



پژوهش آب در کشاورزی

Wra.areeo.ac.ir

ISSN: 2228-7140

ب / جلد ۳۸ / شماره ۳ / سال ۱۴۰۳

صفحه

عنوان

بهره‌وری آب سیب‌زمینی در اقلیم‌های سرد، معتدل و گرم استان کرمانشاه..... ۱۸۵
مهدی جوزی، نیازعلی ابراهیمی‌پاک و فردین حامدی

ارزیابی تأثیر سه روش آبیاری قطره‌ای و زیرسطحی عمقی و مقادیر مختلف آب بر صفت‌های رویشی و زایشی درختان پرتقال در کرمان..... ۲۰۱
اسماعیل مقبلی دامنه و سهیلا محمدرضاخانی

عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب گندم در تعاونی‌های آبران زمین‌های پایین‌دست سد دوستی..... ۲۱۷
محمد طبرانی صفریان، محمدرضا محبوبی و علی کرامت‌زاده

ارزیابی دقت مدل‌های مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای حرارتی و نوری برای تخمین میزان رطوبت خاک سطحی با بافت‌های متفاوت در کشت و صنعت نیشکر هفت‌تپه..... ۲۳۹
مهدی کایدانی، عبدالرحیم هوشمند و سعید حمزه

شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب کلزای پاییزه با استفاده از مدل APSIM-canola در استان لرستان..... ۲۵۷
مژگان صادقی، سجاد رحیمی مقدم، اسماعیل محمدی احمد محمودی و خسرو عزیزی

بررسی ویژگی‌های رشد برخی از ژنوتیپ‌های انار پیوند شده روی پایه‌های انتخابی در شرایط شور..... ۲۷۹
علی مومن‌پور، امیر پرنیان، حسین بیرامی و محمد هادی راد

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

جلد ۳۸ شماره (۳)
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

- بهره‌وری آب سیب‌زمینی در اقلیم‌های سرد، معتدل و گرم استان کرمانشاه..... ۱۸۵
 مهدی جوزی، نیازعلی ابراهیمی‌پاک و فردین حامدی
- ارزیابی تأثیر سه روش آبیاری قطره‌ای و زیرسطحی عمقی و مقادیر مختلف آب بر صفت‌های رویشی و زایشی درختان پرتقال در کرمان..... ۲۰۱
 اسماعیل مقبلی دامنه و سهیلا محمدرضاخانی
- عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب گندم در تعاونی‌های آب‌بران زمین‌های پایین‌دست سد دوستی..... ۲۱۷
 محمد طیرانی صفریان، محمدرضا محبوبی و علی کرامت‌زاده
- ارزیابی دقت مدل‌های مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای حرارتی و نوری برای تخمین میزان رطوبت خاک سطحی با بافت‌های متفاوت در کشت و صنعت نیشکر هفت‌تپه..... ۲۳۹
 مهدی کایدانی، عبدالرحیم هوشمند و سعید حمزه
- شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب کلزای پاییزه با استفاده از مدل APSIM-canola در استان لرستان..... ۲۵۷
 مژگان صادقی، سجاد رحیمی مقدم، اسماعیل محمدی احمد محمودی و خسرو عزیزی
- بررسی ویژگی‌های رشد برخی از ژنوتیپ‌های انار پیوند شده روی پایه‌های انتخابی در شرایط شور..... ۲۷۹
 علی مومن‌پور، امیر پرنیان، حسین بیرامی و محمد هادی راد

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 پارگراف باشد. چکیده انگلیسی باید ترجمه کامل چکیده فارسی باشد

واژه‌های کلیدی

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

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

مقدمه

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

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

مواد و روشها

در این قسمت باید شرح مواد و روشهای مورد استفاده در تحقیق، جامعه آماری، روشهای 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.

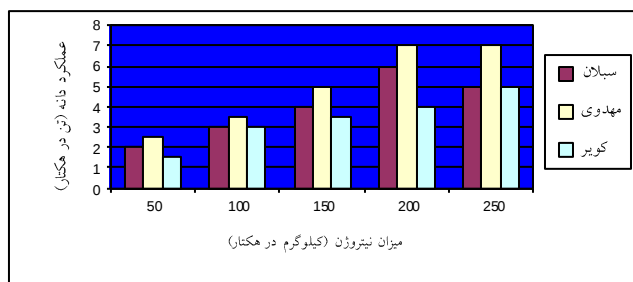
جدول نامناسب

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

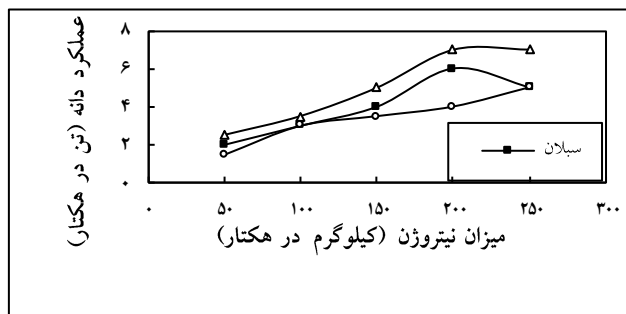
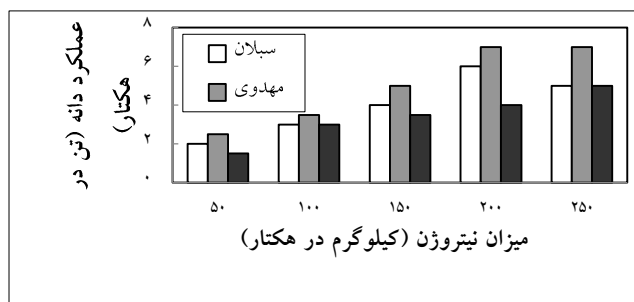
جدول مناسب

عمق	pH	EC	TNV	OC	Pav	Kav	Mgex	بافت
(cm)		(dS.m ⁻¹)	(%)	(%)		(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 علی اسدی کنگرشاهی.....	۳ داوری
دکتر آرشد تافته.....	۲ داوری
دکتر آناهیتا جباری.....	۱ داوری
دکتر یعقوب حسینی.....	۱ داوری
دکتر سعید سعادت.....	۱ داوری
دکتر حسن علیپور.....	۱ داوری
دکتر اژدر عنابی میلانی.....	۳ داوری
دکتر علی قدمی فیروزآبادی.....	۲ داوری
دکتر فاطمه کیخایی.....	۳ داوری
دکتر عبدالمجید لیاقت.....	۴ داوری
دکتر شادمان ویسی.....	۱ داوری

فرم تعهد نامه

نشریه پژوهش‌های آب در کشاورزی

اینجانب نویسنده مسئول مقاله زیر:

- سال‌های اجراء آزمایش ذکر شود

موارد زیر را به آگاهی می‌رسانم:

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

نام نام خانوادگی نویسنده اول: امضاء نویسنده اول مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده دوم: امضاء نویسنده دوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده سوم: امضاء نویسنده سوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده چهارم: امضاء نویسنده چهارم مقاله

بهره‌وری آب سیب‌زمینی در اقلیم‌های سرد، معتدل و گرم استان کرمانشاه

مهدی جوزی^{*}، نیازعلی ابراهیمی‌پاک و فردین حامدی

استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

کرمانشاه، ایران. m.jovzi@areeo.ac.ir

دانشیار بخش تحقیقات آبیاری، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

nebrahimipak@yahoo.com

مربی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

کرمانشاه، ایران. fardin_hamediy@yahoo.com

دریافت: مهر ۱۴۰۳ و پذیرش: آذر ۱۴۰۳

چکیده

هدف این پژوهش تعیین بهره‌وری آب مصرفی گیاه سیب‌زمینی در اقلیم‌های گرم، معتدل و سرد استان کرمانشاه است. در این اقلیم‌ها، شهرستان‌های قصر شیرین، کرمانشاه و سنقر به ترتیب دارای بیشترین سطح زیر کشت سیب‌زمینی بودند و برای انجام این پژوهش انتخاب شدند. به این منظور ۳۵ مزرعه در شرایط زارعین در سال ۱۴۰۰-۰۱ انتخاب شد. حجم آب آبیاری هر یک از مزارع منتخب در طول فصل رشد اندازه‌گیری گردید. بارش مؤثر با استفاده از معادله وزارت کشاورزی آمریکا تعیین شد. حجم آب مصرفی مزارع نیز از مجموع حجم آب آبیاری و بارش مؤثر محاسبه گردید. از تقسیم مقدار عملکرد بر حجم آب مصرفی، بهره‌وری آب سیب‌زمینی تعیین شد. برای تحلیل آماری نتایج از نرم‌افزار SPSS و آنالیز واریانس ANOVA استفاده شد. نتایج نشان داد که میانگین حجم آب آبیاری سیب‌زمینی در روش بارانی در قصر شیرین، کرمانشاه و سنقر به ترتیب ۷۵۰۷، ۷۱۸۶ و ۶۷۳۹ مترمکعب در هکتار و میانگین حجم آب مصرفی آن‌ها نیز به ترتیب ۸۰۰۲، ۷۲۴۶ و ۶۷۸۳ مترمکعب در هکتار به دست آمد. میانگین عملکرد سیب‌زمینی در این شهرستان‌ها نیز به ترتیب ۲۴۱۰۰، ۳۵۵۰۰ و ۳۶۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. بنابراین، میانگین بهره‌وری آب مصرفی سیب‌زمینی در این شهرستان‌ها به ترتیب ۳/۴، ۴/۹ و ۵/۷ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. نتایج حاصل نشان داد که مقدار بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در شهرستان قصر شیرین نسبت به دو شهرستان کرمانشاه و سنقر به ترتیب ۳۰٪ و ۴۰٪ کمتر بود که مهم‌ترین دلیل آن کمتر بودن عملکرد و بیشتر بودن حجم آب آبیاری و آب مصرفی سیب‌زمینی در این شهرستان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب آبیاری، آبیاری بارانی، عملکرد سیب‌زمینی، مزارع کشاورزان

^{*} - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: m.jovzi@areeo.ac.ir



مقدمه

در سال‌های اخیر به واسطه خشک‌سالی‌های اتفاق افتاده، کمبود آب به مهم‌ترین مشکل کشور تبدیل شده است که در استان‌های مختلف به‌وضوح قابل مشاهده است. تحقیقات درباره‌ی خشک‌سالی ایران نشان می‌دهد که در اواخر قرن ۲۰ شدیدترین خشک‌سالی‌ها در آن رخ داده است (دوستان، ۱۳۹۴). از جمله پیامدهای منفی خشک‌سالی، بحران آب و کمبود آن است (دوستان، ۱۳۹۸). کمبود آب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک یکی از موانع کشاورزی پایدار است. تقاضای رو به رشد برای آب در شهرها و صنایع فشار بیشتری بر منابع آب کشاورزی وارد می‌کند. مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند تمایل دارند از آب محدود به‌طور مؤثرتری استفاده کنند (سی و همکاران، ۲۰۲۴). یکی از مؤثرترین راه‌کارهای مقابله با بحران آب و افزایش تولیدات در بخش کشاورزی توجه جدی به بهره‌وری آب و ارتقای آن با اعمال روش‌های مناسب (به‌نژادی، به‌زرایی و کاهش مصرف آب) است. از این‌رو بهره‌وری آب کشاورزی یکی از مهم‌ترین موضوعاتی است که در سال‌های اخیر مورد توجه جدی مجامع علمی مرتبط با آبیاری و کشاورزی قرار گرفته است. از جمله شاخص‌های بهره‌وری آب، شاخص بهره‌وری فیزیکی آب است و مقدار محصولی است که از هر واحد، حجم آب مصرفی به‌دست می‌آید (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲). شاخص بهره‌وری آب یکی از شاخص‌های مصرف بهینه آبیاری است که به‌عنوان شاخصی متقن و علمی برای سنجش مصرف بهینه آب و تولیدات کشاورزی محسوب می‌شود (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶). برای بهبود بهره‌وری آب کشاورزی در جهان، افزایش بیشتر تولید محصولات کشاورزی با مصرف آب کمتر مورد توجه است تا از این طریق امکان کاهش سهم آب بخش کشاورزی و تخصیص بیشتر آب به سایر مصارف فراهم گردد (حیدری، ۱۳۹۳). تعیین مقدار این شاخص از نظر برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب و اقتصاد کشاورزی در مناطق مختلف حائز اهمیت است. با تعیین شاخص بهره‌وری آب آبیاری

می‌توان به‌اندازه این شاخص و دلایل پایین‌بودن شاخص از لحاظ مسائل و مشکلات مدیریتی آبیاری و زراعی محصولات مختلف در مناطق مختلف کشور پی برد و راه‌کارهای لازم را ارائه کرد (کشاورز و دهقانی سانیچ، ۱۳۹۱). در راستای بهبود بهره‌وری آب کشاورزی اولین گام، شناخت و تعیین بهره‌وری آب است که متأسفانه اطلاعات دقیقی در خصوص میزان آن در استان کرمانشاه وجود ندارد و تنها اطلاعات مربوط به نتایج طرح‌های تحقیقاتی در شرایط معین در دسترس است که با توجه به تفاوت آن شرایط با شرایط مزارع کشاورزان، قابل تعمیم نیست.

سیب‌زمینی با نام علمی *Solanum tuberosum*

L. پس از گندم، ذرت و برنج چهارمین محصول غذایی در جهان است که نقش مهمی در تضمین امنیت غذایی ایفا می‌کند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ چنگ و همکاران، ۲۰۲۳؛ سو و همکاران، ۲۰۲۴). بر اساس آخرین آمار فائو که مربوط به سال ۲۰۲۲ میلادی است مساحت کشت و میزان تولید این محصول در جهان به‌ترتیب ۱۷۷۸۸۴۰۸ هکتار و ۳۷۴۷۷۷۶۳ تن است (فائواستات، ۲۰۲۴). بر اساس آخرین آمارنامه کشاورزی که مربوط به سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ است مساحت کشت و میزان تولید سیب‌زمینی در ایران نیز به‌ترتیب ۱۳۱۰۸۰ هکتار و ۴۶۸۶۸۵۱ تن است (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۲). بر اساس آمار دریافتی از سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ مساحت کشت سیب‌زمینی ۴۷۰۴ هکتار با تولید ۲۶۹۶۱۴ تن است. استان کرمانشاه بر اساس آمار سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ به لحاظ میزان سطح کشت، تولید و عملکرد سیب‌زمینی به ترتیب جایگاه دوازدهم، نهم و اول را در کشور دارد (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۲). طبق آمار ارائه‌شده، سیب‌زمینی از جمله‌ی محصولات مهم و عمده‌ی زراعی در استان کرمانشاه است و با توجه به اهمیت اقتصادی - اجتماعی و امنیت غذایی این محصول در استان، تعیین شاخص بهره‌وری مصرف آب گیاه سیب‌زمینی در این استان ضروری است.

در مناطق مختلف پژوهش‌های متعددی در مورد تعیین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی انجام یافته است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

قدمی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۸۹) در استان همدان مقدار بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی را در روش‌های آبیاری سنتی، هیدروفلوم و بارانی به ترتیب ۱/۲، ۲/۴، ۳/۲ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آوردند. قاسمی‌نژاد رائینی و معروفی (۱۳۹۰) در دشت همدان-بهار مقدار آب مصرفی سیب‌زمینی در شرایط مدیریت کشاورزان را بین ۵۰۹۲ تا ۸۲۷۹ مترمکعب در هکتار تعیین کردند. حیدری (۱۳۹۰) در تحقیقی که در استان‌های کرمان، همدان، مغان، گلستان و خوزستان انجام داد میانگین شاخص بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی را ۲/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کرد. قدمی فیروزآبادی (۱۳۹۵) در دشت همدان-بهار میانگین حجم آب مصرفی سیب‌زمینی در مزارعی که به روش نشتی و بارانی آبیاری می‌شدند را به ترتیب ۱۰۸۷۶ و ۸۲۳۳ مترمکعب در هکتار به دست آورد ایشان مقدار عملکرد سیب‌زمینی در این دو روش آبیاری را به ترتیب ۴۳/۵ و ۵۱/۵ تن در هکتار و مقدار بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی را ۴/۰ و ۶/۳ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمود. معیری (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای در مزارع شمال خوزستان متوسط بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی را ۵/۴۱ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آورد. شاهرخ‌نیا و باغانی (۱۴۰۰) طی پژوهشی در سه منطقه اقلید، خرمبید و آواده استان فارس بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در روش‌های آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای را ۲/۶۳ تا ۷/۲۳ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. وجدانی (۱۴۰۱) میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در ایران را ۴/۰ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد نمود. جلینی و همکاران (۱۴۰۰) در منطقه فریمان و تربت حیدریه استان خراسان رضوی مقدار بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در روش آبیاری قطره‌ای را ۲/۲۲ تا ۵/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آوردند. نیازمند و همکاران (۱۴۰۲) در دشت دهگلان استان

کردستان مقدار بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در روش آبیاری بارانی را ۳/۵ تا ۴/۱ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند. کامارگو و همکاران (۲۰۱۵) در آلباسته اسپانیا بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در آبیاری بارانی سنتریپوت را ۷/۱ تا ۱۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. فاندیکا و همکاران (۲۰۱۶) در نیوزلند بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در آبیاری بارانی را ۴/۵ تا ۱۲/۹ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آوردند. تانگ و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای در شمال کشور چین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در آبیاری بارانی را ۳/۰ تا ۷/۱ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آوردند. ایرنا و مورومیکاله (۲۰۱۸) در سیسیل ایتالیا مقدار بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در روش آبیاری قطره‌ای را ۵/۳ تا ۹/۳ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آوردند. کروسبی و وانگ (۲۰۲۱) در ایالت ویسکانسین مرکزی آمریکا مقدار بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در آبیاری بارانی را ۵/۹ تا ۸/۱ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند.

بررسی منابع نشان داد تعیین مقدار بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در داخل و خارج از کشور مورد توجه بوده است اما اطلاعات دقیقی در خصوص میزان بهره‌وری آب مصرفی سیب‌زمینی در اقلیم‌های مختلف استان کرمانشاه وجود ندارد و فقط اطلاعات مربوط به نتایج طرح‌های تحقیقاتی در شرایط معین در دسترس است که با شرایط مزارع کشاورزان تفاوت داشته و قابل‌تعمیم به شرایط واقعی نیست. لذا در این پژوهش، بهره‌وری آب مصرفی سیب‌زمینی در اقلیم‌های مختلف استان کرمانشاه به صورت پژوهش مزرعه‌ای و در شرایط کشاورزان تعیین گردید.

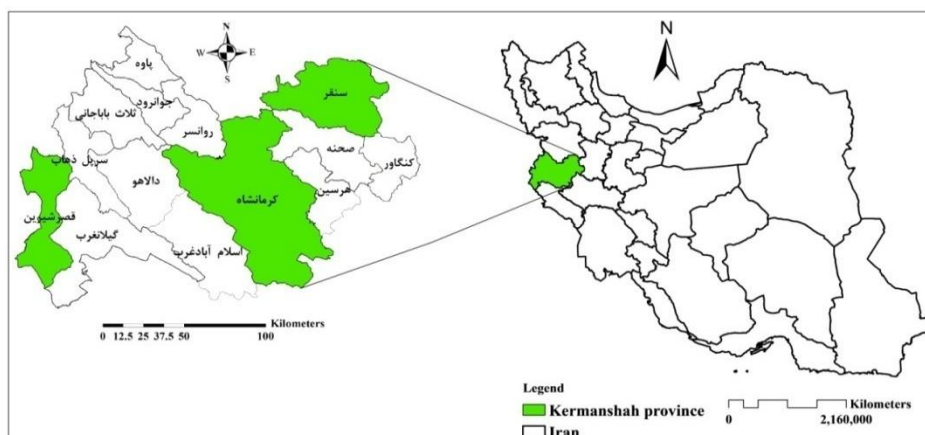
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان کرمانشاه در موقعیت جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۶ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۴۱

دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این استان با مساحتی معادل ۲۴۴۳۴/۲۵ کیلومترمربع حدود ۱/۵ درصد از مساحت کشور را در بر داشته و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۲۰۰ متر است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۸). به‌طور کلی استان کرمانشاه را بر اساس دما، بارش و ناهمواری می‌توان به سه منطقه آب و هوایی تقسیم کرد (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹): الف) منطقه سردسیر: این نوع آب‌وهوا در مناطق مرتفع استان مشاهده می‌شود. بخش‌هایی از شهرستان‌های کنگاور، سنقر، پاوه، جوانرود و همچنین بخش‌هایی از ثلاث باباجانی از این نوع آب‌وهوا برخوردارند. میانگین دمای تابستان و زمستان این منطقه به‌ترتیب ۲۶/۶ و ۳/۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش ۵۳۸ میلی‌متر است که بیشتر آن به‌صورت برف است. تابستان‌های ملایم تا گرم و زمستان‌های سرد تا خیلی سرد، از مهم‌ترین ویژگی‌های این نوع آب‌وهوا است. ب) منطقه گرمسیر: اراضی پست واقع در غرب استان، شامل قصر شیرین، سومار، سرپل ذهاب و

گیلانغرب از مناطق گرمسیری استان به شمار می‌رود. ارتفاع کم و استقرار در مجاورت بیابان‌های خشک عراق از عوامل مؤثر در گرم بودن این منطقه است. میانگین دمای تابستان و زمستان به‌ترتیب ۳۲/۵ و ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. این منطقه به‌طور میانگین ۳۸۵ میلی‌متر بارش دارد و برف به‌ندرت در این منطقه آب و هوایی مشاهده می‌شود. از ویژگی‌های این آب‌وهوا، تابستان‌های بسیار گرم و زمستان‌های ملایم است. ج) منطقه معتدل: مناطقی که در حد فاصل دو منطقه گرمسیری غرب و سردسیری شرق و شمال استان قرار دارند، دارای زمستان‌های ملایم تا سرد و تابستان‌های گرم هستند. میانگین دمای تابستان و زمستان این منطقه به‌ترتیب ۲۶/۱ و ۴/۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش ۴۴۱ میلی‌متر است. بخش اعظم شهرستان‌های کرمانشاه، اسلام‌آباد، روانسر، صحنه، هرسین و بخشی از دالاهو در این منطقه آب و هوایی قرار گرفته‌اند. در شکل زیر موقعیت استان کرمانشاه و شهرستان‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت شهرستان‌های مورد مطالعه در استان کرمانشاه

انتخاب مناطق مورد مطالعه

در یک تقسیم‌بندی کلی، می‌توان اقلیم‌های آب و هوایی استان کرمانشاه را در سه اقلیم کلی گرم، معتدل و سرد تقسیم‌بندی نمود (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹). در پژوهش حاضر ابتدا بر اساس آخرین آمار سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه شهرستان‌های قصر شیرین، کرمانشاه و سنقر که به‌ترتیب در اقلیم‌های ذکرشده

این مطالعه به‌صورت میدانی و به‌منظور تعیین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی محصول سیب‌زمینی در طول فصل زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در اقلیم‌های مختلف استان کرمانشاه در ۳۵ مزرعه اجرا شد. جزئیات مربوط به روش انجام کار به شرح زیر ارائه می‌گردد.

دارای بیشترین سطح زیر کشت محصول سیب زمینی، در استان بوده به عنوان مناطق آزمایشی انتخاب شدند (جدول ۱).

انتخاب مزارع آزمایشی

به منظور انتخاب مزارع در شهرستان‌های مورد مطالعه با کمک کارشناسان مدیریت هماهنگی ترویج، مدیریت آب و خاک و معاونت تولیدات گیاهی سازمان جهاد کشاورزی

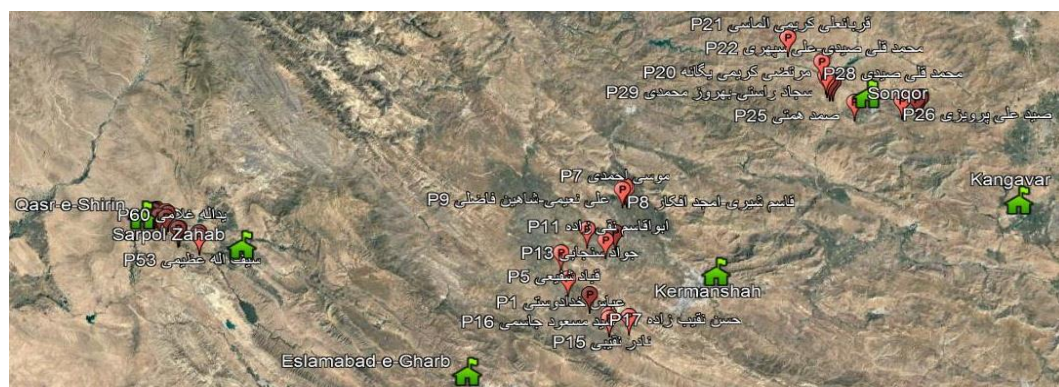
استان کرمانشاه و شهرستان‌های مورد نظر، مزارع شناسایی و انتخاب شدند. مزارع آزمایشی به گونه‌ای انتخاب گردیدند که عوامل مختلفی از جمله بافت خاک، کیفیت آب آبیاری و ارقام مختلف را پوشش دهند. لازم به ذکر است که برای محصول سیب زمینی فقط آبیاری بارانی به صورت مرسوم در استان استفاده می‌شد. در جدول زیر تعداد مزارع انتخابی هر شهرستان ارائه شده است. پراکنش مزارع انتخابی در این شهرستان‌ها نیز در شکل ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- مساحت کشت محصول سیب زمینی در شهرستان‌های استان کرمانشاه بر اساس آمار سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹

نام شهرستان	مساحت (هکتار)
کنگاور	170
سنقر	657
صحنه	141
کرمانشاه	2680
اسلام‌آباد غرب	150
هرسین	30
روانسر	890
دالاهو	20
جوانرود	0
پاوه	0
سرپل ذهاب	330
قصر شیرین	980
گیلانغرب	2
ثلاث باباجانی	0
مجموع	6050

جدول ۲- تعداد مزارع انتخاب شده در شهرستان‌های استان کرمانشاه

نام شهرستان	روش آبیاری	تعداد مزارع
سنقر	بارانی	12
کرمانشاه	بارانی	12
قصر شیرین	بارانی	11
مجموع	-	35



شکل ۲- پراکنش مزارع مورد مطالعه پژوهش در سطح استان کرمانشاه

برای انجام این پژوهش، مزارع منتخب در طول فصل رشد مورد پایش زراعی قرار گرفتند و مواردی نظیر تاریخ کاشت، نوع رقم به‌کاررفته، مدت زمان مراحل چهارگانه رشد و تاریخ برداشت یادداشت‌برداری شد. مشخصات عمومی مزارع منتخب مثل مشخصات بهره‌برداران، مساحت، روش آبیاری، موقعیت دقیق مکانی با GPS و ... در فرم‌های ثبت اطلاعات عمومی مزارع انتخابی یادداشت گردید. برخی از مشخصات خاک‌های مزارع منتخب و ارقام کشت‌شده در شهرستان‌های مورد مطالعه در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۳- برخی از مشخصات خاک‌های مزارع منتخب سیب‌زمینی و ارقام کشت‌شده در شهرستان‌های مورد مطالعه استان کرمانشاه

نام شهرستان	شماره مزرعه	رقم	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک	هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)	pH
سنقر	1	سانته	31.2	40.2	28.6	C-L	0.72	7.51
	2	بانیا	15.6	45.8	38.6	Si-C-L	1.93	6.93
	3	بانیا	21.6	46.4	32	C-L	0.72	7.62
	4	جلی	11.6	52.4	36	Si-C-L	0.58	7.57
	5	چلنجر	5.6	60.4	34	Si-C-L	0.61	7.47
	6	کلمبا	5.6	56.4	38	Si-C-L	0.55	7.69
	7	کلمبا	15.6	46.4	38	Si-C-L	0.46	7.69
	8	کلمبا	5.6	54.4	40	Si-C	0.51	7.63
	9	سانته	25.6	42.4	32	C-L	1.06	7.46
	10	آگریا	15.6	48.4	36	Si-C-L	0.54	7.51
	11	اسپریت	30.6	36	33.4	C-L	0.51	7.62
کرمانشاه	12	بانیا	11.2	52.4	36.4	Si-C-L	0.68	7.63
	13	بانیا	3.4	59.3	37.3	Si-C-L	0.46	7.56
	14	سانته	9.4	64.2	26.4	Si-L	0.49	7.55
	15	سانته	4	60.6	35.4	Si-C-L	0.53	7.56
	16	بانیا	20	44.6	35.4	Si-C-L	0.74	7.49
	17	سانته	14	44.6	41.4	Si-C	1.97	7.05
	18	بانیا	14	50.7	35.3	Si-C-L	0.67	7.7
	19	جلی	2	62.6	35.4	Si-C-L	1.04	7.25
	20	جلی	3.4	58.6	38	Si-C-L	0.76	7.56
	21	سانته	5.4	54.6	40	Si-C	0.86	7.7
	22	سانته	6.4	59.3	34.3	Si-C-L	0.6	7.81
قصر شیرین	23	بانیا	9.4	53.3	37.3	Si-C-L	0.76	7.66
	24	بانیا	18	48.7	33.3	Si-C-L	0.38	7.5
	25	بورن	15.6	45.6	38.8	Si-C-L	1.67	7.69
	26	آریندا	36.2	40.4	23.4	L	0.53	8.06
	27	بانیا	23.6	47.6	28.8	C-L	0.51	7.89
	28	بانیا	34	43.2	22.8	L	0.39	8.04
	29	بورن	39.6	41	19.4	L	0.79	7.97
	30	بورن	35	54.2	10.8	Si-L	0.84	7.86
	31	بورن	28	49.2	22.8	L	1.45	7.85
	32	آریندا	25	49.2	25.8	L	0.54	8.06
	33	بورن	10	60.2	29.8	Si-C-L	1.19	7.93
	34	بانیا	29.6	41.6	28.8	C-L	0.96	7.81
	35	بانیا	24.2	48.4	27.4	L	0.56	7.94

حجم آب مصرفی سیب زمینی

برای تعیین میزان آب مصرفی، ابتدا مقدار دبی ورودی آب به مزارع منتخب که از منابع آب مختلف (کانال، چاه، قنات و یا چشمه) برداشت می شود با وسیله مناسب (فلوم WSC، کنتور آب حجمی، دبی سنج التراسونیک مدل TUF2000B، میکرومولینه نوع پروانه ای) اندازه گیری شد. پس از تعیین میزان دبی آب ورودی به مزرعه با پایش دقیق برنامه آبیاری مزرعه (مدت زمان آبیاری، دور آبیاری، تعداد دفعات آبیاری در طول دوره رشد) و همچنین اندازه گیری سطح زیر کشت محصول، حجم آب آبیاری محصول مورد مطالعه برای هر کدام از مزارع منتخب از رابطه زیر تعیین شد.

$$VI = \sum_{i=1}^n \frac{Q \times T_i}{A} \quad (1)$$

که در آن، Q دبی ورودی به مزرعه (مترمکعب در ثانیه)، T_i مدت زمان هر آبیاری (ثانیه)، A مساحت مزرعه (هکتار) و n تعداد آبیاری است.

بعد از تعیین حجم آب آبیاری، حجم آب مصرفی از رابطه زیر محاسبه شد.

$$TWC = VI + Pe \quad (2)$$

که در آن، VI حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)، Pe بارش مؤثر در طول فصل کشت (مترمکعب در هکتار) و TWC حجم آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) است. بارش مؤثر نیز از رابطه USDA تعیین شد (چاپاگین و هوکسترا، ۲۰۱۱).

$$Pe = \begin{cases} \frac{P_t \times (125 - 0.2 P_t)}{125} & \text{if } P_t < 250 \text{ mm} \\ (125 + 0.1 P_t) & \text{if } P_t \geq 250 \text{ mm} \end{cases} \quad (3)$$

که در آن P_t بارش (میلی متر) و Pe بارش مؤثر در طول فصل کشت (میلی متر) است. مقدار P_t نیز با استفاده از داده های هواشناسی نزدیک ترین ایستگاه به مزارع منتخب تعیین گردید. از ضرب نمودن مقدار Pe برحسب میلی متر در عدد ۱۰ نیز، مقدار Pe بر حسب مترمکعب در هکتار به دست آمد.

لازم به ذکر است که پارامترهای اندازه گیری شده در هر کدام از مزارع منتخب شامل: دبی ورودی به مزرعه، مدت زمان هر آبیاری، تعداد نوبت های آبیاری، میزان آب مصرفی در طول دوره رشد، میزان تولید محصول، عملکرد محصول در

واحد سطح و ... در فرم های ثبت اطلاعات عمومی مزارع انتخابی درج شد.

بهره وری فیزیکی آب مصرفی سیب زمینی

به منظور تعیین بهره وری فیزیکی آب مصرفی (CPD) که نسبت مقدار محصول تولید شده به مقدار حجم آب مصرفی است از رابطه زیر استفاده شد (احسانی و خالیدی، ۱۳۸۲).

$$CPD = \frac{TP}{TWC} \quad (4)$$

که در آن، TP مقدار محصول تولید شده (کیلوگرم در هکتار)، TWC حجم آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) و CPD بهره وری فیزیکی آب مصرفی سیب زمینی (کیلوگرم بر مترمکعب) است.

تحلیل آماری

بعد از جمع آوری داده ها و محاسبات مربوط به بارندگی مؤثر، حجم آب مصرفی و بهره وری فیزیکی آب مصرفی هر یک از مزارع منتخب در اقلیم های مختلف استان، اطلاعات مورد نظر در یک بانک اطلاعاتی ذخیره و سپس این اطلاعات با استفاده از نرم افزار SPSS و آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و با استفاده از پس آزمون های آن (Post Hoc)، مقادیر آب آبیاری، بارش مؤثر، حجم آب مصرفی، عملکرد محصول و بهره وری فیزیکی آب مصرفی در مناطق مورد پژوهش استان کرمانشاه مورد مقایسه میانگین قرار گرفتند.

نتایج و بحث

حجم کل آب آبیاری

نتایج حاصل از تجزیه واریانس حجم کل آب آبیاری سیب زمینی در شهرستان های سنقر، کرمانشاه و قصر شیرین در جدول زیر ارائه شده است. نتایج حاصل نشان داد تفاوت حجم کل آب آبیاری سیب زمینی در شهرستان های مورد مطالعه در روش آبیاری بارانی در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی دار بود ($\text{Sig} > 0.05$).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس حجم کل آب آبیاری سیب‌زمینی در شهرستان‌های مورد مطالعه

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری (Sig.)
بین شهرستان‌ها	3437392.3	2	1718696.1	0.47	0.629
درون شهرستان‌ها	1.17E+08	32	3653572.3		
کل سه منطقه	1.20E+08	34			

مقایسه میانگین حجم کل آب آبیاری سیب‌زمینی در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و قصر شیرین در جدول زیر ارائه شده است. نتایج نشان داد بیشترین میانگین حجم کل آب آبیاری سیب‌زمینی با ۷۵۰۷ مترمکعب در هکتار مربوط به شهرستان قصر شیرین بود و کمترین آن با ۶۷۳۹ مترمکعب در هکتار به شهرستان سنقر اختصاص داشت هرچند که تفاوت آن‌ها غیرمعنی‌دار بود. میانگین حجم کل آب آبیاری سیب‌زمینی در سه منطقه مورد مطالعه در استان کرمانشاه نیز ۷۱۳۴ مترمکعب در هکتار به دست آمد. حداقل حجم کل آب آبیاری سیب‌زمینی در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و قصر شیرین به ترتیب ۳۸۳۲، ۴۸۷۶ و ۴۲۸۵ مترمکعب در هکتار بود و حداکثر آن نیز در شهرستان‌های مورد مطالعه به ترتیب ۱۱۰۳۰، ۹۱۳۵ و ۱۰۲۱۱ مترمکعب در هکتار حاصل شد. قدمی فیروزآبادی و سیدان (۱۳۹۴) در شهرستان همدان میانگین حجم آب آبیاری سیب‌زمینی در روش‌های آبیاری

سطحی و بارانی را به ترتیب ۱۵۷۵۳ و ۸۴۲۸ مترمکعب در هکتار به دست آوردند که مقدار روش بارانی آن با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. کریمی و جلیلی (۱۳۹۶) مقدار میانگین حجم کل آب آبیاری سیب‌زمینی را در دشت مشهد ۱۷۵۶۹ مترمکعب در هکتار برآورد نمودند که با میانگین نتایج پژوهش حاضر (۷۱۳۴ مترمکعب در هکتار) همخوانی ندارد. به نظر می‌رسد تفاوت دو پژوهش علاوه بر تفاوت اقلیم و مدیریت آبیاری کشاورزان، به علت عدم اندازه‌گیری آب آبیاری و لحاظ نمودن راندمان آبیاری سیب‌زمینی برابر ۵۰/۲ درصد در دشت مشهد و برآورد حجم کل آب آبیاری از تقسیم نیاز آبی سیب‌زمینی (۸۸۲۰ مترمکعب در هکتار، برآورد شده از NETWAT) به این راندمان توسط آن‌ها باشد که باعث شده است حجم کل آب آبیاری سیب‌زمینی احتمالاً بیش از مقدار واقعی آن در شرایط کشاورزان باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین و آماره‌های توصیفی حجم کل آب آبیاری سیب‌زمینی (مترمکعب در هکتار) در شهرستان‌های مورد مطالعه

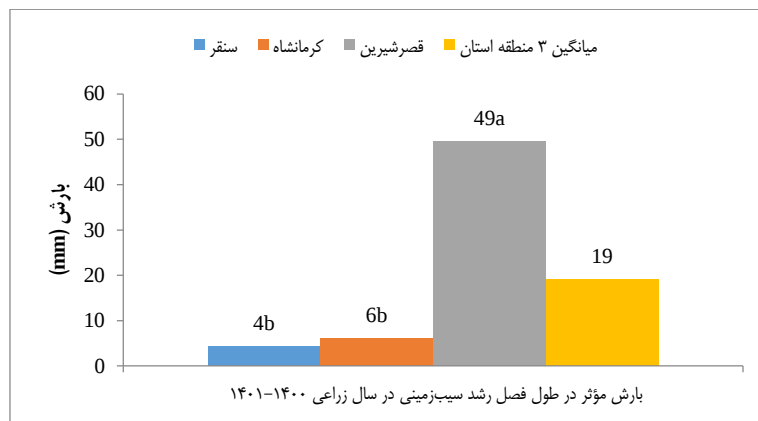
منطقه	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	فاصله اطمینان ۹۵٪ برای میانگین	حد بالا	حد پایین	حداقل	حداکثر
سنقر	12	6739a	2043.2	589.8	5440.8	8037.1	3832	11030	3832
کرمانشاه	12	7186a	1147.6	331.3	6456.7	7915.1	4876	9135	4876
قصر شیرین	11	7507a	2377.1	716.7	5910.3	9104.2	4285	10211	4285
کل سه منطقه	35	7134	1881.4	318.0	6487.4	7779.9	3832	11030	3832

در ستون میانگین اعدادی که دارای حروف یکسان هستند تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند

بارش مؤثر

در شکل زیر مقایسه بارش مؤثر در طول فصل رشد سیب‌زمینی در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه، قصر شیرین و میانگین این سه شهرستان ارائه شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد مقدار بارش مؤثر در طول فصل رشد سیب‌زمینی در شهرستان‌های ذکر شده و میانگین آن‌ها به ترتیب ۴، ۶، ۴۹ و

۱۹ میلی‌متر بود. مقدار بارش مؤثر در طول فصل رشد سیب‌زمینی در سال زراعی جاری در شهرستان‌های سنقر و کرمانشاه به ترتیب ۷۹ و ۶۸ درصد کمتر از میانگین این سه شهرستان مورد مطالعه استان کرمانشاه بود اما مقدار بارش مؤثر در طول فصل رشد سیب‌زمینی در سال زراعی جاری در شهرستان قصر شیرین ۱۵۸ درصد بیشتر از میانگین این سه شهرستان مورد مطالعه بود.



شکل ۳- مقایسه میانگین بارش مؤثر در طول فصل رشد سیب‌زمینی در شهرستان‌های مورد مطالعه

اعدادی که دارای حروف یکسان هستند تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند

حجم آب مصرفی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس حجم آب مصرفی سیب‌زمینی در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و قصر شیرین در جدول زیر ارائه شده است. نتایج حاصل نشان داد تفاوت

حجم آب مصرفی (حجم کل آب آبیاری سیب‌زمینی + بارش مؤثر در طول فصل رشد سیب‌زمینی در سال زراعی جاری) سیب‌زمینی در روش آبیاری بارانی در شهرستان‌های مورد مطالعه در سطح احتمال پنج درصد غیرمعنی‌دار بود ($P > 0.05$). (Sig)

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس حجم آب مصرفی سیب‌زمینی در شهرستان‌های مورد مطالعه

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری (Sig.)
بین شهرستان‌ها	8647262.9	2	4323631.5	1.19	0.317
درون شهرستان‌ها	1.16E+08	32	3632130.7		
کل سه منطقه	1.25E+08	34			

مقایسه میانگین حجم آب مصرفی سیب‌زمینی در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و قصر شیرین در جدول زیر ارائه شده است. نتایج نشان داد بیشترین میانگین حجم آب مصرفی سیب‌زمینی با ۸۰۰۲ مترمکعب در هکتار مربوط به شهرستان قصر شیرین بود و کمترین آن با ۶۷۸۳ مترمکعب در هکتار به شهرستان سنقر اختصاص داشت. مقدار این پارامتر در شهرستان کرمانشاه ۷۲۴۶ مترمکعب در هکتار بدست آمد که تفاوت آن با دو شهرستان دیگر مورد مطالعه غیرمعنی‌دار بود. میانگین حجم آب مصرفی سیب‌زمینی در سه منطقه مورد مطالعه در استان کرمانشاه نیز ۷۳۲۵ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد. لذا مقدار میانگین حجم آب مصرفی سیب‌زمینی در شهرستان قصر شیرین نه درصد بیشتر و در شهرستان‌های

سنقر و کرمانشاه به‌ترتیب هفت و یک درصد کمتر از مقدار میانگین آن در سه منطقه مورد مطالعه استان کرمانشاه بود. حداقل حجم آب مصرفی سیب‌زمینی در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و قصر شیرین به‌ترتیب ۳۸۵۴، ۴۹۷۹ و ۴۷۲۳ مترمکعب در هکتار بود و حداکثر آن نیز در شهرستان‌های مورد مطالعه به‌ترتیب ۱۱۰۷۵، ۹۱۶۹ و ۱۰۷۷۸ مترمکعب در هکتار حاصل شد. موسی‌پور گرجی و حسن‌پناه (۱۳۹۷) حجم آب مصرفی سیب‌زمینی را ۷۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار با توجه به شرایط مختلف همچون نوع سیستم آبیاری و رقم سیب‌زمینی گزارش نمودند که با مقدار میانگین حجم آب مصرفی (۶۷۸۳ تا ۸۰۰۲ مترمکعب در هکتار) حاصل از نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

جدول ۷- مقایسه میانگین و آماره‌های توصیفی حجم آب مصرفی سیب‌زمینی (مترمکعب در هکتار) در شهرستان‌های مورد مطالعه								
منطقه	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	فاصله اطمینان ۹۵٪ برای میانگین		حداقل	حداکثر
					حد پایین	حد بالا		
سنقر	12	6783a	2055.3	593.3	5476.9	8088.6	3854	11075
کرمانشاه	12	7246a	1132.7	327.0	6526.7	7966.1	4979	9169
قصر شیرین	11	8002a	2359.0	711.3	6417.4	9587.0	4723	10778
کل سه منطقه	35	7325	1916.5	323.9	6666.6	7983.3	3854	11075

در ستون میانگین اعدادی که دارای حروف یکسان هستند تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند

عملکرد سیب‌زمینی

مقایسه میانگین محصول تولید شده سیب‌زمینی در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و قصر شیرین در جدول زیر ارائه شده است. نتایج نشان داد بیشترین میانگین محصول تولید شده سیب‌زمینی با ۳۶۱۰۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به شهرستان سنقر بود و کمترین آن با ۲۴۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به شهرستان قصر شیرین اختصاص داشت. مقدار این پارامتر در شهرستان کرمانشاه ۳۵۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که تفاوت آن با شهرستان قصر شیرین از لحاظ آماری معنی‌دار و با شهرستان سنقر غیرمعنی‌دار بود. میانگین محصول تولید شده سیب‌زمینی در سه منطقه مورد مطالعه در استان کرمانشاه نیز ۳۲۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. لذا مقدار میانگین محصول تولید شده سیب‌زمینی در شهرستان‌های سنقر و کرمانشاه به ترتیب ۱۳ و ۱۱ درصد بیشتر و در شهرستان قصر

شیرین ۲۵ درصد کمتر از مقدار میانگین آن در سه منطقه مورد مطالعه استان کرمانشاه بود. از جمله دلایل تولید محصول کمتر سیب‌زمینی در شهرستان قصر شیرین نسبت به سایر شهرستان‌ها برخورد دوره رشد گیاه با یک دوره سرمای کوتاه‌مدت در اوایل فصل رشد گیاه و غلظت بالای ریزگردهای ورودی به منطقه از سمت کشور عراق و نشست آن‌ها روی برگ‌های گیاه و احتمالاً کاهش فعالیت فتوسنتزی گیاه در این شهرستان است. نوری خواجه بلاغ و همکاران (۱۳۹۹) میانگین محصول تولید شده سیب‌زمینی را در دشت اردبیل ۳۵۳۶۹ کیلوگرم در هکتار گزارش نمودند که مقدار آن با مقدار میانگین حاصل از نتایج این پژوهش در منطقه سردسیر استان کرمانشاه (سنقر با ۳۶۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) هم‌خوانی دارد. کریمی و جلیلی (۱۳۹۶) مقدار میانگین محصول تولید شده سیب‌زمینی را در دشت مشهد ۳۲۰۰۸ کیلوگرم در هکتار تعیین نمودند که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

جدول ۸- مقایسه میانگین و آماره‌های توصیفی محصول تولید شده‌ی سیب‌زمینی (کیلوگرم در هکتار) در شهرستان‌های مورد مطالعه								
منطقه	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	فاصله اطمینان ۹۵٪ برای میانگین		حداقل	حداکثر
					حد پایین	حد بالا		
سنقر	12	36100a	9830	2838	29838	42329	22000	50000
کرمانشاه	12	35500a	11066	3194	28469	42531	20000	60000
قصر شیرین	11	24100b	8502	2564	18379	29803	8000	41000
کل سه منطقه	35	32100	11071	1871	28311	35917	8000	60000

در ستون میانگین اعدادی که دارای حروف یکسان هستند تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند

بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و

قصر شیرین در جدول زیر ارائه شده است. نتایج حاصل نشان داد تفاوت بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در شهرستان‌های مورد مطالعه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود ($\text{Sig} < 0/05$).

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در شهرستان‌های مورد مطالعه

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری (Sig.)
بین شهرستان‌ها	30.1	2	15.1	4.9	0.014
درون شهرستان‌ها	98.0	32	3.1		
کل سه منطقه	128.1	34			

مقایسه میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و قصر شیرین در جدول زیر ارائه شده است. نتایج نشان داد بیشترین میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی با ۵/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب مربوط به شهرستان سنقر بود و کمترین آن با ۳/۴۱ کیلوگرم بر مترمکعب به شهرستان قصر شیرین اختصاص داشت. مقدار این پارامتر در شهرستان کرمانشاه ۴/۹۱ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد که تفاوت آن با دو شهرستان دیگر از لحاظ آماری غیرمعنی‌دار بود. میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در سه منطقه مورد مطالعه در استان کرمانشاه نیز ۴/۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. لذا مقدار میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در شهرستان قصر شیرین ۲۷ درصد کمتر و در شهرستان‌های سنقر و کرمانشاه به ترتیب ۲۱ و ۴/۵ درصد بیشتر از مقدار میانگین آن در سه منطقه مورد مطالعه استان کرمانشاه بود. حداقل بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در شهرستان‌های سنقر، کرمانشاه و قصر شیرین به ترتیب ۲/۹۷، ۲/۵۷ و ۰/۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب بود و حداکثر آن نیز در شهرستان‌های مورد مطالعه به ترتیب ۹/۷۱، ۷/۰۳ و ۶/۷۸ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شد. قدمی فیروزآبادی و سیدان (۱۳۹۴) در شهرستان همدان میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در روش‌های آبیاری سطحی و بارانی را به ترتیب ۳/۱ و ۶/۲ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آوردند که مقدار روش بارانی آن با نتایج پژوهش حاضر در منطقه سردسیر استان کرمانشاه (سنقر با ۵/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب) همخوانی دارد. نوری خواجه بلاغ و همکاران (۱۳۹۹) بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی محصول سیب‌زمینی را در دشت اردبیل ۲/۹۳ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند که

مقدار آن با مقدار میانگین حاصل از نتایج این پژوهش در منطقه سردسیر استان کرمانشاه (سنقر با ۵/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب) هم‌خوانی ندارد. با توجه به این که مقدار محصول تولیدشده سیب‌زمینی در پژوهش آن‌ها با ۳۵۳۶۹ کیلوگرم در هکتار تفاوت چندانی با مقدار محصول تولیدشده این پژوهش (۳۶۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) نداشت لذا این عدم هم‌خوانی در نتایج آن‌ها با نتایج پژوهش حاضر به دلیل بیشتر بودن آب مصرفی محصول سیب‌زمینی در آن پژوهش (۱۲۰۹۱ مترمکعب در هکتار) با نتایج پژوهش حاضر (۶۷۸۳ مترمکعب در هکتار) است. این بیشتر بودن آب مصرفی در پژوهش آن‌ها نیز احتمالاً به دلیل استفاده از روش آبیاری سطحی در منطقه پژوهش آن‌ها در مقایسه با روش آبیاری بارانی مورد استفاده در مزارع مورد مطالعه این پژوهش بود علی‌رغم این که در آن پژوهش نوع روش آبیاری مشخص نشده بود. کریمی و جلیلی (۱۳۹۶) مقدار بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی را در دشت مشهد ۱/۸۲ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آوردند که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی ندارد. هرچند که میانگین محصول تولید شده توسط آن‌ها (۳۲۰۰۸ کیلوگرم در هکتار) تفاوت چندانی با مقدار میانگین حاصل از پژوهش حاضر (۳۲۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) نداشت اما بیشتر برآورد شدن حجم کل آب آبیاری سیب‌زمینی (۱۷۵۷۰ در مقابل ۷۱۳۴ مترمکعب در هکتار)، به دلیل لحاظ نمودن راندمان آبیاری سیب‌زمینی برابر ۵۰/۲ درصد در دشت مشهد و برآورد حجم کل آب آبیاری (۱۷۵۷۰ مترمکعب در هکتار) از تقسیم نیاز آبی سیب‌زمینی (۸۸۲۰ مترمکعب در هکتار) به این راندمان توسط آن‌ها، موجب کمتر برآورد شدن مقدار بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی در پژوهش آن‌ها شده است.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین و آماره‌های توصیفی بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی (کیلوگرم بر مترمکعب)

در شهرستان‌های مورد مطالعه								
منطقه	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	فاصله اطمینان ۹۵٪ برای میانگین	حد بالا	حد پایین	حداکثر
سنقر	12	5.67a	2.08	0.60	4.35	7.00	2.97	9.71
کرمانشاه	12	4.91ab	1.25	0.36	4.11	5.70	2.57	7.03
قصر شیرین	11	3.41b	1.82	0.55	2.19	4.63	0.76	6.78
کل سه منطقه	35	4.70	1.94	0.33	4.03	5.37	0.76	9.71

در ستون میانگین اعدادی که دارای حروف یکسان هستند تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مقادیر حجم کل آب آبیاری سیب‌زمینی در روش آبیاری بارانی در اقلیم‌های سرد (سنقر)، معتدل (کرمانشاه) و گرم (قصر شیرین) استان کرمانشاه به ترتیب ۶۷۳۹، ۷۱۸۶ و ۷۵۰۷ مترمکعب در هکتار، حجم آب مصرفی به ترتیب ۶۷۸۳، ۷۲۴۶ و ۸۰۰۲ مترمکعب در هکتار، میانگین عملکرد به ترتیب ۳۶۱۰۰، ۳۵۵۰۰ و ۲۴۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی به ترتیب ۵/۷، ۴/۹ و ۳/۴ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شدند. به‌طور کلی نتایج نشان داد که حجم کل آب آبیاری و حجم آب مصرفی سیب‌زمینی در اقلیم گرم استان نسبت به اقلیم سرد و معتدل استان بیشتر است. تاریخ کاشت مرسوم سیب‌زمینی در اقلیم گرم استان دی‌ماه است و این ماه و دو ماه بعد از آن، از ماه‌های خنک سال در این منطقه است بنابراین انتظار می‌رفت کشاورزان حجم آب آبیاری کمتری را نسبت به دو اقلیم دیگر استان به کار برند اما به دلیل عدم آگاهی کشاورزان با تعیین نیاز آبی سیب‌زمینی و تعیین مدت زمان کارکرد آبیاری، مدت کارکرد هر آبپاش را بیش از مقدار مورد نیاز به کار می‌بردند. این امر باعث بیشتر شدن مقدار آب آبیاری و حجم آب مصرفی سیب‌زمینی در این منطقه شد. از طرف دیگر نتایج نشان داد مقدار عملکرد سیب‌زمینی در اقلیم گرم کمتر از دو اقلیم دیگر استان است. از جمله دلایل عملکرد کمتر سیب‌زمینی در شهرستان قصر شیرین (اقلیم گرم) نسبت به

سایر شهرستان‌ها (اقلیم‌های معتدل و سرد) برخورد دوره رشد گیاه با یک دوره‌ی سرمای کوتاه‌مدت در اوایل فصل رشد گیاه و غلظت بالای ریزگردهای ورودی به منطقه از سمت کشور عراق و نشستن آن‌ها روی برگ‌های گیاه و احتمالاً کاهش فعالیت فتوسنتزی گیاه در این شهرستان است. کمتر بودن عملکرد سیب‌زمینی و بیشتر بودن حجم آب مصرفی در اقلیم گرم نهایتاً منجر به کاهش بهره‌وری آب سیب‌زمینی در منطقه گرم استان شد. لذا می‌توان با مدیریت به‌زراعی و به‌نژادی و آموزش کشاورزان در راستای کاهش مصرف آب در این شهرستان اقدام به افزایش عملکرد و کاهش مصرف آب و نهایتاً افزایش بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی سیب‌زمینی کرد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش بر اساس نتایج پروژه پژوهشی با شماره مصوب ۰۰۷۷۳-۰۱۹-۱۰-۵۵-۲۴ از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و با حمایت مالی سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه نگاشته شده است. بدین‌وسیله نویسندگان مقاله مراتب سپاس و قدردانی خود را از زحمات و همکاری‌های این بزرگواران اعلام می‌دارند.

تعارض منافع

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

فهرست منابع

۱. احسانی، مهرزاد، و خالدی، هومن، ۱۳۸۲. بهره‌وری آب کشاورزی. چاپ اول، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۱۶ صفحه.
۲. جلیلی، محمد، کریمی، محمد، و باغانی، جواد، ۱۴۰۰. بررسی میزان آب کاربردی، عملکرد و بهره‌وری آب مزارع سیب‌زمینی در شرایط زارعین استان خراسان رضوی. آب و توسعه پایدار، ۸(۴)، صص. ۵۸-۵۱.
doi: 10.22067/jwsd.v8i4.2108.1075
۳. حیدری، نادر، ۱۳۹۳. ارزیابی شاخص بهره‌وری آب کشاورزی و عملکرد سیاست‌ها و برنامه‌های مدیریت آب کشور در این زمینه. مجلس و راهبرد، ۲۱(۷۸)، صص. ۱۹۹-۱۷۷.
doi: 10.1002/ird.1816
۴. حیدری، نادر، ۱۳۹۰. تعیین و ارزیابی شاخص کارایی مصرف آب محصولات زراعی تحت مدیریت کشاورزان در کشور. مدیریت آب و آبیاری، ۱(۲)، صص. ۵۷-۴۳.
۵. دوستان، رضا، ۱۳۹۸. تحلیلی بر تحقیقات خشکسالی در ایران. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۶(۴)، صص. ۹۴-۵۳.
doi: 10.29252/jsaeh.6.4.53
۶. دوستان، رضا، ۱۳۹۴. تحلیلی بر خشک‌سالی‌های ایران در نیم قرن گذشته. پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۲۳(۶)، صص. ۱۹-۱.
۷. رحیم‌زاده، زهرا، نادریان، پروین، ابری‌فام، محمدرضا، حسینی، کامبیز، و افکاری، سهیلا، ۱۳۹۹. استان‌شناسی کرمانشاه. چاپ دهم، انتشارات شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران. ۱۲۶ صفحه.
۸. شاهرخ‌نیا، محمدعلی، و باغانی، جواد، ۱۴۰۰. بررسی میزان آب کاربردی و بهره‌وری آب مزارع سیب‌زمینی در شرایط زارعین استان فارس. آبیاری و زهکشی/ایران، ۱۵(۳)، صص. ۶۳۵-۶۲۴.
dor: 20.1001.1.20087942.1400.15.3.12.6
۹. عباسی، فریبرز، عباسی، نادر، و توکلی، علیرضا، ۱۳۹۶. بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، چالش‌ها و چشم‌اندازها. آب و توسعه پایدار، ۴(۱)، صص. ۱۴۴-۱۴۱.
doi: 10.22067/jwsd.v4i1.67121
۱۰. قاسمی‌نژاد رائینی، محمدرضا، و معروفی، صفر، ۱۳۹۰. مطالعه شاخص بهره‌وری آب، در مزارع سیب‌زمینی دشت همدان - بهار. علوم و مهندسی آب، ۱(۱)، صص. ۹۴-۸۷.
۱۱. قدمی فیروزآبادی، علی، ۱۳۹۵. بررسی بازده، میزان انرژی مصرفی و کارایی مصرف آب در ایستگاه‌های پمپاژ برقی. مهندسی آبیاری و آب/ایران، ۷(۱)، صص. ۱۴-۱.
۱۲. قدمی فیروزآبادی، علی، سیدان، سید محسن، و عباسی، فریبرز، ۱۳۸۹. ارزیابی فنی و اقتصادی آبیاری با لوله‌های کم‌فشار (هیدروفلوم) و مقایسه آن با آبیاری سنتی و بارانی. تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۱(۲)، صص. ۸۴-۷۳.
۱۳. قدمی فیروزآبادی، علی، و سیدان، سید محسن، ۱۳۹۴. بررسی فنی و اقتصادی آب مصرفی و انرژی در سامانه‌های مختلف آبیاری در مزارع سیب‌زمینی و یونجه در شهرستان همدان. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، ایران. ۴۸ صفحه.
۱۴. کریمی، محمد، و جلیلی، محمد، ۱۳۹۶. بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات مهم زراعی، مطالعه موردی: دشت مشهد. آب و توسعه پایدار، ۴(۱)، صص. ۱۳۸-۱۳۳.
doi: 10.22067/jwsd.v4i1.52783

۱۵. کریمی، مرتضی، شاه‌زیدی، سمیه سادات، و جعفری، ابراهیم، ۱۳۹۸. بررسی تأثیر توپوگرافی بر دفاع سرزمینی مطالعه موردی: محور استراتژیک قصرشیرین-کرمانشاه. / *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۲۸(۱۰۹)، صص. ۲۵۷-۲۳۹. doi: 10.22131/sepehr.2019.35650
۱۶. کشاورز، عباس، و دهقانی سانیچ، حسین، ۱۳۹۱. شاخص بهره‌وری آب و راهکار آتیه کشاورزی کشور. *راهبرد اقتصادی*، ۱(۱)، صص. ۱۹۹-۱۳۳.
۱۷. معیری، منصور، ۱۳۹۹. تحلیل کارایی مصرف آب سیب‌زمینی مزارع شمال استان خوزستان. *مدیریت آب در کشاورزی*، ۱(۷)، صص. ۸۲-۶۵. dor: 20.1001.1.24764531.1399.7.1.7.4
۱۸. موسی‌پور گرجی، احمد، و حسن‌پناه، داود، ۱۳۹۷. دستورالعمل فنی عوامل مدیریتی و تأثیر آن‌ها بر مراحل مختلف رشد سیب‌زمینی. گزارش پژوهشی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج، ایران. ۵۹ صفحه.
۱۹. نوری خواجه بلاغ، رسول، خالدیان، محمدرضا، و کاوسی کلاشمی، محمد، ۱۳۹۹. مقایسه شاخص‌های بهره‌وری آب محصولات عمده زراعی در دشت اردبیل. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۴(۳)، صص. ۹۰۴-۸۹۴. doi: 20.1001.1.20087942.1399.14.3.14.1
۲۰. نیازمند، رویا، مقدم‌نیا، آرمان، طهماسبی، پیمان، نیک‌مهر، سامان، و معروف‌پور، عیسی، ۱۴۰۲. بهره‌وری مصرف آب و انرژی محصول سیب‌زمینی در سامانه‌های آبیاری بارانی (مطالعه موردی: دشت دهگلان استان کردستان). *فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب*، ۳(۴)، صص. ۱۳۷-۱۱۶. doi: 10.22126/atwe.2024.10298.1106
۲۱. وجدانی، حمیدرضا، ۱۴۰۱. تحلیلی بر تولید سیب‌زمینی در ایران و جهان و نقش آن در امنیت غذایی. *مجله ترویجی علوم کاربردی سیب‌زمینی*، ۵(۱)، صص. ۴۴-۳۵.
۲۲. وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۲. آمارنامه کشاورزی، سال ۱۴۰۱، محصولات زراعی (جلد اول). انتشارات معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز آمار، فناوری و اطلاعات و ارتباطات، تهران، ایران. ۹۵ صفحه.
23. Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y., 2011. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, 70(4), pp. 749-758. doi: 10.1016/j.ecolecon.2010.11.012
24. Camargo, D. C., Montoya, F., Ortega, J. F. and Córcoles, J. I., 2015. Potato Yield and Water Use Efficiency Responses to Irrigation in Semiarid Conditions. *Agronomy Journal*, 107(6), pp. 2120-2131. doi: 10.2134/agronj14.0572
25. Cheng, M., Wang, H., Zhang, F., Wang, X., Liao, Z., Zhang, S., Yang, Q. and Fan, J., 2023. Effects of irrigation and fertilization regimes on tuber yield, water-nutrient uptake and productivity of potato under drip fertigation in sandy regions of northern China. *Agricultural Water Management*, 287, pp. 108459. doi: 10.1016/j.agwat.2023.108459
26. Crosby, T. W. and Wang, Y., 2021. Effects of Irrigation Management on Chipping Potato (*Solanum tuberosum* L.) Production in the Upper Midwest of the U.S. *Agronomy*, 11(4), pp. 768. doi: 10.3390/agronomy11040768
27. Fandika, I. R., Kemp, P. D., Millner, J. P., Horne, D. and Roskrige, N., 2016. Irrigation and nitrogen effects on tuber yield and water use efficiency of heritage and modern potato cultivars. *Agricultural Water Management*, 170, pp. 148-157. doi: 10.1016/j.agwat.2015.10.027
28. FAOSTAT, 2024. Available at <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
29. Ierna, A. and Mauromicale, G., 2018. Potato growth, yield and water productivity response to different irrigation and fertilization regimes. *Agricultural Water Management*, 201, pp. 21-26. doi: 10.1016/j.agwat.2018.01.008
30. Si, J., Wang, L., Zhang, K., Li, L., Fudjoe, S. K. and Luo, Z., 2024. Irrigation as an Effective Way to Increase Potato Yields in Northern China: A Meta-Analysis. *Agronomy*, 14(3), pp. 448. doi:10.3390/agronomy14030448

31. Tang, J., Wang, J., Fang, Q., Wang, E., Yin, H. and Pan, X., 2018. Optimizing planting date and supplemental irrigation for potato across the agro-pastoral ecotone in North China. *European Journal of Agronomy*, 98, pp. 82–94. doi: **10.1016/j.eja.2018.05.008**
32. Xu, L., Zhang, W., Liu, S., Gao, Y., Huang, Y., Nie, X. and Bai, Y., 2024. Transcriptome analysis of the synergistic mechanisms between two strains of potato virus Y in *Solanum tuberosum* L. *Virology*, 594, pp. 110032. doi: **10.1016/j.virol.2024.110032**
33. Zhang, H., Xu, F., Wu, Y., Hu, H. and Dai, X., 2017. Progress of potato staple food research and industry development in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(12), pp. 2924–2932. doi: **10.1016/S2095-3119(17)61736-2**

ارزیابی تأثیر سه روش آبیاری قطره‌ای و زیرسطحی عمقی و مقادیر مختلف آب بر

صفت‌های رویشی و زایشی درختان پرتقال در کرمان

اسماعیل مقبلی دامنه* و سهیلا محمدرضاخانی

استادیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و

ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران. e.moghbeli@areeo.ac.ir

پژوهشگر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران.

Smohammadrezakhani@yahoo.com

دریافت: فروردین ۱۴۰۳ و پذیرش: آبان ۱۴۰۳

چکیده

برای ارزیابی تأثیر کم‌آبیاری و روش‌های مختلف آبیاری درختان پرتقال، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان اجرا شد. در این پژوهش، تأثیر مقادیر مختلف آبیاری (آبیاری بر اساس ۱۰۰٪ تبخیر و تعرق گیاه در تمامی مراحل رشد گیاه، آبیاری بر اساس تناوب ۱۰۰-۶۰٪ تبخیر و تعرق گیاه، و آبیاری بر اساس ۸۰٪ تبخیر و تعرق گیاه به‌جز در مراحل گلدهی و تشکیل میوه) در سه روش آبیاری زیرسطحی عمقی، قطره‌ای زیرسطحی، و قطره‌ای سطحی روی عملکرد، کارایی مصرف آب، و صرفه‌جویی در مصرف آب در طول دوره رشد درختان پرتقال ارزیابی شد. نتایج نشان داد که کم‌آبیاری کنترل‌شده بر اساس ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه سبب افزایش کارایی مصرف آب به مقدار ۳/۸۸٪، صرفه‌جویی در مصرف آب به مقدار ۱۷٪ و کاهش معنی‌دار ۱۳/۸۷٪ ویژگی‌های رویشی در مقایسه با آبیاری کامل شد. با اعمال کم‌آبیاری، اگرچه مقدار عملکرد ۱۳/۵۵٪ نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت، اما این کاهش معنی‌دار نبود. نتایج همچنین نشان داد که کاربرد روش آبیاری زیرسطحی عمقی همراه با اعمال کم‌آبیاری به مقدار ۸۰٪ نیاز آبی سبب صرفه‌جویی در مصرف آب به مقدار ۸۸۹ متر مکعب در هکتار (۲۵/۳۳٪) می‌شود؛ بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که سامانه آبیاری زیرسطحی عمقی می‌تواند ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب از کاهش کمیت و کیفیت محصول جلوگیری کند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری زیرسطحی عمقی، کم‌آبیاری کنترل‌شده، مدیریت آب

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: e.moghbeli@areeo.ac.ir



مقدمه

بحران کمبود آب یکی از چالش‌های امروزه جهان در رابطه با تأمین غذای مورد نیاز جمعیت جهانی در حال رشد است (مصطفی و همکاران، ۲۰۱۴). در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، کمبود آب یک مشکل جدی برای تولیدات کشاورزی است. علاوه بر این، توسعه منابع آبی جدید در این مناطق بسیار هزینه‌بر است (طالب نژاد و سپاسخواه، ۲۰۱۵). ایران جز کشورهایی است که در سال‌های اخیر بیشترین تغییرات اقلیمی در آن رخ داده است. این تغییرات اثرات منفی بر بخش‌های کلیدی اقتصاد ملی، نظیر آب و کشاورزی داشته است.

توسعه کشاورزی و برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در دشت جیرفت در جنوب استان کرمان، پایین افتادن سطح سفره و کاهش کیفیت آن را سبب شده است (عادلی ساردوئی و همکاران، ۱۳۹۹). پیشرفت‌های اخیر در علم آبیاری و اطلاع از ویژگی‌های گیاه، منجر به استفاده از روش کم‌آبیاری کنترل‌شده (عدم اعمال کم-آبیاری در مراحل حساس گیاه به آب) شده که می‌تواند سبب صرفه‌جویی در مصرف آب به مقدار ۲۰ تا ۲۵ درصد شود (رویز و همکاران، ۲۰۱۰). سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به سیستم قطره‌ای سطحی دارای تلفات تبخیر از سطح خاک کمتر و همچنین دارای میزان تعرق گیاهی بیشتری در طول فصل رشد گیاه است که این می‌تواند در افزایش عملکرد گیاه نقش مهمی را ایفا کند (دهقانی سانجی، ۲۰۱۷). استفاده از سامانه آبیاری زیرسطحی باعث افزایش راندمان مصرف آب در درختان لیموترش شد که دلیل آن صرفه‌جویی ۱۹ درصدی در آب آبیاری بدون تأثیر بر عملکرد بود (رابلز و همکاران، ۲۰۱۶). اومیمو همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی را روی درختان هلو اعمال کرده و به این نتیجه رسیدند که آبیاری زیرسطحی همراه با آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی بهترین عملکرد را به همراه دارد.

صداقتی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی دو سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی (با دو عمق نصب ۳۰ و ۵۰ سانتیمتر) را همراه با آبیاری به مقدار ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی درختان پسته مورد ارزیابی قرار داده و به این نتیجه رسیدند آبیاری زیرسطحی با مقدار آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی با کارایی مصرف آب ۰/۲۹ کیلوگرم ماده خشک به متر مکعب آب مصرفی و ۲۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب بهترین کارایی را دارد. پریز و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند با کاهش ۵۰ درصدی مقدار آب آبیاری در فازهای یک و سه رشد گریپ‌فروت بدون هیچ کاهش کمی و کیفی میوه به ترتیب ۷/۸ و ۱۱/۸ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی می‌شود.

گارسیا و همکاران (۲۰۱۰) با انجام مطالعه‌ای در خصوص کم‌آبیاری به این نتیجه رسیدند که کم‌آبیاری کنترل‌شده (عدم اعمال کم‌آبیاری در دوره گلدهی) در مرکبات بالغ سبب صرفه‌جویی در مصرف آب به مقدار ۱۰۰۰ متر مکعب در هکتار و افزایش کارایی مصرف آب به میزان ۲۴ درصد نسبت به آبیاری کامل می‌شود، درحالی‌که میزان عملکرد فقط ۱۲-۱۰ درصد کاهش می‌یابد.

کوئینونز و همکاران (۲۰۱۰) با انجام تحقیقی به این نتیجه رسیدند که استفاده از کم‌آبیاری در آبیاری قطره‌ای باعث افزایش کارایی مصرف آب بدون کاهش عملکرد می‌شود. نتایج استفاده از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در سورگوم علوفه‌ای نشان داد این روش آبیاری سبب افزایش عملکرد محصول و کارایی استفاده از آب می‌شود (پیری و همکاران، ۱۳۹۵).

آبیاری زیرسطحی بدلیل کاهش آلودگی کمتر آب‌های زیرسطحی، یکنواختی پخش آب، بهبود وضعیت گیاه از نظر رشد و افزایش کمی و کیفی محصولات مورد توجه قرار گرفته است (واللتاین و همکاران، ۲۰۲۰). به دلیل تفاوت‌های موجود در مناطق مختلف از لحاظ اقلیم، خاک، شرایط مدیریتی و غیره، باید نحوه اعمال کم‌آبیاری

و نیز روش آبیاری مناسب در هر منطقه مورد بررسی قرار گیرد.

در سال‌های اخیر مشکلات کم‌آبی و گرمای شدید تابستان، تولید مرکبات را در جنوب کرمان با مشکل مواجه کرده است (احمدپور ۱۳۹۱). بنابر شرایط کمبود آب و ضرورت، سامانه آبیاری قطره‌ای در اکثر باغات منطقه جنوب استان کرمان به اجرا درآمده اما در خصوص کم‌آبیاری و آبیاری زیرسطحی مطالعه چندانی انجام نشده است (اسفندیاری، ۱۳۹۴). اطلاع از تأثیر و نحوه اعمال کم‌آبیاری و روش‌های مختلف آبیاری بر خصوصیات رویشی، عملکرد و کارایی مصرف آب مرکبات منطقه می‌تواند منجر به استفاده بهینه از منابع آب و در نتیجه صرفه‌جویی در مصرف آب، افزایش کارایی مصرف آب، افزایش عملکرد و افزایش رشد اقتصادی گردد. در همین راستا این پژوهش جهت بررسی کاربرد کم‌آبیاری و سه روش آبیاری زیرسطحی عمقی، قطره‌ای زیرسطحی و قطره‌ای سطحی در پرتقال جنوب استان کرمان انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر کم‌آبیاری کنترل‌شده و سه روش آبیاری زیرسطحی عمقی، قطره‌ای زیرسطحی و قطره‌ای سطحی بر پرتقال رقم مارس ارلی در جنوب استان کرمان انجام شد. مراحل اصلی رشدی گیاه پرتقال شامل گل‌انگیزی، گل‌آغازی، گلدهی، تشکیل و رشد میوه (تقسیم سلول، تمایزیابی، بزرگ شدن سلول و رسیدن میوه) است (اسدی کنگرشاهی و همکاران، ۱۳۹۵، بریوس و همکاران، ۲۰۲۳). گل‌انگیزی و گل‌آغازی در اواسط آذر و تا ماه‌های دی و بهمن صورت گرفته و در اسفندماه جوانه گل قابل مشاهده است. تشکیل میوه در اواخر فروردین و اردیبهشت میوه انجام می‌شود. این رقم در شرایط جنوب استان کرمان زودرس‌ترین رقم بوده که از اواسط مهر تا اواخر آذر ماه قابلیت برداشت

دارد و در صورت برداشت دیر هنگام میوه‌ها پوک و بی‌کیفیت می‌شوند (احمدپور، ۱۳۹۱).

آزمایش در باغی به وسعت ۴۰۰۰ متر مربع روی پرتقال، رقم مارس ارلی، با پایه نارنج، با سن ۷-۸ سال و فواصل کشت ۶×۸ متر بر اساس آرایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور کم‌آبیاری و سه روش آبیاری زیرسطحی عمقی، قطره‌ای زیرسطحی و قطره‌ای سطحی در سه تکرار و در هر پلات با سه درخت اجرا شد. باغ انتخاب شده برای اجرای طرح پژوهشی دارای تعداد ۸۱ درخت (نه ردیف و در هر ردیف نه درخت) بود.

فاکتور مقادیر مختلف آبیاری شامل سه سطح زیر بود:

- ۱- آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در تمام مراحل رشد گیاه (I_{100})
- ۲- آبیاری بر اساس ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه از مرحله شروع رشد میوه تا برداشت میوه (گارسیا-تیجیرو و همکاران، ۲۰۱۰) (در مراحل گلدهی و تشکیل میوه آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی انجام شد). (I_{80})
- ۳- آبیاری بر اساس تناوب آبیاری ۶۰-۱۰۰ درصد نیاز آبی از مرحله شروع رشد میوه تا برداشت میوه (در مراحل گلدهی و تشکیل میوه آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی انجام گرفت (I_{60-100}). آبیاری متناوب ۶۰-۱۰۰ درصد نیاز آبی یعنی یک مرحله آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مرحله دیگر آبیاری بر اساس ۶۰ درصد نیاز آبی انجام شود بطوریکه در انتهای فصل رشد بصورت میانگین ۸۰ درصد نیاز آبی به گیاه داده شود که از نظر میزان آب مصرفی با سطح آبیاری ۸۰ درصد برابر ولی نحوه توزیع آن متفاوت است).

روش‌های آبیاری استفاده شده:

- ۱- آبیاری قطره‌ای سطحی (DI)
- ۲- آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI)
- ۳- آبیاری زیرسطحی عمقی (DSI)

نصب شد. تعداد مخازن بکار رفته برای هر درخت چهار عدد در چهار طرف آن و به فاصله مناسب از تنه درخت بود. در نهایت، چهار مخزن هر درخت با لوله ۱۶ میلی‌متری بهم متصل شد.



شکل ۲- سامانه آبیاری زیرسطحی عمقی

تعیین نیاز آبیاری

برای تعیین نیاز آبیاری روزانه از داده‌های هواشناسی بلندمدت محل اجرای آزمایش استفاده شد. بدین ترتیب که با استفاده از داده‌های هواشناسی شامل دما، رطوبت، تابش آفتاب و سرعت باد میزان تبخیر و تعرق پتانسیل با روش پنمن مانیتث محاسبه و سپس از روابط زیر ابتدا نیاز آبی خالص، نیاز آبی ناخالص و سپس نیاز آبیاری روزانه تعیین شد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸ و دورنبوس و پرویت، ۱۹۷۷):

$$I_n = ET_o \cdot K_c \cdot K_r \quad (1)$$

$$I_g = \frac{I_n}{E_a \cdot (1 - LR)} \quad (2)$$

$$I_n = G = I_g - P_e \cdot K_r \quad (3)$$

که در آن‌ها: I_n نیاز آبی خالص (میلی‌متر)، ET_o تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر)، K_c ضریب گیاهی (۰/۸۵)، K_r ضریب سطح سایه‌انداز، I_g نیاز آبی ناخالص (میلی‌متر)، E_a راندمان کاربرد آب (برای آبیاری قطره‌ای سطحی ۹۰ درصد و برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و زیرسطحی عمقی ۱۰۰ درصد)، LR نیاز آبتشویی (برابر با ۱۰ درصد)، G نیاز آبیاری روزانه (میلی‌متر) و P_e بارندگی مؤثر (میلی‌متر)

آبیاری قطره‌ای سطحی با قطره‌چکان‌های نتافیم با دبی خروجی هشت لیتر در ساعت و با تعداد چهار عدد قطره‌چکان برای هر درخت اجرا شد. قطره‌چکان‌ها با فاصله مساوی روی لویی که در فاصله ۸۰ سانتی‌متری از تنه قرار داشت، نصب شد.

برای اجرای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از لوله‌های قطره‌چکان‌دار استفاده شد (شکل ۱). قطره‌چکان این لوله‌ها از نوع هیدروپی‌سی بوده و حرکت معکوس آب پس از قطع جریان وجود ندارد. دور هر درخت در فاصله ۸۰ سانتی‌متری از تنه و در عمق ۴۰ سانتی‌متری از سطح خاک یک لوپ شامل تعداد هشت عدد قطره‌چکان با دبی چهار لیتر در ساعت با فواصل ۰/۵ متری روی لوله نصب شد. برای شستشوی لوله‌ها در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی انتهای لوله قطره‌چکان‌دار زیرسطحی با اتصال به یک لوله ۱۶ میلی‌متری به سطح خاک آورده و با بست انتهایی بسته شد.



شکل ۱- سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

برای پیاده کردن سامانه آبیاری زیرسطحی عمقی (شکل ۲) در ابتدا با استفاده از لوله‌های پی‌وی‌سی به قطر ۹۰ میلی‌متر، زانو، رابط و درپوش، مخازن L شکلی ساخته شد. طول قسمت عمودی مخزن ۵۰ سانتیمتر بود که پنج سانتیمتر آن بالای خاک قرار داشت. طول قسمت افقی نیز ۴۰ سانتیمتر به صورت مشبک و همراه با فیلتر بود. ابتدا و انتهای مخزن با درپوش مسدود، سپس با ایجاد یک سوراخ در روی درپوش ورودی، یک لوله ۱۶ میلی‌متری از آن عبور داده شد و یک عدد قطره‌چکان روی آن

حجم آب مورد نیاز آبیاری روزانه از رابطه زیر محاسبه شد:

$$V_r = 10 \times \frac{G}{(a.b)} \quad (4)$$

که در آن: V_r حجم آب مورد نیاز آبیاری روزانه (متر مکعب برای هر درخت)، G نیاز آبیاری روزانه (میلی متر)، a فاصله بین ردیف‌ها (متر) و b فاصله بین درختان (متر)

که در آن: WUE کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)، Y عملکرد کل (کیلوگرم) و W مقدار آب مصرفی (متر مکعب)

مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

پژوهش حاضر به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور کم آبیاری و سه روش آبیاری زیرسطحی عمقی، قطره‌ای زیرسطحی و قطره‌ای سطحی در سه تکرار انجام شد. نتایج تجزیه واریانس صفت اندازه‌گیری شده نشان داد اثر کم آبیاری بر صفت‌های شاخص رسیدگی در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده و در سایر صفت‌های معنی‌دار نیست. اثر روش آبیاری بر صفت کارایی مصرف آب در سطح یک درصد معنی‌دار شد و در سایر صفت‌های معنی‌دار نیست (جدول ۱).

اندازه‌گیری‌های حجم آب مصرفی و محاسبه کارایی مصرف آب

حجم کل آب استفاده شده در هر تیمار از روی کنتورهای نصب شده قرائت شد.

برای ارزیابی اثر تیمارها از نظر مصرف آب، شاخص کارایی مصرف آب و میزان آب صرفه‌جویی شده محاسبه شد. برای محاسبه کارایی مصرف آب از رابطه زیر استفاده شد:

$$WUE = \frac{Y}{W} \quad (5)$$

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب صفت‌های کیفی میوه

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییرات
عملکرد کل	ویتامین ث	مواد جامد محلول	اسیدیته	شاخص رسیدگی	کارایی مصرف آب		
1254.22 ^{ns}	69.53 ^{ns}	6.34 *	0.005 ^{ns}	14.75 ^{ns}	0.04 ^{ns}	1	سال
163.44	120.99	0.47	0.01	4.50	0.92	4	خطای اول
300.99 ^{ns}	176.85 ^{ns}	11.07 ^{ns}	0.29**	36.31*	0.10 ^{ns}	2	کم آبیاری
326.31 ^{ns}	56.09 ^{ns}	3.99 ^{ns}	0.01 ^{ns}	4.52 ^{ns}	4.40**	2	روش آبیاری
27.13 ^{ns}	226.42 ^{ns}	3.05 ^{ns}	0.04 ^{ns}	6.80 ^{ns}	0.08 ^{ns}	4	کم آبیاری × روش آبیاری
4.50 ^{ns}	138.19 ^{ns}	1.27 ^{ns}	0.02 ^{ns}	9.45 ^{ns}	0.03 ^{ns}	2	سال × کم آبیاری
9.84 ^{ns}	219.82 ^{ns}	1.18 ^{ns}	0.01 ^{ns}	5.22 ^{ns}	0.06 ^{ns}	2	سال × روش آبیاری
2.53 ^{ns}	70.63 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.04 ^{ns}	5.86 ^{ns}	0.01 ^{ns}	4	سال × کم آبیاری × روش آبیاری
101.12	178.30	3.45	0.02	7.58	0.58	32	خطای دوم
21.15	18.87	15.90	13.88	21.73	22.7	-	ضریب تغییرات خطا (%)

*** و **: به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح یک درصد، پنج درصد و بدون اختلاف معنی‌دار

مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری در روش آبیاری بر مقدار آب مصرفی نشان داد بیشترین مقدار آب مصرفی را آبیاری قطره‌ای سطحی با ۱۰۰ درصد نیاز آبی به خود اختصاص داده است (۱۶/۸۶ متر مکعب بر سال در درخت معادل ۳۵۱۲/۵ متر مکعب در هکتار). کمترین

مقدار آب مصرفی برابر با ۱۲/۵۹ متر مکعب بر سال در درخت در روش‌های مختلف آبیاری زیرسطحی همراه با اعمال کم آبیاری به مقدار ۸۰ درصد نیاز آبی حاصل شد که با تیمار ۱۰۰-۶۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری نداشت و این مقدار ۲۵/۳۳ درصد کمتر از مقدار آب

مصرفی در آبیاری قطره‌ای سطحی با ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود؛ یعنی کاربرد روش آبیاری زیرسطحی همراه با اعمال کم‌آبیاری به مقدار ۸۰ درصد نیاز آبی سبب صرفه‌جویی به مقدار ۴/۲۷ متر مکعب بر سال در درخت معادل ۸۸۹/۵۸ متر مکعب در هکتار می‌شود که مقدار قابل توجهی است (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری بر مقدار آب مصرفی ($m^3/year.tree$)

کم‌آبیاری	روش آبیاری	قطره‌ای سطحی	قطره‌ای زیرسطحی	زیرسطحی	میانگین
۱۰۰ درصد نیاز آبیاری	۱۶.۸۶ ^a	۱۵.۱۷ ^b	۱۵.۱۷ ^b	۱۵.۱۷ ^b	۱۵.۷۳ ^a
۸۰ درصد نیاز آبیاری	۱۳.۹۹ ^c	۱۲.۵۹ ^d	۱۲.۵۹ ^d	۱۲.۵۹ ^d	۱۳.۰۶ ^b
۶۰-۱۰۰ درصد نیاز آبی	۱۳.۹۹ ^c	۱۲.۵۹ ^d	۱۲.۵۹ ^d	۱۲.۵۹ ^d	۱۳.۰۶ ^b
میانگین	۱۴.۹۵ ^a	۱۳.۴۵ ^b	۱۳.۴۵ ^b	۱۳.۴۵ ^b	۱۳.۴۵ ^b

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد ندارند

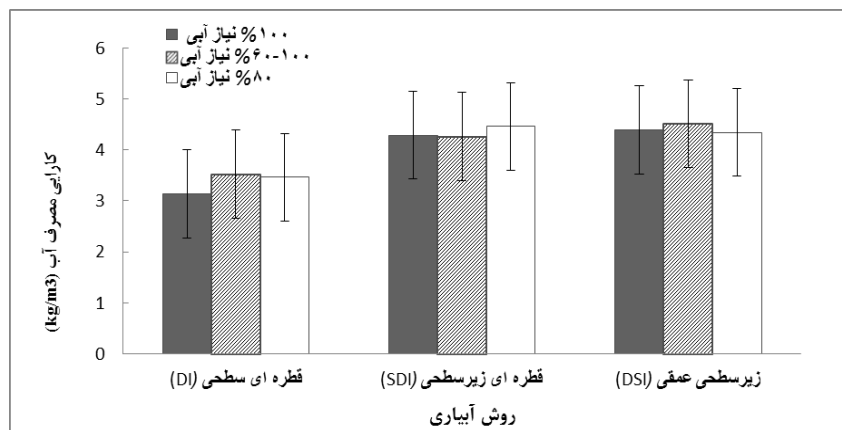
در این تحقیق اعمال کم‌آبیاری کنترل‌شده (عدم اعمال کم‌آبیاری در مراحل گلدهی و تشکیل میوه) به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه سبب ۱۷ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب شده است. آبیاری زیرسطحی ضمن ۱۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب سبب افزایش کارایی مصرف آب به مقدار ۲۹/۶۲ درصد نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی می‌شود.

کمترین مقدار آب مصرفی برابر با ۱۲/۵۹ متر مکعب بر سال در درخت در روش‌های مختلف آبیاری زیرسطحی همراه با اعمال کم‌آبیاری به مقدار ۸۰ درصد نیاز آبی حاصل شد که با تیمار ۱۰۰-۶۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری نداشت و این مقدار ۲۵/۳۳ درصد کمتر از مقدار آب مصرفی در آبیاری قطره‌ای سطحی با ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود؛ یعنی کاربرد روش آبیاری زیرسطحی همراه با اعمال کم‌آبیاری به مقدار ۸۰ درصد نیاز آبی سبب صرفه‌جویی به مقدار ۴/۲۷ متر مکعب بر سال در درخت معادل ۸۸۹/۵۸ متر مکعب در هکتار می‌شود که مقدار قابل توجهی است.

بیشترین مقدار کارایی مصرف آب در تیمار کم-آبیاری متناوب ۱۰۰-۶۰ درصد نیاز آبی برای آبیاری زیرسطحی عمقی و کمترین مقدار آن در تیمار آبیاری کامل برای آبیاری قطره‌ای سطحی حاصل شد (شکل ۳).

در شرایط کمبود منابع آب، اعمال کم‌آبیاری می‌تواند منجر به افزایش کارایی مصرف آب، افزایش درآمد خالص و رشد اقتصادی شود. بهترین روش اعمال کم‌آبیاری در مراحل حساس رشد گیاه آبیاری کامل انجام شده اما در بقیه مراحل رشد گیاه کم‌آبیاری متناسب با نوع گیاه و شرایط اقلیمی اعمال شود، بدین ترتیب بدون وارد آمدن تنش زیاد به گیاه در مصرف آب صرفه‌جویی شده و حتی ممکن است کیفیت میوه نیز افزایش یابد. به این نوع کم‌آبیاری، کم‌آبیاری کنترل‌شده اطلاق می‌شود که امروزه مطالعات زیادی در خصوص آن در حال انجام است. کم-آبیاری کنترل‌شده کاهش آب مصرفی در طول دوره مشخصی از رشد گیاه بدون کاهش یا با کاهش خیلی کم مقدار محصول طراحی و اجرا می‌شود (چالمرز و همکاران، ۱۹۸۱؛ کاظمی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۶).

مطالعات نشان می‌دهد استفاده از کم‌آبیاری کنترل‌شده بدون تأثیر منفی بر گیاه سبب صرفه‌جویی در مصرف آب به مقدار ۲۰ تا ۲۵ درصد می‌شود (رویز و همکاران، ۲۰۱۰). در تحقیقی روی مرکبات اسپانیا مشخص شد کم‌آبیاری کنترل‌شده باعث کاهش ۳۰ درصدی مصرف آب بدون کاهش کمی میزان تولید می-گردد (کوئینونز و همکاران، ۲۰۱۰). اعمال کم‌آبیاری کنترل‌شده به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی در مرکبات اسپانیا باعث صرفه‌جویی در مصرف آب بدون کاهش عملکرد شد (آگودا و همکاران، ۲۰۱۲).



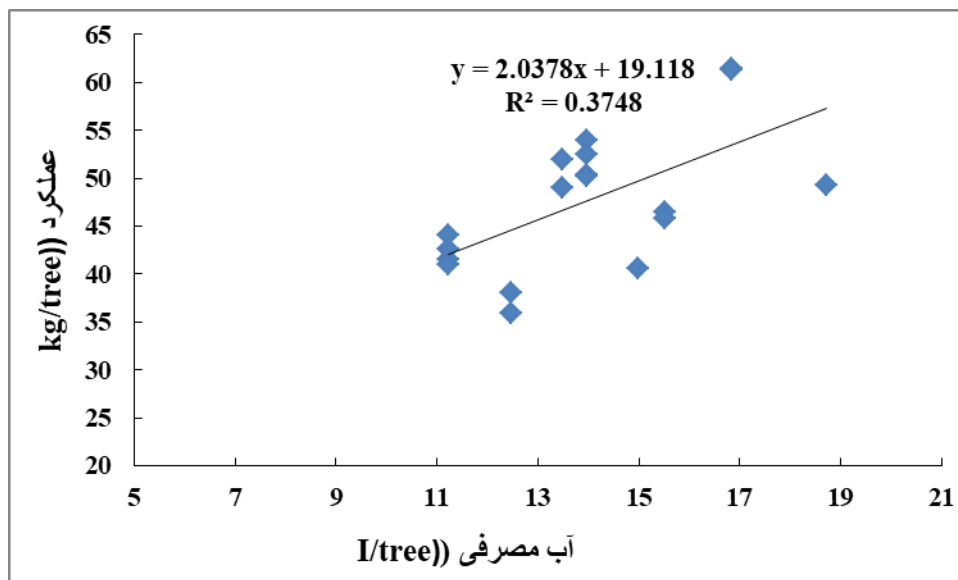
شکل ۳- اثر متقابل کم آبیاری در روش آبیاری بر کارایی مصرف آب

معادله کلی آب مصرفی نسبت به عملکرد محصول با کاربرد کلیه داده‌ها به صورت زیر به دست آمد (شکل ۴):

$$Y = -0.22X^2 + 8.45X - 26.18 \quad (6)$$

که در آن: Y عملکرد کل (کیلوگرم در درخت) و X مقدار آب مصرفی (متر مکعب بر سال در درخت)

از آنجایی که رابطه بین مقدار بین آب مصرفی و عملکرد محصول عمدتاً با یک رابطه درجه دوم ارائه می‌شود، در این پژوهش نیز نمودارها و معادلات درجه دوم آب مصرفی نسبت به عملکرد محصول به صورت زیر محاسبه شد:



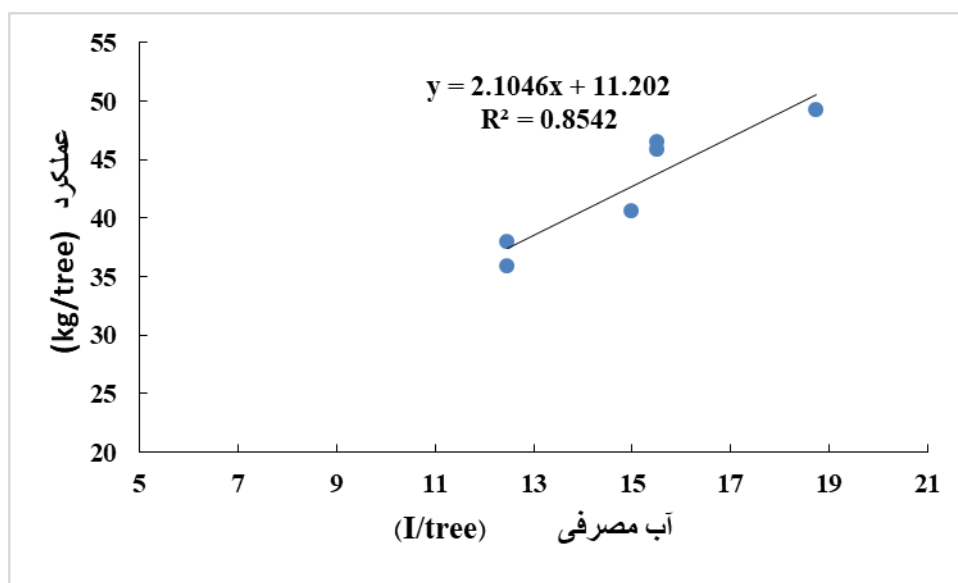
شکل ۴- عملکرد نسبت به آب مصرفی

آنالیز رابطه بین آب مصرفی و عملکرد محصول در هر کدام از روش‌های آبیاری به صورت جداگانه شد.

معادله کلی آب مصرفی نسبت به عملکرد محصول در آبیاری قطره‌ای سطحی (شکل ۵):

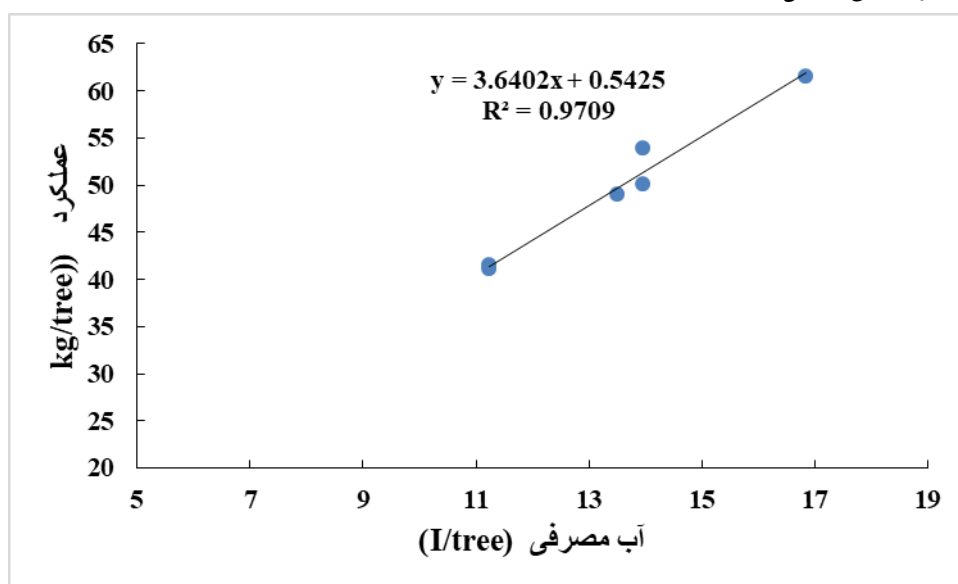
$$Y = -0.11X^2 + 5.47X - 14.40 \quad (7)$$

همان‌گونه که مشاهده شد رابطه بین آب مصرفی و عملکرد محصول بدون در نظر گرفت نوع آبیاری دارای ضریب تبیین پایینی (۰/۴۰) است، بودن این ضریب به علت عدم تفکیک بین روش‌های مختلف آبیاری مختلف بوده و به همین علت اقدام به



شکل ۵- رابطه آب مصرفی و عملکرد محصول در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی

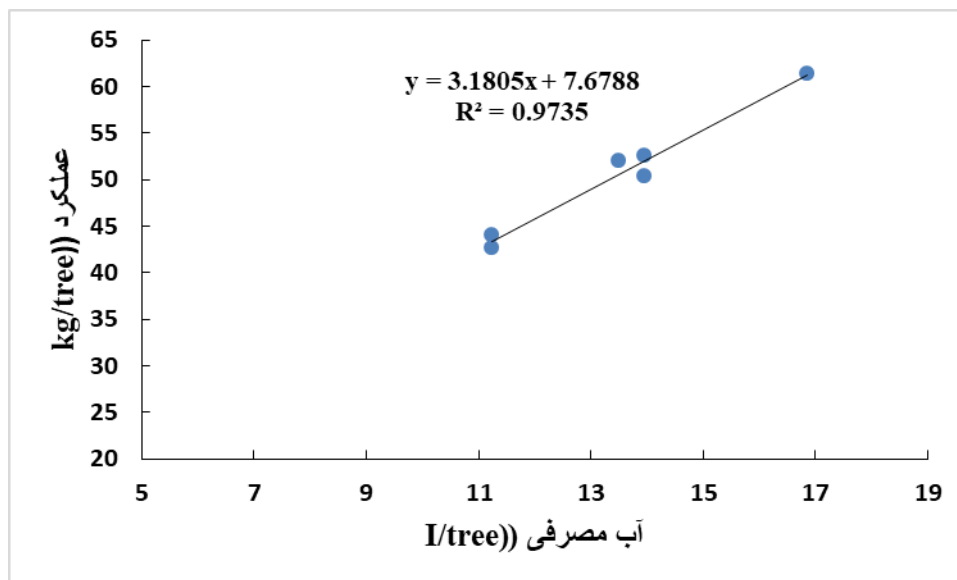
معادله کلی آب مصرفی نسبت به عملکرد محصول در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (شکل ۶):

$$Y = -0.09X^2 + 6X - 13.23 \quad (۸)$$


شکل ۶- رابطه آب مصرفی و عملکرد محصول در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

معادله کلی آب مصرفی نسبت به عملکرد محصول در آبیاری زیرسطحی عمقی (شکل ۷):

$$Y = -0.07X^2 + 5.06X - 2.60 \quad (۹)$$



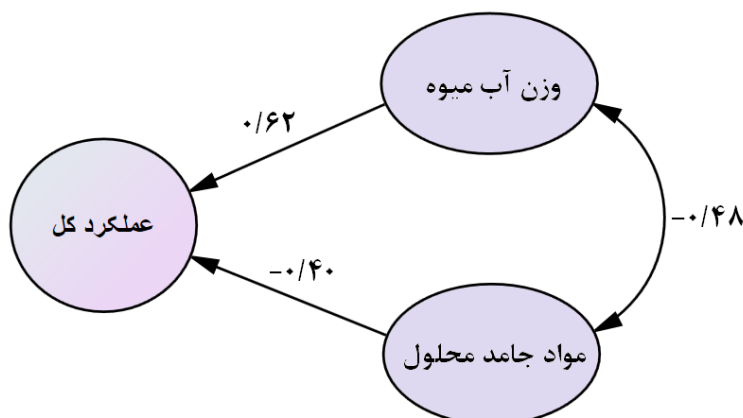
شکل ۷- رابطه آب مصرفی و عملکرد محصول در آبیاری زیرسطحی عمقی

به این صفت بود. این موضوع نشان می‌دهد که این صفت به‌طور مستقیم بر روی عملکرد اثر می‌گذارد و تأثیر غیرمستقیم آن از طریق صفات‌های دیگر کمتر است (جدول ۳ و شکل ۸).

به‌منظور تفسیر بهتر نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام، تجزیه علیت برای صفت عملکرد کل انجام شد. بیشترین اثر مستقیم مثبت بر روی عملکرد کل (۰/۶۲) مربوط به صفت وزن آب میوه است (جدول ۳) که بیشترین همبستگی با عملکرد کل (۰/۸۱) نیز مربوط

جدول ۳- اثرات مستقیم (قطر اصلی) و غیرمستقیم (قطر فرعی) صفات‌های مورد مطالعه بر عملکرد کل

صفات‌های	وزن آب‌میوه	مواد جامد محلول
وزن آب‌میوه	0.62	0.19
مواد جامد محلول	0.29	0.40



شکل ۸- تجزیه علیت عملکرد در صفات‌های زایشی و کیفی میوه

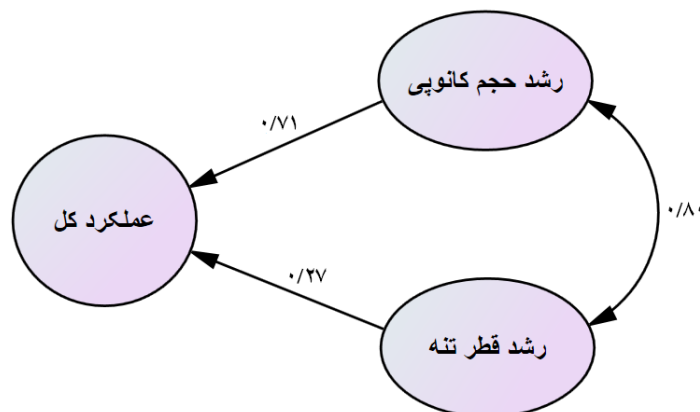
روی عملکرد کل مربوط به صفت حجم سایه‌انداز هست (۰/۷۱) که بیشترین همبستگی با عملکرد کل (۰/۹۲) نیز مربوط به این صفت بود. این موضوع نشان می‌دهد که این

به‌منظور تفسیر بهتر نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام، تجزیه علیت برای صفت عملکرد کل انجام شد. نتایج نشان داد بیشترین اثر مستقیم مثبت بر

صفت به‌طور مستقیم بر روی عملکرد اثر می‌گذارد و تأثیر غیرمستقیم آن از طریق صفات‌های دیگر کمتر است (جدول ۴ و شکل ۹).

جدول ۴- اثرات مستقیم (قطر اصلی) و غیرمستقیم (قطر فرعی) صفات‌های مورد مطالعه بر عملکرد کل

صفت‌های	حجم سایه‌انداز	قطر تنه
حجم سایه‌انداز	0.71	0.21
قطر تنه	0.57	0.27



شکل ۹- تجزیه علیت عملکرد در صفات‌های رویشی

نتیجه رسید که دور آبیاری ۱۴ روز با مقدار مصرف آب ۴۰ درصد تشنگ تبخیر کلاس A با آبیاری تراوا ضمن مصرف آب به مقدار ۴۸۸۷ متر مکعب در هکتار نسبت به تیمار شاهد (آبیاری سطحی با دور ۳۵ روز و آب مصرفی ۹۰۰۰ متر مکعب) بهترین تیمار از نظر مصرف آب با توجه به ماده خشک تولید شده، رشد رویشی و حداقل زودخندانی هست. در بررسی اثر تغییر روش آبیاری از سستی به زیرسطحی در درختان بارور پسته مشخص شد آبیاری زیرسطحی از کارایی لازم برخوردار است (محمدی‌محمدآبادی و همکاران، ۱۳۸۷). نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که کم‌آبیاری باعث نتایج مطالعات بالستر و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد کم‌آبیاری تابستانه باعث کاهش رشد رویشی، افزایش کارایی مصرف آب و ۲۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب بدون کاهش عملکرد می‌شود. در تحقیقی دیگر بالستر و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند کم‌آبیاری کنترل شده به میزان ۵۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه در تابستان باعث ۱۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب بدون تأثیر منفی در عملکرد کمی و کیفی پرتقال می‌شود. مطالعه کم‌آبیاری کنترل شده

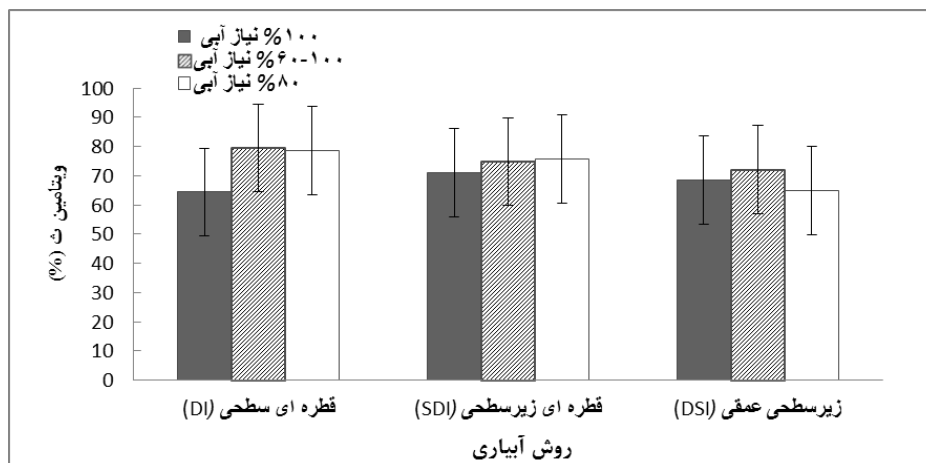
مطالعات گاسکیو و همکاران (۲۰۱۶) نشان می‌دهد اعمال کم‌آبیاری کنترل شده (کم آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی در فصل تابستان و بعد از تشکیل میوه) در پرتقال منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۱۲ تا ۲۷ درصد بدون صدمه زدن به گیاه می‌شود. نتایج مطالعات گنزالس و کاستل (۲۰۱۵) نشان داد اعمال کم‌آبیاری روی پرتقال به میزان ۵۰ درصد تبخیر و تعرق لایسیمتر رشد رویشی را تغییر می‌دهد، اما تأثیری در عملکرد ندارد.

صداقتی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی دو سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی (با دو عمق نصب ۳۰ و ۵۰ سانتیمتر) را همراه با آبیاری به مقدار ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی درختان پسته مورد ارزیابی قرار داده و به این نتیجه رسیدند آبیاری زیرسطحی با مقدار آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی با کارایی مصرف آب ۰/۲۹ کیلوگرم ماده خشک به متر مکعب آب مصرفی و ۲۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب بهترین کارایی را دارد. محمدی (۱۳۷۹) در بررسی امکان تغییر سامانه آبیاری از سطحی به زیرسطحی در درختان پسته به این

درصد کاهش می‌یابد؛ که نتایج مشابه با این تحقیق و بررسی را گزارش کرده‌اند.

بیشترین مقدار ویتامین ث میوه در تیمار کم-آبیاری متناوب ۶۰-۱۰۰ درصد نیاز آبی برای آبیاری قطره‌ای سطحی و کمترین آن در تیمار آبیاری کامل برای آبیاری قطره‌ای سطحی حاصل شد (شکل ۱۰).

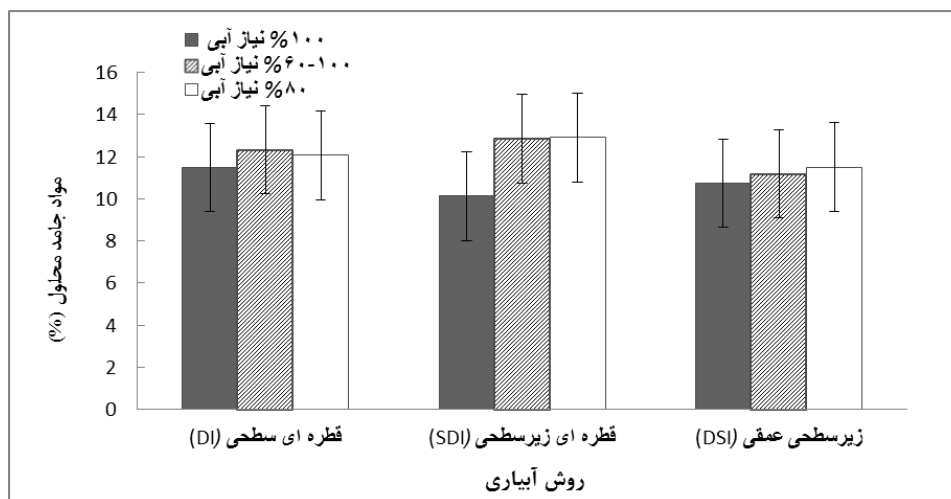
(عدم کم‌آبیاری در دوره گلدهی) در مرکبات بالغ توسط دیویس (۱۹۶۷) نشان داد کم‌آبیاری سبب صرفه‌جویی در مصرف آب به مقدار ۱۰۰۰ متر مکعب در هکتار و افزایش کارایی مصرف آب به میزان ۲۴ درصد نسبت به آبیاری کامل می‌شود، در حالی که میزان عملکرد فقط ۱۰-۱۲



شکل ۱۰- اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری بر ویتامین ث

زیرسطحی و کمترین مقدار آن در تیمار آبیاری کامل برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی حاصل شد (شکل ۱۱).

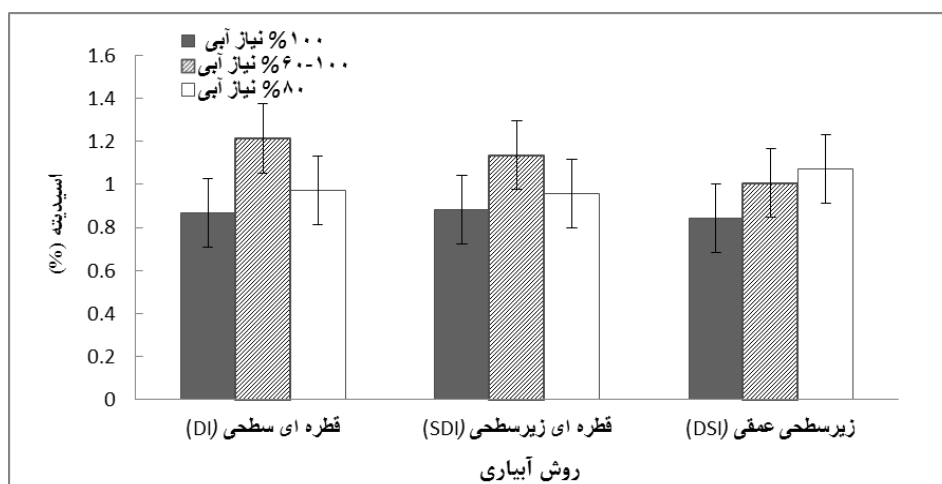
بیشترین مقدار مواد جامد محلول در تیمار کم-آبیاری یکنواخت ۸۰ درصد نیاز آبی برای آبیاری قطره‌ای



شکل ۱۱- اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری بر مواد جامد محلول

قطره‌ای سطحی و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار آبیاری کامل با آبیاری زیرسطحی عمقی بود (شکل ۱۲).

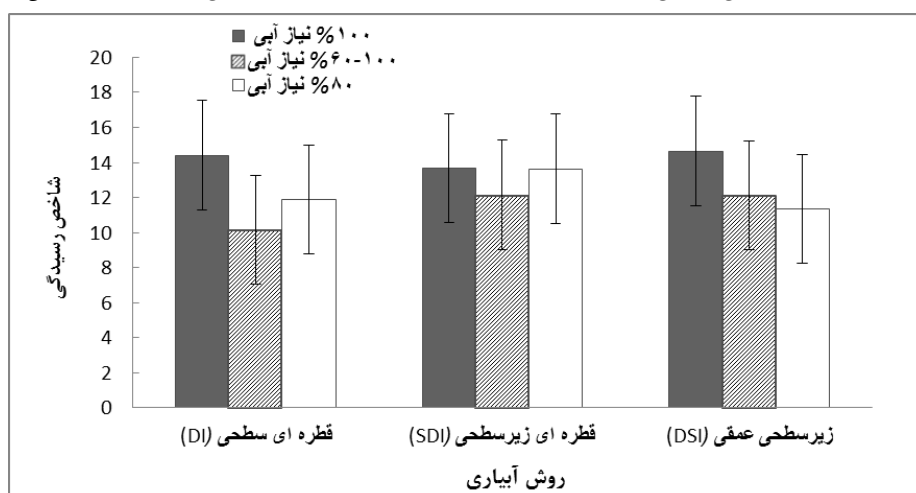
بیشترین مقدار اسیدیته میوه مربوط به تیمار کم-آبیاری متناوب ۶۰-۱۰۰ درصد نیاز آبی برای آبیاری



شکل ۱۲- اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری بر اسیدیته

در تیمار کم‌آبیاری متناوب ۶۰-۱۰۰ درصد نیاز آبی برای آبیاری قطره‌ای سطحی بدست آمد (شکل ۱۳).

بالاترین مقدار شاخص رسیدگی در تیمار آبیاری کامل برای آبیاری زیرسطحی عمقی و کمترین آن



شکل ۱۳- اثر متقابل کم‌آبیاری در روش آبیاری بر شاخص رسیدگی

مصرف آب به میزان ۱۱ درصد و نیز افزایش کارایی مصرف آب به میزان ۱۶ درصد نسبت به روش آبیاری قطره‌ای سطحی می‌شود. روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به لحاظ صفت‌های کمی میوه عملکرد بهتری را دارا می‌باشد. همچنین روش آبیاری زیرسطحی درصد آب میوه و مواد جامد محلول بیشتری نسبت به روش آبیاری قطره‌ای سطحی دارا بودند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

آبیاری زیرسطحی ضمن ۱۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب سبب افزایش کارایی مصرف آب به مقدار

احمد و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که روش آبیاری قطره‌ای زیر سطحی دارای پتانسیل بالایی در غلبه بر کمبود آب به خصوص در مناطق خشک می‌باشد. اگرچه نیاز به حفظ تعادل بین منابع آب و تولید محصولات کشاورزی با در نظر گرفتن نیاز آبی برای گیاهان و کمبود آب در هر منطقه وجود دارد. لذا این تعادل را می‌توان با اجرای فناوری‌های آبیاری مناسب و کاهش تنش در تخلیه‌ی منابع آب زیرزمینی فعلی با اتخاذ اقدامات بهینه‌سازی مصرف آب بدون کاهش تولید محصولات کشاورزی عملی نمود. با تطبیق ریشه با سامانه آبیاری زیرسطحی، این سامانه سبب صرفه‌جویی در

۲۹/۶۲ درصد نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی شد؛ بنابراین استفاده از روش آبیاری زیر سطحی برای پرتقال در جنوب کرمان مشروط به انجام آبخویی در سال‌های کم باران توصیه می‌گردد. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند راهنمای خوبی برای کشاورزان و محققین بخش کشاورزی در جهت استفاده بهینه از آب باشد.

تشکر و قدردانی

از رئیس مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان و همکاران مجموعه به دلیل حمایت‌های همه جانبه‌شان کمال تشکر و قدردانی را داریم.

تعارض منافع

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

فهرست منابع

۱. احمدپور، احمد. ۱۳۹۱. نشریه ترویجی نگرشی بر مرکبات در جنوب کرمان. مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی. سازمان جهاد کشاورزی جنوب استان کرمان. صص. ۱۱.
۲. اسفندیاری، صمد. ۱۳۹۴. نشریه ترویجی آبیاری مرکبات. مدیریت هماهنگی ترویج سازمان جهاد کشاورزی جنوب استان کرمان. صص. ۲۲.
۳. اسدی کنگرشاهی، علی، و اخلاقی امیری، نگین. ۱۳۹۵. سرمازدگی درختان میوه (مبانی، اصول و راهکارهای عملی کاهش خسارت)، جلد اول. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران. صص. ۱۸۰.
۴. پیری، حلیمه، انصاری، حسین، و پارسا، مهدی. ۱۳۹۵. بررسی عملکرد کمی و کیفی سورگوم علوفه‌ای در سطوح مختلف شوری و آب آبیاری در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۰، صص. ۴۶۷-۴۸۲. doi: 10.22092/JWRA.2017.1090103
۵. صداقتی، ناصر، حسینی فرد، سید جواد، و محمدی محمدآبادی، اکبر. ۱۳۸۹. مقایسه اثرات دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی بر رشد و عملکرد درختان بارور پسته. نشریه آب و خاک. ۲۶، صص. ۵۷۵-۵۸۵. doi: JR_JSW-26-3_005
۶. عادل‌ساردویی، محسن، اسدی، علی. کلاتری، خلیل، براتی، علی اکبر، و خسروی، حسن. ۱۳۹۹. پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت جیرفت و ارتباط آن با الگوی توسعه کشت محصولات باغی. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب/ایران. ۱۷۵، صص. ۴۴-۱۹۴. doi:10.22125/IWE.2021.133758
۷. کاظمی نژاد، احمدعلی، کارگر، علیرضا، کارگر، حسین، صدری، صدرالدین، دهقان، عباس، غضنفریان، ولی الله، و کبریایی، حسین. ۱۳۸۶. بررسی اثر آبیاری زیرسطحی در رشد و نمو درخت تاغ در مناطق بیابانی با استفاده از لوله‌های سفالی. فصلنامه جنگل و مرتع، ۹، صص. ۸۸-۹۴.
۸. محمدی محمدآبادی، اکبر، حسینی فرد، سیدجواد، و صداقتی، ناصر. ۱۳۸۷. اثرات تغییر سیستم آبیاری از روش سنتی (غرقابی) به زیرسطحی بر درختان بارور پسته در کرمان. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲، ۲۹ - ۴۵. doi: 20.1001.1.24763594.1387.12.43.4.7
۹. محمدی، اکبر. ۱۳۷۹. بررسی امکان تغییر روش آبیاری از سطحی به زیرسطحی و تعیین تاثیر سامانه بر روی میزان Early spiltting در درختان پسته بارور. گزارش پژوهشی مؤسسه تحقیقات پسته.

10. Aguado, A., Frias, J., García-Tejero, I. Romero, F. Muriel, J. L. and Capote, N., 2012. Towards the improvement of fruit-quality parameters in citrus under deficit irrigation strategies. International Scholarly Research Network. *International Scholarly Research Notices Agronomy*, 96, PP. 1-9. **doi:10.5402/2012/940896**.
11. Ahmed, T. F., Hashmi, H. N. and Ghumman., A. R., 2011. Performance assessment of subsurface drip irrigation 147 system using pipes of varying flexibility. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*, 30(3), PP. 361-370. **doi:10.5897/AJAR11.1178**.
12. 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 N. 56. FAO. Roma. Italy.
13. Ballester, C., Castel, J., Abdel-Mageed, T.A. Castel, J.R. and Intrigliolo, D.S., 2014. Longterm response of Clementina de Nules citrus trees to summer regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 138, PP. 78-84. **doi.org/10.1016/j.agwat.2014.03.003**.
14. Ballester, C., Castel, J., Intrigliolo, D.S. and Castel, J.R., 2011. Response of Clementina de Nules citrus trees to summer deficit irrigation. Yield components and fruit composition. *Agricultural Water Management*, 98(6), PP.1027-1032. **doi.org/10.1016/j.agwat.2011.01.011**
15. Berrios, P. Temnani, A. Zapata, S. Forcen-Muñoz, M. Antonio Franco, J. and Pérez-Pastor, A. 2023. Sensitivity to water deficit of the second stage of fruit growth in late mandarin trees. *Irrigation Science*, 41:35–47
16. Chalmers, D.J., Mitchell, P.D. and Van Heek, L., 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply. tree density and summer pruning. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 106, PP.307–312. **/doi.org/10.21273/JASHS.106.3.307**
17. Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. 1977., Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24. FAO Rome. Italy.
18. Davis, S. 1967. Subsurface Irrigation. *Agricultural engineering*. 48, PP.654-655.
19. Dehghanisanij, H., E. Kanani and S. Akhavan., 2017. Evaluation of corn evapotranspiration and its components and relationship between leaf area index and components in surface and subsurface drip irrigation systems. *Journal of Water and Soil*, 56(1), PP.1549-1560. **doi.org/10.22067/jsw.v31i6.64019**
20. Gasque, M., Marti, P., Graneroc, B. and Gonzalez-Altozanod, P., 2016. Effects of long-term summer deficit irrigation on Navelina Citrus trees. *Agricultural Water Management*, 169, PP. 140-147. **doi.org/10.1016/j.agwat.2016.02.028**.
21. Gonzalez-Altozano, P. and Castel, J.R., 2015. Regulated deficit irrigation in Clementina de Nules citrus trees. II: Vegetative growth. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 75(4), PP.388-392.
22. Garcia-Tejero, I., Jimenez-Bocanegra, J.A., Martinez, G. Romero, R. Duran-Zuazo, V.H. and Muriel-Fernandez, J.L., 2010. Positive impact of regulated deficit irrigation on yield and fruit quality in a commercial citrus orchard (*Citrus sinensis* (L.) osbeck, cv. Salustiana). *Agricultural Water Management*, 97, PP.614 622. **doi.org/10.1016/j.agwat.2009.12.005**
23. Mustapha, A., Driss, B., Nadia, B. and Wydad, N., 2014. Opportunities and potential integration of irrigation and aquaculture in morocco. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research* , 5, 57-63.
24. Omima, M. El-Sayed, and Mohamed E. El-Hagarey., 2014. Evaluation of Ultra-low Drip Irrigation and Relationship between Moisture and Salts in Soil and Peach (pruns persica) Yield. *Journal of American Science*, 10(8), PP.12-28.

25. Perez-Pérez, J.G., Robles, J.M. and Botía, P., 2014. Effects of deficit irrigation in different fruit growth stages on 'Star Ruby' grapefruit trees in semi-arid conditions. *Agricultural Water Management*, 33, PP.44-54.
doi.org/10.1016/j.agwat.2013.11.002
26. Quinones, A., Folgado, C., Bacab, U. Alcantara, B. and Martinez, F., 2010. Water Productivity and Fruit Quality in Deficit Drip Irrigated Citrus Orchards. *Irrigation Systems and Practices in Challenging Environments*, 28, PP.33-58.
27. Ruiz-Sanchez, M.C., Domingo, R. and Castel, J.R., 2010. Review. Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(2), PP.5-20.
28. Robles, J. M., Botía, P, and Pérez-Pérez, J. G., 2016. Subsurface drip irrigation affects trunk diameter fluctuations in lemon trees, in comparison with surface drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 165, PP.11-21.
doi.org/10.3390/agriculture14030377
29. Talebnejad, R. and Sepaskhah, A., 2015. Effect of different saline groundwater depths and irrigation water salinities on yield and water use of quinoa in lysimeter. *Agricultural Water Management*, 148, PP.177-188.
doi.org/10.21083/978-1-7770541-1-3
30. Valentín, F., Nortes, P.A., Domínguez, A. Sánchez, J.M. Intrigliolo, D.S. Alarcón, J.J. and López-Urrea, R., 2020. Comparing evapotranspiration and yield performance of maize under sprinkler, superficial and subsurface drip irrigation in a semi-arid environment. *Irrigation Science*, 38(1), PP. 105-115.

عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب گندم در تعاونی‌های آبران زمین‌های

پایین دست سد دوستی

محمد طیرانی صفریان، محمدرضا محبوبی* و علی کرامت‌زاده

دانشجوی کارشناسی ارشد توسعه کشاورزی، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده مدیریت کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

گرگان، ایران. tayerani1398@gmail.com

دانشیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده مدیریت کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

mahboobi47@gmail.com

دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مدیریت کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

alikeramatzadeh@gau.ac.ir

دریافت: خرداد ۱۴۰۳ و پذیرش: آذر ۱۴۰۳

چکیده

این پژوهش با هدف تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید محصول گندم و عوامل مؤثر بر آن در تعاونی‌های آبران زمین‌های پایین دست سد دوستی شهرستان سرخس در استان خراسان رضوی انجام شد. در این پژوهش، بهره‌وری فیزیکی از طریق شاخص CPD^1 (میزان محصول تولیدی به ازای هر مترمکعب آب مصرفی) و بهره‌وری اقتصادی با استفاده از شاخص‌های BPD^2 (درآمد به ازای هر مترمکعب آب مصرفی) و $NBPD^3$ (درآمد خالص به ازای هر مترمکعب آب مصرفی) محاسبه گردید. اطلاعات لازم از طریق تکمیل ۲۷۴ پرسشنامه از کشاورزان گندم کار عضو تعاونی‌های آبران گردآوری شد. نتایج نشان داد که برای محصول گندم شاخص CPD معادل $1/35$ کیلوگرم بر مترمکعب، شاخص BPD معادل 152920 ریال بر مترمکعب و شاخص $NBPD$ معادل 94710 ریال بر مترمکعب است. نتایج آزمون مقایسه میانگین نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب گروه‌های مختلف پاسخگویان بر حسب سطح تحصیلات، ارتباط با مروج، شرکت در دوره‌های آموزشی، شکل هندسی مزرعه و تعداد قطعات زمین تحت مالکیت وجود دارد. نتایج آزمون همبستگی نشان داد که بین متغیرهای سابقه کار کشاورزی، درآمد، تعداد اعضای فعال خانواده در کار کشاورزی، تعداد دوره‌های آموزشی شرکت کرده، دفعات مراجعه به مروج، مولفه‌های سرمایه اجتماعی، اقدامات فنی و زراعی، رابطه مثبت و معنی‌دار وجود داشت. همچنین، رابطه بین متغیرهای فاصله منبع تا مزرعه و مدت هر نوبت آبیاری با شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب به گونه‌ای معنی‌دار منفی بود. نتایج تحلیل رگرسیون نشان داد که متغیر درآمد کشاورزان با تأثیر مثبت، بیشترین نقش را در افزایش بهره‌وری فیزیکی آب (CPD) داشت و متغیر مدت زمان هر نوبت آبیاری با تأثیر منفی، بیشترین نقش را در بهره‌وری اقتصادی (BPD و $NBPD$) نشان داد. با توجه به تأثیر منفی متغیر مدت زمان هر نوبت آبیاری بر بهره‌وری اقتصادی آب، انجام آبیاری متناسب با نیاز گندم و با روشی که حجم آب کمتری مصرف شود، پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد به ازای حجم آب، بهره‌وری اقتصادی آب، سرمایه اجتماعی، مدیریت آب

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: mahboobi47@gmail.com



¹ -Crop Per Drop

² -Benefit Per Drop

³ - Net Benefit Per Drop

مقدمه

در شرایط کنونی، بیشتر مناطق جهان با کمبود آب و مشکل جدی محیط‌زیستی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی روبرو شده‌اند، به‌طوری‌که رقابت سنگینی بر سر منابع کمیاب آب، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به وجود آمده است. از این‌رو مدیریت منابع آب از موضوعی فرعی به موضوعی اصلی و دارای اهمیت زیاد تبدیل شده است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۶). مقایسه کشورهای واقع در مناطق معتدل با کشورهای مستقر در مناطق خشک و نیمه‌خشک زمین نشان می‌دهد که کمبود آب، به‌ویژه آب با کیفیت خوب یکی از عوامل مهم بازدارنده توسعه کشاورزی، اقتصادی و اجتماعی در اکثر کشورهای در حال توسعه، به‌خصوص کشورهای واقع در کمربند خشک و نیمه‌خشک و گرم جهان است (رضایی و همکاران، ۱۳۹۱).

ایران به لحاظ جغرافیایی در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان قرار گرفته است. کشوری که بر اساس آمار با متوسط بارش سالانه ۲۲۸ میلی‌متر در حدود ۲۰ درصد متوسط جهانی (۱۱۳۰ میلی‌متر) و در رتبه ۱۶۳ و در بین همسایگان خود بعد از عراق در بدترین موقعیت از نظر بارش قرار گرفته است (سهرابی، ۱۴۰۱). اهمیت آب در کشور به دلایل محدودیت منابع آب از یک سو و پایین بودن میزان راندمان آبیاری و از بین رفتن بخش زیادی از منابع آب دو چندان است (ابراهیم‌نژاد و همکاران، ۱۴۰۰). به‌رغم مثبت بودن متوسط رشد شاخص بهره‌وری کل عوامل تولید بخش کشاورزی در یک دهه گذشته (محمودی و همکاران، ۱۴۰۰)، سرانه مصرف آب در بخش شرب و میزان مصرف آب در صنعت و کشاورزی جهت تولید محصولات در ایران با استانداردهای بین‌المللی بسیار فاصله داشته و متأسفانه در بسیاری از موارد، سیاست بهینه‌سازی مصرف به‌درستی و در بخش مناسب اعمال نگردیده است (کارگری و مستوری، ۱۳۸۸). همچنین، بر اساس آمار و ارقام مربوط به تولید محصولات زراعی و باغی کشور در سال‌های گوناگون، بهره‌وری مصرف آب از ۰/۹۴ تا ۱/۲۹

کیلوگرم بر مترمکعب متغیر و میانگین آن ۱/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب بوده و راندمان کل آبیاری محصولات کشاورزی در کشور حدود ۴۰ درصد است. علاوه بر این، میانگین شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در محصولات گندم، برنج و ذرت در ایران به ترتیب، ۰/۷۷، ۰/۴۲ و ۱/۱۷ کیلوگرم بر مترمکعب است که میانگین این شاخص در جهان برای این سه محصول، به ترتیب برابر، ۱/۰۹، ۱/۰۹ و ۱/۱۸ است. با نگاهی به این ارقام ملاحظه می‌شود شاخص بهره‌وری مصرف آب در کشور در طی سال‌های گذشته افزایش یافته است که به معنای اثربخشی فعالیت‌های انجام شده است، ولی هنوز مقدار این شاخص در کشور از میانگین جهانی بسیار پایین‌تر است (ملارضا قصاب و همکاران، ۱۳۹۹). در چنین شرایطی، اقتصاددانان پیشنهاد می‌کنند برای حل مشکل تولید غذا از منابع محدود و جلوگیری از واردات بی‌رویه محصولات کشاورزی، تنها راه موجود افزایش بهره‌وری فیزیکی و در نهایت بهبود بهره‌وری اقتصادی آب است. از لحاظ قانونی نیز به استناد ماده ۲۵ قانون افزایش بهره‌وری بخش کشاورزی و منابع طبیعی، بر اهمیت تعیین شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی و اقدامات اجرایی برای بهبود آن تأکید شده است (حیدری، ۱۳۹۳). هدف از بهبود بهره‌وری آب، تولید غذا و درآمد بیشتر، معیشت بهتر و خدمات اکوسیستمی، با آب کمتر است. روش‌های مورد استفاده برای دستیابی به این امر شامل ذخیره آب، آبیاری تکمیلی، اجرای روش‌های کم آبیاری، آبیاری دقیق و حفاظت از آب و خاک است (مدلن و همکاران، ۲۰۱۰).

بهره‌وری به میزان و چگونگی استفاده از نهاده‌ها و یا عوامل تولید در یک فرآیند تولید ویژه، یک دوره معین و یک محدوده جغرافیایی مشخص برای دستیابی به اهداف تعیین‌شده مربوط است. به‌طور کلی بهره‌وری آب کشاورزی از سه دیدگاه قابل بررسی است. بهره‌وری از دیدگاه فیزیکی که در آن بهره‌وری بیشتر آب کشاورزی به معنای تولید محصول بیشتر به ازای واحد حجم آب است. بهره‌وری از دیدگاه مالی که بر اساس این دیدگاه، بهره‌وری بیشتر آب کشاورزی به معنای کسب سود بیشتر به ازای واحد حجم

آب است و بهره‌وری از دیدگاه اشتغال که در آن بهره‌وری بیشتر آب کشاورزی به معنای ایجاد اشتغال بیشتر به ازای واحد حجم آب است (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲). افزایش بهره‌وری آب می‌تواند به تولید کشاورزی بیشتر منجر شود و با منابع آبی کمتر می‌توان مزایای بیشتری به دست آورد (یان و همکاران، ۲۰۲۰)، از این رو، لازم است موضوع بهره‌وری آب کشاورزی به عنوان یک عامل مؤثر در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌سازی‌ها مدنظر قرار گیرد (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲). شاخص بهره‌وری آب به مقدار محصولی گفته می‌شود که از هر واحد حجم آب مصرفی به دست می‌آید (محمدپورهنگرانی و ارسلان‌بد، ۱۳۹۴). ارتقاء بهره‌وری آب می‌تواند از دو طریق مستقیم (از طریق افزایش عملکرد محصول، کاهش مصرف آب یا تلفیقی از هر دو) و غیرمستقیم (کاهش ضایعات، افزایش مکانیزاسیون و...) انجام شود (عباسی و همکاران، ۱۳۹۴). اندازه‌گیری و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب در بخش کشاورزی ایران به دلیل محدودیت کمی و کیفی این نهاده ارزشمند از جایگاه خاصی برخوردار است (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۹)؛ بنابراین، محاسبه بهره‌وری آب و عوامل مؤثر بر آن می‌تواند راهکارهای مناسبی را برای مدیران واحدهای تولیدی و برنامه‌ریزان کلان اقتصادی ارائه نماید. همچنین بهبود بهره‌وری آب کشاورزی یکی از مهم‌ترین موضوعاتی است که در سال‌های اخیر مورد توجه جدی مجامع علمی مرتبط با آبیاری و کشاورزی قرار گرفته است و افزایش بهره‌وری آن می‌تواند راهکار مهمی در راستای تحویل حداکثر سود، توسعه پایدار، امنیت غذایی، اشتغال مولد و بهبود معیشت تولیدکنندگان محصولات کشاورزی باشد (ابراهیم‌نژاد و همکاران، ۱۴۰۰).

گزارش موسسه بین‌المللی مدیریت آب^۴ حاکی از این است که کشور ایران تا سال ۲۰۲۵ باید بتواند ۱۱۲ درصد به منابع آب قابل استحصال خود بیفزاید که با توجه به روند روزافزون نیاز بخش‌های مختلف و به‌خصوص بخش کشاورزی به آب، این مشکل در سال‌های آینده

حادتر خواهد شد (سیدان و قدمی فیروزآبادی، ۱۳۹۹). در چنین شرایطی یکی از راه‌های مؤثر و عملی برای استفاده بهینه، صرفه‌جویی و مدیریت صحیح مصرف آب، توجه به بهره‌وری آب و عوامل مؤثر جهت ارتقاء آن خواهد بود. با درک این واقعیت که بیشتر کشورها از جمله ایران از بحران مدیریت آب رنج می‌برند تا کمبود منابع آب و قبول این اصل که دوران دستیابی به منابع آبی جدید قابل‌ملاحظه برای توسعه کشاورزی سپری‌شده، باید چرخش اساسی در سیاست‌ها و برنامه‌های مصرف آب ایجاد کرد و سیاست‌های جدیدی در راستای انتخاب و تحقق هدف بهره‌وری آب در تولیدات کشاورزی در پیش گرفت، از جمله این که به جای بهره‌وری زمین، بهره‌وری آب، ملاک کلیه تصمیم‌ها، رفتارها و اقدامات در بخش کشاورزی قرار گیرد (کشاورز و دهقانی‌سانج، ۱۳۹۲).

حوضه آبریز سد دوستی به مساحت تقریبی ۶۳۰ کیلومترمربع از کوه‌های مرکزی افغانستان (هندوکش) تا سد دوستی در انتهای حوضه آبریز کشیده شده است. متوسط بارش و دمای سالیانه در این حوضه آبریز به ترتیب در حدود ۲۷۶ میلی‌متر و ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. رودخانه هریرود که در این حوضه جریان دارد یکی از منابع اصلی آب ورودی به بخش‌هایی از مناطق شمال شرقی ایران و جنوب ترکمنستان و تأمین‌کننده نیاز شرب و کشاورزی جمعیت زیادی از مردم بوده و همواره به‌عنوان یکی از نگرانی‌های این دو کشور به لحاظ تداوم جریان ورودی تلقی شده است (نظری مجدر و همکاران، ۱۳۹۸). دشت سرخس در شمال شرق استان خراسان رضوی و در مجاورت کشور ترکمنستان، از جمله آبخوان‌هایی است که با توجه به روند رو به رشد استحصال آب از آن به دلیل توسعه کشاورزی و همچنین خشکسالی‌های اخیر، فشار بر آن افزایش‌یافته که از پیامدهای آن کاهش ذخیره ایستای آبخوان بوده است. از طرف دیگر، با احداث سد دوستی سیلاب‌های ورودی هریرود به دشت سرخس محدود شده

که این موضوع افت بیشتر سطح آب زیرزمینی در بخش-های مختلف به‌ویژه بخش شمالی آبخوان را در پی داشته است. کاهش مقدار و تغییر در کیفیت منابع آب زیرزمینی ازجمله اثرات کمی و کیفی افت سطح آب زیرزمینی بوده است. میزان برداشت پایدار از آبخوان سرخس حدود ۲۴۵ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده که معادل حدود ۸۰ درصد برداشت فعلی از آبخوان است، بنابراین لازم است برای جلوگیری از تهی‌شدگی بیشتر آبخوان، میزان برداشت از آن حداقل ۲۰ درصد کاهش یابد. کاهش برداشت از آبخوان از حدود ۳۰۷ میلیون مترمکعب در سال در شرایط فعلی به برداشت پایدار حدود ۲۴۵ میلیون مترمکعب در سال، ضمن کاهش ذخیره منفی آبخوان به صفر، پایداری در تغییرات زمانی سطح ایستابی آبخوان را منجر خواهد شد. ازاین‌رو، نظر به اهمیت منابع آب زیرزمینی در این دشت مرزی، تعیین حد مجاز و بهینه برداشت از منابع آب در راستای مدیریت بهینه این منبع اقتصادی ارزشمند ضروری است (جعفری، ۱۳۹۸).

برای نیل به این هدف، تعاونی‌های آب‌بران طی دهه ۱۳۸۰ با حمایت شرکت آب منطقه‌ای استان و با هدف اصلی توزیع منابع آب تنظیم‌شده سدها تأسیس شده‌اند. در همین راستا، در زمین‌های پایین‌دست سد دوستی نیز شش تعاونی به نام‌های لقمان، اتحاد، نوروزآباد، اتفاق، انقلاب و سنگر با اهداف انتقال مدیریت منابع آب تنظیم‌شده بخش کشاورزی و شبکه‌های آبیاری، افزایش بهره‌وری منابع آب، کاهش ناراضیاتی‌های حق‌آبه‌بران از طریق کاهش تصدی-گری بخش دولتی و کاهش دعاوی و اختلافات بین بهره‌برداران تشکیل شده است (کدیور و همکاران، ۱۳۹۳).

ازآنجا که میزان بهره‌وری آب کشاورزی در سطح این تعاونی‌ها مشخص نیست و از سوی دیگر تاکنون مطالعه‌ای با هدف بررسی عوامل مختلف فردی و روانشناختی، اجتماعی، اقتصادی، فنی-مدیریتی و زراعی مؤثر بر بهره‌وری آب کشاورزی در آن‌ها انجام نشده است، این پژوهش با هدف تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب گندم و عوامل مؤثر بر آن در تعاونی‌های آب‌بران زمین‌های

پایین‌دست سد دوستی شهرستان سرخس در استان خراسان رضوی اجرا شد. بدیهی است در صورت شناخت صحیح عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب در تعاونی‌های آب‌بران و برنامه‌ریزی مبتنی بر آن می‌توان زمینه را برای استفاده بهینه کشاورزان از آب فراهم ساخت.

نگاهی به سوابق مطالعاتی مرتبط با موضوع تحقیق نشان می‌دهد عوامل مختلفی بر بهره‌وری آب کشاورزی تأثیر دارند از جمله این‌که حیدری (۱۳۹۳) در پژوهشی با هدف ارزیابی شاخص بهره‌وری آب کشاورزی و عملکرد سیاست‌ها و برنامه‌های مدیریت آب کشور نشان داد برای اثربخشی بیشتر اقدامات سازه‌ای و رفع خلأهای موجود در تحقق مدیریت مصرف آب کشاورزی، باید توجه جدی به موارد غیرسازه‌ای و نرم‌افزاری به‌ویژه مقوله‌های اجتماعی و اقتصادی و فرهنگی داشت. کدیور و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی عملکرد اقتصادی و اجتماعی تعاونی‌های آب‌بران حوزه پایاب سد دوستی شهرستان سرخس نشان دادند تعاونی‌ها در بعد اقتصادی در زمینه افزایش تولیدات کشاورزی از طریق استفاده بهینه از منابع آب تنظیم‌شده سد دوستی، ایجاد رقابت در تولید، افزایش درآمد کشاورزان و توزیع و فروش بهتر محصولات تولیدی موفق بوده‌اند اما در زمینه استفاده از ظرفیت‌های قانونی برای تقویت زیرساخت‌های اقتصادی و اجتماعی ناموفق بوده‌اند. محمدپورهنگروانی و ارسلان‌بد (۱۳۹۴) با بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری اقتصادی آب در محصولات زراعی شهرستان ارومیه نشان دادند کاهش هزینه‌های زراعی باعث افزایش بهره‌وری در محصولات می‌شود. همچنین، به کار بستن سیاست‌های مناسب برای ادغام و یکپارچگی واحدهای کوچک و پراکنده ممکن است باعث صرفه‌جویی در هزینه‌ها، افزایش تولید و افزایش بهره‌وری شود. پژوهش حسنی و همکاران (۱۳۹۶) با هدف نشان دادن نقش عوامل مؤثر بر رفتارهای مدیریت منابع آب کشاورزان در منطقه دشت بهار همدان، نشان دادند عوامل درک آسیب‌پذیری، درک شدت تخریب و درک موانع حفاظت کشاورزان از منابع آب با رفتارهای مدیریتی منابع آب کشاورزان ارتباط

معناداری دارد. سیدان و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی با بررسی عوامل مؤثر بر ارتقاء بهره‌وری آب محصولات زراعی در استان همدان نشان دادند که هفت عامل شامل فنی و مدیریتی، زراعی، فیزیکی، نهادی، بازار، فردی و اجتماعی بر ارتقاء بهره‌وری آب محصولات زراعی مؤثر هستند ولی نقش عوامل فنی و مدیریتی بیشتر است. نتایج پژوهش حقایقی مقدم و دهقانی‌سانج (۱۳۹۷) با هدف بررسی بهره‌وری آب کشاورزی در استان خراسان رضوی نشان داد بهره‌وری آب در محصولات زراعی و باغی استان در وضع موجود $1/2$ کیلوگرم بر مترمکعب است که طی یک برنامه ۵ و ۱۰ ساله باید به اعداد $1/55$ و $1/9$ کیلوگرم بر مترمکعب ارتقاء یابد. ملارضا قصاب و همکاران (۱۳۹۹) با محاسبه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات زراعی و عوامل مؤثر بر آن در شهرستان دزفول دریافتند بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی محصول گندم به ترتیب معادل $1/34$ کیلوگرم و $12/4$ هزار ریال بر مترمکعب است. نتایج تحلیل رگرسیون نیز نشان داد که متغیرهای نوع محصول، سن، سابقه کار کشاورزی، تحصیلات، سطح زیر کشت، داشتن شغل غیرکشاورزی، نوع منبع آب و روش آبیاری بر بهره‌وری فیزیکی و متغیرهای سن و سابقه کار کشاورزی، شغل غیرکشاورزی، بافت خاک و نوع منبع آب بر بهره‌وری اقتصادی آب مؤثرند. نتایج پژوهش فرح‌زا و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در محصول گندم در دشت مغان به ترتیب، $1/27$ کیلوگرم بر مترمکعب و ۱۰۹۸ تومان بر مترمکعب است که با توجه به این نتیجه این محصول از نظر بهره‌وری فیزیکی آب و اقتصادی در وضعیت نسبتاً ضعیف قرار داشته است. در تحقیقی با هدف ارزیابی مزرعه‌ای بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید گندم در شهرستان‌های اهواز و دشت آزادگان، ورجاوند و همکاران (۱۴۰۰) دریافتند تعداد دفعات آبیاری کمتر ولی با عمق بیشتر باعث افزایش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب می‌شود. همچنین با افزایش مقدار شوری آب، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب کاهش می‌یابد. ابراهیم‌نژاد و همکاران (۱۴۰۰) در تحقیقی با هدف

بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید پرتقال در شهرستان قائم‌شهر نتیجه گرفتند شاخص CPD معادل $9/6$ کیلوگرم بر مترمکعب، شاخص BPD معادل ۴۷۵۰۰ ریال بر مترمکعب و شاخص NBPD در سه نرخ بهره ۱۰، ۱۲ و ۱۵ درصد به ترتیب معادل ۲۹۰۰۰، ۲۸۰۰۰ و ۲۶۶۰۰ ریال بر مترمکعب است. دبی چاه، روزهای استفاده از چاه، مدت‌زمان صرف شده برای آبیاری، تعداد دفعات آبیاری، سن درختان، فاصله درختان، سن باروری درختان، هزینه سم و هزینه کود از عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب می‌باشند. در بین متغیرهای مذکور متغیر مدت‌زمان صرف شده برای آبیاری از طریق تأثیر بر میزان آب آبیاری، بیشترین تأثیر را بر بهره‌وری فیزیکی آب داشته است. رایگا و نصراللهی (۱۴۰۰) در پژوهشی در زمینه اثر سرمایه اجتماعی بر مصرف آب گرفت با افزایش سرمایه اجتماعی مدیریت مصرف آب بهبود می‌یابد. اینانلو طایفه یغمورلو و همکاران (۱۴۰۲) با بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب در استان قزوین دریافتند مهم‌ترین این عوامل شامل اقدامات زراعی-مدیریتی، اقدامات فنی-زیرساختی و مدیریت آبیاری است. بلومی و ماتوسی (۲۰۰۶) در پژوهشی با بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب آبیاری محصول خرما در کشور تانزانیا نشان دادند میانگین بهره‌وری آب آبیاری معادل $0/185$ کیلوگرم بر مترمکعب است و مهم‌ترین عامل مؤثر بر بهره‌وری آب آبیاری میزان شوری آب است. علی و تالوکودر (۲۰۰۸) عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب در بخش کشاورزی را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند عوامل تأثیرگذار بر بهره‌وری آب کشاورزی شامل نوع محصول، میزان مصرف آب، تکنولوژی آبیاری، وارپته گیاه، عوامل اقتصادی و عوامل خاک هستند. گارسیا تاجرو و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی بهره‌وری آب و واکنش درختان مرکبات به کم‌آبی در اسپانیا نتیجه گرفتند با صرفه‌جویی در میزان مصرف آب تا ۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار، عملکرد بین ۱۰ تا ۱۲ درصد کاهش ولی بهره‌وری آب ۲۴ درصد افزایش می‌یابد. اوباسی و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی با بررسی

عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب در نیجریه نتیجه گرفتند عواملی نظیر سطح تحصیلات، تجربه کار کشاورزی، اندازه مزرعه، ملاقات با مروج، میزان کود مصرفی و استفاده از نیروی کارگر اثر مثبت و سن اثر منفی بر بهره‌وری دارد. لی و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه خود بر روی بهره‌وری محصولات مختلف در دو سال ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ دریافتند کمترین بهره‌وری مربوط به محصول گندم به ترتیب برابر ۱/۱۹ و ۱/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب برای دو سال یاد شده بوده است. ژیاوولین و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای با بررسی سهم عملکرد زراعی و عوامل آب و هوایی بر بهره‌وری آب آبیاری در شمال غربی چین نشان دادند عوامل زراعی شامل آبیاری، تلقیح، فیلم‌های کشاورزی و سموم کشاورزی و عوامل اقلیمی چون میانگین دما و تابش خورشید به افزایش بهره‌وری آب آبیاری کمک کرده و سهم عوامل زراعی بیشتر از عوامل اقلیمی است. سان و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی با هدف بررسی حساسیت بهره‌وری آب محصول به تغییرات عوامل کشاورزی و آب و هوایی در چین، بهره‌وری آب محصول گندم را در سطح مزرعه معادل ۰/۸۵ بر مترمکعب محاسبه کردند. از بین عوامل اقلیمی، بهره‌وری آب دارای حساسیت بالاتر نسبت به رطوبت نسبی و سرعت باد و حساسیت کمتر نسبت به ساعات آفتابی بود. در بین متغیرهای کشاورزی، بهره‌وری آب حساسیت بیشتری به راندمان آبیاری و حساسیت کمتری به میزان کود مصرفی داشت. افزایش نهاده‌های کشاورزی و راندمان آبیاری از عوامل اصلی افزایش بهره‌وری آب بودند. لی و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی با هدف تجزیه و تحلیل کمی بهره‌وری آب آبیاری در شمال غربی چین دریافتند عوامل محرک اصلی بهره‌وری آب آبیاری، کوددهی و تراکم کاشت است. همچنین، از نظر کشاورزان در مقیاس کوچک، بهبود بهره‌وری آب آبیاری باید عمدتاً با اقدامات مدیریتی کنترل شود، درحالی‌که در مقیاس وسیع، تفاوت‌های مکانی در عوامل خاک نیز باید توسط دولت در نظر گرفته شود. وی و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی بهره‌وری مصرف آب کشاورزی در حوضه‌های

رودخانه داخلی در شمال غربی چین دریافتند ظرفیت مدیریت و سخت‌گیری آن در حوزه‌های مختلف، فن‌آوری آبیاری و شرایط تسهیلات و خودگردانی کشاورزان، از عوامل کلیدی مؤثر بر بهره‌وری آب آبیاری است. علاوه بر این، ویژگی‌های کشاورز و خانواده، تفاوت‌های طبیعی و شرایط و توسعه اقتصادی و اجتماعی در مناطق مختلف نیز تأثیر به‌سزایی در بهره‌وری آب دارد. یان و همکاران (۲۰۲۰) با ارزیابی بهره‌وری آب کشاورزی در مناطق خشک چین دریافتند تنظیم ساختار کشت می‌تواند راهی مؤثر برای بهبود بهره‌وری آب باشد. موجری و مازویمای (۲۰۲۱) با ارزیابی بهره‌وری آب در بین کشاورزان خرده مالک در زیمبابوه دریافتند کشت گونه‌های گیاهی مقاوم به خشکی که به آب کمتری احتیاج دارند، ذخیره بارش، اقدامات حفظ آب‌وخاک و استفاده از روش‌های کارآمدتر کاربرد آب، بر بهره‌وری آب مؤثرند.

بررسی نظری و سوابق مطالعات انجام‌شده در زمینه بهره‌وری آب کشاورزی نشان می‌دهد افزایش بهره‌وری فیزیکی و در نهایت بهبود بهره‌وری اقتصادی آب، تنها راه حل مشکل تولید غذا از منابع محدود و جلوگیری از واردات بی‌رویه محصولات کشاورزی است و لازم است موضوع بهره‌وری آب کشاورزی به‌عنوان یک عامل مؤثر در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌سازی‌ها مدنظر قرار گیرد. همچنین، بهره‌وری آب کشاورزی تحت تأثیر عوامل فردی، اجتماعی، اقتصادی، زراعی، فنی و مدیریتی، اقلیمی، نهادی و بازار است. بااین‌حال، اگرچه مطالعات انجام‌شده در ایران در زمینه بهره‌وری آب بر سنجش عوامل مختلف متمرکز شده‌اند ولی عوامل اجتماعی، فنی و مدیریتی، زراعی، نهادی و بازار کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند، این در حالی است که افزایش بهره‌وری آب کشاورزی دستاورد بهبود عملکرد عوامل نامبرده است. همچنین، اغلب مطالعات پیشین فاقد یک تحلیل منطقی از رابطه بین تأثیر عوامل مختلف بر بهره‌وری آب کشاورزی هستند که در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است. در نتیجه، با توجه به اهمیت زیاد موضوع بهره‌وری آب در کشاورزی شهرستان سرخس و

در سطح تعاونی‌های آب‌بران آن، سؤالات قابل طرح این است که میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در کشت غالب یعنی گندم در سطح تعاونی‌های آب‌بران به چه میزان است؟ و چه عواملی بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید محصول گندم اثر معنی‌داری دارند؟ بر این اساس، در این پژوهش ابتدا به محاسبه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید گندم پرداخته شده و سپس عوامل مؤثر بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب گندم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق از لحاظ هدف، کاربردی و از لحاظ درجه نظارت و کنترل، میدانی و از لحاظ گردآوری داده‌ها از نوع تحقیقات توصیفی است. همچنین تحقیق حاضر را به دلیل استفاده از پرسشنامه می‌توان در زمره‌ی تحقیقات پیمایشی نیز طبقه‌بندی کرد. ابزار گردآوری داده‌ها، پرسشنامه بود. این پرسشنامه در قالب چندین قسمت شامل: ویژگی‌های فردی، اقتصادی و اجتماعی کشاورزان، اقدامات مدیریت مزرعه، ویژگی‌های مزرعه، اقدامات فنی و اقدامات زراعی تدوین شد. روایی پرسشنامه از سوی اساتید راهنما و مشاور مورد تأیید قرار گرفت و پایایی آن با انجام یک طرح مطالعه راهنما روی ۳۰ نمونه خارج از جامعه آماری و محاسبه ضریب آلفای کرونباخ مشخص شد. ضریب آلفای کرونباخ برای سؤالات اقدامات فنی، اقدامات زراعی و سرمایه اجتماعی (کل)، به ترتیب، ۰/۸۷۱، ۰/۸۰۱ و ۰/۹۶۹ بود که حاکی از این است که ابزار سنجش در حد قابل قبولی از پایایی لازم برخوردار بوده است. جامعه آماری، شامل کلیه اعضای شش تعاونی فعال آب‌بران در زمین‌های پایین‌دست سد دوستی به نام‌های لقمان، اتحاد، نوروزآباد، اتفاق، انقلاب و سنگر به تعداد ۹۵۰ نفر بودند که با استفاده از جدول کرجسی و مورگان ۲۷۴ نفر از آنان به روش تصادفی با انتساب متناسب به‌عنوان نمونه‌های تحقیق انتخاب شدند. کلیه محاسبات آماری تحقیق با کمک

نرم‌افزارهای SPSS، Excel و Eviews و استفاده از روش‌های آماری توصیفی و استنباطی انجام شد. علاوه بر روش‌های آمار توصیفی (میانگین، انحراف معیار، فراوانی، درصد فراوانی و درصد تجمعی)، به‌منظور بررسی همبستگی بین سه شاخص بهره‌وری آب آبیاری و متغیرهای سن، تحصیلات، سابقه کار کشاورزی، درآمد کار کشاورزی، تعداد اعضای فعال در کار کشاورزی، فاصله منبع تا مزرعه، دبی آب مزرعه، دفعات آبیاری گندم، مدت هر نوبت آبیاری، تعداد دوره‌های آموزشی شرکت کرده، دفعات مراجعه به مروج، سرمایه اجتماعی، اقدامات فنی، مدیریت مزرعه و اقدامات زراعی، از ضریب همبستگی اسپیرمن و برای بررسی رابطه خطی بین متغیرهای مستقل با سه شاخص بهره‌وری آب آبیاری از رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد.

رایج‌ترین شاخص‌های بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، شامل شاخص تولید محصول به ازای حجم آب مصرفی^۵ (CPD)، شاخص درآمد ناخالص به ازای حجم آب مصرفی^۶ (BPD) و درآمد خالص (سود) به ازای حجم آب مصرفی^۷ (NBPD) است (ابراهیم نژاد و همکاران، ۱۴۰۰). شاخص تولید محصول به ازای حجم آب مصرفی، یکی از شاخص‌های مطرح در خصوص سنجش مقدار بهره‌وری آب در بخش کشاورزی است. این شاخص در واقع نسبت میزان محصول تولیدشده (کیلوگرم در هکتار)، به حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) است (رابطه ۱). هر چه این شاخص بیشتر باشد معرف بهره‌وری بالا و مصرف مناسب‌تر آب آبیاری است (بیات و بابازاده، ۱۳۹۱).

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

در شاخص درآمد ناخالص به ازای حجم آب مصرفی، میزان درآمد ناخالص (ریال) نسبت به مقدار آب مصرف‌شده (مترمکعب) در نظر گرفته می‌شود (رابطه ۲).

$$BPD = \frac{\text{درآمد ناخالص}}{\text{مقدار آب مصرفی}} \quad (2)$$

⁷-Net Benfit Per Drop

⁵-Crop Per Drop

⁶-Benefit Per Drop

چون شاخص درآمد ناخالص به ازای حجم آب مصرفی یک شاخص ناقص برای انجام مطالعات است، شاخص درآمد خالص (سود) به ازای حجم آب مصرفی، نوع اصلاح‌شده آن است که یکی از بهترین شاخص‌ها برای سنجش بهره‌وری اقتصادی آب کشاورزی است. در این شاخص برخلاف شاخص درآمد ناخالص به ازای حجم آب مصرفی، به‌جای در نظر گرفتن درآمد ناخالص در صورت کسر، میزان درآمد خالص (سود) در صورت کسر قرار می‌گیرد (رابطه ۳) (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲).

$$NBPD = \frac{\text{درآمد خالص (سود)}}{\text{مقدار آب مصرفی}} \quad (۳)$$

در این تحقیق، سه شاخص نامبرده مطابق رابطه ۱، ۲ و ۳ برای محصول گندم به‌عنوان کشت غالب منطقه و تعاونی‌های آب‌بران حوزه پایین‌دست سد دوستی شهرستان سرخس محاسبه گردید. همچنین جهت بررسی تأثیر عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب گندم در تعاونی‌های آب‌بران زمین‌های پایین‌دست سد دوستی از رابطه (۴) استفاده گردید.

$$Y=f(X_1, X_2, X_3...X_n) \quad (۴)$$

در این رابطه Y میزان بهره‌وری آب و X ها نشان‌دهنده عوامل فردی، اجتماعی، اقتصادی، آموزشی، مدیریت مزرعه، ویژگی‌های مزرعه، اقدامات زراعی و فنی مؤثر بر بهره‌وری آب به شرح زیر می‌باشند:

عوامل فردی شامل جنسیت، وضعیت تأهل، سن، تحصیلات، محل تولد، شغل اصلی، سابقه کار کشاورزی، تعداد سال‌های سکونت در روستا، تعداد اعضای خانواده، تعداد نیروی کار خانوادگی، سابقه عضویت در تعاونی آب-بران، نوع مسئولیت در تعاونی؛

عوامل اجتماعی شامل عضویت در سایر تشکلات غیر از تعاونی، سرمایه اجتماعی شامل مؤلفه‌های مشارکت (۱۴) گوئی، اعتماد (۱۰ گوئی)، میزان تبادل اطلاعات (هفت گوئی)، میزان آگاهی (پنج گوئی) و درک متقابل دیگران و رضایت از زندگی (هفت گوئی) که در قالب طیف پنج‌قسمتی لیکرت (خیلی کم، کم، تا حدی، زیاد و خیلی زیاد) مطرح شد؛

عوامل اقتصادی شامل کل سطح زیر کشت گندم، میزان کل عملکرد گندم، هزینه تولید گندم، درآمد کل حاصل از فروش گندم و کاه، کلش و بقایای گندم، هزینه کل سم، کود، اجاره زمین، ماشین‌آلات، بذر، نیروی کارگر، تأسیسات انتقال آب، آب مصرفی یا آب‌بها و درآمد کشاورزی؛

عوامل آموزشی شامل شرکت در دوره‌های آموزشی و ترویجی مرتبط با آب و آبیاری، تعداد شرکت در دوره‌های آموزشی در مورد آب و آبیاری، مراجعه به مروج کشاورزی یا کارشناس در زمینه مسائل مربوط به آبیاری مزرعه، تعداد مراجعه به مروج کشاورزی یا کارشناس در زمینه مسائل مربوط به آبیاری مزرعه؛

عوامل مدیریت مزرعه شامل تعداد دفعات آبیاری مزرعه گندم، مدت‌زمان صرف شده برای هر نوبت آبیاری مزرعه؛ عوامل مربوط به ویژگی‌های مزرعه شامل وضعیت مالکیت زمین کشاورزی، تعداد قطعات زمین کشاورزی، وضعیت استقرار اراضی، شکل هندسی مزرعه، نوع سیستم آبیاری مزرعه، نوع بافت خاک مزرعه، نوع ارقام مورد کشت در مزرعه، فاصله منبع اصلی آب تا مزرعه، جنس کانال آب انتقال آب تا مزرعه، دبی آب ورودی مزرعه؛

عوامل مربوط به اقدامات فنی شامل استفاده مجدد از آب-های زهکشی در مزرعه، انجام آبیاری مزرعه بر اساس رطوبت خاک، اجرای عملیات خاکورزی حفاظتی، نصب دریچه و تقسیم‌کننده و وسیله اندازه‌گیری مقدار آب در مسیر کانال آب، استفاده از پوشش‌های پلاستیکی و آلی در مزرعه، تسطیح مناسب مزرعه، پوشش کانال‌های آبرسانی و انهار، استفاده از روش‌های آبیاری تحت فشار، تاریخ کاشت بذر، انتخاب زمان مناسب تهیه زمین، جمع‌آوری و ذخیره بارش، زمان‌بندی آبیاری، چرای تناوبی که در قالب طیف پنج‌قسمتی لیکرت (خیلی کم، کم، تا حدی، زیاد و خیلی زیاد) مطرح شد.

عوامل مربوط به اقدامات زراعی شامل کشت گیاهان مقاوم در برابر خشکی، کشت گیاهان مقاوم به شوری، استفاده از ارقام اصلاح‌شده با کارایی مصرف آب بالا، انتقال کشت‌های بهاره به پاییزه، استفاده از الگوی

نتایج

تمامی پاسخگویان مرد، متأهل و از نظر سطح تحصیلات ۳۳/۲ درصد بی‌سواد، ۲۳ درصد دارای تحصیلات راهنمایی، ۲۱/۵ درصد دارای تحصیلات ابتدایی، ۱۶/۱ درصد دارای تحصیلات دیپلم، ۱/۵ درصد دارای تحصیلات فوق دیپلم و ۴/۷ درصد دارای تحصیلات لیسانس و بالاتر بودند. میانگین سکونت در روستا ۴۴/۸۴ سال، میانگین سابقه عضویت در تعاونی آب‌بران، ۱۴/۹۶ سال، میانگین سنی ۵۸/۵۴ سال و میانگین سابقه کار کشاورزی ۴۵/۸۶ سال بود. میانگین تعداد اعضای خانواده ۶/۸۱ نفر و میانگین تعداد اعضای خانواده کمک کار کشاورزی ۱/۱۵ نفر بود. میانگین درآمد کشاورزی در سال، ۱۷۶۰ میلیون ریال بود. اکثر آنان در تشکل دیگری غیر از تعاونی آب‌بران عضویت ندارند (۵۷/۷ درصد) و مسئولیت اکثر آنان در تعاونی عضو عادی است (۹۲ درصد). میانگین شرکت در دوره آموزشی مرتبط با آبیاری مزرعه، چهار دوره و میانگین تماس آنان با مروجان کشاورزی در سال، پنج دفعه بود. از نظر مالکیت، اراضی کشاورزی بیشتر آنان متعلق به آستان قدس رضوی (۴۷/۴ درصد)، استقرار در یک جا (۷۱/۹ درصد) و دارای شکل هندسی منظم (۹۲/۳ درصد) بود. مزرعه اکثر پاسخگویان دارای روش آبیاری غرقابی (۳۸/۷ درصد)، بافت خاک رسی (۷۳/۷ درصد) و کانال انتقال آب خاکی (۶۱/۷ درصد) بود. اکثر پاسخگویان از هر دو رقم کشت بومی (سیستانی) و اصلاح شده (پیشناز، پیشگام، سیروان، میهن، حیدری، رخشان و مهرگان) استفاده کرده (۴۴/۹ درصد) و تاکنون از تسهیلات بانکی مرتبط با آبیاری برای مزرعه خود استفاده نکرده‌اند (۹۱/۲ درصد). میانگین تعداد قطعات زمین ۱/۶۳، میانگین فاصله منبع آب تا مزرعه ۸۱۹ متر، میانگین دبی آب مزرعه ۰/۰۴۳ مترمکعب بر ثانیه، میانگین دفعات آبیاری مزرعه گندم در طول فصل زراعی ۷ مرتبه، میانگین مدت زمان صرف شده برای هر نوبت آبیاری در هر هکتار زمین ۳/۵ ساعت بود. میانگین زمین تحت کشت اکثر آنان ۶/۴۴ هکتار و میانگین سطح زیر کشت گندم ۲/۸۷ هکتار بود. میانگین عملکرد

کشت متناسب با شرایط اقلیمی منطقه و کشت گیاهان پوششی که در قالب طیف پنج‌قسمتی لیکرت (خیلی کم، کم، تا حدی، زیاد و خیلی زیاد) مطرح شد.

محدوده جغرافیایی تحقیق

شهرستان سرخس با وسعت ۵۳۹۷ کیلومترمربع در حاشیه مرز ایران با جمهوری ترکمنستان در فاصله ۱۸۶ کیلومتری از مرکز استان در مدارهای ۶۱ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی - غربی و ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی - جنوبی قرار دارد. این شهرستان دارای دو بخش، دو شهر، شش دهستان و ۸۵ روستای دارای سکنه است. بر اساس آخرین آمار موجود تا سال ۱۴۰۲، جمعیت شهرستان ۹۷۵۱۹ نفر است که ۴۳۴۲۰ نفر در شهر و ۵۴۰۹۸ نفر در روستاها ساکن می‌باشند. ارتفاع شهرستان از سطح دریای آزاد ۲۸۰ متر، اقلیم خشک سرد، متوسط بارندگی سالیانه حدود ۱۸۱ میلی‌متر و متوسط حداقل درجه حرارت ۱۲/۴ سانتی‌گراد است. شهرستان دارای ۱۶۲۴۹ هکتار سطح زیر کشت آبی، ۲۰۹۰۷ هکتار سطح زیر کشت دیم و دارای ۶۷۰۳۴۰ واحد دامی و تولید بیش از ۱۸۵ هزار تن محصولات زراعی، باغی، دامی و آبزیان است. مهم‌ترین محصولات زراعی و باغی شهرستان سرخس شامل گندم، جو، پنبه، کلزا، یونجه، ذرت علوفه‌ای، هندوانه، خربزه، چغندرقد، هندوانه آجیلی، پسته، انگور و آلو است. در این شهرستان حدود ۲۷۲ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق، ۱۴ رشته قنات و ۲۱ چشمه وجود دارد که از آن‌ها بیش از ۱۶۳ میلیون مترمکعب آب استحصال و به مصرف کشاورزی می‌رسد. سد دوستی در سال ۱۳۸۴ بر روی رودخانه مرزی هریرود احداث شده است. این سد مرز مشترک سه کشور ایران، افغانستان و ترکمنستان را تشکیل می‌دهد و مهم‌ترین منبع تأمین‌کننده آب شهر سرخس است. تعداد بهره‌برداران بخش کشاورزی ۸۸۴۰ نفر است (مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان سرخس، ۱۴۰۱).

گندم ۳/۶۱ تن در هکتار، میانگین هزینه سم، کود، ماشین-آلات، بذر و نیروی کار به ترتیب، ۳۰، ۲۵، ۳۳، ۳۵ و ۲۹ میلیون ریال در هکتار بود. همچنین، میانگین هزینه تولید گندم ۱۴/۸، میانگین درآمد ناخالص گندم ۳۸۵ و میانگین درآمد خالص گندم ۲۳۸ میلیون ریال در هکتار بود. نتایج همچنین نشان داد میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی (CPD) برای محصول گندم معادل ۱/۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب است. میانگین بهره‌وری اقتصادی آب مصرفی نیز برای شاخص درآمد ناخالص (BPD) معادل ۱۵۲۹۲۰ ریال به ازای هر مترمکعب و برای شاخص درآمد خالص (سود) (NBPD)، معادل ۹۴۷۱۰ ریال به ازای هر مترمکعب است. با توجه به مقادیر میانگین طیف پنج‌قسمتی لیکرت (خیلی کم، کم، تا حدی، زیاد و خیلی زیاد)، مهم‌ترین اقدامات فنی کشاورزان شامل "انجام آبیاری مزرعه بر اساس رطوبت خاک"، "زمان‌بندی آبیاری" و "انتخاب زمان مناسب تهیه زمین" و مهم‌ترین اقدامات زراعی آنان، شامل "استفاده از الگوی کشت متناسب با شرایط اقلیمی منطقه"، "انتقال کشت‌های بهاره به پاییزه" و "استفاده از ارقام اصلاح‌شده با کارایی مصرف آب بالا" بود. نتایج حاصل از بررسی ابعاد سرمایه اجتماعی نشان داد در مؤلفه مشارکت، بالاترین میانگین مربوط به "حضور در انتخابات (مجلس، شوراها، ریاست جمهوری و...)"، "حضور در مراسم رسمی نظیر راهپیمایی، نماز جماعت و جشن و دیدار با دیگر اعضای تعاونی آبربران و شرکت در مراسم آنان" بود. در مؤلفه اعتماد، بالاترین میانگین مربوط به "اعتماد به گروه‌های اجتماعی غیردولتی نظیر انجمن‌های خیریه، صندوق قرض‌الحسنه و..."، "اعتماد به نهادهای رسمی نظیر جهاد کشاورزی، بانک‌ها و اداره تعاون" و "مشورت با دیگر اعضای تعاونی آبربران" بود. در مؤلفه تبادل اطلاعات، بالاترین میانگین مربوط به "تبادل اطلاعات با اعضای تعاونی از طریق مذاکرات دوستانه به‌واسطه حضور در تعاونی آبربران"، "تبادل اطلاعات با اعضای تعاونی از طریق شرکت در جلسات تعاونی آبربران" و "تبادل اطلاعات با ادارات دولتی" بود. در مؤلفه آگاهی،

بالاترین میانگین مربوط به "میزان دانش و اطلاعات مسائل اقتصادی نظیر وضعیت بازار، قیمت‌ها، تورم و..."، "میزان دانش و اطلاعات در مسائل فرهنگی نظیر دین، آداب، سنن و..." و "میزان دانش و اطلاعات از اثرات مثبت فعالیت‌های تعاونی آبربران" بود. در نهایت، در مؤلفه درک متقابل دیگران و رضایت از زندگی، بالاترین میانگین مربوط به "وساطت اجتماعی (میانجی‌گری در حل اختلافات مردم)"، "ارزش زندگی (رضایت از زندگی و با ارزش دانستن خود در جامعه)" و "احساس امنیت (داشتن آسودگی و آرامش خاطر در زندگی)" بود. نتایج مقایسه مقادیر میانگین میانگین‌ها بین پنج مؤلفه سرمایه اجتماعی نشان داد، مؤلفه‌های درک متقابل دیگران و رضایت از زندگی (۳/۵۲)، اعتماد (۳/۱۷)، آگاهی (۳/۱۶)، مشارکت (۲/۸۱) و تبادل اطلاعات (۲/۲۵)، در بین اعضای تعاونی‌های آبربران مورد مطالعه به ترتیب بیشترین مقادیر را دارا هستند.

با توجه به نرمال نبودن توزیع متغیرهای تحقیق، به‌منظور مقایسه میانگین رتبه شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب از آزمون‌های ناپارامتری من‌ویتنی برای متغیرهای دو گروهی و کروسکال‌والیس برای متغیرهای بیش از دو گروه استفاده شد. نتایج آزمون من‌ویتنی نشان داد میانگین هر سه شاخص بهره‌وری آب برحسب مراجعه به مروج، شرکت در دوره آموزشی، شکل هندسی مزرعه، میزان تحصیلات، تعداد قطعات زمین کشاورزی و نام تعاونی، تفاوت معنی‌داری داشت ($p < 0.05$)، به‌گونه‌ای که میانگین رتبه‌ای هر سه شاخص برای کشاورزانی که در ارتباط با مروج بودند، در دوره‌های آموزشی شرکت داشتند، شکل هندسی مزرعه آنان منظم بود و دارای سه قطعه یا بیشتر زمین کشاورزی بودند، به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. همچنین، نتایج آزمون کروسکال‌والیس نشان داد میانگین هر سه شاخص بهره‌وری آب برحسب میزان تحصیلات و نام تعاونی تفاوت معنی‌داری داشت، به‌گونه‌ای که در شاخص CPD بالاترین میانگین را طبقه دیپلم و بالاتر و کمترین میانگین را طبقه ابتدایی داشت و در شاخص‌های BPD و NBPD، بالاترین میانگین را طبقه بی‌سواد و

کمترین میانگین را طبقه ابتدایی داشت. در شاخص CPD بالاترین میانگین را تعاونی انقلاب و کمترین میانگین را تعاونی نوروزآباد و در شاخص‌های BPD و NBPD بالاترین میانگین را تعاونی سنگر و کمترین میانگین را تعاونی نوروزآباد داشت. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری در دو شاخص بهره‌وری اقتصادی آب (BPD و NBPD) برحسب استفاده از تسهیلات بانکی وجود دارد ($p < 0.05$)، در این مورد، یافته‌ها نشان داد میانگین دو شاخص در گروهی که از تسهیلات بانکی استفاده کردند به‌طور معنی‌داری بیشتر از گروهی بود که از تسهیلات بانکی استفاده نکرده بودند. در این مورد، در شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (CPD) تفاوتی بین میانگین رتبه‌ای دو گروه مشاهده نشد ($p > 0.05$). همچنین، در دو شاخص CPD و NBPD تفاوت معنی‌داری برحسب وضعیت استقرار اراضی وجود ندارد ($p > 0.05$) اما در شاخص BPD میانگین اراضی پراکنده در چند نقطه به‌طور معنی‌داری بیشتر از اراضی یکجا بود ($p < 0.05$). علاوه بر این، میانگین هر سه شاخص بهره‌وری آب برحسب نوع مسئولیت در تعاونی، محل تولد، شغل اصلی و نوع ارقام کشت تفاوت معنی‌داری نداشت، به‌بیان‌دیگر رابطه‌ای بین مسئولیت در تعاونی، محل تولد، شغل اصلی و نوع ارقام کشت و شاخص‌های بهره‌وری آب مشاهده نشد ($p > 0.05$) (جدول ۱).

به منظور بررسی همبستگی بین متغیرهای عمومی و زمینه‌ای با شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی بهره‌وری آب از آزمون اسپیرمن استفاده شد. نتایج نشان داد که سن فقط با شاخص NBPD رابطه مثبت و معنی‌دار دارد. متغیرهای سابقه کار کشاورزی، درآمد، تعداد اعضای فعال خانواده در کار کشاورزی، تعداد دوره‌های آموزشی شرکت کرده، دفعات مراجعه به مروج، سرمایه اجتماعی، اقدامات فنی و اقدامات زراعی، رابطه مثبت و معنی‌داری با تمامی شاخص‌های بهره‌وری آب داشت ($p < 0.05$). متغیر میزان اراضی تحت مالکیت کشاورز با شاخص فیزیکی بهره‌وری آب رابطه معنی‌دار نداشت ولی با شاخص‌های اقتصادی

بهره‌وری آب رابطه معنی‌دار داشت. مولفه‌های سرمایه اجتماعی چون مشارکت، اعتماد، میزان تبادل اطلاعات و درک متقابل دیگران و رضایت از زندگی نیز رابطه مثبت و معنی‌داری با تمامی شاخص‌های بهره‌وری آب داشتند و فقط مولفه میزان آگاهی فاقد رابطه معنی‌دار با این شاخص‌ها بود. همچنین، فاصله منبع تا مزرعه و مدت هر نوبت آبیاری رابطه منفی و معنی‌داری با تمامی شاخص‌های بهره‌وری آب داشت ($p < 0.05$). علاوه بر این، بین تعداد سال‌های سکونت در روستا، تعداد اعضای خانواده و دفعات آبیاری گندم و شاخص‌های بهره‌وری آب رابطه معنی‌داری مشاهده نشد ($p > 0.05$) (جدول ۲).

برای بررسی عوامل موثر بر شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی بهره‌وری آب، از تحلیل رگرسیون گام به گام (Stepwise) استفاده شد. نتایج تحلیل رگرسیون در مورد شاخص CPD در جدول (۳) نشان می‌دهد مقدار ضریب تعیین برابر با ۰/۲۶ می‌باشد که نشان می‌دهد ۲۶ درصد تغییرات این شاخص توسط شش متغیر درآمد کشاورزی، مدت زمان هر نوبت آبیاری، اعتماد، تعداد قطعات زمین کشاورزی، فاصله منبع آب تا مزرعه و شکل هندسی مزرعه توضیح داده می‌شود و سایر متغیرها بر شاخص CPD موثر نبوده‌اند. با توجه به مقدار $F (11/849)$ و سطح معنی‌داری آن، معنی‌دار بودن رگرسیون و رابطه خطی بین متغیرها در سطح ۹۹ درصد اطمینان تأیید گردید. با توجه به ستون B و سطح معنی‌داری، مشاهده می‌شود که متغیرهای مدت زمان هر نوبت آبیاری، شکل هندسی مزرعه و فاصله منبع آب تا مزرعه، تأثیر منفی و معنی‌دار و متغیرهای درآمد کشاورزی، اعتماد و تعداد قطعات زمین کشاورزی، تأثیر مثبت و معنی‌دار بر شاخص CPD دارند. از مقادیر β در جدول (۳) می‌توان برای بیان اهمیت و نقش متغیرهای مستقل در توضیح متغیر وابسته استفاده کرد و در مورد اهمیت نسبی متغیرها قضاوت کرد. بزرگ بودن مقدار بتا نشان دهنده اهمیت نسبی و نقش آن در توضیح متغیر وابسته می‌باشد، بنابراین، می‌توان قضاوت کرد که متغیرهای درآمد کشاورزی، اعتماد، تعداد قطعات زمین کشاورزی،

مدت زمان هر نوبت آبیاری، شکل هندسی مزرعه و فاصله منبع آب تا مزرعه، به ترتیب نقش بیشتری در توضیح تغییرات شاخص CPD دارند. مقدار آماره دوربین-واتسون (D.W) برابر ۱/۶۰۹، است که در بازه مورد قبول ۱/۵ تا ۲/۵ قرار دارد و نشان می‌دهد بین خطاهای مدل همبستگی وجود ندارد. با توجه به مقادیر آماره تحمل (Tolerance) که بیشتر از ۰/۴ است و مقادیر آماره عامل افزایش واریانس (VIF) که کمتر از پنج است می‌توان نتیجه گرفت میزان هم‌خطی بین متغیرهای مستقل قابل توجه نیست.

جدول ۱- نتایج آزمون من‌ویتنی و کروسکال‌والیس به منظور مقایسه نمره شاخص‌های بهره‌وری آب در گروه‌های مختلف

NBPD		BPD		CPD		متغیر
Z (sig)	میانگین رتبه‌ای	Z (sig)	میانگین رتبه‌ای	Z (sig)	میانگین رتبه‌ای	
مراجعه به مروج						
-7.05	175.32	-7.27	176.49	-3.60	156.52	بلی
(0.000)	107.39	(0.000)	106.49	(0.000)	122.68	خیر
شرکت در دوره آموزشی						
3.19	155.69	-3.15	155.48	-2.69	152.82	بلی
(0.001)	124.73	(0.002)	124.88	(0.007)	126.73	خیر
مسئولیت در تعاونی						
-1.37	159.64	-1.47	161.25	-1.03	154.23	عضو هیئت مدیره
(0.172)	135.57	(0.142)	135.43	(0.301)	136.04	عضو عادی
استفاده از تسهیلات بانکی						
-2.70	179.15	-2.85	181.46	-0.87	149.50	بلی
(0.007)	133.50	(0.004)	132.28	(0.437)	136.35	خیر
نام تعاونی						
82.29	123.81	101.39	124.24	112/10	99.73	لقمان
(0.000)	119.19	(0.000)	111.17	(0.000)	115.47	اتحاد
	54.01		46.81		48.19	نوروزآباد
	169.57		165.48		167.81	اتفاق
	162.99		181.49		188.97	انقلاب
	176.18		184.27		186.28	سنگر
سطح تحصیلات						
12.24	155.94	12.05	154.30	12.62	149.15	بی‌سواد
(0.007)	110.55	(0.007)	110.51	(0.006)	106.85	ابتدایی
	132.06		130.70		136.27	راهنمایی یا سیکل
	141.68		145.57		151.04	دیپلم و بالاتر
محل تولد						
-0.93	136.55	-0.68	136.81	-0.43	137.06	روستا
(0.353)	158.25	(0.497)	152.67	(0.669)	147.04	شهر
شغل اصلی						
-0.16	137.48	-0.60	138.52	-0.14	137.26	کشاورزی
(0.872)	135.34	(0.549)	129.47	(0.889)	139.37	غیر کشاورزی
محل سکونت						
3.38	130.89	2.82	131.73	4.32	131.15	دائم در روستا
(0.185)	149.60	(0.224)	143.47	(0.115)	139.54	دائم در شهر
	148.80		151.51		157.02	هر دو
تعداد قطعات زمین کشاورزی						
14.97	132.37	17.66	128.58	7.87	130.69	یک قطعه
(0.002)	125.51	(0.001)	130.70	(0.049)	134.63	دو قطعه
	152.94		164.44		173.82	سه قطعه
	198.52		199.32		157.65	بیشتر از سه قطعه
وضعیت استقرار اراضی						
-1.69	132.45	-2.17	131.00	-1.19	133.95	یکجا
(0.091)	150.43	(0.030)	154.13	(0.235)	146.59	پراکنده در چند نقطه
شکل هندسی اراضی						
-2.94	141.55	-2.78	140.41	-2.11	140.41	منظم
(0.003)	88.74	(0.005)	102.50	(0.035)	102.50	نامنظم

جدول ۲- نتایج آزمون همبستگی بین شاخص‌های بهره‌وری آب با متغیرهای عمومی و زمینه‌ای

متغیرها	شاخص‌های بهره‌وری آب					
	NBPD		BPD		CPD	
	p	r	p	r	P	r
سن	0.005	0.17	0.012	0.16	0.069	0.11
سابقه کار کشاورزی	0.000	0.24	0.000	0.22	0.006	0.16
درآمد کار کشاورزی	0.000	0.39	0.000	0.39	0.000	0.38
میزان اراضی تحت مالکیت	0.017	0.145	0.009	0.159	0.114	0.096
تعداد سال‌های سکونت در روستا	0.407	-0.05	0.374	-0.05	0.150	-0.09
تعداد اعضای خانواده	0.056	0.12	0.096	0.10	0.337	0.05
تعداد اعضای فعال در کار کشاورزی	0.001	0.20	0.001	0.20	0.005	0.17
فاصله منبع تا مزرعه	0.009	-0.16	0.003	-0.18	0.000	-0.26
دبی آب مزرعه	0.945	0.01	0.407	-0.05	0.050	-0.12
دفعات آبیاری گندم	0.627	0.03	0.505	-0.40	0.127	-0.09
مدت زمان هر نوبت آبیاری	0.000	-0.44	0.000	-0.43	0.000	-0.30
تعداد دوره‌های آموزشی شرکت کرده	0.000	0.22	0.000	0.22	0.002	0.19
دفعات مراجعه به مروج	0.000	0.29	0.000	0.29	0.000	0.22
مشارکت	0.000	0.255	0.000	0.242	0.000	0.223
اعتماد	0.000	0.327	0.000	0.337	0.000	0.342
میزان تبادل اطلاعات	0.001	0.205	0.006	0.171	0.016	0.150
میزان آگاهی	0.219	0.076	0.619	0.031	0.329	0.061
درک متقابل دیگران و رضایت از زندگی	0.005	0.173	0.030	0.134	0.025	0.139
سرمایه اجتماعی (کل)	0.000	0.22	0.003	0.19	0.002	0.20
عوامل فنی	0.001	0.20	0.004	0.18	0.020	0.15
عوامل زراعی	0.001	0.20	0.000	0.22	0.001	0.20

جدول ۳- نتایج تحلیل رگرسیونی عوامل موثر بر شاخص CPD

متغیرها	B	خطای معیار	مقدار β	مقدار t	معنی‌داری	VIF	Tolerance
مقدار ثابت	1.054	0.410	-	2.571	0.011	-	-
درآمد کشاورزی	1.681×10^{-9}	0.001	0.266	2.906**	0.004	2.638	0.421
مدت زمان هر نوبت آبیاری	0.127	0.044	-0.183	-2.875**	0.004	1.275	0.784
اعتماد	0.236	0.074	0.218	3.186**	0.002	1.484	0.674
تعداد قطعات زمین کشاورزی	0.388	0.112	0.216	3.466**	0.001	1.230	0.813
فاصله منبع آب تا مزرعه	-0.002	0.001	-0.137	-2.133*	0.034	1.308	0.762
شکل هندسی مزرعه	-0.579	0.239	-0.139	-2.419*	0.016	1.036	0.965

خلاصه مدل: $D.W=1.609$ ، $R^2=0.26$ ، $R=0.51$ ، $Sig=0.000$ ، $F=11.849$

*معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ و **معنی‌داری در سطح ۰/۰۱

(۲۴/۶۹۳) و سطح معنی‌داری آن، معنی‌دار بودن رگرسیون در سطح ۹۹ درصد اطمینان تأیید می‌شود. با توجه به ستون B و سطح معنی‌داری، مشاهده می‌شود که متغیرهای مدت زمان هر نوبت آبیاری و شکل هندسی مزرعه، تأثیر منفی و معنی‌دار و متغیرهای اعتماد، تعداد قطعات زمین کشاورزی و تعداد اعضای خانواده مشارکت‌کننده در کار کشاورزی، تأثیر مثبت و معنی‌دار بر شاخص BPD دارند. با توجه به

در مورد شاخص BPD، نتایج تحلیل رگرسیون در جدول (۴) حاکی از این است که مقدار ضریب تعیین برابر با ۰/۳۴ می‌باشد که به معنای این است که ۳۴ درصد تغییرات این شاخص توسط پنج متغیر مدت زمان هر نوبت آبیاری، اعتماد، تعداد قطعات زمین کشاورزی، شکل هندسی مزرعه و تعداد اعضای خانواده مشارکت‌کننده در کار کشاورزی توضیح داده می‌شود. با توجه به مقدار F

مقادیر بتا (β) در جدول (۴)، می‌توان قضاوت کرد که متغیرهای مدت زمان هر نوبت آبیاری، اعتماد، تعداد قطعات زمین کشاورزی، شکل هندسی مزرعه و تعداد اعضای خانواده مشارکت کننده در کار کشاورزی، به ترتیب نقش بیشتری در توضیح تغییرات شاخص BPD دارند. می‌توان نتیجه گرفت میزان هم‌خطی بین متغیرهای مستقل قابل توجه نیست.

جدول ۴- نتایج تحلیل رگرسیونی عوامل مؤثر بر شاخص BPD

متغیرها	B	خطای معیار	مقدار β	مقدار t	معنی‌داری	VIF	Tolerance
مقدار ثابت	14941.341	3909.025	-	3.822	0.311	-	-
مدت زمان هر نوبت آبیاری	-2313.009	405.633	-0.317	-5.702**	0.000	1.110	0.901
اعتماد	3239.429	633.676	0.285	5.112**	0.000	1.118	0.895
تعداد قطعات زمین کشاورزی	3789.982	1031.363	0.201	3.675**	0.000	1.075	0.930
شکل هندسی مزرعه	-8730.590	2348.677	-0.199	-3.717**	0.000	1.029	0.972
تعداد اعضای خانواده مشارکت کننده در کشاورزی	1402.151	443.071	0.174	3.165**	0.002	1.082	0.925

خلاصه مدل: D.W= 1.116 ، $R^2= 0.34$ ، $R= 0.59$ ، $Sig= 0.000$ ، $F= 24.693$

**معنی‌داری در سطح ۰/۰۱

کننده در کار کشاورزی و تعداد قطعات زمین کشاورزی، تأثیر مثبت و معنی‌دار بر شاخص NBPD دارند. با توجه به مقادیر بتا (β) در جدول (۵)، می‌توان قضاوت کرد که متغیرهای مدت زمان هر نوبت آبیاری، اعتماد، تعداد اعضای خانواده مشارکت کننده در کار کشاورزی، شکل هندسی مزرعه و تعداد قطعات زمین کشاورزی، به ترتیب نقش بیشتری در توضیح تغییرات شاخص NBPD دارند. مقدار آماره دوربین-واتسون برابر ۱/۳۲۹، نشان دهنده این است که بین خطاهای مدل همبستگی وجود ندارد. با توجه به مقادیر آماره تحمل و مقادیر آماره افزایش واریانس، می‌توان نتیجه گرفت میزان هم‌خطی بین متغیرهای مستقل قابل توجه نیست.

در مورد شاخص NBPD، با توجه به نتایج تحلیل رگرسیون در جدول (۵)، مقدار ضریب تعیین برابر با ۰/۳۱ می‌باشد که بیانگر این است که ۳۱ درصد تغییرات این شاخص توسط پنج متغیر مدت زمان هر نوبت آبیاری، اعتماد، تعداد اعضای خانواده مشارکت کننده در کار کشاورزی، شکل هندسی مزرعه و تعداد قطعات زمین کشاورزی، توضیح داده می‌شود. با توجه به مقدار F (۲۰/۹۲۳) و سطح معنی‌داری آن، معنی‌دار بودن رگرسیون در سطح ۹۹ درصد اطمینان تأیید می‌شود. با توجه به ستون B و سطح معنی‌داری، مشاهده می‌شود که متغیرهای مدت زمان هر نوبت آبیاری و شکل هندسی مزرعه تأثیر منفی و معنی‌دار و متغیرهای اعتماد، تعداد اعضای خانواده مشارکت

جدول ۵- نتایج تحلیل رگرسیونی عوامل مؤثر بر شاخص NBPD

متغیرها	B	خطای معیار	مقدار β	مقدار t	معنی‌داری	VIF	Tolerance
مقدار ثابت	9576.960	2819.456	-	3.397	0.001	-	-
مدت زمان هر نوبت آبیاری	-1499.820	292.570	-0.293	-5.126**	0.000	1.110	0.901
اعتماد	2113.349	457.050	0.265	4.624**	0.000	1.118	0.895
تعداد اعضای خانواده مشارکت کننده در کشاورزی	1139.544	319.573	0.201	3.566**	0.000	1.082	0.925
شکل هندسی مزرعه	-5226.806	1694.026	-0.176	-3.203**	0.002	1.029	0.972
تعداد قطعات زمین کشاورزی	1811.108	743.890	0.137	2.435*	0.016	1.075	0.930

خلاصه مدل: D.W= 1.329 ، $R^2= 0.31$ ، $R= 0.56$ ، $Sig= 0.000$ ، $F= 20.923$

*معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ و **معنی‌داری در سطح ۰/۰۱

بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه میانگین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی (CPD) برای محصول گندم معادل ۱/۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود که این مقدار از میانگین کشوری شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در گندم که ۰/۷۷ کیلوگرم بر مترمکعب است (ملارضا قصاب و همکاران، ۱۳۹۹)، بیشتر است. میانگین بهره‌وری اقتصادی آب مصرفی نیز برای شاخص درآمد ناخالص (BPD) ۱۵۲۹۲۰ ریال به ازای هر مترمکعب و برای شاخص درآمد خالص (سود) (NBPD)، ۹۴۷۱۰ ریال به ازای هر مترمکعب می‌باشد. اگر چه شرایط منطقه، راهبردی بودن کشت گندم در کشور و خرید تضمینی آن توسط دولت، باعث افزایش انگیزه کشاورزان برای کشت آن به عنوان محصولی دست به نقد و دارای مزیت است، با این حال، این نتیجه نشان می‌دهد ادامه کشت گندم در محدوده جغرافیایی تحقیق دارای توجیه کافی است و این محصول می‌تواند در الگوی کشت باقی بماند. مقایسه مقادیر میانگین میانگین‌ها بین پنج مولفه سرمایه اجتماعی نیز نشان داد، مولفه‌های درک متقابل دیگران و رضایت از زندگی، اعتماد، آگاهی، مشارکت و تبادل اطلاعات، در بین اعضای تعاونی‌های آب‌بران مورد مطالعه به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر را دارا هستند. از این رو، تقویت و بهبود سرمایه اجتماعی اعضا و بهره‌گیری از آن در بهبود شاخص‌های بهره‌وری آب در چهار مولفه اعتماد، آگاهی، مشارکت و تبادل اطلاعات، مورد تاکید است. برای افزایش آگاهی اعضا؛ اقداماتی چون برگزاری دوره‌های آموزشی مستمر و منظم برای اعضا و افزایش ارتباطات بین آنان، اطلاع‌رسانی مناسب در سطح تعاونی و ایجاد فرصت‌های مشارکت فعال اعضا در امور تعاونی باید مورد توجه قرار گیرد. برای افزایش اعتماد؛ انجام اقداماتی چون شفافیت در عملکرد و مدیریت تعاونی، استقرار نظام پیشنهادها در تعاونی، ایجاد فضایی امن و پذیرای نظرات اعضا و رعایت اصول شایسته‌سالاری در مدیریت و سازمандهی تعاونی مورد توصیه است. همچنین، برای تقویت تبادل اطلاعات بین اعضای تعاونی؛ استفاده از

راهکارهایی چون استفاده از قابلیت‌های فضای مجازی برای ایجاد فضای مشترک تبادل اطلاعات و اشتراک‌گذاری دانش و تجربیات بین اعضا، آموزش‌های اجتماعی‌سازی اعضا و برگزاری جلسات و کارگاه‌های آموزشی، قابل پیشنهاد است. علاوه بر این، برای تقویت مشارکت اعضای تعاونی؛ انجام اقداماتی چون افزایش اطلاعات و آموزش اعضا، ایجاد فضای بحث و تبادل نظر بین اعضا و مدیران، انجام ارزیابی و بازخورد منظم از عملکرد تعاونی و بسترسازی مشارکت اعضا در تمامی مراحل تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی، ساخت، بهره‌برداری، نگهداری، تامین مالی و سطوح مدیریتی شبکه‌های آبیاری توصیه می‌شود.

میانگین رتبه‌ای هر سه شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب (CPD، BPD و NBPD) برای کشاورزان دارای ارتباط بیشتر با مروج، مشارکت بیشتر در دوره‌های آموزشی، شکل هندسی منظم مزرعه و مالک سه قطعه یا بیشتر زمین کشاورزی، بیشتر بود. در این مورد باید گفت، از آنجا که مروج حلقه ارتباط بین محققان و کشاورزان و یک منبع مطمئن کسب اطلاعات است، تماس و ارتباط بیشتر کشاورز با وی، می‌تواند زمینه‌ساز افزایش دانش، بهبود نگرش و رفتار کشاورز در زمینه استفاده بهینه از آب باشد. این یافته با یافته اوباسی و همکاران (۲۰۱۳)، همخوانی دارد. همچنین، حضور بیشتر کشاورز در دوره‌های آموزشی، به دلیل ایجاد زمینه‌های افزایش ارتباط و تعامل وی با متخصصان، مروجان و سایر کشاورزان در این دوره‌ها، نقش به‌سزایی در افزایش آگاهی، بهبود نگرش و رفتار کشاورز در زمینه استفاده بهینه و بهره‌وری آب کشاورزی دارد. این یافته با یافته‌های حیدری (۱۳۹۱) و محمدپور هنگروانی و ارسلان‌بد (۱۳۹۲)، همخوانی دارد. همچنین، شکل هندسی منظم مزرعه، باعث خواهد شد امکان کشت مکانیزه از طریق به‌کارگیری بیشتر ماشین‌آلات کشاورزی و روش‌های نوین آبیاری و تجهیزات مربوطه در مزرعه بیشتر فراهم شود و این امر به افزایش بهره‌وری آب کمک می‌کند. این یافته با یافته‌های محمدپور هنگروانی و ارسلان‌بد (۱۳۹۲)، سیدان و همکاران (۱۳۹۷)، ژائولین و

همکاران (۲۰۱۶) و یان و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی دارد. در مورد بالا بودن میانگین رتبه‌ای سه شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب برای کشاورزان مالک سه قطعه یا بیشتر زمین کشاورزی، اگر چه از نظر فنی و همچنین در غالب مطالعات به رابطه مثبت یکپارچه‌سازی اراضی و افزایش بهره‌وری اشاره شده است با این حال، شواهد موجود نشان داد اراضی کشاورزی منطقه اغلب کوچک و توسط کشاورزان مسن و به شیوه سنتی اداره می‌شود که بهره‌وری آن‌ها پایین است اما غالباً اراضی چند قطعه به وراثت جوان تعلق دارد که نوآورتر بوده و مدیریت بهتری بر منابع و از جمله آب مصرفی مزرعه خود اعمال می‌کنند. علاوه بر این، تفاوت معنی‌دار میانگین هر سه شاخص بهره‌وری آب برحسب میزان تحصیلات، بدان معناست که بهره‌وری فیزیکی آب، در مورد افرادی که سطح تحصیلات بالاتر دارند بیشتر است. این نتیجه را می‌توان به عواملی چون دانش فنی و زراعی بیشتر افراد دارای تحصیلات بیشتر، مدیریت بهتر مزرعه و احتمال بهره‌گیری بیشتر آنان از رسانه‌ها و شبکه‌های اجتماعی و ارتباط جمعی، روش‌های نوین و مکانیزه تولید محصول و مواردی از این قبیل نسبت داد، اما بالا بودن بهره‌وری اقتصادی آب مزرعه در مورد افراد بی‌سواد را می‌توان به عامل تجربه بیشتر آنان در کار کشاورزی، به‌رغم بی‌سوادی نسبت داد. این یافته با یافته‌های حیدری (۱۳۹۱)، سیدان و همکاران (۱۳۹۷)، ملارضا قصاب و همکاران (۱۳۹۹)، اوباسی و همکاران (۲۰۱۳) و وی و همکاران (۲۰۲۰)، همخوانی دارد. یکی از نتایج این تحقیق، پایین بودن میانگین هر سه شاخص بهره‌وری آب در تعاونی نوروزآباد بود که بررسی میدانی انجام شده نشان داد روستاهای تحت پوشش این تعاونی با مشکل شوری زیاد آب مواجه هستند. برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند شوری زیاد آب می‌تواند به کاهش بهره‌وری آب و در نتیجه کاهش عملکرد محصول منجر شود (عبدزادگوهری و همکاران، ۱۳۹۷ و ورجاوند و همکاران، ۱۴۰۰)، از این رو، انجام اقدامات کاهش شوری آب در تعاونی نوروزآباد از طریق روش‌هایی چون

برنامه‌ریزی دقیق برای آبیاری، تعیین زمان‌های مناسب آبیاری، مدیریت دقیق مصرف آب بر اساس نیاز گیاهان، انتخاب گیاهان مقاوم به شوری، استفاده از روش‌های کم آبیاری مانند آبیاری قطره‌ای، آبیاری زیرسطحی و آبیاری تراکمی، آبیاری قبل از کاشت و زهکشی زمین قابل پیشنهاد است. وجود تفاوت معنی‌دار در دو شاخص بهره‌وری اقتصادی آب، برحسب استفاده از تسهیلات بانکی را می‌توان به احتمال استفاده کشاورز از منابع مالی اخذ شده در زمینه بهبود شیوه‌های کشت و کار و از جمله بهبود مدیریت آب مزرعه با به خدمت گرفتن فناوری‌های نوین مربوطه نسبت داد. از این رو، اعطای تسهیلات بانکی با شرایط آسان و نرخ بهره پایین به اعضای تعاونی‌ها مورد توصیه است. این یافته با یافته‌های حیدری (۱۳۹۱)، کدیور و همکاران (۱۳۹۲)، بلومی و ماتوسی (۲۰۰۶) و وی و همکاران (۲۰۲۰)، همخوانی دارد. همچنین، بیشتر بودن میانگین بهره‌وری اقتصادی آب (شاخص BPD) در اراضی پراکنده در چند نقطه از اراضی یکجا بیانگر لزوم انجام اقداماتی چون یکپارچه‌سازی اراضی پراکنده کشاورزی در تعاونی است.

وجود رابطه مثبت و معنی‌دار بین سن و شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی آب، به معنای افزایش این شاخص‌ها با افزایش سن پاسخگویان است. این یافته با یافته اوباسی و همکاران (۲۰۱۳) مغایرت دارد که در مطالعه خود نتیجه گرفتند سن بر بهره‌وری آب اثر منفی دارد. وجود رابطه مثبت و معنی‌دار بین متغیرهای سابقه کار کشاورزی، درآمد، تعداد اعضای خانواده فعال در کار کشاورزی، تعداد دوره‌های آموزشی شرکت کرده، دفعات مراجعه به مروج، سرمایه اجتماعی و مولفه‌های آن (مشارکت، اعتماد، میزان تبادل اطلاعات و درک متقابل دیگران و رضایت از زندگی)، اقدامات فنی و اقدامات زراعی، با تمامی شاخص‌های بهره‌وری آب، به معنای این است که با افزایش متغیرهای نامبرده، هر دو شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب افزایش می‌یابد. با توجه به مثبت بودن ضریب همبستگی، با افزایش سن و سابقه کار کشاورزی، می‌توان انتظار داشت

بر تجارب کشاورز افزوده گردد و این عامل بر مدیریت و استفاده بهتر از آب مزرعه تاثیرگذار است. این یافته با یافته‌های سیدان و همکاران (۱۳۹۷)، ملارضا قصاب و همکاران (۱۳۹۹)، اوباسی و همکاران (۲۰۱۳) و وی و همکاران (۲۰۲۰)، همخوانی دارد. همچنین، افزایش درآمد زمینه‌ای را برای افزایش سرمایه‌گذاری کشاورز و به خدمت گرفتن فناوری‌ها و تجهیزات جدید در مزرعه توسط وی را فراهم می‌سازد که بر بهبود شاخص‌های بهره‌وری آب تاثیرگذار است. این یافته با یافته‌های حیدری (۱۳۹۱) و علی و تالوکودر (۲۰۰۸)، همخوانی دارد. افزایش تعداد اعضای خانواده فعال در کار کشاورزی نیز از یک سو منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌های کارگری و تخصیص مبالغ صرفه‌جویی در بهبود شرایط مزرعه می‌شود و از سوی دیگر به دلیل تعلق خاطر آنان به مزرعه خانوادگی، زمینه‌ساز انجام کار با کیفیت‌تر و مشارکت بیشتر و سازنده‌تر آنان در اجرای عملیات بهبود مصرف آب در مزرعه است. این یافته با یافته‌های سیدان و همکاران (۱۳۹۷)، ملارضا قصاب و همکاران (۱۳۹۹)، اوباسی و همکاران (۲۰۱۳) و وی و همکاران (۲۰۲۰)، همخوانی دارد. وجود رابطه معنی‌دار بین متغیر میزان اراضی تحت مالکیت کشاورز با شاخص‌های اقتصادی بهره‌وری آب را می‌توان به دلایلی چون امکان استفاده از فناوری‌های نوین و انواع ماشین‌آلات کشاورزی نسبت داد که موجب افزایش عملکرد محصول و بهره‌وری منابع گوناگون از جمله آب می‌شود. این یافته با یافته‌های ملارضا قصاب و همکاران (۱۳۹۹) و اوباسی و همکاران (۲۰۱۳)، همخوانی دارد. سرمایه اجتماعی و مولفه‌های آن نیز فراهم کننده شرایط همکاری بین کشاورزان عضو تعاونی و نهادهای دولتی، اعتماد اعضای تعاونی به یکدیگر و همکاری آنان با هم در راستای تحقق اهداف تعاونی است. از این رو، انتظار می‌رود وجود این سرمایه و بهبود آن در بین اعضای تعاونی به مدیریت بهینه و افزایش بهره‌وری آب منجر شود. این یافته با یافته‌های حیدری (۱۳۹۱)، سیدان و همکاران (۱۳۹۷)، رایگا و نصراللهی (۱۴۰۰) و وی و همکاران (۲۰۲۰)، همخوانی دارد. به‌کارگیری

اقدامات فنی و زراعی نوین مرتبط با صرفه‌جویی در مصرف آب توسط کشاورزان نیز زمینه‌ساز افزایش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب است، چرا که اقدامات نامبرده عمدتاً حاصل یافته‌های تحقیقی است و تاثیر آن‌ها در زمینه صرفه‌جویی و مدیریت آب مزرعه مورد تایید قرار گرفته است. از این رو توصیه می‌شود علاوه بر اقدامات فنی و زراعی مرسوم و مورد استفاده غالب کشاورزان در این تحقیق، سایر اقدامات فنی و زراعی چون استفاده مجدد از آب‌های زهکشی در مزرعه، اجرای عملیات خاکورزی حفاظتی، کاربرد پوشش‌های پلاستیکی و آلی، استفاده از روش‌های نوین آبیاری و اصول کشت گیاهان پوششی و مقاوم در برابر شوری و خشکی نیز به آنان آموزش داده شود. این یافته با یافته‌های سیدان و همکاران (۱۳۹۷)، اینانلو طایفه یغمورلو و همکاران (۱۴۰۲)، علی و تالوکودر (۲۰۰۸)، ژبائولین و همکاران (۲۰۱۶)، یان و همکاران (۲۰۲۰) و موجری و مازویمای (۲۰۲۱)، همخوانی دارد. وجود رابطه منفی و معنی‌دار بین فاصله منبع اصلی آب تا مزرعه با شاخص‌های بهره‌وری آب، بیانگر تاثیر افزایش فاصله منبع آب تا مزرعه بر کاهش بهره‌وری آب است، چرا که با افزایش فاصله منبع آب تا مزرعه انتظار می‌رود انتقال آب به صورت کامل و بهینه تا مزرعه صورت نگیرد و هدررفت آب به دلایلی چون تبخیر، نفوذ آب در زمین، وجود علف‌های هرز و... افزایش می‌یابد که نتیجه آن می‌تواند کاهش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب باشد. برای کاهش هدررفت آب، انجام اقداماتی چون استفاده از سیستم‌های آبیاری کارآمدتر، بررسی وجود نشتی در سیستم آبیاری، انجام آبیاری بر اساس ظرفیت خاک مزرعه، محاسبه نیاز آبی محصول و بهترین زمان آبیاری، کشت گیاهان مقاوم به خشکی و پوشش انهار، قابل توصیه است. همچنین، رابطه منفی و معنی‌دار مدت زمان هر نوبت آبیاری با شاخص‌های بهره‌وری آب، نشان دهنده این است که با افزایش مدت زمان هر نوبت آبیاری، میزان آب مصرفی افزایش یافته ولی تاثیر زیادی بر افزایش عملکرد نداشته است. در واقع، این اقدام باعث افزایش مصرف آب و هزینه تولید و در نتیجه،

کاهش بهره‌وری اقتصادی آب شده که نشان دهنده استفاده غیربهبوده از منابع آب در تولید محصول است. این یافته با یافته ابراهیم‌نژاد و همکاران (۱۴۰۰)، مطابقت دارد که در مطالعه خود نتیجه گرفتند متغیر مدت زمان صرف شده جهت آبیاری از طریق تأثیر بر میزان آب آبیاری، تأثیر منفی بر بهره‌وری اقتصادی آب دارد.

با توجه به نتایج تحلیل رگرسیون، متغیر درآمد کشاورزی با تأثیر مثبت، نقش بیشتری در توضیح تغییرات شاخص بهره‌وری فیزیکی آب داشته است. با افزایش درآمد انتظار می‌رود کشاورز سرمایه‌گذاری بیشتری در کار کشاورزی داشته باشد و با خرید و به خدمت گرفتن فناوری‌ها و تجهیزات جدید و اقدامات مفید فنی و زراعی مدیریت آب در مزرعه، زمینه بهبود شاخص بهره‌وری فیزیکی آب را فراهم سازد. این یافته با یافته‌های حیدری (۱۳۹۱)، علی و تالوکودر (۲۰۰۸) و وی و همکاران (۲۰۲۰)، همخوانی دارد. متغیر مدت زمان هر نوبت آبیاری با تأثیر منفی، نقش بیشتری در توضیح تغییرات شاخص درآمد ناخالص به ازای واحد حجم آب مصرفی (BPD) و درآمد خالص (سود) به ازای واحد حجم آب مصرفی

(NBPD) دارد. این نتیجه بیانگر این است که با افزایش مدت زمان هر نوبت آبیاری، اگر چه میزان آب مصرفی افزایش یافته است اما به علت عدم تأثیر آن بر عملکرد محصول و افزایش هزینه تولید، باعث کاهش بهره‌وری اقتصادی آب می‌گردد که نشان‌دهنده استفاده غیربهبوده از منابع آب در تولید محصول گندم است، بنابراین، پیشنهاد می‌شود آبیاری مزارع گندم توسط کشاورزان متناسب با نیاز گیاه باشد. این یافته با یافته‌های ابراهیم‌نژاد و همکاران (۱۴۰۰) و علی و تالوکودر (۲۰۰۸)، همخوانی دارد.

با توجه به اهمیت آب و کمبود این نهاده ارزشمند در کشور و نیز با توجه به نقش تعاونی‌های آبربران در تحقق اهداف مدیریت منابع آب کشاورزی و بهره‌وری آن در سطح مزارع، تکرار این پژوهش در سطح سایر تعاونی‌های آبربران کشور توصیه می‌گردد.

تعارض منافع

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

فهرست منابع

۱. اینانلو طایفه یغمورلو، محسن، نظری، بیژن، و ستوده‌نیا، عباس. ۱۴۰۲. واکاوی نقش عوامل مؤثر بر بهره‌وری آب به روش تحلیل عاملی (مطالعه موردی: استان قزوین). نشریه دانش آب‌و‌خاک، ۳۳(۳)، صص. ۶۹-۸۱.
۲. احسانی، مهرزاد، و خالدی، هومن. ۱۳۸۲. شناخت و ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی به‌منظور تأمین امنیت آبی و غذایی کشور. مجموعه مقالات یازدهمین همایش ملی آبیاری و زهکشی ایران، ایران، تهران.
۳. ابراهیم‌نژاد، حسین، کرامت‌زاده، علی، اشراقی، فرشید، و رضایی، اعظم. ۱۴۰۰. بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید پرتقال در شهرستان قائم‌شهر. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۵(۳)، صص. ۲۷۶-۲۵۹. doi: 10.22092/jwra. 2021. 354273. 862
۴. بهرامی، مهدی، اسعدی، محمدعلی، و خلیلیان، صادق. ۱۳۹۹. ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب با تأکید بر آبیاری‌های نوین و سنتی در محصولات زراعی شهرستان شهریار. محیط‌زیست و مهندسی آب، ۶(۳)، صص. ۲۸۴-۲۹۲. doi.org/ 10. 22034/ jewe. 2020. 225362. 1354
۵. بیات، محمدعلی، و بابازاده، حسین. ۱۳۹۱. ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب در مهم‌ترین محصولات کشاورزی ایران. همایش ملی بهره‌برداری بهینه از منابع آب. ۲ اسفند ۱۳۹۱، ایران، دزفول.

۶. جعفری، هادی، . ۱۳۹۸ تعیین میزان بهینه برداشت از منابع آب زیرزمینی دشت ممنوعه سرخس، گزارش طرح پژوهشی، شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی.
۷. حسینی، نعمت، یداله‌ی، پیام، و مرتضوی، علی‌اصغر، . ۱۳۹۶ بررسی عوامل مؤثر بر رفتارهای مدیریت منابع آب کشاورزان (مطالعه‌ی موردی: دشت همدان-بهار). مهندسی منابع آب، ۱۰(۳)، صص. ۹-۱.
۸. حقایقی مقدم، ابوالقاسم، و دهقانی‌سانبج، حسین، . ۱۳۹۷ بهره‌وری آب کشاورزی در استان خراسان رضوی، وضعیت موجود، روش‌های ارتقا، چشم‌انداز توسعه. نشریه مدیریت آب در کشاورزی، ۵(۲)، صص. ۱۰-۱.
۹. حیدری، نادر، . ۱۳۹۳ ارزیابی شاخص بهره‌وری آب کشاورزی و عملکرد سیاست‌ها و برنامه‌های مدیریت آب کشور در این زمینه. مجلس و راهبرد، ۲۱(۷۸)، صص. ۱۹۹-۱۷۷.
۱۰. رایگا، سمیرا و نصراللهی، زهرا، . ۱۴۰۰ اثر سرمایه اجتماعی بر مصرف آب بخش خانگی: یک بررسی استانی. فصلنامه مدل‌سازی اقتصادسنجی، ۶(۳)، صص. ۱۲۲-۹۷. doi:10.22075/jem.2021.23505.159
۱۱. رضایی، محمدرضا، محمدی، حمید، و کرمی، آیت اله، . ۱۳۹۱ بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌برداری از منابع آب و پایداری آن در شرایط جغرافیایی متفاوت در استان فارس. محیط‌شناسی، ۳۸(۴)، صص. ۶۷-۷۸. doi:10.22059/jes.2013.29864
۱۲. سهرابی، محمد، . ۱۴۰۱ گزارش راهبردی بحران و تنش آبی در ایران. مرکز مطالعات راهبردی و آموزش وزارت کشور، گروه مطالعات تحلیل مسائل روز.
۱۳. سیدان، محسن، و قدمی فیروزآبادی، علی، . ۱۳۹۹ مقایسه بهره‌وری مصرف آب در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی در محصول سیب‌زمینی در استان همدان. علوم کاربردی سیب‌زمینی، ۳(۱)، صص. ۲۴-۱۷.
۱۴. سیدان، محسن، قدمی فیروزآبادی، علی، و دهقانی‌سانبج، حسین، . ۱۳۹۷ بررسی عوامل مؤثر بر ارتقا بهره‌وری آب محصولات زراعی در استان همدان. نشریه علمی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۲(۴)، صص. ۷۸۷-۷۷۵.
۱۵. عباسی، فریبرز، ناصری، ابوالفضل، سهراب، فرحناز، باغانی، جواد، عباسی، نادر، و اکبری، مهدی، . ۱۳۹۴ ارتقای بهره‌وری مصرف آب. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.
۱۶. عبدزاد گوهری، علی، امیری، ابراهیم، بابازاده، حسین، و صدقی، حسین، . ۱۳۹۷ اثر شوری و مدیریت آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری در ارقام بادام‌زمینی. تحقیقات آب‌و‌خاک ایران، ۴۹(۲)، صص. ۳۴۰-۳۲۹. doi: 10. 22059/ ijswr. 2017. 230766. 667656
۱۷. کارگری، نرگس، و مستوری، رضا، . ۱۳۸۸ بررسی میزان مصرف آب در بخش‌های مختلف ایران، مقایسه با کشورهای همسایه و ارائه راهکارهای اصلاحی. همایش ملی الگوهای توسعه پایدار در مدیریت آب، ۱ اسفند ۱۳۸۸، مشهد، ایران.
۱۸. کدیور، علی‌اصغر، بخشی، مهدی، و صالحی سلامی، حسن، . ۱۳۹۳ ارزیابی عملکرد اقتصادی و اجتماعی تعاونی‌های آب‌بران حوزه پایاب سد دوستی شهرستان سرخس. تعاون و کشاورزی، ۳(۹)، صص. ۱۷۷-۱۵۱.
۱۹. کشاورز، عباس، و دهقانی‌سانبج، حسین، . ۱۳۹۱ شاخص بهره‌وری آب و راهکار آتیه کشاورزی کشور. فصلنامه راهبرد اقتصادی، ۱(۱)، صص. ۲۲۳-۱۹۹.

۲۰. فرح‌زا، محمد نوید، نظری، بیژن، اکبری، محمدرضا، سادات نایینی، مهکامه، و لیاقت، عبدالمجید، ۱۳۹۹. ارزیابی بهره‌وری آب فیزیکی و اقتصادی محصولات زراعی در دشت مغان و تحلیل رابطه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۱(۴۲)، صص. ۱۶۶-۱۷۹.
doi: 10.22125/iwe.2020.120729
۲۱. محمدپور هنگروانی، مهدیه، و ارسلان‌بد، محمدرضا، ۱۳۹۴. بررسی بهره‌وری اقتصادی آب و عوامل مؤثر بر آن در محصولات عمده زراعی؛ مطالعه‌ی موردی شهرستان ارومیه. کنفرانس بین‌المللی توسعه با محوریت کشاورزی، محیط‌زیست و گردشگری، تبریز، ایران.
۲۲. محمودی، بهروز، صادقی، حمیدرضا، و اقدسی، وحید، ۱۴۰۰. سیمای بهره‌وری ایران، بهره‌وری، راهبرد فرابخشی پیشرفت ایران. تهران: انتشارات سازمان ملی بهره‌وری ایران.
۲۳. مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان سرخس، ۱۴۰۱. سیمای کشاورزی شهرستان سرخس، ۱۰ ص.
۲۴. ملارضا قصاب، فاطمه، عبدشاهی، عباس، و مرزبان، افشین، ۱۳۹۹. تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب کشاورزی، مطالعه موردی شهرستان دزفول. تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۲۱(۳)، صص. ۷۲-۴۹.
dor: 20. 1001. 1. 20086407. 1399. 12. 47. 3. 7
۲۵. نظری مجدر، حسن، مریدی، علی، یزدی، جعفر، و خزایی پول، احمد، ۱۳۹۸. چشم‌انداز پایداری تأمین نیازهای شرب و کشاورزی سد دوستی تحت سناریوهای تغییر اقلیم و بهره‌برداری از سد سلما. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵(۳)، صص. ۱۷-۳۲.
dor: 20.1001.1.17352347.1398.15.3.2.3. ۱۷-۳۲
۲۶. نقوی، سمیه، ۱۳۹۷. تعیین جایگاه ایران در بین کشورهای منتخب از منظر مصرف و شاخص بهره‌وری آب با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای. دومین همایش بین‌المللی و سومین همایش ملی کشاورزی، محیط‌زیست و امنیت غذایی، جیرفت، ایران.
۲۷. نوری، زهرا، ۱۳۹۵. بهره‌وری منابع آب، چالش‌ها و راهکارهای افزایش بهره‌وری. چهارمین همایش ملی انجمن‌های علمی دانشجویی رشته‌های کشاورزی، منابع طبیعی و محیط‌زیست. کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران.
۲۸. ورجاوند، پیمان، باغانی، جواد، و عباسی، فریبرز، ۱۴۰۰. ارزیابی مزرعه‌ای بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید گندم، مطالعه موردی در شهرستان‌های اهواز و دشت آزادگان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۵(۳)، صص. ۶۷۸-۶۶۵.
dor: 20. 1001. 1. 20087942. 1400. 15. 3. 15. 9. ۶۶۵-۶۷۸
29. Ali, M.H. and Talukder, M.S.U., 2008. Increasing water productivity in crop production, a synthesis. *Agricultural Water Management*, 95(11), pp.1201-1213.
doi.org/10.1016/j.agwat.2008.06.008
30. Belloumi, M. and Matoussi, M. S., 2006. Date yield and water productivity in Nefzaoua Oases of Tunisia: a comparative analysis. *New Medit*, 2, pp. 52-60.
31. GarcíaTejero, I., Romero Vicente, R., JiménezBocanegra, J.A., MartínezGarcía, G., DuránZuazo, V.H. and MurielFernández, J.L., 2010. Response of citrus trees to deficit irrigation during different phenological periods in relation to yield, fruit quality, and water productivity. *Agricultural Water Management*, 97 (5), pp. 689-699.
doi:10.1016/j.agwat.2009.12.012
32. Li, D.H., Du, T.S., Cao, Y., Shukla, M.K., Wu, D., Guo, X.W. and Chen, Sh., 2019. Quantitative analysis of irrigation water productivity in the middle reaches of Heihe River Basin, Northwest China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 12(5), pp. 119-125. **doi:10.25165/j.ijabe.20191205.4759**

33. Li, J., Zhu, T., Mao, X. and Adeloye, A.J., 2016. Modeling crop water consumption and water productivity in the middle reaches of Heihe river basin. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, pp. 242-255. **doi:10.1016/j.compag.2016.02.021**
34. Modlen, D., Oweis, Th., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M.A. and Kijne, J., 2010. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agricultural Water Management*, 97(4), pp. 528-535. **doi:10.1016/j.agwat.2009.03.023**
35. Mujere, N. and Mazvimavi, D., 2021. Assessing crop water productivity at Nyanyadzi smallholder irrigation scheme in Zimbabwe. *Water Productivity Journal*, 1(4), pp.13-24.
36. Obasi, P., Henri, A., Ukewuihe, I.S. and Chidiebere, N.M., 2013. Factors affecting agricultural productivity among arable crop farmers in Imo State, Nigeria. *American Journal of Experimental Agriculture*. 3(2), pp.443-454. **doi:10.9734/AJEA/2013/2030**
37. Sun, S., Zhang, C., Li, X., Zhou, T., Wang, Y., Wu, P. and Cai, H., 2017. Sensitivity of crop water productivity to the variation of agricultural and climatic factors: A study of Hetao irrigation district, China. *Journal of Cleaner Production*, 142, pp. 2562–2569. **doi:10.1016/j.jclepro.2016.11.020**
38. Wei, Q., Tan, Y., Li, Z., Eefje Aarnoudse, E. and Tu, Q., 2020. Agricultural water use efficiency, A case study of Inland-River Basins in Northwest China. *Sustainability*, 12, pp. 1-18. **doi:10.3390/su122310192**
39. Xiaolin, L., Xiaotao, Zh., Niu, J., Tong, L., Kang, Sh., Du, T., Li, S. and Ding, R., 2016. Irrigation water productivity is more influenced by agronomic practice factors than by climatic factors in Hexi Corridor, Northwest China. *Scientific Reports*, 6, pp. 1-10, **doi.org/10.1038/srep37971**.
40. Yan, N., Wu, B. and Zhu, W., 2020. Assessment of agricultural water productivity in arid China. *Water*, 12, pp. 1-14. **doi:10.3390/w12041161**

ارزیابی دقت مدل‌های مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای حرارتی و نوری برای تخمین میزان رطوبت خاک سطحی با بافت‌های متفاوت در کشت و صنعت نیشکر هفت‌تپه

مهدی کایدانی^{*}، عبدالرحیم هوشمند و سعید حمزه

دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهیدچمران اهواز، اهواز، ایران.

Kaydanimehdi63@gmail.com

استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

hooshmand_a@scu.ac.ir

دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

saeid.hamzeh@ut.ac.ir

دریافت: مهر ۱۴۰۳ و پذیرش: آذر ۱۴۰۳

چکیده

رطوبت خاک یکی از پارامترهای کلیدی در مدیریت منابع آب، خاک و گیاهان به شمار می‌رود. به دلیل مشکلاتی نظیر ناپیوستگی در برداشت نمونه‌ها، عدم دسترسی به اطلاعات کافی در مورد ویژگی‌های مناطق، و نیز صرف هزینه و زمان زیاد برای برآورد میزان آب قابل‌دسترس خاک و تغییرات مکانی آن، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به عنوان روشی به صرفه و کارآمد مطرح می‌شود. مدل دوزنقه‌ای حرارتی- مرئی بر اساس تفسیر توزیع پیکسل در فضای LST-VI است که این فضا برای تخمین رطوبت سطحی خاک یا تبخیر-تعرق واقعی استفاده می‌شود. هدف از این مطالعه برآورد رطوبت خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹ و ۸ در طول فصل داشت گیاه در دوره ۲۰۱۰-۱۴۰۱ و با استفاده از مدل‌های دوزنقه حرارتی و نوری در شرکت کشت و صنعت نیشکر هفت‌تپه در سه بافت خاک متفاوت بود. نتایج حاکی از دقت مشابه هر دو مدل در برآورد رطوبت خاک در هر سه بافت خاک است. بر اساس رابطه رگرسیونی برازش شده بین هر دو مدل و درصد رطوبت حجمی خاک در نقاط اندازه‌گیری شده بیشترین ضریب تبیین بدست آمده بین داده‌های مشاهده‌ای و بدست آمده برای مدل دوزنقه حرارتی ۰/۹۶ و برای مدل دوزنقه نوری ۰/۹۷ در بافت خاک لومی است. که نشان‌دهنده برازش و پراکنش دقیق داده‌ها در فضای LST-VI و STR-VI توسط مدل‌های مورد نظر است. همچنین به‌منظور کارایی نقشه‌های بدست آمده کمترین مقدار درصد RMSE برای دو مدل در بافت خاک لومی و به ترتیب ۳/۷۴ و ۳/۷۷ محاسبه گردید. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌های دوزنقه نوری و حرارتی رطوبت خاک را با اختلاف کم و با دقت بالا برای هر سه بافت خاک پیش‌بینی می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: مدل دوزنقه نوری، مدل دوزنقه حرارتی، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و ۹

^{*} - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: Kaydanimehdi63@gmail.com



مقدمه

در دهه گذشته روش‌های مبتنی بر ماهواره از جمله روش‌های سنجنش‌ازدور در بسیاری از مطالعات برای تشخیص رطوبت سطح خاک به‌صورت منطقه‌ای استفاده شده است (پاسولی و همکاران^۱، ۲۰۱۴). تصاویر ماهواره‌ای توانایی اندازه‌گیری رطوبت در سطح را امکان‌پذیر می‌کند؛ بنابراین در مقایسه با اندازه‌گیری میدانی، تکنیک‌های سنجنش‌ازدور امیدوارکننده هستند زیرا آن‌ها قادر به اندازه‌گیری میدانی با هزینه نسبتاً کم می‌باشند (ورسترتین و همکاران^۲، ۲۰۰۶). رطوبت خاک یکی از حساس‌ترین و بارزترین متغیرهای هیدرولوژیکی است (کرنلسن و کولیبالی^۳، ۲۰۱۵). این فاکتور نقش اساسی در مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی است (ام سی نالی و همکاران^۴، ۲۰۱۵)، پیش‌بینی‌های هواشناسی، مطالعات تغییر اقلیم و مدیریت منابع آب (پن و همکاران^۵، ۲۰۱۲) دارد. اوچسner و همکاران^۶ (۲۰۱۳) رطوبت خاک را از لحاظ زمانی و مکانی بررسی و نتیجه گرفتند که کاهش رطوبت خاک در زمان بارندگی باعث کاهش رواناب و افزایش رطوبت خاک، افزایش رواناب را به دنبال دارد. طبق تحقیقات ماسون^۷ (۲۰۱۰) رطوبت خاک به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین متغیرهای اقلیمی توسط سازمان جهانی هواشناسی، سیستم مشاهدات اقلیم جهانی و کمیته ماهواره‌های مشاهداتی زمین معرفی گردید. سنجنش‌ازدور یک ابزار قدرتمند برای تعیین رطوبت خاک نزدیک به سطح زمین (صفر تا پنج سانتیمتر) را فراهم می‌کند. روش‌های متعددی برای محاسبه رطوبت با کمک سنجنش‌ازدور وجود دارد که توسط محققینی مانند وانگ^۸، ۲۰۰۹، نیکلاس^۹، ۲۰۱۱ و زانگ^{۱۰}، ۲۰۱۶ توسعه یافته است. روش‌های سنجنش‌ازدور مبتنی بر امواج ماکروویو، روش‌های مؤثری برای برآورد رطوبت خاک بوده و با استفاده از شاخص NDVI در تصاویر لندست می‌توان به

این مهم دست یافت (خسروی‌ان و همکاران، ۱۳۹۶). فشانی و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی رطوبت خاک و شاخص کمبود آب ضریب همبستگی را ۹۳ درصد برآورد کردند که نشان‌دهنده دقت بالای این مدل است. حسینی و فرخیان (۲۰۱۹) به برآورد رطوبت خاک سطحی در منطقه دهدز در استان خوزستان با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و شاخص‌های نرمال شده رطوبت، پوشش گیاهی نرمال شده و دمای سطح زمین پرداخته‌اند. نتایج نشان داد بین مقادیر رطوبت خاک سطحی با شاخص‌های NDMI، NDVI و LST همبستگی ۷۸ درصدی وجود دارد. شاهمرادی و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از نمودار پراکنندگی دما پوشش گیاهی و تصاویر مودیس، شاخص رطوبت سطحی خاک را برای استان آذربایجان غربی استخراج کردند. نتایج به دست آمده از مدل برآورد شاخص رطوبتی سطحی خاک در این پژوهش نشان داد که این مدل قادر به برآورد مقدار رطوبت خاک در پهنه‌های وسیع جغرافیایی با دقت قابل قبول است.

کاظمی پور و همکاران (۱۳۹۷) نشان دادند مدل رگرسیونی نقطه‌ای که با استفاده از اطلاعات هیدرولیکی خاک به دست آمده، تطابق مناسبی بر داده‌های تجربی داشته و ضریب تبیین بالای مدل (۸۹ درصد) نشان‌دهنده دقت توابع پیشنهادی است. در این روش میزان گسیل گرما از سطح زمین با طول موج ۳/۵ تا ۱۴ میکرومتر اندازه‌گیری می‌شود (کوران^{۱۱}، ۱۹۸۵). تخمین رطوبت خاک با این روش، نیاز به برآورد دمای سطح خاک و شاخص گیاهی دارد (وانگ و کو^{۱۲}، ۲۰۰۹). پوشش گیاهی و دمای سطح زمین وابستگی پیچیده‌ای با رطوبت خاک دارند (کارلسون و همکاران^{۱۳}، ۱۹۹۴). بر اساس تحقیقات گیلیاس و همکاران^{۱۴} (۱۹۹۷) از ترکیب این دو شاخص می‌توان برای برآورد رطوبت خاک استفاده کرد. تغییرات دما در طول روز

^۸ -Wang^۹ - Nichols^{۱۰} - Zhang^{۱۱} - Curran^{۱۲} - Wang and Qu^{۱۳} - Carlson et al.^{۱۴} - Gillies et al.^۱ - Pasolli et al.^۲ - Verstraeten et al.^۳ - Kornelsen and Coulilbaly^۴ - McNally^۵ - Pan et al.^۶ - Ochsner et al.^۷ - Mason

با رطوبت خاک همبستگی زیادی دارند (انگ من^۱، ۱۹۸۵). همچنین وانگ و همکاران^۲ (۲۰۰۹) با تلفیق داده‌های رطوبت خاک و شاخص‌های NDVI و LST حاصل از شاخص گیاهی و دمای سطحی تصاویر MODIS روابط رگرسیونی را برای برآورد رطوبت خاک به دست آوردند که همبستگی بالایی را با مشاهدات زمینی نشان داده است. برآورد رطوبت سطحی خاک با استفاده از تصاویر ماهواره-ای و شاخص‌های سنجش‌ازدور در اراضی کشاورزی شهرستان شوشتر نشان داد رطوبت سطحی خاک با شاخص NDVI رابطه مستقیم و با شاخص LST رابطه معکوس داشته است همچنین شاخص LST برآورد بهتری از رطوبت خاک داشته که نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه این عامل بر مقادیر رطوبت سطحی خاک است (عبیات و همکاران، ۱۴۰۱). در سال ۲۰۱۷ یک مدل جدید برای برآورد رطوبت خاک با استفاده از سنجش‌ازدور مرئی ارائه شد که بر اساس رابطه فیزیکی خطی بین رطوبت خاک و بازتابی است که بر اساس توزیع پیکسل در داخل فضای تبدیل‌شده مادون-قرمز کوتاه (STR) توصیف می‌گردد (صادقی و همکاران، ۲۰۱۷). شاخص‌های مختلفی جهت برآورد رطوبت خاک با استفاده از سنجش‌ازدور مرئی و حرارتی وجود دارد که در جدول شماره ۱ به چند مورد اشاره شده است.

مدل دوزنقه‌ای^۳ یا مثلث^۴ یکی از مدل‌های به کار رفته در سنجش‌ازدور جهت برآورد رطوبت خاک است. مدل دوزنقه‌ای حرارتی-مرئی^۵ بر اساس تفسیر توزیع مکانی دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی یک شاخص رشد گیاهی است که فضای LST-VI برای تخمین رطوبت سطحی خاک یا تبخیر-تعرق واقعی استفاده می‌شود (کارلسون^۶، ۱۹۹۴، نعمایی، ۱۹۹۳، موران^۷، ۱۹۹۴) اگر تعداد کافی از پیکسل‌ها وجود داشته باشد و ابر و پیکسل‌های مانده در سطح آب از توزیع پیکسل حذف شوند، شبیه مثلث یا دوزنقه می‌شوند (کارلسون، ۲۰۱۳) که

یکی از دلایل موفقیت این مدل متکی بودن به داده‌های سنجش‌ازدور حرارتی و مرئی و عدم نیاز به اطلاعات جوی و داده‌های جانبی است (کارلسون، ۲۰۰۷). این مدل دارای دو محدودیت اصلی است. اول اینکه مدل دوزنقه حرارتی^۸ (TOTRAM) را نمی‌توان برای ماهواره‌های بدون باند حرارتی بکار گرفت، دوم اینکه علاوه بر رطوبت خاک، دمای سطح زمین به عوامل محیطی ارتباط دارد که نیاز است برای هر تصویر کالیبره گردد. بدین منظور یک مدل دوزنقه-ای جدید بنام مدل دوزنقه نوری^۹ (OPTRAM) معرفی گردید که بر پایه رابطه فیزیکی بین رطوبت خاک و بازتاب تبدیل‌شده مادون‌قرمز کوتاه است (صادقی و همکاران، ۲۰۱۵). با توجه به مرور منابع مشخص شد که مدل دوزنقه حرارتی TOTRAM و مدل دوزنقه معکوس طیفی OPTRAM از توانایی خوبی در برآورد رطوبت خاک برخوردار هستند اما تاکنون تحقیقی جهت مقایسه نتایج حاصل از اجرای هم‌زمان این دو مدل برای اراضی نیشکر در بافت خاک متفاوت صورت نگرفته است؛

بنابراین در این تحقیق علاوه بر ارتباط بین داده-های بدست آمده رطوبت خاک با شاخص‌های دما و گیاه، تفاوت و دقت مدل‌های TOTRAM و OPTRAM برای تصاویر استخراجی از ماهواره لندست ۸ و ۹ در مورد عامل رطوبت خاک در بافت خاک متفاوت بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

این تحقیق با اهداف ذکر شده در سال‌های ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۲ در مزرعه شرکت کشت و صنعت نیشکر هفت‌تپه در ۲۰ کیلومتری شهر شوش و ۹۰ کیلومتری شمال شهر اهواز میان رودخانه‌های دز و کرخه اجرا می‌گردد. آب‌وهوای آن متأثر از آب‌وهوای عمومی دشت جنوب، گرم و خشک است (ملایی، ۱۳۹۴). زمین‌های منطقه

^۶- Carlson.

^۷- Moran.

^۸- Thermal-Optical Trapezoid Model

^۹- Optical TRapezoid Model

^۱- Angmen

^۲- Wang et al.

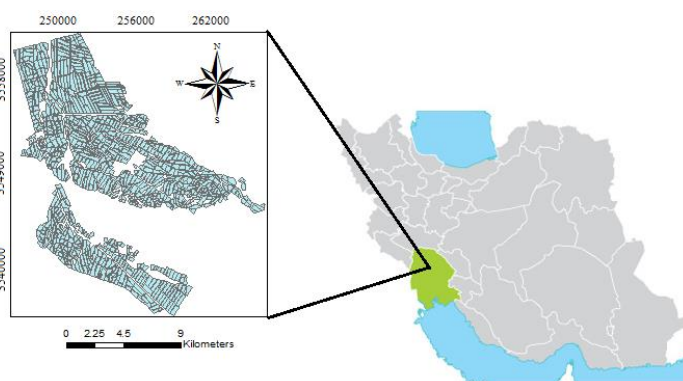
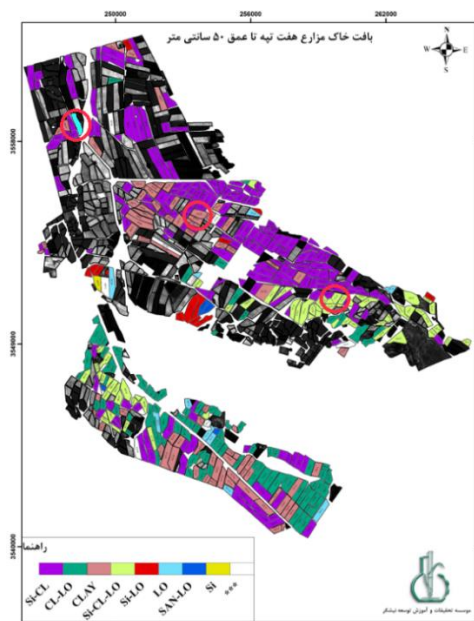
^۳- Trapezoid

^۴- Triangle

^۵- Thermal-Optical Trapezoid Model

هفت تپه دارای ارتفاع ۴۳ تا ۸۲ متر از سطح دریا می‌باشند. کشت و صنعت هفت تپه نخستین واحد تولید شکر از نیشکر در ایران است. سطح کل زمین‌های آن بیش از ۲۴۵۰۰ هکتار است که نزدیک ۱۲۳۰۰ هکتار آن زمین‌های فاریاب مساعد کشت نیشکر هستند (ملایی، ۱۳۹۴). بر اساس اطلاعات هواشناسی ده سال اخیر (۱۴۰۲-۱۳۹۳)

کشت و صنعت هفت تپه، معدل روزانه بیشینه دما ۳۲/۸ درجه سانتی‌گراد و معدل حداقل روزانه دما ۱۵/۹ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. میانگین بارندگی سالانه ۲۶۴ میلی‌متر و تبخیر سالانه در این منطقه بسیار زیاد و سالیانه نزدیک به ۲۷۴۰ میلی‌متر است (ایستگاه هواشناسی هفت تپه).



شکل ۱- نقشه بافت خاک و موقعیت مزارع انتخاب شده

همان گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد بافت- های خاک منطقه شامل سیلت، لومی-شنی، لومی، لومی-سیلتی، لومی-رسی-سیلتی، لومی-رسی-شنی، رسی، لومی-رسی و رسی سیلتی می‌باشند. سه مزرعه کشت

جدید A ۶۰۳ (بافت لومی)، B ۲۰۵ (بافت رسی) و H ۱۲۱ (بافت لومی-رسی-سیلتی) با واریته CP69-1062 برای مطالعه مورد نظر انتخاب گردید. در جدول ۱ درصد رس، شن و سیلت برای هر کدام از مزارع ذکر گردیده است.

جدول ۱- درصد بافت خاک مزارع مورد مطالعه

بافت	clay	silt	sand	مزرعه
لومی	25.80	32.00	42.20	603 A
رسی	53.80	37.32	8.88	205 B
لومی-رسی-سیلتی	39.60	50.00	10.40	121 H

داده‌ها
داده‌های ماهواره‌ای
جهت انجام این تحقیق از تعداد نه تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و ۹ مربوط به شماره گذر و ردیف‌های ۱۲۲ و ۳۹ طی بازه زمانی اسفند ۱۴۰۱ تا بهمن ماه سال ۱۴۰۲ استفاده گردید. تصاویر لندست ۸ معمولاً هر ۱۶ روز در دسترس قرار گرفته و از یازده باند طیفی با وضوح

مکانی ۳۰ متر برای باندهای یک تا نه (طول موج کوتاه) و باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ با وضوح ۱۰۰ متر تشکیل شده- اند. لندست ۹ از نظر ویژگی و شرایط باندی مشابه لندست ۸ بوده و از این لحاظ تفاوتی قائل نمی‌شود اما از مزیت‌های این سری ماهواره می‌توان به در نظر گرفتن جزئیات بیشتر پدیده‌ها، توان رادیومتریکی بالاتر و ظرفیت تصویربرداری فراتر اشاره نمود. همچنین از ترکیب داده‌های لندست ۹ و

لندست ۸ خلأ زمانی جبران گردیده و تقریباً هر هشت روز یکبار امکان تصویربرداری و جمع‌آوری داده وجود دارد. اشاره گردیده است. در جدول ۲ مشخصات کلی سری ماهواره لندست ۸ و ۹

جدول ۲- مشخصات باندهای ماهواره لندست ۸-۹

شماره باند	معرفی باند	طول موج (میکرومتر)	قدرت تفکیکی مکانی (متر)	هدف
1	Coastal Aerosol	0.433 – 0.453	30	عمق سنجی و شناسایی گردوغبار
2	Blue	0.450 – 0.515	30	شناسایی آب، تهیه نقشه‌های کاربری اراضی
3	Green	0.525 – 0.600	30	پوشش گیاهی، جذب کلروفیل
4	Red	0.630 – 0.680	30	تشخیص گونه‌های گیاهی از یکدیگر و خاک
5	NIR (Near Infrared)	0.845 – 0.885	30	تمایز خاک، پوشش گیاهی و آب و سلامت گیاه
6	SWIR 1	1.560 – 1.660	30	تشخیص رطوبت
7	SWIR 2	2.100 – 2.300	30	تشخیص رطوبت
8	Panchromatic	0.500 – 0.680	15	ارتقای وضوح مکانی (باند مرئی سیاهوسفید)
9	Cirrus	1.360 – 1.390	30	شناسایی ابرهای سبوس
10	TIRS 1 (Thermal Infrared)	10.600 – 11.200	100	تشخیص گرمای سطح زمین و اجسام موجود
11	TIRS 1 (Thermal Infrared)	11.500 - 12500	100	تشخیص گرمای سطح زمین و اجسام موجود

ماهواره لندست ۸ و ۹ با قدرت تفکیک مکانی متوسط است. این ماهواره‌ها از دو سنجنده‌ی OLI^۱ در نه باند و TIS^۲ در دو باند تشکیل شده است. همه تصاویر در سطح پردازش یک و از طریق سایت زمین‌شناسی آمریکا

جدول ۳- تاریخ و موقعیت تصاویر مورد استفاده در تحقیق

ردیف	نوع ماهواره	تاریخ شمسی	مزرعه	تصویر
1	لندست 8	1401.12.20	205 B	WGS84-38N
2	لندست 8	1402.01.31	603 A	WGS84-38N
3	لندست 9	1402.03.24	121 H	WGS84-38N
4	لندست 8	1402.04.18	205 B	WGS84-38N
5	لندست 8	1402.05.02	603 A	WGS84-38N
6	لندست 9	1402.06.11	121 H	WGS84-38N
7	لندست 8	1402.07.20	205 B	WGS84-38N
8	لندست 9	1402.09.25	603 A	WGS84-38N
9	لندست 9	1402.11.20	121 H	WGS84-38N

داده‌های زمینی در مزارع مورد پژوهش، پارامترهای رطوبت خاک و بافت خاک اندازه‌گیری شدند. با توجه به اینکه ماهواره‌های لندست ۸ و ۹ با استفاده از منبع نور خورشید کار می‌کنند، تصاویر دمای به دست آمده از آن‌ها مرتبط با سطحی خاک یا دمای کنوپی هستند. به همین دلیل، برای برآورد دقیق رطوبت خاک، نمونه‌برداری در عمق پنج سانتیمتر به صورت همزمان با عبور ماهواره‌های لندست ۸ یا ۹ انجام شد. این عملیات برای هر مزرعه در سه مرحله از فصل برداشت نیشکر، از اسفند ۱۴۰۱ تا بهمن ۱۴۰۲،

سطحی خاک یا دمای کنوپی هستند. به همین دلیل، برای برآورد دقیق رطوبت خاک، نمونه‌برداری در عمق پنج سانتیمتر به صورت همزمان با عبور ماهواره‌های لندست ۸ و ۹ انجام شد. این عملیات برای هر مزرعه در سه مرحله از فصل برداشت نیشکر، از اسفند ۱۴۰۱ تا بهمن ۱۴۰۲،

^۲- Thermal InfraRed Sensor

^۱- Operational Land Imager

صورت گرفت. برای هر مزرعه ۱۵ نقطه، ۱۰ نقطه در بالا و پنج نقطه در پایین مزرعه طبق نظر کارشناسان مطالعات کاربردی و به نحو داده‌برداری کراپ‌لاگ و در مجموع برای هر مزرعه ۴۵ داده برای هر پارامتر در سه بار نمونه‌گیری اندازه‌گیری شد. همچنین در این نقاط، پارامترهایی نظیر دما، جرم مخصوص ظاهری خاک، رطوبت وزنی و رطوبت حجمی نیز اندازه‌گیری شد.

پیش‌پردازش داده‌ها

تصاویر ماهواره لندست ۸ و ۹ دارای تصحیحات هندسی است و تصحیحات اتمسفری و رادیومتریک توسط نرم‌افزار ENVI۵.۶ و با استفاده از متادیتای این تصاویر انجام گرفته است. برای به دست آوردن اطلاعات دقیق‌تر، تصحیحات رادیومتریک و تصحیحات اتمسفری با استفاده از الگوریتم FLAASH انجام گرفته است. الگوریتم FLAASH با بررسی مدل‌های انتقال تابشی، اثراتی را که از اتمسفر و زمین بر روی امواج الکترومغناطیسی منتشر شده دارند، شبیه‌سازی می‌کند. در مرحله بعد، با استفاده از نسبت‌گیری طیفی، شاخص گیاهی NDVI استخراج گردید. این شاخص، به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های گیاهی، نشان‌دهنده میزان فعالیت گیاهی در منطقه موردنظر است. همچنین، برای محاسبه دمای سطح زمین، از الگوریتم تک پنجره‌ای (Window Mono) استفاده شد. در این روش، با استفاده از پارامترهایی مانند دمای درخشندگی، میانگین دمای اتمسفر، ضریب عبور اتمسفری و گسیلمندی، دمای سطح زمین به دست می‌آید. این روش، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به دقت بالاتری نسبت به روش‌های سنتی، دمای سطح زمین را محاسبه می‌کند (رونگالی و همکاران^۱، ۲۰۱۸). روش‌ها و الگوریتم‌های

مورد استفاده در برآورد رطوبت خاک در شکل شماره ۲ نشان داده شده است.

پردازش داده‌ها

با استفاده از تصویر کالیبره شده شاخص LST و NDVI محاسبه گردید. مقدار NDVI از رابطه (۱) بدست می‌آید. NDVImax و NDVImin به ترتیب بیشترین و کمترین NDVI مشاهده شده است. در این روش از آستانه‌گذاری NDVI استفاده می‌شود، پیکسل مربوط به خاک خشک با میزان گسیلمندی ۰/۹۷ برای لندست می‌باشد. اگر NDVI بزرگتر از ۰/۵ باشد پیکسل-های با ارزش NDVI بزرگتر از ۰/۵ بیشترین تراکم پوشش گیاهی را نشان می‌دهند که مقدار ثابت گسیلمندی آن‌ها ۰/۹۹ تخمین زده می‌شود. اگر NDVI بین ۰/۲ و ۰/۵ باشد پیکسل ترکیبی از پدیده‌های مختلف است و از رابطه (۵) قابل محاسبه است (ونگ^۲، ۲۰۰۴).

تراکم پوشش گیاهی بین ۱ و ۱- است و مقدار LST بر اساس درجه‌ی کلون بوده و که از دمای روشنایی به دست می‌آید (تاردی و همکاران^۳، ۲۰۱۶) در این مطالعه دمای سطح زمین بر اساس درجه‌ی سانتی‌گراد بیان شده است. شاخص NDVI برای اولین بار توسط روسه و همکاران^۴ (۱۹۷۴) ارائه گردید (رابطه (۱)).

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{red}}{R_{NIR} + R_{red}} \quad (1)$$

که در آن R_{NIR} باند مادون‌قرمز نزدیک (باند ۵ در ماهواره لندست) و R_{red} باند قرمز (باند ۴ در ماهواره لندست) است. برای تبدیل تصاویر رادیانس شده به دمای روشنایی و دمای سطح زمین به ترتیب از رابطه‌های ۲ و ۳ استفاده شده است.

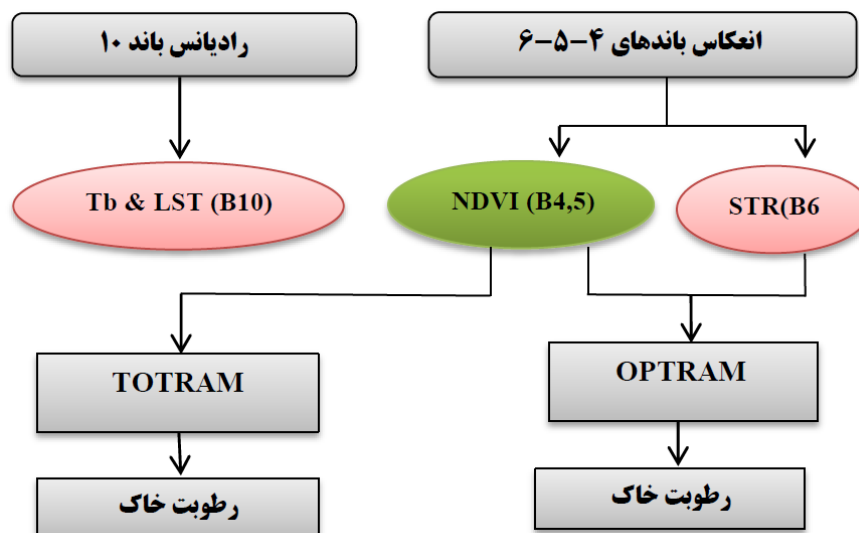
$$T_b = \frac{hc/k\lambda}{\ln\left(\frac{2hc^2\lambda^{-5}}{L_\lambda} + 1\right)} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

³- Tardy et al.

⁴- Rouse et al.

¹- Rongali et al.

²- Weng



شکل ۲- نمای مراحل تحقیق جهت برآورد رطوبت خاک

مربوط به خاک خشک و LST_w دمای مربوط به خاک مرطوب است.

$$LST_d = i_d + s_d \times NDVI \quad (7)$$

$$LST_w = i_w + s_w \times NDVI \quad (8)$$

i_d و s_d به ترتیب مربوط به بیشترین دمای سطح زمین و کمترین تراکم پوشش گیاهی، i_w و s_w به ترتیب مربوط به کمترین دمای سطح زمین و بیشترین تراکم پوشش گیاهی است که با استفاده از رابطه (۹) رطوبت خاک در فضای $LST-VI$ قابل تخمین است.

$$TOTRAM = \frac{i_d + s_d \times NDVI - LST}{i_d - i_w + (s_d - s_w) \times NDVI} \quad (9)$$

مدل جدید دوزنقه‌ای مرئی

این مدل برای نخستین بار توسط کوبلا و مونک^۱ (۱۹۳۱) تحت عنوان مدل انتقال تابشی دوگانه پایه‌گذاری شد سپس توسط صادقی و همکاران (۲۰۱۵) به عنوان مدل فیزیکی بین رطوبت خاک و انعکاس مادون قرمز کوتاه توسعه داده شد.

$$W = \frac{\theta - \theta_d}{\theta_w - \theta_d} = \frac{STR - STR_d}{STR_w - STR_d} \quad (10)$$

$$LST = \frac{T}{1 + \left(\lambda \times \frac{T}{\rho}\right) \times \ln \varepsilon} \quad (3)$$

LST دمای سطح بر حسب (°K)، λ طول موج باند حرارتی، ρ برابر با $2^{-10} \times 1/438$ و ε توان تشعشعی است که از رابطه (۴) بدست می‌آید.

$$\varepsilon = \varepsilon_{veg} P_v + \varepsilon_{soil} (1 - P_v) \quad (4)$$

ε_{veg} برابر با ۰/۹۹، ε_{soil} برابر با ۰/۹۷ و مقدار P_v از رابطه (۵) بدست می‌آید.

$$P_v = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (5)$$

مدل سنتی دوزنقه‌ای حرارتی-مرئی

این مدل بر اساس توزیع پیکسل در فضای دمای سطح زمین و پوشش گیاهی است که جهت محاسبه رطوبت خاک با استفاده از یک معادله خطی در فضای $LST-VI$ (روابط ۶ و ۷ و ۸) برازش می‌شود.

$$W = \frac{\theta - \theta_d}{\theta_w - \theta_d} = \frac{LST_d - LST}{LST_d - LST_w} \quad (6)$$

W مقدار رطوبت خاک نرمال شده، θ_d حداقل مقدار رطوبت خاک خشک در شرایط محلی، θ_w حداکثر مقدار رطوبت خاک مرطوب در شرایط محلی، LST_d دمای

$$OPTRAM = \frac{i_d + s_d \times NDVI - STR}{i_d - i_w + (s_d - s_w) \times NDVI} \quad (14)$$

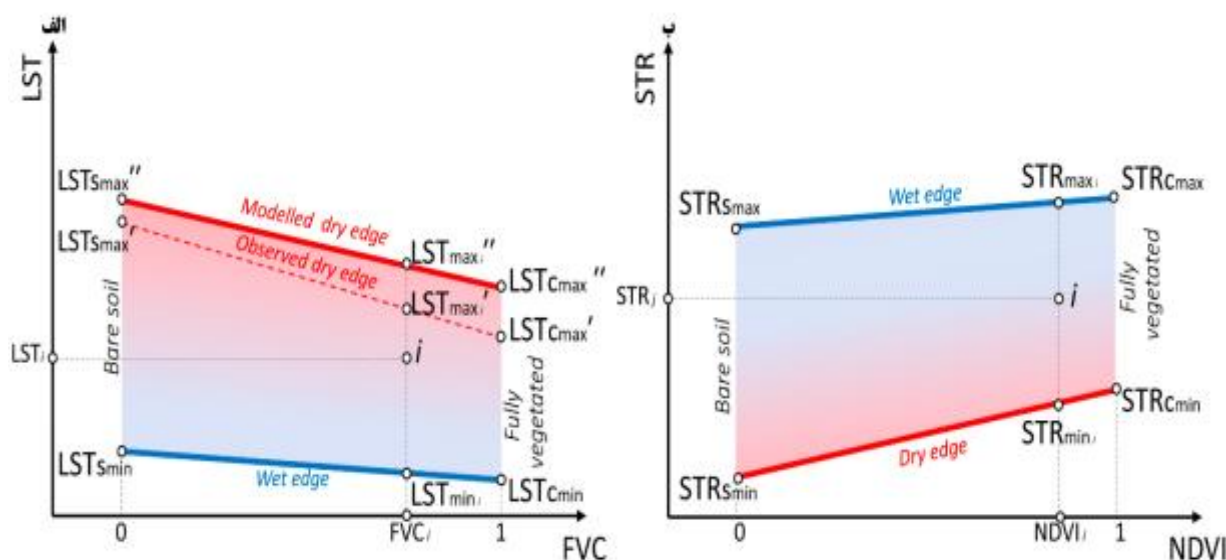
عدد بدست آمده از رطوبت خاک نوری به- صورت رطوبت خاک اشباع است که باید در مقدار تخلخل خاک ضرب گردد. همان‌گونه که در شکل ۳ مشخص است رابطه خطی بین خاک و پوشش گیاهی وجود دارد که ایجاد یک شکل مثلثی در فضای STR-NDVI انتظار می‌رود؛ بنابراین پارامترهای رابطه ۱۱ را می‌توان برای لبه‌های خشک و تر از تصاویر ماهواره‌ای استخراج نمود.

STR انعکاس بازگشتی مادون قرمز کوتاه، STR_d و STR_w به ترتیب انعکاس بازگشتی مادون قرمز کوتاه در لبه‌های خشک و تر می‌باشند. R_{SWIR} انعکاس باند مادون قرمز کوتاه برای باندهای ۶ و ۷ است.

$$STR = \frac{(1 - R_{SWIR})^2}{2 \times R_{SWIR}} \quad (11)$$

$$STR_d = i_d + s_d \times NDVI \quad (12)$$

$$STR_w = i_w + s_w \times NDVI \quad (13)$$



شکل ۳- لبه‌های خشک و تر در پارامترهای مدل‌های OPTRAM و TOTRAM (محمدی معله زاده و همکاران، ۱۴۰۲)

نمونه‌های به کار رفته، $\bar{O}_i$ مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (15)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O}_i)^2} \quad (16)$$

طبقه‌بندی رطوبت خاک

معیار طبقه‌بندی مزارع نیشکر در این روش، رطوبت خاک اندازه‌گیری شده و زمان سپری از آبیاری مزارع است. این طبقه‌بندی به پنج دسته رطوبتی از حالت اشباع تا تنش آبیاری تقسیم‌بندی می‌گردد که در جدول ۴ ذکر گردیده است. هدف از این طبقه‌بندی سهولت در تفسیر تصاویر، مدیریت آبیاری مزرعه و توزیع یکنواختی آبیاری

روابط ۹ و ۱۴ شبیه یکدیگر هستند با این تفاوت که STR جایگزین LST شده است. در مدل TOTRAM فضای LST-VI در زمان و مکان قابل تغییر است. مدل OPTRAM از طول موج مادون قرمز نزدیک استفاده می‌کند که تحت تأثیر پارامترهای جوی و اتمسفر نیست.

ارزیابی نتایج مدل

برای صحت سنجی مدل‌ها با شرایط واقعی مزرعه و انتخاب مدل بهینه در طول دوره رشد نیشکر و پایش بهنگام رطوبت سطحی خاک در مزارع نیشکر، با استفاده از پارامترهای آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) انجام شد؛ که در آن‌ها P_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر مشاهده شده، n تعداد

NDVI افزایش می‌یابد تا گیاه به رشد بیشینه (اوج سبزی‌نگی) برسد. بعد از مرحله رسیدگی و خواب گیاه و همچنین زرد شدن (خشکیدگی) به دلیل اینکه گیاه آب از دست می‌دهد مقدار NDVI تا حدی کاهش می‌یابد که این فرآیند در تحقیق خیرخواه زرکش و همکاران (۱۳۹۲)، ال نه‌ری و همکاران^۱ (۲۰۱۱) و نورالدین و همکاران^۲ (۲۰۱۳) نیز گزارش شده است.

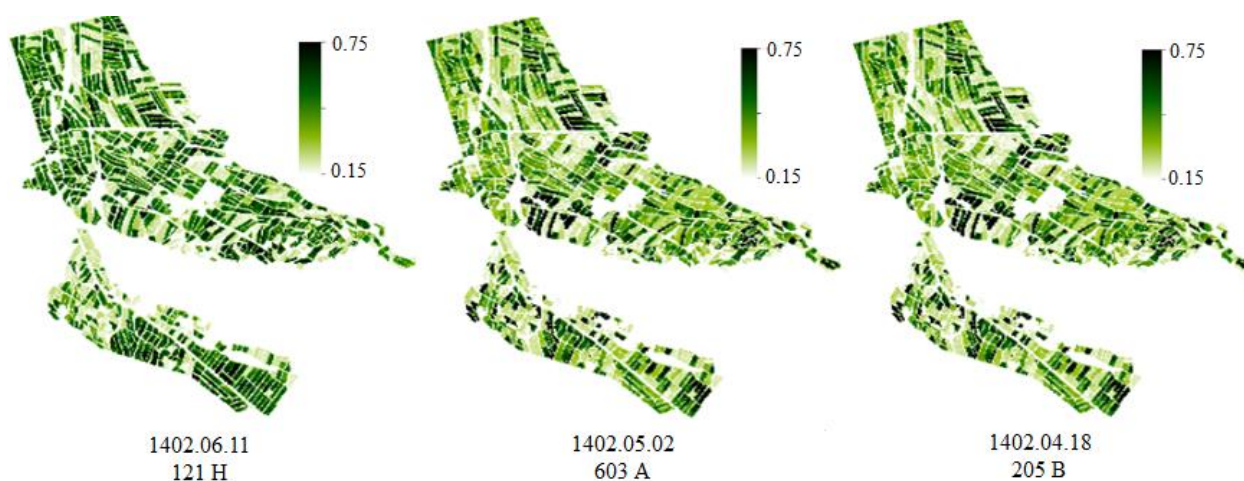
در سطح مزرعه است (محمدی معله‌زاده و همکاران، ۱۴۰۲) (جدول ۴).

نتایج و بحث

نقشه NDVI مزارع در زمان رشد محصول در شکل ۴ نشان داده شده است. با رشد محصول، مقدار

جدول ۴- طبقه‌بندی رطوبت حجمی خاک

وضعیت مزرعه	درصد رطوبت خاک	طبقه‌بندی
رطوبت مزارعی که زمان آبیاری آن گذشته و دچار تنش می‌شود	0-15	شروع تنش
رطوبت مزارعی که زمان آبیاری آن‌ها رسیده است	15-22	شروع آبیاری (بستگی به بافت خاک)
رطوبت مزارع چهار تا هفت روز بعد از آبیاری	22-35	رطوبت متوسط
رطوبت مزارع یک تا سه روز بعد از آبیاری	35-45	رطوبت بالا
رطوبت مزارع در حال آبیاری	45-100	در حال آبیاری (اشباع)



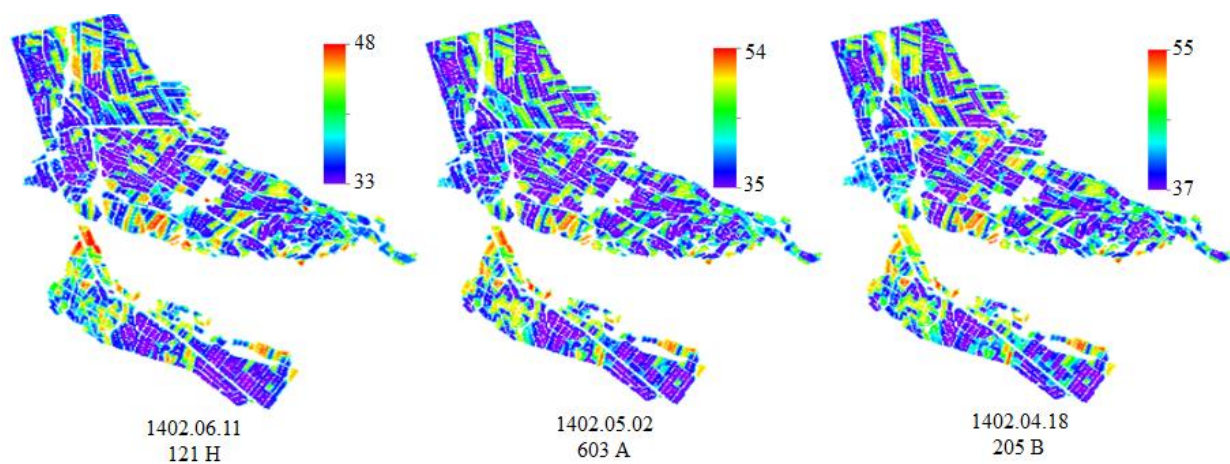
شکل ۴- نقشه NDVI مزارع

رطوبت سطحی خاک بدست آمده با استفاده از روش TOTRAM و OPTRAM در شکل ۶ و ۷ نشان داده شده است.

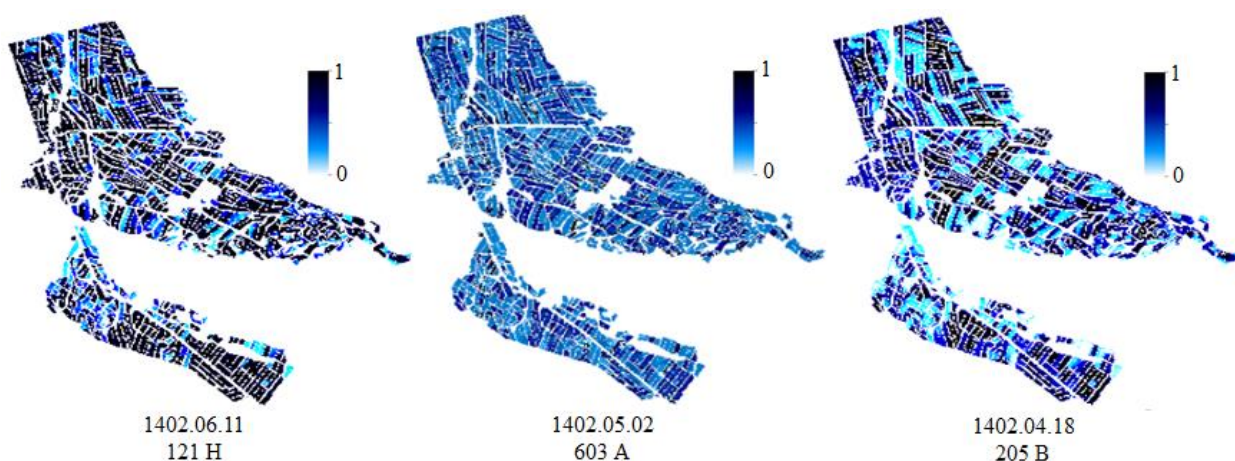
نقشه پراکنش LST در شکل ۵ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد بیشترین بازه دمایی مربوط به خرداد، تیر و مردادماه و کمترین بازه دمایی مربوط به بهمن‌ماه است.

²- Nouredin et al.

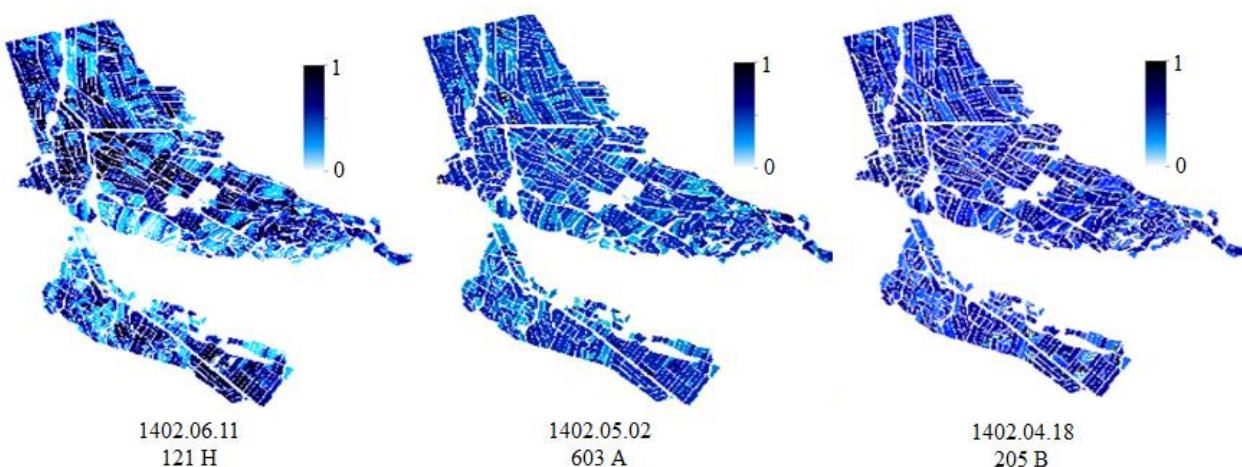
¹- El Nahry et al.



شکل ۵- نقشه پراکنش LST



شکل ۶- نقشه رطوبت خاک بدست آمده به روش TOTRAM



شکل ۷- نقشه رطوبت خاک بدست آمده به روش OPTRAM

تراکم کمتر و بایر. همچنین نوسانات رطوبت سطحی خاک در اراضی کشاورزی نسبت به مناطق دیم و بایر حاکی از تأثیر آبیاری محصولات زراعی بر دمای سطح زمین و در

همان‌گونه که در این شکل‌ها ملاحظه می‌شود رطوبت سطحی خاک در بخش‌های غربی بیشتر است که عمدتاً مزارع پوشیده از محصول هستند، نسبت به مزارع با

نتیجه تغییر در شاخص‌های پوشش گیاهی و رطوبت خاک دارد. در نواحی با پوشش گیاهی متراکم، آب قدرت نفوذ بیشتری داشته و به دلیل وجود لاش‌برگ، قدرت نگهداری آب در خاک بیشتر است و نسبت مواد آلی خاک به مواد معدنی، نقش بسزایی در جذب انرژی خورشید دارد، به-طوری که با افزایش کربن آلی خاک، رنگ آن تیره‌تر شده و جذب انرژی خورشید افزایش پیدا می‌کند درحالی که جذب انرژی خورشید در مناطق خشک و بایر به دلیل روشن بودن خاک و وجود املاح کاهش می‌یابد، ضمن آن‌که در مناطق با خاک مرطوب‌تر، تراکم پوشش گیاهی بر

بازتاب خاک و در نتیجه دمای سطح زمین تأثیر می‌گذارد (عبیات و همکاران، ۲۰۲۲). برای انجام محاسبات مدل^۱ TOTRAM و^۲ OPTRAM که بر اساس توزیع پیکسل در فضای LST - NDVI و STR - NDVI است، ابتدا برای هر تصویر مقادیر NDVI در برابر LST و STR ترسیم گردید و سپس، معادلات بهترین خط‌های برازش شده بالا و پایین LSTd و LSTw، STRd و STRw برای هر یک از تاریخ‌های نمونه‌برداری شده میدانی، مشخص شد (جدول ۵).

جدول ۵- معادلات خطی بدست آمده از فضای مثلی LST-NDVI و STR-NDVI برای شاخص TOTRAM و OPTRAM

شاخص	تاریخ	لبه خشک (LST _d)	لبه تر (LST _w)
TOTRAM	1401.12.20	-4.56NDVI+29.860	-3.46NDVI+25.080
TOTRAM	1402.01.31	-24.28NDVI+43.638	-3.45NDVI+29.914
TOTRAM	1402.03.24	-25.89NDVI+48.759	-6.287NDVI+36.972
TOTRAM	1402.04.18	-31.85NDVI+56.686	-4.57NDVI+37.363
TOTRAM	1402.05.02	-42.21NDVI+58.264	-4.19NDVI+36.215
TOTRAM	1402.06.11	-25.89NDVI+42.952	-12.35NDVI+36.699
TOTRAM	1402.07.20	-16.86NDVI+38.185	-17.79NDVI+31.459
TOTRAM	1402.09.25	-9.40NDVI+18.731	-1.08NDVI+14.391
TOTRAM	1402.11.20	-89.729NDVI+22.28	-23.80NDVI+17.02
شاخص	تاریخ	لبه خشک (STR _d)	لبه تر (STR _w)
OPTRAM	1401.12.20	0.38NDVI-0.052	0.08NDVI-0.045
OPTRAM	1402.01.31	1.19NDVI-0.186	0.036NDVI-0.024
OPTRAM	1402.03.24	0.73NDVI-0.057	0.123NDVI-0.032
OPTRAM	1402.04.18	0.42NDVI+0.148	0.11NDVI+0.261
OPTRAM	1402.05.02	1.69NDVI-0.641	0.21NDVI+0.161
OPTRAM	1402.06.11	0.703NDVI-0.015	0.28NDVI-0.074
OPTRAM	1402.07.20	1.17NDVI-0.252	0.052 NDVI-0.021
OPTRAM	1402.09.25	0.098NDVI-0.021	0.06NDVI-0.017
OPTRAM	1402.11.20	2.42NDVI-0.116	1.30NDVI-0.010

²- Optical TRapezoid Model

¹- Thermal-Optical Trapezoid Model

نرمال بودن داده‌هاست. در مرحله بعد، برای بررسی ارتباط بین مقادیر رطوبت خاک و شاخص‌های مورد بررسی، آزمون همبستگی پیرسون انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۷ ارائه شده است.

توزیع نرمال بودن داده‌ها به وسیله آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۱ و شاپیرو ویلک^۲ با استفاده از نرم‌افزار SPSS بررسی شد. نتایج این آزمون در جدول ۶ ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو ویلک نشان‌دهنده

جدول ۶- نتایج آزمون نرمال بودن شاخص‌های به کار رفته در مدل برآورد رطوبت خاک

روش	N	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		603 A	205 B	121 H	603 A	205 B	121 H
OPTRAM	45	0.008	0.008	0.153	0.150	0.020	0.078
TOTRAM	45	0.007	0.006	0.098	0.007	0.036	0.041
Observation	45	0.200	0.200	0.164	0.329	0.275	0.067

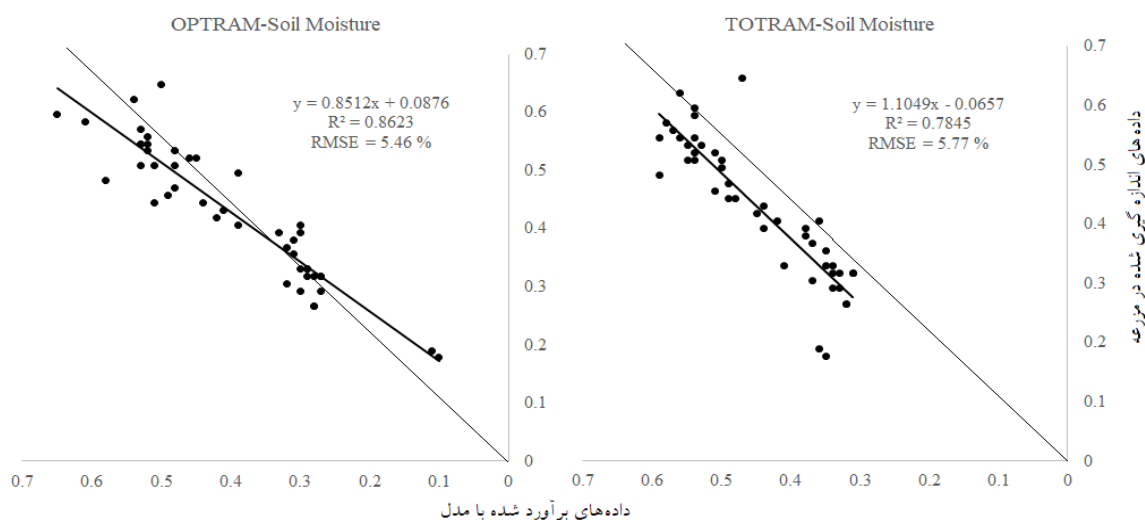
جدول ۷- همبستگی بین مقادیر مشاهده‌ای و محاسبه‌شده

روش	603 A	205 B	121 H
	Observation	Observation	Observation
OPTRAM	0.927**	0.940**	0.957**
TOTRAM	0.885**	0.907**	0.950**

نتایج جدول نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد است

در ادامه به منظور ایجاد مدل‌های خطی بین مقادیر مشاهده‌شده و اندازه‌گیری شده در سه بافت خاک در شکل-های ۶، ۷ و ۸ ارتباط بین رطوبت خاک مشاهده‌شده با روش‌های OPTRAM و TOTRAM ارائه شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بین مقادیر رطوبت خاک با شاخص OPTRAM و TOTRAM هر سه مزرعه با بافت خاک متفاوت، همبستگی مثبت معنی-دار در سطح یک وجود دارد؛ بنابراین نتایج به دست آمده نشان‌دهنده رابطه بسیار قوی بین مقادیر رطوبت خاک با شاخص‌های مورد نظر در این پژوهش است.



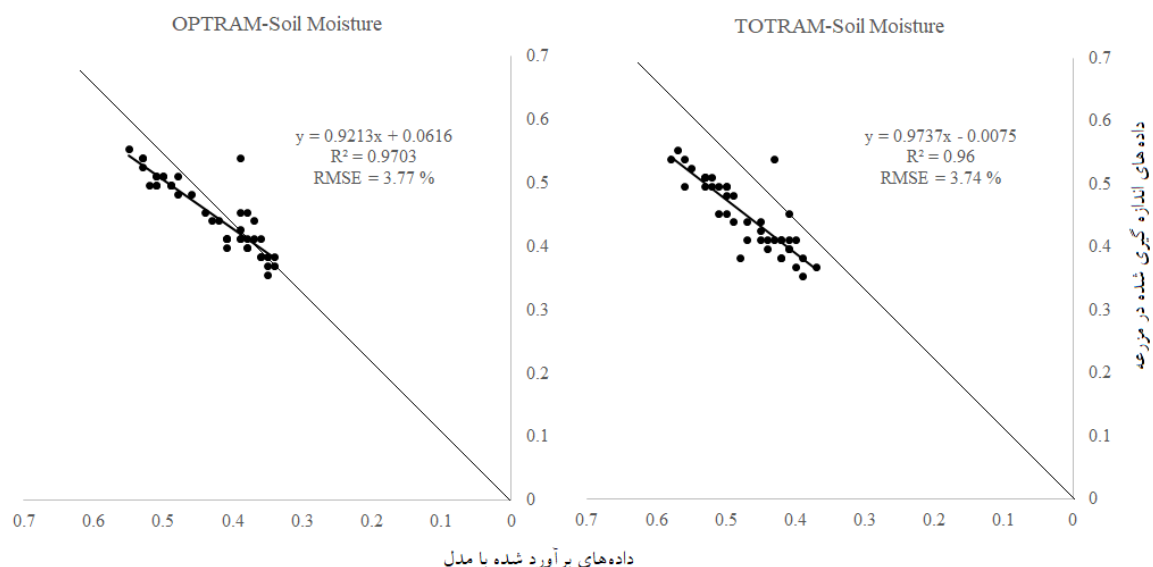
شکل ۸- ارتباط بین داده‌های بدست آمده با استفاده از روش‌های OPTRAM و TOTRAM و داده‌های مزرعه‌ای برای مزارع با بافت رسی

² -Shapiro-Wilk

¹ -Kolmogorov-Smirnov

با پنج درصد در برآورد رطوبت خاک در بافت خاک سنگین بیشتر است.

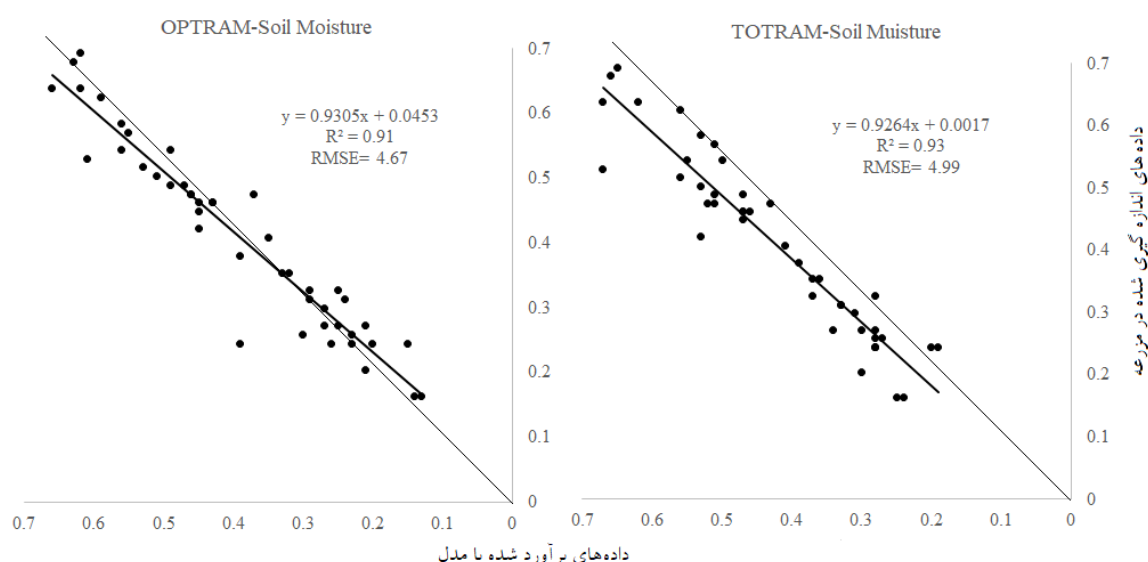
همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌گردد دقت روش OPTRAM با ضریب تبیین ۰/۸۶ و RMSE برابر



شکل ۹- ارتباط بین داده‌های بدست آمده با استفاده از روش‌های OPTRAM و TOTRAM و داده‌های مزرعه‌ای برای مزارع با بافت لومی

یکسان هر دو مدل در این نوع بافت خاک و دقت بالای هر دو مدل در مزرعه با بافت خاک لومی نسبت به دو بافت دیگر است.

در شکل ۹ مشاهده می‌گردد که ضریب تبیین برای هر دو مدل TOTRAM و OPTRAM به ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۹۷ و RMSE یکسان است که نشان‌دهنده دقت



شکل ۱۰- ارتباط بین داده‌های بدست آمده با استفاده از روش‌های OPTRAM و TOTRAM و داده‌های مزرعه‌ای برای مزارع با بافت لومی، رسی، سیلتی

TOTRAM، مقدار ضریب تبیین ۰/۹۳ است که به معنای توانایی مدل در برآورد رطوبت خاک است. همچنین در

شکل ۱۰ نشان‌دهنده دقت مشابه هر دو مدل برای مزرعه با بافت لومی-رسی-سیلتی است. در مدل

مدل OPTRAM، ضریب تبیین ۰/۹۱ نشان می‌دهد این مدل توانایی قابل قبولی در تخمین رطوبت خاک دارد. تحلیل داده‌های به دست آمده نشان می‌دهد که مدل TOTRAM و OPTRAM در هر سه بافت خاک قادر به پیش‌بینی رطوبت خاک منطقه مورد مطالعه با دقت بالایی می‌باشند. به‌طور خلاصه بر اساس این نمودارها، مقادیر ضریب تبیین برای روابط رگرسیونی، بالای ۰/۶۵ بود که نشان‌دهنده برآورد مناسب رطوبت خاک به‌وسیله هر دو روش در هر سه بافت خاک است. بر اساس نتایج این پژوهش، رطوبت برآورد شده توسط مدل آماری پیشنهادی تا حد قابل قبولی نزدیک به مقادیر واقعی (اندازه‌گیری شده) می‌باشند که با نتایج حسینی و فرخیان (۲۰۱۹) مطابقت دارد. در تحقیقی که صادقی و همکاران (۲۰۱۸) انجام دادند دو محدودیت اصلی مدل TOTRAM استفاده از باندهای حرارتی و وابسته بودن به عوامل محیطی را ذکر کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل OPTRAM می‌تواند این محدودیت‌ها را پشت سر بگذارد. در این تحقیق با توجه اطلاعات میدانی و با استفاده از نقاط کنترل زمینی به استخراج رطوبت خاک اقدام گردید و مقایسه دقت دو مدل در منطقه بررسی شد که نتایج حاکی از قابل استخراج بودن رطوبت خاک از شاخص STR با دقت مشابه در هر سه بافت خاک نسبت به LST است. نتایج نشان داد که بیشترین ضریب تبیین (R^2) و کمترین مقدار میانگین خطای متوسط (RMSE) بین مقادیر محاسبه‌شده با مدل و داده‌های مزرعه‌ای در بافت خاک لومی بدست آمد که می‌تواند ناشی از تأثیرپذیری کمتر این نوع بافت خاک نسبت به عوامل محیطی از جمله آب ماندگی درون مزارع نیشکر باشد. با توجه به دقت نسبتاً مشابه هر دو مدل در برآورد رطوبت خاک و از طرفی هزینه پایین و قابل دسترس بودن تصاویر مرئی نسبت به حرارتی و همچنین فاصله زمانی نزدیک‌تر تصاویر مرئی نسبت به حرارتی در ماهواره‌هایی مانند سنتینل، مدل OPTRAM بهتر و کاراتر از مدل TOTRAM جهت برآورد رطوبت خاک پیشنهاد می‌گردد. طبق نتایج مشاهده‌شده هر دو شاخص توانسته است

رطوبت خاک را برآورد نماید و دلیل دقت بالای مدل OPTRAM نسبت به مدل TOTRAM در مزارع با بافت رسی می‌تواند تأثیرپذیری کمتر از عوامل محیطی در مزارع با بافت سنگین باشد که با نتایج یوسف‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارد. از این داده‌ها جهت برنامه‌ریزی آبیاری با میانگین خطای متوسط (RMSE) برابر با سه تا پنج درصد به نسبت داده‌های زمینی برای مدل‌های TOTRAM و OPTRAM استفاده نمود.

در حالت کلی و با در نظر گرفتن جمیع موارد می‌توان نتیجه گرفت که با اختلاف کم مدل OPTRAM برای گیاه نیشکر در منطقه خوزستان بهتر و با کارایی بیشتر از مدل TOTRAM رطوبت خاک را برآورد می‌کند که با نتایج محمدی معله زاده و همکاران (۱۴۰۱) و همچنین وانگ و همکاران (۲۰۰۹) مشابه است.

نتیجه‌گیری

با توجه به تفاوت‌های موجود بین مدل‌های TOTRAM و OPTRAM در برآورد رطوبت خاک، این دو مدل می‌توانند به‌عنوان ابزارهای کاربردی در پیش‌بینی رطوبت خاک در منطقه مورد مطالعه استفاده شوند. در این خصوص داده‌های مدل OPTRAM به دلیل قدرت تفکیک مکانی بهتر داده‌های نوری نسبت به داده‌های حرارتی و همچنین تأثیرپذیری کمتر نسبت به عوامل محیطی مانند دما و رطوبت نسبی هوا از کارایی بالاتری برخوردار است. نتایج حاصل از بررسی کارایی نقشه‌های رطوبت خاک جهت برنامه‌ریزی آبیاری مزارع نیشکر، نشان می‌دهد بررسی نتایج به‌دست‌آمده از این دو مدل می‌تواند اطلاعات مفیدی را درباره تغییرات رطوبت خاک در شرایط محیطی و زمانی مختلف در منطقه مورد مطالعه فراهم کند. همچنین نتایج این تحقیق می‌تواند جهت مدیریت منابع آب و خاک، شناسایی و کنترل فرسایش خاک به‌ویژه فرسایش بادی و تعیین نواحی مستعد برای کشت گیاهان زراعی مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله با حمایت مالی شرکت توسعه نیشکر و واحد پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز از طریق پژوهانه نویسنده دوم به شماره (SCU.WI.1402.144) تهیه شده که بدینوسیله نویسندگان از حامیان مالی تشکر و قدردانی می نمایند.

تعارض منافع

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

فهرست منابع

۱. خسروی، مریم. انتظار، علیرضا. رحمانی، ابوالفضل. و باعقیده، محمد. ۱۳۹۶. پایش تغییرات سطح آب دریاچه پیریشان با استفاده از شاخص های سنجش از دور. هیدروژئومورفولوژی، ۱۳، صص: ۹۹-۱۲۰. **20.1001.1.23833254.1396.4.13.6.1**
۲. خیرخواه زرکش، میرمسعود. درویشی، مهدی. آبکار، علی اکبر. و احمدی، غلامرضا. ۱۳۹۲. برآورد شاخص های پوشش گیاهی برنج با تصاویر چند زمانه راداری و اپتیک. پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۴۴(۵)، صص: ۸۵-۹۶. **10.22059/jphgr.2014.50074**
۳. عبیات، محمد. عبیات، مصطفی. و عبیات، مرتضی. ۱۴۰۱. برآورد رطوبت سطحی خاک در اراضی کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره ای و شاخص های سنجش از دور (مطالعه موردی شهرستان شوشتر)، تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۳(۵): صص: ۹۵۷-۹۷۰. **10.22059/ijswr.2022.341981.669251**
۴. فشان، محمد. ثنائی نژاد، سیدحسین. و داوری، کامران. ۱۳۹۴. تخمین رطوبت خاک با استفاده از تصاویر سنجش از دور مودیس (مطالعه موردی: محدوده دشت مشهد). آب و خاک، ۲۹(۶)، صص: ۱۷۳۵-۱۷۴۸. **https://doi.org/10.22067/jsw.v29i6.34978**
۵. کاظمی پور اسفهلان، مهسا. محمدی، محمدحسین. و واعظی، علیرضا. ۱۳۹۷. تخمین نقطه ای منحنی رطوبت خاک با استفاده از برخی ویژگی های فیزیکی و مکانیکی خاک، تحقیقات کاربردی خاک، ۶(۲). صص: ۸۴-۹۵.
۶. ملایی، نرگس. ۱۳۹۴. تأثیر مدیریت های گوناگون کشت نیشکر بر برخی از شناسه های کیفیت خاک در منطقه هفت تپه خوزستان. رساله کارشناسی ارشد.
۷. محمدی معله زاده، جمال. حمزه، سعید. و ناصری، عبدعلی. ۱۴۰۲. بررسی کارایی سنجش از دور طیفی در برآورد رطوبت سطحی خاک و مقایسه آن با داده های حرارتی به منظور مدیریت آبیاری مزارع نیشکر. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۷(۱)، صص: ۸۵-۱۰۲. **10.22092/jwra.2023.360324.953**
۸. محمدی معله زاده، جمال. حمزه، سعید. و ناصری، عبدعلی. ۱۴۰۱. برآورد رطوبت سطحی خاک و بررسی برنامه ریزی آبیاری اراضی نیشکر با استفاده از مدل دوزنقه حرارتی. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳(۱۰). صص: ۲۲۰۹-۲۲۲۳. **10.22059/ijswr.2022.338383.669214**
9. Carlson, T.N., 2013. Triangle models and misconceptions, Int. J. Remote Sensing Applications, 3(3), pp: 155-158. **20.1001.1.20087942.1402.17.3.14.2**
10. Carlson, T.N., 2007. An overview of the "triangle method" for estimating surface evapotranspiration and soil moisture from satellite imagery. Sensors, 7, pp: 1612-1629. **10.22059/ijswr.2019.266967.668024**
11. Carlson, T.N., Gillies, R.R. and Perry. E.M., 1994. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water

- content and fractional vegetation cover. *Remote Sens*, 9(1–2), pp: 161–173.
<https://doi.org/10.1080/02757259409532220>
12. Curran, P.J., 1985. Principles of Remote Sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 6(11), p: 1765. **<https://doi.org/10.1080/01431168508948322>**
13. El Nahry, A.H., Ali, R.R. and El Baroudy, A.A., 2012. An approach for precision farming under pivot irrigationsystem using remote sensing and GIS techniques, *Journal of Agricultural Water Management*, 98 (4), pp:517-531.
10.1016/j.agwat.2010.09.012
14. Gates, D.M., Keegan, H.J., Schleter, J.C. and Weidner, V.R., 1965. Spectral properties of plants. *Applied optics*, 4(1), pp: 11-20.
<https://doi.org/10.1364/AO.4.000011>
15. Hosseini, F. and Farrokhian, A., 2019. Pedotransfer Function (PTF) for Estimation Soil Moisture Using NDVI, Land Surface Temperature (LST) and Normalized Moisture (NDMI) Indices. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(4), pp: 239–254. **10.22069/jwsc.2019.15306.3053**
16. Kornelsen, K.C. and Coulibaly, P., 2015. Reducing multiplicative bias of satellite soil moisture retrievals, *Remote Sensing of Environment*, 165(1), pp: 109-122.
10.1016/j.rse.2015.04.031
17. Mason, M., 2010. Sample Size and Saturation in PhD Studies Using Qualitative Interviews. *Forum Qualitative Sozialforschung/Forum: Qualitative Social Research*, 11(3). **<https://doi.org/10.17169/fqs-11.3.1428>**
18. McNally, A., Husak, G.J., Brown, M., Carroll, M., Funk, C., Yatheendradas, S., Arsenault, K., Peters-Lidard, C., and Verdin, J.P., 2015. Calculating Crop Water Requirement Satisfaction in the West Africa Sahel with Remotely Sensed Soil Moisture. *Journal of Hydrometeorology*, 16, pp.295-305.
<https://doi.org/10.1175/JHM-D-14-0049.1>
19. Moran, M.S., Clarke, T.R. and Inoue, Y., 1994. Vidal Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 49(3), pp.246-263. **[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90020-5](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90020-5)**
20. Nichols, D.S., 2011. Essentials of MMPI-2 assessment (2nd ed.), Essentials of psychological assessment. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Inc.
21. Noureldin, N.A., Aboelghar, M.A., Saudy, H.S., and Ali, A.M., 2013. Rice yield forecasting models using satellite imagery in Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 16, pp.125-131.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2013.04.005>
22. Ochsner, T.E., Cosh, M.H., Cuenca, R.H., Dorigo, W.A., Draper, C.S., Hagimoto, Y., Kerr, Y.H., Njoku, E.G., Small, E.E and Zreda, M., 2013. State of the art in large-scale soil moisture monitoring. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 77(6), pp.1888–1919. **<https://doi.org/10.2136/sssaj2013.03.0093>**
23. Pan, M., Sahoo, a.K., Wood, E.F., Al Bitar, A., Leroux, D. and Kerr, Y.H., 2012. An Initial Assessment of SMOS Derived Soil Moisture overthe Continental United States. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 5, pp.1448-1457. **10.1109/JSTARS.2012.2194477**
24. Pasolli, L., Notarnicola, C., Bertoldi, G., Della Chiesa, S., Niedrist, G. and L Bruzzone, L., 2014. Soil moisture monitoring in mountain areas by using high-resolution SAR images: Results from a feasibility study, *European journal soil science*. 65(6), pp.852–64. **<https://doi.org/10.1111/ejss.12189>**
25. Rongali, G., Keshari, A.K., Gosain, A.K., and Khosa, R., 2018. A mono-window algorithm for land surface temperature estimation from Landsat 8 thermal infrared

- sensor data: a case study of the Beas River Basin, India. *Pertanika J Sci Technol*, 26(2), pp.829-840.
26. Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W., 1974. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS-1 Symposium NASA, NASA SP-351, Washington DC, pp.309-317.
27. Sadeghi, M., Babaeian, E., Tuller, M. and Jones, S.B., 2017. The opticaltrapezoid model: A novel approach to remote sensing of soil moisture applied to Sentinel-2 and Landsat-8 observations. *Remote Sensing of Environment*, 198, pp.52-68. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.05.041>
28. Sadeghi, M., Jones, S.B. and Philpot, W.D., 2015. A linear physicallybased model for remote sensing of soil moisture using short wave infrared bands. *Remote Sens, Environ*, 164, pp.66–76. [10.1016/j.rse.2015.04.007](https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.04.007)
29. Shahmoradi, S., Malamiri, H.R.G. and Amini, M., 2021. Extraction of Soil Moisture Index (TVDI) Using a Scatter Diagram Temperature/Vegetation and MODIS Images. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 12(1), pp.38–62. [10.30495/GIRS.2021.675968](https://doi.org/10.30495/GIRS.2021.675968)
30. Verstraeten, W., Veroustraete, F., Van Der Sande, C.J., Grootaers, I. and Feyen, J., 2006. Soil moisture retrieval using thermal inertia, determined with visible and thermal spaceborne data, validated for European forests. *Remote Sensing of Environment*, 101(3), pp.299–314. [10.1016/j.rse.2005.12.016](https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.12.016)
31. Wang, L. and Qu, J.J., 2009. Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring, a review, *Front. Earth Sci, China*, 3(2), pp.237–247. [10.1007/s11707-009-0023-7](https://doi.org/10.1007/s11707-009-0023-7)
32. Zhang, D. and Zhou, G., 2016. Estimation of soil moisture from optical and thermal remote sensing: a review. *Sensors*, 16(8), p.1308. <https://doi.org/10.3390/s16081308>

شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب کلزای پاییزه با استفاده از مدل

APSIM-canola در استان لرستان

مژگان صادقی، سجاد رحیمی مقدم*، اسماعیل محمدی احمد محمودی و خسرو عزیزی

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

mojganmagham01@gmail.com

استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

rahimi.s@lu.ac.ir

دانش‌آموخته دکترای گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، ایران.

esmaeil.mohammadi68@yahoo.com

استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

azizi.kh@lu.ac.ir

دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۳ و پذیرش: آذر ۱۴۰۳

چکیده

در سال‌های اخیر، بهبود عملکرد و افزایش کارایی مصرف آب محصولات زراعی به یکی از اهداف مهم پژوهش‌گران تبدیل شده است. از این‌رو، هدف این پژوهش شناسایی رقم مناسب و روش آبیاری بهینه در گیاه کلزای پاییزه بود. به این منظور، پژوهشی با استفاده از مدل شبیه‌سازی APSIM بر روی سه رقم کلزای پاییزه Hyola308، Hyola401 و RGS003 و چهار تیمار آبیاری (آبیاری کامل، قطع آبیاری در گلدهی، قطع آبیاری در غلاف‌بندی و قطع آبیاری در پر شدن دانه) در چهار شهرستان استان لرستان انجام شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در خرم‌آباد، پلدختر و کوهدشت با کشت رقم Hyola401 و آبیاری کامل (به ترتیب ۵۳۶۱، ۵۳۷۸ و ۴۴۸۸ کیلوگرم در هکتار) و در شهرستان الشتر با کشت رقم Hyola308 و استفاده از یکی از تیمارهای قطع آبیاری (۲۶۳۴ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. نتایج همچنین نشان داد که کشت رقم Hyola401 و قطع آبیاری در مرحله گلدهی در پلدختر و خرم‌آباد و آبیاری کامل در کوهدشت به ترتیب با ۰/۴۵۷، ۰/۳۹۸ و ۰/۳۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب منجر به بیشترین کارایی مصرف آب در این مناطق شد. در شهرستان الشتر نیز کشت رقم Hyola308 و قطع آبیاری در مرحله گلدهی بیشترین کارایی مصرف آب (۰/۲۳۹ کیلوگرم بر مترمکعب) را موجب گردید. یافته‌های این پژوهش نشان داد که در بوم‌نظام‌های کشت کلزا در این مناطق، گزینش رقم مناسب (ارقام با درصد بیشتر غلاف بارور در شرایط تنش رطوبتی) و اتخاذ روش صحیح مدیریت آبیاری، به شکل قابل توجهی به شرایط دمایی آن منطقه بستگی دارد.

واژه‌های کلیدی: ارقام کلزا، خرم‌آباد، روش آبیاری بهینه، قطع آبیاری، کشت پاییزه کلزا

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: rahimi.s@lu.ac.ir



مقدمه

دانه‌های روغنی با توجه به جایگاه ویژه‌ای که در تأمین روغن خوراکی سبد غذایی مردم ایران دارند، نقش مهمی را در تأمین امنیت غذایی کشور ایفا می‌کنند. روند بلندمدت مصرف روغن‌های گیاهی در ایران نشان می‌دهد که وابستگی به این گروه از مواد غذایی از سال ۱۳۲۰ با کاهش اقبال به مصرف روغن‌های حیوانی آغاز شد و روندی صعودی را تا به امروز داشته است (بی‌نام، ۱۳۸۴). علاوه بر این، افزایش جمعیت کشور در سالیان اخیر تقاضا برای این گروه از مواد غذایی را در کنار سایر گروه‌های غذایی بیشتر کرده است (فرامرز و همکاران، ۱۴۰۲). آمارها نشان می‌دهد که در حال حاضر تنها ۱۰ درصد از روغن خوراکی مورد نیاز کشور از منابع داخلی تأمین شده و ۹۰ درصد آن با واردات روغن خام تأمین می‌گردد (گلچین و همکاران، ۱۴۰۱)؛ بنابراین توجه به افزایش میزان تولید دانه‌های روغنی در کشور یکی از راه‌حل‌های مهم در کاهش وابستگی به واردات و کمک به تأمین نیاز داخلی است. کلزا پس از سویا دومین گیاه مهم کشور برای تولید روغن خوراکی است (اسکندری و کاظمی، ۱۴۰۳). بر اساس آخرین آمار منتشرشده در سال ۱۴۰۱، گیاه کلزا با داشتن بیش از ۱۵۳ هزار هکتار سطح زیر کشت (آبی و دیم)، بیشترین سطح زیر کشت را در بین محصولات صنعتی کشور به خود اختصاص داده است (بی‌نام، ۱۴۰۲). این گیاه زراعی حدود ۱۵ درصد از روغن خوراکی مورد نیاز دنیا را تأمین می‌کند (عبید و همکاران، ۲۰۲۲). کلزا به دلیل داشتن درصد بالای روغن مرغوب (حاوی امگا ۳ و ویتامین E) به عنوان یک محصول امیدوارکننده برای تأمین روغن خوراکی بشر شناخته شده است (عبید و همکاران، ۲۰۲۲). کلزا به دلیل راندمان بالای مصرف آب و تحمل نسبی به خشکی می‌تواند به عنوان یک گیاه جایگزین در مناطق نیمه خشک کشت گردد (مُرسی و همکاران، ۲۰۲۳). علاوه بر این، در مقایسه با سایر دانه‌های روغنی تنها کلزا امکان کشت پاییزه و بهره‌برداری بهتر از نزولات جوی را دارد (اسکندری و عالی زاده امرایی، ۱۳۹۵).

برآوردهای صورت گرفته حاکی از آن است که تنش آبی مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد محصولات کشاورزی است (محمدی احمدمحمودی و همکاران، ۱۳۹۸) به شکلی که تنش آبی می‌تواند تا ۷۰ درصد موجب افت عملکرد محصولات کشاورزی گردد (وو و همکاران، ۲۰۱۷)؛ دوگان و همکاران، ۲۰۱۱). بررسی‌ها نشان داده که بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب‌های شیرین کره زمین است (دیروی و همکاران، ۲۰۲۱). در کشور ایران نیز بخش اعظمی از آب‌های شیرین موجود در بخش کشاورزی به مصرف می‌رسد (حسین‌زاد و همکاران، ۱۳۹۲). این موضوع ضرورت توجه به روش‌های مختلف زراعی و مدیریتی برای صرفه‌جویی در مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی و بهبود راندمان مصرف آب را بیش از پیش هویدا می‌سازد (حیدری، ۱۳۹۷)؛ عباسی و همکاران، ۱۳۹۶).

بنابراین یکی از اولویت‌های بخش کشاورزی، شناخت و توسعه روش‌های مختلف زراعی و مدیریتی برای افزایش کارایی مصرف آب است (مجنونی هریس و همکاران، ۲۰۱۴). امروزه می‌توان به جای اعمال آبیاری کامل و دستیابی به حداکثر عملکرد از واحد سطح، با به کارگیری مفهوم کم‌آبیاری، کارایی مصرف آب را در تولید محصولات زراعی بهینه‌سازی نمود (استانبوللو اوغلو و همکاران، ۲۰۱۰)؛ گیتس و راس، ۲۰۰۹). برنامه‌ریزی صحیح برای کم‌آبیاری علاوه بر تأمین نیاز آبی گیاه زراعی در طول مراحل بحرانی می‌تواند منجر به کاهش مصرف آب‌شده و به کاهش اثرات منفی محدودیت آب بر روی عملکرد گیاه زراعی کمک کند (کامکار و همکاران، ۲۰۱۱). مطالعات متعددی در راستای شناسایی راهکارهای ارتقاء کارایی مصرف آب در گیاهان مختلف انجام شده است. نتایج بسیاری از مطالعات نشان داده که مصرف آب کمتر در برخی گیاهان زراعی می‌تواند منجر به بهبود کارایی مصرف آب گردد (گریس و همکاران، ۲۰۲۱)؛ هائو و همکاران، ۲۰۱۰). در مطالعات متعددی نیز گزارش شده است که می‌توان از قطع آبیاری در مرحله خاصی از رشد

کارایی مصرف نهاده-ها در مقیاس مزرعه‌ای استفاده می-گردد (محمدی احمد محمودی و همکاران، ۲۰۲۰).

در سالیان اخیر مدل‌های متعددی برای شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی ارائه شده است که در این بین مدل شبیه‌سازی APSIM به‌عنوان یک چارچوب شبیه‌سازی سامانه‌های کشاورزی است که پتانسیل بالایی برای شبیه‌سازی فرآیندهای بیوفیزیکی را در انواع سامانه‌های کشاورزی دارد (رحیمی مقدم و همکاران، ۲۰۲۱؛ کیتینگ و همکاران، ۲۰۰۳). در خصوص استفاده از مدل شبیه‌سازی APSIM برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد کلزا پژوهش‌های معدودی در مناطق مختلف دنیا از جمله ایران (حیدری بنی و همکاران، ۱۳۹۷)، استرالیا (زلکه و همکاران، ۲۰۱۴)، ایالات متحده (جورج و کافکا، ۲۰۱۷) و چین (شایکویچ و بولاک، ۲۰۲۰) انجام شده است. رحیمی مقدم و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی از مدل شبیه‌سازی-APSIM

Canola برای شبیه‌سازی تولید و کارایی مصرف آب ارقام مختلف کلزای بهاره در استان‌های خوزستان و لرستان استفاده نمودند. ایشان گزارش کردند که استفاده از ارقام متوسط رس مانند رقم Hyola401 در مناطق معتدل و گرم خوزستان و لرستان می‌تواند با بهبود مقدار تولید به ازای یک واحد آب مصرف‌شده در مزرعه، افزایش کارایی مصرف آب و پایداری سامانه‌های تولید کلزا را در پی داشته باشد. ونگ و همکاران (۲۰۱۲) برای برآورد عملکرد و رشد کلزا در شرق چین از مدل شبیه‌سازی APSIM استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل APSIM قابلیت شبیه‌سازی مراحل نمویی کلزا در تاریخ کاشت‌های مختلف را دارد و ۷۵ درصد از تغییرات عملکرد و زیست‌توده ناشی از کاشت دیرنگام توسط این مدل قابل شناسایی و تشریح بود. نتایج این مدل حاکی از کاهش عملکرد کلزا به‌صورت خطی با تأخیر در کاشت بود که این کاهش عمدتاً ناشی از کوتاه شدن مراحل رشد رویشی کلزا بود. در پژوهشی دیگر توسط رابرتسون و لیلی (۲۰۱۶)، توانایی مدل APSIM برای شبیه‌سازی رشد و تولید کلزا در کشورهای استرالیا، چین و آلمان بررسی شد و گزارش

گیاه به‌عنوان یک راه‌حل برای ارتقاء کارایی مصرف آب بهره برد (اورتگا-فاریاس و همکاران، ۲۰۲۰؛ غریب و همکاران، ۲۰۱۶؛ وو و همکاران، ۲۰۲۳؛ باختری و همکاران، ۱۳۹۵).

محققان دریافته‌اند که استفاده از رقم مناسب نیز یکی از روش‌های مدیریتی مؤثر در استفاده بهتر از منابع محیطی مانند آب است (رحیمی مقدم و همکاران، ۱۴۰۲). در واقع، تحمل خشکی در گیاه زراعی یک صفت کمی است که توسط چندین ژن تنظیم می‌شود و شدت این صفت در رقم‌های مختلف متغیر است (گودوی آندروسپولی و همکاران، ۲۰۲۰). به نظر می‌رسد که تلفیق سایر راهکارهای مدیریتی مانند کم‌آبیاری با انتخاب رقم مناسب می‌تواند در جهت افزایش کارایی مصرف آب در بوم‌نظام‌های کشاورزی مؤثر باشد (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۸؛ کیوانگو-چیمارو و همکاران، ۲۰۲۲). در مطالعات متعددی که در شادگان (اسکندری و کاظمی، ۱۴۰۲) و کرج (خدابین و همکاران، ۱۳۹۹؛ عینی نرگسه و همکاران، ۱۳۹۷) انجام شد، استفاده از ارقام مقاوم به خشکی و قطع آبیاری در مراحل پایانی رشد گیاه زراعی کلزا مورد بررسی قرار گرفت و در تمام این مطالعات به تأثیر مثبت تیمارهای یاد شده بر روی کارایی مصرف آب بوم‌نظام‌های کشت کلزا با وجود برداشت عملکرد مطلوب اشاره شده است. در حال حاضر روش‌های مختلفی برای ارزیابی تأثیر مدیریت-های مختلف بر گیاهان زراعی وجود دارد که از این بین می‌توان به آزمایش‌های مزرعه‌ای و استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی گیاه زراعی اشاره نمود. با توجه به مشکلات و محدودیت‌های مربوط به انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای مانند هزینه بالا، زمان‌بر بودن و...، مدل‌های شبیه‌سازی زراعی به ابزاری قدرتمند در این زمینه تبدیل شده‌اند (ون دام و همکاران، ۲۰۰۸). این مدل‌ها از مجموعه معادلات ریاضی تشکیل شده‌اند که فرآیندهای بیولوژیکی گیاه زراعی را در تعامل با محیط فیزیکی و شیمیایی شبیه‌سازی می‌کنند. از این مدل‌ها برای برآورد عملکرد محصول در سطوح مختلف، بهینه‌سازی مدیریت محصول و ارزیابی

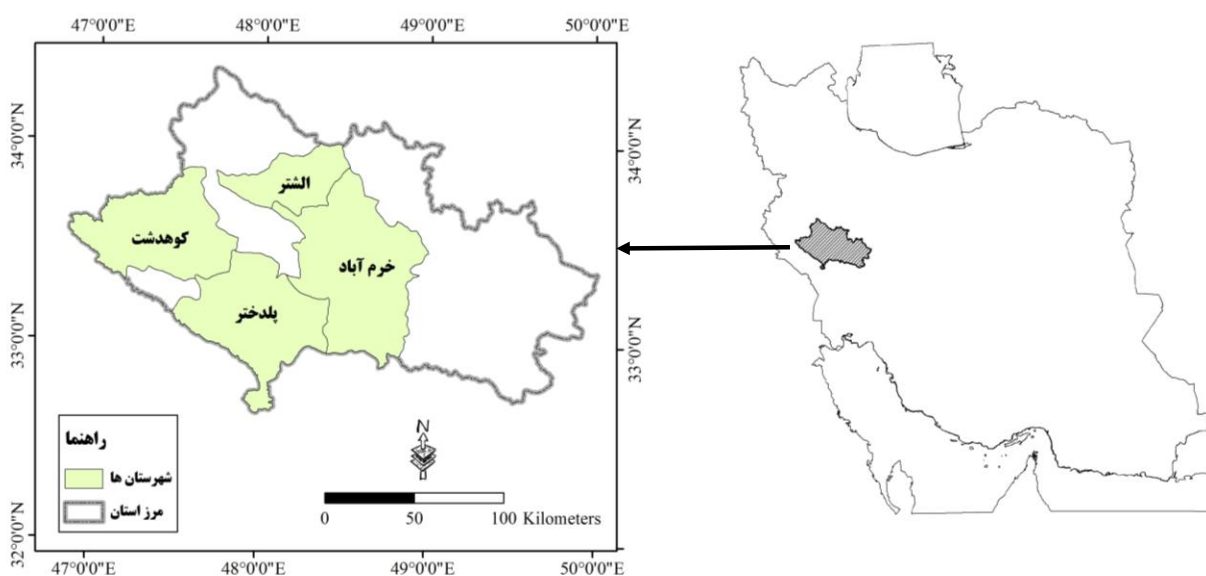
روش بررسی

منطقه مورد بررسی و شرایط اقلیمی

مطالعه پیش رو در قالب آزمایش شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های بلندمدت اقلیمی و با هدف بررسی قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد بر روی کارایی مصرف آب ارقام مختلف کلزای پاییزه در چهار شهرستان خرم‌آباد، کوهدشت، پلدختر و الشتر استان لرستان انجام شد. استان لرستان با مساحتی حدود ۲۸۱۵۷ کیلومتر مربع ۱/۷ درصد از سطح زیر کشور را به خود اختصاص داده و بین طول‌های جغرافیایی ۴۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۲ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی در جنوب غربی ایران قرار دارد (شکل ۱).

شد که مقدار خطای برآورد (RMSE) برای تخمین تعداد روز تا گلدهی کلزا حدود پنج روز و برای تخمین عملکرد دانه برابر با ۰/۴ تن در هکتار بود.

همان‌طور که توضیح داده شد، در زمینه‌های مختلفی از مدل شبیه‌سازی APSIM در جهت بهینه‌سازی مدیریت محصول و ارتقاء بهره‌وری تولید کلزا استفاده شده است؛ بنابراین با توجه به چالش‌های موجود در تأمین روغن خوراکی مورد نیاز کشور و محدودیت منابع آبی، در این مطالعه سعی شد از این مدل شبیه‌سازی -به‌عنوان یک ابزار کاربردی، به‌روز و کم‌هزینه- جهت ارزیابی کارکرد ارقام مختلف کلزا و همچنین تیمارهای مختلف قطع آبیاری در مناطق مختلف استان لرستان به‌صورت بلندمدت استفاده شود و راهکارهای مناسب جهت ارتقاء تولید و افزایش کارایی مصرف آب در بوم نظام‌های کشت کلزای پاییزه استان لرستان شناسایی گردد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان‌های مورد مطالعه در استان لرستان و ایران

زراعی آبی و دیم کشور را به خود اختصاص دهد (بی‌نام، ۱۴۰۲). معیار انتخاب شهرستان‌های مورد مطالعه در این پژوهش، شرایط اقلیمی (به‌ویژه دمای هوا) مناطق مورد بررسی بود، به شکلی که سعی گردید طیف متنوعی از انواع شرایط دمایی استان در بین مناطق مورد بررسی وجود داشته باشد (جدول ۱).

این استان به‌واسطه قرارگیری در بخش کوهستانی رشته کوه زاگرس و تأثیر از توده هوای مدیترانه‌ای، از بارندگی مطلوبی برخوردار است و بخش عمده‌ای از آن بر اساس روش طبقه‌بندی اقلیمی کوپن دارای اقلیم معتدل با تابستان‌های خشک و گرم است (رضیئی و میری، ۱۴۰۱). شرایط اقلیمی مناسب موجب شده است که این استان به- ترتیب ۲/۲۶ و ۶/۳۵ درصد از سطح زیر کشت محصولات

جدول ۱- ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی مناطق مورد مطالعه

(برگرفته از داده‌های اخذ شده از سازمان هواشناسی کشور)

شهرستان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	میانگین دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد)	مجموع بارندگی سالانه (میلی‌متر)
خرم‌آباد	48.3	33.6	1147	16.5	486.2
الشر	48.26	33.86	1638	13.5	450.0
پلدختر	47.72	33.14	658	23.0	378.4
کوه‌دشت	47.4	33.5	1195	16.0	369.8

مدل شبیه‌سازی APSIM

این مدل شبیه‌سازی در بردارنده تعداد زیادی ماژول بوده که فرآیندهای مربوط به گیاه (طیف وسیعی از گیاهان زراعی، مرتعی و درختان)، خاک (تعادل آب خاک، تحولات نیتروژن و فسفر خاک، اسیدیته و فرسایش خاک)، اقلیم و مدیریت (دامنه وسیعی از تصمیمات مدیریتی) را توصیف می‌کنند (گایدون، ۲۰۱۴) و با به‌کارگیری این مؤلفه‌ها رشد و نمو گیاه زراعی را در مقیاس روزانه شبیه‌سازی می‌کند (رحیمی مقدم و همکاران، ۲۰۱۹).

برای اولین بار ماژول APSIM-canola توسط

رابرتسون و همکاران (۱۹۹۹) برای شبیه‌سازی رشد و نمو کلزا در استرالیا ارائه شد و پس از آن در سال‌های اخیر برای مطالعه بوم‌نظام‌های کشت کلزای پاییزه مورد توجه محققان متعددی در نقاط مختلف دنیا مانند ایران (رحیمی مقدم و همکاران، ۲۰۲۱)، ایالات متحده (جورج و همکاران، ۲۰۱۸)، آلمان (هافمن و همکاران، ۲۰۱۵) و چین (هی و همکاران، ۲۰۱۷) قرار گرفت. این مدل پیش‌تر در مطالعه رحیمی مقدم و همکاران (۲۰۲۱) برای کلزا و شرایط ایران واسنجی و اعتبارسنجی شده بود که پارامترهای واسنجی مدل در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- ضرایب ژنتیکی برای ارقام مختلف کلزا در مدل زراعی APSIM-Canola (رحیمی مقدم و همکاران، ۲۰۲۱)

واحد	رقم			ضریب
	Hyola308	Hyola401	RG5003	
درجه روز رشد	235	300	350	درجه روز رشد تجمعی مورد نیاز از مرحله سبز شدن تا پایان مرحله جوانی
درجه روز رشد	395	460	500	بیشینه درجه روز رشد مورد نیاز برای تکمیل مرحله جوانی بدون بهاره‌سازی
درجه روز رشد	200	200	200	درجه روز رشد تجمعی مورد نیاز از مرحله گلدهی تا مرحله شروع پر شدن دانه
روز	25	25	25	بیشینه تعداد روز برای تکمیل فرآیند بهاره‌سازی

واسنجی مدل با استفاده از اطلاعات یک آزمایش مزرعه‌ای دوساله در دو سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ در مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول انجام شد. این آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و دو سال انجام شد که تیمارهای آن شامل سه تاریخ کاشت و سه رقم بودند. واسنجی مدل از طریق روش آزمون‌وخطا برای به حداقل رساندن تفاوت بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده انجام شد و برای واسنجی هر رقم کلزا ابتدا پارامترهای مربوط به نمو و فنولوژی و سپس پارامترهای مربوط

به‌سرعت رشد دانه، تعداد دانه و عملکرد دانه واسنجی شدند (رحیمی مقدم و همکاران، ۲۰۲۱). علاوه بر این، برای اطمینان بیشتر به خروجی‌های مدل مورد استفاده، قابلیت این مدل در برآورد عملکرد دانه کلزا با استفاده از داده‌های حاصل از سه پژوهش مستقل با شرایط اقلیمی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. پژوهش اول یک مطالعه دو ساله مزرعه‌ای (سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷) بر روی ارقام مختلف کلزا و در شرایط آب محدود در شرایط اقلیمی گرم بود (رحیمی مقدم و همکاران، ۲۰۲۱) و پژوهش‌های دوم و سوم در دو منطقه اردبیل (حمزه‌پور

و همکاران) و خرم‌آباد (دالوند و همکاران)، با شرایط اقلیمی سرد و معتدل بودند. به این منظور از شاخص‌های آماری ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE)، میانگین اریب خطا (MBE)، کارایی مدل (EF)، شاخص سازگاری ویلموت (d-index)، ضریب تبیین (R^2) و خط یک‌به‌یک برای تشخیص قابلیت مدل استفاده شد (روابط ۱ الی ۴؛ والاچ و همکاران، ۲۰۱۸؛ ویلموت، ۱۹۸۲).

$$nRMSE(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad (۱)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - S_i) \quad (۲)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (۳)$$

$$d - index = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|O_i - \bar{O}| + |S_i - \bar{O}|)^2} \quad (۴)$$

در روابط بالا O مقدار عملکرد مشاهده شده، S مقدار عملکرد شبیه‌سازی شده، $\bar{O}$ میانگین مقادیر عملکردهای مشاهده شده و n تعداد مشاهدات را نشان می‌دهند. در صورتی که مقدار ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده و میانگین اریب خطا به صفر نزدیک‌تر باشد بیانگر دقت بیشتر مدل است؛ در حالی که مقدار شاخص کارایی مدل و شاخص سازگاری ویلموت بین صفر و یک متغیر بوده که هر چقدر مقدار این شاخص‌ها به عدد یک نزدیک‌تر باشد بیانگر دقت بیشتر مدل در برآورد عملکرد محصول است. علاوه بر این، انطباق شیب خط رگرسیون برآورد با خط یک به یک بیانگر برآورد بهتر مدل است.

داده‌های مورد نیاز پژوهش

داده‌های ورودی مدل برای شبیه‌سازی رشد و تولید کلزا شامل داده‌های اقلیمی، خاکی، ژنتیکی (گیاهی) و مدیریتی هستند. داده‌های اقلیمی مورد نیاز شامل دماهای

کمینه و بیشینه روزانه (درجه سانتی‌گراد)، مقدار بارندگی روزانه (میلی‌متر) و مقدار تشعشع دریافتی در طول روز (مگاژول بر مترمربع در روز) بوده که به این منظور داده‌های بلندمدت (از بدو تأسیس تا سال ۲۰۲۱ میلادی) روزانه هواشناسی مربوط به چهار منطقه مورد بررسی از سازمان هواشناسی دریافت گردید. به منظور اطمینان از عدم اشتباه در ثبت صحیح و کامل داده‌های هواشناسی در بلندمدت از برنامه WeatherMan (هوگنبوم و همکاران، ۲۰۰۴) برای شناسایی و اصلاح داده‌های پرت ثبت شده و همچنین بازسازی داده‌های ثبت نشده در برخی بازه‌های زمانی استفاده گردید. همان‌طور که اشاره شده مقدار تشعشع دریافتی یکی از ورودی‌های اصلی مدل شبیه‌سازی بوده و با توجه به عدم ثبت این داده در ایستگاه‌های هواشناسی کشور در بلندمدت، از داده‌های روزانه تعداد ساعات آفتابی روزانه و رابطه آنگستروم (پرسکات، ۱۹۴۰) برای برآورد این متغیر در هر ایستگاه استفاده گردید.

$$R_s = \left(a + b \frac{n}{N}\right) R_a \quad (۵)$$

در رابطه ۵، R_s ، R_a ، n و N به ترتیب نشان‌دهنده مقدار تابش روزانه، تشعشع فرازمینی، تعداد ساعات آفتابی و حداکثر تعداد ساعات آفتابی ممکن می‌باشند و ضرایب a و b نیز به عنوان ضرایب کالیبره محلی آنگستروم بوده و در محاسبات این پژوهش به ترتیب برابر با ۰/۲۵ و ۰/۵ لحاظ شدند (رحیمی مقدم و همکاران، ۲۰۲۱).

داده‌های خاکی مورد نیاز به عنوان ورودی مدل نیز شامل مقدار محتوای رطوبتی خاک در نقطه ظرفیت مزرعه ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)، نقطه پژمردگی ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) و نقطه اشباع خاک ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) و همچنین عمق خاک زراعی و وزن مخصوص ظاهری خاک (g cm^{-3}) بودند. به منظور دستیابی به این داده‌ها از اطلاعات منتشر شده از مقالات، گزارش‌های مراکز تحقیقات کشاورزی و گزارش‌های منتشر شده توسط سازمان جهاد کشاورزی و آزمایشگاه‌های خاک‌شناسی استفاده شد (رحیمی مقدم و همکاران، ۲۰۲۳؛ ولی‌پور و همکاران، ۱۴۰۲). به این منظور اطلاعات به دست آمده از این منابع با استفاده از توابع انتقالی تعبیه شده

اطلاعات در هر منطقه با کمک پرسشنامه از کارشناسان جهاد کشاورزی آن منطقه تهیه گردید (جدول ۳). داده‌های گیاهی که شامل ضرایب ژنتیکی ارقام مختلف کلزا بودند نیز از تحقیق رحیمی مقدم و همکاران (رحیمی مقدم و همکاران، ۲۰۲۱) استخراج و مورد استفاده قرار گرفتند.

در مدل SPAW (ساکستون و همکاران، ۲۰۰۶) برای برآورد نقاط رطوبتی خاک در مناطق مختلف مورد استفاده قرار گرفتند.

داده‌های مدیریتی مورد نیاز مدل شامل اطلاعات مربوط به تاریخ کاشت، آبیاری، نوع رقم، نوع خاکورزی، تراکم، عمق و فاصله کشت و مقدار کود ازت بودند که این

جدول ۳- اطلاعات خاکی و اطلاعات مدیریتی کشت کلزا در شهرستان‌های مورد بررسی

شهرستان	چگالی ظاهری (گرم بر مترمکعب)	محتوی آب خاک (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب)			تاریخ کاشت	مقدار کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)
		نقطه پژمردگی	نقطه ظرفیت مزرعه	نقطه اشباع		
خرم‌آباد	1.28	0.231	0.392	0.518	23-Sep	119.6
الشت	1.28	0.242	0.395	0.515	1-Sep	121.4
پلدختر	1.38	0.062	0.286	0.475	17-Oct	138
کوه‌دشت	1.34	0.259	0.396	0.500	12-Oct	116

* این اعداد میانگین نقاط مختلف نمونه‌برداری از دشت‌های مختلف کشاورزی در سطح هر شهرستان است. عمق خاک برای تمام آزمایش‌های شبیه‌سازی ۱۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (رحیمی مقدم و همکاران، ۲۰۲۳)

تیمارهای آزمایش شبیه‌سازی و متغیرهای پژوهش

تیمارهای این پژوهش شامل آزمایش‌های بلندمدت شبیه‌سازی به صورت فاکتوریل بوده که این تیمارها دربردارنده سه رقم کلزای پاییزه Hyola308، Hyola401 و RGS003 (به ترتیب به عنوان ارقام زودرس، متوسط رس و دیررس با بیشترین سطح زیر کشت در مناطق مورد بررسی) و چهار تیمار رژیم آبیاری (شامل تیمارهای آبیاری ۱: آبیاری کامل، ۲: قطع آبیاری در مرحله گلدهی، ۳: قطع آبیاری در مرحله غلاف‌بندی و ۴: قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) بود که در سطح چهار شهرستان خرم‌آباد، کوه‌دشت، پلدختر و الشت به صورت بلندمدت پیاده‌سازی گردید. تعداد سال‌های شبیه‌سازی در هر شهرستان با توجه به دسترسی داده‌های اقلیمی متفاوت بود و سعی گردید تعداد سال شبیه‌سازی در هر منطقه بر اساس کل داده‌های موجود باشد که به این ترتیب در شهرستان‌های خرم‌آباد، کوه‌دشت و پلدختر هر کدام ۴۱ سال و در شهرستان الشت ۲۱ سال شبیه‌سازی تیمارهای یاد شده صورت گرفت که در مجموع حدود ۱۷۲۸ شبیه‌سازی در این پژوهش انجام گردید. در ضمن سایر عوامل مدیریتی مانند تاریخ کاشت (جدول ۳)، عمق (سه سانتی‌متر) و تراکم کشت (۸۰ بوته در مترمربع)، مقدار مصرف کود ازت

(جدول ۳)، نوع خاکورزی (موسوم) و ... در تمام شبیه‌سازی‌ها در به صورت یکسان و بر اساس اطلاعات به دست آمده از مناطق مورد بررسی در نظر گرفته شد. برای آبیاری کامل، در سامانه‌های فاریاب، با مبنای الگوی رایج کشاورزان محلی در منطقه مورد مطالعه با در نظر گرفتن دو دور آبیاری از زمان کاشت تا مرحله ساقه‌دهی، آب اولیه خاک روی ۵۰ درصد آب بالقوه موجود در خاک تنظیم شد. از مرحله ساقه‌دهی به بعد آبیاری در مدل بر مبنای محتوای آب خاک در نقطه ظرفیت مزرعه انجام گرفت به این صورت که رطوبت خاک همواره در حد ۷۵ درصد ظرفیت خاک در نقطه ظرفیت مزرعه باشد. برای تیمارهای مختلف قطع آبیاری این موضوع تا زمان قطع آبیاری نیز در نظر گرفته شد.

پس از اجرای مدل برای تیمارهای مختلف و انجام شبیه‌سازی‌ها در تمام مناطق، صفاتی مانند عملکرد دانه، حجم آبیاری انجام‌شده، تبخیر و تعرق واقعی، طول دوره رشد و میانگین دمای هوا در طول فصل رشد به عنوان خروجی‌های مدل مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. علاوه بر این، با استفاده از خروجی‌های مدل، کارایی مصرف آب زراعی نیز با استفاده از رابطه ۶ در تمام

مناطق، تیمارها و سال‌های شبیه‌سازی محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت (جمان و همکاران، ۲۰۱۸).

$$(۶) \quad \text{عملکرد دانه} = \frac{\text{عملکرد دانه}}{\text{مقدار آب عرضه شده}} = \text{کارایی مصرف آب زراعی}$$

در این رابطه عملکرد دانه همان مقدار عملکرد شبیه‌سازی شده کلزا توسط مدل (کیلوگرم در هکتار) بوده و مقدار آب عرضه شده نیز شامل مقدار آب مصرفی از ابتدا تا انتهای دوره رشد کلزا (مترمکعب) است. در این پژوهش از نرم‌افزارهای EXCEL و OriginPro (سیفرت، ۲۰۱۴) برای تجزیه و تحلیل خروجی‌ها و رسم شکل استفاده شد.

یافته‌ها

ارزیابی مدل شبیه‌سازی

همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است، مقادیر عملکردهای مشاهده شده بین ۱۴۶۶ تا ۳۲۵۲ کیلوگرم در هکتار متغیر بود؛ در حالی که مقادیر عملکرد تخمین زده شده توسط مدل بین ۱۲۵۰ تا ۳۵۵۰ کیلوگرم در هکتار تغییرات داشت. بر اساس نتایج ارائه شده در

جدول ۴ مقدار ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده برای تخمین عملکرد کلزای پاییزه برابر با ۱۴/۳۱ درصد بود که نشان‌دهنده دقت خوب این مدل در شبیه‌سازی عملکرد کلزای پاییزه است. نتایج به دست آمده نشان داد برآوردهای صورت گرفته از عملکرد کلزا توسط مدل شبیه‌سازی APSIM-canola به میزان کمتر از یک کیلوگرم در هکتار در مقایسه با شرایط واقعی کمتر بود. علاوه بر این مقادیر d-index و EF به دست آمده (به ترتیب برابر با ۰/۸۴ و ۰/۴۲) حاکی از سازگاری قابل قبول بین مقادیر عملکرد شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهده شده و کارایی متوسط مدل APSIM-canola در برآورد عملکرد کلزای پاییزه در شرایط محدودیت آبی است (جدول ۴). با توجه به نتایج به دست آمده و ارزیابی مقادیر گزارش شده از مشاهدات مزرعه‌ای و خروجی‌های به دست آمده از مدل شبیه‌سازی APSIM-canola می‌توان نتیجه گرفت که این مدل برآورد مناسبی از عملکرد کلزای پاییزه در شرایط آب محدود را ارائه می‌دهد.

جدول ۴- نتایج اعتبارسنجی مدل APSIM-canola برای شبیه‌سازی عملکرد دانه ارقام مختلف کلزای پاییزه (ارقام Hyola308، Hyola401 و RGS003) تحت ۴ تیمارهای مختلف قطع آبیاری (تیمار آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله گلدهی، قطع آبیاری در مرحله غلاف‌بندی و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) و شرایط اقلیمی مختلف

تعداد جفت مشاهدات	رابطه رگرسیونی	ضریب تبیین	ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده (درصد)	میانگین اریب خطا (کیلوگرم در هکتار)	شاخص سازگاری ویلموت	کارایی مدل
44	$y = 0.7197x + 0.6517$	0.49**	14.31	-0.81	0.84	0.42

تأثیر تغییر رقم و اعمال رژیم‌های قطع آبیاری بر عملکرد کلزای پاییزه

نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی‌های بلندمدت نشان داد میانگین عملکرد دانه کلزای پاییزه در تمام مناطق، ارقام، تیمارهای آبیاری و سال‌ها برابر با ۳۷۶۶ کیلوگرم در هکتار بود و اختلاف عملکرد این محصول بین مناطق مورد بررسی قابل ملاحظه (۲۵۳۴ کیلوگرم در هکتار) بود (شکل ۲). بر این اساس مقایسه بین مناطق مورد مطالعه نشان داد که بیشترین میانگین عملکرد دانه کلزای پاییزه در تمام ارقام و تیمارهای آبیاری با ۴۴۹۱ کیلوگرم در هکتار به شهرستان خرم‌آباد تعلق داشت؛ در حالی که کمترین میانگین عملکرد دانه در شهرستان الشتر به میزان ۱۹۵۷ کیلوگرم در هکتار

مشاهده شد. بررسی‌ها نشان داد که به‌طور عمومی مقدار عملکرد در مناطق شرقی و جنوبی در مقایسه با غرب و شمال استان بیشتر بود به شکلی که با حرکت به سمت شمال استان، مقدار عملکرد دانه کلزای پاییزه نیز کاهش یافت.

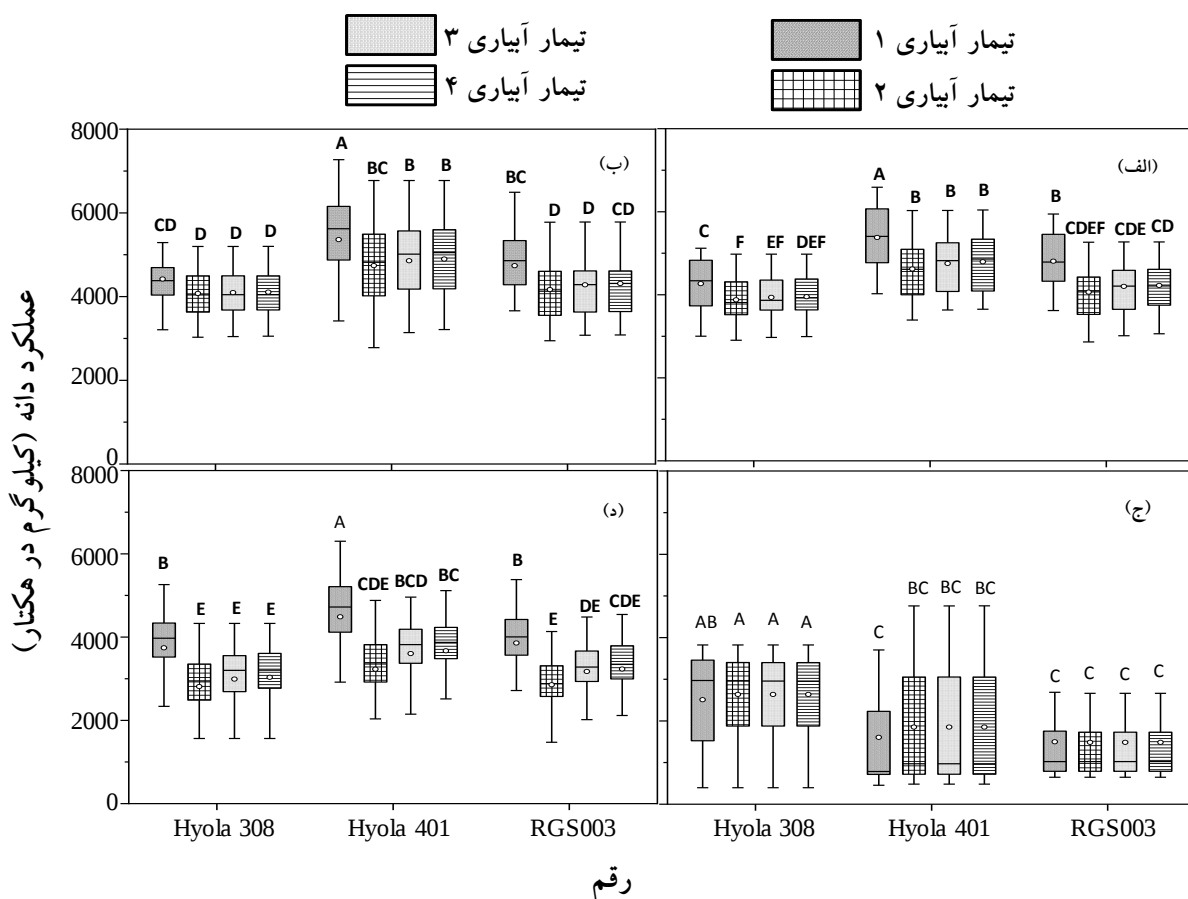
بررسی تغییرات عملکرد کلزا بین سال‌های شبیه‌سازی شده در هر تیمار (طول باکس پلات در هر تیمار) بیانگر تغییرپذیری بالای عملکرد در سال‌های مختلف بود. بیشترین تغییرپذیری عملکرد بین سال‌های شبیه‌سازی در شهرستان الشتر و به‌ویژه رقم Hyola401 با انحراف از معیار ۱۳۹۶ کیلوگرم در هکتار وجود داشت؛ در حالی که کمترین تغییرپذیری عملکرد در بلندمدت به شهرستان

پلدختر و رقم Hyola308 با ۵۵۶ کیلوگرم انحراف معیار تعلق داشت (شکل ۲). این نتایج در واقع حاکی از تفاوت در پایداری اقلیم مناطق مورد بررسی طی سالیان مختلف بود. از این رو نتایج به دست آمده نشان داد که شرایط اقلیمی در شهرستان پلدختر در مقایسه با سایر شهرستان‌ها طی بلندمدت ثبات بیشتری را دارد درحالی‌که تنوع شرایط اقلیمی طی سالیان مختلف در شهرستان الشتر منجر به تغییرپذیری بیشتر عملکرد کلزای پاییزه در این منطقه گردید و به نوعی بیانگر ریسک بیشتر تولید کلزا در این منطقه بود. مقایسه عملکرد به دست آمده از ارقام مختلف کلزا در هر شهرستان نشان داد که اختلاف عملکرد به دست آمده از ارقام مختلف کلزا در مناطق مورد بررسی قابل ملاحظه بود به شکلی که بیشترین و کمترین اختلاف عملکرد بین ارقام مختلف در مناطق مختلف به ترتیب ۱۱۱۲ و ۶۰۰ کیلوگرم (به ترتیب در شهرستان‌های کوهدشت و الشتر) بود. نتایج به دست آمده نشان داد رقم میان‌رس Hyola401 در شهرستان‌های خرم‌آباد، پلدختر و کوهدشت در مقایسه با سایر ارقام عملکرد بهتری داشت؛ در حالی‌که میانگین عملکرد به دست آمده از رقم Hyola308 در شهرستان الشتر بیشتر از سایر ارقام بود. نتایج به دست آمده همچنین نشان داد که کشت پاییزه رقم Hyola308 کلزا در شهرستان‌های خرم‌آباد، پلدختر و کوهدشت منجر به دستیابی عملکرد کمتر در مقایسه با دو رقم دیگر شد و در شهرستان الشتر نیز کمترین عملکرد کلزا با کشت رقم دیررس RGS003 به دست آمد (شکل ۲).

بررسی تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری (تیمارهای قطع آبیاری) بر عملکرد کلزای پاییزه نیز نشان داد که واکنش کلزا به تیمار آبیاری در مناطق مختلف متفاوت بود به شکلی که استفاده از تیمار آبیاری کامل در تمام رقم‌های شهرستان‌های خرم‌آباد، پلدختر و کوهدشت (به ترتیب با میانگین عملکرد ۴۸۱۵، ۴۸۱۳ و ۴۰۲۲ کیلوگرم در هکتار)

در مقایسه با سایر تیمارهای آبیاری منجر به عملکرد دانه بیشتری شد؛ درحالی‌که میانگین عملکرد دانه کلزا در تیمار آبیاری کامل در شهرستان الشتر با ۱۸۷۹ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با تیمارهای قطع آبیاری کمتر بود و عملکرد دانه کلزا در این شهرستان در تیمارهای قطع آبیاری بیشتر از تیمار آبیاری کامل بود (۱۹۸۵ کیلوگرم در هکتار) و در مقایسه با هم اختلاف محسوسی نداشتند.

نتایج مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای رقم‌رژیم‌های مختلف قطع آبیاری در مراحل مختلف بر عملکرد دانه کلزای پاییزه در مناطق مورد بررسی (شکل ۲) بسته به منطقه متفاوت بود. نتایج به دست آمده نشان داد که در شهرستان‌های خرم‌آباد، پلدختر و کوهدشت تیمار رقم Hyola401 و آبیاری کامل در سطح آماری پنج درصد با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت و منجر به تولید بیشترین مقدار عملکرد دانه کلزا در این شهرستان‌ها (به ترتیب ۵۳۶۱، ۵۳۷۸ و ۴۴۸۸ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با سایر تیمارها شد؛ در حالی‌که کشت رقم زودرس Hyola308 و قطع آبیاری در مرحله گلدهی موجب دستیابی به کمترین عملکرد دانه کلزا در این مناطق (به ترتیب ۴۰۷۴، ۳۸۷۸ و ۲۸۱۱ کیلوگرم در هکتار) شد. نتایج به دست آمده در شهرستان الشتر با سایر مناطق متفاوت بود به شکلی که بر اساس آزمون دانکن کشت رقم Hyola308 و استفاده از یکی از تیمارهای قطع آبیاری در مراحل گلدهی، غلاف-بندی و پر شدن دانه از نظر آماری در سطح پنج درصد با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشتند و با ۲۶۳۴ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه در کشت پاییزه کلزا را به همراه داشتند؛ این در حالی بود که کمترین عملکرد به دست آمده در این شهرستان با کشت رقم RGS003 و قطع آبیاری در مرحله گلدهی به میزان ۱۴۸۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمده آمد (شکل ۲).



شکل ۲- عملکرد شبیه‌سازی شده ارقام مختلف کلزای پاییزه در واکنش به تیمارهای مختلف آبیاری (۱: تیمار آبیاری کامل، ۲: قطع آبیاری در مرحله گلدهی، ۳: قطع آبیاری در مرحله غلاف‌بندی و ۴: قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) در شهرستان‌های الف: پلدختر، ب: خرم‌آباد، ج: الشتر و د: کوهدشت. (مقادیر دارای حروف غیرمشترک در هر شهرستان در سطح آماری پنج درصد و بر اساس آزمون توکی دارای اختلاف معنی‌دار هستند)

مقدار در بین مناطق مورد بررسی و برابر با ۰/۳۶۹ و ۰/۱۴۷ کیلوگرم بر مترمکعب بود.

بررسی مقادیر کارایی مصرف آب زراعی در تیمارهای پژوهش هر منطقه بیانگر تغییرپذیری قابل توجه این متغیر بین سال‌های مختلف (طول نمودار جعبه‌ای در شکل ۳) بود. بررسی‌ها نشان داد به‌طورکلی تغییرپذیری کارایی مصرف آب زراعی بین سال‌های مختلف در شهرستان‌های پلدختر و خرم‌آباد کمتر از سایر مناطق بود؛ درحالی‌که در شهرستان الشتر در سال‌های مختلف تغییرات بیشتری در مقایسه با سایر مناطق وجود داشت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد بیشترین انحراف از معیار مشاهده‌شده بین سال‌های شبیه‌سازی در شهرستان الشتر و مربوط به تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی رقم Hyola401

ارتقاء کارایی مصرف آب زراعی با انتخاب رقم و تیمار آبیاری مناسب

نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های بلندمدت در مناطق مورد بررسی (شکل ۳) نشان داد که میانگین کارایی مصرف آب زراعی در تمام ارقام، تیمارهای آبیاری و سال‌های شبیه‌سازی در محدوده مورد بررسی برابر با ۰/۲۹۷ کیلوگرم بر مترمکعب بود که تغییرپذیری قابل توجهی بین مناطق مورد بررسی وجود داشت. بررسی‌ها نشان داد که به‌طورکلی مقدار کارایی مصرف آب زراعی در مناطق جنوبی و مناطق غربی بیشتر از مناطق شمالی و شرقی استان بود به شکلی که میانگین کارایی مصرف آب زراعی (در تمام ارقام، تیمارهای آبیاری و سال‌های شبیه‌سازی) در شهرستان‌های پلدختر و الشتر به‌ترتیب بیشترین و کمترین

(۰/۱۱۲) کیلوگرم بر مترمکعب) بود درحالی که کمترین انحراف معیار در بلندمدت به تیمار آبیاری کامل رقم Hyola308 در شهرستان خرم‌آباد تعلق داشت. مقایسه مقادیر کارایی مصرف آب زراعی در ارقام مورد بررسی در مناطق مختلف نشان داد که انتخاب رقم مناسب تأثیر قابل توجهی در ارتقاء کارایی آب مصرف‌شده در سطح بوم نظام‌های کشت کلزای پاییزه در مناطق مورد بررسی دارد. خروجی‌های به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی‌های بلندمدت نشان داد به‌طور میانگین در تمامی مناطق و تیمارهای آبیاری مورد بررسی، بیشترین کارایی مصرف آب زراعی (۰/۳۲) کیلوگرم بر مترمکعب) با کشت رقم میان‌رس Hyola401 به‌دست آمد؛ درحالی‌که کشت رقم دیررس RGS003 با ۰/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب کمترین کارایی مصرف آب زراعی را داشت. بررسی ارقام به تفکیک مناطق نیز نشان داد که در شهرستان‌های پلدختر، خرم‌آباد و کوهدشت بیشترین کارایی مصرف آب زراعی بین ارقام مورد بررسی (میانگین تمام تیمارهای آبیاری در هر منطقه) با کشت رقم Hyola401 به‌ترتیب به میزان ۰/۴۰۷، ۰/۳۵۹ و ۰/۲۹۷ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. در شهرستان الشتر نیز کشت رقم Hyola308 منجر به بیشترین مقدار کارایی مصرف آب زراعی (۰/۲۰۱) کیلوگرم بر مترمکعب) شد. نتایج به‌دست‌آمده همچنین نشان داد که کمترین مقدار کارایی مصرف آب زراعی با کشت رقم Hyola308 در شهرستان‌های پلدختر و کوهدشت (به‌ترتیب ۰/۳۴۴ و ۰/۲۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب) و کشت رقم RGS003 در شهرستان‌های خرم‌آباد و الشتر (به‌ترتیب ۰/۳۱۱ و ۰/۱۰۸ کیلوگرم بر مترمکعب) به‌دست آمد (شکل ۴).

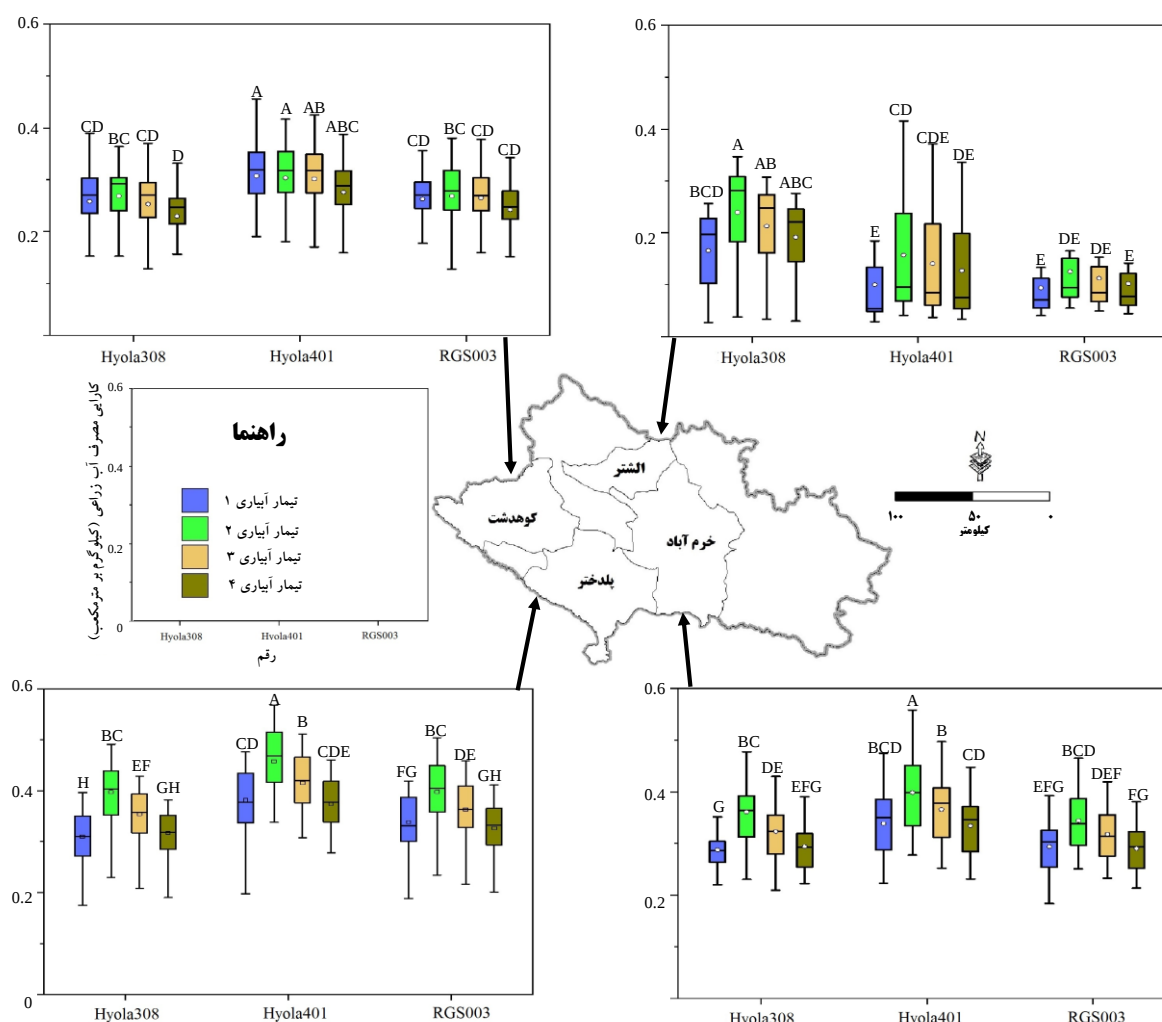
ارزیابی کارایی مصرف آب زراعی در تیمارهای آبیاری مورد بررسی در این پژوهش نیز حاکی از تأثیرپذیری این متغیر از تیمارهای آبیاری مختلف بود. میانگین کارایی مصرف آب زراعی تیمارهای آبی مختلف در کل مناطق، ارقام و سال‌های مورد بررسی بین ۰/۳۳۱ و ۰/۲۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب تغییرات داشت که بیشترین و کمترین آن به- ترتیب به تیمارهای قطع آبیاری در مرحله گلدهی و قطع

آبیاری در مرحله پر شدن دانه تعلق داشت. بررسی کارایی مصرف آب زراعی در تیمارهای آبیاری مختلف به تفکیک مناطق نیز بیانگر برتری تیمار آبی قطع آبیاری در مرحله گلدهی در مقایسه با سایر تیمارها در تمام شهرستان‌ها بود به شکلی که مقدار کارایی مصرف آب زراعی در این تیمار در شهرستان‌های پلدختر، خرم‌آباد، کوهدشت و الشتر به- ترتیب برابر با ۰/۴۱۸، ۰/۳۶۸، ۰/۲۸۰ و ۰/۱۷۳ کیلوگرم بر مترمکعب بود. در مقابل کمترین مقدار کارایی مصرف آب زراعی در بین تیمارهای آبی در شهرستان‌های پلدختر و کوهدشت (به‌ترتیب ۰/۳۳۹ و ۰/۲۴۹ کیلوگرم بر مترمکعب) با قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و در شهرستان‌های خرم‌آباد و الشتر (به‌ترتیب ۰/۳۰۵ و ۰/۱۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب) با انجام آبیاری کامل به‌دست آمد (شکل ۳).

بررسی نتایج اثر متقابل اعمال تیمارهای مختلف آبیاری و استفاده از ارقام مختلف بر کارایی مصرف آب زراعی در بر اساس آزمون دانکن در سطح آماری پنج درصد حاکی از واکنش متفاوت این متغیر در مناطق مختلف بود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها (شکل ۳) نشان داد که تأثیر تیمار رقم Hyola401 و قطع آبیاری کلزا در مرحله گلدهی بر روی کارایی مصرف آب زراعی با سایر تیمارها در سطح آماری پنج درصد اختلاف معنی‌دار داشت و برای دست- یابی به بیشترین کارایی مصرف آب زراعی در شهرستان- های پلدختر و خرم‌آباد (به‌ترتیب ۰/۴۵۷ و ۰/۳۹۸ کیلوگرم بر مترمکعب)، این تیمار بهترین راهکار بود. در مقابل، نتایج به‌دست آمده نشان داد که کشت رقم زودرس Hyola308 و انجام آبیاری گیاه زراعی به‌طور کامل تا پایان فصل رشد در شهرستان-های پلدختر و خرم‌آباد در مقایسه با سایر تیمارها به شکل معنی‌داری (در سطح آماری پنج درصد) منجر به حداقل کارایی مصرف آب زراعی (به‌ترتیب ۰/۳۱۰ و ۰/۲۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب) شد. مقایسه میانگین کارایی مصرف آب زراعی در شهرستان کوهدشت با استفاده از آزمون دانکن در سطح آماری پنج درصد نشان داد بیشترین کارایی مصرف آب زراعی به میزان ۰/۳۰۷ کیلوگرم بر

بود. بر این اساس، امکان بیشینه‌سازی این متغیر به میزان ۰/۲۳۹ کیلوگرم بر مترمکعب با کشت رقم زودرس Hyola308 و قطع آبیاری گیاه زراعی در مرحله گلدهی در مقایسه با سایر تیمارهای مورد بررسی بود. در این منطقه کشت رقم دیررس RGS003 و آبیاری کامل آن تا انتهای فصل رشد کاهش محسوس کارایی مصرف آب زراعی را به کمترین مقدار ممکن (۰/۰۹۴ کیلوگرم بر مترمکعب) به همراه داشت.

مترمکعب با کشت رقم میان‌رس Hyola401 و آبیاری کامل گیاه زراعی تا انتهای فصل رشد در این شهرستان محقق گردید درحالی‌که قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه در مزارع کشت‌شده با رقم Hyola308 منجر به افت کارایی مصرف آب زراعی به کمترین مقدار در بین تیمارهای مورد بررسی (۰/۲۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب) شد. مقایسه میانگین کارایی مصرف آب زراعی در شهرستان الشتر نیز با استفاده از آزمون دانکن حاکی از اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مورد بررسی در این شهرستان در سطح آماری پنج درصد



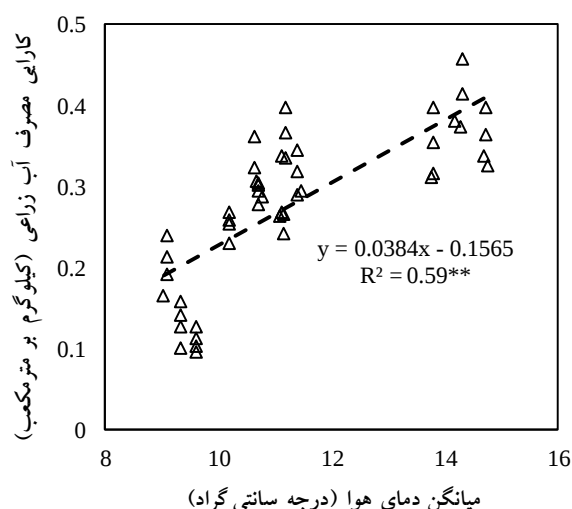
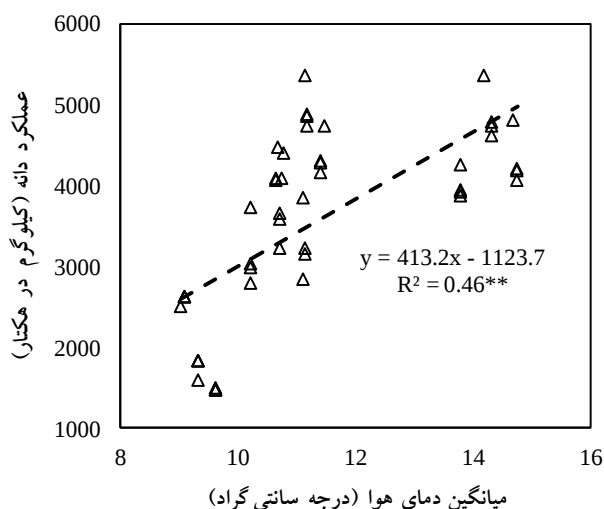
شکل ۳- کارایی مصرف آب زراعی کلزای پاییزه در پاسخ به ارقام و تیمارهای آبیاری مختلف در شهرستان‌های مورد مطالعه. (مقادیر دارای حروف غیرمشترک در هر شهرستان در سطح آماری پنج درصد و بر اساس آزمون توکی دارای اختلاف معنی‌دار هستند)

مرور کلی نتایج مربوط به مقادیر عملکرد و کارایی مصرف آب زراعی در تیمارهای مورد بررسی نشان داد که وضعیت عملکرد دانه و کارایی مصرف آب زراعی

تغییرپذیری عملکرد دانه و کارایی مصرف آب زراعی بین مناطق

در بوم نظام‌های کشت کلزای پاییزه در شهرستان‌های پلدختر و خرم‌آباد (به‌طور عمومی مناطق جنوبی و شرقی) به شکل قابل ملاحظه‌ای نسبت به شهرستان‌های کوه‌دشت و الشتر (شمال و غرب مناطق مورد بررسی) بهتر بود. در واقع مقادیر عملکرد بالای کلزا در شهرستان‌های خرم‌آباد و پلدختر در مقایسه با شهرستان‌های کوه‌دشت و الشتر (شکل ۲) موجب تفاوت فاحش در مقدار کارایی مصرف آب زراعی شهرستان‌های یاد شده بود به شکلی که میانگین کارایی مصرف آب زراعی در تمامی تیمارها و سال‌های مورد بررسی در شهرستان‌های پلدختر و خرم‌آباد به ترتیب برابر با ۰/۳۶۹ و ۰/۳۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب و در شهرستان‌های کوه‌دشت و الشتر برابر با ۰/۲۶۹ و ۰/۱۴۷ کیلوگرم بر مترمکعب بود. مقایسه بین میانگین دمای هوای مناطق یادشده (جدول ۱) حاکی از تأثیر قابل توجه اقلیم (به‌ویژه دما) بر مقدار تولید و بهره‌وری کلزای پاییزه در هر منطقه بود. بررسی‌ها نشان داد که با افزایش میانگین دمای هوا در مناطق مورد بررسی، مقدار عملکرد و همچنین کارایی مصرف آب زراعی نیز افزایش یافت (شکل ۴). بر این اساس، بررسی رابطه رگرسیونی بین میانگین دمای هوا

در طول فصل رشد و مقدار عملکرد دانه و کارایی مصرف آب زراعی در تمام مناطق و تیمارهای مورد بررسی نیز حاکی از ارتباط مستقیم و معنی‌دار بین میانگین دمای هوا و دو متغیر مذکور بود. در واقع دماهای کمتر در کشت پاییزه کلزا منجر به وقوع بیشتر تنش دماهای کمینه به گیاه زراعی شده و امکان استفاده مطلوب از منابع محیطی را از گیاه زراعی سلب می‌کند. هافمن و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که وقوع تنش دمای کمینه در کشت پاییزه کلزا در شمال آلمان منجر به افزایش ریزش برگ و تلفات نیتروژن شد. عدم استفاده مطلوب از منابع محیطی افت عملکرد و همچنین کاهش کارایی مصرف آب را به همراه خواهد داشت. عینی نرگسه و همکاران (۲۰۲۰) نیز در پژوهشی مزرعه‌ای در منطقه کرج عنوان کردند که دمای کمتر در طول فصل رشد منجر به حصول عملکرد کمتر در بوم نظام-های کشت کلزای پاییزه شد. در پژوهشی دیگر در چهار منطقه سردسیری بر روی کلزای پاییزه، مدنی و همکاران (۱۳۸۵) گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه کلزای پاییزه در مناطق با میانگین دمای بیشتر به‌دست آمد.



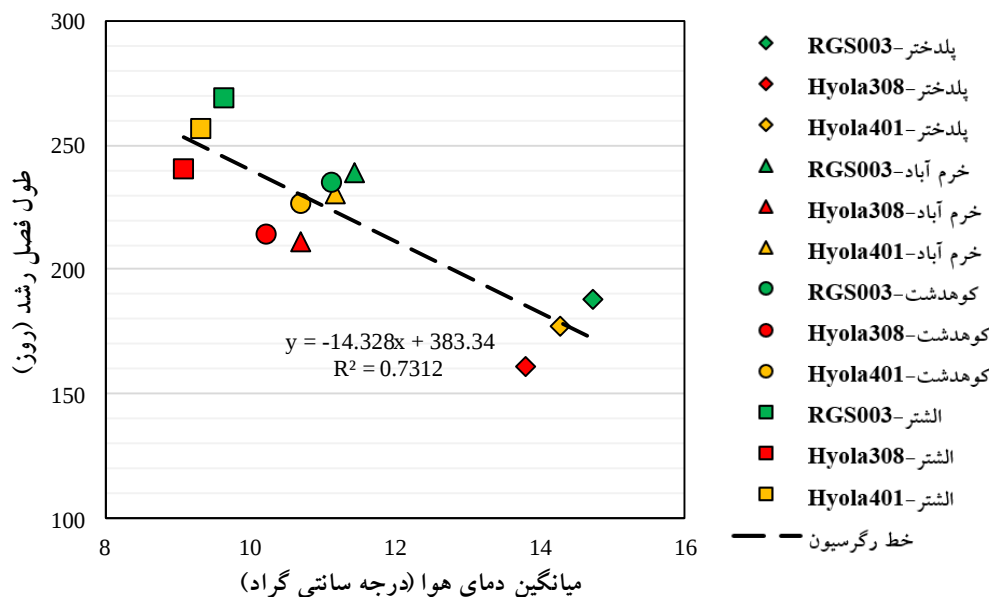
شکل ۴- رابطه رگرسیونی بین میانگین دمای هوا در طول فصل رشد با عملکرد دانه و کارایی مصرف آب زراعی در مناطق مورد بررسی

واکنش کلزای پاییزه به تغییر رقم و نتایج بررسی ارقام مورد استفاده در این پژوهش نشان داد که طول فصل رشد در تمام مناطق با تغییر رقم

تغییر کرد به شکلی که به‌طور میانگین طول فصل رشد در ارقام Hyola308، Hyola401 و RGS003 در تمام مناطق به‌ترتیب برابر با ۲۰۷، ۲۲۳ و ۲۳۳ روز بود. بررسی مناطق

به‌صورت جداگانه نیز مؤید همین موضوع بود؛ البته باید توجه داشت که در مناطق گرم‌تر مانند پلدختر طول فصل رشد در ارقام مورد بررسی بین ۱۶۱ تا ۱۸۸ روز تغییرات داشت؛ درحالی‌که در شهرستان الشتر (به‌عنوان سردترین شهرستان) طول فصل رشد در ارقام مورد استفاده بین ۲۴۱ تا ۲۶۹ روز متغیر بود (شکل ۵). به‌نظر می‌رسد که این اختلاف قابل‌توجه در طول فصل رشد ارقام مورد بررسی در مناطق مورد مطالعه به اقلیم (دمای هوا) این مناطق بستگی دارد (شکل ۵). در واقع دمای هوا با توجه به نقش کلیدی و تأثیر مستقیم و غیرمستقیم آن بر متغیرهای مهمی مانند دمای خاک و نیاز حرارتی گیاه زراعی می‌تواند طول دوره-های فنولوژیک گیاه زراعی را تغییر داده و طول فصل رشد گیاه زراعی را دستخوش تغییرات کند (گریگوریو، ۲۰۲۰). بر این اساس، انتخاب رقم مناسب برای کشت پاییزه کلزا در هر منطقه باید با توجه به هدف کشاورز و با در نظر گرفتن شرایط دمایی هر منطقه و تأثیر آن بر برخی ویژگی-های گیاه زراعی انجام گردد. برای مثال در صورتی‌که هدف از تولید بیشینه‌سازی تولید و یا حداکثر استفاده مطلوب از

آب مصرفی باشد استفاده از رقم میان‌رس Hyola401 در مناطق گرم‌تر مانند پلدختر، خرم‌آباد و کوهدشت به‌دلیل استفاده مطلوب از منابع محیطی و همچنین عدم برخورد دوره زایشی گیاه زراعی به دماهای بالا قابل توصیه است. نتایج پژوهش صادقی نژاد و همکاران (۱۳۹۳) در ابرکوه یزد بر روی تأثیر تنش خشکی بر روی پنج رقم کلزای پاییزه نشان داد که استفاده از رقم میان‌رس Hyola401 به‌دلیل کارایی مصرف آب بالا قابل توصیه است. در مناطق خنک‌تر مانند شهرستان الشتر نیز به نظر می‌رسد که با توجه به‌احتمال بیشتر وقوع تنش دمای کمینه در فصل پاییز و زمستان، استفاده از ارقام زودرس موجب تسریع رشد گیاه زراعی در ابتدای فصل رشد شده و امکان ورود زودتر گیاه زراعی به مرحله روزت و آمادگی بهتر گیاه زراعی برای زمستان‌گذرانی را فراهم می‌کند. مدنی و همکاران (۱۳۸۵) در پژوهشی بر روی ۲۴ رقم کلزای پاییزه در مناطق سردسیر به لزوم استفاده از رقم مناسب در مناطق سردسیر برای مقاوم‌سازی بهتر به سرما در مرحله روزت اشاره کردند.



شکل ۵- رابطه رگرسیونی بین طول فصل رشد ارقام مختلف کلزای پاییزه و میانگین دمای هوا در طول فصل رشد در مناطق مختلف

واکنش کلزا به قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد

بررسی نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی‌ها نشان داد که واکنش کلزای پاییزه (عملکرد و کارایی مصرف آب

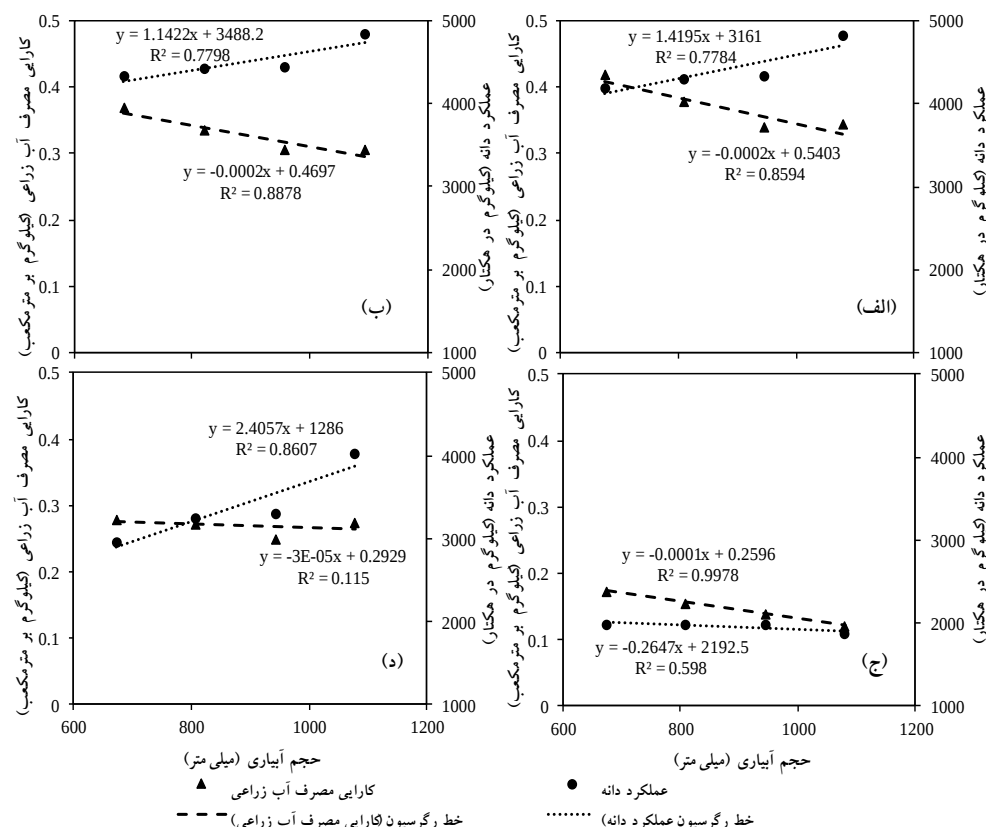
زراعی) به تیمارهای آبیاری این پژوهش بسته به منطقه متفاوت است که به نظر می‌رسد تفاوت در شرایط اقلیمی این مناطق مهم‌ترین عامل در بروز این واکنش متفاوت به

تیمارهای آبیاری است. رابطه رگرسیونی بین حجم آبیاری اعمال شده در تیمارهای مختلف آبیاری با مقدار عملکرد دانه کلزا به تفکیک شهرستان‌های مورد بررسی (شکل ۶) حاکی از وجود ارتباط مستقیم بین حجم آبیاری و عملکرد دانه در سه شهرستان پلدختر، خرم‌آباد و کوهدشت (به ترتیب با شیب $+1/4195$ ، $+1/1422$ و $+2/4057$) بود که نتایج نشان داد با افزایش مقدار آبیاری عملکرد دانه در شهرستان کوهدشت با شیب بیشتری افزایش یافت. نتایج به دست آمده همچنین نشان داد که در شهرستان الشتر اعمال آبیاری بیشتر موجب افت عملکرد دانه (با شیب $-0/2647$) در این شهرستان شد. این موضوع لزوم توجه به مدیریت آبیاری برای دستیابی به عملکرد دانه مطلوب به صورت مکان ویژه و با توجه به ویژگی‌های اقلیمی هر منطقه را هویدا می‌سازد. بررسی رابطه رگرسیونی بین مقدار آب آبیاری عرضه شده به بوم نظام‌های کشت کلزا و کارایی مصرف آبیاری زراعی در شهرستان‌های مختلف حاکی از شیب نزولی بین این دو متغیر در تمام مناطق بود. این نتایج به این معنی است که بر اساس تیمارهای مورد بررسی در این تحقیق، عرضه مقدار آب بیشتر تأثیر مثبتی بر روی کارایی مصرف آب زراعی کلزا نداشت و حتی اعمال آبیاری بیشتر بر اساس تیمارهای تعبیه شده در این پژوهش موجب کاهش کارایی مصرف آب زراعی شد (شکل ۶). در واقع، در صورتی که کم آبیاری موجب تنش شدید آبی برای محصول نشود می‌تواند تأثیر مثبتی بر کارایی مصرف آب محصول زراعی داشته باشد. باید توجه داشت که یکی از دلایل مهم در واکنش مثبت کارایی مصرف آب به تیمارهای قطع آبیاری در این پژوهش به دلیل نوع ارقام مورد بررسی بود. در واقع در شرایط رطوبتی مطلوب، گیاه زراعی با انجام فتوسنتز کافی تناسب مطلوبی بین منبع (برگ) و مخزن (دانه) ایجاد نموده و موجب دستیابی به عملکرد مطلوب می‌گردد. با این وجود با وقوع تنش رطوبتی تعداد غلاف‌های بارور در کلزا کاهش یافته که موجب کاهش عملکرد محصول می‌گردد. در این بین ارقامی که بتوانند در شرایط تنش آبی تعداد غلاف بارور بیشتری داشته باشند می‌توانند

به عملکرد قابل قبولی دست یابند (عینی نرگسه و همکاران، ۱۳۹۷). در بین ارقام مختلف کلزا، رقم Hyola401 به دلیل تولید تعداد مناسب غلاف در شاخه‌های اصلی و فرعی در شرایط تنش، درصد غلاف بارور بالایی داشته که منجر به تولید عملکرد دانه معقولی می‌شود (نعیمی و همکاران، ۱۳۸۹) و این موضوع موجب کارایی مصرف آب بالا در این رقم می‌گردد. نتایج مطالعات مختلف در زمینه کم آبیاری کلزا نیز بیانگر ارتباط منفی بین مقدار آب عرضه شده به گیاه زراعی و کارایی مصرف آب بود. اسکندری و کاظمی (۱۴۰۳) در آزمایش خود اثر تاریخ کاشت، کود ورمی کمپوست و قطع آبیاری در مرحله گلدهی بر تولید دانه و روغن و کارایی مصرف آب کلزا بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که کاهش حجم آبیاری موجب افزایش کارایی مصرف آب در کلزا شد به شکلی که قطع آبیاری در مرحله گلدهی باعث افزایش کارایی مصرف آب در کلزا به میزان ۲۹ درصد شد. داشدادی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر دور آبیاری (بر اساس تبخیر از تشتک تبخیر) و مصرف کود نیتروژن بر کلزای پاییزه در جنوب شرقی اصفهان پرداختند و گزارش کردند که انجام آبیاری در دوره‌های کوتاه موجب دست‌یابی به عملکردهای بیشتر شد؛ در حالی که آبیاری پس از تبخیر ۱۰۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر (طولانی‌ترین دور آبیاری مورد بررسی) موجب دست‌یابی به بیشترین کارایی مصرف آب به میزان $0/394$ کیلوگرم بر مترمکعب شد. نتایج پژوهش کاتوال و همکاران (۲۰۲۰) بر روی تأثیر روش‌های کم آبیاری بر کلزا در ایالات متحده نشان داد که عدم آبیاری در دوره رشد رویشی (کم آبیاری به میزان ۱۳ الی ۱۸ درصد تبخیر و تعرق واقعی گیاه زراعی در شرایط آبیاری کامل) موجب افزایش بهره‌وری تولید کلزا در مقایسه با تیمار آبیاری کامل شد. این نتایج با توجه به محدودیت منابع آبی و فشار بر سفره‌های زیرزمینی می‌تواند در انتخاب روش آبیاری مناسب و مؤثر با حداکثر بهره‌وری و حداقل فشار بر منابع آبی کمک قابل توجهی کند. خدابین و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی به بررسی اثر قطع آبیاری و

گیاه کلزا را بررسی کرده بودند، محققان دریافتند که با قطع آبیاری پس از مرحله گلدهی، مقدار عملکرد دانه در مقایسه با تیمار آبیاری کامل ۱۶/۴ درصد کاهش یافت درحالی‌که کارایی مصرف آب ۱۴/۹ درصد افزایش یافت (استانبوللو اوغلو و همکاران، ۲۰۱۰).

محل‌پاشی روی و منگنز بر گیاه کلزا پرداختند و گزارش کردند که با قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد در ارقام KS7 و R15 کارایی مصرف آب کاهش یافت (به‌ترتیب ۱۱ و ۲۰ درصد) درحالی‌که قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد در رقم نیما منجر به افزایش کارایی مصرف آب به میزان ۸/۵ درصد در مقایسه با آبیاری کامل شد. در مطالعه-ای دیگر در کشور ترکیه که اثر رژیم‌های کم آبیاری بر روی



شکل ۶- رابطه رگرسیونی بین حجم آبیاری اعمال‌شده با عملکرد دانه و کارایی مصرف آب زراعی در تیمارهای مختلف آبیاری در شهرستان‌های الف: پلدختر، ب: خرم‌آباد، ج: الشتر و د: کوهدشت

نتیجه‌گیری

پژوهش پیش رو با هدف شناسایی رقم و تیمار آبیاری مناسب در مناطق مختلف استان لرستان انجام شد. نتایج کلی این پژوهش در گام اول بیانگر توانایی خوب مدل شبیه‌سازی APSIM-canola در برآورد رشد و تولید کلزای پاییزه بود. این نتایج نشان داد که خطای برآورد این مدل در شرایط محدودیت آب تنها ۱۰ درصد بود و امکان استفاده از این مدل در انجام مطالعات گوناگون برای بررسی

اثر تیمارهای آبی مختلف و انواع رقم بر روی کلزا امکان‌پذیر است. نتایج همچنین نشان داد که مقدار عملکرد و کارایی مصرف آب زراعی در مناطق، ارقام و تیمارهای آبیاری مورد بررسی متفاوت بودند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که توجه به شرایط اقلیمی هر منطقه به‌ویژه شرایط دمایی آن تأثیر بسزایی در انتخاب روش مدیریتی محصول خواهد داشت و در صورت انتخاب رقم مناسب و روش مدیریتی صحیح آبیاری می‌توان علاوه بر دستیابی به

شهرستان به‌ویژه در بخش عملکرد با نتایج سایر مطالعات هم‌سو نیست. این موضوع نشان می‌دهد که عامل محدودکننده رشد در این منطقه چیزی به غیر از محدودیت آبی است دست‌یابی به تولید و بهره‌وری مطلوب در این منطقه نیازمند بررسی دقیق‌تر شرایط این منطقه و شناسایی دقیق عوامل محدودکننده تولید کلزا در این منطقه است. با توجه به خروجی‌های این پژوهش پیشنهاد می‌گردد علاوه بر رقم‌های فوق، این مطالعه بر روی ارقام جدید و امیدبخش پاییزه نیز انجام گردد تا بتوان از تمامی ظرفیت‌های موجود در غلبه بر چالش‌های موجود در این بخش گام برداشت. علاوه بر این توصیه می‌شود که در مطالعات بعدی قطع آبیاری در سایر مراحل رشدی کلزا به‌ویژه مراحل رشد رویشی نیز مورد ارزیابی قرار گرفته تا بتوان با حداقل استفاده از منابع آبی به بیشترین تولید دست یافت.

تشکر و قدردانی

این مقاله بر اساس نتایج یک پایان‌نامه کارشناسی ارشد تحت حمایت دانشگاه لرستان می‌باشد.

تعارض منافع

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

عملکرد دانه معقول، کارایی مصرف آب زراعی مزارع کشت کلزای پاییزه را ارتقاء داد. بر این اساس، نتایج نشان داد که کشت رقم میان‌رس Hyola401 در شهرستان‌های خرم‌آباد، پلدختر و کوهدشت و کشت رقم Hyola308 در شهرستان الشتر منجر به حصول بیشترین عملکرد و کارایی مصرف آب شد. نتایج به‌دست‌آمده همچنین نشان داد در شهرستان‌های خرم‌آباد، پلدختر و کوهدشت بیشترین عملکرد با آبیاری کامل محصول به‌دست آمد؛ درحالی‌که در صورت وجود محدودیت آبی، با قطع آبیاری در مرحله گلدهی می‌توان در ازای اندکی افت در عملکرد به بیشترین کارایی مصرف آب زراعی ممکن در بوم نظام‌های کشت کلزا در این مناطق دست یافت. این موضوع از آن جهت اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که همواره هم‌زمانی مراحل انتهایی رشد کلزای پاییزه با مراحل ابتدایی سایر محصولات بهاره موجب تردید کشاورزان در استفاده از زمین زراعی به‌صورت کشت پاییزه می‌گردد و استفاده بهینه از منابع طبیعی را با مشکل مواجه می‌کند. علاوه بر این، عدم مصرف آب بیشتر در مراحل انتهایی رشد در صورت تولید قابل قبول دانه کلزا می‌تواند کمک شایانی به بازسازی منابع آب زیرزمینی و پایداری تولید در مناطق مورد بررسی در بلندمدت نماید. بررسی واکنش کلزا در شهرستان الشتر به تیمارهای آبیاری نیز نشان داد که قطع آبیاری در مرحله گلدهی منجر به بیشترین عملکرد دانه و بیشترین کارایی مصرف آب زراعی شد. به نظر می‌رسد که خروجی‌های به‌دست‌آمده در این

فهرست منابع

۱. اسکندری، حمداله و عالی‌زاده امرابی، اشرف، ۱۳۹۵. تأثیر آبیاری تکمیلی در مرحله رشد زایشی بر عملکرد دانه، روغن و کارایی انرژی سیستم تولید کلزا در شرایط دیم. *مجله به زراعی کشاورزی*، ۱۸(۴)، صص. ۹۱۹-۹۰۷. <https://doi.org/10.22059/jci.2017.56663>
۲. اسکندری، حمداله و کاظمی، کامیار، ۱۴۰۳. ارزیابی تولید و کارایی مصرف آب کلزا در رژیم‌های آبیاری و سطوح ورمی‌کمپوست در تاریخ کاشت‌های متفاوت. *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۲۲(۱)، صص. ۱۲۰-۱۰۳. <https://doi.org/10.22067/jcsc.2023.83981.1263>
۳. باختری، سارا، خواجه‌نوی نژاد، غلامرضا و محمدی نژاد، قاسم، ۱۳۹۵. تأثیر قطع آبیاری در مرحله گلدهی و محلول‌پاشی اسپریمیدین بر کمیت و کیفیت اسانس سه توده زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.). *نشریه بوم‌شناسی کشاورزی*، ۸(۴)، صص. ۵۳۵-۵۲۱. <https://doi.org/10.22067/jag.v8i4.40538>

۴. بی‌نام، ۱۳۸۴. گزارشی پیرامون وضعیت صنایع روغن‌کشی و روغن‌نباتی با تأکید بر دانه روغنی پنبه‌دانه در ایران. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی جمهوری اسلامی ایران.
۵. بی‌نام، ۱۴۰۲. آمارنامه کشاورزی محصولات زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰. تهران: وزارت جهاد کشاورزی.
۶. حسین‌زاد، جواد، کاظمیه، فاطمه، جوادی، اکرم و غفوری، هوشنگ، ۱۳۹۲. زمینه‌ها و سازوکارهای مدیریت آب کشاورزی در دشت تبریز. *دانش آب‌وخاک*، ۲۳(۲)، صص. ۸۵-۹۸.
۷. حمزه‌پور، غلامرضا، توبه، احمد و شیخ‌زاده، پریسا، ۱۳۹۶. مطالعه همبستگی و تجزیه رگرسیون بین صفات کمی و کیفی در ارقام مختلف کلزا (*Brassica napus* L) در آرایش‌های مختلف کاشت. *مجله اکوفیزیولوژی گیاهی*. ۳۱(۹)، صص. ۱۵۸-۱۷۱.
۸. حیدری بنی، مهران، یزدان‌پناه، حجت‌الله، و محنت‌کش، عبدالمحمد، ۱۳۹۷. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد و مراحل فنولوژیکی کلزا (مطالعه موردی: استان چهارمحال و بختیاری). *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، ۵۰(۲)، صص. ۳۷۳-۳۸۹. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2018.239399.1007101>
۹. حیدری، نادر، ۱۳۹۷. مسائل و چالش‌های صرفه‌جویی واقعی آب از طریق افزایش بهره‌وری آب و کاربرد سامانه‌های نوین آبیاری (یادداشت فنی). *آب و توسعه پایدار*، ۸(۴)، صص. ۱۶۹-۱۷۵. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v5i2.71076>
۱۰. خداین، قربان، طهماسبی سروستانی، زین‌العابدین، شیرانی راد، امیرحسین، مدرس ثانوی، سید علی محمد و بخشنده، اسماعیل، ۱۳۹۹. تأثیر قطع آبیاری و محلول‌پاشی روی و منگنز بر عملکرد و صفات اکوفیزیولوژیک کلزا (*Brassica napus* L.). *نشریه پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱۸(۱)، صص. ۸۵-۱۰۰. <https://doi.org/10.22067/gsc.v18i1.80050>
۱۱. داشدای، مختار، گودرزی، شهرام و عبدالحی، عبدالوهاب، ۱۳۹۹. بررسی تأثیر دور آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.) (رقم پاییزه). *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۳(۳)، صص. ۸۰۳-۸۰۷. <https://doi.org/10.22077/escs.2020.2203.1551>
۱۲. دالوند، احمد، شیرانی راد، امیرحسین، خورگامی، علی و پزشکی‌پور، پیام، ۱۳۹۱. بررسی تأثیر مقادیر و روش‌های تقسیط کود نیتروژن بر خصوصیات کیفی کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) در شهرستان خرم‌آباد. *اولین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط‌زیست سالم*. ۸ اسفند ۱۳۹۱، همدان، ایران.
۱۳. رحیمی‌مقدم، سجاد، عزیزی، خسرو، عینی نرگسه، حامد و کلانتر احمدی، سید احمد، ۱۴۰۲. شبیه‌سازی تولید و کارایی مصرف آب ارقام بهاره کلزا در اقلیم‌های گرم و معتدل. *فصلنامه علوم محیطی*، ۲۱(۱)، صص. ۱۵-۳۰. <https://doi.org/10.48308/envs.2022.1213>
۱۴. رحیمی، زینب، حسین پناهی، فرزاد و سی‌وسه مرده، عادل، ۱۳۹۸. ارزیابی عملکرد، کارایی مصرف آب و نور در ارقام حساس و مقاوم به خشکی گندم تحت سطوح مختلف آبیاری. *تولید و ژنتیک گیاهی*، ۲(۱)، صص. ۱۹-۳۴.
۱۵. رضیئی، طیب و میری، مرتضی، ۱۴۰۱. *طبقه‌بندی اقلیمی ایران به روش کوپن-کایگر*. تهران: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
۱۶. صادقی نژاد، علی‌اکبر، مدرس ثانوی، سید علی محمد، طباطبایی، سید علی و مدرس وامقی، سید مرتضی، ۱۳۹۳. اثر تنش کمبود آب در مراحل مختلف رشد بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب ارقام پاییزه کلزا (*Brassica napus* L.). *دانش آب‌وخاک*، ۲۱(۲)، صص. ۵۳-۶۴.

۱۷. عباسی، فریبرز، عباسی، نادر و توکلی، علیرضا، ۱۳۹۶. بهره‌وری آب در بخش کشاورزی؛ چالش‌ها و چشم‌اندازها. آب و توسعه پایدار، ۴(۱)، صص. ۱۴۱-۱۴۴.
<https://doi.org/10.22067/jwsd.v4i1.67121>
۱۸. عینی نرگسه، حامد، آقاعلیخانی، مجید، شیرانی راد، امیرحسین، مختصی بیدگلی، علی و مدرس ثانوی، سید علی محمد، ۱۳۹۷. پاسخ ژنوتیپ‌های جدید کلزا (*Brassica napus*) به قطع آبیاری انتهایی فصل در آب‌وهوای نیمه‌خشک. تولیدات گیاهی، ۴۱(۴)، صص. ۵۵-۶۸.
<https://doi.org/10.22055/ppd.2018.22672.1491>
۱۹. فرامرزی، سارا، آزادمرد دمیرچی، صدیف، افخمی سرای، ابراهیم و داخه هارونی، مهری، ۱۴۰۲. روغن دانه خار مریم (*Silybum marianum*) به عنوان منبع روغنی جدید خوراکی. مجله علوم و صنایع غذایی ایران، ۲۰(۱۴۵)، صص. ۲۳-۳۴.
<http://dx.doi.org/10.22034/FSCT.20.145.23>
۲۰. گلچین، لیلی، توکلی، افشین و محسنی فرد، احسان، ۱۴۰۱. ارزیابی اثرات کاربرد سیتوکینین بر تسهیم مواد فتوسنتزی و درصد روغن دانه در ارقام گلرنگ در شرایط تنش خشکی. علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۳(۳)، صص. ۲۶۱-۲۴۹.
<https://doi.org/10.22059/ijfcs.2021.324063.654827>
۲۱. محمدی احمد-محمودی، اسماعیل، دیهیم فرد، رضا و نوری، امید، ۱۳۹۸. ارزیابی وضعیت بهره‌وری و شاخص نسبت عرضه به تقاضای آب در چغندر قند (*Beta vulgaris L.*) با استفاده از مدل‌های شبیه سازی رشد در استان خراسان رضوی. نشریه علوم زراعی ایران، ۲۱(۳)، صص. ۲۸۲-۲۶۸.
<http://dx.doi.org/10.29252/abj.21.3.268>
۲۲. مدنی، حمید، نورمحمدی، قربان، مجیدی، اسلام و دهقان شعار، مجید، ۱۳۸۵. تحلیل شاخص‌های دمایی و اهمیت آن در بهینه‌سازی تولید کلزای پاییزه. علوم کشاورزی، ۱۲(۴)، صص. ۸۶۷-۸۷۶.
۲۳. نعیمی، معصومه، اکبری، غلامعلی، شیرانی راد، امیرحسین، مدرس ثانوی، سید علی محمد و سادات نوری، سید احمد، ۱۳۸۹. بررسی تأثیر تنش خشکی پایان دوره رشد بر عملکرد کمی و کیفی ارقام کلزا. به زراعی کشاورزی، ۱۲(۲)، صص. ۷۱-۶۳.
۲۴. ولی‌پور، علی، عزیزی، خسرو و رحیمی مقدم، سجاد، ۱۴۰۲. شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر محصول جو (*Hordeum vulgare*) آبی در استان‌های لرستان و همدان. علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۴(۴)، صص. ۷۹-۹۱.
<https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.354454.654977>
25. Dirwai, T.L., Senzanje, A. and Mabhaudhi, T., 2021. Calibration and evaluation of the FAO AquaCrop model for canola (*Brassica napus*) under varied moisture irrigation regimes. *Agriculture*, 11(5), p.410. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050410>
26. Djaman, K., O'Neill, M., Owen, C., Smeal, D., West, M., Begay, D., Angadi, S.V., Koudahe, K., Allen, S. and Lombard, K., 2018. Seed yield and water productivity of irrigated winter canola (*Brassica napus L.*) under semiarid climate and high elevation. *Agronomy*, 8(6), p.90. <https://doi.org/10.3390/agronomy8060090>
27. Dogan, E., Copur, O., Kahraman, A., Kirnak, H. and Guldur, M.E., 2011. Supplemental irrigation effect on canola yield components under semiarid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 98(9), pp.1403-1408.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.04.006>
28. Ebaid, M., Abd El-Hady, M. A., El-Temsah, M. E., El-Gabry, Y. A., Abd-Elkrem, Y. M., Hussein, H., Abdelkader, Ebaid, M., Abd El-Hady, M.A., El-Temsah, M.E., El-Gabry, Y.A., Abd-Elkrem, Y.M., Hussein, H., Abdelkader, M.A., Eliwa, T.A., Salama, E. and Saad, A.M., 2022. Response of Canola productivity to integration between mineral nitrogen with yeast extract under poor fertility sandy soil condition. *Scientific Reports*, 12(1), p.20216. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24645-0>
29. Eyni-Nargeseh, H., AghaAlikhani, M., Shirani Rad, A.H., Mokhtassi-Bidgoli, A. and

- Modarres Sanavy, S.A.M., 2020. Late season deficit irrigation for water-saving: selection of rapeseed (*Brassica napus*) genotypes based on quantitative and qualitative features. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(1), pp.126-137.
<https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1602866>
30. Gaydon, D., 2014. The APSIM model—An overview. *The SAARC-Australia project-developing capacity in cropping systems modelling for South Asia*, pp.15-31.
31. Geerts, S. and Raes, D., 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural water management*, 96(9), pp.1275-1284.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.009>
32. George, N. and Kaffka, S., 2017. Canola as a new crop for California: A simulation study. *Agronomy Journal*, 109(2), pp.496-509.
<https://doi.org/10.2134/agronj2016.04.0247>
33. George, N., Thompson, S.E., Hollingsworth, J., Orloff, S. and Kaffka, S., 2018. Measurement and simulation of water-use by canola and camelina under cool-season conditions in California. *Agricultural Water Management*, 196, pp.15-23.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.09.015>
34. Geries, L.S.M., El-Shahawy, T.A. and Moursi, E.A., 2021. Cut-off irrigation as an effective tool to increase water-use efficiency, enhance productivity, quality and storability of some onion cultivars. *Agricultural Water Management*, 244, p.106589.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106589>
35. Gharib, S.H. and Meleha, M.E., 2016. The mutual effect of withholding irrigation at some growth stages and potassium fertilizer on yield and water productivity of wheat. *Journal of Plant Production*, 7(12), pp.1303-1313. **<https://dx.doi.org/10.21608/jpp.2016.47025>**
36. Godoy Androcioli, L., Mariani Zeffa, D., Soares Alves, D., Pires Tomaz, J. and Moda-Cirino, V., 2020. Effect of water deficit on morphoagronomic and physiological traits of common bean genotypes with contrasting drought tolerance. *Water*, 12(1), p.217.
<https://doi.org/10.3390/w12010217>
37. Grigorieva, E., 2020. Evaluating the sensitivity of growing degree days as an agro-climatic indicator of the climate change impact: a Case Study of the Russian Far East. *Atmosphere*, 11(4), p.404. **<https://doi.org/10.3390/atmos11040404>**
38. Hao, B., Xue, Q., Bean, B.W., Rooney, W.L. and Becker, J.D., 2014. Biomass production, water and nitrogen use efficiency in photoperiod-sensitive sorghum in the Texas High Plains. *Biomass and Bioenergy*, 62, pp.108-116.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.01.008>
39. He, D., Wang, E., Wang, J. and Lilley, J.M., 2017. Genotype× environment× management interactions of canola across China: A simulation study. *Agricultural and Forest Meteorology*, 247, pp.424-433. **<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.08.027>**
40. Hoffmann, M.P., Jacobs, A. and Whitbread, A.M., 2015. Crop modelling based analysis of site-specific production limitations of winter oilseed rape in northern Germany. *Field Crops Research*, 178, pp.49-62. **<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.018>**
41. Hoogenboom, G., Jones, J.W., Wilkens, P.W., Porter, C.H., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Boote, K.J., Singh, U., Uryasev, O., Bowen, W.T., Gijsman, A.J., Du Toit, A., White, J.W. and Tsuji, G.Y., 2004. Decision support system for agrotechnology transfer version 4.0. *University of Hawaii, Honolulu, HI (CD-ROM)*.
42. Istanbuluoglu, A., Arslan, B., Gocmen, E., Gezer, E. and Pasa, C., 2010. Effects of deficit irrigation regimes on the yield and growth of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Biosystems engineering*, 105(3), pp.388-394. **<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.12.010>**
43. Kamkar, B., Daneshmand, A.R., Ghooshchi, F., Shiranirad, A.H. and Langeroudi, A.S., 2011. The effects of irrigation regimes and nitrogen rates on some agronomic traits of canola under a semiarid environment. *Agricultural Water Management*, 98(6), pp.1005-1012. **<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.01.009>**
44. Katuwal, K.B., Cho, Y., Singh, S., Angadi, S.V., Begna, S. and Stamm, M., 2020. Soil water extraction pattern and water use efficiency of spring canola under growth-stage-based irrigation management. *Agricultural Water Management*, 239, p.106232.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106232>

45. Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., Hargreaves, J.N., Meinke, H., Hochman, Z., McLean, G., Verburg, K., Snow, V., Dimes, J.P., Silburn, M., Wang, E., Brown, S., Bristow, K.L., Asseng, S., Chapman, S., McCown, R. L., Freebairn, D. M. and Smith, C. J. 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European journal of agronomy*, 18(3-4), pp.267-288. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00108-9](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00108-9)
46. Majnooni-Heris, A., Nazemi, A.H. and Sadraddini, A.A., 2014. Effects of deficit irrigation on the yield, yield components, water and irrigation water use efficiency of spring canola. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 5(2), pp.44-53.
47. Mohammadi-Ahmadmahmoudi, E., Deihimfard, R. and Noori, O., 2020. Yield gap analysis simulated for sugar beet-growing areas in water-limited environments. *European Journal of Agronomy*, 113, p.125988. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125988>
48. Morsi, N.A., Hashem, O.S., El-Hady, M.A.A., Abd-Elkrem, Y.M., El-Temsah, M.E., Galal, E.G., Gad, K.I., Boudiar, R., Silvar, C., El-Hendawy, S., Mansour, E. and Abdelkader, M.A., 2023. Assessing drought tolerance of newly developed tissue-cultured canola genotypes under varying irrigation regimes. *Agronomy*, 13(3), p.836. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030836>
49. Ortega-Farias, S., Villalobos-Soublett, E., Riveros-Burgos, C., Zúñiga, M. and Ahumada-Orellana, L.E., 2020. Effect of irrigation cut-off strategies on yield, water productivity and gas exchange in a drip-irrigated hazelnut (*Corylus avellana* L. cv. Tonda di Giffoni) orchard under semiarid conditions. *Agricultural Water Management*, 238, p.106173. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106173>
50. Prescott, J.A., 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 46, pp.114-118.
51. Quiloango-Chimarro, C.A., Coelho, R.D., Heinemann, A.B., Arrieta, R.G., da Silva Gundim, A. and França, A.C.F., 2022. Physiology, yield, and water use efficiency of drip-irrigated upland rice cultivars subjected to water stress at and after flowering. *Experimental Agriculture*, 58, p.e19. <https://doi.org/10.1017/S0014479722000205>
52. Rahimi-Moghaddam, S., Deihimfard, R., Nazari, M.R., Mohammadi-Ahmadmahmoudi, E. and Chenu, K., 2023. Understanding wheat growth and the seasonal climatic characteristics of major drought patterns occurring in cold dryland environments from Iran. *European Journal of Agronomy*, 145, p.126772. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126772>
53. Rahimi-Moghaddam, S., Eyni-Nargesesh, H., Ahmadi, S.A.K. and Azizi, K., 2021. Towards withholding irrigation regimes and drought-resistant genotypes as strategies to increase canola production in drought-prone environments: A modeling approach. *Agricultural Water Management*, 243, p.106487. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106487>
54. Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J. and Deihimfard, R., 2019. Optimal genotype× environment× management as a strategy to increase grain maize productivity and water use efficiency in water-limited environments and rising temperature. *Ecological indicators*, 107, p.105570. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105570>
55. Robertson, M.J. and Lilley, J.M., 2016. Simulation of growth, development and yield of canola (*Brassica napus*) in APSIM. *Crop and Pasture Science*, 67(4), pp.332-344. <https://doi.org/10.1071/CP15267>
56. Robertson, M.J., Holland, J.F., Kirkegaard, J.A. and Smith, C.J., 1999, September. Simulating growth and development of canola in Australia. In *Proceedings 10th International Rapeseed Congress*, pp. 26-29. Saxton, K.E., Willey, P.H. and Rawls, W.J., 2006. Field and pond hydrologic analyses with the SPAW model. In *2006 ASAE Annual Meeting* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
57. Seifert, E., 2014. OriginPro 9.1: scientific data analysis and graphing software-software review. *Journal of chemical information and modeling*, 54(5), p.1552. <https://doi.org/10.1021/ci500161d>
58. Shaykewich, C.F. and Bullock, P.R., 2020. Modeling Canola Phenology. *Agroclimatology: Linking Agriculture to Climate*, 60, pp.303-325.

- <https://doi.org/10.2134/agronmonogr60.2018.0003>**
59. Van Dam, J.C., Groenendijk, P., Hendriks, R.F. and Kroes, J.G., 2008. Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. *Vadose Zone Journal*, 7(2), pp.640-653. **<https://doi.org/10.2136/vzj2007.0060>**
 60. Wallach, D., Makowski, D., Jones, J.W. and Brun, F., 2018. *Working with dynamic crop models: methods, tools and examples for agriculture and environment*. Academic Press.
 61. Wang, S., Wang, E., Wang, F. and Tang, L., 2012. Phenological development and grain yield of canola as affected by sowing date and climate variation in the Yangtze River Basin of China. *Crop and Pasture Science*, 63(5), pp.478-488. **<https://doi.org/10.1071/CP11332>**
 62. Willmott, C.J., 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63(11), pp.1309-1313. **[https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1982\)063%3C1309:SCOTEO%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1982)063%3C1309:SCOTEO%3E2.0.CO;2)**
 63. Wu, B., Lin, X., Ali, M.F. and Wang, D., 2023. Development of an irrigation regime for winter wheat to save water resources by avoiding irrigation at anthesis stage. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 209(1), pp.188-203. **<https://doi.org/10.1111/jac.12615>**
 64. Wu, S., Ning, F., Zhang, Q., Wu, X. and Wang, W., 2017. Enhancing omics research of crop responses to drought under field conditions. *Frontiers in plant science*, 8, p.174. **<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00174>**
 65. Zeleke, K.T., Luckett, D.J. and Cowley, R.B., 2014. The influence of soil water conditions on canola yields and production in Southern Australia. *Agricultural Water Management*, 144, pp.20-32. **<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.05.016>**

بررسی ویژگی‌های رشد برخی از ژنوتیپ‌های انار پیوند شده روی پایه‌های انتخابی در

شرایط شور

علی مومن‌پور^{*}، امیر پرنیان، حسین بیرامی و محمد هادی راد

استادیار مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. a.momenpour@areeo.ac.ir

استادیار مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. amir.parnian86@gmail.com

دانشیار مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. h.beyrami@areeo.ac.ir

دانشیار بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد،

ایران. mohammadhadirad@gmail.com

دریافت: مرداد ۱۴۰۳ و پذیرش: آذر ۱۴۰۳

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی ویژگی‌های رشد برخی از ژنوتیپ‌های انار روی پایه‌های انتخابی در شرایط شور، به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در طی سال‌های ۱۳۹۷ الی ۱۴۰۲ در ایستگاه چاه افضل مرکز ملی تحقیقات شوری انجام شد. عوامل این آزمایش شامل پایه (۱-ژنوتیپ چاه افضل، ۲- وحشی بابلسر، ۳- نرک لاسجرد سمنان و ۴- پوست سیاه اردکان) و پیوندک (۱- ملس یزدی، ۲- رباب نیریز و ۳- ژنوتیپ چاه افضل) بود. پیوندک‌ها از ژنوتیپ‌های انتخاب شده به صورت شکمی (T)، در اوایل خرداد ماه ۱۴۰۱ بر روی پایه‌های چهار ساله، پیوند شد و ویژگی‌های رشدی آن‌ها در طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ در شوری ثابت آب آبیاری ($9/3 \pm 0/2$ دسی‌زیمنس بر متر) ارزیابی شد. ویژگی‌های اندازه‌گیری شده شامل درصد گیرایی، ارتفاع و قطر پیوندک‌ها، درصد نکروزه‌گی، تعداد پاجوش، تعداد تنه‌جوش، محتوی رطوبت نسبی، محتوی کلروفیل‌های a، b و کل، محتوی نشست یونی، درصد سدیم، پتاسیم و کلر برگ‌ها بودند. نتایج نشان داد که نوع پایه بر درصد گیرایی پیوندک‌ها و میزان تحمل به شوری ژنوتیپ‌های پیوندی موثر بود. بیشترین و کمترین درصد گیرایی به ترتیب از رقم ملس یزدی پیوند شده روی پایه چاه افضل (۹۶٪) و ژنوتیپ چاه افضل پیوند شده بر روی پایه پوست سیاه اردکان (۲۰٪)، به دست آمد. بیشترین میزان ارتفاع و قطر پیوندک در رقم ملس یزدی پیوند شده روی پایه وحشی بابلسر (به ترتیب ۱۳۱ سانتیمتر و ۱۶ میلیمتر) مشاهده شد. بیشترین محتوی رطوبت نسبی در برگ‌های ترکیب پیوندی رباب نیریز / چاه افضل (۸۰٪) دیده شد. این ترکیب پیوندی، کمترین محتوی نشست یونی (۶۰٪) را نیز داشت. بیشترین محتوی پتاسیم در برگ‌های ژنوتیپ چاه افضل پیوند شده روی پایه وحشی بابلسر (۱/۴٪) و رقم رباب نیریز پیوند شده روی پایه وحشی بابلسر (۱/۳٪)، بود. همچنین کمترین محتوی سدیم، در هر سه ژنوتیپ پیوندی روی پایه وحشی بابلسر مشاهده گردید. در مجموع، ژنوتیپ‌های پیوند شده روی پایه‌های وحشی بابلسر و چاه افضل تحمل بیشتری به شوری از خود نشان دادند. پس از این پایه‌ها، نرک لاسجرد سمنان قرار گرفت. ژنوتیپ‌های پیوند شده روی پایه پوست سیاه اردکان فاقد تحمل کافی در شرایط شور بودند. در مجموع، ترکیب‌های پیوندی رباب نیریز / وحشی بابلسر و ملس یزدی / وحشی بابلسر برتر تشخیص داده شد. پس از آن‌ها می‌توان به ترکیب‌های پیوندی چاه افضل / وحشی بابلسر، ملس یزدی / چاه افضل و رباب نیریز / چاه افضل اشاره نمود.

واژه‌های کلیدی: آب شور، ژنوتیپ وحشی بابلسر، ژنوتیپ چاه افضل، ملس یزدی، رباب نیریز

^{*} - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: a.momenpour@areeo.ac.ir



مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شوری خاک و کمبود آب به‌عنوان عامل اصلی کاهش رشد و عملکرد گیاهان زراعی و باغی به شمار می‌رود، لذا استفاده از آب‌های شور به‌منظور تولید گیاهان، غیرقابل اجتناب است (میرجلیلی، ۲۰۱۶). در سال‌های اخیر خشک‌سالی‌های پی‌درپی، کاهش کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی، تنش‌های اقلیمی مانند سرمازدگی و آفتاب‌سوختگی، شوری آب‌و‌خاک، آسیب و زیان شماری از آفات و بیماری‌ها مانند کرم گلوگاه، کنه قرمز پاکوتاه، ترکیدگی و ناهنجاری فیزیولوژیکی از جمله قهوه‌ای شدن آریل، به‌صورت یک مجموعه مرتبط، انارستان‌های کشور را تهدید می‌کنند. با توجه به مطالب یادشده، لازم است استراتژی‌های مؤثری برای رویارویی با این چالش‌ها و بازدارنده‌ها در نظر گرفته شود. یکی از مؤثرترین راهکارها برای بهره‌برداری بهتر از منابع خاک و آب شور، شناسایی و انتخاب پایه‌ها، ارقام و ژنوتیپ‌های متحمل به شوری و استفاده از آن‌ها در مناطق شور است (مؤمن‌پور و ایمانی، ۲۰۱۸، مؤمن‌پور و همکاران، ۲۰۱۸، مؤمن‌پور و همکاران، ۲۰۲۲، کریمی و حسن‌پور، ۲۰۱۴، اسکیزبرا و همکاران، ۲۰۰۸، مانس و تستر، ۲۰۰۸؛ حیدری شریف‌آباد، ۱۳۸۰). گزارش‌های چندی گویای آن است که نوع پایه در مقاومت پیوندک به تنش‌های محیطی، پاتوژن‌ها و همچنین بهره‌برداری از خاک‌های فقیر نقش بسزایی دارد (ریورو و همکاران، ۲۰۰۳). با توجه به اینکه کشور ایران مرکز تنوع انار در جهان به شمار آمده و هم‌اکنون نزدیک به ۷۶۰ ژنوتیپ انار در کلکسیون ذخایر ژنتیکی انار (واقع در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد) وجود دارند (وظیفه‌شناس، ۲۰۰۹). با گزینش از بین آن‌ها می‌توان به پایه‌های متحمل به تنش‌های محیطی از جملی شوری دست‌یافت (وظیفه‌شناس، ۲۰۰۹). پژوهش‌های اولیه نشان داده آستانه تحمل به شوری آب آبیاری و خاک برای درختان انار به ترتیب ۱/۸ و ۲/۷ دسی زیمنس بر متر است به‌طوری‌که در شوری ۴/۵ دسی زیمنس بر متر آب آبیاری و ۴/۸ دسی زیمنس بر متر محلول خاک

به میزان ۵۰ درصد از عملکرد آن کاسته می‌شود (ماس و هافمن، ۱۹۷۷، فیپس ۲۰۰۳). اما در پژوهشی که توسط مؤمن‌پور و همکاران (۱۳۹۹) به‌منظور دستیابی به پایه‌های متحمل به شوری انجام گردید، ۱۲ ژنوتیپ انار انتخابی از کلکسیون انار (با توجه به شوری خاک محل جمع‌آوری آن‌ها) شامل شیشه‌کپ فردوس، ملس یزدی، ملس ساوه، رباب نیریز، گلنار زیتنی ساوه، گلنار زیتنی سروستان، گلنار زیتنی شهداد، نرک لاسجرد سمنان، وحشی بابلسر، پوست سیاه اردکان، چاه افضل و وشیک ترش سراوان) تحت شوری‌های مختلف مورد ارزیابی و آستانه تحمل به شوری و شیب کاهش عملکرد در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر حسب بیوماس افزایش‌یافته گیاهان در طی دوره اعمال تنش شوری، محاسبه شد. نتایج نشان داد، کمترین میزان آستانه تحمل به شوری در ژنوتیپ وشیک ترش سراوان (۳/۰۲ دسی‌زیمنس بر متر) و پس از آن در رقم ملس ساوه (۳/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر)، مشاهده شد. در نقطه مقابل، بیشترین آستانه تحمل به شوری در ژنوتیپ‌های گلنار زیتنی شهداد، چاه افضل، پوست سیاه اردکان و رقم ملس یزدی، به‌ترتیب به میزان (۴/۹۰، ۴/۷۰، ۴/۳۸ و ۴/۱۷ دسی‌زیمنس بر متر)، مشاهده شد. بیشترین مقدار شیب کاهش عملکرد به ازای افزایش هر واحد شوری (بر حسب دسی‌زیمنس بر متر)، در ژنوتیپ گلنار زیتنی ساوه (۷/۸۹ درصد) و پس از آن در ژنوتیپ‌های گلنار زیتنی سروستان (۷/۳۹ درصد)، وشیک ترش سراوان (۶/۶۹ درصد) و رقم ملس ساوه (۶/۳۳ درصد)، مشاهده شد. در نقطه مقابل، کمترین مقدار شیب کاهش عملکرد در ژنوتیپ‌های چاه افضل، پوست سیاه اردکان و نرک لاسجرد سمنان به‌ترتیب به میزان (۲/۸۳، ۲/۸۸ و ۲/۸۹ درصد)، مشاهده شد. در پژوهشی که به‌منظور تعیین تحمل ۱۰ رقم مختلف انار نسبت به شوری منابع آب‌و‌خاک در استان یزد، با سه تیمار شوری آب آبیاری ۴، ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر صورت گرفته است، رقم وشیک سراوان به‌عنوان متحمل‌ترین رقم به شوری، معرفی شده است و رقم‌های ملس یزدی و تب و لرز نیز بعد از این رقم

تحمل نسبتاً خوبی از خود نشان دادند (اخوتیان اردکانی و همکاران، ۲۰۱۰).

تعداد مطالعات بسیار محدودی بر روی ترکیب-های پیوندی متحمل به شوری انار انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به پژوهش انجام‌شده توسط کریمی و حسن‌پور (۲۰۱۴) اشاره کرد. در این مطالعه، اثرات شوری با غلظت‌های ۰ و ۷۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و نوع پایه بر غلظت عناصر غذایی انار در سه ترکیب پیوندی (گبری غیر پیوندی به‌عنوان شاهد، گبری/تب ولرز و گبری/ملس یزدی) بررسی و گزارش کردند که غلظت مواد معدنی سدیم، کلر، کلسیم و پتاسیم در اندام هوایی و ریشه با افزایش غلظت نمک، افزایش یافت. ترکیب پیوندی گبری روی پایه تب و لرز کمترین میزان سدیم و کلر و بیشترین محتوی پتاسیم در برگ‌ها و شاخساره را داشت. این نتایج نشان داد که پایه تب و لرز جذب و انتقال سدیم و کلر را از ریشه به اندام هوایی محدود می‌کند. در مطالعات انجام شده روی سایر درختان میوه نیز اثر پایه‌ها در افزایش تحمل به شوری ثابت شده است (مؤمن‌پور و همکاران، ۲۰۲۲، بولات و همکاران، ۲۰۰۶، شانی و بن‌گال، ۲۰۰۵). برخی از پایه‌های انگور به دلیل قابلیت جلوگیری از جذب و انتقال سدیم یا کلر به اندام‌های هوایی گیاه به‌عنوان پایه‌های متحمل به شوری قلمداد می‌شوند (فیساکاریس و همکاران، ۲۰۰۴). پایه‌های گیلاس نیز می‌توانند تحمل پیوندک نسبت به شوری را افزایش دهند (شانی و بن‌گال، ۲۰۰۵). پایه پیکسی به‌عنوان پایه متحمل به شوری و پایه‌های ماریانا جی هشت و میروبالان به عنان پایه‌های حساس به شوری در آلوها مطرح هستند (بولات و همکاران، ۲۰۰۶). اثر تنش شوری بر ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک در برخی از ژنوتیپ‌های انتخابی بادام پیوند شده روی پایه GF677 بررسی و گزارش شد که با اعمال تنش شوری و افزایش غلظت آن، شاخص‌های رشدی شامل ارتفاع شاخه، قطر شاخه، تعداد برگ کل، تعداد برگ‌های سبز، تراکم برگ روی شاخه اصلی، سطح برگ و نسبت سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و

خشک ریشه، در تمامی ژنوتیپ‌های مطالعه شده، کاهش یافتند. همچنین آن‌ها گزارش کردند، با افزایش سطوح شوری تا ۹/۸ دسی‌زیمنس بر متر، نشانه‌های سوختگی در حاشیه برگ‌های ژنوتیپ‌های مطالعه شده به تدریج ظاهر و با حالت پیش‌رونده در ارتفاع زمان، باعث پژمردگی و در نهایت ریزش کامل برگ‌ها می‌شود که این روند در میان ژنوتیپ‌ها متفاوت بود به‌طوری‌که رقم شاه‌رود ۱۲ کم‌ترین علائم را نشان داد (مؤمن‌پور و همکاران، ۱۳۹۴a). با توجه به اهمیت معرفی و توسعه کشت و کار پایه‌ها و ارقام متحمل به شوری و خشکی، لذا این مطالعه در ادامه پژوهش‌های قبلی (مؤمن‌پور و همکاران، ۱۳۹۹ و مؤمن‌پور و همکاران، ۲۰۲۲) و با هدف ارزیابی درصد گیرایی پیوندک‌ها و ویژگی‌های رشدی آن‌ها روی پایه‌های مختلف و دستیابی به بهترین ترکیب پیوندی در شرایط شور، انجام شد.

مواد و روش‌ها

تهیه مواد گیاهی و شرایط آزمایش

به‌منظور بررسی ویژگی‌های رشدی برخی از ژنوتیپ‌های انار روی پایه‌های انتخابی در شرایط شور، این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در طی سال‌های ۱۳۹۷ الی ۱۴۰۲ در ایستگاه چاه افضل مرکز ملی تحقیقات شوری انجام شد. فاکتورهای این آزمایش شامل پایه در چهار سطح (۱-ژنوتیپ چاه افضل، ۲- وحشی بابلسر، ۳- نرک لاسجرد سمنان و ۴- پوست سیاه یزد) و پیوندک در سه سطح (۱- ملس یزدی، ۲- رباب نیریز و ۳- ژنوتیپ چاه افضل) بود. این آزمایش، در مجموع روی ۶۰ درخت چهار ساله (پنج تکرار برای هر ترکیب پیوندی) و با ۲۴۰ مشاهده (چهار شاخه در چهار جهت اصلی روی هر درخت) در شوری ثابت آب آبیاری $9/3 \pm 0/2$ دسی‌زیمنس بر متر، انجام شد. قابل ذکر است که پایه‌ها و پیوندک‌های مطالعه شده در این پژوهش، بر اساس نتایج مطالعات قبلی (مؤمن‌پور و همکاران، ۱۳۹۹ و مؤمن‌پور و همکاران، ۲۰۲۲) و بر اساس تحمل بیشتر به

اعمال تیمار تنش شوری

در تمامی مدت این آزمایش، تمامی درختان با آب چاه با شوری $9/3 \pm 0/2$ دسی زیمنس بر متر و به صورت غرقابی آبیاری شدند (جدول یک). به منظور جلوگیری از تجمع نمک در طول فصل زراعی، کسر آبتیوی ۳۰ درصد (مؤمن‌پور و همکاران، ۱۳۹۹) و دور آبیاری ثابت ۱۲ روز (مؤمن‌پور و همکاران، ۱۳۹۹) در نظر گرفته شد. در هر دور آبیاری، هر کرت به مدت $23 \pm 2/5$ دقیقه با دبی ۱۷ لیتر بر ثانیه (بین ۲۶ مترمکعب در اوج مصرف در ماه‌های گرم سال تا $22/5$ مترمکعب در ماه‌های خنک‌تر سال)، آبیاری می‌شد. به منظور کنترل شوری در طول دوره آزمایش نمونه‌های خاک از عمق توسعه شامل ($0-30$ ، $60-90$ و $90-60$) تهیه و هدایت الکتریکی آن‌ها اندازه‌گیری می‌شد (جدول ۲ و ۳). در تمامی مدت آزمایش سعی می‌شد با تنظیم و کنترل حجم آبیاری در هر دور آبیاری، علاوه بر اعمال کسر آبتیوی، همواره Ec خاک در محدوده Ec آب آبیاری باشد و از تجمع نمک در خاک ناحیه ریشه جلوگیری گردد. بدین منظور از دستگاه تعیین گر جبهه رطوبتی (WFD) استفاده شد. از دستگاه WFD برای برآورد میزان نفوذ عمقی و درصد وقوع کسر آبتیوی در مزرعه استفاده می‌شود. نحوه نصب این دستگاه به گونه‌ای است که در یک تراز معین در عمق خاک نصب می‌شود که قسمت ورودی قیف آن کاملاً افقی باشد، در این حالت حجم آب مازاد زهکش شده از ناحیه فوقانی قیف مذکور در مخزن تحتانی دستگاه ذخیره می‌شود (رحیمیان و همکاران، ۱۴۰۰).

شوری انتخاب شدند. به منظور انجام این آزمایش، ابتدا از گیاهان مادری واقع در کلکسیون ذخایر ژنتیکی انار در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، قلمه‌های خشبی به طول 27 ± 3 سانتی‌متر و قطر 10 ± 1 میلی‌متر در دهه سوم بهمن‌ماه ۱۳۹۶ تهیه شد (اخوتیان و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین به منظور تکثیر ژنوتیپ چاه افضل، قلمه‌گیری از یکی از درختان شناسایی‌شده در این منطقه که تحت شرایط آب‌و‌خاک شور رشد کرده بود و دارای وضعیت مطلوبی از نظر رشد رویشی و کمیت و کیفیت میوه بود، هم‌زمان با سایر ژنوتیپ‌های مطالعه شده انجام شد. سپس قلمه‌ها به مدت پنج ثانیه در محلول اسید ایندول بوتریک با غلظت ۲۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر قرار گرفتند (اخوتیان و همکاران، ۲۰۱۰) و در کیسه‌های پلاستیکی حاوی ماسه کاشته شد؛ و پس از یک سال، نهال‌های ریشه‌دار شده یکنواخت و یک اندازه از نظر ارتفاع و قطر انتخاب و در اوایل بهمن‌ماه ۱۳۹۷ به مزرعه انتقال داده شدند و با فاصله کاشت 3×2 (۲ متر روی ردیف و سه متر بین ردیف‌ها) در کرت‌هایی به طول ۳۷ متر و عرض پنج متر به صورت تصادفی کاشته شدند (اخوتیان و همکاران، ۲۰۱۰). از هر ژنوتیپ ۳۶ نهال در مزرعه کاشته شد که از بین آن‌ها ۱۵ درخت چهارساله برای هر ژنوتیپ (پایه) که دارای وضعیت رشدی مناسب‌تری بودند، برای پیوند ژنوتیپ‌های مورد نظر بر روی آن‌ها انتخاب شدند. پس‌از آن، پیوندک از ارقام رباب نیریز، ملس یزدی و ژنوتیپ چاه افضل از درختان مادری موجود در کلکسیون ذخایر ژنتیکی انار (واقع در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد) تهیه و به صورت شکمی (T) در اوایل خردادماه ۱۴۰۱ بر روی پایه‌های انتخاب‌شده نهایی، پیوند شدند.

جدول ۱- ویژگی‌های کیفی آب چاه مورد استفاده

شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	کلسیم (میلی‌اکی والان بر لیتر)	منیزیم (میلی‌اکی والان بر لیتر)	سدیم (میلی‌اکی والان بر لیتر)	کربنات (میلی‌اکی والان بر لیتر)	بی‌کربنات (میلی‌اکی والان بر لیتر)	کلر (میلی‌اکی والان بر لیتر)	سولفات (میلی‌اکی والان بر لیتر)
9.45	7.95	17.94	17.70	66.90	0	4.60	66.36	40.27

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه قبل از شروع آزمایش

ویژگی	نماد	مقدار	ویژگی	نماد	مقدار
شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	EC	10.90	بی‌کربنات (میلی‌اکی والان بر لیتر)	HCO_3^-	3.64
واکنش خاک	pH	7.41	سولفات (میلی‌اکی والان بر لیتر)	SO_4^{2-}	40.19
سدیم (میلی‌اکی والان بر لیتر)	Na^+	68.98	شن (درصد)	Sand	54.50
منیزیم (میلی‌اکی والان بر لیتر)	Mg^{2+}	17.18	سیلت (درصد)	Silt	45.0
کلسیم (میلی‌اکی والان بر لیتر)	Ca^{2+}	23.24	رس (درصد)	Clay	0.50
کلر (میلی‌اکی والان بر لیتر)	Cl^-	59.39	بافت	Texture	سیلتی لوم
کربنات (میلی‌اکی والان بر لیتر)	CO_3^{2-}	0			

جدول ۳- میانگین EC و pH خاک محل مورد آزمایش در طول دوره آزمایش

عمق	شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	واکنش خاک pH
0-30	9.20± 0.50	7.45± 0.04
30-60	9.45± 0.45	7.38± 0.04
60-90	9.90± 0.61	7.18± 0.04

اندازه‌گیری صفات

به‌منظور اندازه‌گیری درصد گیرایی اولیه و نهایی پیوندک‌ها، تعداد پیوندک‌های سبز شده به ترتیب دو هفته و سه ماه پس از عمل پیوند، تعیین شدند (کریمی و فراهم، ۲۰۱۱).

به‌منظور اندازه‌گیری ارتفاع پیوندک‌ها، در پایان فصل رشد و در اوایل آبان ماه (سال ۱۴۰۱) ارتفاع تمامی آن‌ها با خط کش ثبت گردید. همچنین ارتفاع پیوندک‌ها در پایان فصل رشد سال ۱۴۰۲ نیز اندازه‌گیری شد و میزان افزایش ارتفاع پیوندک‌ها در سال ۱۴۰۲ از طریق تعیین اختلاف ارتفاع سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۱ محاسبه گردید (کریمی و فراهم، ۲۰۱۱).

به‌منظور اندازه‌گیری قطر پیوندک‌ها، میزان قطر پیوندک‌ها در پایان فصل رشد سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ (در اوایل آبان ماه)، در بالای محل پیوند با کولیس در تمامی آن‌ها اندازه‌گیری شدند و از روی اختلاف آن‌ها، میزان افزایش قطر پیوندک‌ها در طی فصل رشد ۱۴۰۲ محاسبه شد. به‌منظور اندازه‌گیری تعداد پاجوش‌ها و تنه جوش‌ها، تعداد آن‌ها در طی فصل و در هر بازدید یادداشت و سپس حذف می‌شدند (کریمی و فراهم، ۲۰۱۱).

به‌منظور اندازه‌گیری درصد برگ‌های نکرزده، در طول آزمایش تعداد برگ‌های نکرزده شمارش و بر تعداد

کل برگ‌ها تقسیم شدند (مؤمن‌پور و همکاران، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴b).

به‌منظور اندازه‌گیری میزان کلروفیل‌های a، b و کل، ۰/۲ گرم از بافت تازه برگ‌های شاخه اصلی توزین و در هاون چینی توسط استون ۸۰ درصد عصاره‌گیری شد. از محلول فوقانی حاصل پس از عمل سانتریفیوژ برای اندازه‌گیری کلروفیل استفاده شد و میزان جذب نور برای کلروفیل a و b به ترتیب در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل DR2000)، مطابق فرمول‌های زیر اندازه‌گیری شدند (آرنون، ۱۹۴۹).

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 * A_{663} - 0.86 * A_{645}) / 100W$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 * A_{645} - 3.6 * A_{663}) / 100W$$

به‌منظور اندازه‌گیری محتوی آب نسبی برگ (RWC)، چهار برگ کامل و تازه از وسط شاخه اصلی در پایان فصل و قبل از خزان برگ‌ها انتخاب شدند. پس از اندازه‌گیری وزن تر (FW)، به مدت ۲۴ ساعت در دمای چهار درجه سانتی‌گراد در داخل آب مقطر در شرایط تاریکی قرار داده شدند تا آماس نمایند. بعد از خارج کردن برگ‌ها از آب مقطر و حذف رطوبت اضافی، وزن آماس آن‌ها اندازه‌گیری شد (TW). سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا وزن خشک (DW) آن‌ها اندازه‌گیری شوند. در نهایت میزان

نتایج و بحث

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، اثر متقابل پایه و پیوندک بر درصد گیرایی اولیه و نهایی و نکرزگی برگ‌ها در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بیشترین درصد گیرایی اولیه و نهایی در رقم ملس یزدی پیوند شده بر روی پایه چاه افضل با به ترتیب ۹۶/۷۷ و ۹۶/۷۷ درصد مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که خشک‌شدگی در پیوندک-های اولیه این رقم بر روی پایه چاه افضل رخ نداده است. در نقطه مقابل کمترین درصد گیرایی اولیه و نهایی در ژنوتیپ چاه افضل پیوند شده بر روی پایه پوست سیاه اردکان با به ترتیب ۴۰/۷۷ و ۲۰/۷۷ درصد به دست آمد. این نتایج حاکی از آن است که علاوه بر گیرایی پایین ژنوتیپ چاه افضل بر روی پایه پوست سیاه اردکان، در حدود نیمی از پیوندک‌ها نیز در طول فصل، خشک شده‌اند و درصد گیرایی نهایی کاهش یافته است. درصد گیرایی اولیه رقم رباب نیریز روی همین پایه ۵۵/۱۴ درصد بود. یکی از دلایل درصد گیرایی پایین پیوندک‌ها بر روی پایه پوست سیاه اردکان، به دلیل تحمل پایین‌تر این پایه در شرایط شور نسبت به سایر پایه‌های مطالعه شده بود. هر چند در تحقیق قبلی انجام‌شده توسط مؤمن‌پور و همکاران (۱۳۹۹)، پایه پوست سیاه اردکان و گلنار شهداد جزء پایه-های متحمل به شوری انتخاب‌شده در شرایط آزمایش‌های گلدانی بودند، اما پس از کشت آن‌ها در شرایط مزرعه، پایه گلنار شهداد کاملاً خشک گردید و پایه پوست سیاه اردکان نیز استقرار کمتری نسبت به پایه‌های دیگر داشت. لذا پایه گلنار شهداد، از ادامه تحقیقات بعدی (تحقیق حاضر) حذف گردید و پایه پوست سیاه اردکان نیز پس از انجام پیوند ژنوتیپ‌های مختلف بر روی آن، نسبت به سایر پایه‌های انتخاب‌شده ضعیف‌تر بود بطوریکه پیوندک‌های چاه افضل و رباب نیریز روی این پایه در سال دوم پس از عمل پیوند کاملاً خشک شدند و درصد گیرایی پیوندک‌های ملس یزدی روی این پایه نیز به‌شدت کاهش یافت و در فاز بعدی تحقیق (بررسی عملکرد و کیفیت میوه)، حذف شدند.

نسبی آب برگ از طریق رابطه ۱ محاسبه شد (یاماساکی و دلینبرگ، ۱۹۹۹).

$$RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100 \quad (1)$$

به‌منظور اندازه‌گیری نشت یونی نسبی، ۰/۵ گرم برگ از هر رقم جداگانه وزن و در داخل ویال‌های شیشه‌ای ریخته شدند و ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن‌ها اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت درون شیکر با دمای ۲۴ درجه سانتی-گراد و با سرعت ۱۲۰ دور بر دقیقه قرار داده شدند و پس از ۲۴ ساعت میزان هدایت الکتریکی اولیه (LT)، آن‌ها به‌وسیله دستگاه EC متر دیجیتالی (مدل Metrohm 644) اندازه‌گیری شدند. سپس نمونه‌ها به مدت یک ساعت در حمام بن ماری در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و مجدداً به مدت دو ساعت شیکر شدند و میزان هدایت الکتریکی نهایی (LO) آن‌ها اندازه‌گیری شد و در نهایت درصد نشت یونی طبق فرمول $(LO/LT) \times 100$ محاسبه شد (لوتس و همکاران، ۱۹۹۵).

به‌منظور اندازه‌گیری عناصر غذایی، برگ‌های بالغ از قسمت وسط شاخه درختان در اواسط شهریورماه جدا شدند و پس از شستشوی دقیق، به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از خشک شدن برگ‌ها، نمونه‌ها با آسیاب برقی پودر شدند. پس از تهیه خاکستر از مواد گیاهی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، عصاره‌گیری با استفاده از ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال و آب مقطر و رساندن به حجم ۵۰ میلی‌لیتر انجام شد. در نهایت غلظت سدیم و پتاسیم در عصاره با دستگاه فلیم‌فتومتر (Jenway, PFP7, England) اندازه‌گیری شدند (امامی، ۱۹۹۶).

تجزیه آماری

تجزیه و تحلیل داده‌های آماری، با استفاده از نرم-افزار SAS (نسخه ۹/۱)، انجام و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن و نرم‌افزار MSTATC (ورژن ۲/۱۰)، صورت گرفت.

برگ‌ها را با افزایش شوری آب‌وخاک گزارش کرده‌اند. اثر تنش شوری بر ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک در برخی از ژنوتیپ‌های انتخابی بادام پیوند شده روی پایه GF677 بررسی و گزارش شد، با افزایش سطوح شوری تا ۹/۸ دسی‌زیمنس بر متر، نشانه‌های سوختگی در حاشیه برگ‌های ژنوتیپ‌های مطالعه شده به تدریج ظاهر و با حالت پیش‌رونده در طول زمان، باعث پژمردگی و در نهایت ریزش کامل برگ‌ها می‌شود که این روند در میان ژنوتیپ‌ها متفاوت بود. به‌طوری‌که رقم شاه‌رود ۱۲ کم‌ترین علائم را نشان داد (مؤمن‌پور و همکاران، ۱۳۹۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل پایه و پیوندک بر درصد گیرایی پیوندک‌ها و نکرزگی برگ گیاهان انار مورد بررسی در شرایط شور

ژنوتیپ (پایه)		ژنوتیپ (پیوندک)		گیرایی پیوندک‌ها (درصد)		نکرزگی برگ‌ها (درصد)	
				اولیه		نهایی	
نرک لاسجر سمنان	ملس یزدی	67.85 de	64.58 e	7 cd	4 bc	1401	1402
نرک لاسجر سمنان	چاه افضل	62.50 e	58.33 f	4 d	3 c		
نرک لاسجر سمنان	رباب نیریز	89.74 b	89.74 b	15 b	7 b		
پوست سیاه اردکان	ملس یزدی	88.23 bc	81.23 c	15 b	10 a		
پوست سیاه اردکان	چاه افضل	40.77 g	20.77 h	35 a	-		
پوست سیاه اردکان	رباب نیریز	55.14 f	40.14 g	35 a	-		
چاه افضل	ملس یزدی	96.77 a	96.77 a	7 cd	3 c		
چاه افضل	چاه افضل	87.09 b	87.09 bc	10 c	3 c		
چاه افضل	رباب نیریز	71.42 d	71.42 d	15 b	6 bc		
وحشی بابلسر	ملس یزدی	83.33 c	83.33 c	6 cd	3 c		
وحشی بابلسر	چاه افضل	57.89 ef	57.89 f	10 c	3 c		
وحشی بابلسر	رباب نیریز	58.82 ef	58.82 f	12 bc	5 bc		
Pr > F		-		<0.0001		<0.0001	

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند

شد. همان‌طور که در بالا اشاره گردید پیوندک‌های این دو رقم بر روی پایه پوست سیاه اردکان در سال ۱۴۰۲ کاملاً خشک شدند (جدول ۳). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در سال ۱۴۰۲، ارتفاع پیوندک در رقم ملس یزدی پیوند شده روی پایه وحشی بابلسر (۱۳۱/۱۷ سانتیمتر)، رقم ملس یزدی روی پایه وحشی بابلسر، ملس یزدی روی پایه چاه افضل (۱۲۳/۱۲ سانتیمتر)، رباب نیریز روی پایه وحشی بابلسر (۱۰۹/۲۵ سانتیمتر) و ژنوتیپ چاه افضل روی پایه چاه افضل (۱۰۵/۲۵ سانتیمتر)، از سایر ترکیب‌های پیوندی مطالعه شده بیشتر بود. ارتفاع پیوند در ترکیب‌های پیوندی نامبرده شده با یکدیگر فاقد اختلاف معنی‌دار بودند. از آن

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، درصد نکرزگی برگ‌ها در ژنوتیپ‌های پیوند شده بر روی پایه‌های بررسی شده با یکدیگر دارای اختلاف معنی‌داری بودند. بیشترین درصد نکرزگی برگ‌ها در سال ۱۴۰۱ در ژنوتیپ‌های چاه افضل و رباب نیریز پیوند شده روی پایه پوست سیاه اردکان (هر دو ۳۵ درصد) مشاهده شد. پیوندک‌های هر دو ترکیب پایه و پیوندک در طی سال ۱۴۰۲ خشک شدند. این نتایج حاکی از تحمل کمتر پایه پوست سیاه اردکان نسبت به شوری در مقایسه با سایر پایه‌های مطالعه شده بود. پژوهش‌گران دیگر نیز افزایش نکرزگی

همان‌طور که از جدول ۵ مشاهده می‌شود، اثر متقابل نوع پایه و پیوندک بر ارتفاع و قطر پیوندک‌ها در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ در سطح یک درصد معنی‌دار بود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین میزان ارتفاع پیوندک در سال ۱۴۰۱ در رقم رباب نیریز پیوند شده بر روی پایه وحشی بابلسر مشاهده شد. پیوندک‌های رقم رباب نیریز بر روی این پایه به میزان ۸۱/۱۶ سانتیمتر رشد کردند. در نقطه مقابل کمترین میزان ارتفاع پیوندک، در ژنوتیپ‌های چاه افضل (۱۵/۵۰ سانتیمتر) و رباب نیریز (۲۱/۷۵ سانتیمتر) پیوند شده روی پایه پوست سیاه اردکان و رباب نیریز پیوند شده بر روی نرک لاسجر سمنان (۲۸/۳۵ سانتیمتر) مشاهده

جا که پدیده رشد حاصل فعالیت‌های حیاتی در شرایطی است که گیاه بایستی آب کافی در اختیار داشته باشد، در صورت عدم تأمین آب مورد نیاز به دلیل کاهش فشار تورژسانس در سلول‌های در حال رشد و اثر بر طول سلول‌ها، طول گیاه کمتر افزایش می‌یابد (مانس و تستر، ۲۰۰۸). تنش اسمزی در مرحله اول تنش شوری موجب کاهش محتوای آب سلول‌ها شده و طولی شدن آن‌ها را با مشکل روبه‌رو می‌کند و حتی پس از ایجاد تعادل اسمزی و تأمین فشار اسمزی مجدد سلول‌ها، گسترش و طولی شدن آن‌ها به‌کندی صورت می‌گیرد (مانس و تستر، ۲۰۰۸). حفظ فراهمی کلسیم در محلول خاک شور یک فاکتور مهم در کنترل شدت سمیت یون ویژه است، به‌خصوص در محصولاتی که به آسیب سدیم و کلر حساس هستند (گراتن و گریو، ۱۹۹۹). با توجه به اینکه پایه وحشی بابلسر یک ژنوتیپ پر رشد است (مؤمن‌پور و همکاران، ۱۳۹۹)، موجب افزایش رشد رویشی ارقام پیوند شده بر روی آن در شرایط شور شده است. این نتایج حاکی از آن است که

نوع پایه مورد استفاده در این مطالعه، در چگونگی جذب آب و انتقال آن به پیوندک‌ها کاملاً مؤثر است. ژنوتیپ‌های پیوند شده بر روی پایه‌های انتخابی از نظر میزان قطر با یکدیگر دارای اختلاف معنی‌داری بودند (جدول ۳). در پایان سال ۱۴۰۱ رقم رباب نیریز پیوند شده روی پایه وحشی بابلسر (۸/۶۴ میلی‌متر) به همراه رقم ملس یزدی پیوند شده روی پایه وحشی بابلسر (۸/۱۴ میلی‌متر) دارای بیشترین میزان قطر بود. در پایان فصل رشد سال ۱۴۰۲ (پیوندک‌های دوساله) بیشترین میزان قطر در رقم ملس یزدی پیوند شده روی پایه وحشی بابلسر (۱۶/۲۹ میلی‌متر) مشاهده شد. همان‌طور که در بالا اشاره شد در پایان سال دوم رقم ملس یزدی پیوند شده روی پایه وحشی بابلسر دارای بیشترین میزان ارتفاع نیز بود. این نتایج حاکی از رشد بسیار مناسب ژنوتیپ‌های انتخابی پیوند شده بر روی پایه وحشی بابلسر است. یکی از ویژگی‌های بارز پایه وحشی بابلسر حفظ قدرت رشدی و ویژگی‌های رشدی مطلوب در شرایط شور است که این ویژگی‌های را به ارقام پیوند شده بر روی خود نیز انتقال داده است.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر پایه بر ارتفاع و قطر ژنوتیپ‌های پیوند شده انار مورد بررسی در شرایط شور در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

ژنوتیپ (پیوندک)	ژنوتیپ (پایه)	ارتفاع پیوندک (سانتیمتر)		قطر پیوندک (میلی‌متر)	
		1401	1402	1401	1402
نرک لاسجر سمنان	ملس یزدی	49.16 c	96.83 bc	5.86 c	12.31 c
نرک لاسجر سمنان	چاه افضل	37.10 d	65.50 d	5.27 d	9.79 e
نرک لاسجر سمنان	رباب نیریز	28.35 de	69.20 cd	4.79 de	9.78 e
پوست سیاه اردکان	ملس یزدی	45.27 cd	81.25 c	5.65 cd	11.08 d
پوست سیاه اردکان	چاه افضل	15.50 e	-	3.39 e	-
پوست سیاه اردکان	رباب نیریز	21.75 de	-	4.32 de	-
چاه افضل	ملس یزدی	58.62 b	123.12 ab	6.81 bc	13.80 b
چاه افضل	چاه افضل	56.55 b	105.25 abc	6.46 c	11.82 cd
چاه افضل	رباب نیریز	45.57 cd	77.50 cd	5.51 cd	9.87 e
وحشی بابلسر	ملس یزدی	71.72 ab	131.17 a	8.14 ab	16.29 a
وحشی بابلسر	چاه افضل	51.87 c	100.50 bc	5.85 c	11.78 cd
وحشی بابلسر	رباب نیریز	81.16 a	109.25 abc	8.64 a	12.66 bc
Pr > F		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
		<0.0001	<0.0005	<0.0001	<0.0005

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند

بر اساس نتایج به دست آمده اثر متقابل پایه و پیوندک بر تعداد تنه جوش و پاجوش در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). بیشترین تعداد تنه جوش در رقم ملس یزدی پیوند شده روی پایه وحشی بابلسر (۱۵/۳۳)

(عدد) به دست آمد. همچنین تعداد پاجوش در رقم‌های ملس یزدی و رباب نیریز پیوند شده روی پایه وحشی بابلسر (به ترتیب ۱۰/۶۷ و ۹/۰۰ عدد) به‌طور معنی‌دار از سایر ترکیب‌های پیوندی مطالعه شده بیشتر بود. پایه وحشی

پیوندی ملس یزدی روی پایه پوست سیاه اردکان (۱۴۰۲/۰۱/۰۷) ادامه داشت. تفاوت در زمان شروع برگ-دهی می‌تواند به دلیل اثر پایه‌ها در تسریع و یا تأخیر شروع برگ‌دهی در پیوندک‌های مورد بررسی باشد. در مطالعات قبلی گزارش شده است که زمان شروع برگ‌دهی در ژنوتیپ وحشی بابلر زودتر از ژنوتیپ‌های نرک لاسجرد سمنان، چاه افضل و پوست سیاه اردکان است (مؤمن‌پور و همکاران ۱۳۹۹).

بابلر علاوه بر پر رشد بودن آن، پایه‌ای است پر تیغ که تعداد پاجوش‌های فراوانی نیز تولید می‌کند که از صفات منفی این پایه محسوب می‌گردد (مؤمن‌پور و همکاران، ۲۰۲۲؛ وظیفه‌شناس، ۲۰۰۹). همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، ترکیب‌های پیوندی از نظر زمان شروع برگ‌دهی و زمان خزان در سال ۱۴۰۲ با یکدیگر تفاوت داشتند. شروع برگ‌دهی با ترکیب پیوندی ملس یزدی روی پایه وحشی بابلر (۱۴۰۲/۰۱/۰۱) شروع شد و تا ترکیب

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل پایه و پیوندک بر تعداد تنه جوش و پاجوش در ژنوتیپ‌های انار مورد بررسی در شرایط شور در سال ۱۴۰۲

ژنوتیپ (پایه)	ژنوتیپ (پیوندک)	تاریخ شروع برگ دهی	تعداد تنه جوش	تعداد پاجوش	تاریخ خزان پیوندک‌ها
نرک لاسجرد سمنان	ملس یزدی	2023.03.23	1.5 d	4.7 d	2023.11.06
نرک لاسجرد سمنان	چاه افضل	2023.03.25	1.7 d	1.33 e	2023.11.01
نرک لاسجرد سمنان	رباب نیریز	2023.03.23	1.80 d	5.20 cd	2023.11.05
پوست سیاه اردکان	ملس یزدی	2023.03.27	3.33 cd	5.20 cd	2023.11.06
پوست سیاه اردکان	چاه افضل	-	-	-	-
پوست سیاه اردکان	رباب نیریز	-	-	-	-
چاه افضل	ملس یزدی	2023.03.21	1.80 d	5.20 cd	2023.10.31
چاه افضل	چاه افضل	2023.03.23	6.00 c	5.20 cd	2023.10.30
چاه افضل	رباب نیریز	2023.03.23	8.25 bc	7.75 bc	2023.11.01
وحشی بابلر	ملس یزدی	2023.03.18	15.33 a	10.67 a	2023.11.07
وحشی بابلر	چاه افضل	2023.03.20	10.50 b	6.50 c	2023.11.03
وحشی بابلر	رباب نیریز	2023.03.22	8.50 bc	9.00 ab	2023.11.07
Pr > F	-	-	<0.0001	<0.0001	-

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند

ممانعت از جذب سدیم، اثرات مخرب آن را کاهش می‌دهند (مانس و تستر ۲۰۰۸؛ مانس ۲۰۰۲). در نقطه مقابل بیشترین محتوی نشت یونی به ترتیب در ترکیب‌های پیوندی رباب نیریز/ نرک لاسجرد سمنان (۶۳/۹۴ درصد) و چاه افضل/ چاه افضل (۶۳/۴۴ درصد) مشاهده شد. بیشترین و کمترین نشت یونی در رقم رباب نیریز اما بر روی پایه‌های مختلف مشاهده شد. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر پایه در چگونگی واکنش ارقام پیوندی در شرایط شور است. نشت یونی یکی از شاخص‌هایی است که بیانگر میزان خسارت‌پذیری گیاه در شرایط تنش محیطی است به-طوری‌که ژنوتیپ‌های حساس، نشت یونی بالاتر و ژنوتیپ-های متحمل نشت یونی کمتری دارند. (الگامی و همکاران، ۲۰۱۰).

بر اساس نتایج به دست آمده (جدول ۷)، بیشترین محتوی رطوبت نسبی در برگ‌های ترکیب پیوندی رباب نیریز/ چاه افضل (۸۰/۰۹ درصد)، مشاهده شد. این ترکیب پیوندی، کمترین محتوی نشت یونی را نیز به خود اختصاص داد. محتوی نشت یونی در این ترکیب پیوندی ۶۰/۰۷ درصد بود. این نتایج نشان داد که برگ‌های رقم رباب نیریز پیوند شده روی پایه چاه افضل با حفظ رطوبت نسبی خود، کمتر تحت تأثیر شوری قرار گرفت و خسارت آسیب سلولی در آن کمتر از سایر ترکیب‌های پیوندی بود. شوری از طریق انباشت تدریجی یون‌های سدیم باعث کاهش محتوای نسبی آب و پتانسیل اسمزی شیره یاخته‌ای برگ در حالت آماس کامل می‌شود که با کاربرد پایه‌های متحمل به شوری و قدرت آن‌ها در انتخاب پتاسیم و

محتوی کلروفیل کل در برگ‌های ارقام پیوند شده روی پایه چاه افضل نسبت به پایه‌های دیگر به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. بیشترین محتوی کلروفیل کل در ترکیب پیوندی چاه افضل / چاه افضل (۷/۸۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ)، مشاهده شد. محتوی کلروفیل کل در برگ‌های ارقام رباب نیریز و ملس یزدی پیوند شده روی پایه چاه افضل به‌ترتیب ۷/۴۳ و ۵/۰۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ بود. در نقطه مقابل، کمترین محتوی کلروفیل کل در برگ‌های ارقام ملس یزدی و رباب نیریز پیوند شده روی پایه وحشی بابلسر (به‌ترتیب ۲/۰۲ و ۲/۰۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ) مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که نوع پایه بر محتوی کلروفیل برگ پیوندک‌ها مؤثر است. به‌طوریکه محتوی کلروفیل کل در هر سه ژنوتیپ مطالعه شده، بر روی پایه چاه افضل بیشتر از سه پایه دیگر بود.

هموستازی یونی در محیط‌های تحت تنش شوری، به دلیل فزونی سدیم و کلر به‌عنوان یون‌های سمیت‌زا و حلالیت شدید آن‌ها در آب، جذب سریع و انتقال آن‌ها با جریان تعرق است که باعث بازدارندگی از رشد و فتوسنتز و سایر فرآیندهای گیاهی می‌شود. همچنین، می‌توان کاهش کلروفیل و به‌طور کلی فتوسنتز را به کمبود یون پتاسیم در سلول‌های برگ فتوسنتز کننده نسبت داد (گوئو و تانگ، ۱۹۹۹). در اثر تنش شوری، میزان کلروفیل کاهش می‌یابد که دلیل آن فعالیت بیشتر آنزیم کلروفیل‌لاز گزارش شده است. برخی تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اسید آبسزیک و اتیلن موجب تحریک این آنزیم می‌شوند و در اثر تنش غلظت این مواد افزایش می‌یابد (مانس و تستر، ۲۰۰۸؛ ماهاجان و توتجا، ۲۰۰۵).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل پایه و پیوندک بر محتوی نشت یونی، رطوبت نسبی، کلروفیل‌های کل، a و b و کاروتنوئید در برگ‌های ژنوتیپ‌های انار مورد بررسی در شرایط شور در سال ۱۴۰۲

ژنوتیپ (پایه)	ژنوتیپ (پیوندک)	محتوی رطوبت نسبی (درصد)	نشت یونی (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ)	کلروفیل کل	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید
نرک لاسجر سمنان	ملس یزدی	77.60 c	62.68 b	4.34 f	4.21 d	0.13 e	0.24 d
نرک لاسجر سمنان	چاه افضل	78.17 bc	61.45 c	2.46 g	2.31 e	0.15 e	0.23 d
نرک لاسجر سمنان	رباب نیریز	77.37 cd	63.94 a	4.69 d	4.35 d	0.34 c	0.48 a
پوست سیاه اردکان	ملس یزدی	77.50 cd	62.12 bc	2.05 i	1.55 h	0.50 b	0.11 e
پوست سیاه اردکان	چاه افضل	-	-	-	-	-	-
پوست سیاه اردکان	رباب نیریز	-	-	-	-	-	-
چاه افضل	ملس یزدی	78.30 b	61.52 c	5.08 c	4.78 c	0.3 d	0.31 c
چاه افضل	چاه افضل	77.17 d	63.44 ab	7.89 a	7.05 a	0.84 a	0.08 e
چاه افضل	رباب نیریز	80.09 a	60.07 d	7.43 b	6.92 b	0.51 b	0.42 b
وحشی بابلسر	ملس یزدی	77.83 c	62.40 b	2.15 h	2.02 f	0.13 e	0.17 e
وحشی بابلسر	چاه افضل	76.97 d	62.40 b	2.16 h	2.03 f	0.13 e	0.18 e
وحشی بابلسر	رباب نیریز	76.93 d	62.46 b	4.52 e	4.24 d	0.28 d	0.45 ab
Pr > F		<0.0001	<0.0005	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، نوع ترکیب پیوندی بر تغییرات محتوی پتاسیم در شرایط شور در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۸). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، محتوی پتاسیم در برگ‌های ژنوتیپ چاه افضل پیوند شده روی پایه وحشی بابلسر (۱/۴۰ درصد) و رقم رباب نیریز پیوند شده روی پایه وحشی بابلسر (۱/۳۰

درصد)، از سایر ترکیب‌های پیوندی مطالعه شده به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. در نقطه مقابل کمترین محتوی پتاسیم در برگ‌های رقم ملس یزدی پیوند شده روی پایه پوست سیاه اردکان (۱/۰۲ درصد) مشاهده شد. این نتایج حاکی از تفاوت پایه‌های مختلف در جذب پتاسیم توسط ریشه‌ها و انتقال آن‌ها به اندام هوایی در شرایط شور است. گزارش

شده است که پتاسیم در حفظ تعادل اسمزی و باز و بسته شدن روزنه‌ها مؤثر است و اثرات مخرب سدیم را کاهش می‌دهد (اسکیزربا و همکاران، ۲۰۰۸؛ اسکیزربا و همکاران، ۲۰۰۹). پتاسیم علاوه بر ایفای نقش اساسی در متابولیسم‌های حیاتی، در شرایط تنش شوری بسیار با اهمیت جلوه می‌کند به نحوی که مدیریت کارآمد پتاسیم در مقابل سدیم در گیاه در بقای آن در شرایط شوری اساسی است (کریمی و حسن‌پور، ۲۰۱۴). برخی گیاهان توانایی این را دارند که سیتوپلاسم سلول‌های خود را از کاهش شدید مقادیر پتاسیم محافظت کرده و از واکوئل‌ها به عنوان مخزنی برای بافر کردن یون پتاسیم بهره ببرند. در همین رابطه گیاهان متحمل به شوری، توانایی آن را دارند که مقادیر پتاسیم سیتوسولی خود را در حضور کلرید سدیم بهتر حفظ نمایند (کریمی و حسن‌پور، ۲۰۱۴).

بر اساس نتایج به دست آمده (جدول ۸)، بیشترین محتوی سدیم در برگ‌های رقم ملس یزدی پیوند شده روی پایه پوست سیاه اردکان مشاهده شد. همان‌طور که در بالا اشاره شد این پایه دارای تحمل کمتری به شوری بود به طوریکه دو ترکیب پیوندی دیگر روی این پایه به‌طور کامل از بین رفتند. پس از پایه پوست سیاه اردکان، ترکیب‌های پیوندی روی پایه نرک لاسجرد سمنان دارای محتوی سدیم بیشتری در برگ‌های خود بودند. محتوی سدیم در برگ‌های همه ترکیب‌های پیوندی پایه نرک لاسجرد سمنان، با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. در نقطه مقابل با توجه به تحمل بیشتر ژنوتیپ چاه افضل به شوری، این رقم با ممانعت از جذب سدیم توسط ریشه‌ها و عدم انتقال سدیم از ریشه‌ها به اندام‌های هوایی، دارای محتوی کلروفیل بیشتری بود. کمترین محتوی سدیم نیز به ترتیب در برگ‌های ترکیب‌های پیوندی رباب نیریز/ وحشی بابلسر (۰/۰۲۲ درصد)، ملس یزدی/ وحشی بابلسر (۰/۰۲۲ درصد)، چاه افضل/ وحشی بابلسر (۰/۰۲۸ درصد) و رباب نیریز/ چاه افضل (۰/۰۲۸ درصد)، مشاهده شد. در نقطه مقابل کمترین محتوی سدیم در هر سه ژنوتیپ پیوند شده

روی پایه وحشی بابلسر به انضمام ژنوتیپ رباب نیریز پیوند شده بر روی پایه چاه افضل مشاهده شد. محتوی سدیم در ترکیب‌های پیوندی رباب نیریز/ وحشی بابلسر، ملس یزدی/ وحشی بابلسر، چاه افضل/ وحشی بابلسر و رباب نیریز/ چاه افضل به ترتیب ۰/۰۲۲، ۰/۰۲۸ و ۰/۰۲۸ درصد بود.

محتوی کلر در برگ‌های ترکیب‌های پیوندی رباب نیریز/ وحشی بابلسر (۰/۱۵ درصد)، ملس یزدی/ وحشی بابلسر (۰/۱۶ درصد)، رباب نیریز/ چاه افضل (۰/۱۸ درصد)، به‌طور معنی‌داری از سایر ترکیب‌های پیوندی مطالعه شده کمتر بود. این نتایج با یافته‌های به دست آمده از بررسی صفات مورفولوژیک مطابقت داشت. ژنوتیپ‌های پیوند شده روی پایه وحشی بابلسر و پس از آن روی پایه چاه افضل دارای وضعیت مطلوب‌تری از نظر صفات رشدی (ارتفاع و قطر پیوندک) بودند و محتوی نکرزگی در برگ‌های آن‌ها نیز بسیار اندک بود. مجموع صفات بررسی شده در این بخش نشان داد، پایه‌های وحشی بابلسر و چاه افضل در افزایش تحمل ژنوتیپ‌های پیوند شده بر روی آن‌ها نسبت به شوری کارتر بودند. پس از این پایه‌ها، پایه نرک لاسجرد سمنان قرار داشت. پایه پوست سیاه اردکان در شرایط شور چندان موفق نبود. علاوه بر مطالعه حاضر، تعداد پژوهش‌های بسیار محدودی در زمینه دستیابی به پایه‌های متحمل به شوری انار انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به پژوهش انجام شده توسط کریمی و حسن‌پور (۲۰۱۴) اشاره کرد. در این مطالعه، اثرات شوری با غلظت‌های ۰ و ۷۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و نوع پایه بر غلظت عناصر غذایی انار در سه ترکیب پیوندی (گبری غیر پیوندی به عنوان شاهد، گبری/تب ولرز و گبری/ ملس یزدی) بررسی و گزارش کردند که غلظت مواد معدنی سدیم، کلر، کلسیم و پتاسیم در اندام هوایی و ریشه با افزایش غلظت نمک، افزایش یافت. ترکیب پیوندی گبری روی پایه تب و ولرز کمترین میزان سدیم و کلر و بیشترین محتوی پتاسیم در برگ‌ها و شاخساره را داشت.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل پایه و پیوندک بر محتوی سدیم، پتاسیم و کلر در برگ‌های ژنوتیپ‌های انار مورد بررسی در شرایط شور در سال ۱۴۰۲

ژنوتیپ (پایه)	ژنوتیپ (پیوندک)	پتاسیم (درصد)	سدیم (درصد)	کلر (درصد)	نسبت سدیم به پتاسیم
نرک لاسجر سمنان	ملس یزدی	1.05 c	0.035 b	0.28 b	0.033 b
نرک لاسجر سمنان	چاه افضل	1.12 bc	0.033 bc	0.25 bc	0.029 bc
نرک لاسجر سمنان	رباب نیریز	1.08 c	0.034 bc	0.27 bc	0.031 bc
پوست سیاه اردکان	ملس یزدی	1.02 c	0.045 a	0.4 a	0.044 a
پوست سیاه اردکان	چاه افضل	-	-	-	-
پوست سیاه اردکان	رباب نیریز	-	-	-	-
چاه افضل	ملس یزدی	1.12 bc	0.030 c	0.2 c	0.027 bc
چاه افضل	چاه افضل	1.15 bc	0.030 c	0.2 c	0.026 bc
چاه افضل	رباب نیریز	1.10 bc	0.028 cd	0.18 cd	0.025 c
وحشی بابلسر	ملس یزدی	1.22 bc	0.022 d	0.16 cd	0.018 d
وحشی بابلسر	چاه افضل	1.40 a	0.028 cd	0.20 c	0.021 cd
وحشی بابلسر	رباب نیریز	1.30 ab	0.022 d	0.15 d	0.017 d
Pr > F	-	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر صفت دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از بررسی ترکیب‌های پیوندی در شرایط شور نشان داد، نوع پایه در افزایش تحمل به شوری ارقام و ژنوتیپ‌های پیوندی مؤثر است. ژنوتیپ‌های پیوند شده روی پایه‌های وحشی بابلسر و چاه افضل تحمل بیشتری به شوری از خود نشان دادند. پس از این پایه‌ها، نرک لاسجر سمنان قرار گرفت. ژنوتیپ‌های پیوند شده روی پایه پوست سیاه اردکان فاقد تحمل کافی در شرایط شور بودند به‌طوری‌که ترکیب‌های پیوندی رباب نیریز/ پوست سیاه اردکان و چاه افضل/ پوست سیاه اردکان در سال دوم (۱۴۰۲)، کاملاً خشک شدند. در مجموع صفات رشدی بررسی‌شده، ترکیب‌های پیوندی رباب نیریز/ وحشی بابلسر و ملس یزدی/ وحشی بابلسر برتر تشخیص داده شدند. پس از آن‌ها می‌توان به ترکیب‌های پیوندی چاه افضل/ وحشی بابلسر، ملس یزدی/ چاه افضل و رباب

نیریز/ چاه افضل اشاره نمود. قابل ذکر است که نتایج به‌دست آمده در این تحقیق بر اساس ویژگی‌های رشدی مطالعه شده است و جهت معرفی برترین ترکیب پیوندی نیاز به مطالعات تکمیلی است تا در آن، اثر نوع پایه‌های بررسی شده روی کمیت و کیفیت میوه و عملکرد پیوندک- های انتخابی در شرایط شور نیز مورد بررسی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

از مرکز ملی تحقیقات شوری بابت تامین هزینه- های این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تایید نویسنده مسئول مقاله است.

فهرست منابع

۱. حیدری شریف‌آباد، حسین، ۱۳۸۰. گیاه و شوری. موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، ۷۶ صفحه.
۲. رحیمیان، محمد حسن. غلامی، حسن، رنجبر، غلام حسن، بیرامی، حسین، مروج الاحکامی، بیتا، کریمی، محسن، و چراغی، علی، ۱۴۰۰. برهمکنش حجم آب مصرفی و شوری آب آبیاری بر عملکرد گندم در مناطق خشک (مطالعه موردی: یزد). آب و توسعه پایدار. ۸ (۴)، صص ۴۳-۵۰.

۳. مومن پور، علی، بخشی، داود، ایمانی، علی، رضایی، حامد، ۱۳۹۳. اثر تنش شوری بر غلظت عناصر غذایی در رقم های بادام 'شکوفه'، 'سهند' و ژنوتیپ '۱۳-۴۰' پیوند شده روی پایه GF677. مجله علوم باغبانی مشهد، ۲۹ (۲)، صص ۲۵۵-۲۶۸. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.33416>
۴. مومن پور، علی، بخشی، داود، ایمانی، علی، رضایی، حامد، ۱۳۹۴. اثر تنش شوری بر خصوصیات رشدی و غلظت عناصر غذایی در رقم های بادام 'شاهرود ۱۲'، 'تونو' و ژنوتیپ '۱-۱۶' پیوند شده روی پایه GF677. مجله به زراعی کشاورزی ابوریحان ۱۷ (۱)، صص ۲۱۶-۱۹۷. DOI: 10.22069/jopp.2019.14325.2283
۵. مومن پور، علی، بخشی، داود، ایمانی، علی، رضایی، حامد، ۱۳۹۴. اثر تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک در برخی از ژنوتیپ های انتخابی بادام پیوند شده روی پایه. مجله فناوری تولیدات گیاهی. ۷ (۲)، صص ۱۵۲-۱۳۷.
۶. مومن پور، علی، سلطانی گرد فرامرز، ولی، راد، محمد هادی، وظیفه شناس، محمد رضا، آنالقی، امین، احمدی، فاطمه، جماعتی اردکانی، زهرا، ۱۳۹۹. تعیین آستانه تحمل شوری ژنوتیپ های مختلف انار. پژوهش های آب در علوم کشاورزی ۳۴ (۱)، صص ۱-۱۴. DOI:10.22092/jwra.2020.121904
7. Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology. 24, Pp. 1- 15.
8. Bolat, I., Kaya, C., Almaca, A. and Timucin, S., 2006. Calcium sulfate improve salinity tolerance in rootstock of plum. Journal of Plant Nutrition, 29, Pp. 553-564. DOI:10.1080/01904160500526717
9. El-Agamy, S. Z., Mostafa, R. A., Shaaban, M. M. and El-Mahdy, M. T., 2010. In vitro salt and drought tolerance of Manfalouty and Nab El-Gamal pomegranate cultivars. Aust J Basic Appl Sci. 4 (6), Pp 1076- 1082.
10. Emami, A., 1996. Methods of plant analysis. Agricultural Research and Education Organization. Soil and Water Institute. 130 Pp.
11. Fipps, G., 2003. Irrigation water quality standards and salinity management strategies. Texas Agricultural Extension Service. Pp 1-18.
12. Fisarakis, I., Nikolaou, N., Tsikalas, P., Therios, I. and Stavrakas, D., 2004. Effect of salinity and rootstock on concentration of potassium, calcium, magnesium, phosphorus, and nitrate-nitrogen in Thompson seedless grapevine. Journal of Plant Nutrition, 12, Pp. 2117-2134. DOI:10.1081/PLN-200034662
13. Grattan, S. R. and Grieve, C. M. ,1999. Salinity mineral nutrient relations in horticultural crop. Science Horticulture. 78, Pp. 127- 157.
14. Guo, F.O. and Tang, Z.C., 1999. Reduced Na⁺ and K⁺ permeability of K⁺ channel in plasma membrane isolated from roots of salt tolerant mutant of wheat. Chinese Academy of Sciences. 41 (9), Pp. 217-220. DOI:10.1023/B:TICU.0000025666.84313.
15. Karimi, H. R. and Farahm, H., 2011. Study of pomegranate (*Punica granatum* L.) propagation using bench grafting. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research, 19, Pp. 67-72.
16. Karimi, H.R. and Hasanpour, Z. 2014. Effects of salinity and water stress on growth and macro nutrients concentration of pomegranate (*Punica granatum* L.). Journal of Plant Nutrition. 37, Pp. 1937-1951. DOI:10.1080/01904167.2014.920363
17. Lutts, S., Kinet, J.M. and Bouharmont, J. 1995. Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. Journal of Experimental Botany. 46, Pp. 1843-1852. <https://doi.org/10.1093/jxb/46.12.1843>
18. Maas, E.V. and Hoffman, G.J. 1977. Crop salt tolerance: Current assessment. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 103, Pp.115- 134.
19. Mahajan, Sh. and Tuteja, N., 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. Archives of Biochemistry and Biophysics. 444, Pp.139-158. doi: 10.1016/j.abb.2005.10.018.

20. Mirjalili, S. A., 2016. Pomegranate: biodiversity and genetic resources, a review. *Rostaniha*. 17 (1), Pp. 1- 18. **DOI: <http://dx.doi.org/10.22092/botany.2016.106999>**
21. Momenpour, A. and Imani, A., 2018. Evaluation of salinity tolerance in fourteen selected pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars. *Advances in Horticultural Science*. 32 (2), Pp. 249-264. **DOI:10.13128/ahs-22261**
22. Momenpour, A., Dehestani Ardakani, M., Shirmardi, M., Gholamnezhad, J., Ahmadi, F. and Jamaati, Z., 2022. Salinity tolerance evaluation of twelve selected pomegranate (*Punica granatum*) genotypes to achieve tolerant cultivars and rootstocks. *Journal of Horticultural and Postharvest Research*. 5 (4), Pp. 363-378. **<https://doi.org/10.22077/jhpr.2022.5152.1270>**
23. Momenpour, A., Imani, A., Bakhshi, D. and Akbarpour, E., 2018. Evaluation of salinity tolerance of some selected almond genotypes budded on GF₆₇₇ rootstock. *International Journal of Fruit Science*. 18 (4), Pp. 410-435. **DOI:10.1080/15538362.2018.1468850**
24. Munns, R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*. 25, Pp. 239-250. **<https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x>**
25. Munns, R. and M. Tester., 2008 Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59, Pp. 651–681. **DOI:10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911**
26. Okhovatian-Ardakani, A.R., Mehrabanian, M., Dehghani, F. and Akbarzadeh, A., 2010. Salt tolerance evaluation and relative comparison in cuttings of different pomegranate cultivars. *Plant, Soil and Environment*. 56 (4), Pp. 176-185. **DOI: 10.17221/158/2009-PSE**
27. Rivero, M., Ruize, M. and Romero, L., 2003. Role of grafting in horticulture plants under stress conditions. *Journa of Agricultural Environmental*, 1, Pp.70-74.
28. Shani, U. and Ben-Gal, A. 2005. Long-term response of grape vines to salinity: osmotic effects and ion toxicity. *American Journal of Enology and Viticulture*, 30 (56), Pp. 2- 20. **DOI:10.5344/ajev.2005.56.2.148**
29. Szczerba, M.W., Britto, DT., Balkos, KD. and Kronzucker, H.J., 2008. NH₄⁺ stimulated and -inhibited components of K⁺ transport in rice (*Oryza sativa* L.). *Experimental Botany*. 59, Pp. 3415–3423. **<https://doi.org/10.1093/jxb/eraa150>**
30. Szczerba, M.W., D. T. Britto. and H. J. Kronzucker., 2009. K⁺ transport in plants: Physiology and molecular biology. *Plant Physiology*. 166, Pp. 447-466. **doi: 10.1016/j.jplph.2008.12.009.**
31. Vazifeshenas, M., Khayyat, M. and Jamalian, S., 2009. Effect of different scion rootstocks combinations on Vigor tree size, and yield and fruit quality on three Iranian cultivars of pomegranate. *Acta Horticulture*, 463, Pp.143-152. **DOI:10.1051/fruits/2009030**
32. Yamasaki, S. and Dillenburg, L.C., 1999. Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. *Revista*. Pp 21-30.

Investigation the Growth Characteristics of Some Pomegranate Genotypes Grafted on Selected Rootstocks in Saline Conditions

A. Momenpour*, A. Parnian, H. Beyrami, and M. H. Rad

Assistant Prof., National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran. a.momenpour@areeo.ac.ir

Assistant Prof., National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran. amir.parnian86@gmail.com

Associate Prof., National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran. h.beyrami@areeo.ac.ir

Associate Prof., Research Division of Natural Resources, Yazd Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran. mohammadhadirad@gmail.com

Received: August 2024 and Accepted: December 2024

Abstract

To evaluate the growth characteristics of some pomegranate (*Punica granatum*) genotypes on selected rootstocks under saline conditions, a factorial experiment was carried out based on randomized complete block design, at the Chah Afzal Station of the National Salinity Research Center of Iran, in 2017-2022. The factors included rootstocks at four levels (1- Chah Afzal (CA), 2- Vahshi Babolsar (VB), 3- Narak Lasjerd Semnan (NL), and 4- Poost Siyah Ardakan, PS) and scions at three levels (1- Malas Yazdi (MY), 2- Rabab Niriz (RN) and 3- Chah Afzal). This research was done on sixty 4-year-old trees, with 240 observations (4 branches on each tree) with irrigation water salinity of 9 ± 0.5 dS/m. The results showed that type of rootstock affected on the graft success percentage and the salinity tolerance of the grafted genotypes. The highest and lowest graft success percentages was observed in MY cultivar grafted on CA rootstock (96.77%) and CA genotype grafted on PS Ardakan rootstock (20.77%), respectively. The maximum height and diameter of the scions were observed in MY cultivar grafted on VB rootstock (131 cm and 16 mm, respectively). The highest relative water content was observed in RN cultivar grafted on CA (80.09%). This grafted compound had the lowest relative ions leakage (60%). The highest potassium content was observed in the leaves of CA genotype grafted on VB (1.4%) was RN grafted on VB (1.3%). Also, the lowest sodium content in each three grafted genotypes was observed on VB. In general, the genotypes grafted on VB and CA showed more tolerance to salinity. Genotypes grafted on PS Ardakan had not sufficient tolerance in saline conditions, so, the grafted combinations of RN/PS Ardakan and CA/PS Ardakan dried completely in the second year (2022). Overall, the grafted combinations of RN/VB and MY/VB were recognized as superior, followed by combinations of CA/VB, MY/CA and RN/CA.

Keywords: *Punica granatum*, Saline water, cv. Chah Afzal, cv. Vahshi Babolsar, cv. Rabab Niriz, cv Narak Lasjerd

*- Corresponding Author's email: a.momenpour@areeo.ac.ir
<https://doi.org/10.22092/jwra.2024.366691.1051>

Simulating Grain Yield and Water Use Efficiency of Autumn Rapeseed Using APSIM-canola Model in Lorestan Province

M. Sadeghi, S. Rahimi-Moghaddam*, E. Mohammadi-Ahmadmahmoudi, and Kh. Azizi

MSc Student, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Khorramabad, Iran. mojganmagham01@gmail.com

Assistant Prof., Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Khorramabad, Iran. rahimi.s@lu.ac.ir

PhD Graduate, Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. esmaeil.mohammadi68@yahoo.com

Prof., Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Khorramabad, Iran. azizi.kh@lu.ac.ir

Received: May 2024 and Accepted: December 2024

Abstract

In recent years, enhancing crop grain yield and water use efficiency have become among the important objectives of researchers. Therefore, this study was conducted to identify the optimal combination of cultivar and irrigation in autumn rapeseed. To do this, the current research was carried out using APSIM simulation model on three autumn rapeseed cultivars (Hyola308, Hyola401, and RGS003) and four irrigation treatments (full irrigation, withholding irrigation at flowering stage, withholding irrigation at pod initiation stage, and withholding irrigation at grain filling period) in four counties of Lorestan Province. The results showed that the highest grain yield in Khorramabad, Pol-e Dokhtar, and Kuhdasht was obtained with Hyola401 cultivar and full irrigation (5361, 5378, and 4488 kg.ha⁻¹, respectively), while in Aleshtar, cultivation of Hyola308 cultivar and withholding irrigation in one of the treatments led to the highest yield (2634 kg.ha⁻¹). The results also showed that Hyola401 cultivar and withholding irrigation at flowering stage in Pol-e Dokhtar and Khorramabad and full irrigation in Kuhdasht (0.457, 0.398, and 0.307 kg.m⁻³, respectively) led to the highest crop water use efficiency in these counties. In Aleshtar, Hyola308 cultivar and withholding irrigation at flowering stage resulted in the highest crop water use efficiency (0.239 kg.m⁻³). Overall, the results showed that for these rapeseed agro-ecosystems, the air temperature in each county played a key role in choosing the optimal cultivar (i.e. cultivars with higher percentage of fertile pods under water stress conditions) and proper irrigation management.

Keywords: Autumn rapeseed cultivation, Khorramabad, Optimum irrigation method, Rapeseed cultivars, withholding irrigation

*- Corresponding Author's email: rahimi.s@lu.ac.ir
<https://doi.org/10.22092/jwra.2024.365786.1041>

Valuating the Accuracy of Models Based on Thermal and Optical Satellite Data to Estimate Soil Moisture with Different Textures in Haft-Tapeh Sugarcane Agro- Industry

M. Kaydani*, A. Hooshmand, and S. Hamzeh

PhD student of Water Science and Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Kaydanimehdi63@gmail.com

Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. hooshmand_a@scu.ac.ir

Associate Prof., Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. saeid.hamzeh@ut.ac.ir

Received: September 2024 and Accepted: December 2024

Abstract

Soil moisture is one of the key parameters in the management of water, soil and plant resources. Due to problems such as discontinuity in taking samples, lack of access to sufficient information about the characteristics of the regions, as well as spending a lot of time and money to estimate the amount of available soil moisture and its spatial changes, the use of satellite images is proposed as a cost-effective and efficient method. The thermal-visible trapezoidal model is based on the interpretation of pixel distribution in LST-V1 space, which is used to estimate soil surface moisture or real evapotranspiration. The aim of this study was to estimate soil moisture during the season of 2021-22 for three different soil textures in Haft-Tapeh Sugarcane Agro-industry Company. This was done by Landsat 8 and 9 satellite images and using thermal and optical trapezoidal methods. The results indicated similar accuracy of both models in estimating soil moisture in all three soil textures. Based on the fitted regression relationship between both models and the percentage of volumetric soil moisture in the measured points, the highest coefficient of explanation obtained between was 0.96 for the thermal trapezoidal model and 97.00 for the optical trapezoidal model, in loamy soil texture. This indicated the exact fit and distribution of data in LST-V1 and STR-VI space by the desired models. Also, for the efficiency of the obtained maps, the lowest value of RMSE percentage was calculated for the two models in loamy soil texture as 3.74 and 3.77, respectively. In general, it can be concluded that optical and thermal trapezoidal models predict soil moisture with a small difference and with high accuracy for all the three loamy soil textures.

Keywords: Optical Trapezoidal Model, Thermal Trapezoidal Model, Landsat 8 and 9 satellite images

*- Corresponding Author's Email: Kaydanimehdi63@gmail.com
<https://doi.org/10.22092/jwra.2024.367149.1056>

Factors Affecting Wheat Water Productivity in Water Users Cooperatives Downstream Lands of Doosti Dam

M. Tayerani Safarian, M.R. Mahboobi*, and A. Keramatzadeh

MSc student in agricultural development, Department of Agricultural Education and Extension, Faculty of Agricultural Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
tayerani1398@gmail.com

Associate Prof., Department of Agricultural Education and Extension, Faculty of Agricultural Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
mahboobi47@gmail.com

Associate Prof., Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
alikeramatzadeh@gau.ac.ir

Received: June 2024 and Accepted: December 2024

Abstract

This research aimed to determine the physical and economic productivity of water in wheat production and the factors affecting the farm water productivity of water user's cooperatives in the downstream area of Doosti Dam in Sarakhs County Khorasan Razavi Province. In this study, physical productivity through the CPD index (amount of product produced per cubic meter of water consumed) and economic productivity using BPD (income per cubic meter of water consumed) and NBPD (net income per cubic meter of water used) were calculated. The necessary information was collected by completing 274 questionnaires from the farmers who were members of water user cooperatives. The results showed that for wheat products, the CPD index was 1.35 kg/m^3 , the BPD index was 152920 Rials/m^3 , and the NBPD index was 94710 Rials/m^3 . The results of the mean comparison test showed that there was significant difference between the physical and economic water productivity indicators of different groups of respondents according to the level of education, relationship with the extension agent, participation in training courses, the geometric shape of the farm and the number of plots of land owned. The results of the correlation test showed a positive and significant relationship between the variables of agricultural experience, income, the number of active family members in agricultural work, the number of training courses attended, the frequency of referrals to extension agents, the components of social capital, technical and agricultural actions. Also, there was a negative and significant relationship between the variables of the distance from the source to the field and the duration of each irrigation cycle with the CPD, BPD, and NBPD. The regression analysis results showed that the variable of agricultural income with a positive effect played a greater role in predicting the CPD and the variable of the duration of each irrigation round with a negative effect played a greater role in predicting the BPD and NBPD. Due to the negative effect of the Net Benefit Per Drop duration of each irrigation on the economic productivity of water, it is suggested to carry out irrigation according to wheat needs and with a method that consumes less water.

Keywords: Yield per volume of water, Economic productivity of water, Social capital, Water management

* - Corresponding Author's email: mahboobi47@gmail.com
<https://doi.org/10.22092/jwra.2024.365941.1044>

Evaluation of the Effect of Three Methods of Drip and Deep Subsurface Irrigation with Different Amounts of Water on Vegetative and Reproductive Characteristics of Orange Trees in Kerman

E. Moghbeli Dameneh* and S. Mohammadrezakhani

Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Jiroft, Iran. e.moghbeli@areeo.ac.ir

Researcher, South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Jiroft, Iran.
Smohammadrezakhani@yahoo.com

Received: April 2024 and Accepted: November 2024

Abstract

To evaluate the effect of deficit irrigation and different methods of irrigation, a field factorial experiment was carried out based on randomized complete block design with three replications at the Research Station of South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. In this study, the effect of different levels of irrigation (100 % of evapotranspiration (ET) in total growing stages, 60-100 % ET, and 80 % ET, except in the flowering and fruit-filling stages) under three irrigation methods (deep subsurface irrigation, subsurface drip, and surface drip) were evaluated on orange trees vegetative and reproductive traits, yield, water use efficiency, and water saving. The results showed that application of deficit irrigation based on 80% water requirement increased water use efficiency and water saving, and reduced the vegetative growth compared to normal irrigation by 3.88%, 17%, and 13.87 %, respectively. With application of deficit irrigation, yield was reduced by 13.55% compared to normal irrigation, but this reduction was not statistically significant. Subsurface irrigation caused water saving, increased vegetative traits, yield and water use efficiency, compared to surface drip irrigation by 10%, 17.02%, 17.19%, and 29.62 %, respectively. Also, the results showed that application of deep subsurface deficit irrigation (80% ET) saved 889.58 m³ of water/ha. Therefore, it can be concluded that deep subsurface irrigation can prevent the decrease in the quantity and quality of the product while saving water consumption.

Keywords: Deep subsurface irrigation, Regulated deficit irrigation, Water management

* - Corresponding Author's email: e.moghbeli@areeo.ac.ir
<https://doi.org/10.22092/jwra.2024.365296.1035>

Water Productivity of Potato in Cold, Temperate, and Hot Climates of Kermanshah Province

M. Jovzi*, N. Ebrahimipak, and F. Hamedi

Assistant Prof., Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran. m.jovzi@areeo.ac.ir

Associate Prof., Irrigation Research Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. nebrahimipak@yahoo.com

Lecturer, Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran. fardin_hamedi@yahoo.com

Received: October 2024 and Accepted: December 2024

Abstract

This research aimed to determine water productivity of potato plants in hot, temperate, and cold climates of Kermanshah Province. In the mentioned climates, Qasr-e-Shirin, Kermanshah, and Sonqor cities, which have the largest area under potato cultivation, were selected for this research. For this purpose, 35 farms were selected under the farmers' conditions, in 2021-2022. The total volume of irrigation water of each of the selected farms was measured during the growing season. Effective precipitation was determined using the USDA equation. The amount of water consumed by farms was also calculated from the total amount of irrigation water and effective precipitation. By dividing the amount of yield by the amount of water consumed, water productivity of the selected farms was determined. SPSS software and ANOVA were used for statistical analysis of the results, which showed that the average volumes of potato irrigation water in the sprinkler method in Qasr-e-Shirin, Kermanshah, and Sonqor cities were 7507, 7186, and 6739 m³ ha⁻¹, and their average water consumptions were 8002, 7246, and 6783 m³ ha⁻¹, respectively. The average yield of potatoes in these cities was 24100, 35500, and 36100 kg ha⁻¹, respectively. Therefore, the average water productivity of potatoes in these cities was 3.4, 4.9 and 5.7 kg m⁻³, respectively. Therefore, the results showed that water productivity of potatoes in Qasr-e-Shirin city was 30% and 40% lower than in Kermanshah and Sonqor cities, respectively. The most important reasons for this were the lower yield and larger volumes of irrigation water in Qasr-e-Shirin.

Keywords: Farmers' fields, Irrigation water, Sprinkler irrigation, Potato yield

* - Corresponding Author's email: m.jovzi@areeo.ac.ir
<https://doi.org/10.22092/jwra.2024.367255.1058>

Water Productivity of Potato in Cold, Temperate, and Hot Climates of Kermanshah Province.....	13
--	-----------

M. Jovzi, N. Ebrahimipak, and F. Hamed

Evaluation of the Effect of Three Methods of Drip and Deep Subsurface Irrigation with Different Amounts of Water on Vegetative and Reproductive Characteristics of Orange Trees in Kerman.....	14
---	-----------

E. Moghbeli Dameneh and S. Mohammadrezakhani

Factors Affecting Wheat Water Productivity in Water Users Cooperatives Downstream Lands of Doosti Dam.....	15
---	-----------

M. Tayerani Safarian, M.R. Mahboobi, and A. Keramatzadeh

Valuating the Accuracy of Models Based on Thermal and Optical Satellite Data to Estimate Soil Moisture with Different Textures in Haft-Tapeh Sugarcane Agro- Industry.....	16
---	-----------

M. Kaydani, A. Hooshmand, and S. Hamzeh

Simulating Grain Yield and Water Use Efficiency of Autumn Rapeseed Using APSIM-canola Model in Lorestan Province.....	17
--	-----------

M. Sadeghi, S. Rahimi-Moghaddam, E. Mohammadi-Ahmadmahmoudi, and Kh. Azizi

Investigation the Growth Characteristics of Some Pomegranate Genotypes Grafted on Selected Rootstocks in Saline Conditions.....	18
--	-----------

A. Momenpour, A. Parnian, H. Beyrami, and M. H. Rad

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. 3
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 3/ 2024

ISSN: 2228-7140

Contents

Subject

Page

Water Productivity of Potato in Cold, Temperate, and Hot Climates of Kermanshah Province.....13

M. Jovzi, N. Ebrahimipak, and F. Hamed

Evaluation of the Effect of Three Methods of Drip and Deep Subsurface Irrigation with Different Amounts of Water on Vegetative and Reproductive Characteristics of Orange Trees in Kerman.....14

E. Moghbeli Dameneh and S. Mohammadrezakhani

Factors Affecting Wheat Water Productivity in Water Users Cooperatives Downstream Lands of Doosti Dam.....15

M. Tayerani Safarian, M.R. Mahboobi, and A. Keramatzadeh

Valuating the Accuracy of Models Based on Thermal and Optical Satellite Data to Estimate Soil Moisture with Different Textures in Haft-Tapeh Sugarcane Agro- Industry.....16

M. Kaydani, A. Hooshmand, and S. Hamzeh

Simulating Grain Yield and Water Use Efficiency of Autumn Rapeseed Using APSIM-canola Model in Lorestan Province.....17

M. Sadeghi, S. Rahimi-Moghaddam, E. Mohammadi-Ahmadm Mahmoudi, and Kh. Azizi

Investigation the Growth Characteristics of Some Pomegranate Genotypes Grafted on Selected Rootstocks in Saline Conditions.....18

A. Momenpour, A. Parnian, H. Beyrami, and M.H. Rad