journal of the Science of Food and Agriculture* 96(2): 372-380.
11. Amanzadeh YN, Khosravi Dehaghi AR, Gohari HR, Monsef-Esfehani S.E and Sadat Ebrahimi SE, 2011. Antioxidant activity of essential oil of *Lallemantia iberica* in flowering stage and post-flowering stage. *Tehran University of Medical Sciences. Research Journal of Biological Sciences* 6(3): 114-117.
12. Bhatt RM and Srinivasa-Rao NK, 2005. Influence of pod load on response of okra to water stress. *Indian Journal Plant Physiology* 10: 54-59.
13. Bradford MM, 1976. Rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248-254.
14. Chu J, Yao X and Zhang Z, 2010. Responses of wheat seedlings to exogenous selenium supply under cold stress. *Biol. Biological Trace Element Research* 136: 355-363.
15. D'Abrosca B, Pacifico S, Cefarelli G, Mastellone C and Fiorentino A, 2007. Limoncella apple, an Italian apple cultivar: phenolic and flavonoid contents and antioxidant activity. *Food Chemistry* 104: 1333-1337.

16. Deepak SB, Thakur A, Singh S, Bakshi M and Bansal S, 2019. Changes in crop physiology under drought stress: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 8(4): 1251-1253.
17. Degu HD, Ohta M, and Fujimura T, 2008. Drought tolerance of *Eragrostis tef* and development of roots. *International Journal of Plant Sciences* 169: 768–775.
18. Del Buono D, Ioli G, Nasini L and Proietti P, 2011. A comparative study on the interference of two herbicides in wheat and Italian ryegrass and on their antioxidant activities and detoxification rates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59: 12109–12115.
19. Djanaguiraman M, Prasad PVV and Seppänen M, 2010. Selenium protects sorghum leaves from oxidative damage under high temperature stress by enhancing antioxidant defense system. *Plant Physiology and Biochemistry* 48: 999–1007.
20. Du Y, Zhao Q, Chen L, Yao X, Zhang W, Zhang Band Xie F, 2020. Effect of drought stress on sugar metabolism in leaves and roots of soybean seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry* 146: 1-12.
21. Elkelish AA, Soliman MH, Alhaithloul HA and El-Esawi MA, 2019. Selenium protects wheat seedlings against salt stress-mediated oxidative damage by up-regulating antioxidants and osmolytes metabolism. *Plant Physiology and Biochemistry* 137:144-153.
22. Guo CY, Wang XZ, Chen L, Ma LN and Wang RZ, 2015. Physiological and biochemical responses to saline-alkaline stress in two halophytic grass species with different photosynthetic pathways. *Photosynthetica* 53(1): 128–135.
23. Habibi G, 2013. Effect of drought stress and selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley. *Acta agriculturae Slovenica* 101(1):31–39.
24. Hasanuzzaman M and Fujita M, 2011. Selenium pretreatment up-regulates the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system and confers enhanced tolerance to drought stress in rapeseed seedlings. *Biological Trace Element Research* 143: 1758–1776.
25. Hasanuzzaman M, Hossain MA and Fujita M, 2010. Selenium in higher plants: physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance. *Journal of Plant Sciences* 5: 354–375.
26. Hawrylak-Nowak B, 2009. Beneficial effects of exogenous selenium in cucumber seedlings subjected to salt stress. *Biological Trace Element Research* 132: 259–269.
27. Hemmati M, Delkhosh B, Shirani Rad AH and Noor Mohammadi G, 2019. Effect of the application of foliar selenium on canola cultivars as influenced by different irrigation regimes. *Journal of Aricultural Sciences* 25: 309-318.
28. Irigoyen JJ, Emerrich DW and Sanchez–Díaz M, 1992. Water stress induction changes in concentrations of praline and total sugars in nodulated alfalfa. *Plant Physiology* 84: 55–60.
29. Jaleel CA, Manivannan P, Lakshmanan GMA, Gomathinayagam M and Panneerselvam R, 2008. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. *Colloids Surf. B: Biointerfaces* 61: 298-303.
30. Kuznetsov VV, Kholodova V, Kuznetsov VV and Yagodin B, 2003. Selenium Regulates the Water Status of Plants Exposed to Drought. *Doklady Biological Sciences* 390: 266–268.
31. Moreno-Galvan AE, Cortes-Patino S, Romero-Perdomo F, Uribe-Velez D, Bashan Y and Bonilla RR, 2020. Proline accumulation and glutathione reductase activity induced by drought-tolerant rhizobacteria as potential mechanisms to alleviate drought stress in Guinea grass. *Applied Soil Ecology* 147, 103367.
32. Motesharezadeh B, Ghorbani S and Alikhani HA, 2019. The effect of selenium biofortification in alfalfa (*Medicago sativa*). *Journal of Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1676900>.
33. Motesharezadeh B, Ghorbani S, Alikhani HA, Fatemi R and Ma Q, 2020. Investigation of Different Selenium Sources and Supplying Methods for Selenium Enrichment of Basil vegetable (A Case Study under Calcareous and Non-Calcareous Soil Systems). *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*. DOI: 10.2174/2212798411666200611101032

34. Murphy LA, Reeves PG and Jones SS, 2014. Selenium and quality characteristics expressed in wheat breeding lines. *Food Systemic Journal* 32: 52-63.
35. Nawaz F, Ahmad R, Ashraf MY, Waraich EA and Khan SZ, 2015. Effect of selenium foliar spray on physiological and biochemical processes and chemical constituents of wheat under drought stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 113: 191-200.
36. Nawaz F, Ashraf MY, Ahmad R and Waraich EA, 2013. Selenium (Se) seed priming induced growth and biochemical changes in wheat under water deficit conditions. *Biological Trace Element Research* 151: 284-293.
37. Paciolla C, Leonardis S and Dipierro S, 2011. Effects of selenite and selenate on the antioxidant systems in *Senecio scandens* L. *Plant Biosystemology* 145: 253-259.
38. Paquin R and Lechasseur P, 1979. Observation sur une method de dosage de la proline libre Dans les extrats deplants. *Canadian Journal of Botany* 75: 1851-1854.
39. Rahimizadeh M, Habibi D, Madani H, Mohammadi GN, Mehraban A and Sabet AM, 2007. The effect of micronutrients on antioxidant enzymes metabolism in sunflower (*Helianthus annus* L.) under drought stress. *Helia*, 30(47): 167-174.
40. Safaryazdi A., Lahoti M and ganjali A, 2012. Effect of different concentrations of selenium on plant physiological characteristics of spinach (*Spinacia oleraceae*). *Journal of Horticultural Science* 26(3): 292-300.
41. Sajedi NA, Ardakani MR, Madani H, Naderi A and Miransari M, 2011. The effects of selenium and other micronutrients on the antioxidant activities and yield of corn (*Zea mays* L.) under drought stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 17(3): 215-222.
42. Schonfeld MA, Johnson RC, Carwer BF and Mornhinweg DW, 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Science* 28: 526-531.
43. Seppänen MM, Kontturi J, Madrid J and Hartikainen H, 2015. Agronomic biofortification of wheat with selenium enrichment and its identification in Brassica seeds and meal. *Plant Soil* 340: 501-510.
44. Singleton VL and Rossi JA, 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology Viticulture* 16: 144-153.
45. Spadoni M, Voltaggio M, Carcea M, Coni E, Raggi A and Cubadda F, 2007. Bioaccessible selenium in Italian agricultural soils: comparison of biogeochemical and pedoclimatic variables. *Science of Total Environment* 376: 160-177.
46. Srivastava M, Ma LQ, Rathinasabapathi Band Srivastata P, 2009. Effects of selenium on arsenic uptake in arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. *Bioresource Technology* 100: 1115-1121.
47. Sun HW, Ha J, Liang SX and Kang WJ, 2010. Protective role of selenium on garlic growth under cadmium stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 41: 1195-1204.
48. Wang CQ, 2011. Water-stress mitigation by selenium in *Trifolium repens* L. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 174(2): 276-282.
49. Yao X, Chu J and Wang G, 2009. Effects of selenium on wheat seedlings under drought stress. *Biological Trace Element Research* 130: 283-290.
50. Zhang Z, Gao S and Shan C, 2020. Effects of sodium selenite on the antioxidant capacity and the fruit yield and quality of strawberry under cadmium stress. *Scientia Horticulturae* 260: 108876.

تاثیر سطوح مختلف آبیاری و آب مغناطیسی بر رشد و عملکرد گیاه دارویی نعنا فلفلی

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

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

Saber.jamali@mail.um.ac.ir

استاد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد مشهد ایران.

Ansary@um.ac.ir

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

Abbas.safarizadehsani@mail.um.ac.ir

دریافت: اسفند ۱۳۹۸ و پذیرش: مهر ۱۳۹۹

چکیده

گیاه دارویی نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.) برای اهداف داروسازی و مصارف صنایع غذایی استفاده می‌شود. به دلیل توانایی تولید و ذخیره اسانس، کشت این گیاه از لحاظ اقتصادی دارای اهمیت است. این پژوهش با هدف بررسی اثر تنش‌های آبی و آب مغناطیسی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی نعنا فلفلی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. پژوهش مذکور به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی بر پایه‌ی کشت گلدانی با سه تکرار اجرا گردید. در این پژوهش سطوح آبیاری شامل چهار سطح آبیاری (۰، ۱۰۰٪، ۸۵٪، ۷۰٪ و ۵۵٪ نیاز آبی گیاه) و میدان مغناطیسی شامل سه سطح (صفر، ۰/۳ و ۰/۶ تسلا) بود. نتایج نشان داد که کاهش ۱۵٪، ۳۰٪ و ۴۵٪ میزان آب آبیاری مورد نیاز گیاه منجر به کاهش ۱۱/۲٪، ۱۵/۱٪ و ۳۶/۵٪ وزن تر اندام هوایی شد. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی (۰/۳ تسلا) در شرایط کم آبیاری (۸۵٪، ۷۰٪ و ۵۵٪ نیاز آبی) سبب بهبود عملکرد خشک گیاه به میزان ۱۹/۵٪، ۲۴/۷٪ و ۶۶/۴٪ شد. به طور کلی استفاده از آب مغناطیسی در شرایط تنش آبی منجر به بهبود رشد گیاه شد و نسبت به تیمار شاهد در شرایط کم آبیاری، عملکرد خشک و تر اندام هوایی را در گیاه دارویی نعنا فلفلی بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری فیزیکی آب، تابع تولید، تنش آبی، کم آبیاری، میدان مغناطیسی

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

مقدمه

محدودیت منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک موجب گردیده که آب به عنوان مهم ترین نهاده تولید تلقی شده و به عنوان یکی از مهم ترین فاکتورهای محیطی مؤثر در زندگی گیاهان (که تأثیر عمده ای بر رشد و نمو و مواد مؤثره گیاهان دارویی دارد) به شمار رود، بنابراین انتخاب درست شیوه و زمان آبیاری برای استفاده حداکثر از واحد حجم آب مهم به نظر می رسد (یاسمین و صدیقی^۲، ۲۰۱۸؛ کلونیک^۳ و همکاران، ۲۰۱۶). در این راستا کم آبیاری جایگاه ویژه ای پیدا می کند و بایستی به عنوان یکی از اصول، با توجه به نادر بودن آب مدنظر قرار گیرد. کم آبیاری یک راهکار بهینه برای به عمل آوردن محصولات تحت شرایط کمبود آب است که همراه با کاهش محصول در واحد سطح و افزایش آن با گسترش سطح می باشد. اثرات و نتایج کم آبیاری عبارتند از: افزایش راندمان آبیاری، کاهش هزینه های آبیاری و کاهش هزینه ی آب با صرفه جویی در مصرف آن می باشد. کم آبیاری نوعی مدیریت آبیاری است که در این نوع مدیریت آب مورد نیاز گیاه به طور کامل تأمین نمی گردد و به طور طبیعی عملکرد گیاه در این نوع آبیاری نسبت به آبیاری کامل کمتر خواهد بود (جمالی، ۱۳۹۵).

محققین در پژوهشی بر روی ارقام مختلف گیاه کنجد دریافتند که با اعمال تنش خشکی، قطر، حجم، سطح، وزن تر و خشک ریشه در تمامی ارقام کاهش می یابد (درگاهی و همکاران، ۱۳۹۱). رضایی نژاد و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی اثر سطوح مختلف تنش کم آبی بر روی گیاه شمعدانی معطر، گزارش کردند که با کاهش مقدار آب خاک، ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه های جانبی، عملکرد ماده ی تر و خشک در گلدان و عملکرد اسانس کاهش یافت. در تحقیقی بر روی گیاه دارویی مریم گلی، نتایج گویای این مسئله بود که افزایش تنش خشکی، باعث کاهش میزان تجمع ماده خشک (مجموع وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام هوایی) و غلظت

عناصر پتاسیم، کلسیم، منیزیم، ازت و فسفر می شود، درحالی که غلظت عناصر سدیم، کلر، روی، آهن، مس و قند محلول را افزایش می دهد (سودایی زاده و منصوری، ۱۳۹۳). گرگینی شبانکاره و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقات خود بر روی گیاه دارویی بادرشبو نشان دادند که اعمال تنش خشکی از یک طرف سبب کاهش خصوصیات رشدی و از طرف دیگر سبب افزایش میزان درصد اسانس در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی می شود. محققین در آزمایشی بر روی گیاه دارویی نعنا فلفلی نشان دادند که آبیاری به میزان ۸۵ درصد ظرفیت زراعی نتایج مشابهی با آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بر روی خواص مورفولوژیکی این گیاه دارد. ایشان اظهار داشتند که استفاده از رژیم آبیاری ۴۵ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی بیشترین اثرات کاهش را بر روی این خواص دارد (حداد و همکاران، ۱۳۹۵). چیت ساز و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی با هدف بررسی اثر رژیم های مختلف آبیاری بر روی گیاه نعنا فلفلی نشان دادند که کاهش میزان آب آبیاری منجر به کاهش تعداد شاخه فرعی، تعداد برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و ارتفاع بوته گردید. در پژوهشی دیگر که بر روی گیاه دارویی نعنا فلفلی انجام شده، محققین نشان دادند که کم آبیاری منجر به کاهش ارتفاع، طول میانگره و وزن تر و خشک بوته گردید (گرگینی شبانکاره و خراسانی نژاد، ۱۳۹۶).

همچنین نتایج حاصل از پژوهشی که روی گیاه نخود انجام گرفت نشان داد کاربرد آب مغناطیسی منجر به افزایش ارتفاع این گیاه شده است (ناشیر، ۲۰۰۸). از طرفی پیوندهای هیدروژنی و واندروالسی بین مولکول های آب عبوری از میدان مغناطیسی شکسته شده و در نتیجه کشش سطحی آب کاهش یافته (رن^۴ و همکاران، ۲۰۰۹) و تحرک و آزادی حرکت مولکول های آب و سیالیت آن افزایش می یابد (شکرانی و همکاران، ۱۳۹۰). مجد و شیرنگی^۵ (۲۰۰۹) اظهار کردند که در شرایط استفاده از آب مغناطیسی در آبیاری، سلول های

⁴ Ran

⁵ Majd and Shabrangi

² Yasmeen and Siddiqui

³ Kolenc

پارانشیم و اتافک زیر روزنه بزرگ‌تر از تیمار شاهد بود. ایشان اظهار کردند که میدان مغناطیسی مناسب، باعث تأثیر بر متابولیسم سلول‌های مریستمی، افزایش جذب و آسمیلاسیون عناصر غذایی و بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی می‌شود، همچنین میدان مغناطیسی سبب صعود کاپیلاری در مکانیسم انتقال مواد در بافت‌های زنده می‌شود. نتایج حاصل از تحقیق ایشان نشان داد که آب مغناطیسی بر ارتفاع بوته و قطر ساقه اثر معنی‌داری داشته و تا حدودی اثر منفی تنش خشکی را تقلیل داده است. مغناطیسی کردن آب، پارامترهای رشد، هورمون‌های رشدی و کارایی انتقال مواد غذایی را بهبود می‌بخشد (هزین و عبدالقدوس^۶، ۲۰۱۰ الف). در پژوهشی مشخص شده که تیمار گیاهان با آب مغناطیسی هورمون سیتوکینین را افزایش می‌دهد که این هورمون نیز به نوبه خود منجر به تقسیم سلولی و رشد ساقه می‌شود (هزین و عبدالقدوس، ۲۰۱۰ ب). آب عبوری از میدان مغناطیسی منجر به ترکیب برخی از یون‌های فعال و تشکیل ذرات ریز کلونیدی شده که به تبع آن هدایت الکتریکی آب نیز کاهش می‌یابد. کاهش هدایت الکتریکی آب، کاهش فشار اسمزی را نیز به دنبال داشته و جذب آب در این شرایط توسط ریشه راحت‌تر انجام می‌شود (نیکبخت و همکاران، ۱۳۹۰). بانژاد و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی بر روی گیاه ریحان نشان دادند که استفاده از آب مقطر مغناطیس شده در مقایسه با آب مقطر وزن تر و خشک کل را به ترتیب به میزان ۳۳ و ۲۳ درصد افزایش داد. نتایج پژوهش صادقی‌پور و آقای (۱۳۹۳) نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد ماش گردید، ایشان بیان کردند که آبیاری با آب مغناطیسی از طریق بهبود شرایط رشد گیاه باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ماش تحت هر دو شرایط وجود و عدم وجود تنش خشکی شد. در پژوهشی که بر روی گیاه دارویی استویا انجام شد نتایج حاصل نشان می‌دهد که استفاده از آب مغناطیسی منجر به افزایش وزن تر و برگ گیاه گردیده است (احمدی و

همکاران، ۱۳۹۳). در پژوهشی دیگر نیز که روی گیاه پروانش انجام گرفته است، استفاده از آب مغناطیسی منجر به افزایش ارتفاع، تعداد شاخه و وزن تر بوته نسبت به حالت شاهد گردید (هاشم آبادی، ۱۳۹۴). قدمی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۹۵) بیان کردند که مقدار عملکرد دانه، بیوماس و ارتفاع گیاه سویا در تیمار آب مغناطیسی شده بیشتر از آب معمولی است. در پژوهش نیرپور دیزج (۱۳۹۶) بر روی گیاه دارویی مرزه نتایج نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی در آبیاری این گیاه سبب افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی و ارتفاع گیاه نسبت به آبیاری این گیاه با آب معمولی شده است. ضرابی و همکاران (۱۳۹۶) آزمایشی را به منظور بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری و میدان مغناطیسی بر روی گیاه ذرت انجام دادند.

با توجه به خشکسالی‌هایی که اخیراً اتفاق افتاده و محدودیتی که در منابع آب شیرین کشور وجود دارد، نیاز به تکنیک‌هایی نظیر کم‌آبیاری برای استفاده حداکثری از آب در دسترس می‌باشد. از آنجایی که گیاه دارویی نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.) جهت اهداف داروسازی و مصارف صنایع غذایی استفاده می‌شود، کشت این گیاه از لحاظ اقتصادی به دلیل توانایی تولید و ذخیره اسانس دارای اهمیت می‌باشد. از این رو پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر سطوح مختلف آب مغناطیسی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی نعنا فلفلی (که دارای خواص دارویی بسیار ارزشمندی است) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

در سال ۹۸-۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (با دمای محیط حدود ۲۴ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۸ درجه سانتی‌گراد در شب با رطوبت نسبی حدود ۷۵ درصد (جدول ۱)) با موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی، ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۹۵۸ متر ارتفاع از

⁶ Hozayn and Abdul Qados

اجرا شد. فاکتور کم آبیاری شامل چهار سطح (آبیاری به میزان ۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه دارویی نعنا فلفلی) و آب مغناطیسی شامل سه سطح (آبیاری با آب عبوری از میدان صفر، ۰/۳ و ۰/۶ تسلا) بود (شکل ۱).

سطح دریا، آزمایشی به منظور بررسی اثر آب مغناطیسی و کم آبیاری بر رشد و عملکرد گیاه دارویی نعنا فلفلی بر پایه کشت گلدانی و در سه تکرار اجرا گردید. آزمایش مذکور به صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی

جدول ۱- متوسط دما و رطوبت نسبی محل مورد مطالعه

ماه	متوسط دما		متوسط رطوبت نسبی داخل گلخانه
	داخل	بیرون	
اسفند	۲۴	۷/۲	۷۵
فروردین	۲۳/۲	۱۴/۵	۷۹
اردیبهشت	۲۳/۰	۱۸/۷	۷۸
خرداد	۲۴/۱	۳۰/۱	۷۶

آبیاری از تبخیر تجمعی از آبیاری قبلی تا زمان آبیاری استفاده شد. لازم به ذکر است که در آبیاری بعدی میزان تبخیر در روز آبیاری گلدان‌ها نیز با توجه به نکات مذکور اعمال شده است. تعیین نیاز آبی شامل سه مرحله، تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0)، تعیین ضریب گیاهی (K_c) و تعیین اثر شرایط محل و عملیات زراعی بر نیاز آبی گیاه بود. از روابط ۱ و ۲ برای تعیین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی استفاده شد. در روابط زیر، K_p ضریب تشت و E_{pan} میزان تبخیر اندازه‌گیری از تشت (میلی‌متر) برای هر منطقه است که تبخیر و تعرق گیاه مرجع و تبخیر و تعرق واقعی گیاه بدان وابسته است. مقدار K_p به عوامل متعددی از جمله رطوبت نسبی هوا، سرعت باد و محیط اطراف تشت بستگی دارد. K_c ضریب گیاهی، ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر) و ET_c تبخیر و تعرق واقعی گیاه (میلی‌متر) است (علیزاده، ۱۳۹۰). ضریب تشت محاسبه شده از روش پیشنهادی در نشریه فائو ۵۶ با توجه به موقعیت استقرار آن در محل (بطور میانگین ۰/۷) تعیین شد (آلن^۷ و همکاران، ۱۹۹۸).

$$ET_0 = K_p \times E_{pan} \quad (1)$$

هم چنین براساس بررسی‌های انجام شده (شهریاری، ۱۳۹۰) ضریب گیاهی برای نعنا فلفلی تعیین و در محاسبه نیاز آبی مد نظر قرار گرفت (جدول ۲). نیاز آبی و میزان آب آبیاری گیاه دارویی نعنا فلفلی در طول

W3M12	W2M22	W3M31
W1M11	W1M12	W2M11
W4M12	W1M21	W4M32
W2M31	W4M21	W3M32
W1M13	W2M12	W4M13
W4M33	W1M23	W2M23
W3M21	W1M31	W4M22
W1M32	W3M23	W3M11
W3M33	W4M11	W1M22
W3M13	W2M21	W4M31
W1M33	W4M23	W2M32
W2M13	W2M33	W3M22

شکل ۱- چیدمان گلدان‌ها در محیط گلخانه

لازم به ذکر است که حروف M_1 ، M_2 و M_3 به ترتیب بیانگر آب معمولی، آب مغناطیسی عبوری از میدان ۰/۳ تسلا و ۰/۶ تسلا می‌باشد. حروف W_1 ، W_2 و W_3 و W_4 نیز بیانگر ۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی است. رقم اول نیز بیانگر شماره تکرار است

در تاریخ ۲۰ بهمن ۱۳۹۷، ریزوم‌های نعنا فلفلی که از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی تهیه شده بود در گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۲۰ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر کشت شد، به طوری که در هر گلدان دو ریزوم به طول ۱۰ سانتی‌متر قرار داده شد. دور آبیاری در این طرح ثابت و عمق آبیاری متغیر بوده که با استفاده از تشتک تبخیر کلاس A (که در گلخانه قرار داشت) تعیین شد. تا مرحله استقرار گیاه، آبیاری تمام تیمارها به یک مقدار مشابه، با استفاده از آب شهری و بر اساس میزان تبخیر از تشتک انجام شد و پس از جوانه‌زنی ریزوم‌ها و رسیدن گیاهان به مرحله چهار برگی اعمال تیمارها صورت پذیرفت. دور آبیاری چهار روزه در نظر گرفته شد. در این پژوهش پس از هر دور آبیاری، تشت مجدداً از آب پر شده و مقدار تبخیر به صورت روزانه از تشت تبخیر کلاس A یادداشت شد، به عبارت دیگر برای تعیین میزان آب

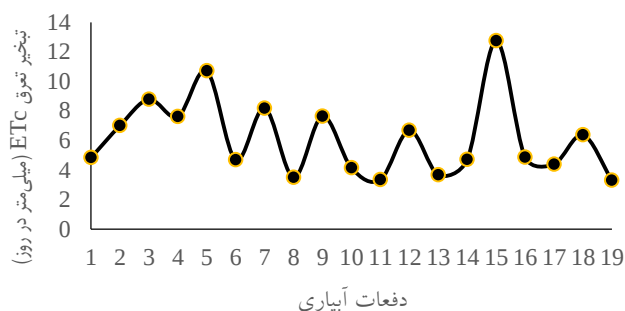
دوره رشد، به ترتیب در شکل (۲) و جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۲- ضریب گیاهی نعنا فلفلی (شهریاری، ۱۳۹۰)

مرحله رشد	K _c
ابتدایی	۰/۳
میانی	۰/۸
انتهایی	۰/۵

دو مخزن ۱۰۰ لیتری، شیرآلات، لوله‌های آلومینیومی ساخته شد. جهت ساخت دستگاه مغناطیس کننده سیالات از دو قطعه آهنربای مکعبی با ابعاد ۱۰۰*۵۰*۴۰ با قدرت ۱/۴ تسلا استفاده شد. دستگاه ساخته شده توانایی ایجاد ۱۳ شدت میدان مختلف از دامنه ۰/۰۲۳ تا ۰/۶۳۳۰ تسلا را داشت. لازم به ذکر است که برای این سیستم از یک الکتروپمپ مدل XQM 50 با قدرت ۱۱۰ W و ماکسیمم دبی ۲۵ لیتر بر دقیقه استفاده شد (شکل ۳).

سیستم مغناطیس کننده سیالات به صورت سیکلونی، از دستگاه مغناطیس کننده سیالات، پمپ آب،



شکل ۲- نیاز آبی گیاه دارویی نعنا فلفلی در طول فصل رشد

جدول ۳- میزان آب آبیاری در طول فصل رشد گیاه دارویی نعنا فلفلی در هر یک از تیمارهای مورد بررسی

تیمار	W4	W3	W2	W1
میزان آب آبیاری (لیتر)	۲/۳۰	۲/۷۶	۳/۲۴	۳/۶۸



شکل ۳- الف) نمای جانب سیستم مغناطیس کننده سیالات ب) نمای روبروی سیستم مغناطیس کننده سیالات

کنفیدور به صورت دوره‌ای و با غلظت یک در هزار حجمی انجام شد. در این مرحله برای مقابله با علف‌های

در مرحله داشت برای مقابله با آفت شته و مگس سفید سه مرحله سم‌پاشی با سموم دورسبان و

هرز طی یک مرحله و به صورت مکانیکی علف‌های هرز برداشت شد، همچنین در این پژوهش طی دو مرحله کوددهی با کود NPK با نسبت‌های ۲۰:۲۰:۲۰ اعمال شد. خاک مورد استفاده در این آزمایش دارای بافت سیلتی رسی بوده که دارای هدایت الکتریکی ۱/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر و pH برابر با ۷/۸۵ بود. در ابتدا با هدف بهبود زهکشی در انتهای هر یک از گلدان‌ها مقدار برابر سنگریزه تعبیه شد و پنج سانتی‌متر بالای هر یک از گلدان‌ها برای آبیاری خالی در نظر گرفته شد. آب آبیاری مورد استفاده دارای هدایت الکتریکی ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر، pH برابر با ۸/۲ و SAR برابر با ۱/۷۳ بود. شروع گلدهی گیاهان در تاریخ ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۸ بوده و با شروع این مرحله گیاهان برداشت شدند. پس از برداشت گیاهان صفات مورفولوژیکی مورد بررسی قرار گرفتند. از جمله صفات اندازه‌گیری شده در این مطالعه می‌توان به وزن تر و خشک اندام هوایی، عملکرد در واحد سطح، تعداد برگ و شاخه فرعی، ارتفاع بوته، قطر ساقه و طول میانگره اشاره کرد. در این پژوهش به منظور بررسی بهره‌وری فیزیکی آب از رابطه (۳) استفاده شد. جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته از خط‌کش، قطر و طول میانگره از کولیس دیجیتالی، وزن تر و خشک از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. جهت خشک کردن بوته‌های نعنا فلفلی هر یک از تیمارها را در پاکت‌های شماره‌گذاری شده قرار داده و ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از تعیین عملکرد برای تعیین تابع تولید از توابع تولید خطی، درجه دوم و لگاریتمی (روابط ۴ تا ۶) استفاده شد؛ که در آن Y بیانگر عملکرد در واحد سطح (Kgm^{-2})، I میزان آب مصرفی (میلی‌متر) و M شدت میدان مغناطیسی (تسلا) می‌باشد. برای ارزیابی توابع مذکور و تعیین تابع تولید بهینه از شاخص‌های آماری $RMSE$ ، R^2 ، ME ، CRM و EF استفاده شد (روابط ۷ تا ۱۱) (پیری و همکاران، ۱۳۹۷) که در آن $\bar{Y}_i$ مقادیر عملکرد محاسبه شده، $\bar{Y}$ عملکرد متوسط، $\bar{I}$ متوسط آب مصرفی و n تعداد مشاهدات می‌باشد. در انتها

نتایج با نرم‌افزار SAS (ver. 9.0) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. نمودار و جداول نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شد.

$$\text{عملکرد} = \frac{\text{بهره‌وری فیزیکی آب}}{\text{آب مصرفی}} \quad (۳)$$

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 M \quad (۴)$$

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 + a_3 M + a_4 M^2 \quad (۵)$$

$$Y = a_0 I^{a_1} M^{a_2} \quad (۶)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (\bar{Y}_i - Y_i)^2}{n}} \quad (۷)$$

$$R^2 = \frac{(\sum (I - \bar{I})(Y - \bar{Y}))^2}{\sum (I - \bar{I})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2} \quad (۸)$$

$$ME = \text{MAX} |Y_i - \bar{Y}_i| \quad (۹)$$

$$CRM = \frac{\sum Y_i - \sum \bar{Y}_i}{\sum Y_i} \quad (۱۰)$$

$$EF = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2 - \sum (\bar{Y}_i - Y_i)^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (۱۱)$$

نتایج و بحث

بر اساس جدول (۴) آب مغناطیسی بر صفات وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع، قطر ساقه و طول میانگره در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر کم‌آبیاری بر صفات وزن تر و خشک اندام هوایی، ارتفاع، طول میانگره و عملکرد در سطح احتمال یک درصد و قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی و برگ و بهره‌وری فیزیکی آب در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل نیز بر روی وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع و تعداد شاخه جانبی در سطح احتمال یک درصد و بر قطر ساقه و بهره‌وری فیزیکی آب در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. در پژوهش‌های متعددی نیز معنی‌داری اثر آب مغناطیسی و کم‌آبیاری بر روی گیاهان ذکر شده است (صادقی‌پور و آقایی، ۱۳۹۳؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۳). بر اساس جدول (۵) استفاده از آب عبوری از میدان‌های مغناطیسی ۰/۳ و ۰/۶ تسلا به ترتیب منجر به افزایش ۸/۲ و ۹/۹ درصد وزن تر اندام هوایی شد. همچنین نتایج نشان داد که این صفت در شرایط استفاده از آب مغناطیسی دارای اختلاف معنی‌دار آماری در سطح پنج درصد نبوده ولی

این صفت در شرایط استفاده از این آب افزایش یافت. اثر کم آبیاری در صفت وزن تر اندام هوایی منجر به کاهش این صفت شده، به طوری که کاهش ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصدی میزان آب آبیاری مورد نیاز گیاه منجر به کاهش ۱۱/۲، ۱۵/۱ و ۳۶/۵ درصدی این صفت شد.

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات رشدی و عملکرد گیاه دارویی نعنا فلفلی

میانگین مربعات										
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	ارتفاع	قطر ساقه	طول میانگره	تعداد شاخه فرعی	تعداد برگ	عملکرد در واحد سطح	بهره‌وری فیزیکی آب
آب مغناطیسی	2	2.0 ^{ns}	3.57 ^{**}	119.6 ^{**}	0.0025 ^{**}	0.75 ^{**}	0.53 ^{ns}	271.4 ^{ns}	2026.9 ^{ns}	0.16 ^{ns}
کم آبیاری	3	19.5 ^{**}	4.2 ^{**}	128.4 ^{**}	0.0015 [*]	0.6 ^{**}	5.88 [*]	1419.3 [*]	19739.7 ^{**}	0.6 [*]
آب مغناطیسی×کم آبیاری	6	4.3 ^{ns}	1.27 ^{**}	60.8 ^{**}	0.0011 [*]	0.28 ^{ns}	9.60 ^{**}	483.3 ^{ns}	4321.8 ^{ns}	0.24 ^{ns}
خطا	24	1.7	0.3	6	0.0004	0.13	1.72	361.8	1744.3	0.17
ضریب تغییرات		16.1	16.7	10.2	8.9	17.8	20.8	19.7	16.1	15.2

^{ns}، *، ** به ترتیب بیانگر معنی داری در یک و پنج درصد و عدم معنی داری می باشد

لازم به ذکر است که بین تیمارهای ۱۰۰ و ۸۵ درصد نیاز آبی گیاه و بین تیمارهای ۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه از نظر مقایسه میانگین‌ها اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۵). آبیاری با آب مغناطیسی منجر به افزایش طول میانگره شد، به طوری که استفاده از آب‌های عبوری از میدان‌های ۰/۳ و ۰/۶ تسلا به ترتیب منجر به افزایش ۲/۷ و ۲۴/۰ درصدی این صفت شد، همچنین اثر

کم آبیاری نیز بر روی این صفت در تیمارهای ۵۵، ۷۰ و ۸۵ درصد دارای اختلاف معنی دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد نبود. بیشترین میزان این صفت در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی (۲/۳۴ سانتی متر) و کمترین میزان آن نیز در تیمار ۵۵ درصد نیاز آبی (۱/۷۶ سانتی متر) مشاهده شد (جدول ۵).

جدول ۵- اثر ساده میدان مغناطیسی و کم آبیاری بر برخی خواص رشدی و عملکردی گیاه دارویی نعنا فلفلی

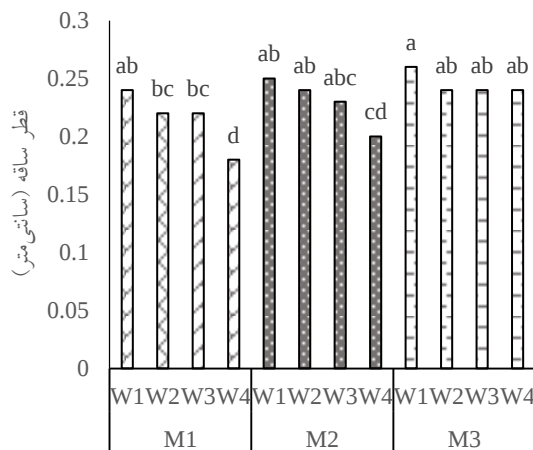
ترکیبات تیماری	وزن تر اندام هوایی	طول میانگره	تعداد برگ	عملکرد در واحد سطح	بهره‌وری فیزیکی آب
گرم	سانتی متر	-	گرم در متر مربع	کیلوگرم در متر مکعب	
آب معمولی	7.67 a	1.83 b	92.8 a	244.3 a	2.6 a
آب عبوری از میدان ۰/۳ تسلا	8.3 a	1.88 b	94.7 a	264.6 a	2.82 a
آب عبوری از میدان ۰/۶ تسلا	8.43 a	2.28 a	101.8 a	268.5 a	2.76 a
LSD (0.05)	1.1	0.3	16	35.2	0.35
۱۰۰ درصد نیاز آبی	9.65 a	2.34 a	110.3 a	317.2 a	2.53 b
۸۵ درصد نیاز آبی	8.57 ab	2.03 ab	102.1 a	273.1 b	2.62 b
۷۰ درصد نیاز آبی	8.19 b	1.85 b	92.0 ab	260.9 b	3.1 a
۵۵ درصد نیاز آبی	6.13 c	1.76 b	81.3 b	195.3 c	2.67 b
LSD (0.05)	1.28	0.35	18.51	40.6	0.4

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم معنی داری مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می باشد

در صفت تعداد برگ استفاده از آب‌های مغناطیسی منجر به افزایش این صفت شده ولی روند افزایشی این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی دار نبود، همچنین رژیم‌های آبیاری نیز بر این صفت در تیمارهای ۱۰۰، ۸۵ و ۷۰ درصد و تیمارهای ۵۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی در سطح احتمال پنج درصد معنی دار نشد.

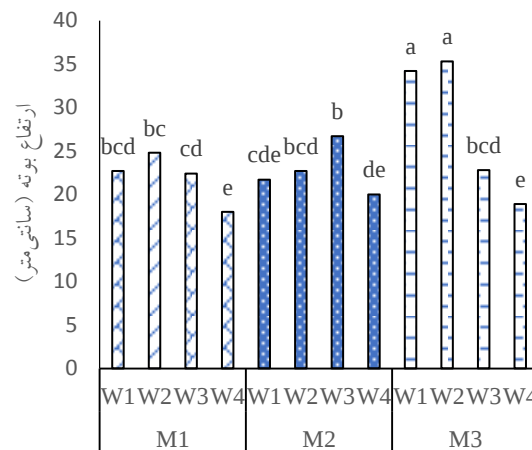
کاهش ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصدی آب آبیاری منجر به کاهش ۷/۴، ۱۶/۶ و ۲۶/۳ درصدی این صفت شد. از آنجایی که یکی از صفات اثرگذار بر عملکرد خشک نعنا فلفلی، تعداد برگ می باشد، نتایج گویای این موضوع است که کاهش میزان آب آبیاری منجر به کاهش تعداد برگ و به تبع آن عملکرد خشک می گردد. بر اساس نتایج جدول (۵) بیشترین میزان عملکرد تر اندام هوایی (به میزان ۳۱۷/۲ گرم در متر مربع) و بهره‌وری فیزیکی آب (۳/۱ کیلوگرم در متر مکعب) گیاه دارویی نعنا فلفلی در تیمارهای آبیاری به میزان ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه و کمترین میزان از صفات مذکور به ترتیب با ۱۹۵/۳ گرم در متر مربع و ۲/۵۳ کیلوگرم در متر مکعب در تیمارهای ۵۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. دلیل کاهش عملکرد تر در تیمارهای کم آبیاری می تواند کاهش در تعداد برگ و وزن اندام هوایی در اثر کاهش فراهمی شیره پرورده برای گیاه و همچنین تطابق گیاه با شرایط تنشی با کاهش سطح سبزی‌نگی و تنفسی خود باشد. بهره‌وری فیزیکی آب به این دلیل در تیمار ۷۰ درصد نسبت به تیمار ۸۵ و ۱۰۰ درصد بیشتر است که مخرج کسر نسبت به دو تیمار دیگر کمتر است. دلیل بیشتر بودن بهره‌وری مصرف آب در تیمار ۷۰ نسبت به ۵۵ درصد نیاز آبی بیشتر بودن عملکرد این گیاه نسبت به این تیمار می باشد. بر اساس شکل (۴) بیشترین میزان ارتفاع بوته در تیمار آبیاری با آب مغناطیسی عبوری از میدان ۰/۶ تسلا و به میزان ۸۵ درصد نیاز آبی گیاه (۳۵/۳ سانتی متر) مشاهده شد. نتایج نشان دهنده این موضوع است که استفاده از آب مغناطیسی منجر به بهبود رشد گیاه شده و نسبت به تیمار شاهد در شرایط کم آبیاری ارتفاع گیاه بهبود یافته است. کمترین میزان این صفت نیز مطابق با شکل (۴) در تیمار آبیاری به میزان ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه با آب معمولی با

مقدار ۱۸ سانتی متر مشاهده شد. مطابق شکل (۵) استفاده از آب مغناطیسی سبب بهبود رشد گیاه شده و در شرایط کم آبیاری استفاده از آب مغناطیسی، قطر ساقه نسبت به آبیاری با آب معمولی افزایش یافته است (جدول ۶). بیشترین میزان (۰/۲۶ سانتی متر) و کمترین میزان قطر ساقه (۰/۱۸ سانتی متر) به ترتیب در تیمارهای آبیاری با آب عبوری از میدان ۰/۶ تسلا و به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی و آبیاری با آب معمولی و به میزان ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد. با توجه به مطالعه احمدی (۱۳۸۹) استفاده از آب های عبوری از میدان های مغناطیسی، سبب افزایش جذب آب توسط گیاه می شود. با افزایش جذب آب، آماس سلولی و در نتیجه پتانسیل فشاری آب در سلول افزایش می یابد. افزایش آماس سلولی دلیلی بر افزایش تقسیم سلولی می باشد که افزایش ارتفاع، وزن تر و خشک اندام هوایی را به همراه دارد، به طوری که در این پژوهش نیز این مهم مشاهده شده است و در میدان های مختلف مغناطیسی ارتفاع و وزن تر و خشک بهبود یافته است. مطابق شکل ۶ استفاده از آب مغناطیسی در شرایط کم آبیاری سبب بهبود عملکرد خشک گیاه شده است، به طوری که استفاده از آب مغناطیسی با میدان ۰/۳ تسلا منجر به افزایش عملکرد خشک در تیمارهای ۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی نسبت به آب معمولی به ترتیب به میزان ۱۱/۴، ۱۹/۵، ۲۴/۷ و ۲۶/۴ درصد شد (جدول ۶). آبیاری با آب مغناطیسی ۰/۶ تسلا نیز نسبت به تیمارهای کم آبیاری با آب معمولی سبب افزایش ۱۲/۷، ۳۰/۰، ۷۲/۲ و ۱۲۸/۷ درصد به ترتیب در تیمارهای ۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی شد (جدول ۶). بر اساس شکل ۷ بیشترین میزان تعداد شاخه جانبی در تیمار آبیاری با آب مغناطیسی عبوری از میدان ۰/۶ تسلا و به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (۸/۶۷ عدد) مشاهده شد.

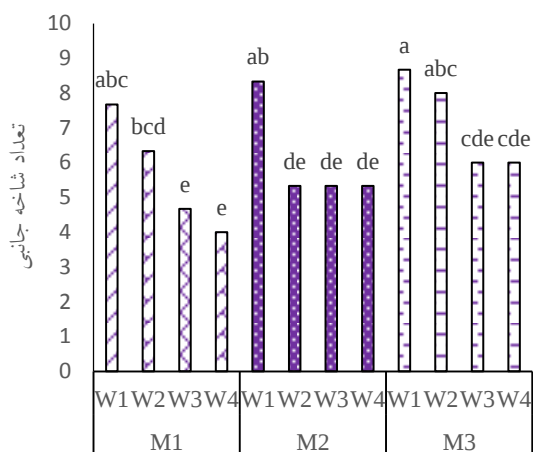


شکل ۵- اثر سطوح مختلف آبیاری با آب مغناطیسی بر قطر ساقه گیاه دارویی نعنا فلفلی

لازم به ذکر است که حروف M₁, M₂ و M₃ به ترتیب بیانگر آب معمولی، آب مغناطیسی عبوری از میدان ۰/۳ تسلا و ۰/۶ تسلا می‌باشد. حروف W₁, W₂, W₃ و W₄ نیز بیانگر ۵۵، ۷۰ و ۸۵ درصد نیاز آبی است

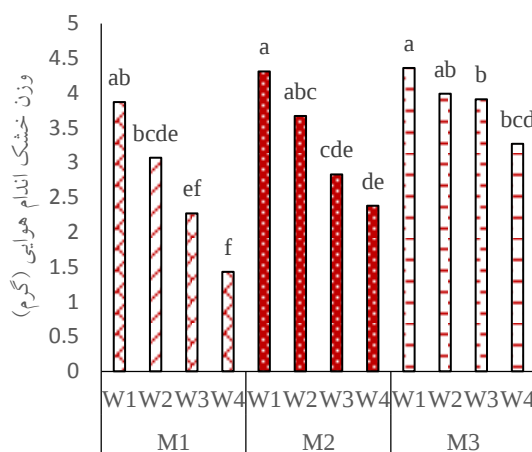


شکل ۴- اثر سطوح مختلف آبیاری با آب مغناطیسی بر ارتفاع بوته گیاه دارویی نعنا فلفلی



شکل ۷- اثر سطوح مختلف آبیاری با آب مغناطیسی بر تعداد شاخه جانبی گیاه دارویی نعنا فلفلی

لازم به ذکر است که حروف M₁, M₂ و M₃ به ترتیب بیانگر آب معمولی، آب مغناطیسی عبوری از میدان ۰/۳ تسلا و ۰/۶ تسلا می‌باشد. حروف W₁, W₂, W₃ و W₄ نیز بیانگر ۵۵، ۷۰ و ۸۵ درصد نیاز آبی است



شکل ۶- اثر سطوح مختلف آبیاری با آب مغناطیسی بر وزن خشک اندام هوایی گیاه دارویی نعنا فلفلی

شاخه جانبی شده است. کمترین میزان این صفت نیز مطابق با شکل ۷ در تیمار آبیاری به میزان ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه با آب معمولی با مقدار ۴ عدد مشاهده شد.

نتایج نشان دهنده این موضوع است که استفاده از آب مغناطیسی نسبت به آب معمولی منجر به افزایش تعداد شاخه جانبی شده است. لازم به ذکر است که استفاده از آب مغناطیسی در شرایط کم آبیاری سبب بهبود

جدول ۶- تغییرات صفات مورد بررسی در تیمارهای مختلف نسبت به تیمار شاهد

ترکیبات تیماری	ارتفاع بوته	قطر ساقه	تعداد شاخه جانبی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر اندام هوایی
۱۰۰ درصد نیاز آبی	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
۸۵ درصد نیاز آبی	۹/۲۵	-۸/۳	-۱۷/۴۷	-۲۰/۷	-۱/۳
۷۰ درصد نیاز آبی	-۱/۳۲	-۸/۳	-۳۹/۱۱	-۴۱/۳۴	۱/۳۶
۵۵ درصد نیاز آبی	-۲۰/۷	-۲۵/۰	-۴۷/۸۵	-۶۳/۰۵	-۱۸/۴۲
۱۰۰ درصد نیاز آبی	-۴/۴	۴/۲	۸/۶	۱۱/۳۷	۳/۲۵
۸۵ درصد نیاز آبی	۰/۰	۰/۰	-۳۰/۵۱	-۵/۱۷	-۱۹/۶
۷۰ درصد نیاز آبی	۱۷/۶	۴/۲	-۳۰/۵۱	-۲۶/۸۷	-۷/۵
۵۵ درصد نیاز آبی	-۱۱/۹	-۱۶/۷	-۳۰/۵۱	-۳۸/۵۰	-۲۳/۷۴
۱۰۰ درصد نیاز آبی	۵۰/۷	۸/۳	۱۳/۰۴	۱۲/۶۶	۲۹/۰۶
۸۵ درصد نیاز آبی	۵۵/۵	۰/۰	۴/۳۰	۳/۱۰	۳/۲۲
۷۰ درصد نیاز آبی	۰/۴	۰/۰	-۲۱/۷۷	۱/۰۳	۱/۶۵
۵۵ درصد نیاز آبی	-۱۶/۷	۰/۰	-۲۱/۷۷	۱۵/۵	-۴۶/۵۵

استفاده از آب مغناطیسی در آبیاری گیاهان سبب افزایش جذب آب و املاح و مواد غذایی حل شده در آب شده و به تبع آن فتوسنتز و تولید ماده‌ی غذایی افزایش می‌یابد. افزایش فتوسنتز و تولید شیره‌های پرورده، افزایش عملکرد و وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه را به‌دنبال دارد (ناشیر^۸، ۲۰۰۸)، به‌طوری‌که در این پژوهش نیز استفاده از آب مغناطیسی در رژیم‌های مختلف آبیاری منجر به بهبود در عملکرد تر و خشک گیاه شده است. کاربرد آب مغناطیسی سبب عبور آسان آب و مواد از غشای سلول گیاهی می‌شود (الگوزاری^۹، ۲۰۰۶) که این امر می‌تواند موجب افزایش جذب آب و در نتیجه افزایش وزن تر گیاه گردد که در این پژوهش نیز در شرایط استفاده از آب مغناطیسی این مهم مشاهده شد. مجد و شیرنگی (۲۰۰۹) نشان دادند که در گیاهان آبیاری شده با آب مغناطیسی، به‌دلیل تبادل گازی راحت‌تر نسبت به آب غیرمغناطیسی، آوندهای چوب و آبکش رشد و نمو بیشتری داشته که نتایج این پژوهش نیز در راستای پژوهش ایشان است. یکی از دلایل کاهش عملکرد تر و خشک اندام هوایی می‌تواند تخصیص بیشتر مواد حاصل از فتوسنتز به ریشه نسبت به بخش هوایی گیاه باشد. 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 می‌باشد و در پی آن ارتفاع کوچک‌تر در شرایط کم‌آبی مشاهده می‌شود. 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 (امیدبیگی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۳؛ عزیز و یوسف^{۱۱}، ۲۰۱۰). تنش خشکی به‌دلیل کاهش آب در خاک و فعال نمودن فرایندهای مختلف در گیاه که با مصرف انرژی همراه می‌باشد، روی صفات کمی و کیفی گیاه تأثیر منفی می‌گذارد. کاهش تعداد شاخه جانبی در شرایط تنش آبی را می‌توان به‌عنوان یک مکانیسم سازگاری برای مقابله با شرایط تنش در گیاه دارویی نعنای فلفلی در نظر گرفت، به‌طوری‌که نتایج این پژوهش در پژوهش فروزنده و همکاران (۱۳۹۰) بر روی گیاه دارویی نعنای فلفلی نیز مشاهده شده و با نتایج ایشان همخوانی دارد، همچنین فروزنده و همکاران (۱۳۹۰) اظهار داشتند که افزایش تعداد شاخه فرعی به‌دلیل مصرف بیهوده رطوبت

¹⁰ Omidbaigi

¹¹ Azooz and Yousswf

⁸ Nashir

⁹ Algozari

است). مقایسه ضرایب و مجموع رتبه‌بندی نشان دهنده این است که تابع لگاریتمی در مقایسه با دو تابع دیگر دارای قدرت برازش بیشتری بر روی مدل است و پس از آن تابع خطی برازش بهتری نسبت به تابع درجه دوم دارا می‌باشد. بنابر این بر اساس جدول ۸، تابع تولید عملکرد، آب و میدان مغناطیسی برای گیاه نعنا فلفلی تابع کاب داگلاس (لگاریتمی خطی) با رابطه $Y = 30.28 I^{0.65}$ می‌باشد. بر اساس شکل (۸) که نمایش گرافیکی $M^{0.12}$ تابع تولید عملکرد نسبت به آب و میدان مغناطیسی می‌باشد، افزایش میدان مغناطیسی منجر به بهبود در عملکرد گیاه شده است و همچنین در شرایط اعمال تنش آبی نیز کمترین مقدار عملکرد در آبیاری به میزان ۰/۵۵ درصد نیاز آبی مشاهده شده است. بر اساس شکل (۸) اثر متقابل میدان مغناطیسی و مقدار آب آبیاری در تیمار استفاده از میدان ۰/۶ تسلا و آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی سبب ایجاد حداکثر عملکرد در گیاه نعنا فلفلی شده که دلیل آن می‌تواند بهبود در جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه باشد که خود بهبود در فراهمی شیره پرورده و مواد حاصل از فتوسنتز گیاه را به همراه دارد. نتایج این پژوهش با نتایج علیزاده و عباسی (۱۳۹۵) مطابقت دارد.

خاک و اتلاف آن در شرایط تنشی صفت نامطلوبی برای گیاه بوده که برای زنده ماندن بیشتر گیاه با کاهش تعداد شاخه، خود را با شرایط موجود سازگار می‌کند. نتایج این پژوهش با نتایج اوزترک^{۱۲} و همکاران (۲۰۰۴) بر روی گیاه دارویی بادرنبویه و نیکبخت و همکاران (۱۳۹۲) بر روی گیاه ذرت مطابقت داشت. نتایج همبستگی بین صفات نشان داد که وزن تر اندام هوایی، ارتفاع و تعداد برگ دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار (در سطح احتمال یک درصد) با وزن خشک اندام هوایی می‌باشد (جدول ۷)، اما صفت قطر ساقه دارای همبستگی منفی و معنی‌دار (در سطح احتمال ۵ درصد) با وزن خشک بود. وزن تر اندام هوایی نیز با صفات وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع و تعداد برگ دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار (در سطح احتمال یک درصد) بوده و با صفت تعداد شاخه فرعی نیز دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار (در سطح احتمال پنج درصد) می‌باشد. عوامل ذکر شده به این دلیل دارای همبستگی بالایی با عملکرد بوده که مستقیماً بر روی وزن اثر دارد، به عبارت دیگر افزایش در تعداد برگ و تعداد شاخه جانبی به دلیل افزایش ماده خشک شده و ارتفاع نیز به دلیل بیشتر بودن شیره پرورده حاصل از فرآیند فتوسنتز سبب افزایش در عملکرد می‌شود. نتایج تخمین توابع تولید عملکرد-آب مصرفی به صورت توابع خطی، درجه ۲ و لگاریتمی در جدول ۵ ارائه شده است. پس از به دست آوردن توابع تولید برای ارزیابی هر یک از آن‌ها از شاخص‌های آماری ME ، EF ، $RMSE$ ، CRM و R^2 استفاده شد. هر یک از توابع تولید مورد استفاده به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته و برای هر مشخصه آماری رتبه در نظر گرفته شد، به طوری که برای $RMSE$ ، ME و CRM مقادیر کمتر رتبه یک و به ترتیب مقادیر بیشتر رتبه‌های بالاتر را اخذ کردند، ولی در مشخصه‌های EF و R^2 توابعی که دارای بیشترین مقادیر بودند رتبه یک و به ترتیب مقادیر کمتر رتبه‌های دیگر را به خود اختصاص دادند (نتایج به تفصیل در جدول ۸ ارائه شده

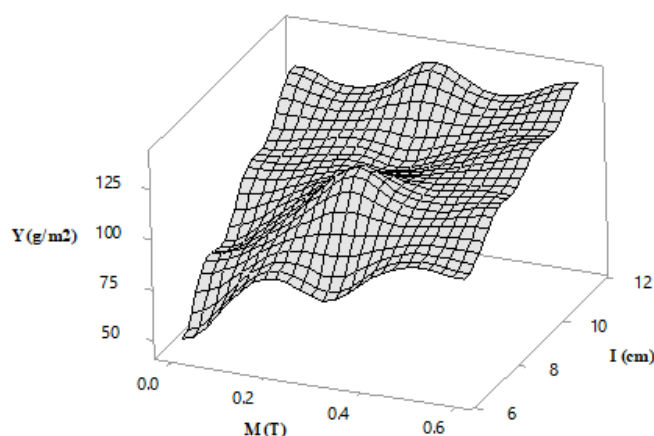
جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی گیاه دارویی نعنا فلفلی تحت تیمارهای مورد آزمایش

وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	ارتفاع	قطر ساقه	تعداد شاخه فرعی	تعداد برگ	طول میانگوه
1	0.82 **	1	1	1	1	1
وزن خشک اندام هوایی	0.57 **	0.45 **	0.05 ns	0.36 *	0.31 ns	0.34 *
ارتفاع	-0.17 ns	-0.38 *	1	-0.01 ns	0.42 *	0.56 **
قطر ساقه	0.34 *	0.31 ns	-0.17 ns	1	-0.01 ns	0.36 *
تعداد شاخه فرعی	0.47 **	0.56 **	0.34 *	0.52 **	1	-0.44 **
تعداد برگ	-0.19 ns	-0.2 ns	-0.09 ns	0.05 ns	0.05 ns	1
طول میانگوه						

ns، * و ** به ترتیب بیانگر معنی داری در یک و پنج درصد و عدم معنی داری می باشد

جدول ۸- شاخص های آماری محاسبه شده برای ارزیابی اعتبار توابع تولید

شاخص آماری	تابع لگاریتمی	تابع خطی	تابع درجه دوم
	$Y = 30.28 I^{0.65} M^{0.12}$	$Y = 10.71 I + 58.01 M - 9.12$	$Y = -0.64 I^2 + 26.0 I - 81.5 M^2 + 219.4 M + 12.4 IM - 95.4$
RMSE	۲/۰۱	۲/۸۴	۲/۸۴
رتبه	۱	۲	۲
CRM	-۰/۰۴	-۰/۰۸	-۰/۰۸
رتبه	۱	۲	۲
EF	۰/۹۱	۰/۷۵	۰/۷۷
رتبه	۳	۱	۲
ME	۱۲/۹	۲۶/۶	۳۲/۰
رتبه	۱	۲	۳
R ²	۰/۹۴	۰/۸۱	۰/۸۵
رتبه	۱	۳	۲
مجموع رتبه بندی	۷	۱۰	۱۱



شکل ۸- نمایش گرافیکی تغییرات عملکرد گیاه نعنا فلفلی نسبت به آب و میدان مغناطیسی

نتیجه گیری

نتایج پژوهش حاضر بیانگر کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی در شرایط اعمال کم آبیاری بوده و نشان دهنده آن است که استفاده از آب مغناطیسی در شرایط کم آبیاری سبب بهبود عملکرد خشک و تر گیاه

شده، به طوری که استفاده از آب های عبوری از میدان ۰/۳ تسلا منجر به افزایش عملکرد خشک در تیمارهای ۱۰۰، ۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی به ترتیب نسبت به تیمارهای عدم استفاده از میدان مغناطیسی به میزان ۱۱/۴، ۱۹/۵، ۲۴/۷ و ۶۶/۴ درصد شد. از طرفی بر اساس همبستگی

نسبت به تیمار شاهد در شرایط کم آبیاری عملکرد خشک و تر اندام هوایی را در گیاه دارویی نعنا فلفلی بهبود بخشیده است، به عبارت دیگر اعمال توامان میدان مغناطیسی و مقدار آب آبیاری سبب ایجاد حداکثر عملکرد در گیاه نعنا فلفلی در تیمار استفاده از میدان ۰/۶ تسلا و آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی شده است.

بین صفات بیشترین تاثیر مثبت بر روی وزن تر و خشک اندام هوایی را صفات ارتفاع و تعداد برگ و شاخه جانبی داشت. بر اساس نتایج ارائه شده می توان گفت که بر اثر تغییرات آب آبیاری و میدان مغناطیسی تابع کاب داگلاس (لگاریتمی خطی) نسبت به سایر توابع، برآورد بهتری از عملکرد گیاه دارد. به طور کلی استفاده از آب مغناطیسی در شرایط اعمال تنش آبی منجر به بهبود رشد گیاه شده و

فهرست منابع

۱. احمدی، پ. ۱۳۸۹. تأثیر میدان مغناطیسی بر روی آب و کاربردهای زراعی آب مغناطیسی. اولین کنفرانس بین المللی مدلسازی گیاه، آب، خاک و هوا، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی دانشگاه باهنر کرمان. کرمان. ایران.
۲. احمدی، م.، قاسم نژاد، ع.، صادقی ماهونک، ع. و رضایی اصل، ع. ۱۳۹۳. اثر آب مغناطیسی بر عملکرد و اجزای عملکرد استویا. اولین همایش ملی گیاهان دارویی، طب سنتی و کشاورزی ارگانیک. دانشکده شهید مفتاح. همدان. ایران.
۳. بانژاد، ح.، مکاری قهرودی، ا.، اثنی عشری، م. و لیاقت، ع. ۱۳۹۲. بررسی اثر متقابل آب مغناطیسی و شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ریحان. آبیاری و زهکشی ایران. ۷(۲): ۱۷۸-۱۸۳.
۴. پیری، ح.، انصاری، ح. و پارسا، م. ۱۳۹۷. تعیین تابع تولید آب- شوری- عملکرد با در نظر گرفتن زمان برداشت علوفه و ارزیابی شاخص های تولید در ذرت خوشه ای. مهندسی منابع آب. ۱۱(۳): ۱۵-۲۶.
۵. جمالی، ص. ۱۳۹۵. بررسی اثر توام سطوح مختلف شوری و کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۶. چیت ساز، م.، نجات زاده، ف. و ولیزادگان، ا. ۱۳۹۵. تأثیر آبیاری و تغذیه روی بر رشد و میزان عملکرد اسانس گیاه دارویی نعنا فلفلی. تازه های بیوتکنولوژی سلولی-مولکولی. ۲۳: ۳۹-۴۶.
۷. حداد، ر.، رستمی نیا، ب. و اصغری، ب. ۱۳۹۵. بررسی تاثیر رژیم های رطوبتی بر روی گیاه نعنا فلفلی. سومین کنفرانس ملی علوم زیستی ایران. مرکز پژوهشی زمین کاو. تهران. ایران.
۸. درگاهی، ی.، اصغری، ع.، شکرپور، م. و رسول زاده، ع. ۱۳۹۱. اثر تنش کم آبی بر خصوصیات مورفولوژیک ریشه در ارقام کنگد. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ۵(۴): ۱۷۲-۱۵۱.
۹. رضایی نژاد، ع.، فیضیان، م. و سپهوند، ک. ۱۳۹۲. تأثیر تنش کم آبی بر رشد، عملکرد، میزان و ترکیب های اسانس شمع دانی معطر. فن آوری تولیدات گیاهی، دوره ۵ (۱): ۸۳-۹۴.
۱۰. سودابی زاده، ح. و منصوری، ف. ۱۳۹۳. اثر تنش خشکی بر تجمع ماده خشک، غلظت عناصر غذایی و قندهای محلول در گیاه دارویی مریم گلی لوله ای. دو فصلنامه علمی-پژوهشی خشک بوم ۴(۱).
۱۱. شکرانی، ف.، پیرزاد، ع.، زردشتی، م. و درویشی، ر. ۱۳۹۰. اثر قطع آبیاری و مقادیر مختلف نیتروکسین بر روی عملکرد و اجزای عملکرد دانه در گیاه همیشه بهار. همایش ملی تغییر اقلیم و تاثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست، ارومیه، آذربایجان غربی. ایران.

۱۲. شهریاری، س. ۱۳۹۰. بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و انواع خاکپوش بر خصوصیات رویشی، میزان، عملکرد و اجزاء اسانس نعنا فلفلی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه فردوسی مشهد.
۱۳. صادقی‌پور، ا. و آقایی، پ. ۱۳۹۳. بررسی اثر تنش خشکی و کاربرد آب مغناطیسی بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش. پژوهش‌های به‌زراعی. ۶(۱): ۷۹-۸۶.
۱۴. ضرابی، م.م.، مفاخری، س. و کاویانی، ع. ۱۳۹۶. مقایسه اثر آبیاری با آب معمولی و مغناطیسی بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت تحت شرایط تنش خشکی. فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۳۵: ۳۹-۵۳.
۱۵. علیزاده، ا. ۱۳۹۰. رابطه آب خاک و گیاه. انتشارات آستان قدس رضوی. ۳۷۶ صفحه.
۱۶. علیزاده، ح.ع. و عباسی، ف. ۱۳۹۵. بهینه سازی مصرف آب و کود در کودآبیاری ذرت دانه ای. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰(۴): ۴۴۵-۴۵۵.
۱۷. فروزنده، م.، سیروس‌مهر، ع.، قنبری، ا.، اصغری‌پور، م.ر. و خمیری، ع. ۱۳۹۰. تأثیر سطوح تنش خشکی و کمپوست زباله شهری بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی نعنا فلفلی. پژوهش‌های زراعی ایران. ۹(۴): ۶۷۰-۶۷۷.
۱۸. قدمی فیروزآبادی، ع.، خوش‌روش، م.، شیرازی، پ. و زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۵. اثر آبیاری با آب مغناطیسی بر عملکرد دانه و بیوماس گیاه سویا رقم DPX در شرایط کم آبیاری و شوری آب. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰(۱): ۱۳۱-۱۴۳.
۱۹. گرگینی شبانکاره، ح.، اصغری‌پور، م. ر. و فاخری، ب. ۱۳۹۴. ارزیابی تأثیر کودهای زیستی بر رشد و اسانس باردشویه تحت تیمار کم‌آبی. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۲۳: ۱۹۴-۱۸۵.
۲۰. گرگینی شبانکاره، ح. و خراسانی‌نژاد، س. ۱۳۹۶. اثر کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و اسانس گیاه دارویی نعنا فلفلی تحت رژیم‌های کم‌آبی. تولید گیاهان زراعی. ۱۰(۴): ۵۹-۷۴.
۲۱. نیرپور دیزج، آ. ۱۳۹۶. بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی و عملکرد اسانس گیاه دارویی مرزه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تبریز.
۲۲. نیکبخت، ج.، خنده‌رویان، م. و توکلی زانانی، ا. ۱۳۹۰. مغناطیسی کردن آب راه کاری نوین و مؤثر برای استفاده از آب‌های غیر متعارف در آبیاری. دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، زنجان. ایران.
۲۳. نیکبخت، ج.، خنده‌رویان، م.، توکلی، ا. و طاهری، م. ۱۳۹۲. اثر کم‌آبیاری با آب مغناطیسی بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب ذرت. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۷(۴): ۵۵۱-۵۶۳.
۲۴. هاشم‌آبادی، د. ۱۳۹۴. تغییر فعالیت آنزیم سوپراکسیداز دیسموتاز و پراکسیداز تحت تاثیر انواع آب و دور آب در گیاه زیتنی پروانش. علوم باغبانی ایران. ۴۸: ۴۹-۵۹.
25. Algozari, H. 2006. Effect of magnetizing of water and fertilizers on the some chemical parameters of soil and growth of maize. M.Sc. Thesis, University of Baghdad. Iraq and Signaling. New-York. USA Elsevier.
26. Allen R.G., Preira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirement. FAO Irrigation and Drainage paper, NO.56, Rome, Italy. 301 p.
27. Belyavskaya, N. A. 2004. Biological effects due to weak magnetic field on plants. Advances in Space Research. 34: 1566-1574.

28. Azooz, M.M. and M.M. 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.
29. Duarte Diaz, C.E., Riquenes, J.A., Sotolongo, B., Portuondo, M.A., Quintana, E.O., and Perez, R. 1997. Effects of magnetic treatment of irrigation water on the tomato crop. *Journal of Horticultural Science Abstracts*. 69: 494.
30. Hozayn, M., and Abdul, Qados, A.M.S., 2010 a. Irrigation with magnetized water enhances growth, chemical constituent and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Agriculture and Biology Journal of North America*. 32: 2151-7525.
31. Hozayn, M. and Abdul Qados, A.M.S. 2010 b. Magnetic water application for improving wheat (*Triticum aestivum* L.) crop production, *Agriculture and Biology Journal of North America*. 1: 677-682.
32. Kolenc Z., Vodnik D., Mandelc S., Javornik B., Kastelec D., and Čerenak A. 2016. Hop (*Humulus lupulus* L.) response mechanisms in drought stress: Proteomic analysis with physiology. *Plant physiology and biochemistry*, 105: 67-78.
33. Majd, A., and Shabrangi, A. 2009. Effect of seed pretreatment by magnetic fields on seed germination and ontogeny growth of agricultural plants. *Progress in Electromagnetic Research Symposium*, Beijing, China, March 23-27.
34. Nashir, S. H. 2008. The effect of magnetic water on growth of chickpea. *Engineering and Technology*, 26(9): 16-20.
35. Omidbaigi, R., A. Hassani. and F. Sefidkon. 2003. Essential oil content and composition of sweet Basil (*Ocimum basilicum*) at different irrigation regimes. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 6: 104-108
36. Ozturk A., Unlukara A., Ipek A., and Gurbuz B. 2004. Effects of salt stress and water deficit on plant growth and essential oil content of lemon balm (*Mellisa officinalis* L.). *Pakistan journal of botany*, 36(4):787-792.
37. Ran, C., Hongwei, Y., Jinsong, H. and Wanpeng, Z. 2009. The effects of magnetic fields on water molecular hydrogen bonds. *Journal of Molecular Structure*, 938: 15-19.
38. Song, H. 2005. Effects of VAM on host plant in condition of drought stress and its mechanisms *Electronic Journal of Biology*., 1(3): 44-48.
39. Yasmeen R., and Siddiqui Z.S. 2018. Ameliorative effects of *Trichoderma harzianum* on monocot crops under hydroponic saline environment. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(1): 4.

کاربرد شاخص‌های یکنواختی بارش و زمان - بارش مؤثر برای برآورد عملکرد گندم دیم و نوسانات آن در اقلیم نیمه‌خشک تبریز

محمد خالیدی علمداری^۱ و ابوالفضل مجنونی هریس

دانشجوی دکتری تخصصی آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

m.khaledi.a@gmail.com

دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و دانشگاه تبریز.

majnooni1979@yahoo.com

دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۹ و پذیرش: مرداد ۱۳۹۹

چکیده

میزان بارش سالانه و مهم‌تر از آن توزیع زمانی بارش، از اصلی‌ترین عوامل تعیین کننده عملکرد در شرایط دیم محسوب می‌شوند. بنابراین ارائه شاخص‌هایی از بارش که ارتباط مفهومی معنی‌داری با نوسانات عملکرد داشته باشد، ضروری به نظر می‌رسد. در این بررسی، ارتباط بین شاخص‌های یکنواختی بارش با عملکرد گندم دیم در تبریز در یک بازه زمانی ۱۹ ساله مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین، به منظور بررسی دقیق‌تر اثر بارش‌ها، از شاخص زمان - بارش مؤثر (RTI) استفاده شد که قابلیت بررسی اثر تغییرات توأم دو عامل زمان و مقدار بارش را بر نوسانات عملکرد محصول دارد. نتایج به دست آمده نشان داد که همبستگی بین عملکرد گندم و شیب خط یکنواختی (نسبت بارش تجمعی بر طول دوره رشد) در سطح یک درصد معنی‌دار بود درحالی که بین شاخص ناهمواری توزیع و عملکرد همبستگی معنی‌داری وجود نداشت. همچنین، بر اساس نتایج به دست آمده، اولین رویداد بارش مؤثر، به عنوان مؤثرترین رویداد بارش بر میزان عملکرد گندم دیم است. به نظر می‌رسد عدم کفایت بارش‌های مؤثر بهاره که به عنوان یکی از دلایل اصلی پایین بودن عملکرد اراضی دیم نیز مطرح است، مانع از تبیین اثر مثبت بارش‌های انتهایی فصل رشد بر عملکرد شده است. لذا توصیه می‌شود به منظور ارزیابی دقیق‌تر اثر بارش‌های نوبتی و شاخص زمان-بارش مؤثر بر عملکرد، یک نوبت آبیاری تکمیلی در مرحله پر شدن دانه انجام شود و اثر آن بر شاخص‌های مورد مطالعه و در نهایت عملکرد بررسی شود.

واژه‌های کلیدی: شاخص ناهمواری توزیع باران، بارش تجمعی، نوسان عملکرد

مقدمه

با توجه به روند افزایشی جمعیت، نیاز به تولیدات کشاورزی روز به روز بیشتر می‌شود. همچنین با توجه به سطح گسترده اراضی دیم، بخش قابل توجهی از نیازهای غذایی باید از اراضی دیم حاصل شود. از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تولیدات کشاورزی، تغییرات آب و هوایی در مناطق مختلف جهان است. این تغییرات اقلیمی کشاورزی دیم را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد، چرا که زراعت دیم متکی به بارشی است که اساساً یک پدیده احتمالی است و قطعیتی از نظر زمان و مقدار ندارد. شرایط متنوع اقلیمی از خشک تا مرطوب با متوسط بارش سالانه ۲۵۰ میلی‌متر از ویژگی‌های اقلیمی ایران است (بنایان و همکاران، ۲۰۱۰؛ اشرف و همکاران، ۲۰۱۴). بارندگی به عنوان تنها منبع تأمین رطوبت در زراعت دیم محسوب می‌شود و تغییرات مکانی و زمانی آن موجب تغییر در مقدار عملکرد محصول می‌شود (هی و همکاران، ۲۰۱۳). البته شدت تأثیر خشکی به مرحله رشد محصول در زمان وقوع خشکی بستگی دارد (لوپز و همکاران، ۲۰۰۳). توزیع بارش در قیاس با میزان بارش تجمعی به دلایلی از جمله در دسترس بودن آب در مراحل مختلف رشد (کار و همکاران ۲۰۰۷) و نیز ظرفیت ذخیره‌سازی خاک و یا هدر رفت از طریق نفوذ عمقی در مواقع رخداد سیلاب‌ها و بارش‌های رگباری می‌تواند مهم‌تر باشد (برزگر و همکاران ۲۰۰۳). لذا یکی از مشکلاتی که کشاورزی دیم در دنیا به ویژه در مناطق خشک با آن رو-به‌رو است، نوسان میزان بازده محصولات دیم طی سال-های مختلف است.

گندم یکی از مهم‌ترین غلاتی است که در تأمین انرژی و امنیت غذایی جهان نقش بسزایی دارد؛ بنابراین، بهبود شرایط کشت و کار و نیز بررسی عملکرد آن در شرایط مختلف اقلیمی مورد توجه پژوهشگران بوده است. سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۹۱) شاخص‌ها و متغیرهای آگروکلیمایی مؤثر مناسب در تولید گندم دیم و آبی را برای هفت منطقه استان همدان تعیین نمودند. بر اساس

نتایج به دست آمده شاخص‌های کمبود بارش مرجع و کمبود بارش گیاهی همبستگی قوی‌تری با عملکرد گندم در مقایسه با سایر شاخص‌ها دارند.

نتایج مطالعه سهرابی مایوسف و همکاران (۱۳۹۱) نشان داد شاخص زمان-بارش، اثر و تفاوت بین بارش‌های نوبتی را بهتر نشان می‌دهد. ایشان همچنین گزارش کردند بر اساس حداقل تعداد بارش در منطقه همدان، بارش‌های صورت گرفته در دو فصل پاییز و زمستان قابل اعتمادتر بوده و اطلاع از وضعیت و تأثیر بارش‌های نوبتی در این فصول کاربردی‌تر است.

بنایان اول و همکاران (۱۳۹۶) نیز با ارزیابی رابطه بارش تجمعی و عملکرد گندم در اقلیم نیمه‌خشک مشهد گزارش کردند شاخص غیریکنواختی بارش و میزان بارندگی در دوره بحرانی رشد نسبت به کل دوره رشد نقش مهم‌تری در تعیین عملکرد گیاه دارد. در پژوهشی دیگر شکوهی و ثنائی‌نژاد (۱۳۹۵) با بررسی تأثیر دوره-های بارندگی و شاخص SPI بر عملکرد جو دیم، گزارش کردند که تنها یک دوره خاص بارندگی در طی دوره رشد بر عملکرد محصول تأثیرگذار نبوده و برای توجیه تغییرات عملکرد نسبت به بارندگی، باید مقدار بارندگی در حد فاصل بین ششم اسفند تا شانزدهم اردیبهشت ماه و نیز شرایط تأمین رطوبتی اوایل کاشت را همزمان در نظر گرفت.

مونس‌خواه و مجنونی هریس (۱۳۹۶) به منظور بررسی تأثیر نوسانات اقلیمی بر عملکرد گندم دیم از شاخص رضایتمندی نیاز آبی^۲ به عنوان یک شاخص عملکرد بر اساس آب در دسترس محصول در گام‌های زمانی دهه‌ای در طول فصل رشد استفاده کردند. نتایج ایشان نشان داد علی‌رغم این‌که با توجه به متوسط مقدار این شاخص در طول فصل رشد، ریسک اقلیمی گندم دیم در دشت تبریز پایین است؛ اما به دلیل تغییرات عوامل اقلیمی از جمله بارش و تبخیر-تعرق در مراحل مختلف رشد، امکان بروز ریسک اقلیمی متوسط و بالا در برخی از

نوسانات عملکرد گندم دیم منطقه تبریز استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

دشت تبریز واقع در شمال غرب ایران و در استان آذربایجان شرقی، یکی از دشت‌های حوضه دریاچه اورمیه بوده که موقعیت مکانی آن در شکل (۱) ارائه شده است. در این بررسی، آمار بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸ از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. عملکرد گندم دیم نیز در مدت زمان مشابه از سازمان جهاد کشاورزی استان اخذ شد. مطابق با اقلیم نمای دومارتن، دشت تبریز با دمای متوسط سالانه ۱۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش ۲۵۰ میلی‌متر دارای اقلیم نیمه‌خشک است (هادی و همکاران ۱۳۹۴). زمان کاشت گندم دیم عمدتاً به زمان آغاز بارش‌های مؤثر پاییز بستگی دارد. تاریخ برداشت نیز به درجه حرارت در اواخر بهار و اوایل تابستان بستگی دارد؛ بنابراین، تولید گندم دیم کاملاً به آب و هوای محلی بستگی دارد (بنایان و همکاران ۲۰۱۰). با توجه به داده‌های محلی، فصل رشد گندم دیم از هفته دوم مهر ماه تا هفته دوم تیر ماه در نظر گرفته شد و محاسبات شاخص‌های یکنواختی بارش در این بازه زمانی انجام شد. مقادیر بارش و عملکرد گندم دیم در منطقه مورد مطالعه، در جدول (۱) ارائه شده است.

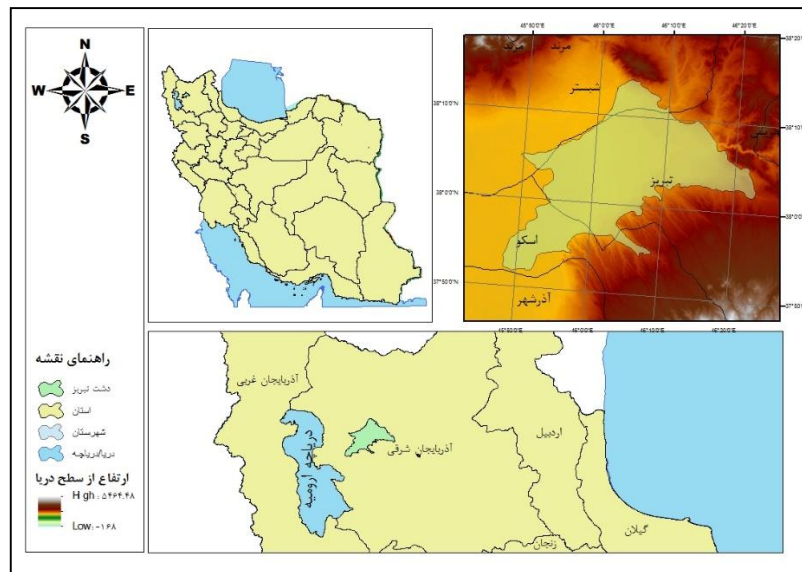
مراحل رشد وجود دارد. البته با توجه به حساسیت هر مرحله نسبت به تنش رطوبتی، این ریسک بر عملکرد محصول تأثیرگذار خواهد بود. ایشان همچنین گزارش کردند بیشترین ریسک اقلیمی در دهه‌های انتهایی فصل رشد حادث می‌شود که با توجه به مقارن بودن با مرحله حساس به تنش پر شدن دانه‌ها، از طریق کاهش وزن هزار دانه باعث افت قابل توجه عملکرد می‌شود. از طرفی آبیاری تکمیلی در مناطقی که این امکان وجود دارد، به منظور پایداری در عملکرد توصیه شده است (پالا و همکاران، ۲۰۱۱).

محسنی‌موحد و اکبری (۱۳۹۰) طی پژوهشی در کشت زمستانه گندم دیم دوره گل‌دهی را حساس‌ترین دوره به کمبود آب معرفی کرده و علت آن را این‌گونه توجیه کردند که تشکیل دانه‌های گرده و عمل لقاح ممکن است هم‌زمان با وقوع تنش زیاد آب به‌طور جدی مختل شده و در زمان توسعه خوشه و گل‌دهی نیز کمبود آب باعث کاهش تعداد خوشه در بوته، طول خوشه و تعداد دانه در خوشه شود.

اغلب مطالعات صورت‌گرفته در مورد ارتباط بارش و عملکرد، فاکتور فواصل زمانی بین بارش‌ها مد نظر قرار نگرفته است، لذا با توجه به مطالعات پیشین، در پژوهش حاضر از شاخص‌های یکنواختی بارش و نیز شاخص زمان-بارش به منظور بررسی اثر بارش تجمعی، توزیع بارندگی و اثر دو فاکتور زمان و مقدار بارش بر

جدول ۱- متوسط مقادیر بارندگی و عملکرد گندم دیم در تبریز

متغیرها	متوسط	کمینه	بیشینه
بارندگی سالانه (میلی‌متر)	۲۵۸/۷	۱۴۶/۳	۳۴۰/۸
عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	۱۰۴۹	۱۰۳	۱۴۲۰



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه

که در آن: y_e معرف مقدار بارش تجمعی متناظر با نقاط روی خط یکنواختی (y_i) و n تعداد روزهای طول دوره رشد گندم دیم است. با توجه به رابطه (۱)، هرچه میزان شاخص ناهمواری توزیع بارندگی بیشتر باشد، یکنواختی بارش کمتر بوده و این امر اثر منفی بر میزان عملکرد خواهد داشت. به منظور بررسی میزان همبستگی عملکرد با هریک از شاخص‌های یکنواختی با استفاده از نرم‌افزار *IBM SPSS Statistics 20* از ضریب همبستگی ساده پیرسون استفاده شد.

شاخص زمان-بارش

بارشی در عملکرد محصولات دیم مؤثر بوده که در زمان مناسب و به مقدار کافی رخ دهد. لذا دو شاخص زمان رخداد بارش و نیز مقدار بارش تأثیر مستقیمی بر نوسانات عملکرد در شرایط دیم دارند. در این راستا سهرابی ملایوسف و همکاران (۱۳۹۱) شاخصی را تحت عنوان شاخص زمان-بارش (*RTI*) معرفی کردند که با استفاده از یک تابع، تأثیر توأم زمان و مقدار بارش را بررسی می‌کند. این شاخص از تقسیم مقدار بارش بر فاصله زمانی وقوع بارش حاصل می‌شود:

$$RTI_{ij} = \frac{R_{ij}}{TA_{ij}} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

شاخص‌های یکنواختی بارش

مونت و ونچوری (۲۰۰۷) در پژوهشی به منظور بهبود برآورد روابط بین بارش و عملکرد یک مدل ساده را توسعه دادند که در پژوهش حاضر از آن مدل تحت عنوان شاخص یکنواختی به منظور ارزیابی روابط بارش و عملکرد استفاده شد. برای این منظور ابتدا نمودار بارش تجمعی در طول دوره رشد گندم در هر سال ترسیم شد. خط یکنواختی نیز از طریق وصل آخرین نقطه نمودار بارش تجمعی بر ابتدای آن حاصل شد. شیب خط یکنواختی (نسبت بارش تجمعی بر طول دوره رشد) معرف متوسط میزان بارندگی روزانه در طول دوره رشد است که با نماد E_R نشان داده می‌شود. به منظور بررسی اثر نحوه پراکندگی بارش از خط یکنواختی، تعداد نقاط داده بالای خط یکنواختی (R_+) و پایین خط یکنواختی (R_-) محاسبه شد. شاخص ناهمواری توزیع بارندگی U_R نیز تخمینی از پراکندگی میزان بارش واقعی حول خط یکنواختی را ارائه می‌دهد. این شاخص از طریق ریشه دوم نسبت مجموع مربعات فاصله هریک از نقاط داده‌های بارندگی تجمعی از نقاط منطبق بر خط یکنواختی به طول دوره رشد حاصل می‌شود:

$$U_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_e)^2}{n}} \quad (1)$$

رویداد بارش، می‌توان توابع احتمالاتی متأثر از زمان و مقدار بارش را به‌دست آورد. برای این منظور با استفاده از نرم‌افزار *Easy fit* بهترین تابع توزیع برای هر سری از مقادیر شاخص زمان-بارش محاسبه شده تعیین شد و به ازای دوره‌های بازگشت ۱/۳۳، ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال (معادل احتمال ۲۵، ۵۰، ۸۰، ۹۰، ۹۶ و ۹۸ درصد) مقادیر شاخص زمان-بارش و زمان مطلق محاسبه شد. لذا منحنی‌های شاخص-مرتبه-فرکانس و زمان-مرتبه-فرکانس ارائه می‌شود که با استفاده از آن به ازای یک احتمال معلوم، شاخص زمان-بارش و زمان مطلق برای هر رویداد بارش در طول سال محاسبه حاصل می‌شود؛ بنابراین، با استفاده از رابطه (۴)، مقادیر هرکدام از رویداد-های بارش به ازای احتمالات مختلف قابل محاسبه است:

$$R_{T_r} = RTI_{T_r} \cdot TA_{T_r} \quad (4)$$

که در آن: R_{T_r} مقدار بارش با دوره بازگشت T_r ، RTI_{T_r} شاخص زمان-بارش با دوره بازگشت T_r و TA_{T_r} زمان مطلق بارش با دوره بازگشت T_r می‌باشند. با داشتن مقادیر شاخص زمان-بارش و زمان مطلق استفاده از رابطه (۴) می‌توان مقادیر بارش را به‌ازای دوره‌های بازگشت یکسان به‌دست آورد. بین مقادیر رویدادهای بارش و عملکرد محصول گندم دیم، به ازای سطوح احتمالاتی مورد بررسی رابطه رگرسیونی برقرار می‌شود:

$$\begin{pmatrix} R_{1,1} & R_{1,2} & \dots & R_{1,i} & \dots & R_{1,n} \\ R_{2,1} & R_{2,2} & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{k,1} & R_{k,2} & \dots & R_{k,i} & \dots & R_{k,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{p,1} & R_{p,2} & \vdots & R_{p,i} & \dots & R_{p,n} \end{pmatrix}_{p \times n} \times \begin{pmatrix} W_{1,1} \\ W_{2,1} \\ \vdots \\ W_{n,1} \end{pmatrix}_{n \times 1} = \begin{pmatrix} Y_{1,1} \\ Y_{2,1} \\ \vdots \\ Y_{p,1} \end{pmatrix}_{p \times 1} \quad (5)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$k = 1, 2, 3, \dots, p \quad p = 6$$

که در آن: RTI_{ij} شاخص زمان-بارش مربوط به i امین بارش در سال j ام، R_{ij} مقدار بارش i ام در سال j ام و TA_{ij} فاصله زمانی بارش i ام در سال j ام است. برای محاسبه شاخص زمان-بارش، لازم است در ابتدا تعداد رویدادهای بارش در هر سال تعیین شده و در بین سال-های دوره آماری مورد مطالعه، سالی که کمترین تعداد بارش در آن رخ داده مشخص شده و تعداد رخدادهای بارش در آن سال به‌عنوان حداقل بارش قابل اعتماد مشخص شود. این تعداد بارش در همه سال‌ها مشخص شده و محاسبات بر مبنای آن انجام می‌شود؛ بنابراین هر بارش در هر سال به‌صورت زوجی از مقدار و زمان رخداد بارش (T_{ij} و R_{ij}) نشان داده می‌شود. زمان مطلق بارش نیز به‌عنوان فاصله زمانی بین هر دو بارش متوالی تعریف می‌شود:

$$TA_{ij} = T_{ij} - T_{(i-1)j} \quad i=1,2,3,\dots,m$$

$$j=1,2,3,\dots,n \quad (3)$$

که در آن: TA_{ij} زمان بارش مطلق بارش i ام در سال j ام، T_{ij} زمان وقوع بارش i ام در سال j ام و $T_{(i-1)j}$ زمان وقوع بارش $(i-1)$ ام در سال j ام است.

برآورد اثر رویدادهای بارش بر عملکرد

برای هریک از رویدادهای بارش، شاخص زمان-بارش با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود. بررسی تواتر شاخص زمان-بارش و نیز زمان مطلق هر

در رابطه ۵، ماتریس R مربوط به مقادیر هر یک از بارش‌ها به ازای شش احتمال مذکور است که در آن $R_{k,i}$ مقدار i امین بارش با k امین درصد احتمال است. ماتریس Y نیز مقادیر عملکرد سالانه محصول دیم به ازای شش احتمال متناظر است که با استفاده از نرم‌افزار *Easy fit* محاسبه شده و ماتریس W ماتریس ضرایب هر یک از بارش‌ها است. برای محاسبه رابطه رگرسیونی ۵، از محیط نرم‌افزاری *MATLAB 2012b* استفاده شد. در این رابطه، هر یک از بارش‌ها متغیر محسوب می‌شود و ضرایب هر یک از این متغیرها، میزان تاثیر بارش وابسته به آن متغیر را نشان می‌دهد؛ بدین ترتیب با به دست آوردن و حل رابطه مولتی رگرسیونی بارش‌های نوبتی - عملکرد سالانه گندم دیم، اثر هر یک از بارش‌های نوبتی و تغییرات آن بر اساس احتمالات مختلف بر روی عملکرد سالانه محصول گندم دیم محاسبه می‌شود.

در آمار ارائه شده توسط سازمان هواشناسی تعداد رویدادهای بارش زیاد است و حتی داده‌های کمتر از یک میلی‌متر نیز ثبت شده است؛ از سوی دیگر با توجه

به تلفات بارش شامل گیرش، برگاب و تبخیر از سطح خاک، بخش عمده‌ای از رویدادهای بارش عملاً مورد استفاده گیاه زراعی قرار نمی‌گیرد. لذا در مطالعه حاضر به منظور بهبود کارایی شاخص مورد مطالعه، از شاخص زمان-بارش مؤثر استفاده شد. برای این منظور فقط رویدادهای بارشی که به میزان پنج میلی‌متر یا بیشتر در دو روز متوالی ثبت شده باشد به‌عنوان رویدادهای بارش مؤثر مد نظر قرار گرفت (کمالی و همکاران، ۱۳۸۷).

نتایج و بحث

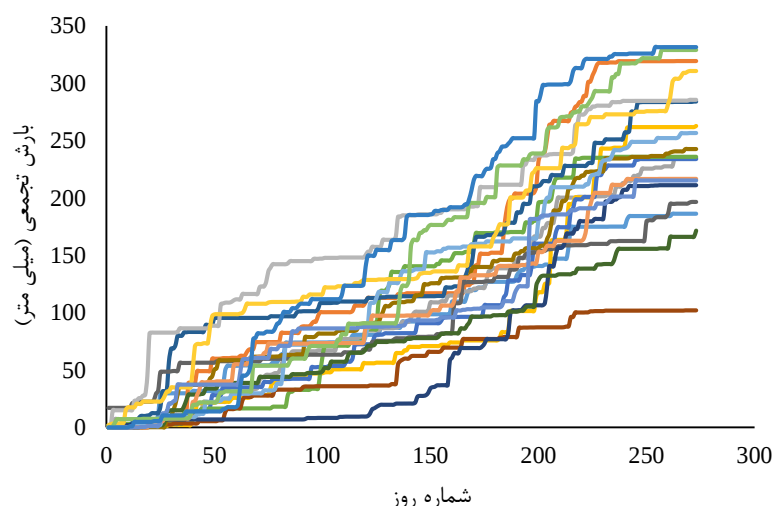
گام اول در مطالعه آماری همبستگی شاخص‌های یکنواختی با عملکرد، بررسی نرمال بودن شاخص‌هاست که با محاسبه چولگی و کشیدگی بررسی شد. به‌طور کلی اگر چولگی و کشیدگی در بازه بین ۲- تا ۲+ باشند، داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. در جدول (۲) آمار توصیفی شاخص‌های یکنواختی ارائه شده است. بر این اساس پیش فرض نرمال بودن داده‌ها برقرار است.

جدول ۲- آمار توصیفی شاخص‌های یکنواختی

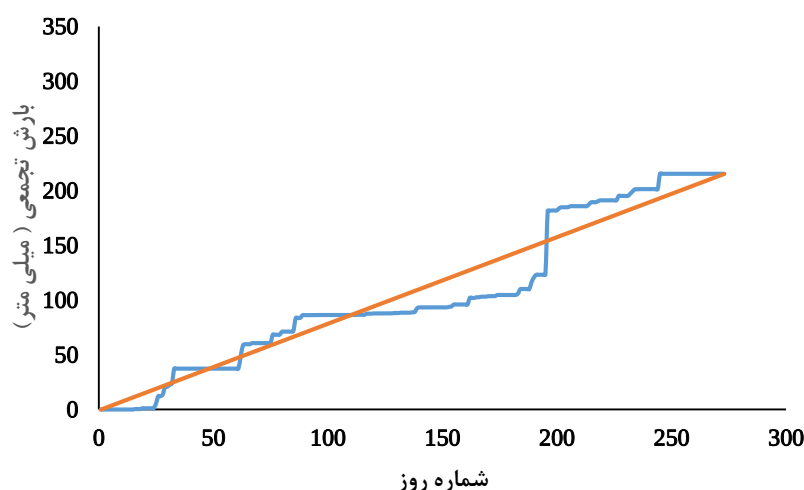
U_R / E_R (day)	R_-	R_+	E_R (mm/day)	
۲۳/۶۱	۱۵۷	۱۱۶	۰/۸۹	میانگین
۴۱/۹۲	۲۲۴	۲۲۴	۰/۸۴	دامنه
۰/۵۱	۱/۷۶	۱/۷۶	۰/۳۷	کشیدگی
۰/۹۹	-۱/۱۳	۱/۱۳	-۰/۴۱	چولگی
۰/۵۲	۰/۳۵	۰/۴۷	۰/۲۴	ضریب تغییرات

و تعداد نقاط پایین خط یکنواختی ۱۳۰ است که نشان می‌دهد در ۱۴۳ روز میزان متوسط بارش تجمعی بیشتر از مقدار متوسط و در ۱۳۰ روز کمتر از آن است. شاخص ناهمواری توزیع نیز در این سال معادل ۱۷/۴۱ محاسبه شد. هرچه میزان ناهمواری توزیع بیشتر باشد، یکنواختی پایین‌تر است. لذا انتظار می‌رود در دوره‌های با بارندگی منظم و یکنواخت بهره‌وری بارش و تأثیر آن بر عملکرد بیشتر باشد.

در شکل (۲) نمودار کلی بارش تجمعی در طول فصل رشد برای همه سال‌های مورد مطالعه ارائه شده است. همچنین، در شکل (۳) نیز مقادیر شاخص‌های یکنواختی مورد مطالعه به عنوان نمونه برای سال ۹۶-۱۳۹۵ نشان داده شده است. در این سال شیب خط یکنواختی معادل ۰/۷۹ حاصل شد که نشان می‌دهد میزان متوسط بارش روزانه در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ معادل ۰/۷۹ میلی‌متر است. تعداد نقاط بالای خط یکنواختی ۱۴۳



شکل ۲- نمودار بارش تجمعی در طول فصل رشد برای تمام سال ها



شکل ۳- محاسبه مقادیر شاخص های یکنواختی بارش در سال ۹۶-۱۳۹۵

ارتباط عملکرد با شاخص های یکنواختی

همبستگی عملکرد گندم با شاخص های یکنواختی بارش به فرم ماتریسی در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج نشان داد در بین شاخص های یکنواختی تنها میانگین بارش روزانه در طول دوره رشد (شیب خط یکنواختی) همبستگی مثبت و معنی داری در سطح یک درصد با عملکرد دارد (جدول ۳). نتایج مطالعه بنایان اول و همکاران (۱۳۹۶) نیز نشان داد میانگین بارش روزانه در طول دوره رشد برخلاف شاخص ناهمواری توزیع بارش، همبستگی معنی داری با میزان عملکرد گندم و جو داشت. مقایسه همبستگی بین شاخص های یکنواختی نیز حاکی از

همبستگی معنی دار شیب خط یکنواختی با ناهمواری توزیع بارش در سطح پنج درصد است. در واقع با افزایش شیب خط یکنواختی، احتمال عدم یکنواختی بارش یا به عبارتی افزایش شاخص ناهمواری توزیع بیشتر می شود. با توجه به رابطه کاملاً معکوس تعداد نقاط بالا و پایین خط یکنواختی، همبستگی مطلق اما معکوس بین این دو شاخص نیز در سطح یک درصد ملموس است. البته باید توجه داشت رابطه بین شاخص های یکنواختی با عملکرد به شدت تحت تأثیر توزیع فصلی بارش قرار دارد. به طور کلی انتظار می رود در دو سال با میزان بارش مشابه، در سالی که شاخص ناهمواری توزیع بارش کمتر باشد، میزان

عملکرد بیشتری مشاهده شود؛ اما در عمل نوسان میزان عملکرد با شاخص ناهمواری توزیع ممکن است رفتار دوگانه‌ای داشته باشد. به‌طور مثال در دو سال ۸۳ و ۹۲ متوسط بارش روزانه در طول دوره رشد در حدود ۰/۹۵ میلی‌متر است. شاخص ناهمواری توزیع در سال ۸۳ تقریباً سه برابر مقدار این شاخص در سال ۹۲ محاسبه شد. میزان عملکرد گندم نیز در سال ۹۲ به میزان ۳۷۰ کیلوگرم در هکتار (حدود ۴۰ درصد) بیشتر از سال ۸۳ گزارش شده است. این در حالی است که مقایسه نتایج به‌دست آمده در سال‌های ۸۶ و ۹۴ با شیب خط یکنواختی ۱/۰۴ نشان داد که میزان عملکرد در سال ۹۴ که شاخص

ناهمواری توزیع در آن حدود ۵۴ درصد بیشتر از سال ۸۶ است، به میزان ۲۰۸ کیلوگرم در هکتار (حدود ۱۷ درصد) بیشتر از سال ۸۶ است. این امر نشان می‌دهد که علاوه بر مقدار شاخص ناهمواری توزیع، زمان ایجاد این ناهمواری نیز در عملکرد تأثیر گذار است. در واقع مطلوب است که میزان بارش در مراحل حساس رشد نسبت به تنش آبی بیشتر باشد. آسنگ و همکاران (۲۰۰۱) اذعان داشتند صرف نظر از تمام روابط فیزیولوژیکی بین موجودیت آب در دسترس گیاه و عملکرد، نحوه توزیع بارش از مهمترین عوامل تعیین کننده عملکرد است.

جدول ۳- ماتریس ضرایب همبستگی عملکرد و شاخص‌های یکنواختی

صفات	Yield	E_R	R_+	R_-	U_R
Yield	۱				
E_R	۰/۶۹۷ **	۱			
R_+	-۰/۰۷۷ <i>n.s</i>	-۰/۰۶۱ <i>n.s</i>	۱		
R_-	۰/۰۷۷ <i>n.s</i>	۰/۰۶۱ <i>n.s</i>	-۱/۰۰۰ **	۱	
U_R	۰/۱۴۷ <i>n.s</i>	۰/۴۷۱ *	-۰/۲۳۹ <i>n.s</i>	۰/۲۳۹ <i>n.s</i>	۱

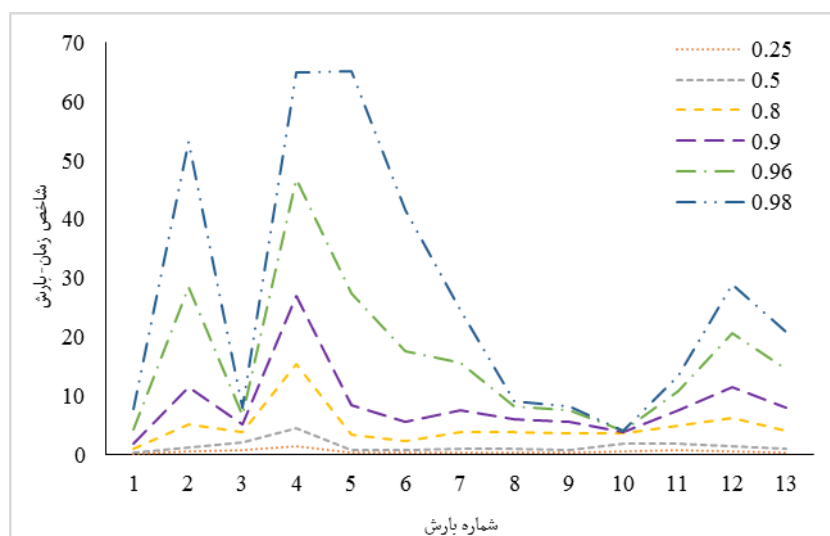
ns و *، ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن ضرایب همبستگی در سطح یک و پنج درصد و عدم معنی‌دار بودن ضرایب همبستگی است

بنابراین به‌نظر می‌رسد علاوه بر شاخص‌های یکنواختی و ناهمواری توزیع، مطالعه شاخصی از بارش که علاوه بر مقدار بارش، شاخص زمان را نیز مورد ارزیابی قرار دهد، بتواند ارزیابی دقیق‌تری پیرامون نحوه نوسانات عملکرد با توزیع بارش ارائه دهد.

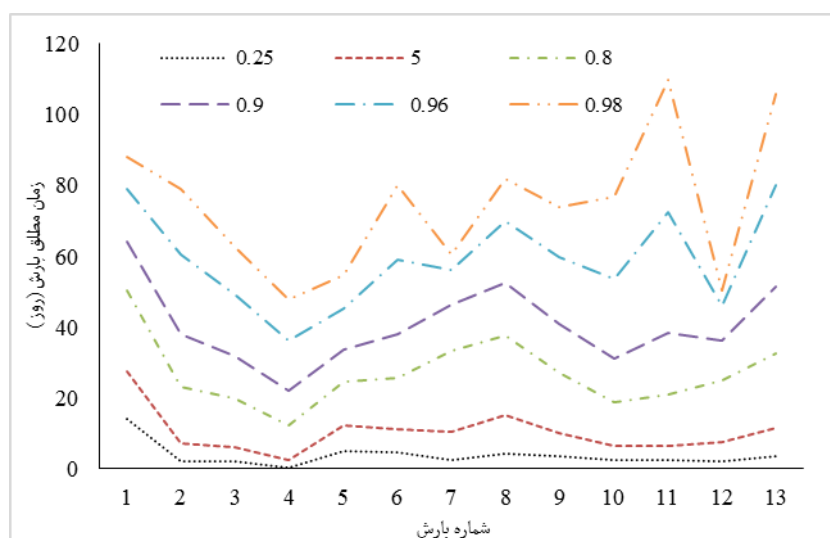
شاخص زمان-بارش مؤثر

آمار بارش‌های روزانه از آغاز تاریخ کشت مرتب شده و بر اساس داده‌های ۱۹ سال مورد مطالعه، حداقل تعداد ۹۴ رویداد بارش در هر سال وجود دارد. از این میان تعداد ۱۳ رویداد بارش مؤثر (رویدادهای بارشی که به میزان پنج میلی‌متر یا بیشتر در دو روز متوالی ثبت شده باشد) به‌عنوان حداقل تعداد رویداد بارش مؤثر قابل اعتماد تعیین شد. با در دست داشتن مقدار و زمان مطلق هریک از رویدادهای بارش در هر سال، شاخص زمان-

بارش مؤثر محاسبه شد. در ادامه با استفاده از معیار کلموگروف اسمیرنوف، بهترین تابع توزیع احتمال شاخص زمان-بارش مؤثر برای هر رویداد بارش مؤثر تعیین و بر اساس آن، مقادیر شاخص زمان-بارش مؤثر هر رویداد به ازای شش دوره بازگشت مورد مطالعه محاسبه شد. همین فرآیند برای زمان مطلق هریک از رویدادهای بارش مؤثر نیز تکرار شد. منحنی‌های شاخص-مرتبه-فرکانس و زمان مطلق-مرتبه-فرکانس به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. با استفاده از این منحنی‌ها، میزان هر رویداد بارش مؤثر به ازای شش دوره بازگشت مورد بررسی قابل محاسبه است (رابطه ۴). به عنوان مثال مقدار اولین رویداد بارش مؤثر به‌ازای دوره بازگشت پنج سال (معادل سطح احتمال ۸۰ درصد) به میزان ۴۷/۶ میلی‌متر برآورد شد.



شکل ۴- منحنی شاخص - مرتبه - فرکانس



شکل ۵- منحنی زمان مطلق - مرتبه - فرکانس

بارش مؤثر در فصل پاییز رخ می‌دهد. دو عامل بر روند تغییرات شاخص مؤثر است. یکی مقادیر رویدادهای بارش و دیگری فاصله زمانی بین رویدادها. لذا مقادیر بیشینه شاخص نشان‌دهنده عمق زیاد بارش و یا فاصله زمانی کمتر بین دو رویداد و یا ترکیبی از این دو عامل است. نتایج مطالعه هادی و همکاران (۱۳۹۶) در یک بازه زمانی ۳۰ ساله نشان داد فصل‌های بهار و پاییز به ترتیب با متوسط ۱۰۴ و ۶۷ میلی‌متر (به ترتیب معادل حدود ۴۲ و ۲۷ درصد بارش سالانه) دارای بالاترین میزان بارش فصلی در دشت تبریز هستند. با این حال تعداد رویداد-های بارش در فصل بهار ۳۷/۶ رویداد است که بخش

در جدول (۳)، مقادیر کمینه و بیشینه شاخص زمان-بارش مؤثر و زمان وقوع آن ارائه شده است. بر این اساس بیشترین مقدار این شاخص به ازای دوره‌های بازگشت ۱/۳۳، ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ سال مربوط به رویداد بارش چهارم و به ازای دوره بازگشت ۵۰ سال مربوط به پنجمین رویداد بارش مؤثر است. در سوی مقابل مقدار کمینه این شاخص نیز به ازای دوره‌های بازگشت ۱/۳۳، ۲، ۵ و ۱۰ سال مربوط به اولین رویداد بارش مؤثر و متناظر با دوره‌های بازگشت ۲۵ و ۵۰ سال مربوط به دهمین رویداد بارش مؤثر است (جدول ۴). نتایج نشان داد که بیشترین نوسان مربوط به مقادیر شاخص زمان-

عمده‌ای از آن (۳۰/۵ رویداد) دارای مقادیر کمتر از پنج میلی‌متر هستند.

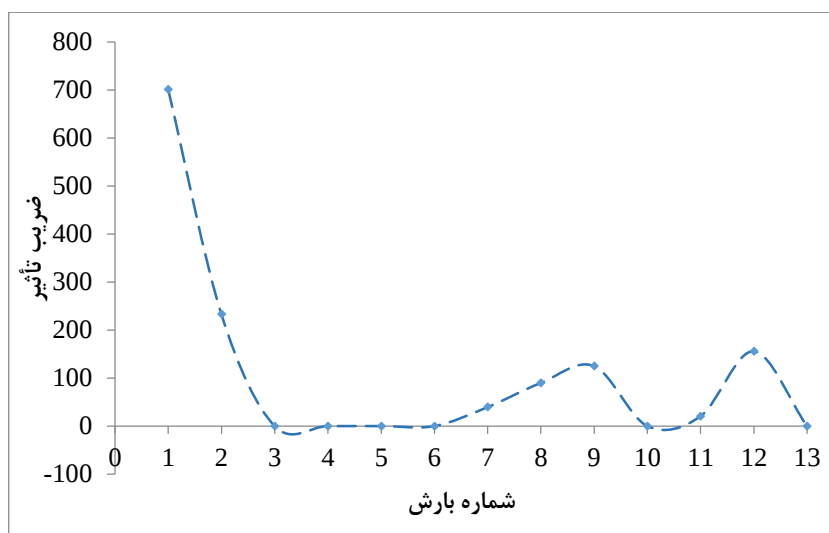
جدول ۴- مقادیر کمینه و بیشینه شاخص زمان-بارش مؤثر

کمینه			بیشینه			دوره بازگشت (سال)
زمان وقوع	RTI	شماره رویداد	زمان وقوع	RTI	شماره رویداد	
۲۴ مهر	۰/۱۴	اول	۲۱ آبان	۱/۴۰	چهارم	۱/۳۳
۷ آبان	۰/۳۰	اول	۷ آذر	۴/۴۲	چهارم	۲
۳۰ آبان	۰/۹۵	اول	۴ دی	۱۵/۳۳	چهارم	۵
۱۴ آذر	۱/۸۷	اول	۲۳ دی	۲۷/۰۸	چهارم	۱۰
۱۵ اردیبهشت	۳/۹۸	دهم	۲۳ بهمن	۴۶/۹۰	چهارم	۲۵
۲۳ اردیبهشت	۴/۰۰	دهم	۲۶ فروردین	۶۵/۱۲	پنجم	۵۰

ارزیابی تأثیر رویدادهای بارش مؤثر بر عملکرد

با استفاده از نرم‌افزار *Easy fit* بهترین تابع توزیع احتمال مربوط به داده‌های عملکرد گندم دیم برازش داده شد و بر اساس آن به‌ازای دوره‌های بازگشت ۱/۳۳، ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال مقادیر عملکرد محاسبه شد. همچنین مقادیر هر رویداد بارش مؤثر نیز با استفاده از رابطه (۴) برآورد شد. لذا رابطه مولتی‌رگرسیون بین عملکرد و رویدادهای بارش مؤثر در شش احتمال مطابق با ماتریس رابطه ۵ حاصل می‌شود. حل این معادله رگرسیونی نشان داد اولین رویداد بارش مؤثر، مؤثرترین بارش در نوسانات عملکرد گندم دیم است که به طور میانگین در ۱۲ آبان ماه رخ می‌دهد و ضریب تأثیر آن بر عملکرد معادل ۷۰۱/۲ حاصل شد. روند تغییرات ضریب تأثیر هریک از رویدادهای بارش مؤثر بر عملکرد گندم دیم در شکل (۶) ارائه شده است؛ با این توضیح که ضرایب منفی، صفر در نظر گرفته شده است. نتایج مطالعاتی که پیرامون ارتباط بارش و عملکرد در منطقه تبریز صورت گرفته حاکی از آن است که دو نوبت بارش بیشترین تأثیر را بر عملکرد گندم دیم دارد؛ یکی بارش هنگام کاشت به عنوان خاک‌آب برای جوانه‌زنی و دیگری بارش خرداد ماه مقارن با مرحله پر شدن دانه‌ها (هادی ۱۳۹۵). به‌نظر می‌رسد کمبود بارش در مرحله پر شدن دانه‌ها که یکی از اصلی‌ترین دلایل عملکرد پایین اراضی دیم گزارش شده، عاملی است که سبب شده تأثیر بارش-

های انتهای فصل رشد بر عملکرد هویدا نشود. نخجوانی-مقدم و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند با کاربرد تک آبیاری بهاره، متوسط بهره‌وری کل آب شامل بارش و آبیاری در تولید گندم در مقایسه با شرایط دیم ۷۴ درصد افزایش یافت. نتایج بسیاری از مطالعات نشان داده است تنش رطوبتی در انتهای فصل رشد از طریق کاهش وزن هزار دانه سبب کاهش عملکرد می‌شود (یانگ و همکاران ۲۰۰۱؛ فرمینی‌فراهانی و همکاران؛ ۱۳۹۲ هادی و همکاران ۱۳۹۶) و انجام آبیاری تکمیلی از طریق افزایش رضایتمندی نیاز آبی محصول، موجب کاهش ریسک اقلیمی این محصول و در نتیجه افزایش عملکرد شده است (مونس‌خواه و مجنون‌هریس ۱۳۹۶). این در حالی است که با مدیریت دقیق زمان کاشت می‌توان از بارش-های پاییزه به نحو مطلوب استفاده کرد. نتایج مطالعه حاضر نیز حاکی از این است که اولین رویداد بارش مؤثر پاییزه بیشترین تأثیر را بر عملکرد گندم داشت. لذا توصیه می‌شود با کاشت به موقع محصول از بارش‌های مؤثر پاییزه به نحو مطلوب استفاده کرده و اثر کمبود بارش‌های مؤثر بهاره به‌خصوص در انتهای فصل رشد مقارن با مرحله حساس به تنش پر شدن دانه‌ها با انجام یک نوبت آبیاری تکمیلی جبران شود. محاسبه و مطالعه شاخص‌های مورد بحث در مقاله حاضر پس از اعمال تأثیر آبیاری تکمیلی، کمک شایانی به افزایش بهره‌وری آب و افزایش عملکرد محصول خواهد کرد.



شکل ۶- ضریب تأثیر هریک از رویدادهای بارش مؤثر بر عملکرد گندم دیم

نتیجه گیری کلی

در مطالعه حاضر به بررسی اثر شاخص‌های یکنواختی و شاخص زمان- بارش مؤثر بر عملکرد گندم دیم پرداخته شد. نتایج نشان داد رابطه بین شاخص‌های یکنواختی با عملکرد تحت تأثیر توزیع فصلی بارش قرار دارد و علاوه بر شاخص یکنواختی و ناهموازی توزیع، لازم است دو عامل زمان و مقدار بارش به صورت توأم مورد بررسی قرار گیرد. نتایج نشان داد در منطقه تبریز اولین رویداد بارش مؤثر در تاریخ ۱۲ آبان بیشترین تأثیر را بر عملکرد گندم دیم دارد و به عنوان مؤثرترین رویداد

بارش بر عملکرد تعیین شد. به نظر می رسد دلیل این امر اهمیت اولین رویداد بارش مؤثر در جوانه زنی به موقع گندم باشد. این امر سبب می شود که گیاه مرحله پنجه زنی را نیز قبل از فرا رسیدن سرمای زمستانه پشت سر گذاشته و مقاومت بیشتری در برابر سرمای زمستانه داشته باشد. همچنین به نظر می رسد تأثیر کمتر بارش‌های بهاره بر عملکرد گندم دیم ناشی از عدم کفایت بارش‌های مؤثر بهاره در پاسخ به نیاز آبی گندم در مراحل حساس به تنش گل دهی و پر شدن دانه باشد که مانع از آشکار شدن اثر مثبت بارش انتهای فصل رشد بر عملکرد شده است.

فهرست منابع

۱. بنایان اول، م.، اسدی، س.، صالحی، ح. و کوزه‌گران، س. ۱۳۹۶. ارزیابی رابطه بارش تجمعی و عملکرد گندم و جو با استفاده از شاخص یکنواختی در منطقه نیمه‌خشک مشهد. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱۱، شماره ۴، صفحه‌های ۶۳۶ تا ۶۴۶.
۲. سبزی‌پرور، ع. ا.، ترکمان، م. و مریانچی، ز. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر شاخص‌ها و متغیرهای هواشناسی کشاورزی در عملکرد بهینه گندم (مطالعه موردی: استان همدان). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۶، صفحه‌های ۱۵۵۴ تا ۱۵۶۷.
۳. سهرابی ملایوسف، س.، فاخری‌فرد، ا. و بزرگ‌حداد، ا. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر نوبتی بارش‌های پاییز و زمستان بر عملکرد سالانه دیم با استفاده از شاخص زمان بارش (*RTI*). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۱، صفحه‌های ۷۵ تا ۸۴.
۴. شکوهی، م. و ثنائی‌نژاد، س. ح. ۱۳۹۵. تأثیر دوره‌های بارندگی و شاخص *SPI* به عنوان شاخص تأمین رطوبتی بر عملکرد جو دیم (مطالعه موردی شهرستان تبریز). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۳۰، شماره ۱، صفحه‌های ۲۱۰ تا ۲۲۱.
۵. فرمهینی فراهانی، م.، میرزاخانی، م. و ساجدی، ن. ع. ۱۳۹۲. اثر تنش کم‌آبی و کاربرد مواد جاذب رطوبت بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم پاییزه در اراک. نشریه یافته‌های نوین کشاورزی، شماره ۳، صفحه‌های ۲۶۳ تا ۲۷۴.
۶. کمالی، غ. ع.، صدقیانی‌پور، ع. و صداقت‌کردار، ع. ۱۳۸۷. بررسی پتانسیل اقلیمی کشت گندم دیم در استان آذربایجان شرقی. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۲، شماره ۲، صفحه‌های ۴۶۷ تا ۴۸۳.
۷. محسنی‌موحد، س. ا. ا. و اکبری، م. ۱۳۹۰. اثر حذف آبیاری در مراحل مختلف رشد بر عملکرد گندم رقم الوند (مطالعه موردی: همدان). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۶، صفحه‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۴.
۸. مونس‌خواه، و. و مجنونی‌هریس، ا. ۱۳۹۶. تأثیر آبیاری تکمیلی گندم دیم بر شاخص رضایت‌مندی نیاز آبی در اقلیم نیمه‌خشک دشت تبریز. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱۱، شماره ۶، صفحه‌های ۱۱۴۳ تا ۱۱۵۱.
۹. نخجوانی‌مقدم، م. م.، قهرمان، ب.، داوری، ک.، علیزاده، ا.، دهقانی سانجی، ح. و توکلی، ع. ر. ۱۳۹۵. افزایش بهره‌وری بارش برای گندم دیم در شرایط مدیریت برتر زراعی و آبیاری محدود در بالا دست حوضه کرخه. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۳۰، شماره ۳، صفحه‌های ۳۰۱ تا ۳۱۵.
۱۰. هادی، م. ۱۳۹۵. مطالعه تأثیر آبیاری تکمیلی و کاربرد سطوح مختلف پلیمر استاکوزورب بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم دیم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
۱۱. هادی، م.، خالدی، م. و مجنونی‌هریس، ا. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات و تحلیل حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در منطقه شمال‌غرب ایران. سومین همایش بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در علوم کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۱۲. هادی، م.، جلیلی، س. و مجنونی‌هریس، ا. ۱۳۹۶. ارزیابی عملکرد گندم دیم و آبی و بررسی امکان آبیاری تکمیلی گندم دیم با استفاده از آب ذخیره شده در کم‌آبیاری گندم آبی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱۱، شماره ۳، صفحه‌های ۱۰۳ تا ۴۱۱.

۱۳. هادی، م.، مجنونیه‌ریس، ا. و دلیرحسینیا، ر. ۱۳۹۶. بررسی ریسک کاشت و تعیین زمان مناسب آبیاری تکمیلی گندم دیم در دشت تبریز. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۷، شماره ۲، صفحه‌های ۳۰۷ تا ۳۲۰.
14. Asseng, S., Turner N.C. and Keating, B.A. 2001. Analysis of water- and nitrogen-use efficiency of wheat in a Mediterranean climate. *Plant Soil*, 1: 127–143.
15. Ashraf, B., Yazdani R., Mousavi-Baygi, M. and Bannayan, M. 2014. Investigation of temporal and spatial climate variability and aridity of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 118: 35-46.
16. Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A., Sadeghi Lotfabadi, S., Mohammadian, A. 2010. Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. *Field Crops Research*, 118 (2), 105–114.
17. Barzegar, A.R., Asoodar, M.A., Khadish, A., Hashemi, A.M. and Herbert, S.J. 2003. Soil physical characteristics and chickpea yield responses to tillage treatments. *Soil and Tillage Research*, 71: 49–57.
18. He, Y., Wei, Y., Depauw, R., Qian, B., Lemke, R., Singh, A., Cuthbert, R., Mcconkey, B. and Wang, H. 2013. Spring wheat yield in the semiarid canadian prairies: Effects of precipitation timing and soil texture over recent 30 years. *Field Crops Research*, 149: 329-337.
19. Kar, G., Kumar, A. and Martha, M. 2007. Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. *Agricultural Water Management*, 87: 73–82.
20. Lopez, C., Banowetz, G., Peterson, J. and Kronstad, W. 2003. Dehydrin expression and drought tolerance in seven wheat cultivars. *Crop Science*, 43: 577-582.
21. Monti, A., Venturi, G. 2007. A simple method to improve the estimation of the relationship between rainfall and crop yield. *Agronomy for Sustainable Development*, 27: 255 – 260.
22. Pala, M., Oweis, T., Benli, B., De Pauw, E., El Mourid, M., Karrou, M., Jamal, M. and Zencirci, N. 2011. Assessment of wheat yield gap in the Mediterranean: case studies from Morocco, Syria and Turkey. *International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria*. IV, 963-21.
23. Yang, J., Zhang, J., Wang, Z., Zhu, Q. and Liu, L., 2001. Water deficit-induced senescence and its relationship to the remobilization of pre-stored carbon in wheat during grain filling. *Agronomy Journal*, 93: 196-206.

شناسایی موانع و حمایت‌های موردنیاز برای مشارکت کشاورزان در طرح انتقال و توزیع آب به اراضی کشاورزی دشت سیستان

محمدرضا محبوبی^۱، مهدیه بزی، محمدشریف شریف‌زاده و جابر پاریاب

دانشیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

Mahboobi47@gmail.com

دانش آموخته کارشناسی ارشد ترویج و آموزش کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

bazzinazanin1992@gmail.com

دانشیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

sharifsharifzadeh@gmail.com

مربی گروه ترویج و آموزش کشاورزی دانشگاه زابل.

pariabjaber@gmail.com

دریافت: اسفند ۱۳۹۸ و پذیرش: مهر ۱۳۹۹

چکیده

این تحقیق با هدف شناسایی موانع و حمایت‌های موردنیاز برای مشارکت کشاورزان در طرح انتقال و توزیع آب به اراضی کشاورزی دشت سیستان انجام شد و در آن علاوه بر بکارگیری شیوه‌های کیفی جمع‌آوری اطلاعات همچون مشاهده و بررسی اسناد و مدارک مرتبط با طرح، از شیوه‌ی کمی جمع‌آوری اطلاعات با کمک ابزار پرسش‌نامه استفاده شد. روایی محتوایی پرسش‌نامه از طریق مصاحبه با برخی کارشناسان جهاد کشاورزی زابل و تیم تحقیق مورد تأیید قرار گرفت و پایایی پرسش‌نامه از طریق محاسبه آلفای کرونباخ برای موانع مشارکت و حمایت‌های مورد نیاز کشاورزان برای مشارکت در طرح به ترتیب ۰/۸۸۷ و ۰/۹۷۳ به دست آمد و مورد تأیید قرار گرفت. جامعه آماری شامل کشاورزان دشت سیستان بود (N= ۶۰۰)، که ۳۶۰ نفر از آنان به عنوان نمونه‌های تحقیق انتخاب شدند. تحلیل عاملی موانع مشارکت کشاورزان در طرح انتقال آب، به استخراج چهار عامل با عنوان "اعتماد"، "اطلاعات و معلومات"، "ناکارآمدی و نقص" و "شرایط اقلیمی و خشکسالی" منجر شد که این عوامل ۵۷/۹٪ از واریانس کل متغیرها را تبیین کردند. همچنین تحلیل عاملی حمایت‌های موردنیاز کشاورزان برای مشارکت در طرح انتقال آب، به استخراج سه عامل با عنوان "حمایت فنی و نهادی"، "حمایت عاطفی" و "حمایت حقوقی" منجر شد که این عوامل ۶۷/۳٪ از واریانس کل متغیرها را تبیین و به خود اختصاص دادند.

واژه‌های کلیدی: گروه‌های هم‌آب، شرایط اقلیمی و خشکسالی، شیوه‌های کیفی جمع‌آوری اطلاعات، پرسش‌نامه

مقدمه

از ابتدای پیدایش حیات، آب نقش اصلی در زندگی و موجودیت انسان داشته و همه موجودات، زندگی خود را از آن گرفته‌اند. در واقع آب و آبادانی همواره در کنار هم بوده‌اند و تمدن‌های بزرگ بشری در کنار رودخانه‌های بزرگ جهان پدید آمده‌اند (سادات میرئی و فرش، ۱۳۸۲). خشکی آب و هوایی یک پدیده طبیعی و برگشت‌پذیر است که در تمام نقاط دنیا به دلیل کاهش نزولات جوئی ممکن است رخ بدهد و منجر به خشکی هیدرولوژیکی و کشاورزی گردد و در صورت طولانی شدن دوره خشکی احتمال ایجاد قحطی و فجایع انسانی را در پی دارد (دای، ۲۰۱۱).

وضعیت اقتصادی در روستاها تا حدود زیادی وابسته به فعالیت‌های کشاورزی است و آب نیز مهم‌ترین عامل مؤثر بر توسعه کشاورزی و اقتصادی می‌باشد (جورابلو و همکاران، ۱۳۸۵). متأسفانه در کشور ما هنوز استفاده مطلوب از آب به شکل یک فرهنگ جایگاه خاص خود را پیدا نکرده است، به همین جهت دستیابی به تعادل نسبی در زمینه عرضه و مصرف آب یک اصل اساسی و ضروری است که این مهم جز با ایجاد یک نظام جامع مدیریت آب و مشارکت مردمی میسر نیست (تجربشی و ابریشم‌چی، ۱۳۸۳). بر این اساس، محور قرار گرفتن مدیریت پایدار منابع آبی در کشور، یکی از راه‌حل‌های استفاده از ظرفیت تشکلهای آب‌بران می‌باشد. در واقع تشکلهای آب‌بران با هدف اصلی مدیریت بهینه منابع آب در جهت توسعه پایدار ایجاد شده‌اند (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۰). در تدوین برنامه‌های مدیریت آب در درجه اول مصرف‌کنندگان درگیر می‌شوند، منظور از مصرف‌کنندگان کسانی هستند که استراتژی‌ها به ایشان تحمیل می‌شود. توجه به مصرف‌کنندگان در تصمیم‌گیری‌ها جهت موفقیت برنامه‌ها ضروری است زیرا افراد به طور مستقیم و غیرمستقیم بر روی مصرف منابع تاثیرگذار خواهند بود (الساوا و همکاران، ۲۰۱۳). سیستان و بلوچستان از جمله مناطقی مستعد خشکسالی در ایران است. شرایط ویژه

هیدرولیکی- هیدرولوژیکی و مکانی استان، وزش بادهای صد و بیست روزه، بارندگی ناچیز، دمای بالا، محدودیت منابع آب زیرزمینی، اشتراک منابع آب سطحی با کشور افغانستان و عدم تسلط ایران بر سرچشمه از یک سو، سابقه تمدن باستانی و تاریخی، مرزی بودن و ملاحظات سیاسی، اقتصادی و اجتماعی آن از سوی دیگر بر حساسیت مسئله آب در آن ناحیه می‌افزاید (زارع ایبانه و همکاران، ۱۳۹۲). این حساسیت در دشت سیستان اهمیت بیشتری دارد زیرا این منطقه به دلیل برخورداری از رسوبات آبرفتی رودخانه هیرمند، پتانسیل بسیار بالایی در زمینه تولیدات کشاورزی دارد. اگر چه دشت سیستان دارای بیش از ۱۹۰ هزار هکتار اراضی قابل کشت می‌باشد ولی از این سطح، سالانه بر حسب میزان آب تخصیصی تنها در حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد زیر کشت محصولات زراعی و باغی قرار می‌گیرد. عدم وجود منابع آب مطمئن علت اصلی کاهش سطح زیرکشت محصولات در این منطقه است. کاهش نزولات آسمانی به دلیل شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه سیستان و به دنبال آن خشک شدن اغلب جریانات سطحی و رودخانه‌های دائمی به خصوص رودخانه هیرمند، کم‌آب شدن تالاب بین‌المللی هامون و چاه‌نیمه‌ها از یک سو و توسعه سطح فعالیت‌های زراعی (گندم، جو، خربزه، هندوانه و غیره)، از سوی دیگر، سبب شده که طی سال‌های اخیر منابع آب زیرزمینی این منطقه بیش از ظرفیت مجاز برداشت شود و نقش مهمی را در تأمین آب آبیاری کشاورزان این منطقه داشته باشد. افزون بر این، استفاده از روش‌های سنتی آبیاری (کرتی، غرقابی، جوی و پشته‌ای و غیره) و عدم به‌کارگیری سیستم‌های نوین آبیاری به دلیل خرده‌پا بودن اغلب زارعین منطقه، سطح درآمدی پایین آن‌ها و فقدان تسهیلات مالی مناسب برای کشاورزان در جهت تجهیز مزارع به سیستم‌های نوین آبیاری (قطره‌ای و بارانی) سبب شده که منابع اندک آب موجود و در دسترس کشاورزان نیز به صورت غیرکارا و با راندمان پایین در سطح اراضی مورد استفاده قرار گیرد (بدیع برزین و همکاران، ۱۳۹۸).

طرح آبرسانی به منطقه سیستان از طریق لوله-کشی و به‌کارگیری سیستم‌های پمپاژ آب یکی از بزرگترین پروژه‌های آبرسانی و انتقال آب در کشور محسوب می-شود که در سال ۱۳۹۳ با هدف از بین بردن تنش‌های کم آبی، کاهش میزان تلفات آب در اثر فرونشست و تبخیر وسیع، توسعه کشت محصولات زراعی، ایجاد اشتغال، محرومیت‌زدایی و کاهش فقر، استقرار مجدد جمعیت، کاهش میزان مهاجرت، استقرار امنیت پایدار، بهبود وضعیت درآمدی کشاورزان و مقابله با مشکلات زیست-محیطی و اجتماعی به وجودآمده در اثر عواملی چون رخداد خشکسالی، کم آبی، کاهش نزولات آسمانی، کم شدن جریان‌ات سطحی رودخانه هیرمند و خشک شدن وسعت زیادی از دریاچه هامون، آغاز شد. این طرح پس از اجرایی شدن به صورت کامل، حدود ۴۶ هزار هکتار از اراضی زراعی منطقه را تحت پوشش خود قرار خواهد داد. منابع آبی تأمین‌کننده در اجرای این طرح شامل ذخایر چاه نیمه‌ها و جریان‌ات رودخانه هیرمند است (شهرکی و همکاران، ۱۳۹۷). در شرایط کنونی روند اجرای طرح و شواهد موجود نشان می‌دهد اجرای طرح با مشکلاتی روبروست و ابعاد اجتماعی و حقوقی زیادی در آن مورد غفلت واقع شده است که مشارکت کشاورزان را با موانعی روبرو ساخته و نیاز به حمایت‌هایی برای موفقیت طرح است.

نگاهی به سوابق مطالعاتی مرتبط با موضوع تحقیق نشان می‌دهد مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه‌های آبیاری و طرح‌های انتقال و توزیع آب با موانعی روبروست و در عین حال افزایش مشارکت کشاورزان نیازمند وجود حمایت‌های مختلفی است از جمله این که خورشیدی‌فر (۱۳۸۴)، عدم مشارکت مناسب کشاورزان در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی نکوآباد و آبشار اصفهان را اختلاف سلیقه بین کشاورزان به دلیل گستردگی شبکه و تعداد آبران، وابستگی بیش از حد آبران به سیستم بهره‌برداری دولتی، عدم وجود فرهنگ همیاری و تعاون در منطقه و عدم کفایت تلاش‌های فرهنگی جهت

ایجاد تشکلهای آبران ذکر کرده است. نجفی و شیروانیان (۱۳۸۵) در مطالعه موانع مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی سد درودزن دریافتند این موانع شامل مشکلات اقتصادی کشاورزان، عدم کفایت تفاهم و همکاری موجود بین کشاورزان، عدم توجه کافی به آموزش و ترویج و ناکافی بودن آب توزیعی بین کشاورزان است. حیدری و همکاران (۱۳۸۶) در بررسی موانع و محدودیت‌های موجود در مشارکت آبران و انتقال مدیریت آبیاری در چهار شبکه آبیاری و زهکشی اصفهان، درودزن، دز و قزوین دریافتند این موانع شامل عدم اعتماد کافی دو جانبه بین کشاورزان و دستگاه بهره‌بردار، وجود خلاء قانونی، نبود راهکارهای تشکیلاتی لازم برای برنامه‌های انتقال مدیریت، کمبود فعالیت‌های فرهنگ‌سازی، آموزش و افزایش توان فنی کشاورزان و بهره‌برداران، وجود تردیدهای مختلف و عدم پیش‌بینی قطعی برای شرایط بعد از انتقال مدیریت می‌باشد. عطایی و ایزدی (۱۳۹۳) در بررسی موانع ایجاد تشکلهای آبران در استان فارس مهم‌ترین آن‌ها را شامل سوء پیشینه فعالیت‌های دولت، دخالت مسئولین در امور تشکلهای مشارکت مالی کشاورزان در نگهداری از کانال‌ها، عدم پرداخت آب‌بها توسط کشاورزان و اختلافات بین کشاورزان ذکر کرده‌اند. نتایج تحقیق افراخته و همکاران (۱۳۹۶) نشان داد مهم‌ترین موانع تحقق مدیریت مشارکتی آب از نظر اعضای هیات علمی دانشگاه، فرهنگی-سازمانی و از نظر کارشناسان اجرایی، فنی و اجرایی است. مونوز اریکسون و همکاران^۲ (۲۰۱۰) در بررسی ارتباط بین شبکه‌های اطلاعاتی درگیر در زمینه مدیریت آب‌های زیرزمینی مشترک در یک منطقه کوهستانی در آرژونای آمریکا دریافتند مانع موجود در مدیریت مشارکتی منابع آب عدم توجه به ذی‌نفعان و تفاوت‌های فرهنگی و سیاسی میان آنان است. خانا^۳ (۲۰۱۳) نشان داد مهم‌ترین موانع تحقق مدیریت مشارکتی آب شامل ساختار سلسله مراتبی بالا به پایین، فقدان یادگیری سازمانی، چارچوب زمانی

2- Muñoz-Erickson et al

3- Khana

وجود انگیزه لازم در تشکلهای کشاورزان دانسته است. استین و همکاران^۴ (۲۰۱۱) در بررسی نقش شبکه‌های اجتماعی بر مدیریت موفق منابع آب در تانزانیا نشان دادند وجود رهبران محلی در روستاها برای حمایت از مدیریت موفق منابع آب ضروری است.

مواد و روش

این تحقیق آمیخته (کمی و کیفی) با اولویت کمی است. برای شناسایی و اولویت‌بندی گویه‌های حمایت‌ها و موانع مشارکت کشاورزان در طرح انتقال و توزیع آب به دشت سیستان از دید کارشناسان از تکنیک دلفی استفاده شد. این رویکرد در تحقیقاتی با زمینه‌ی مدیریتی و محیط زیستی در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی مورد استفاده قرار گرفته است و به کارگیری آن عمدتاً با هدف کشف ایده‌های خلاقانه و قابل اطمینان و یا تهیه اطلاعاتی مناسب به منظور تصمیم‌گیری است هدف از استفاده از این روش، دسترسی به مطمئن‌ترین توافق گروهی خبرگان درباره‌ی موضوعی است که با استفاده از پرسشنامه‌های باز (مرحله اول) و بسته (مرحله دوم) و نظرخواهی از آنان، چندین بار و با توجه به بازخورد آن‌ها صورت می‌پذیرد (احمدی و همکاران، ۱۳۸۷). در این پژوهش برای شناسایی گویه‌های مورد بررسی از روش دلفی استفاده شد. لذا در مرحله اول پرسشنامه‌ای به صورت باز طراحی گردید و در اختیار ۱۵ کارشناس از میان افراد مسلط به مسائل اجتماعی طرح انتقال و توزیع آب به دشت سیستان قرار گرفت و این امکان را برای کارشناسان فراهم آورد تا حمایت‌ها و موانع مشارکت کشاورزان در طرح و انتقال آب به دشت سیستان را بیان نمایند. در مرحله بعد، ۳۲ گویه در خصوص موانع مشارکت کشاورزان و ۳۲ گویه حمایتی برای تسهیل مشارکت کشاورزان در طرح

محدود و فقدان ارتباط پروژه‌ها با اهداف توسعه است. هید و نیف^۴ (۲۰۱۴) نیز مهم‌ترین موانع تشکیل تعاونی آب‌بران را تمرکز اختیارات کارکنان دولتی و نگرش منفی کارکنان در قدرت بخشی به جوامع محلی ذکر کرده‌اند. مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهوری (۱۳۹۸) در بررسی ابعاد مغفول اجتماعی طرح انتقال آب با لوله به دشت سیستان، مهم‌ترین این ابعاد را عدم تبادل اطلاعات کافی بین مجری طرح و کشاورزان و بی‌اعتمادی شدید بین آن‌ها، نامشخص بودن نظام بهره‌برداری طرح پس از افتتاح آن، چگونگی تأمین هزینه‌های نگهداری شبکه انتقال پس از بهره‌برداری، نامشخص بودن سرنوشت انواع دیگر حق‌آبه‌ها از جمله حق‌آبه‌های عرفی در طرح، نامشخص بودن الگوی کشت پس از افتتاح طرح، انتقال صرف آب تا نزدیکی مزرعه و عدم وجود برنامه‌ای مشخص برای افزایش بهره‌وری مزارع در مراحل کاشت، داشت و برداشت و عدم همراهی گروه‌های هم‌آب با یکدیگر و پیش‌بینی رخ دادن اختلافات زیاد بر سر آب و زمین، پس از افتتاح طرح ذکر کرده است.

حیدری و همکاران (۱۳۸۶) در مطالعه خود حمایت‌های لازم برای مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه‌های آبیاری و طرح‌های انتقال و توزیع آب را ایجاد بسترهای قانونی و تشکیلاتی برای ارتباط تشکلهای آب- بر با ساختار دولتی دانسته‌اند. زارعی دستگردی و همکاران (۱۳۸۶)، در پژوهشی با هدف تحلیل سازوکارهای بهبود مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه‌های آبرسانی در استان اصفهان دریافتند تخصیص منابع به تشکلهای و حمایت قانونی از آن‌ها توسط دولت، باعث افزایش مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه‌های آبرسانی خواهد شد. حمدی^۵ (۲۰۰۷) پنج عامل تأثیرگذار بر پایداری مشارکت بهره‌برداران در مدیریت شبکه‌های آبیاری را مسئولیت‌های شفاف و روشن، سازگاری تأسیسات آبی با حق‌آبه‌ها و ظرفیت‌های محلی، وجود منابع مالی و انسانی کافی، ثبات و شفافیت حق‌آبه‌ها و

4 - Heyd and Neef

5 - Hamdy

انتقال آب به دشت سیستان برای اولویت‌بندی گویه‌ها در اختیار کارشناسان قرار گرفت و اولویت گویه‌ها با استفاده از این روش غربال و درجه اهمیت آن‌ها تعیین شد (شکل ۱).

در تحقیق حاضر علاوه بر بکارگیری شیوه‌های کیفی جمع‌آوری اطلاعات چون مشاهده و بررسی اسناد و مدارک مرتبط با طرح، از شیوه‌ی کمی جمع‌آوری اطلاعات با کمک ابزار پرسش‌نامه استفاده شده است. این پرسش‌نامه با کمک کمیته پایان‌نامه (استاد راهنما و اساتید مشاور) و کارشناسان جهاد کشاورزی و با توجه به چهارچوب نظری مطرح شده و اهداف تحقیق تدوین گردید و برای تکمیل در اختیار کشاورزان قرار گرفت. این پرسش‌نامه شامل سه بخش بود: ویژگی‌های فردی و حرفه‌ای پاسخگویان و متغیرهای مربوط به موانع و حمایت‌های مورد نیاز کشاورزان برای مشارکت در طرح انتقال و توزیع آب به اراضی کشاورزی دشت سیستان. روایی پرسش‌نامه از سوی کمیته پایان‌نامه (استاد راهنما و اساتید مشاور) مورد تأیید قرار گرفت و پایایی آن با انجام یک مطالعه راهنما بر روی تعدادی نمونه خارج از نمونه آماری و محاسبه ضریب آلفای کرونباخ مشخص شد. ضریب آلفای کرونباخ برای موانع مشارکت کشاورزان در طرح انتقال آب و حمایت‌های مورد نیاز برای مشارکت کشاورزان در طرح انتقال آب، $0/887$ و $0/973$ به دست آمد که حاکی از این است که ابزار سنجش در حد قابل قبولی از پایایی برخوردار بوده است. از آماره‌های میانگین، انحراف معیار، فراوانی، درصد و تحلیل عاملی اکتشافی و با استفاده از نرم افزار SPSS به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. در این پژوهش جامعه آماری شامل ۶۰۰۰ نفر از کشاورزان ساکن در دشت سیستان بودند که با

استفاده از جدول مورگان، ۳۶۰ نفر از آنان به عنوان نمونه‌های تحقیق انتخاب شدند. روش نمونه‌گیری به صورت تصادفی چند مرحله‌ای بود، بدین ترتیب که ابتدا ۱۲ دهستان از بین ۱۸ دهستان دشت سیستان به صورت تصادفی انتخاب شدند. سپس از بین ۱۲ دهستان منتخب، ۳۱ روستا انتخاب شدند. در نهایت از هر روستا، کشاورزان درگیر در طرح انتقال آب به اراضی دشت سیستان به صورت تصادفی به عنوان نمونه انتخاب شدند (جدول ۱).

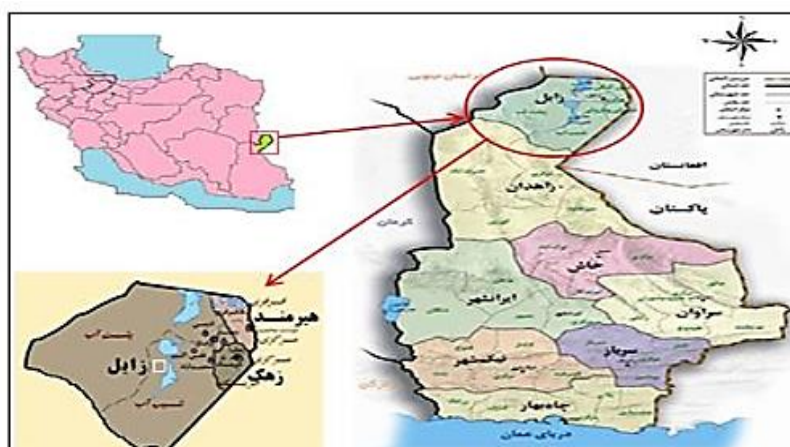
منطقه مورد مطالعه در این تحقیق یعنی دشت سیستان با طول جغرافیایی 60° درجه و $15'$ دقیقه تا 61° درجه و $50'$ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی 30° درجه و $5'$ دقیقه تا 31° درجه و $28'$ دقیقه شمالی در بخش شمال شرق استان سیستان و بلوچستان واقع شده و با مساحتی معادل 15197 کیلومتر مربع در حدود $8/1$ درصد از خاک این استان را به خود اختصاص داده است (شکل ۲). دشت سیستان به لحاظ تقسیمات کشوری دارای سه شهرستان (زابل، زهک و هیرمند)، هفت شهر، ۱۸ دهستان و بیش از ۹۸۵ روستا و آبادی است. از نظر شرایط اقلیمی، آب و هوای حاکم بر منطقه سیستان در تمام طبقه‌بندی‌های اقلیمی صورت گرفته از نوع گرم و خشک است. میانگین دمای سالانه 21° درجه سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی 38% درصد و متوسط بارندگی در منطقه حدود 58 میلی‌متر است که این مقدار بارندگی حدود 10% درصد بارندگی در کشور و حدود هفت درصد متوسط بارندگی جهانی است. این مقدار بارش تأثیر چندانی در بهبود وضعیت کشاورزی منطقه سیستان ندارد. این در حالی است که میزان تبخیر و تعرق سالانه در منطقه سیستان 15 برابر میزان بارندگی (بین 4500 تا 5000 میلی‌متر) در این منطقه برآورد شده است (بدیع برزین و همکاران، ۱۳۹۸).



شکل ۱- سیر روش‌شناسی تحقیق

جدول ۱- دهستان‌های نمونه و تعداد پرسش‌نامه توزیعی

نام شهرستان	دهستان‌های منتخب	نام روستا	تعداد پرسش‌نامه توزیع شده
هیرمند	جهان‌آباد	جهان‌آباد	۴
		پکک	۵
		رخشانی	۳
	دوست‌محمد	شندل	۲۰
		کارگاه	۲
		قرقری	۶
نیمروز	بزی	بزی	۱۲
		قائم‌آباد	۱۳
		خراشادی	۱۲
		لورگ‌باغ	۸
هامون	تیمورآباد	اسماعیل قنبر	۱۶
		علی‌اکبر	۶
		کرمی	۴
		بلند	۱۵
	کوه‌خواجه	غلامحسین سالاری	۱۰
		سکوهه	۵
		دک دهمرده	۵
		فیروزه‌ای	۳۲
زهک	جزینک	گوری	۲۵
		پیری	۲۵
	زهک	حسنخون	۱۵
		میرزاخون	۱۵
		ملک‌حیدری	۲۰
زابل	بنجار	ارباب	۲۵
		ژاله‌ای	۲۰
		کلوخی	۲۵
جمع کل	۱۲		۳۶۰



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه سیستان و شهرستان‌های واقع در آن

نتایج

مربوط به افرادی است که در گروه سنی بیشتر از ۴۵ سال قرار دارند (معادل ۵۲/۵ درصد) و متعلق به جنسیت مردان

نتایج بررسی نشان داد که بیشترین فراوانی

نیستند (معادل ۷۸/۱ درصد) و بیشتر پاسخگویان سالیانه کم‌تر از ۳۰۰۰۰۰۰۰ درآمد دارند (معادل ۴۰/۸ درصد).

نتایج به دست آمده در زمینه مؤلفه‌های مربوط به موانع مشارکت در طرح انتقال آب بر اساس ضریب تغییرات در جدول (۲) نشان می‌دهد گویه‌های «شرایط اقلیمی خاص منطقه خشکسالی، طوفان شن»، «نیمه‌کاره رها شدن طرح‌های اجرا شده سابق» و «ناکارا بودن طرح-های اجرا شده سابق» به ترتیب با ضریب تغییرات ۰/۲۲، ۰/۲۵ و ۰/۲۹، سه اولویت اول را به خود اختصاص دادند. گویه‌های «دادن اطلاعات غلط از سوی مسئولان به کشاورزان به دلیل کم‌اطلاعی»، «شایعه‌پراکنی و اظهارات غیرکارشناسی برخی افراد در مورد طرح» و «پایین بودن سهم آب اختصاص یافته به هر بهره‌بردار و اراضی آن‌ها» به ترتیب با ضریب تغییرات ۰/۳۳، ۰/۳۴ و ۰/۳۵، کم‌ترین اولویت را به خود اختصاص دادند.

نتایج به دست آمده در زمینه مؤلفه‌های مربوط به حمایت‌های موردنیاز برای مشارکت در طرح انتقال آب بر اساس ضریب تغییرات در جدول (۳) نشان می‌دهد گویه‌های «تقسیم کار و تفویض اختیار به کشاورزان به تناسب مشارکت آنان»، «استفاده از ریش‌سفیدان و معتمدین محلی و غیرمحملی در طرح، جهت جلب مشارکت و همکاری مردم» و «تخصیص عادلانه سهمیه آب به کشاورزان»، به ترتیب با ضریب تغییرات ۰/۳۷، ۰/۳۷ و ۰/۳۷، سه اولویت اول را به خود اختصاص دادند. گویه‌های «پرداخت تسهیلات بانکی برای احیاء و بهبود کاربری اراضی»، «توسعه بازار حمایتی- رقابتی در جهت بهبود کیفیت، عملکرد و فروش محصولات کشاورزی در بازار مصرف» و «ایجاد کارگاه‌های فرآوری محصولات کشاورزان» به ترتیب با ضریب تغییرات ۰/۴۶، ۰/۴۷ و ۰/۵۱، کم‌ترین اولویت را به خود اختصاص دادند.

است (معادل ۹۳/۳ درصد). بیشترین فراوانی مربوط به افراد متأهل است (معادل ۹۲/۲) و بیشتر پاسخگویان در روستاها زندگی می‌کنند (۳۴۵ نفر معادل ۹۵/۸ درصد). سطح تحصیلات بیشتر افراد در گروه ابتدایی و راهنمایی و متوسطه قرار دارند (۱۹۵ معادل ۵۴/۲ درصد) و شغل اصلی آنها کشاورزی و دامداری است (۲۶۲ نفر معادل ۷۲/۸ درصد) و بیشتر پاسخگویان فاقد شغل فرعی می‌باشند (۲۷۷ نفر معادل ۷۶/۹ درصد). تعداد اعضای خانواده بیشتر پاسخگویان بین چهار تا شش نفر است (معادل ۵۱/۹ درصد) که سابقه کشاورزی بالای ۲۰ سال (معادل ۵۳/۹ درصد) و سابقه دامداری بالای ۲۰ سال دارند (معادل ۳۷/۸ درصد). بیشتر پاسخگویان سطح زیر کشت محصولات زراعی بین نیم تا سه هکتار زمین زراعی (معادل ۶۰/۳ درصد) دارند ولی اکثر پاسخگویان اراضی برای کشت محصولات باغی نداشته‌اند (معادل ۷۵/۹ درصد). افرادی که مالکیت اراضی آنها ملکی (۳۲۳ نفر معادل ۸۹/۷ درصد) و دارای زمین با سند هستند (۱۸۷ نفر معادل ۵۱/۹ درصد) بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند که تعداد بیشتر پاسخگویان، بیشتر از ۱۰ دام دارند (معادل ۴۹/۷ درصد). منبع اصلی تأمین آب پاسخگویان برای کشاورزی رودخانه می‌باشد (۲۷۴ نفر معادل ۷۶/۱ درصد). بیشتر پاسخگویان در تشکلهای عضو هستند (۲۶۸ نفر معادل ۷۴/۴ درصد) و سابقه عضویت در بسیج را دارند (۱۰۸ نفر معادل ۳۰ درصد). بیشتر پاسخگویان ماهانه بین یک تا پنج بار به شهر می‌روند (معادل ۴۳/۹ درصد) و هیچ‌گونه مراجعه‌ای به مروج کشاورزی نداشته‌اند (معادل ۳۹/۲ درصد). بیشتر کشاورزان در جلسات مربوط به طرح انتقال آب شرکت نکرده‌اند (۱۸۸ نفر معادل ۵۲/۲ درصد) زیرا بیشتر پاسخگویان از برگزاری جلسات اطلاع نداشته‌اند (۱۰۲ نفر معادل ۲۸/۳ درصد). ۲۸۱ نفر از کشاورزان در شبکه‌های مجازی عضو

جدول ۲- توزیع فراوانی پاسخگویان بر حسب موانع مشارکت در طرح انتقال آب

رتبه	موانع	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
۱	شرایط اقلیمی خاص منطقه (خشکسالی، طوفان شن)	۴/۲۹	۰/۹۸	۰/۲۲
۲	نیمه کاره رها شدن طرح‌های اجرا شده سابق	۴/۰۵	۱/۰۳	۰/۲۵
۳	ناکارا بودن طرح‌های اجرا شده سابق	۳/۹۶	۱/۱۶	۰/۲۹
۴	نبود طرح موفق مشابه در منطقه جهت ترویج و معرفی الگو به کشاورزان	۳/۸	۱/۱۴	۰/۳
۵	عدم تسطیح اراضی بدلیل عدم همکاری پیمانکار بعد از لوله‌گذاری	۳/۵۷	۱/۱۴	۰/۳۰
۶	ناکارآمدی نشست‌ها با کشاورزان (تعداد زیاد و محتوای تکراری)	۳/۵۷	۱/۰۸	۰/۳۰
۷	اعتقاد کشاورزان به عدم امکان استفاده از شیوه‌های نوین آبیاری (قطره‌ای) مزارع در نتیجه اجرای طرح	۳/۷۱	۱/۱۳	۰/۳۰
۸	عدم ایجاد طرح پایلوت در منطقه برای افزایش سطح معلومات کشاورزان	۳/۶۵	۱/۱۱	۰/۳۰
۹	عدم اطمینان به کشور همسایه (افغانستان) نسبت به تخصیص حق‌آبه به سیستان	۴/۰۸	۱/۲۴	۰/۳۰
۱۰	عدم باور کشاورزان به کارآمد بودن آبیاری تحت فشار در اراضی سیستان با توجه به شوری و املاح بالای خاک	۳/۷۳	۱/۱۴	۰/۳۰
۱۱	کوچک و قطعه قطعه بودن اراضی کشاورزی بیشتر کشاورزان و در نتیجه عدم تمایل آنها به تشکیل گروه‌های هم‌آب	۳/۸۵	۱/۱۸	۰/۳۰
۱۲	عدم اعتماد کشاورزان به مسئولان طرح	۳/۶۲	۱/۱۵	۰/۳۱
۱۳	عدم توافق بهره‌برداران برای یکپارچه‌سازی با توجه به اعتقادات سنتی	۳/۷۵	۱/۲۰	۰/۳۲
۱۴	مبهم بودن چشم‌انداز طرح برای کشاورزان	۳/۶۶	۱/۲۱	۰/۳۳
۱۵	دادن اطلاعات غلط از سوی مسئولان به کشاورزان بدلیل کم‌اطلاعی	۳/۴۹	۱/۱۷	۰/۳۳
۱۶	شایعه‌پراکنی و اظهارات غیرکارشناسی برخی افراد در مورد طرح	۳/۴۷	۱/۲۱	۰/۳۴
۱۷	پایین بودن سهم آب اختصاص یافته به هر بهره‌بردار و اراضی آن‌ها	۳/۷	۱/۳۱	۰/۳۵

جدول ۳- توزیع فراوانی پاسخگویان بر حسب حمایت‌های مورد نیاز برای مشارکت در طرح انتقال آب

رتبه	حمایت‌ها	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
۱	تقسیم کار و تفویض اختیار به کشاورزان به تناسب مشارکت آنان	۳/۲۱	۱/۱۹	۰/۳۷
۲	استفاده از ریش سفیدان و معتمدین محلی و غیر محلی در طرح، جهت جلب مشارکت و همکاری مردم	۳/۳۴	۱/۲۵	۰/۳۷
۳	تخصیص عادلانه سهمیه آب به کشاورزان	۳/۴۶	۱/۳	۰/۳۷
۴	برقراری رابطه دوستانه بین تسهیلاتگران اجتماعی و بهره‌برداران	۳/۱۶	۱/۱۹	۰/۳۷
۵	حضور مداوم مروجین در روستاها جهت ارتباط با کشاورزان	۳/۳	۱/۲۶	۰/۳۸
۶	جلب اعتماد کشاورزان از طریق شفاف‌سازی کلیات طرح انتقال آب	۳/۲۲	۱/۲۳	۰/۳۸
۷	صدور و اعطای اسناد مالکیتی به بهره‌برداران	۳/۲۵	۱/۲۶	۰/۳۸
۸	آموزش کشاورزان	۳/۲۴	۱/۲۶	۰/۳۹
۹	مدیریت جلسات به صورت جذاب و پرمحتوا	۳/۱۵	۱/۲۳	۰/۳۹
۱۰	به حداقل رساندن زمان مطالعات و اجرا برای ایجاد انگیزه و مشارکت در کشاورز	۳/۱۷	۱/۲۴	۰/۳۹
۱۱	ارتقای دانش و مهارت مروجان کشاورزی و جهاد کشاورزی جهت ارائه اطلاعات به‌روز و کارآمد به بهره‌برداران	۳/۲۷	۱/۲۹	۰/۳۹
۱۲	مشارکت دادن واقعی مردم و کشاورزان در برنامه‌ریزی واحدهای طرح و اهمیت دادن به تجربیات و نظرات ارزشمند آن‌ها	۳/۲	۱/۲۷	۰/۳۹
۱۳	آشنا کردن جوانان با طرح‌های جدید کشاورزی برای کسب درآمد و تجربه کافی	۳/۳	۱/۳۱	۰/۳۹
۱۴	حضور مدیریت جهاد کشاورزی هر ناحیه در جلسات با بهره‌برداران	۳/۳	۱/۳۲	۰/۴۰
۱۵	تسهیل تامین نهاده‌های کشاورزی برای کشاورزان	۳/۴۳	۱/۳۷	۰/۴۰
۱۶	معرفی گونه‌های مناسب به کشاورزان در قالب یک الگوی کشت و سازگار با منطقه	۳/۲	۱/۳۱	۰/۴۰
۱۷	نگهداری سیستم آبیاری پس از اجرای طرح	۳/۳۳	۱/۳۷	۰/۴۱
۱۸	تسطیح اراضی بهره‌برداران بعد از گذاشتن لوله	۳/۳	۱/۳۷	۰/۴۱

به منظور شناسایی و دسته‌بندی عامل‌ها و تعیین میزان واریانس تبیین شده توسط هر یک از متغیرهای مرتبط با موانع مشارکت کشاورزان در طرح انتقال آب در قالب عامل‌های دسته‌بندی شده، از تحلیل عاملی استفاده شد. مقدار KMO برابر ۰/۸۷ و میزان آزمون بارتلت برابر ۲۱۹۶/۰۵۲ به دست آمد که در سطح یک درصد معنی‌دار بود و نشان‌دهنده مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی بود. برای تعیین تعداد عوامل، عواملی مورد پذیرش قرار گرفت که مقدار ویژه آن‌ها از یک بزرگ‌تر بود، در نتیجه همان‌گونه که در جدول (۴) مشاهده می‌شود تعداد چهار عامل که مقدار ویژه آن‌ها از یک بزرگ‌تر بود، استخراج گردیدند. عامل اول بیشترین سهم (۳۶/۳۳۸ درصد) و عامل چهارم کمترین سهم (۶/۰۳۴ درصد) را در تبیین واریانس کل متغیرها دارند. تمامی عوامل نامبرده در مجموع ۵۷/۹۶۱ درصد از واریانس کل متغیرها را تبیین کردند و به خود اختصاص دادند. در نتیجه چرخش عاملی، متغیرهای مربوط به هر عامل به همراه بار عاملی آن‌ها مشخص می‌شود (جدول ۵). در نتیجه با توجه به ماهیت متغیرها، موانع مشارکت کشاورزان در طرح انتقال آب نام‌گذاری شد. به طوری که در جدول مشاهده می‌شود مقدار ویژه عامل اول (۶/۱۷۷)، از تمامی عوامل دیگر بیشتر بود و در مجموع ۳۶/۳۳۸ درصد از واریانس کل متغیرها را به خود اختصاص داد، لذا، بیشترین سهم را در تبیین متغیرها داشته است. متغیرهایی که در این عامل قرار گرفتند شامل عدم اعتماد به کشور همسایه (افغانستان) نسبت به تخصیص حق‌آبه به سیستان، عدم امکان استفاده

از شیوه‌های نوین آبیاری (قطره‌ای) در مزارع در نتیجه اجرای طرح، کوچک کردن و قطعه قطعه بودن اراضی کشاورزی بیشتر کشاورزان و در نتیجه عدم تمایل آنان به تشکیل گروه‌های هم‌آب، عدم تسطیح اراضی به دلیل عدم همکاری پیمانکار بعد از لوله‌گذاری و عدم توافق بهره‌برداران برای یکپارچه‌سازی اراضی با توجه به اعتقادات سنتی بود. طبیعت متغیرهای مربوط به این عامل به گونه‌ای بود که تحت عنوان "اعتماد" نامگذاری شد.

همچنین به منظور شناسایی و دسته‌بندی عامل‌ها و تعیین میزان واریانس تبیین شده توسط هر یک از متغیرهای مرتبط با حمایت‌های مورد نیاز کشاورزان در طرح انتقال آب به دشت سیستان در قالب عامل‌های دسته‌بندی شده، از تحلیل عاملی استفاده شد. مقدار KMO برابر ۰/۹۷ و میزان آزمون بارتلت برابر ۸۲۸۵/۴۶۲ به دست آمد که در سطح یک درصد معنی‌دار بود و نشان‌دهنده مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی بود. برای تعیین تعداد عوامل، عواملی مورد پذیرش قرار گرفت که مقدار ویژه آن‌ها از یک بزرگ‌تر بود در نتیجه همان‌گونه که در جدول (۶) مشاهده می‌شود تعداد سه عامل که مقدار ویژه آن‌ها از یک بزرگ‌تر بود، استخراج گردیدند. عامل اول بیشترین سهم (۵۸/۹۳۷ درصد) و عامل سوم کمترین سهم (۳/۷۹۴ درصد) را در تبیین واریانس کل متغیرها دارند. تمامی عوامل نامبرده در مجموع ۶۷/۳۲۷ درصد از واریانس کل متغیرها را تبیین کردند و به خود اختصاص دادند.

جدول ۴- عوامل استخراج‌شده موانع مشارکت کشاورزان در طرح انتقال آب با مقدار ویژه، درصد واریانس و واریانس تجمعی

عامل	مقدار ویژه	درصد واریانس مقدار ویژه	فراوانی تجمعی درصد واریانس مقدار ویژه
۱	۶/۱۷۷	۳۶/۳۳۸	۳۶/۳۳۸
۲	۱/۴۴۱	۸/۴۷۴	۴۴/۸۱۲
۳	۱/۲۱۰	۷/۱۱۵	۵۱/۹۲۷
۴	۱/۰۲۶	۶/۰۳۴	۵۷/۹۶۱

جدول ۵- متغیرهای مربوط به هر یک از عوامل و میزان ضرایب به دست آمده از ماتریس دوران یافته

نام عامل	بار عاملی	گویه‌ها
اعتماد	۰/۵۵۸	عدم اعتماد به کشور همسایه (افغانستان) نسبت به تخصیص حق آبه به سیستان
	۰/۵۱۵	عدم امکان استفاده از شیوه‌های نوین آبیاری (قطره‌ای) در مزارع در نتیجه اجرای طرح
	۰/۷۸۱	کوچک و قطعه قطعه بودن اراضی کشاورزی بیشتر کشاورزان و در نتیجه عدم تمایل آنان به تشکیل گروه‌های هم‌آب
	۰/۵۹۲	عدم تسطیح اراضی به دلیل عدم همکاری پیمانکار بعد از لوله‌گذاری
اطلاعات و معلومات	۰/۷۵۴	عدم توافق بهره‌برداران برای یکپارچه‌سازی اراضی با توجه به اعتقادات سنتی
	۰/۵۷۷	دادن اطلاعات غلط از سوی مسئولان به کشاورزان بدلیل کم‌اطلاعی
	۰/۶۸۳	عدم اعتماد کشاورزان به مسئولان طرح
	۰/۵۱۷	عدم ایجاد طرح پایلوت در منطقه برای افزایش سطح معلومات کشاورزان
ناکارآمدی و نقص	۰/۶۸۷	ناکارآمدی نشست‌ها با کشاورزان (تعداد زیاد و محتوای تکراری)
	۰/۶۵۳	شایعه‌پراکنی و اظهارات غیرکارشناسی برخی افراد در مورد طرح
	۰/۶۱۴	میهم بودن چشم‌انداز طرح برای کشاورزان
	۰/۷۶۸	ناکارا بودن طرح‌های اجرا شده سابق
شرایط اقلیمی و خشکسالی	۰/۸۱۸	نیمه‌کاره رها شدن طرح‌های اجرا شده سابق
	۰/۶۱۱	پایین بودن سهم آب اختصاص یافته به هر بهره‌بردار و اراضی آن‌ها
	۰/۶۹۳	عدم باور کشاورزان به کارآمد بودن آبیاری تحت فشار در اراضی سیستان با توجه به شوری و املاح بالای خاک
	۰/۷۲۰	شرایط اقلیمی خاص منطقه (خشکسالی، طوفان شن)

جدول ۶- عوامل استخراج شده حمایت‌های مورد نیاز کشاورزان برای مشارکت در طرح انتقال آب با مقدار ویژه، درصد واریانس و واریانس تجمعی

عامل	مقدار ویژه	درصد واریانس مقدار ویژه	فراوانی تجمعی درصد واریانس مقدار ویژه
۱	۱۵/۹۱۳	۵۸/۹۳۷	۵۸/۹۳۷
۲	۱/۲۴۱	۴/۵۹۶	۶۳/۵۳۳
۳	۱/۰۲۴	۳/۷۹۴	۶۷/۳۲۷

در نتیجه چرخش عاملی، متغیرهای مربوط به هر عامل به همراه بار عاملی آن‌ها مشخص می‌شود. در نتیجه با توجه به ماهیت متغیرها، حمایت‌های مورد نیاز کشاورزان برای مشارکت در طرح انتقال آب به دشت سیستان نام‌گذاری شد. به طوری که در جدول (۷) مشاهده می‌شود مقدار ویژه عامل اول (۱۵/۹۱۳) از تمامی عوامل دیگر بیشتر بود و در مجموع ۵۸/۹۳۷ درصد از واریانس کل متغیرها را به خود اختصاص داد و لذا، بیشترین سهم را در تبیین متغیرها داشته است. متغیرهایی که در این عامل قرار گرفتند شامل معرفی گونه‌های مناسب به کشاورزان در قالب یک الگوی کشت و سازگار با منطقه، ایجاد یک طرح پایلوت کوچک جهت نشان دادن به کشاورزان، به حداقل رساندن زمان مطالعات و

اجرا برای ایجاد انگیزه و مشارکت در کشاورز، تقسیم کار و تفویض اختیار به کشاورزان به تناسب مشارکت آنان، حمایت از طریق احیاء شرکت‌های تعاونی روستایی برای تأمین نهاده‌ها و ماشین‌آلات مورد نیاز با قیمت مناسب، تخصیص تسهیلات به بهره‌برداران طرح برای اجرای الگوی کشت مناسب، حضور مداوم مروجان در روستاها جهت ارتباط با کشاورزان و توجیه آن‌ها، گماشتن کارشناسان کار کشته و ماهر و در دسترس جهت ارایه مشاوره فنی به بهره‌برداران، توسعه بازار حمایتی- رقابتی در جهت بهبود کیفیت، عملکرد و فروش محصولات کشاورزی در بازار مصرف، مشارکت دادن واقعی کشاورزان در برنامه‌ریزی واحدهای طرح از طریق اهمیت دادن به تجربیات و نظرات ارزشمند آن‌ها، پرداخت

تسهیلات بانکی برای احیاء و بهبود کاربری اراضی و طبیعت متغیرهای مربوط به این عامل به گونه‌ای بود که ایجاد کارگاه‌های فرآوری محصولات کشاورزان بود. تحت عنوان "حمایت فنی و نهادی" نامگذاری شد.

جدول ۷- متغیرهای مربوط به هر یک از حمایت‌های مورد نیاز در طرح انتقال آب و میزان ضرایب به‌دست‌آمده از ماتریس دوران‌یافته

نام عامل	بار عاملی	گویه‌ها
حمایت فنی و نهادی	۰/۵۴۸	معرفی گونه‌های مناسب به کشاورزان در قالب یک الگوی کشت و سازگار با منطقه
	۰/۶۱۴	ایجاد یک طرح پایلوت کوچک جهت نشان دادن به کشاورزان
	۰/۵۳۴	به حداقل رساندن زمان مطالعات و اجرا برای ایجاد انگیزه و مشارکت در کشاورز
	۰/۵۸۲	تقسیم کار و تفویض اختیار به کشاورزان به تناسب مشارکت آنان
	۰/۶۹۲	حمایت از طریق احیاء شرکت‌های تعاونی روستایی برای تأمین نهاده‌ها و ماشین‌آلات مورد نیاز با قیمت مناسب
	۰/۶۷۸	تخصیص تسهیلات به بهره‌برداران طرح برای اجرای الگوی کشت مناسب
	۰/۶۵۴	حضور مداوم مروجان در روستاها جهت ارتباط با کشاورزان و توجیه آن‌ها
	۰/۶۶۱	گماشتن کارشناسان کار کشته و ماهر و در دسترس جهت ارایه مشاوره فنی به بهره‌برداران
	۰/۷۶۳	توسعه بازار حمایتی- رقابتی در جهت بهبود کیفیت، عملکرد و فروش محصولات کشاورزی در بازار مصرف
	۰/۵۵۰	مشارکت دادن واقعی کشاورزان در برنامه‌ریزی واحدهای طرح از طریق اهمیت دادن به تجربیات و نظرات ارزشمند آن‌ها
حمایت عاطفی	۰/۸۰۲	پرداخت تسهیلات بانکی برای احیاء و بهبود کاربری اراضی
	۰/۸۰۲	ایجاد کارگاه‌های فرآوری محصولات کشاورزان
	۰/۷۴۲	حضور مدیریت جهاد کشاورزی هر ناحیه در جلسات با بهره‌برداران
	۰/۷۱۰	تخصیص عادلانه سهمیه آب به کشاورزان
	۰/۶۷۶	آموزش کشاورزان
	۰/۷۰۶	جلب اعتماد کشاورزان از طریق شفاف‌سازی کلیات طرح انتقال آب
	۰/۵۵۶	معرفی گونه‌های مناسب به کشاورزان در قالب یک الگوی کشت و سازگار با منطقه
	۰/۶۰۹	مدیریت جلسات به صورت جذاب و پرمحتوا
	۰/۵۶۴	برقراری رابطه دوستانه بین تسهیلگران اجتماعی و بهره‌برداران
	۰/۵۷۷	تسهیل تأمین نهاده‌های کشاورزی برای کشاورزان
حمایت حقوقی	۰/۵۸۶	دپلماسی فعال برای احیاء حق آب از کشور افغانستان
	۰/۶۷۲	ارتقای دانش و مهارت مروجان کشاورزی و جهاد کشاورزی جهت ارایه اطلاعات به‌روز و کارآمد به بهره‌برداران
	۰/۷۸۵	صدور و اعطای اسناد مالکیتی به بهره‌برداران
	۰/۷۸۴	نظارت بر اجرای تعهدات پیمانکاران
	۰/۷۲۳	نگهداری سیستم آبیاری پس از اجرای طرح

بحث و نتیجه‌گیری

خشکسالی سال‌های اخیر، کشور ما را با بحران بی‌آبی مواجه کرده است. این تهدید می‌تواند فرصتی را به منظور برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری صحیح و بهینه از حداقل منابع آبی موجود در بخش کشاورزی فراهم نماید. یکی از راهکارهای مهم جهت دستیابی به توسعه پایدار و مدیریت صحیح و کارآمد شبکه‌های آبیاری و زهکشی در مناطق روستایی، استفاده از ظرفیت‌ها، پتانسیل‌ها، نظرات و دیدگاه‌های کشاورزان و بهره‌برداران می‌باشد (یعقوبی و میری کرم، ۱۳۸۸). شواهد موجود نشان می‌دهد به رغم تأکید بر جلب مشارکت مردمی در انتقال و توزیع آب و

مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، این مشارکت در عمل با موانعی مواجه است و جهت تحقق نیازمند حمایت‌هایی است. این تحقیق با هدف شناسایی موانع و حمایت‌های موردنیاز برای مشارکت کشاورزان در طرح انتقال و توزیع آب به اراضی کشاورزی دشت سیستان انجام شد. نتایج تحقیق بیانگر اولویت بازدارنده‌هایی چون شرایط اقلیمی خاص منطقه چون خشکسالی و طوفان شن، نیمه‌کاره رها شدن طرح‌های اجرا شده سابق و ناکارا بودن طرح‌های اجرا شده سابق، برای مشارکت کشاورزان در طرح انتقال و توزیع آب به اراضی کشاورزی دشت سیستان بود. این بازدارنده‌ها از یک سو ناشی از استعداد منطقه در زمینه خشکسالی، شرایط ویژه هیدرولیکی-

هیدرولوژیکی و مکانی استان و بروز پدیده‌های طبیعی چون وزش بادهای صد و بیست روزه و از سوی دیگر بیانگر عدم برنامه‌ریزی صحیح و سوء مدیریت در اجرای طرح‌ها در منطقه و عدم آگاهی کافی کشاورزان در مورد اهداف طرح، عدم وجود منابع مالی، عدم مطالعه تمام ابعاد اجرای طرح‌ها، عدم پیامدسنجی مناسب و مواردی از این قبیل است که زمینه عدم تحقق اهداف طرح از یک سو و عدم مشارکت جوامع ذینفع از سوی دیگر را فراهم می‌سازد. این یافته با نتایج تحقیق نجفی و شیروانیان (۱۳۸۵)، حیدری و همکاران (۱۳۸۶)، عطایی و ایزدی (۱۳۹۳)، افراخته و همکاران (۱۳۹۶)، مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهوری (۱۳۹۸) و خانا (۲۰۱۳) مطابقت دارد. همچنین نتایج بیانگر اهمیت بیشتر حمایت‌هایی چون تقسیم کار و تفویض اختیار به کشاورزان به تناسب مشارکت آنان، استفاده از ریش‌سفیدان و معتمدین محلی و غیرمحملی در طرح جهت جلب مشارکت و همکاری کشاورزان و تخصیص عادلانه سهمیه آب به کشاورزان، بود. این نتیجه از مشارکت ضعیف و محدود کشاورزان و رهبران محلی در مراحل طراحی و اجرای طرح و نگاه برنامه‌ریزی بالا به پایین حکایت دارد که موجبات نوعی دغدغه و نگرانی در کشاورزان را فراهم ساخته است. از این رو لازم است با اتخاذ رویکرد برنامه‌ریزی مشارکتی و از بالا به پایین در طرح، تلاش شود از مشارکت ریش‌سفیدان و معتمدین محلی و غیرمحملی در اجرای طرح استفاده بیشتری به عمل آید و متناسب با مشارکت کشاورزان در طرح، نقش بیشتری در مراحل طراحی و اجرای طرح به آنان داده شود. این یافته با نتایج تحقیق حیدری و همکاران (۱۳۸۶)، مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهوری (۱۳۹۸)، حمیدی (۲۰۰۷) و استین و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد.

تحلیل عاملی موانع مشارکت کشاورزان در طرح انتقال آب، به استخراج چهار عامل با عنوان "اعتماد"، "اطلاعات و معلومات"، "ناکارآمدی و نقص" و "شرایط اقلیمی و خشکسالی" منجر شد که این عوامل ۵۷/۹۶۱

درصد از واریانس کل متغیرها را تبیین کردند که عامل اول یعنی "اعتماد"، بیشترین سهم (۳۶/۳۳۸ درصد) را در تبیین واریانس کل متغیرها داشت. این بدان معناست که بسیاری از مسائلی که بازدارنده مشارکت کشاورزان در طرح انتقال آب هستند، مربوط به این عامل است. اعتماد، به معنای توقعات مثبت یک فرد از اعمال، کردار، گفتار و تصمیمات طرف مقابل، یکی از مؤلفه‌های سرمایه اجتماعی و پیش شرط عمده و کلیدی برای موجودیت هر جامعه و تسهیل‌کننده مبادلات در فضای اجتماعی است، به طوری که هزینه مبادلات اجتماعی را به حداقل می‌رساند. اعتماد می‌تواند منجر به همکاری بین افراد، گروه‌ها و سازمان‌ها شود. از این رو در طرح انتقال آب، توجه به ایجاد و حفظ اعتماد دو طرفه بین شبکه افراد و نهادهای درگیر (شامل کشاورزان، آبیاران، سرآبیاران، گروه‌های هم‌آب، بهره‌برداران، تسهیلگران، پیمانکاران، مشاوران، راهبردی طرح، مدیران وزارت جهاد کشاورزی و مدیران وزارت نیرو)، بر مبنای ارزش‌های مشترک، صداقت و انسجام، بسیار ضروری است. برای اعتمادسازی، لازم است مجریان و دست‌اندرکاران طرح به موارد دیگری نیز توجه کنند که از آن جمله می‌توان به مواردی چون اطلاع‌رسانی اهداف و فعالیت‌های طرح به صورت شفاف و صادقانه، در میان‌گذاشتن صادقانه مسائل و مشکلات با کشاورزان، وفا به تعهدات و گفته‌ها و عمل به قول‌های داده شد به کشاورزان، برخورداری از شایستگی فنی و توانایی حرفه‌ای، اشتیاق نشان دادن برای کمک به کشاورزان، تسهیل شرایط همکاری کشاورزان در طرح و اطمینان از راضی بودن کشاورزان از خدمات ارائه شده اشاره کرد. این یافته با نتایج تحقیق نجفی و شیروانیان (۱۳۸۵)، حیدری و همکاران (۱۳۸۶)، عطایی و ایزدی (۱۳۹۳)، افراخته و همکاران (۱۳۹۶)، هید و نیف (۲۰۱۴) و مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهوری (۱۳۹۸) مطابقت دارد.

تحلیل عاملی حمایت‌های مورد نیاز کشاورزان برای مشارکت در طرح انتقال آب، به استخراج سه عامل

با عنوان "حمایت فنی و نهادی"، "حمایت عاطفی" و "حمایت حقوقی" منجر شد که این عوامل ۶۷/۳۲۷ درصد از واریانس کل متغیرها را تبیین و به خود اختصاص دادند که عامل اول یعنی "حمایت فنی و نهادی"، بیشترین سهم (۵۸/۹۳۷ درصد) را در تبیین واریانس کل متغیرها داشت، این بدان معناست که حمایت فنی و نهادی سهم بیشتری را برای مشارکت کشاورزان در طرح انتقال آب داراست. حمایت فنی و نهادی، در واقع ارزشگذاری طرح برای ذینفعان اصلی یعنی کشاورزان با هدف تداوم استمرار حضور و مشارکت آنان در طرح است. در واقع، زمانی که کشاورزان احساس کنند از پشتیبانی و حمایت نهادها، سازمان‌ها و دستگاه‌های اجرایی دخیل در طرح برخوردارند، قابلیت‌های آنان تقویت شده، عملکرد کاری آن‌ها بهبود می‌یابد و اطمینان پیدا خواهند کرد که توانایی انجام وظیفه خود در راستای تحقق اهداف طرح را به صورت مستقل دارند، در نتیجه مشارکت خود را در تمامی مراحل طراحی، اجرا و حتی تعمیر و نگهداری سازه‌ها و تأسیسات را حفظ خواهند کرد؛ بنابراین ضرورت دارد مشاور طرح، سازمان جهاد کشاورزی و آب منطقه‌ای استان مجموعه‌ای از خدمات را به کشاورزان ارائه دهند. این خدمات می‌تواند شامل تقویت شرکت‌های تعاونی روستایی، تأمین نهاده‌ها و ماشین‌آلات مورد نیاز با قیمت مناسب، تخصیص تسهیلات به بهره‌برداران طرح برای احیاء و بهبود کاربری اراضی، سرکشی مداوم مروجان و کارشناسان ماهر به مزارع جهت ارائه مشاوره فنی به بهره‌برداران، توسعه بازار حمایتی- رقابتی در جهت بهبود کیفیت، عملکرد و فروش محصولات کشاورزان در بازار مصرف، ایجاد کارگاه‌های فرآوری محصولات کشاورزان و مواردی از این قبیل باشد. این یافته با نتایج تحقیق زارعی دستگردی و همکاران (۱۳۸۶) و حمدی (۲۰۰۷)، مطابقت دارد.

با توجه به بکارگیری شیوه‌های کیفی جمع‌آوری اطلاعات چون مشاهده و بررسی اسناد و مدارک مرتبط با طرح، می‌توان پیشنهاد‌های دیگری به شرح زیر ارائه داد:

- تسریع در روند اجرای طرح طبق زمان‌بندی مصوب؛
- لزوم مشخص کردن سازمان یا تشکل حافظ و نگهدارنده نظام بهره‌برداری و زیرساخت‌های طرح و چگونگی تأمین هزینه‌های نگهداری شبکه انتقال پس از بهره‌برداری؛

- تقویت تعاونی‌های تولیدی و کشاورزی منطقه برای مشارکت مؤثر در حفظ و نگهداری زیرساخت‌های طرح؛
- توجه جدی به حل موضوع حق‌آبه عرفی بهره‌برداران در کنار تشکیل گروه‌های هم‌آب از طریق مشورت با کشاورزان، ریش سفیدان و معتمدین محلی

- تعیین تکلیف حق‌آبه کشاورزانی که اراضی کشاورزی آن‌ها خارج از محدوده اجرای طرح قرار دارد؛

- مطالعه امکان‌سنجی و تحلیل نقاط ضعف و قوت اجرای نظام‌های آبیاری نوین در اراضی اجرای طرح با توجه به شرایط و ویژگی‌های خاص هیدرولوژیکی منطقه؛

- لزوم آینده‌نگری در طرح در موضوعاتی چون سازوکار خرید مازاد محصولات تولیدی کشاورزان، راهبردهای مواجهه احتمالی با سناریوی کم‌آبی، وقوع سیلاب، تغییر اقلیم و...؛

- توجه جدی به ایجاد جاده دسترسی در مزارع برای تعمیر و نگهداری لوله‌ها؛

- فرهنگ‌سازی و آموزش بیشتر بهره‌برداران و گروه‌های هم‌آب در داخل طرح با هدف همراهی و همکاری بیشتر آنان و کاهش اختلافات احتمالی بر سر آب، زمین و....

فهرست منابع

۱. احمدی، ف.، نصیریانی، خ.، و پ.، ابادری. ۱۳۸۷. تکنیک دلفی: ابزاری در تحقیق. مجله ایرانی آموزش در علوم پزشکی، ۸ (۱): ۱۷۵-۱۸۵.
۲. افراخته، ح.، طهماسبی، ا.، عزیزپور، ف.، فتح الله طالقانی، د.، و ف.، عسکری بزایه. ۱۳۹۶. تحلیل نگرش کارشناسان به موانع و چالش‌های انتقال مدیریت آبیاری به بهره‌برداران، پژوهشی بر مبنای روش کیو. پژوهش و برنامه‌ریزی روستایی، ۶ (۱): ۲۰۵-۲۲۲.
۳. ببران، ص و ن.، هنربخش. ۱۳۸۶. بحران وضعیت آب در ایران و جهان. راهبرد، ۱۶ (۴۸): ۱۹۳-۲۱۲.
۴. بدیع برزین، ح.، هاشمی تبار، م.، و م.، حسینی. ۱۳۹۸. اثر روش‌های قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی آب آبیاری بر الگوی کشت و تقاضای آب در دشت سیستان. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۳ (۳): ۴۶۳-۴۷۹.
۵. تجریشی، م و ا.، ابریشم‌چی. ۱۳۸۳. مدیریت تقاضای منابع آب در کشور. همایش روش‌های پیشگیری از اتلاف منابع ملی، ۱۹ خرداد، تهران، ۲۴-۳۹.
۶. حیدری، ن.، مامن پوش، ع.، ر.، شاهرخ نیا، م.، ع.، و م.، خرمیان. ۱۳۸۶. بررسی و ارزیابی پتانسیل‌ها، تمایلات و موانع موجود در انتقال مدیریت و مشارکت آب‌بران در شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دومین کنفرانس ملی تجربه‌های ساخت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ی آبان، کرج، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی وزارت جهاد کشاورزی.
۷. جورابلو، م. و.، موسوی‌جهرمی، ح.، و ر.، جعفری‌نیار. ۱۳۸۵. بررسی عوامل مؤثر در افزایش میزان جلب مشارکت کشاورزان گرمسار در مدیریت شبکه آبیاری و زهکشی دشت گرمسار. اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۲ اردیبهشت، دانشگاه چمران. ۱۷۲۱ - ۱۷۲۴.
۸. خورشیدی فر، ج. ۱۳۸۴. شکل‌های آب‌بران، گذشته، حال و آینده. چهارمین کارگاه فنی مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی (اصول و روشهای کاربردی). هشت دی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، تهران، ۶۸-۷۴.
۹. زارع ابیانه، ع.، ا.، معروفی، ص.، قیامی، ف.، میرمسعودی، ش.، و آ.، کاظمی. ۱۳۹۲. تحلیل و پایش خشکسالی هواشناسی منطقه سیستان و بلوچستان. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۵ (۳): ۴۹-۶۱.
۱۰. زارعی دستگردی، ز.، ایروانی، ه.، شعبانعلی فمی، ح.، و آ.، مختاری حصار. ۱۳۸۶. تحلیل سازوکارهای بهبود مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه آبرسانی بخش جرقویه شهرستان اصفهان. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۳ (۲): ۴۵ - ۵۶.
۱۱. زرافشانی، ک.، شرفی، ل.، شریفی، م.، ا.، بارانی، ش.، کرمی، ش.، رضانی، م.، و ف.، رستمی. ۱۳۹۶. ارزشیابی کیفی شبکه آبیاری و زهکشی پایاب سد گاوشان در استان کرمانشاه. فصلنامه اقتصاد فضا و توسعه روستایی. ۶ (۱): ۱۳۷-۱۵۸.
۱۲. سادات‌میرنی، م. ح و ع.، ا.، فرش. ۱۳۸۲. چگونگی مصرف و بهره‌وری آب در بخش کشاورزی. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۵ آبان، ۲۱۳ - ۲۰۳.
۱۳. سلیمی کوچی، ج و پ.، ابراهیمی. ۱۳۹۶. تحلیل شبکه ذینفعان محلی و انسجام اجتماعی در مدیریت مشارکتی منابع آب مطالعه موردی حوزه آبخیز میان جنگل، شهرستان فسا. مجله علوم ومهندسی آبخیزداری ایران، ۱۱ (۳۷): ۵۷-۶۳.

۱۴. شهرکی، ا.، محمدی، ح.، و م.، احمدپور برازجانی. ۱۳۹۷. ارزیابی اقتصادی اثرات پروژه انتقال آب به دشت سیستان از طریق منابع آب چاه نیمه‌ها بر بخش کشاورزی. مجموعه مقالات همایش ملی پیشرفت پایدار، رهیافت تاریخ، فرهنگ و تمدن دارالولایه سیستان، ۲۰ اردیبهشت، زاهدان، ۲۵۵-۲۶۳.
۱۵. عطایی، پ و ن.، ایزدی. ۱۳۹۳. تحلیل مسئولیت‌های تشکلی‌های آب‌بران و زمینه‌یابی موانع ایجاد آن از دیدگاه بهره‌برداران. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۸ (۴): ۷۴۸-۷۳۷.
۱۶. عربی، ر.، میرک‌زاده، ع. ا.، و ک.، زرافشانی. ۱۳۹۳. تحلیل عوامل پیش‌برنده توسعه مدیریت مشارکتی آبیاری (مطالعه موردی: دهستان میان‌در بند). تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، ۴۵ (۳): ۵۷۳-۵۶۵.
۱۷. مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهوری. ۱۳۹۸. بررسی ابعاد مغفول اجتماعی طرح انتقال آب با لوله به دشت سیستان. گزارش فعالیت‌های مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهوری، تهران، ۲۵ ص.
۱۸. میرزایی، آ.، میردامادی، س.، حسینی، م.، و ا.، سجادی. ۱۳۹۳. تأثیر ابزارهای ترویجی و منابع اطلاعاتی بر مشارکت کشاورزان استان گلستان در تعاونی‌های آب‌بران. تعاون و کشاورزی، ۲۲ (۵): ۱۲۷-۱۴۳.
۱۹. نجفی، ب و ر.، شیروانیان. ۱۳۸۵. بررسی موانع مشارکت آب‌بران در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. روستا و توسعه، ۹ (۳): ۵۳-۷۱.
۲۰. یزدان‌راد، م و ز.، مظلوم. ۱۳۸۸. بررسی عوامل مؤثر بر الگوی آب و بهینه‌سازی آن در بخش خانگی، (مطالعه موردی شهر مشهد). سومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد اصلاح الگوی مصرف، ۴-۵ اسفند، تهران، ۹-۱.
۲۱. یعقوبی، ج و ف.، میری کرم. ۱۳۸۸. بررسی موانع مشارکت بهره‌برداران در مدیریت منابع آب. همایش ملی الگوهای توسعه پایدار در مدیریت آب، مشهد، ۱-۱۱.
22. Bodin, O., Crona, B., and H. Ernstson. 2006. Social networks in natural resources management, what's there to learn from a structural perspective? *Ecology and Society*, 11 (2): 1-8.
23. Bolin, B. 2010. Spanning boundaries in an Arizona watershed partnership: information networks as tools for entrenchment or ties for collaboration? *Journal of Ecology and Society*, 15 (3): 22.
24. Dai, A. 2011. Drought under global warming: a review. *Climate Change*, 1(1): 54- 64.
25. Elsayah, S., Mclucas A., and J. Mazanov. 2013. Using a cognitive mapping approach to frame the perceptions of water users about managing water resources: a case study in the Australian Capital Territory. *Water Resources Management*, 27: 3441-3456
26. Hamdy, A. 2007. Irrigation management transfer: monitoring and evaluation, concepts and approaches. 4th Asian Conference and 10th International Seminar on Collaborative Irrigation Management, May 4-5, Tehran, 18p.
27. Heyd, H. and A. Neef. 2014. Participation of local people in water management: Evidence from the Maesa watershed, Northern Thailand, EPTD Discussion Paper No. 128, International Food policy Research Institute, Washington, USA. 60p.
28. Kadirbeyoglu, Z. and G. Ozertan. 2011. Users' perceptions of water user associations: Evidence from three cases in Turkey. Working Paper 2011-1. Istanbul: Boğaziçi University Department of Economics. 1-29.
29. Khana, I. 2013. Water scarcity: factor fiction? *Agricultural wather management*, 8910: 5-22.
30. Muñoz-Erickson , T. A., Cutts , B. B., Larson , E. K., Darby , K. J., Neff , M., Wutich, A., Prell, C., Hubacek, K., Quinn, C., and M. Reed. 2008. Who's in the network? When stakeholders influence data analysis. *Journal of Systemic Practice and Action Research*, 21 (6): 443-458.

31. Stein, C., Ernstson, H., and J. Barron. 2011. A social network approach to analyzing water governance: The case of the Mkindo catchment, Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth*, 36 (14-15): 1085-1092.

اثرات خشکسالی بر الگوی کشت زراعی و رفاه کشاورزان دشت مهبیار جنوبی

انیسه جمی، حامد نجفی علمدارلو^۱ و سید ابوالقاسم مرتضوی

دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

anisejami@gmail.com

دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

hamed_najafi@modares.ac.ir

استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

samortazavi@modares.ac.ir

دریافت: تیر ۱۳۹۹ پذیرش: مهر ۱۳۹۹

چکیده

منابع آب زیرزمینی در جهان تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی قرار گرفته و در سال‌های اخیر با وقوع خشکسالی حجم آن کاهش یافته است. بنابراین، برای تصمیم‌گیری بهنگام مدیران و برنامه‌ریزان، پیش‌بینی و بررسی آثار اقتصادی خشکسالی امری ضروری به شمار می‌رود. از این رو، هدف این مطالعه بررسی آثار رفاهی خشکسالی روی بهره‌برداران آب زیرزمینی بود. با توجه به این رویکرد، مطالعه حاضر با رهیافت بازار آب زیرزمینی، آثار اقتصادی خشکسالی و تأثیر آن بر الگوی کشت دشت مهبیار جنوبی و تغییرات رفاه اجتماعی را در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ بررسی کرد. بدین منظور، برای مدلسازی از سه رهیافت تخمین رگرسیونی، برنامه‌ریزی ریاضی مثبت و برنامه‌ریزی پویا استفاده شد. نتایج نشان داد که در شرایط خشکسالی، سطح زیرکشت جو و گندم افزایش و سطح زیرکشت ذرت کاهش یافت. نتایج دیگر نشان داد که کاهش عرضه آب ناشی از خشکسالی موجب کاهش مازاد رفاه اجتماعی به مقدار ۱۰۲۰ میلیون ریال (به قیمت سال ۱۳۹۶) گردید و به ازای کاهش یک متر مکعب آب، رفاه به میزان ۱۴۷ ریال کاهش یافت. از این رو پیشنهاد می‌شود که میزان رفاه از دست رفته کشاورزان ناشی از کاهش آب، معیاری برای تعیین میزان پرداخت‌های جبرانی شود.

واژه‌های کلیدی: عرضه آب، تقاضای آب، برنامه‌ریزی پویا، بازار آب

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: تهران، دانشگاه تربیت مدرس، گروه اقتصاد کشاورزی.

مقدمه

منابع آب زیرزمینی، در حدود یک سوم از کل منابع آب شیرین دنیا را به خود اختصاص داده‌اند؛ اما این منابع مهم و کمیاب تحت تأثیر تغییر آب‌وهوا در کل جهان قرار گرفته است و در برابر نیاز روزافزون به آب شیرین، این کمبود تشدید شده (ماس و همکاران، ۲۰۱۷) و سطح آب زیرزمینی در مناطق وسیعی از دنیا به طور مستمر در حال کاهش است (مولدن، ۲۰۰۷). در ایران نیز منابع آب زیرزمینی تقریباً ۵۵ درصد کل تقاضای آب را در ایران پوشش می‌دهند (رضایی و محمدی، ۲۰۱۷) و میزان مصرف آن (از طریق چاه، قنات و چشمه‌ها) از حدود ۱۸ میلیارد مترمکعب در دهه ۱۳۵۰ به حدود ۶۱ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۹۴ رسیده است (نوری، ۱۳۹۶).

علاوه بر برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، خشکسالی به‌عنوان یک مخاطره طبیعی، این منابع کمیاب را تحت تأثیر قرار داده و موجب افت قابل توجه آن شده است. خشکسالی یک پدیده منطقه‌ای است که طی آن دسترسی ذیمدخلان به منابع آب، کم‌تر از مقدار متوسط بلندمدت آن می‌شود (تلاکسن و همکاران، ۲۰۰۴). خشکسالی‌ها را می‌توان به چهار دسته هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی تقسیم کرد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۵؛ حیم، ۲۰۰۲؛ انجمن هواشناسی آمریکا، ۲۰۰۴). خشکسالی هیدرولوژیکی به دلیل کمبود دوره‌ای ریزش‌های جوی، با منابع و ذخایر آب سطحی و زیرزمینی مرتبط است. در سال‌های اخیر تعداد سال‌های خشک به دلیل گرمایش جهانی افزایش یافته است (لیو و همکاران، ۲۰۱۵؛ وو و همکاران، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵). با کاهش بارندگی‌ها و جریان‌های سطحی و نبود تعادل در نسبت بارش‌ها در مناطق، میزان استحصال آب زیرزمینی افزایش یافته و به دنبال آن، سطح ایستابی سفره‌های زیرزمینی به شکل قابل توجهی کاهش یافته است (جعفری، ۱۳۸۳؛ گلسون و همکاران، ۲۰۱۲؛ ووس و همکاران، ۲۰۱۳). از این‌رو، وقوع خشکسالی‌های

متناوب، طولانی و نوسانات زیاد آب و هوایی، کمبود آب زیرزمینی را تشدید می‌کند. همچنین از زیان‌های دیگر خشکسالی می‌توان به خسارات وارده به چشمه‌ها و ایستگاه‌های پمپاژ، تغییر یا تأخیر در زمان‌بندی آبیاری اشاره کرد که اهمیت مدیریت این بحران را دوچندان کرده است (داورپناه، ۱۳۸۳).

خشکسالی‌های پی در پی به همراه رشد فعالیت‌های اقتصادی در سالیان اخیر، تفاوت نرخ تجدید و نرخ بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی را افزایش داده و موجب افت بیشتر سطح ایستایی آن شده است. از این‌رو، مدیریت اصولی منابع آبی خصوصاً در بخش‌های پرمصرف با بازده پایین مانند بخش کشاورزی بسیار مهم است (صباحی و همکاران، ۱۳۸۶). به‌منظور مدیریت منابع آب، باید جدا از معیارهای اولیه اقتصادی، سود و رفاه اجتماعی مدنظر قرار داده شود (رضایی و محمدی، ۲۰۱۷). رفاه اقتصادی کشاورز در این مطالعه در واقع رانت سایه‌ای تقاضای آب است. از این رو تفاوت بین قیمتی که کشاورز برای آب پرداخت می‌کند و قیمتی که مایل است پرداخت نماید، شکل‌دهنده مازاد رفاه تقاضاکننده خواهد بود (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳). برای مقابله با چالش‌های آب در جهان، نیاز به ساز و کار سازمانی مؤثر به منظور تخصیص عادلانه آب بین کاربران رقابتی به شدت احساس می‌شود. بازار آب یکی از نظام‌های بنیادی است که به‌منظور افزایش کارایی اقتصادی تعیین شده و می‌تواند ابزار مناسبی برای تخصیص بهینه آب ایجاد کند (خلیلیان و همکاران، ۱۳۹۳، نجفی علمدارلو، ۲۰۱۸).

با توجه به آنچه بیان شد، در ادامه به بررسی مطالعاتی پرداخته شده است که از رهیافت بازار آب در تخصیص آن استفاده کرده‌اند. در یک تقسیم‌بندی جامع می‌توان مطالعات انجام شده در این خصوص را به دو گروه کلی تقسیم نمود. گروه اول مطالعاتی هستند که به چگونگی تشکیل بازارهای آب موجود می‌پردازند و شرایط و ترتیبات نهادی برای تشکیل بازارهای آب را

تبیین می‌کنند (کرامت‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۵؛ گرافتون و هورن، ۲۰۱۴). نتایج شبیه سازی بازار آب در مطالعه کرامت‌زاده و همکاران (۱۳۹۲)، نشان می‌دهد با توجه به اینکه سطح زیرکشت کل مناطق اراضی زیر سد شیرین دره به‌طور در حالت وجود بازار آب به ترتیب در شرایط نرمال و خشکسالی به میزان ۱۴ و ۱۰ درصد کاهش می‌یابد اما مجموع سود حاصل از کشت محصولات افزایش می‌یابد، به طوری که این افزایش در شرایط خشکسالی بیشتر از شرایط نرمال و به ترتیب برای شرایط نرمال و خشکسالی به میزان ۱۲ و ۲۳ درصد است. احمدی و همکاران (۱۳۹۵) پس از تشکیل بازار آب به این نتیجه رسیدند که بازده برنامه‌ای کشاورزان مشروط به مبادله ۴۷ درصد از حجم آب مصرفی در سازوکار بازار آب، به میزان ۲۸ درصد افزایش خواهد یافت. گرافتون و هورن (۲۰۱۴) نیز بازار آب حوزه ماری-دارلینگ استرالیا را بررسی کرده و دریافتند که تقویت بازارهای منطقه‌ای موجب انعطاف پذیری بازار و در نتیجه بهبود وضعیت کاربران و محیط زیست خواهد شد. نظارت بر بهره‌برداری آب سطحی موجب تقویت حقوق آب و همچنین ذخیره‌سازی آب موجب تسهیل در تجارت می‌گردد. ارائه اطلاعات صحیح و به موقع مبادلات را تسهیل بخشیده و اعلان اطلاعات قیمتی می‌تواند عدم اطمینان را در بازار کاهش دهد. نظارت بر منابع آب زیرزمینی و آبخوان‌ها نیز نباید فراموش گردد.

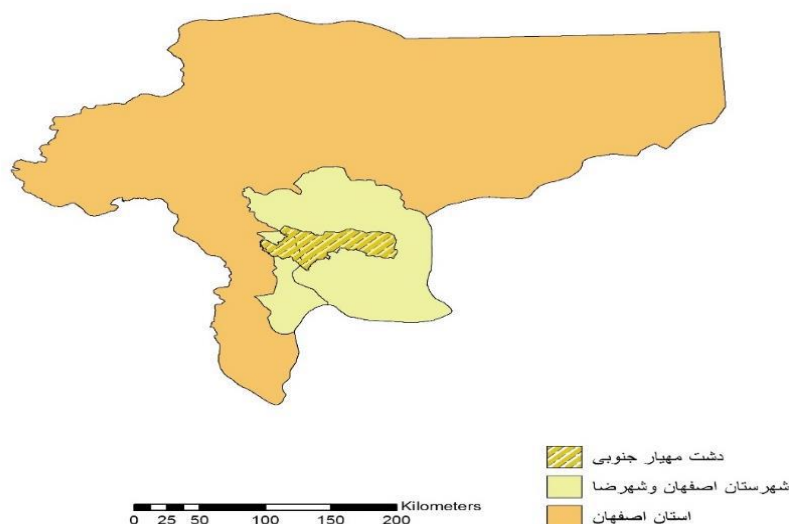
گروه دوم نیز مطالعاتی هستند که به بررسی آثار اقتصادی این‌گونه بازارها می‌پردازند (نیکویی و نجفی، ۱۳۹۰؛ صبحی و پرهیزکاری، ۱۳۹۲؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۵؛ زکری و ایستر، ۲۰۰۵؛ گومز لیمون و مارتینز، ۲۰۰۶؛ گوهر و کاسمن، ۲۰۱۶). نیکویی و نجفی (۱۳۹۰) افزایش رفاه را در حالت مبادله آب، ۱۴ درصد محاسبه کرده‌اند. در پژوهش صبحی و پرهیزکاری (۱۳۹۲) به نیروی کار مازاد منطقه نیز توجه شده است و در مدل-سازی بازار برای اعمال شرایط خشکی، تنش آبی، ۲۰ درصد در نظر گرفته‌اند که پس از آن، مجموع نیروی کار

به کار گرفته شده در بخش کشاورزی ۱/۸۱ درصد افزایش یافته است. در مطالعه زکری و ایستر (۲۰۰۵) فروش آب به شرکت‌های تأمین‌کننده آب شهری توجه شده که منجر به کاهش ۳۴/۸ درصدی سطح اشتغال شده است. در برخی دیگر از مطالعات به مسئله بیابان آبی توجه شده است. استبان و آلبیاک (۲۰۱۱) و زاوری و همکاران (۲۰۱۶)، هر دو مداخله و سیاست‌گذاری را شرط پایداری منبع دانسته‌اند.

بازارهای آب در بخش کشاورزی یک راه‌حل امیدبخش جهت افزایش کارایی اقتصادی آب می‌باشند و کشاورزان با فرصت‌های ایجادشده در آن از طریق بهبود مدیریت آب، برای اجاره و فروش آب اقدام نموده و در راستای تأمین آب در بازار تلاش خواهند نمود (ویچلنس، ۱۹۹۹). از این‌رو، تشکیل بازار آب می‌تواند باعث افزایش رفاه کشاورزان شود (علی‌بلندی و همکاران، ۱۳۹۵)، لذا در این مطالعه به بررسی آثار اقتصادی ناشی از خشکسالی در چارچوب بازار آب پرداخته شده است. با توجه به این موضوع، در این مطالعه تعیین ارزش واقعی آب زیرزمینی در چهارچوب بازار آب و همچنین ارزیابی تغییر در رفاه اجتماعی بهره‌برداران آب زیرزمینی بخش کشاورزی دشت مہیار در نتیجه خشکسالی و کاهش عرضه آب مورد بررسی قرار است.

منطقه مورد مطالعه

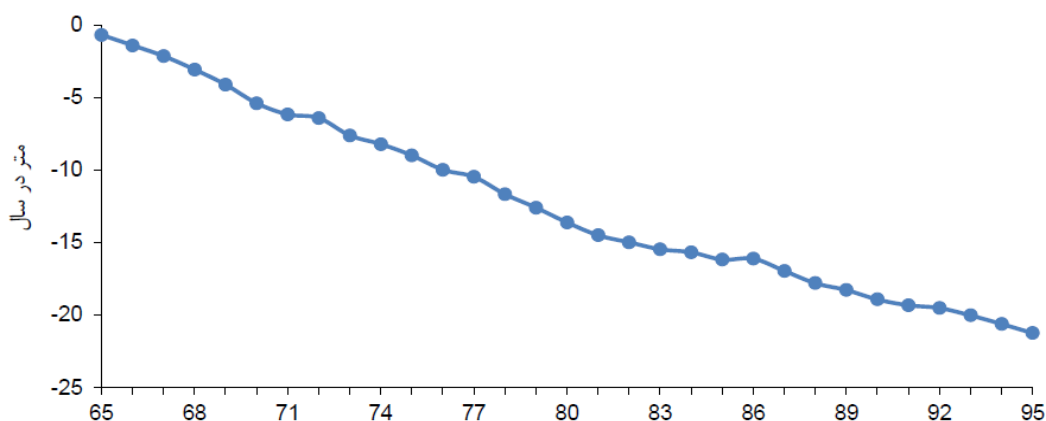
دشت مہیار در حوضه آبخیز فلات مرکزی و زیر حوضه زاینده‌رود یا گاوخونی واقع است. منطقه مہیار جنوبی، از توابع شهرستان شهرضا، واقع در ۵۲ کیلومتری جنوب اصفهان و ۲۰ کیلومتری شمال آن می‌باشد. این دشت در طول شرقی ۵۲ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه و عرض شمالی ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۳۲ درجه و یک دقیقه قرار دارد (سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان، ۱۳۹۶). نقشه ۱ موقعیت جغرافیایی دشت مہیار جنوبی را نشان می‌دهد.



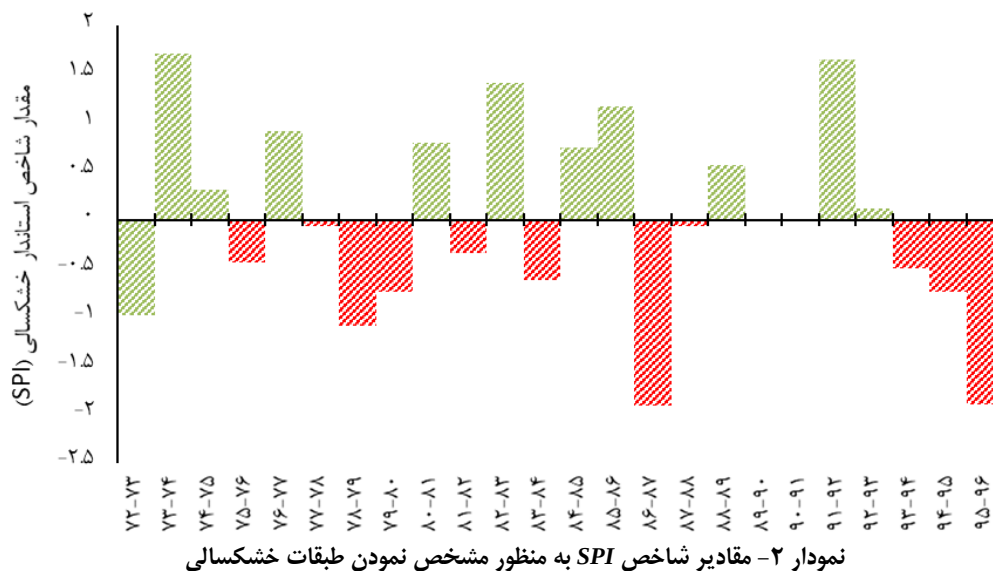
نقشه ۱- موقعیت جغرافیایی دشت مهبیار جنوبی (سازمان آب منطقه ای استان اصفهان، ۱۳۹۶)

نزولی بوده و سطح آب زیرزمینی کاهش یافته و در سال-های اخیر به کمترین میزان خود رسیده است. در نمودار شماره ۲ نیز شاخص بارش استاندارد شده (SPI) که نشان دهنده طبقات مختلف خشکسالی است برای منطقه مورد مطالعه در فاصله سال-های آبی ۱۳۷۲-۷۳ تا ۱۳۹۵-۹۶ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است، در سال‌های منتهی به مطالعه انجام شده، منطقه مورد نظر با خشکسالی قابل توجه و پی‌درپی مواجه بوده است. به طور کلی بررسی آماری نشان می‌دهد که در نیمی از سه دهه اخیر، این دشت سال-های خشکی را پشت سر گذاشته است.

دشت مهبیار جنوبی نیز با اراضی وسیع و مستعدی که دارد، یک قطب کشاورزی در استان اصفهان محسوب می‌شود. منبع عمده تأمین آب کشاورزی مزارع مهبیار چاه‌های عمیق بوده و بیش از هزار هکتار سطح زیر کشت دارد (جهاد کشاورزی استان اصفهان، ۱۳۹۶). در این حوزه برداشت مجاز از آبخوان برابر با ۵۱/۶ میلیون متر مکعب است در حالیکه تخلیه و برداشت در سال ۱۳۹۶، از آبخوان به میزان ۸۵/۴ میلیون متر مکعب می‌باشد (سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان، ۱۳۹۶) و بر اساس نمودار ۱ میانگین تجمعی تغییرات سطح آب زیرزمینی از ابتدای تشکیل شبکه سنجش تاکنون همواره



نمودار ۱- میانگین تجمعی تغییرات سطح آب زیرزمینی شبکه مهبیار جنوبی (مأخذ: سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان، ۱۳۹۶)



تعمیرات و نگهداری) می‌باشد (اسدی و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به مطالعات استبان و آلبیاک (۲۰۱۱)، نجفی علمدارلو و همکاران (۲۰۱۸) و بلالی و همکاران (۲۰۱۱)، هزینه لازم برای استحصال آب زیرزمینی را می‌توان به صورت رابطه ۱ نشان داد.

$$TC_i = c_0 + c_1(SL + H_i) \quad (1)$$

که در آن:

TC_i هزینه استخراج آب از چاه i ام، c_0 هزینه ثابت استخراج و c_1 هزینه متغیر استخراج است. c_1 درواقع هزینه انرژی لازم برای انتقال یک متر مکعب آب به ارتفاع یک متر است. SL ارتفاع از سطح دریا و H_i ارتفاع آب در هر چاه می‌باشد. برای محاسبه هزینه‌های ثابت و هزینه‌های یکنواخت سالانه، از رابطه $A = F \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right]$ استفاده شده است. این رابطه فاکتور وجوه استهلاکی نامیده می‌شود و ارزش آتی را با توجه به نرخ بهره در مدت n دوره به پرداخت‌های مساوی تقسیم می‌کند (بلالی و همکاران، ۲۰۱۱). A هزینه یکنواخت در پایان دوره، F ارزش آتی سرمایه، i نرخ بهره و n تعداد دوره است. با استفاده از رابطه ۱، از آنجایی که تابع عرضه آب زیرزمینی، قسمت صعودی منحنی هزینه نهایی استخراج آب است، بعد از تخمین رابطه ۱ با استفاده از روش OLS (حداقل مربعات معمولی)، می‌توان تابع عرضه آب را نیز به دست آورد. لازم به ذکر است روش حداقل مربعات

با توجه به آنچه بیان شد خشکسالی در چند دهه اخیر تأثیرات چشمگیری بر منابع آب زیرزمینی داشته است، از این رو بررسی این پدیده برای مقابله، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب زیرزمینی در دوره‌های خشکسالی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و اتخاذ تصمیمات منطقی در رابطه با تغییرات رفاہ بسیار ارزشمند می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر، به منظور محاسبه تغییرات رفاہ در چارچوب بازار آب، ابتدا تابع عرضه آب با استفاده از روش OLS و تابع تقاضا با استفاده از روش ماکزیمم آنتروپی در رهیافت برنامه‌ریزی اثباتی (PMP) به دست آورده شد. به منظور برآورد حجم آب در شرایط خشکسالی از معادله حرکت آب زیرزمینی استفاده شده و به‌عنوان یک محدودیت در مدل برنامه‌ریزی پویا استفاده گردید. سپس با استفاده از ضرایب عرض از مبدأ و شیب توابع عرضه و تقاضای به‌دست‌آمده از مدل‌ها و معادله حرکت آب زیرزمینی و رهیافت برنامه‌ریزی پویا، به بررسی تغییرات رفاہ و الگوی کشت منطقه در شرایط خشکسالی پرداخته شده است.

تابع عرضه آب: هزینه‌های تأمین آب شامل سرمایه‌گذاری اولیه به‌عنوان هزینه ثابت (حفر چاه، خرید موتور پمپ، تأسیسات برق رسانی) و هزینه‌های جاری (مصرف برق،

معمولی به دلیل سهولت در استفاده و ارائه برآوردهای نسبتاً مناسب، یکی از پرکاربردترین روش‌ها در تخمین‌های رگرسیونی است. از طرف دیگر مطالعاتی مانند فتحی و زیبایی (۱۳۹۰)، بنی‌اسدی و همکاران (۱۳۹۷)، حسن-شاهی (۱۳۹۰)، سیدان و همکاران (۱۳۹۶)، استبان و آلبیاک (۲۰۱۱) نیز از این روش برای برآورد تابع هزینه استخراج آب زیرزمینی استفاده کرده‌اند. آمار و اطلاعات لازم برای تعیین تابع عرضه آب که شامل سطح ایستابی آب چاه‌ها و عمق چاه‌ها بوده از سازمان‌های آب منطقه‌ای، وزارت نیرو و هزینه‌های حفارچاه و استخراج آب از چاه نیز از شرکت‌های حفاری چاه و سایر مؤسسات همگروه حفاری مربوطه در سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵ گردآوری شد.

برنامه ریزی ریاضی اثباتی (PMP): رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی، برای حل مشکلات الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی هنجاری در تحلیل سیاست‌ها و کالیبره کردن مدل‌های کشاورزی معرفی شده است که در آن از توابع تولید و هزینه غیرخطی بهره می‌گیرند. شرط اصلی برای ساختن اینگونه مدل‌ها، بازسازی رفتار کشاورزان در محیط خاص آن‌ها بر اساس داده‌های کمی می‌باشد که در فرایند تصمیم برای مزرعه موجود هستند (گرافتون و هورن، ۲۰۱۴). این روش برنامه‌ریزی در سه مرحله انجام می‌پذیرد و با استفاده از داده‌های مشاهده شده الگوی را تعیین می‌کند که داده‌های اولیه را بازتولید می‌کند و تأثیر سیاست‌های متفاوت بر آن به طور مشخص قابل مشاهده است (کیانی و باقری، ۱۳۹۵). با توجه به شرایط موجود در منطقه مورد مطالعه، الگوی برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی که در این پژوهش از آن استفاده شده است به شرح زیر است (هاویت، ۱۹۹۵):

$$\text{Max } GM = \sum_{i=1}^7 X_i (P_i Y_i - CW_i - \sum_{j=1}^7 C_j) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^7 X_i \leq Tland \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^7 W_i X_i \leq TW \quad (4)$$

$$X_i \leq X_0 + \varepsilon \quad (5)$$

که در مجموعه روابط ۲، ۳ و ۴، GM بازده ناخالص سالانه حاصل از کل فعالیت‌های زراعی آبی، i محصولات کشاورزی (گندم، جو، ذرت، ارزن، منداب، طالبی و هندوانه)، j نهاده‌های کشاورزی (شامل زمین، نیروی کار، ماشین‌آلات، نیترات، فسفات، پتاسیم و سم)، X_i میزان سطح زیر کشت محصول i برحسب هکتار، P_i قیمت محصول i ، Y_i عملکرد محصول i برحسب کیلوگرم بر هکتار، CW_i هزینه استفاده از آب در یک هکتار زمین زراعی محصول، C_j شامل کل هزینه‌های تولید محصول در یک هکتار به غیر از هزینه مربوط به نهاده آب. $Tland$ کل زمین‌هی اختصاص یافته به کشت محصولات مورد بررسی، W_i مقدار آب مصرفی برای تولید محصول i ، TW مقدار کل آب مورد استفاده برای کشت محصولات زراعی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. آمار و اطلاعات مربوط به روابط فنی گیاهان زراعی و نهاده‌ها در سال ۹۶-۱۳۹۵ از طریق پرسشنامه و مصاحبه حضوری با کشاورزان منطقه و همچنین وزارت جهاد کشاورزی بدست آمده است. جامعه آماری مورد نظر، ۳۲۰ کشاورزی بودند که با برداشت از ۱۰۴ چاه فعال دشت به زراعت می‌پرداختند. از این تعداد، با استفاده از نمونه‌گیری خوشه‌ای دو مرحله‌ای، چاه‌های آب به عنوان خوشه‌ها معین شده و تعداد ۱۲ حلقه چاه به صورت تصادفی انتخاب و سپس از هر خوشه مجدداً به صورت تصادفی تعداد یک تا سه کشاورز برای تکمیل پرسشنامه انتخاب شدند. همچنین با واسطه اداره جهاد کشاورزی با هشت نفر از کشاورزان پیشرو منطقه مصاحبه حضوری انجام شد.

معادله حرکت آب زیرزمینی: فرم کلی معادله حاکم بر جریان آب‌های زیرزمینی در آبخوان آزاد را می‌توان به صورت رابطه ۶ بیان کرد:

$$h_t - h_{t-1} = \frac{V}{As} \quad (6)$$

در رابطه ۶، $(\Delta H = h_t - h_{t-1})$ اختلاف ارتفاع در زمان t و $t-1$ ، V حجم آب موجود در مخزن، A مساحت آبخوان، s ضریب ذخیره می‌باشد. عوامل موثر بر مقدار

آب می باشد. H_t ارتفاع آب در آبخوان در دوره t , H_0 ارتفاع اولیه آب در آبخوان، R شارژ طبیعی آبخوان، ϕ ضریب جریانات برگشتی به آبخوان، A مساحت آبخوان، s ضریب ذخیره آبخوان را نشان می دهد. رابطه ۱۱ نشان دهنده مجموع سطح زیر کشت در هر دوره است به این صورت که پارامتر $TLand_{it}$ مجموع کل سطح زیر کشت در دوره t , x_{it} سطح زیر کشت محصول i در دوره t است. رابطه ۱۲ نیز مقدار آب مصرفی کل دوره را بیان می کند و ρ_{it} در واقع نیاز آبی محصول i می باشد.

نتایج و بحث

در ابتدا به منظور برآورد تابع عرضه، در جدول ۱ به بیان هزینه های موجود در رابطه با استخراج آب از یک چاه به عمق ۱۹۰ متر^۱ پرداخته شده است.

هزینه های ثابت و متغیر برای استحصال هر مترمکعب آب در جدول ۲ نشان داده شده است. هزینه متغیر یا هزینه انرژی مصرف شده برای استحصال آب به طور میانگین در طول سال ۱۳۹۶، ۱۱۰ میلیون ریال می باشد.

همانطور که در جدول ۲ نشانه داده شده است ارتباط معنی داری بین هزینه استحصال آب و سطح ایستابی آب وجود دارد که بیانگر تأثیر میزان ارتفاع بالا آوردن آب بر هزینه استحصال آب است. با انجام محاسبات بر روی اطلاعاتی مانند هزینه انرژی مصرف شده برای هر چاه متناظر با سطح ایستابی و نیز دبی آب، تابع عرضه آب برآورد شده است.

در ادامه، به منظور برآورد تابع تقاضای آب زیرزمینی محصولات کشاورزی از مدل ماکزیمم آنتروپی در رهیافت برنامه ریزی اثباتی (PMP) استفاده گردید. بدین صورت که با کاهش مقدار نهاده آب قابل دسترس، قیمت سایه ای، متناظر با آن تغییر می یابد. بر همین اساس تابع تقاضای آب نیز از دو پارامتر مقدار و قیمت آب به دست آمد. این فرآیند یکبار برای کل محصولات و بار

آب موجود در آبخوان را می توان میزان برداشت از آبخوان، تغذیه طبیعی آبخوان و میزان ورودی آب از نفوذ رواناب های سطحی شامل باران و آبیاری با در نظر گرفتن ضریب جریان بازگشتی بیان کرد. بنابراین:

$$h_t - h_{t-1} = \frac{R + (\phi - 1)W_t}{AS} \quad (7)$$

R تغذیه طبیعی آبخوان، ϕ ضریب جریان بازگشتی و W_t جریان های نفوذی به آبخوان هستند. معادله ۷ به عنوان یک قید به منظور تعیین حجم آب در شرایط خشکسالی و تأثیر آن بر تغییرات رفاه در مدل برنامه ریزی پویا استفاده شده است.

مدل برنامه ریزی ریاضی پویا: در این پژوهش، برای تعیین هدف اصلی تحقیق، یعنی اندازه گیری اثر رفاهی ناشی از کاهش عرضه آب، بازار آب پویا و الگوی کشت زراعی دشت مهباز جنوبی مدلسازی شده است. این بازار با توجه به معادله حرکت آب زیرزمینی تبیین شده است. در این مدل، هدف، حداکثرسازی ارزش انتظاری رفاه خالص ناشی از استحصال و مصرف آب زیرزمینی است که در روابط ۸ تا ۱۲ تعریف شده است (استبان و آلبیاک، ۲۰۱۱). در واقع تابع هدف این مدل، مساحت محصور بین منحنی های عرضه و تقاضای آب را حداکثر می کند. در ادبیات اقتصادی این مساحت تحت عنوان رفاه اجتماعی بیان شده است.

$$\text{Max } SP_{it} = \sum_{t=0}^T \sum_{i=0}^I \left(\frac{1}{1+r} \right)^t [(\alpha_{i1} W_{it} - \alpha_{i2} 0.5 W_{it}^2) - (c_0 - c_1 H_{it}) W_{it}] \quad (8)$$

s.t

$$H_t - H_{t-1} = \frac{R + (\phi - 1)W_t}{AS} \quad (9)$$

$$H_t(0) = H_0 \quad (10)$$

$$\sum_{t=0}^T \sum_{i=0}^I x_{it} = TLand_{it} \quad (11)$$

$$\sum_{t=0}^T \sum_{i=0}^I \rho_{it} x_{it} = W_{it} \quad (12)$$

که در این روابط، t نشان دهنده زمان، i بیانگر محصول الگوی کشت و r نرخ تنزیل می باشد. همچنین α_{i1} عرض از مبدأ تابع تقاضای محصول i ام α_{i2} شیب تابع تقاضای محصول i ام است. پارامترهای c_0 و c_1 نیز به ترتیب عرض از مبدأ تابع عرضه آب و شیب تابع عرضه

^۱ با توجه به متوسط عمق در چاه های منطقه مورد مطالعه.

شیب و تعیین عرض از مبدأ توابع تقاضای آب زیرزمینی محصولات کشاورزی، به برآورد توابع خطی محصولات با استفاده از روش OLS پرداخته شده است. جدول ۳ نتایج حاصل تخمین توابع تقاضای محصولات کشاورزی را به تفکیک محصولات نشان می‌دهد.

دیگر برای تک تک محصولات برآورد شده است. ارزش اقتصادی آب در این دشت با توجه به تقاضای محصولات و نتایج حاصل از مدل PMP برابر با ۲۷۳ تومان برای هر متر مکعب آب حاصل شد، این در حالیست که در منطقه مورد مطالعه در حال حاضر هزینه‌ای برای برداشت از آبخوان پرداخت نمی‌گردد. در ادامه به منظور محاسبه

جدول ۱- هزینه‌های استخراج آب از یک چاه نمونه به عمق ۱۹۰ متر در سال ۱۳۹۶

نام کالا یا خدمات	هزینه (میلیون ریال)	ارزش اسقاط	عمر مفید	نرخ بهره	هزینه یکنواخت سالانه (ریال)
حفاری با دستگاه روتاری	۲۷۰	۰	۵۰	۰/۱۵	۳۷۴۰۸
حمل و نصب و تجهیز کارگاه	۵۵	۰	۵۰	۰/۱۵	۷۶۲۰
شست و شوی چاه	۴۰	۰	۵۰	۰/۱۵	۵۵۴۲
لوله و شافت و متعلقات	۲۸۸	۲۸۸۰۰۰۰	۱۰	۰/۱۵	۱۲۷۶۶۱۳۵
دستمزد نصب لوله و شافت	۶	۰	۱۰	۰/۱۵	۲۹۵۵۱۲
جرتقیل برای حمل لوله و شافت	۷	۰	۵۰	۰/۱۵	۹۷۰
لوله جداره چاه (۱۶ اینچی)	۴۳۷	۰	۱۰	۰/۱۵	۲۱۵۲۳۱۵۱
نصب جداره	۳۸۰	۰	۱۰	۰/۱۵	۱۸۷۱۵۷۸۴
تابلو برق و خازن و دستمزد نصب	۷۲	۷۲۰۰۰۰	۲۰	۰/۱۵	۶۳۲۵۴۳
الکتروموتور ۲۰۰ اسب بخار	۲۵۰	۱۰۰۰۰۰۰	۲۰	۰/۱۵	۱۴۶۴۲۲۰
هد پمپ	۱۰	۱۰۰۰۰۰	۲۰	۰/۱۵	۸۷۸۵۳
توربین	۳۸/۴	۲۱۸۰۰۰	۱۰	۰/۱۵	۱۷۸۳۴۷۶
تعمیرات هر سال					۶۰۰۰۰۰۰
کارگر (نگهبان)					۱۲۰۰۰۰۰۰
مجموع	۲۳۷۳۲۰۲۱۵				

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۲- هزینه بهره‌برداری هر متر مکعب آب و نتایج تخمین هزینه متغیر بهره‌برداری و سطح ایستابی

متغیرها	هزینه ثابت سالانه	هزینه متغیر	مجموع
هزینه چاه در یک سال (ریال)	۲۳۸۱۷۳۲۰۷۲	۱۱۲۷۵۸۲۸۸	۳۵۱۴۹۰۳۶۰
هزینه بهره‌برداری هر متر مکعب (ریال)	۸۰/۱۸	۳۷۲	۱۱۷/۴
ضریب	آماره t	احتمال	
جزء ثابت	۶۵۹۵۵۵۸	۵/۹۶۱۹	۰/۰۰۰۰
سطح ایستابی (متر)	۴۲۰۳۵	۴/۳۱۹۰	۰/۰۰۰۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۳- نتایج برآورد خطی توابع تقاضای محصولات

متغیرها	گندم	جو	ذرت	ارزن	طالبی	هندوانه	منداب
عرض از مبدأ	۱۷۶۲/۱	۱۷۶۲/۱	۱۷۶۲/۱	۱۷۶۲/۱	۱۷۶۲/۱	۱۷۶۲/۱	۱۷۶۲/۱
شیب	-۰/۲۵۴۴	-۰/۱۳۸۲	-۰/۱۸۲۱	-۱/۵۰۱۹	-۰/۶۰۹۴	-۳/۵۵۶۹	-۱/۵۰۲۰
R^2	۰/۶۹۹۹	۰/۶۹۹۹	۰/۶۹۹۹	۰/۶۹۹۹	۰/۶۹۹۹	۰/۶۹۹۹	۰/۶۹۹۹

مأخذ: یافته‌های تحقیق

اصول اقتصادی، منحنی تقاضا با شیب بیشتر نشانگر حساسیت کمتر محصول مورد نظر در برابر تغییرات قیمت است که در این بین محصول هندوانه و ارزن دارای قدر

شیب‌های به دست آمده از توابع تقاضای تخمین زده شده منفی و منطبق بر تئوری‌های اقتصاد خرد می‌باشد و رابطه عکس قیمت و مقدار را نشان می‌دهد. براساس

مطلق شیب و محصولات گندم، جو و ذرت نیز دارای کمترین شیب بوده‌اند.

در جدول ۴ نیز ارتباط بین مقدار کاهش سطح ایستابی و میزان بارندگی در همان سال با استفاده از تخمین *OLS*، نشان داده شده است. ضریب بارش سالیانه با علامت منفی نشان می‌دهد در هر سال آبی که بارش

سالیانه کم‌تر بوده، اختلاف سطح ایستابی با سال گذشته بیشتر بوده است و در واقع سطح آب افت بیشتری داشته است. افزایش ارتفاع سطح آب در چاه تا دهانه چاه سبب افزایش هزینه‌ها می‌گردد. این میزان افزایش در ارتفاع بالا آوردن آب از چاه هم بر هزینه‌های ثابت و هم بر هزینه‌های متغیر مؤثر است.

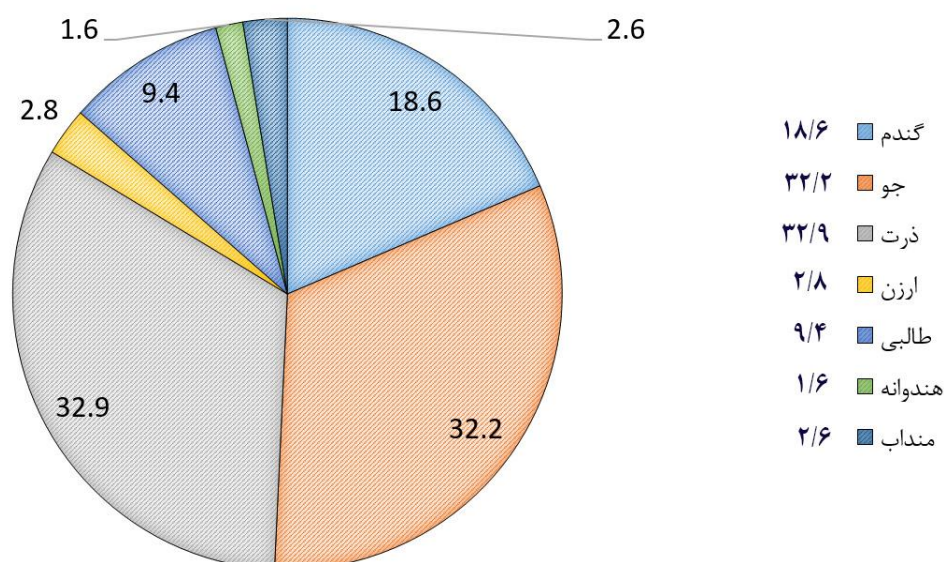
جدول ۴- نتایج تخمین افت سطح ایستابی و میزان بارش سالیانه

متغیر	ضریب	احتمال	R^2
بارش سالیانه	-۰/۰۰۲۷۹	۰/۰۰۵۷	۰/۷۵۸۱

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در ادامه با استفاده از نتایج حاصل از توابع عرضه و تقاضا و نیز اطلاعات آبخوان و داده‌های دشت مطالعاتی مورد نظر، به پیش‌بینی تغییرات ایجاد شده در رفاه و الگوی کشت منطقه مورد مطالعه برای دهه‌های آتی پرداخته شده است. مطابق با نتایج حاصل از حل مدل برنامه‌ریزی پویا با هدف حداکثرسازی رفاه اجتماعی بهره‌برداران آب زیرزمینی، الگوی کشت جدید برای

محصولات در سال اول برنامه‌ریزی شامل گندم با ۹۸۸ هکتار، جو با ۱۷۱۵ هکتار، ذرت با ۱۷۴۴ هکتار، ارزن با ۱۴۹ هکتار، طالبی با ۵۰۲ هکتار، هندوانه با ۸۳ هکتار و منداب با ۱۳۹ هکتار می‌باشد. در نمودار ۳ این درصد سطح زیر کشت این محصولات در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



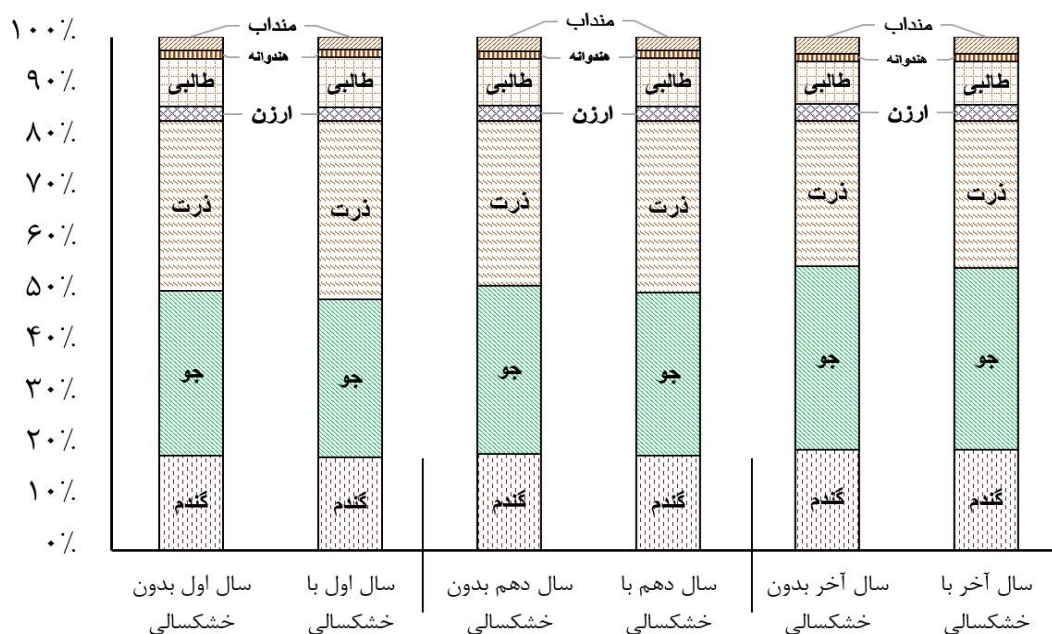
نمودار ۳- الگوی کشت زراعی دشت مهیار جنوبی در سال ۹۶-۱۳۹۵

در نمودار ۴، سطح زیر کشت در سال اول، در سال دهم و سال آخر، در دو سناریو با و بدون بروز خشکسالی نشان داده شده است. با توجه به نمودار ۴، سطح زیرکشت گندم، جو، ارزن و منداب در طول دوره افزایش پیدا می‌کند و سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای،

هندوانه و طالبی کاهش پیدا خواهد کرد. با توجه به اینکه مدل برنامه‌ریزی پویا برای پیش‌بینی تغییرات سطح زیر کشت برای بیست سال آینده نیز مدلسازی شده است، با مقایسه تغییرات الگو در نیمه اول دوره و نیمه دوم آن، مشخص شد که متوسط سطح زیر کشت محصولات جو

به ترتیب به مقادیر ۱۰۲۰ هکتار و ۱۸۲۱ هکتار خواهد رسید. پیش‌بینی می‌شود که سطح زیرکشت محصول ذرت با کاهش ۳۴ هکتاری در دوره بعد روبرو شود.

و گندم در دوره ده ساله اول به ترتیب برابر با ۹۹۳ هکتار و ۱۸۰۷ هکتار است. همچنین نتایج نشان داد که سطح زیر کشت این محصولات در ده ساله دوم افزایش یافته و



نمودار ۴- مقایسه سطح زیر کشت در سال‌های اول، دهم و آخر دوره مطابق وضعیت با و بدون بروز خشکسالی

مصرف کننده منهای قیمت بازاری) و مازاد تولید کننده (قیمت دریافتی منهای هزینه تولید) می‌باشد؛ به عبارت دیگر رفاه اجتماعی را می‌توان برابر با مساحت زیر منحنی تقاضا منتهی به منحنی عرضه دانست؛ بنابراین تغییرات در عرضه و تقاضا بر مقدار رفاه تأثیر گذاشته و موجب کاهش یا افزایش آن خواهد شد. در جدول ۵ مقدار تغییر رفاه در اثر خشکسالی مطابق با نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی پویا بدست آمده شده است. نتایج نشان می‌دهد که کاهش عرضه آب به دلیل وقوع خشکسالی، مازاد رفاه اجتماعی را به میزان ۱۰۲۳ میلیون ریال (به قیمت سال ۱۳۹۶) کاهش داده است به گونه‌ای که به ازای هر متر مکعب کاهش عرضه آب، رفاه اجتماعی کشاورزان به اندازه ۱۴۷ ریال کاهش خواهد یافت.

در دوره ده ساله دوم، در سناریو بروز خشکسالی، متوسط سطح زیر کشت محصولات گندم و جو به دلیل دارا بودن حاشیه سود بالاتر و راهبردی بودن این محصولات، با افزایش ۳۲ هکتار و ۳۵ هکتار، به ترتیب به سطح ۱۰۰۸ هکتار و ۱۷۸۴ هکتار خواهد رسید. مساحت زیر کشت مربوط به محصول ذرت نیز به دلیل کم بودن سود حاصل از این محصول و آب‌بر بودن آن کاهش یافته و از مقدار ۱۷۴۴ هکتار به ۱۶۸۳ هکتار تغییر یافته است. بقیه محصولات موجود در الگوی کشت منطقه، تغییراتی داشته اما به نسبت این سه محصول سهم کمتری را در تغییرات کل به خود اختصاص داده‌اند.

بر اساس تئوری‌های اقتصادی، رفاه اجتماعی حاصل جمع مازاد مصرف کننده (تمایل به پرداخت

جدول ۵- مقادیر کاهش رفاه اجتماعی (ریال)

شرح	مقدار کاهش رفاه (ریال)
کاهش رفاه به ازای ۰/۳ متر کاهش سطح آب (تأثیر خشکسالی)	۱۰۲۳۰۳۰۰۰۰
کاهش رفاه به ازای هر متر کاهش سطح آب	۳۳۹۸۲۰۰۰۰۰
کاهش رفاه به ازای ۰/۶۹ متر (کاهش سالانه فعلی سطح آب)	۲۳۵۲۹۶۹۰۰۰
کاهش رفاه به ازای هر متر مکعب آب	۱۴۷

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در دشت مهیار جنوبی در طی سه دهه اخیر باعث افت بیش از ۲۰ متری سطح ایستابی آب در چاه‌های منطقه شده است. همین امر یکی از مواردی است که پایداری تولیدات کشاورزی در این منطقه را با چالش‌های جدی روبرو کرده است. از طرف دیگر، خشکسالی‌های متعدد و پرتکراری که در این دوره اتفاق افتاده، بر دامنه مساله تامین آب در این منطقه افزوده است. از آنجایی که بخش کشاورزی به عنوان یکی از ارکان توسعه در کشورها مطرح می‌شود، از این توجه به منابع پایه به منظور تداوم تولیدات آن ضرورتی انکارناپذیر است؛ بنابراین، در مطالعه حاضر به بررسی اثرات اقتصادی خشکسالی بر الگوی کشت زراعی دشت مهیار جنوبی و زیان‌های رفاهی ناشی از این بحران پرداخته شده است. بدین منظور در این تحقیق، ابتدا با استفاده روش *OLS*، تابع عرضه آب تخمین و سپس با استفاده از رهیافت ماکزیمم آنتروپی در رویکرد برنامه-ریزی اثباتی (*PMP*) به تخمین تابع تقاضای آب پرداخته شد. در ادامه به منظور بررسی اثرات خشکسالی بر رفاه کشاورزان و الگوی کشت، از رهیافت برنامه‌ریزی پویا استفاده شد. نتایج نشان داد که با بروز خشکسالی در طی دوره‌های آبی سطح زیر کشت جو و گندم افزایش و ذرت با کاهش مواجه می‌شود و دیگر محصولات دارای

تغییرات اندک می‌باشند. همچنین، کاهش عرضه آب ناشی از خشکسالی موجب کاهش مازاد رفاه اجتماعی به مقدار ۱۰۲۰ میلیون ریال می‌گردد و به ازای کاهش یک متر مکعب آب، رفاه به میزان ۱۴۷ ریال کاهش می‌یابد. در مطالعه‌ی فتنی و زیبایی (۱۳۹۰) که در دشت فیروزآباد انجام شده است، مقدار کاهش رفاه برای هر متر مکعب آب برای چاه‌های عمیق ۳۸ ریال بدست آمده است. با توجه به افت قابل توجه سطح آبخوان آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه و آثار مضاعف خشکسالی بر روی آن، اتخاذ سیاست‌های سازگاری برای تطابق با این پدیده ضروریست. از طرف دیگر، سیاست‌های نهادی نیز به منظور جبران رفاه از دست رفته کشاورزان به میزانی که بتوانند به سطح مطلوبیت قبل از خشکسالی برگردند باید در دستور کار قرار داده شود. همچنین میزان کاهش رفاه در نتیجه کمبود آب می‌تواند معیاری برای تعیین میزان خسارت و یا حق بیمه در منطقه مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، از آنجایی که ارزش سایه‌ای هر مترمکعب آب در این تحقیق معادل با ۲۷۳ تومان به ازای هر مترمکعب به دست آمد، پیشنهاد می‌شود که این ارزش به عنوان معیاری برای قیمت‌گذاری آب تلقی شده و زمینه لازم برای مبادله آن را در چارچوب بازار آب فراهم کند.

فهرست منابع

۱. احمدی، الف.، ذوالفقاری ور، م.، نیکویی، ع. و درعلی، م. ۱۳۹۵. ارزیابی اقتصادی پیاده‌سازی بستر فنی بازار آب کشاورزی، مطالعه موردی: بخشی از شبکه آبیاری مهبیار. تحقیقات منابع آب ایران. ۲(۳): ۳۵-۴۹.
۲. اسدی، الف. کرامت‌زاده، ع. و اشراقی، ف. ۱۳۹۵. برآورد قیمت تمام شده آب چاه‌های کشاورزی شهرستان گرگان. چهارمین کنفرانس بین‌المللی ایده‌های نوین در کشاورزی، محیط زیست و گردشگری.
۳. بنی‌اسدی، م.، زارع مهرجردی، م.، مهرابی‌بشرآبادی، ح.، میرزایی خلیل‌آباد، ح.، رضایی‌استخروئیه، ع. ۱۳۹۷. ارزیابی اثرهای جانبی رفاهی برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی ذرت‌کاران دشت ارزوئیه کرمان). مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۱۰(۱): ۶۵-۸۶.
۴. جعفری، س.ع. ۱۳۸۳. رویکرد بازار آب و الزامات آن. اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۱۲(۴۸).
۵. حسن‌شاهی، م. ۱۳۹۰. تخمین تابع عرضه اقتصادی آب در بخش کشاورزی، مطالعه موردی شهرستان ارسنجان- فارس / مجله مطالعات اقتصادی، ۲(۳): ۸۱-۹۴.
۶. خلیلیان، ص. شمشادی، ک. مرتضوی، س. الف. و احمدیان، م. ۱۳۹۳. بررسی اثرات رفاهی ناشی از تغییر اقلیم بر روی محصول گندم در ایران. پژوهشهای اقتصاد و توسعه کشاورزی. جلد ۲۸(۳): ۲۹۲-۳۰۰.
۷. داورپناه، غ. ۱۳۸۳. بررسی اثر مواد جاذب رطوبت بر تأمین آب درختکاری در مناطق نیمه خشک. مجله آب و فاضلاب، ۱۶(۱): ۶۲-۶۹.
۸. سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان. ۱۳۹۶. گزارش‌های آماری.
۹. سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان. ۱۳۹۶. گزارش‌های آماری.
۱۰. سیدان، م.، کهنسال، م.، قربانی، م. ۱۳۹۶. دستیابی به مسیر بهینه استحصال از منابع آب زیرزمینی با اعمال اثرات جانبی در دشت همدان بهار. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۸(۱۵): ۱۹۱-۲۰۱.
۱۱. صبحی، م. و پرهیزکاری، الف. ۱۳۹۲. تحلیل اثرات اقتصادی و رفاهی تشکیل بازار آب آبیاری در استان قزوین. پژوهشهای اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۷(۴): ۳۳۸-۳۵۰.
۱۲. صبحی، م.، سلطانی، غ.، زیبایی، م. ۱۳۸۶. ارزیابی تأثیر تغییرات قیمت آبیاری بر منافع اجتماعی و خصوصی با استفاده از برنامه ریاضی مثبت. علوم و فنون کشاورزی، ۲۱(۳): ۵۳-۷۱.
۱۳. علی‌بلندی، م.، پروا، س.، گودرزی، م. ۱۳۹۵. بررسی ایجاد بازار آب بر روی رفاه کشاورزان با استفاده از روش برنامه ریزی مثبت ریاضی (PMP) مطالعه موردی: حوضه رودخانه تاجان و سد شهید رجایی. سومین کنفرانس مدیریت ایران، تهران.
۱۴. فتحی، ف.، زیبایی، م. ۱۳۹۰. کاهش رفاه ناشی از افت سطح آبهای زیرزمینی در دشت فیروزآباد. اقتصاد و توسعه کشاورزی. ۲۵(۱): ۱۰-۱۹.
۱۵. کرامت‌زاده، ع.، چیدری، الف. و شرزه‌ای، غ. ۱۳۹۲. تحلیل تأثیرات اقتصادی و اجتماعی ایجاد و توسعه بازار آب در بخش کشاورزی، مطالعه موردی اراضی پایین دست سد شیرین دره بجنورد. مجله تحقیقات اقتصادی. ۴۸(۳): ۱۰۷-۱۲۸.
۱۶. کیانی، غ. و باقری، الف. ۱۳۹۵. بررسی پیامدهای اقتصادی بازارهای محلی آب (بررسی موردی شهرستان اردبیل). پژوهش آب ایران. ۱۰(۲۰): ۱۶۵-۱۷۱.

۱۷. نوری، ح. ۱۳۹۶. ارزیابی روند مصرف منابع آب زیرزمینی و وضعیت کنونی آن در ایران. سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۵ (۲): ۳۸-۲۹.
۱۸. نیکویی، ع. و نجفی، ب. ۱۳۹۰. آثار رفاهی برقراری بازار آب کشاورزی در ایران، مطالعه موردی شبکه‌های آبیاری اصفهان. اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۱۹ (۷۶): ۸۱-۵۱.
۱۹. یوسفی، ع.، حسن‌زاده، م.، کرامت‌زاده، ع. ۱۳۹۳. بررسی آثار رفاهی تخصیص بازاری منابع آب در اقتصاد ایران. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۰ (۱): ۱۵-۲۵.
20. American Meteorological Society, 2004. Statement on Meteorological Drought. Bulletin of the American Mathematical Society (85): 771-773.
21. Balali, H., Khalilian, S., Viaggi, D., Bartolini, F., and Ahmadian, M. 2011. Groundwater balance and conservation under different water pricing and agricultural policy scenarios: A case study of the Hamadan-Bahar plain. Ecological Economics, 70(5): 863-872.
22. Esteban, E. and Albiac, J. 2011. Groundwater and ecosystems damages: Questioning the Gisser-Sánchez effect. Ecological Economics, 70(11): 2062-2069.
23. Gleeson T., Wada Y., Bierkens M.F., and van Beek L. P. 2012. Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint. Nature, 488(7410), 197.
24. Gohar A.A., and Cashman A. 2016. A methodology to assess the impact of climate variability and change on water resources, food security and economic welfare. Agricultural Systems, 147:51-64.
25. Gómez-Limón J. A., and Martinez Y. 2006. Multi-criteria modelling of irrigation water market at basin level: A Spanish case study. European journal of operational research, 173(1):313-336.
26. Grafton R. Q., and Horne J. 2014. Water markets in the Murray-Darling basin. Agricultural Water Management, 145(C):61-71.
27. Heim Jr, R.R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. Bulletin of the American Meteorological Society, 83(8): 1149-1165.
28. Howitt, R. 1995. A Calibration Method for Agricultural Economic Production Model; Journal of Agricultural Economic, 46: 147-159.
29. Liu, X., Zhu, X., Pan, Y., Zhao, A. and Li, Y. 2015. Spatiotemporal changes of cold surges in Inner Mongolia between 1960 and 2012. Journal of Geographical Sciences, 25(3): 259-273
30. Maas A., Dozier A., Manning D. T., and Goemans C. 2017. Water storage in a changing environment: the impact of allocation institutions on value. Water Resources Research, 53(1):672-687.
31. Molden, D. 2007. Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture.
32. Najafi Alamdarlo, H., Pourmozafar, H., and Vakilpoor, M. H. 2019. Improving demand technology and internalizing external effects in groundwater market framework, case study: Qazvin plain in Iran. Agricultural water management, 213, 164-173.
33. Rezaei A., and Mohammadi Z. 2017. Annual safe groundwater yield in a semiarid basin using combination of water balance equation and water table fluctuation. Journal of African Earth Sciences, 134, 241, 248.
34. Tallaksen L. M. and Van Lanen H.A. 2004. Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater (Vol. 48). Elsevier.
35. Voss K.A., Famiglietti J.S., Lo M., Linage C., Rodell M., and Swenson S.C. 2013. Groundwater depletion in the Middle East from GRACE with implications for transboundary water management in the Tigris-Euphrates-Western Iran region. Water resources research, 49(2):904-914.
36. Wichelns D. 1999. Economic efficiency and irrigation water policy with an example from Egypt. International Journal of Water Resources Development, 15(4):543-560.

37. Wu, J., Zhou, L., Liu, M., Zhang, J., Leng, S. and Diao, C. 2013). *Establishing and assessing the Integrated Surface Drought Index (ISDI) for agricultural drought monitoring in mid-eastern China. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23: 397-410.
38. Wu, J., Zhou, L., Mo, X., Zhou, H., Zhang, J. and Jia, R. (2015. *Drought monitoring and analysis in China based on the Integrated Surface Drought Index (ISDI). International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 41: 23-33.
39. Zaveri E., Grogan D.S., Fisher-Vanden K., Frolking S., Lammers R.B., Wrenn D.H., and Nicholas R.E. 2016. *Invisible water, visible impact: groundwater use and Indian agriculture under climate change. Environmental Research Letters*, 11(8): 084005.
40. Zekri S., and Easter W. 2005. *Estimating the potential gains from water markets: a case study from Tunisia. Agricultural Water Management*, 72(3):161-175.
41. Zhang, R., Gao, H., Zhu, W., Hu, W. and Ye, R. 2015. *Calculation of permissible load capacity and establishment of total amount control in the Wujin River Catchment—a tributary of Taihu Lake, China. Environmental Science and Pollution Research*, 22(15): 11493-11503.

اثرات کاربرد برگی سالیسیلیک اسید بر بهبود تحمل به خشکی گل پریش

غلامحسین همایونی، نیما احمدی^۱ و محمودرضا روزبان

دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.

hoseinhomauni@gmail.com

دانشیار گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

ahmadin@modares.ac.ir

استادیار گروه باغبانی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران.

mroozban@ut.ac.ir

دریافت: مهر ۱۳۹۴ و پذیرش: بهمن ۱۳۹۸

چکیده

به منظور بررسی اثرات کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید بر بهبود تحمل به خشکی گل پریش (*Catharanthus roseus*)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. در این آزمایش، اثرات سالیسیلیک اسید در غلظت‌های ۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار، روی گیاهان آبیاری شده بر اساس سطوح ۳۰٪، ۶۰٪ و ۱۰۰٪ (شاهد) ظرفیت زراعی گلدان، ارزیابی شد. روش کاربرد سالیسیلیک اسید به صورت سه بار اسپری برگی با فواصل زمانی سه روز یکبار بود و اعمال تیمارهای آبیاری به مدت چهار هفته روی گیاهان به طول انجامید. براساس نتایج بدست‌آمده، تأثیر مثبت سالیسیلیک اسید در شرایط کم‌آبیاری شدید (آبیاری بر اساس ۳۰ درصد ظرفیت گلدان) کاملاً معنی‌دار بود. به طوریکه بیشترین تعداد گل در این سطح آبیاری، در اثر کاربرد برگی ۰/۵ تا ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید حاصل گردید. همچنین، بالاترین وزن تازه تک‌گل و نیز تعداد شاخه‌های فرعی در تیمار کم‌آبیاری شدید، در اثر محلولپاشی ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بدست آمد. ضمن آنکه کاربرد سالیسیلیک اسید در همه سطوح به طور معنی‌داری قطر گل را بهبود بخشید که جملگی می‌توانند تأثیر به‌سزایی در جلوه این گیاه در شرایط کم‌آبیاری شدید داشته باشد. در مجموع با توجه به مقرون به صرفه بودن، در دسترس بودن، و سهولت استفاده از سالیسیلیک اسید، کاربرد برگی ۰/۵ میلی‌مولار بر لیتر سالیسیلیک اسید، به عنوان تیمار برگزیده این آزمایش به منظور بهبود تحمل به خشکی پریش در شرایط کم‌آبیاری شدید توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کم‌آبیاری، ظرفیت زراعی گلدان، کارایی مصرف آب، برگپاشی

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

مقدمه

خشکی یکی از مهمترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان و شایع‌ترین تنش محیطی در جهان محسوب می‌شود. گزارش‌های زیادی در رابطه با بهبود میزان تولید تحت شرایط محدودیت آب در دسترس گیاه، ارائه شده است (بالجانی و شکاری، ۱۳۹۱). تنش آبی با توجه به زمان وقوع، دوام و اندازه کمبود آن، اثرات متفاوتی بر عملکرد گیاه و خصوصیات فیزیولوژیکی، مرفولوژیکی و آناتومیکی گیاه بر جای می‌گذارد (عبدالمجد و همکاران، ۲۰۱۷؛ پانندی و همکاران، ۲۰۰۱؛ کریم و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به اینکه متوسط بارندگی سالانه ایران، زیر ۲۵۰ میلی‌متر است و این مقدار هم توزیع یکنواختی در طول فصل رشد و در مناطق مختلف کشور ندارد نیاز آبی بسیاری از گیاهان زراعی و باغی به قدر کافی تامین نمی‌گردد (کوچکی و نصیری محلاتی، ۱۹۹۹). بنابراین اتخاذ روش‌هایی چون بهره‌برداری صحیح از منابع آب موجود با استفاده از شیوه‌هایی مانند کشت گیاهان متحمل، شناخت ارتباط میزان آب در دسترس و رشد محصولات در هر مرحله از حیات گیاه و بررسی واکنش‌های فیزیولوژیک و روابط آبی گیاه در مقابله با تنش اهمیت فراوانی دارد (بیسیم بایندر و همکاران، ۲۰۰۵). با اینکه تحمل نسبی به تنش خشکی در اغلب گونه‌های گیاهی وجود دارد، اما گستردگی و شدت آن از گونه‌ای به گونه دیگر متفاوت است. از طرفی، اثرات اولیه کمبود آب روی گیاهان دارویی و زینتی همچون گیاهان زراعی به خوبی مورد ارزیابی قرار نگرفته است (تان و همکاران، ۲۰۰۶).

کارایی مصرف آب (Water Use Efficiency)، نسبت ماده خشک تولید شده در گیاه به تبخیر و تعرق است که بر حسب گرم ماده خشک به کیلوگرم یا میلی‌متر آب بیان می‌شود (حکمت شعار، ۱۳۷۲). در محیط‌های خشک، تبخیر و تعرق گیاه بیشتر بوده و برای تولید یک واحد ماده خشک، گیاه به آب بیشتری نیاز دارد. عوامل متعددی از جمله آب، CO₂، دمای هوا، گونه گیاهی، مسیر فتوسنتزی گیاه، رفتار روزنه‌ای گیاه، اندازه و ساختمان

سلول‌های مزوفیلی و آرایش برگ‌ها، خصوصیات خاک و عوامل اقتصادی تولید بر کارایی مصرف آب تأثیر می‌گذارد (استانهیل، ۱۹۸۶).

پریش (*Catharanthus roseus* L.)، گیاهی دارویی- زینتی از خانواده Apocynaceae است که ترکیبات آکالوئیدی ارزشمندی که تعداد آن‌ها به ۱۳۰ نوع نیز بالغ می‌شود را در پیکره رویشی خود تولید می‌کند. وین‌بلاستین (Vinblastine) و وین‌کریستین (Vincristine)، دو آکالوئید اصلی این گیاه، که در درمان سرطان نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، تنها در بخش‌های هوایی این گیاه یافت می‌شود (جنید و همکاران، ۲۰۱۰). پریش امروزه به عنوان یک گیاه مهم در بوستان‌ها و فضای سبز به شکل گلدانی، حاشیه‌ای و پوششی پرورش داده می‌شود. این گیاه زینتی نسبت به برخی تنش‌های محیطی از جمله خشکی حساس می‌باشد، به‌طوری‌که تحت شرایط تنش خشکی، دچار افت شدید رشد و نمو می‌شود و از زیبایی گیاه بطور قابل توجهی کاسته می‌شود (چرات و همکاران، ۲۰۰۸).

در سالیان اخیر، روش‌ها و مواد مختلفی به منظور بهبود تحمل گیاهان به تنش‌های مختلف از جمله خشکی معرفی شده است. سالیسیلیک اسید به عنوان یک ترکیب فنلی، دارای یک حلقه آروماتیک متصل به یک گروه هیدروکسیل بوده که به عنوان یک القاکننده موثر در بیان ژن‌های مقاومت در مقابله با تنش‌ها شناخته شده است (دیویس، ۲۰۰۵؛ شارما و همکاران، ۲۰۱۹). این ماده به عنوان یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی، نقش مهمی در تنظیم تعدادی از فرآیندهای فیزیولوژیک همچون فتوسنتز، بسته شدن روزنه‌ها، تعرق، سنتز کلروفیل و جذب و انتقال عناصر ایفا می‌کند و به عنوان یک القاکننده مقاومت به تنش‌های محیطی، پس از کاربرد خارجی آن روی بسیاری از گیاهان، سبب افزایش میزان پروتئین‌های مرتبط با مقاومت به تنش می‌گردد (دیویس، ۲۰۰۵). سالیسیلیک اسید به روش‌های مختلفی از جمله محلول‌پاشی برگ‌ها و پرایمینگ بذور (حیات و احمد، ۲۰۰۷)، برای مقابله با

تنش‌های مختلف از جمله شوری (شکیروا و همکاران، ۲۰۰۸)، سمیت عناصر سنگین (متوالی و همکاران، ۲۰۰۳)، دماهای بالا (دات و همکاران، ۱۹۹۸) و دماهای پایین (لی و همکاران، ۲۰۱۰) بکار برده می‌شوند.

بطور کلی، سالیسیلیک اسید سبب افزایش القاء سنتز تنظیم کننده‌های اسمزی همچون پرولین و بتائین گلاپسین در شرایط تنش‌های محیطی می‌شود (کلسیگ و مالامی، ۱۹۹۴). کارایی سالیسیلیک اسید در القاء تحمل به تنش، به گونه گیاهی و یا غلظت مصرفی آن بستگی دارد (راسکین، ۱۹۹۲). گزارش شده که سالیسیلیک اسید در غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار، به طور موثری گیاهان گوجه‌فرنگی و لوبیا را در مقابل تنش خشکی محافظت می‌کند و موجب افزایش رشد و عملکرد گیاهان در این شرایط می‌شود (سناراتنا و همکاران، ۲۰۰۰). از طرف دیگر، بهبود شاخص‌های رشدی نیز در اثر کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید در گندم، سویا (اراسلان و همکاران، ۲۰۰۷) و ذرت (گارسیا و همکاران، ۲۰۰۲؛ فاردوس و همکاران، ۲۰۱۷) گزارش شده است. با توجه به اهمیت استفاده از گیاه زینتی پرپوش در فضاهای سبز شهری و بوستان‌ها، در این تحقیق اثرات کاربرد برگ‌گی سالیسیلیک اسید در بهبود تحمل به خشکی در گل پرپوش در شرایط کم‌آبیاری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال ۱۳۹۲ انجام شد. ارتفاع محل آزمایش از سطح دریا، ۱۳۵۲ متر با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی بود. تیمارهای آبیاری این آزمایش بر اساس ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰٪ ظرفیت خاک مورد استفاده بودند که ۱۰۰٪ به عنوان تیمار شاهد و ۶۰٪ و ۳۰٪ ظرفیت زراعی گلدان به عنوان تیمارهای کم‌آبیاری در نظر گرفته شدند.

برای تولید دانهال، ابتدا بذره‌ای پرپوش (*Catharanthus roseus* L.) واریته Mediterranean به مدت ۲۴ ساعت بین دو لایه دستمال مرطوب، خیس‌انده شدند و پس از آن، ۶۰ عدد گلدان که دارای قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر بودند برای آزمایش آماده شد که ۱۲ ترکیب تیماری در پنج تکرار در آنها اعمال گردید. خاک مورد استفاده در گلدان‌ها از الک ۲ میلی-متری عبور داده شد و سپس مخلوط خاکی به نسبت دو به یک ماسه به رس تهیه شد (امیری ده احمدی و همکاران، ۱۳۹۱) و درون هر گلدان، یک کیلوگرم خاک آماده شده ریخته شد. به منظور اعمال رژیم‌های رطوبتی، از روش وزنی استفاده گردید به این صورت که ابتدا یکی از گلدان‌های آزمایش که از نسبت خاک مشخص تهیه شده بود در آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس گلدان از آب اشباع شد و برای جلوگیری از تبخیر، سطح گلدان توسط یک پلاستیک پوشانده شد. با خروج آب ثقیلی، وزن گلدان به طور مرتب کم شد تا زمانی که وزن آن ثابت ماند (وزن ظرفیت مزرعه). با تفاضل وزن اخیر و وزن خاک خشک، مقدار آب لازم برای رسیدن خاک هر گلدان به حد ظرفیت زراعی، مشخص و سطوح ۳۰ و ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه مقدار آب مورد نیازشان محاسبه شد و در طول دوره آزمایش برای سطوح مختلف رطوبتی گلدان‌ها مورد استفاده قرار گرفت. به منظور اعمال سطوح آبیاری، گلدان‌ها روزانه وزن می‌شدند و مقدار آب لازم برای رسیدن به هر کدام از سطوح به آنها اضافه می‌شد (یزدان پناه و همکاران، ۲۰۱۱؛ خزائی و همکاران، ۱۳۸۴).

پس از کاشت بذرها در گلدان‌ها، آبیاری روزانه گلدان‌ها انجام شد و پس از سه هفته در مرحله ۳-۴ برگ حقیقی، دانهال‌ها از خاک بیرون آمده و تعداد پنج عدد از آنها که کیفیت مطلوبی داشتند حفظ شده و بقیه حذف شدند. تا این زمان برای همه تیمارها به نسبت مساوی آبیاری انجام شد و پس از این مرحله، گیاهان برای محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید آماده شدند. گیاهان سه

مرتبه و در فواصل زمانی هر سه روز یکبار با غلظت‌های ۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید محلول‌پاشی شدند و پس از آن آبیاری برای چهار هفته متوالی اعمال گردید (اودایا کومار و همکاران، ۱۹۹۸).

با ظهور اولین گل‌های گیاه که پس از ۴۵ روز از تاریخ کشت گیاه، و نیز پس از چهار هفته از اعمال تیمارهای آبیاری، صفات مورفولوژی گیاه شامل تعداد گل، قطر گل، میانگین وزن تر تک‌گل، تعداد شاخه و کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفتند.

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار انجام پذیرفت. فاکتور اول شامل آبیاری در سه سطح (۱۰۰ درصد به عنوان شاهد، و ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی گلدان به عنوان سطوح کم

آبیاری) و فاکتور دوم سالیسیلیک اسید در چهار سطح (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) بودند. داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند و نمودارها با کمک نرم افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها، صفات مهم تعداد گل، میانگین وزن تر تک‌گل و تعداد شاخه تحت تأثیر اثر متقابل سالیسیلیک اسید و آبیاری قرار گرفت و صفات قطر گل و کارایی مصرف آب به ترتیب تحت اثر اصلی سالیسیلیک اسید و آبیاری قرار گرفتند (جدول ۱).

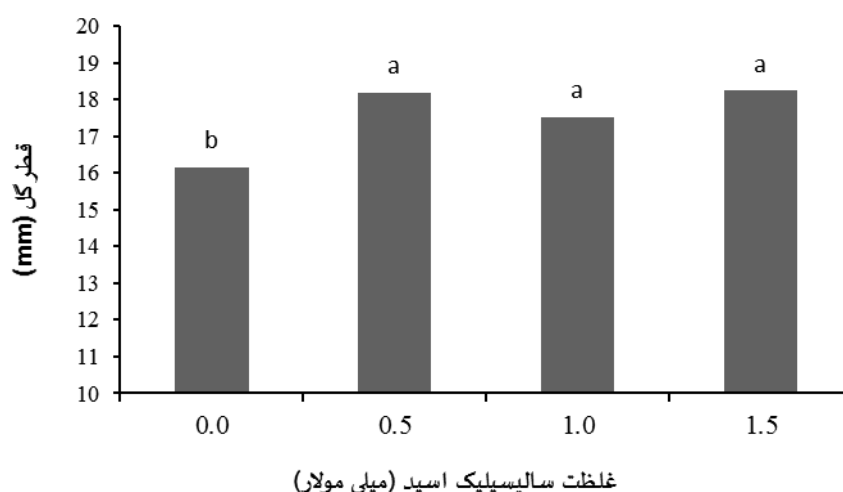
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثرات آبیاری و سالیسیلیک اسید بر صفات مورد ارزیابی پریش

متغیره	درجه آزادی	تعداد گل	قطر گل	وزن تر تک‌گل	تعداد شاخه	کارایی مصرف آب
آبیاری	۲	۴۶/۸۵ ^{ns}	۸۱/۱۱۹ ^{ns}	۰/۱۴۲ ^{ns}	۱۷/۰۵۴ ^{ns}	۳۲/۷ ^{**}
سالیسیلیک اسید	۳	۱/۱۷۰ ^{ns}	۱۴/۰۵۳ ^{**}	۰/۵۵۹ ^{ns}	۰/۱۳۳ ^{ns}	۲/۵ ^{ns}
آبیاری × سالیسیلیک اسید	۶	۷/۱۵۵ ^{**}	۳/۷۵۷ ^{ns}	۰/۱۸۷ ^{**}	۲/۶۴۹ ^{**}	۴۶/۸ ^{ns}
خطا	۴۸	۱/۵۵۷	۲/۱۴۵	۰/۳۱۸	۱/۰۲۳	۲/۶
ضریب تغییرات	-	۷/۶۱	۸/۴۵	۱۰/۳۴	۶/۱۱	۱۱/۲۳

اثر متقابل آبیاری و سالیسیلیک اسید بر تعداد گل حاکی از آن بود که تیمارهای ۳۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی گلدان بدون استفاده از سالیسیلیک اسید (تیمار شاهد)، به ترتیب پایین‌ترین (۲/۸) و بیشترین (۸/۶) تعداد گل را در سطح احتمال ۵ درصد تولید نمودند (جدول ۲). کاربرد سالیسیلیک اسید در تیماری کم آبیاری شدید توانست تعداد گل را به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش دهد و در بین غلظت‌های بکار رفته سالیسیلیک اسید، غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار بیشترین کارایی را داشتند. این موضوع نشان می‌دهد که از یک طرف گیاهان تحت محدودیت‌های آبی، جوانه‌های گل-دهنده کمتری را تولید نموده و بیشتر انرژی خود را صرف بقای خود می‌کنند، و از طرف دیگر، کاربردهای خارجی

سالیسیلیک اسید به ویژه در غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار، می‌تواند این نقیصه را جبران نماید. این یافته با نتایج شمس و همکاران (۲۰۱۱) روی اطلسی، چلینسکی و همکاران (۲۰۰۷) روی گل حنا، نیو و رودریگز، (۲۰۰۶) روی گل‌های پلومباگو و پریش مطابقت دارد. در ارزیابی قطر گل، نتایج نشان داد که بیشترین قطر گل در تیمارهای توام با کاربرد سالیسیلیک اسید بدست آمد و کمترین آن در تیمار بدون کاربرد سالیسیلیک اسید حاصل شد (شکل ۱). بین غلظت‌های سالیسیلیک اسید بکار رفته نیز تفاوت معنی‌داری از نظر قطر گل مشاهده نشد. این نتایج با نتایج گزارش شده توسط رزم جو و همکاران (۲۰۰۸) روی بابونه کبیر همخوانی داشت. بالجانی و شکاری (۱۳۹۱) نیز گزارش کردند که تیمار

سالیسیلیک اسید، قطر گل در گیاه گلرنگ را تحت تنش خشکی افزایش می‌دهد.



شکل ۱- اثر غلظت سالیسیلیک اسید بر قطر گل پریوش

سالیسیلیک اسید در تیمار کم‌آبیاری شدید، بیشترین وزن تر تک‌گل را در مقایسه با عدم کاربرد آن در تیمار آبیاری متناظر به همراه داشت. بیشتر نیز پژوهشگران، موثر بودن کاربرد سالیسیلیک اسید را بر وزن گل جعفری (ریاض و همکاران، ۲۰۰۸) و گل بابونه (رزمجو و همکاران، ۲۰۰۸) گزارش کرده بودند.

در بررسی اثر متقابل سالیسیلیک اسید و آبیاری بر وزن تر تک‌گل، بیشترین وزن تر تک‌گل (۰/۰۴۲ گرم) متعلق به تیمار آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی گلدان بدون کاربرد سالیسیلیک اسید، و پایین‌ترین آن (۰/۰۰۹ گرم) در تیمار کم‌آبیاری شدید (۳۰ درصد ظرفیت زراعی گلدان) بدون کاربرد سالیسیلیک اسید بدست آمد. کاربرد غلظت‌های ۰.۵ و ۱ میلی‌مولار

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و سالیسیلیک اسید بر تعداد گل، وزن تر گل و تعداد شاخه فرعی پریوش

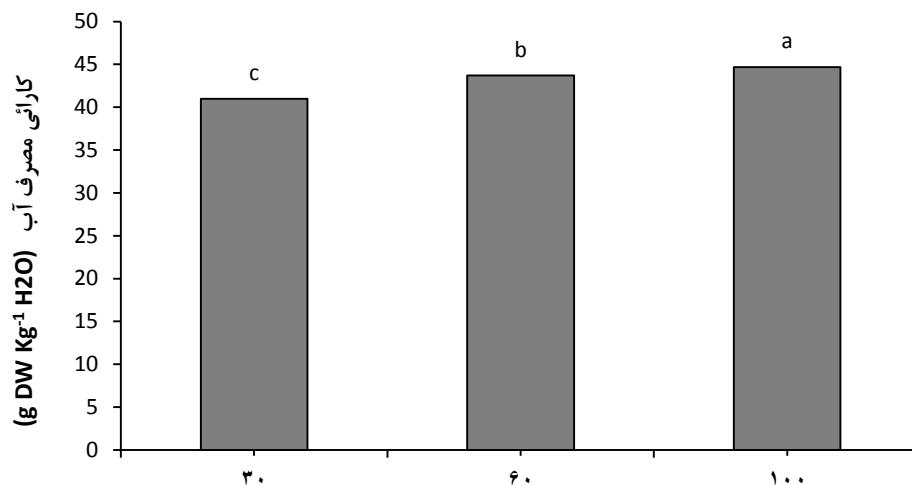
تعداد شاخه فرعی	وزن تر تک‌گل (گرم)	تعداد گل‌ها	ترکیب تیماری
۳/۳۳d	۰/۰۰۹e	۲/۸g	SA _{0.0} FC _{30%}
۵/۵۸bc	۰/۰۲۳cd	۴/۵de	SA _{0.0} FC _{60%}
۷/۰۲a	۰/۰۴۲a	۸/۶a	SA _{0.0} FC _{100%}
۵/۰۶bc	۰/۰۲۵c	۴/۶de	SA _{0.5} FC _{30%}
۴/۹۰bc	۰/۰۲۸bc	۵/۲c-e	SA _{0.5} FC _{60%}
۵/۳۳bc	۰/۰۳۵ab	۷/۸ab	SA _{0.5} FC _{100%}
۴/۲۳cd	۰/۰۲۴cd	۵/۸c-e	SA _{1.0} FC _{30%}
۵/۳۲bc	۰/۰۲۸bc	۵/۱c-e	SA _{1.0} FC _{60%}
۶/۶۶ab	۰/۰۳۱bc	۶/۱cd	SA _{1.0} FC _{100%}
۴/۵۳cd	۰/۰۱۶d	۴/۰۷f	SA _{1.5} FC _{30%}
۵/۲۸bc	۰/۰۳۱bc	۵/۷c-e	SA _{1.5} FC _{60%}
۶/۰۲ab	۰/۰۳۳b	۶/۵bc	SA _{1.5} FC _{100%}

استفاده از سالیسیلیک اسید به ترتیب پایین‌ترین (۳/۳۳) و بیشترین (۷/۰۲) تعداد شاخه فرعی را تولید نموده است. ضمن آنکه کاربرد سالیسیلیک اسید در هر سه غلظت به

نتایج جدول مقایسه میانگین اثر متقابل سالیسیلیک اسید و آبیاری بر صفت تعداد شاخه‌ی فرعی نشان داد که تیمارهای ۳۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی گلدان، بدون

(تا ۵۰ درصد نیاز آبی)، تعداد غلاف‌های موجود در هر گیاه کاهش یافت که در شرایط آبی بالاتر از این سطح (۱۰۰ درصد نیاز آبی، ۸۰ درصد نیاز آبی و ۶۵ درصد نیاز آبی) تعداد غلاف در هر بوته افزایش یافت.

نتایج حاصل از ارزیابی تیمارهای کم‌آبیاری از نظر کارایی مصرف آب نشان داد که بهترین کارایی در تیمار شاهد (۴۴.۷ گرم ماده خشک به ازای هر کیلوگرم آب مصرفی) و پس از آن در تیمار کم‌آبیاری بر اساس ۶۰ درصد ظرفیت زراعی گلدان (۴۳.۷ گرم ماده خشک به ازای هر کیلوگرم آب مصرفی) بدست آمد (شکل ۲).



شکل ۲- اثر سطوح مختلف کم آبیاری بر کارایی مصرف آب کم آبیاری (درصد ظرفیت زراعی گلدان)

متفاوت در مصرف آب بهره می‌گیرند. نخست استفاده محافظه‌کارانه از آب به ویژه در شرایط محدودیت آبیاری و دوم استفاده از آب در مواقع پرآبی است، که در روش دوم به دلیل باز بودن بیشتر روزنه‌ها، تلفات آب زیاده‌تر است اما در مقابل، فتوسنتز نیز بالاتر بوده و به تبع آن، تولید مواد فتوسنتزی و زیست‌توده هم بیشتر است (پسپورا، ۱۹۸۲). کاهش میزان باز بودن روزنه‌ها معمولاً نسبت کربن تثبیت شده به تعرق را افزایش می‌دهد (هیل مایر و همکاران، ۲۰۰۲). آنچنانکه هر عاملی که عملکرد ماده خشک را افزایش دهد یا تبخیر و تعرق را کاهش دهد کارایی مصرف آب را بالا می‌برد (سبحانی، ۲۰۰۰).

کار رفته توانست تعداد شاخه فرعی را در تیمار کم آبیاری شدید افزایش دهد. این پدیده نشان دهنده آن است که گیاه تحت شرایط محدودیت شدید آبیاری، تعداد شاخه‌های فرعی کمتری (۳/۳۳) را تولید می‌نماید. این یافته با نتایج شمس و همکاران (۲۰۱۱) روی گل اطلسی؛ رزمجو و همکاران (۲۰۰۸) روی گل بابونه آلمانی و مجدنصیری (۲۰۰۱) در رازیانه مطابقت دارد. در بررسی‌های چاوان، (۱۹۶۱) روی گلرنگ مشخص شد که بین عملکرد و تعداد شاخه‌های جانبی، همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. در بررسی وفابخش و همکاران (۱۳۸۷) روی کلزا نیز مشخص گردید که با کاهش سطح رطوبت خاک

با توجه به نتایج این پژوهش و سایر مطالعات مشابه، چنین به نظر می‌رسد که هر نوع شرایط کم‌آبیاری لزوماً موجب افزایش کارایی مصرف آب در گیاه نمی‌شود و پارامترهای دیگری از جمله عوامل بیولوژیکی، واکنش‌های فیزیولوژیک گیاه در برابر تنش آبی و رقم نیز در این زمینه اثرگذار هستند. با توجه به اینکه دوره کم‌آبیاری در این آزمایش، دوره کوتاهی متناسب با دوره رشدی گیاه پرپوش بود و از طرف دیگر، رشد سبزینه‌ای گیاه در اثر کاهش پتانسیل آب برگ‌ها، به سرعت افت می‌کند، کارایی مصرف آب به موازات افزایش سطح کم‌آبیاری در این آزمایش کاهش یافت. به طور کلی، گیاهان از دو راهکار

نتیجه گیری کلی

میلی مولار سالیسیلیک اسید در مقایسه با غلظت های بالاتر، هم به جهت صرفه جویی در مقدار ماده مصرفی و نیز نتایج مشابه با غلظت های بالاتر به عنوان غلظت پیشنهادی تحت شرایط محدودیت آبیاری به ویژه در سطح آبیاری بر اساس ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه، برای این گیاه توصیه می شود.

در مجموع نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط کم آبیاری شدید می تواند شاخص های رشدی و فیزیولوژیک گیاه زینتی پرپوش همچون تعداد گل، قطر گل، میانگین وزن تر تک گل و تعداد شاخه را بهبود ببخشد. در این میان، غلظت ۰/۵

فهرست منابع

۱. امیری ده احمدی، ر.، رضوانی مقدم، پ و احیایی، ح. ر. ۱۳۹۱. تاثیر خشکی بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و عملکرد سه گیاه دارویی شوید، گشنیز و رازیانه در شرایط گلخانه. نشریه پژوهش های زراعی ایران. ۱۰: ۱۱۶-۱۲۴.
۲. بالجانی، ر. و شکاری، ف. ۱۳۹۱. تاثیر پیش تیمار با سالیسیلیک اسید بر روابط شاخص های رشد و عملکرد در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت شرایط خشکی آخر فصل. دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۱۰۳-۸۹:۱.
۳. خزاعی، ح.، محمدآبادی، ع. و برزویی، ا. ۱۳۸۴. بررسی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک انواع ارزن در رژیم های مختلف آبیاری. مجله پژوهش های زراعی ایران. ۳: ۴۴-۳۵.
۴. حکمت شعار، ح. ۱۳۷۲. فیزیولوژی گیاهان در شرایط دشوار (ترجمه). انتشارات نیکنام. ۲۵۱ ص.
۵. سبحانی، ا و آخوندی میبدی، ح. ۱۳۷۹. بررسی مقاومت به شوری در یونجه های گرمسیری تحت شرایط محیطی. ششمین همایش گیاهان و منابع طبیعی. ۲۷۴ ص.
۶. کوچکی، ع و نصیری محلاتی، م. ۱۳۷۱. اکولوژی گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی. ۲۹۱ ص.
۷. مجد نصیری، ب. ۱۳۸۰. ارزیابی خصوصیات فیزیولوژیک و فیزیولوژیک رازیانه تابستانه تحت شرایط خشکی. مجله گیاهشناسی زیست محیطی. ۶۸: ۲۶۴-۲۷۲.
۸. وفابخش، ج.، نصیری محلاتی، م و کوچکی، ع. ۱۳۸۷. اثر خشکی بر عملکرد و کارایی مصرف نور در ارقام کلزا (*Brassica napus*). مجله پژوهش های زراعی ایران شماره ۶: ۱۹۳-۲۰۸.
9. Abd El-Mageed, T.A., Semida, W.M., Rady, M.M., 2017. Moringa leaf extract as biostimulant improves water use efficiency, physio-biochemical attributes of squash plants under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 193, pp.46-54.
10. Bessembinder., J. J. E., Leffelaar P. A., Dhindwal, A. S., Ponsioen, T. C. 2005. *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. An important drug: its applications and production. *Pharmacie Globale*.4: 98-110.
11. Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F. W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A. M., Cheruth, A., Ragupathi, S., Muthiah, G., Rajaram, P. 2008. Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. *Plant Biol. Pathol.* 331:42-47.
12. Chavan, V.M. 1961. Niger and Safflower. Indian Central Oilseeds Committee, Examiner Press. Bombay, India. 150 p.
13. Cheruth, A., Ragupathi, G., Beemarao, S., Muthiah, G., Rajaram, P. 2008. Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. *Plant Biol. Pathol.* 331:42-47.
14. Chyliński, W.K., Łukaszewska, A.J., Kutnik, K., 2007. Drought response of two bedding plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 29(5), p.399.

15. Dat, J.F., Lopez Delgado, H., Foyer, C. H., Scott, I. M. 1998. Parallel changes in H₂O₂ and catalase during thermo tolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings. *Plant Physiol.* 116:1351-1357.
16. Davies, P.J. 2005. *Plant hormones: biosynthesis, signal transduction, action!* Springer Science & Business Media.
17. Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A., Alpaslan, M. 2007. Impact of exogenous salicylic acid on growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. *Sci Hortic.* 113:120-128.
18. Fardus, J., Abdul Matin, M.d., Hasanuzzaman, M.d., Hossain, S.D. Nath, Hossain, M.D. A., Rohman, M. and Hasanuzzaman, M. 2017. Exogenous salicylic acid-mediated physiological responses and improvement in yield by modulating antioxidant defense system of wheat under salinity. *Not. Sci. Biol.* 9(2): 219-232. DOI: 10.15835/nsb929998.
19. Garcia, M.G., Busso C.A., Polci, P., Garcia, L.N., Echenique, V. 2002. Water relation and leaf growth rate of three Agropyron genotypes under water stress. *Biol. Cell.* 26:309-317.
20. Hayat, S and A. Ahmad. 2007. *Salicylic acid: A Plant Hormone.* Springer. 401p.
21. Heilmeyer, H., Wartinger, A., Erhard, M., Zimmerman R., Horn, R., Schulze, E. D. 2002. Soil drought increases leaf and whole-plant water use of *Prunus dulcis* grown in the Negev Desert. *Oecologia.* 130:329-336.
22. Junaid, A., Sheba Haque, K., Zahid Hameed, S., Zohra, F., Mehpara, M. 2010. *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. An important drug: its applications and production. *Pharmacie Globale.* 4:1-16.
23. Kareem, F., Rihan, H. and Fuller, M. 2017. The effect of exogenous applications of salicylic acid and molybdenum on the tolerance of drought in wheat. *Agri Res. Tech. Open Access J.* 9(4).
24. Klessig, D. F. and J. Malamy. 1994. The salicylic acid signal in plants. *Plant Mol. Biol.* 26:1439-1458.
25. Lei, T., Feng, H., Sun, X., Dai, Q.L., Zhang, F., Liang, H.G., Lin, H.H. 2010. The alternative pathway in cucumber seedlings under low temperature stress was enhanced by salicylic acid. *Plant Growth Regul.* 60:35-42.
26. Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M. K. Dietz, J. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. *Plant Physiol.* 32:272-281.
27. Niu, G. and D.S. Rodriguez. 2006. Impact of drought and temperature on growth and leaf gas exchange of six bedding plant under greenhouse conditions. *HortScience.* 41:1408-1411.
28. Pandey, R.K., Maranville, J.W., Admou, A. 2001. Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a Sahelian environment. I. Grain yield, yield components and water use efficiency. *Eur. J. of Agr.* 15:93-105.
29. Passioura, J. B. 1982. Water in the soil-plant-atmosphere continuum In: Lange, O.L. P. S. Nobel, C. B. Osmond and H. Ziegler (Eds) *Physiological plant ecology II.* (Encyclopedia of plant physiology, NS, vol 12B). Springer. Berlin Heidelberg New York. 5-33.
30. Raskin, K. 1992. Role of salicylic acid in plants. *Annual Review Plant physiology and Plant Mol. Biol.* 43:439-463.
31. Razmjoo, K., Heydarizadeh, P., Sabzalian, M.R. 2008. Effect of salinity and drought stresses on growth and essential oil content of (*Matricaria chamomile*). *Int. J. Agric. Biol.* 10:451-454.
32. Riaz, A., Younis, A., Riaz taj, A., Karim, A., Munir, S. Riaz, S. 2013. Effect of drought stress on growth and flowering of Marigold (*Tagetes erecta* L.). *Pak. J. Bot.* 45:123-131.
33. Sankar, B., Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Panneerselvam, R. 2008. Relative efficacy of water use in five varieties of *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench under water-limited conditions. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces.* 62:125-129.

34. Senaratna T., Touchell, D., Bunn, E., Dixon, K. 2000. Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regul.* 30:157-161.
35. Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, A.R., Bezrukova M.V. Fatkhutdinova R.A., Fatkhutdinova, D.R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity, *Plant Sci.* 164:317-322.
36. Shams, J., N. Etemadi, A. Rezaei and P. Najafi. 2011. Investigation of drought stress on morphological traits of petunia (*Petunia hybrida*). *Crop Sci.* 58:140-145.
37. Sharma, A., Shahzad, B., Kumar, V., Kohli, S.k., Singh Sidhu, G., Bali, A.s., Handa, N., Kapoor, D., Bhardwaj,R. and Zheng, B. 2019. Phytohormones regulate accumulation of osmolytes under abiotic stress. *Biomolecules*: 9 (7), 285.
38. Stanhill, G. 1986. Water use efficiency. *Adv. in Agron.* 39: 53-85.
39. Tan, Y., Zongsuo, L., Shao, H.B., Du, F. 2006. Effect of water deficits on the activity of anti-oxidative enzymes and osmoregulation among three different genotypes of *Radix astragali* at seeding stage. *Colloids Surf. B Biointerfaces.* 49: 60-65.
40. Udayakumar, M., Devendra, R., Ramaswamy, G.S., Nageswara Rao, R.C.A., Roystephen, G.C., Gangadhara, A.I., Hussain, S. 1998. Measurement of transpiration efficiency under field conditions in grain legume crops, *Plant Physiol. Biochem.* 25: 67-75.
41. Yazdanpanah, S., Baghizadeh, A., Abbassi, F. 2011. The interaction between drought stress and salicylic and ascorbic acids on some biochemical characteristics of *Satureja hortensis*. *Afr. J. Agri Res.* 6:798- 803.

Effects of Foliar Application of Salicylic Acid on Improvement of Drought Tolerance in Madagascar Periwinkle

G. H. Homayouni, N. Ahmadi¹, and M. R. Roozban

M.Sc. Graduate, Department of Horticultural Sciences, Tarbiat Modares University.

hoseinhomauni@gmail.com

Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Tarbiat Modares University.

ahmadin@modares.ac.ir

Assistant Professor, College of Aburaihan, Department of Horticulture, University of Tehran.

mroozban@ut.ac.ir

Received: September 2015 and Accepted: January 2020

Abstract

This study was conducted to evaluate the effects of exogenous applications of salicylic acid on improvement of drought tolerance in Madagascar periwinkle (*Catharanthus roseus* L.). The experiment was arranged as factorial based on a completely randomized design (CRD). Salicylic acid concentrations of 0, 0.5, 1, 1.5 mM were foliar sprayed on pot plants treated with three levels of irrigation including 30%, 60%, and 100% Field Capacity). Application of salicylic acid was repeated three times with three-day interval, while plants were exposed to drought stress for four weeks. The traits such as flower number, flower diameter, fresh weight of individual flower, shoot number, and water use efficiency (WUE) were evaluated in this study. Based on the results, the effect of salicylic acid on severe deficit irrigation (30% PC) was significant, and the highest number of flowers at this level was observed in foliar application of 0.5 and 1 mM salicylic acid. Also, the highest fresh weight of single flower and number of sub-branches were obtained in application of 0.5 mM salicylic acid under severe deficit irrigation. In addition, exogenous salicylic acid at all levels significantly improved the flower diameter, which could have a major impact on the aesthetic properties of this plant under deficit-irrigation conditions. In total, due to availability of salicylic acid and easy use, foliar application of salicylic acid at 0.5 mM concentration would be recommended to improve Madagascar periwinkle drought tolerance under severe deficit irrigation.

Keywords: Deficit-irrigation, Pot field capacity, Water use efficiency, Foliar application

¹ -Corresponding author: Department of Horticultural Sciences, Tarbiat Modares University

Effects of Drought on Cultivation Pattern and Welfare of Farmers in South Mahyar Plain

A. Jami, H. Najafi Alamdarlo¹, and S.A. Mortazavi

M.Sc., Agricultural Economics Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

anisejami@gmail.com

Associate Professor, Agricultural Economics Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

hamed_najafi@modares.ac.ir

Assistant Professor, Agricultural Economics Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

samortazavi@modares.ac.ir

Received: July 2020 and Accepted: September 2020

Abstract

Groundwater resources in the world are experiencing significant reductions due to climate change and drought. Therefore, in order to make appropriate decisions by managers and planners, forecasting and studying the economic effects of drought is essential. Thus, the purpose of this study was to investigate the welfare effects of drought on groundwater beneficiaries. Accordingly, the present study investigated the economic effects of drought and its impact on the cultivation pattern of the southern Mahyar Plain and changes in social welfare in the 2016-2017 crop years, using the groundwater market approach. For this purpose, three approaches of regression estimation, positive mathematical programming, and dynamic programming were used. The results showed that in drought conditions, the area under barley and wheat cultivation increased and the area under corn decreased. Other results showed that the reduction of water supply due to drought would reduce the social welfare by 1020 million Rials (based on 2016 prices). Therefore, it is suggested that the amount of welfare lost by farmers due to water shortages should be a criterion for determining the amount of compensatory payments.

Keywords: Water supply, Water demand, Dynamic programming, Groundwater market

¹ - Corresponding author: Agricultural Economics Department, Tarbiat Modares University, Tehran

Identification of Barriers and Support Required for Farmers' Participation in Water Conveyance and Distribution Plan in Agricultural Lands of Sistan Plain

M. R. Mahboobi¹, M. Bazzi, M. Sh. Sharifzadeh, and J. Pariab

Associate Professor, Department of Agricultural Extension and Education, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

Mahboobi47@gmail.com

Graduate Student, Department of Agricultural Extension and Education, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

bazzinazanin1992@gmail.com

Associate Professor, Department of Agricultural Extension and Education, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

sharifsharifzadeh@gmail.com

Lecturer of Agricultural Extension and Education, Zabol University.

pariabjaber@gmail.com

Received: February 2020, and Accepted: September 2020

Abstract

The purpose of this research was to identify the barriers and the support needed for farmers' participation in the water transfer and distribution plan in the agricultural lands of Sistan Plain. The study included qualitative methods of data collection, such as reviewing documents related to the plan, and quantitative method of data collection by using a questionnaire. The validity of the content was confirmed by interviewing some experts of Zabul Agricultural Jihad and the research team, and the reliability of the questionnaire was confirmed by calculating Cronbach's alpha (0.887) for barriers to participation, and farmers' required support for participation in the project (0.973). The statistical population consisted of farmers in Sistan plain (N = 6000), 360 of whom were selected as the sample of the study. Factor analysis of barriers to farmers' participation in the water conveyance project resulted in the extraction of four factors: "trust", "information and knowledge", "inefficiency and deficiency" and "climate and drought conditions"; and these factors explained 57.9% of the total variance of the variables. Also, factor analysis of the support needed by farmers to participate in the water transfer project resulted in the extraction of three factors: "technical and institutional support", "emotional support" and "legal support"; and these factors explained 67.3% of the total variance of the variables.

Keywords: Water user groups, Climate and drought, Qualitative methods of data collection, Quantitative method

¹- Corresponding author: Department of Agricultural Extension and Education, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Application of Precipitation Evenness and Effective Time-Rain Indicators to Estimate Rainfed Wheat Yield and Its Fluctuations in Semi-Arid Climate of Tabriz

M. Khaledi Alamdari¹ and A. Majnooni Heris

PhD Student, Department of Water Science and Engineering, University of Tabriz.

m.khaledi.a@gmail.com

Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, University of Tabriz.

majnooni1979@yahoo.com

Received: May 2020, and Accepted: August 2020

Abstract

Annual and seasonal rainfall distributions are the main determinants of yield in rainfed conditions, of which seasonal rainfall is more important. Therefore, it is necessary to provide precipitation indicators that have a significant conceptual relation with crop performance fluctuations. In the present study, the relation between rainfall uniformity indices and rainfed wheat yield in Tabriz plain was evaluated in 19-years period. Also, in order to examine the effect of precipitation more accurately, the Rain-Time Index (RTI) was used, which could indicate the effect of simultaneous changes of the two factors of rainfall time and rainfall amount on crop yield fluctuations. The results showed that the correlation between rainfed wheat yield and slope of uniformity line (ratio of cumulative precipitation per length of growing period) was significant at 1% level. However, there was no significant correlation between the uneven distribution index and yield. Also, according to the obtained results, the first effective rainfall event is the most effective rainfall event on the yield of rainfed wheat. It seems that the inadequacy of effective spring rainfall, which is one of the main reasons for the low yield of rainfed lands, prevented the explanation of the positive effect of late season rainfall on yield. Therefore, in order to evaluate the effect of intermittent precipitation and Rain-Time Index on yield more accurately, a single supplementary irrigation should be applied at the stage of grain filling and its effect on the studied indicators and yield should be investigated.

Keywords: Precipitation Evenness index, RTI, Cumulative precipitation, Yield fluctuations

¹ -Corresponding author, PhD candidate, Water Engineering Department,, University of Tabriz, Iran

Effects of Different Irrigation Levels and Magnetized Water on Growth and Yield of Peppermint (*Mentha piperita* L.)

S. Jamali¹, H. Ansari, and A. Safarizadehsani

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

Saber.jamali@mail.um.ac.ir

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

Ansary@um.ac.ir

MSc. Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Abbas.safarizadehsani@mail.um.ac.ir

Received: February 2020, and Accepted: October 2020

Abstract

Peppermint (*Mentha piperita* L.) is used for medicinal and food purposes. Its cultivation has economic importance, due to its ability to produce and store essential oil. This research was conducted to study the effect of deficit irrigation and magnetized water on yield and yield components of peppermint in the experimental research greenhouse of Ferdowsi University of Mashhad, during 2018-19. We used a factorial experiment based on the completely randomized design with 3 replications. Irrigation levels consisted of 4 levels (100%, 85%, 70%, and 55% of plant water requirements) and magnetic field factors consisted of 3 levels (0, 0.3, and 0.6 teslas). The result showed that decrease of the water requirement by 15%, 30%, and 45% resulted in reduction of shoot fresh weights by 11.2%, 15.1%, and 36.5%, respectively. However, irrigation with magnetized water (0.3 teslas) under deficit irrigation levels (85%, 70%, and 55% of plant water requirements) resulted in the increase of shoot dry weights by 19.5%, 24.7%, and 66.4%, respectively. In general, the use of magnetic water under water stress enhanced plant growth and improved dry and wet shoot yield in peppermint compared to the control treatment under deficit irrigation conditions.

Keywords: Deficit irrigation, Magnetic field, Physical water productivity, Production functions, Water stress

¹- Corresponding author: PhD candidate, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Effect of Different Concentrations of Selenium on Some Morphological and Physiological Characteristics of Dragons Head (*Lallemantia iberica*) under Different Irrigation Regimes

M. Amerian¹, A.R. Zebarjadi, and J.A. Mehrabi

Assistant Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Science and Agricultural Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.

Masoomehamerian@yahoo.com

Associate Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Science and Agricultural Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.

zebarjadiali@yahoo.com

Undergraduate Plant Production-Medicinal and Aromatic plant, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Science and Agricultural Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.

j.mehrabi2017@yahoo.com

Received: May 2020, and Accepted: September 2020

Abstract

Drought is one of the major constraints on agricultural productivity worldwide. Selenium plays an important role in plants tolerance to environmental stresses by increasing the levels of antioxidant enzymes and compounds. In order to investigate the effect of selenium on some growth and physiological characteristics of the Dragons head (*Lallemantia iberica*), a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications in greenhouse conditions. Treatments included different levels of drought stress (100%, 75%, 50% and 25% field capacity) and different concentrations of selenium (0, 5 and 10 mg.L⁻¹ sodium selenate). Foliar application of sodium selenate was performed in two stages. According to the results, drought stress had a negative effect on fresh and dry weight leaf and yield. But, under drought stress conditions, foliar selenium caused a significant increase in plant height (32.2 cm), proline (0.92 mg/g DW), and total phenol (0.82 mg/g DW) content. Increase in selenium concentration increased Dragons head physiological properties: relative leaf water content (65.10 %), total soluble sugar (2.55 mg/g DW), soluble protein (0.289 mg/g DW), and antioxidant activity (0.21 %). Concentration of 10 mg.L⁻¹ sodium selenate had a positive effect on plant fresh weight and biological yield of Dragons head, which was probably associated with the antioxidant role of selenium. Under drought stress, selenium increased the amount of proline and total phenol, which increased these adaptation osmolytes and had an important role in the drought tolerance of Dragons head.

Keywords: Sodium selenate, Antioxidant, Drought stress, Total phenol, Proline

1 - Corresponding author: Assistant Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Science and Agricultural Engineering, Razi University, Kermanshah.

Estimation of Water Requirement and Crop Coefficients of Two *Salicornia* Species in Yazd

H. Beyrami¹, M.H. Rahimian, and F. Dehghany

Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.

beyrami.h@hotmail.com

Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.

mhrahimian@gmail.com

Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.

dehghany47@gmail.com

Received: May 2020, and Accepted: September 2020

Abstract

Water and soil resources of the country are limited, and the optimal use of water resources in agriculture requires estimation of the exact amount of water consumption by different plants in different conditions. This study was conducted to investigate evapotranspiration, crop coefficient, and water requirements of *salicornia* under lysimetric conditions in a factorial experiment with completely randomized design. The experimental treatments were two species of *salicornia* (*Salicornia bigelovii* and *Salicornia persica*) and two levels of irrigation water salinities (8 and 25 dS.m⁻¹) in three replications. The actual evapotranspiration (ET_a), reference evapotranspiration (ET₀), and crop coefficients (K_c) of *salicornia* species were determined at three main *salicornia* growth stages. The results showed that increase in irrigation water salinity from 8 to 25 dS.m⁻¹ caused significant changes in yield (biomass and seed yield) of the two *salicornia* species at the 1-percent probability level. Moreover, the amount of irrigation water consumption in different treatments and replications varied from 28 to 33 thousand cubic meters per hectare. For the salinity level of 8 dS.m⁻¹, the K_c values at the beginning, middle, and end of growing season of *bigelovii* specie were obtained as 1.18, 1.55, and 1.42, respectively, while for the salinity level of 25 dS.m⁻¹, these values were 1.06, 1.37, and 1.26, respectively. For *persica* specie, the K_c values of the beginning, middle, and end of the growing season were 1.37, 1.58, and 1.10 (for salinity level of 8 dS.m⁻¹) and 1.15, 1.38 and 1.27 (for salinity level of 25 dS.m⁻¹), respectively. In addition, water use efficiencies of *salicornia* varied from 0.21 to 0.38 kg.m⁻³ at different treatments and species.

Keywords: Evapotranspiration, Halophyte plant, Lysimeter, Saline water, Water Use Efficiency

¹ - Corresponding author: National Salinity Research Center, Yazd, Iran.

Determination of Plant Coefficient and Evapotranspiration of Thyme in the Standard Conditions of Karaj

E. Sharifi Ashourabadi¹, H. Rouhipour, M. Jebeli, M. Mackizadeh Tafti, and B. Naderi

Associate Professor of Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR),
Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
esharifi@rifr-ac.ir

Associate Professor of Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR),
Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
parviz.rouhi@yahoo.com.au

Research Expert of Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR),
Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
Rihan2000ir@yahoo.com

Assistant Professor of Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR),
Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
marytafti@yahoo.com

Research Expert of Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR),
Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
nadery.behroz.rifr@gmail.com

Received: October 2019, and Accepted: September 2020

Abstract

To determine crop coefficient and evapotranspiration of *Thymus daenensis* Celak., an experiment was performed in 2016 using lysimeters (direct method) and computational method. In the direct method, drainage lysimeters with underground structures located at Alborz Research Station in Karaj were used. Each of the lysimeters were 0.9 meters in diameter and 1.28 meters high. In each lysimeter, a seedling of *Thymus* was planted. Then, two main lysimeters were selected and their irrigation was adjusted to the field capacity. On both sides of the main lysimeters, similar lysimeters were considered as margins. During the experiment period, the input and output water of the lysimeters as well as dry weight of aerial parts, the amount of evapotranspiration, and water use efficiency in *Thymus daenensis* were measured. In order to estimate the evapotranspiration of the reference plant, the computational methods of Blaney Criddle and FAO Penman-Monteith were used. *Thymus* plant coefficients during plant growth, was obtained as the ratio of *Thymus* evapotranspiration to reference plant evapotranspiration. Based on the results, the amount of cumulative evapotranspiration of the reference plant by Blaney Criddle-FAO and Penman-Monteith-FAO were 715 and 631 mm, respectively. In lysimeters, *Thymus* evapotranspiration up to the beginning of flowering was 100 mm, to the beginning of seed production 455 mm, and to the end of seed production 622.13 mm. The *Thymus* plant coefficients in initial, crop development, mid-season and late-season stages were 0.33, 0.65, 1.20, and 0.99, respectively. Water use efficiency was estimated to be 0.4 gL⁻¹. By determining the plant coefficient and water requirement of *Thymus*, in addition to helping in design of intelligent systems and mechanized irrigation, it will be possible to plan and manage irrigation during the plant growth period.

Keywords: Medicinal plants, Water requirement, Reference plant, Blaney-Criddle, Penman-Monteith, Growing degree days

¹- Corresponding author: Medicinal Plants Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Economic Assessment of the Use of Solar Energy and National Electricity Network Energy in Pressurized Irrigation Systems

J. Baghani¹ and H. Asadi

Assistant Professor in Irrigation and Drainage Department, Agricultural Engineering Research Institute.
Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

baghani37@gmail.com

Assistant Professor in Agricultural Economic researches, Seed and Plant Improvement Institute (SPII),
Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

hormoz.asadi3@gmail.com

Received: July 2020, and Accepted: September 2020

Abstract

The present research was conducted in 2017 with the aim of investigating the possibility of using solar energy (photovoltaic systems) compared to energy from national network of electricity in three irrigation systems of Tape, Center pivot, and Fixed classical sprinkler irrigation in Alborz province. At first, 2 dominant crops in the region (wheat and maize) were identified and the water requirement of these crops was determined under Karaj conditions. Then, the energy needed to supply the necessary power in each of the irrigation systems using the electricity network and solar power was determined. Afterwards, the number of solar panels needed to supply this amount of energy and the initial cost for the construction of the solar system was examined, as well as the costs of using the electricity network. Then, by evaluating the crops yield performance in the region and its economic value, the profitability of the products was determined in the region. The t-test was used to determine the difference between the mean cost and revenue or profit of the systems statistically. According to the economic results in the analysis period, in network electricity with irrigation systems of Fixed classical sprinkler, Center pivot, and Tape irrigation, net present value was estimated as 753.7, 770.3, and 1212.2 Iranian million Rials, and benefit cost ratio in these systems was estimated at 1.64, 1.67 and 2.1. In solar system with irrigation systems of Fixed classical sprinkler, Center pivot, and Tape irrigation, net present value was estimated as 322.6 , 713, and 988.8 Iranian million Rials, and benefit cost ratio in these systems was estimated at 1.2, 1.59, and 1.73. Therefore, based on profitability indices, national power network with drip irrigation system treatment is recommended as the better treatment.

Keywords: Solar electricity, Photovoltaic systems, Tape irrigation, Center pivot, Fixed classical sprinkler

¹. Corresponding author: Assistant Professor in Irrigation and Drainage Department, Agricultural Engineering Research Institute

Technical Evaluation of Movable Sprinkler Solid-Set Irrigation Systems in Ardabil Plain

M. Mohamadi, J. Azizi Mobaser¹, and M. Raoof

Graduate Student, Department of Water Engineering , Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

mehranmohammadi1109@gmail.com

Assistant Professor, .Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

ja.mobaser22@gmail.com

Associate Professor. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

majidraoof2000@yahoo.co.uk

Received: April 2020, and Accepted: September 2020

Abstract

In order to know the technical status of the irrigation systems and determine the amount of achievement of the objectives of the design stage, it is necessary to evaluate these systems. In this study, 18 classic fixed sprinkler irrigation systems with mobile sprinklers implemented in different parts of Ardabil plain in the summer of 2019 were evaluated. For this purpose, criteria such as Christiansen Uniformity Coefficient (CU), Distribution Uniformity (DU), Potential Application Efficiency of Low Quarter (PELQ), and Actual Application Efficiency of Low Quarter (AELQ), were used at both block and system scales. After measurements and collection of the required information, these criteria were calculated. The mean values of the criteria were for the blocks were 83.46%, 74.96%, 68.93% and 67.94%, respectively, and for the systems, they were 82.32%, 73.43%, 65.71% and 66.70%, respectively. In addition, Wind Drift Losses (WDEL), Deep Percolation losses (DP) and irrigation adequacy (ADirr) were found to be, 7.95%, 6.97% and 27.08%, respectively. Results and field studies showed that low values of PELQ and AELQ were affected by inappropriate spacing of sprinklers, lower pressure compared to design pressure, high pressure changes in the system and simultaneous use of large number of sprinklers. In addition, inaccurate management in operation, land topography and long lengths of pipes are effective factors in reducing the actual performance indicators of irrigation systems in Ardabil plain. Among the suggested recommendations are a revision of the designs, due consideration of the land slope, change in the type of sprinklers, or even change in the orifice of the sprinklers.

Keywords: Potential Use Efficiency, Christiansen Uniformity Coefficient, PELQ, AELQ

¹-Corresponding author: Department of Water Engineering Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Investigation of the Effects of Sugarcane Drainage Water for Quinoa Cultivation in Southern Khuzestan on Crop Yield and Soil Salinity and Sodicity Changes

A. mokhtaran¹, M. tavoosi, P. Varjavand, and S. sepehri sadeghian

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

Researcher, Seed and Plant Improvement Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Ahwaz, Iran. tavoosimehr@yahoo.com

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

Assistant Professor, Irrigation and Drainage Department, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. sepehri_saloome@yahoo.com

Received: April 2020, and Accepted: September 2020

Abstract

In Khuzestan Province, drainage water production from various activities, especially agriculture, is a serious problem. In order to optimize the use of drainage water, cultivation of salinity resistant crops can be considered as a suitable practice. Therefore, in 2019, a study was conducted to investigate the possibility of recycling drainage water of sugarcane fields for winter cultivation of quinoa in the Research Farm of Mirza Kuchak Khan Sugarcane Agro-Industry Company in southern Khuzestan. This study was performed as split plots with a complete randomized block design with two factors and three replications. The main factor was the management of irrigation water including the use of Karun river water, drainage water of sugarcane fields, and intermittent-periodic irrigation (alternating application of Karun water and drainage water). The sub-plots were allocated to four genotypes of quinoa including "Giza1, Titicaca, Rosada, and Q26". Interaction of irrigation water type with genotype showed that the highest biomass in terms of dry forage (3645.6 kg/ha) belonged to Giza1 genotype using irrigation with Karun water, which statistically had no difference with the Rozada biomass (2620 kg /ha) using irrigation with drainage water. Monitoring of soil "ECe" and "ESP" during the growing season showed that for the two treatments of irrigation with the water of the Karun River and intermittent-periodic irrigation, the farm soil up to 1 meter depth was non saline and non-sodic. This is while before cultivation of quinoa, the soil layer of 0- 25 cm was saline (5.54 dS/m) and the deeper parts were non-saline. In irrigation with drainage water, the 0-25 cm layer soil remained saline due to the effect of evaporation. However, in layers deeper than 75 cm, due to the accumulation of salts compared to pre-planting (ECe=2 dS/m), salinity reached ECe=4dS/m and ESP=7%. These results indicate the need for leaching at the end of the growing season and the importance of drainage for salt outflow from agricultural lands to maintain soil salt balance in areas where drainage water recycling is practiced.

Keywords: Halophyte, Unconventional water, Soil salinity monitoring, Intermittent-periodic irrigation, Irrigation management

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

Determination of Water Productivity and Economic Productivity of Irrigation in Rain-Fed Fig Orchards in Estahban

M. A. Shahrokhnia¹ and H. Zare

Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran. mashahrokh@yahoo.com

Assistant Professor, Fig Research Station, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Estahban, Iran. hamidzare777@gmail.com

Received: February 2019, and Accepted: September 2020

Abstract

Estahban region in Fars province is mostly covered with rainfed fig trees. Gardeners have applied over-irrigation because of drought in recent years. In this study, irrigations were scheduled based on different crop water stress indexes by measuring canopy temperature. The treatments included irrigation at different Crop Water Stress Indexes (CWSI) of 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8. A rain-fed treatment was also added as control. The trees were irrigated by hand using water tankers. During the two years of the research, the number of irrigations, yield, and water productivity were measured. Duncan test was used for statistical analysis of the treatments in a complete block test design with four replicates. Economical analyses were also done based on benefits and costs in 2017 and 2018. Results showed that the maximum observed CWSI was not more than 0.6. Irrigation increased the yield values from 3.1 kg/tree in rain-fed condition to 9.8 kg/tree in the fully irrigated treatment. However, water productivity decreased from a large value in the rainfed treatment to 0.65 kg/m³ in the fully irrigated treatment. The treatment that was irrigated once had a much increase in yield and increase about 740000 and 1190000 Rials in net benefit compared to rain-fed treatment in the studied years. The net benefit of one irrigation in the two studied years was about 530000 and 990000 Rials/m³ of applied water. These values decreased with increase in the irrigation times. The benefit cost ratio in the two studied years was 1.10 and 1.46 for rain-fed trees while it was 2.21 and 2.89 for single irrigation treatment, respectively. Therefore, by one supplemental irrigation of the rain-fed fig trees, the drought damages could be controlled, a significant economical benefit could be gained, and over-irrigation is avoided.

Keywords: Benefit: cost ratio, Crop cover temperature, Water stress

¹ - Corresponding author, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Shiraz, Iran.

Determination of Water Productivity and Economic Productivity of Irrigation in Rain-Fed Fig Orchards in Estahban.....	22
<i>M. A. Shahrokhnia and H. Zare</i>	
Investigation of the Effects of Sugarcane Drainage Water for Quinoa Cultivation in Southern Khuzestan on Crop Yield and Soil Salinity and Sodicity Changes.....	23
<i>A. mokhtaran , M. tavoosi, P. Varjavand, and S. sepehri sadeghian</i>	
Technical Evaluation of Movable Sprinkler Solid-Set Irrigation Systems in Ardabil Plain.....	24
<i>M. Mohamadi, J. Azizi Mobaser, and M. Raoof</i>	
Economic Assessment of the Use of Solar Energy and National Electircity Network Energy in Pressurized Irrigation Systems	25
<i>J. Baghani and H. Asadi</i>	
Determination of Plant Coefficient and Evapotranspiration of Thyme in the Standard Conditions of Karaj.....	26
<i>E. Sharifi Ashourabadi , H. Rouhipour, M. Jebeli, M. Mackizadeh Tafti, and B. Naderi</i>	
Estimation of Water Requirement and Crop Coefficients of Two Salicornia Species in Yazd.....	27
<i>H. Beyrami , M.H. Rahimian, and F. Deghany</i>	
Effect of Different Concentrations of Selenium on Some Morphological and Physiological Characteristics of Dragons Head (Lallemantia iberica) under Different Irrigation Regimes.....	28
<i>M. Amerian , A. R. Zebarjadi , and J. A. Mehrabi</i>	
Effects of Different Irrigation Levels and Magnetized Water on Growth and Yield of Peppermint (Mentha piperita L.).....	29
<i>S. Jamali , H. Ansari, and A. Safarizadehsani</i>	
Application of Precipitation Evenness and Effective Time-Rain Indicators to Estimate Rainfed Wheat Yield and Its Fluctuations in Semi-Arid Climate of Tabriz.....	30
<i>M. Khaledi Alamdari and A. Majnooni Heris</i>	
Identifiction of Barriers and Support Required for Farmers' Participation in Water Conveyance and Distribution Plan in Agricultural Lands of Sistan Plain.....	31
<i>M. R. Mahboobi , M. Bazzi, M. Sh. Sharifzadeh, and J. Pariab</i>	
Effects of Drought on Cultivation Pattern and Welfare of Farmers in South Mahyar Plain.....	32
<i>A. Jami, H. Najafi Alamdarlo , and S. A. Mortazavi</i>	
Effects of Foliar Application of Salicylic Acid on Improvement of Drought Tolerance in Madagascar Periwinkle.....	33
<i>G. H. Homayouni, N. Ahmadi, and M. R. Roozban</i>	

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

Journal of Water Research in Agriculture

Vol. 34, No. 3
2020

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

<http://www.wra.areo.ir>

Volume 34/ No 3/ 2020

ISSN: 2228-7140

Contents Subject

Page

<i>Determination of Water Productivity and Economic Productivity of Irrigation in Rain-Fed Fig Orchards in Estahban.....</i>	<i>22</i>
<i>M. A. Shahrokhnia and H. Zare</i>	
<i>Investigation of the Effects of Sugarcane Drainage Water for Quinoa Cultivation in Southern Khuzestan on Crop Yield and Soil Salinity and Sodictiy Changes.....</i>	<i>23</i>
<i>A. mokhtaran , M. tavoosi, P. Varjavand, and S. sepehri sadeghian</i>	
<i>Technical Evaluation of Movable Sprinkler Solid-Set Irrigation Systems in Ardabil Plain.....</i>	<i>24</i>
<i>M. Mohamadi, J. Azizi Mobaser, and M. Raoof</i>	
<i>Economic Assessment of the Use of Solar Energy and National Electircity Network Energy in Pressurized Irrigation Systems</i>	<i>25</i>
<i>J. Baghani and H. Asadi</i>	
<i>Determination of Plant Coefficient and Evapotranspiration of Thyme in the Standard Conditions of Karaj.....</i>	<i>26</i>
<i>E. Sharifi Ashourabadi , H. Rouhipour, M. Jebeli, M. Mackizadeh Tafti, and B. Naderi</i>	
<i>Estimation of Water Requirement and Crop Coefficients of Two Salicornia Species in Yazd.....</i>	<i>27</i>
<i>H. Beyrami , M.H. Rahimian, and F. Dehghany</i>	
<i>Effect of Different Concentrations of Selenium on Some Morphological and Physiological Characteristics of Dragons Head (Lallemantia iberica) under Different Irrigation Regimes.....</i>	<i>28</i>
<i>M. Amerian , A. R. Zebarjadi , and J. A. Mehrabi</i>	
<i>Effects of Different Irrigation Levels and Magnetized Water on Growth and Yield of Peppermint (Mentha piperita L.).....</i>	<i>29</i>
<i>S. Jamali , H. Ansari, and A. Safarizadehsani</i>	
<i>Application of Precipitation Evenness and Effective Time-Rain Indicators to Estimate Rainfed Wheat Yield and Its Fluctuations in Semi-Arid Climate of Tabriz.....</i>	<i>30</i>
<i>M. Khaledi Alamdari and A. Majnooni Heris</i>	
<i>Identification of Barriers and Support Required for Farmers' Participation in Water Conveyance and Distribution Plan in Agricultural Lands of Sistan Plain.....</i>	<i>31</i>
<i>M. R. Mahboobi , M. Bazzi, M. Sh. Sharifzadeh, and J. Pariab</i>	
<i>Effects of Drought on Cultivation Pattern and Welfare of Farmers in South Mahyar Plain.....</i>	<i>32</i>
<i>A. Jami, H. Najafi Alamdarlo , and S. A. Mortazavi</i>	
<i>Effects of Foliar Application of Salicylic Acid on Improvement of Drought Tolerance in Madagascar Periwinkle.....</i>	<i>33</i>
<i>G. H. Homayouni, N. Ahmadi, and M. R. Roozban</i>	