



پژوهش آب در کشاورزی

Wra.areeo.ac.ir

ISSN: 2228-7140

ب / جلد ۳۸ / شماره ۲ / سال ۱۴۰۳

صفحه	عنوان
۹۱.....	ارزیابی اثر روش‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب لوبیا چیتی سیدمحسن سیدی، مصطفی گودرزی، صدیقه اشتری، مریم حاتم‌آبادی‌فراهانی و ابوالقاسم سرلک
۱۰۵.....	تأثیر روش‌های مختلف آبیاری و آرایش کاشت بر عملکرد و بهره‌وری آب کنجد میثم عابدین‌پور و محمدحسین رزاقی
۱۱۷.....	تعیین اثربخش‌ترین فناوری‌های به‌زراعی در صرفه‌جویی واقعی آب در سه حوضه آبریز حسین دهقانی‌سانیچ، علی مختاران، رامین نیکانفر، امیرنورجو، محمدعلی شاه‌رخ‌نیا، پیمان‌ورجاوند، نادرسلامتی، بهمن یارقلی، محمدعلی به‌آیین و جعفر حبیبی‌اصل
۱۳۹.....	ارزیابی عملکرد فنی و تغییرات شوری خاک در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی باغ‌های پسته استان سمنان نادر نادری و سیدمحسن طباطبائیان
۱۵۱.....	الگوی کشت بهینه و مدیریت منابع آب زیرزمینی و سطحی دشت کوهپایه- سگری با استفاده از مدل تلفیقی تئوری بازی‌ها و الگوریتم بهینه‌سازی علی کلاهدوزان، حامد نودری و صفر معروفی
۱۷۱.....	تأثیر آبیاری با آب مغناطیسی بر رشد و عملکرد گیاه ذرت و چای ترش در مناطق خشک محمد عبدوس و محمدرضا یزدانی

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

جلد ۳۸ شماره (۲)

۱۴۰۳

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

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

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

چهار شماره
دکتر حمید سیادت
مهندس فاطمه آقاجانی

تعداد انتشار در سال:
ویراستار انگلیسی:
صفحه آرایی:

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

- ارزیابی اثر روش‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب لوبیا چیتی..... ۹۱
سیدمحسن سیدی، مصطفی گودرزی، صدیقه اشتری، مریم حاتم‌آبادی‌فراهانی و ابوالقاسم سرلک
- تأثیر روش‌های مختلف آبیاری و آرایش کاشت بر عملکرد و بهره‌وری آب کنگد..... ۱۰۵
میثم عابدین‌پور و محمدحسین رزاقی
- تعیین اثربخش‌ترین فناوری‌های به‌زراعی در صرفه‌جویی واقعی آب در سه حوضه آبریز..... ۱۱۷
حسین دهقانی‌سانیچ، علی مختاران، رامین نیکانفر، امیرنورجو، محمدعلی شاه‌رخ‌نیا، پیمان‌ورجاوند، نادرسلامتی، بهمن یارقلی، محمدعلی به‌آیین و جعفر حبیبی‌اصل
- ارزیابی عملکرد فنی و تغییرات شوری خاک در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی باغ‌های پسته استان سمنان..... ۱۳۹
نادر نادری و سیدمحسن طباطبائی‌ان
- الگوی کشت بهینه و مدیریت منابع آب زیرزمینی و سطحی دشت کوهپایه- سگزی با استفاده از مدل تلفیقی تئوری بازی‌ها و الگوریتم بهینه‌سازی..... ۱۵۱
علی کلاهدوزان، حامد نوذری و صفر معروفی
- تأثیر آبیاری با آب مغناطیسی بر رشد و عملکرد گیاه ذرت و چای ترش در مناطق خشک..... ۱۷۱
محمد عبدوس و محمدرضا یزدانی

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

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

الف) اصول کلی

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

ب) نحوه تهیه و ارسال مقاله

نحوه نگارش مقاله

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

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

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

شناسنامه مقاله

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

برگ شناسه

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

عنوان مقاله

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

چکیده

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

واژه‌های کلیدی

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

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

مقدمه

مقدمه باید دربرگیرنده اهمیت پژوهش انجام شده باشد و به بیان مسئله با مروری بر مطالعات و مشاهدات مرتبط با تحقیق که در گذشته انجام شده بپردازد و به منابع معتبری که در انتهای مقاله ذکر شده، استناد کند. در ادامه مطالب، وجه تمایز پژوهش حاضر نسبت به مطالعات قبلی و لزوم و وجوب آن و در انتهای مقدمه هدف اصلی پژوهش

نگاشته شود. مقالاتی که موضوع آن تکراری بوده و در گذشته به کرات در داخل و خارج از ایران در مورد آن مطالعاتی انجام شده، در صورتی که وجه تمایز قانع کننده‌ای نداشته باشد چاپ نخواهد شد.

مواد و روشها

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

نتایج

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

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

بحث

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

تشکر و قدردانی

در این بخش نویسنده (گان) می‌توانند از اشخاص، سازمانها و افراد ذیربطی که در اجرای تحقیق همکاری داشته‌اند، تشکر و قدر دانی نمایند. این قسمت باید کوتاه و در حدود ۵۰ کلمه باشد.

فهرست منابع

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

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

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

فهرست منابع مورد استفاده در پایان متن به صورت پیوسته و به ترتیب منابع فارسی و انگلیسی ارائه شوند. منابع مورد استفاده به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی نگارنده، (یا اولین نگارنده برای منابعی که بیش از یک نگارنده دارند) زیر هم آورده شوند. چنانچه از یک نگارنده چندین منبع ذکر شود، ترتیب درج آن‌ها بر حسب سال انتشار، از جدید به قدیم است. اگر از نگارنده‌ای چندین منبع همسال وجود داشته باشد، با گذاشتن حروف 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 Lindsay, W.L., 1998. Reduction and oxidation effect on the solubility and transformation of iron oxides. Soil Sci. Soc. Am. J. 62: pp.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 Laird, D.A., 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 Sommers, L.E., 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.

مقاله با یک نویسنده

Fukugawa, N., 2022. Effects of the quality of science on the initial public offering of university spinoffs: evidence from japan. *Scientometrics*, 127(8), pp.4439-4455

مقاله با دو نویسنده

Haunschild, R. and Bornmann, L., 2022. Relevance of document type in the scores calculation of a specific field- normalized indicator: Are the scores strongly dependent on or nearly independent of the document type handling?. *Scientometrics*, 127(8), pp.4419-4438

مقاله با سه نویسنده

Vakkari, P., Chang, Y.W. and Jarvelin, K., 2022. Largest contribution to LIS by external disciplines as measured by the characteristics of research articles. *Scientometrics*, 127(8), pp.4419-4438

مقاله با بیش از سه نویسنده

Wheeler, J., Pham, N.M., Arlitsch, K. and Shanks, J.D., 2022. Impact factions: assessing the citation impact of different type of open access repositories. *Scientometrics*, 127(8), pp.4419-4438

ضروری است شناسه منحصر به فرد DOI در انتهای ارجاعات هر مقاله درج گردد.

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.

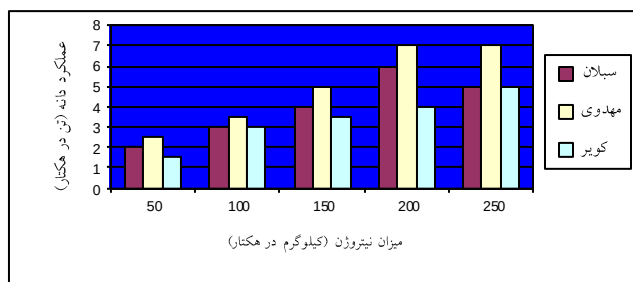
جدول نامناسب

بافت	Mgex ch	Kavail.	Pavail	OC (%)	TNV (%)	EC (dS. m-1)	pH	عمق (cm)
	(Mg.kg-1)							
لومی رسی	300	290	3/6	0/62	28	7/6	8/2	0-30
لومی رسی	305	295	0/6	0/50	30	7/2	8/2	30-60
لومی شنی	286	332	0/5	0/21	33	9/5	7/8	60-90

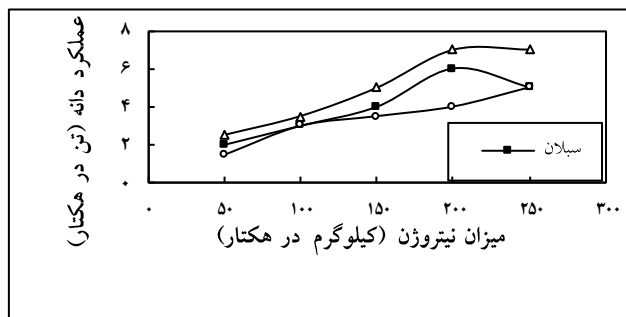
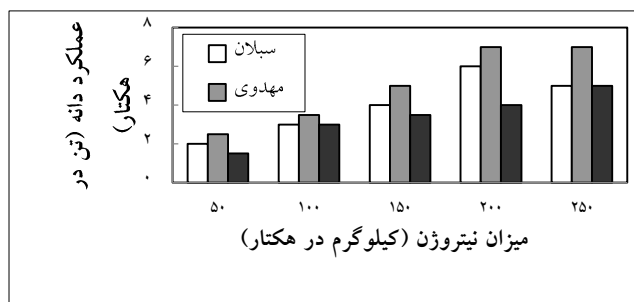
جدول مناسب

عمق	pH	EC (dS.m ⁻¹)	TNV (%)	OC (%)	Pav	Kav	Mgex	بافت
(cm)							(mg.kg ⁻¹)	
0-30	8/3	7/6	28	0/62	3/6	290	300	لومی رسی
30-60	8/2	7/2	30	0/50	0/60	295	305	لومی رسی
60-90	7/8	9/5	33	0/21	0/50	232	286	لومی شنی

شکل نامناسب



شکل مناسب



نشریه علمی پژوهش آب در کشاورزی

دکتر نیازعلی ابراهیمی پاک.....	۲ دآوری
دکتر مجتبی خوش روش.....	۲ دآوری
دکتر حمید زارع ایبانه.....	۱ دآوری
دکتر علیرضا کیانی.....	۱ دآوری
دکتر فاطمه کیخایی.....	۱ دآوری
دکتر بیتا مروج الاحکامی.....	۱ دآوری
دکتر فاطمه مسکینی.....	۵ دآوری
دکتر فرهاد موسوی.....	۳ دآوری
دکتر محمدرضا نائینی.....	۲ دآوری
دکتر هرمزنقوی.....	۱ دآوری

ارزیابی اثر روش‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب لوبیا چیتی

سیدمحسن سیدی*، مصطفی گودرزی، صدیقه اشتري، مریم حاتم‌آبادی‌فراهانی و ابوالقاسم سرلک

استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، اراک، ایران. m.seyedi98@areeo.ac.ir

استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، اراک، ایران. goodarzimustafa@gmail.com

استادیار بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

اراک، ایران. aroya95@gmail.com

محقق بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک،

ایران. maryamhatami2002@yahoo.com

تکنسین فنی بخش تحقیقات علوم زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، اراک، ایران. Sarlak.a@yahoo.com

دریافت: دی ۱۴۰۲ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۳

چکیده

به منظور ارزیابی اثر روش‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب لوبیا چیتی، در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲، پژوهشی در پردیس تحقیقات و آموزش لوبیا در خمین به صورت ناحیه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. روش‌های آبیاری در چهار سطح (آبیاری بارانی به صورت کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک، بارانی نیوفیت، رین فلت، و قطره‌ای نواری) و ارقام لوبیاچیتی (لاین ۲۱۴۹۲ و ارقام کوشا و صالح) با سه تیپ رشدی مختلف در این ناحیه‌ها به صورت تصادفی کشت گردید. نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین میزان مصرف آب (۱۲۵۰۰ متر مکعب در هکتار) در روش آبیاری بارانی کلاسیک بود. کمترین میزان مصرف آب (۶۶۰۰ متر مکعب در هکتار) نیز در روش آبیاری قطره‌ای مشاهده شد و روش‌های آبیاری نیوفیت و رین فلت که مصرف آب تقریباً مشابهی داشتند (حدود ۱۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار) در بین آن‌ها قرار گرفتند. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر روش آبیاری بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه لوبیاچیتی معنی‌دار بود، ولی اثر رقم تنها بر عملکرد دانه معنی‌دار شد. بیشترین مقدار عملکرد دانه (۲۹۶/۹ گرم در متر مربع) در آبیاری قطره‌ای و کمترین میزان (۲۲۸/۷ گرم در متر مربع) در تیمار آبیاری بارانی کلاسیک بود. در بین ارقام نیز بیشترین و کمترین عملکرد دانه (به ترتیب ۲۷۴/۱ و ۲۳۶/۳ گرم در متر مربع) به ترتیب متعلق به رقم کوشا و صالح بود. همچنین، بیشترین (۰/۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب) و کمترین مقدار کارایی مصرف آب (۰/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب) به ترتیب در روش‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی کلاسیک به دست آمد. به طور کلی، نتایج نشان داد که روش آبیاری قطره‌ای علاوه بر کاهش مصرف آب، موجب افزایش عملکرد لوبیاچینی و کارایی مصرف آب شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، اجزای عملکرد، بارانی کلاسیک، رقم کوشا

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: m.seyedi98@areeo.ac.ir



مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب مهم‌ترین عامل محدودکننده کشاورزی است. در سال‌های اخیر، به دلیل رشد بخش‌های صنعتی، مصارف خانگی و کشاورزی کمبود آب به شکل فزاینده‌ای افزایش یافته است. عواملی زیادی از جمله مدیریت نامناسب منابع آبی، پایین بودن راندمان آبیاری در اکثر مزارع و کاهش بارندگی‌ها در سال‌های اخیر موجب وابستگی به منابع آب زیرزمینی در بخش کشاورزی شده است که این امر موجب افت سطح ایستابی، افزایش هزینه استحصال آب از اعماق زمین و افزایش مصرف انرژی در بسیاری از مناطق کشور شده است (رضایی‌استخرویه و همکاران، ۱۳۹۵). لوبیا یکی از منابع ارزان و مهم پروتئین گیاهی با کیفیت بالا است که در رژیم غذایی بسیاری از مردم کشورهای در حال توسعه وجود دارد و پروتئین غلات را تکمیل می‌کند. بذر لوبیا تقریباً به اندازه بذر غلات، انرژی در واحد وزن خود دارد و مقدار پروتئین آن از ۲۵-۲۰ درصد (حدود دو برابر غلات) است. کاه و کلش لوبیا با دارا بودن ۱۴-۸ درصد پروتئین، علوفه بسیار مناسبی برای دام‌هاست (مجنون حسینی، ۱۳۸۷) تولید پروتئین گیاهی حبوبات، برتری‌های متعددی نسبت به پروتئین حیوانی از نظر هزینه و سلامت مصرف‌کنندگان دارد. از خصوصیات دیگر این گیاه می‌توان به قابلیت همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن هوا و نقش آنها در حاصلخیزی و نیز تقویت و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک اشاره کرد. به واسطه توانایی تثبیت نیتروژن در این گیاهان، قرار دادن آنها در تناوب به پایداری سامانه‌های زراعی کمک می‌کند (مجنون حسینی، ۱۳۸۷). طبق آمارنامه سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ وزارت جهاد کشاورزی سطح زیر کشت لوبیا در کشور، حدود ۱۰۱ هزار هکتار و میزان تولید این محصول ۲۲۴ هزار تن بود. در حال حاضر بیشترین سطح کشت لوبیا به صورت کشت سستی و آبیاری لوبیا نیز به صورت آبیاری سطحی کرتی است. نتایج تحقیقات انجام‌شده در سطح مزارع استان مرکزی نشان داده است مصرف آب در روش آبیاری کرتی بیش از ۱۵۰۰۰

مترمکعب است (گودرزی و هدایتی پور، ۱۳۹۸). این مقدار مصرف آب در کنار عدم کارایی مناسب و سایر عوامل مؤثر در تولید، موجب شده است که لوبیا یکی از کم بازده‌ترین محصولات از نظر کارایی مصرف آب باشد (کوچکی و بنیان، ۱۳۸۸)؛ بنابراین جهت کشت آن، تأمین آب و تداوم کشت آن به مدیریت صحیح آبیاری وابسته است که تنها با اتخاذ تمهیداتی بر پایه یافته‌های علمی قابل کنترل خواهد بود؛ بنابراین با توجه به محدودیت منابع آب مصرفی شیوه‌هایی از کشت و آبیاری که میزان مصرف آب را کاهش دهد بسیار ارزشمند است. از آنجاکه یکی از موارد عمده‌ای که در بحث بررسی طغیان آفات و بیماری‌ها در گیاهان زراعی مهم است میزان و نحوه آبیاری این محصولات است و لوبیا از جمله حساس‌ترین گیاهان زراعی در این موضوع است، توجه ویژه به مدیریت آبیاری در این محصول ضروری خواهد بود (لک، ۱۳۹۸).

با وجود گذشت بیش از ۲۵ سال از توسعه سامانه‌های نوین آبیاری در کشور، بررسی‌های صورت گرفته در زمینه‌های مختلف کارایی این سامانه‌ها در مقایسه با حجم فعالیت صورت گرفته قابل توجه نبوده و هنوز بسیاری از ابعاد استفاده از آن‌ها در مناطقی که این سامانه‌ها استقرار یافته‌اند ناشناخته باقی مانده است (گرچی و همکاران، ۱۳۹۶). نیکبخت جهرمی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای با بررسی راهکارهای اجرایی برای ایجاد آبیاری موضعی (مانند آبیاری قطره‌ای نواری) اظهار داشت که استفاده از این سامانه ضرورت زیادی دارد و بهتر است در حد امکانات ملی موجود، مد نظر قرار داده شوند. بهبود کارایی روش‌های آبیاری تحت فشار مانند قطره‌ای نسبت به روش‌های سنتی مثل کرتی و جوی و پشته ثابت شده است (کاندونگو، ۲۰۱۸؛ گودرزی و هدایتی پور، ۱۳۹۸). همچنین، بررسی کارایی مصرف آب در بخش‌های گوناگون و بویژه در کشاورزی اهمیت دارد و در محصولات مختلف باید مورد ارزیابی قرار گرفته و در راستای بهبود آن کوشید (کواج و لانگات، ۲۰۱۸؛ فن و همکاران، ۲۰۲۰). دو روش عمده آبیاری تحت فشار در کشور روش قطره‌ای نواری و

بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک است که هر کدام مزایا و معایب مخصوص به خود را دارند. یکی از مشکلات سامانه آبیاری بارانی کلاسیک مشکل بادبردگی قطرات آب در این روش است که در مناطق با وزش باد بالا و یا متوسط مانند منطقه اجرای این آزمایش مشاهده می‌گردد. روش آبیاری قطره‌ای نواری در کاشت لوبیا علاوه بر جنبه‌های مثبت افزایش عملکرد به کاهش بیشتر مصرف آب کمک شایانی خواهد نمود اما هزینه سالانه خرید و پهن کردن نوارهای آبیاری (تیپ) برای کشاورز سنگین خواهد بود. در روش بارانی کلاسیک با وجود افزایش نسبی مصرف آب، هزینه اولیه در هر سال برای کشاورز به اندازه روش قطره ای نواری نخواهد بود. آبیاری رین فلت نیز دارای مزایای بسیاری است که امروزه کاربرد آن را بیشتر کرده است. سامانه آبیاری رین فلت توسط لوله‌های نواری صورت می‌گیرد. هنگامی که نیاز به یک روش کاربردی و با دوام برای انتقال آب به مزارع وجود دارد، می‌توان نیازهای سامانه آبیاری را به راحتی با استفاده از نوارهای آبیاری برطرف ساخت. آبیاری بارانی رین فلت (Rain Flat) یکی از روش‌های جدید آبیاری تحت فشار است که دارای مزایای بسیاری است و همین مسئله کاربرد آن را بیشتر کرده است. در این روش لوله‌های سوراخ‌دار که به راحتی قابل اجرا هستند و پس از اتمام دوره کشت می‌توان آن‌ها را جمع‌آوری نمود، وظیفه آبیاری و پخش آب در سطح مزرعه را بر عهده دارند. این لوله‌ها از پلی اتیلن تقویت شده ساخته شده‌اند که باعث افزایش مقاومت آن‌ها در برابر فشار آب می‌شود. در این روش آب از ایستگاه پمپاژ از طریق خطوط لوله اصلی و فرعی منتقل شده و در کنار سطح مزرعه از نوارهای رین فلت با فواصل حدود پنج متر برای آبیاری استفاده می‌شود. نوارهای آبیاری مورد استفاده در این روش محصولات سبک، با دوام، با مقاومت در برابر سایش، برش، خوردگی و اشعه ماوراء بنفش است. یکی از ویژگی‌های منحصربه‌فرد این نوارها قابلیت استفاده مجدد است. بدین معنی که می‌توان به راحتی آن را جمع‌آوری کرد و در جایی دیگر از آن استفاده کرد. یکی دیگر از روش‌های جدید

آبیاری تحت فشار روش آبیاری بارانی نیوفیت (New Fit) است که همانند روش بارانی کلاسیک متحرک عمل نموده و تا حدودی برخی کاستی‌های بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک را کاهش می‌دهد. با پیدایش آبیاری تحت فشار و بارانی اولین لوله‌های مورد استفاده در این صنعت، لوله‌های آلومینیومی بودند که به صورت بست‌های مخصوصی به یکدیگر متصل می‌شدند. با پیشرفت صنایع پلیمر و همچنین گرانی آلومینیوم در انتهای دهه ۹۰ میلادی، نمونه‌های پلیمری این لوله‌ها موسوم به نیوفیت جایگزین لوله‌های آلومینیومی شد و به سرعت فراگیر شدند. نصب آسان و راحت بدون نیاز به اتصالات و جوشکاری، جمع‌آوری آسان و سریع، سرعت بالای نصب، امکان استفاده از همه نوع ماشین‌آلات کشاورزی اعم از دستگاه‌های کاشت، داشت و برداشت در مزرعه به دلیل سهولت جمع‌آوری و نصب مجدد، حمل و نقل آسان، عدم نیاز به جوشکار و یا نیروی متخصص و ابزارآلات خاص جهت نصب و جمع‌آوری، امکان استفاده برای آبیاری چندین مزرعه و نیز بهترین گزینه جهت استفاده در مزارع استیجاری از مزایای آبیاری با لوله‌های نیوفیت است.

شلالوند و نیک‌سیرت (۱۳۹۶) در بررسی روش‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی ماریتیغال (*Silybum marianum* L.) گزارش کردند در بین روش‌های آبیاری، آبیاری قطره‌ای بالاترین میزان کارایی مصرف آب را به دست آورد. جعفری و همکاران (۱۳۹۶) در گیاه سیب‌زمینی گزارش کردند که روش آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری بارانی کلاسیک، از نظر اقتصادی تیمار برتر بود. طباطبایی و همکاران (۱۳۹۶) نیز در پژوهشی روی مقایسه عملکرد ذرت علوفه‌ای تحت مدیریت آبیاری قطره‌ای (نواری) و بارانی کلاسیک اظهار داشتند که عملکرد این گیاه در آبیاری قطره‌ای حدود ۲۰ درصد افزایش داشت.

با توجه به خشکسالی‌های اخیر، کمبود منابع آب در سطح کشور، ناکافی بودن آب در مراحل مختلف رشد لوبیا و در نهایت کاهش عملکرد، ضروری است با

برنامه‌ریزی دقیق و اعمال مدیریت صحیح آبیاری حداکثر استفاده را کرد و ضمن حفظ عملکرد مطلوب، آب مصرفی در کشت لوبیا را کاهش داد و باعث افزایش کارایی آب آبیاری شد. یکی از راهکارهای اساسی برای افزایش کارایی آب در مزرعه، استفاده از روش‌های آبیاری نوین است. لذا، این مطالعه به منظور ارزیابی اثر روش‌های مختلف آبیاری بر عملکرد دانه لوبیاچیتی و کارایی مصرف آب صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور ارزیابی اثر روش‌های مختلف آبیاری بر عملکرد دانه لوبیاچیتی و کارایی مصرف آب در دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در پردیس تحقیقات و آموزش لوبیا خمین اجرا گردید. پردیس تحقیقات لوبیای خمین در منطقه خرم دشت و هشت کیلومتری شهرستان خمین با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۹ دقیقه و در ارتفاع ۱۹۳۰ متری از سطح دریا واقع شده است. میانگین بلندمدت بارندگی در این منطقه بر اساس آمار هواشناسی ۳۰۰ میلی‌متر در سال است. آزمایش به صورت ناحیه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. روش‌های آبیاری در چهار سطح (آبیاری بارانی به صورت کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک، بارانی نیوفیت، رین فلت و قطره‌ای نواری) در عامل ناحیه قرار گرفتند و ارقام لوبیا-چیتی با سه تیپ رشدی مختلف شامل لاین امیدبخش ۲۱۴۹۲ (تیپ یک یا ایستاده)، رقم کوشا (تیپ دو یا نیمه رونده) و رقم صدری (تیپ سه یا رونده) در هر ناحیه به صورت تصادفی کاشته شده و توسط سامانه‌های مختلف آبیاری شدند. مساحت هر مکان (هر کرت با روش آبیاری خاص) با توجه به فاصله لترال‌ها و آبیاش‌ها در سامانه بارانی کلاسیک تعیین گردید. در سامانه آبیاری قطره‌ای تیپ از نوارهای تیپ بغل دوخت زیگزاگی با فاصله روزنه ۲۰ سانتیمتر و متوسط دبی اسمی سه لیتر در ساعت بر روی هر پشته کشت استفاده گردید. در روش رین فلت از

نوارهای پلی‌اتیلن دو اینچی با فشار کارکرد یک اتمسفر، دبی اسمی ۲۰۰ لیتر در ساعت برای هر متر لوله و فاصله پنج متر از یکدیگر، استفاده گردید. در روش نیوفیت از لوله‌ها و اتصالات پلی‌اتیلن نیوفیت ۶۳ میلی‌متری همراه با آبیاش ضربه‌ای تنظیم شونده دو نازله $\frac{3}{4}$ اینچ با دبی یک لیتر در ثانیه و با فاصله ۱۲ متر از یکدیگر، استفاده گردید. در روش بارانی کلاسیک نیز از آبیاش‌های ضربه‌ای آمو دو نازله تنظیم شونده با دبی دو لیتر در ثانیه با فواصل ۲۲ متر از یکدیگر، استفاده گردید.

کشت به صورت چهار ردیف روی پشته‌های ۷۵

سانتی‌متری و تراکم نهایی ۵۰، ۴۵ و ۴۰ بوته در مترمربع به ترتیب در تیپ‌های رشدی ۱، ۲ و ۳ در نظر گرفته شد. طول خطوط کشت حدود شش متر در نظر گرفته شده و با احتساب سه پشته در هر کرت ابعاد هر کرت حدود ۱۳/۵ مترمربع بود. تاریخ کاشت در هر دو سال زراعی اوایل دهه سوم خردادماه و طول دوره رشد با توجه به رقم‌های مختلف حدود سه ماه و نیم بود که در طی این مدت با توجه به دور آبیاری ثابت در نظر گرفته شده برای تمام تیمارها، ۲۳ نوبت آبیاری در هر روش کشت و هر رقم صورت پذیرفت. داده‌های هواشناسی نشان داد که در فصل رشد سال اول آزمایش متوسط دمای هوا ۲۴/۲ درجه سانتی‌گراد و در سال دوم ۲۴/۸ درجه سانتی‌گراد بود. همچنین میزان بارندگی در این دو سال به ترتیب ۲۰ و ۱۵ میلی‌متر بود که عمده آن در یک روز و به صورت سیلابی رخ داد. در شکل یک متوسط دمای شبانه‌روز در طی فصل رشد ارائه شده است. نتایج آزمایش خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متری نشان داد که خاک محل اجرای آزمایش لوم-رسی بود (جدول ۱).

نیاز خالص آبی محصول لوبیا در منطقه خمین حدود ۶۰۰۰ مترمکعب در هکتار است (گودرزی و هدایتی‌پور، ۱۳۹۸)، اما در این تحقیق میزان آب آبیاری مورد نیاز گیاه در هر نوبت آبیاری برای هر تیمار با اندازه‌گیری درصد رطوبت خاک قبل از آبیاری از عمق توسعه ریشه و با توجه به اختلاف درصد رطوبت خاک با

ظرفیت زراعی خاک بر اساس رابطه (۱) محاسبه شد. بافت خاک مزرعه مورد آزمایش لوم رسی بود و مقادیر رطوبت حجمی خاک در نقطه پژمردگی دائم و ظرفیت مزرعه اندازه‌گیری شده برای خاک مزرعه به ترتیب ۱۶/۶ و ۳۳/۳ درصد بود. رطوبت خاک با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج خاک کالیبره شده برای خاک مزرعه، بلافاصله قبل از آبیاری اندازه‌گیری شد. زمان آبیاری برای تمام روش‌ها یکسان و با دور آبیاری پنج روز در نظر گرفته شد ولی مقادیر آبیاری‌ها بر اساس رطوبت خاک متغیر بود. همچنین، میزان

آب مصرفی برای هر یک از تیمارها با استفاده از کنتور حجمی کالیبره شده، اندازه‌گیری شد.

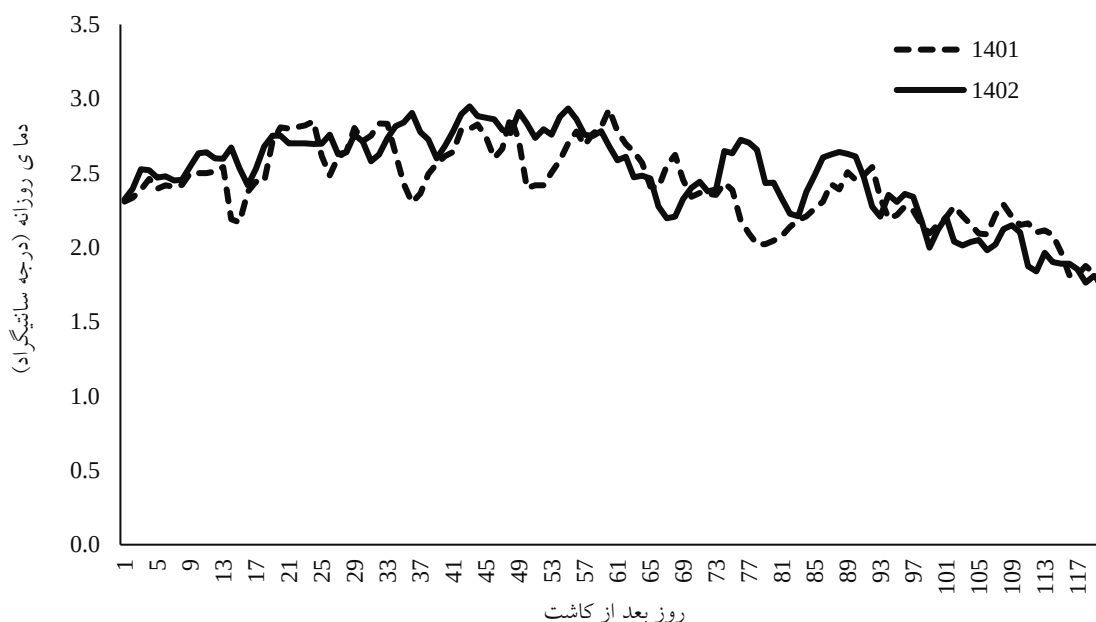
$$dn = (\theta_{fc} - \theta_i) \times D / 100 \quad (1)$$

θ_{fc} = رطوبت حجمی خاک در ظرفیت مزرعه (برحسب درصد)

dn = عمق آب آبیاری بر حسب میلی‌متر

θ_i = رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری (بر حسب درصد)

D = عمق ریشه بر حسب میلی‌متر



شکل ۱- متوسط دمای روزانه طی فصل رشد لوبیاچیتی

جدول ۱- برخی ویژگی‌های خاک محل اجرای آزمایش

پتاسیم (mg kg^{-1})	فسفر (mg kg^{-1})	نیتروژن (%)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (dS m^{-1})	ماده آلی (%)
280	14.5	0.07	7.54	0.9	0.51

با توجه به توصیه کودی آزمایشگاه خاک به ترتیب حدود ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم کود اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به صورت پایه مخلوط در خاک در هنگام کاشت بذور استفاده گردید. قبل از مرحله گلدهی نیز یک لیتر کود مایع در هکتار حاوی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز به صورت محلول‌پاشی استفاده شد. در طول دوره رشد عملیات مبارزه با آفات در تمام تیمارها به طور معمول انجام شد. با توجه به اهمیت مراحل فنولوژیکی در

محصولات زراعی برای مواردی مانند مبارزه علیه آفات و بیماری‌ها و نیز تغذیه اصولی این گیاهان، ویژگی‌های روز تا جوانه‌زنی، گلدهی و رسیدگی نیز برای ارقام لوبیاچیتی تحت آبیاری‌های مختلف یادداشت شدند. ویژگی‌های فنولوژیکی تعیین‌شده با توجه به ورود ۵۰ درصد بوته‌های هر کرت به مرحله مورد نظر تعیین شدند. به منظور تعیین اجزای عملکرد دانه ۱۰ بوته به طور تصادفی از هر واحد آزمایشی برداشته شد و ویژگی‌های مورد نظر مانند اجزای

عملکرد دانه سنجش گردیدند. همچنین عملکرد بیولوژیک و دانه بعد از حذف اثر حاشیه، با برداشت کل واحد آزمایشی مشخص شد. اندازه‌گیری آب مصرفی با نصب کنتور انجام شد. شاخص کارایی مصرف آب از نسبت مقدار عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار) به حجم آب مصرفی شامل مجموع حجم آب آبیاری و بارندگی مؤثر (مترمکعب در هکتار) به دست آید (فن و همکاران، ۲۰۱۶). تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار و در سطح احتمال پنج درصد توسط نرم‌افزار آماری SAS انجام گرفت.

نتایج و بحث

اثر سال بر صفات موردبررسی عملکرد دانه، وزن ۱۰۰ دانه، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته و ارتفاع بوته معنی‌دار شد. به نظر می‌رسد تغییرات دمایی و گرمای اوایل تا اواسط فصل رشد در سال دوم از دلایل مهم

این موضوع باشد. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل آبیاری در رقم بر ارتفاع بوته لوبیاچیتی معنی‌دار نبود ولی اثرات اصلی آبیاری و رقم بر ویژگی ارتفاع بوته لوبیا-چیتی معنی‌دار شدند (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته لوبیا-چیتی در آبیاری قطره‌ای بدست آمد (۶۲/۴ سانتی‌متر) و دیگر آبیاری‌ها سبب کاهش معنی‌دار این ویژگی شدند تا جایی که میزان ارتفاع بوته در آبیاری بارانی کلاسیک به کمترین حد خود (۵۲/۴ سانتی‌متر) رسید (جدول ۴). با توجه به آبیاری یکنواخت و مدیریت تغذیه راحت‌تر ویژگی‌های رشدی گیاهان مختلف معمولاً در روش آبیاری قطره‌ای بهبود می‌یابد (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۶) که در این مطالعه نیز این موضوع در مورد ارتفاع بوته لوبیاچیتی تأیید شد. در بین ارقام نیز رقم صالح دارای بیشترین ارتفاع بوته بود (جدول ۵). از آنجاکه این رقم دارای فرم بوته تیپ سه (رونده و رشد نامحدود) است افزایش ارتفاع یک خصوصیت ذاتی برای این رقم محسوب می‌شود (دری و همکاران، ۱۳۸۷).

جدول ۲- میانگین مربعات ارتفاع بوته و اجزای عملکرد و عملکرد دانه در روش‌های مختلف آبیاری لوبیاچیتی

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن ۱۰۰ دانه	عملکرد دانه
سال	1	70.01**	23.35**	2.35**	78.13**	38023.63**
تکرار * سال	4	9.85	3.85	4.76	38.79	1340.93
آبیاری	3	308.90**	23.72**	6.72**	11.75**	14774.43**
آبیاری * سال	3	0.13 ^{ns}	1.31 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.01 ^{ns}	44.56 ^{ns}
تکرار * آبیاری * سال	12	54.42	0.70	0.41	1.11	474.98
رقم	2	54.18**	1.76 ^{ns}	0.43 ^{ns}	2.79 ^{ns}	9040.90**
رقم * سال	6	0.18 ^{ns}	4.76**	0.01 ^{ns}	2.04 ^{ns}	18.13 ^{ns}
آبیاری * رقم	2	2.13 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.25 ^{ns}	1422.17 ^{ns}
آبیاری * رقم * سال	6	0.24 ^{ns}	0.45 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.10 ^{ns}	3.19 ^{ns}
خطای آزمایشی	32	8.60	0.51	0.15	1.55	628.02
ضریب تغییرات		5.07	9.68	7.87	3.28	9.72

^{ns}، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سال بر اجزای عملکرد و عملکرد لوبیاچیتی

سال	ارتفاع بوته (cm)	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن ۱۰۰ دانه (گرم)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)
1401	56.8b	6.8b	4.6b	36.8b	234.7
1402	58.8a	8.0a	5.0a	38.9a	280.6a

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر آبیاری بر اجزای عملکرد و عملکرد لوبیاچیتی

روش آبیاری	ارتفاع بوته (cm)	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن ۱۰۰ دانه (گرم)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)
قطره‌ای	62.4a	9.0a	5.7a	39.1a	296.9a
رین فلت	57.4b	7.3b	4.9b	37.6b	256.7b
نیوفیت	59.1b	7.1b	4.6c	37.6b	248.4b
بارانی	52.4c	6.3c	4.2d	37.2b	228.7c

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر رقم بر اجزای عملکرد و عملکرد لوبیاچیتی

رقم	ارتفاع بوته (cm)	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن ۱۰۰ دانه (گرم)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)
KS21492	41.4c	7.8a	4.8a	37.6a	262.6a
کوشا	61.1b	7.8a	5.0a	38.3a	274.1a
صالح	70.9a	7.7a	4.8a	37.8a	236.3c

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است

نتایج جدول تجزیه واریانس اجزای عملکرد سه رقم لوبیاچیتی در پژوهش حاضر نشان داد که اثر روش آبیاری بر تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه معنی‌دار و نیز عملکرد دانه بود (جدول ۲). در هر سه پارامتر تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه لوبیاچیتی بیشترین میزان مربوط به روش آبیاری قطره‌ای بود و بعد از آن به ترتیب روش‌های آبیاری رین فلت، نیوفیت و بارانی قرار گرفتند (جدول ۴). عملکرد ضعیف روش آبیاری بارانی به دلیل عدم یکنواختی توزیع آب در روش‌های پاششی آبیاری است. این مسئله به خصوص در مناطق بادخیز دارای مشکلات بیشتری است و سبب می‌گردد ویژگی‌های رشدی دچار کاهش عملکرد در محصولات زراعی گردند (گودرزی و هدایتی‌پور، ۱۳۹۸).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل آبیاری در رقم بر عملکرد دانه لوبیاچیتی معنی‌دار نبود ولی اثرات اصلی (ساده) آبیاری و رقم بر این ویژگی معنی‌دار شدند (جدول ۲). (جدول ۲). در بین روش‌های مختلف آبیاری تیمار آبیاری قطره‌ای بیشترین عملکرد دانه (۲۹۶/۹ گرم در مترمربع) را به خود اختصاص داد و کمترین مقدار این ویژگی (۲۲۸/۷ گرم در مترمربع) متعلق به تیمار روش آبیاری بارانی کلاسیک بود (جدول ۴) که میزان این

ویژگی‌ها را نسبت به آبیاری قطره‌ای ۲۳ درصد کاهش داد. با توجه به کاهش اجزای عملکرد در آبیاری بارانی کلاسیک کاهش عملکرد دانه نیز طبیعی است. از دلایل با اهمیت در بهبود عملکرد دانه مدیریت آبیاری و تغذیه راحت‌تر و بهتر در آبیاری قطره‌ای است (صفرزاده و همکاران، ۱۴۰۰). در بین ارقام نیز رقم کوشا بیشترین عملکرد دانه (۲۷۴/۱ گرم در مترمربع) را داشت که البته از این نظر اختلاف معنی‌داری با لاین امیدبخش KS21492 نداشت. رقم صالح دارای کمترین میزان عملکرد دانه بود (جدول ۵).

با توجه به شکل ۲ بیشترین مصرف آب (۱۲۵۰۰ مترمکعب در هکتار) متعلق به آبیاری بارانی کلاسیک بود و مصرف آب آبیاری بارانی کلاسیک به آبیاری نیوفیت و رین فلت دارای شیب نزولی بود و در روش آبیاری قطره‌ای به کمترین حد خود رسید بطوریکه متوسط مصرف آب در این روش ۶۶۰۰ مترمکعب در هکتار به دست آمد. علاوه بر بالاتر بودن راندمان آبیاری در روش قطره‌ای، با توجه به اینکه در روش آبیاری قطره‌ای، فقط بخشی از زمین (عرض پشته‌ها) آبیاری می‌شود و روش کشت به صورت جوی و پشته است، ولی در روش بارانی کل سطح مزرعه به عنوان سطح مورد نیاز برای تأمین رطوبت تعیین شد لذا حجم آبیاری بیشتری در روش‌های بارانی استفاده شده است. در مطالعات دیگر نیز مزیت کاهش مصرف آب در سامانه

آبیاری قطره‌ای مورد اشاره قرار گرفته است (جعفری و همکاران، ۱۳۹۶؛ سیدان و قدمی فیروزآبادی، ۱۳۹۹). همان‌طور که اشاره شد آبیاری قطره‌ای نواری در کاشت لوبیا علاوه بر جنبه‌های مثبت افزایش عملکرد به کاهش بیشتر مصرف آب کمک شایانی خواهد نمود اما هزینه

سالانه خرید و پهن کردن نوارهای آبیاری (تیپ) برای کشاورز سنگین خواهد بود. در روش بارانی کلاسیک با وجود افزایش نسبی مصرف آب، هزینه اولیه سالیانه آبیاری برای کشاورز به‌اندازه روش قطره‌ای نواری نخواهد بود.



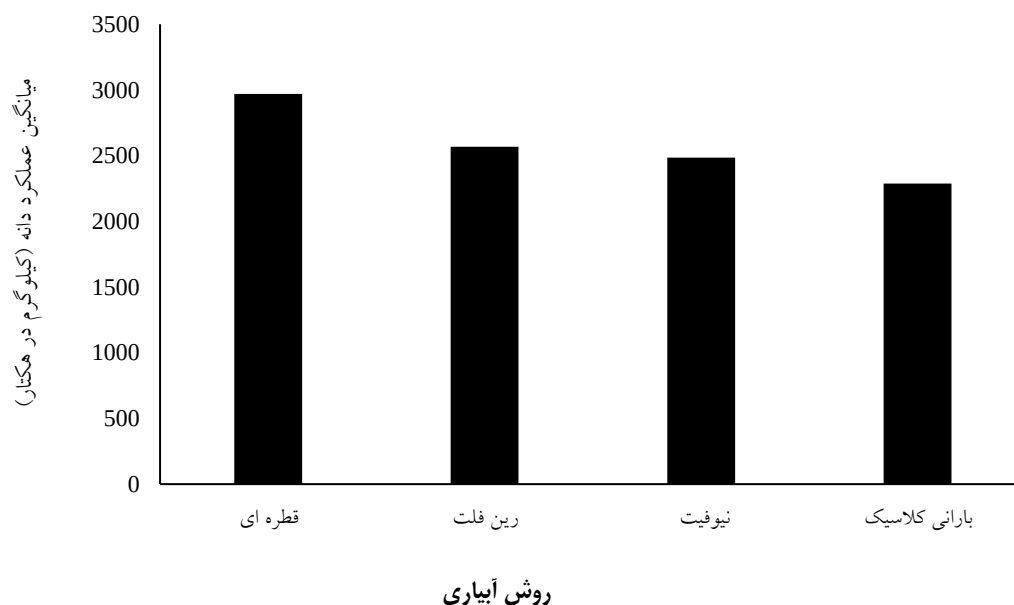
شکل ۲- میزان مصرف آب در روش‌های مختلف آبیاری لوبیاچیتی

یکی از شاخص‌های مهم در بررسی مصرف آب در حوزه کشاورزی تعیین کارایی مصرف آب است. از آنجاکه این شاخص حاصل تقسیم عملکرد اقتصادی (که در لوبیا عملکرد دانه است) بر میزان آب مصرفی است (فن و همکاران، ۲۰۱۶)، افزایش مصرف آب (شکل ۲) و کاهش عملکرد دانه (جدول ۴) در روش آبیاری بارانی کلاسیک باعث شد که در این روش کمترین کارایی مصرف آب به دست آید (شکل ۴). از طرف دیگر در آبیاری قطره‌ای این موضوع کاملاً برعکس بود (۰/۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب) (شکل ۴). به‌طوری‌که روش آبیاری قطره‌ای سبب افزایش حدود ۶۰، ۵۱ و ۴۸ درصدی کارایی مصرف آب به‌ترتیب نسبت به روش‌های آبیاری بارانی کلاسیک، نیوفیت و رین فلت شد. بر اساس نتایج بدست آمده، بیشتر بودن عملکرد محصول در روش آبیاری قطره‌ای تیپ به دلیل مزایای متعدد از جمله توزیع بهتر رطوبت و مواد غذایی، کمتر بودن

عوامل بیماری‌زا، علف هرز کمتر و عدم تشکیل سله در سطح خاک بوده است. در مطالعه جعفری و همکاران (۱۳۹۶) و سیدان و قدمی فیروزآبادی (۱۳۹۹) روی محصول سیب‌زمینی گزارش شد که در آبیاری قطره‌ای کارایی مصرف آب بیش از روش آبیاری بارانی کلاسیک بود. در سویا و پنبه نیز گزارش شد که آبیاری قطره‌ای قادر به افزایش کارایی مصرف آب است (اوسپانایف، ۲۰۱۷؛ ایبراگیموف و همکاران، ۲۰۰۷). جعفری و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه روی مقایسه کارایی مصرف آب در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی کلاسیک در محصول سیب‌زمینی در استان همدان اشاره کردند که عملکرد محصول زراعی در آبیاری قطره‌ای بیش از بارانی کلاسیک است. در تحقیق دیگر تأیید شد که عملکرد سیب‌زمینی در سامانه آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری بارانی کلاسیک بهبود یافت (سیدان و قدمی فیروزآبادی، ۱۳۹۹). ارزیابی

افزایش معنی دار عملکرد دانه این محصول شد (حسینیان و همکاران، ۱۳۹۵).

سامانه های آبیاری قطره ای و بارانی کلاسیک از لحاظ شاخص های اقتصادی کارایی آب در جنوب فرانسه در ذرت دانه ای نیز مشخص ساخت که آبیاری قطره ای سبب



شکل ۳- میزان میانگین عملکرد ارقام لوبیاچیتی در روش های مختلف آبیاری



شکل ۴- میزان کارایی مصرف آب در کشت لوبیاچیتی در روش های مختلف آبیاری

نیازمند متوسط روزهای کمتری برای جوانه زنی بذور بود (جدول ۷) که شاید بتوان تا حدودی گرمای بیشتر هوا را دلیلی برای این امر دانست؛ اما در بین روش های آبیاری کمترین و بیشترین تعداد روز تا جوانه زنی به ترتیب متعلق

تجزیه واریانس داده های ویژگی روز تا جوانه زنی نشان داد که اثر سال و روش آبیاری در سطح یک درصد بر این صفت معنی دار بودند ولی این صفت تحت تأثیر اثر ارقام لوبیاچیتی قرار نگرفت (جدول ۶). سال دوم آزمایش

به روش‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی کلاسیک بود (جدول ۸). احتمالاً دلیل اصلی کاهش تعداد روز تا جوانه‌زنی در آبیاری قطره‌ای (و همچنین تا حدودی) نیوفیت فشردگی کمتر خاک در این دو روش بود. در واقع بر اثر ضربه شدید قطرات آب در دو سامانه آبیاری بارانی کلاسیک و تا حدودی نیوفیت ایجاد سله و تا حدودی فشردگی خاک زیاد شد (شریفی و جواد، ۱۳۹۵). از آنجاکه لوبیا گیاهی است که در طی جوانه‌زنی لپه‌های آن به بیرون از خاک می‌آیند (برون‌زمینی) به شدت به سله خاک حساس است (مجنون حسینی، ۱۳۸۷) و در محل‌های با خاک رسی مانند محل اجرای این مطالعه با مشکل مواجه می‌گردد که این موضوع در روش‌های آبیاری غیر قطره‌ای حادث‌تر است. با

توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۶) در دو صفت تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی نیز اثرات سال، روش آبیاری و رقم معنی‌دار بودند. تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی نیز مانند تعداد روز تا جوانه‌زنی در سال دوم آزمایش کمتر بود که احتمالاً جوانه‌زنی سریع‌تر منجر به کاهش طول دوره رشد در سال دوم آزمایش شد (جدول ۷). همچنین در بین روش‌های مختلف آبیاری نیز هر سه ویژگی روز تا جوانه‌زنی، گل‌دهی و رسیدگی در آبیاری قطره‌ای کمتر از سایر روش‌های آبیاری بود (جدول ۸). در بین ارقام نیز رقم صالح کوتاه‌ترین طول دوره رشد تا گل‌دهی و رسیدگی را داشت (جدول ۹).

جدول ۶- میانگین مربعات برخی ویژگی‌های رشدی و فنولوژیکی در روش‌های مختلف آبیاری لوبیاچیتی

منابع تغییرات	درجه آزادی	روز تا جوانه‌زنی	روز تا گلدهی	روز تا رسیدگی
سال	1	30.68**	80.22**	78.13**
تکرار * سال	4	0.60	1.79	1.76
آبیاری	3	121.83**	273.22**	269.50**
آبیاری * سال	3	1.01 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.16 ^{ns}
تکرار * آبیاری * سال	12	0.23	0.44	1.00
رقم	2	0.68 ^{ns}	40.04**	37.18**
رقم * سال	6	0.01 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.29 ^{ns}
آبیاری * رقم	2	0.27 ^{ns}	4.21 ^{ns}	4.00 ^{ns}
آبیاری * رقم * سال	6	0.01 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.11 ^{ns}
خطای آزمایشی	32	0.47	2.13	3.26
ضریب تغییرات		7.04	30.3	1.65

^{ns}، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر سال بر برخی ویژگی‌های رشدی و فنولوژیکی لوبیاچیتی

سال	روز تا جوانه‌زنی	روز تا گلدهی	روز تا رسیدگی
1401	10.3a	49.2a	110.2a
1402	9.0b	47.1b	108.1b

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر آبیاری بر برخی ویژگی‌های رشدی و فنولوژیکی لوبیاچیتی

روش آبیاری	روز تا جوانه‌زنی	روز تا گلدهی	روز تا رسیدگی
قطره‌ای	6.2d	42.6c	103.6c
رین فلت	9.3c	48.9b	109.9b
نیوفیت	11.4b	49.7b	110.7b
بارانی	11.9a	51.5a	112.5a

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر رقم بر برخی ویژگی‌های رشدی و فنولوژیکی لوبیاجیتی

رقم	روز تا جوانه‌زنی	روز تا گلدهی	روز تا رسیدگی
KS21492	9.7a	49.6a	110.6a
کوشا	9.8a	47.7b	108.8b
صالح	9.5a	47.2b	108.2b

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به ارزیابی و تعیین میزان و کارایی مصرف آب و عملکرد دانه لوبیاجیتی در روش‌های نوین آبیاری پرداخته شد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر آبیاری قطره‌ای سبب کاهش طول دوره رشد از جوانه‌زنی تا گلدهی و سپس رسیدگی گردید. همچنین، اجزای عملکرد و عملکرد دانه لوبیاجیتی در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به روش‌های آبیاری بارانی کلاسیک، نیوفیت و رین فلت افزایش مناسب و معنی‌داری نشان داد. استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای نواری به‌جای سامانه آبیاری بارانی علاوه بر کاهش آب مصرفی می‌تواند باعث افزایش عملکرد محصول و کارایی مصرف آب گردد. در صورت عدم امکان استفاده از سامانه آبیاری تیپ، سامانه آبیاری رین فلت به دلیل مزایای متعدد از جمله کارایی مصرف آب بالا، بهترین گزینه برای محصول لوبیا است. این در حالی است که بیشترین مصرف آب و کمترین عملکرد دانه در روش آبیاری بارانی کلاسیک به دست آید و با توجه به استفاده گسترده از این روش در کشت لوبیا، پیشنهاد می‌شود در صورت پیشنهاد

استفاده از سامانه آبیاری بارانی کلاسیک روش آبیاری نیوفیت و رین فلت جایگزین روش کلاسیک گردد. البته استفاده از این نوع سامانه‌های آبیاری، نیاز به مدیریت در آماده‌سازی زمین، مدیریت مزرعه و بهره‌برداری و نگهداری دارد.

تشکر و قدردانی

این مقاله از پروژه مصوب با کد ۰۱۰۰۱-۰۰۱-۰۳۱۴-۶۱-۳ در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی استخراج شده است. بدینوسیله از تمام عزیزانی که در تصویب و اجرای این پروژه ما را یاری رساندند تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید نویسندگان مقاله است.

فهرست منابع

۱. جعفری، علی‌محمد، سلطانی، هرمز، رضوانی، معین‌الدین، و قدمی فیروزآبادی، علی، ۱۳۹۶. ارزیابی و مقایسه اقتصادی سامانه‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای در زراعت سیب‌زمینی در استان همدان. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۱(۲)، صص. ۱۹۵-۲۰۵. <https://doi.org/10.22092/jwra.2017.113163>
۲. حسینیان، صغری، خالدیان، محمدحسین، و معتمد، محمدکریم، ۱۳۹۵. ارزیابی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی از لحاظ شاخص‌های اقتصادی بهره‌وری آب در جنوب فرانسه. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۰(۲)، صص. ۲۱۵-۲۲۶. <https://doi.org/10.22092/jwra.2016.106645>
۳. دری، حمیدرضا، قنبری، علی اکبر، لک، محمدرضا، و بنی‌جمالی، محمد، ۱۳۸۷. راهنمای لوبیا (کاشت، داشت و برداشت). انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. ۱۲۴ صفحه.

۴. رضایی استخروویه، عباس، صداقت، مرضیه، عرب‌زاده، بهروز، و سیاری، نسرین، ۱۳۹۵. تأثیر روش‌های نوین آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه برنج (رقم شیروودی)، مدیریت آب و آبیاری، ۶ (۲)، صص. ۱۹۳-۲۰۴.
<https://doi.org/10.22059/jwim.2017.63779>
۵. سلیمانی‌پور، احمد، باقری، ابوالقاسم، و واثقی، الهه، ۱۳۹۰. ارزیابی اقتصادی روش‌های آبیاری و تأثیر آن بر عملکرد ارقام سیب‌زمینی در استان اصفهان. *تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۳ (۹)، صص. ۱۶۴-۱۴۳.
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.20086407.1390.3.9.8.3>
۶. سیدان، محسن، و قدمی‌فیروزآبادی، علی، ۱۳۹۹. مقایسه بهره‌وری مصرف آب در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی در محصول سیب‌زمینی در استان همدان، *مجله ترویجی علوم کاربردی سیب‌زمینی*، ۳ (۱)، صص. ۲۴-۱۷.
۷. شریفی، احمد، و جوادی، ارژنگ، ۱۳۹۵. فشردگی خاک: مشکل‌ها، راه حل‌ها و روش‌های اندازه‌گیری. *نشریه فنی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی*، ۳۲ صفحه. شماره ۴۹۷۶۱.
۸. شلالوند، مرتضی، و نیک‌سیرت، حسام، ۱۳۹۶. بررسی روش‌های مختلف آبیاری، مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی ماریتیغال، سومین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه. کرج، موسسه تحقیقات خاک و آب.
۹. صفرزاده، سیروس، صارمی، مرین، فرشید، امیر، و دهقانی، منیر، ۱۴۰۰. بررسی عملکرد، اجزاء عملکرد و بهره‌وری آب گندم در سه سامانه آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای نواری، آبیاری و زهکشی ایران، ۱۵ (۱)، ۹۷-۸۷.
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1400.15.1.8.8>
۱۰. طباطبایی، مهسا، قیصری، مهدی، عابدی‌کوپایی، جهانگیر، و امیری، زهرا، ۱۳۹۶. مقایسه عملکرد ذرت علوفه‌ای تحت مدیریت آبیاری قطره‌ای نواری و بارانی، پنجمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی و سومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، اهواز.
۱۱. کوچکی، علیرضا، و بنایان، محمد، ۱۳۸۸. زراعت حبوبات، جهاد دانشگاهی مشهد، ۲۳۶ صفحه.
۱۲. گرجی، علی، افشاراصل، محمد، دشتی‌زاده، رویا، و تسبندی، مرتضی، ۱۳۹۶. اثربخشی سامانه‌های نوین آبیاری در مصرف انرژی - مطالعه موردی: شهرستان ابرکوه یزد، سومین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه. کرج. موسسه تحقیقات خاک و آب.
۱۳. گودرزی، مصطفی، و هدایتی‌پور، ابوالفضل، ۱۳۹۸. مدیریت مصرف آب لوبیا، *نشریه فنی، موسسه تحقیقات آب‌و خاک، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی*، شماره ۵۶۸۷۷.
۱۴. لک، محمدرضا، ۱۳۹۸. روش‌های ارزیابی مقاومت ارقام و الیت‌های لوبیا نسبت به آفات و بیماری‌های مهم آن، گزارش نهایی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
۱۵. مجنون حسینی، ناصر، ۱۳۸۷. زراعت و تولید حبوبات، انتشارات جهاد دانشگاهی تهران. ۲۸۴ صفحه.
۱۶. نیکبخت جهرمی، نجمه، هادی‌زاده، منصور، و میرابوالقاسمی، هادی، ۱۳۹۶. بررسی راهکارهای اجرایی برای تبدیل سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک به آبیاری موضعی با نوارهای آبیاری، سومین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه، کرج، موسسه تحقیقات خاک و آب.
17. Fan, J., Lu, X., Gu, S. and Guo, X., 2020. Improving nutrient and water use efficiencies using water-drip irrigation and fertilization technology in Northeast China. *Agricultural Water Management*, 241, pp. 106352. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106352>.

18. Fan, Z., An, T., Wu, K., Zhou, F., Zi, S., Yang, Y., Xue, G. and Wu, B., 2016. Effects of intercropping of maize and potato on sloping land on the water balance and surface runoff. *Agriculture Water Management*, 166, pp. 9–16.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.12.006>.
19. Ibragimov, N., Evett, S. R., Esanbekov, Y., Kamilov, B. S., Mirzaev, L. and Lamers, J. P., 2007. Water use efficiency of irrigated cotton in Uzbekistan under drip and furrow irrigation. *Agricultural water management*, 90(1-2), pp. 112-120.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.01.016>.
20. Kandongo, H., 2018. Comparing efficiencies of flood and drip irrigation methods in onion production under farmer's production conditions in Omusati region, Namibia (Doctoral dissertation, University of Namibia).
21. Koech, R. and Langat, P., 2018. Improving irrigation water use efficiency: A review of advances, challenges and opportunities in the Australian context. *Water*, 10(12), pp. 1771.
<http://dx.doi.org/10.3390/w10121771>
22. Ospanbayev, Z. O., Kurmanbayeva, M. S., Abdukadirova, Z. A., Doszhanova, A. S., Nazarbekova, S. T., Inelova, Z. A., Ablaihanova, N. T., Kenenbayev, S. B. and Musina, A. S., 2017. Water use efficiency of rice and soybean under drip irrigation with mulch in the south-east of Kazakhstan. *Applied Ecology & Environmental Research*, 15(4), pp. 1581-1603. **http://dx.doi.org/10.15666/aer/1504_15811603.**

تأثیر روش‌های مختلف آبیاری و آرایش کاشت بر عملکرد و بهره‌وری آب کنگد

میثم عابدین‌پور* و محمدحسین رزاقی

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، گرگان، ایران. abedinpour_meysam@yahoo.com

محقق بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

گرگان، ایران. razzaghi_mh@yahoo.com

دریافت: آبان ۱۴۰۲ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۳

چکیده

کنجد گیاهی سازگار با شرایط نیمه خشک و متحمل به تنش آبی است و مدیریت صحیح آبیاری نقش بسزایی در افزایش کمیت و کیفیت دانه کنگد دارد. این پژوهش به منظور بررسی تأثیر روش‌های آبیاری بر حجم آب کاربردی و آرایش کاشت برای دستیابی به عملکرد مطلوب و بهره‌وری آب کنگد به صورت بلوک‌های کامل تصادفی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی عراقی محله گرگان اجرا شد. تیمارها شامل سه روش آبیاری (بارانی، قطره‌ای نواری و سطحی) به همراه سه آرایش کاشت بر بستر بلند^۱ (۲ ردیف کاشت روی بستر بلند به عرض ۵۰ سانتی متر، یک ردیف کاشت روی پشته به عرض ۵۰ سانتی متر و یک ردیف کاشت با فواصل ۵۰ سانتی متر بر بستر مسطح) در نظر گرفته شد. نتایج دو ساله آزمایش ۱۴۰۱-۱۴۰۰ نشان داد که حداکثر عملکرد دانه در روش آبیاری قطره‌ای نواری و روش کاشت روی پشته و کمترین عملکرد دانه در آبیاری سطحی با روش کاشت مسطح به ترتیب به میزان ۱۳۰۵ و ۷۳۵ کیلوگرم در هکتار بود. متوسط مقدار آب کاربردی برای روش آبیاری قطره‌ای نواری حدود ۴۱۸۰ مترمکعب در هکتار و مقدار آب کاربردی برای روش‌های آبیاری بارانی و سطحی به ترتیب حدود ۴۶۷۵ و ۵۹۳۰ مترمکعب در هکتار اندازه گیری شد. حداکثر بهره‌وری آب در روش آبیاری قطره‌ای نواری و روش کاشت روی پشته به ترتیب به میزان ۰/۳۱ و ۰/۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب آب بود. در مجموع، با هدف دستیابی به حداکثر عملکرد دانه و بهره‌وری آب با حداقل مصرف آب، روش آبیاری قطره‌ای نواری و کاشت روی پشته برای کنگد توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آب کاربردی، آبیاری تحت فشار، بستر بلند

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: abedinpour_meysam@yahoo.com

مقدمه

دانه‌های روغنی جهت تغذیه انسان و دام از اهمیت زیادی برخوردار هستند به‌طوری‌که روغن فراوری شده این گیاهان، به لحاظ اهمیت در ترکیب مواد غذایی، جزء مواد اولیه و اساسی هر کشور محسوب می‌گردد (ناصری ۱۳۷۰). کنگد (*Sesamum indicum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی است که به دلیل محتوای بالای کیفیت مناسب روغن موجود در دانه آن (۴۷-۵۲ درصد) و نقش مهمی که در سلامت انسان دارد (میزان کم کلسترول و وجود برخی آنتی‌اکسیدان‌ها)، جایگاه ویژه‌ای را در بین سایر دانه‌های روغنی به خود اختصاص داده است (کساب و همکاران ۲۰۰۵، هیباسامی و همکاران ۲۰۰۰ و میاهارا و همکاران ۲۰۰۱).

در کشور ایران، سطح زیر کشت کنگد مطابق آمار سال ۱۳۹۸ حدود ۵۱۶۱۰ هکتار است که حدود ۷۷ درصد آن به کشت آبی (۳۹۸۱۴ هکتار) و ۲۳ درصد (۱۱۷۹۶ هکتار) به کشت دیم اختصاص یافته است. میزان کل دانه کنگد تولید شده از سطح کل حدود ۴۲۸۵۳ تن است که سهم اراضی آبی و دیم در تولید کنگد به ترتیب ۹۵/۴ درصد (۴۰۹۱۰ تن) و ۶/۴ درصد (۱۹۴۳ تن) است. نکته قابل توجه آنکه متوسط عملکرد کنگد در اراضی آبی کشور حدود ۱۰۲۸ کیلوگرم در هکتار درحالی‌که این مقدار در اراضی دیم به ۱۶۵ کیلوگرم در هکتار می‌رسد (آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۹)؛ بنابراین نقش و اهمیت آبیاری در کشت و تولید پایدار کنگد با توجه به نیاز کشور به روغن بسیار پررنگ و حیاتی است.

استان گلستان با سطح زیر کشت حدود ۱۲۳۱ هکتار (۱۰۰ درصد کشت آبی) رتبه هفتم کشت کنگد را در کشور دارا است و از این میزان سطح زیر کشت، ۱۲۳۱ تن دانه کنگد تولید می‌شود؛ به عبارت دیگر متوسط عملکرد کنگد در استان ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار است (آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۹). پژوهش‌های متعددی در زمینه مدیریت آبیاری شامل تعیین زمان بهینه

آبیاری بر اساس درصدهای مختلف تبخیر از تشت تبخیر، دوره‌های مختلف آبیاری، اثر آبیاری در مراحل مختلف رشد کنگد و کم آبیاری در نقاط مختلف کشور انجام شده است (جعفری و همکاران، ۱۳۹۸). توزیع غیریکنواخت آب در سطح مزرعه و شیوه نادرست آبیاری و تنش آبی کنگد به‌ویژه در مرحله اولیه رشد گیاه (زمان جوانه‌زنی بذر) باعث بد سبزی بذر و کاهش سطح سبز کنگد می‌گردد. این در حالی است که توزیع یکنواخت آب و حفظ رطوبت خاک در مراحل مختلف رشد گیاه در مراحل جوانه‌زنی و گلدهی بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه کنگد دارد (پیغام زاده و همکاران، ۱۴۰۱). از سوی، رطوبت بالای خاک و آب ماندگی نیز می‌تواند خطر ابتلای به بیماری بوته میری کنگد را افزایش دهد (پیغام زاده و همکاران، ۱۴۰۱). بر این اساس، در صورت رعایت نکات فنی در اجرای روش‌های آبیاری سطحی مانند (شیب مناسب، طول بهینه، دبی ورودی و ...) و مدیریت آبیاری (مانند: عمق آب آبیاری، مدت زمان آبیاری، دور آبیاری، زمان قطع جریان و ...) منجر به توزیع یکنواخت رطوبت در خاک مزارع شده و باعث دستیابی به سطح سبز و عملکرد مطلوب می‌گردد. از طرفی روش آبیاری تحت فشار از لحاظ توزیع یکنواخت رطوبت بهتر از روش های آبیاری سطحی عمل می‌کنند (فیض نیا و همکاران، ۱۳۸۷). لذا بررسی تأثیر روش‌های آبیاری تحت فشار بر سطح سبز مطلوب‌تری را برای گیاه کنگد ایجاد خواهد نمود. هم‌چنین تعیین روش مناسب آبیاری کنگد به همراه روش کاشت مناسب مانند بستر بلند (*Raise bed*)، سطح صاف (*Flat*) و جوی و پشته (*Furrow*) نیز می‌تواند بر میزان سطح سبز مطلوب و عملکرد کنگد اثربخش باشد. بنابراین، تأثیر توأمان روش آبیاری مناسب و شیوه بهینه کاشت بر سطح سبز، عملکرد دانه و بهره‌وری آب می‌تواند بر تولید دانه کنگد و افزایش درآمد تولیدکنندگان در منطقه مؤثر باشد.

کعبود آب در مراحل گل‌دهی، تولید غلاف و تشکیل دانه، موجب کاهش کیفیت محصول می‌شود.

(جعفری و همکاران، ۱۳۹۸). سطح رطوبت پیش از کاشت و گل‌دهی بیشترین تأثیر را در بازدهی محصول دارد. از طرف دیگر رطوبت بالای خاک احتمال بروز بیماری بوته‌میری را افزایش می‌دهد (پیغام زاده و همکاران، ۱۴۰۱)؛ بنابراین روش آبیاری و مدیریت آن می‌تواند بر میزان سطح سبز و عملکرد دانه بسیار تأثیرگذار است. یکی از دلایل اصلی کاهش عملکرد دانه کنجد در واحد سطح کافی نبودن میزان رطوبت خاک در زمان جوانه‌زنی بذر در مرحله اولیه رشد گیاه که باعث بد سبزی بذور و کاهش سطح سبز می‌گردد (پیغام زاده و همکاران، ۱۴۰۱). از دیگر عوامل مدیریت ناصحیح آبیاری که منجر به تنش آبی یا غرقابی به‌ویژه در مراحل حساس رشد گیاه اتفاق می‌افتد (دهقانی، ۱۳۹۱). کنجد معمولاً به‌عنوان یک گیاه مقاوم به تنش آبی شناخته می‌شود به‌طوری‌که این گیاه مناسب کاشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشت است (رضوانی‌مقدم و همکاران، ۲۰۱۳). با این حال در برخی مطالعات گزارش شده است که عملکرد کنجد تحت تأثیر آبیاری قرار می‌گیرد (سرحدی ۱۳۹۸). منسا و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که تنش آبی منجر به کاهش رشد و عملکرد کنجد می‌شود. هونگ و همکاران (۱۹۸۵) دلیل کاهش عملکرد کنجد را تنش آبی در مرحله رشد رویشی عنوان کردند زیرا که تنش آبی در این مرحله از رشد می‌تواند ارتفاع بوته را تا ۵۰ درصد کاهش دهد. گزارش ال‌نعیم و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی تأثیر مقادیر مختلف آب آبیاری (۳۵۰، ۴۵۰، ۵۵۰، ۶۵۰ و ۷۵۰ میلی‌متر بر میزان عملکرد رقم‌های مختلف کنجد نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین عمق آب آبیاری ۷۵۰ میلی‌متر با تیمارهای دیگر وجود داشت، به‌طوری‌که در این تیمار حداکثر میزان عملکرد دانه، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه به دست آمد. بویداک و همکاران (۲۰۰۷) اثر روش‌های آبیاری و دوره‌های مختلف آب آبیاری را بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد را مورد مطالعه قرار دادند. این پژوهش با دو روش آبیاری (بارانی و قطره‌ای) و چهار دور آبیاری

(۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ روز) در اقلیم نیمه‌خشک در ترکیه اجرا شد. نتایج حاصله مبین افزایش تعداد کپسول‌ها در بوته و عملکرد دانه با کاهش در دور آبیاری بود. بر این اساس، حداکثر عملکرد دانه کنجد در دوره‌های آبیاری ۶ و ۱۲ روز در روش آبیاری قطره‌ای به دست آمد. رفیع و دهقانی (۱۳۹۸) تأثیر دور آبیاری در مراحل مختلف فنولوژی بر ویژگی‌های کمی و کیفی و بهره‌وری مصرف آب کنجد را به مدت دو سال در بهبهان مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اثر تیمار آبیاری بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود بطوری که حداکثر عملکرد دانه در تیمار آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر از تشت تبخیر به میزان ۱۳۸۱ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. سعیدی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند با افزایش تنش خشکی، عملکرد دانه کنجد کاهش می‌یابد. آن‌ها بیشترین عملکرد بیولوژیک را در دور آبیاری پنج روزه گزارش نمودند، پریرا و همکاران ۲۰۱۷ گزارش کردند که عملکرد پایین کنجد در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌طور عمده مربوط به مدیریت نامناسب و ایجاد تنش‌های بی‌رویه است نادیم و همکاران (۲۰۱۵) در یک آزمایش مزرعه‌ای کنجد سه رژیم آبیاری شامل دو نوبت آبیاری (در ۲۰ و ۴۰ روز بعد از کاشت)، سه نوبت آبیاری (۲۰، ۴۰ و ۶۰ روز بعد از کاشت) و چهار نوبت آبیاری (۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ روز بعد از کاشت) را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه تیمار چهار نوبت آبیاری بیشترین ارتفاع بوته (۱۰۳ سانتیمتر)، عملکرد دانه (۷۴۹ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیکی (۲۳۲۱ کیلوگرم در هکتار) را تولید نمود. جعفری و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی نشان داد که کنجد در نقاط مختلف کشور تا قبل از گلدهی حساسیت زیادی به تنش آبی ندارد و می‌توان با دور ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشت آبیاری انجام داد؛ اما با فرا رسیدن موعد گلدهی، آبیاری با این دور باعث کاهش شدید عملکرد شده و آبیاری می‌بایست بر اساس ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت صورت گیرد.

تأثیر روش و آرایش کاشت کنگد یکی از مؤثرترین مباحث به زراعی محسوب می‌گردد (غلامحسینی و همکاران، ۱۳۹۹). متأسفانه در ایران توجه زیادی بر میزان تراکم بوته کنگد و روش کاشت صورت نگرفته است درحالی‌که در کشورهای توسعه‌یافته روش کاشت جوی و پشته و تراکم دقیق مورد توجه قرار دارد (غلامحسینی و همکاران، ۱۳۹۹). انتخاب روش کاشت می‌تواند باعث بهبود جوانه‌زنی، سهولت در عملیات کاشت و کاهش بذر مصرفی، هزینه‌های کارگری و شیوع آفات و بیماری‌ها گردد (غلامحسینی و همکاران، ۱۳۹۹). از آنجایی‌که بذر کنگد ریز است، لذا کاشت آن در بستر نامناسب خاک (غرقاب، سله بستن و خشک) باعث کاهش شدید سطح سبز آن می‌گردد (مون پارا و همکاران، ۲۰۱۶). در این ارتباط، آزمایشی در سال ۱۳۹۵ برای تعیین بهترین آرایش کاشت برای ارقام مختلف کنگد در کرج انجام شد. در این آزمایش، آرایش‌های مختلف کاشت در سه سطح شامل کشت یک، دو و سه ردیف بر روی پشته با الگوی ۶۰×۴، ۳۰×۸ و ۲۰×۱۲ سانتی‌متر (فاصله بین ردیف‌ها × فاصله بوته‌ها روی ردیف) و بر صفات کمی و کیفی شش رقم کنگد مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین عملکرد دانه از دو تیمار کاشت یک و دو ردیف روی پشته به ترتیب با عملکرد ۱۰۰۰ و ۱۰۹۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (غلامحسینی و همکاران، ۱۳۹۹).

از آنجایی‌که عملکرد کنگد تحت تأثیر شرایط محیطی از جمله رطوبت خاک قرار می‌گیرد، درک ارتباط بین گیاه و مصرف آب و توسعه روش‌های مبتنی بر این دانش می‌تواند جهت دستیابی به حداکثر محصول مفید باشد (سرحدی، ۱۳۹۸).

با توجه به اینکه تأثیر روش‌های آبیاری بر عملکرد کنگد و اثر متقابل آن با روش‌های کاشت تاکنون به‌اندازه کافی بررسی نشده‌اند، این پژوهش با هدف تعیین سطح پاسخ کنگد به استفاده از آب آبیاری و روش کاشت بر عملکرد و بهره‌وری آب تحت شرایط مزرعه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل آزمایش

این آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی عراقی محله گرگان با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا پنج متر به مدت دو سال زراعی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ انجام شد.

خصوصیات خاک: بافت خاک محل انجام آزمایش، رسی سیلتی است و سرعت نفوذ نهایی آب در خاک حدود ۳/۱۳ میلی‌متر بر ساعت است. برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام پژوهش

بافت خاک	رس	سیلت درصد	شن	فسفر mg/kg	پتاس mg/kg	نیترژن %	کربن آلی %	pH	EC (dS/m)
رسی سیلتی	33	46	21	13	275	0.15	1.8	6.9	0.8

هدایت الکتریکی EC;

کیفیت آب

با توجه به جدول ۲ برخی از خصوصیات کیفی آب چاه محل آزمایش و نمودار ویل کاکس (تعیین

کیفیت آب آبیاری بر اساس هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم (SAR)، آب مورد استفاده در این آزمایش جزو کلاس C₁S₁ و خیلی خوب طبقه‌بندی می‌گردد.

جدول ۲- مشخصات کیفی آب آبیاری

EC (dS/m)	pH	کاتیون‌ها (میلی اکی والان بر لیتر)				آنیون‌ها (میلی اکی والان بر لیتر)			SAR
		سدیم	منیزیم	کلسیم	پتاسیم	کلر	سولفات	کربنات و بی‌کربنات	
0.85	7.3	2.19	2.43	2.14	0.1	1.32	2.78	2.7	1.45

نسبت جذب سدیم: SAR

تیمارهای آزمایشی

این آزمایش به صورت بلوک کامل تصادفی با دو عامل روش آبیاری (I_1, I_2, I_3) و روش کاشت (C_1, C_2, C_3) اجرا می شود. تیمارهای اصلی آزمایش شامل: I_1 : روش آبیاری قطره‌ای نواری یا تیپ، I_2 : روش آبیاری بارانی، I_3 : روش آبیاری جوی و پشته، C_1 : ۲ ردیف کاشت بر بستر بلند به عرض ۷۵ سانتی‌متر، C_2 : ۱ ردیف کاشت روی سطح صاف (flat) با فواصل ۵۰ سانتی‌متر و C_3 : ۱ ردیف کاشت روی پشته به عرض ۵۰ سانتی‌متر بود.

عملیات کاشت، داشت و برداشت

در این آزمایش عملیات کاشت و داشت و برداشت مطابق دستورالعمل‌های موجود کاشت و داشت و برداشت گیاه کنجد در گرگان انجام شد، ابتدا بذور توسط بنومیل دو در هزار ضد عفونی گردید. برای عملیات کاشت ابتدا، بستر کاشت بعد از کشت با قلا دو بار دیسک زده شد و کاملاً نرم، یکنواخت و تسطیح گردید. برای مبارزه با علف‌های هرز قبل از کاشت از ترفلان به نسبت دو لیتر در هکتار استفاده شد که توسط دیسک با خاک مخلوط گردید. کودهای شیمیایی فسفات آمونیم و سولفات پتاسیم به ترتیب به میزان ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به علاوه ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره نیز به خاک اضافه گردید. مبارزه مکانیکی و شیمیایی با علف‌های هرز صورت گرفت. تراکم کاشت برای همه کرت‌های آزمایشی به صورت یکسان (۴۰ بوته در مترمربع) و بر اساس نقشه طرح و تیمارهای آرایش کاشت اجرا شد. برنامه‌ریزی آبیاری برای روش‌های آبیاری سطحی و بارانی بر اساس تبخیر تجمعی از تشت تبخیر به میزان ۹۰ میلی‌متر و با در نظر گرفتن راندمان

کاربرد هر یک از روش‌های آبیاری (بارانی ۸۰ و سطحی ۶۰ در صد) صورت گرفت. هم‌چنین، برای جلوگیری از تلفات آب به صورت نفوذ عمقی در روش آبیاری قطره‌ای که به طور معمول با دور آبیاری کمتر از سه روز در نظر گرفته شد و مقدار آب آبیاری بر اساس میزان تبخیر تجمعی از تشت در همان بازه زمانی (سه روز) و با در نظر گرفتن راندمان کاربرد ۹۰ درصد اعمال شد.

روش آبیاری

در این پژوهش از روش آبیاری کلاسیک ثابت با آبپاش‌های تنظیم شونده، آبیاری قطره‌ای نواری و آبیاری سطحی فارو استفاده شد. هم‌چنین، برای اندازه‌گیری حجم آب کاربردی هر یک از روش‌های آبیاری از کتورهای حجمی استفاده شد.

برنامه‌ریزی آبیاری

با استفاده از تشت تبخیر به علت سادگی و قابل اطمینان بودن، کاربرد زیادی در برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان دارد استفاده شد. بر این اساس میزان تبخیر و تعرق مرجع توسط داده‌های حاصل از تشت تبخیر محاسبه شد، سپس مقادیر تبخیر و تعرق استاندارد گیاه (ETC) تعیین شد.

تجزیه و تحلیل آماری: آنالیز داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تبخیر و تعرق استاندارد و نیاز خالص آبیاری کنجد

با استفاده از نرم‌افزار تعیین نیاز آبی گیاهان (CropWat 8.0)، نیاز آبی گیاه کنجد در کل فصل

رشد بر مبنای داده‌های هواشناسی سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب حدود ۴۸۳ و ۴۷۸ میلی‌متر تعیین گردید، به‌طوری که میانگین نیاز خالص آبیاری دو سال حدود ۴۱۰ میلی‌متر به دست آمد (جدول ۳).

جدول ۳- برآورد نیاز آبی خالص گیاه کنگد بر مبنای داده‌های هواشناسی سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

ماه	تبخیر تعرق مرجع ET _o		ضریب گیاهی (K _C)	تبخیر و تعرق استاندارد ET _c		بارش کل		بارش مؤثر		نیاز خالص آب آبیاری	
	سال			سال		سال		سال		سال	
	1401	1400		1401	1400	1401	1400	1401	1400	1401	1400
تیر	208	207	0.4	83	83.2	28	20	22	16	61	67
مرداد	204	209	0.8	167	163	1.6	8	1.3	6.4	166	156
شهریور	164	166	1.1	183	180	3.8	5.1	3.0	4.0	180	176
مهر	104	100	0.8	50	52	58.2	50.2	47	40	3	12
فصل رشد	680	669	-	483	478	92	83.3	74	30.4	410	411

○ واحدهای مربوط به تبخیر و تعرق، نیاز خالص آبیاری و بارش بر حسب میلی‌متر است

این در حالی است که میزان نیاز آبی (ET_c) و نیاز خالص آب آبیاری کنگد بر اساس داده‌های متوسط ۱۵ ساله هواشناسی منطقه گرگان به ترتیب برابر ۴۵۴ و ۳۴۸ میلی‌متر (۳۴۸۰ مترمکعب در هکتار) گزارش شده است (کیانی، ۱۳۹۸). از طرف دیگر، بر اساس داده‌های سامانه مرجع تعیین نیاز آبی گیاهان (نیاز آب) در منطقه گرگان و تاریخ کاشت یکم تیرماه سال ۱۴۰۰ الی ۱۴۰۱، میزان ET_o, ET_c و نیاز خالص آب آبیاری به ترتیب حدود ۶۰۶/۱۳، ۴۲۳/۴۳ و ۴۰۸/۲ میلی‌متر برآورد شد. با مقایسه نیاز آبیاری کنگد مندرج در جدول ۳ (۴۱۰ میلی‌متر) و نتایج سامانه نیاز آب (۴۰۸ میلی‌متر) مشخص می‌شود که هر دو روش نتایج مشابهی دارند. اختلاف موجود در این است که سامانه نیاز آب طول دوره رشد کنگد را تا دهه دوم مهرماه برآورد نموده درحالی‌که در پژوهش حاضر دوره رشد را تا انتهای مهرماه در نظر گرفته است.

نتایج تجزیه آماری تیمارها بر عملکرد دانه کنگد
بر اساس نتایج مندرج در جدول ۴ در دو سال آزمایش مزرعهای اثر روش‌های آبیاری و کشت کنگد بر عملکرد دانه کنگد در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری را نشان می‌دهد. حداکثر میزان میانگین عملکرد دانه کنگد در دو سال آزمایش در تیمار مربوط به آبیاری قطره‌ای نواری و کاشت روی پشته مشاهده شد. حداقل میزان میانگین عملکرد دانه کنگد در دو سال آزمایش در تیمار مربوط به آبیاری سطحی و کاشت مسطح مشاهده شد. بر این اساس، به‌طور میانگین در هر دو سال آزمایش حداکثر و حداقل میزان عملکرد دانه کنگد به ترتیب حدود ۱۳۰۵ و ۷۳۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. این نتایج نشان می‌دهد که اثر توأمان روش آبیاری و کاشت مناسب کنگد می‌تواند عملکرد دانه را تا حدود ۷۸ درصد افزایش دهد، درحالی‌که میزان آب کمتری حدود ۲۱ درصد را نیز مصرف کند. در این راستا نتایج این پژوهش با نتایج تحقیق رفیع و دهقانی (۱۳۹۸) مطابقت دارد.

جدول ۴ - میانگین مربعات پارامترهای مختلف تحت تأثیر روش‌های مختلف آبیاری و کاشت

نتایج تغییرات	درجه آزادی	عملکرد		ارتفاع گیاه	وزن هزار دانه	بهره‌وری آب	تعداد کپسول در بوته
		دانه	زیست توده				
سال	1	8613/4 ^{ns}	39907.8 ^{ns}	31.13 ^{ns}	0.022 ^{ns}	0.000373 ^{ns}	18.61 ^{ns}
تکرار×سال	4	78027.96 ^{ns}	501887.2 ^{ns}	0.578 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.00416 ^{ns}	34.98 ^{ns}
روش آبیاری	2	884407.5 ^{**}	3249333.63 ^{**}	2782.24 [*]	0.9 ^{**}	0.14 ^{**}	865.7 ^{**}
سال×آبیاری	2	832.34 ^{ns}	12619.2 ^{ns}	1.46 ^{ns}	0.0016 ^{ns}	0.000042 ^{ns}	0.476 ^{ns}
خطا	8	68081/57 ^{**}	220996.02 ^{ns}	30.5 ^{ns}	0.014 ^{ns}	0.021 ^{ns}	25.95 ^{ns}
روش کاشت	2	51474.5 [*]	329609.1 [*]	730.9 [*]	0.031 [*]	0.0026 [*]	85.65 [*]
کاشت×سال	2	1836.7 ^{ns}	6376.9 ^{ns}	0.129 ^{ns}	0.00145 ^{ns}	0.00052 ^{ns}	1.73 ^{ns}
کاشت×آبیاری	4	5086.27 ^{ns}	72760.9 ^{ns}	43.74 ^{ns}	0.0137 ^{ns}	0.00082 ^{ns}	14.44 ^{ns}
سال×آبیاری×کاشت	4	1752.9 ^{ns}	10663.4 ^{ns}	0.296	0.0028 ^{ns}	0.00083 ^{ns}	2.21 ^{ns}
خطای کل	24	16899.45	157503.7	69.32	0.0091	0.018	88.02
ضریب تغییرات (CV)	-	12.13	9	7.45	6.36	12.32	5.65

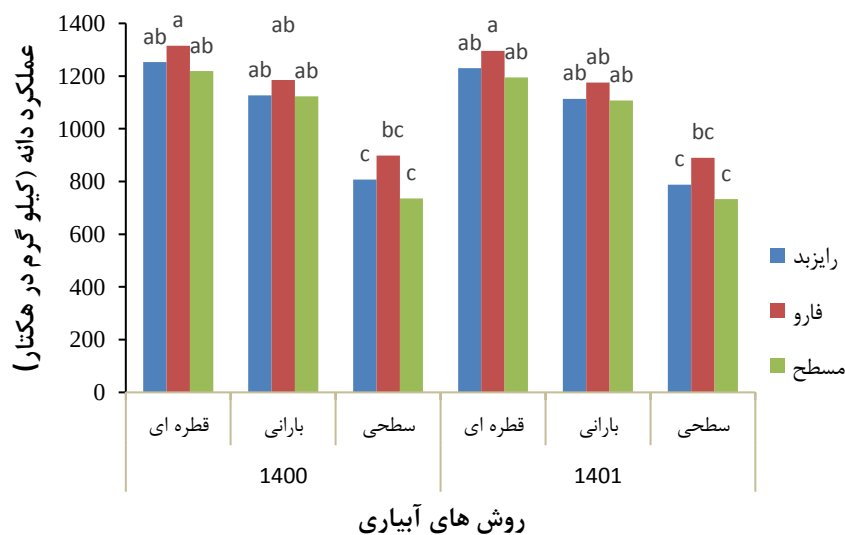
ns و * و ** به ترتیب نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار است

مقایسه عملکرد دانه کنجد تحت روش‌های مختلف کاشت

در هر روش آبیاری

با توجه به شکل ۱ در هر دو سال آزمایش و همه روش‌های آبیاری، حداکثر عملکرد دانه کنجد در روش کاشت روی پشته حاصل شد. بطوریکه در سال اول

آزمایش، این روش کاشت تحت آبیاری قطره‌ای نواری عملکرد دانه کنجد را ۴/۹ و ۳/۷ درصد به ترتیب نسبت به روش‌های کاشت مسطح افزایش داد. در روش آبیاری بارانی، میزان افزایش عملکرد دانه در روش کاشت روی پشته نسبت به روش‌های کاشت ریزبد و مسطح به ترتیب ۵/۱ و ۵/۵ درصد بود.



شکل ۱ - مقایسه عملکرد دانه کنجد تحت روش‌های مختلف کاشت در هر روش آبیاری

بود. همچنین، در سال دوم آزمایش نیز مانند سال اول بیشترین عملکرد دانه در روش کاشت روی پشته نسبت به دو روش کاشت دیگر در همه روش‌های آبیاری مشاهده شد. با توجه به شکل ۱، روش روی پشته تحت آبیاری

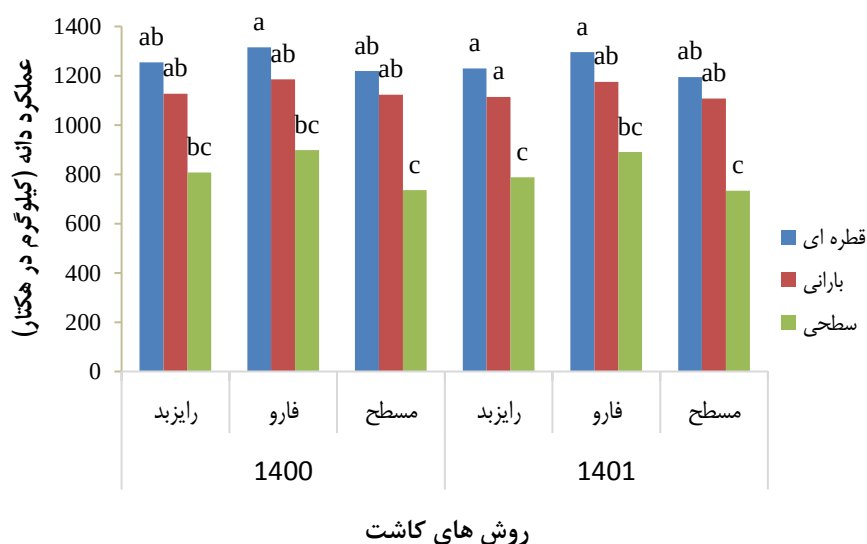
تأثیر روش کاشت بر عملکرد دانه در روش آبیاری سطحی بیشتر نمایان شد، به‌طوری‌که روند افزایش عملکرد دانه در روش آبیاری سطحی تحت روش کشت روی پشته نسبت به مسطح به میزان ۱/۱ و ۲۲ درصد

مقایسه عملکرد دانه کنگد تحت روش‌های مختلف آبیاری

در هر روش کاشت

با توجه به شکل ۲ در هر دو سال آزمایش و روش‌های مختلف کاشت، حداکثر عملکرد دانه کنگد در روش آبیاری قطره‌ای نواری بود. در سال اول آزمایش و در روش کاشت روی پشته، آبیاری قطره‌ای نواری عملکرد دانه کنگد را ۱۱ و ۴۶/۱ درصد به ترتیب نسبت به روش‌های آبیاری بارانی و سطحی افزایش داد. همچنین، در روش کاشت، روش آبیاری قطره‌ای نسبت به روش‌های آبیاری بارانی و سطحی عملکرد دانه را حدود ۱۱/۱ و ۳۹ درصد افزایش داد. این روند افزایش عملکرد دانه توسط روش آبیاری قطره‌ای نسبت به بارانی و سطحی در روش کاشت مسطح حدود ۸/۵ و ۶۵ درصد بود.

قطره‌ای نواری عملکرد دانه کنگد را ۶/۸ و ۸/۳ درصد به ترتیب نسبت به روش‌های کاشت بستر بلند (رایزبد) و مسطح افزایش داد. این روند در روش آبیاری بارانی کاهش یافت به طوری که میزان افزایش عملکرد دانه در روش کاشت روی پشته نسبت به بستر بلند و مسطح به ترتیب ۵/۲ و ۵/۷ درصد بود. در روش آبیاری بارانی به علت پاشش قطرات آب از بالا روی سطح خاک و تأثیر کمتر ناهمواری سطح و شیب، اختلاف توزیع رطوبت کمتری در بین روش‌های مختلف کاشت وجود دارد. افزایش عملکرد دانه در روش آبیاری سطحی تحت روش کشت روی پشته نسبت به بستر بلند و مسطح به میزان ۱۲/۹ و ۲۱/۴ درصد بود.



شکل ۲- مقایسه عملکرد دانه کنگد تحت روش‌های مختلف آبیاری در هر روش کاشت

سطحی به ترتیب ۱۰/۴ و ۵۶ درصد بود. میزان افزایش عملکرد دانه در روش کاشت مسطح تحت روش آبیاری قطره‌ای نواری نسبت به آبیاری بارانی و سطحی به میزان ۷/۹ و ۶۳ درصد بود. علت افزایش دانه کنگد در روش آبیاری قطره‌ای نواری نسبت به روش‌های دیگر آبیاری، درصد سطح سبز بالاتر و به تبع آن تعداد بوته در واحد سطح بیشتر، ارتفاع بوته و تعداد کپسول در بوته و وزن هزار دانه بود. بر اساس میانگین نتایج دو سال آزمایش

در سال دوم آزمایش نیز مانند سال اول بیشترین عملکرد دانه در روش آبیاری قطره‌ای نواری نسبت به دو روش آبیاری دیگر در روش‌های کاشت مشاهده شد. مطابق شکل ۲ و در روش کاشت روی پشته، روش آبیاری قطره‌ای نواری عملکرد دانه کنگد را ۱۰/۳ و ۴۵/۵ درصد به ترتیب نسبت به روش آبیاری بارانی و سطحی افزایش داد. در روش کاشت بستر بلند، میزان افزایش عملکرد دانه در روش آبیاری قطره‌ای نواری نسبت به آبیاری بارانی و

سطحی به مقدار ۰/۱۳ کیلوگرم بر مترمکعب آب کاربردی شد. در بین روش‌های کاشت حداکثر بهره‌وری آب کنجد در روش کاشت روی پشته در همه روش‌های آبیاری حاصل شد. در شرایط آزمایش و به‌طور میانگین در روش کاشت روی پشته، میزان بهره‌وری آب کنجد در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به روش‌های آبیاری بارانی و سطحی به ترتیب حدود ۴۲/۱۹ و ۹/۵۱ درصد افزایش نشان داد (شکل ۳).

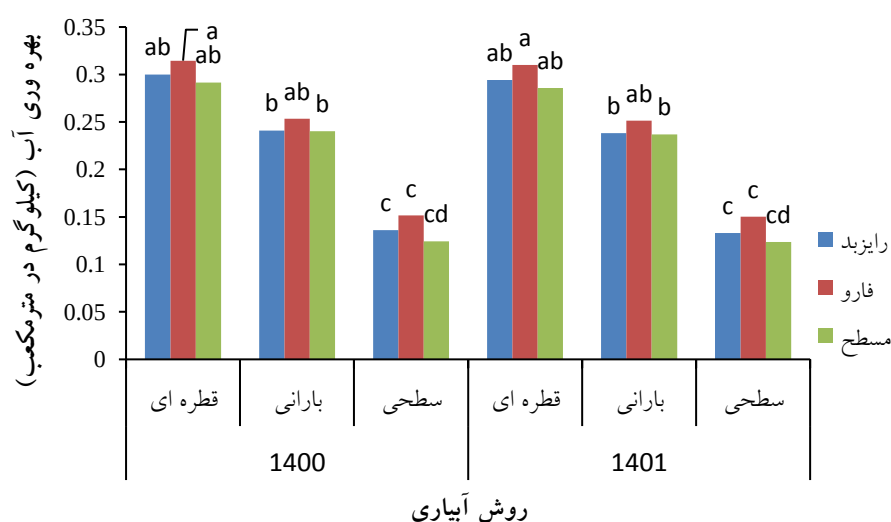
با توجه به شکل ۴، افزایش عملکرد دانه و بهره‌وری آب در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به روش بارانی (قطره‌ای < بارانی) به ترتیب حدود ۱۰/۶، ۲۳/۷ شد و آب مصرفی حدود ۱۱/۸ درصد کاهش بود. روند افزایش عملکرد دانه و بهره‌وری آب در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به روش سطحی (قطره‌ای < سطحی) به ترتیب حدود ۴۶/۰، ۱۰۷/۲ و درصد کاهش آب مصرفی حدود ۴۱/۹ درصد بود. هم‌چنین، عملکرد دانه و بهره‌وری آب در روش آبیاری بارانی نسبت به سطحی (بارانی < سطحی) به ترتیب حدود ۳۲، ۶۷/۴ افزایش و میزان آب مصرفی حدود ۲۶/۸ درصد کاهش یافت.

حداکثر درصد سطح سبز کنجد به ترتیب در روش آبیاری قطره‌ای نواری حدود ۷۶ درصد و حداقل در آبیاری سطحی حدود ۵۱ درصد به دست آمد. هم‌چنین، با احتساب میانگین دو سال، درصد سطح سبز کنجد در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به روش‌های آبیاری بارانی و سطحی به ترتیب حدود ۶/۶ و ۲۵ درصد افزایش نشان داد که با نتایج گرک و همکاران (۲۰۰۴) و دهقانی (۱۳۹۱) مطابقت دارد.

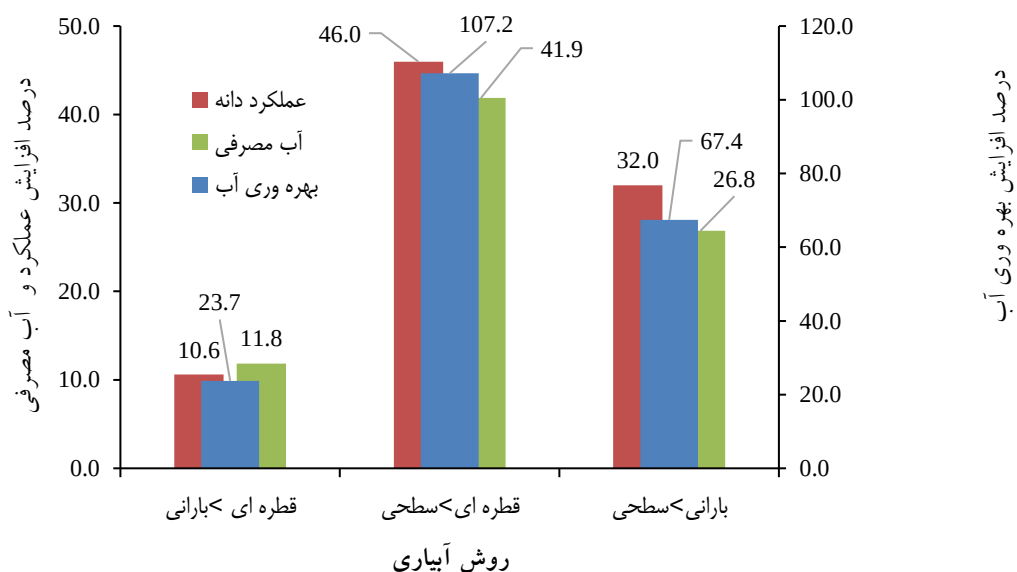
مقدار آب کاربردی و بهره‌وری فیزیکی آب کنجد در تیمارهای مختلف

متوسط مقادیر آب آبیاری دو سال آزمایش برای روش آبیاری قطره‌ای نواری حدود ۴۱۸۰ مترمکعب در هکتار اندازه‌گیری شد. هم‌چنین، این مقدار برای روش‌های آبیاری بارانی و سطحی به ترتیب حدود ۴۶۷۵ و ۵۹۳۰ مترمکعب در هکتار اندازه‌گیری گردید.

مطابق شکل ۳ و بر اساس میانگین نتایج دو سال آزمایش حداکثر بهره‌وری آب کنجد به ترتیب در روش آبیاری قطره‌ای نواری به میزان ۰/۳ و حداقل در آبیاری



شکل ۳- بهره‌وری آب کنجد تحت روش‌های مختلف آبیاری و کاشت



شکل ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه، آب مصرفی و بهره‌وری آب کنجد در روش‌های مختلف آبیاری

نتیجه‌گیری

با توجه لزوم توسعه کشت گیاهان سازگار اقلیم منطقه به واسطه بارش‌های کم و غیر مؤثر در طول دوره رشد گیاهان، روش‌های مناسب کشت (بهرزراعی) گیاه کنجد به عنوان یک گیاه دانه روغنی می‌تواند یکی راه‌کار باشد. از طرفی استفاده بهینه از روش‌های آبیاری تحت فشار موجب افزایش راندمان کاربرد آب آبیاری و یکنواختی توزیع بهتر آب و علاوه بر توسعه روش آبیاری، روش کاشت مناسب نیز با توجه به حساسیت گیاه کنجد به رطوبت خاک بر سطح سبز و عملکرد محصول تأثیرگذار است. بر اساس نتایج، حداکثر میانگین عملکرد دانه در هر دو سال آزمایش در روش آبیاری قطره‌ای نواری و در آرایش کاشت روی پشته به میزان ۱۳۰۵ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. کمترین مقدار آب کاربردی دو سال آزمایش برای روش آبیاری قطره‌ای نواری حدود ۴۱۸۰ مترمکعب در هکتار اندازه‌گیری شد. مقدار آب کاربردی برای روش‌های آبیاری بارانی و سطحی به ترتیب حدود ۴۶۷۵ و ۵۹۳۰ متر مکعب در هکتار اندازه‌گیری شد. لذا

نتیجه‌گیری می‌شود که استفاده از روش آبیاری تحت فشار (قطره‌ای نواری یا تیپ) به همراه آرایش کاشت روی پشته علاوه بر مصرف آب کمتر و بهره‌وری بالاتر، منجر به دستیابی به حداکثر عملکرد دانه کنجد شد.

تقدیر و تشکر

پژوهش حاضر با حمایت مالی و معنوی سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان و بر اساس نتایج طرح مصوب پژوهشی با شماره مصوب: ۰۰۰۵۸۷-۰۳۰-۱۴-۵۷ از سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی نگاشته شده است. بدین وسیله نگارندگان، مراتب سپاس و قدردانی خود را از زحمات و همکاری‌های این عزیزان اعلام می‌دارد.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافع وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید نویسندگان مقاله است.

فهرست منابع

۱. بی نام. ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۷-۹۸. جلد اول محصولات زراعی، وزارت جهاد کشاورزی. تهران، ایران.
۲. غلامحسینی، مجید، شریعتی، فرناز، آقامحمدی، علی، ۱۳۹۹. انتخاب بهترین آرایش کاشت برای ارقام مختلف کنجد. *نشریه علمی یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی*، ۹(۱)، صص. ۲۵-۱۳.
<https://doi.org/10.22092/rafhc.2019.122897.1162>
۳. کوچکی، علیرضا، نصیری محلاتی، مهدی، نوربخش، فرانک، نهبدانی، علیرضا، ۱۳۹۶. اثر تراکم و آرایش کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد. *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱۵(۱)، صص. ۴۵-۳۱.
<https://doi.org/10.22067/gsc.v15i1.33089>
۴. بی‌نام. ۲۰۰۰. سازمان خواروبار و کشاورزی (FAO). مقررات ملی مدیریت منابع آب. چاپ اول. سازمان مدیریت منابع آب ایران، تهران.
۵. سرحدی، جواد، شریف، مهری، ۱۳۹۸. تنش کم آبی گیاه و نگهداری آب در خاک- نقش کم آبیاری بر رشد و عملکرد کنجد در شرایط خشکسالی، شانزدهمین کنگره علوم خاک، ایران، زنجان.
<https://civilica.com/doc/1026622>
۶. جعفری، حسین، نورقلی‌پور، فریدون و رجایی، مجید، ۱۳۹۸. تعیین دور آبیاری بهینه بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد در مناطق مهم تحت کشت کنجد در کشور با استفاده از تست تبخیر کلاس A. *مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۹(۴)، صص. ۲۲۹-۲۰۸.
<https://doi.org/10.22125/iwe.2019.90264>
۷. رضایی، اعظم، جولایی رامتین، کرامت‌زاده، علی، ۱۳۹۹. بررسی اثر سیاست‌های قیمت و سهمیه‌بندی آب کشاورزی بر پایداری منابع آب استان گلستان. *نشریه پژوهش آب در کشاورزی*، ۳۴(۲)، صص. ۲۸۵-۲۷۰.
<https://doi.org/10.22092/jwra.2020.122263>
۸. رفیع، محمدرضا و دهقانی، علی، ۱۳۹۸. بررسی تأثیر دور آبیاری در مراحل مختلف فنولوژی بر ویژگی‌های کمی و کیفی و بهره‌وری مصرف آب کنجد. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۶(۵)، صص. ۳۹-۲۱.
<https://doi.org/10.22069/jwsc.2019.16217.3151>
۹. فیض‌نیا، فرید، و فخرالعلمایی، محمدحسین، ۱۳۸۷. آبیاری تحت فشار. *نشریه ترویجی، مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی استان کرمانشاه*، چاپ اول، صص. ۲۹.
۱۰. دهقانی، علی، ۱۳۹۱. بررسی بیماری گل سبز کنجد و اثرات تاریخ کاشت و سمپاشی در کنترل آن در استان خوزستان. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی به شماره ثبت ۸۴/۲۶۴. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، صص. ۲۸.
11. El Naim, A M., Ahmed, M F. and Ibrahim, K h., 2010. Effect of Irrigation and Cultivar on Seed Yield, Yield's Components and Harvest Index of Sesame (*Sesamum indicum* L.). *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 6(4), pp.492-497.
12. Gercek, S., Boydak, E. and Simsek, M., 2004. Effect of Irrigation Methods and Row Spacing on Yield and Yield Components of Sesame. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 7(2), pp.2149-2154.
13. Hong, Y., Yu, J. and Chai, K., 1985. Effect of drought stress on major upland crops. *Agronomy Journal*. 27, pp.148-155.
14. Kassab, O., Noemani, E. and El-Zeiny, A H., 2005. Influence of some irrigation system and water regimes on growth and yield of sesame plants. *Journal of Agronomy*. 4, pp.220-224.

15. Mensah, J K., Obasami, B., Eruotor, P. and Onomerieguna, F., 2006. Simulated flooding and drought effects on germination, growth and yield parameters of sesame (*Sesamum indicum*). *African Journal of Biotechnology*. 5, pp.1249-1253.
16. Monpara, B A. and Vaghasia, D R., 2016. Optimizing sowing time and row spacing for summer sesame growing in semi-arid environments of India. *Int. J. Curr. Res. Acad. Rev.* 4(1):122–31. **doi: 10.31830/2454-1761.2022.028.**
17. Nadeem, A., Kashani, S., Ahmed, N., Buriro, M., Saeed, Z., Mohammad, F., and Ahmed, S., 2015. Growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) under the influence of planting geometry and irrigation regimes. *Am. J. Plant Sci.* 6, pp.980-986.
18. Pereira, J R., Guerra, H O C., Zonata, J H., Bezerra, J R C., Almida, E S A B. and Araujo, W P., 2017. Behavior and water needs of sesame under different irrigation regimes: III. Production and hydric efficiency, *Afr. J. Agric. Res.* 12(13), pp.1158-1163. **doi: 10.5897/AJAR2016.12011.**
19. Rezvani Moghaddam, P., Sabori A., Mohammadabadi, A., and Moradi, R., 2013. Effect of chemical fertilizers, manure and municipal waste compost on yield, yield components and oil content sesame genotypes in Mashhad. *Iranian journal of Agronomic Research*. 11, pp.250-241. **doi:10.22067/gsc.v15i1.33089.**
20. 23. Saeidi, A., Tohidi-Nezhad, E., Ebrahimi, F., Mohammadi-Nejad, G. and Shirzadi, M H., 2012. Investigation of water stress on yield and some yield components of sesame genotypes in Jiroft region, *J. Appl. Sci. Res.* 8, pp.243-246. **doi: 10.29252/jcb.10.26.185.**

تعیین اثربخش ترین فناوری های به زراعی در صرفه جویی واقعی آب در سه حوضه آبریز

حسین دهقانی سانجی^{۱*}، علی مختاران^۲، رامین نیکانفر^۳، امیرنورجو^۴، محمدعلی شاهرخ نیا^۵، پیمان ورجاوند^۶، نادرسلامتی^۷، بهمن یارقلی^۸، محمدعلی به آیین^۹ و جعفر حبیبی اصل^{۱۰}

دانشیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. dehghanisanij@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. alimokhtaran@gmail.com

مرئی پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران. ranik41@yahoo.com

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران. nourjou@yahoo.com

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

^{۶*} 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 و nadersalamati@gmail.com

استادیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. yar_bahman@yahoo.com
استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران. ali_behaen@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. jhabibi139@yahoo.com

دریافت: اسفند ۱۴۰۲ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۳

چکیده

استفاده از فناوری هایی که منجر به کاهش آب مصرفی واقعی (ETa) در مزرعه شوند بر ارتقای بهره وری آب در سطح حوضه اثربخش خواهد بود. پژوهش حاضر با هدف شناسایی اثربخش ترین فناوری ها برای کاهش ETa و کمک به احیای دریاچه های چند حوضه، پایشی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ با اعمال فناوری های به زراعی در سطح مزارع و باغ های کشاورزان انجام شد و در آن تعداد ۵۵، ۱۷ و ۱۸ مزرعه و باغ به ترتیب از حوضه های دریاچه ارومیه، طشک-بختگان و مارون-جراحی در نظر گرفته شد. نتایج پایش نشان داد که هرچند اعمال تمامی فناوری ها توانسته بر کاهش آب آبیاری به میزان متوسط ۲۴/۶٪، افزایش عملکرد با متوسط ۱۸/۳٪ و افزایش بهره وری آب با متوسط ۶۰/۴٪ برای هر سه حوضه آبریز مؤثر باشد، اما همه این فناوری ها در کاهش میزان ETa محصول، اثربخش نبود. پایش مزارع نشان داد که فناوری هایی که بر پایه "برنامه ریزی دقیق مبتنی بر نمایه های خاک و گیاه در کنار اصلاح و مدیریت بهینه سامانه آبیاری موجود" بود، توانست علاوه بر اثربخشی در نمایه های کاربردی آب در مزرعه و یا باغ، باعث کاهش ETa به میزان متوسط ۱۵/۵٪ و ارتقای بهره وری آب مصرفی (WP_{ET}) با متوسط ۴۰٪ در هر سه حوضه آبریز شود. براین اساس، اثربخش ترین فناوری ها در حوضه دریاچه ارومیه، ایجاد شیاری دوطرفه ردیف درختان در آبیاری سطحی و برنامه ریزی آبیاری قطره ای براساس نمایه خاک و گیاه در محصولات ردیفی و درختان بود که ETa را ۱۸٪ کاهش داد. همچنین کوچک کردن کرت های آبیاری تا سطح سایه انداز برای درختان انار و پسته در حوضه طشک-بختگان، ایجاد طشت در اطراف سطح سایه انداز درختان نخل به همراه مالچ برگ نخل و بالاخره روش مدیریتی کاهش دبی پس از رسیدن جریان آب به انتهای نوار و یا شیار در سامانه آبیاری سطحی برای زراعت در حوضه مارون-جراحی، توانست با کاهش دادن ETa به ترتیب به میزان ۲۱٪، ۱۳٪ و ۱۴٪ از مهمترین فناوری ها به شمار آید. بنابراین، توجه به فناوری های پایش شده در سطح یک حوضه با مشارکت کشاورزان محلی و ترویج آنها می تواند ضمن استقرار کشاورزی پایدار، در حفاظت زیست بوم منطقه مؤثر باشد.

واژه های کلیدی: فناوری های نوین، آب مصرفی واقعی، ارتقای بهره وری آب و حفاظت زیست بوم

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: dehghanisanij@yahoo.com

مقدمه

با تشدید کمبود آب در کشور، علاقه فزاینده‌ای به یافتن راه‌هایی برای کاهش مصرف آب و تخصیص مجدد به سایر مصارف از جمله احیای محیط‌زیست وجود دارد. از آنجایی که کشاورزی آبی مسئول بیش از ۹۰ درصد کل مصرف آب در مناطق کم آب است، لذا توجه بر فرصت‌های صرفه‌جویی در مصرف آب، در زمین‌های کشاورزی فاریاب متمرکز شده است (دهقانی‌سانج و همکاران، ۱۴۰۲). در ایران وسعت تحت پوشش تالاب‌ها به‌عنوان زیست‌بوم ارزشمند، حدود سه میلیون هکتار است که به‌طور ملموسی بیشتر این نواحی همجوار با جامعه روستایی و اراضی کشاورزی است. بر این اساس پیوندی بسیار پیچیده و ظریف بین بخش کشاورزی و زیست‌بوم تالاب‌ها وجود دارد و هرگونه تغییر در بخش کشاورزی بر منابع تالابی و حیات آن اثرگذار است (سازمان حفاظت از محیط‌زیست، ۱۳۹۸). پایش سال‌های اخیر وضعیت تالاب شادگان که در منتهی‌الیه حوضه آبریز مارون-جراحی قرار دارد، نشان داد که کشت بی‌رویه برنج به روش‌های سنتی و عدم مدیریت آب در مزرعه در بالادست حوضه مارون، تالاب شادگان را از نظر زیست در وضعیت خطرناکی قرار داده است. بر این اساس برای احیا و حفاظت از تالاب‌ها، اثربخش‌ترین فعالیت، کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی است. البته کاهش مصرف بایستی به‌نحوی انجام شود که مسائل اقتصادی، اجتماعی و پایداری در تولید را تحت‌الشعاع قرار ندهد (دهقانی‌سانج و همکاران، ۱۴۰۲). در خصوص مصرف آب کشاورزی، معمولاً تصور می‌شود که مصرف‌کنندگان مقادیر زیادی آب را در طی فرآیند آبیاری هدر می‌دهند و نتیجه می‌گیرند که صرفه‌جویی در مصرف آب طی فرآیند آبیاری می‌تواند نیاز به ایجاد سایر امکانات برای استحصال آب بیشتر را کاهش دهد (مولدن و همکاران، ۲۰۰۱). این تصور از آنجا ناشی می‌شود که بر اساس دانش رایج، راندمان کاربرد آب در مزارع حدود ۲۰ تا ۵۰ درصد است؛ بنابراین تصور می‌شود که حدود ۵۰ تا ۸۰ درصد باقی‌مانده به‌نوعی از دست رفته است. نمونه‌هایی

از این تفکرات در انتشارات مختلف فائو از ۳۰ سال گذشته تا به حال به چشم می‌خورد. ریشه اصلی این باور غلط مربوط به برداشت نادرست از مفهوم کلاسیک راندمان آبیاری است که در مهندسی آبیاری ایجاد شده است (کلر و کلر، ۱۹۹۵). آنچه تاکنون در این زمینه انجام شده، صرفه‌جویی ظاهری آب بوده است. صرفه‌جویی ظاهری به معنای کاهش برداشت آب بوده لیکن منجر به تغییر در مصرف آب نمی‌شود و یا به‌بیان‌دیگر، تغییرات مصرف را مد نظر قرار نمی‌دهد؛ اما در مقابل این مسئله، صرفه‌جویی واقعی آب قرار دارد. اصطلاح صرفه‌جویی واقعی آب شامل فعالیت‌هایی است که باعث می‌شود مقدار مشخصی آب را برای سایر مصارف (زیست رودخانه، تغذیه آبخوان‌ها و احیا تالاب‌ها) آزاد کند (ون‌اپستال و همکاران، ۲۰۲۱). صرفه‌جویی واقعی آب زمانی اتفاق می‌افتد که تمرکز آن روی کاهش مصرف آب باشد و این مسئله ناشی از کاهش جریان‌های برگشتی غیرقابل بازیافت، خواهد بود. به‌منظور صرفه‌جویی واقعی آب، باید شاخص بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر-تعرق واقعی محصول (Eta) و نه مقدار آب به‌کار برده شده در مزرعه به‌عنوان معیار انتخاب سامانه‌های آبیاری و بررسی اثربخشی راهکارهای فنی و اقتصادی قرار گیرد (حیدری، ۱۳۹۷). بر این اساس استفاده از فناوری‌هایی که منجر به کاهش تبخیر-تعرق واقعی یا همان آب مصرفی واقعی محصول (Eta) در مزرعه شوند، می‌تواند اثربخش در سطح حوضه تلقی گردند. Eta، میزان آب خالصی است که در مزرعه سهم گیاه خواهد شد و الزاماً نیاز آبی گیاه (Etc)، نیست و در اکثر مواقع به دلایل مدیریت آب در مزرعه میزان Eta کمتر از Etc است. تعداد مطالعات موردی در خصوص فناوری‌های حفاظت از منابع آب در مقیاسی فراتر از مزرعه در سال‌های اخیر به شکل چشم‌گیری گسترش یافته است، به‌طوری‌که در طول ۴۲ سال (بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۷)، ۲۲۴ مطالعه موردی ثبت شده است که حدود ۹۱ مورد آن (۴۰/۶ درصد) در طول دوره ۲۰۱۷-۲۰۰۸ انجام شده است (ون‌اپستال و همکاران، ۲۰۲۱). هم‌افزایی دو تخصص آب و زراعت می

تواند منجر به صرفه‌جویی واقعی در مصرف آب و افزایش بهره‌وری شود. با تنوع گسترده شیوه‌های آبیاری، محصولات زراعی و مدیریت محصولات، گزینه‌های زیادی برای صرفه‌جویی واقعی آب وجود دارد. پری و استودتو (۲۰۱۷)، گزارش کردند هنگامی که داده‌های مزرعه‌ای از تعداد زیادی کشاورز جمع‌آوری گردید، مشاهده شد که بعضی از کشاورزان برای میزان یکسان تعرق محصول، نسبت به سایر کشاورزان عملکرد بیشتری داشتند. معمولاً تفسیر رایج این موضوع چنین است که مدیریت بهتر آب و به‌کارگیری تمهیدات زراعی می‌تواند سبب افزایش عملکرد شده و با مصرف آب یکسان، تولید افزایش پیدا کند و یا ممکن است با حفظ عملکرد محصول، صرفه‌جویی در مصرف آب رخ دهد. همچنین این پژوهشگران عنوان کردند که با در نظر گرفتن یک بسته مدیریتی مناسب (اعم از تاریخ کاشت، رقم، تراکم کاشت، وضعیت حاصلخیزی خاک و غیره) و تنها با تغییر میزان آب می‌توان به رابطه نسبتاً خطی بین عملکرد و تعرق محصول برای محصولات زراعی دست یافت. به عبارت دیگر، اگر با کمبود آب مواجه باشیم، صرفاً با تأمین آب، تولید (کیلوگرم) افزایش خواهد یافت. لیکن افزایش بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) محقق نخواهد شد. افزایش بهره‌وری آب (که زمینه را برای صرفه‌جویی واقعی آب فراهم می‌کند)، معمولاً به تغییر در سایر جنبه‌های مدیریت کشاورزی با رویکرد آب-زراعت متمرکز است که در آن با همان مقدار مشخص تبخیر و تعرق، صرفه‌جویی واقعی آب یا تولید بیشتر امکان‌پذیر باشد. حیدری (۱۳۹۷)، در یادداشت فنی بررسی مسائل و چالش‌های صرفه‌جویی واقعی آب بیان می‌کند که راهکارهای بهبود بهره‌وری آب کشاورزی، جداسازی تعرق (T) از تبخیر (E) و مشخص نمودن سهم هریک از این مؤلفه‌ها به‌خصوص در شرایط کم‌آبی یکی از مسائل مهم و قابل توجه است. جدا کردن مؤلفه تبخیر از تعرق از این جهت حائز اهمیت است که با افزایش عملکرد محصول (افزایش صورت کسر بهره‌وری آب)، میزان تعرق (از مؤلفه‌های منخرج کسر بهره‌وری) به همان نسبت افزایش

خواهد یافت؛ بنابراین معمولاً با کاربرد بعضی از سامانه‌های آبیاری و با هدف افزایش عملکرد محصول، با وجود کاهش ظاهری مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب، اما به صرفه‌جویی بیشتر آب منجر نخواهد شد نمونه آن را می‌توان در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای برای بعضی از محصولات مشاهده کرد (حیدری، ۱۳۹۷). دهقانی‌سانج و همکاران (۱۳۹۵)، نشان دادند که به‌کارگیری فناوری‌های مختلف از جمله، اصلاح روش‌های آبیاری، روش‌های نوین آبیاری، انواع روش‌های خاک‌ورزی، استفاده از بذور اصلاح شده، کودهای ماکرو و میکرو، خاک‌پوش‌ها، توانسته‌اند تا ۵۰ درصد آب تحویلی به مزارع (برداشت از منابع) را در حوضه دریاچه ارومیه کاهش دهند. این پژوهشگران بیان می‌کنند که عدم اجرای توأمان تمامی فناوری‌های پیشنهادی در یک مزرعه می‌تواند باعث شود، اثربخشی سایر فناوری‌ها ظاهر نگردد. به عنوان نمونه در شهرستان ارومیه، اثر فناوری بهینه‌سازی عرض نوارهای آبیاری با کاهش حدود ۶۰ درصدی در کنار تسطیح زمین و تغذیه مناسب کودی، توانست میزان بهره‌وری آب را در محصولات پاییزه (گندم، جو و کلزا)، حدود ۴۰ درصد ارتقا دهد. همچنین در مزارع محصولات بهاره، استفاده توأمان فناوری‌های مذکور موجب افزایش بهره‌وری آب به میزان حدود ۳۷ تا ۶۰ درصد شد. دهقانی‌سانج و همکاران (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ الف و ۱۳۹۹ ب)، در یک جمع‌بندی اثر کاربرد فن‌های مختلف در سطح مزرعه بر روی برداشت از منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه را در استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ را بررسی کردند. در قالب این مطالعه، فناوری‌های به‌زراعی و مدیریتی مختلف از جمله سامانه‌های کشاورزی حفاظتی، اصلاح سامانه‌های آبیاری، آبیاری بر اساس نیاز واقعی گیاه، انتخاب الگوی کشت مناسب، ارقام و پایه‌های زراعی و باغی، تاریخ کاشت، کم آبیاری، مدیریت آبیاری، آبیاری یک‌درمیان، کاهش تبخیر، بهینه‌سازی ابعاد نوارها و کرت‌های آبیاری، استفاده از بذورهای بوجاری شده و استفاده از بذور با دوره رشد کوتاه‌تر، اصلاح رژیم کودی و عملیات تسطیح دقیق در

مقیاس مزرعه به کار گرفته شد. بررسی اثربخشی فناوری‌ها نشان داد در مزارع کشاورزان در پایلوت‌های استان آذربایجان غربی به‌ترتیب به‌میزان ۲۴/۱، ۷/۸، ۳۸/۷، ۲۵/۵ و ۷/۱ درصد در کاهش برداشت آب آبیاری، افزایش عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری، راندمان کاربرد آب و کارایی مصرف آب اثربخش بوده است. همچنین در پایلوت‌های استان آذربایجان شرقی این اثربخشی به‌ترتیب به‌میزان ۲۵/۲، ۶۰/۳، ۳۴/۵ و ۲۰/۴ درصد ارزیابی شد. از نظر محصولی، بیشترین اثربخشی بر روی کاهش کاربرد آب آبیاری در محصول گوجه‌فرنگی استان آذربایجان غربی با میزان ۴۴/۲ درصد و در محصول گوجه‌سبز استان آذربایجان شرقی با میزان ۵۰/۳ درصد حاصل شد.

در پژوهش حاضر به‌طور مشخص بر پایداری منابع از طریق کاهش برداشت و مصرف، امنیت غذایی از طریق ارتقاء بهره‌وری آب و افزایش تولید برای جامعه کشاورزان در حوضه‌های آبریز منتهی به دریاچه‌ها و تالاب‌های منتخب با هدف ذخیره و مدیریت منابع آبی برای احیا دریاچه‌ها و تالاب‌ها و حفظ زیست‌بوم تمرکز دارد. لذا برای رسیدن به این هدف نیاز است اثربخشی فناوری‌های مختلف به‌زراعی با شاخص‌های عملکرد محصول، عمق آب آبیاری، بهره‌وری آب کاربردی (آب آبیاری با لحاظ بارش مؤثر)، تبخیر و تعرق واقعی یا آب مصرفی واقعی (ETa) و بهره‌وری آب مصرفی واقعی (WP_{ET}) در مقیاس مزرعه پایش و ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، با اهمیت به موضوع صرفه‌جویی واقعی آب برای کمک به احیای دریاچه ارومیه، دریاچه طشک- بختگان فارس و تالاب شادگان خوزستان، استقرار کشاورزی پایدار در سطح مزارع کشاورزان برای چهار استان آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، فارس و خوزستان، با اجرای فناوری‌های به‌زراعی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ مورد پایش قرار گرفتند. در این پژوهش، برای استان

آذربایجان شرقی، ۱۲ مزرعه کشت پاییزه و ۱۲ مزرعه کشت بهاره و باغ (شهرستان‌های آذرشهر، اسکو، عجب‌شیر، بناب و ملکان)، در استان آذربایجان غربی، ۳۱ مزرعه کشت بهاره و باغ (شهرستان‌های میاندوآب، مهاباد، نقده و ارومیه)، در استان فارس، ۱۷ مزرعه کشت بهاره و باغ (شهرستان‌های استهبان، ارسنجان و بختگان) و در استان خوزستان، ۱۸ مزرعه کشت تابستانه و باغ (شهرستان‌های بهبهان، امیدیه، رامشیر و شادگان) انتخاب شدند. امکان‌پذیری پایش از نظر وجود مزرعه تیمار و شاهد در یک منطقه، نوع محصول، داشتن حداقل امکانات فنی برای اندازه‌گیری جریان آب، همکاری کشاورز و موقعیت اراضی جهت بازدید سایر بهره‌برداران با هدف ترویج یافته‌ها در مزرعه، از معیارهای انتخاب مزارع بودند. بخشی از مزارع در کانون‌های هدف به‌عنوان شاهد (مدیریت سنتی کشاورز) و بخشی دیگر به‌عنوان مزرعه تیمار (با اعمال فناوری به‌زراعی) در نظر گرفته شدند. فناوری‌های به‌زراعی شامل مدیریت‌های آبیاری در کنار خاک‌ورزی حفاظتی، تسطیح، برنامه و اجرای تغذیه کودی، چالکود، هرس و مبارزه با آفات و بیماری‌ها بودند. از جمله مدیریت‌های آبیاری می‌توان به تغییر روش آبیاری در سامانه سطحی از کرت‌های نواری به جویچه‌ای با کشت روی پشته‌های بلند و عریض^۱ برای محصول گندم اشاره کرد. همچنین فناوری دیگری که برای گندم استفاده شد، به‌کارگیری دستگاه کف‌کار خطی کار در عملیات کشت با ایجاد کردن جویچه‌هایی به عرض ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری بود. همچنین در مزارع بهاره، تابستانه و باغات می‌توان به تغییر روش آبیاری از سطحی به قطره‌ای، اعمال برنامه‌ریزی آبیاری هوشمند بر اساس نمایه خاک و گیاه در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی، تغییر آرایش کاشت برای چغندرقد و گوجه‌فرنگی، کشت نشایی همراه با برنامه‌ریزی هوشمند آبیاری در سامانه قطره‌ای نواری (تیپ) برای گوجه‌فرنگی، ایجاد نوارهای کم‌عرض و یا شیارهای دوطرفه و یا یک‌طرفه ردیف درختان به‌جای غرقاب دائم در باغات گردو، سیب، بادام، استفاده از سامانه

آبیاری کم فشار برای شیارهای عمیق درختان انگور، روش مدیریتی قطع جریان آب در فاصله ۱۵ درصدی طول مزرعه نسبت به انتها و راهکار مدیریتی کاهش دبی پس از رسیدن جریان آب به انتهای نوار و یا شیار^۲ برای کرت های نواری و جویچه ای در سامانه آبیاری سطحی، ایجاد طشت آبیاری اطراف سطح سایه انداز درختان نخل در خوزستان همراه با برنامه ریزی آبیاری دقیق بر اساس تغییرات رطوبت خاک به جای آبیاری کرت های نواری غرقاب شده و در نهایت کوچک کردن کرت ها تا سطح سایه انداز درختان انار و پسته در فارس اشاره کرد. محصولات پایش شده، شامل گندم، بادام، سیب زمینی، سیب، کدو، انگور، گوجه فرنگی و گوجه سبز در آذربایجان شرقی، گوجه فرنگی، کدو آجیلی، چغندر قند، یونجه، ذرت، پیاز و باغات سیب و گردو در آذربایجان غربی، انار، پسته، سیب، ذرت و پنبه در استان فارس و ذرت، کنجد، یونجه و خرما در خوزستان بودند. در مزارع شاهد و تیمار قبل از پیشنهاد و ارائه فناوری به زراعی مناسب، نیاز به برداشت اطلاعات مختلف بود. بر این اساس ابتدا اسکن محیطی شامل مختصات، تهیه نقشه مزرعه در محیط گوگل ارث، اندازه گیری و تعیین

ویژگی های شیمیایی آب و خاک، بافت خاک، میزان نفوذ پذیری خاک، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت ظرفیت زراعی و رطوبت نقطه پژمردگی و همچنین نظرات بهره بردار انجام شد. در طول فصل رشد محصول، نمونه های خاک و آب به منظور ارزیابی کیفیت از لحاظ شوری و اسیدیته نیز برداشت شد. نمونه گیری خاک از پایلوت ها به صورت مرکب و متناسب با نوع کشت (باغی و زراعی) انجام شد، به نحوی که برای کشت های زراعی عمق ۳۰-۶۰ سانتی متری و برای کشت های باغی ۶۰-۱۰۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. جدول (۱)، متوسط سطوح آزمایشی قطعات شاهد و تیمار در کنار اطلاعات میانگین بافت خاک و میزان متوسط کیفیت آب و خاک در مزارع مختلف برای تمامی محصولات مورد پایش از استان ها، حاصل از اندازه گیری های میدانی را نشان می دهد. تنوع بافت خاک، شوری آب و خاک در کنار نوع محصول بر انتخاب فناوری به زراعی برای حفظ عملکرد محصول با هدف کاهش حجم آب آبیاری بسیار مهم بود. بر این اساس فناوری های به زراعی مناسب در جدول (۲) برای هر قطعه تیمار در محصولات مختلف مناطق تحت پایش، آورده شده است.

جدول ۱- مساحت قطعات تیمار و شاهد، بافت خاک و اطلاعات کیفی آب‌و خاک در مناطق پایش برای محصولات مختلف

استان	متوسط مساحت قطعه شاهد (هکتار)	متوسط مساحت مساحت قطعه تیمار (هکتار)	بافت خاک	متوسط کیفیت آب از نظر شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	متوسط کیفیت خاک از نظر شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	نوع محصول
آذربایجان شرقی	0.38	0.45	متوسط تا سنگین	لب‌شور تا شور (2 تا 13)	لب‌شور تا شور (2.1، 4.3، 6، 8، 9 و حتی 13)	گندم
آذربایجان شرقی	0.3	0.35	سبک تا متوسط	1.5	1.86	بادام، سیب‌زمینی، انگور، گوجه‌سبز، سیب و کدو
آذربایجان غربی	0.3	0.7	متوسط تا سنگین	0.5	0.8	سیب، پیاز، گوجه‌فرنگی، چغندر قند، گردو، ذرت، یونجه و کدو
فارس	1	0.5	سبک تا متوسط	شور (6)	شور (6)	انار و پسته (ارسنجان)
فارس	1	0.5	سبک تا متوسط	1.5	3	پسته (بختگان)، پنبه، ذرت و سیب (استهبان)
خوزستان	3	0.3	متوسط	1.8 تا 3	2 تا 3	ذرت، کنجد و یونجه (بالادست حوضه مارون)
خوزستان	3	0.3	سنگین	8 تا 12	10 تا 16	خرما (پایین‌دست حوضه مارون)

جدول ۲- فناوری‌های اعمال‌شده مدیریت آبیاری در کنار سایر فناوری‌های به‌زراعی برای قطعات تیمار در مناطق پایش در محصولات مختلف

کد مزرعه	استان	فناوری اعمال‌شده	روش آبیاری	نوع محصول
East W1-8, W12	آذربایجان شرقی	کاشت با بذارکار کف‌کار، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی، تسطیح با لولر، مدیریت تغذیه	سطحی	گندم
East W9-11	آذربایجان شرقی	کاشت روی پشته‌های بلند و عریض، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی، تسطیح با لولر، مدیریت تغذیه	سطحی	گندم
East S1	آذربایجان شرقی	شیارهای یک‌طرفه، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی، تغذیه کودی	سطحی	بادام
East S2	آذربایجان شرقی	سامانه جوی و پشته در مقایسه با کرتی، کاشت با دستگاه غده‌کار	سطحی	سیب‌زمینی
East S3	آذربایجان شرقی	قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با غرقابی، برنامه‌ریزی آبیاری	قطره‌ای	سیب
East S4	آذربایجان شرقی	روش جوی و پشته در مقایسه با کرتی، تسطیح مزرعه، کاشت با دستگاه پنوماتیک در مقایسه با کاشت دستی	سطحی	کدو

ادامه جدول ۲

کد مزرعه	استان	فناوری اعمال شده	روش آبیاری	نوع محصول
East S5	آذربایجان شرقی	مدیریت آبیاری در شیارها، چالکود، هرس خشک	سطحی	انگور
East S6,10,12	آذربایجان شرقی	کشت نشایی، کاشت به صورت دو ردیفه زیگزاکی، تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی، تغذیه کودی	قطره‌ای نواری	گوجه‌فرنگی
East S7	آذربایجان شرقی	شیارهای دوطرفه درختان در مقایسه با غرقابی، چالکود، هرس	سطحی	گوجه‌سبز
East S8,11	آذربایجان شرقی	قطره‌ای زیرسطحی، برنامه‌ریزی آبیاری	قطره‌ای	انگور
East S9	آذربایجان شرقی	سامانه کم‌فشار در مقایسه با غرقابی، مدیریت باز و بستن شیرفلکه‌ها، چالکود، هرس	سطحی	انگور
West S1,13,15,20,28,30	آذربایجان غربی	شیارهای دوطرفه ردیف درختان در مقایسه با غرقابی، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	سطحی	سیب
West S2	آذربایجان غربی	قطره‌ای نواری در مقایسه با غرقابی، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	قطره‌ای نواری	پیاز
West S3,11	آذربایجان غربی	آرایش کاشت ۴۰×۶۰	سطحی	چغندر قند
West S4	آذربایجان غربی	قطره‌ای زیرسطحی، برنامه‌ریزی آبیاری	قطره‌ای	سیب
West S5,10	آذربایجان غربی	ایجاد نوارهای کم‌عرض در مقایسه با غرقاب باغ، آبیاری شبانه	سطحی	سیب
West S6,31	آذربایجان غربی	برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	قطره‌ای نواری	گوجه‌فرنگی
West S7	آذربایجان غربی	سامانه آبیاری قطره‌ای در مقایسه با سطحی	قطره‌ای	سیب
West S8,16,18,22	آذربایجان غربی	برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی، آبیاری شبانه	بارانی	چغندر قند
West S9	آذربایجان غربی	قطره‌ای نواری در مقایسه با غرقابی، برنامه‌ریزی آبیاری	قطره‌ای نواری	ذرت
West S12	آذربایجان غربی	کشت نشایی، کاشت به صورت دو ردیفه زیگزاکی، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	قطره‌ای نواری	گوجه‌فرنگی
West S17	آذربایجان غربی	برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی، آبیاری شبانه	بارانی	یونجه
West S14,19	آذربایجان غربی	تغییر سامانه از آبیاری بارانی به قطره‌ای نواری (تیپ)	قطره‌ای نواری	چغندر قند

ادامه جدول ۲

کد مزرعه	استان	فناوری اعمال‌شده	روش آبیاری	نوع محصول
West S21,27	آذربایجان غربی	برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	قطره‌ای	سیب
West S23,24,25	آذربایجان غربی	فناوری PRD*	سطحی	سیب
West S26	آذربایجان غربی	کاهش طول نوار آبیاری سطحی	سطحی	کدو
West S29	آذربایجان غربی	شیارهای دوطرفه ردیف درختان در مقایسه با غرقابی، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	سطحی	گردو
Far S1,5,6	فارس	کوچک کردن کرت‌ها در حد سایه‌انداز درخت، آبیاری میکرو در مقایسه با غرقابی، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	میکرو (حباب‌ساز یا بابلر)	انار
Far S2,3,12-17	فارس	کوچک کردن کرت‌ها در حد سایه‌انداز درخت، استفاده از لوله ۱۶ میلی‌متری برای پر کردن کرت‌ها بجای غرقاب کامل باغ، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	سطحی	انار و پسته
Far S4	فارس	کوچک کردن کرت‌ها در حد سایه‌انداز درخت، آبیاری میکرو در مقایسه با غرقابی، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	میکرو (حباب‌ساز یا بابلر)	پسته
Far S7	فارس	آبیاری قطره‌ای نواری در مقایسه با سطحی، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	قطره‌ای نواری	پنبه
Far S8	فارس	مدیریت زمان آبیاری بر اساس نمایه خاک و گیاه	قطره‌ای نواری	ذرت
Far S9	فارس	کم کردن عرض نوارها در حد سطح سایه‌انداز درخت، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	سطحی	سیب
Far S10,11	فارس	آبیاری قطره‌ای نواری در مقایسه با سطحی، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی	قطره‌ای نواری	ذرت
KH 1,2,3 KH 4,5,6	خوزستان	قطع جریان آب در فاصله ۱۵ درصد طول مزرعه نسبت به انتها (مدیریت آبیاری)، مدیریت تغذیه	سطحی	ذرت
KH 7,8,9 KH 12	خوزستان	قطع جریان آب در فاصله ۱۵ درصد طول مزرعه نسبت به انتها به‌همراه کاهش طول نوار آبیاری به ۲ و ۳ بخش (مدیریت آبیاری)، مدیریت تغذیه	سطحی	کنجد
KH 10	خوزستان	فناوری کاهش جریان آب، به‌نحوی که آب به دوسوم نوار رسید، دبی ورودی نصف می‌شود (مدیریت آبیاری)، مدیریت تغذیه	سطحی	یونجه
KH 11 KH 13,14,15 KH 16,17,18	خوزستان	تغییر مدیریت آبیاری از کرت نواری به طشت اطراف سطح سایه‌انداز درخت به‌همراه اجرای مالچ برگ نخل، فناوری آرایش خوشه خرما و اجرای پوشش توری	سطحی	خرما

* آبیاری جزئی ریشه باعث تحریک رشد ریشه‌های ثانویه آن می‌شود. افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی برای بهبود جذب آب و مواد مغذی خاک مفید است که این پدیده معمولاً با استفاده از روش PRD (آبیاری جزئی منطقه ریشه) مشاهده می‌گردد. East، آذربایجان شرقی، West، آذربایجان غربی، Far، فارس و KH، خوزستان، W، کشت پاییزه و S، کشت بهاره

محاسبات دفتری و اندازه گیری های میدانی

برنامه ریزی آبیاری با استفاده از اطلاعات روزانه داده های هواشناسی ایستگاه های نزدیک به مزارع پایلوت انجام شد. میزان تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه بر اساس داده های هواشناسی با روش پنمن-مانیت-فائو محاسبه و با استفاده از ضرایب گیاهی اصلاح شده در منطقه، نیاز خالص مورد نیاز گیاه به صورت ده روزه و ماهانه در طول دوره رشد بدست آمد. ضرایب گیاهی اولیه از فائو ۵۶ استخراج شده، سپس بر اساس میزان رطوبت نسبی و سرعت باد منطقه، این ضرایب در ماه های مختلف رشد اصلاح گردید. با توجه به میزان شوری آب و خاک، جزء آبشویی بر اساس نوع سامانه آبیاری محاسبه و سپس مدت زمان آبیاری برای هر قطعه زراعی برآورد شد. بر اساس این برآورد، عملیات آبیاری در مزرعه انجام و اندازه گیری های مزرعه ای در طول دوره پایش مزرعه و یا باغ شامل حجم آب ورودی به زمین زراعی و یا باغی، تعیین رطوبت خاک قبل از هر آبیاری جهت تطبیق با برنامه ریزی آبیاری مبتنی با داده های هواشناسی، عمق توسعه ریشه گیاه در هر دور آبیاری و عملکرد محصول انجام شد. برای اندازه گیری حجم آب آبیاری در مزارع و باغاتی که مجهز به سامانه آبیاری سطحی بودند، از فلوم های WSC تیپ چهار استفاده شد. در صورت وجود سامانه کم فشار و سامانه های آبیاری تحت فشار، حجم آب آبیاری در طول فصل رشد، از طریق کنتور حجمی قرائت گردید. همچنین راندمان کاربرد آب در مزرعه با توجه به نوع سامانه آبیاری (سطحی، بارانی و قطره ای) بر اساس روش های استاندارد اندازه گیری و برآورد شد. راندمان در سامانه آبیاری سطحی با اندازه گیری عمق آب آبیاری وارد شده به مزرعه و تعیین عمق آب مورد نیاز منطقه ریشه، برآورد شد. همچنین در صورت وجود سامانه آبیاری بارانی، با تعیین تلفات تبخیر و بادبردگی، راندمان یکنواختی پخش محاسبه گردید. این اندازه گیری ها در طول فصل رشد محصول با توجه به تفاوت در عمق توسعه ریشه، برای هر دور آبیاری انجام شد. با داشتن راندمان آب آبیاری در مزرعه، نیاز خالص

آبیاری گیاه یا همان تبخیر-تعرق واقعی (ET_a) یا آب مصرفی واقعی محصول بدست آمد. در خصوص سامانه آبیاری قطره ای با برآورد ضریب یکنواختی پخش آب قطره چکان ها در مزرعه، نیاز خالص آبیاری برآورد شد. در نهایت با داشتن آب کاربردی به مزرعه (آب آبیاری+بارش مؤثر) و آب مصرفی واقعی (ET_a) محصول، بهره وری آب کاربردی (WP_{I+P}) و بهره وری آب مصرفی (WP_{ET}) برآورد شدند.

محاسبه بازده کاربرد در مزارع و یا باغات مجهز به سامانه آبیاری سطحی

بازده کاربرد در مزارع و باغات بیانگر تلفات به صورت نفوذ عمقی بود و در هر نوبت آبیاری، از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$AE = \frac{SMD}{D_{app}} \times 100 \quad (1)$$

در رابطه (۱)، AE بازده کاربرد آب (درصد)، D_{app} متوسط عمق آب وارد شده به قطعه تحت آبیاری (میلی متر) بوده که برابر با حجم جریان ورودی به قطعه تحت آبیاری (لیتر) تقسیم بر مساحت قطعه (مترمربع) و SMD عمق آب مورد نیاز منطقه ریشه (میلی متر) است که از رابطه (۲) بدست می آید.

$$SMD = (\theta_{fc} - \theta_i) \times \rho_b \times D_r \quad (2)$$

در رابطه (۲)، θ_{fc} و θ_i به ترتیب رطوبت خاک قبل از آبیاری و حد ظرفیت زراعی (گرم/گرم)، ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب) و D_r عمق توسعه ریشه گیاه (میلی متر) می باشند. برای آبیاری اول (خاکآب) که هنوز ریشه ای برای گیاه زراعی وجود ندارد ($D_r = 0$)، در این صورت آب مصرفی در آبیاری اول (خاکآب) از حاصل ضرب K_{cini} مربوط به مرحله اولیه رشد در تبخیر-تعرق پتانسیل محاسبه شده به روش فائو پنمن-مانیت تعیین شد (رابطه ۳).

$$ET_c = K_{cini} \times ET_o \quad (3)$$

مطابق توصیه آلن و همکاران (۱۹۹۸)، ضریب گیاهی مرحله اولیه رشد (K_{cini}) ارائه شده در جداول نشریه

کاربرد (کیلوگرم بر مترمکعب) می‌باشند. در شرایطی که میزان بارش اندک باشد، WP_{I+P} به WP_I تبدیل می‌شود.

نتایج و بحث

اثر فناوری‌ها بر نمایه‌های مهم آب کاربردی و آب مصرفی واقعی برای محصولات پاییزه، بهاره و باغات آذربایجان شرقی در بررسی نمایه‌های مهم آب کاربردی در مزرعه و آب مصرفی واقعی مزارع و باغات مورد پایش در استان آذربایجان شرقی، باغات East S3, S8, S11 که فناوری سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در آن اجرا شده بود، به دلیل تأخیر در بهره‌برداری پروژه و عدم پایش از تحلیل‌ها حذف شدند. در کشت پاییزه گندم، نتایج اعمال هر دو فناوری به‌زراعی؛ (۱) کشت در کف جویچه با دستگاه بذرکار خطی‌کار (East W1-8, W12) و (۲) کشت روی پشته‌های بلند و عریض (East W9-11) که هر دو با تسطیح مزرعه، مدیریت تغذیه کودی در طول فصل رشد محصول و برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک همراه بودند، نشان داد که برای سه نمایه مهم کاربردی آب در مزرعه (عمق آب آبیاری، عملکرد محصول و بهره‌وری آب کاربردی)، اثربخشی تقریباً یکسانی داشتند (شکل ۱). با این حال حداکثر افزایش عملکرد (۸۱/۶ درصد)، حداکثر کاهش عمق آب آبیاری (۵۸/۵ درصد) و بیشترین افزایش بهره‌وری آب کاربردی (۱۰۰ درصد) با اجرای فناوری کشت بذرکار خطی‌کار بدست آمد. این روش کشت، یک فناوری بهینه بوده که در شرایط شوری خاک و آب می‌تواند پاسخگوی مناسبی برای کاشت غلات باشد. به‌هرحال، اعمال هر دو فناوری مذکور در تمامی مزارع مورد پایش گندم توانستند به‌طور متوسط، ۲۵/۶۴ درصد در میزان افزایش عملکرد، ۳۰/۲۲ درصد در کاهش عمق آب آبیاری و ۷۷ درصد در افزایش بهره‌وری آب کاربردی مؤثر باشند (شکل ۱).

فائو ۵۶، بایستی بر اساس شرایط اقلیمی، بافت خاک، عمق آب آبیاری و دور آبیاری، اصلاح گردد. مطابق توصیه سند ملی آب کشور، مقدار بهینه عمق خالص آبیاری در خاک‌آب ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر پیشنهاد شده است. بر این اساس روش دیگر برای محاسبه راندمان آبیاری اول، فرض ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر به‌عنوان عمق خالص است. در پژوهش حاضر، محاسبه راندمان کاربرد در آبیاری اول بر اساس توصیه سند ملی آب کشور و بر مبنای ۵۰ میلی‌متر عمق خالص مورد نیاز آبیاری اول (خاک‌آب)، انجام شد. در نهایت آب مصرفی واقعی (ETa) محصول (میلی‌متر)، با مشخص شدن راندمان (بازده) کاربرد آب در مزرعه (درصد) و عمق آب آبیاری (میلی‌متر) برای هر دور آبیاری بدست آمد.

محاسبه نمایه‌های بهره‌وری آب کشاورزی مزارع

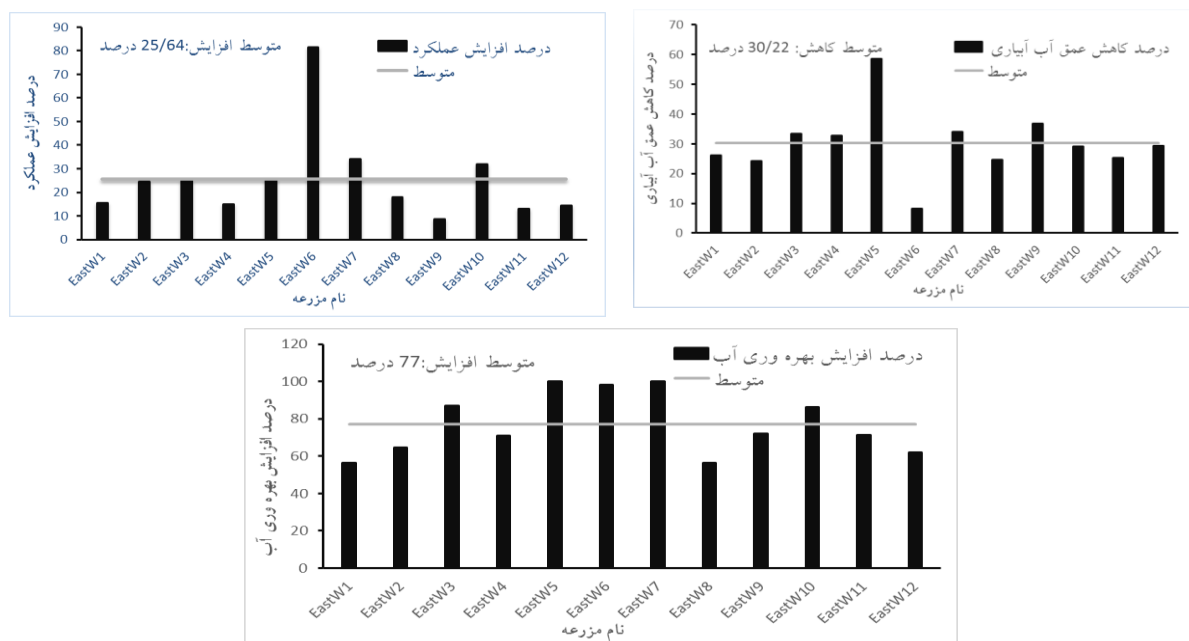
اصطلاح بهره‌وری آب کشاورزی^۳، به نسبت مقدار عملکرد و یا زیست‌توده محصول بر میزان آب مصرفی (تبخیر-تعرق واقعی) و یا حجم آب کاربردی تعریف می‌شود. اگر مبنا آب مصرفی محصول باشد، از WP_{ET} استفاده می‌گردد که در این صورت بهره‌وری مصرف آب به‌صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود.

$$WP_{ET} = \frac{Y(kg\ ha^{-1})}{ET(m^3\ ha^{-1})} \quad (4)$$

در رابطه (۴)، WP_{ET} و ET و Y به‌ترتیب بهره‌وری آب مصرفی واقعی (کیلوگرم بر مترمکعب)، تبخیر و تعرق واقعی طی فصل زراعی (مترمکعب بر هکتار) و عملکرد و یا زیست‌توده محصول (کیلوگرم بر هکتار) است. اگر مقدار آب آبیاری و بارش به‌عنوان آب مورد استفاده گیاه در نظر گرفته شود، بهره‌وری آب با WP_{I+P} نشان داده شده و به‌صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود.

$$WP_{I+P} = \frac{Y(kg\ ha^{-1})}{[I+P](m^3\ ha^{-1})} \quad (5)$$

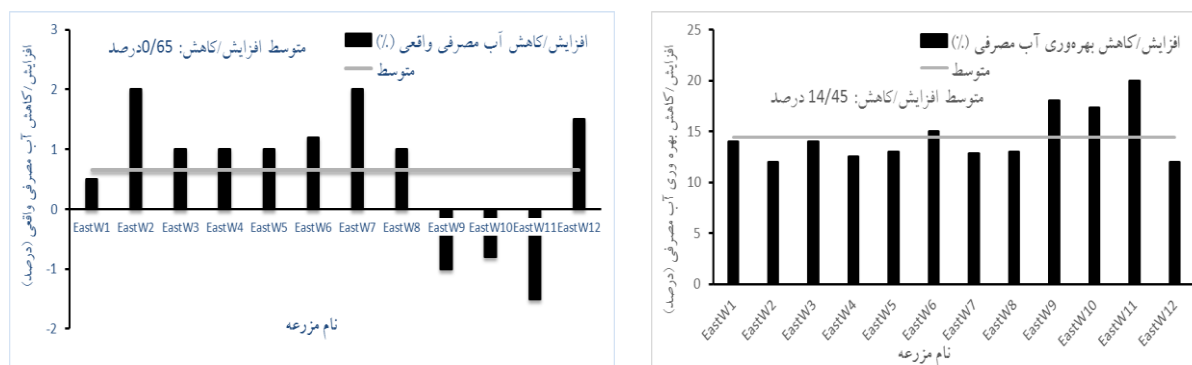
در رابطه (۵)، I و P مقدار آب آبیاری و بارندگی (مترمکعب بر هکتار) در طول فصل زراعی و WP_{I+P} بهره‌وری آب



شکل ۱- مقایسه مقادیر افزایش عملکرد، کاهش عمق آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی-کشت پاییزه گندم-آذربایجان شرقی

عریض، آب با حرکت در جویچه‌ها بر بدنه پشته‌ها نفوذ کرده و علاوه بر این که خود یک روش خاک‌ورزی حفاظتی است (به دلیل حفظ پشته‌ها برای محصول بعدی)، روش آبیاری نشتی، میزان آب مصرفی واقعی را می‌تواند کاهش دهد. به طور کلی، اثربخشی هر دو فناوری کاشت در کنار سایر مدیریت‌ها بیان شده در بسته برای محصول گندم باعث افزایش آب مصرفی واقعی به میزان ۰/۶۵ درصد شد. با این حال این دو فناوری به دلیل ایجاد عملکرد مناسب محصول توانستند میزان WP_{ET} را ۱۴/۴۵ درصد ارتقا بخشند.

همچنین بررسی تغییرات نمایه‌های آب مصرفی واقعی (Eta) و بهره‌وری آب مصرفی (WP_{ET}) بعد از اعمال فناوری‌های به‌زراعی در مزارع کشت گندم نشان داد که فناوری کاشت با دستگاه کف‌کار خطی کار، میزان Eta محصول را در مقایسه با روش کاشت سنتی کشاورز، هرچند ناچیز اما به میزان متوسط ۱/۲۴ درصد افزایش داده است (شکل ۲). این در حالی است که در روش کشت گندم بر روی پشته‌های عریض و بلند، میزان Eta به طور نامحسوس اما روندی کاهشی نسبت به مزارع شاهد (۰/۶ درصد) داشت. در فناوری کشت بر روی پشته‌های بلند و



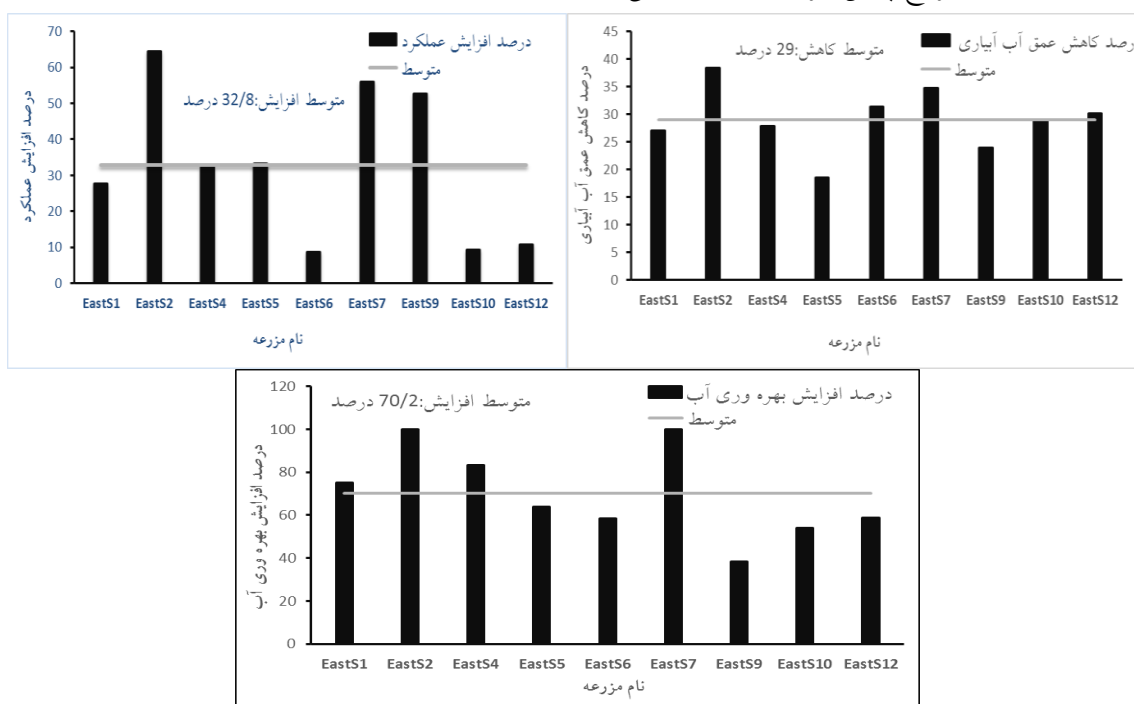
شکل ۲- مقایسه تغییرات مقادیر آب مصرفی واقعی (Eta) و بهره‌وری آب مصرفی (WP_{ET}) - کشت پاییزه گندم-آذربایجان شرقی

بهاره و باغات (شکل ۳)، نتایج نشان داد که استفاده از فناوری‌ها به طور متوسط، ۳۲/۸ درصد افزایش عملکرد، ۲۹

در بررسی اثربخشی اعمال فناوری‌های به‌زراعی بر نمایه‌های مهم آب کاربردی در مزرعه برای کشت‌های

در ارتقا عملکرد، کاهش میزان آب آبیاری و افزایش بهره‌وری آب کاربردی برخوردار بودند. باین‌حال برای درختان شمر، اثربخشی فناوری، ایجاد شیارهای دوطرفه ردیف درختان برای توزیع و مدیریت بهینه آب در باغات جهت ارتقا نمایه‌های کاربردی مزرعه بسیار محسوس بود. به‌طوری‌که این فناوری توانست بر افزایش عملکرد تا ۵۶ درصد، کاهش عمق آب آبیاری تا ۳۵ درصد و ارتقا بهره‌وری آب کاربردی تا ۱۰۰ درصد اثربخش باشد (مزرعه East S7).

درصد کاهش در عمق آب آبیاری و ۷۰/۲ درصد افزایش بهره‌وری آب کاربردی را در تمامی مزارع پایش به‌همراه داشت. حداکثر مقدار در افزایش عملکرد (۶۴/۴ درصد)، حداکثر کاهش عمق آب آبیاری (۳۸/۴ درصد) و بیشترین افزایش بهره‌وری (۱۰۰ درصد)، مربوط به اعمال فناوری در مزرعه سیب‌زمینی با تغییر روش آبیاری از کرت غرقاب شده به جوی و پشته و تغییر روش کشت با استفاده از دستگاه غده‌کار روی پشته بود (East S2). با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که اعمال سایر فناوری‌ها برای محصولات مختلف در مزارع پایش نیز از وضعیت خوبی

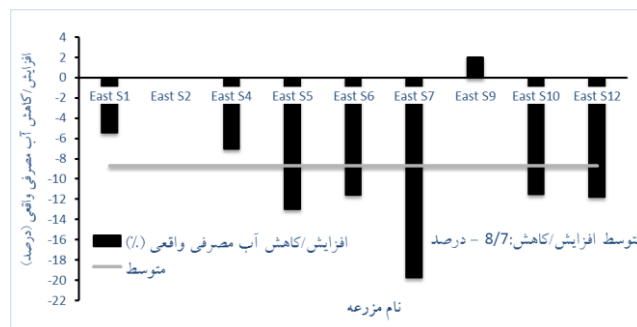


شکل ۳- مقایسه مقادیر افزایش عملکرد، کاهش عمق آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی-محصولات بهاره و باغات-آذربایجان شرقی

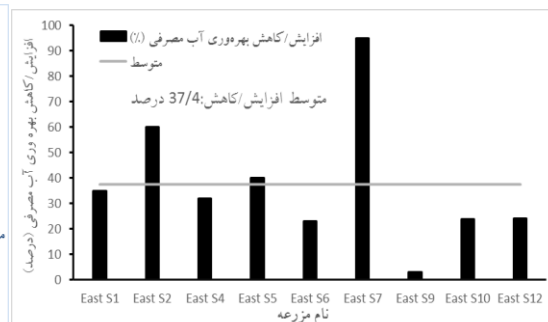
۱۹/۷ درصد، بیشترین میزان کاهش ETa محصول را به همراه داشت (East S7). هرچند فناوری‌های چالکود، هرس و مدیریت بهینه آبیاری در شیارهای عمیق برای باغ انگور با کاهش متوسط ۱۳ درصد (East S5)، برنامه‌ریزی دقیق مزرعه گوجه‌فرنگی بر اساس نمایه خاک و گیاه در کنار روش کشت به‌صورت دو ردیفه زیگزاکی روی پشته‌ها همراه با انتقال نشا با کاهش متوسط ۱۱/۶ درصد (East S6, S10, S12)، ایجاد شیارهای یک‌طرفه برای باغات بادام

همچنین اثربخشی فناوری‌ها بر کاهش ETa و ارتقاء WP_{ET} برای محصولات بهاره و باغات استان آذربایجان شرقی، نتایج نشان داد که تقریباً تمامی روش‌های به‌زراعی به‌کارگرفته در مزارع و باغات (بجز مزرعه East S9)، توانستند ETa را کاهش دهند (شکل ۴). متوسط میزان کاهش ETa تمامی محصولات در مزارع کشت بهاره و باغات پایلوت با اعمال فناوری‌های به‌زراعی، ۸/۷ درصد بود. فناوری ایجاد شیارهای دوطرفه در باغ گوجه‌سبز با

و گیاه در کنار اصلاح و مدیریت بهینه سامانه آبیاری موجود بودند که توانسته‌اند علاوه بر اثربخشی در نمایه‌های کاربردی آب در مزرعه، بر کاهش ETa محصولات نیز مؤثر باشند. اعمال این فناوری‌ها در ارتقا WPET محصولات به‌طور متوسط ۳۷/۴ درصد بود (شکل ۴).



با کاهش متوسط ۵/۴ درصد (East S1) و کشت با دستگاه پنوماتیک و مدیریت آبیاری جوی و پشته در مقایسه با کشت دستی درون کرتی برای محصول کدو با کاهش هفت درصد (East S4)، بر میزان ETa مؤثر باشند. بر اساس موارد فوق مشاهده می‌شود، همه فناوری‌های ذکرشده در زمره روش‌های، برنامه‌ریزی دقیق بر اساس نمایه‌های خاک



شکل ۴- مقایسه تغییرات مقادیر آب مصرفی واقعی (ETa) و بهره‌وری آب مصرفی (WPET)- محصولات بهاره و باغات-آذربایجان شرقی

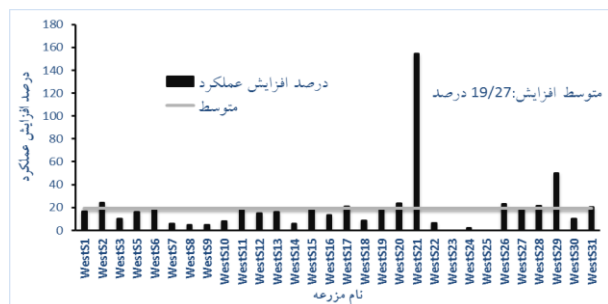
به فناوری، تغییر روش آبیاری از غرقاب دائم به قطره‌ای همراه با برنامه‌ریزی آبیاری بر طبق نمایه‌های خاک و گیاه در باغات سیب (West S7) و محصول پیاز (West S2) به‌ترتیب به‌میزان ۶۸/۴ و ۶۵/۸ درصد بود. کمترین و حتی عدم میزان کاهش عمق آب آبیاری مربوط به فناوری آبیاری جزئی منطقه ریشه بود، به‌طوری‌که با اجرای فناوری مذکور در باغات سیب دارای سامانه آبیاری سطحی، عمق آب آبیاری در قطعات تیمار نسبت به شرایط مدیریت کشاورز (شاهد)، به‌میزان شش درصد افزایش داشت (West S25) و تنها در یک باغ با اجرای این فناوری به‌میزان ۲/۵ درصد کاهش عمق آب آبیاری اتفاق افتاد (West S23). در بررسی تغییرات میزان بهره‌وری آب کاربردی در مزارع و باغات بعد از اعمال فناوری‌های به‌زراعی، نتایج نشان داد که این نمایه به‌میزان متوسط ۸۲/۵۷ درصد ارتقا یافت. به‌طوری‌که اعمال فناوری، برنامه‌ریزی آبیاری طبق نمایه‌های خاک و گیاه برای باغات سیب دارای سامانه قطره‌ای، بیشترین میزان افزایش بهره‌وری آب به‌مقدار ۳۷۳ درصد را داشتند (West S21). هر چند پس از آن مزارع و باغاتی که مبتنی بر مدیریت آب در مزرعه و برنامه‌ریزی آبیاری بودند، مانند West S2

اثر فناوری‌ها بر نمایه‌های مهم آب کاربردی و آب مصرفی

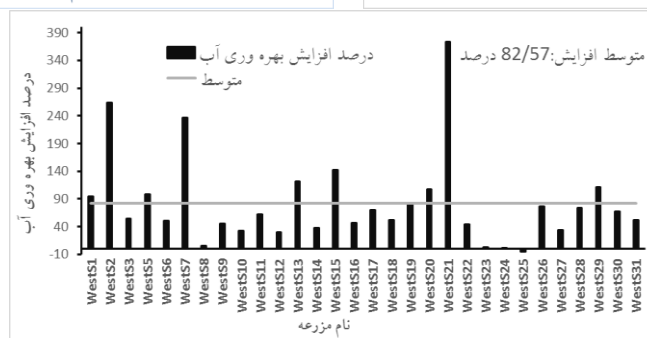
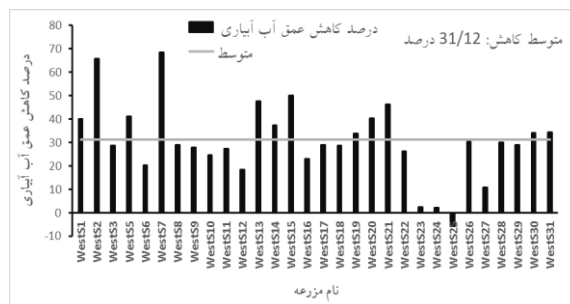
واقعی برای محصولات بهاره و باغات آذربایجان غربی

تغییرات نمایه‌های عملکرد محصول، عمق آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی در تمامی قطعات تیماری پس از اعمال فناوری‌های به‌زراعی منطبق با جدول ۲ برای محصولات بهاره و باغات در استان آذربایجان غربی در شکل ۵ نشان داده شده است. باغ West S4 که فناوری سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در آن اجرا شده بود، به‌دلیل تأخیر در بهره‌برداری پروژه و عدم پایش، از تحلیل‌ها حذف شد. نتایج نشان داد که در اثر اعمال فناوری‌ها، متوسط افزایش عملکرد در همه مزارع و باغات، ۱۹/۲۷ درصد بود. به‌طوری‌که بیشترین افزایش عملکرد به‌میزان ۱۵۴/۵ درصد مربوط به اعمال فناوری برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی در باغات سیب دارای سامانه آبیاری قطره‌ای بود (West S21). کمترین و حتی عدم میزان افزایش عملکرد مربوط به فناوری آبیاری جزئی منطقه ریشه بود (West S23,24,25). میانگین کاهش عمق آب آبیاری با اعمال فناوری‌ها در همه مزارع و باغات، ۳۱/۱۲ درصد بود، به‌طوری‌که بیشترین درصد کاهش عمق آب آبیاری مربوط

این حال اعمال فناوری آبیاری جزئی منطقه ریشه، کمترین میزان در افزایش بهره‌وری آب کاربردی را با مقدار ۵/۵ درصد به همراه داشت (West S25) (شکل ۵).



۲۶۳ درصد، West S7 با ۲۳۶ درصد و West S15 با ۱۴۲ درصد، ارتقا در بهره‌وری آب کاربردی را تجربه کردند که نشان‌دهنده اثربخشی اعمال فناوری مذکور بود. با

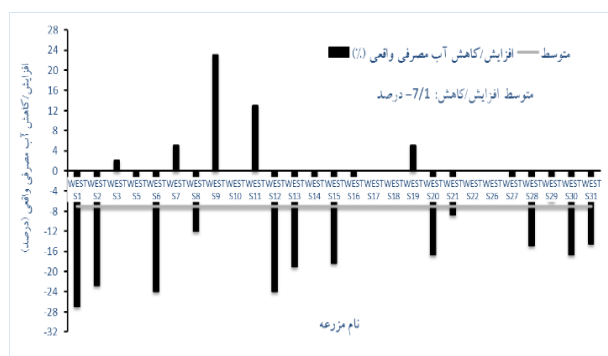


شکل ۵- مقایسه مقادیر افزایش عملکرد، کاهش عمق آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی-محصولات بهاره و باغات-آذربایجان غربی

مصرف غیرمفید آب اثربخش باشد. علاوه بر این، فناوری‌های دیگری مانند کشت نشایی محصول گوجه‌فرنگی با روش کاشت دو ردیفه زیگزاکی روی پشته همراه با برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و نمایه گیاهی در سامانه قطره‌ای نواری (West S12) به میزان ۲۴ درصد، اعمال برنامه‌ریزی بر اساس نمایه‌های خاک و گیاه در سامانه آبیاری قطره‌ای برای محصولات گوجه‌فرنگی (West S6, S31)، پیاز (West S2) و باغات سیب (West S21, S27) به ترتیب به میزان متوسط ۱۹ درصد، ۲۳ درصد و ۶/۸۵ درصد، اعمال مدیریت شبانه همراه با برنامه‌ریزی آبیاری در سامانه بارانی (West S8, S16, S17, S18) به میزان متوسط ۴/۳ درصد و در نهایت فناوری ایجاد شیارهای دوطرفه ردیف درختان (West S1, S13, S15, S20, S28, S29, S30) به میزان متوسط ۱۷ درصد، باعث کاهش در ETa شدند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، فناوری‌هایی که بر پایه برنامه‌ریزی دقیق مبتنی بر نمایه‌های خاک و گیاه در کنار اصلاح و مدیریت بهینه

در پایش اثربخشی فناوری‌ها بر کاهش ETa و ارتقاء WP_{PET} برای محصولات بهاره و باغات استان آذربایجان غربی، نتایج نشان داد که اعمال کلیه فناوری‌ها در همه مزارع و باغات پایلوت، باعث کاهش ETa و ارتقا WP_{PET} محصولات به ترتیب به میزان متوسط ۷/۱ و ۲۱/۷۵ درصد شدند (شکل ۶). به‌طوری‌که بیشترین کاهش مصرف واقعی آب (ETa) به میزان ۲۷ درصد، مربوط به اعمال فناوری ایجاد شیارهای دوطرفه ردیف درختان سیب در مقابل غرقاب کامل باغ بر اساس برنامه‌ریزی آبیاری طبق نمایه‌های خاک و گیاه بود (West S1). علت این مسئله را می‌توان چنین توضیح داد که در باغات، میزان مصرف مفید (تعرق) و مصرف غیرمفید (تبخیر) به‌طور تنگاتنگ و رقابتی در آب مصرفی مؤثرند. بر این اساس کاهش مصرف غیرمفید می‌تواند به‌طور ملموسی بر کاهش ETa مؤثر باشد. این مهم به دلیل مدیریت توزیع آب با ایجاد شیارهای یک‌طرفه و یا دوطرفه در ردیف درختان به علت کاهش سطح خیس‌شدگی در کل باغ بوده که می‌تواند بر کاهش

فناوری‌های دیگری مانند تغییر آرایش کاشت در چغندر قند (West S3, S11)، ایجاد نوارهای کم‌عرض در باغات (West S10)، اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای در مقایسه با سامانه سطحی در باغات (West S7)، کاهش طول نوار آبیاری در سامانه سطحی (West S26) و تغییر سامانه آبیاری از بارانی به قطره‌ای (West S19)، باعث افزایش آب مصرفی واقعی (ETa) محصولات از ۲ تا ۲۳ درصد شده‌اند (شکل ۶).



سامانه آبیاری موجود هستند، توانسته‌اند آب مصرفی واقعی را کاهش دهند. این فناوری‌ها را می‌توان اثربخش‌ترین برشمرد، زیرا ضمن ارتقا نمایه‌های مهم کاربردی در مزرعه (بازگشت به شکل ۵)، بر کاهش ETa و ارتقا WPET محصولات به ترتیب به میزان متوسط ۱۵/۶ و ۳۲/۶ درصد مؤثر بودند (شکل ۶). در مقابل، فناوری ایجاد سامانه آبیاری قطره‌ای در مقایسه با سامانه سطحی برای کشت ذرت نه تنها ETa گیاه را کاهش نداد بلکه باعث افزایش ۲۳ درصدی در میزان ETa محصول شد (West S9). علاوه بر این،



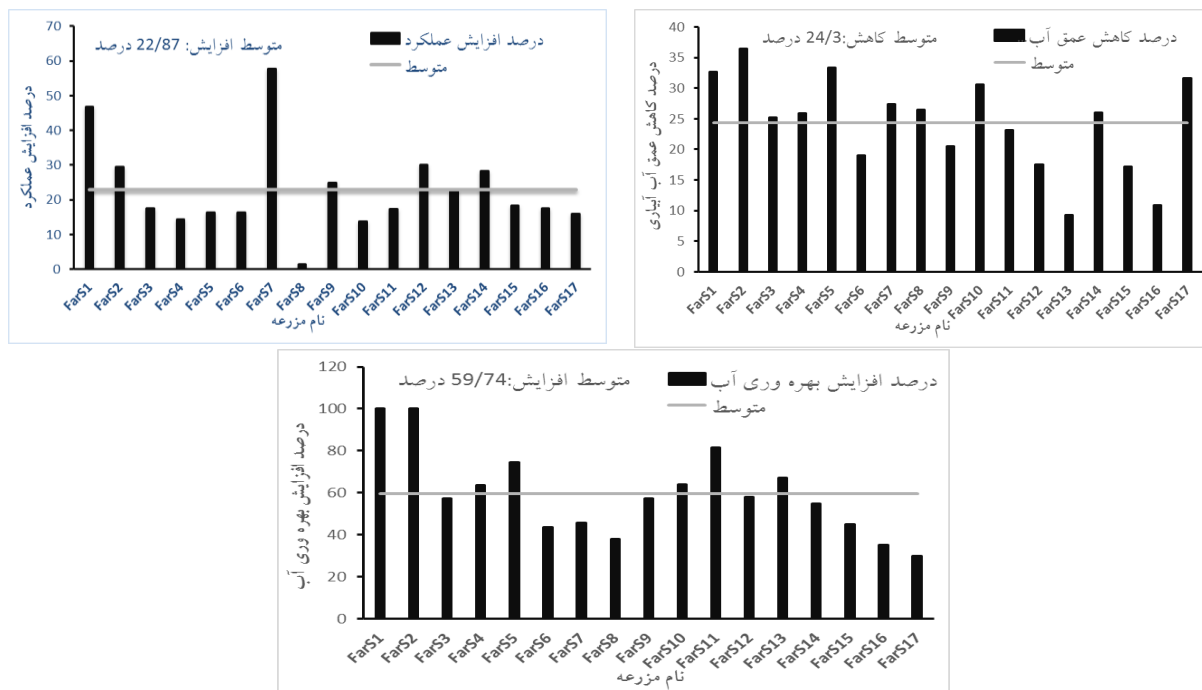
شکل ۶- مقایسه تغییرات مقادیر آب مصرفی واقعی (ETa) و بهره‌وری آب مصرفی (WPET) - محصولات بهاره و باغات- آذربایجان غربی

اساس تغییرات رطوبتی خاک، بیشترین کاهش عمق آب آبیاری (۳۶/۵ درصد) و حداکثر بهره‌وری آب (۱۰۰ درصد) را به همراه داشت (Far S2). این در حالی است که بیشترین افزایش عملکرد را مزرعه پنبه با احداث سامانه آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) به جای روش آبیاری سطحی، به میزان ۵۷/۸ درصد مشاهده شد (Far S7). فناوری برنامه‌ریزی آبیاری در سامانه قطره‌ای نواری (تیپ) بدون تغییر روش آبیاری برای مزرعه ذرت هر چند توانست حداقل عملکرد را حفظ کند، اما به میزان ۲۶/۵ درصد کاهش عمق آب آبیاری را به همراه داشت (Far S8).

اثر فناوری‌ها بر نمایه‌های مهم آب کاربردی و آب مصرفی

واقعی برای محصولات بهاره و باغات استان فارس

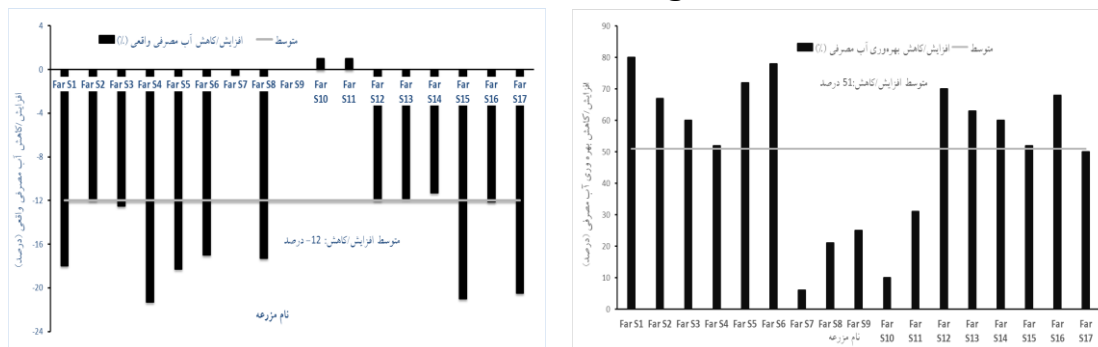
در استان فارس حوضه دریاچه طشک- بختگان، اعمال فناوری‌های به‌زراعی (برگرفته از جدول ۲) باعث افزایش عملکرد به‌طور متوسط ۲۲/۸۷ درصد، کاهش عمق آب آبیاری با میزان متوسط ۲۴/۳ درصد و افزایش متوسط بهره‌وری آب به میزان ۵۹/۷۴ درصد شدند (شکل ۷). فناوری کوچک کردن کرت‌ها در حد سطح سایه‌انداز درخت، استفاده از لوله ۱۶ میلی‌متری برای پر کردن کرت‌ها به جای غرقاب کامل باغ همراه با برنامه‌ریزی آبیاری بر



شکل ۷- مقایسه مقادیر افزایش عملکرد، کاهش عمق آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی-محصولات بهاره و باغات-فارس

سایه‌انداز درختان و استفاده از سامانه آبیاری میکرو به‌جای غرقاب کامل باغ که همراه با برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبتی خاک و دقیق کردن ساعت آبیاری بود، کاهش آب مصرفی واقعی (ETa) بسیار محسوس بود (Far S1, S5, S6) (Far S2, S3, S12-17) (Far S4). به طوری‌که بیشترین میزان کاهش مصرف آب (ETa) در باغ پسته به‌میزان ۲۱/۳ درصد اتفاق افتاد (مزرعه Far S4). همچنین در بررسی اثربخشی اعمال فناوری‌های به‌زراعی، بیشترین افزایش WP_{PET} ناشی از اعمال فناوری کوچک کردن کرت‌ها تا سطح سایه‌انداز درختان انار و استفاده از سامانه آبیاری میکرو به‌جای غرقاب کامل باغ انار همراه با برنامه‌ریزی آبیاری (مزرعه Far S1) به‌میزان ۸۰ درصد بود.

در پایش اثربخشی فناوری‌ها بر ETa و WP_{PET}، نتایج نشان داد که اعمال فناوری‌ها برای همه محصولات و مزارع پایلوت در سطح حوضه طشک-بختگان فارس توانست بر کاهش ETa و ارتقا WP_{PET} به‌ترتیب به‌میزان ۱۲ و ۵۱ درصد مؤثر باشد (شکل ۸). کم کردن عرض نوار آبیاری در باغ سیب (Far S9) و تغییر سامانه آبیاری از سطحی به قطره‌ای در مزرعه ذرت هرچند ناچیز اما میزان ETa را افزایش دادند (Far S10, S11). البته با تغییر سامانه آبیاری در مزرعه پنبه (Far S7) وضعیت نیز چنین بود، ولی مقاوم بودن این محصول در مقابل شوری و اعمال برنامه‌ریزی دقیق آبیاری توانست از افزایش ETa بکاهد. در باغات انار و پسته در کنار کوچک کردن کرت‌ها تا سطح



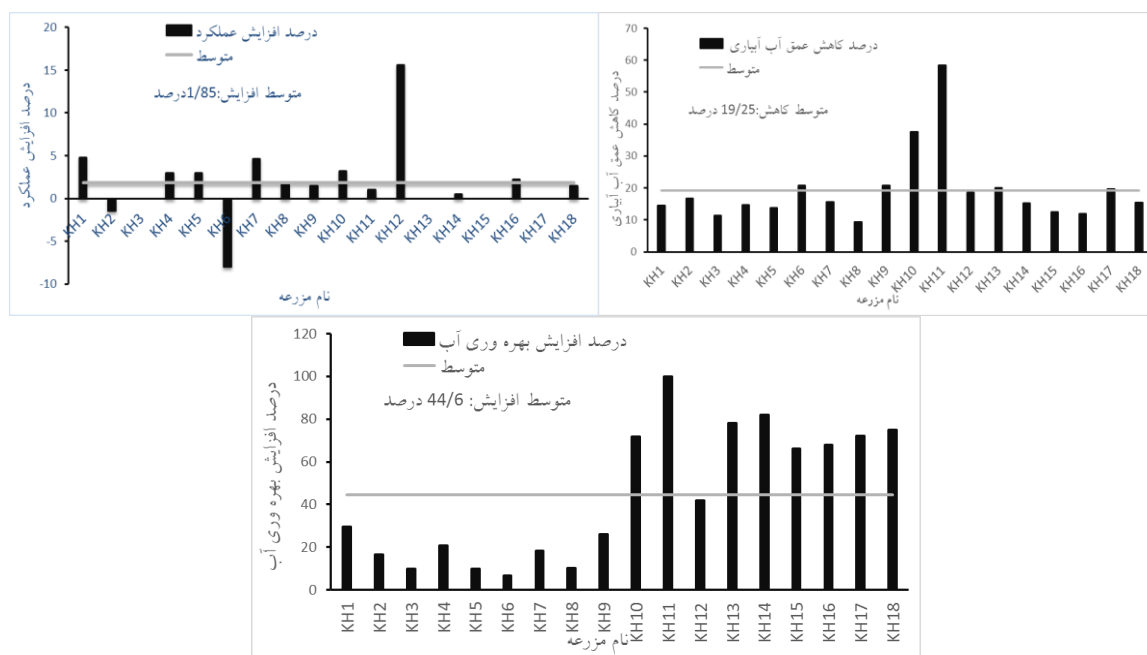
شکل ۸- مقایسه تغییرات مقادیر آب مصرفی واقعی (ETa) و بهره‌وری آب مصرفی (WP_{PET})-محصولات بهاره و باغات-فارس

اثر فناوری‌ها بر نمایه‌های مهم آب‌کاربردی و آب مصرفی

واقعی برای محصولات تابستانه و باغات استان خوزستان

در استان خوزستان، نتایج اثربخشی اعمال فناوری‌های مدیریتی (منطبق بر جدول ۲) در تمامی مزارع و باغات پایش شده در سطح حوضه مارون-جراحی اثرگذار بر تالاب شادگان باعث افزایش عملکرد به میزان متوسط ۱/۸۵ درصد، کاهش عمق آب آبیاری به میزان متوسط ۱۹/۲۵ درصد و افزایش ۴۴/۶ درصدی در بهره‌وری آب کاربردی شدند (شکل ۹). ایجاد طشت آبیاری اطراف سطح سایه‌انداز درختان نخل توانست بهره‌وری آب کاربردی را در بعضی از باغات پایش شده تا ۱۰۰ درصد افزایش و عمق آب آبیاری را تا ۵۸ درصد کاهش دهد (KH11). این در حالی بود که فناوری مذکور عملکرد محصول را نسبت به مدیریت کشاورز (قطعات شاهد) حفظ و یا توانسته تا

دو درصد افزایش دهد (KH 11,13,14,15,16,17,18) (شهرستان‌های رامشیر و شادگان مناطق انتهایی حوضه مارون-جراحی). همچنین روش مدیریتی قطع جریان آب در فاصله ۱۵ درصد طول مزرعه نسبت به انتها در مزرعه کنگد توانست حداکثر به میزان ۱۵/۶ درصد افزایش عملکرد و ۱۸/۶ درصد کاهش عمق آب آبیاری و ۴۲ درصد افزایش بهره‌وری آب کاربردی را به همراه داشته باشد (KH12). با این حال این فناوری در بعضی مزارع ذرت نتوانست عملکرد را حفظ کند و کاهشی هشت درصدی را نیز نسبت به مزارع شاهد تجربه کرد (KH6). تنها مزرعه‌ای که روش مدیریتی کاهش جریان آب برای مدیریت بهینه سامانه آبیاری سطحی اجرا شد، مزرعه یونجه بود که اعمال این فناوری افزایش عملکرد به میزان سه درصد، کاهش عمق آب آبیاری به میزان ۳۸ درصد و افزایش بهره‌وری آب کاربردی به میزان ۷۱ درصد را در بر داشت (KH10).

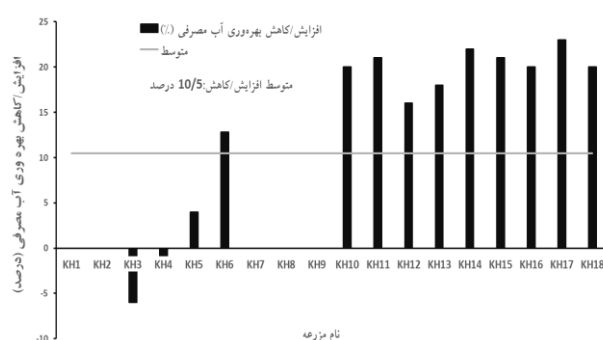


شکل ۹- مقایسه مقادیر افزایش عملکرد، کاهش عمق آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی-محصولات تابستانه و باغات -خوزستان

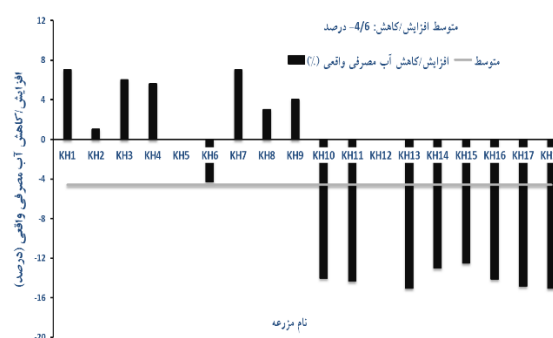
کاهش و WP_{ET} را ۱۰/۵ درصد ارتقا دهد (شکل ۱۰). هر چند فناوری قطع جریان آب در فاصله ۱۵ درصد انتهایی در سامانه آبیاری سطحی جویچه‌ای برای محصولات زراعی نتوانست در کاهش آب مصرفی واقعی (ETa) مؤثر باشد، اما نمی‌توان به‌طور قطع روی این مهم نظر داد چون این

در پایش اثربخشی فناوری‌ها بر کاهش ETa و ارتقاء WP_{ET} برای محصولات تابستانه و باغات استان خوزستان، نتایج نشان داد که اعمال فناوری‌ها برای همه محصولات و مزارع پایلوت در سطح حوضه مارون-جراحی توانست به‌طور میانگین ETa را به میزان ۴/۶ درصد

درخت به‌همراه اجرای مالچ برگ نخل، توانست میزان ETa را تا متوسط ۱۳ درصد کاهش دهد (KH11,13,14,15,16,17,18). همچنین در بررسی اثربخشی اعمال فناوری‌های به‌زراعی، بیشترین افزایش WP_{ET} ناشی از اعمال فناوری، روش مدیریت آبیاری کات بک برای کشت یونجه در سامانه سطحی به‌میزان ۲۰ درصد (KH10) و اعمال فناوری مدیریت آبیاری در سطح سایه‌انداز و استفاده از مالچ در درختان نخل به‌مقدار متوسط ۲۰/۵ درصد بود (KH11,13,14,15,16,17,18).



عامل می‌تواند ناشی از خطاهای مزرعه‌ای بوده که نیاز به پایش‌های بیشتر دارد (KH1,2,3,4,5,7,8,9,12). با این وجود برای محصول یونجه، روش کاهش جریان آب (زمانی که آب به انتهای شیار و یا نوار می‌رسد، دبی ورودی کاهش و یا نصف می‌گردد) در سامانه آبیاری سطحی نواری، توانست ETa محصول را تا ۱۴ درصد کاهش دهد (KH10). همچنین کاهش میزان ETa محصول در باغات نخل نیز محسوس بود، به‌طوری‌که تغییر مدیریت آبیاری از کرت نواری به ایجاد طشت در اطراف سطح سایه‌انداز



شکل ۱۰- مقایسه تغییرات مقادیر آب مصرفی واقعی (ETa) و بهره‌وری آب مصرفی (WP_{ET})- محصولات تابستانه و باغات-خوزستان

منجر به ۱۲ درصد صرفه‌جویی آب شد. همچنین مدیریت کشت گلخانه با ۲۴ درصد کاهش در تبخیر-تعرق واقعی محصول، ظرفیت بالایی بر کاهش مصرف نشان داد. با این‌حال سامانه آبیاری قطره‌ای، باعث افزایش مصرف به‌میزان ۸/۳ درصد در سطح حوضه گردید. هر چند در این سامانه بهره‌وری فیزیکی به‌دلیل افزایش عملکرد ناشی از افزایش تعرق ارتقا داده شد، اما میزان بهره‌وری آب در حوضه آبریز تغییری نکرده است. این پژوهشگران بیان کردند که سامانه آبیاری قطره‌ای نسبت به روش سطحی در حوضه طشک-بختگان، علی‌رغم افزایش راندمان مزرعه را از ۴۲ درصد به ۸۰ درصد، میزان تعرق را از ۴۴۴ میلی‌متر به ۵۱۸ میلی‌متر افزایش داده است. این موارد در تحقیقات جداگانه‌ای توسط لی و همکاران (۲۰۱۶)، وارد و ولاسکوز (۲۰۰۸) نیز بیان شده است. هنگ و همکاران (۲۰۱۴)، با هدف تعیین بهترین فناوری‌ها در صرفه‌جویی واقعی آب،

تغییر سامانه آبیاری، مانند تغییر از روش آبیاری سطحی به تحت‌فشار یا کم‌فشار و یا تغییر از سامانه بارانی به قطره‌ای، به‌علت کاهش تلفات عمقی و رواناب و در کل کاهش عمق آب آبیاری، میزان برداشت را از منابع آب کم می‌کند، اما چون میزان تعرق (مصرف مفید) را افزایش می‌دهد، در نتیجه میزان تبخیر-تعرق واقعی گیاه یا آب مصرفی واقعی (ETa) افزایش می‌یابد. بنابراین، چنانچه راهکار سامانه‌های نوین آبیاری بدون اقدامات مدیریتی کنترل برداشت اجرا شوند، می‌تواند به افزایش مصارف واقعی آب در سطح حوضه آبریز منتهی شود (سازمان حفاظت از محیط‌زیست کشور، ۱۳۹۸). گلی‌ریسی و همکاران (۱۳۹۸)، در بررسی ارزیابی سیاست‌های کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب کشاورزی برای محصولات گندم و گوجه‌فرنگی در حوضه طشک-بختگان فارس، بیان کردند که راهکار کم‌آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد نیاز آبی محصول،

برساند و اما در غیر این صورت، تأثیر آن به حدود ۵۸ میلیون مترمکعب در سال خواهد رسید.

نتیجه گیری

در این پژوهش، با توجه به اهمیت صرفه جویی واقعی آب برای کمک به احیای دریاچه ارومیه، دریاچه طشک- بختگان فارس و تالاب شادگان خوزستان، استقرار کشاورزی پایدار در سطح مزارع کشاورزان برای چهار استان آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، خوزستان و فارس، با اجرای فناوری‌های به‌زراعی در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ مورد پایش قرار گرفت. در این طرح، ۲۴ مزرعه با کشت پاییزه، بهار و باغ از آذربایجان شرقی، ۳۱ مزرعه کشت بهار و باغ از آذربایجان غربی در حوضه دریاچه ارومیه، ۱۷ مزرعه کشت بهار و باغ از استان فارس در حوضه دریاچه طشک-بختگان و در حوضه مارون-جراحی خوزستان، ۱۸ مزرعه کشت تابستانه و باغ جهت اجرای فناوری‌های مختلف به‌زراعی انتخاب و پایش شدند. نتایج نشان داد که متوسط کاهش عمق آب آبیاری در اثر اعمال فناوری‌ها برای مزارع و باغات حوضه‌های دریاچه ارومیه، ۳۰/۴۴ درصد، طشک-بختگان، ۲۴/۳ درصد و مارون-جراحی، ۱۹/۲۵ درصد و میزان متوسط افزایش بهره‌وری آب در حوضه‌های مذکور به‌ترتیب ۷۶/۶ درصد، ۶۰ درصد و ۴۴/۶ درصد بودند. همچنین در بررسی میزان صرفه‌جویی واقعی آب ناشی از اعمال تمامی فناوری‌ها، نتایج نشان داد که میزان متوسط کاهش ETa برای حوضه‌های دریاچه ارومیه، ۵/۵ درصد، طشک-بختگان، ۱۲ درصد و مارون-جراحی، ۴/۶ درصد و متوسط ارتقا WP_{ET} در حوضه‌های آبریز فوق، ۲۳/۸ درصد، ۵۱ درصد و ۱۰/۵ درصد بودند. با توجه به نتایج فوق می‌توان درک کرد که هرچند تمامی فناوری‌ها توانسته‌اند در کاهش آب آبیاری، حفظ یا افزایش عملکرد و در نتیجه افزایش بهره‌وری آب کاربردی مؤثر باشند، اما در کاهش میزان ETa و ارتقا WP_{ET}، همه این فناوری‌ها اثربخش نبوده و اتفاقاً تعدادی از آنها باعث افزایش آب مصرفی در مزرعه شدند که در سطح حوضه

طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ میلادی در هفت کشور جهان، نظیر چین و مراکش برای گندم زمستانه کشت‌شده با روش‌های آبیاری مختلف و تحت شرایط اقلیمی متنوع بیان کردند که استفاده از روش کم‌آبیاری و بهبود برنامه آبیاری نسبت به روش آبیاری کامل می‌تواند تلفات تبخیر از سطح خاک را به‌میزان ۳۰۰-۱۰ درصد از کل تلفات آب کاهش دهد. همچنین بر اساس نتایج پیلوت کشور مراکش، سهم تعرق از کل تبخیر-تعرق، برابر ۷۳ درصد بود. سازمان حفاظت از محیط‌زیست کشور (۱۳۹۸)، در ارائه تجربیات طرح احیا دریاچه ارومیه دو فناوری بسیار اثربخش در کاهش آب مصرفی واقعی حوضه، تغییر نوع و روش کشت و اصلاح اراضی و ابعاد کشت را بیان نمود. تغییر شیوه کشت، نقش نسبی در کاهش برداشت‌های آبی در حوضه (حدود ۳ درصد) و همچنین کاهش تبخیر-تعرق غیرمفید در دوران رشد سبزینه‌ای محصولات داشت. این اقدامات هر چند کاهش جریان‌ات برگشتی را موجب می‌گردند، اما کاهش تلفات تبخیری در مراحل اولیه رشد، صرفه‌جویی واقعی آب به‌میزان حدود ۹/۵ میلیون مترمکعب در سال را به دنبال خواهد داشت و به‌عنوان یکی از اقدامات مؤثر در افزایش بهره‌وری آب در حوضه تلقی می‌شود. در این گزارش بیان می‌شود که فناوری اصلاح اراضی و ابعاد کشت، به‌واسطه نقش مهمی که در کاهش زمان و مقدار آبیاری دارند، کاهش حدود ۳۰ درصدی برداشت آبی در سطح حوضه از منابع آب سطحی و زیرزمینی را موجب می‌گردند. همچنین با توجه به نقش نسبی آن‌ها در کاهش تلفات تبخیری مزارع در مراحل ابتدایی رشد، به‌طور پتانسیل می‌تواند نقش نسبتاً مؤثری در افزایش اثر جریان ورودی به دریاچه ارومیه را داشته باشند. این افزایش رقمی حدود ۸ درصد خواهد بود؛ اما در صورت عدم کنترل اثر بازگشتی بخشی از آب ذخیره‌شده، صرف جبران کم‌آبیاری‌های بالاجبار جاری شده و مقدار آن تقلیل می‌یابد. در صورت کنترل اثر بازگشتی می‌توان انتظار داشت که این اقدام حدود ۹۷ میلیون مترمکعب در سال آب به دریاچه

اثرگذار بود. نتایج بیان می‌کند، تنها فناوری‌هایی که بر اساس برنامه‌ریزی دقیق آبیاری طبق نمایه‌های خاک و گیاه در کنار اصلاح و مدیریت بهینه سامانه آبیاری موجود بودند، توانسته‌اند بر کاهش ET_a و ارتقا WP_{ET} محصولات مؤثر باشند. این فناوری‌ها در حوضه دریاچه ارومیه مانند کشت نشایی محصول گوجه‌فرنگی با روش کاشت دو ردیفه زیگزاک‌ی روی پشته همراه با برنامه‌ریزی آبیاری در سامانه قطره‌ای نواری با کاهش ۲۴ درصدی، اعمال برنامه‌ریزی بر اساس نمایه‌های خاک و گیاه در سامانه آبیاری قطره‌ای برای محصولات گوجه‌فرنگی، پیاز و باغات سیب با کاهش متوسط ۱۹، ۲۳ و ۶/۸۵ درصدی، مدیریت شبانه همراه با برنامه‌ریزی آبیاری در سامانه بارانی با کاهش متوسط ۳/۵ درصدی، فناوری ایجاد شیارهای دوطرفه ردیف درختان با کاهش متوسط ۱۸ درصدی، ایجاد شیارهای یک‌طرفه برای باغات بادام با کاهش متوسط ۵/۴ درصدی، فناوری چالکود، هرس و مدیریت بهینه آبیاری در شیارهای عمیق برای باغ انگور با کاهش ۱۳ درصدی، کشت با دستگاه پنوماتیک و مدیریت آبیاری جوی و پشته در مقایسه با کشت دستی درون کرتی برای محصول کدو با کاهش متوسط هفت درصدی و در نهایت، کشت گندم بر روی پشته‌های عریض و بلند با کاهش متوسط ۰/۶ درصدی در میزان ET_a بودند که اثربخش‌ترین در این حوضه آبریز به‌شمار می‌روند. در حوضه طشک-بختگان، برنامه‌ریزی دقیق آبیاری بر اساس نمایه خاک و گیاه عاملی مؤثر در کاهش آب مصرفی بود. این مهم در باغات انار و پسته در کنار کوچک کردن کرت‌ها تا سطح سایه‌انداز درختان و استفاده از سامانه آبیاری میکرو به‌جای غرقاب کامل باغ تا ۲۱/۳ درصد، ET_a را کاهش داد و اثربخش‌ترین فناوری در

این حوضه به‌شمار آمد. در حوضه مارون-جراحی خوزستان، روش کاهش جریان آب در سامانه آبیاری سطحی نواری برای زراعت (به‌میزان ۱۴ درصد) و تغییر مدیریت آبیاری از کرت نواری به ایجاد طشت در اطراف سطح سایه‌انداز درختان نخل به‌همراه اجرای مالچ برگ نخل (به‌میزان متوسط ۱۳ درصد)، توانستند ET_a را کاهش داده و اثربخش‌ترین فناوری‌ها در این حوضه باشند. نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش برداشت از منابع آب در سطح یک حوضه زمانی اتفاق می‌افتد که میزان آب مصرفی واقعی با در نظر گرفتن حفظ عملکرد محصول در مزرعه کاهش یابد. این مهم با اجرای فناوری‌های اثربخش حاصل از ترکیب تخصص‌های مختلف کشاورزی با توجه به شناخت منطقه، نوع محصول و عوامل اقلیمی در سطح مزرعه و ترویج آن در سطح دشت و یا حوضه امکان‌پذیر خواهد بود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان و محققین این پژوهش در این راستا از همیاری و همکاری سازمان محیط‌زیست کشور، سازمان جهاد کشاورزی استان‌های خوزستان، فارس، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و مراکز تحقیقات کشاورزی استان‌های مذکور تشکر و قدردانی را دارد.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید نویسندگان مقاله است.

فهرست منابع

۱. حیدری، نادر، ۱۳۹۷. مسائل و چالش‌های صرفه‌جویی واقعی آب از طریق افزایش بهره‌وری آب و کاربرد سامانه‌های نوین آبیاری (یادداشت فنی)، نشریه آب و توسعه پایدار، ۵(۲)، صص. ۱۷۵-۱۶۹.

<https://doi.org/10.22067/jwsd.v5i2.71076>

۲. دهقانی سانچ، حسین، میر لطیفی، مجید، و طایفه رضایی، حیدر، ۱۳۹۵. شناسایی فناوری‌های مؤثر بر مصرف و بهره‌وری آب کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، گزارش سازمان حفاظت از محیط‌زیست، طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، ۱۵۹ صص.
۳. دهقانی سانچ، حسین، میرلطیفی، مجید، و رضوردی نژاد، وحید، ۱۳۹۸. اثربخشی فناوری‌های برتر به‌زراعی برای کاهش برداشت از منابع آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، گزارش سازمان حفاظت از محیط‌زیست. طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، ۱۷۰ صص.
۴. دهقانی سانچ، حسین، میرلطیفی، مجید، رضوردی نژاد، وحید، و نیکان فر، رامین، ۱۳۹۹ الف. بررسی تکنیک های دقیق کشاورزی با رویکرد فعالیت بخش خصوصی برای کاهش آب ورودی به سایت‌های الگویی حوزه آبریز دریاچه ارومیه، گزارش سازمان حفاظت از محیط زیست، طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، ۱۶۵ صص.
۵. دهقانی سانچ، حسین، ابراهیمی، میلاد، رضوردی نژاد، وحید، و تقی زاده قصاب، افروز، ۱۳۹۹ ب. اثربخشی تغییر روش آبیاری و آرایش کاشت چغندر قند بر بهره‌وری آب، عملکرد و راندمان کاربرد آب در دشت میاندوآب، تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱ (۸)، صص. ۲۱۳۶-۲۱۲۵.
- <https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.300764.668575>**

 ۶. دهقانی سانچ، حسین، مختاران، علی، تقی زاده قصاب، افروز، رضا وردی نژاد، وحید، ورجاوند، پیمان، شاهرخ نیا، محمدعلی، نیکانفر، رامین، نوریجو، امیر، حبیبی اصل، جعفر، به‌آیین، محمدعلی، یارقلی، بهمن، و سلامتی، نادر، ۱۴۰۲. گزارش "ارزیابی اثربخشی فناوری‌های به‌زراعی بر کاهش مصرف آب، ارزیابی اقتصادی و ردپای کربن در اراضی کشاورزی پیرامون تالاب‌های کشور (مطالعه موردی تالاب‌های ارومیه - شادگان و بختگان)"، گزارش سازمان حفاظت از محیط‌زیست، طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، ۱۴۰ صص.
۷. سازمان حفاظت از محیط‌زیست، طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، ۱۳۹۸. گزارش "ارزیابی میزان صرفه‌جویی آب در اقدامات انجام‌شده" در طرح "الگوسازی مشارکت مردم در احیای دریاچه ارومیه و میزان اثربخشی آن‌ها در افزایش جریان ورودی به دریاچه"، جلد ۲، ۱۵۰ صص.
۸. گلی‌ریسی، لیلا، مرید، سعید، و دلاور، مجید، ۱۳۹۸. ارزیابی سیاست‌های کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب کشاورزی در چارچوبی همبسته، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳ (۵)، صص. ۱۴۲۵-۱۴۱۰.
- <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1398.13.5.20.4>**

 9. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56, 300PP.
10. Heng, L., Nguyen, L., Gong, D., Mei, X. and Amenzou, N., 2014. Separating soil evaporation and crop transpiration to improve crop water use efficiency. Geophysical Research Abstracts, 16: PP.1934-2014.
11. Keller, A. A. and Keller, J., 1995. Effective efficiency: a water use efficiency concept for allocating freshwater resources. Discussion paper 22, Center for Economic Policy Studies, Winrock International, 19 PP. Also printed in the USCID Newsletter, Issue 71, Apr 94-Jan 95, pp 4-10 with discussion by W. Clyma in the USCID Newsletter, Issue 72, Apr-Oct 95, pp 5-9, along with Keller's response, pp 4 and 22.
12. Li, J., Cui, J., Chen, R., Yang, P., Wu, Y. H., Chai, S. X. and Wangsomboondee, T., 2016. Evapotranspiration and crop coefficient of drip-irrigated winter wheat in China's Xinjiang Province, SCIENCEASIA, 42(5), PP. 303-314.
13. Molden, D., Sakthivadivel, R. and Habib, Z., 2001. Basin level use and productivity of water: examples from South Asia. In: Res, Rept., vol 49, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 29 pp.

14. Perry, C. and Steduto, P., 2017. Does improved irrigation technology save water? A Review of the evidence. Discussion paper on irrigation and sustainable water resources management in the near East and North Africa. Food and agricultuer organization of the United Nations Cairo. ISBN 978-92-5-109774-8, 57pp.
15. Van Opstal, J., Droogers, P., Kaune, A., Steduto, P. and Perry. C., 2021. Guidance on realizing real water savings with crop water productivity interventions. Wageningen, FAO and Future Water. <https://doi.org/10.4060/cb3844en>
16. Ward, F. A. and Pulido-Velazquez, M., 2008. Water conservation in irrigation can increase water use. Proceedings of the National Academy of Sciences, 105(47):18215-20.
doi: 10.1073/pnas.0805554105

ارزیابی عملکرد فنی و تغییرات شوری خاک در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

باغ‌های پسته استان سمنان

نادر نادری* و سیدمحسن طباطبائی

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران.

Naderi7367@yahoo.com

کارشناس، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران.

mehrad6788@gmail.com

دریافت: اسفند ۱۴۰۲ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۳

چکیده

یکی از روش‌های مدیریت بهینه مصرف آب در بخش کشاورزی آبیاری قطره‌ای زیرسطحی است. این پژوهش با هدف بررسی عملکرد فنی و وضعیت شوری خاک در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیر سطحی اجرا شده در استان سمنان طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ انجام شد. تعداد پنج سامانه در شهرستان‌های شاهرود، دامغان و سمنان مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور، ویژگی‌های هیدرولیکی سامانه، پروفیل رطوبت و شوری خاک بررسی شد. در مجموع، نتایج ارزیابی نشان داد که ضریب تغییرات دبی از ۴٪ تا ۸٪، ضریب یکنواختی آماری از ۸۵٪ تا ۹۰٪ و عملکرد کلی قطره‌چکان از ۰/۰۹ تا ۰/۱۵ متغیر بود. عملکرد هیدرولیکی سامانه‌ها از وضعیت نسبتاً مطلوبی برخوردار بود. نتایج ارزیابی نشان داد که در برخی قسمت‌ها، فشار در انتهای لترال‌ها کمتر از حد لازم بود، اما استفاده از قطره‌چکان‌های جبران‌کننده فشار باعث تنظیم دبی در این قسمت‌ها شده بود. در باغ‌های مورد بررسی، عمق نصب لترال‌ها غیر یکنواخت و بین ۱۵ تا ۴۵ سانتی‌متر بود. مقدار رطوبت خاک، از سطح تا عمق روندی افزایشی داشت. بررسی پروفیل شوری عصاره اشباع خاک نشان داد که مقدار شوری با افزایش عمق روندی کاهشی، و با افزایش فاصله افقی از لوله لترال روندی افزایشی داشت. مقدار بیشینه شوری در عمق نصب ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر، در لایه‌های ۳۰- و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری خاک وجود داشت. علت افزایش شوری در این ناحیه کاهش رطوبت خاک در اثر صعود مویینه رطوبت و تبخیر آن از سطح خاک و جذب سریع‌تر رطوبت توسط ریشه بوده است. مهم‌ترین عوامل بهبود عملکرد سامانه‌ها عبارتند از: اجرای صحیح سامانه‌ها و تأمین فشار لازم در مانیفولدها و لترال‌ها، آبشویی خاک در فصل زمستان با آبیاری سنگین غرقابی، و کارگذاری لترال‌ها در عمق مناسب به‌طور یکنواخت.

واژه‌های کلیدی: رطوبت خاک، آبشویی خاک، عملکرد قطره‌چکان، کارگذاری لترال، یکنواختی پخش آب

مقدمه

محدود بودن مقدار آب در مناطق پسته‌کاری کشور از جمله استان سمنان، لزوم استفاده بهینه از منابع آبی موجود را قوت بخشیده است. در این مناطق باید بر بالا بردن تولید به‌ازای واحد آب مصرفی متمرکز شد. به‌دلیل شرایط اقلیمی منطقه و تابش شدید آفتاب، بخش زیادی از آب داده شده به درختان تبخیر می‌شود. به همین دلیل استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌عنوان گزینه‌ای جهت رفع این مشکلات مطرح است (باستانی، ۱۳۹۶). دهقانی‌سانج و همکاران (۱۳۹۸) نتیجه گرفتند که مقدار رطوبت در اطراف محل کارگذاری لوله‌های قطره چکان‌دار بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد. همچنین میزان رطوبت در زیر عمق کارگذاری لوله‌های قطره‌چکان دار نسبت به بالای این عمق بیشتر بود. بررسی مدیریت بهره‌برداری در سامانه‌های اجرا شده آبیاری زیرسطحی در باغات پسته استان کرمان نشان داد یکنواختی پخش آب در بین قطعات متفاوت بوده و در مواردی ضریب تغییرات دبی در حد غیر قابل قبول طبقه‌بندی شد. علاوه بر این بهره‌بردار از یک برنامه دقیق آبیاری پیروی نمی‌کرد به‌طوری‌که در بعضی مواقع بیش‌آبیاری و در بعضی مواقع کم‌آبیاری انجام می‌شد (کوهی و دهقانی، ۱۳۹۱). یکی از اهداف مهم در آبیاری قطره‌ای، یکنواختی پخش آب است که به یکنواختی خروج آب از قطره‌چکان‌ها بستگی دارد. عوامل متعددی نظیر گرفتگی قطره‌چکان، تغییرات فشار آب و ساختمان قطره‌چکان‌ها بر یکنواختی پخش آب مؤثر است (ای اس ای ای، ۲۰۰۳). آکار و همکاران (۲۰۱۰) با ارزیابی سامانه های آبیاری تحت فشار در کشور ترکیه، میانگین ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای را به ترتیب ۸۱ و ۶۹ درصد به‌دست آوردند. گرفتگی قطره چکان‌ها، پایین بودن مقادیر فشار در سامانه، طراحی ضعیف و مدیریت بهره‌برداری نامناسب از عوامل افت یکنواختی پخش سامانه، تشخیص داد شدند. سرچشمه‌پور و همکاران (۱۳۸۴) طی پژوهشی امکان تغییر سامانه آبیاری از روش سنتی به قطره‌ای در باغات پسته کرمان را مورد بررسی قرار

دادند. در روش سنتی ۹۰۰۰ و در تیمارهای روش قطره‌ای ۵۰۰۰ و ۷۵۰۰ مترمکعب در سال آب مصرف شد درحالی که بین عملکرد آن‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. لذا نتیجه گرفتند با استفاده از سامانه قطره‌ای ضمن کاهش حدود ۵۰ درصدی مصرف آب می‌توان به عملکرد مطلوبی دست‌یافت. عبداللهی و فکری (۱۳۸۸) سه روش آبیاری سنتی، قطره‌ای سطحی و زیرسطحی را از نظر مقدار مصرف آب و وضعیت رطوبتی خاک مورد مقایسه و بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج مطالعه مذکور راندمان آبیاری در روش زیرسطحی به‌طور معنی‌داری بیش از راندمان آبیاری در روش‌های سنتی و قطره‌ای سطحی بود. همچنین در طول فصل زراعی به‌علت دور آبیاری کوتاه و پیوستگی آبیاری در روش‌های قطره‌ای سطحی و زیرسطحی رطوبت خاک همواره نزدیک ظرفیت زراعی نگهداری می‌شد در نتیجه عملکرد از نظر کمی و کیفی در وضعیت بهتری قرار داشت. سیاری و همکاران (۱۳۸۶) برای آبیاری زیرسطحی درختان پسته در رفسنجان کارگذاری لترال‌ها در دو عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری را مورد مقایسه و بررسی قرار دادند. در پایان نتیجه گرفتند که کارگذاری لترال‌ها در عمق ۳۰ سانتی‌متری به‌دلیل نزدیکی به سطح خاک، باعث افزایش تلفات تبخیر شد. همچنین در این عمق کارگذاری، تجمع املاح در منطقه ریشه نسبت به عمق کارگذاری ۶۰ سانتی‌متر بیشتر بود.

طی پژوهشی بر اساس نتایج مدل‌های هایدروس و اندازه‌گیری گیاهی مشخص شد که جذب آب توسط ریشه درخت پسته در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به طور معنی‌داری از آبیاری قطره‌ای سطحی بیشتر بود. همچنین نتایج نشان داد که رطوبت خاک تا چهار روز بعد از آبیاری قطره‌ای به‌خوبی پاسخ‌گوی نیاز گیاهی بوده و کوتاه بودن دور آبیاری باعث می‌شود که بتوان از بیشترین پتانسیل این سامانه بهره برد (عطایی و همکاران، ۱۳۹۷). مسئله نفوذ ریشه به داخل قطره‌چکان‌ها یکی از دغدغه‌های موجود هنگام استفاده از روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی است و نفوذ ریشه به داخل قطره‌چکان‌ها می‌تواند باعث انسداد آن‌ها، کاهش آبدهی و یکنواختی پخش آبیاری شود.

در سال‌های اخیر برای جلوگیری از ورود و رشد ریشه داخل قطره‌چکان از سم علف‌کش تری‌فلورالین با نام تجاری ترفلان استفاده می‌شود. ترفلان مانع رشد و تکثیر سلول‌های مریستمی ریشه می‌گردد (کوهی، ۱۳۹۴). روسو و همکاران (۲۰۰۱) حرکت ترفلان مورد استفاده در سامانه آبیاری زیرسطحی را با استفاده از روش‌های عددی بررسی نمودند. نتایج شبیه‌سازی کامپیوتر نشان داد که حرکت و انتشار ترفلان در خاک به‌خاطر جذب قوی توسط ذرات خاک، به‌کندی انجام می‌شود و وجود ترفلان در خاک اطراف قطره‌چکان از ورود ریشه به قطره‌چکان جلوگیری می‌کند. لازم به ذکر است که استفاده از ترفلان (تری‌فلورالین) به دلیل سمیت بالا برای آبزیان و سرطانی‌ها در اتحادیه اروپا ممنوع شده است (کاراسالی و همکاران، ۲۰۱۷؛ لی و همکاران، ۲۰۲۱). کمپ و همکاران (۲۰۰۰) نتیجه گرفتند افزایش تعداد آبیاری‌ها و بالا نگه‌داشتن رطوبت خاک در اطراف قطره‌چکان‌ها می‌تواند در جلوگیری از گرفتگی آن‌ها توسط ریشه مؤثر باشد زیرا زمانی که ریشه در محیط مرطوب قرار گرفته و در معرض تنش آبی نباشد رغبتی برای حرکت به سمت محیط مرطوب مجاور قطره‌چکان نخواهد داشت. اسلامی و نقوی (۱۳۹۶) نتیجه گرفتند که بیشترین ریشه‌های موین پسته که وظیفه جذب آب و مواد غذایی را بر عهده دارند، در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتیمتری از سطح خاک قرار دارند.

شریعتی (۱۳۷۵) به جمع‌بندی نتایج تحقیقات انجام‌شده در خصوص پسته از سال ۱۳۵۰ تا سال ۱۳۷۲ پرداخت و نتیجه گرفت میزان آب مصرفی پسته در آبیاری سنتی بین ۸۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار و دور آبیاری در بهار و پاییز ۳۰ روز و در تابستان ۲۵ روز بوده است. نقوی (۱۳۹۵) در کشکویه رفسنجان نیاز آبی پسته در روش آبیاری زیرسطحی را ۴۰۱۰ مترمکعب در هکتار بیان نمود. با توجه به اینکه منابع آب سطحی نظیر رودخانه‌ها در مناطق خشک بسیار محدود است لذا برای آبیاری از منابع آب زیرزمینی استفاده می‌شود که آب این منابع معمولاً شور است. لذا اگر مدیریت آبیاری بر اساس اصول علمی

و رعایت نکات فنی نباشد اراضی در حد غیر قابل استفاده ای شور خواهند شد (ولی پور و همکاران، ۱۳۸۷). مقادیر بالای هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک نشان‌دهنده شوری زیاد خاک است و افزایش نمک باعث کاهش توانایی جذب آب توسط گیاه می‌گردد. اگر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک بیش از هشت دسی زیمنس بر متر باشد به‌منظور آبشویی و پایین آوردن شوری خاک توصیه می‌شود در زمستان از آبیاری سنگین غرقابی استفاده شود. در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌طور طبیعی نمک‌ها در حاشیه خارجی پیاز رطوبتی در خاک تجمع می‌یابد در نتیجه غلظت نمک‌ها در سطح خاک بین ردیف‌های لوله‌های آبداء بیشتر است (سیاری و همکاران، ۱۳۸۶). صدآقتی و همکاران (۱۳۹۱) ضمن بررسی توزیع شوری در پروفیل خاک در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای عمق‌های مختلف نصب لترال نتیجه گرفتند به‌دلیل اینکه بیشترین تراکم ریشه‌های فعال درختان پسته در عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر قرار دارد بهترین وضعیت توزیع شوری در خاک با عمق نصب لترال‌ها برابر ۳۰ سانتیمتر به‌دست آمد. در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی کمترین مقدار شوری در عمق‌های زیر قطره‌چکان مشاهده شد و با فاصله گرفتن از قطره‌چکان‌ها به‌صورت شعاعی شوری خاک افزایش یافت. سجادی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کردند که خصوصیات شیمیایی خاک‌ها تحت تأثیر کیفیت آب آبیاری است و با افزایش شوری آب آبیاری به بیش از ۱۰ دسی زیمنس بر متر در شهر رباط کرمان عملکرد پسته کاهش یافت و مدیریت شوری خاک و انجام آبشویی را ضروری دانستند. بر اساس مطالعات انجام‌شده توسط پژوهشکده پسته، شوری آب آبیاری تا مرز هشت دسی زیمنس بر متر، تأثیر منفی بر تولید پسته نداشته ولی از این مقدار به بالا باعث کاهش عملکرد این محصول می‌شود (زارع و خالدیان، ۱۳۹۶). در مطالعه دیگر مؤثر بودن دور آبیاری و پوشش مالچ بر توزیع املاح و رطوبت در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در باغ‌های پسته گزارش شد. تأثیر دور آبیاری بر توزیع رطوبت و شوری در باغ‌های پسته تحت شرایط آبیاری

قطره‌ای زیرسطحی نشان داد که دور آبیاری کوتاه‌تر در مقایسه با دور آبیاری طولانی‌تر باعث ذخیره رطوبتی بیشتر و تجمع کمتر نمک در منطقه توسعه ریشه می‌شود (دهقانی سانج و همکاران، ۱۳۹۸).

با توجه به اینکه سامانه آبیاری زیرسطحی در چند سال اخیر در تعدادی از باغات پسته استان سمنان اجرا شده است و هنوز پژوهشی مدون در زمینه بررسی عملکرد فنی آن‌ها و شوری خاک در سطح استان صورت نگرفته است لذا این پژوهش با هدف بررسی عملکرد فنی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی اجراشده در استان سمنان و ارزیابی پروفیل رطوبت و شوری خاک در باغات موردنظر به‌منظور بهبود عملکرد و مدیریت سامانه‌های مورد بررسی انجام شد. بدین‌منظور یکنواختی توزیع و خصوصیات هیدرولیکی سامانه، پروفیل رطوبت و شوری در خاک و عمق نصب لترال‌ها بررسی و تعیین شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش کارایی پنج سامانه آبیاری قطره‌ای زیر سطحی اجراشده در باغات پسته استان سمنان در شهرستان‌های سمنان، شاهرود و دامغان بررسی شد. مشخصات باغ‌ها و سامانه‌های مورد ارزیابی در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. شوری آب آبیاری در باغات مورد بررسی از ۰/۸۳ تا ۷/۷ د سی زیمنس بر متر متغیر بود. در تمام باغ‌های مورد بررسی از لوله‌های قطره‌چکان‌دار یورو درپ استفاده شده بود (جدول ۲). با خارج کردن خاک از روی تعدادی از قطره‌چکان‌ها آبدهی آن‌ها اندازه‌گیری شد. آبدهی قطره‌چکان‌ها از ۱/۳۴ تا ۲/۲۶ لیتر بر ساعت بود؛ و سامانه تصفیه آب در این باغات به‌صورت خودکار شستشو می‌شد.

جدول ۱- مشخصات باغ‌های پسته انتخابی

ردیف	شهرستان	سطح باغ (هکتار)	هدایت الکتریکی آب آبیاری (دسی زیمنس بر متر)	بافت خاک	متوسط هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک تا عمق ۹۰ سانتیمتری (دسی زیمنس بر متر)
1	شاهرود	46	7.7	شنی لومی	8.5
2	شاهرود	105	0.83	شنی لومی	2.0
3	دامغان	150	2.1	سیلتی لوم	2.8
4	دامغان	132	2.4	رسی لومی	12.5
5	سمنان	80	7.7	لومی شنی	8.1

جدول ۲- مشخصات سامانه‌های آبیاری مورد ارزیابی

ردیف	نام لوله قطره‌چکان دار	دبی قطره‌چکان (لیتر بر ساعت)	عمق کارگذاری لوله‌ها (سانتی‌متر)	فاصله قطره‌چکان (سانتی‌متر)	آرایش لترال‌ها	نوع شستشوی صافی‌ها
1	PC2 یورو درپ	2.26	20-40	60	دو خطه	اتوماتیک
2	PC2 یورو درپ	1.34	20-40	60	دو خطه	اتوماتیک
3	PC2 یورو درپ	2.26	15-20	70	دو خطه	اتوماتیک
4	PC2 یورو درپ	1.34	30	50	دو خطه	اتوماتیک
5	PC2 یورو درپ	2.26	40	80	دو خطه	اتوماتیک

برای ارزیابی عملکرد هیدرولیکی سامانه آبیاری با توجه به استاندارد ASAE یک مانیفولد به‌طور تصادفی انتخاب‌شده و روی آن چهار لوله فرعی (ابتدایی، یک‌سوم، دو سوم و انتهایی) را انتخاب و روی هر لوله فرعی، چهار قسمت (ابتدایی، یک‌سوم، دو سوم و انتهایی) را تعیین کرده، آنگاه به‌مدت پنج دقیقه حجم آب خروجی هر قطره

چکان (qi) اندازه‌گیری شد. فشارها در ابتدا و انتهای لوله‌های جانبی نیز با مانومتر اندازه‌گیری شد (ای اس ای ای، ۲۰۰۳). سپس دبی متوسط و انحراف از معیار (Sq) با استفاده از معادله‌های ۱ و ۲ محاسبه شد. برای بررسی عملکرد سامانه، شاخص‌های ارزیابی شامل ضریب تغییرات دبی (Vqs)، ضریب یکنواختی آماری (Uqs) و

$$V_{qh} = xV_{hs} \quad (5)$$

در معادله بالا x توان معادله دبی قطره‌چکان است. یکنواختی آماری دبی قطره‌چکان‌ها با در نظر گرفتن هیدرولیک جریان از معادله (۶) محاسبه شد:

$$U_{sh} = 100(1 - V_{qh}) \quad (6)$$

عملکرد کلی قطره‌چکان (Vpf) بستگی به تغییرات دبی آن دارد و عوامل مختلف مانند تغییرات فشار و دما در داخل شبکه لوله، شکل قطره‌چکان، گرفتگی و همچنین فرسودگی قطره‌چکان بر روی تغییرات دبی قطره‌چکان مؤثر است. این شاخص از معادله ۷ محاسبه شد:

$$V_{pf} = \sqrt{V_{qs}^2 - V_{qh}^2} \quad (7)$$

عملکرد هیدرولیکی سامانه بر اساس شاخص‌های ذکر شده و مطابق استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا (جدول ۳) بررسی شد (ای اس ای ای، ۲۰۰۳).

عملکرد کلی قطره‌چکان (Vpf) با استفاده از معادلات زیر محاسبه شد.

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \quad (1)$$

$$S_q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n q_i^2 - \frac{1}{n}(\sum_{i=1}^n q_i)^2}{n-1}} \quad (2)$$

$$V_{qs} = \frac{S_q}{\bar{q}} \quad (3)$$

$$U_{qs} = 100(1 - V_{qs}) \quad (4)$$

در معادله‌های بالا، با جایگزینی فشار (hi) با دبی (qi) شود، فشار هیدرولیکی متوسط و ضریب تغییرات فشار (Vhs) محاسبه شد. برای محاسبه ضریب تغییرات دبی با در نظر گرفتن هیدرولیک جریان (Vqh)، از معادله (۵) استفاده شد:

جدول ۳ - درجه‌بندی کیفی شاخص‌های عملکرد سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر اساس استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی

U _{qs}	عالی بیشتر از 90%	خوب 80-90%	قابل قبول 70-80%	ضعیف 60-70%	غیر قابل قبول کمتر از 60%
V _{qs}	کمتر از 0.05	0.05 - 0.07	0.07 - 0.11	0.11 - 0.15	بیشتر از 0.15
V _{pf}	کمتر از 0.05	0.05-0.1	0.10 - 0.15	0.15 - 0.20	بیشتر از 0.20

نتایج و بحث

ارزیابی هیدرولیکی

نتایج ارزیابی هیدرولیکی باغ‌ها در جدول ۴ ارائه شده‌است. در باغ شماره ۱ نتایج نشان داد ضریب تغییرات دبی (Vqs) برای قطعات مورد بررسی برابر چهار و شش درصد و به ترتیب در حد عالی و خوب بود. ضریب یکنواختی آماری (Uqs) مربوط به این قطعات در محدوده خوب تا عالی قرار گرفت. عملکرد کلی قطره‌چکان‌ها (Vpf) نیز برابر ۰/۱۱ و ۰/۱۲ بود و در محدوده قابل قبول قرار گرفت. بر اساس آنچه که هنگام اندازه‌گیری‌ها مشاهده شد در یکی از قطعات مورد ارزیابی فشار در انتهای لاترال‌ها کمتر از فشار موردنیاز طراحی بود با این وجود استفاده

از قطره‌چکان‌های جبران‌کننده فشار باعث شده بود که یکنواختی پخش آب در حد مناسبی باشد که با رفع آن عملکرد هیدرولیکی بهبود خواهد یافت. طبق نتایج موجود در جدول ۴، در باغ شماره دو مقدار Vqs در قطعات مورد ارزیابی چهار و پنج درصد بود که در محدوده عالی تقسیم‌بندی شد. همچنین Uqs در این قطعات به ترتیب ۸۸/۸ و ۹۰/۷ درصد بود و به ترتیب در محدوده خوب و عالی قرار گرفت. Vpf در محدوده قابل قبول تا خوب قرار گرفت. با توجه به کیفیت خوب آب در این باغ قطره‌چکان‌ها از عملکرد مناسبی برخوردار بودند. در باغ شماره سه مقدار Vqs در قطعات مورد ارزیابی شش و پنج درصد به دست آمد و در محدوده خوب تا عالی قرار گرفت (جدول

۴). همچنین Uqs در این قطعات به ترتیب ۸۷/۸ و ۸۹/۰ بود و در وضعیت خوب قرار داشت. Vpf نیز در این قطعات در حد قابل قبول بود. بر اساس آنچه در هنگام نمونه‌برداری در باغ مشاهده گردید فشار در لوله‌های مانیفولد کمتر از فشار طراحی بود، نتایج ارائه شده برای باغ شماره چهار در جدول ۴ نشان داد که قطعات مورد ارزیابی دارای Vqs برابر پنج و هشت درصد بودند که در محدوده عالی و قابل قبول قرار داشتند. همچنین Uqs در این قطعات به ترتیب ۸۵ و ۸۸/۲ بود. Vpf در محدوده قابل قبول قرار گرفت. در قطعات مورد ارزیابی در باغ شماره ۵ مقدار Vqs برابر چهار و هفت درصد بود و در محدوده خوب قرار گرفت (جدول ۴). همچنین Uqs در این قطعات به ترتیب ۸۶ و ۸۹/۴ درصد بود. در این باغ Vpf در قطعات

مورد بررسی به ترتیب قابل قبول و خوب بود. در صورتی که در قطعات مورد بررسی فشار مورد نیاز طراحی تأمین و در تنظیم فشار کارکرد سامانه دقت بیشتری صورت گیرد، عملکرد هیدرولیکی سامانه بهبود خواهد یافت. باقری و همکاران (۱۳۹۵) عملکرد سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را در استان گلستان مورد ارزیابی قرار دادند. پارامترهای Us، Vqs و Vpf در سامانه به ترتیب ۲۵، ۷۴ و ۲۰ درصد محاسبه گردید که نشان داد سامانه مورد ارزیابی وضعیت ضعیفی داشت. یکنواختی پخش پایین ناشی از عدم تنظیم فشار و نوسانات غیرمجاز فشار در سامانه تشخیص داده شد.

جدول ۴- نتایج ارزیابی هیدرولیکی باغ‌های مورد بررسی

شماره باغ	شماره قطعه	V _{qs}	طبقه	U _s	طبقه	V _{pf}	طبقه
1	1	0.06	خوب	88.8	خوب	0.12	قابل قبول
	2	0.04	عالی	90.7	عالی	0.11	قابل قبول
2	1	0.05	عالی	88.2	خوب	0.12	قابل قبول
	2	0.04	عالی	90.0	عالی	0.09	خوب
3	1	0.06	خوب	87.8	خوب	0.13	قابل قبول
	2	0.05	عالی	89.0	خوب	0.12	قابل قبول
4	1	0.08	قابل قبول	85.0	خوب	0.15	قابل قبول
	2	0.05	عالی	88.2	خوب	0.11	قابل قبول
5	1	0.07	خوب	86.0	خوب	0.14	قابل قبول
	2	0.04	عالی	89.4	خوب	0.09	خوب

رطوبت و شوری

اندازه‌گیری نمونه‌های رطوبتی ۴۸ ساعت پس از آبیاری به ازای اعماق و فاصله‌های مختلف از لترال انجام شده است. برای این منظور از خاک منطقه ریشه به طور مستقیم نمونه‌برداری شد. در جدول ۵ نتایج اندازه‌گیری‌ها ارائه شده است. در باغات مورد بررسی نمونه‌برداری‌ها در فواصل افقی ۰، ۳۰ و ۶۰ سانتیمتر از لترال و در سه عمق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتیمتری انجام شد. همان‌طور که در نتایج موجود در جدول ۵ ملاحظه می‌شود با فاصله

در مجموع نتایج ارزیابی هیدرولیکی سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی باغات پسته نشان داد عملکرد هیدرولیکی سامانه در باغ‌های مورد ارزیابی از وضعیت نسبتاً مطلوبی برخوردار بود. در برخی از باغ‌ها فشار در انتهای لترال‌ها در حد پایینی بود لکن استفاده از قطره‌چکان‌های جبران‌کننده فشار باعث شده بود که یکنواختی پخش آب در حد مناسبی باشد. توجه به تصفیه آب و استفاده درست و به موقع از فیلترها در عملکرد مناسب سامانه‌ها مؤثر بوده است.

گرفتن از لترال مقدار رطوبت کاهش پیدا می‌کند. علت آن را می‌توان به این صورت توضیح داد که با فاصله گرفتن از لترال و گسترش پیاز رطوبتی، آب در حجم بیشتری پخش می‌شود و طبیعتاً رطوبت کمتری به نقاط دورتر می‌رسد به عبارتی نقاط نزدیک‌تر به قطره‌چکان‌ها و لترال آب بیشتری دریافت می‌نمایند در نتیجه مقدار رطوبت در آن‌ها بیشتر است. همچنین می‌توان گفت با نزدیک‌تر شدن از سمت لترال به طرف درخت جذب آب توسط درختان بیشتر می‌شود و این عامل نیز باعث می‌شود رطوبت در فواصل دورتر از لترال (نزدیک‌تر به درخت) کاهش پیدا کند سیاری و همکاران (۱۳۸۶) نیز طی انجام پژوهشی به نتایج مشابهی رسیدند. همچنین نتایج نشان داد که توزیع رطوبت به‌ازای عمق‌های مختلف متفاوت است (جدول ۵). به این صورت که در باغ‌های یک، دو، چهار و پنج از سطح تا عمق ۹۰-۶۰ سانتیمتری خاک مقادیر رطوبت روندی افزایشی داشته، ولی در باغ شماره سه رطوبت از سطح خاک تا عمق ۶۰-۳۰ سانتیمتر افزایش یافت و پس از آن روند کاهشی پیدا کرد. با توجه به اینکه در این باغ لترال‌ها در عمق ۲۰ سانتی-متری قرار گرفته بودند و نسبت به سایر باغ‌ها عمق نصب لترال‌ها کمتر بود لذا حداکثر رطوبت در عمق ۶۰-۳۰ اتفاق افتاده بود. وانگ و همکاران (۲۰۱۸) توزیع رطوبت حداکثر در عمق نصب لترال ۲۰ سانتیمتر در عمق ۶۰-۰ سانتیمتر و در عمق نصب لترال ۱۰ سانتیمتری را در عمق ۳۰-۰ سانتیمتر گزارش کردند. با مقایسه مقادیر رطوبت اندازه-گیری شده در اعماق مختلف خاک ملاحظه شد که با افزایش عمق نصب لترال، پیاز رطوبتی به سمت عمق‌های پایین‌تر منتقل شده است. به عبارتی در باغ‌های یک، دو، چهار و پنج رطوبت در لایه ۹۰-۶۰ نسبت به لایه‌های ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ بیشتر بوده است زیرا لترال در عمق بیشتر و در نتیجه در فاصله نزدیک‌تری نسبت به لایه ۹۰-۶۰

سانتیمتری خاک قرار گرفته و مقدار رطوبت بیشتری در این لایه توزیع شده است.

برای بررسی وضعیت شوری خاک، نمونه‌برداری از خاک در تابستان و یک ماه قبل از برداشت محصول انجام شد. برای این منظور نمونه‌ها در فواصل افقی ۰، ۳۰ و ۶۰ سانتیمتر از لترال و در سه عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتیمتری تهیه شدند. شوری اولیه خاک (قبل از استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی) در باغ‌های مورد بررسی به جز باغ شماره چهار در وضعیت مناسبی (کمتر از نه دسی زیمنس بر متر) قرار داشت (جدول ۱). هنگام استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در فصل تابستان شوری خاک در باغ‌های شماره سه و چهار از وضعیت نامناسبی برخوردار بود. عدم آیشویی خاک هنگام آبیاری و بافت سنگین خاک این باغ‌ها موجب افزایش شوری خاک شده بود. بنابراین لازم است در فصل زمستان با انجام آبیاری غرقابی نسبت به آیشویی خاک اقدام نمود که متأسفانه بدلیل کمبود آب این کار انجام نمی‌شد.

همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، میزان شوری در عمق ۳۰-۰ سانتیمتری نسبت به شوری در اعماق پایین‌تر بیشتر بوده است. در واقع صعود موینه رطوبت و تبخیر آن از سطح خاک باعث افزایش شوری در این قسمت از خاک شده است. علت این پدیده را می‌توان به این صورت بیان نمود که جریان آب از سمت قطره‌چکان در جهت‌های مختلف به‌طور عرضی و عمودی وجود داشته که حرکت عرضی جریان موجب گسترش رطوبت در فواصل افقی تا ۶۰ سانتیمتری گردیده است. در حرکت عمودی، بخشی از این رطوبت در جهت عمق نفوذ کرده و بخشی دیگر به‌صورت موئینه به سمت سطح خاک رفته که پس از تبخیر در سطح خاک موجب ایجاد شوری بیشتر در لایه سطحی خاک شده است.

جدول ۵ - مقادیر رطوبت و شوری در اطراف قطره‌چکان‌ها

شماره باغ	عمق خاک (cm)	فاصله از قطره‌چکان (cm)					
		0	30	60	0	30	60
		رطوبت حجمی (%)			شوری عصاره اشباع خاک (dS/m)		
1	0-30	6.4	5.2	2.8	8.4	9.8	11.8
	30-60	7.4	5.8	3.1	6.2	7.4	9.0
	60-90	8.1	6.2	3.2	5.4	6.2	7.7
2	0-30	8.6	7.1	4.3	2.1	2.5	3.2
	30-60	10.2	8.3	5.3	1.0	1.2	1.8
	60-90	11.2	9.1	5.8	0.6	0.9	1.2
3	0-30	11.7	9.9	6.5	9.5	10.4	12.1
	30-60	12.8	10.7	7.0	7.9	8.6	9.8
	60-90	8.6	6.9	4.0	11.5	12.0	12.6
4	0-30	17.0	15.9	13.6	11.2	12.1	13.3
	30-60	18.8	17.4	14.8	10.1	10.8	11.9
	60-90	19.9	18.3	15.4*	9.8	10.3	10.9
5	0-30	10.1	8.4	4.9	6.7	7.2	7.9
	30-60	11.8	9.8	5.9	5.2	5.6	6.1
	60-90	12.6	10.4	6.2	4.1	4.3	4.8

هر چه میزان رطوبت در این ناحیه (۰ تا ۳۰ سانتیمتری) کمتر باشد نسبت صعود موئینه‌ای به نفوذ عمقی بیشتر شده و موجب افزایش شوری در این ناحیه می‌گردد (سیاری و همکاران، ۱۳۸۶). به همین علت است که با فاصله گرفتن از لترال میزان شوری در لایه سطحی خاک روندی افزایشی داشته است که با نتایج سیفی و همکاران (۱۳۹۳) در یک راستا است.

مورد دیگری که تقریباً در تمام باغ‌ها مشاهده می‌گردد کاهش شوری در عمق‌های ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ است. علت این موضوع را می‌توان به این صورت بیان نمود که در عمق‌های ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ به علت وجود رطوبت بیشتر، حرکت جریان آب بیشتر به سمت پایین بوده لذا موجب انتقال املاح به لایه‌های پایین‌تر گردیده که این موضوع موجب می‌گردد که شوری خاک به مرور کاهش یابد که با نتایج سیاری و همکاران (۱۳۸۶) مشابَهت دارد.

نفوذ ریشه

در باغ‌های مورد بررسی هیچ‌گونه ریشه‌ای در داخل قطره‌چکان‌ها مشاهده نشد و ریشه‌ها به داخل قطره‌چکان‌ها نفوذ نکرده بودند در نتیجه باعث ایجاد انسداد در قطره‌چکان‌ها نیز نشده بودند. در باغ‌های مورد ارزیابی

افزودن ترفلان به‌طور سالانه به آب آبیاری جهت تزریق به خاک اطراف قطره‌چکان‌ها باعث جلوگیری از ورود ریشه‌ها به داخل قطره‌چکان‌ها شده بود. همچنین ریشه‌ها در محیط مرطوب رشد کرده و توسعه می‌یابند بنابراین در صورتی که محیط اطراف قطره‌چکان مرطوب باشد ریشه‌ها وارد قطره‌چکان نمی‌شوند. با توجه به سرطانات بودن ترفلان، با مدیریت صحیح آبیاری و مرطوب نگه‌داشتن محیط ریشه هم می‌توان از ورود ریشه‌ها به داخل قطره‌چکان‌ها جلوگیری کرد. کوهی چله کران (۱۳۹۴) گزارش نمود در باغات پسته‌ای که به‌طور منظم از ترفلان در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی استفاده می‌شد هیچ ریشه‌ای در اطراف قطره‌چکان‌ها مشاهده نشد. در برخی باغات که از ترفلان در سامانه آبیاری استفاده نشده بود ریشه‌های کمی در اطراف قطره‌چکان‌ها وجود داشت اما هیچ ریشه‌ای به داخل قطره‌چکان نفوذ نکرده بود و مشکل مهمی وجود نداشت، زیرا از قطره‌چکان‌هایی استفاده شده بود که در آن‌ها ترفلان تزریق شده بود و بنا به کاتالوگ تا پنج سال این ماده در قطره‌چکان باقی می‌ماند (روسو و همکاران، ۲۰۰۱). در یک باغ نیز از تزریق ترفلان در سامانه آبیاری در طول سه سال استفاده نشده بود و ماده ترفلان در قطره‌چکان نیز وجود نداشت در این باغ تجمع و گسترش ریشه بسیار زیاد بوده اما باین‌حال نفوذ ریشه به داخل قطره‌چکان‌ها مشاهده

نگریدید. صداقتی و همکاران (۱۳۹۱) نیز با استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با عمق ۳۰ سانتیمتر برای لترال‌ها در یک باغ پسته در کرمان نشان دادند که با استفاده از این روش ضمن توزیع بهتر رطوبت و شوری در خاک، رشد علف‌های هرز کاهش یافته و نفوذ ریشه به داخل لوله‌ها و قطره‌چکان‌ها نیز مشاهده نشد. همچنین بررسی شاخص اشباع لانژیلر، احتمال رسوب کربنات کلسیم را نشان می‌داد به‌طوری‌که حتی فیلتراسیون مناسب نیز نمی‌توانست جلوی ایجاد این رسوب شیمیایی را بگیرد لکن هیچ‌گونه گرفتگی شیمیایی در قطره‌چکان‌ها مشاهده نشد؛ زیرا بر خلاف سامانه قطره‌ای سطحی به علت عدم وجود تبخیر آب از سطح قطره‌چکان‌ها رسوب املاح نیز در آن‌ها وجود نداشت.

نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی هیدرولیکی سامانه‌ها نشان داد که ضریب تغییرات دبی (Vqs) برای قطعات مورد بررسی بین چهار تا هشت درصد متغیر و در محدوده قابل قبول تا عالی بود. ضریب یکنواختی آماری (Uqs) در این قطعات نیز به طور متوسط برابر ۸۸ درصد بود. همچنین عملکرد کلی قطره‌چکان‌ها (Vpf) در محدوده قابل قبول تا خوب قرار گرفت. بر اساس آنچه هنگام ارزیابی مشاهده شد در برخی قطعات، فشار در لوله‌های مانیفولد و در برخی دیگر فشار در انتهای لترال‌ها کمتر از فشار طراحی بود. کاربرد منظم علف‌کش ترفلان و تزریق آن به داخل سامانه از ورود ریشه به قطره‌چکان‌ها جلوگیری کرده بود. در باغ‌های مورد بررسی عمق نصب لاترال‌ها غیریکنواخت و بین ۱۵ تا ۴۵ سانتی‌متر بود در نتیجه در نقاطی که عمق نصب کم بود آب به سطح خاک رسیده و سطح خاک مرطوب شده بود. لازم به ذکر است قسمت بیشتر لترال‌ها در عمق ۴۰ سانتیمتری و قسمت‌های محدودی در طول برخی لترال‌ها در عمق کمتری قرار گرفته بود، بنابراین تغییر عمق لترال‌ها در سطح

باغات بسیار محدود بود. بررسی وضعیت رطوبت در اطراف لترال نشان داد بیشترین مقدار رطوبت در نزدیکی لترال وجود داشت و با فاصله گرفتن از لترال رطوبت کاهش یافت. همچنین مقدار رطوبت در اعماق بیشتر افزایش می‌یافت. مقدار شوری عصاره اشباع خاک با افزایش عمق روندی کاهشی داشت. فقط در باغ شماره سه با توجه به عمق نصب کمتر لترال‌ها نسبت به سایر باغ‌ها و نرسیدن آب به اعماق پایین، شوری در عمق ۹۰-۶۰ سانتیمتری بیشتر از سایر اعماق بوده است. در فواصل افقی دورتر از لوله لترال مقدار شوری خاک بیشتر بود. مقدار شوری در عمق‌های ۳۰-۶۰ و ۰-۳۰ سانتی‌متری بیشترین مقدار را داشت. علت افزایش شوری در این ناحیه کاهش رطوبت خاک در اثر صعود مویینه رطوبت و تبخیر آن از سطح خاک و جذب سریع‌تر رطوبت توسط ریشه بوده است. نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که با توجه به یکنواختی توزیع رطوبت و برای کمینه کردن نفوذ عمقی، بهترین عمق نصب قطره‌چکان‌ها در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای خاک‌های رسی، لومی و شنی ۳۰ سانتی‌متر است. اجرای صحیح سامانه‌ها و تأمین فشار لازم در مانیفولدها و لترال‌ها، آبشویی خاک در فصل زمستان با آبیاری سنگین غرقاب، اندازه‌گیری عمق و عرض خاک خیس شده پس از آبیاری به‌منظور حصول اطمینان از مرطوب شدن منطقه ریشه، کارگذاری لترال‌ها در عمق مناسب به‌طور یکنواخت، توجه بیشتر به آموزش بهره‌برداران در زمینه بهره‌برداری صحیح از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از جمله مدیریت آبیاری و سرویس و نگهداری صحیح سامانه به‌عنوان مهم‌ترین عوامل بهبود عملکرد سامانه‌های مورد بررسی تشخیص داده شدند.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید نویسندگان مقاله است.

فهرست منابع

۱. اسلامی، امیر و نقوی، هرمزد، ۱۳۹۶. الگوی توزیع رطوبت در خاک لومی شنی از یک منبع نقطه‌ای زیرسطحی. مدیریت آب در کشاورزی، ۴(۱)، صص. ۸۰-۶۷.
۲. باستانی، شهریار، ۱۳۹۶. مروری بر تاریخچه ابداعات و نوآوری‌ها در زمینه آبیاری زیرسطحی. آب و توسعه پایدار، ۴(۲)، صص. ۸۰-۶۹. doi: 10.22067/jwsd.v4i2.60669
۳. باقری، رقیه، حسام، موسی، کیانی، علیرضا، و هزارجریبی، ابوطالب، ۱۳۹۵. تعیین کارایی سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (مطالعه موردی: باغ هلو و مرکبات شهرستان کردکوی). پژوهش آب ایران، ۱۰(۱)، صص. ۷۶-۶۹.
۴. دهقانی سانچ، حسین، حاجی‌آقا بزرگی، حمید رضا، و قائمی، علی اصغر، ۱۳۹۸. تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر توزیع رطوبت خاک در باغات پسته در یک خاک لوم شنی (مطالعه موردی: سمنان). آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۳(۳)، صص ۴۰۴-۳۹۱. doi: 10.22067/jsw.v0i0.78773
۵. زارع، حمید و خالدیان، محمدرضا، ۱۳۹۶. بررسی تغییرات مکانی و زمانی شوری آب‌های زیرزمینی استان کرمان به منظور استفاده در آبیاری قطره‌ای پسته. آبیاری و زهکشی ایران، ۱۱(۵)، صص. ۸۲۱-۸۱۰.
۶. سجادی، مهری، زین‌الدینی، علی، و محمودی، شهلا، ۱۳۹۱. تأثیر کیفیت آب آبیاری بر خصوصیات خاک و عملکرد پسته در دشت رباط شهربابک. مهندسی آبیاری و آب، ۷(۲)، صص. ۴۵-۳۶.
۷. سرچشمه‌پور، مهدی و ملکوتی، محمدجعفر، ۱۳۸۴. کوددهی باغات پسته با استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای و مقایسه آن با روش سنتی. نهمین کنگره علوم خاک ایران، تهران، پژوهشکده تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور.
۸. سیاری، نسرین، قهرمان، بیژن، و داوری، کامران، ۱۳۸۶. بررسی توزیع رطوبت خاک تحت سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) در باغ‌های پسته (مطالعه موردی: اراضی رفسنجان با آب‌های شور). کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی، ۷(۳)، صص. ۷۲-۶۵.
۹. سیاری، نسرین، قهرمان، بیژن، و داوری، کامران، ۱۳۸۶. بررسی کاتیون‌های خاک تحت سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) در باغات پسته رفسنجان با آب‌های شور. علوم و صنایع کشاورزی (ویژه‌نامه آب‌و خاک)، ۱۱(۲۱)، صص. ۵۲-۴۲.
۱۰. سیفی، اکرم، میرلطیفی، سید مجید، دهقانی سانچ، حسین، و ترابی، منوچهر، ۱۳۹۳. تأثیر دور آبیاری بر توزیع رطوبت و شوری در باغ‌های پسته تحت شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (مطالعه موردی: شهرستان سیرجان استان کرمان). آبیاری و زهکشی ایران، ۸(۴)، صص. ۷۹۹-۷۸۶.
۱۱. شریعتی، محمدرضا، ۱۳۷۵. مروری بر تحقیقات پسته در مرکز تحقیقات کشاورزی کرمان. چکیده مقالات سمینار بررسی مسائل پسته. کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۱۲. صداقتی، ناصر، حسینی فرد، سیدجواد، و محمدی محمدآبادی، اکبر، ۱۳۹۱. مقایسه اثرات دو سامانه آبیاری سطحی و زیرسطحی بر رشد و عملکرد درختان بارور پسته. آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳(۲۶)، صص. ۵۸۵-۵۷۵. doi: 10.22067/jsw.v0i0.14890
۱۳. عبداللهی، حمیده و فکری، مجید، ۱۳۸۸. بررسی پیاز رطوبتی در آبیاری زیرسطحی در مقایسه با آبیاری غرقاب و قطره‌ای در مناطق پسته‌کاری رفسنجان. دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر.

۱۴. عطایی، علی، نیشابوری، محمدرضا، اکبری، مهدی، زارع حق، داود، و عنابی میلانی، اژدر، ۱۳۹۷. ارزیابی مدل هایدروس دو بعدی برای تعیین توزیع رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی درختان پسته. پژوهش آب در کشاورزی، ۴(۳۲)، صص. ۵۹۵-۵۸۱. doi: 10.22092/jwra.2019.118528
۱۵. کوهی چله کران، نادر، ۱۳۹۴. ارزیابی سامانه‌های اجرا شده آبیاری زیرسطحی در باغات پسته استان کرمان و تعیین مناسب‌ترین سطح اتوماسیون و آرایش محل قرارگیری قطره‌چکان در خاک. گزارش پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.
۱۶. کوهی چله کران، نادر و دهقانی، حسین، ۱۳۹۱. بررسی مدیریت بهره‌برداری در سامانه‌های اجرا شده آبیاری زیرسطحی در باغات پسته استان کرمان. چهارمین سمینار ملی توسعه پایدار روش‌های آبیاری تحت فشار، ۱۷ مهرماه، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.
۱۷. نقوی، هرمزد، ۱۳۹۵. بررسی تأثیر عمق کارگذاری و میزان آب آبیاری به روش قطره‌ای زیرسطحی بر عملکرد و غلظت عناصر ماکرو در برگ درختان پسته. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۲۶، صص. ۱۵۸-۱۴۲.
۱۸. ولی پور، مژگان، کریمیان، مصطفی، ملکوتی، محمدجعفر، و خوش‌گفتار منش، امیرحسین، ۱۳۸۷. روند توسعه شوری و تخریب اراضی کشاورزی در منطقه شمس‌آباد قم. علوم آب‌و خاک، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲(۴۶)، صص. ۶۹۳-۶۸۱.
19. Acar, B., Topak, R. and Direk, M., 2010. Impacts of pressurized irrigation technologies on efficient water resources uses in semi-arid climate of konya of turkey. *International Journal of Sustainable Water and Environmental Systems*, 1(1), pp.1-4. doi:10.5383/swes.0101.001
20. ASAE, 2003. Field evaluation of micro irrigation systems. *American Society of Agricultural Engineers*, pp. 760-765.
21. Camp, C.R., Lamm, F.R., Evans, R.G. and Phene, C.J., 2000. Subsurface drip irrigation-Past, present and future. In 'Proceedings of the 4th Decennial Symposium'. pp. 363-371.
22. Karasalia, H., Pavlidisa, G., Marousopouloua, A. and Ambrusb, A., 2017. Occurrence and distribution of trifluralin, ethalfluralin, and pendimethalin in soils used for long-term intensive cotton cultivation in central Greece. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 52(10), pp. 719-728. doi: 10.1080/03601234.2017.1356678
23. Li, Y., Li, C., Li, B. and Ma, Z., 2021. Trifluralin residues in soils from main cotton fields of China and associated ecological risk. *Chemosphere*, 284, pp. 1-7. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131300
24. Russo, D.J., Zaidel, A., Laufer, Z. and Gerstl, G., 2001. Numerical analysis of transport of trifluralin from a subsurface dripper. *Soil Science Society of America Journal*, 65, pp. 1648-1658. doi: 10.2136/sssaj2001.1648
25. Wang, S., Jiao, X., Guo, W., Lu, J., Bai, Y., and Wang, L., 2018. Adaptability of shallow subsurface drip irrigation of alfalfa in an arid desert area of Northern Xinjiang. *Plos one*. 13(4), e0195965. doi: 10.1371/journal.pone.0195965

الگوی کشت بهینه و مدیریت منابع آب زیرزمینی و سطحی دشت کوهپایه- سگری با استفاده

از مدل تلفیقی تئوری بازی‌ها و الگوریتم بهینه‌سازی

علی کلاهدوزان، حامد نوذری* و صفر معروفی

دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا.

iuttaw7@gmail.com

دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا.

h.nozari@basu.ac.ir

استاد گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا.

marofi@basu.ac.ir

دریافت: فروردین ۱۴۰۳ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۳

چکیده

در سال‌های اخیر، تضاد منافع زیست‌محیطی با معیشت کشاورزان به یکی از مهمترین مسائل حکمرانی محیط‌زیست و کشاورزی در حوضه آبریز زاینده‌رود تبدیل شده است. بنابراین، دستیابی به نقطه تعادل میان سود اقتصادی با استفاده از الگوی کشت بهینه و جلوگیری از برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی از اهمیت زیادی برای سیاست‌گذاران این حوزه برخوردار است. در این پژوهش، تابع محیط‌زیست با استفاده از محدودیت منابع آب و تابع اقتصادی با استفاده از سود اقتصادی محصولاتی که در دشت کوهپایه- سگری می‌گردد در بازه زمانی ۱۳۷۶ - ۱۳۹۰ مدل‌سازی گردید. تابع نش با استفاده از بهینه‌سازی غیرخطی مقید با توجه به محدودیت منابع آب در هر سال بهینه شد. پس از آن، الگوی کشت محصولات با روش تئوری بازی‌ها و روش برنامه‌ریزی خطی محاسبه شد. نتایج نشان داد که کاهش مصرف آب در روش تئوری بازی‌ها ۳۱٪ و برای روش برنامه‌ریزی خطی ۱۷٪ است. در این حالت، میزان کاهش سود برای این دو روش به ترتیب ۱۷٪ و ۴٪ نسبت به حالت مبنا است. نتایج نشان داد که افت سطح آب زیرزمینی برای هیدروگراف معرف دشت و روش برنامه‌ریزی خطی به ترتیب برابر با ۳/۶۹ و ۲/۰۴ متر است. در حالی که در روش تئوری بازی‌های بهینه شده با وزن تابع اقتصادی ۵/۰، تراز آب زیرزمینی دشت افزایش ۷/۴۵ متری دارد. با توجه به میزان کاهش مصرف آب، میزان کاهش سود و افزایش تراز آب زیرزمینی، روش تئوری بازی‌های بهینه شده با وزن ۵/۰ نسبت به روش برنامه‌ریزی خطی برتری دارد.

واژه‌های کلیدی: افت سطح آب زیرزمینی، برنامه‌ریزی خطی، تابع زیست‌محیطی، تابع اقتصادی، هیدروگراف معرف دشت

مقدمه

کشاورزی پایدار باید از نظر اقتصادی مقرون به صرفه، از نظر زیست محیطی سالم و از نظر اجتماعی مسئولیت پذیر باشد، اما حکمرانی و مدیریت نامناسب آب، پایداری کشاورزی را به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک به چالش کشیده است (فروزانی و کرمی، ۲۰۱۱). افت آب زیرزمینی و کمبود منابع آب سطحی باعث به خطر افتادن معیشت کشاورزان شده است. کشت بهینه به ازای میزان آبی که هر منطقه داراست می تواند علاوه بر تأثیرگذاری بر اقتصاد منطقه، بر مدیریت منابع آب نیز تأثیرگذار باشد. در همین راستا، مدنی (۲۰۱۴) با بررسی مدیریت منابع آب در ایران، بحران آب در ایران را ناشی از سه عامل افزایش جمعیت و پراکنش جمعیتی نامناسب، عدم مطابقت الگوی کشت با محدودیت های محیطی و عدم مدیریت و توسعه بی ضابطه دانست. این مسائل باعث چالش های جدی در بخش آب، شامل کاهش سطح آب زیرزمینی، کاهش کیفیت آب و افزایش تلفات زیست محیطی شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که یکی از راهکارهای برون رفت از این مشکل، توسعه الگوی کشت بهینه با توجه به محدودیت های محیطی شامل انرژی، آب و زمین و وضعیت بهره وری اقتصادی است. یکی از بهترین روش های به دست آوردن بهینه گی در توابع خطی، استفاده از روش برنامه ریزی خطی است (میز و تونگ، ۲۰۰۳). بسیاری از پژوهشگران با استفاده از برنامه ریزی خطی به بهینه سازی الگوی کشت برای به دست آوردن بیشترین سود و سایر اهداف پرداخته اند. کلاهی و همکاران (۱۴۰۱) الگوی کشت بهینه را با استفاده از برنامه ریزی خطی برای به دست آوردن بیشترین سود و کمترین مصرف آب مجازی تعیین کردند. تابع هدف تحقیق، حداکثر کردن درآمد خالص فروش محصولات کشاورزی در منطقه دشت عمرانی گناباد واقع در خراسان رضوی است و محدودیت های اعمال شده روی تابع هدف شامل مساحت زمین در دسترس، حجم آب، حداکثر و حداقل سطح زیر

کشت، هزینه کودها، هزینه سموم شیمیایی و کارگری است. نتایج این پژوهش نشان داد که در بهترین سیاست، با هدف حداقل کردن مصرف آب مجازی و حداکثر کردن سود، می توان آب مجازی مصرفی را تا ۵۷ درصد کاهش داد. مهرپور و همکاران (۲۰۲۴) یک مدل چندهدفه را برای بهینه سازی الگوی کشت بر اساس دو گام گسترش دادند. در گام اول، امتیاز پایداری محصولات منتخب با توجه به ابعاد پایداری، زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی محاسبه گردید. در گام دوم، یک مدل برنامه ریزی خطی با توجه به امتیازات کسب شده در گام قبل برای محاسبه الگوی کشت بهینه در خراسان رضوی استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که سیر خشک، شلغم، علوفه، ارزن و خصیل، محصولات مناسب برای دوره شش ماهه بهار و تابستان هستند، در حالی که سیب زمینی، چغندر علوفه، شاهدانه و ماش جایگزین های بهینه برای دوره شش ماهه دیگر هستند. همان طور که در پژوهش های کلاهی و همکاران (۱۴۰۱) و مهرپور و همکاران (۲۰۲۴) اشاره گردید، برای به دست آوردن الگوی کشت بهینه، علاوه بر سود، باید به منابع آب، محیط زیست و توسعه پایدار نیز توجه کرد؛ اما با توجه به تعارض بین محیط زیست و به دست آوردن بیشترین سود در الگوی کشت بهینه، استفاده از ابزاری مناسب در حل تعارضات می تواند در به دست آوردن الگوی کشت بهینه کمک کند. تئوری بازی^۱، به عنوان ابزاری قدرتمند در حل تعارضات استفاده می شود. تئوری بازی ها اساساً مطالعه ریاضی رقابت و همکاری است که نشان می دهد چگونه تعاملات استراتژیک بین بازیکنان منجر به نتایج کلی می شود. هرچند که هر کدام از این بازیکنان به نقطه بهینه مدنظرشان نرسند (اشنایدر، ۲۰۱۷). در تئوری بازی ها، به جای رسیدن به نقطه بهینه برای همه اعضا، نقطه تعادل بین تعارضات بر مبنای قوانین تعریف شده برای بازی مد نظر است. این تئوری برای اولین بار توسط فون نیومن و مورگنسترن (۱۹۵۳) مطرح شده است و بسیاری از محققان در سراسر دنیا، از تئوری بازی ها به عنوان ابزاری قدرتمند

^۱- Game theory

در منازعات منابع آب استفاده کرده‌اند. زنگ و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی وجود تعارضات منافع میان تصمیم‌گیران در رودخانه‌های فرامرزی، علاوه بر استفاده از تئوری بازی‌های تکاملی، از پویایی سیستم برای حل تعارضات استفاده کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد که: (۱) تعادل همیشه در صلح پیش نمی‌آید، (۲) افزایش هزینه‌ها همیشه منجر به تعادل نمی‌شود و (۳) نابرابری ناشی از مطلوبیت بدست آمده از هر واحد آب، بستگی به شرایط اقتصادی و اجتماعی ذینفعان دارد.

در تئوری بازی‌ها، تعارضات به‌عنوان بازی‌های تعاملی و غیرتعاملی در نظر گرفته می‌شوند. در بازی‌های تعاملی، تمام ذینفعان در جهت دستیابی به نقطه بهینه با یکدیگر تعامل می‌کنند و بازی‌های تعاملی بیشتر شبیه روش‌های بهینه‌سازی است؛ اما در بازی‌های غیرتعاملی، هر کدام از اعضا به‌تنهایی به دنبال بیشترین منفعت خود هستند. پژوهشگران بسیاری با روش بازی‌های غیرتعاملی به حل تعارضات آبی پرداخته‌اند (بزرگ حداد، ۲۰۲۱). نظری و همکاران (۲۰۲۰) از روش غیرتعاملی تئوری بازی‌ها برای بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی در منطقه خالدآباد استفاده کردند. در این پژوهش، برای محاسبه پرداخت‌های هرکدام از ذینفعان، اعم از دولت و کشاورز، از شبیه‌سازی و بهینه‌سازی برداشت‌های آب زیرزمینی استفاده شد و سه نوع بازی به نام‌های جابه‌جایی الگوی کشت، افزایش بازده و بازی پیوندی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که سناریوی بازی پیوندی علاوه بر افزایش سود کشاورز می‌تواند منجر به افزایش دو متری در تراز آب زیرزمینی شود.

یکی از روش‌های کاربردی تئوری بازی‌ها در بازی‌های غیرتعاملی برای به‌دست آوردن الگوی کشت بهینه، استفاده از تابع نش^۲ می‌باشد. پژوهشگران مختلفی از روش غیرتعاملی تابع نش برای به‌دست آوردن الگوی کشت بهینه استفاده کرده‌اند. سالازار و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از روش تابع نش تئوری بازی‌ها و برنامه‌ریزی

خطی، به بهینه‌سازی الگوی کشت و مدیریت منابع آب زیرزمینی برای ۱۲ سناریوی برداشت آب زیرزمینی پرداختند. در این مطالعه، اجزای اقتصادی شامل هزینه پمپاژ و سود خالص بود و اجزای محیط‌زیستی شامل اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی، میزان نفوذ و رواناب نترات و آفت‌کش‌ها در یکی از دشت‌های آب زیرزمینی در کشور مکزیک بود. در این پژوهش، برای به‌دست آوردن الگوی کشت بهینه و حل تابع نش از چهار روش نامتقارن نش، کلی- اسمیردینسکای، سطوح یکنواخت و ضررهای مساوی استفاده گردید. به‌منظور مساوی بودن سهم ذینفعان شامل محیط‌زیست و اقتصاد، وزن هر دو تابع زیست‌محیطی و اقتصاد یکسان و برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شد. نتایج برنامه‌ریزی خطی نشان داد که سود و میزان مصرف آب برای هر ۱۲ سناریو حداکثر است؛ اما نتایج تئوری بازی‌ها با وزن ۰/۵ تابع اقتصادی نشان داد که مصرف آب برای هر چهار روش نامتقارن نش، کلی- اسمیردینسکای، سطوح یکنواخت و ضررهای مساوی تقریباً مشابه و به ترتیب برابر با ۳۶۷/۳، ۳۶۸، ۳۶۷/۳ و ۳۶۷/۳ میلیون مترمکعب است. مفتاح هلقی و همکاران (۱۳۹۹) الگوی کشت در حوضه آبریز رودخانه قره‌سو را با استفاده از روش تابع نش تئوری بازی‌ها و برنامه‌ریزی خطی در شهرستان‌های گرگان و کردکوی به‌منظور مدیریت منابع آب و افزایش سود بهینه کردند. نتایج بهینه‌سازی با برنامه‌ریزی خطی نشان داد که میزان صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش سود نسبت به شرایط فعلی به ترتیب ۱۰/۵ درصد به ۳۲۰ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد و ۱۴ درصد به ۶۴۳۱ میلیارد ریال افزایش می‌یابد. در این پژوهش، برای بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از تئوری بازی‌ها از چهار روش نامتقارن نش، کلی- اسمیردینسکای، سطوح یکنواخت و ضررهای مساوی استفاده گردید. به‌منظور بهینه‌سازی الگوی کشت، برای سه روش، وزن تابع اقتصادی و زیست‌محیطی یکسان و برابر ۰/۵ گرفته شد و برای روش سطوح یکنواخت، وزن

^۲- Nash function

۰/۵۷۵ برای تابع اقتصادی و وزن ۰/۴۲۵ برای تابع زیست- محیطی در نظر گرفته شد. نتایج بهینه سازی الگوی کشت با نظریه بازی ها برای وزن ۰/۵ تابع اقتصادی برای مصرف آب سه روش نامتقارن نش، کلی- اسمیردینسکای و ضررهای مساوی ۲۰۷/۵ میلیون مترمکعب و برای روش سطوح یکنواخت با وزن ۰/۵۷۵ تابع اقتصادی ۱۸۲/۷ میلیون مترمکعب است و میزان سود سه روش اول ۴۹۳۸ میلیارد ریال و برای روش سطوح یکنواخت ۴۵۲۰ میلیارد ریال است. با توجه به ماهیت تابع نش که به صورت غیرخطی و دارای محدودیت های مختلف برای به دست آوردن الگوی کشت است، می توان از روش های بهینه سازی غیرخطی مقید برای حل تابع نش استفاده کرد. از جمله روش های غیرخطی مقید می توان به روش بهینه سازی غیرخطی مقید تعمیم یافته گرادیان مختصر شده اشاره کرد که برای حل توابع غیرخطی و به تبع آن تابع نش مناسب است (میز و تونگ، ۲۰۰۳).

نتایج بدست آمده از پژوهش های پیشین نشان می دهد که می توان از تئوری بازی ها، به ویژه روش غیرتعاملی تابع نش، به عنوان ابزاری قدرتمند در به دست آوردن الگوی کشت بهینه و مدیریت منابع آب استفاده کرد. در این مطالعه، به عنوان یک استراتژی نوآورانه در حوزه تکنیک های بهینه سازی، با استفاده از روش بهینه سازی غیرخطی مقید تعمیم یافته گرادیان، به بهینه سازی تابع نش پرداخته می شود. علاوه بر این، از طریق ادغام اصول تئوری بازی ها و در نظر گرفتن محدودیت های اقتصادی و زیست- محیطی، یک الگوی کشت بهینه برای دشت کوهاپه- سگری در استان اصفهان که به دلیل خشکسالی های اخیر، تراز آب زیرزمینی آن روندی نزولی داشته است، به دست می آید. با در نظر گرفتن دقیق پویایی های اقتصادی و محدودیت های زیست محیطی، هدف این تحقیق ارائه چارچوبی قوی برای تعیین مناسب ترین استراتژی کشت است که بهره وری و پایداری را متعادل کند. با تجزیه و تحلیل میزان مصرف آب و حاشیه سود حاصل از نتایج کشت بهینه، اطلاعاتی در خصوص میزان تأثیر اجرای

آن بر سطح آب زیرزمینی منطقه به دست می آید. لذا می توان بینش ارزشمندی در مورد پیامدهای بالقوه بر سطوح آب زیرزمینی در منطقه به دست آورد و از این طریق به مدیریت آگاهانه تر و پایدارتر منابع آب در منطقه کمک کرد.

مواد و روش ها

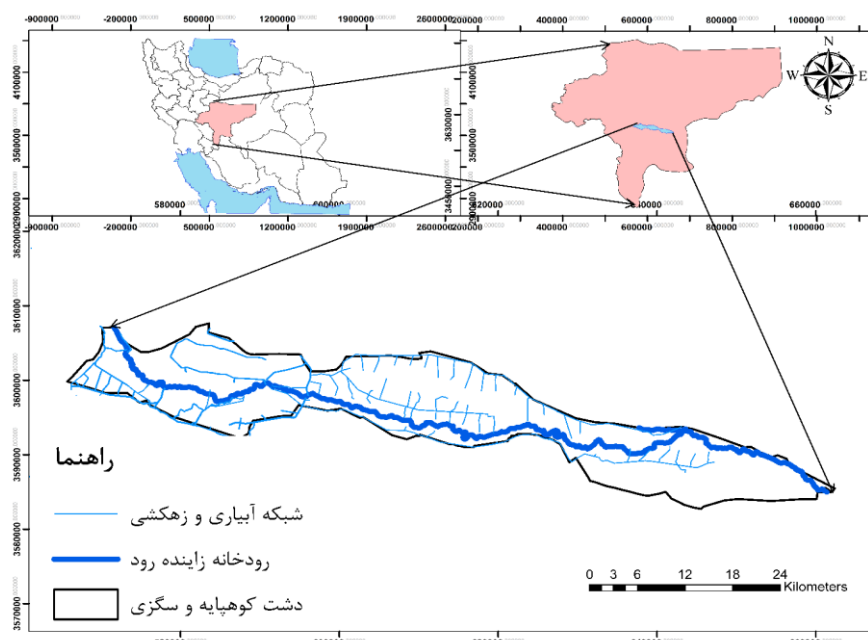
معرفی منطقه مورد مطالعه

با توجه به اهمیت مسئله تضاد منافع محیط زیست و معیشت کشاورزان حوضه آبریز زاینده رود، به خصوص در شرق استان اصفهان، دشت کوهاپه- سگری به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. شکل ۱، موقعیت دشت کوهاپه- سگری، رودخانه زاینده رود و شبکه آبیاری و زهکشی در این دشت را نشان می دهد. کشاورزی در دشت کوهاپه- سگری به شدت به میزان آب رودخانه زاینده رود و تغذیه آن از طریق رودخانه وابسته است. مساحت دشت ۲۹۴۱/۱ کیلومتر مربع است و دارای سفره آزاد تا عمق متوسط ۵۰ متر است. متوسط ارتفاع این دشت ۱۵۲۶ متر از سطح دریا و متوسط بارندگی سالانه آن، ۹۷ میلی متر است. الگوی کشت غالب دشت کوهاپه- سگری شامل گیاهان زراعی مانند گندم، یونجه، جو، سبزی و صیفی (شامل طالبی گرمک، هندوانه، خربزه، انواع کدو، خیار و گوجه فرنگی)، برنج، ذرت علوفه ای، پیاز و سایر محصولات (شامل سبزی های خوردن و خورشتی، کاهو، کلم، کرفس، هویج، بادمجان، بامیه، فلفل، سیر، چغندر لبویی، نخود فرنگی) است. جدول ۱، الگوی کشت محصولات دشت کوهاپه- سگری را به همراه نسبت سود به هزینه و عمق خالص آبیاری آن ها نشان می دهد.

در این مطالعه، محصولات گندم، جو، یونجه، پیاز، ذرت علوفه ای و برنج به صورت سطحی و با راندمان ۰/۴ آبیاری می شوند و راندمان آبیاری سبزی و صیفی، پنبه و سایر محصولاتی که به صورت بارانی آبیاری می شوند ۰/۷۵ در نظر گرفته شد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵).

جدول ۱- الگوی کشت سال ۱۳۹۱ دشت کوهپایه- سگزی، نسبت سود به هزینه و عمق خالص آبیاری

برنج	سایر محصولات	پنبه	سبزی و صیفی	ذرت علوفه‌ای	پیاز	یونجه	جو	گندم	محصول
205	990	1250	1790	3550	575	3950	3700	30294	سطح زیر کشت (هکتار)
4.66	0.39	0.44	2.78	2.86	2.30	2.29	1.23	1.78	نسبت سود به هزینه
8790	9420	9640	4370	9333	6020	9640	4060	4800	عمق خالص آبیاری (متر مکعب در هکتار)

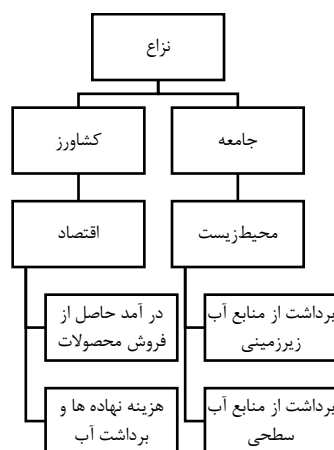


شکل ۱- موقعیت دشت کوهپایه- سگزی، رودخانه زاینده‌رود و شبکه‌های آبیاری و زهکشی

معرفی مدل

تئوری بازی‌ها

تئوری بازی‌ها برای اولین بار در سال ۱۹۴۴ توسط فون نیومن و مورگنسترن معرفی گردید. این نظریه اساساً مطالعه ریاضی رقابت و همکاری است و نشان می‌دهد که چگونه تعاملات استراتژیک بین بازیکنان منجر به نتایج کلی می‌شود به طوری که ممکن است آرمان نهایی تمام بازیکنان، نتیجه نهایی نباشد (اشنایدر، ۲۰۱۷). نظریه بازی‌ها، شاخه‌ای از پژوهش در عملیات است که به مطالعه در تصمیم‌گیری در شرایط تضاد منافع میان تصمیم‌گیرندگان عاقل و هوشمند می‌پردازد (نویدی و همکاران، ۲۰۱۱). شکل ۲، نزاع مطرح‌شده در پژوهش حاضر که تضاد میان محیط‌زیست و اقتصاد ناشی از کشاورزی است را نشان می‌دهد.



شکل ۲- شکل کلی نزاع در پژوهش حاضر

تئوری بازی‌ها به طور کلی به دو قسمت بازی‌های مشارکتی و غیرمشارکتی تقسیم‌بندی می‌شود. در بازی‌های غیرمشارکتی، بازیگران به دنبال حداکثر کردن سود خودشان

لازم به ذکر است که در رابطه فوق، f_1^* بیشترین میزان تابع اول و f_2^* بیشترین میزان تابع دوم و d_1 حداقل میزان تابع اول و d_2 حداقل میزان تابع دوم می باشد. نش، ارتباط میان توابع هدف را به صورت ریاضی زیر تعریف می کند:

$$\begin{aligned} & \text{maximize } (f_1 - d_1)(f_2 - d_2) \quad (2) \\ & \text{s.t. } d_1 \leq f_1 \leq f_1^* \\ & f_2 = g(f_1) \end{aligned}$$

در (۲)، چنانچه $f_1 = d_1$ باشد و $f_1 = f_1^*$ باشد مقدار تابع هدف صفر می شود و برای تمام $f_1 \in (d_1, f_1^*)$ مقدار این تابع مثبت است. محدودیت دوم را می توان در تابع هدف جایگزین کرده و تابع را به صورت یک بعدی تبدیل کرد، به صورتی که معادله را بر مبنای شرط اول حل کرد:

$$\begin{aligned} & \text{maximize } (f_1 - d_1)(g(f_1) - d_2) \quad (3) \\ & \text{s.t. } d_1 \leq f_1 \leq f_1^* \end{aligned}$$

برای به دست آوردن مقدار بهینه (۳)، از چهار روش راه حل نامتقارن نش، راه حل نامتقارن سطوح یکنواخت، راه حل نامتقارن ضررهای مساوی و راه حل نامتقارن کلی-اسمر دینسکای استفاده شده است. با توجه به مطالعاتی که پیشتر انجام شده است، هر چهار روش تقریباً به جواب های یکسانی دست پیدا می کنند (سالازار و همکاران، ۲۰۰۷؛ مفتاح هلقی و همکاران، ۱۳۹۱)؛ بنابراین در این پژوهش از روش راه حل نامتقارن نش استفاده می شود.

راه حل نامتقارن نش (تئوری بازی ها)

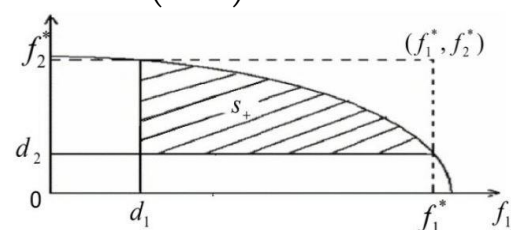
راه حل نامتقارن نش که برای اولین بار توسط هارسانی و سلتن (۱۹۷۲) معرفی گردید، با اعمال وزن های w_1 و w_2 مطابق با رابطه (۴) به بازیکن ها به مقدار بهینه دست پیدا می کند (سالازار و همکاران، ۲۰۰۷؛ مفتاح هلقی و همکاران، ۱۳۹۱).

$$\begin{aligned} & \text{maximize } (f_1 - d_1)^{w_1} (f_2 - d_2)^{w_2} \quad (4) \\ & \text{s.t. } d_1 \leq f_1 \leq f_1^* \end{aligned}$$

هستند. ولی در بازی های مشارکتی، طبق یک توافق که بین همه بازیگران است، بازیگران به دنبال حداکثر کردن سود جمعی هستند. یکی از روش های مرسوم در تئوری بازی های غیرمشارکتی، تئوری تعادل نش است که برای اولین بار در سال ۱۹۵۱ توسط جان نش مطرح گردید.

در این پژوهش، برای مدل سازی نظریه بازی ها از تعادل نش استفاده شده است. در این روش، هر دو هدف اقتصادی و محیط زیستی بین صفر تا یک نرمال می شوند. بهترین پاسخ برای تابع اقتصادی، بیشترین سود و برای تابع زیست محیطی نیز بهترین پاسخ، کمترین استفاده از منابع آب منطقه است. این نزاع، به صورت ریاضی زوج مرتب (s, d) نشان داده می شود که $s \subseteq R^2$ مجموعه راه حل های ممکن و $d \subseteq R^2$ بدترین راه حل ها است که به عنوان ندیر یا بردار دستاوردها شناخته می شود. هر کدام از بازیکنان قصد دارند بیشترین سود را برای خود کسب کنند. در حالتی که تابع محیط زیست و تابع اقتصادی در این پژوهش نرمال شوند کمترین مقدار ممکن برای هر دو تابع $d_1 = d_1$ و $d_2 = d_2$ می شود. همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، مرز پارتو توسط تابع اکیدا نزولی P در فاصله $[d_1, f_1^*]$ و $[d_2, f_2^*]$ تعریف می گردد. یا به عبارت دیگر، $d_2 = p(f_1^*)$ و $f_2^* = p(f_1^*)$ است. در صورتی که بردار d به عنوان بدترین نتایج ممکن در نظر گرفته شود، مجموعه راه حل های S به بدترین نتایج ممکن محدود می شود که مجموعه S^+ به صورت زیر تعریف می گردد (سالازار و همکاران، ۲۰۰۷):

$$S^+ = \{f = (f_1, f_2) / f \in S, f \geq d\} \quad (1)$$



شکل ۳- محدوده راه حل های قابل دستیابی

$$\sum_i^9 X_i \leq TX \quad (9)$$

که X_i مساحت هر کشت و TX بیشترین اراضی قابل کشت در دشت کوهپایه- سگری است.

محدودیت منابع آب با توجه به جدول بیلان و منابع آب زیرزمینی برای هر سال (دوره آماری ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۰) تعیین شده است. لازم به ذکر است که گزارش بیلان این دشت برای سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ هنوز منتشر نشده است.

برای محاسبه بیلان کلی دشت و میزان آب در دسترس کشاورزی، از هیدروگراف واحد دشت و میزان منابع آب سطحی در بازه زمانی ۱۳۷۶ - ۱۳۹۰ استفاده شد. به‌طورکلی، مجموع عوامل ورودی و خروجی آبخوان، تغییرات حجم ذخیره را بیان می‌کند. یکی از روش‌های برآورد تغییرات حجم ذخیره آبخوان، استفاده از ارقام نوسانات سطح آب زیرزمینی است که از طریق هیدروگراف معرف آبخوان به دست می‌آید. همان‌طور که در ملاحظه می‌شود، این دشت به‌طور متوسط با کسری مخزن ۲۹/۴ میلیون مترمکعب در سال روبه‌روست که مدیریت منابع آب در این دشت به‌منظور جلوگیری از فرونشست زمین را ضروری ساخته است. میزان تغییرات ذخیره در آبخوان از رابطه (۱۰)، محاسبه می‌شود:

$$\pm \Delta V = S.A.\Delta H \quad (10)$$

که S ضریب آبدهی آبخوان، A مساحت آبخوان (کیلومترمربع) و ΔH نوسانات سطح آب زیرزمینی (متر) است.

همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، ضریب آبدهی ویژه در آبخوان برابر با چهار درصد و میزان متوسط افت سالانه از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۰ برابر با ۲۵ سانتی‌متر است. با توجه به وسعت آبخوان که برابر با ۲۹۴۱/۱ کیلومترمربع است میزان کسری سالانه حجم مخزن در آبخوان، برابر با ۲۹/۴۱ میلیون مترمکعب است.

$$f_2 = g(f_1)$$

در این پژوهش، با توجه به اینکه مقادیر تابع اقتصادی و تابع محیط‌زیست بین صفر و یک نرمال شده‌اند و $d_1 = d_2 = 0$. لذا رابطه (۴) به‌صورت رابطه (۵) تغییر می‌کند:

$$\text{maximize}(Eco)^{w_1} (Env)^{w_2} \quad (5)$$

در رابطه (۵)، Env نماد تابع زیست‌محیطی و Eco نماد تابع اقتصادی است.

$$w_2 = 1 - w_1 \quad (6)$$

با توجه به روابط (۵) و (۶) می‌توان نوشت:

$$\text{maximize}(Eco)^{w_1} (Env)^{1-w_1} \quad (7)$$

تابع اقتصادی

در این پژوهش، تابع اقتصادی به‌صورت رابطه زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$Net_n = \sum_c^n \sum_t X_{tc} \cdot Y_{tc} \cdot (P_{tc} - C_{tc}) \quad (8)$$

در این رابطه، Net_n نشان‌دهنده سود خالص، X_c مساحت محصولات به هکتار برای محصول c ام، Y_c عملکرد محصول برای محصول c ام در هکتار، P_c قیمت فروش محصولات برای محصول c ام، C_c هزینه محصولات برای محصول c ام، n تعداد محصولات و t نشان‌دهنده فصل کشت محصول است.

برای نرمال نمودن سود خالص به‌عنوان تابع اقتصادی، با استفاده از برنامه‌ریزی خطی، مقدار بیشترین و کمترین میزان سود خالص، با توجه به محدودیت‌های مورد نظر محاسبه شد. محدودیت‌های اعمال‌شده روی سود خالص شامل محدودیت منابع آب، محدودیت کل زمین‌های قابل کشت و محدودیت میزان تغییرات در مساحت هر محصول است. محدودیت کل اراضی به‌صورت رابطه (۹) در نظر گرفته شد:

جدول ۲- افت سالانه و حجم کسری مخزن آبخوان

حجم افت سالانه (میلیون مترمکعب)	ضریب آبدهی ویژه	مساحت آبخوان (کیلومتر مربع)	میانگین افت سالانه (متر)	تعداد سال	تراز شهریور سال ۱۳۹۰ (متر)	تراز مهر سال ۱۳۷۶ (متر)
-29.41	0.04	2941.1	-0.25	15	1508.58	1512.56

سطح آب زیرزمینی از حد مجاز آن تجاوز نکند؛ بنابراین میزان برداشت آب باید به میزان ذخیره تجدیدشونده باشد؛ بنابراین S_R میزان برداشت بدون افت منابع آب زیرزمینی است. پس از به دست آوردن میزان برداشت مجاز از منابع آب زیرزمینی، مقدار آب در دسترس در دشت کوهپایه- سگزی با توجه به رابطه زیر به دست می آید:

$$S_T = S_S + S_R \quad (12)$$

S_S میزان آب سطحی در هر سال و S_T مقدار آب کل موجود برای کشاورزی است.

جدول ۳، محاسبات مربوط به میزان مجاز برداشت از آب زیرزمینی و کل آب موجود در دسترس را در طول دوره آماری مورد مطالعه نشان می دهد. شکل ۴ نیز نمودار میله ای کل آب موجود در دشت کوهپایه- سگزی را برای سال های مختلف نشان می دهد.

می توان گفت که تفاوت تخلیه و تغذیه در دشت باعث ایجاد افت در دشت کوهپایه- سگزی می شود که به منظور جلوگیری از فرونشست زمین باید از برداشت بیش از اندازه از آبخوان جلوگیری شود (گزارش بیلان شرکت آب منطقه ای اصفهان، دشت کوهپایه- سگزی ۱۳۸۰ - ۱۳۹۰).

برای به دست آوردن میزان آب در دسترس در هر سال از معادله بیلان در آن سال در منطقه استفاده شد رابطه (۱۱).

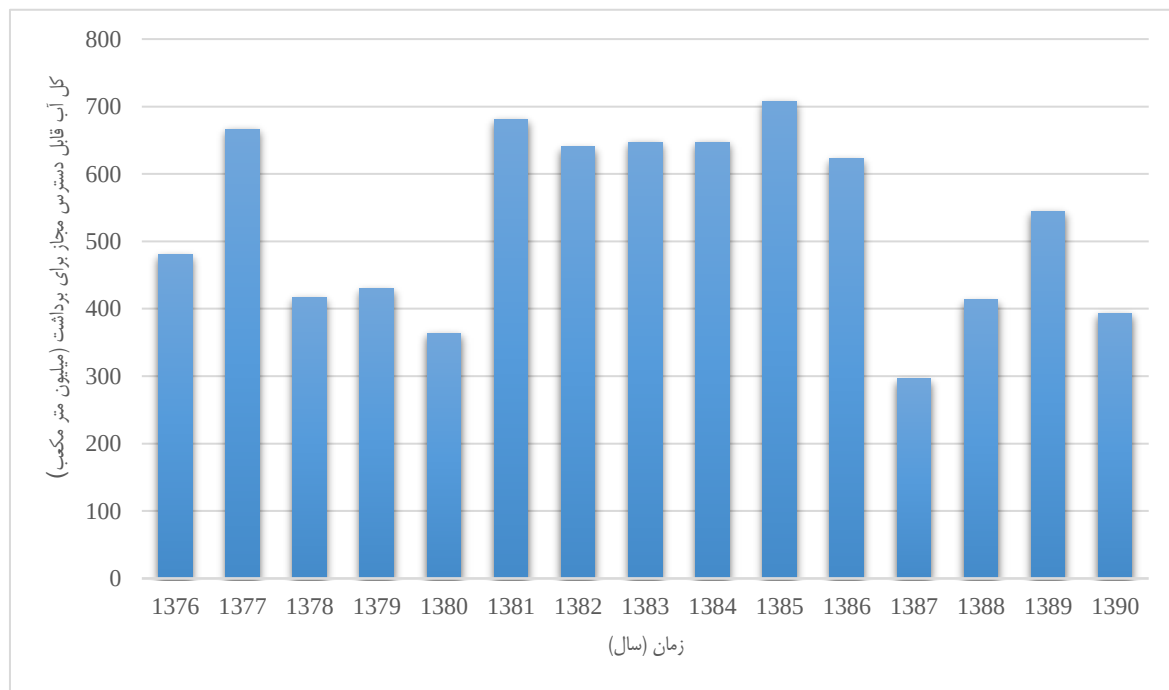
$$\delta S = S_R - S_C \quad (11)$$

که S_C مقدار مصرف از آب زیرزمینی و S_R مقدار ذخیره تجدیدشونده است.

به منظور مدیریت منابع آب زیرزمینی، میزان برداشت آب از آبخوان باید به گونه ای باشد که افت تراز

جدول ۳- میزان آب موجود سالانه دشت کوهپایه- سگزی

کل آب موجود S_T	آب سطحی S_S	آب زیرزمینی بدون افت S_R	برداشت آب زیرزمینی S_C	حجم افت (میلیون مترمکعب) δS	افت سالانه (متر)	تراز شهریور (متر)	تراز مهر (متر)	سال آبی (سناریو)
480.35	237.51	242.84	276.96	-34.12	-0.29	1512.27	1512.56	1376
666.36	390.01	276.35	289.29	-12.94	-0.11	1512.11	1512.22	1377
416.91	212.63	204.28	241.92	-37.65	-0.32	1511.84	1512.16	1378
429.98	240.04	189.94	280.53	-90.59	-0.77	1510.96	1511.73	1379
363.85	217.47	146.39	248.74	-102.35	-0.87	1510.04	1510.91	1380
681.45	405.1	276.35	311.64	-35.29	-0.3	1509.62	1509.92	1381
640.56	364.21	276.35	228.11	48.23	0.41	1510.05	1509.64	1382
647.36	371.01	276.35	231.64	44.7	0.38	1510.31	1509.93	1383
647.36	371.01	276.35	234	42.35	0.36	1510.6	1510.24	1384
707.48	431.13	276.35	254	22.35	0.19	1510.81	1510.62	1385
622.82	346.47	276.35	239.88	36.47	0.31	1511.16	1510.85	1386
295.93	197.08	98.85	220.03	-121.17	-1.03	1510.18	1511.21	1387
413.63	235.2	178.42	273.71	-95.29	-0.81	1509.26	1510.07	1388
544.73	268.38	276.35	276.35	0	0	1509.2	1509.2	1389
393.61	217.12	176.49	248.25	-71.76	-0.61	1508.58	1509.19	1390
526.84	297.26	229.58	259.51	-29.93	-0.25	1510.33	1510.59	میانگین



شکل ۴- میزان آب قابل دسترس برای هر سال (میلیون متر مکعب)

شوند. برای نرمال‌سازی داده‌ها از رابطه ۱۴ استفاده شده

است (علی و فرج، ۲۰۱۴):

$$Z = \frac{X - X_{Min}}{X_{MAX} - X_{MIN}} \quad (14)$$

به منظور نرمال‌سازی توابع اقتصادی و زیست‌محیطی، بیشترین و کمترین مقادیر سود اقتصادی و میزان مصرف آب، براساس برنامه‌ریزی خطی و با استفاده از روش سیمپلکس محاسبه شد. نتایج این بخش در جدول ۴، ارائه شده است. با توجه به تضاد تابع زیست‌محیطی با تابع اقتصادی، بیشترین و کمترین مصرف آب نیز به ترتیب مطابق با کمترین و بیشترین تابع اقتصادی بدست آمد. لازم به ذکر است که مقدار نرمال شده مصرف آب و مقدار سود نرمال در سال ۱۳۹۱ به عنوان سال مبنا به ترتیب ۰/۱۹ و ۰/۶۲ محاسبه شد.

تابع زیست‌محیطی

تابع زیست‌محیطی در نظر گرفته شده به صورت زیر می باشد:

$$Env = 1 - \frac{STC}{S_T} \quad (13)$$

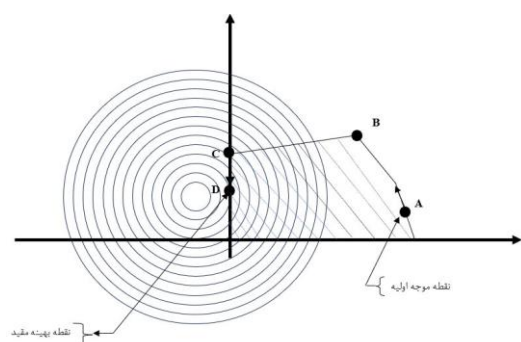
که STC مقدار آب مصرف شده به ازای الگوی کشت است. به منظور محاسبات اولیه، الگوی کشت در سال ۱۳۹۱ به عنوان الگوی کشت مبنا در نظر گرفته شد و بر اساس محدودیت های موجود، الگوی کشت بهینه در هر سال پیشنهاد شد.

نرمال‌سازی تابع اقتصادی و تابع زیست‌محیطی

جهت استفاده از توابع اقتصادی و زیست‌محیطی در (۷)، ابتدا این توابع باید بین دو عدد صفر و یک نرمال

جدول ۴- بیشترین و کمترین مقدار سود و میزان مصرف آب در دوره آماری مورد مطالعه با استفاده از روش سیمپلکس

پارامتر	کل آب موجود (میلیون متر مکعب)	میزان سود (میلیون ریال)
بیشترین	707.48	1865185.59
کمترین	295.93	988110.92



شکل ۵- روش ترسیم GRG

نتایج و بحث

در این قسمت، نتایج الگوی کشت بهینه منطقه مورد مطالعه به روش‌های مختلف بهینه‌سازی، به صورت سالانه در طول دوره آماری مورد مطالعه، بر اساس محدودیت آب موجود ارائه می‌شود.

بهینه‌سازی تابع نش با روش GRG

نتایج بهینه‌سازی مقادیر تابع نش با توجه به محدودیت منابع آب هر سال در طول دوره آماری مورد مطالعه و با استفاده از روش بهینه‌سازی غیرخطی مقید در جدول ۵، ارائه شده است. میزان مصرف آب و میزان سود ناشی از اجرای هر سناریو، برای وزن‌های مختلف تابع اقتصادی به ترتیب در جدول ۶ و جدول ۷ ارائه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، می‌توان گفت که بیشترین میزان تابع هدف در وزن صفر تابع اقتصادی به دست آمده است و بدین ترتیب اگر تابع اقتصادی لحاظ نشود، میزان سود و میزان مصرف آب به کمترین میزان خود خواهد رسید. از سوی دیگر، اگر تمام وزن تابع را به اقتصاد اختصاص دهیم (وزن تابع اقتصادی برابر با واحد شود)، میزان سود و میزان مصرف آب به بیشترین مقدار خود می‌رسد. به طور کلی، می‌توان گفت که هر چه وزن تابع اقتصادی بیشتر شود، میزان سود و مصرف آب افزایش می‌یابد.

بهینه‌سازی غیرخطی مقید روش تعمیم‌یافته گرادیان

مختصر شده

پس از نرمال سازی پارامترها، در این مرحله مقادیر تابع نش اولیه با استفاده از روش تئوری بازی‌ها و به کمک روش بهینه‌سازی غیرخطی مقید تعمیم‌یافته گرادیان مختصر شده^۳، الگوی کشت بهینه محاسبه شد.

مسئله بهینه‌سازی مقید را با در نظر گرفتن متغیرهای اساسی برای قیدها به تعداد m و متغیرهای غیراساسی به تعداد n می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت (مب: و تونگ، ۲۰۰۲):

$$\text{Minimize } f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (15)$$

$$\begin{aligned} g(x)_i &\leq b \\ g &\leq x_j \leq h \end{aligned}$$

با توجه به رابطه ۱۵، متغیرهای اساسی برای قیدها تعریف می‌شوند که مجموعه متغیرهای اساسی و غیراساسی (x_B, x_N) به صورت رابطه ۱۶، می‌باشد:

$$x = (x_B, x_N)^T \quad (16)$$

که مسأله بهینه‌سازی به صورت رابطه (۱۷) بازنویسی می‌شود:

$$\text{Minimize } f(x_B, x_N) \quad (17)$$

$$\begin{aligned} g(x)_i = \\ Q \leq x_B \leq w \\ E \leq x_N \leq R \end{aligned}$$

جواب مسأله تغییر یافته را می توان توسط گام های زیر پیدا کرد:

گام ۱: انتخاب نقطه شروع اولیه، گام ۲: تعیین مسیر جستجو
 d^k در تکرار k ام، گام ۳: پیدا کردن نقطه جدید $x^{k+1} = x^k + \beta^k d^k$ که β^k اندازه گام محاسباتی و عددی است
 که $f(x^k + \beta^k d^k)$ را کمینه می کند و گام ۴: کنترل معیار
 همگرایی به صورت رابطه (۱۸)، که برای بررسی پایان
 الگوریتم تعریف شده است. شکل ۵، روش GRG را نشان
 می دهد.

$$\left\|x^k - x^{k+1}\right\| < \varepsilon \quad (18)$$

جدول ۵- مقادیر بهینه تابع نش برای هر سال با توجه به محدودیت‌ها و وزن‌های مختلف اقتصادی

سال	محدودیت منابع آب (میلیون متر مکعب)	مقدار تابع هدف بهینه نش بر اساس وزن تابع اقتصادی										
		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1376	480.35	1	0.83	0.73	0.65	0.6	0.57	0.56	0.58	0.59	0.6	0.61
1377	666.36	1	0.83	0.73	0.65	0.6	0.57	0.56	0.59	0.64	0.74	0.93
1378	416.91	1	0.83	0.73	0.65	0.6	0.57	0.55	0.54	0.53	0.51	0.5
1379	429.98	1	0.83	0.73	0.65	0.59	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52
1380	363.85	1	0.83	0.73	0.65	0.59	0.56	0.53	0.5	0.47	0.44	0.42
1381	681.45	1	0.83	0.73	0.65	0.59	0.57	0.56	0.59	0.64	0.74	0.96
1382	640.56	1	0.83	0.73	0.65	0.59	0.57	0.56	0.59	0.64	0.74	0.89
1383	647.36	1	0.83	0.73	0.65	0.59	0.57	0.56	0.59	0.64	0.74	0.9
1384	647.36	1	0.83	0.73	0.65	0.59	0.57	0.56	0.59	0.64	0.74	0.9
1385	707.48	1	0.83	0.73	0.65	0.6	0.57	0.56	0.59	0.64	0.74	1
1386	622.82	1	0.83	0.73	0.65	0.6	0.57	0.56	0.59	0.64	0.74	0.86
1387	295.93	1	0.83	0.73	0.65	0.58	0.52	0.47	0.42	0.37	0.33	0.3
1388	413.63	1	0.83	0.73	0.65	0.59	0.57	0.55	0.54	0.52	0.51	0.5
1389	544.73	1	0.83	0.73	0.65	0.6	0.57	0.56	0.59	0.63	0.67	0.72
1390	393.61	1	0.83	0.73	0.65	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49	0.46

جدول ۶ - مقادیر مصرف آب به ازای تابع نش بهینه در هر سال بر اساس ضرایب مختلف تابع اقتصادی (میلیون متر مکعب)

سال	محدودیت منابع آب	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1376	480.35	252.48	270.41	280.79	296.92	355.11	415.82	474.93	480.35	480.35	480.35	480.35
1377	666.36	252.48	270.41	280.79	297.33	354.17	415.86	474.59	532.24	590.64	648.58	666.36
1378	416.91	252.48	270.41	280.79	298.85	355.46	416.89	416.9	416.91	416.91	416.91	416.91
1379	429.98	252.48	270.41	280.79	297.35	358.99	415.8	429.98	429.98	429.98	429.98	429.98
1380	363.85	252.48	270.41	280.79	297.58	356.11	363.85	363.85	363.85	363.85	363.85	363.85
1381	681.45	252.48	270.41	280.79	296.96	361.01	415.95	473.83	533.35	590.65	648.56	681.45
1382	640.56	252.48	270.41	280.79	298.91	357.24	415.87	474.68	533.07	590.64	640.56	640.56
1383	647.36	252.48	270.4	280.79	298.91	356.78	417.18	474.9	533.65	590.65	647.35	647.35
1384	647.36	252.48	270.4	280.79	298.91	356.78	417.18	474.9	533.65	590.65	647.35	647.35
1385	707.48	252.48	270.4	280.79	297.76	357.22	417.17	474.12	533.68	590.64	648.58	707.48
1386	622.82	252.48	270.45	280.79	299	357	415.83	474.03	534.15	590.64	622.82	622.82
1387	295.93	252.48	270.41	280.79	295.91	295.93	295.93	295.93	295.93	295.93	295.93	295.93
1388	413.63	252.48	270.41	280.79	298.26	359.37	413.61	413.63	413.63	413.63	413.63	413.63
1389	544.73	252.48	270.4	280.79	298.71	357.18	416.28	474.08	533.14	544.73	544.73	544.73
1390	393.61	252.48	270.41	280.79	295.14	354.76	393.6	393.61	393.61	393.61	393.61	393.61

جدول ۷- مقادیر سود خالص به ازای تابع نش بهینه در هر سال بر اساس ضرایب مختلف تابع اقتصادی (میلیارد ریال)

سال	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1376	614.37	896.57	955.24	994.62	1117.62	1239.8	1358.71	1378.69	1378.69	1378.69	1378.69
1377	614.38	896.65	955.24	993.37	1126.04	1239.84	1366.62	1494.78	1616.22	1740.88	1778.57
1378	614.38	896.6	955.24	994.43	1118.13	1242.51	1242.57	1242.57	1242.57	1242.58	1242.57
1379	614.38	896.6	955.24	993.57	1121.83	1233.17	1270.19	1270.2	1270.2	1270.2	1270.1
1380	614.38	896.58	955.24	991.33	1116.57	1133.16	1133.15	1134.72	1134.72	1134.72	1134.72
1381	614.38	896.64	955.24	992.71	1121.11	1239.9	1365	1496.96	1616.22	1740.96	1810.36
1382	614.38	896.6	955.24	994.22	1121.08	1243.59	1366.61	1493.12	1616.21	1723.7	1723.7
1383	614.38	896.56	955.24	990.65	1121.12	1240.6	1366.22	1493.66	1616.21	1738.32	1738.34
1384	614.38	896.56	955.24	990.65	1121.12	1240.6	1366.22	1493.66	1616.21	1738.32	1738.34
1385	614.38	896.68	955.24	994.68	1121.15	1239.89	1365.12	1493.15	1616.22	1740.96	1865.18
1386	614.38	896.61	955.24	994.33	1117.33	1239.85	1366.64	1494.3	1616.21	1685.5	1685.5
1387	614.38	896.6	955.24	987.84	987.8	987.8	987.81	987.89	987.89	987.89	987.89
1388	614.38	896.6	955.24	993.49	1120.41	1235.48	1235.52	1235.53	1235.53	1235.53	1235.53
1389	614.38	896.61	955.24	992.63	1121.09	1239.77	1366.46	1489.14	1517.32	1517.32	1517.32
1390	614.38	896.63	955.24	993.56	1109.5	1193.39	1199.72	1199.78	1200.08	1200.08	1199.51

به منظور رعایت عدالت و تساوی در بین ذینفعان، وزن انتخاب شده برای به دست آوردن الگوی کشت تابع اقتصادی ۰/۵ در نظر گرفته شد (سالازار و همکاران، ۲۰۰۷؛ مفتاح هلقی و همکاران، ۱۳۹۹) و الگوی کشت بهینه منطقه محاسبه شد. جدول ۸، مقادیر مساحت هر محصول محاسبه شده به کمک تئوری بازی‌ها برای وزن ۰/۵ را نشان می‌دهد. به طور کلی، می‌توان گفت که محصولات برنج، سبزی و صیفی و پیاز نسبت به سال مبنا (سطح زیر کشت محصولات ارائه شده در جدول ۱) افزایش سطح زیر کشت داشته‌اند و برای محصولات پنبه، جو، گندم و سایر محصولات، سطح زیر کشت برای تمام سال‌ها کاهش یافته است. یکی از دلایل افزایش و کاهش سطح کشت در این محصولات، نسبت سود به هزینه است. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، نسبت سود به

هزینه برای محصولات پنبه، جو، سایر محصولات و گندم کمترین مقدار است؛ بنابراین مساحت زیر کشت این محصولات نسبت به سطح کشت مبنا کاهش یافته است. ذرت علوفه‌ای جزو محصولات آبربر در این دشت است و نسبت سود به هزینه متوسطی در بین محصولات مختلف دارد؛ اما با توجه به آبربر بودن، در تمام سال‌ها دچار کاهش سطح کشت شده است. نکته قابل توجه اینست که مدل تمایل دارد سطح زیر کشت محصولاتی مانند برنج که جزو محصولات آبربر در دشت کوهپایه- سگزی است را افزایش دهد. دلیل این امر نیز سودآور بودن این محصول نسبت به سایر محصولات است و علی‌رغم محدودیت منابع آب در هر سال، با توجه به قیمت کم آب کشاورزی، کشاورز تمایل به کاشت این محصول دارد.

جدول ۸- مقدار بهینه مساحت هر محصول (هکتار) با استفاده از تئوری بازی‌ها، برای وزن ۰/۵ تابع اقتصادی

کل مساحت	برنج	سایر محصولات	پنبه	سبزی و صیفی	ذرت علوفه‌ای	پیاز	یونجه	جو	گندم	میزان سود (میلیارد ریال)	مصرف آب (میلیون متر مکعب)	سال (سناریو)
32628	328	396	500	2864	1441	920	1633	1480	23066	1239.8	415.82	1376
32072	328	396	500	2864	2084	920	1580	1480	21919	1239.84	415.86	1377
32272	328	396	500	2864	1422	920	1821	1480	22541	1242.51	416.89	1378
32534	328	396	500	2864	1495	920	1600	1480	22950	1233.17	415.8	1379
26126	328	396	500	2864	2248	920	2750	1480	14640	1133.16	363.85	1380
32686	328	396	500	2864	1461	920	1620	1480	23116	1239.9	415.95	1381
32665	328	396	500	2864	1484	920	1581	1480	23111	1243.59	415.87	1382
32665	328	396	500	2864	1484	920	1581	1480	23111	1240.6	417.18	1383
32665	328	396	500	2864	1484	920	1581	1480	23111	1240.6	417.18	1384
32647	328	396	500	2864	1420	920	1625	1480	23113	1239.89	417.17	1385
32657	328	396	500	2864	1476	920	1582	1480	23110	1239.85	415.83	1386
22045	328	396	500	2864	1710	920	1728	1480	12118	987.8	295.93	1387
32088	328	396	500	2864	1422	920	1688	1480	22489	1235.48	413.61	1388
32651	328	396	500	2864	1420	920	1630	1480	23112	1239.77	416.28	1389
30561	328	396	500	2864	1422	920	1585	1480	21065	1193.39	393.6	1390

بهینه‌سازی الگوی کشت با برنامه‌ریزی خطی

در این قسمت، با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی و به منظور بهینه‌سازی مقدار سود و با در نظر گرفتن محدودیت منابع آب در هر سال، الگوی کشت بهینه تعیین گردید. همچنین با توجه به جلوگیری از بر هم زدن تعادل

عرضه و تقاضا در بازار، حداکثر مجاز برای تغییر در سطح زیر کشت هر محصول ۶۰ درصد مساحت هر محصول در نظر گرفته شد. جدول ۹، نتایج مربوط به الگوی کشت بهینه توسط این روش را نشان می‌دهد.

محصولات برنج، سبزی و صیفی، پیاز و یونجه رخ داده است و برای محصولات پنبه، جو، گندم سطح کشت برای تمام سالها کاهش یافته است.

مقایسه نتایج تئوری بازی ها (جدول ۶ و ۸) و برنامه ریزی خطی سود بیشینه (جدول ۹) از لحاظ مصرف آب و سود نشان می دهد که مصرف آب در تمام سالها در همه وزنهای تابع اقتصادی کمتر از روش برنامه ریزی خطی سود بیشینه است. به طور کلی مقایسه نتایج سود برنامه ریزی خطی و تئوری بازی ها نشان می دهد که در تمام وزنهای تئوری بازی ها، میزان سود، از میزان سود روش برنامه ریزی خطی کمتر است.

می توان گفت که بیشترین میزان سود مربوط به الگوی کشت سال آبی ۱۳۸۵ است. در این سال، بیشترین مقدار منابع آب وجود دارد که به تبع آن بیشترین میزان مصرف آب و مساحت کشت شده به ترتیب به میزان ۷۰۷/۴۳ میلیون مترمکعب و ۴۸۳۶۱/۰۶ هکتار می باشد. کمترین میزان سود نیز مربوط به سال ۱۳۸۷ است که کمترین میزان آب و مساحت کشت شده به ترتیب به میزان ۲۹۵/۹۳ میلیون متر مکعب و ۲۲۲۳۴/۰۸ هکتار را به خود اختصاص داده است. به طور کلی، مقایسه نتایج الگوی کشت برنامه ریزی خطی (جدول ۹) با الگوی کشت مبنا (جدول ۱) نشان می دهد که افزایش سطح کشت در

جدول ۹- الگوی کشت بهینه محصولات با استفاده از برنامه ریزی خطی در هر سال (هکتار)

سال	میزان آب مصرفی (میلیون متر مکعب)	سود برای برنامه ریزی خطی (میلیارد ریال)	گندم	جو	یونجه	پیاز	ذرت علوفه ای	سبزی و صیفی	پنبه	سایر محصولات	برنج	کل مساحت
1376	480.35	1386.26	12118	1480	6320	920	5077	2864	500	396	328	30003
1377	666.36	1778.58	26446	1480	6320	920	5680	2864	500	396	328	44934
1378	416.91	1250.12	12118	1480	6320	920	2358	2864	500	396	328	27284
1379	429.98	1278.18	12118	1480	6320	920	2919	2864	500	396	328	27844
1380	363.85	1135.51	12118	1480	5027	920	1420	2864	500	396	328	25052
1381	681.45	1810.36	27704	1480	6320	920	5680	2864	500	396	328	46192
1382	640.56	1724.24	24296	1480	6320	920	5680	2864	500	396	328	42784
1383	647.36	1738.55	24863	1480	6320	920	5680	2864	500	396	328	43351
1384	647.36	1738.55	24863	1480	6320	920	5680	2864	500	396	328	43351
1385	707.48	1865.19	29873	1480	6320	920	5680	2864	500	396	328	48361
1386	622.82	1686.88	22818	1480	6320	920	5680	2864	500	396	328	41306
1387	295.93	988.11	12118	1480	2208	920	1420	2864	500	396	328	22234
1388	413.63	1243.08	12118	1480	6320	920	2218	2864	500	396	328	27143
1389	544.73	1522.4	16310	1480	6320	920	5680	2864	500	396	328	34798
1390	393.61	1200.09	12118	1480	6261	920	1420	2864	500	396	328	26287

مقایسه نتایج دو روش بهینه سازی الگوی کشت

با مقایسه نتایج مربوط به الگوی کشت بهینه دو روش بهینه سازی استفاده شده در این تحقیق (جدول ۹) می توان گفت که بیشترین سطح کشت، همچنان به کشت گندم در بین تمام سالها اختصاص دارد؛ اما در هر دو روش کشت گندم، نسبت به کشت سال مبنا (جدول ۱) کاهش یافته است؛ اگرچه میانگین کشت گندم در روش تئوری

بازی های بهینه شده بیشتر از روش برنامه ریزی خطی است. از دلایل افزایش کشت گندم در روش تئوری بازی های بهینه شده در مقایسه با روش برنامه ریزی خطی می توان به کم آب بر بودن گندم نسبت به بقیه محصولات اشاره کرد. در هر دو روش، کشت پنبه، جو و سایر محصولات کاهش یافته است؛ اما سطح کشت یونجه و ذرت علوفه ای در روش تئوری بازی های بهینه شده نسبت به روش

برنامه‌ریزی خطی کاهش یافته است. دلیل این کاهش را می‌توان اینگونه بیان نمود که نیاز ناخالص آبیاری این محصولات نسبت به بقیه محصولات بیشتر است. در هر دو روش، مساحت کشت محصولات برنج، سبزی و صیفی و پیاز افزایش یافته است. دلیل این امر نیز نسبت زیاد سود به هزینه کشت برنج می‌باشد که علی‌رغم آب‌بر بودن، تمایل به کشت این محصول زیاد است. در روش تئوری بازی‌ها، سطح کشت سبزی و صیفی به دلیل اینکه عمق خالص آبیاری کمتری نسبت به بقیه محصولات دارد و از آبیاری بارانی با راندمان بیشتری استفاده می‌کند، افزایش یافته است. افزایش سطح کشت پیاز نیز ناشی از صرفه اقتصادی نسبتاً زیاد آنست که تمایل کشاورز به کشت پیاز نیز در منطقه تأییدکننده این موضوع می‌باشد.

جدول ۱۰، نشان‌دهنده نتایج مصرف آب و میزان سود روش‌های مختلف بهینه‌سازی خطی (سود بیشینه) و

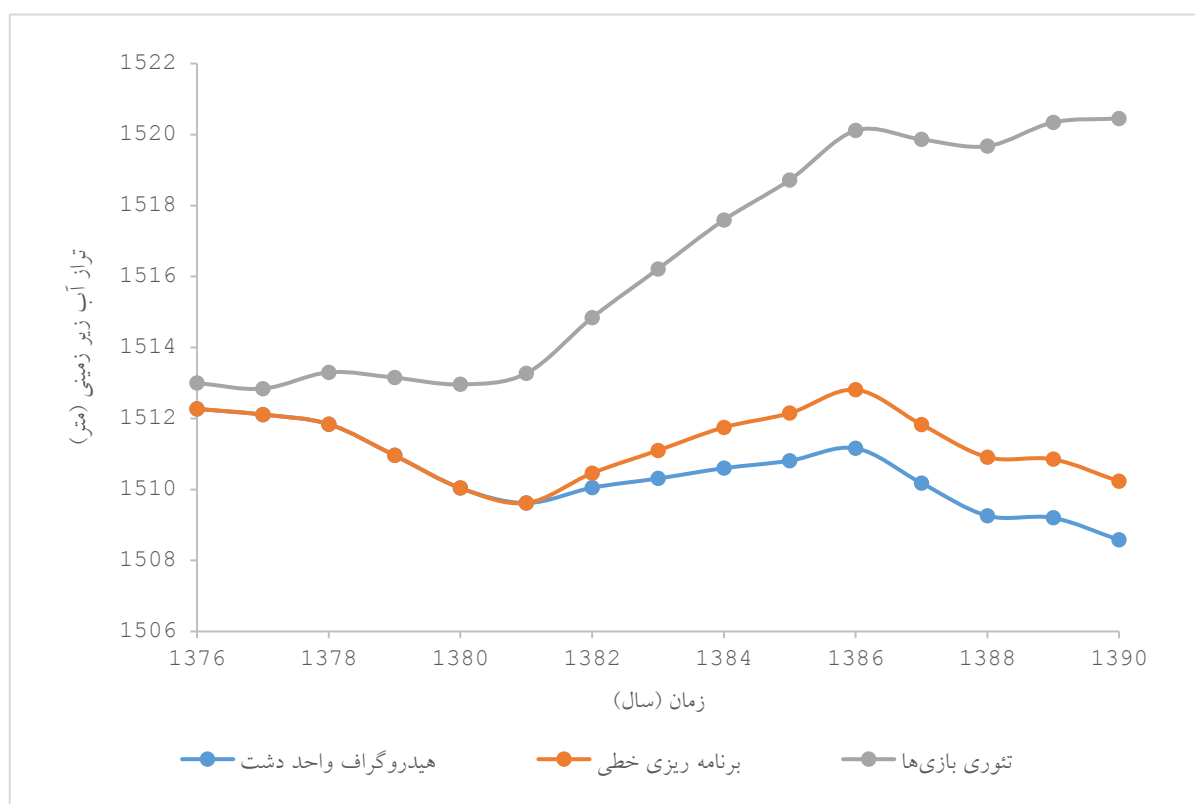
جدول ۱۰- میزان مصرف آب (میلیون متر مکعب) و سود (میلیارد ریال) در بین تمام سال‌های پژوهش

سال مبنا	برنامه‌ریزی خطی	تئوری بازی‌ها (وزن اقتصادی ۰/۵)	میزان مصرف آب
9467967000	7884763895.85	6523423228.82	میزان مصرف آب
23038.93	22201.85	19233.42	میزان سود
0	-0.17	-0.31	کاهش مصرف آب نسبت به سال مبنا
0	-0.04	-0.17	کاهش سود نسبت به سال مبنا

با توجه به اینکه دشت کوهپایه- سگری دارای افت آب زیرزمینی است، روشی که دارای افت آب زیرزمینی کمتر و سود مناسب باشد می‌تواند به عنوان برترین روش انتخاب شود؛ بنابراین، در این قسمت، تراز آب زیرزمینی ناشی از اجرای الگوی پیشنهادی روش‌های مدیریتی مذکور در طول دوره آماری مورد مطالعه محاسبه شد (جدول ۱۰). نتایج نشان می‌دهد که میزان افت آب زیرزمینی برای هیدروگراف واحد دشت برابر با ۳/۶۹ متر می‌باشد. در حالی که اگر روش پیشنهادی برنامه‌ریزی خطی

با هدف به‌دست آوردن بیشترین سود، در طول دوره آماری مذکور اجرا می‌شد، میزان افت تراز آب زیرزمینی به ۲/۰۴ متر کاهش می‌یافت. از سوی دیگر، در صورت اجرای روش تئوری بازی‌های بهینه‌شده با وزن تابع اقتصادی ۰/۵، نه تنها تراز آب زیرزمینی کاهش نمی‌یافت، بلکه شاهد افزایش آن به میزان ۷/۴۵ متر بودیم. جدول ۱۱، تغییرات تراز آب زیرزمینی برای روش برنامه‌ریزی خطی و تئوری بازی‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱۱- تراز آب زیرزمینی شبیه سازی شده برای روش برنامه ریزی خطی و تئوری بازی ها برای هر سال			
سال	تئوری بازی های بهینه شده با وزن α/ω تابع اقتصادی	برنامه ریزی خطی	هیدروگراف واحد دشت
1376	1513.00	1512.27	1512.27
1377	1512.84	1512.11	1512.11
1378	1513.30	1511.84	1511.84
1379	1513.15	1510.96	1510.96
1380	1512.96	1510.04	1510.04
1381	1513.27	1509.62	1509.62
1382	1514.84	1510.46	1510.05
1383	1516.21	1511.10	1510.31
1384	1517.59	1511.75	1510.60
1385	1518.72	1512.15	1510.81
1386	1520.11	1512.81	1511.16
1387	1519.86	1511.83	1510.18
1388	1519.67	1510.91	1509.26
1389	1520.34	1510.85	1509.20
1390	1520.45	1510.23	1508.58



شکل ۶ - تغییرات تراز آب زیرزمینی برای ۱۶ سال با توجه به سه روش تعیین الگوی کشت با برنامه ریزی خطی، تئوری بازی ها با وزن α/ω تابع اقتصادی و هیدروگراف واحد دشت

نتیجه گیری

کوهپایه- سگزی، تابع نش بهینه شد. به طور کلی، می توان نتایج حاصل از این تحقیق را به شرح زیر ارائه نمود:

در پژوهش حاضر، با استفاده از روش بهینه سازی غیرخطی مقید و با توجه به محدودیت های آبی دشت

هر چه وزن تابع اقتصادی بیشتر شود، میزان سود و مصرف آب، به ازای الگوی کشت‌های مختلف افزایش می‌یابد.

نتایج برنامه‌ریزی خطی نسبت به نتایج تئوری بازی‌های بهینه‌شده، متفاوت است و بستگی به نحوه تعامل بازیگرهای مختلف (در این پژوهش محیط‌زیست و اقتصاد) و به میزان تأثیرگذاری در نظر گرفته‌شده برای هر بازیگر دارد. پژوهش‌های دیگر همچون هاپیل و عبیدی (۲۰۰۵)، مدنی (۲۰۱۰)، اشنایدر (۲۰۱۷)، سالازار و همکاران (۲۰۰۷) و مفتاح هلقی و همکاران (۱۳۹۹) نتایج مشابهی را در خصوص تفاوت روش‌های برنامه‌ریزی خطی و تئوری بازی‌ها به دست آورده‌اند.

نتایج حاصل از برنامه‌ریزی خطی، نشان می‌دهد سطح زیر کشت محصولاتی که نسبت سود به هزینه کمتری دارند، در الگوی کشت پیشنهادی کاهش می‌یابند. از سوی دیگر سطح زیر کشت پیشنهادی محصولات آب‌بری مانند ذرت علوفه‌ای با وجود مصرف آب زیاد، افزایش یافته است.

نتایج بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی برای بیشترین سود نشان داد که با صرفه‌جویی ۱۷ درصدی در مصرف آب از سال آبی ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۰ فقط چهار درصد از میزان سود نسبت به سال مبنا کاهش می‌یابد.

در این پژوهش همانند پژوهش‌های سالازار و همکاران (۲۰۰۷) و مفتاح هلقی و همکاران (۱۳۹۹) سهم محیط‌زیست و اقتصاد مساوی و برابر ۰/۵ در نظر گرفته شد. نتایج تئوری بازی‌های نشان داد که در این روش، صرفه‌جویی در مصرف آب ۳۱ درصد و کاهش سود ۱۷ درصد نسبت به سال مبنا است.

نتایج شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی نشان داد که افت آب زیرزمینی هیدروگراف دشت و برنامه‌ریزی خطی به ترتیب برابر با ۳/۹۴ و ۲/۰۴ متر بود؛ درحالی‌که در روش

تئوری بازی‌ها، تراز آب زیرزمینی نه تنها افتی ندارد بلکه به اندازه ۷/۴۵ متر افزایش نیز داشته است.

با در نظر گرفتن پارامترهای اقتصادی و محدودیت‌های زیست‌محیطی منطقه و اهداف موجود بین ذینفعان پارامترهای مذکور در منطقه (افزایش سود حاصل از کشت و همچنین کاهش میزان برداشت آب زیرزمینی)، پیشنهاد می‌شود نسبت به سال مبنا، سطح زیر کشت محصولاتی مانند برنج، سبزی و صیفی و پیاز حدود ۱/۶ برابر افزایش یابد و از سوی دیگر میزان سطح زیر کشت پنبه و جو حدود ۶۰ درصد و سطح زیر کشت گندم حدود ۳۰ درصد کاهش یابد. از جمله دلایل افزایش و کاهش سطح کشت در این محصولات، نسبت سود به هزینه و همچنین میزان مصرف آب آن‌ها است. نکته قابل‌توجه، پیشنهاد افزایش سطح زیر کشت محصول برنج که جزو محصولات آب‌بر است، است. دلیل این امر نیز سودآور بودن این محصول نسبت به سایر محصولات است و علی‌رغم محدودیت منابع آب در هر سال، با توجه به قیمت کم آب کشاورزی، کشاورز تمایل به کاشت این محصول دارد.

تقدیر و تشکر

از دانشگاه بوعلی سینای همدان، سازمان آب منطقه‌ای اصفهان و سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان برای در اختیار گذاشتن امکانات و داده‌های این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این موضوع مورد تایید نویسندگان این مقاله است.

فهرست منابع

۱. حمیدرضا نویدی، سعید کتابچی و معصومه مسی بیدگلی، ۱۳۹۹. مدخلی بر نظریه بازی ها. انتشارات دانشگاه شاهد.
۲. سازمان تحقیقات کشاورزی اصفهان، ۱۳۹۱. گزارش قیمت ها و مصرف نهاده ها.
۳. سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان، ۱۴۰۰. بازنگری، تکمیل و تدوین الگوی کشت بهینه محصولات زراعی و باغی استان اصفهان.
۴. عباسی، فریبرز، سهراب، فرحناز و عباسی، نادر، ۱۳۹۵. ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. *تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی*، ۶۷: ۱۱۳-۱۲۰. doi:10.22092/aridse.2017.109617
۵. کلاهی، مهدی، حسینعلی، فرهاد. و کریمائی طبرستانی، مجتبی، ۱۴۰۱. تعیین الگوی بهینه کشت با هدف حداقل سازی آب مجازی و حداکثرسازی سود اقتصادی محصولات (مطالعه موردی: دشت عمرانی در خراسان رضوی). *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۶(۶): ۱۲۲۱-۱۲۳۲.
۶. گزارش بیان آب منطقه ای اصفهان برای سال های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۰ برای دشت کوهپایه سگری سال ۱۳۹۴. doi: 20.1001.1.20087942.1401.16.6.12.9
۷. مفتاح هلقی مریم، قربانی خلیل، کرامت زاده علی و سالاری جزی میثم، ۲۰۲۱. کاربرد نظریه بازی ها در تعیین برداشت بهینه منابع آب و ارائه الگوی کشت بهینه (مطالعه ی موردی: حوضه آبریز قره سو). *نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک*، ۱۲۷(۵): ۶۹-۸۷. doi: 10.22069/jwsc.2020.17430.3290
8. Ali, P.J.M., Faraj, R.H., Koya, E., Ali, P.J.M. and Faraj, R.H., 2014. Data normalization and standardization: a technical report. *Mach Learn Tech Rep*, 1(1), pp.1-6.
9. Bozorg-Haddad, O. ed., 2021. *Essential tools for water resources analysis, planning, and management*. Springer.
10. Forouzani, M. and Karami, E., 2011. Agricultural water poverty index and sustainability. *Agronomy for Sustainable Development*, 31, pp.415-431. doi:10.1051/agro/2010026
11. Harsanyi, J.C. and Selten, R., 1972. A generalized Nash solution for two-person bargaining games with incomplete information. *Management science*, 18(5-part-2), pp.80-106. doi:10.1287/mnsc.18.5.80
12. Hipel, K.W. and Obeidi, A., 2005. Trade versus the environment: Strategic settlement from a systems engineering perspective. *Systems Engineering*, 8(3), pp.211-233. doi:10.1002/sys.20031
13. Madani, K., 2010. Game theory and water resources. *Journal of hydrology*, 381(3-4), pp.225-238. doi:10.1016/j.jhydrol.2009.11.045
14. Madani, K., 2014. Water management in Iran: what is causing the looming crisis?. *Journal of environmental studies and sciences*, 4, pp.315-328. doi:10.1007/s13412-014-0182-z
15. Mays, L.W. and Tung, Y.K., 2002. *Hydrosystems engineering and management*. Water Resources Publication.
16. Mehrpour, M.R., Kheybari, S., Srari, J.S. and Rohani, A., 2024. Integration of strategic and operational attributes to calculate the optimal cultivation of crops. *Expert Systems with Applications*, 236, p.121238. doi:10.1016/j.eswa.2023.121238
17. Nazari, S., Ahmadi, A., Rad, S.K. and Ebrahimi, B., 2020. Application of non-cooperative dynamic game theory for groundwater conflict resolution. *Journal of Environmental Management*, 270, p.110889. doi:10.1016/j.jenvman.2020.110889
18. Raquel, S., Ferenc, S., Emery Jr, C. and Abraham, R., 2007. Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico. *Journal of environmental management*, 84(4), pp.560-571. doi:10.1016/j.jenvman.2006.07.011

19. Snyder, L. J. 2017. Stanford Encyclopedia of Philosophy. pp. 1-22.
20. Von Neumann, J. and Morgenstern, O., 1953. *Theory of games and economic behavior: by J. Von Neumann and O. Morgenstern*. Princeton university press.
21. Zeng, Y., Li, J., Cai, Y., Tan, Q. and Dai, C., 2019. A hybrid game theory and mathematical programming model for solving trans-boundary water conflicts. *Journal of Hydrology*, 570, pp.666-681. doi:10.1016/j.jhydrol.2018.12.053

تأثیر آبیاری با آب مغناطیسی بر رشد و عملکرد گیاه ذرت و چای ترش در مناطق خشک

محمد عبدوس و محمدرضا یزدانی*

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد رشته مدیریت و کنترل بیابان دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

m.orkideh67@gmail.com

دانشیار گروه بیابانزدایی دانشکده کویرشناسی دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

m_yazdani@semnan.ac.ir

دریافت: دی ۱۴۰۲ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۳

چکیده

استفاده از مغناطیسی کردن آب ممکن است یکی از روش‌های بهبود اثر خصوصیات کیفی/کمی آب‌های مورد استفاده در بخش کشاورزی، باشد. کمبود آب در کشور و تداوم خشکسالی‌ها به یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده‌ی رشد گیاهان منجر شده است. در این تحقیق، با هدف بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر رشد و عملکرد دو گیاه ذرت (*Zea mays*) و چای ترش (*Hibiscus sabdariffa*)، سه تیمار آب مغناطیسی به همراه شاهد در مزرعه‌ی آموزشی و پژوهشی دانشگاه سمنان استفاده شد. به این منظور، اثر تیمارهای مختلف آب مغناطیسی ($EC=2 \text{ dS/m}$) شامل تیمار مغناطیسی (T1)، تیمار الکترومغناطیسی با دامنه بالا (T2) و تیمار الکترومغناطیسی با دامنه کوتاه (T3) بر روی صفات مورفولوژیکی ذرت و چای ترش، به همراه تیمار شاهد T4، آزمایشی در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. نتایج حاصل از بررسی تأثیر تیمارهای آب مغناطیسی بر رشد و محصول گیاه ذرت نشان داد که میزان محصول در تیمار T3 برابر با ۱۶۶۳ گرم بود که ۱۴۷ گرم از شاهد بیشتر بود. میزان محصول چای ترش در تیمارهای T1، T2 و T3 به ترتیب برابر با ۲۵۹، ۲۶۸ و ۲۳۵ گرم و از محصول شاهد (۲۳۴ گرم) بیشتر بود. ولی اثر سه تیمار آب مغناطیسی بر عملکرد رشد محصول ذرت و چای ترش با شاهد تفاوت آماری معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان نداد. به‌طور کلی، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که آب مغناطیسی شده تأثیر چندانی در افزایش رشد و محصول‌دهی گیاه ذرت نداشت، ولی آبیاری گیاه چای ترش با آب مغناطیسی شده موثرتر بود، به نحوی که موجب افزایش رشد و محصول‌دهی به‌تر در طول ایام کشت شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری با آب مغناطیسی، *Hibiscus sabdariffa*، *Zea mays*

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: m_yazdani@semnan.ac.ir

مقدمه

یکی از عوامل اصلی محدودکننده بخش کشاورزی در مناطق خشک، کمبود آب و تأمین آن برای محصولات در زمان کشت است. با توجه به افزایش وقوع خشکسالی‌ها و تأثیر گرم شدن جهانی و تغییر اقلیم این معضل تشدید می‌گردد. در بخش کشاورزی به‌عنوان یکی از ارکان‌های مهم محور توسعه، سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده تا بتوان از پتانسیل منابع آب قابل استحصال کشور در چرخه‌ی تولید استفاده نمود و لذا مدیریت مصرف آب برای افزایش بهره‌وری از این منابع قابل دسترس نقش کلیدی خواهد داشت (احمدپری و همکاران، ۱۳۹۷؛ بابایی و همکاران، ۱۳۹۳). کیفیت نامناسب آب آبیاری به همراه وجود ناخالصی‌های موجود در آن مانند املاح کربناته موجب تأثیر منفی بر سامانه‌های نوین آبیاری مورد استفاده شده است و عمر مفیدشان به شدت کاهش می‌یابد (قدیمی فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۹۵). در شرایطی که بتوان با مصرف مقدار مشخص آب، عملکرد گیاه را نسبت به شرایط معمولی افزایش داد یا از آب‌های نامتعرف جهت آبیاری گیاهان استفاده شود، گامی مهم در جهت مدیریت مصرف آب آبیاری ایجاد می‌شود (شهریاری و همکاران، ۱۳۸۹؛ نیکبخت و همکاران، ۱۳۹۲؛ اشرفی و همکاران، ۱۳۹۱). استفاده از فناوری‌های نو می‌تواند گامی مهم در جهت توسعه بخش کشاورزی و افزایش راندمان تولید شود. با توجه به محدودیت دسترسی به منابع آب غیرشور برای تولیدات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک و تنش ناشی از کم‌آبی، روش‌های مختلفی در تحقیقات بین‌الملل پیشنهاد شده‌است که یکی از آن‌ها، استفاده از دستگاه‌های مغناطیس کننده آب است. محققین توسعه‌دهنده این روش اذعان دارند که روش مغناطیسی در افزایش کارایی مصرف آب، راندمان آبتوبی، بهبود رشد سبزی‌گی و عملکرد گیاه به‌ویژه در شرایط تنش، مؤثر است، به‌طوریکه می‌توان به بهبود عملکرد محصول در شرایط شور کمک نمود (حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷). به دلیل

تغییرات فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری، کاربرد آب مغناطیسی تحت آبیاری اهمیت زیادی دارد. هنگام آبیاری گیاهان با آب معمولی مقدار کمی از عناصر غذایی در آب حل می‌شوند، در نتیجه به همین نسبت برای گیاهان قابل دسترس خواهند بود (رئیزی و همکاران، ۱۴۰۰). در اثر آبیاری با آب مغناطیسی به دلیل نفوذ بیشتر آن در خاک، میزان تبخیر از سطح خاک نسبت به آبیاری با آب معمولی کمتر خواهد بود (میرزایی، ۱۳۹۵). در خصوص تأثیر آب مغناطیس شده بر عملکرد محصولات زراعی تحقیقات زیادی انجام شده‌است، نیکبخت و همکاران (۱۳۹۲)، برای بررسی عملکرد و بهره‌وری آب مورد نیاز گیاه ذرت از تکنیک کم آبیاری با روش آب مغناطیسی و طرح بلوک‌های کامل تصادفی استفاده کردند. نتایج نشان داد که عبور آب از میدان مغناطیسی باعث کاهش یون‌های کلسیم و کلر می‌شود. همچنین سطح برگ، میزان کلروفیل سطح برگ، وزن خشک و تر کل و بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت تحت آبیاری با آب مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری نشان داده است. قدیمی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۹۵)، تأثیر آب مغناطیسی و غلظت شوری بر خصوصیات عملکردی، ارتفاع گیاه، درصد روغن و پروتئین سویا رقم DPX را مورد بررسی قرار دادند. این تحقیق به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در یک مزرعه‌ی کشاورزی انجام شد. نتایج حاکی از آن است که با مغناطیسی کردن آب آبیاری میزان عملکرد، ارتفاع گیاه، درصد روغن، درصد پروتئین و زیست‌توده در تمامی تیمارها به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. خوش‌روش و همکاران (۱۴۰۰) تأثیر استفاده از پساب مغناطیسی تصفیه‌شده بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت را مورد تحقیق قرار دادند. بدین منظور آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان بابلسر انجام دادند. به‌طور متوسط آبیاری با پساب مغناطیسی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه (۹/۱۸ درصد) و عملکرد بیولوژیک ذرت (۱۰/۰۹)

مغنایسی شده بر عملکرد و رشد محصولات ذکر شده، اثر تیمارهای مختلف آب مغنایسی نیز بر عملکرد محصولات منتخب مشخص شود.

مواد و روش‌ها

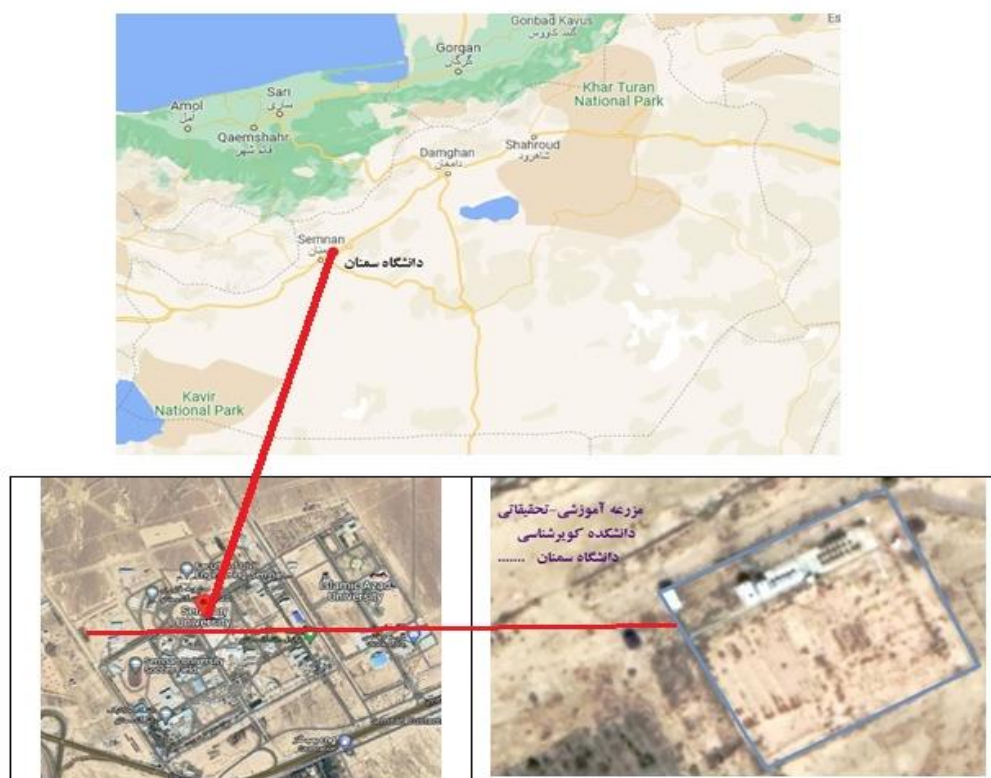
منطقه‌ی مورد مطالعه

برای انجام این تحقیق مزرعه آموزشی-تحقیقاتی دانشکده کویرشناسی دانشگاه سمنان واقع در شهر سمنان مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱). شهر سمنان در دامنه‌های جنوبی سلسله جبال البرز قرار گرفته است. نزولات جوی بسیار کم و غالباً به صورت ریزش باران است که متوسط بارندگی سالیانه ایستگاه سمنان ۱۱۰/۷ میلی‌متر و میانگین حداقل و حداکثر دمای روزانه آن به ترتیب ۱۱/۷ و ۲۴/۶ درجه‌ی سانتی‌گراد و متوسط سالانه دما ۱۸/۲ درجه سانتی‌گراد است. در استان سمنان ۵ نوع ناحیه اقلیمی وجود دارد که محدوده مزرعه مطالعاتی در اقلیم گرم و خشک قرار دارد (سازمان هواشناسی سمنان، ۲۰۲۳). در جدول (۱) مشخصات فیزیکی خاک مزرعه‌ی مطالعاتی آورده شده است.

درصد) نسبت به پساب غیرمغنایسی شده است. العطار^۱ و همکاران (۲۰۱۹) مطالعه‌ای به منظور بررسی تأثیر آب‌های مغنایسی شده در رشد نهال‌های ذرت (*Zea mays*)، عوامل رشد نهال ذرت به مدت هفت هفته مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در نهال‌هایی که آبیاری مغنایسی شده، افزایش طول ساقه، ضخامت ساقه و تعداد برگ در هر نهال را نسبت به شاهد افزایش می‌یابد. از جمله تحقیقات دیگر انجام شده می‌توان به کاهش تنش آبی ناشی از استفاده از آب شور برای آبیاری (باشاشا^۲ و همکاران، ۲۰۲۱؛ هوزاین^۳ و همکاران، ۲۰۲۱)، بهبود خاک‌های شور (ژو^۴ و همکاران، ۲۰۲۱؛ شاه نظری و شیرازی، ۱۳۹۵)، تأثیر مثبت بر جوانه‌زنی و رشد پنبه در مناطق خشک (ژانگ^۵ و همکاران، ۲۰۲۱)، رشد و بهبود عملکرد آفتابگردان (وشیس^۶ و همکاران، ۲۰۲۱)، افزایش راندمان تولید پیاز (یوسف و طاها^۷، ۲۰۱۶)، بهبود رشد نعنا فلفلی (جمالی و همکاران، ۱۳۹۹)، افزایش عملکرد زیره سبز تحت آب شور (عابدین‌پور و روحانی، ۱۳۹۸) و افزایش عملکرد گیاه ریحان (بانزاد و همکاران، ۱۳۹۲)، بهبود عملکرد ذرت (عابدین‌پور و روحانی، ۱۳۹۶) و بهبود عملکرد سویا (طوسی و همکاران، ۱۳۹۳) اشاره نمود. باید در نظر داشت نتایج تأثیر میدان مغنایسی بر جوانه‌زنی و رشد اولیه‌ی گیاهان زراعی متفاوت گزارش شده است (فتحی و عبدالرزاق، ۱۳۹۰).

با توجه به خشکسالی‌های پی‌درپی و کمبود آب که مهم‌ترین عامل در رشد، پرورش و کشت گیاهان در مناطق خشک بویژه در استان سمنان است و همچنین کشت انبوه ذرت و گرایش منطقه به گیاهان دارویی و گل‌هایی با اسانس، عطر و بو و کیفیت بالا، در این تحقیق تأثیر آب مغنایسی در سه تیمار در دو گیاه ذرت و چای ترش مورد بررسی قرار گرفت تا ضمن بررسی تأثیر آب

1. -Alattar
2. -Bashasha
3. -Hozayn
4. -Zhou
5. -Zhang
6. -Vashisth
7. -Youssef and Taha



شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه و مزرعه آموزشی-پژوهشی دانشکده کوبرشناسی

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک مزرعه‌ی مطالعاتی

عمق (cm)	EC(dS/m)	pH	%CaCO ₃	%OM	%Sand	%Silt	%Clay	Texture
0 - 30	4.6	7.75	31	54	38	37	25	Loam
31 - 61	4.7	7.7	34	47	35	41	24	Loam

مغناطیسی بر روی صفات مورفولوژیکی ذرت و چای
ترش در شهر سمنان آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های

روش انجام تحقیق
به‌منظور بررسی اثر تیمارهای مختلف آب

کامل تصادفی تهیه و اجرا شد به طوری که در این طرح عرصه به چهار بلوک تقسیم شد که هر بلوک دارای سه تکرار می باشد و بر روی هر تکرار دانه های ذرت و چای ترش کشت گردید. ابعاد کرت ۴۰ در ۵۰ مترمربع و فاصله کشت یک متر در نظر گرفته شد.

دستگاه مغناطیس کننده: دستگاه الکترومغناطیس کننده ی مورد استفاده در این پژوهش دارای یک ورودی است و بعد از عبور از میدان مغناطیس و الکترومغناطیس، توسط کلید قدرت مغناطیسی آن کنترل می شود. خروجی آب در این دستگاه می تواند تحت تأثیر سه سطح N_1 ، N_2 ، N_3 قرار گیرد که N_1 سطح مغناطیس ثابت است و مبین این است که آب عبوری تنها از میدان مغناطیسی عبور می کند. سطح N_2 که دارای اثر الکترومغناطیس بوده و آب علاوه بر عبور از میدان مغناطیس، متأثر از میدان الکتریکی نیز می شود. این تأثیر الکترومغناطیسی دارای قدرت و شدت متغیر است. سطح N_3 نیز دارای تأثیر الکترومغناطیس مشابه N_2 بوده ولی دامنه الکترومغناطیس آن کمتر است. قدرت مغناطیسی دستگاه در پنج شدت از ۱ تا ۴۰ کیلوهرتز متغیر است. در تحقیق حاضر N_1 به عنوان تیمار اول با علامت اختصاری T_1 ، N_2 مبین تیمار دوم با علامت اختصاری T_2 ، N_3 بیانگر تیمار سوم با علامت T_3 و شاهد با علامت T_4 مشخص شدند.

آماده سازی بستر و خاک: در این مرحله زمین مزرعه به صورت چهار ردیف، یک شاهد و سه سطح مختلف آب مغناطیسی و هر ردیف با سه تکرار برای هر گیاه تقسیم بندی و آبیاری به صورت غرقابی انجام شد.

مراحل کشت: فاصله ی بین بذرها در گیاه ذرت و چای ترش به ترتیب ۱۵ و ۲۵ سانتی متر در نظر گرفته شد و این روند در سه تیمار و تیمار شاهد لحاظ گردید. کود مصرفی در هر دو گیاه؛ کود اوره بوده است که در طول دوره ی رشد در دو مرحله به صورت سرک به گیاه داده شده است. میزان کود مصرفی در هر مرحله برای هر تیمار ۲۵ گرم بوده است.

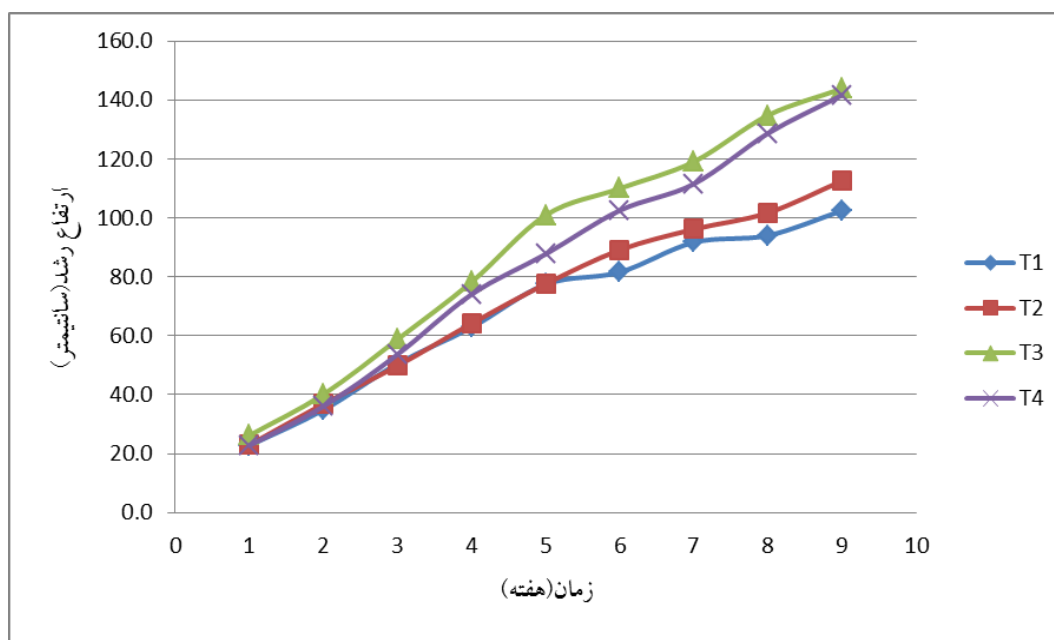
فصل و دوره ی کشت: گیاه ذرت در اردیبهشت ماه کشت

شد و پس از گذراندن یک دوره رشد ۱۱۰ روزه، در اوایل شهریورماه محصول آن برداشت شد. گیاه چای ترش نیز در اردیبهشت ماه کشت شد و تقریباً پس از طی یک دوره ی رشد سه ماهه، شروع به گلدهی کرد و تا اواخر آبان ماه برداشت گل صورت گرفت. اولین آبیاری مغناطیسی در روز سوم به صورت نم آب و بعد از آن به صورت یک دور آبیاری هفت روزه (در هر دوره ۲۰۰ لیتر) انجام شد. روش تجزیه و تحلیل آماری: در این تحقیق داده های اندازه گیری شده در ابتدا با آزمون کولموگروف اسمیرنوف جهت بررسی نرمال بودن آن ها، مورد ارزیابی قرار گرفتند. همچنین برای بررسی مساوی بودن واریانس ها از روش لیون استفاده گردید. به منظور بررسی تیمارهای مختلف از روش آنالیز واریانس و همچنین آزمون های حداقل مربعات و دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید.

نتایج

بررسی رشد و عملکرد گیاه ذرت

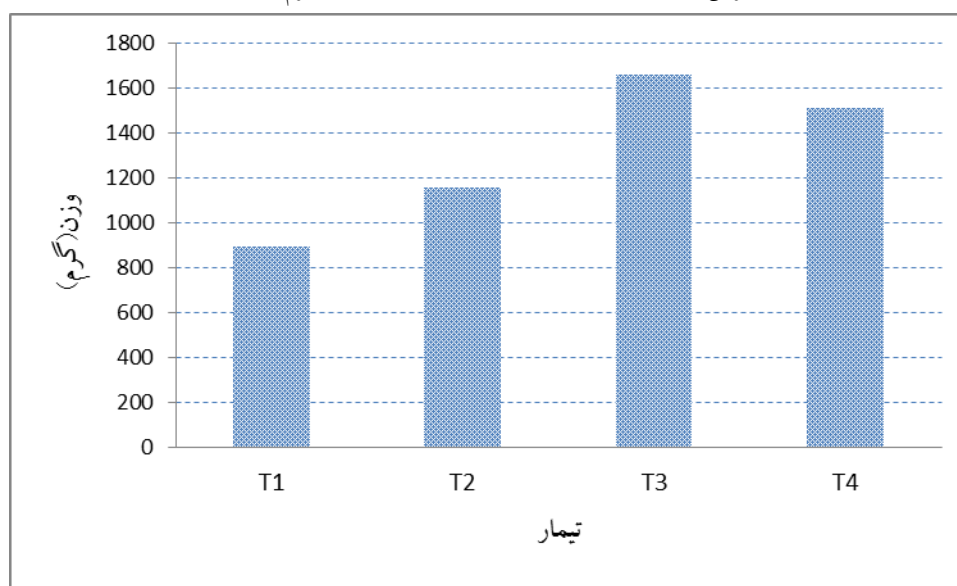
در شکل (۲) متوسط ارتفاع رشد گیاه ذرت در تیمارهای مختلف ارائه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، در تیمار اول (T_1) متوسط ارتفاع رشد گیاه در تکرارهای مختلف در هفته اول ۲۲/۸ سانتیمتر بوده است که در هفته نهم به ارتفاع ۱۰۲/۵ سانتیمتر رسیده است. در تیمار T_2 متوسط ارتفاع رشد گیاه در سه تکرار در هفته اول ۲۳ سانتی متر و با رشدی مشابه تیمار اول تا هفته پنجم، به ۱۱۲/۶ سانتیمتر در هفته آخر می رسد. متوسط رشد محصول در تیمار T_3 در تکرارهای مختلف، از دو تیمار اول و شاهد طی مدت زمان مورد بررسی بیشتر بوده است، بطوریکه از ۲۶/۲ سانتی متر در هفته اول به ۱۴۳/۹ سانتیمتر در هفته نهم رسیده است. بررسی ها نشان می دهد متوسط رشد گیاه در شرایط شاهد یا T_4 طی دوره مورد بررسی از تیمار T_1 و T_2 و همچنین شاهد از هفته سوم به بعد بیشتر بوده است.



شکل ۲- متوسط ارتفاع رشد گیاه ذرت در تیمارهای مختلف

متوسط وزن ۸۹۳ گرم کمترین میزان عملکرد را داشته است. این مقدار برای تیمار T2 ۱۱۵۶ گرم و برای تیمار شاهد ۱۵۱۶ گرم بدست آمده است.

در شکل (۳) متوسط عملکرد محصول ذرت در تیمارهای منتخب ارائه شده است. بر این اساس، تیمار T3 با متوسط وزن خشک ۱۶۶۳ بیشترین و تیمار T1 با



شکل ۳- متوسط وزن خشک محصول ذرت در تیمارهای مختلف

کنند. برای بررسی مساوی بودن واریانس‌ها، آزمون برابری واریانس با روش آماری لیون برای داده‌های رشد گیاه ذرت و همچنین وزن محصول ذرت انجام شد (جدول ۲). بر اساس نتایج به دست آمده و سطح معنی‌داری مفروض می‌توان با ۹۵ درصد اطمینان گفت واریانس داده‌ها برابر است و بنابراین می‌توان از روش تجزیه

در جدول (۲) آزمون نرمال بودن داده‌ها برای رشد گیاه ذرت و همچنین وزن محصول ذرت با استفاده از روش کولموگروف - اسمیرنوف آورده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت با اطمینان ۹۵ درصد داده‌های رشد محصول ذرت طی دوره و همچنین داده‌های وزن محصول ذرت از توزیع نرمال تبعیت می‌-

از لحاظ ارتفاع رشد مشاهده می‌شود. لذا برای بررسی بیشتر از آزمون LSD و دانکن برای مقایسه تیمارها استفاده شد که در جدول (۴) آورده شده است.

واریانس برای مقایسه‌ی میانگین داده‌ها استفاده نمود. در جدول (۳) نتایج سطح معنی‌داری تجزیه واریانس داده‌های ارتفاع گیاه ذرت آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد از هفته پنج به بعد تفاوت معنی‌داری بین تیمارها

جدول ۲- آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و آزمون لیون برای داده‌های رشد و وزن گیاه ذرت

آماره	رشد								وزن	
	هفته ۱	هفته ۲	هفته ۳	هفته ۴	هفته ۵	هفته ۶	هفته ۷	هفته ۸	خشک	تر
Kolmogorov-Smirnov Z	0.75	0.58	0.47	0.42	0.35	0.35	0.56	0.7	0.67	0.69
Sig.	0.63	0.89	0.98	0.99	1	1	0.91	0.7	0.75	0.72
Levene Statistic	0.08	0.77	0.57	0.83	0.037	0.52	0.74	0.91	1.58	0.27
Sig.	0.97	0.54	0.64	0.51	0.98	0.68	0.56	0.48	0.96	0.46

جدول ۳- نتایج سطح معنی‌داری و آماره F در تجزیه واریانس داده‌های ارتفاع رشد گیاه ذرت

هفته	Sig.	F	هفته	Sig.	F
1	0.72	0.451	5	0.006	8.7
2	0.5	0.865	6	0.04	4.12
3	0.098	2.9	7	0.01	6.9
4	0.051	4.02	8	0.02	6.13

مربوطه در وزن تر محصول میانگین مربعات تیمارها ۲/۰۷ و برای خطا ۱/۰۱ محاسبه شده است. با توجه به اینکه سطح معنی‌داری ۰/۱۸ است و بیشتر از پنج درصد است بنابراین می‌توان گفت با اطمینان ۹۵ درصد میانگین وزن تر محصول ذرت در تیمارها و تکرارهای مختلف با هم تفاوت معنی‌داری ندارند. مقایسه‌ی نتایج در وزن خشک محصول بیانگر این است که با ۹۵ درصد اطمینان میانگین تیمارها از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با همدیگر ندارند. نتایج در برخی تحقیقات دیگر بیانگر تأثیر مثبت مغناطیس کردن آب بر ریشه محصولات منتخب بوده است (آقامیر و همکاران، ۱۳۹۴، ژانگ و همکاران) ولی در تحقیق حاضر علی‌رغم تفاوت در شده محصولات در تیمارهای منتخب، این تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبوده است.

در جدول (۴) مقایسه‌ی میانگین ارتفاع رشد ذرت در هفته‌های پنجم تا هشتم با روش LSD آورده شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده میانگین تیمارها در تکرارهای مختلف در هفته‌های پنجم تا هشتم تفاوت معنی‌دار آماری در سطح ۹۵ درصد ندارند؛ تنها در برخی هفته‌ها تفاوت معنی‌دار آماری بین رشد ارتفاعی گیاه ذرت مشاهده می‌شود. برای مثال در هفته‌ی پنجم در تیمار سه تکرار یک و دو و در هفته‌ی ششم در تیمار سه تکرار یک و دو تفاوت معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد دارند. همچنین بررسی‌ها با روش دانکن هم بیانگر عدم وجود تفاوت آماری معنی‌دار در این سطح است (جدول ۵).

در جدول (۶) نتایج تجزیه واریانس برای وزن محصول گیاه ذرت آورده شده است. با توجه به نتایج

جدول ۴- مقایسه‌ی میانگین رشد ذرت در هفته‌های پنج تا هشت با روش LSD

رشد ذرت	تیمار	تکرار	تفاوت میانگین	Sig.	رشد ذرت	تیمار	تکرار	تفاوت میانگین	Sig.
هفته ۵	0	1	20.93	0.01	هفته ۶	0	1	29.8	0.05
		2	13.4	0.06			2	15.3	0.12
		3	-7.4	0.26			3	-7.5	0.42
	1	0	-20.9	0.01		1	0	-19.8	0.05
		2	-7.5	0.25			2	-4.4	0.63
		3	-28.4	0			3	-27.3	0.01
	2	0	-13.4	0.06		2	0	-15.3	0.12
		1	7.5	0.25			1	4.4	0.63
		3	-20.8	0.01			3	-22.9	0.01
	3	0	7.4	0.26		3	0	7.5	0.42
		1	28.4	0			1	27.3	0.01
		2	20.8	0.01			2	23.9	0.03
هفته ۷	0	1	34.6	0.01	هفته ۸	0	1	39.2	0.01
		2	26.9	0.04			2	29.1	0.04
		3	-6.1	0.58			3	-2.2	0.86
	1	0	-34.6	0.01		1	0	-39.2	0.01
		2	-7.7	0.49			2	-10.1	0.42
		3	-4.17	0.01			3	-41.4	0.01
	2	0	-26.9	0.04		2	0	-29.1	0.04
		1	7.7	0.49			1	10.1	0.42
		3	-33	0.01			3	-31.3	0.03
	3	0	6.1	0.58		3	0	2.2	0.86
		1	40.7	0.01			1	4.4	0.01
		2	33	0.01			2	31.3	0.03

جدول ۵- مقایسه‌ی میانگین رشد ذرت در هفته‌های هفت و هشت با روش دانکن

Duncana	هفته ۵	هفته ۶	هفته ۷	هفته ۸
Sig.	0.25	0.06	0.49	0.42

جدول ۶- تجزیه واریانس برای وزن محصول گیاه ذرت

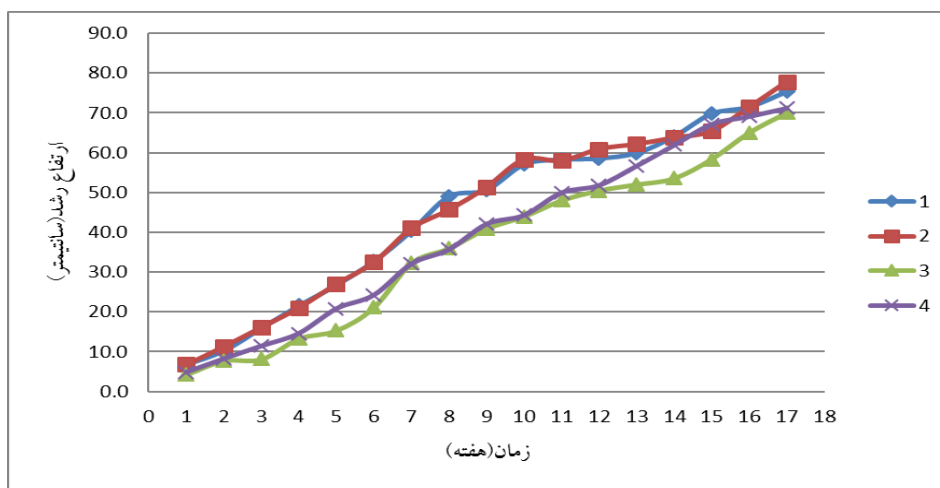
ANOVA					
	مجموع مربعات	Df	میانگین مربعات	F	Sig.
وزن تر	تیمار	3	2.07	2.06	0.18
	خطا	8	101		
	مجموع	11			
وزن خشک	تیمار	3	364652.7	1.42	0.31
	خطا	8	256558.3		
	مجموع	11			

بررسی رشد و محصول گیاه چای ترش

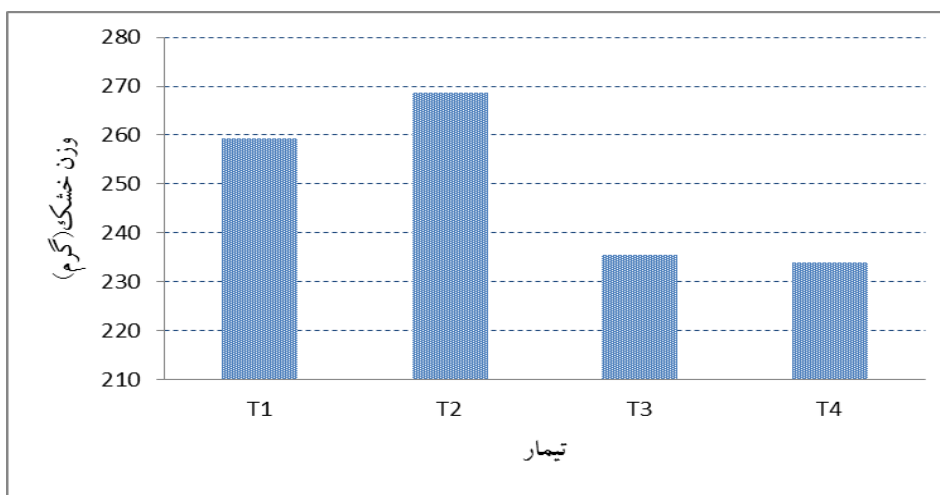
متوسط ارتفاع رشد گیاه چای ترش در سه تکرار در شکل (۴) آورده شده است. متوسط رشد گیاه در تیمار T1 در هفته اول ۶/۸ سانتیمتر و در هفته آخر به ۷۵/۴ سانتیمتر رسیده است. در تیمار T2 در هفته اول میزان رشد برابر تیمار اول بوده است و به تدریج به ۷۷/۸ سانتیمتر در هفته آخر رسیده است که بیشترین میزان رشد را در بین تیمارهای منتخب داشته است. تیمار اول و دوم به طور کلی از تیمار سوم و شاهد رشد ارتفاعی بیشتری داشته‌اند. متوسط ارتفاع رشد در تیمار T3 در هفته اول برابر با ۴/۳ سانتیمتر بوده که کمترین میزان رشد در هفته اول را نشان می‌دهد. طی زمان مورد بررسی، میزان رشد تحت این تیمار کمترین میزان بوده است و در نهایت به ارتفاع ۷۰ سانتیمتر در هفته آخر رسیده و نسبت به تیمار

دوم ۷/۸ سانتیمتر کوتاه‌تر بوده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد تیمار شاهد دارای رشد بیشتری از تیمار T3 بوده است ولی از دو تیمار T1 و T2 ارتفاع رشد کمتری داشته است و در هفته آخر ارتفاع رشد آن برابر با ۷۱/۲ سانتیمتر بوده است.

در شکل (۵) متوسط عملکرد گیاه چای ترش در تیمارهای منتخب ارائه شده است. تیمار T2 با متوسط وزن خشک ۲۶۸/۶ گرم بیشترین و تیمار T4 با متوسط وزن ۲۳۴ گرم کمترین میزان عملکرد را داشته است. این مقدار برای تیمار T1 ۲۵۹/۳ گرم و برای تیمار T3 ۲۳۵/۴ گرم به دست آمده است؛ بنابراین می‌توان گفت میزان تولید محصول در تیمارهای مورد استفاده نسبت به تیمار شاهد بیشتر بوده است.



شکل ۴- متوسط ارتفاع رشد گیاه چای ترش در تیمارهای مختلف



شکل ۵- متوسط وزن خشک محصول ذرت در تیمارهای مختلف

در جدول (۷) آزمون نرمال بودن داده‌ها برای رشد و وزن گیاه چای ترش با استفاده از روش کولموگروف - اسمیرنوف آورده و همچنین آزمون برابری واریانس با روش آماره‌ی لیون آورده شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده با اطمینان ۹۵ درصد داده‌های رشد محصول چای ترش طی هفده هفته و همچنین داده‌های وزن محصول چای ترش از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند.

جدول ۷- آزمون نرمال بودن داده‌ها با روش کولموگروف - اسمیرنوف برای رشد و وزن گیاه چای ترش

آماره	ارتفاع									
	هفته ۱	هفته ۲	هفته ۳	هفته ۴	هفته ۵	هفته ۶	هفته ۷	هفته ۸	هفته ۹	هفته ۱۰
Kolmogorov-Smirnov Z	0.53	0.51	0.8	0.39	0.4	0.53	0.48	0.63	0.51	0.44
Sig.	0.95	0.96	0.55	1	1	0.94	0.98	0.82	0.96	0.99
Levene Statistic	0.2	0.27	2.32	0.94	1.24	3.02	3.11	2.11	0.48	0.37
Sig.	0.9	0.84	0.16	0.47	0.37	0.1	0.1	0.19	0.71	0.78

	وزن							ارتفاع	
	خشک	تر	هفته ۱۷	هفته ۱۶	هفته ۱۵	هفته ۱۴	هفته ۱۳	هفته ۱۲	هفته ۱۱
Kolmogorov-Smirnov Z	0.57	0.57	0.73	0.72	0.88	0.62	0.51	0.56	0.58
Sig.	0.9	0.9	0.63	0.68	0.42	0.84	0.95	0.92	0.89
Levene Statistic	2.97	2.97	1.78	1.91	3.69	2.08	1.49	2.15	0.44
Sig.	0.11	0.11	0.24	0.22	0.07	0.19	0.3	0.18	0.73

جدول ۸- نتایج سطح معنی‌داری و آماره F در تجزیه واریانس داده‌های ارتفاع رشد گیاه ذرت

هفته	F	Sig.	هفته	F	Sig.	هفته	F	Sig.
1	0.81	0.53	7	1.31	0.33	13	0.53	0.81
2	0.79	0.54	8	2.46	0.15	14	0.54	0.79
3	0.67	0.6	9	1.56	0.28	15	0.6	0.67
4	.24	0.87	10	3.29	0.09	16	0.87	.24
5	0.38	0.77	11	1.71	0.25	17	0.77	0.38
6			12	1.6	0.27			

در جدول (۹) تجزیه واریانس برای وزن گیاه چای ترش آورده شده است. با توجه به اینکه سطح معنی‌داری ۰/۹۰ است و بیشتر از پنج درصد است بنابراین می‌توان گفت با اطمینان ۹۵ درصد میانگین وزن تر و خشک گیاه چای ترش در تیمارها و تکرارهای مختلف با هم تفاوت معنی‌داری ندارند. بررسی میران رشد گیاه چای

ترش و همچنین میزان محصول آن بیانگر تفاوت‌هایی بین تیمارهای منتخب با شاهد بوده است؛ اما از نظر آماری این اختلاف‌ها معنی‌دار نبوده‌اند. اگرچه برخی تحقیقات انجام‌شده مبین تأثیر معنی‌دار استفاده از آب مغناطیسی بر عملکرد برخی محصولات زراعی بوده است (العطار و همکاران، ۲۰۱۹).

جدول ۹- تجزیه واریانس برای وزن محصول گیاه چای ترش

ANOVA					
	مجموع مربعات	df	میانگین مربعات	F	Sig.
وزن تر	بین گروه‌ها	3	25701.3	0.18	0.9
	درون گروه‌ها	7	140781.5		
	مجموع	10			
وزن خشک	بین گروه‌ها	3	833.8	0.18	0.9
	درون گروه‌ها	7	4564.1		
	مجموع	10			

بحث و نتیجه‌گیری

کمبود آب و وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی موجب انجام مطالعات و تحقیقات زیادی در زمینه توسعه منابع آب خصوصاً برای بخش کشاورزی شده است. مغناطیس کردن آب به‌عنوان یکی از این راهکارها برای افزایش راندمان آبیاری یا افزایش میزان محصول مورد توجه محققین قرار گرفته است. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، هدف اصلی این تحقیق بررسی اثر مغناطیس کردن آب بر تولید دو گیاه ذرت و چای در مزرعه آموزشی-تحقیقاتی دانشگاه سمنان بوده است.

نتایج حاصل از پایش و بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر ارتفاع رشد گیاه ذرت طی هفته‌های کشت نشان داد که الکترومغناطیس کردن آب آبیاری با شدت متوسط (تیمار سوم) موجب رشد بیشتر ذرت نسبت به تیمار شاهد می‌شود. ولی بین تیمارها و شاهد در هفته‌های رشد، تفاوت معنی‌دار آماری وجود نداشت. بررسی‌ها در خصوص گیاه چای ترش نیز مؤید این بود که رشد ارتفاعی گیاه و محصول آن بیشتر در اثر تیمارهای دوم و اول بوده است. ولی علی‌رغم وجود تفاوت در میزان محصول در تیمارها، بین تیمارها و شاهد، تفاوت معنی‌دار آماری وجود نداشت. در مجموع می‌توان گفت تیمارها

اعم از مغناطیس کردن و الکترومغناطیس کردن آب در شدت‌های مختلف علی‌رغم وجود تفاوت بین تیمارهای ذکر شده در دو گیاه چای ترش و ذرت، اثر معنی‌دار آماری بر عملکرد آن‌ها نداشته است. البته هر چند تحقیقاتی توسط آقامیرو همکاران (۱۳۹۴)، یوسف و طاها (۲۰۱۶)، لو و همکاران (۲۰۱۶)، العطار و همکاران (۲۰۱۹)، و شیس و همکاران (۲۰۲۱)، ژانگ و همکاران (۲۰۲۱)، ژو و همکاران (۲۰۲۱)، باشاشا و همکاران (۲۰۲۱) و هوزاین و همکاران (۲۰۲۱)، مبین تأثیر مثبت و معنی‌دار و یا متفاوت استفاده از آب مغناطیسی در مقایسه با آب غیرمغناطیسی در رشد و عملکرد محصول مورد مطالعه بوده است. به نظر می‌رسد با توجه به وجود نتایج متفاوت در برخی تحقیقات انجام شده، لازم است در تحقیقات آتی، میزان و نحوه‌ی تأثیر آب مغناطیسی روی جوانه‌زنی بذر گیاهان و همچنین تأثیر آن بر میزان شوری خاک محل کشت بررسی شود.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید نویسندگان مقاله است.

فهرست منابع

۱. احمدپری، هدیه، صفوی، مریم، کرمی، عفت و نادریان‌فر، محمد، ۱۳۹۷. بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر راندمان مصرف آب. دومین کنفرانس بین‌المللی تحقیقات کاربردی در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط‌زیست، اردیبهشت ۱۳۹۷، همدان.

۲. اشرفی، سیدفاطمه و ناصری، عبدعلی، ۱۳۹۱. بررسی اثرات میدان مغناطیسی بر هدایت الکتریکی، اسدیته و حرکت املاح در خاک، ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، آبان ۱۳۹۱، تهران.
۳. بابایی، مهدی، مردانی، مصطفی، و سالارپور، ماشاءالله، ۱۳۹۳. محاسبه میزان مصرف آب در محصولات عمده کشاورزی شهرستان زابل: رویکرد تحلیل پوششی داده ها. *مجله تحقیقات آب در کشاورزی*، ۲۸(۳)، صص. ۵۴۹-۵۴۱.
- <https://doi.org/10.22092/jwra.2014.100005>
۴. بانزاد، حسین، مکاری، اسماعیل، اسنشری، محمود و لیاقت، عبدالمجید، ۱۳۹۲. بررسی اثر متقابل آب مغناطیسی و شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ریحان. *مجله آبیاری و زهکشی ایران*، ۷(۲)، صص. ۱۷۳-۱۷۸.
۵. جمالی، صابر، انصاری، حسین، و صفری زاده ثانی، عباس، ۱۳۹۹. اثرات سطوح مختلف آبیاری و آب مغناطیسی بر رشد و عملکرد نعنای فلفلی (*Mentha piperita L.*). *مجله پژوهش آب در کشاورزی*، ۳۴(۳)، صص. ۴۴۷-۴۳۳.
- <https://doi.org/10.22092/jwra.2020.128470.728>
۶. حسن زاده، زهرا، عصاره، علی، گوشه، محی الدین و سلطانی هویزه، مهدی، ۱۳۹۷. تأثیر آب مغناطیسی بر تغییرات کیفی آب آبیاری و اسیدیته خاک. *مجله علمی علوم و مهندسی آب*، ۸(۲۱)، صص. ۷۷-۵۷.
۷. خوش روش، مجتبی، عرفانیان، فاطمه، و پورغلام آمیجی، مسعود، ۱۴۰۰. اثر آبیاری با پساب مغناطیسی تصفیه شده بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. *مدیریت آب در کشاورزی*، ۸(۱)، صص. ۱۲۸-۱۱۵.
- <https://dorl.net/dor/20.1001.1.24764531.2021.8.1.10.8>
۸. رئیس، امین، مهرفر، حسام الدین و ترابی آزاد، مسعود، ۱۴۰۰. تأثیر میدان مغناطیسی بر خواص فیزیکی آب و کاربرد آن در صنعت، کشاورزی و مدیریت منابع آب. *انسان و محیط زیست*، ۱۹(۴)، صص. ۷۱-۶۱.
۹. سازمان هواشناسی سمنان. (۱۴۰۲). صفحه اصلی [وبسایت]. برگرفته از <http://www.semnanweather.ir>
۱۰. شاهنظری، علی و شیرازی، پویا، ۱۳۹۵. اثر آبیاری با آب مغناطیسی بر نفوذپذیری و شوری خاک. *علوم و مهندسی آبیاری*، ۴۰(۳)، صص. ۱۹-۱۱. <https://doi.org/10.22055/jise.2017.13320>
۱۱. شهریاری، علی رضا، نوری، سهیلا، عابدی کوپایی و جهانگیر، آصالح، فاطمه، ۱۳۸۹. تأثیر آبیاری با پساب تصفیه شده بر رشد گیاه در شرایط گلخانه. *علوم و فنون کشت های گلخانه ای*، ۴، صص. ۲۰-۱۳.
۱۲. طوسی، پری، تاجبخش، مسعود، اصفهانی، مسعود و ربیعی، محمد، ۱۳۹۳. تأثیر محرک های رشد آلی و آب مغناطیسی بر شاخص برداشت روغن و عملکرد پروتئین سویا (*Glycine max L.*) در زمان های مختلف برداشت. *مجله تولید و فراوری گیاهان زراعی*، ۴(۱۲)، صص. ۲۵-۱۳.
- <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1393.4.12.2.8>
۱۳. عابدین پور، میثم و روحانی، ابراهیم، ۱۳۹۸. تأثیر شوری و آب مغناطیسی بر عملکرد و کارایی مصرف آب زیره سبز (مطالعه موردی: منطقه کاشمر). *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۰(۴)، صص. ۸۱۷-۸۰۷.
- [DOI: 10.22059/ijswr.2018.264527.667997](https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.264527.667997)
۱۴. قدمی فیروزآبادی، علی، خوش روش، مجتبی، شیرازی، پویا و زارع ایبانه، حمید، 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)، صص. ۱۴۳-۱۳۱.

۱۵. میرزایی، بهزاد و شهیدی، علی، ۱۳۹۵. آب مغناطیسی و کاربردهای آن در توسعه کشاورزی، دومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، شهریور ۱۳۹۵، اصفهان.

۱۶. نیکبخت، جعفر، خنده رویان، مرضیه، توکلی، افشین و طاهری، مهدی، ۱۳۹۲. تأثیر آبیاری کم با آب مغناطیسی بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۲۷ (۴)، ص. ۵۵۱-۵۶۳.

<https://doi.org/10.22092/jwra.2014.128862>

17. Abedinpour, M. and Roohani, E., 2016. Effects of magnetized water application on soil and maize growth indices under different amounts of salt in the water. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 7(3), pp. 319-325.
doi.org/10.2166/wrd.2016.216
18. Alattar, E. M., Elwasife, K. Y., Radwan, E. S. and Abuassi, W. A., 2019. Influence of magnetized water on the growth of corn (*Zea mays*) seedlings. *Romanian Journal of Biophysics*, 29, pp. 39-50.
19. Bashasha, J., El-Mugrbi, W. and Imryed, Y., 2021. Effect of magnetic treatment in improve growth of three wheat cultivars irrigated with seawater. *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 1, pp. 24-32.
20. Hozayn, M., Elaoud, A., Abd El-Monem, A. A. and Salah, N. B. 2021. Effect of magnetic field on growth and yield of barley treated with different salinity levels. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(8), pp.1-10.
[doi:10.1007/s12517-021-07077-4](https://doi.org/10.1007/s12517-021-07077-4)
21. Lu, W., Jian-yao, G., Xiu-mei, L, Hong, Z. , Hua-tian, W., Ying, W. Xiao, W., Feng-Yun, M. and Feng-wei, Z., 2016. Effects of magnetized water irrigation on growth and quality of ziziphus jujuba 'Dongzao'. *Acta Horticulturae Sinica*, 43(4), pp. 653. **[doi:10.1016/j.agwat.2021.106784](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106784)**
22. Tahir, N. A. R. and Karim, H. F. H., 2010. Impact of magnetic application on the parameters related to growth of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Jordan Journal of Biological Sciences*, 3(4), pp. 175-184.
[url={https://api.semanticscholar.org/CorpusID:28782321}](https://api.semanticscholar.org/CorpusID:28782321)
23. Vashisth, A., Meena, N. and Krishnan, P., 2021. Magnetic field affects growth and yield of sunflower under different moisture stress conditions. *Bioelectromagnetics*, 42(6), pp. 473-483. **DOI: 10.1002/bem.22354**
24. Youssef, E. A. and Taha, S. S., 2016. Effect of Moisture Stress and Magnetized Water on Growth Parameters and Yield Characteristics of Onion Plants. *International Journal of Pharm Technology Research*, 9(9), pp. 104-111.
25. Zhang, J. Wei, K., Wang, Q., Sun, Y. and Mu, W., 2021. Effects of magnetized fresh water on seed germination and seeding growth of cotton. *Water Supply*, 21 (6), pp. 2863-2874. **DOI:10.2166/ws.2021.051**
26. Zhou, B., Yang, L., Chen, X., Ye, S., Peng, Y. and Liang, C., 2021. Effect of magnetic water irrigation on the improvement of salinized soil and cotton growth in Xinjiang. *Agricultural Water Management*, 248, 106784.
[DOI:10.1016/j.agwat.2021.106784](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106784)

Effect of Irrigation with Magnetic Water on Growth and Yield of Maize and Roselle Tea in Arid Areas

M. Abdos and M. R. Yazdani*

MSc Graduate in Desert Management and Control, Semnan University, Semnan, Iran.

m.orkideh67@gmail.com

Associate Prof., Desert Studies College at Semnan University, Semnan, Iran.

m_yazdani@semnan.ac.ir

Received: January 2024 and Accepted: June 2024

Abstract

Using magnetic water may be one of the ways to improve the effects of water quality/quantity in agriculture. The water shortage in the country and the continuation of droughts are considered as the most important factors limiting crop growth. In this research, effect of magnetic water on the growth and yield of two plants, namely, corn (*Zea mays*) and roselle tea (*Hibiscus sabdariffa*), was investigated. The study included three treatments of magnetic water ($EC=2$ dS/m) including magnetic water (T1), electromagnetic with high frequency range (T2), and electromagnetic with low frequency range (T3), and a control, in the Educational and Research Field of Semnan University, Iran. In order to investigate the effect of different magnetic water treatments on the morphological characteristics of corn/maize and roselle tea, an experiment was conducted in the form of a completely randomized block design (four blocks and three replications). Results revealed that corn yield in treatment T3 was 1663 gram and outweighed the control by 147 gram. Yield of roselle tea plant for treatments of T1, T2 and T3 was 259, 268 and 235, respectively. However, the results of this study showed that the effects of three magnetic water treatments on the growth performance of maize and roselle tea are not statistically significant at the 95% confidence level. In general, the results show that magnetic water can greatly increase the yield of maize, but the irrigation of roselle tea with magnetized water increased growth, and yield was better during the growing season.

Keywords: Irrigation using magnetic water, *Zea mays*, *Hibiscus sabdariffa*

* - Corresponding author's email: m_yazdani@semnan.ac.ir
<https://doi.org/10.22092/jwra.2024.364592.1028>

Optimal Cropping Pattern and Management of Ground and Surface Water Resources of Kohpayeh-Segzi Plain Using the Integrated Model of Game Theory and Optimization Algorithm

A. Kolahdouzan, H. Nozari*, and S. Marofi

PhD student, Water science and Engineering Department, Bu-Ali Sina University.

iuttaw7@gmail.com

Associate Prof., Water science and Engineering Department, Bu-Ali Sina University.

h.nozari@basu.ac.ir

Professor, Water science and Engineering Department, Bu-Ali Sina University.

marofi@basu.ac.ir

Received: April 2024 and Accepted: June 2024

Abstract

In recent years, the conflict between environmental interests and farmers' livelihoods has emerged as one of the most crucial issues in the environmental and agricultural governance of the Zayandeh-Rood watershed. Hence, achieving a balance between economic profitability through the use of an optimal cropping pattern and preventing the excessive extraction of groundwater resources holds great importance for policymakers in this field. In this study, the environmental function was modeled by considering water resources limitation, while the economic function was modeled based on the economic profit derived from the cultivated crops in Kohpayeh-Segzi Plain in 1996-2011. The Nash function was optimized by using constrained nonlinear optimization by taking into account the limitation of water resources in each year. After optimizing the Nash function, the cropping pattern was determined using both game theory (GT) method and linear programming (LP) method. Results indicated 30% reduction in water consumption with the GT and 17% reduction with the LP method. Additionally, the profit reductions for these two methods were 16% and 3%, respectively, compared to the base case. Furthermore, the results revealed that the groundwater level in the representative hydrograph of the plain decreased by 3.94 and 2.23 m in the GT and LP methods, respectively. Conversely, in the optimized GT method with an economic function weight of 0.5, the groundwater level of the plain increased by 8.67 m. Considering the reduction of water consumption, profit reduction, and the increase in groundwater level, the optimized GT method with a weight of 0.5 was superior to the LP method.

Keywords: Groundwater table drop, Linear programming, Environmental function, Economical function, Representative hydrograph of the plain

* - Corresponding author's email: h.nozari@basu.ac.ir
<https://doi.org/10.22092/jwra.2024.365445.1037>

Investigating the Technical Performance and Soil Salinity Variations for Subsurface Drip Irrigation System of Pistachio Orchards in Semnan Province

N. Naderi* and S. M. Tabatabaian

Assistant Prof., Department of Agricultural Engineering Research, Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Semnan (Shahrood), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrood, Iran. Naderi7367@yahoo.com
Expert, Department of Agricultural Engineering Research, Shahrood, AREEO, Shahrood, Iran.
mehrad6788@gmail.com

Received: March 2024 and Accepted: June 2024

Abstract

Subsurface drip irrigation is one of the optimal management methods of water application in the agricultural sector. The aim of this study was to investigate the technical performance and soil salinity in the subsurface drip irrigation systems in Semnan Province during the years 2019 to 2020. Five systems were evaluated in Shahrood, Damghan, and Semnan areas. For this purpose, the hydraulic characteristics of the system, soil moisture, and soil salinity were investigated. In general, the results of the evaluation showed that the coefficient of flow variations (Vqs) varied from 4% to 8%, the statistical uniformity coefficient (Us) varied from 85% to 90.7%, and the emitter discharge coefficient of variation (Vpf) varied from 0.09 to 0.15. The hydraulic performance of the systems was relatively good. The evaluation results showed, the pressure at the end of the laterals was less than necessary in some parts, but the use of pressure compensating emitters adjusted the flow in these parts. In the studied orchards, the installation depth of the laterals was non-uniform and between 15 and 45 cm. The amount of moisture increased from the soil surface to lower parts. Examination of salinity profile of soil saturated extract showed that, with increasing horizontal distance from the lateral, the amount of salinity increased, but decreased with increasing depth. The maximum amount of salinity was found in the installation depth of 30 and 40 cm, in the 0-30 and 30-60 cm soil layers. The reason for the increase in salinity in this area was the decrease in soil moisture due to the capillary rise of moisture and its evaporation from the soil surface and faster absorption of moisture by the roots. The most important factors to improve the performance of the systems are proper implementation of the systems and provision of the necessary pressure in the manifolds and laterals, soil salinity leaching in winter with heavy flood irrigation, and installation of the laterals evenly at the appropriate depth.

Keywords: Emitter performance, Lateral installation, Soil moisture, Soil salinity leaching, Uniform water application

*- Corresponding author's email: Naderi7367@yahoo.com

Determining the Most Effective Agricultural Technologies in Actual Water Saving in Three Watersheds

H. Dehghanisani^{1*}, A. Mokhtaran², R. Nikanfar³, A. Nourjou⁴,
 M.A. Shahrokhnia⁵, P.Varjavand⁶, N. Salamat⁷, B.Yargholi⁸,
 M.A. Behaeen⁹, and J. Habibi Asl¹⁰

Associate Prof., Agricultural Engineering Research Institute (AERI), (AREEO), Karaj, Iran.

dehghanisani@yahoo.com

Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Province Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahwaz, Iran. alimokhtaran@gmail.com

Instructor, Agricultural Engineering Research Department, East Azarbaijan Province, AREEO, Tabriz, Iran.

ranik41@yahoo.com

Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, West Azarbaijan Province, AREEO, Orumieh,

Iran. nourjou@yahoo.com

Associate Prof., Agricultural Engineering Research Department, Fars Province, AREEO, Shiraz, Iran.

mashahrokh@yahoo.com

^{6&7} Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Province, AREEO, Ahwaz, Iran.

pvarjavand@yahoo.com, nadersalamati@gmail.com

Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Institute (AERI), AREEO, Karaj, Iran.

yar_bahman@yahoo.com

Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, Fars Province, AREEO, Shiraz, Iran.

ali_behaeen@yahoo.com

Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Province, Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, AREEO, Ahwaz, Iran. jhabibi139@yahoo.com

Received: March 2024 and Accepted: June 2024

Abstract

In the current research, with the aim of identifying the most effective techniques to reduce actual water use (Eta) to help restore the lakes of Urmia, Tashk-Bakhtegan, Fars, and Shadgan Wetland in Khuzestan, monitoring was carried out in the crop year 2021-2022 by applying planting techniques at the level of farmers' fields and orchards. In this research, 55, 17, and 18 farms and orchards were considered from Urmia Lake, Tashk-Bakhtegan and Maron-Jarhari basins, respectively. The results showed that the application of all techniques reduced irrigation water by an average of 24.6%, increased yield by an average of 18.3% and water productivity by an average of 60.4% for all the three catchments. However, not all these techniques were effective in reducing the amount of ETa. Farm monitoring showed that the techniques based on "accurate scheduling based on soil and plant indexes along with the modification and optimal management of the existing irrigation system" were able to reduce ETa by an average of 15.5% and improving the efficiency of water productivity (WP_{ET}) by an average of 40% in all the three basins. Therefore, the most effective techniques in Urmia Lake basin were use of two-way furrows of rows of trees in surface irrigation and planning drip irrigation based on soil and plant indexes in row crops and trees, which reduced ETa by 18%. Also, there was 21% reduction in ETa by making irrigation plots under tree shades for pomegranate and pistachio in the Tashk-Bakhtegan Basin, and 13% reduction by making basins around the shading surface of palm trees along with palm leaf mulch, and 14 % reduction by the water flow cutback management method in the strip surface irrigation in the Maron-Jarhari Basin. These were considered as the most important techniques. Finally, it can be stated that paying attention to monitoring techniques at the level of a basin with local participation and promoting them can be effective in protecting the region's ecosystem while establishing sustainable agriculture.

Keywords: New technologies, Actual water consumption, Improvement of water productivity, Environmental protection

* - Corresponding author's email: dehghanisani@yahoo.com

<https://doi.org/10.22092/jwra.2024.365223.1034>

Evaluation of Different Irrigation Methods and Planting Arrangements on Sesame Yield and Water Productivity

M. Abedinpour* and M. H. Razzaghi

Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Gorgan, Iran.

abedinpour_meysam@yahoo.com

Researcher, Agricultural Engineering Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Gorgan, Iran.

razzaghi_mh@yahoo.com

Received: December 2023 and Accepted: June 2024

Abstract

Sesame plant is adapted to semi-arid conditions and one of its distinctive features is tolerance to water stress, and the correct management of irrigation plays a significant role in increasing the quantity and quality of sesame seeds. This research was conducted to determine the optimal irrigation method, applied water volume, and planting arrangement to achieve the maximum yield and water productivity of sesame in Gorgan region. The study was carried out as completely randomized blocks at the Agricultural Research Station in Gorgan. The treatments included 3 irrigation methods (sprinkle, T-tape drip and surface) along with three arrangements of planting on a raised bed (2 rows of planting on a raised bed 50 cm wide, 1 planting row on a 50 cm wide ridge, and one planting row with 50 cm intervals on a flatbed). Based on the results, the maximum seed yield in both years of the experiment 2021-22 was in the T-tape drip irrigation system and in the 1 planting row on a 50 cm wide ridge planting arrangement (1305 kg.ha^{-1}) and the lowest was in the surface irrigation treatment with the flat planting method (735 kg.ha^{-1}). The average amount of applied water for the two years of testing for the strip drip irrigation system was measured to be about $4180 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, and for sprinkler and surface irrigation methods was about 4675 and $5930 \text{ m}^3/\text{ha}$, respectively. The maximum water productivity for irrigation method (T-tape drip irrigation) and for ridge planting was 0.31 and 0.45 kg/m^3 , respectively. In total, with the aim of achieving maximum seed yield and water productivity with minimal water consumption, T-tape drip irrigation and ridge planting are suitable for sesame and are recommended.

Keywords: Applied water, Pressurized irrigation system, Raised bed

*- Corresponding author's email: abedinpour_meysam@yahoo.com
<https://doi.org/10.22092/jwra.2024.364259.1020>

Evaluation of the Effect of Different Irrigation Methods on the Yield and Water Use Efficiency of Chitti Bean

S. M. Seyedi*, M. Goodarzi, S. Ashtari, M. Hatamabadi Farahani, and A. Sarlak

Assistant Prof., Crop and Horticultural Science Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center Research and Education Center, AREEO, Arak, Iran.

m.seyedi98@areeo.ac.ir

Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Arak, Iran.

goodarzimustafa@gmail.com

Assistant Prof., Plant Protection Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Arak, Iran.

aroaya95@gmail.com

Researcher, Plant Protection Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Arak, Iran.

maryamhatami2002@yahoo.com

Crop and Horticultural Science Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center Research and Education Center, AREEO, Arak, Iran.

Sarlak.a@yahoo.com

Received: January 2024 and Accepted: June 2024

Abstract

To evaluate the effect of different irrigation methods on yield and water use efficiency (WUE) of chitti beans, a research study was conducted in 2022 and 2023 at the Bean Research and Education Center in Khomein, Iran. The study was designed as a multi-location (regional) experiment using a randomized complete block design with three replications. Four irrigation methods included classical sprinkler irrigation, New-fit sprinkler irrigation, rain flat irrigation, and drip tape irrigation. Different types of chitti bean cultivars (line 21492, Kousha, and Saleh) with three growth habits were randomly sown in these locations. The results showed that the maximum water consumption ($12500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) belonged to the classical sprinkler irrigation method, while the least ($6600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) was in the drip tape irrigation; and the New-fit sprinkler and Rain flat irrigation had almost the same water consumption (about $11000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), were in between those two methods. Also, the highest and lowest WUE (0.45 and 0.18 kg m^{-3} , respectively) were obtained in drip tape and classical sprinkler irrigation, respectively. The results of analysis variance showed that the irrigation method effect on yield components and grain yield was significant, but the effect of cultivar was significant only on grain yield. The highest (296.9 g m^{-2}) and the least (228.7 g m^{-2}) values of grain yield were observed in the drip tape and classical sprinkler, respectively. Among the cultivars, the highest grain yield belonged to Kousha and Saleh cultivars. In general, the results demonstrated that the drip tape not only decreased water consumption but also led to improving yield components of chitti bean and higher water use efficiency.

Keywords: Classical sprinkler, Drip tape irrigation, Kousha cultivar, Yield components

* - Corresponding author's email: **m.seyedi98@areeo.ac.ir**
<https://doi.org/10.22092/jwra.2024.364411.1025>

Evaluation of the Effect of Different Irrigation Methods on the Yield and Water Use Efficiency of Chitti Bean.....	7
---	----------

S. M. Seyedi, M. Goodarzi, S. Ashtari, M. Hatamabadi Farahani, and A. Sarlak

Evaluation of Different Irrigation Methods and Planting Arrangements on Sesame Yield and Water Productivity.....	8
---	----------

M. Abedinpour and M. H. Razzaghi

Determining the Most Effective Agricultural Technologies in Actual Water Saving in Three Watersheds	9
--	----------

H. Dehghanisanij, A. Mokhtaran, R. Nikanfar, A. Nourjou, M.A. Shahrokhnia, P.Varjavand, N. Salamat, B.Yargholi, M.A. Behaeen, and J. Habibi Asl

Investigating the Technical Performance and Soil Salinity Variations for Subsurface Drip Irrigation System of Pistachio Orchards in Semnan Province.....	10
---	-----------

N. Naderi and S. M. Tabatabaian

Optimal Cropping Pattern and Management of Ground and Surface Water Resources of Kohpayeh-Segzi Plain Using the Integrated Model of Game Theory and Optimization Algorithm.....	11
--	-----------

A. Kolahdouzan, H. Nozari, and S. Marofi

Effect of Irrigation with Magnetic Water on Growth and Yield of Maize and Roselle Tea in Arid Areas.....	12
---	-----------

M. Abdos and M. R. Yazdani

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

Journal of Water Research in Agriculture

Vol. 38, No. 2
2024

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

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

Editorial Board

Mohammad Bybordi, PhD
Naser Davatgar, PhD
Niaz Ali Ebrahimi Pak, PhD
Nader Heydari, PhD

Heydar Ali Kashkuli, PhD
Abdolmajid Liaghat, PhD
Mohammad Hosein Mahdian, PhD

Seyed Majid Mirlatifi, PhD
Seyed Farhad Moosavi, PhD
Ebrahim Pazira, PhD

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

English Editor
Design

Hamid Siadat, PhD
Fatemeh Aghajani

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



Journal of Water Research in Agriculture

wra.areeo.ir

Volume 38/ No 2/ 2024

ISSN: 2228-7140

Contents

Subject

Page

Evaluation of the Effect of Different Irrigation Methods on the Yield and Water Use Efficiency of Chitti Bean.....7

S.M. Seyedi, M. Goodarzi, S. Ashtari, M. Hatamabadi Farahani, and A. Sarlak

Evaluation of Different Irrigation Methods and Planting Arrangements on Sesame Yield and Water Productivity.....8

M. Abedinpour and M. H. Razzaghi

Determining the Most Effective Agricultural Technologies in Actual Water Saving in Three Watersheds9

H. Dehghanisanij, A. Mokhtaran, R. Nikanfar, A. Nourjou, M.A. Shahrokhnia, P. Varjavand, N. Salamat, B. Yargholi, M.A. Behaeen, and J. Habibi Asl

Investigating the Technical Performance and Soil Salinity Variations for Subsurface Drip Irrigation System of Pistachio Orchards in Semnan Province.....10

N. Naderi and S. M. Tabatabaian

Optimal Cropping Pattern and Management of Ground and Surface Water Resources of Kohpayeh-Segzi Plain Using the Integrated Model of Game Theory and Optimization Algorithm.....11

A. Kolahdouzan, H. Nozari, and S. Marofi

Effect of Irrigation with Magnetic Water on Growth and Yield of Maize and Roselle Tea in Arid Areas.....12

M. Abdos and M. R. Yazdani